



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بغداد

كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم)

تحضير ودراسة تأثير إضافة كل من (*La* و *In*)
على المركب فائق التوصيل



أطروحة مقدمة

إلى /

مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم) - جامعة بغداد

لأكمال متطلبات نيل درجة الدكتوراه في فلسفة الفيزياء

من قبل

حيدر صاحي حسين

بكالوريوس / 1992

ماجستير / 2009

بإشراف

أ. د. كريم علي جاسم

2017 ء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فَقِيلَ يَا رَجُلُ يَا رَجُلُ يَا رَجُلُ يَا رَجُلُ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سورة طه: آية 114
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الإهداء

إلى روح والديّ

قال تعالى بحقهما:

وَأَقْرَبُ رِثَاةٍ (رَبِّهِمَا) وَأَبَاؤُهُمَا
وَأُمَّهُمَا سِرٌّ سِرٌّ سِرٌّ سِرٌّ سِرٌّ سِرٌّ

وإلى زوجتي

وولديّ

(عليّ) و (محمد)

وابنتي

(زهراء) و (شمس)

أهدي لهم ثمرة جهدي

حيدر

أقرار المشرف

أقر بأن أعداد هذه الأطروحة الموسومة " تحضير ودراسة تأثير إضافة كل من (La و In) على المركب فانق التوصيل ($\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta}$) " المقدمة من قبل (حيدر صاحي حسين) جرت تحت اشرافي في قسم الفيزياء - كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم) - جامعة بغداد وهي جزء من متطلبات نيل درجة الدكتوراه في علوم الفيزياء.

المشرف

التوقيع :

الاسم : د. كريم علي جاسم

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: جامعة بغداد/كلية التربية للعلوم الصرفة(ابن الهيثم)

التاريخ: / / 2017م

PDF Reducer Demo

توصية رئيس قسم الفيزياء

أشارة إلى التوصية المقدمة من قبل الأستاذ المشرف أشرح هذه الأطروحة للمناقشة.

التوقيع :

الاسم : د. كريم علي جاسم

المرتبة العلمية : أستاذ

العنوان: كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم)

التاريخ: / / 2017م

أقرار لجنة المناقشة

نحن أعضاء لجنة المناقشة الموقعين أدناه نقر ونشهد بأننا أطلعنا على هذه الأطروحة الموسومة (تحضير ودراسة تأثير إضافة كل من (In و La) على المركب فانق التوصيل $(Bi_{2-x}In_xSr_2Ca_2Cu_{3-y}La_yO_{10+\delta})$) والمقدمة من قبل الطالب (حيدر صاحي حسين) وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها وفيما له علاقة بها و انها جديرة بالقبول لنيل درجة الدكتوراه في فلسفة علوم الفيزياء (الحالة الصلبة والمواد) وبتقدير (امتياز) في يوم الخميس 2017/10/26 .

رئيس اللجنة

التوقيع: 

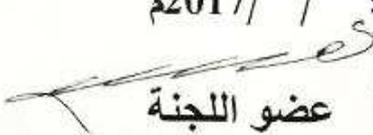
الاسم: د. تحسين حسين مبارك

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: جامعة ديالى/كلية العلوم.

التاريخ: / / 2017م

عضو اللجنة

التوقيع: 

الاسم: د. بهجت بهلول كاظم

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: الجامعة المستنصرية

كلية العلوم.

التاريخ: / / 2017م

عضو اللجنة

التوقيع: 

الاسم: د. طارق جعفر علوان

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: الجامعة المستنصرية

كلية التربية.

التاريخ: / / 2017م

عضو اللجنة (المشرف)

التوقيع: 

الاسم: د. كريم علي جاسم

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: جامعة بغداد/كلية التربية

للعلوم الصرفة (أبن الهيثم).

التاريخ: / / 2017م

عضو اللجنة

التوقيع: 

الاسم: د. محمد عبد النبي ثجيل

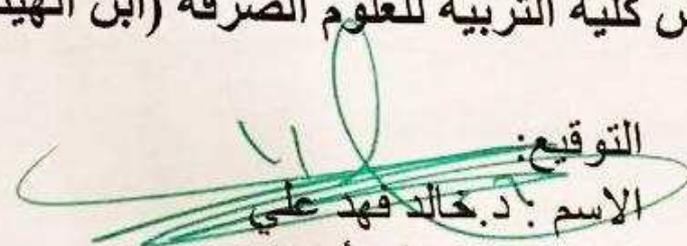
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: جامعة بغداد/كلية التربية

للعلوم الصرفة (أبن الهيثم).

التاريخ: / / 2017م

صدقت من قبل مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة (أبن الهيثم)/جامعة بغداد.

التوقيع: 

الاسم: د. خالد فهد علي

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: عميد كلية التربية للعلوم الصرفة (أبن الهيثم).

التاريخ: / / 2017م

شكر وتقدير

أول الشكر الحمد لله العليم الحميد على لطفه معي طوال أيام الدراسة وتوفيقه على تجاوز كل الصعاب بحول منه وقوة وعلى إتمام هذه الأطروحة وأسأله وعده بان يزيدنا من فضله ما احتجنا ومن علمه ما جهلنا .

والباحث إذ ينتهي من كتابة هذه الأطروحة يجد من واجب الوفاء ان يوجه تحية اجلالا وإكبار واعتزازا كبير لبدي العزيز العراق العظيم والشكر جزيل الشكر والتقدير الى عمادة كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم)/جامعة بغداد لإتاحتها الفرصة لإكمال دراستي العليا وأخص بالذكر قسم الفيزياء متمثلا برئيسه الأستاذ الدكتور كريم علي جاسم الذي قام متفضلا بقبول الإشراف على هذه الأطروحة ولم يبخل عليّ بالجهد والوقت وشملي برعايته العلمية. وكان بفضل توجيهاته السديدة وإرشاداته القيمة الأثر الكبير في انجاز هذه الأطروحة وإخراجها بصورتها التي هي عليها الآن.

وأقدم الشكر خالصاً الى رئيس لجنة المناقشة وأعضائها لتفضلهم بقبول قراءة موضوع الأطروحة ومناقشتها.

وكذلك شكري وتقديري الى كل اعضاء الهيئة التدريسية في قسم الفيزياء في كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم) - جامعة بغداد - لما أبدوه لي من مساعدة طوال مدة دراستي.

وكذلك أتقدم بالشكر الجزيل إلى الأخت والزميطة الدكتورة شذى هاشم مهدي التي رافقتني خطوة بخطوة طوال مدة البحث ولم تبخل عليّ بنصيحة أو معلومة علمية.

كما أتقدم بوافر الشكر والتقدير إلى أخوتي وزملائي في الدراسات العليا في كلية التربية ابن الهيثم وأخص بالذكر الأستاذ (سرمد مهدي علي) والأستاذ (طاهر حمد محمود) والأخت الست (تغريد عبد الجبار يونس) على تعاونهم اللامحدود معي والذين كانوا رفقاء الرحلة بكل ما فيها من مشقة وعناء وفرح وسرور.

ومن واجب الوفاء والعرفان والامتنان ان أتقدم بأسمى احساس من الشكر الى زوجتي الغالية لما تحملته معي من عناء وصبر جميل وتعاونها معي في تذليل الصعوبات التي واجهتني في مدة البحث.

وأخيراً اشكر كل من أسدى لي نصحاً أو عوناً أو رفع يده بالدعاء لي بالتوفيق و أرجو من الله العزيز الكريم ان اكون قد أوفيت الجميع حقهم وان قصرت أو نسيت فأن الله خير مجازٍ لهم عني خير الجزاء انه سميع مجيب.

الخلاصة

يتضمن العمل الحالي دراسة تأثير الاستبدال الجزئي لكل من الانديوم (In) بدلا من البزموت (Bi) واللانثانيوم (La) بدلا من النحاس (Cu) على الخواص التركيبية والخواص فائقة التوصيل، والخواص العزلية عند درجة حرارة الغرفة ومدى تردد (50Hz-1MHz) للمركب فائق التوصيل ($\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta}$)، حيث ان $(x=0,0.05,0.1,0.15,0.2)$ و $(y=0,0.05,0.1,0.15,0.2)$ وان كل قيمة من (x) اخذت كل القيم من (y) . وتهدف هذه الدراسة الى التحري عن الظروف ونسب الاستبدال المثلى لتشكيل الطور العالي (Bi-2223) واستقراره ومحاولة الحصول على اعلى درجة حرارة انتقال حرجة (High-T_c)، وكذلك لمعرفة المديات الترددية التي من الممكن ان تعمل بها هذه العينات في الظروف الاعتيادية. حضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة، وذلك باستخدام اوزان مناسبة من مساحيق اكاسيد عالية النقاوة من ($\text{Bi}_2\text{O}_3, \text{SrO}, \text{CaO}, \text{CuO}, \text{La}_2\text{O}_3, \text{In}_2\text{O}_3$). تم خلط المساحيق على مرحلتين، المرحلة الاولى باستخدام الهاون اليدوي ولمدة نصف ساعة و المرحلة الثانية تمت باستخدام خلاط كهربائي دوامي ولمدة (6hr)، ثم كبست خلطات المساحيق الناتجة باستخدام مكبس هيدروليكي تحت ضغط كبس مقدارها ($7\text{ton}/\text{cm}^2$) ولمدة دقيقة واحدة، على شكل أقراص ذات قطر (1.5cm) وسمك يتراوح بين (0.15-0.25cm). تم تلييد العينات في الهواء الاعتيادي وتحت درجة حرارة (750°C) ولمدة (140hr) وبمعدل تسخين ($5^\circ\text{C}/\text{min}$) وذلك للحصول على مادة مترابطة ولضمان عملية انتشار تدريجي امثل بين الذرات. ثم بعد ذلك تم تبريد العينات إلى درجة حرارة الغرفة بمعدل التسخين نفسه. اظهرت نتائج فحص حيود الاشعة السينية (XRD) في جميع العينات نظاما بلوريا معيني قائم (Orthorhombic)، وبينت احتواءها على النسبة الكبرى من الطور النقي (Bi-2223) مع نسب قليلة من الأطوار الواطئة (Bi-2201، Bi-2212) مع ظهور بعض الشوائب، وان اعلى نسبة للطور (Bi-2223) كانت للعيونة ذات ($x=0.2, y=0.15$) التي تساوي (90.933%) وامتازت بخلوها من الشوائب. كما اظهرت نتائج قياس ثوابت الشبيكة (a, b, c) وحساب النسبة (c/a) وحساب كثافة وحدة الخليئة ان العينة ذات ($x=0.1, y=0.15$) تمتلك اعلى قيمة

للمحور (c) ($c=37.8075\text{Å}^\circ$) و اعلى قيمة للنسبة (c/a) (10.456)، بينما تمتلك العينة ذات ($x=0.15, y=0.15$) اعلى قيمة لكثافة وحدة الخلية ($d_m=4.591\text{g/cm}^3$). ومن خلال التحري عن سلوك العينات من حيث تغير المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة باستخدام تقنية المجسات الاربعة (Four-Probe Technique) حصلنا على قيم درجات حرارة الانتقال الحرجة، وقيم فجوة الطاقة و تركيز الفجوات في العينة، حيث ابدت العينات وهي ($x=0, y=0.05$)، ($x=0, y=0.1$) و ($x=0.15, y=0.1$) سلوكا شبه موصل، بينما ابدت باقي العينات سلوكا فائق التوصيل ودرجة الحرارة الحرجة العليا تم الحصول عليها في العينة ($x=0.2, y=0.15$) حيث كانت تساوي ($T_c=130.7\text{K}$) والتي امتازت كذلك بأعلى قيمة لفجوة الطاقة ($E_g=0.0397\text{eV}$) واعلى تركيز للفجوات. اما الخواص العزلية للعينات التي تتضمن (ثابت العزل الحقيقي، وثابت العزل الخيالي، والفقدان العزلي، والتوصيلية الكهربائية المتناوبة) فقد تمت دراستها كدالة للتردد وللمدى (50Hz-1MHz) في درجة حرارة الغرفة، وقد لوحظ ان هناك تغيرا واضحا في الخواص العزلية بزيادة تركيز كل من الانديوم (In) واللانثانيوم (La)، و ان كل من ثابت العزل الكهربائي (الحقيقي و الخيالي) ظل الفقد العزلي يقلان مع زيادة التردد ويبدأن بالاستقرار بعد تردد ($\sim 10\text{KHz}$) وان التوصيلية الكهربائية المتناوبة تزداد بازدياد التردد. ومنه نستنتج ان الخواص العزلية ولجميع العينات تعتمد كثيرا على كل من نسبة الاستبدال وكذلك على التردد. وقد لوحظ ان تاثير استبدال اللانثانيوم بدلا من النحاس بثبوت نسبة الانديوم كان ذا اثر سلبي اكبر من استبدال الانديوم بدلا من البزموت بثبوت نسبة اللانثانيوم وعلى جميع الخواص من حيث التركيب وكذلك من حيث درجات الحرارة الحرجة ومن حيث الخواص العزلية وان الاستبدال اللانثانيوم بدلا من النحاس يؤدي الى التدهور في الخواص فائقة التوصيل، وبالتالي فان النظام فائق التوصيل (BSCCO) يكون حساس جدا للاستبدال باللانثانيوم، وكذلك ان التغيرات التي حدثت على العينات نتيجة الاستبدال بالانديوم بدلا من البزموت بثبوت نسبة اللانثانيوم كانت ذات مؤشرات ودلالات ممنهجة اكثر من استبدال اللانثانيوم بدلا من النحاس وبثبوت نسبة الانديوم.

قائمة الرموز *List of Symbols*

المعنى الفيزيائي	الرمز	Term
درجة الحرارة الحرجة	T_c	<i>Critical temperature</i>
المجال المغناطيسي الحرج	H_c	<i>Critical magnetic</i>
التمغظ	M	<i>Magnetization</i>
القابلية المغناطيسية	χ_m	<i>Magnetic susceptibility</i>
كثافة التدفق المغناطيسي داخل المادة	B_{int}	<i>Internal magnetic flux density</i>
كثافة التدفق المغناطيسي الخارجي	B_{ext}	<i>External magnetic flux density</i>
نفاذية الفضاء الحر	μ_0	<i>Permeability of free space</i>
كثافة التيار الفائق	J_s	<i>Supercurrent density</i>
عمق اختراق لندن	λ	<i>London penetration depth</i>
معامل لانداو-كينزنبيرك	k	<i>Ginzburg-landau parameter</i>
طاقة جيبس الحرة	G	<i>Gibbs free energy</i>
الانثاليبي	H	<i>Enthalpy</i>
الانتروبي	S	<i>Entropy</i>
تردد ديبياي	ω_D	<i>Debye frequency</i>
طاقة التنشيط	E_a	<i>Activation energy</i>
ثابت بولتزمان	K_B	<i>Boltzman constant</i>
عامل التحمل	t	<i>Tolerance factor</i>
فجوة الطاقة	Δ	<i>Energy gap</i>

المقاومية الكهربائية	ρ	Resistivity
حيود الأشعة السينية	XRD	X-Ray diffraction
المجال المغناطيسي الحرج	H_c	Critical magnetic field
التيار الحرج	I_c	Critical Current
المجال المغناطيسي الخارجي	H	External magnetic field
كتلة الإلكترون	m	Mass of electron
الكتلة الفعالة للإلكترون	m^*	Effective mass of electron
الكثافة الموضعية للحاملات الفائقة التوصيل	n_s	The local density of superconducting carriers
طول التشابك	ξ	The coherence length
فجوة الطاقة فائقة التوصيل	E_g	Superconducting energy gap
كتلة النظير	M	Isotopic masses
درجة حرارة ديبي	θ_D	Debye temperature.
الطاقة الداخلية	U	internal energy
الضغط	P	Pressure
الحجم	V	Volume
الحرارة النوعية	C	specific heats
الحرارة النوعية الإلكترونية الفائقة التوصيل	$(C_{el})_s$	electronic specific heat of superconductor
الموصلات الفائقة عالية درجة الحرارة	HTSC	High Temperature Superconductor
الطور واطئ درجة الحرارة الحرجة	LTP	Low – T_c phase
الطور عالي درجة الحرارة الحرجة	HTP	High – T_c phase

العدد التناسقي	CN	Coordination number
النظام فائق التوصيل (BSCCO)	BSCCO	$Bi_2Sr_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4+\delta}$ System
معاملات الشبكة	a, b, c	Lattice parameters
معاملات ميلر	hkl	Miller index
عدد أفوكادرو	N_A	Avogadro's number
نسبة الاطوار	V_{ph}	volume fraction of the phases
محتوى الاوكسجين الاضافي	δ	Excess of oxygen content
الوزن الذري	W	Atomic Weight
الكثافة الكتلية	d_m	Density
التيار المار خلال العينة	I	the current passing through the sample
انخفاض الفولتية عبر الاقطاب	V	the voltage drop across the electrodes
سمك العينة	t	thickness of the sample
طول العينة	L	length of the sample
عرض العينة	w	width of the sample
درجة حرارة التحول الابتدائية	T_{c1}	onset of the transition temperature
درجة حرارة التحول النهائية (عندما المقاومة = صفر)	T_{c2}	offset of the transition temperature at the zero resistivity point
ثابت العزل الكهربائي الحقيقي	ϵ'_r	Real dielectric constant
ثابت العزل الكهربائي الخيالي	ϵ''	Imaginary dielectric constant
ظل الفقد	$\tan\delta$	Loss tangent
التوصيلية الكهربائية المتناوبة	σ_{ac}	Alternate electrical conductivity

كثافة الحالة عند مستوى فيرمي	$N(E_F)$	<i>Density of state at the Fermi level</i>
دالة الموجة	ψ	<i>Wave function</i>
اداة التداخل الكمية فائقة التوصيل	<i>SQUIDS</i>	<i>Superconducting Quantum Interference Devices.</i>
التصوير الرنيني المغناطيسي	<i>MRI</i>	<i>Magnetic Resonance Imaging.</i>
تركيز الفجوات	p	<i>Hole concentration</i>

قائمة المحتويات
List Of Contents

رقم الصفحة	التسلسل	اسم الموضوع
الفصل الأول - المقدمة والدراسات السابقة		
1	1-1	المقدمة
5	1-2	الدراسات السابقة
23	1-3	الهدف من البحث
الفصل الثاني - الجانب النظري		
25	2-1	لمحة تاريخية
31	2-2	حدوث التوصيلية الفائقة
31	2-3	خواص المواد فائقة التوصيل
32	2-4	درجة الحرارة الحرجة
33	2-5	كثافة التيار الحرج
34	2-6	المجال المغناطيسي الحرج
35	2-7	المقاومية الكهربائية
36	2-8	تأثير مازنر
37	2-9	اساسيات التوصيلية الفائقة

37	2-9-1	انتقال الحرارة
38	2-9-2	ازواج كوبر
38	2-9-3	طول التشاكه
38	2-9-4	عمق الاختراق
39	2-9-5	تأثير الضغط
40	2-9-6	تأثير النظير
40	2-9-7	فجوة الطاقة
41	2-9-8	تأثير جوزيفسون
42	2-10	نظرية (BCS)
46	2-11	انواع الموصلات الفائقة
49	2-12	نظريات الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة الواطئة
49	2-12-1	انموذج المائعين
51	2-12-2	معادلة لندن
53	2-12-3	نظرية كينزينبرك-لانداو
55	2-13	الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية
58	2-14	تراكيب البيروفسكايت

59	2-15	التركيب البلوري للنظام فائق التوصيل (BSCCO)
64	2-16	نظريات الموصلات الفائقة ذات درجات حرارة انتقال عالية
65	2-17	اليات الازدواج في (HTSC)
65	2-18	الاليات النوعية للازدواج في التوصيلية الفائقة
66	2-19	الية الازدواج المغناطيسية
67	2-20	الية الاكسيتون للازدواج
68	2-21	الية البلازمون للازدواج
69	2-22	الية ثنائي القطب في التوصيلية الفائقة
71	2-23	تفاعلات الشبكة-الكترن
71	2-24	نظرية التيارات الدوارة
72	2-25	فجوة الطاقة في المواد فائقة التوصيل
75	2-26	الفجوة الكاذبة
77	2-27	نظرية برم الالكترن
77	2-28	انموذج ازدواج الطبقات البينية
78	2-29	انموذج تقلبات البرم
78	2-30	انموذج تماثل الازدواج

79	2-31	انموذج غودارد
80	2-32	انموذج نقص الاوكسجين
80	2-33	انموذج البعد الواحد
81	2-34	التحريكيات الحرارية
81	2-35	التحريكيات الحرارية للانتقالات فائقة التوصيل
83	2-36	اختلاف الانتروبي والحرارة النوعية
83	2-37	انتقال الطور
86	2-38	تشكيل الطور
88	2-39	المخطط الطوري للموصلات الفائقة المعتمدة على (CuO)
91	2-40	تطبيقات المواد فائقة التوصيل عالية درجات الحرارة
الفصل الثالث - الجانب العملي		
95	3-1	المقدمة
95	3-2	تهئية المواد الاولية
96	3-3	تحضير العينات
96	3-3-1	تهئية الخلطات
98	3-3-2	عملية الخلط والطحن

98	3-3-3	تشكيل العينات
99	3-3-4	عملية التليد
99	3-4	الفحوصات والقياسات
99	3-4-1	فحوصات حيود الاشعة السينية
100	3-4-2	فحوصات المقاومة ودرجة الحرارة الحرجة
103	3-4-3	فحوصات الخواص العزلية
الفصل الرابع - النتائج والمناقشة		
105	4-1	المقدمة
107	4-2	تأثير اضافة اللانثانيوم
107	4-2-1	تحليل حيود الاشعة السينية
129	4-2-2	نتائج فحوصات المقاومة الكهربائية ودرجة الحرارة الحرجة
152	4-2-3	نتائج فحوصات الخواص العزلية
153	4-2-3-1	ثابت العزل الحقيقي
168	4-2-3-2	ثابت العزل الخيالي
178	4-2-3-3	ظل الفقد العزلي
190	4-2-3-4	التوصيلية الكهربائية المتناوبة

203	4-3	تأثير اضافة الانديوم
203	4-3-1	نتائج فحوصات (XRD)
213	4-3-2	نتائج فحوصات المقاومة الكهربائية ودرجة الحرارة الحرجة
221	4-3-3	نتائج فحوصات الخواص العزلية
221	4-3-3-1	ثابت العزل الحق+يقي
224	4-3-3-2	ثابت العزل الخيالي
228	4-3-3-3	ظل الفقد العزلي
231	4-3-3-4	التوصيلية المتناوبة
الفصل الخامس - الاستنتاجات والدراسات المستقبلية		
236	5-1	الاستنتاجات
239	5-2	الدراسات المستقبلية
240		المصادر

الفصل الأول

المقدمة والدراسات السابقة

*Introduction and Literatures
Survey*

Introduction

1-1 المقدمة

من المعلوم ان المواد بصورة عامة تصنف من حيث توصيليتها الكهربائية الى مواد موصلة ومواد شبه موصلة ومواد عازلة ،حيث اعتمد هذا التصنيف اساسا على الطبيعة التركيبية للمادة وكذلك مدى قوة ارتباط الكترونات ذراتها بالنواة، وهناك نوع اخر من المواد الذي كان له تأثير كبير في جذب انتباه الباحثين المختصين في فيزياء الحالة الصلبة وهو ما يسمى بالمواد فائقة التوصيل (Superconductor Materials)، والتي شهدت تطبيقات علمية وعملية كثيرة وواسعة في العديد من المجالات والخدمات التي سوف تشكل ثورة عظيمة في السنوات القادمة. وعلى مر التاريخ فان البحث والاكتشاف عن مواد جديدة لأغناء المتطلبات والتطورات التي يمر بها الانسان وتوفير الوقت والجهد والتكلفة عليه كان مستمرا ومن بين هذه الاكتشافات التي تمتاز بأهميتها الكبيرة هي المواد فائقة التوصيل، حيث ان البحث في هذا النوع من المواد ليس هدفه الحصول على درجة حرارة عالية فقط وإنما من اجل توسيع القاعدة المعلوماتية في علم المواد التي من شأنها ان تحسن من التطبيقات التكنولوجية والهندسية للمواد.

ان المواد فائقة التوصيل تعد واحدة من المواد الواعدة جدا في تطبيقات الاداء الكهربائي والالكتروني العالي. وان اكتشاف المركبات السيراميكية فائقة التوصيل ذات درجات الحرارة العالية (HTSC) قد فجرت الشرارة الاولى لثورة جديدة في علم تكنولوجيا المواد والتطبيقات الصناعية.

ومن الجدير بالذكر ان دراسة عمليات الاستبدال وطرائقها او اضافة العناصر ممكن ان يعطينا أملا ويفتح لنا افاقا اكثر في فهم الاليات التي تحدث عندها التوصيلية الفائقة في العناصر والمركبات وخصوصا تلك التي تعتمد في تركيبها على اوكسيد النحاس (Cuprates).

وعلى الرغم من البحوث العديدة التي تناولت عمليات الاستبدال والإضافة إلا انه لم يتم التوصل الى منهجيات وآليات محددة ممكن اتباعها في عمليات اضافة العناصر واستبدالها في مثل هذا النوع من المواد حتى الان ، ومن هذا المنطلق جاء الحافز والدافع في اثناء العمليات البحثية من خلال جهدنا المتواضع هذا متمنين تحقيق الهدف ان شاء الله.

لقد كان ومازال لمفهوم فائقية التوصيل الامل النافذ في التكنولوجيا والتقدم نحو استخدام الاساليب والطرائق التي من شأنها ان تخفف من استهلاك المواد والطاقة ، وهي التي تم اكتشافها في عام 1911 على يد الفيزيائي الهولندي كامير لنك اونيس والتي تمت من خلال دراسته للخواص الكهربائية لعنصر الزئبق (Hg) والذي لاحظ اختفاء المقاومة عند درجة حرارة تقترب جدا من الصفر المطلق ، ثم بعدها بعام واحد اكتشف اونيس ان تطبيق حقل مغناطيسي قوي بما فيه الكفاية يمكن ان يرجع قيمة المقاومة الى قيمتها الطبيعية ، بالإضافة الى خاصية فقدان المقاومة ($\rho=0$)، وفي عام 1913 وجد بان عنصر الرصاص (Pb) هو ايضا فائق التوصيل عند درجة حرارة اكبر بقليل من درجة الحرارة الحرجة للزئبق، وفي عام 1930 اكتشف ان درجة الحرارة الحرجة للنوبوميوم (Nb) أعلى من كل من الزئبق والرصاص وقد سجلت كأعلى درجة حرارة انتقال بين كل العناصر المعدنية آنذاك.

هنالك خاصية اخرى مميزة للمواد فائقة التوصيل وهي انها تكون مواد دايمغناطيسية تماما وهذا الاكتشاف تم اكتشافه من قبل الباحثين مازنر و اوخنسفيد في عام 1933 م واللذين لاحظا فيه ان مجالا مغناطيسيا ضعيفا يطرد من الموصل فائق التوصيل عندما يتم تبريده الى درجة حرارة تحت درجة حرارة معينة، وهذا التأثير سمي بتأثير مازنر او اوخنسفيد، والذي يحصل متى ما وجد حقل مغناطيسي قوي بما فيه الكفاية للتغلب على قوى الجاذبية. وبالمثل فان خط انتقال التوصيلية الفائقة ممكن ان يقود الى الحالة الطبيعية من المادة بوساطة تيار كهربائي كبير بما فيه الكفاية والذي يحصل فيه الانتقال بشدة .

مما سبق ذكره يمكننا ان نعرف ظاهرة التوصيلية الكهربائية الفائقة و (هي ظاهرة فيزيائية كهربائية تحصل عند تواشج ظروف معينة من حيث درجة الحرارة وكثافة التيار والمجال المغناطيسي آنيا وتحت التبريد الشديد والذي يوفر مسارا سريعا ومثاليا لانتقال حاملات الشحنة بعيدا عن اي اعاقه او عرقلة داخل المادة) .

من المعلوم ان مصدر المقاومة الكهربائية في المعادن هو تصادم الالكترونات الحرة سواء مع الشبكة البلورية او مع العيوب والشوائب ، (اذ يؤدي ذلك الى استقرار المقاومة على قيمة دنيا لا تتعلق بدرجة الحرارة)، وان الذي يؤشر على وجود المقاومة هو تغير متجه اندفاع الالكترون بعد كل تصادم. اما في حالة التوصيل الفائق فان الالكترونات تتربط فيما بينها لتشكل ازواجا من الالكترونات ، وان تشكيل هذه الازواج يعمل على خفض طاقة هذه الالكترونات. علما انه في المواد المعدنية الاعتيادية تنخفض المقاومة بصورة تدريجية مع انخفاض درجات الحرارة وان الشوائب الموجودة في المواد الموصلة مثل الفضة والنحاس هي التي تعرقل وتعاكس الوصول الى ادنى حد من المقاومة في درجات الحرارة المنخفضة ، اما في حالة التوصيل الفائق فان اهم ما يميز المواد فائقة التوصيل هو الانخفاض المفاجئ في قيمة المقاومة اذ تنخفض قيمتها وبصورة سريعة ومفاجئة الى الصفر عندما يتم تبريد المادة الى درجة حرارة اقل من درجة حرارتها الحرجة ، حيث تتصرف الالكترونات في المواد فائقة التوصيل بطريقة مختلفة جدا عن تلك الموجودة في المعادن العادية ، اذ تنتقل ازواج الالكترونات عبر تلك المواد مع بعضها البعض الامر الذي يتيح لها التحرك بسهولة من طرف الى اخر مشابهة بذلك حركة السيارات المتميزة بأولوية العبور لطريق مزدحم وسريع حيث يكون للالكترونات المتزاوجة مسار خاص داخل المادة من دون ان تعاني من تصادمات مع نوى الذرات ، في حين تبقى الالكترونات المنفردة عالقة بالزحام حيث تعاني من مقاومة عالية بسبب تصادماتها المستمرة مع نوى الذرات مما يجعل حركتها داخل المادة محاطة بالتصادمات الكثيرة.

ان اغلب المواد التي تسلك سلوك التوصيل الفائق عند تبريدها يتم بوساطة الهليوم السائل او النتروجين السائل ، وان درجة الحرارة التي تتحول فيها المادة الى حالة التوصيل الفائق تسمى بدرجة الحرارة الحرجة (T_c) Critical Temperature) وكثافة التيار تسمى بكثافة التيار الحرج (J_c) Critical Current Density) والمجال المغناطيسي يسمى بالمجال المغناطيسي الحرج (H_c) Critical Magnetic Field). وان اي اختلال في اي عامل من هذه العوامل الفيزيائية الحرجة فانه يسبب تثبيطا وهدم لظاهرة التوصيل الفائق في المادة .

ان للمواد فائقة التوصيل صفات كهرومغناطيسية مهمة جدا سواء فيما يتعلق بخواصها او تطبيقاتها من حيث ان سلوكها الكهربائي (فقدان المقاومة الكهربائية) وسلوكها المغناطيسي (طرد المجال المغناطيسي) هما السمتان البارزتان واللتان جعلت منها مواد ذات تطبيقات علمية وتكنولوجية واسعة ، ومنها دخولها في مجال تطبيقات الطاقات المتجددة والمستمرة حيث انها تعمل على خفض مقدار الضياع بالطاقة وبشكل كبير جدا ، لأننا نعلم ان معظم الضياع الذي يحدث بالطاقة هو بسبب المقاومة الكهربائية للتيار وكذلك الضياع بسبب المجال الكهربائي الذي اعتاد على التغلغل في المادة ، ولهذا فان المواد فائقة التوصيل تعد مهمة لتكون الامل الكبير لمستقبل تكنولوجي خال من هدر الطاقة.

وعلى الرغم من حقيقة ظاهرة التوصيل الفائق كظاهرة فيزيائية وعلمية بارزة في وقتنا الحاضر، الا انني مفتون بها كونها تمثل لغزا علميا كبيرا يعطي افقا واسعا وأفكارا لا متناهية في عملية التفكير والبحث للوصول الى ادق واقرب التفسير العلمية لحقيقة حصولها داخل المادة ، ومع تواصل المحاولات في دراستها من اجل الحصول على مواد فائقة التوصيل في درجة حرارة الغرفة ($300K$)، لكنها كانت وما زالت مهمة صعبة جدا للأسف حيث تؤدي درجة الحرارة المرتفعة نسبيا الى تدمير الروابط بين الالكترونات المكونة للأزواج فائقة التوصيل لتعود بذلك المادة الى حالتها الطبيعية وتنشأ احدى التحديات الكبرى في هذا

المجال عن حقيقة اننا لم نفهم الى الان الكثير من هذه الروابط بين الالكترونات في الازواج فائقة التوصيل الا في حالات قليلة محدودة .

وتعد ظاهرة التوصيلية الفائقة هي الظاهرة الانفرادية الالهة و الاقوى في الطبيعة ،حيث بعد تقريبا قرن من اكتشافها لأول مرة بدأت الاستعمالات والاستثمارات التجارية لها ، وفي فجر القرن العشرين شكلت التوصيلية الفائقة قاعدة للمنتجات التجارية التي حولت وغيرت اقتصادنا وحياتنا اليومية.

ان تاريخ فرط التوصيل كظاهرة فيزيائية غني جدا لما تتضمنه من العديد من الاحداث والاكتشافات ، لذا ليس من المحتمل وصف لكل الاحداث والتطورات التي مرت بها في هذه الاطروحة وهناك بعض الكتب والأدبيات التي اخصت بدراسة تاريخ هذه الظاهرة وخواصها التي تثير اهتمام القارئ للمعرفة اكثر عن هذه الظاهرة ، لهذا فأنا وبجهدنا المتواضع هذا سوف نناقش بعين الصقر ظاهرة التوصيل الكهربائي الفائق للنظام (BSCCO) وبالأخص الطور (Bi-2223). متمنيا ان تكون اطروحتي هذه جزء من هذه المعرفة.

1-2 الدراسات السابقة Previous Studies

ان الطور الثالث (Bi-2223) ذو درجة الحرارة العالية (T_c -High) من النظام فائق التوصيل (BSCCO) له اهمية كبيرة في التطبيقات العملية ويعتبر من المواد الصديقة للبيئة وكذلك يمتلك كثافة تيار حرج عالية وقدرة تحمل عالية للمجالات المغناطيسية مقارنة بباقي الانظمة فائقة التوصيل ، لذا كان له الحظ الاوفر والأكبر في البحوث والدراسات التي سوف نتناول بعضها منها:

1. عام (1988)، Maeda et al، وجدوا انه عند اضافة (Ca) الى نظام (BSCCO) ينتج منه مادة تمتلك درجة انتقال حرجة (T_c) التي هي اعلى من درجة حرارة غليان النتروجين السائل وهذه الاكاسيد مميزة في نظام (BiSrCuO) وهي كالاتي:

- ، وتكون درجة حرارة الانتقال في المدى (7-22K) ،
 ، وتكون درجة حرارة الانتقال الحرجة في المدى (80-85K) ،
 ، وتكون درجة حرارة الانتقال في المدى (110K). [1].
2. عام (1989)، Bhan et al، قاموا بدراسة تأثير جو الفرن على تشكيل الطور العالي (High-T_c) للمركب السيراميكي فائق التوصيل (Bi (Pb)-Sr-Ca-Cu-O)، ووجدوا ان افضل جو ملائمة لتشكيل الطور العالي للنظام فائق التوصيل (BSCCO) هو جو الهواء الاعتيادي. [2]
3. عام (1992)، De Biasi et al، قاموا بالدراسة والتحقق من المواد فائقة التوصيل متعددة الاطوار ذات الاساس البزموت ووجدوا ان النتائج مشابهة لما وجدوه (1988) (Maeda et al)، حيث قاموا باستخدام تقنية امتصاص الاشعة المايكرويف وتبين لهم ان النسبة الحجمية للطور (Bi-2223) تزداد مع زيادة زمن التلدين لزمان يصل حتى (224hr) كحد اعلى. وان هذا الطور يبدأ بالتناقص والاختفاء لزمان اكثر من هذا المدى. وهنا اصبح من الواضح ان الخصائص الفيزيائية للمواد فائقة التوصيل تعتمد بصورة كبيرة ليس فقط على العناصر المكونة للمركب وانما ايضا تعتمد على تفاصيل التحضير وظروفه. [3]
4. عام (1995)، R.K.Nkum & W.R.Datars، قاموا بدراسة تأثير اضافة الانديوم (In) على النظام السيراميكي فائق التوصيل وهو $(\text{Bi}_{1.84}\text{Pb}_{0.34}\text{Sr}_{1.91}\text{Ca}_{2.03}\text{Cu}_{3.06}\text{In}_x\text{O}_y)$ حيث ان (x=0,0.02,0.05)، وحضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة، وقد اظهرت فحوصات (XRD) وجود الطورين (Bi-2212, Bi-2223) مع عدم وجود اي اطوار للشوائب عائدة الى اي من الاكاسيد المستعملة وهذه اشارة الى ان المادة المضافة اتحدت مع التركيب البلوري ووجدوا ان النسبة الحجمية للطور (Bi-2223) تقل مع زيادة تركيز الانديوم (In)، اما

فحوصات المقاومة الكهربائية فقد بينت ان درجة حرارة الانتقال ($T_{c(Onset)}$) لجميع العينات تتجه نحو النقصان بزيادة (x)، وقد اظهرت النسبة ($x=0.02$) ان نسبة الطور ($Bi-2223$) كانت تساوي (90.6%) ودرجة حرارة حرجة ($T_c=100.2K$) و ($\Delta T_c=4.70K$) وقد وجدوا ان قيمة ($T_{c(Offset)}$) تقل مع ازدياد (x). [4]

5. عام (1999)، H.Jin&J.Kotzkr، قاموا بدراسة تاثير الاستبدال الجزئي لللانثانيوم على خواص المركب فائق التوصيل ($Bi_2Sr_2(Ca_{1-x}La_x)Cu_2O_{8+\delta}$)، وقد حضرت العينات بطريقة التدفق الذاتي (Self-Flux Method)، وقد اظهرت النتائج تقلص في المحور (c) وظهور الطور ($Bi-2201$) وعدم الاستقرار في التركيب وكذلك نقصان في درجة حرارة الانتقال الحرجة بزيادة تركيز اللانثانيوم وانعدام الاستقرار في التركيب وهذه تعزى الى استبدال الايون (La^{+3}) الكبير بدلا من ايون (Ca^{+2}) والتي أسهمت في تدهور الخواص فائقة التوصيل ونقصان في درجة الحرارة الحرجة. [5]

6. عام (2000)، Dawud، قام بدراسة تأثير تغير (n) وازدادة (Pb) في سلوك النظام السيراميكي فائق التوصيل (HTSC) ($Bi_2Sr_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4}$) حيث قام بتحضير نوعين من النماذج بوساطة طريقة تفاعل الحالة الصلبة حيث كان النوع الاول من دون اضافة (PbO) والنوع الثاني مع اضافة (PbO) بنسبة (5%) من المسحوق المكلسن، وقد اظهرت النتائج الحصول على (T_c) عالية للنماذج الخالية من (Pb) حيث كانت ($T_c=105K$)، بينما النماذج التي تحتوي على (Pb) كانت بحدود ($T_c=130K$) وكانت ملبدة عند درجة حرارة ($845-848^\circ C$) وتحت مستوى واطئ من الاوكسجين ولوحظ ايضا ان درجة حرارة الانتقال الحرجة تزداد مع زيادة (n) لحد وصولها (3.5)، وان زيادة اكثر في (n) لقيمة اكثر من (4) فان لها تأثير سلبي على قيمة (T_c). [6]

7. عام (2001)، Hermiz، قام بدراسة تحضير (HTSC) مع تركيب اساسي ($(Bi_{1-x}Pb_x)_2(Sr_{1-y}Ba_y)_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta}$) حيث ان ($0 < x < 0.5$)، ($0 < y < 0.5$)

بوساطة طريقة تفاعل الحالة الصلبة وكذلك قام بدراسة تأثير الاستبدال (Pb) بدلا من (Bi) و (Ba) بدلا من (Sr) وزمن التلييد ودرجة حرارة التلييد والإخماد ومحتوى الاوكسجين على خواص فائقة التوصيل للحصول على الشروط المثلى للتشكيل و الاستقرارية للطور العالي (Bi-2223)، وقد تبين من فحوصات (XRD) ان النماذج احتوت على طورين هما (Bi-2223) و (Bi-2212) مع وجود بعض الشوائب، وكذلك

وجد ان افضل قيمة لـ (T_c) كانت (122K) للتركيب $(x=0.2, y=0.1)$. [7]

8. عام (2002)، AL-Abodi، تمت فيها دراسة تأثير استبدال كل من (La) بدلا من (Bi) و (Sm) بدلا من (Sr) في المركب السيراميكي فائق التوصيل $(Bi_{2-x}La_xSr_{2-y}Sm_yCa_2Cu_3O_{10+\delta})$ على درجة الحرارة الحرجة، اذ حضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة وقد تمت دراسة تأثير طريقة التبريد بعد عملية التلييد على درجة الحرارة الحرجة وعلى سلوك المركب حيث قسمت العينات الى ثلاث مجاميع هي ان الاولى بردت في الفرن والثانية بردت بأسلوب الاخماد في الهواء والثالثة بردت بأسلوب الاخماد في النتروجين السائل وقد وجد بان العينات المبردة في الهواء كانت ذات انتقال فائق التوصيل حاد وطور (High- T_c) عالي اكثر من العينات المبردة في الفرن، وقد وجد انه عند زيادة تركيز كل من (La, Sm) فان المقاومة الكهربائية تزداد ويتحول المركب الى السلوك شبه الموصل، و كذلك وجد ان قيمة درجة الحرارة الحرجة

تزداد بزيادة طول معامل الشبكة (c) وانها تقل بزيادة تركيز (La, Sm). [8]

9. عام (2002)، Nkum et al، قاموا فيها بدراسة الخواص الانتقالية والخواص العزلية في الحالة الطبيعية للمركب السيراميكي فائق التوصيل المطعم

بالانديوم $(Bi_{1.84}Pb_{0.34}Sr_{1.91}Ca_{2.03}Cu_{3.06}In_xO_y)$ حيث

$(x=0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.15)$ ، و حضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة،

وقد تم دراسة تاثير اضافة الانديوم على كل من ثابت العزل وظل الفقدان العزلي

وتركيز الحاملات للشحنة والمقاومية الكهربائية والتي تم قياسها جميعا عند درجة حرارة الغرفة، وقد اظهرت النتائج زيادة في ثابت العزل مع زيادة (x)، وقد فسر ذلك بسبب زيادة الاستقطاب حيث ان الشوائب في اي شبكة بلورية تسبب عموما تشوه في المنطقة المحيطة والتي تؤدي بالنتيجة الى تعديل في المجالات الموضعية، اما ظل فقدان العزلي فقد امتاز بالنقصان مع زيادة (x) وهذا النقصان يعزى الى النقصان في فقدان العزلي بسبب زيادة (x)، اما تركيز حاملات الشحنة فقد عانى النقصان بزيادة (x) وفسر ذلك على اساس عدم التوازن في الشحنة والذي يؤدي الى نقصان في عدد الفجوات في النظام، ولذلك فان المقاومة الكهربائية عند درجة حرارة (50°C) تزداد مع زيادة (x) اضافة الى انه عند زيادة قيمة (x) اكثر من (0.05) فان المقاومة الكهربائية تزداد بسرعة وهذا السلوك ممكن ان يعزى الى عدم الانتظام في مستويات (Cu-O)، وقد لوحظ ان المقاومة الكهربائية للعينات تمتاز بسلوك معدني عند ارتفاع درجة الحرارة اعلى من درجة حرارة الغرفة. [9]

10. عام (2004)، Liang et al، قاموا بدراسة تطور الطور والتركيب البلوري والخواص فائقة التوصيل للمركب السيراميكي فائق التوصيل ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$) ذي البلورة المفردة، وقد حضرت العينات بطريقة (Travelling Solvent Floating Zone) والتي تم تلدينها تحت ظروف مختلفة من درجة الحرارة في المدى من (430-850°C) وزمن يتراوح بين (120-500hr) وضغط يتراوح بين (1-550bar) ومحيط (O_2, Ar) او خليط من كليهما، وقد اظهرت النتائج ان العينة الملدنة بدرجة حرارة (750°C) وبضغط جوي (1bar) ولمدة (240hr) كانت درجة حرارة الانتقال الحرجة تساوي (109.3K) وطول المحور ($c=37.03\text{\AA}$)، بينما تكون الملدنة بدرجة حرارة (650°C) ولمدة (120hr) فان ($T_c=109.9\text{K}$) وان طول المحور ($c=37.00\text{\AA}$)، وقد بينت فحوصات (XRD) ان العينات كانت ذات تركيب

معيني قائم ويحتوي على الطورين (Bi-2223, Bi-2212)، وقد لوحظ خلال عملية التلدين امكانية تطور الطور من النوع (Bi-2212) الى الطور (Bi-2223) وصولا الى الطور النقي خصوصا اذا كانت نسبة الطور (Bi-2212) اقل من (30%) وان هذه العملية تحدث طبقا لميكانيكية تداخل الطبقات (Layer-intercalation) Mechanism). [10]

11. عام (2005)، Kareem Ali Jassem، تمت فيها دراسة تاثير استبدال كل من (Pb, Hg)، (Ba) بدلا من (Bi)، (Sr) على التوالي على خواص المركب فائق التوصيل $(\text{Bi}_{2-x}(\text{Pb, Hg})_x\text{Sr}_{2-y}\text{Ba}_y\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta})$ حيث $x=0.1, 0.2, 0.25$ ، $y=0.1, 0.2, 0.25$ اخذت جميع القيم من (y) وقد اظهرت نتائج (XRD) ان جميع المركبات ذات تركيب بلوري معيني قائم مع زيادة في قيم ثابت الشبكة (c) للعينات المستعمل فيها الباريوم مقارنة مع العينات الخالية منه، وكذلك فان التغير في تركيز كل من (Pb, Hg, Ba) يؤدي الى التغير في كل من الكثافة والنسبة (c/a) وكذلك نسبة الطور (Bi-2223). اما فحوصات المقاومة الكهربائية ودرجة الحرارة الحرجة فقد اظهرت ان اعلى $(T_c=125, 129, 119\text{K})$ للمركبات $(\text{Bi}_{1.75}\text{Pb}_{0.25}\text{Sr}_{1.9}\text{Ba}_{0.1}\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10.26})$ و $(\text{Bi}_{1.75}\text{Hg}_{0.25}\text{Sr}_{1.9})$ و $(\text{Ba}_{0.1}\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10.271})$ و $(\text{Hg}_{0.75}\text{Pb}_{0.25}\text{Sr}_{1.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8.31})$ على التوالي. [11]

12. عام (2005)، Hayder Jawad Maktoof، تمت فيها دراسة تاثير استبدال (Pb) بدلا من (Bi) على الخواص التركيبية والكهربائية في المركب فائق التوصيل $(\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10})$ حيث ان $x=0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ تم تحضير العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة وبينت فحوصات (XRD) ان كل العينات ذات تركيب بلوري معيني قائم وان العينات تتكون من الاطوار هي

(Bi-2223, Bi-2212, Bi-2201) وقد بينت الفحوصات الكهربائية ان اعلى درجة

حرارة حرجة هي ($T_c=123K$) عندما كانت ($x=0.4$). [12].

13. عام (2006)، Majeed Ali Habeeb، تمت فيها دراسة تاثير استبدال كل من

(Pb) بدلا من (Bi) وكل من (Ba, Sb) بدلا من (Sr) للمركب السيراميكي فائق التوصيل

($Bi_{2-x}Pb_xSr_{2-y}(Ba, Sb)_yCa_2Cu_3O_{10}$) حيث ان ($0 \leq y \leq 0.5$) ، ($0.6 \leq x \leq 1$)

تم تحضير العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة ، وظهرت فحوصات (XRD) ان

جميع العينات ذات تركيب معيني قائم وانها تحتوي على الطورين

(Bi-2223, Bi-2212) بالإضافة الى اطوار اخرى، اما فحوصات المقاومة ودرجة

الحرارة الحرجة فقد بينت ان استبدال كمية قليلة من الباريوم تعمل على رفع درجة

الحرارة الحرجة بينما الزيادة في تركيز الانتيومون فانها تعمل على نقصان ($T_c=94K$)

وتتحول العينات الى اشباه موصلة او عوازل بزيادة تركيز الباريوم الى (0.4, 0.5)

وزيادة الانتيومون الى (0.2, 0.3) على التوالي. [13].

14. عام (2007)، Gazanfari et al، قاموا بدراسة تاثير اضافة (Nb_2O_5) على

المركب فائق التوصيل ($(Bi, Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$)، وقد حضرت النماذج بطريقة

تفاعل الحالة الصلبة، وقد تم اجراء فحوصات (XRD) والمقاومية الكهربائية، وقد بين

فحص (XRD) وجود كل من (Bi-2223) و (Bi-2212)، وتحسن التوصيلية بزيادة

تركيز (Nb) حيث ان اضافة كمية قليلة جدا من (Nb) لم يحسن من تشكيل

(Bi-2223) ولكن يحسن من التوصيلية بين الحبيبات التي تؤدي بالنتيجة الى

خصائص فائقة التوصيل افضل في نظام (BSCCO). [14].

15. عام (2008)، O. Bilgili et al، قاموا بدراسة تاثير الاستبدال بالليثيوم (Li) في

المركب فائق التوصيل ($Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_2Cu_{3-x}Li_xO_y$) حيث ان

($x=0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$)، وحضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة ، وقد

بينت فحوصات (XRD) وجود طورين هما (Bi-2212, Bi-2223) وان التركيب البلوري للعينات كان معيني قائم وان العينة ذات النسبة (x=0.2) تمتلك اعلى نسبة من الطور (Bi-2223) وبحدود (81%) مقارنة بالعينات الأخرى، اما فحوصات المقاومة الكهربائية فقد بينت ان اعلى درجة حرارة حرجة تم الحصول عليها هي عندما كانت النسبة (x=0.2) حيث بلغت (98K)، وكذلك تمتلك اقل عرض انتقال ($\Delta T_c = 12K$).

[15]

16. عام (2009)، Salman ، قام بدراسة تاثير استبدال (Cu) بدلا من (Bi) في المركب السيراميكي فائق التوصيل ($Bi_{2-x}Cu_xPb_{0.3}Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta}$) حيث ($0 \leq x \leq 0.5$) المحضر بطريقة تفاعل الحالة الصلبة ووجد ان استبدال (Cu) يزيد من درجة الحرارة الحرجة الى (127, 130, 125K) للنسب (x=0.2, 0.3, 0.4) على التوالي، بينما ابدت النماذج الاخرى (x=0.1, 0.5)، ان المقاومة تقل ببطء مع نقصان درجة الحرارة.

[16]

17. عام (2010)، Salamati et al، تمت فيها دراسة تاثير استبدال (Ba) بدلا من (Sr) في المركب السيراميكي فائق التوصيل ($Bi_{1.8}Pb_{0.4}Sr_{2-x}Ba_xCa_{2.2}Cu_3O_y$) حيث ان (x=0, 0.1, 0.2, 0.3) حضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة، وظهرت فحوصات (XRD) نقصانا في درجة حرارة تشكيل الطور (Bi-2223) وان اعلى نسبة لهذا الطور حصل عليها عندما (x=0.1) وان نسبة هذا الطور تقل بزيادة قيمة (x > 0.1)، وقد لوحظ ان زيادة نسبة اطوار الشوائب لحد (x=0.1) تقل ولكن بزيادة نسبة الاستبدال اكثر من (0.1) فانها تزداد، وقد بينت فحوصات المقاومة الكهربائية ان درجة الحرارة الحرجة بالنسبة للعينة (x=0.1) تزداد وان عرض الانتقال (ΔT_c) يقل ، وقد فسر هذا على اساس النقصان في اطوار الشوائب وزيادة في الطور (Bi-2223)، وقد لوحظ ان كثافة التيار الحرج للكتل المتبلورة للعينة نفسها تزداد

ويعزى سببها الى ترسب كمية قليلة من (Ba) في الحدود الحبيبية ، مما يؤدي الى زيادة مراكز الوهن وان زيادة نسب الاستبدال اكثر من (0.1) تسبب نقصانا في قابلية ازدواج الكتل البلورية ، وكذلك زيادة في سلوك الروابط الضعيفة مع زيادة اطوار الشوائب والتي تؤدي الى نقصان في قيمة (T_c). [17]

18. عام (2011)، Thabitt et al، قاموا بدراسة تاثير استبدال (Ni) بدلا من (Cu) للمركب فائق التوصيل $(Bi_{0.8}Pb_{0.2})_2(Sr_{0.9}Ba_{0.1})_2Ca_2Cu_{3-x}Ni_xO_{10+\delta}$ اذ ان $(x=0,0.1,.....,1,2,3)$ حيث وجدوا ان درجة حرارة الانتقال الحرجة تكون في اعظم قيمة لها عند $(x=0.8)$ وهي ($T_c=113K$) وان فحوصات (XRD) بينت ان التركيب البلوري هو معيني قائم مع نقصان في قيمة معامل الشبكة (c) عند ازدياد تركيز (Ni). [18]

19. عام (2012)، Ali et al، قاموا بدراسة تاثير الاستبدال الجزئي للفضة (Ag) على الخواص التركيبية والكهربائية للمركب فائق التوصيل $(Bi_{2-x}Ag_xSr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta})$ حيث $(x=0.1,0.2,0.3,0.4,0.5)$ ، وقد اظهرت فحوصات (XRD) ان التركيب البلوري يبقى محافظا على نوعه وهو الرباعي القائم مع زيادة معامل الشبكة (c) لكل من القيم (0.1,0.2). اما عند زيادة تركيز (Ag) فان التركيب يتحول من رباعي قائم الى معيني قائم، اما قيم (T_c) فقد اظهرت النتائج ان اعلى ($T_c=129K$) عندما $(x=0.2)$ مع انخفاض (T_c) عند زيادة تركيز (Ag). [19]

20. عام (2012)، Bushra Salman.Mahdi، تمت فيها دراسة تاثير الاستبدال (CuPb) على الخواص التركيبية ودرجة الحرارة الحرجة للمركب السيراميكي فائق التوصيل $(Bi_{2-x}(CuPb)_xSr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta})$ حيث ان $(0 \leq x \leq 0.5)$ ، وقد تم تحضير العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة، وقد اظهرت فحوصات (XRD) ان كل العينات تمتلك تركيبا بلوريا معيني قائم وأنها تمتلك طورين هما (Bi-2223, Bi-)

2212) وان درجة الحرارة الحرجة تزداد مع معامل الشبيكة (c)، وكذلك تزداد درجة الحرارة الحرجة مع زيادة قيمة (x) وان افضل درجة حرارة تلييد للمركب هي (860°C) وزمن تلييد (140hr). [20].

21. Verma et al، (2012)، قاموا بتصنيع العينات ودراستها بطريقة تفاعل الحالة الصلبة للمركب السيراميكي فائق التوصيل $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Zn}_x\text{O}_{10+\delta}$ ، وقد بينت فحوصات (XRD) ان كل العينات كانت ذات تركيب بلوري معيني قائم مع معاملات شبيكة هي $(a=5.405, b=5.422, c=37.063\text{\AA})$ عندما كانت $(x=0.3)$ وان قيمة (T_c) قلت من (108K) الى (92K). [21].

22. عام (2012)، Kareem Ali Jassim، قام بدراسة تاثير استبدال (La) على نقاوة الطور والتركيب البلوري والمقاومية الكهربائية للمركب السيراميكي فائق التوصيل $(\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{La}_x\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta})$ ، وحضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة، وقد وجد ان التركيب يتغير من معيني قائم الى رباعي قائم بزيادة تركيز (La)، وان نسبة الطور (Bi-2223) تقل ونسبة الطور (Bi-2212) تزداد وان (T_c) يتناقص وان العينات اصبحت ذات سلوك شبه موصل مع زيادة تركيز (La). [22].

23. عام (2012)، Abbas et al، قاموا بدراسة تاثير درجة حرارة التلييد على المركب السيراميكي فائق التوصيل ذي الصيغة $(\text{Bi}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta})$ حيث ان $(0 \leq x \leq 0.5)$ ، المحضر بطريق تفاعل الحالة الصلبة وقد بينت النتائج ان درجة حرارة التلييد المثلى كانت (860°C) وزمن التلييد (140hr)، واطهرت فحوصات (XRD) ان كل العينات ذات تركيب معيني قائم وان العينات تحتوي على الاطوار (Bi-2223)، (Bi-2212)، وكذلك وجود (Bi-2201) في العينات عندما يكون $(x=0.4)$ وان (T_c) تزداد مع ازدياد ثابت الشبيكة (c). [23].

24. عام(2012)، Suzan Malike Shakouli، تم فيها تحضير ودراسة الاستبدال الجزئي في المركب السيراميكي فائق التوصيل ($\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Zn}_x\text{O}_{10}$)، حيث ($x=0,0.2,0.4,0.6,0.8,1$)، وحضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة، وقد بينت نتائج فحوصات (XRD) ان جميع العينات كانت ذات تركيب بلوري معيني قائم وتحتوي على الاطوار ($\text{Bi-2223}, \text{Bi-2212}$) مع وجود بعض الاطوار غير المعروفة، اما فحوصات المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة فقد بينت ان افضل درجة حرارة انتقال حرجة كانت عند ($x=0.2$) حيث ان ($T_c=128\text{K}$) ومعاملات الشبكة لها كانت ($a=5.38, b=5.458, c=37.061\text{\AA}$). [24].

25. عام(2013)، S.M.Shaban et al، تمت فيها دراسة تأثير الاستبدال على الخواص العزلية للمركب فائق التوصيل ($\text{Bi}_{2-x}(\text{CuPb})_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$) حيث ان ($x=0,0.4,0.5$)، وحضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة، وتمت دراسة تأثير الاستبدال على سلوك الخواص العزلية عند درجة حرارة الغرفة (ثابت العزل الحقيقي والخيالي، ظل فقدان العزلي، التوصيلية المتناوبة)، حيث بينت النتائج ان التغيرات في ثابت العزل تعزى الى تقلبات الطور القوية، بينما ازداد ظل الفقد تدريجيا بازياد التردد وقيمة (x) وكذلك ازدادت التوصيلية المتناوبة عند الترددات العالية ولكل قيم (x). عموما فان الدراسة بينت اعتماد ثابت العزل الحقيقي والخيالي وظل الفقد والتوصيلية المتناوبة (لقيمة ثابتة من (x)) على التردد بالإضافة الى اعتمادها على الاستبدال الجزئي في مواقع (Bi). [25].

26. عام(2013)، Hermiz et al، تمت فيها دراسة تأثير الضغط (قوة كبس العينات) على المركب السيراميكي الذي هو ($\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{1.8}\text{Ba}_{0.2}\text{Ca}_2\text{Cu}_{2.2}\text{Ni}_{0.8}\text{O}_{10+\delta}$) ووجدوا بان افضل ($T_c=117\text{K}$) كان تحت ضغط (0.7GPa). [26].

27. عام (2013)، Jabur، قام بدراسة تأثير الاضافة لكل من (Hg)، (Ba) على المركب السيراميكي فائق التوصيل ($\text{Bi}_{2-x}\text{Hg}_x\text{Sr}_{2-y}\text{Ba}_y\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$) وحضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة وينسب (0,0.05,0.1) لكل من (Hg,Ba) المستبدلة بدلا من (Bi,Sr) على التوالي، وقد اظهرت الدراسة ان هناك تحسنا لقيم عالية (T_c) للعينات التي استبدلها فيها (Hg) بدلا من (Bi)، بينما العينات التي استبدل فيها (Ba) بدلا من (Sr) اظهرت قيما واطئة من (T_c)، فيما بينت فحوصات (XRD) التركيب البلوري لكل العينات هو معيني قائم مع زيادة في ثابت الشبكة (c) للعينات التي تحتوي على (Ba) مقارنة مع العينات الخالية منه وكذلك وجود الاطوار (Bi-2223) و (Bi-2223) مع بعض الشوائب، وان التغير في تركيز كل من (Hg,Ba) يؤدي الى تغير في تركيز الطور العالي (Bi-2223). [27]

28. عام (2014)، Raoof، تمت فيها دراسة تأثير ظروف التحضير والتطعيم ب (Li) على المركب السيراميكي فائق التوصيل وهو ($\text{Bi}_{2-x}\text{Li}_x\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$) حيث ($x=0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5$)، وقد اظهرت الدراسة ان الظروف المثلى للحصول على الطور فائق التوصيل كانت من خلال تحضير العينات على ثلاث مراحل وقد اظهرت فحوصات (XRD) ان جميع العينات تمتلك تركيب معيني قائم مع وجود طورين هما الطور (Bi-2223) والطور (Bi-2212) مع وجود بعض الشوائب وان قيم ثوابت الشبكة (a,c) تتغير عشوائيا مع زيادة نسبة (Li)، بينما اظهرت فحوصات المقاومة الكهربائية ان اعلى قيمة ل (T_c) كانت عندما ($x=0.3$) وتساوي [28]. ($T_c=130\text{K}$)

29. عام (2014)، Hermiz، تمت فيها دراسة الخصائص العزلية للمركب فائق التوصيل وهو ($\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Mg}_x\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$) كدالة للتردد حيث ($0 \leq x \leq 0.5$)، حضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة، وقد بينت فحوصات (XRD) ان كل

العينات كانت ذات تركيب معيني قائم وان (c/a) للمركب عندما تكون ($x=0.2$) اعلى من كل العينات وان ($T_c=104K$) مع انخفاض حاد للعينة نفسها .وقد بينت ان جميع الخواص العزلية(ثابت العزل) الحقيقي (ϵ' ، الخيالي (ϵ'')، وظل الفقد ($\tan\delta$) والتوصيلية المتناوبة ($\sigma_{a.c}$) تعتمد وبشدة على تردد المجال المتناوب المسلط، مع ظهور بعض تأثيرات الفقدان العزلي والقيم السالبة للسعة عند الترددات الواطئة للعينات [29]. ($x=0,0.2,0.5$)

30. عام (2014)، Rodrigues et al، قاموا بدراسة تأثير الاستبدال الجزئي باللانثانيوم (La) على خواص النظام فائق التوصيل (BSCCO) حيث كان المركب الاساسي هو ($Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_{2-x}La_xCa_2Cu_3O_{10+\delta}$)، حيث ان ($x=0,0.5,1,1.5,2$) وحضرت العينات بطريقة (Pechini's) للحصول على مادة راتنجية والمطلوبة للمعالجات الحرارية المختلفة وضغطت على شكل اقراص، اظهرت فحوصات (XRD) ان معظم القمم عندما ($x=0$) تتألف من الاطوار (Bi-2223, Bi-2212, Bi-2201) وكذلك وجود بعض الاطوار الثانوية وان التركيب البلوري للعينات كان معيني قائم وكذلك اظهرت النتائج انه لا توجد تغيرات ملحوظة في خصائص القمم مثل الموقع والشدة عندما ($x=0.5$) بينما اظهرت تغيرات ملحوظة في التراكيز العالية ($x=1,1.5,2$)، وقد ابدت العينات ($x=0,0.5$) انتقالات فائقة التوصيل وان قيمة (T_c) تناقصت عند زيادة تركيز (La) في حين اظهرت سلوكا شبه موصل عندما ($x \geq 1$)، وعموما فان النتائج اظهرت ان النظام (BSCCO) يكون حساسا جدا للتطعيم ب (La) وانه قد يسبب انخفاضا او تدهورا في الخواص فائقة التوصيل. [30]

31. عام (2014)، Shatha.H.Mahdi et al، تم فيها دراسة تأثير طبقات ($Cu-O, Ca-O$) على الخواص التركيبية والعزلية للمركب فائق التوصيل ($Bi_2Ba_2Ca_n-$) ($1Cu_nO_{2n+4+\delta}$)، وحضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة وبدرجة حرارة تلييد ($750^\circ C$)

ولمدة (120hr)، وقد بينت نتائج فحوصات (XRD) ان التركيب البلوري لجميع العينات هو معيني قائم، وان التغير في طبقات (Cu-O, Ca-O) ينتج عنه تغير في معاملات الشبكة (a,b,c) وكذلك النسبة (c/a) ، وان التغير في (n) ينتج عنه تغير في الخواص العزلية والتي هي (ثابت العزل، وظل الفقد (tanδ)، والتوصيلية المتناوبة (σ_{a.c})). [31]

32. عام (2015)، A.M. Ibraheim، تمت فيها دراسة تاثير طرائق التحضير على الخواص التركيبية والكهربائية والعزلية للنظام فائق التوصيل (Bi₂Sr₂Ca₂-) x Cd_xCu₃O_{10+δ} حيث ان (x=0,0.1,0.2,0.3) وقد بينت النتائج للعينات المحضرة بطريقة تفاعل الحالة الصلبة والتي شملت فحوصات (XRD) ان جميع العينات ذات تركيب معيني قائم وهي تتضمن (Bi-2223, Bi-2212)، في حين بينت الفحوصات الكهربائية ان اعلى قيمة لدرجة الحرارة الحرجة هي (T_c=108K) كانت عندما (x=0.2) ، وقد بينت قياسات الخواص العزلية (ثابت العزل (الحقيقي، الخيالي)، ظل الفقد) تعتمد على تردد المجال المتناوب المسلط وعلى تغير تركيز الكاديوم. [32]

33. عام (2016)، Shalaby et al، قاموا بدراسة خواص النظام فائق التوصيل (Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x) حيث تم تحضير العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة مع اختلاف درجة حرارة وزمن التليد ، وقد اظهرت فحوصات (XRD) ان النماذج تحتوي على ثلاثة اطوار هي (Bi-2223, Bi-2212, Bi-2201) وكذلك بعض الاطوار غير فائقة التوصيل (Sr_{8.5}Bi₆Ca_{2.5}O₂₂)، وقد بينت الفحوصات ان العينة الملبدة عند درجة حرارة (850°C) ولمدة (24hr) كانت تحتوي على اعلى نسبة من (Bi-2223) وان العينة الملبد عند (850°C) ولمدة (48hr) كانت تحتوي على اقل نسبة من (Bi-2223) مع عدم وجود الطور (Bi-2201)، وقد كانت النتائج تشير الى ان التركيب البلوري لكل من الاطوار (Bi-2223, Bi-2212) هو معيني قائم في حين ان التركيب البلوري للطور (Bi-2201) هو رباعي قائم وللعينة الثانية كان الطور (Bi-2223) هو معيني قائم والطور (Bi-2212)

هو رباعي قائم. وقد استنتج الى ان طريقة تفاعل الحالة الصلبة هي انجح طريقة لتحضير الطور (Bi-2223) وتشكيله. [33]

34. عام (2016)، S.F.Oboudi&M.Q.M.AL-Habeeb، قاموا بدراسة تاثير اضافة جسيمات الفضة النانوية على الخواص العزلية والخواص الانتقالية للمركب فائق التوصيل ($Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta}$)، بحيث كانت نسبة الاضافة الوزنية هي (0,0.1,0.3,0.5,0.7,0.9) من الكتلة الكلية للعينة النقية ، أذ حضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة وظهرت نتائج فحوصات (XRD) ان جميع العينات كانت ذات تركيب معين قائم وان اضافة الفضة لم تغير من التركيب البلوري للعينة النقية وكذلك اظهرت زيادة في المحور (c) بعض الشيء بزيادة تركيز الفضة، واما فحوصات المقاومة فقد اظهرت ان القيمة المثلى لدرجة الحرارة الحرجة كانت عندما نسبة الاضافة الوزنية (0.9) حيث كانت ($T_c=117K$) وقد عزى هذا الى التحسن في الروابط الضعيفة خلال الحدود الحبيبية، ثم بعدها تمت دراسة الخواص العزلية التي شملت كل من (ثابت العزل (الحقيقي، الخيالي)، وظل الفقد، والتوصيلية المتناوبة)، وقد تمت دراستها ضمن درجة حرارة الغرفة وفي مدى تردد (50Hz-1MHz)، وقد اظهرت اعتمادها الكبير على كل من نسب الاضافة وتردد المجال المسلط عند درجة حرارة الغرفة، حيث عزى التشتت في العازل الى استقطاب ثنائيات القطب بسبب ازاحة الشحنات الالكترونية المنقولة الموجودة في مستويات كل من اوكسيد النحاس و اوكسيد الفضة من مواضع اتزانها نسبة الى طبقة خزن الشحنات، وان القيمة الكبيرة لثابت العزل ترتبط ايضا مع الانخفاض في الاهتزازات الحرارية للذرات والتي تعزز من الاستقطابية، وان النقصان في قيمته ممكن ان تكون بسبب ارتباطها مع قيم الكهروسلبية العالية وانخفاض الاستقطاب. [34]

35. عام (2016)، S.F.Oboudi&M.Q.M.AL-Habeeb، قاموا بدراسة تاثير اضافة جسيمات الذهب النانوية على الخواص العزلية للمركب السيراميكي فائق

التوصيل ($\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$)، بحيث كانت نسبة الاضافة الوزنية هي (0,0.1,0.3,0.5,1) من الكتلة الكلية للعينة النقية ،حضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة وظهرت نتائج فحوصات (XRD) ان جميع العينات كانت ذات تركيب معيني قائم وان اضافة الذهب لم تغير من التركيب البلوري للعينة النقية مع ظهور بعض الاطوار الضعيفة والشوائب وكذلك اظهرت زيادة في المحور (c) بعض الشيء بزيادة تركيز الذهب، اما فحوصات المقاومة فقد اظهرت ان القيمة المثلى لدرجة الحرارة الحرجة كانت عندما نسبة الاضافة الوزنية (1) حيث كانت ($T_c=123\text{K}$) وقد عزى هذا الى التحسن في الروابط الضعيفة خلال الحدود الحبيبية والنمو التدريجي تحت درجة الانصهار الجزئية ، بعدها تم دراسة الخواص العزلية التي شملت كل من (ثابت العزل (الحقيقي،الخيالي)،ظل الفقد،التوصيلية المتناوبة)،وقد تمت دراستها ضمن درجة حرارة الغرفة وفي مدى تردد (50Hz-1MHz)،وقد اظهرت اعتمادها الكبير على كل من نسب الاضافة وتردد المجال المسلط عند درجة حرارة الغرفة،حيث عزى التشتت في العازل الى استقطاب ثنائيات القطب بسبب ازاحة الشحنات الالكترونية المنقولة الموجودة في مستويات كل من اوكسيد النحاس واوكسيد الذهب من مواضع اتزانها نسبة الى طبقة خزن الشحنات،وان الانخفاض في ثابت العزل مع زيادة التردد يعزى الى ان المركب عند الترددات الواطئة يظهر انواعا مختلفة من الاستقطاب وهذا السلوك هو نتيجة الانتقال الى ترتيب اتجاها لثنائيات القطب الدائمة على طول اتجاه معين،وقد اظهرت فحوصات الخواص العزلية قيما صغيرة للفقدان العزلي و قيم عالية للتوصيلية المتناوبة بين نسب الاضافة (0.1-0.5)وهذا الاختلاف من

المحتمل ان يكون بسبب الاختلاف في سمك طبقات خزن الشحنة لهذه المواد .[35]

36. عام (2017)، Kareem Ali Jassim & Haider Sahi Hussein، قاموا بدراسة تاثير الاستبدال الجزئي بعنصر اللانثانيوم (La) على الخصائص العزلية للنظام فائق التوصيل الكهربائي (BSCCO) ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{La}_x\text{O}_{10+\delta}$)، حضرت العينات بطريقة

تفاعل الحالة الصلبة حيث ($X=0.05,0.1,0.15,0.2$)، وقد اظهرت فحوصات (XRD) ان جميع العينات كانت ذات تركيب بلوري معيني قائم (Orthorhombic) مع وجود الاطوار ($Bi-2201, Bi-2212, Bi-2223$) وبعض الشوائب ،مع ملاحظة نقصان في تركيز الطور ($Bi-2223$) وزيادة في تركيز الاطوار ($Bi-2201, Bi-2212$) بزيادة تركيز (La) مقارنة بالعينة النقية، اما فحوصات المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة فقد اظهرت ان العينات ذات ($x=0.05,0.1$) اظهرت سلوك شبه موصل بينما العينات ذات ($x=0.15,0.2$) اظهرت سلوك فائق التوصيل عند انخفاض درجة الحرارة (التبريد بواسطة النيتروجين السائل)، وكذلك اظهرت نتائج الخواص العزلية والتي شملت (ثابت العزل الكهربائي) (الحقيقي والخيالي)، وظل الفقد ،والتوصيلية الكهربائية المتناوبة) والتي تم قياسها في درجة حرارة الغرفة وعند مدى تردد ($50Hz-1MHz$) الاعتماد الكبير والمباشر للخواص العزلية على تردد المجال الكهربائي المتناوب المسلط، اما تأثير تركيز (La) على الخواص العزلية فقد اظهر قيم عالية لثابت العزل الحقيقي مقارنة مع قيمته للعينة النقية وتتنخفض بزيادة تركيز اللانثانيوم للعينات عند التردد ($50Hz$) مقارنة بالعينة النقية، اما عند التردد ($1MHz$) فقد اظهرت النتائج تغير عشوائي في قيم ثابت العزل الحقيقي، ومن جهة اخرى اظهرت النتائج تناقص في قيمة ثابت العزل الخيالي عند التردد ($50Hz$) مع زيادة تركيز (La)، اما عند التردد ($1MHz$) فقد لوحظ تغيرات عشوائية في قيمة ثابت العزل الخيالي مع زيادة تركيز اللانثانيوم مقارنة بالعينة النقية، اما بالنسبة لظل الفقد فقد لوحظ زيادة في قيمتها بزيادة تركيز اللانثانيوم (La) ولكل من التردد ($50Hz, 1MHz$)، و اما تأثير الاستبدال باللانثانيوم على قيم التوصيلية الكهربائية المتناوبة فقد اظهرت النتائج تناقص في قيمتها عند التردد ($50Hz$) بزيادة تركيز اللانثانيوم في حين اظهرت تغيرات عشوائية عند التردد ($1MHz$). [36]

37. عام (2017)، Kareem Ali Jassim & Haider Sahi Hussein، قاموا بدراسة تأثير الاستبدال الجزئي بعنصر اللانثانيوم (La) بدلا من النحاس (Cu) على الخواص

التركيبية والكهربائية للنظام فائق التوصيل الكهربائي (BSCCO) $(\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3-)$ التركيبية والكهربائية للنظام فائق التوصيل الكهربائي (BSCCO) $(\text{La}_x\text{O}_{10+\delta})$ ، حيث حضرت العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة (SSR) حيث $(X=0.05, 0.1, 0.15, 0.2)$ ، وقد استخدمت تقنية حيود (X-Ray) لدراسة الخواص التركيبية للعينات والتي اظهرت ان جميع العينات كانت ذات تركيب بلوري معيني قائم (Orthorhombic) مع وجود الاطوار (Bi-2201, Bi-2212, Bi-2223) وبعض الشوائب ، وان الزيادة في تركيز (La) يؤدي الى نقصان في تركيز الطور (Bi-2223) و زيادة في تركيز الاطوار (Bi-2201, Bi-2212) مقارنة بالعينة النقية، اما فحوصات المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة فقد اظهرت ان العينات ذات $(x=0.05, 0.1)$ اظهرت سلوك شبه موصل بينما العينات ذات $(x=0.15, 0.2)$ اظهرت سلوك فائق التوصيل عند انخفاض درجة الحرارة (التبريد بوساطة النتروجين السائل) مع انخفاض في درجة الحرارة الحرجة بزيادة تركيز اللانثانيوم (La)، حيث كانت درجة الحرارة الحرجة لهما تساوي $(115.8, 111\text{K})$ على التوالي مقارنة بالعينة النقية والتي كانت درجة الحرارة لها تساوي (120.9K) ، وقد استنتجوا ان الخواص التركيبية والخواص فائقة التوصيل للنظام (BSCCO) تكون حساسة جدا للتطعيم باللانثانيوم (La) والذي يؤدي الى تدهور الخواص فائقة التوصيل حيث يعزى السبب الى استبدال (La^{+3}) بدلا من (Cu^{+2}) . [37]

1-3 هدف البحث Aim of Research

انطلاقاً من الرؤية والتطلع المكلل بالعمل الى انتاج مركبات فائقة التوصيل ذات درجة حرارة حرجة عالية (HTSC) قمنا باختيار النظام (BSCCO) في بحثنا هذا لنظرا لما يتميز به من تطبيقات متعددة واستخدامات واسعة في المجالات الصناعية و التكنولوجيا ونظرا للحقيقة العلمية القائمة على امكانية السيطرة وتحسين الخواص للأنظمة فائقة التوصيل (HTSC) بوساطة الاضافة او الاستبدال للعناصر التي تختلف في نصف قطرها الايوني وكذلك في خواص تأصرها، حيث تعد عملية الاستبدال كمجس للبنية الكيميائية والتركيبية والتي تحدد فيما اذا كان النظام يظهر خاصية التوصيلية الفائقة ام لا ، لهذا قمنا باختيار عنصر الانديوم (In) لاستبداله جزئيا بدلا من البزموت (Bi) واللانثانيوم (La) لاستبداله جزئيا بدلا من النحاس (Cu) في النظام فائق التوصيل $(\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta})$. أملين بذلك تحسين خواص النظام (BSCCO) والحصول على أعلى درجة حرارة انتقال حرجة. حيث نهدف في هذا البحث الى ما يأتي:

1- تحضير المركب فائق التوصيل ذو درجة الحرارة الحرجة العالية وذو الطور $(\text{Bi}-2223)(\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta})$.

اذ ان $(x=0,0.05,0.1,0.15,0.2)$ ، $(y=0.05,0.1,0.15,0.2)$. حيث ان كل قيمة من قيم (x) اخذت جميع قيم (y) ، وذلك باستعمال اكاسيد نقية وبطريقة تفاعل الحالة الصلبة (SSR)(Solid State Reaction).

2- دراسة تاثير الاستبدال الجزئي على الخواص التركيبية للمركبات المحضرة من حيث تحديد نوع التركيب وطبيعة الاطوار المتكونة ونسبة تركيزها وكذلك تحديد معاملات الشبكة (a,b,c) وكثافة وحدة الخلية.

3- دراسة تاثير الاستبدال الجزئي على الخواص الكهربائية من حيث سلوك المقاومة الكهربائية مع درجة الحرارة تحت ظروف التبريد بالنتروجين السائل وتحديد درجة حرارة

الانتقال الحرجة الابتدائية ($T_{c(Onset)}$) ودرجة الحرارة النهائية عندما ($\rho=0$) ($T_{c(Offset)}$) كذلك تحديد (ΔT_c) و ($T_{c(Mid)}$) وتحديد فجوة الطاقة (E_g) وكذلك تحديد تركيز الفجوات (ρ) وحسابها لكل مركب لتحديد الانتقال الامثل الى الطور فائق التوصيل وتحديد اعلى درجة حرارة انتقال حرجة ممكن الحصول عليها من هذه المركبات.

4- دراسة تاثير الاستبدال الجزئي على الخواص العزلية والتي تتضمن (ثابت العزل الحقيقي ϵ' ، وثابت العزل الخيالي ϵ'' ، وظل الفقد ($\tan\delta$)، والتوصيلية المتناوبة ($\sigma_{a.c}$)) وعند مدى تردد للمجال الكهربائي المسلط (50Hz-1MHz) وعند درجة حرارة الغرفة.

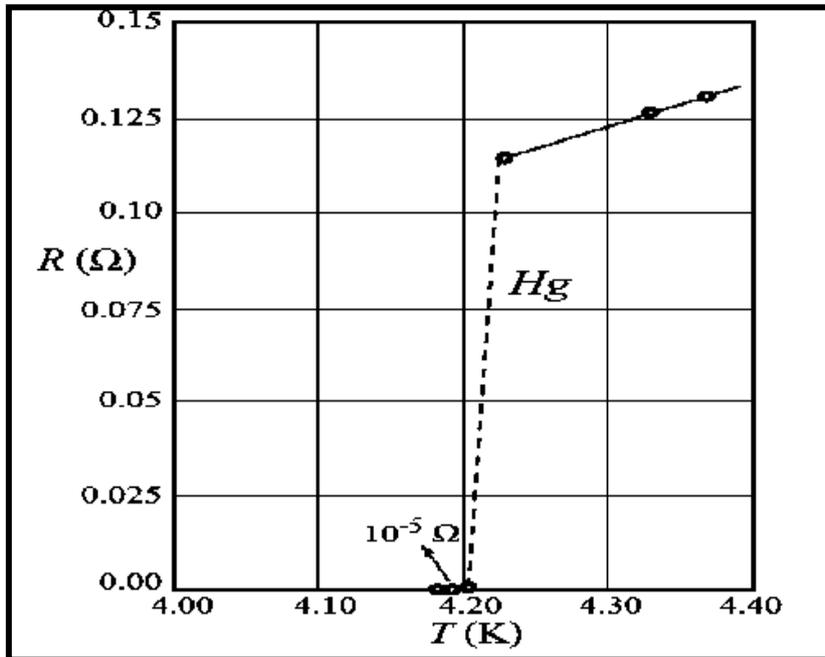
الفصل الثاني

الجانِب النظري

Theoretical Part

2-1 لمحة تاريخية Historical Review

في عام 1911 لاحظ الفيزيائي الهولندي كاميرلنك أونيس (Kmmmerling Onnes)، في اثناء دراسته لتغير المقاومة الكهربائية مع درجة الحرارة للزئبق الصلب (Hg) وعند درجات حرارة منخفضة جدا مستعملا بذلك التبريد بالهليوم السائل ان الزئبق يفقد مقاومته الكهربائية عندما تكون درجة حرارته اقل من (4.2K) وهي نقطة غليان الهليوم السائل كما موضح في الشكل (2-1)، وهذا الاكتشاف ادى به الى ادراك وجود ظاهرة جديدة في المواد الصلبة تسمى التوصيل الفائق الكهربائي (Electrical Superconductivity). [38]



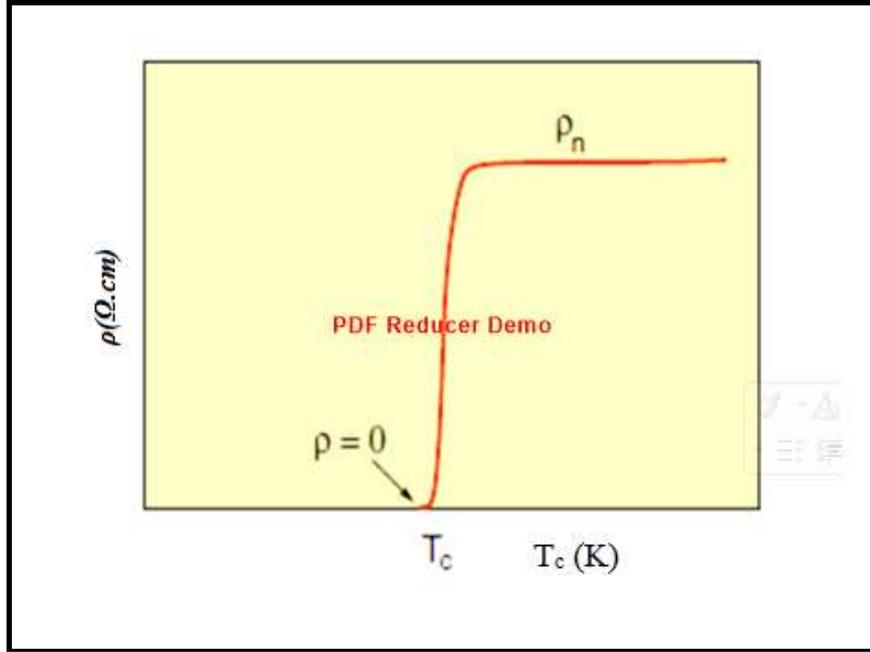
الشكل رقم (2-1) المقاومة الكهربائية للزئبق عند درجة حرارة منخفضة. [39]

وبعد سنة واحدة اي في عام 1912 اكتشف أونيس ايضا، انه عند تسليط مجال مغناطيسي محوري قوي بما فيه الكفاية فان قيمة المقاومة ترجع الى حالتها الطبيعية، و في عام 1913 وجد ان عنصر الرصاص يصبح فائق التوصيل عند درجة حرارة (T_c=7K).

[40]

وعموما فان سلوك المقاومة كدالة لدرجة الحرارة عند تبريد المادة بالهليوم او النتروجين

السائل موضح بالشكل رقم (2-2). [41]



الشكل (2-2) سلوك المقاومة كدالة لدرجة الحرارة. [41]

ومع استمرار عمليات البحث في هذه الظاهرة المدهشة فقد اكتشف في عام 1933 كل من مازنر واوخنسفيد (Meissner & Ochsenfeld) واحدة من أهم الخواص الأساسية للمواد فائقة التوصيل وأكبرها حيث وجدوا بان المجال المغناطيسي لا يخترق المادة فائقة التوصيل. [42]

في حين اقترح كورتر و كاسيمير (Gorter & Casimir) في العام 1934 انموذج المائعين (Tow-Fluid Model) والذي يفسر ظاهرة التوصيل الفائق، حيث يفترض هذا الانموذج ان المائع الالكتروني في المادة فائقة التوصيل ممكن ان يوصف كمجموعة من مائعين (طبيعي وفائق التوصيل). حيث ان الخواص للمكونات الطبيعية مماثلة لتلك الخواص في النظام الالكتروني في المعادن الطبيعية. اما المكونات فائقة التوصيل فهي المسؤولة عن السلوك فائق التوصيل وان هذه الألكترونات لاتعاني استطارة عندما تكون قيمة الانتروبي تساوي صفرا (انتظام تام) وعلى طول تشاكة بحدود (10^3nm). وكذلك ضمن هذا النموذج فان تحليل الحرارة النوعية ومعلومات المجال الحرج دفع بكورتر وكاسيمير باقتراح صيغة تجريبية لاعتماد درجة الحرارة على كثافة الألكترونات الفائقة التوصيل حيث ان $(n_s = n(1 - t^4))$ و $(t = T/T_c)$ هي الكثافة الكلية لالكترونات التوصيل. [43]

وقد ادى الاخوان لندن (F. & H. London) في العام 1935 دورا مهما خدم مفهوم ظاهرة التوصيلية الفائقة حيث تمكنا من تطوير الديناميكا الكهربائية لظاهرة التوصيلية الكهربائية

الفائقة من خلال تقديم معادلة لندن والتي اعدت كصيغة رياضية لتوضيح ظاهرة التوصيلية الكهربائية الفائقة وتأثير مازنر، ولقد وجد عامل مهم يتعلق بالتوصيلية الكهربائية الفائقة والذي سمي بعمق الاختراق (λ). [44] وكذلك بينا ان تأثير مازنر هو كنتيجة لتحقيق الحد الأدنى من الطاقة الحرة الكهرومغناطيسية المحمولة من قبل التيار فائق التوصيل، وفي عام 1941 وجد ان نترات النيوبيوم تصبح فائق التوصيل عند $(T_c=16K)$. [40]

وفي عام 1947، قام العالم هايزنبرك بعمل سلسلة من البحوث في محاولة منه لتوضيح التوصيلية الكهربائية الفائقة بوساطة تحليل تفاعل كولوم في العديد من الأنظمة الألكترونية ومنها المعادن، حيث عدها كغاز الكتروني حر. وفي الوقت نفسه تقريبا قام كل من بورن وجانك (Born & Cheng) بمراقبة آلية مشابهة ذات علاقة بتفاعل كولوم اخذين بنظر الاعتبار وجود دورية الشبكة البلورية.

ان معادلة لندن تزودنا بوصف لخاصية الدايامغناطيسية الشاذة للمواد فائقة التوصيل في المجال الخارجي الضعيف، والتعميم الآخر لحالة المجالات القوية انجز من خلال نظرية العالمين (كينزبرك-لانداو) (Ginzburg-Landau) في العام 1950. والتي ادت دورا مهما في فهم فيزياء ظاهرة التوصيلية الكهربائية الفائقة من خلال دراسة دالة الموجة لوصف سلوك الألكترونات فائقة التوصيل. [45]

وفي العام 1950، قام كل من العالمين ماكسويل ورينولد (Maxwell & Reynold) باختبار تأثير النظائر على درجة الحرارة الحرجة (T_c) للمواد فائقة التوصيل [42]. حيث وجد بان قيمة درجة الحرارة الحرجة تتناسب عكسيا مع كتلة النظير للعنصر المكون. هذا الاكتشاف بين ان اهتزاز ايونات الشبكة او الفونونات له دور مهم في مفهوم فائقية التوصيل الكهربائي، ومع استمرار عملية الدراسة والبحث فان النظرية المنظمة للتوصيلية الكهربائية الفائقة والتي توضح طبيعة هذه الظاهرة وضعت في العام 1957 من قبل العلماء الامريكان الثلاثة باردين وكوبر وشريفر (Bardeen, Coope and Schrieffer) وسميت باسمهم (BCS Theory). [46]

لقد كانت هذه النظرية ذات اثر كبير في حل لغز التوصيلية الكهربائية الفائقة، حيث ان صياغة هذه النظرية جلبت تقدما اخر في هذا المجال، حيث افترضت هذه النظرية انه ممكن وتحت بعض الظروف ان تزوج الالكترونات بوساطة تبادل جسيم وهو (الفونون)

،وهذا الزوج الالكتروني والذي سمي باسم زوج كوبر (Cooper Pair) ينساب ويتحرك خلال الشبكة مسببا التوصيلية الكهربائية الفائقة.

وفي عام (1959) بين العالم كوركوف (Gor'kov) ان نظرية كينزبيرك-لانداو (GL) ممكن ان تشتق من نظرية (BCS) عند حدود ملائمة من معاملات الفضاء. [47]

وفي عام 1962، وصف براين جوزيفسون (Brain Josephson) انه في حالة تحضير مادة فائقة التوصيل الكهربائي تتضمن ملتقى رقيق، فان عملية الاختراق النفقي (Tunneling) ممكن ان تحدث عبر هذا الملتقى وان بعض الازواج الألكترونية سوف تقوم بحفر نفق خلاله طبقا للنظرية الكمية (Quantum Theory)، و ان الألكترونيات كجسيمات لا تستطيع اختراق الحاجز ولكن الموجة ممكن لها ذلك وانه من الممكن استعمال تيار الاختراق النفقي في دراسة الخواص الفيزيائية للموصل الفائق. [48]

ان ظاهرة التوصيل الكهربائي الفائق تحصل في انواع مختلفة من المواد تتضمن العناصر البسيطة مثل القصدير والالمنيوم وانواع مختلفة من السبائك المعدنية وبعض اشباه الموصلات المطعمة بشدة وفي مركبات سيراميكية معينة تحتوي على مستويات تتكون من ذرات النحاس والاكسجين، حيث ان الصنف الاخير من المركبات يطلق عليه تسمية (Cuprates) وهي مواد فائقة التوصيل ذات درجات حرارة انتقال حرجة عالية، وان ظاهرة التوصيلية الكهربائية الفائقة لا تحصل في المعادن النبيلة مثل الذهب والفضة ولا في المعادن الفيرومغناطيسية [42].

ان اغلبية المواد فائقة التوصيل الكهربائي هي مركبات وسبائك وليست عناصر نقية، فاذا كان احد مكونات السبيكة هو عنصر فائق التوصيل فان درجة الحرارة الحرجة للسبيكة تختلف عن درجة الحرارة الحرجة لمكوناتها وغالبا ما تكون اعلى منها، وان درجة حرارة الانتقال العالية في الحقيقة تلاحظ في السبائك والمركبات. ولعدة سنوات كان المقياس هو سبيكة (النيوبيوم_قصدير) والتي درجة حرارتها الحرجة تساوي (18.1K). وان اول اوكسيد فائق التوصيل اكتشف في النظام السبيكي (BaPb_{1-x}Bi_xO₃) حيث كانت اعلى درجة حرارة حرجة له (T_c=13K) وهي تحصل عندما (x=0.25) بينما تكون لقيمة (x>0.35) فان النظام هو شبه موصل. [49].

وفي العام 1973 اكتشف كافلر (Gavaler) ان الاغشية المصنوعة من مركبات النيوبيوم_جرمانيوم (Nb_3Ge) تصبح فائقة التوصيل عند $(T_c=23.3K)$. [50]

وفي العام 1986 وفي الذكرى الخامسة والسبعين لاكتشاف ظاهرة التوصيلية الكهربائية الفائقة ، تم الاعلان عن نوع جديد من المواد فائقة التوصيل الكهربائي ذات الاساس اوكسيد النحاس بوساطة كل من بيدنورز ومولر (A.Bednorz &K.A.Muller) وذلك باكتشاف التوصيلية الفائقة للنظام ($La-Ba-Cu-O$) حيث يبقى هذا النظام فائق التوصيل لحد $(T_c=40K)$. [51]

وفي اوائل عام 1987 قام كل من (C.W.Chu) و (M.K.Wu) وبشكل مستقل بالاعلان عن ان المركب ($Y-Ba-Cu-O$) يصبح فائق التوصيل عند درجة حرارة اعلى من درجة حرارة النتروجين السائل حيث كانت تساوي $(T_c=92K)$. [52,53]

وفي السنة نفسها وجد ميشيل واخرون (Michel et al) ان النظام ($Bi-Sr-Cu-O$) يكون فائق التوصيل وعند متوسط درجة حرارة بالمدى $(7K-22K)$. [54]

وفي العام 1988 حضرت العديد من المواد الموصلة المعتمدة في تركيبها على اوكسيد النحاس (Cuprate)، وكان الاكتشاف الاكثر اثاره هو النظام فائق التوصيل الكهربائي ذو الاساس البزموت ($Bi-base$) والذي ولد بحوثا هائلة في مجال فيزياء المواد.

وقد قام مايدا (Maeda et al) باكتشاف ان النظام فائق التوصيل ($Bi-Sr-Ca-Cu-O$) يمتلك $(T_c=110K)$ [55]، ان التراكيب البلورية الثلاثة للسلسلة المتشابهة ($Bi-22(n-1)n$) و ($n=1,2,3$) حيث حددت حديثا قيمة درجة الحرارة الحرجة ($T_c=22K,80K,110K$) لكل من ($n=1,2,3$) على التوالي، حيث وجد ان درجة الحرارة الحرجة تزداد بزيادة (n) لحد ($n=3$) ولقيمة اكثر من ذلك فان درجة الحرارة الحرجة تقل.

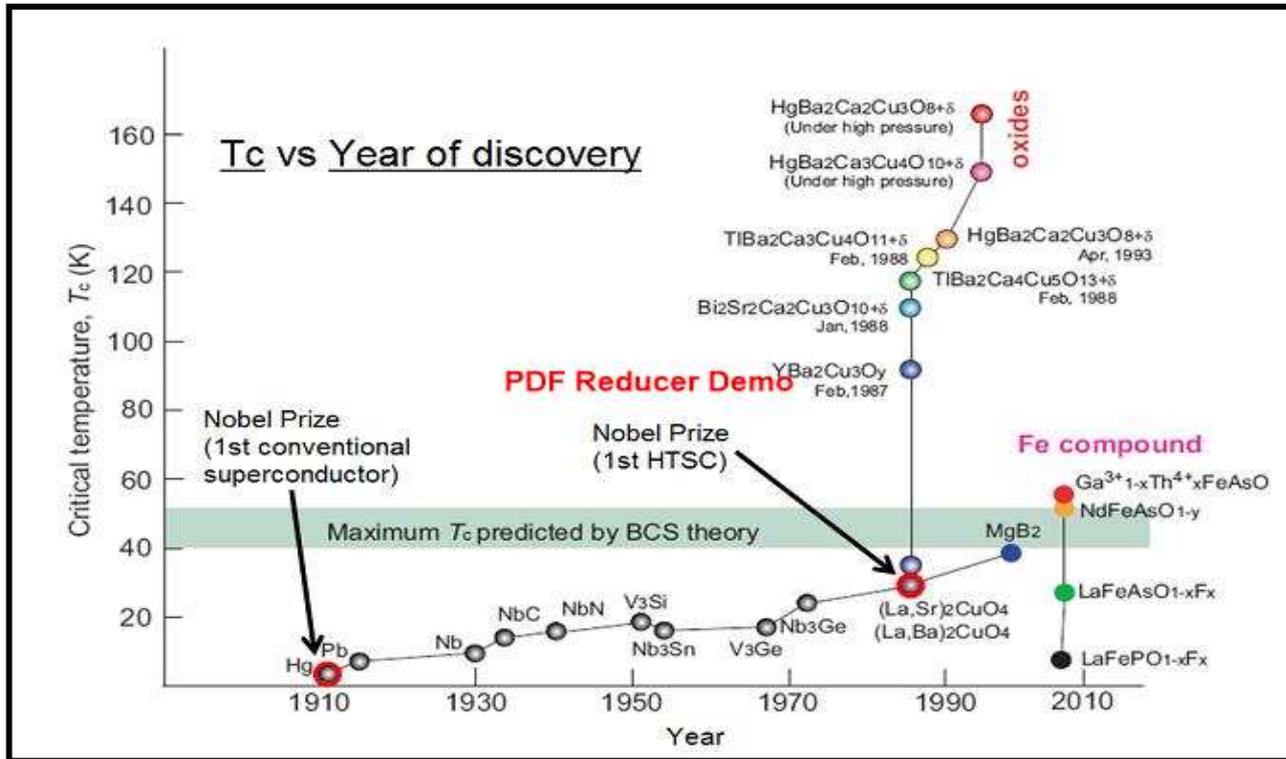
[56]

وقام (Sheng &Hermann) باكتشاف ان نظام ($Tl-Ba-Ca-Cu-O$) فائق التوصيل يمتلك درجة حرارة حرجة هي $(T_c=125K)$ [57]، وفي العام 1993 قام (Putilin et al) باكتشاف ان المركب فائق التوصيل ($Hg-base$) يمتلك درجة حرارة انتقال حرجة تصل الى $(T_c=164K)$. [58]

ومنذ ذلك الحين قام العديد من العلماء باجراء التجارب على مختلف مركبات البيروفسكايت (Perovskites) لانتاج مركبات ذات درجة حرارة انتقال حرجة اكثر من درجة الحرارة الحرجة لنظام (Hg-base)، وفي العام (2008) ظهرت على الساحة عائلة فاتنة جديدة من المواد فائقة التوصيل الكهربائي وكانت قلة الانظار وتركيبها يحتوي على طبقة الحديد من مضاد اوكسيد الرصاص (Iron layer of anti-PbO) كمركب فائق التوصيل. [59].

وعلى اي حال فان الكثير من المختبرات في انحاء العالم كافة قدمت تقارير وادلة عن مواد فائقة التوصيل عند درجة حرارة الغرفة، ولكن هذه التقارير يجب ان تؤكد بشكل حاسم. والشكل رقم (2-3) يبين التطور في درجة الحرارة الحرجة للمواد فائقة التوصيل الكهربائي.

[60]



الشكل (2-3) التسلسل التاريخي لتطور وزيادة درجات الحرارة الحرجة للمواد فائقة التوصيل منذ [60].1911.

2-2 حدوث التوصيلية الفائقة Occurrence of Superconductivity

تحدث التوصيلية الفائقة في العديد من العناصر التي تتواجد في منتصف الجدول الدوري وكذلك تحدث أيضا في السبائك وفي اشباه الموصلات [61]. وهي ظاهرة ليست نادرة الحدوث، ولكنها تفضل الحدوث في السبائك مقارنة بالعناصر النقية مثال ذلك عنصر التتستن الذي يمتاز بدرجة حرارة حرجة التي تساوي ($T_c=0.01K$)، بينما في المركب ($NbAlGe$) فانها تمتلك درجة حرارة حرجة هي ($T_c=20.8K$). [62]. وطبقا لهذه المبادئ هناك بعض القواعد المفضلة في اختيار عناصر على عناصر اخرى وهي: [63]

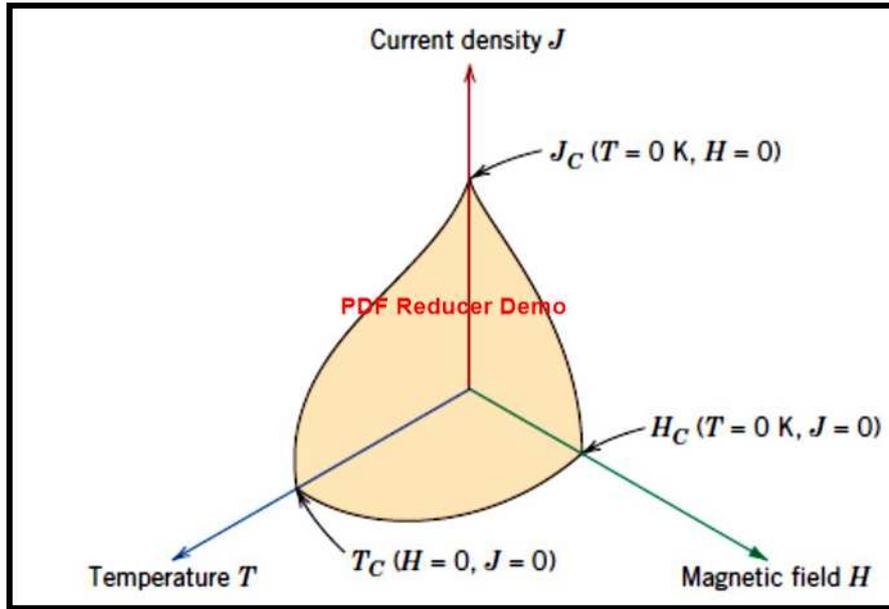
- 1- تحدث التوصيلية الفائقة في العناصر التي يتراوح فيها عدد التكافؤ لكل ذرة بين (2-8) والتي تقع في منتصف الجدول الدوري وهي غير ملحوظة في المعادن النبيلة القلوية.
- 2- ان اعداد التكافؤ (3,4,7) التي هي تقريبا اعداد فردية تكون مفضلة جدا، هذا يعني في الحصول على درجة حرارة حرجة عالية، بينما تكون الاعداد (2,4,5,6) التي هي تقريبا زوجية غير مفضلة.
- 3- ان الحجم الذري الصغير المصحوب بالكتلة الذرية الصغيرة يكون مفضلا جدا لحدوث التوصيلية الفائقة.

2-3 خواص المواد فائقة التوصيل : Superconductor Properties

ان اغلب الخواص الفيزيائية للمواد فائقة التوصيل تتفاوت من مادة الى مادة اخرى، ومنها على سبيل المثال الحرارة النوعية ودرجة الحرارة الحرجة التي عندها تتحطم التوصيلية الكهربائية الفائقة، ومن ناحية اخرى هناك صنف من الخواص لا تعتمد على نوع المادة، وبالنسبة لكل المواد فائقة التوصيل الكهربائي فانها تمتلك مقاومة كهربائية نوعية تساوي صفرا تماما للتيارات المطبقة المنخفضة عندما لا يوجد مجال مغناطيسي. ان حالة التوصيلية الكهربائية الفائقة تتميز بوساطة عوامل مهمة هي : درجة الحرارة الحرجة (T_c)، والمجال المغناطيسي الحرج (H_c)، و كثافة التيار الحرج (J_c)، وكل هذه العوامل يعتمد كل واحد منها

على العاملين الآخرين بصورة كبيرة، ان حالة التوصيلية الفائقة تتطلب ان تكون العوامل الثلاثة السابقة تحت قيمة حرجة معينة واي اختلاف او ارتفاع في قيمة اي عامل منها عن قيمته الحرجة فان حالة التوصيل الفائق تلغى وترجع المادة الى الحالة الطبيعية، والمخطط الطوري في الشكل (2-4) يبين العلاقة بين هذه العوامل او الخواص الثلاث (T_c, H_c, J_c).

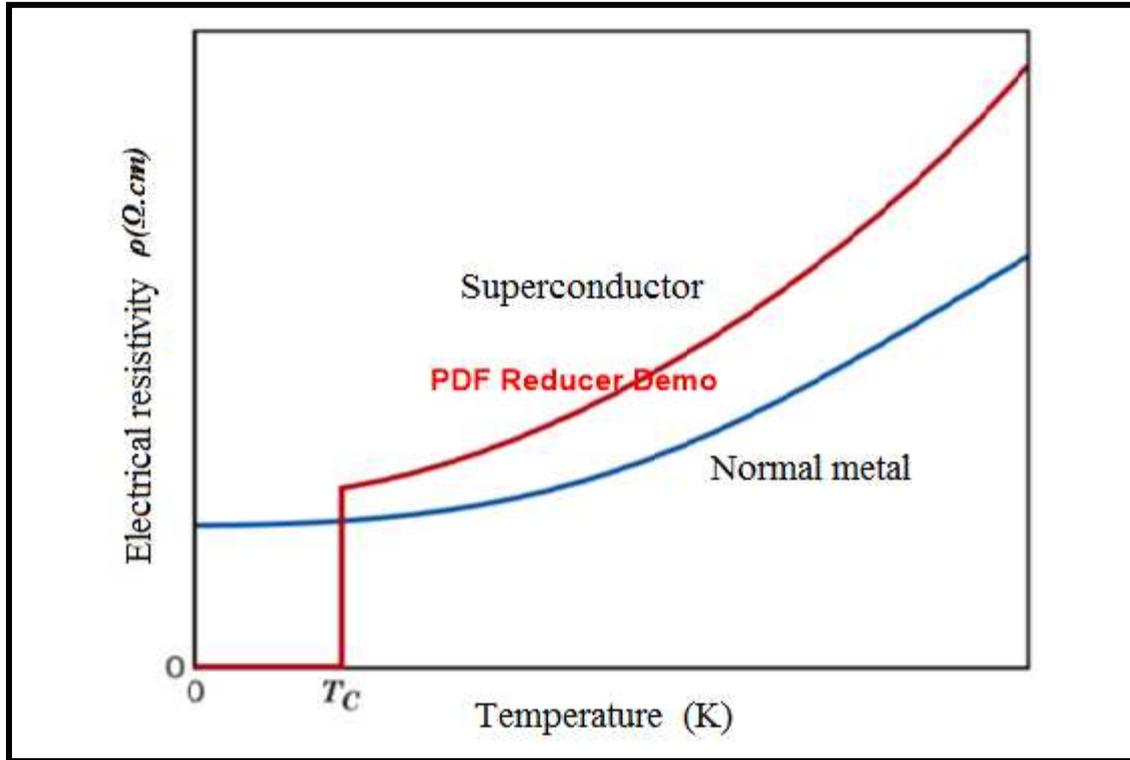
[64]

الشكل (2-4) العلاقة بين (T_c, H_c, J_c). [65]

2-4 درجة الحرارة الحرجة (T_c) Critical Temperature

ان درجة الحرارة الحرجة للمواد فائقة التوصيل هي درجة الحرارة التي عندها تنخفض المقاومة النوعية للمادة الى الصفر [64]، ان هذا الانتقال يحدث بصورة مفاجئة جدا ويكتمل عندما تظهر المادة بطور جديد هو الطور فائق التوصيل وهذا الطور يوصف بوساطة نظرية (BCS)، وتتعرض عدة مواد الى الانتقال للطور فائق التوصيل عند درجات حرارة منخفضة، وان درجة حرارة الانتقال الاعلى كانت بحدود (23K) حتى اكتشاف المواد فائقة التوصيل ذات درجات حرارة الانتقال الحرجة العالية في العام 1986. ان المواد ذات درجات الحرارة الحرجة العالية في المدى (120K) قد اخذت كثيرا من الانتباه والاهمية، وذلك لانها تبقى في الحالة فائقة التوصيل في درجات حرارة اعلى من نقطة غليان

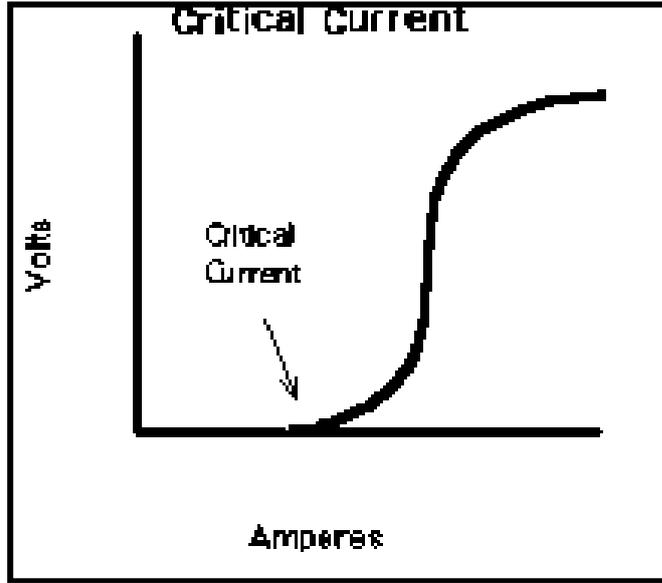
النتروجين السائل (77K) [66]، والشكل (2-5) يوضح العلاقة بين المقاومة النوعية للمادة ودرجة الحرارة.



الشكل (2-5) المقاومة الكهربائية النوعية كدالة لدرجة الحرارة. [65]

2-5 كثافة التيار الحرج (J_c) Critical Current Density

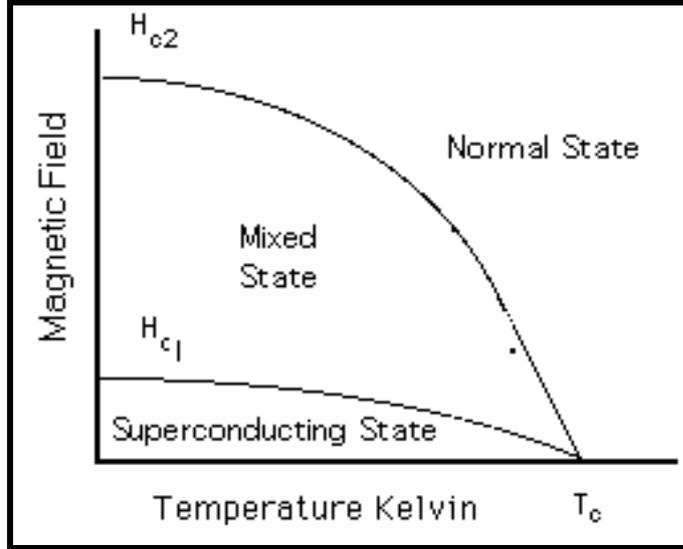
هناك قيمة قصوى للتيار لهذه المواد التي يمكن ان ينتقل خلالها، وفوق هذه القيمة فان التوصيلية الفائقة سوف تتوقف. واذا اندفع تيار كبير جدا خلال الموصل الفائق فانه سوف يرجع المادة الى حالتها الطبيعية حتى لو كان تحت درجة حرارته الحرجة [66]، وان قيمة كثافة التيار الحرج (J_c) كدالة لدرجة الحرارة هو انه كلما انخفضت درجة حرارة الموصل الفائق كان التيار المناسب اكبر، والشكل (2-6) يوضح العلاقة بين الفولتية والتيار للموصل الفائق.



الشكل (2-6) العلاقة بين الفولتية والتيار للموصل الفائق. [66]

2-6 المجال المغناطيسي الحرج (H_c) Critical magnetic field

عندما تنخفض درجة حرارة المادة فائقة التوصيل تحت درجة حرارة الانتقال الحرجة (T_c) والمجال المغناطيسي يزداد حوله فان المجال المغناطيسي يبقى محيطاً من الخارج بالمادة الفائقة التوصيل، وان الزيادة في المجال المغناطيسي تعطينا اشارة الى ان المادة فائقة التوصيل سوف تذهب الى الحالة الطبيعية للمقاومية، وان القيمة القصوى للمجال المغناطيسي عند درجة الحرارة المعطاة له يسمى بالمجال المغناطيسي الحرج والذي يرمز له بالرمز (H_c). ولكل المواد فائقة التوصيل توجد منطقة من درجة الحرارة والمجال المغناطيسي ضمن المادة التي تجعلها فائقة التوصيل وخارج هذه المنطقة فان المادة تكون في الحالة الطبيعية. والشكل (2-7) يوضح العلاقة بين درجة الحرارة والمجال المغناطيسي.



الشكل (7-2) العلاقة بين المجال المغناطيسي ودرجة الحرارة. [61]

وقد اظهرت التجارب اعتماد المجال المغناطيسي الحرج على درجة الحرارة التي يمكن وصفها بالصيغة الرياضية الآتية:

$$H_c(T) = H_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (2 - 1)$$

حيث ان $H_c(0)$ هو المجال المغناطيسي عندما تكون $(T=0K)$.

2-7 المقاومة الكهربائية (ρ) Electrical Resistivity

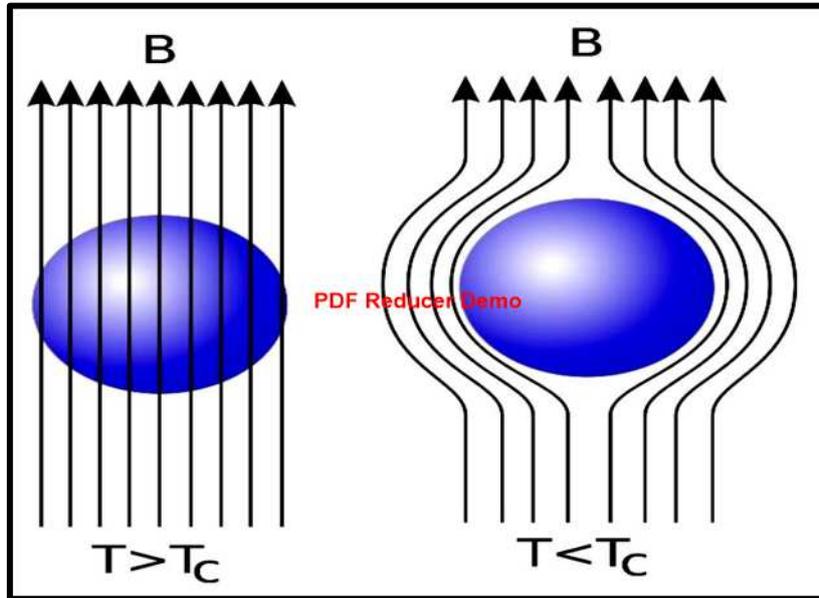
ان المقاومة الكهربائية للمواد فائقة التوصيل تهبط وبصورة مفاجئة الى الصفر عندما تهبط درجة الحرارة الى قيمة اقل من درجة حرارة الانتقال الحرجة، وفوق هذه الدرجة فان المقاومة النوعية او المقاومة تمتلك الصيغة الاعتيادية لها حيث ان:

$$\rho(T) = \rho_0 + BT^5 \dots \dots \dots (2 - 2)$$

وهي ناتجة من جزأين على التوالي الاول وهو الناتج من استطارة الشوائب، والثاني وهو الناتج من استطارة الفونونات. ان المواد فائقة التوصيل تحت درجة حرارة اقل من الدرجة الحرجة فان هذه الآليات لن تكون قادرة على خفض قيمة التيار، والتيارات ممكن ان تتساب في الموصل الفائق بشكل غير محدد من دون تشتت في الطاقة. [61]

8-2 تأثير مازنر Meissner Effect

يعرف تأثير مازنر على انه طرد لاي تدفق مغناطيسي داخل الموصل الفائق. وقد اكتشف هذا التأثير في العام 1933 العالمان (والتر مازنر، وروبرت اوخسينفيلد) (Walter Meissner & Robert Ochsenfeld) [42] ، والشكل (8-2) يبين سلوك خطوط المجال المغناطيسي في الحالة الطبيعية والحالة فائقة التوصيل للمادة.



الشكل (8-2) سلوك خطوط المجال المغناطيسي في الحالة الطبيعية والحالة فائقة التوصيل للمادة. [67]

وعندما يحصل انتقال في المادة من الحالة الطبيعية الى الحالة فائقة التوصيل فانها تقوم وبشكل نشط وفعال على ابعاد المجال المغناطيسي وطرده من داخلها. ومن خلال معرفتنا يتضح بان:

$$B = \mu_0(H + M) = \mu_0(1 + \chi)H \dots \dots \dots (2 - 3)$$

حيث: H هو شدة المجال المغناطيسي الخارجي، M هي تمغنت الوسط، χ هي التاثيرية المغناطيسية، μ_0 هو نفاذية الفراغ، وحيث ان $(B=0)$ في الحالة فائقة التوصيل فانه ينتج منه:

$$M = -H \dots \dots \dots (2 - 4)$$

$$\chi = -1 \dots \dots \dots (2 - 5)$$

ان هذا القيد الذي حصل للموصل الفائق والذي جعل المجال المغناطيسي داخله يساوي صفرا هو صفة مميزة للمواد الدايمغناطيسية التامة والتي تتشأ عندما تكون مقاومتها الكهربائية تساوي صفر [68]، ان القيمة الصفرية للمقاومية الكهربائية تشير ضمنا الى انه لو حاولنا مغنطة المادة فائقة التوصيل فانه سوف تتولد حلقات من التيار فيها تعمل على طرد المجال المغناطيسي المسلط عليها تماما (قانون لنز)، ولكن اذا كانت المادة تمتلك مسبقا مجالا مغناطيسيا ثابتا بداخلها وانخفضت درجة حرارة هذه المادة وتحولت الى مادة فائقة التوصيل فمن المتوقع بقاء المجال المغناطيسي بداخلها. واذا لم يكن هناك تغير في المجال المغناطيسي المسلط فلن يؤدي هذا الى تولد فولتية لسريان التيارات (قانون فاراداي) حتى في الموصل التام. لهذا فان فاعلية طرد وابعاد المجال المغناطيسي من داخل المادة يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار على انه تأثير مميز فقط عندما تكون المقاومة الكهربائية تساوي صفرا. [62]

احد التوضيحات النظرية لتأثير مازنر كانت من خلال معادلة لندن، حيث بين ان المجال المغناطيسي يتلاشى اسيا داخل الموصل الفائق على مسافة (20-40nm)، وهذا يصف المعنى للعامل الذي يسمى عمق الاختراق للندن (London Penetration Depth). ان تأثير مازنر يعد واحدا من المميزات الحاسمة للتوصيلية الفائقة. وان اكتشافه قد قدم خدمة لتأسيس بداية اولية في التوصيلية الفائقة وهو ما يسمى بانتقال الطور.

2-9-9 اساسيات التوصيلية الفائقة Fundamentals of Superconductivity

1-9-2 انتقال الحرارة (Heat Transport) : تنتقل الحرارة في المعادن الطبيعية بالدرجة الاولى بوساطة الألكترونات ، وان الموصلات الجيدة للكهربائية مثل الذهب والفضة والنحاس هي ايضا موصلات جيدة للحرارة بينما تعد العوازل الكهربائية عموما رديئة كموصلات حرارية. وفي الموصلات الفائقة فان كل الألكترونات تكون في الحالة الكمية نفسها، ولذا فان قيمة الانتروبي تساوي صفرا [69] . وهذا يعني ان ازواج كوبر لا يمكن ان تسهم في عملية انتقال الحرارة، وهذا ممكن استخدامه في بناء المفاتيح الحرارية، حيث ان المجال المغناطيسي المسلط سوف يرجع الموصل الفائق الى حالته الطبيعية.

2-9-2 أزواج كوبر (Cooper Pairs): ان المواد فائقة التوصيل عند تبريدها الى درجة حرارة اقل من درجة حرارتها الحرجة فان الغاز الالكتروني الحر يتحول من الحالة الطبيعية الى حالة المائع الكمي من الازواج الالكترونية المتشاكهة في الفضاء المقلوب، وكل زوج الکتروني منفرد يتشكل عندما يصاحب احد الالكترونات الکترون اخر معاكس له في الزخم والبرم اي انه يعطي زخما صافيا مساويا للصفر ،ولذلك فان حاملات الشحنة هذه تسمى أزواج كوبر (Cooper Pairs). [70,71]

2-9-3 طول التشاكه (Coherence Length(ξ): وهو البعد او المسافة الصغرى والذي عليه تعتمد امكانية تكون التوصيلية الفائقة او تحطمها، او هو المسافة التي تبقى فيها أزواج كوبر سويا. [64]. وهو عامل مهم في تقرير صنف المواد فائقة التوصيل سواء كانت من النوع الاول او النوع الثاني (Type-I or Type-II).

ان بيبارد (Pippard) هو اول من اقترح فكرة التشاكه في عام 1953 [72]. وقرر بيبارد بان الكثافة للمواد فائقة التوصيل ممكن ان تتغير بشكل محسوس بالمسافة وهذه المسافة سماها طول التشاكه (Coherence Length(ξ)، وان معظم المعادن فائقة التوصيل يكون طول التشاكه لها بحدود (10^{-4} cm). وكذلك فان طول التشاكه هو مقياس للمسافة بين الکتروني التوصيل الفائق والذي ممكن ان يعطى بالمعادلة الاتية: [73]

$$\xi = \frac{\hbar V_F}{2\Delta} \dots \dots \dots (2 - 6)$$

حيث ان V_F هي سرعة الالكترون عند مستوى فيرمي، 2Δ هو فجوة الطاقة.

2-9-4 عمق الاختراق (Penetration Depth): ان المجال المغناطيسي داخل الموصل الفائق المثالي ينخفض اسيا من قيمته الخارجية الى الصفر طبقا الى العلاقة الاتية [64,74]:

$$B(x) = B_0 e^{-x/\lambda} \dots \dots \dots (2 - 7)$$

حيث: B_0 هي قيمة المجال المغناطيسي عند السطح.

x : هي المسافة من السطح الى نقطة معينة داخل المادة.

λ : هي عامل يسمى عمق الاختراق وقيمه المثالية تتراوح بين (10-100nm).

ان عمق الاختراق يتغير مع درجة الحرارة طبقا للعلاقة التجريبية:

$$\lambda_{(T)} = \lambda_0 \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2-8)$$

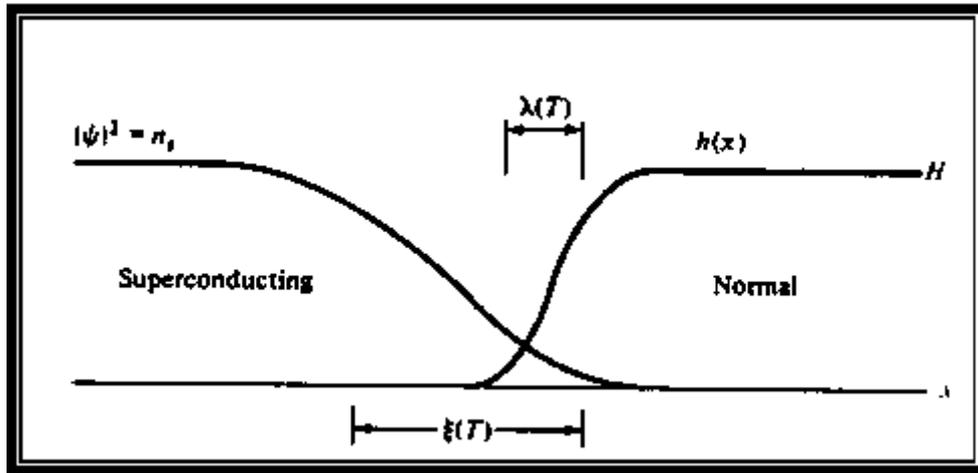
حيث: λ_0 هو عمق الاختراق عند $(T=0)$. من هذا نحن نرى ان $(\lambda \rightarrow \infty)$ عندما $(T=T_c)$. فضلا عن ذلك فانه عندما $(T \rightarrow T_c)$ فان النموذج هو في الحالة فائقة التوصيل، والمجال المغناطيسي يخترق بصورة اعمق الى داخل العينة، وفي النهاية فان المجال المغناطيسي يخترق كامل العينة $(\lambda \rightarrow \infty)$ والعينة تصبح في الحالة الطبيعية. [74].
وممكن استعمال معادلة الاتية لتحديد نوع الموصل الفائق هل هو من النوع الاول ام من النوع الثاني :

$$K = \frac{\lambda}{\xi} \dots \dots \dots (2-9)$$

حيث: K هو عامل كينزينبرك-لانداو و اذا كان $(K < 1/\sqrt{2})$ فان المادة هي موصل فائق من النوع الاول (Type-I).

واذا كان $(K > 1/\sqrt{2})$ فان المادة هي موصل فائق من النوع الثاني (Type-II). والشكل

رقم (2-9) يوضح كل من طول التشاكة وعمق الاختراق. [64,75]



الشكل (2-9) التداخل بين المجالات الطبيعية والمجالات فائقة التوصيل في الحالات المتوسطة.

[64,75]

5-9-2 تأثير الضغط (Pressure Effect): عند تسليط ضغط عالي جدا فانه من

المحتمل ان تصل درجة حرارة الانتقال الحرجة (T_c) للمادة الى الحالة فائقة التوصيل الى درجة حرارة قريبة من درجة حرارة الغرفة، وهذا يعني ان زيادة الضغط على المادة فائقة

التوصيل فانها تؤدي الى زيادة في درجة حرارة الانتقال الحرجة (T_c) والخاصة في ذلك ان (T_c) تعتمد على الضغط (للقيم العالية). [76]

6-9-2 تأثير النظير (Isotopic Effect): ان الدراسة التجريبية للمواد فائقة التوصيل بينت ان درجة حرارة الانتقال الحرجة تتغير مع معدل كتلة النظير (M)، وان السبب الرئيس لاعتماد درجة الحرارة الحرجة على معدل كتلة النظير هو اعتماد ترددات الفونون على كتلة النظير ومنها فان:

$$T_c \propto M^{-\frac{1}{2}} \rightarrow T_c M^{\frac{1}{2}} = \text{constant} \dots \dots \dots (2 - 10)$$

وكمثال ، فلقد وجد في الزئبق ان (T_c) تتغير من (4.185K) الى (4.146K) مع تغير معدل كتلة نظيره من (199.5) الى (203.4) وحدة كتلة ذرية [77,78]، واقترحت التجارب الحديثة معادلة عامة التي تختلف عن المعادلة اعلاه وبالصيغة العامة وهي:

$$T_c \propto M^{-\alpha} \dots \dots \dots (2 - 11)$$

حيث α تسمى معامل تأثير النظير يعطى بالعلاقة الاتية:

$$\alpha = \frac{\partial \ln T_c}{\partial \ln M} \dots \dots \dots (2 - 12)$$

ومن جهة اخرى وطبقا للنظريات الحديثة فان α تعطى بالعلاقة الاتية:

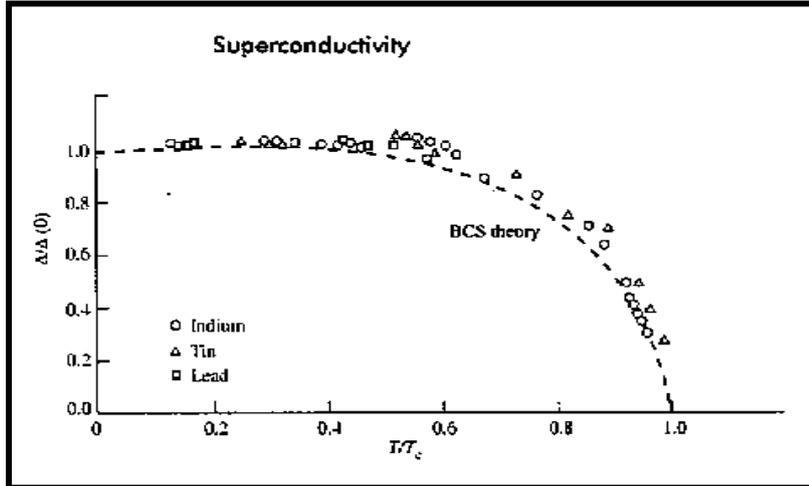
$$\alpha = 0.5[1 - 0.01(N(0)V)^{-2}] \dots \dots \dots (2 - 13)$$

حيث $N(0)$ هي كثافة الحالة للجسيم المنفرد ذي برم عند مستوى فيرمي، V هو الجهد بين الألكترونات [77]. ان كتلة النظير هي خاصية للشبيكة البلورية ويمكن ان تؤثر في خواصها، مثل تردد اهتزازات الشبيكة والذي له علاقة بكتلة الايون ،وان التوصيلية الفائقة التي هي خاصية للنظام الالكتروني هي ايضا لها علاقة بحالة الشبيكة البلورية طبقا الى تأثير النظير.

7-9-2 فجوة الطاقة (Energy Gap): ان وجود التجاذب الفعال بين الالكترونات

في الموصلات الفائقة يؤدي الى ظهور فجوة في طيف الطاقة والتي تسمى بفجوة الطاقة، وعندما يكون التردد كبيرا بصورة كافية فان عملية امتصاص سوف تحدث والتي تؤدي الى تهيج الالكترونات عبر فجوة الطاقة، وهنا فان عملية ازدواج الالكترونات لم تعد ذات فائدة، وان كل اثار التوصيلية الفائقة سوف تختفي، هذا الراي هو صحيح ومتوافق مع التنبؤات التي جاءت بها نظرية (BCS) [79]. ان عرض فجوة الطاقة ممكن ان يستخرج من

قياسات الحرارة النوعية، الامتصاص الكهرومغناطيسي او عملية الانفاق. وان القيمة المثالية لفجوة الطاقة هي تحت (1meV)، ومن الجدير بالذكر ان فجوة الطاقة لا تظهر بصورة مفاجئة حيث ان قيمتها عند درجة الحرارة الحرجة تساوي صفرا وتزداد الى قيمة (3.5KT_c) عند درجة حرارة الصفر المطلق. ان التغير في فجوة الطاقة مع درجة الحرارة مسند بصورة جيدة من قبل نظرية (BCS)، والشكل (2-10) يوضح ذلك حيث $\Delta(0)$ هي تمثل قيمة فجوة الطاقة عندما (T=0)، و $\Delta(T)$ هي قيمة فجوة الطاقة عند قيمة اعتباطية لدرجة الحرارة.

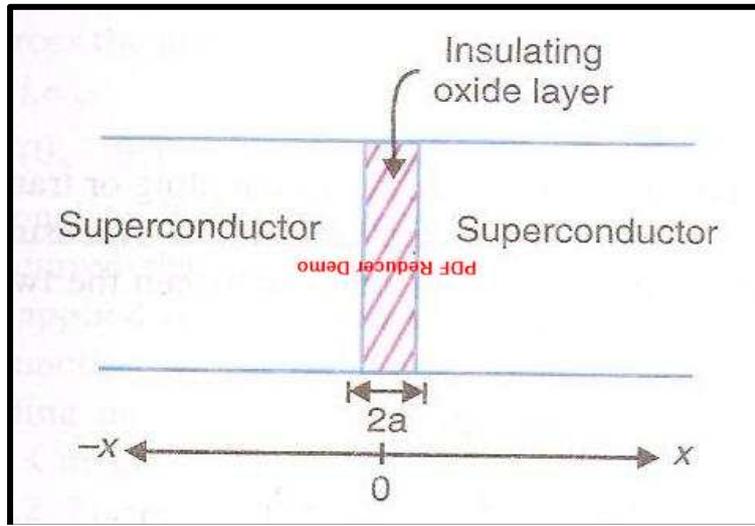


الشكل (2-10) تغير درجة الحرارة مع فجوة الطاقة (BCS) (علاقة فجوة الطاقة عندما (T=0) كدالة للنسبة (T/T_c)). [79]

8-9-2 تأثير جوزيفسون (Josephson Effect): هذا التأثير هو عبارة عن وصف لآلية تدفق التيار بين قطعتين من المادة فائقة التوصيل مفصولتين بطبقة رقيقة من اوكسيد عازل سمكه (2a) كما موضح في الشكل (2-11)، ان سمك هذه الطبقة العازلة يساوي تقريبا (2nm)، حيث ان ازواج كوبر ممكن لها ان تتدفق عبر الطبقة الرقيقة العازلة من الموصل الفائق الاول الى الموصل الفائق الثاني طبقا لآلية حفر الانفاق (Tunneling)، وان هذا التيار النفقي خلال الطبقة العازلة اكتشف تجريبيا بواسطة جيافير (I. Giaever)، وان سلوك التيار خلال الطبقة السندويشية العازلة بين موصلين فائقين حل نظريا لأول مرة من قبل جوزيفسون (B.D. Josephson)، حيث تنبأ بان التيار الفائق يشتمل على ازواج مرتبطة من الألكترونات يمكنها التدفق عبر فجوة عازلة بين موصلين فائقين اذا كانت صغيرة بما فيه الكفاية، ومثل هذه الطبقات العازلة او المفارق

تسمى بالروابط الضعيفة (Weak Link) وقد تم تصنيع مثل هذا المفرك او الملتقى عمليا.

[80]



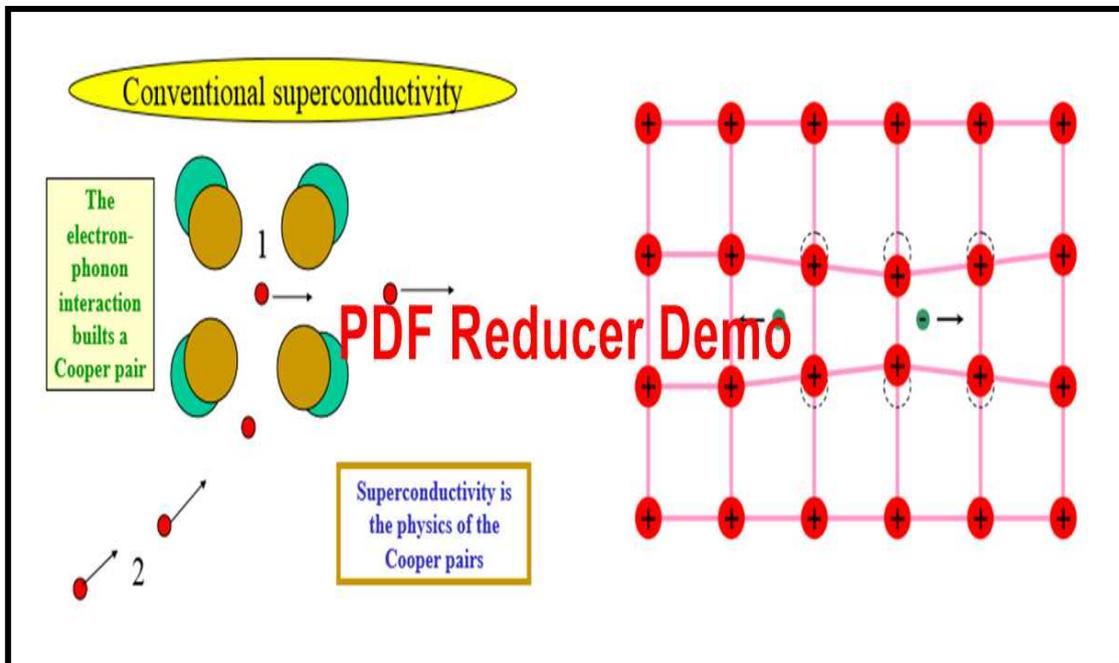
الشكل (11-2) تأثير جوزيفسون. [80]

10-2 نظرية (BCS) Theory

ان فهم ظاهرة التوصيل الفائق اصبح جليا من خلال النظرية التي تقدم بها كل من الفيزيائيين الاميركان الثلاثة (J.Bardeen,L.Cooper&J.Schrieffer) [70] . والتي سميت باسمهم نظرية (BCS)، ان نظرية (BCS) وضحت التوصيلية الفائقة في درجات حرارة قريبة من درجة حرارة الصفر المطلق، وكذلك اوضحت التوصيلية الفائقة التقليدية والتي هي قدرة معادن معينة على توصيل الكهرباء عند درجات حرارة واطئة من دون اي مقاومة كهربائية وانها افترضت ان الألكترونات التي لها زخم وبرم معاكس ممكن ان تزوج مكونة ازواجا تسمى ازواج كوبر (Cooper Pairs) وان هذه الازواج من الألكترونات ممكن ان تسلك سلوكا مختلفا تماما عن الألكترون المنفرد والتي هي فيرمونات وتخضع لمبدأ باولي للاستبعاد (Pauli exclusion principle)، ان الازواج الألكترونية تعمل بصورة اكثر كبوزونات والتي ممكن ان تتجمع عند المستوى نفسه من الطاقة. ان الازواج الألكترونية تمتلك تقريبا مستوى واطئا من الطاقة والتي تترك فجوة طاقة اقل من طاقة اي منهم ويحدود (1meV) والتي تمنع تفاعلات التصادم التي تسبب المقاومة الكهربائية العادية حيث انه عند درجات الحرارة التي تكون فيها الطاقة الحرارية اقل من فجوة النطاق فان

المادة تظهر مقاومة كهربائية التي تساوي صفرا. لقد ادرك كوبر ان اهتزازات الشبكة هي المسؤولة بصورة مباشرة عن كامل التيار، وهي التي تجبر الألكترونات للازدواج كفريق يمكنه ان يتجاوز كل العقبات التي تسبب المقاومة في الموصل. وهذه الفرق او التشكيلات من الألكترونات تسمى ازواج كوبر (Cooper Pairs) [68,81]. من جهة اخرى خمن كوبر وزملاؤه بان الألكترونات في الحالة الطبيعية للمادة التي عادة ما يتنافر احدها مع الآخر يجب ان يظهر عليها تجاذب شديد في حالة الموصلات الفائقة. ووجدوا ان حل هذه المشكلة يكمن في الفونونات، التي هي عبارة عن رزم من الموجات الصوتية تحدث بشكل اهتزازات في الشبكة البلورية، وعلى الرغم من ان هذه الاهتزازات الشبكية لا يمكن سماعها الا ان دورها كوسيط مهم جدا و لا يمكن الاستغناء عنه.

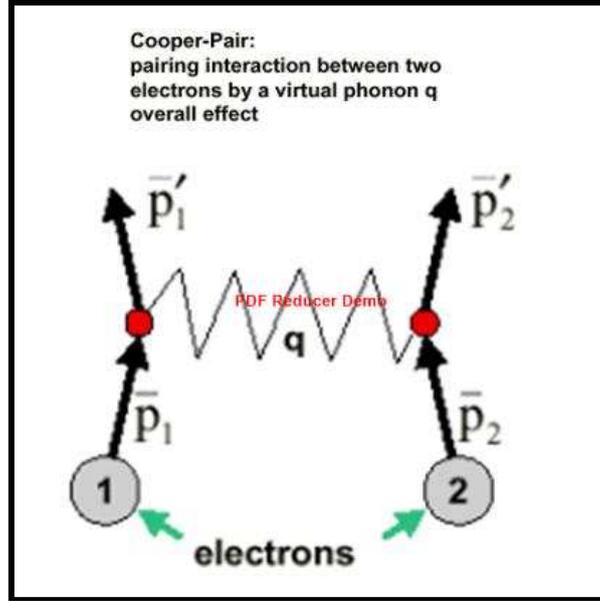
وطبقا للنظرية فان حركة الألكترونات كشحنة سالبة في الشبكة تكون بوساطة الايونات الموجبة في المواد فائقة التوصيل ، وبالنتيجة فان الشبكة سوف تضطرب [61]. وهذا الاضطراب يسبب انبعاثا مستمرا للفونونات التي تشكل حوضا من الشحنات الموجبة تحيط بالألكترونات ، والشكل (2-12) يوضح موجة اضطراب الشبكة بسبب الانجذاب الى الالكترون المتحرك.



الشكل (2-12) تشكيل زوج كوبر و اضطراب الشبكة عند حركته. [82,83]

وقبل ان يمر الالكترون في الشبكة وكذلك قبل ان يعود الى موضعه الطبيعي فان الكترونا ثانيا سوف ينسحب الى داخل الحوض وخلال هذه العملية بين الالكترونين والتي يجب فيها ان يتنافر الالكترونان مع بعضهما، فانهما يرتبطان بوساطة القوى التي مارستها الفونونات للتغلب على قوى التنافر الطبيعية بين الألكترونات. وان هذه الأزواج الألكترونية تكون متماسكة مع بعضها ويعبرون خلال الموصل بصورة متناغمة. وان هذه الألكترونات محجوب كل واحد منها عن الآخر بوساطة الفونونات ومفصولة عن بعضها بمسافة معينة. وعندما يظهر احد الألكترونات والذي يشكل زوجا يعبر قريبا من الايون في الشبكة البلورية فان التجاذب بين الالكترون السالب والايون الموجب يسبب اهتزازا في الشبكة للعبور من ايون الى ايون اخر حتى يمكن للالكترون الآخر من الزوج امتصاص هذا الاهتزاز. ان صافي التأثير هو ان احد الالكترونين يبعث فونونا والالكترون الآخر يمتص هذا الفونون. وهذا التبادل هو الذي يبقي على ازواج كوبر معا. وان ارتباط هذه الأزواج من الألكترونات يكون بوساطة طاقة ربط محددة فاذا كانت طاقة الربط هذه اكبر من الطاقة الناتجة من الضربات او الصدمات الناتجة عن تذبذب الذرات في الموصل(والتي هي في الحقيقة عند درجات الحرارة الواطئة) فان هذه الأزواج تبقى متواشجة معا وتقاوم كل الضربات، ولهذا فهي لاتعاني اي مقاومة، وعلى اي حال فان من المهم فهم كيفية كسر ازواج كوبر بشكل ثابت واعادتها لان الألكترونات جسيمات يصعب تمييزها ، وهذا سهل من خلال اعتبارهم كازواج دائمة والشكل (13-2) يوضح كيف يصبح الالكترونان والمسميان بزواج كوبر مرتبطين بصورة محكمة.

ان نظرية(BCS) نجحت في توضيح ان الألكترونات ممكن ان تتجاذب الواحد مع الآخر خلال تفاعلها مع الشبكة البلورية[84]. وهذا يحصل بالرغم من الحقيقة القائمة بان الألكترونات تمتلك الشحنة نفسها، حيث انه عند تذبذب الذرات في الشبكة كمناطق موجبة وسالبة فان الزوج الالكتروني يتناوب في السحب والدفع معا من دون ان يتصادما. ان الازدواج الالكتروني يكون مفضلا بسبب ان له تأثيرا واضحا في وضع المادة في اوطأ حالات من الطاقة. وعند ارتباط الألكترونات معا كازواج فانها تتحرك خلال المادة الفائقة التوصيل في نسق منظم.



الشكل (13-2) انبعاث الفونون (q) وامتصاصه بين الكتروني زوج كوبر في الموصل الفائق. [68] ان نظرية (BCS) توقعت ان اعلى حد نظري لدرجة الحرارة الحرجة (T_c) هي بحدود (30-40K)، كما ان الطاقة الحرارية سوف تسبب تفاعلات (الالكترون- فونون) ذات الطاقة العالية جدا والتي تسمح بتشكيل او اسناد ازواج كوبر.

ان نظرية (BCS) استنتجت العديد من التوقعات او التنبؤات المهمة التي لا تعتمد على تفاصيل التفاعل وقد اثبتت هذه في العديد من التجارب يمكن ان نذكر منها:

1- ان التعبير الابطس لدرجة الحرارة الحرجة يتضمن كثافة الحالة عند مستوى فيرمي ($N(E_F)$)، فاذا كان معدل تفاعل (الالكترون- فونون) (V)، ودرجة حرارة ديباي هي ($\Theta_D = \hbar\omega_D/K_B$) ومعدل طاقة التناثر لكولوم هو (μ) فان درجة الحرارة الحرجة تعطى

بالعلاقة الاتية: [85]

$$T_c = 1.14\theta_D e^{-\left(\frac{1}{N(E_F)V-\mu}\right)} \dots \dots \dots (2 - 14)$$

2- ان الازواج الألكترونية تمتلك طاقة هي اقل من الطاقة التي يمتلكها اي من الالكترونين في الحالة الطبيعية، وهذا يعني ان فجوة الطاقة بين المزوج كحالات الكترونية تكون منفردة،

وهذه الطاقة تساوي (2Δ) حيث ان (Δ) تعطى بواسطة العلاقة الاتية: [86]

$$\Delta \cong 2\hbar\omega_D e^{-\left(\frac{1}{N(E_F)V}\right)} \dots \dots \dots (2 - 15)$$

حيث ω_D هو تردد ديباي ويظهر في المعادلة بسبب تبادل الفونونات بين الكتروني زوج كوبر.

3- ان فجوة الطاقة غير ثابتة ،ولكن بزيادة درجة الحرارة فان فجوة الطاقة تتناقص برتبة وتصل الى الصفر عندما تكون $(T \rightarrow T_c)$ ، وعلى مقربة من درجة حرارة الانتقال فان النظرية تنتج منه: [87]

$$\Delta(T) \cong 1.74\Delta(0) \left[1 - \frac{T}{T_c}\right]^{1/2} \dots \dots \dots (2 - 16)$$

4- ان النسبة بين قيمة فجوة الطاقة عند درجة حرارة (0K) وقيمة (2Δ) في درجة حرارة الانتقال الحرجة (معبّر عنها بوحدات الطاقة) تاخذ القيمة العامة (3.5) وهي لاتعتمد على المادة. [88]

$$2\Delta = 3.5K_B T_c \dots \dots \dots (2 - 17)$$

حيث K_B هي ثابت بولتزمان .

5- بما انه تردد ديبياي (Debye frequency) (W_D) يتناسب مع $(M^{-1/2})$ حيث M هي كتلة النظير وهذا يترتب عليه ان $(\Delta_0 \sim M^{-1/2})$ حيث (Δ_0) هي فجوة الطاقة عند (0K)، لهذا فان الفجوة وكذلك درجة الحرارة الحرجة (T_c) تقل بزيادة (M) . [87]

11-2 انواع الموصلات الفائقة Types of Superconductors

هنالك ثلاثون نوعا من المعادن النقية التي تمتاز بانها في حالة تبريدها الى درجات حرارة واطنة فانها تظهر مقاومة كهربائية مساوية للصفر، وكذلك تمتاز بخاصية مميزة اخرى وهي طردها للمجال المغناطيسي من داخلها عند تحولها من الحالة الطبيعية الى الحالة فائقة التوصيل (تأثير مازنر)، وهذه المعادن تسمى بالموصلات الفائقة من النوع الاول (Type I-Superconductors)، ان التوصيلية الفائقة توجد فقط عند درجات الحرارة الاقل من درجات الحرارة الحرجة وعندما يكون المجال المغناطيسي اقل قيمة من المجال المغناطيسي الحرج، وقد وصف النوع الاول من الموصلات الفائقة بصورة جيدة من قبل نظرية (BCS) والتي تعتمد على الازدواج الألكتروني بوساطة تفاعل اهتزازات الشبكة. وبينما نحن نتعلم لفهم ظاهرة التوصيلية الفائقة فان النوع الاول من الموصلات الفائقة تكون ذات فائدة عملية محدودة بسبب ان المجالات المغناطيسية الحرجة تكون صغيرة جدا والحالات فائقة التوصيل تختفي بصورة مفاجئة عند درجات الحرارة الحرجة. ان النوع الاول من

الموصلات الفائقة يسمى بعض الاحيان بالموصلات الفائقة الرخوة (Soft-Superconductors) بينما تسمى الموصلات الفائقة من النوع الثاني بالموصلات الصلبة (Hard-Superconductors) والتي تبقى الحالات فائقة التوصيل عند درجات حرارة عالية ومجالات مغناطيسية عالية. [89]

ان النوع الثاني من الموصلات الفائقة كانت بدايته في عام 1930 مع سبائك (بزموت- رصاص)، حيث ان العديد من السبائك والمركبات وجد انها تظهر الخاصية فائقة التوصيل، وقد ظهرت بانها تمتاز بمجالات حرجة اعلى بكثير وانها تستطيع حمل كثافات تيار عالية جدا بينما هي في الحالة فائقة التوصيل.

ان الموصلات الفائقة من النوع الثاني بالاضافة الى كونها اشد صلابة ميكانيكيا من النوع الاول ولكنها تظهر مجالات مغناطيسية حرجة اعلى بكثير من تلك التي ممكن ان تظهر في النوع الاول مثل سبيكة (النيوبيوم-تيتانيوم) (NbTi) والتي تستعمل في بناء المغناط فائقة التوصيل ذات المجالات العالية. [75]

وفي النوع الثاني من الموصلات الفائقة وعندما يكون المجال المغناطيسي بين المجالين المغناطيسيين الحرجين فان الموصل الفائق يكون في الحالة المختلطة (Mixed State) التي تسمى بالحالة الدوامية (Vortex State) والتي تكون فيها العديد من اللباب للمادة الطبيعية محاطة بالمادة فائقة التوصيل وعند زيادة المجال المغناطيسي فان الدوامات في الموصلات الفائقة تزداد لغاية ان تعود المادة فائقة التوصيل الى حالتها الطبيعية. [90]

ان النوع الثاني من الموصلات الفائقة هو عبارة عن سبائك ومركبات ماعدا سبائك ومركبات النيوبيوم والاندنيوم [64]، والخاصة فان النوع الاول يمتاز بالخواص الاتية:

- 1- ان طول التشاكة (ξ) الذي هو خاصية لحجم دالة الموجة للزوج الالكتروني هو اطول من عمق الاختراق (λ).

- 2- ان معامل كينزينبيرك-لانداو هو ($K < 1/\sqrt{2}$).

- 3- يظهر استجابة تامة لتأثير مازنر.

- 4- توجد له قيمة مجال مغناطيسي حرجة واحدة هي (H_c) وتكون واطئة جدا بحدود ($0.1T$).

- 5- لقيمة اقل من (H_c) فان المادة تكون فائقة التوصيل واعلى منها تكون المادة في حالتها الطبيعية. [92,91,79,67]

اما بالنسبة للنوع الثاني فانه يمتاز بالخواص الآتية:

1- ان طول التشاكه (ξ) يكون اقل من عمق الاختراق (λ).

2- ان معامل كينزينبيرك-لانداو هو ($K > 1/\sqrt{2}$).

3- لا يظهر استجابة كاملة لتأثير مازنر.

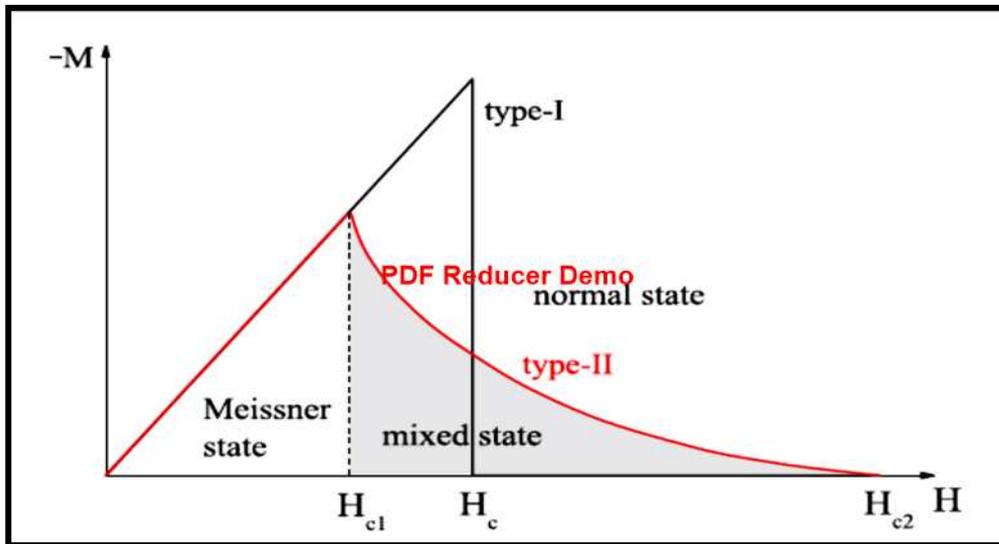
4- توجد له قيمتان للمجالات المغناطيسية الحرجة هما (H_{c1}, H_{c2}) وتكون قيمة (H_{c1}) اقل

من قيمة (H_{c2}) ويمكن ان تصل قيمة المجال الحرج في النوع الثاني بحدود (100) مرة

اكبر من المجال الحرج في النوع الاول. وقد لوحظ ان قيمة (H_{c2}) وصلت الى اكثر من

$[71,93,94](30T)$ ، والشكل (14-2). يظهر منحنى التمعنط للموصلات الفائقة بنوعيها

الاول والثاني.



الشكل (14-2) منحنى التمعنط للموصلات الفائقة النوع الاول والنوع الثاني. [95]

12-2 نظريات الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة الواطئة (Theories of Superconductor at Low Temperature)

خلال النصف الاول من القرن العشرين وبعد اكتشاف ظاهرة التوصيلية الفائقة فان مشكلة التقلبات المشوشة للانتقال الى التوصيلية الفائقة لم تاخذ بنظر الاعتبار في العينات فائقة التوصيل المحضرة بشكل كتل (Bulk)، حيث ان درجة الحرارة الحرجة تفصل بين طور الفائق التوصيل والطور الطبيعي للمادة بصورة حاسمة. ومن الجدير بالذكر ان مثل هذا السلوك في الخصائص الفيزيائية للموصلات الفائقة يتفق تماما مع النظرية التي جاء بها كل من (Ginzburg-Landau) في العام 1950 والنظرية المجهرية التي جاء بها (BCS) في العام 1957 اللتين توضحان ظاهرة التوصيلية الفائقة. [96]

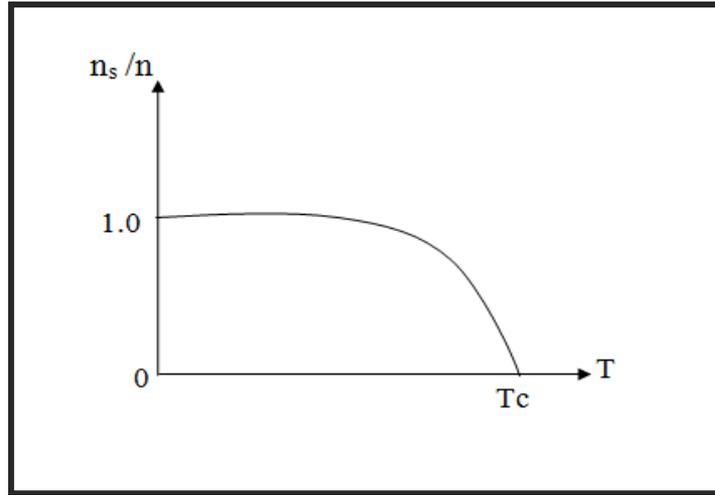
1-12-2 نموذج المائعين (The Two Fluids Model):

وضع انموذج المائعين من قبل العالمان كورتر وكاسيمير (Gorter & Casimir) في العام 1934 للتعبير عن الخواص الثرموديناميكية للمواد الفائقة التوصيل. وطبقا لهذا الانموذج فان الألكترونات الموصلة في الموصلات الفائقة تصنف الى صنفين هما: الاول الألكترونات الفائقة والأخرى الألكترونات الطبيعية والتي تتصرف كجسيمات مشحونة تتدفق وتتحرك في وسط مائع، ولكن الألكترونات الفائقة تمتلك العديد من الخواص منها، انها لا تستطار، والانتروبي لها يساوي صفرا، وان طول التشاكة بحدود (10^4Å) .

لقد وجد كل من كورتر وكاسيمير (Gorter & Casimir) المعادلة التجريبية لتركيز الألكترونات الفائقة والألكترونات الطبيعية التي تتغير مع درجة الحرارة والتي يعبر عنها في المعادلة الآتية:

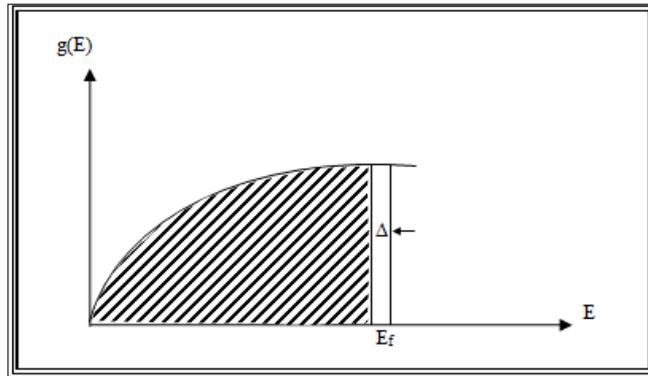
$$n_s = n \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^4 \right] \dots \dots \dots (2-18)$$

والموضحة في الشكل (2-15)، حيث انه عند $(T=0\text{K})$ كل الألكترونات هي الكترونات فائقة التوصيل، وان اي زيادة في درجة الحرارة فان الألكترونات الفائقة تنقص، وفي حالة ان $(T=T_c)$ فان كل الألكترونات تصبح في الحالة الطبيعية، وان هذا الانموذج ممكن ان يخضع بسهولة لمفهوم فجوة الطاقة.



الشكل (2-15) نسبة الإلكترونات الفائقة (n_s/n) كدالة لدرجة الحرارة (T) . [62]

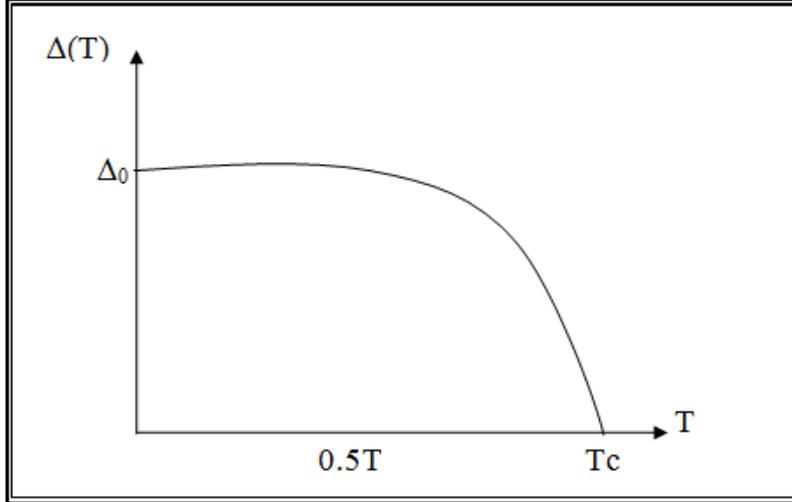
حيث ان كل الإلكترونات تحت الفجوة هي في الاساس مقيدة الحركة بواسطة وجود الفجوة والموضحة في الشكل (2-16).



الشكل (2-16) كثافة الحالة $(g(E))$ كدالة لطاقة الفجوة الفائقة التوصيل عند مستوى طاقة فيرمي.

[62]

لهذا فان هذه الإلكترونات الفائقة التي هي فوق الفجوة هي تمثل الإلكترونات الطبيعية. ان فجوة الطاقة هذه تتناقص مع زيادة درجة الحرارة وتختفي كليا عندما تكون $(T=T_c)$ والموضحة في الشكل (2-17)، ولهذا عندما تصبح $(T \rightarrow T_c)$ فان الفجوة تختفي وكل الإلكترونات تصبح في الحالة الطبيعية. [62]



الشكل (2-17) نقصان فجوة الطاقة في التوصيل الفائق $\Delta(T)$ مع درجة الحرارة (T) . [62]

2-12-2 معادلة لندن (London Equation):

ان الكترونات التوصيل في الحالة الطبيعية من المعدن توصف بوساطة قانون اوم (Ohm's Law) والذي يعبر عنه بصيغته الرياضية $(j = \sigma E)$. وطبقا لتعديل هذا الوصف وتأثير مازنر في الحالة فائقة التوصيل. فانه يفترض في الحالة فائقة التوصيل ان كثافة التيار تتناسب طرديا مع متجه الجهد (A) للمجال المغناطيسي الموقعي. حيث ان:

$$B = \nabla \times A \dots \dots \dots (2 - 19)$$

وان ثابت التناسب هو $(-1/\mu_0\lambda_L^2)$. [97]

$$j = \left(-\frac{1}{\mu_0\lambda_L^2}\right)A \dots \dots \dots (2 - 20)$$

حيث λ_L هي ثابت الابعاد من الطول. وهذه هي معادلة لندن . وباخذ (curl) لكلا الطرفين فاننا نحصل على ماياتي:

$$\nabla \times j = \left(-\frac{1}{\mu_0\lambda_L^2}\right)B \dots \dots \dots (2 - 21)$$

والان نستخدم معادلة ماكسويل وهي:

$$\nabla \times B = \mu_0 j \dots \dots \dots (2 - 22)$$

$$\nabla \times \nabla \times B = \mu_0 \nabla \times j \dots \dots \dots (2 - 23)$$

والان فان:

$$\nabla \times \nabla \times B = grad \, div \, B - \nabla^2 B \dots \dots \dots (2 - 24)$$

$$\nabla \times \nabla \times B = -\nabla^2 B (div B = 0) \dots \dots \dots (2 - 25)$$

$$-\nabla^2 B = \mu_0 \nabla \times j \dots \dots \dots (2 - 26)$$

$$-\nabla^2 B = - \left[\frac{n_s e^2 \mu_0}{m^*} \right] B = - \frac{B}{\lambda^2} \dots \dots \dots (2 - 27)$$

$$\lambda^2 = \left(\frac{m^*}{n_s e^2 \mu_0} \right) \dots \dots \dots (2 - 28)$$

حيث ان (λ): هي عمق الاختراق للندن (وهذا المصطلح يرتبط مع مقدار العمق الذي سوف يخترقه المجال المغناطيسي لسطح الموصل الفائق)، ان جمع هذا التعريف مع صيغة كورتر وكاسيمير (GC) لكثافة الألكترونات الفائقة التوصيل له نتائج في اعتماد درجة الحرارة على عمق الاختراق. [98]

$$\lambda(T) = \frac{\lambda(0)}{\sqrt{1 + t^4}} \dots \dots \dots (2 - 29)$$

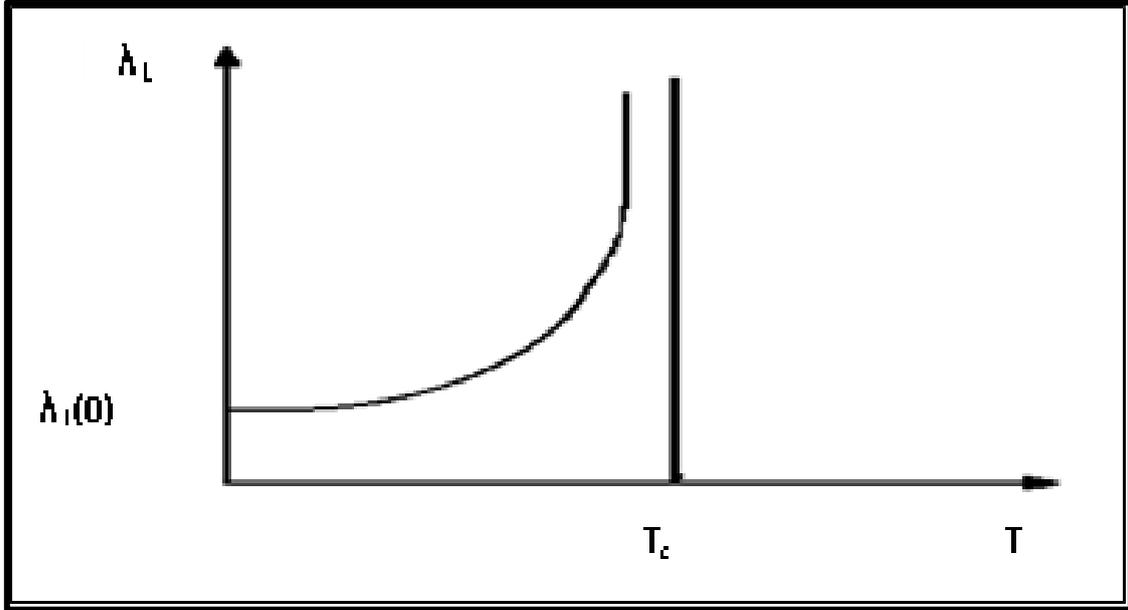
وبالرغم من ان المعادلة الاخيرة لا تمتلك تفسيراً او تبرير مجهري عند درجات الحرارة الواطئة فهي تاخذ الصيغة الاتية:

$$\lambda(T) \approx \lambda(0) \left[\left(1 + \frac{t^4}{2} \right) + 0(t^8) \right] \dots \dots \dots (2 - 30)$$

والتي هي من المتعذر تمييزها من السلوك الاسي ($\lambda(T) \approx T^{-1/2} \cdot e^{(\Delta/T)}$) المتوقع من قبل نظرية (BCS). [98]

$$\lambda(T) = \lambda(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2 - 31)$$

حيث ($\lambda(0)$ هي عمق الاختراق عند درجة حرارة ($T=0K$))، والشكل (2-18) يبين تغير عمق الاختراق مع درجة الحرارة. [99]



الشكل (2-18) يبين تغير عمق الاختراق (λ) مع درجة الحرارة (T). [98]

3-12-2 نظرية كينزينبرك-لاندائو (Ginzburg-Landau theory):

لقد استعمل كل من كينزينبرك ولاندائو النظرة الظاهرية لوصف الانتقال من الحالة الطبيعية الى الحالة فائقة التوصيل وعلى الاساس الترموديناميكي في التحول الطوري ذي المرتبة الثانية (Second order phase transition) [100]. لقد قدمت هذه النظرية العامل (ψ) للالكترونات فائقة التوصيل (n_s) ككثافة موضعية للالكترونات فائقة التوصيل والمعطاة بالعلاقة ($n_s = |\psi|^2$) وطبقا للنظرية فان تغير الطاقة الحرة (F) ممكن ان يتوسع الى قوى المتسلسلة (ψ) ومن هذه النظرية فان عمق الاختراق المغناطيسي (λ) وطول التشاكة الفائق التوصيل (ξ) وهو المسافة العظمى بين الالكترونات ازواج كوبر ممكن ان يحسب من خلال العلاقات الاتية:

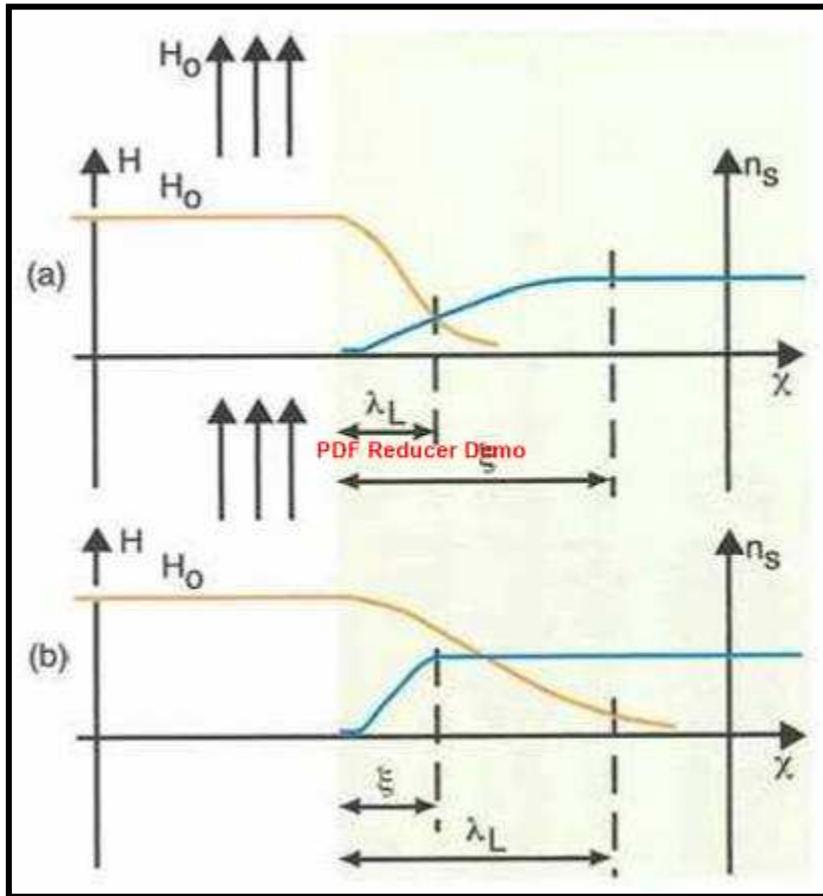
$$\xi^2(T) = \hbar^2 / 4m|\alpha| \dots \dots \dots (2-32)$$

$$\lambda^2(T) = mc^2 / 4\pi n_s e^2 \dots \dots \dots (2-33)$$

حيث $|\alpha|$ هي عامل متغير في التجربة يعتمد على التقلبات الترموديناميكية للطور فائق التوصيل [101]، وكلا العاملين (λ, ξ) يتبعان بالطريق نفسه بالقرب من ($T=T_c$)، وعندما تكون ($T \rightarrow T_c$) فان النسبة بينهما تعطي عاملا ذا قيمة محددة يسمى بعامل كينزينبرك-لاندائو (K) وهو الخاصية التي تميز بين انواع المواد فائقة التوصيل سواء كانت من النوع الاول او من النوع الثاني ويعطى بالعلاقة الاتية:

$$K = \lambda / \xi \dots \dots \dots (2-34)$$

والشكل (2-19) يبين ماسبق:



الشكل (2-19) شدة المجال المغناطيسي كدالة لعدد الألكترونات الفائقة التوصيل وكدالة ايضاً للمسافة عبر الحدود الفاصلة بين الحالة الطبيعية والحالة فائقة التوصيل.

(a) الموصل الفائق من النوع الاول.

(b) الموصل الفائق من النوع الثاني. [102]

2-13 الموصلات الفائقة ذات درجة الحرارة العالية High Temperature Superconductor (HTSC)

ان الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية هي مركبات كيميائية تشتمل على انماط متكررة من الذرات لعناصر مختلفة، التي تسمى بوحدة الخلية (Unit cell)، وعمليا فان استعمال الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية كان محدودا الى حد كبير في الكثير من التقنيات في تشكيل الموصلات الفائقة ذات الخصائص الملائمة المستعملة في المنتجات الكهربائية والتطبيقات الألكترونية. علما ان الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية تمتلك درجة حرارة حرجة اعلى من نقطة غليان النتروجين السائل (77K) [103]، وهي تتضمن تركيبا معقدا من العناصر تترتب بشكل منسق يسمى بالشبيكة البلورية. ان كل انواع الموصلات ذات درجة الحرارة العالية هي هشة (Brittle)، وان الموصل الفائق ذو درجة الحرارة العالية ذو الصيغة التركيبية $(\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta})$ والذي يمتاز بدرجة الحرارة الحرجة العالية اصبح الهدف الاكبر منذ اكتشاف الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية، حيث انه في العام 1980 وجد موصل فائق جديد اتى بصورة جديدة تحتوي على المستوي (CuO_2) والتي كونت اصل التوصيلية الفائقة.

قام كل من (J.G.Bednorz & K.A.Muller) في العام 1986، [51] باكتشاف التوصيلية الفائقة في المركب $(\text{La}_x\text{Ba}_{1-x}\text{CuO}_4)$ (LBCO) عند درجة حرارة حرجة تقريبا (30K)، بعد ذلك بمدة قصيرة فان الكثير من الموصلات الفائقة ذات الاساس الاوكسيدي اكتشفت واصبحت اكثر اهمية من حيث درجة حرارتها الحرجة (T_c) وكثافة التيار الحرج (J_c) التي هي اكثر بكثير من السبائك مثل $(\text{NbTi} \& \text{Nb}_3\text{Sn})$. ان هذا المجال فتح عصرا جديدا في حقل الموصلات الفائقة عالية درجة الحرارة (HTSC) والتي كسرت حاجز درجة الحرارة الحرجة (30K) والمفترض بوساطة نظرية (BCS). (LBCO) والذي يعد العازل الوحيد في (HTSC) هو اول مركب ذو اساس اوكسيدي في المواد (HTSC) يمتلك [104] $(T_c=35K)$. ان البحث الآخر في (HTSC) توصل الى ان المركب

والمركب $(\text{Ti}_m\text{Ba}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+m+2})$ يمتلك $(T_c=125\text{K})$ ، وكذلك المركب $(\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+x})$ له $(T_c=135\text{K})$ في الضغط الطبيعي و (165K) عند الضغط العالي.

كل اكاسيد (HTSC) تمتلك خواص رئيسة من الموصلات الفائقة التقليدية تتضمن ان المقاومة الكهربائية تساوي صفرا وكذلك تأثير مازنر وتأثير جوزيفسون ... الخ، إضافة الى ماسبق فان المواد (HTSC) تمتاز بالخصائص التالية:

- 1- كل الاكاسيد (HTSC) تمتلك تركيبا بلوريا طبقيًا يحتوي على شبكة ثنائية الابعاد من اوكسيد النحاس (Cu-O).
- 2- ان تنسيق النحاس في المستويات (Cu-O) هو مستوي مربع.
- 3- ان اواصر (Cu-O) هي عالية التساهمية وذات مسافة اصرة تقريبا (1.9Å) .
- 4- التراكيب الطبقيّة تكون متباينة الخواص بصورة كبيرة (Anisotropic).
- 5- ان الخواص الانتقالية في الحالة الطبيعية تختلف بصورة ملحوظة عن تلك التي في المعادن الطبيعية، فضلا عن مقاومة نوعية متباينة الخواص بصورة كبيرة، ومقاومة مغناطيسية مختلفة، وفجوة طاقة كاذبة،... الخ، ولهذا تسمى (HTSC) الموصلات الفائقة غير التقليدية.
- 6- ربما السمة الاكثر اثاره في الحالة الطبيعية هي الفجوة الكاذبة (Pseudogap) في اطراف الاثاره للبرم والشحنة للمركبات ذات الاساس اوكسيد النحاس (Cuprates) المطعمة.
- 7- ان التباين في الخواص يصبح كبيرا وواضحا في الاختلاف في طول التشاكة على طول المحور بالاتجاه محور (c-axis) والاتجاهات العمودية عليه. ان تباين الخواص الكبرى لوحظ في الموصل الفائق (Bi-base) حيث ان طول التشاكة بحدود (2Å) على طول المحور (c-axis)، و (40Å) في الاتجاه المستعرض. وقد وجد للمركب $(\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7)$ انه يمتلك $(\xi_c \sim 4.0\text{Å}, \xi_{ab} \sim 15\text{Å})$.

8- في الموصلات التقليدية طول التشاكة بحدود ($10^{-4} \text{cm} \approx \xi$). بينما في الموصلات الفائقة (HTSC) نرى انه اصغر الالف المرات ويساوي تقريبا (10^{-40}A°)، وبالمقارنة مع حجم وحدة الخلية، نلاحظ ان طول المحور (c) مساو تقريبا الى المسافة بين الطبقات واقصر من طول وحدة الخلية المطابق.

9- ان اعتماد درجة الحرارة الحرجة على تركيز حاملات الشحنة له خاصية غير مستقرة، حيث ان القيمة العظمى لدرجة الحرارة الحرجة التي تم الحصول عليها كانت عند كثافة حاملات شحنة صغيرة نسبيا تساوي تقريبا (10^{21}cm^{-3}).

10- ان مقاييس فجوة الطاقة في طيف الجسيمة الواحدة للموصلات الفائقة الجديدة ممكن ان تقاس بوساطة الية الانفاق او الية امتصاص الاشعة تحت الحمراء او طرائق الانعكاس تعطي قيم مختلفة. وفجوة الطاقة المقاسة بطريقة الانفاق هي الكبرى.

11- ان مقدار تأثير النظير في (HTSC) يكون اصغر بكثير من المتوقع بوساطة نظرية (BCS) المعتمدة على تفاعل الكترون- فونون.

12- ان الحرارة النوعية لمركبات (HTSC) ممكن ان يعبر عنها بالعلاقة الاتية:

$$C = AT^{-2} + \gamma T + \beta T^3 \dots \dots \dots (2 - 35)$$

13- ان المسافة بين ازواج كوبر (طول التشاكة) في هذه الموصلات الفائقة ممكن ان تكون قصيرة بحدود مسافة ذرية واحدة او مسافتين ذريتين بين ($3-20 \text{A}^\circ$) والتي مقدارها اصغر عدة مرات من الموصلات التقليدية. ومن الجدير بالذكر ان قوة التناثر الكولومية (F) بين مثل هذه الشحنات تتناسب عكسيا مع مربع البعد ($F \propto 1/r^2$)، وكننتيجة فان قوة التناثر الكولومية سوف تهيمن عموما عند هذه المسافة مسببة تناثر الألكترونات بدلا من ازدواجها، ولهذا السبب فانه من المقبول على نحو واسع ان ازواج كوبر في هذه المواد ليس سببها هو اضطرابات الشبكة، ولكنها ترتبط مع نوع المغناطيسية (المعروف بالمضادة للفيرومغناطيسية) (Antiferromagnetism) الموجودة في طبقات اوكسيد النحاس.

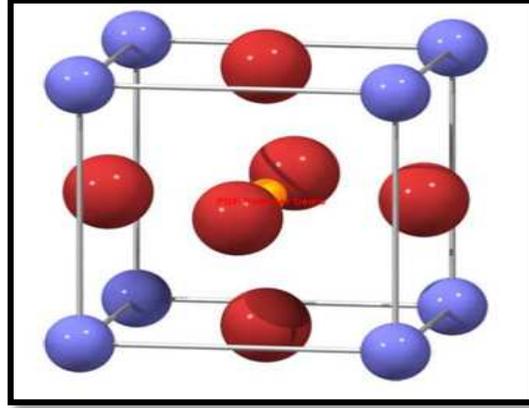
14- ولهذا فان (HTSC) لا يمكن توضيحها بواسطة نظرية (BCS)، لأنها اساسا تتعامل مع اضطرابات الشبكة التي تعمل على الازدواج الألكتروني، وان البحوث مازالت مستمرة لمعرفة الالية الفعلية المسؤولة عن التوصيلية الفائقة في هذه المواد.

15- الميزة التركيبية الشائعة في المواد (HTSC) هي وجود على الاقل نوعين مختلفين من طبقات الشحنة، وهذا الشيء موجود في الموصلات الفائقة التي تعتمد في تركيبها على اوكسيد النحاس (Cuprates)، حيث ان الحالة فائقة التوصيل تتكون بواسطة استبدال ايون ذي تكافؤ مختلف في طبقات مختلفة، وكمثال هو استبدال الايون (Sr^{+2}) بدلا من (La^{+3}) في المركب ($La_{2-x}Sr_xCuO_{4-\delta}$)، واستبدال (Ca^{+2}) بدلا من (Y^{+3}) في المركب ($(Y_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_{7-\delta})$)، ومثال آخر للمركب ($(Pb_{0.5}Cu_{0.5})Sr_2(Y_{0.6}Ca_{0.4})Cu_2O_{7-\delta}$) [105,106,107].

14-2 تراكييب البيروفسكايت Perovskite Compositions

تعد التراكييب البيروفسكايت هي الهندسة الحقيقية للمواد السيراميكية التي تمتاز بكثرة تطبيقاتها والتي تمتد الى انتاج الطاقة، والاحتواء البيئي والمتمثل في حاويات النفايات المشعة (Radioactive Waste Encapsulation)، والاتصالات (المواد الرنينية العازلة). ان التطبيقات الاكثر غرابة هي اعتبار التراكييب ($LaGaO_3, PrGaO_3, NdGaO_3$) كارضيات للترسيب البلوري المنتظم للمواد (HTSC). ان تركيب البيروفسكايت يمتلك صيغة كيميائية كمية عامة هي (ABX_3)، حيث (A)، (B) هما الايونات الموجبة (Cations) و (X) هو الايون السالب (Anion). ان الايونات الموجبة (A)، (B) ممكن ان تمتلك تنوعا في الشحنات وان التركيب البيروفسكايت المعدني الاصلي هو ($CaTiO_3$) و فيه الايون الموجب (A) والمتمثل بالكالسيوم (Ca) ويمتلك تكافؤ ثنائي بينما الايون الموجب (B) والمتمثل بالتيتانيوم (Ti) يمتلك تكافؤ رباعي. ان النظرة التقليدية لشبكة البيروفسكايت تتضمن الايون الموجب الصغير (B) ضمن التركيب الشبكي ثماني السطوح للاوكسجين، في حين ان الايون الموجب الكبير (A) فانه محاط بعدد تتاسق (12) ذرة من ذرات الاوكسجين، سمي

هذا التركيب بعد ظهور التركيب المعدني (CaTiO_3) بالتركيب المعيني القائم (Orthorhombic Structure) والذي يمتاز بمجموعة فراغية من النوع (Pnma). ان تركيب البيروفسكايت المكعبي المثالي كما موضح في الشكل (2-20). حيث يظهر الايون الموجب الكبير (A) عند اركان المكعب، والايون الموجب الصغير (B) في مركز المكعب، وذرات الاوكسجين في مراكز الواجه الستة للمكعب. [108]



الشكل (2-20) وحدة الخلية للتركيب البيروفسكايت المكعبي، حيث ان الكرات الزرقاء تمثل الايون الموجب الكبير (A) والكرة الصفراء تمثل الايون الموجب الصغير (B)، اما الكرات الحمراء فهي تمثل ايون الاوكسجين السالب الذي يشكل التركيب ثماني السطوح. [109]

2-15 التركيب البلوري للنظام فائق التوصيل (BSCCO)

Crystal Structure Of (BSCCO)

ان النظام السيراميكي فائق التوصيل (BSCCO) الذي يتكون من (اوكسيد البزموت، اوكسيد السترونتيوم، اوكسيد الكالسيوم، اوكسيد النحاس) يعد نظاما مهما من بين الأنظمة فائقة التوصيل (HTSC) والتي تمتلك درجة حرارة انتقال عالية، يعرف هذا النظام بأنه يمتلك ثلاثة اطوار مميزة تسمى عموما بالاطوار (Bi-2201)، (Bi-2212)، (Bi-2223) [54,110]. من بين هذه الاطوار يعد الطورين (Bi-2212) و (Bi-2223) اكثر اهمية حيث ان درجة حرارتيهما الحرجة اعلى من نقطة غليان النتروجين السائل. وهو امر مرغوب ايضا في انتاج مركبات بشكل اغشية رقيقة، اما العينات التي تكون بشكل كتل فهي عادة ما تكون متعددة التبلور، وان الموصلات الفائقة ذات الاساس البزموت اكتشفت بعد النظام فائق التوصيل ذي الاساس اليتريوم

وهو ذو فوائد متنوعة أكثر منه. ان الفوائد الرئيسية لهذا النظام هي انه صديق للبيئة اكثر من انظمة الزئبق والثاليوم، وذلك امتلاكه لدرجات حرارة الانتقال الحرجة العالية، والتيار الحرج العالي، ومقاومته للماء، وغياب عناصر الاتربة النادرة، ووفرة العناصر ونقاوتها التي يعمل منها الموصل الفائق، وتحمله للمجالات المغناطيسية العالية اكثر من بقية الأنظمة وكذلك استعمال تقنيات النمو البلوري القياسية لتحضيرها. وعلى الرغم من امتلاكها كل هذه الفوائد الا ان الحصول على عوامل وظروف النمو المثلى تبقى مهمة صعبة ولم يتم تحقيقها لحد الان. ان هذه الموصلات الفائقة تمتلك تركيبا بلوريا شائعا يعرف بتركيب البيروفسكايت المعدل، ان عائلة المواد البيروفسكايت تمتلك صيغة عامة هي (ABO_3) . ان اسم البيروفسكايت [111] اتى من التركيب المعدني $(CaTiO_3)$. ان الاهتمام التكنولوجي والتقني لهذه المواد نجم عن اكتشاف الخاصية الفيروكهربائية القوية للمركب $(BaTiO_3)$ ، والتي اعتقدت عموما بان هذه المواد ليست معدنية. ان الصيغة العامة للنظام ذي الاساس اليزموث هي $(Bi_2Sr_2Ca_nCu_{n+1}O_{2n+6})$ حيث ان (n) هو عدد صحيح موجب $(n=0,1,2,3)$ والشكل (21-2) يبين التركيب البلوري لاطوار النظام الثلاثة. وفي هذا النظام هناك مجاميع من طبقات (CuO_2) ، وكل مجموعة مفصولة بواسطة ذرة (Ca) من دون اوكسجين، ان طبقات (CuO_2) ترتبط سويا بواسطة طبقات متخللة وفاصلة من (BiO) و (SrO) . ومن الجدير بالذكر ان العضو الاول من عائلة هذا النظام هو عندما $(n=0)$ والمركب هو (2201) ، ويمتاز هذا المركب بانه يمتلك تنسيقا ثماني السطوح من (Cu) ويمتلك $(T_c=20K)$. اما العضو الثاني في هذه العائلة فهو عندما يكون $(n=1)$ والمركب هو (2212) والذي يمتلك $(T_c=90K)$ مع طبقة واحدة من (Ca) . هنالك طبقتان من (CuO_2) ومفصولة الواحدة عن الأخرى بواسطة طبقة (Ca) . ان المسافة بين (CuO) الى (Ca) هي $(1.66A^\circ)$ ، ان تركيب الشبكة الفائق حدد على طول المحور (a) والمحور (b) وهذا يعني ان التعديل البسيط في وحدة الخلايا شخص تقريبا لكل خمس مسافات شبكية [80]. ان العضو الثالث في هذا النظام هو (2223) والذي فيه $(n=3)$ حيث يمتلك ثلاث طبقات من (CuO_2) مفصولة عن بعضها البعض بواسطة مستويات (Ca) والتي تمتلك $(T_c=110K)$ ، [112,113,114]. ان الاطوار $(2201,2212)$ تعتمد بصورة

كبيرة على محتوى الاوكسجين، بينما يكون الطور (2223) ضعيف الاعتماد على محتوى الاوكسجين. [115]

ومن الجدير بالذكر ان هناك طور اخر في النظام (BSCCO) وهو الطور (2234) الذي يتكون من اربع طبقات من النحاس، ولكن يمتاز هذا الطور بان درجة حرارته الحرجة اقل من درجة الحرارة الحرجة للطور (2223)، حيث ان قيمتها تساوي ($T_c=90K$)، وغالبا ما يستخدم هذا الطور في الاغشية الرقيقة والتي يتم تحضيرها بوساطة طريقة التبخير الحراري وكذلك بوساطة اي طريقة تليد تقليدية، ان الطور (2234) يمكن تحضيره فقط كتراكيب صفائحية بلورية نامية وبمستوى سمك وحدة الخلية. [116]

وبطريقة اخرى ممكن وصف تركيب الموصلات الفائقة (Cuprates) والتي من ضمنها (Bi-base) على انها تراكيب بيروفسكايت تتضمن كتلا عازلة وطبقات فائقة التوصيل التي تتناوب في الترتيب فيما بينها. هذه الكتل العازلة تمتلك تركيبا (RS) (Rock Salt) وطبقة واحدة من الموصلات الفائقة ذات التركيب البيروفسكايت (P). ان اضطراب الشبكة سببه الاختلاف في طول اصرة (Bi-O) التي تكمن في تركيب (RS) وكذلك طول الاصرة (Cu-O) والتي تكمن في تركيب (P) وهو المسؤول عن زعزعة وعدم استقرارية الاطوار فائقة التوصيل. [117]

ان حالة الاستقرارية في تراكيب البيروفسكايت يحكمها عامل مهم يسمى عامل التحمل (Tolerance Factor (t_f)) حيث تكون هذه التراكيب مستقرة عندما تكون قيمة هذا العامل في المدى ($0.8 \leq t_f \leq 0.9$)، وان عامل التحمل (t_f) في النظام فائق التوصيل ($Bi_2Sr_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4+\delta}$) يمكن التعبير عنه بالمعادلة الاتية: [118]

$$t_f = \frac{R_{Bi}^{+3} + R_O^{-2}}{\sqrt{2}(R_{Cu}^{+2} + R_O^{-2})} = 0.78 \dots \dots \dots (2 - 36)$$

حيث ان (R) هو نصف القطر الايوني للعنصر، فاذا كانت قيمة هذا العامل كبيرة فانها تحسن من استقرارية التركيب بالنسبة للاطوار فائقة التوصيل، وبالإضافة الى ماسبق فان التركيب ممكن ان يستقر من خلال ادخال اوكسجين اضافي ($\delta > 0$) في تركيب (RS)، حيث ان ادخال اوكسجين اضافي سوف يخلق فجوات اكثر في طبقات

البيروفسكايت و كذلك يخلق فجوات في طبقات (CuO) اللتين سوف تقصران من طول اصرة (Cu-O). [119]

حددت معاملات الشبكة لوحداث الخلية الاولى باستخدام حيود الاشعة السينية حيث ظهرت بالنسبة للطور (2201) بالقيم الاتية () $a=5.383A^\circ$, $a=5.395A^\circ$, $b=5.390A^\circ$, $c=24.38A^\circ$ وللطور (2212) بالقيم () $a=5.395A^\circ$, $b=5.390A^\circ$, $c=30.65A^\circ$ وللطور (2223) بالقيم () $a=b=5.4A^\circ$, $c=37A^\circ$. ان عملية استبدال الايونات الموجبة ممكن ان يحصل غالبا في هذه الاطوار وان قيمة هذه المعاملات تتغير بعض الشيء بالاعتماد على نوع الايون الموجب الذي يتم به الاستبدال. بالاضافة الى ذلك فان عملية الاستبدال هذه لها تأثير مهم ايضا في استقرارية الاطوار وخصوصا في تشكيل الطور (2201). [115,116,119]

ان عملية الاستبدال الجزئي للبيزموث ثلاثي التكافؤ بوساطة ايون يختلف عنه في نصف القطر الايوني والتكافؤ وخواص التاصر ممكن ان تؤثر على المركب من حيث تشكيل الطور (HTSC)، وكذلك الاستقرارية الكيميائية والخواص الفائقة التوصيل عموما. على اي حال فان من الصعب جدا انتاج طور منفرد من (Bi-2223) ويعزى هذا الى النمو البيني للطور (Bi-2212). [119,120]

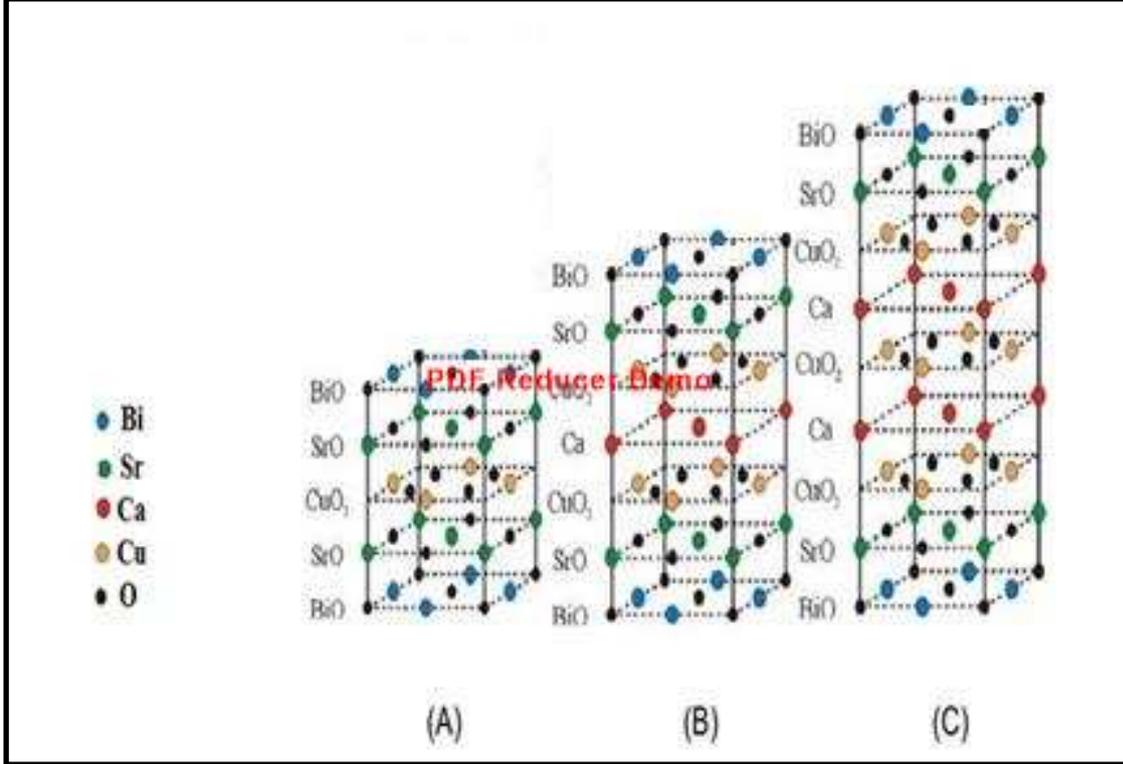
ومن هنا فان طبقة (Bi-O) تعمل كطبقة لخرن الشحنة التي تنظم كثافة الشحنة في طبقات (CuO₂) ان الفجوات تتكون بوساطة الزيادة في ذرات الاوكسجين في طبقات اوكسيد النحاس والنقص في طبقات اوكسيد السترونتيوم. بينما يحدث توصيل الشحنة خلال طبقات اوكسيد السترونتيوم. وهنا فان ذرات الكالسيوم تعمل كطبقة عازلة والتي تحصر (Sandwiched) في الحيز بين طبقات التوصيل لاوكسيد النحاس. لتخمين تأثير طبقات اوكسيد النحاس على درجة الحرارة الحرجة فانه من الضروري الاخذ بنظر الاعتبار تأثير الازدواج بين الطبقات، ان قيمة درجة الحرارة الحرجة العظمى تقترن بعدد طبقات اوكسيد النحاس القصوى. ان الازدواج مابين الخلايا وداخلها ممكن ان يحدث في الموصلات فائقة التوصيل المعتمدة على اوكسيد النحاس، ولكن الازدواج بين الخلايا بين طبقتي اوكسيد النحاس يكون اصغر بكثير بسبب طبقة الفراغات لكل من البيزموث والسترونتيوم والكالسيوم، والازدواج بين الخلايا يكون اكبر بكثير كما هو ظاهر في صغر

التباين في الخواص للتوصيلية، وبسبب المدى الواسع للتركيب والتركيز العالي للعيوب، فان الموصلات الفائقة المستندة في تركيبها على اوكسيد النحاس تكون متباينة الخواص بصورة كبيرة وكذلك فان عدم التجانس له دور مهم في الموصلات الفائقة ذات الاساس البزموث. [121,122]

واخيرا فان متطلبات شروط المعالجة لتشكيل الطور المنفرد (Bi-2223) فائق التوصيل لم تحدد لحد الان، وبالنتيجة فان التراكيب والخواص لم تدرس على نطاق واسع، والاسباب تكمن في ان تشكيل الطور المنفرد (Bi-2223) يتطلب عدة مئات من الساعات وان عملية التشكيل تحدث ببطئ شديد ضمن مدى محدود جدا من درجات الحرارة.

ان عملية التليد هي العملية التي يتقلص فيها مزيج المسحوق السيراميكي المضغوط خلال عملية التسخين، التي بعدها تزداد كثافة الجسم السيراميكي الناتج، ان عملية التليد تنقسم الى ثلاث مراحل هي (المرحلة الابتدائية والمرحلة المتوسطة والمرحلة النهائية)، حيث تحدث في المرحلة الابتدائية من التليد زيادة في مساحات الاتصال بين الجسيمات في المضغوط السيراميكي وتتكون حالة نمو الاعناق (Neck Growth) ،وعندما تتشكل حدود ثابتة بين جسيمات المسحوق فانه تتكون ما يسمى بالحبيبات (Grains)، اما في الحالة المتوسطة فانها تبدأ عندما تقوم الحبيبات الكبيرة بالنمو على حساب الحبيبات الصغيرة التي تتبعها عملية كسر الشبكات من المسامات المفتوحة بين الحبيبات واختزالها الى مسامات مغلقة منفردة التي تعد هي المرحلة النهائية لعملية التليد، لهذا ولزيادة معرفتنا وتحسين فهمنا فانه من المهم دائما دراسة الظروف وتجريبها والعوامل المختلفة التي تؤثر في سلوك عملية التليد.

واذا لم نتمكن من التغلب على مصاعب تحضير الطور (Bi-2223) لكانت فرصة التقدم والمعالجة التكنولوجية لدراسة هذا الطور ضعيفة جدا. [123,124,125]



الشكل (2-21) التركيب البلوري لاطوار النظام فائق التوصيل (BSCCO) [126].

(A)Bi-2201 (B)Bi-2212 (C)Bi-2223

2-16 نظريات الموصلات الفائقة ذات درجات حرارة الانتقال العالية

Theory Of High Temperature Superconductor

ان آلية الموصلات الفائقة ذات درجة الحرارة العالية (HTSC) هي من اكثر المشاكل صعوبة والعالقة في الفيزياء المعاصرة، حيث ان الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية والمعتمدة بصورة قوية جدا على وجود اوكسيد النحاس (Cuprates) اصبحت واحدة من اهم المواد دراسة في فيزياء الحالة الصلبة. [127]

هناك نوعان من وجهات النظر حول آلية (HTSC) في بحوث الفيزياء الاكثر قبولا للمواد فائقة التوصيل (Cuprates)، احداها تعتقد عموما بان الاثرات المغناطيسية تؤدي دورا اساسيا في آلية الازدواج المجهرية، وذلك بسبب نمط الرنين المغناطيسي [128]، بينما وجهة النظر الاخرى تفترض بان اهتزازات الشبكة تؤدي دور مهم في آلية الازدواج المجهرية، وذلك بسبب تأثير النظير في المواد فائقة التوصيل (Cuprates) وكذلك الملاحظات التجريبية على المستوى الذري.

17-2 آليات الأزواج في (HTSC). Mechanisms Of Pairing For

لأيضاح مفهوم التوصيلية الفائقة، فان العديد من هذه النماذج والاليات قد اقترحت ان طبيعة آليات الأزواج لحاملات الشحنة هي مفتاح الاجابة للسؤال، وهناك العديد من النماذج المختلفة التي تناولت مفهوم التوصيلية الفائقة، ومن بينها: انموذج الاكسيتون (Exciton Model)، انموذج الماكنون (Magnon Model)، انموذج اواصر التكافؤ الرنينية (Model of resonant valance bonds)، وانموذج ثنائي الموجات المنفردة (Bisoliton Model)، وانموذج ثنائي القطب (Bipolaronic Model)، والانموذج اللاتوافقي (Anharmonic Model)، وانموذج الأزواج الموقعي (Model of local pairs)، وانموذج البلازمون (Plasmon Model)، وان تصنيف آليات الأزواج للموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية (HTSC) يوضح النمط الفيزيائي المتنوع للموصلات الفائقة (HTSC) [129].

18-2 الآليات النوعية للأزواج في التوصيلية الفائقة

(Specific Mechanisms of Pairing in Superconductivity)

هنالك الكثير من النماذج والانماط المتعددة في الوقت الحاضر والتي تتفق مع الالية الاعتيادية لآلية (BCS) والمستندة على تفاعل (الكترن - فونون) والتي سوف تكون فيها وجهتنا بالاتجاه المغناطيسي والمتمثلة بالنماذج مثل: الاكسيتون، والبلازمون، وانموذج ثنائي القطب. وكل هذه النماذج والانماط طبقت مفهوم الأزواج مع التشكيل المتنوع (بتكاثف - بوز) (Bose-Condensate) التي تحدث عند درجات حرارة حرجة معينة وبغض النظر عن اسباب الجاذبية.

ان نظرية (BCS) قدمت صيغة رياضية لقيمة درجة الحرارة الحرجة (T_c) في حالة تفاعل (الكترن - فونون) الضعيف وهي:

$$T_c = 1.14\theta e^{-\left(\frac{1}{N_0V}\right)} \dots \dots \dots (2 - 37)$$

حيث ان $\theta = \hbar\Omega_D / k_B$ ، وان $\hbar\Omega_D$ هي طاقة ديبياي، و N_0 هي كثافة الحالات لمستوى فيرمي، و V هو جهد الأزواج التجاذبي الذي يعمل بين الألكترونات. ان القيمة القصوى لدرجة الحرارة الحرجة التي تعطى بواسطة نظرية (BCS) هي (40K). لذلك نشأ السؤال

حول آليات اخرى للازدواج حيث ان التفاعل بين الألكترونات هو تتافر تام، وبمعنى اخر نحن نحتاج الى احد انظمة النقل (Transfer System) في المعادن التي تكون متميزة من نظام الفونون [129,130]. ان المخطط العام لتفاعل الالكترن يتم بواسطة نظام الانتقال (X) والذي نستطيع تقديمه بالشكل الاتي:



حيث ان e_1 هو اي الكترن زخمه p_1 ، X هو الحالة الارضية، و X^* هو الحالة المثارة لنظام الانتقال، وان الناتج من هذا التفاعل هو ان النظام يعود الى الحالة الابتدائية وان الألكترونات تعمل تبادلا في الزخم.

ان من الملاحظ انه في مثل هكذا تفاعل فانه يؤدي الى حالة من التجاذب وان درجة الحرارة الحرجة ممكن ان تعطى بالصيغة الاتية:

$$T_c \cong \Delta E e^{-\frac{1}{\lambda}} \dots \dots \dots (2 - 40)$$

حيث ان ΔE هي فرق الطاقات بين الحالات X ، X^* ، و λ تعتمد على تفاعل الألكترونات مع النظام X .

19-2 آلية الازدواج المغناطيسية Magnetic Mechanism of Pairing

ان آليات الازدواج المغناطيسية في الموصلات الفائقة عالية درجة الحرارة (HTSC) قد درست من قبل العديد من الباحثين، وان هذه الدراسات استعملت الفرضية التي فحواها ان عملية الازدواج تعزى الى حالة التبادل التي تحصل بواسطة الاكسيتونات والماكنونات (Excitations & Magnons)، وبمعنى آخر ان نظام النقل هنا هو مجموعة او نظام من البروم المغناطيسية التي تحدث في المعدن. ان الماكنون وهوشبه جسيم (Quasi-Particle) والذي يرادف كميا موجة البرم للحالة المثارة في نظام مرتب مغناطيسيا. وباعتبار ان التفاعل بين الكترونات التوصيل سببه هو التبادل بين الفونونات الصوتية والتفاعل الاضافي المتعلق بالتبادل بواسطة موجات البرم (الماكنون)، فلقد لوحظ ان التوصيلية الفائقة والفيرومغناطيسية ممكن ان تتواجدا في المنطقة المكانية نفسها. وفي التراكيز المنخفضة بما فيه الكفاية من المكونات الفيرومغناطيسية فان اي زيادة في تركيزها

يؤدي الى زيادة درجة الحرارة الحرجة في حالة الازدواج. وضمن آلية الفونون فان الازدواج يحصل في الحالة المفردة، ثم بعد ذلك اي زيادة تطراً في تركيز المكونات الفيرومغناطيسية ينتج عنه نقصان في درجة الحرارة الحرجة. ان نموذج اندرسن (Anderson Model) المستند على مفهوم الانتظام المغناطيسي والذي يسمى بانموذج اواصر التكافؤ الرنينية (Resonance Valance Bond (RVB)) يتضمن ارتباط الحاملات كازواج بالبرم المعوض والمسمى (بالبرومات) (Spinons). وفي عمليات التطعيم في مركبات (HTSC) فانه من الممكن ان تنشأ الفجوات التي يمكن ان تشكل تعقيدات في برمها. ان التوصيلية الفائقة موضحة بوساطة ازدواج الفجوات وبمعنى اخر تتم بوساطة خلق بوزونات عديمة البرم ذات شحنة مضاعفة، ذلك ان ازدواج الحاملات في انموذج (RVB) يعزى الى التبادل بوساطة الماكنونات عند درجات الحرارة المنخفضة، لذلك فان صيغ ازدواج الهولونات (الفجوات) الفائقة التوصيل تكون محكومة.

ان موديل (RVB) يؤدي دورا ايجابيا ، بوساطة جذب انتباه الباحثين لدراسة المواد ضديدة الفيرومغناطيسية (Antiferromagnetism) في الموصلات الفائقة (HTSC) مع العلم ان (Spinons) و (holons) لم تميزا بصورة تجريبية. [129,131]

20-2 آلية الاكسبتون للازدواج Exciton Mechanisms of Pairing

طبقا للمبدأ العام المتعلق بنظام النقل (Transfer System) في الموصلات الفائقة، فاننا يجب ان ندرك بان لا ننتقد بتفاعل الكترون- فونون، لان هناك بعض التفاعلات الاخرى التي تضمن عملية الازدواج للالكترونات ممكن ان تكون مناسبة. ومن حيث المبدأ، فان آليات التوصيلية الفائقة ممكن ان تتجه نحو تفاعل الألكترونات المقيدة مع الكترونات التوصيل. ان انموذج الاكسبتون الاول هو الازدواج الذي يعزى الى اثاره الاكترون [129] ، والذي اقترح من قبل لنتل (Little) للموصلات فائقة التوصيل العضوية ومن قبل كينزبيرك وكيرزهاينتر (Ginzburg&Kirzhnitz) للنظام الطبقي. ان في بناء هذا الانموذج كان من الضروري فيه افتراض وجود مجموعتين من الألكترونات ، واحدة منها تتعلق بحزمة التوصيل، حيث ان الازدواج فائق التوصيل يحدث بسبب التبادل بوساطة الاكسبتونات التي تثار في المجموعة الثانية والتي هي غالبا ما تكون الكترونات موقعية.

ونظرا للعديد من مميزات الحزمة لطيف الالكترون والتركيب الطبقي وخصائص اخرى للالكترون الفرعي في الموصلات الفائقة (HTSC) فان مثل هذا التوزيع لحالات الالكترون محتملة جدا. وهذا يشكل اساسا في تطوير اليات الاكسيتون. ان البحوث في التوصيلية الفائقة في المواد العضوية حفزت لدرجة مميزة بوساطة فكرة بسيطة حول امكانية حدوث التوصيلية الفائقة في (HTSC) ويعزى الى آلية الاثارة لازدواج كوبر للالكترونات على طول سلاسل التوصيل الطويلة للبوليمر والتي تحتوي على فروع جزيئية جانبية مستقطبة. حيث ان الكتلة (M) لمثل اثار الاكسيتون هذه تكون صغيرة، والتي سيتوقع ملاحظتها في القيم العليا لدرجات الحرارة الحرجة $(T_c \sim M^{-1/2})$. [132]

ولكن هذا النموذج لم يحقق عمليا، حيث ان اثار الاكسيتونات بين الجزيئات ذات الطاقة العالية لا تستطيع ضمان ارتباط الالكترونات كازواج، وفي الوقت الحاضر حضرت العديد من الموصلات الفائقة العضوية ذات البعد شبه الاحادي مع موصلات معدنية. والذين عبروا حالة فائقة التوصيل عند $(T=10K)$ ، وانها تشمل بلورات تشبه الموصلات الفائقة العضوية، وكقاعدة، فان حزم من الجزيئات المستوية تتجمع بشكل شبه متعرج لتشكيل السلاسل، ان التداخل الجيد لدوال موجة الالكترون للجزيئات المجاورة كتجمعات متكدسة يضمن التوصيل المعدني على طول السلسلة، علما ان تداخل دوال موجة الالكترون للسلاسل المجاورة يعد امرا صغيرا، وهذا يؤدي الى ميزة شبه احادية البعد لطيف الالكترون وتباين قوي في الخواص الالكترونية للبلورة، ولحد الان لا توجد براهين تجريبية لتوضيح آلية الاكسيتون وان مثل هذه الأنظمة ممكنة.

2-21 آلية البلازمون للازدواج (Plasmon Mechanism Of Pairing)

تحاول هذه الآلية توضيح التوصيلية الفائقة (HTSC) المستندة على اساس ان فكرة الازدواج هي نتيجة للتبادل بوساطة كمات موجات البلازما الطولية (البلازمون) (Plasmon)، ان موجات البلازما الطولية تتشكل في المواد الصلبة في منطقة الترددات عندما تكون النفاذية العزلية الكهربائية للوسط تساوي صفرا. ان خاصية التردد لموجات البلازما في البلورة ثلاثية الابعاد تعرف بوساطة الصيغة الاتية: [129]

$$\tilde{\omega}_p = \frac{4\pi e^2 N}{m} \dots \dots \dots (2 - 41)$$

حيث N هي تركيز الألكترونات ، و e هي شحنة الالكترن، و m هي كتلة الالكترن . و انه عند كثافة الكترن ($N \approx (1-3) \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$)، وتردد البلازما ($\tilde{\omega} \approx (1015-1016)$)، يفترض بان التبادل بوساطة البلازمونات بدلا من الفونونات سيؤدي الى زيادة في العامل قبل الاسي في الصيغة المستنتجة من نظرية (BCS) وهي:

$$T_c = \Theta e^{\left(\frac{1}{\lambda - \mu^*}\right)} \dots \dots \dots (2 - 42)$$

حيث $(\Theta = \hbar \tilde{\omega}_p / k_B)$ ، على اي حال ان مثل هذه الزيادة لاتسبب اي نمو في (T_c) ، لان البلازمونات عند التردد ($\tilde{\omega}_p$) والذي هو قريب من التردد للالكترونات (E_F / \hbar)، لاتستطيع ان تسبب الازدواج فائق التوصيل وادوارها تعد مهمة فقط للخواص العزلية للبلورة.

**2-22 آلية ثنائي القطب في التوصيلية الفائقة
(Bipolaronic Mechanism Of Supercovductivity)**

تعد آلية ثنائي القطب واحدة من المحاولات لتوضيح ظاهرة التوصيلية الفائقة للموصلات ذات درجات الحرارة العالية (HTSC) التي تسمى نظرية ثنائي القطب (Bipolaronic Theory). ثنائيات القطب هذه هي عبارة عن جسيمات بوز والتي تشبه ازواج كوبر الاعتيادية، في نظرية ثنائيات القطب، التوصيلية الفائقة ناتجة عن السيولة الفائقة لتكاثف البوزونات في ثنائي القطب، ان الافكار للاقطاب المنفردة وثنائيات الاقطاب التي استعملت من قبل (Aleksandrov & Ranninger) لتوضيح التوصيلية الفائقة في المواد عالية درجات الحرارة (HTSC) هي ان فكرة القطبية مستندة على الفرضية ان آلية التموضع للألكترون في البلورة الأيونية سببه هو تفاعله مع الاهتزازات البصرية الطولية تحت الاستقطاب الموضعي والذي سببه الألكترون بنفسه. [133,134]. وهنا يكون الألكترون محصورا في الاستقطاب الموضعي المحتث من قبل جدار الجهد والذي يحفظه في مجاله المحدد، ان الفكرة في آلية تموضع الألكترونات في البلورات الايونية طورت بشكل دقيق من قبل (Pekar). حيث ان كفاءة التفاعل لاي الكترن هو ذو الكتلة (m) و الشحنة (e) مع موجات الاهتزازات الطولية وبتردد (w) في وسط ما هو مميز بوساطة عامل عديم الابعاد (من دون وحدات) هو:

$$g = \frac{e^2}{\epsilon} \sqrt{\frac{m}{2w\hbar^2}} \dots \dots \dots (2 - 43)$$

حيث ϵ هو ثابت العزل الكهربائي او نفاذية الوسط العازل، ويكون التفاعل صغيرا اذا كانت ($g < 1$)، ويكون سببه هو التردد (w) الكبير و تشوه المجال السريع للنظام، لذلك فانه يمتلك الوقت الكافي لتتبع حركة الالكترون. ويرافق هذا الحقل حركة من الالكترونات في حيز يشكل غيمة ضعيفة من الفونونات. ان طاقة تفاعل المجال والالكترون تتناسب مع الدرجة الاولى من (g). وفي نظرية (BCS) فان ازدواج الكترونات التوصيل يحدث بسبب التفاعل مع الفونونات الصوتية وهي مميزة بثابت التفاعل عديم الابعاد (من دون وحدات):

$$\lambda = VN(E_F) \dots \dots \dots (2 - 44)$$

حيث $N(E_F)$ هي كثافة حالات الطاقة للالكترون على سطح فيرمي. والكمية (V) تتناسب عكسيا مع معامل المرونة للبلورة . وفي انموذج ثنائي القطب. نمتلك العامل كما في الصيغة الاتية:

$$\lambda * = \frac{2\lambda^2 \hbar w z - V_c}{D} \dots \dots \dots (2 - 45)$$

حيث ان λ معرفة من العلاقة السابقة، z عدد الجوار الاقرب، D هو عرض حزمة التوصيل للجسيمات شبه الحرة، ثنائي القطب يشبه زوج كوبر وهو يمتلك شحنة ($2e$)، وان الكتلة الفعالة تحدد بوساطة العلاقة التالية:

$$m' = m \frac{\Delta}{D} e^{(\lambda^2)} \dots \dots \dots (2 - 46)$$

ان الكتلة الفعالة m' ممكن ان تكون عالية جدا وممكن ان تتجاوز كتلة الجسيم شبه الحر في حزمة التوصيل بعدة مراتب، ولحساب درجة الحرارة الحرجة فائقة التوصيل طبقا الى تكتيف بوز، فان اغلب الباحثين يطبقون لغاز بوز المثالي الصيغة التالية:

$$K_B T_c = \frac{3.31 \hbar^2 N^{2/3}}{m'} \dots \dots \dots (2 - 47)$$

عند ($m' = 100$ & $N = 10^{21} \text{cm}^{-3}$)، ومن المعادلة الاخيرة نحصل على $T_c \sim 28\text{K}$.

2-23 تفاعلات الشبكة - الكترون (Electron-Lattice Interactions)

يعتقد وبشكل واسع ان نظرية (BCS) الكلاسيكية في التوصيلية الفائقة لا تستطيع توضيح آليات (HTSC) ووصف تأثيراتها، وللموصلات الفائقة التقليدية، فان طيف التنفق (Tunneling)، اسس بان عملية الازدواج هي عملية وسطية تحدث بوساطة انماط البوزونات (الفونونات)، حيث ان ذروة المشتقة الثانية لتيار التنفق (d^2I/d^2V) تقابل كل نمط فونون. وللموصلات الفائقة (HTSC) فانه لا يوجد بوزون مميز يتوسط الازدواج الكتروني [133]، وهناك تفسير واحد يستطيع تشكيل ازدواج الالكترن ويرتبط بتفاعل الكترون- بوزون هو عدم التجانس عند المدى الذري.

و في اغسطس عام (2001)، قام فريق من الفيزيائيين باستعمال مطيافية الانبعاث الضوئي المحلل للزاوية (Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy) لتحسس تحركية الالكترن، والسرعة ومدى الاستطارة لثلاثة انظمة مختلفة من الموصلات الفائقة (Cuprates)، ولقد رأوا انه في كل هذه المواد هناك تغير مفاجئ في طاقة الالكترن من (50meV) الى (80meV)، والتي لا يمكن ان توضح بوساطة اي من المعالجات المعروفة ماعدا تلك التي تستند الى الازدواج مع الفونونات المرتبطة بحركة ذرات الاوكسجين، وهذا يوحي الى ان ازدواج الكترون- فونون له تأثير قوي على تحركية الالكترن في (HTSC) ولذلك يجب ان تتضمن في اي نظرية مجهرية للتوصيلية الفائقة.

2-24 نظرية التيارات الدوارة (Circulating Currents Theory)

في عام (1989) قام العالم (Varma) بالتسجيل مختبريا الفكرة الجذرية للتوصيلية الفائقة المرتبطة بحامض الكربوليك- مينا والتي تحدث في مواد معينة بسبب التقلبات الكمية في هذه المواد التي تزداد بنقصان درجة الحرارة. وفي عام (1996)، قام (Varma) بتوضيح اكثر لطبيعة هذه التقلبات في نظريته للمواد فائقة التوصيل (Cuprates)، ان التوصيلية الفائقة ترتبط مع تشكيل حالة جديدة من المادة والتي يدور بها التيار الكهربائي وبشكل حلقات آتيا، حيث يدور من ذرات النحاس الى ذرات الاوكسجين ثم يعود الى ذرات النحاس. وقد استنتجت نظريته ان التقلبات الآلية الكمية هي اساسا تقلبات في حلقات التيارات

هذه [133]. و اقترح (Varam) ان هناك طورين من التيارات الدوارة المحتملة تحافظ على التماثل الانتقالي للشبيكة والذين يقابلون (4 or 2) من حلقات التيار لكل وحدة خلية والمشار لها بالطور الاول (Θ_1) والطور الثاني (Θ_2) على التوالي، وفي عام (2002) بينت قياسات مطياف الانبعاث الضوئي المحلل للزوايا طورا منفردا للنظام ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$) والمتوافق مع الطور (Θ_2).

2-25 فجوة الطاقة في المواد فائقة التوصيل

Energy Gap of Superconductor Materials

يمكن تعريف فجوة الطاقة في المواد فائقة التوصيل على انها تمثل فرق الطاقة بين الحالة الارضية للمادة فائقة التوصيل وطاقة مستوى الاثارة الاوطاً لشبه الجسيم (الفونون، الاكسيون). حيث كانت هناك تلميحات مبكرة ان مثل هذه الفجوة موجودة والدليل التجريبي الاول للفجوة جاء من اعتماد درجة حرارة النوعية الاقل من درجة الحرارة الحرجة (T_c)، حيث وجد ان الحرارة النوعية الألكترونية تعطى بالعلاقة الآتية:

$$C_e = \gamma T_c e^{-1.5T_c/T} \dots \dots \dots (2 - 48)$$

حيث ان γ تمثل معامل الحرارة النوعية الألكترونية في الحالة الطبيعية، T_c درجة الحرارة الانتقال للحالة فائقة التوصيل، وان اول قياسات طيفية للفجوة فائقة التوصيل كانت بوساطة موجات المايكروويف على الالمنيوم وكذلك تقنيات الاشعة تحت الحمراء البعيدة على الرصاص. وفي الوقت نفسه فان النظرية المجهرية (BCS) المعلنة من قبل كل من باردين، كوبر، شريفير تنبأت بان النسبة بين فجوة الطاقة للمواد فائقة التوصيل الى درجة حرارة الانتقال بحدود (1.76) والتي تتفق تماما مع القياسات الطيفية وهذه كانت واحدة من الانتصارات المبكرة للنظرية، ومن الجدير بالملاحظة ان هذه القيمة للفجوة هي من الازدواج الضعيف والذي يطبق على المواد فائقة التوصيل ذات درجات الحرارة الواطئة مثل الالمنيوم. وللمواد فائقة التوصيل الاعتيادية (النوع الاول) فان طيف الانفاذ (الانفاق) (Tunnelling Spectroscopy) يعد الاداة الاكثر شيوعا لقياس فجوة الطاقة، اما للمواد فائقة التوصيل ذات درجات الحرارة العالية (النوع الثاني) (HTSC) والتي تمتاز بفجوة طاقة اكبر فان طيف الاشعة تحت الحمراء وطيف الانبعاث الضوئي يؤدي دورا مهما ومتزايدا في قياسها.

ان فجوة الطاقة للمواد فائقة التوصيل لها تأثير عميق على استجابة المادة فائقة التوصيل للمجال الكهرومغناطيسي المتناوب والفوتون الآتي ممكن ان يمتص فقط اذا كانت طاقته وزمنه تمكنه من الانتقال الى الحالة فائقة التوصيل، وان قانون حفظ الطاقة يتطلب ان تكون طاقة الفوتون ($h\nu \gg 2\Delta$) اي ضعف فجوة الطاقة وان العامل (2) ياتي من تحطيم وكسر زوج كوبر لاننتاج زوج من شبه الجسيمات (فونونات)، والمتطلب الثاني هو حفظ الزخم.

وبوساطة خلق اثاره بوزونات وهي عادة الفونون، او تقلبات البرم او الاستطارة المرنة مع العيوب الثابتة، فان واحد من شبه الجسيمات يمكنه الاستطارة بعيدا عن سطح فيرمي وينتقل زخمه من الحالة فائقة التوصيل المكثفة الى درجات اخرى من درجات الحرية.

وبسبب هيمنة الاستطارة المرنة فان معدل الاستطارة يجب ان يكون عاليا بما فيه الكفاية لبلوغ الحد المشوب ويعرف بالصيغة ($1/\tau \gg 2\Delta$) حيث ان (τ) هو عمر شبه الجسيم (الفونون)، وانه في الحد المشوب هناك بداية حادة من الامتصاص للترددات الاكبر من (2Δ) وان الطريقة البصرية تكون جيدة لتحديد فجوة الطاقة.

ومن جهة اخرى اذا كان الحد النقي هو المنطبق وخصوصا في الحالة التي يكون فيها ($1/\tau \ll 2\Delta$)، فانه يجب ان تجهز طاقة اضافية لخلق الاثاره للبوزونات والبداية للامتصاص تحدث عند ($h\nu \gg 2\Delta + \hbar\Omega_E$) لبوزون اينشتاين المنفرد عند $\hbar\Omega_E$.

وفي المستوي او الحد المشوب فان فجوة الطاقة للمواد فائقة التوصيل لها القيم نفسها لكل النقاط عند سطح فيرمي وهذا يعني انها موحدة الخواص (Isotropic)، في حين ان عرض الفجوة في المواد النقية ممكن ان تظهر عدم تماثل في الخواص بصورة كبيرة (Anisotropic) في فضاء الزخم خلال قياسات الاطياف تحت الحمراء.

ان الفجوة عند مستوى فيرمي هي خاصية مميزة للمواد فائقة التوصيل التقليدية، اما المواد فائقة التوصيل (HTSC) فانها تتفق معها ولكن تتم باضافة عند مستويات التطعيم الواطئة هناك فجوة في الحالة الطبيعية تسمى بالفجوة الكاذبة (Pseudogap)، وسواء كانت هذه الفجوة ناتجة من الحالة البدائية للتوصيلية الفائقة او هي طور منفصل تماما تتنافس مع التوصيلية الفائقة، لهذا فانها تعد سؤالا مفتوحا.

ومع اكتشاف التوصيلية الفائقة ذات درجة الحرارة العالية (HTSC) فان السؤال الاول الذي يتبادر الى الذهن هو طبيعة فجوة الطاقة في التوصيلية الفائقة، وبعد مدة من الذهول

وجد انها ذات صفات واعدة، ولقد كانت هناك العديد من النظريات لتحديد طبيعة فجوة الطاقة لهذه المواد، ولكن طيف الاشعة تحت الحمراء اظهر وبوقت مبكر ان معدل نسبة الاستطارة واطى جدا والذي وضع المواد في المستوى النقي وهذا قد جعل من تحديد عرض فجوة الطاقة صعبا جدا، ولكن قياسات طيف المايكروويف لتغيرات عمق الاختراق مع درجة الحرارة بين وبشكل حاسم ان هذه الفجوة متباينة الخواص (Anisotropic) بصورة عالية في فضاء الزخم وتذهب الى الصفر للالكترونات المنقلة في اتجاهات محددة وان مقدار الفجوة يتغير بالصورة $(k_x^2 - k_y^2)$ حول مستوى فيرمي، وهذا مطابق الى الحالة فائقة التوصيل (d-wave) بالمقارنة بالفجوة موحدة الخواص (s-wave) للمواد فائقة التوصيل التقليدية.

وقد اظهرت الحسابات انه لا يوجد بداية امتصاص عند (2Δ) في المواد فائقة التوصيل (d-wave) كما هي الحال في (s-wave) المشوية، وبالنتيجة النهائية نلاحظ وبشكل بارز ان هناك بداية ملحوظة لامتصاص التردد في هذه الخاصية وهي تجمع الطاقة من الفجوة ونمط البوزون والذي يعمل كهلام رابط للحاملات فائقة التوصيل.

ان اللغز الآخر الذي أحاط بطبيعة فجوة الطاقة للمواد فائقة التوصيل (HTSC) جاءت من عدة تلميحات التي ابقت الفجوة في الحالة الطبيعية عند درجة حرارة اعلى من درجة حرارة الانتقال الحرجة للحالة فائقة التوصيل. الدليل الاول جاء من تجارب (NMR) التي وجدت ان انخفاض شبه الفجوة لكثافة الحالات عند سطح فيرمي هو تحت درجة حرارة (T^*) والتي كانت اكبر من (T_c) عند مستويات التطعيم الاقل ولكن تقترب (T_c) بالقرب من التطعيم الامثل وسميت هذه الفجوة بداية بفجوة البرم (Spin Gap).

اظهرت التجارب اللاحقة على التوصيلية الضوئية ان الفجوة تنطوي على درجات حرية لدرجة الشحنة وتم تغيير اسمها للفجوة الكاذبة (Pseudogap)، بعد ذلك العديد من التجارب والتي تضمنت الحرارة النوعية اكدت نتائجها الاولى ومن بينها الانبعاث الضوئي المحلل للزاوية (Angle Resolved Photoemission Spectroscopy) (ARPS) الذي اظهر ان الفجوة الكاذبة لها نفس تماثل (d-wave).

ان طبيعة الفجوة الكاذبة مازالت مثار جدلا ونقاش حاد ولكن من ابرز هذه النقاشات هو الاقتراحان الاتيان: الاول: هو ان الفجوة الكاذبة هي تمهيد بسيط للفجوة فائقة التوصيل حيث ان الأزواج من الألكترونات تتشكل ولكنها غير قادرة على تشكيل التشاكة فائق التوصيل

وهذا يعزى الى التقلبات الحرارية، الثاني: هو ان الفجوة الكاذبة هي طور كمي جديد تماما ومميز والذي يتنافس مع الخاصية فائقة التوصيل.

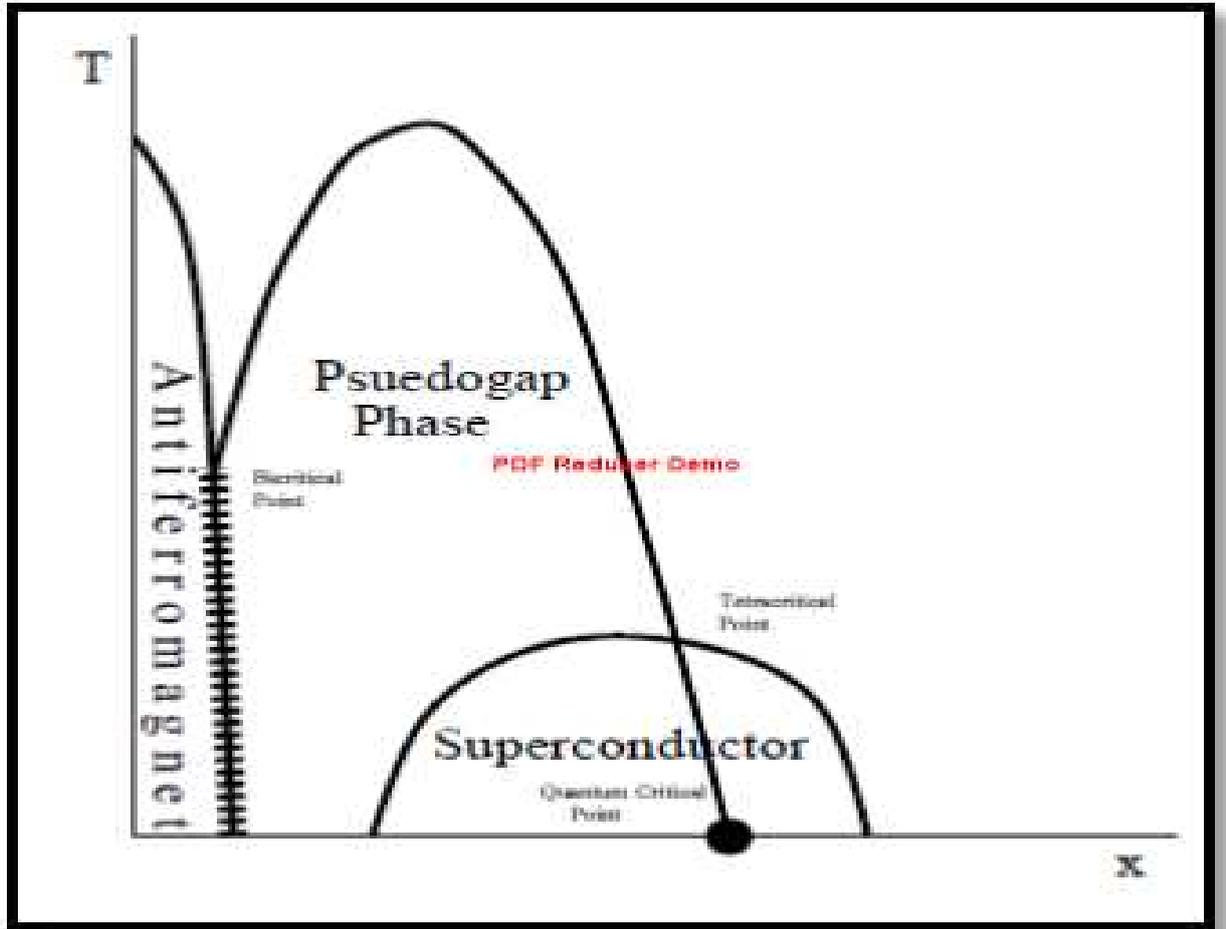
وعند هذه النقطة فانه ليس من الواضح اي الاقتراحان هو الصحيح واي من التجارب سوف تنتج توقعات لمرحلة جديدة. [135]

2-26 الفجوة الكاذبة (Pseudogap)

تعرف الفجوة الكاذبة (Pseudogap) على انها ميزة الفجوة المجهولة الاصل في الاثارة الألكترونية الاعلى من درجة الحرارة الحرجة (T_c). [136] وهي تعد واحدة من الكثير من الميزات الغريبة التي ظهرت ما بعد نظرية (BCS). وقد لوحظت في دالة الالكترون الطيفية بالقرب من النقاط التقابلية هما $(\pi, 0)$ و $(0, \pi)$ عند درجة الحرارة، وبمعنى آخر درجة الحرارة الكاذبة، ($T^* \gg T$). في نظرية (BCS) للموصلات الفائقة التقليدية، اذ تحدث عملية الفصل هذه بشكل آني مع التوصيلية الفائقة عند درجة حرارة الانتقال الحرجة (T_c)، وهي ملحوظة في الموصلات الفائقة (Cuprates) بوساطة عدد من التقنيات التجريبية التي نوقشت حول العلاقة بين الفجوة الكاذبة والتوصيلية الفائقة في (Cuprates). ان تجارب الرنين النووي المغناطيسي (NMR) كانت اول اكتشاف للحالة الطبيعية للفجوة الكاذبة في النظام المطعم (YBCO) بوساطة قياس نسبة استرخاء برم الشبكة (Spin-Lattice Relaxation Rate) وانتقال نايت (Knight Shift)، ونسبة الى تاثيرية البرم، فان هذين المتغيرين وجدا انهما يميلان للنقصان مع درجة الحرارة تحت درجة حرارة مميزة [137] وهذه الملاحظة اقترحت ان هناك بعض المجاميع من البروم تبقى مزدوجة في حالة اعلى من (T_c)، وكذلك سهولة اختزال التاثيرية المغناطيسية من تقلبات البرم. ان فجوة البرم اقترحت مستندة على هذا الاكتشاف، وتشكيلها يكون اكثر شبها للانتقال الواسع منه لانتقال الطور الحقيقي. لقد اكدت الفجوة الكاذبة لاحقا بوساطة تقنيات اخرى والتي استعملت كشف مسار الشحنة، مثل التوصيلية البصرية والحرارة النوعية الألكترونية. وضمن مسار الشحنة فان الفجوة الكاذبة توصف بوساطة استنزاف كثافة الحالات حول مستوى طاقة فيرمي. ان ميزة الفجوة في الحالة الطبيعية ايضا لوحظت في اطياف القياس بوساطة (ARPS) وكذلك (STM) [138].

ولقد تبينت هاتان التقنيتان بسرعة لدراسة الموصلات الفائقة (Cuprates)، واللذان تزودنا بتفاصيل ومعلومات أكثر عن الفجوة الكاذبة.

هناك العديد من الأفكار التي تهتم بدراسة معنى الفجوة الكاذبة، التي عرفتها بدقة كظاهرة، والمبينة في الشكل (2-22). وهي المنطقة التي يحدث فيها اختزال عام في كثافة الاثارات للطاقة المنخفضة. ولهذا فهي محددة بخط متقل غامق. وهي ممكن أيضا ان تعكس الى حد ما وجود كسر التماثل، وفي هذه الحالة يجب ان تكون محدودة بوساطة حد طوري دقيق، وكما هو موضح في الشكل (2-22). هناك العديد من الطرائق مثل طور الفجوة الكاذبة ممكن ان تتفاعل مع الاطوار اخرى والمتكونة بصورة جيدة، ولاغراض الايضاح قمنا بتحديد النقطة الحرجة الرباعية والنقطة الحرجة الثنائية، حيث تجتمع الفجوة الكاذبة على التوالي.



الشكل (2-22). الفجوة الكاذبة في الموصلات الفائقة. [133]

2-27 نظرية برم الإلكترون (Electron Spin Theory)

في عام (2005)، ظهر منهج جديد في التحري عن اصل العديد من تفاعلات الاجسام في الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية (HTSC) والمعتمدة على وجود اوكسيد النحاس في تركيبها (Cuprates) والذي اقترح: تأثير استبدال الشوائب على تحريكيات الطاقة الواطئة التي تقابل مغناطيسيا تأثير النظرير المستعمل في الموصلات الفائقة الاعتيادية. حيث قام العلماء بتحضير ثلاث عينات واحدة هي $(\text{Bi-2212}) (\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta})$ نقية والاثنتان المتبقيتان تكون احدهما استبدال الزنك (Zn) والآخرى استبدال النيكل (Ni)، حيث يتوقع ان الاستبدال مثل هكذا نوع من الشوائب حتى ولو بكميات صغيرة سوف تقوم بعمل تأثير مميز على البيئة المغناطيسية للمستوى (CuO)، بينما لاينتج اي تغير في اهتزاز الشبكة، وان حالات البرم المختلفة لوحظت وبشكل مميز في النحاس (Cu). [131,133].

لقد كشفت نتائج (ARPS) ان التغيرات الناجمة عن الشوائب في الطاقة الذاتية للإلكترون بينت تطابقا جيدا لتلك التي ظهرت في الاثرات المغناطيسية، والتي تشير الى اهمية تقلبات البرم لازدواج الإلكترون في (HTSC).

2-28 نموذج ازدواج الطبقات البينية (Interlayer Coupling Model)

ان الطبيعة المعدنية لطبقات (Bi-O) ممكن ان تكون مهمة جدا في تحقيق درجات حرارة الانتقال العالية، وتلك الطبقات في $(\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta})$ ترتبط مباشرة بحساب الفجوات في طبقات (Cu-O)، حيث تكون كنتيجة لانتقال الشحنة من واحد الى الآخر ، والاول يعزز ازدواج الطبقات البيني، بينما يمثل الاخير عاملا مهما لقوة ارتباط الإلكترون. وللتأكيد على تأثيرات الازدواج بين الطبقات فان طول التشاكة $(\zeta=4A^{\circ})$ هو اقصر من المسافة بين مستويين من (Cu-O) $(d_{\text{Cu-Cu}}=12.1A^{\circ})$ ، وان (ζ) هو مشابه الى المسافة $(d_{\text{Cu-M}})(4.4A^{\circ})$ من المستوي (Bi-O)، لذا فانه من الممكن ان تتدفق تيارات فائقة بين طبقات (Cu-O) عن طريق الاستفادة من الحالات المعدنية على الطبقات الفاصلة، والتي تتم اساسا من طبقة (Cu-O) الى طبقة (Cu-O) بواسطة حفر نفق (Tunneling) من خلال الطبقات البينية المعدنية. [139,140].

(Spin Fluctuations Model)

2-29 نموذج تقلبات البرم

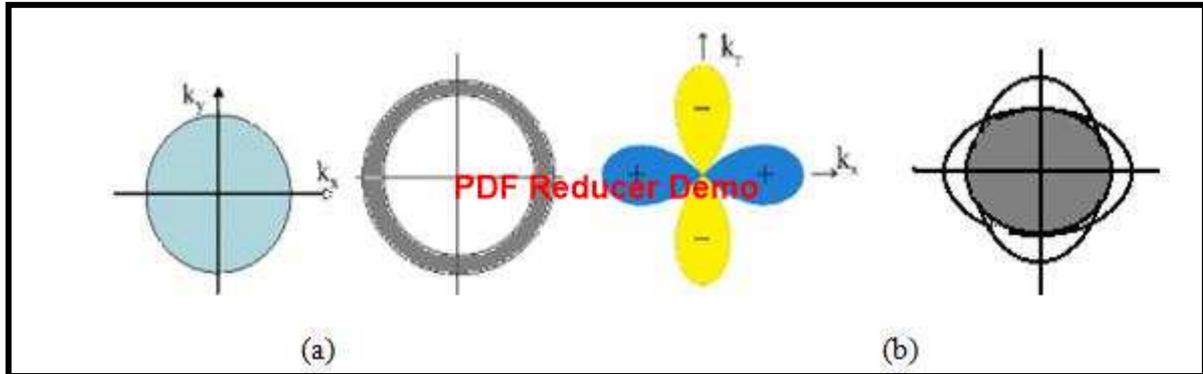
من الممكن في الوسط المغناطيسي ان يستطار النظام بوساطة الألكترونات الحرة، التي تبعث موجة برم. وعند درجات حرارية اوطأ من درجات حرارة الانتقال الحرجة، تكون الأنظمة مرتبة مغناطيسيا. وفي معدن كثيف الفيرميون من الممكن ان تنتج التوصيلية الفائقة من خلال تبادل تقلبات البرم الضديدة فيرومغناطيسية. ان الألكترونات المستطارة من هذه التقلبات سوف تؤدي الى تغيير الميل لتكوين الأزواج. وهذا التغيير يفترض ان يكون ضارا، لان الالكترون المبروم الى الاعلى سوف يجذب الكترونات اخرى ذات برم الى الاعلى مكونة منطقة فيرومغناطيسية موضعية ومقاومة برم الالكترون الى الاسفل والمطلوب لازدواج النحاس. ان التقلبات البرمية للضديدة فيرومغناطيسية تكون حالات اكثر تعقيدا، لانها غير واضحة سواء كان برم الالكترون للاعلى والذي سوف يخلق او يحطم الاستقطاب الموضعي الضدي فيرومغناطيسي، او سيجذب او يقاوم الكترونات اخرى ذات البرم المعاكس. افترض شريفير واخرون، فكرة ان الناقلات الحرة في المادة التي تتطلب ضديدة فيرومغناطيسية متعادلة سوف تضعف الميل للترتيب. ولهذا فان برم الالكترون الى الاعلى سيقاوم ترتيب البرم الموضعي. اما النواقل الحرة الأخرى التي تكون بأي اتجاه برم آخر فانها سوف تتجذب الى منطقة البرم المستتزة مكونة تفاعل تجاذب كلي. [141]

(Pairing Symmetry)

2-30 انموذج تماثل الازدواج

ان انموذج ازواج كوبر في نظرية (BCS) من الممكن ان تشكل دالة موجة مفردة. ان حل هذه الدالة الموجية يعطي مجالا كرويا من الاحتمالية، مشيرة الى مخطط موقع الكترون ثاني، مع الاحتفاظ بالالكترون الاول في المركز، وعلى حد سواء ممكن ان يكون في اي موضع ضمن المجال الكروي المحيط بالالكترون الاول. وهذا يسمى بتماثل الموجة (S) كما في الشكل (2-23a)، والذي تظهره نظرية (BCS) المتضمنة زوج كوبر. اما النوع الآخر من التماثل فهو الذي يدعى عادة بتماثل الموجة (d)، والذي نص بالاساس على ان الالكترون ممكن ان يتحرك فقط بالاتجاه (45) على طول اقطار المستوي. كما هو موضح بالشكل (2-23b). وهذا سيسمح لالكتروني الزوج بالابتعاد عن بعضهما، الامر الذي يؤدي

الى اضعاف التناظر بين الالكترونين بسبب زيادة البعد الخطي فيما بينهما، مع السماح لهما بالبقاء كزوج واحد. [142]



الشكل (2-23) يمثل فجوة الطاقة لتمائل الازدواج المحتملين (S-wave) والمتمثلة بالشكل (a) و (d-wave) والمتمثلة بالشكل (b)، ان تمائل (S-wave) له قيمة فجوة ذات صفات موحدة الاتجاه التي تساوي (2Δ) ، بينما في تمائل (d-wave) تضمحل الفجوة وتتغير عند $(k_x = \pm k_y)$. [142]

(Goddard's Model)

2-31 انموذج غودارد

في عام (1988)، قام وليم غودارد واخرون، باقتراح انموذج جديد في التوصيلية الفائقة المعتمدة على حركة الالكترون خلال مكونات اوكسيد النحاس في المركبات الجديدة، وطبقا لهذا الانموذج، عندما تصبح المادة فائقة التوصيل فان الالكترونات قليلة سوف تتراح من ذرات الاوكسجين والتي تؤدي الى تمغنط الذرات. اذ تتسحب ذرات النحاس المجاورة الى خط واحد بواسطة التمغنط وتخسر الالكترونات الى رزم كمية او فجوات ناشئة من ذرات الاوكسجين المزاحة، هذه العملية تخلق فجوات جديدة، وان الالكترونات سوف تستمر بالتدفق خلال المادة الى اجل غير مسمى طالما يتم المحافظة على درجة الحرارة الانتقالية.

ان هذا النموذج اثبت دقته، وتنبأ بدرجة حرارة انتقالية لمجموعة اوكسيد النحاس (Cuprates) للموصلات الفائقة بحدود $(200K)$ $(-73^\circ C)$. من الممكن تبريد المادة الى هذه الدرجة من الحرارة بواسطة الثلج الجاف (ثاني اوكسيد الكربون المجمد). وخاصة في المصانع الالكترونية حيث تستعمل الموصلات الفائقة بشكل واسع في الاجهزة الطبية والعلمية، وعلى اية حال ما لم يكن التوصيل الفائق للمادة في درجة حرارة الغرفة متوفرا فان استعمال الموصلات الفائقة في القطارات الطافية مغناطيسيا، فضلا عن خطوط الطاقة و

مجالات خزن الطاقة سوف تكون مكلفة جدا. [143]

2-32 نموذج نقص الاوكسجين (Oxygen Defect Model)

يعتمد هذا الانموذج على حقيقة التحليل الهيكلي لتركيب وحدة الخلية والذي يظهر وجود فراغات (Vacancies) الاوكسجين في طبقات اوكسيد النحاس مقترحا تركيبا خاصا لنقص الاوكسجين سوف يترافق مع امتلاءات الكترونية لازواج كوبر وتشارك بشكل خاص في تعزيز تفاعل الازدواج وبشكل مميز وملحوظ في المواد (HTSC). ان الفراغات من المفترض ان يكون توزيعها بشكل عشوائي في مستويات اوكسيد النحاس. كل الكترون سوف يجذب الألكترونات وبشكل نشيط جدا الى ازواج من ايونات النحاس التي تلي الفراغات . ان الألكترونات في هذه المواقع تمتلك احتمالا معززا في ان توجد بين ايونين مع ارتباط برم منفرد. بالمثل فان هناك العديد من الظواهر التجريبية تتضمن سلوكا مشابها لبرم الزجاج (Spin glass) والذي يؤكد اعتماد الخواص فائقة التوصيل على محتوى الاوكسجين في الاوكسيد، وهذا يؤدي الى تقصير عمر البوزترون في الموصلات الفائقة. [11.144]

2-33 نموذج البعد الواحد One Dimentional Model

يقدم لنا هذا النموذج مفهوم ان التوصيلية الفائقة من دون ان نأخذ بنظر الاعتبار تأثيرات الفونون ممكن ان تكون وسيلة للوصول الى درجة حرارة انتقال حرجة عالية (High-T_c). حيث اقترح العالم (Little) في هذا النموذج ان التوصيلية الفائقة ذات درجات الحرارة الحرجة العالية ممكن الحصول عليها بوساطة آلية جذب لا تعتمد في عملها على تأثيرات الفونون. فاذا رأينا ان الكترونات التوصيل تتحرك على طول المحور الاساسي لسلسلة بوليمرية التي تتفرع منها افرع جانبية تتحرك فيها الألكترونات بصورة تذبذبية، فان ميزة هذا النموذج هو وجود مجموعتين من الألكترونات احدهما هي الكترونات التوصيل (e₁) والتي سوف تكون خاضعة لقوة كولوم الاعتيادية وهي التي تحفز حركة الألكترونات في الافرع الجانبية وهذا بدوره يؤثر على حالة الكترونات التوصيل الأخرى (e₂)، ان هذه الصورة مشابهة تماما للحالة الملاحظة في الموصلات الفائقة المعتادة حيث ان الكترونات الجانب في هذه الحالة تؤدي دورا مهما في التأثير بايونات الشبكة. والتي تشكل النظام

المساعد الذي يؤدي الى نشوء الازدواج في الكترونات التوصيل وفي هذه الحالة فان حالة التوصيلية الفائقة تنشأ وتتطور في المحور الاساسي. [145]

2-34 التحريكيات الحرارية (Thermodynamics)

ان الخصائص الترموداينميكية توفر لنا قدرا كبيرا من المعلومات المهمة عن المواد وعلى وجه الخصوص المواد ذات الطاقة. ومن الواضح اننا تعلمنا بعض الشيء عن الكتل بينما تعاني اطيافا عديدة من حساسية السطح. على اي حال ليس من البساطة عزل الكمية المرغوبة من مجموعة كبيرة ومتنوعة من المتعلقات المساهمة، اضافة لذلك فانه و بوجود المغنطة فان الجهود الترموداينميكية لا تتعرف بصورة واضحة وتحتاج طاقة المجال (B) نفسه لتكون اكثر شمولية وبطريقة مناسبة لظروف التجارب. اما بالنسبة للموصلات الفائقة في حالة مازنر (Meissner State) فان مجال الطاقة يخزن في حجم عينة مساو الى طاقة التكثيف. وللتبسيط نستعمل الكميات (B,H,M) بدلا من الكميات الاتجاهية. وهذا يتوافق مع التخصص في التماثل الاسطواني والاوساط المتجانسة. [146]

2-35 التحريكيات الحرارية للانتقالات فائقة التوصيل

(Thermodynamics of Superconducting Transitions)

ان طاقة جيبس الحرة (Gibbs Free Energy) لوحدة الحجم في مجال مغناطيسي تعطى بالعلاقة الاتية: [77]

$$G = U - TS - HM \dots \dots \dots (2 - 49)$$

حيث M هي التمغنط، و S هو الانتروبي، و PV (تمثل الحجم والضغط) هنا مهمة. ايضا ومن القانون الثاني في الترموداينميك، فان الطاقة الداخلية تعطى بالعلاقة الاتية:

$$dU = TdS + HdM \dots \dots \dots (2 - 50)$$

وعند مقارنة هذه العلاقة مع العلاقة القياسية للطاقة الداخلية للغاز التي هي:

$$dU = TdS + HdS \dots \dots \dots (2 - 51)$$

نجد ان H تؤدي دورا مهما في P,M للحجم (V)، وباشتقاق العلاقة الاولى نحصل على ما ياتي:

$$dG = dU - TdS - SdT - MdH - HdM$$

$$= -SdT - MdH \dots \dots \dots (2 - 52)$$

ومنه وعند درجة الحرارة الثابتة فان المعادلة السابقة تختزل الى:

$$dG(H) = -MdH \dots \dots \dots (2 - 53)$$

وبتكامل المعادلة السابقة للحالة فائقة التوصيل نحصل على ماياتي:

$$\int_0^H dG = - \int_0^H MdH \dots \dots \dots (2 - 54)$$

$$G_S(H) - G_S(0) = - \int_0^M MdH \dots \dots \dots (2 - 55)$$

من جهة اخرى، اذا العينة كانت في الحالة الطبيعية، هي بارامغناطيسية، فانه ($M \rightarrow 0$) او ($X \rightarrow 0$) لهذا فمن المعادلة الاخيرة يمكن كتابتها على النحو الاتي:

$$G_N(H) - G_N(0) = 0 \text{ or } G_N(H) = G_N(0) \dots \dots (2 - 56)$$

واشارة الى انه في الحالة الطبيعية فان دالة جيس تبقى ثابتة تحت تأثير المجال المغناطيسي المسلط. والان وطبقا الى الشكل (4-2) نجد ان الحالة الطبيعية والحالة فائقة التوصيل هما في حالة اتزان، ولذلك فان الطاقات الحرة لكلا الحالتين عند الحدود يجب ان تكون متساوية وهذا يعطي ما ياتي:

$$G_N(T, H_C) = G_S(T, H_C) \dots \dots \dots (2 - 57)$$

ومن المعادلتين (2-55) و (2-56) و (2-57) نحصل على ما ياتي:

$$G_N(T, H_C) = G_S(T, H_C) = G_S(0) - \int_0^M MdH \dots (2 - 58)$$

ومن المعادلتين الاخيرتين و (2-56) نحصل على النحو الاتي:

$$G_N(0) = G_S(0) - \int_0^M MdH \text{ or } G_N(0) - G_S(0) = - \int_0^M MdH \text{ or}$$

$$\Delta G = - \int_0^M MdH \dots \dots \dots (2 - 59)$$

والان من تأثير مازنر نحن نعلم ان ($M = -H(B=0)$) لذلك فان المعادلة:

$$\Delta G = G_N(0) - G_S(0) = - \int_0^M M dH = \int_0^{H_c} H dH = \frac{H_c^2}{2} \dots \dots (2-60)$$

2-36 اختلاف الانتروبي والحرارة النوعية (Entropy Difference and Specific Heat)

ان الانتقال بين الحالة الطبيعية والحالة فائقة التوصيل ثرموداينميكيا قابل للانعكاس، وان اختلاف الانتروبي بين الحالتين يعطى بالعلاقة الاتية: [77]

$$S_N - S_S = -H_c \frac{dH_c}{dT} \dots \dots \dots (2 - 61)$$

ان الحرارة الكامنة للنظام تتعلق باختلاف الانتروبي كما يأتي:

$$Q = T(S_N - S_S) = -TH_c \frac{dH_c}{dT} \dots \dots \dots (2 - 62)$$

ان الاختلاف في الحرارة النوعية للحالتين يعطى بالعلاقة الاتية:

$$C_N - C_S = -T_c \left(\frac{dH_c}{dT}\right)^2 \dots \dots \dots (2 - 63)$$

ان الحرارة النوعية الألكترونية للموصل الفائق تعطى بالعلاقة الاتية:

$$(C_{el})_S = a e^{-\Delta/KT} \dots \dots \dots (2 - 64)$$

حيث a هو ثابت و Δ هوفجوة الطاقة حيث (Δ=3.53KT_c).

2-37 انتقال (تحول)الطور Phase Transition

ان التغير في تركيب المادة ممكن ان يحدث بسبب تأثيرات درجة الحرارة او المجال الكهربائي او الاشعاع او الضغط الميكانيكيألخ، من الاجهادات التي ممكن ان تتعرض لها المادة ويسمى هذا بانتقال او تحول الطور (Phase Transition).

ان الانتقال او التحول الطوري يحدث عندما تكون حالة المادة الابتدائية غير مستقرة نسبة الى الحالة النهائية للمادة، ان القوة الدافعة الكيميائية تحتل مكانة مهمة ورئيسة في الديناميكا الحرارية الكلاسيكية وتعد هي مفتاح الحل، حيث انه في التحول الطوري من المرتبة الاولى (First order transformation) الاقل انتشارا فان التركيب الكيميائي لايتغير خلال عملية التحول الطوري ويكون للمادة الام والمادة الناتجة التركيب الكيميائي المتجانس نفسه ولذلك يعد كنظام مركب واحد، وتوصف تغيراتها التركيبية في هذه التحولات

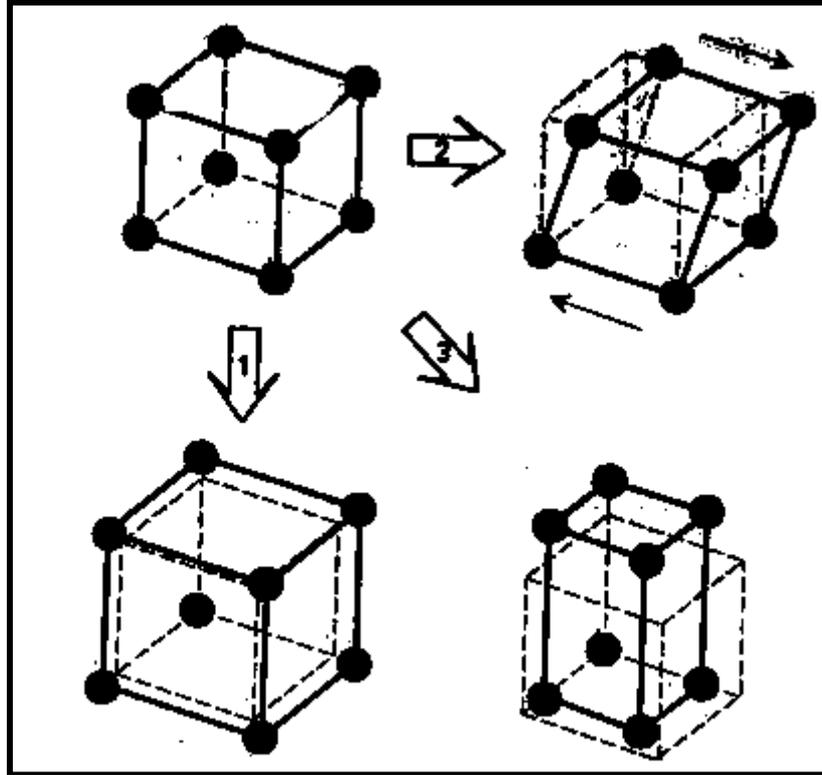
الطورية بسهولة بوساطة بارامترات الازاحة. [147]

ان طاقة جيبس (Gibbs energy) (G) تعرف بالمعاملات: الانثالبي (H) والانتروبي (S) ودرجة الحرارة (T): [148]

$$G = H - TS \dots \dots \dots (2 - 65)$$

ان النظام ثابت درجة الحرارة والضغط سوف يعطي حالة من الاتزان التي تقلل من قيمة طاقة جيبس (G).

ان التحولات الطورية تصنف عادة الى مجموعتين هما الاولى هي التحولات المزاحة (Displacive Transformation) والثانية هي التحولات المارتينسايت (Martensitic Transformation)، اذ يحدث الاول من خلال انحرافات منسقة لذرات منفردة او مجاميع من الذرات بطرائق منظمة بالنسبة للذرات المجاورة، ان تشوه الشبكة التحطمي هو انفعال متجانس والذي يحول الشبكة من نوع الى آخر كما مبين بالشكل (2-24). اما تحولات المارتينسايت فتحدث من خلال التغير الكامل في التركيب البلوري، لان حجم التغير وطاقة الانفعال تشترك في عملية التحول، ان تحول المارتينسايت يتطلب تنوي غير متجانس ويمر خلال خليط من الطورين هما المادة الام والمادة الناتجة وهو تحول طوري من المرتبة الاولى الاقل انتشارا، وبالنتيجة فان التحولات الامامية والعكوسة تكون مصحوبة بتأثير حراري باعث للحرارة وماص للحرارة على التوالي، وان مسارات التحولات الامامية والعكوسة تكون مفصولة بوساطة الهسترة (التخلف المغناطيسي). [147]



الشكل (2-24) امثلة على التشوهات المحطمة للشبيكة المكعبة:

- (1) توسع في الاتجاهات الاساسية الثلاثة تحول الشبيكة الى مكعب اخر مع معاملات شبيكة أكبر.
- (2) القص على طول المستوي (001) تؤدي الى شبيكة أحادية الميل (monoclinic).
- (3) التمدد على طول المحور [001] يصاحبه تقلص على طول المحور [100] و [010] ينتج عنه شبيكة معينة قائمة (orthorhombic). [147]

ان تأثير درجة الحرارة على معدلات التفاعل تعطى بوساطة معادلة أرهينس: [149,150]

$$K = K_0 e^{-E_a/K_B T} \dots \dots \dots (2 - 66)$$

حيث E_a هي طاقة التنشيط، K_B هو ثابت بولتزمان، T هي درجة الحرارة مقاسة بالكلفن، K هو معدل التفاعل.

K تزداد بزيادة درجة الحرارة والتي ممكن ايجادها من معادلة افرامي (Avrami

equation) هي: [150]

$$1 - \alpha = e^{-Kt^n} \dots \dots \dots (2 - 67)$$

حيث α هي الكسر الحجمي للتحويل، t هو زمن التفاعل، n هي تركيبة التفاعلات. (n,k).

يمكن الحصول عليها من خلال المعادلة الاتية: [150]

$$\text{LogLn} \left[\frac{1}{1-\alpha} \right] = n \text{Log}t + \text{Log}k \dots \dots \dots (2 - 68)$$

Formation of (Bi-2223) phase

2-38 تشكيل الطور (Bi-2223)

ان درجة الحرارة الحرجة العالية للموصل الفائق (Cuprate) تعتمد على التركيب البلوري المشابه لتركيب البيروفسكايت. حيث ان الاوكسيد الفائق التوصيل المستند على البزموت (Bi-base) معروف بامتلاكه مركب مختلط من الطور (Bi-2212) ذي درجة الحرارة الحرجة الواطئة، والطور (Bi-2223) ذو درجة الحرارة الحرجة العالية، وهذه الاطوار التي تتضمن عدة طبقات عازلة لطبقة اوكسيد النحاس. [151]

لقد درس (Mizuno et al) [152]، تكون الطور (Bi-2223) ووجدوا ان الطور ذو درجة الحرارة الواطئة (Bi-2212) غير مستقر عند درجات الحرارة العالية ويسبب عدم تكافؤ التفاعل:



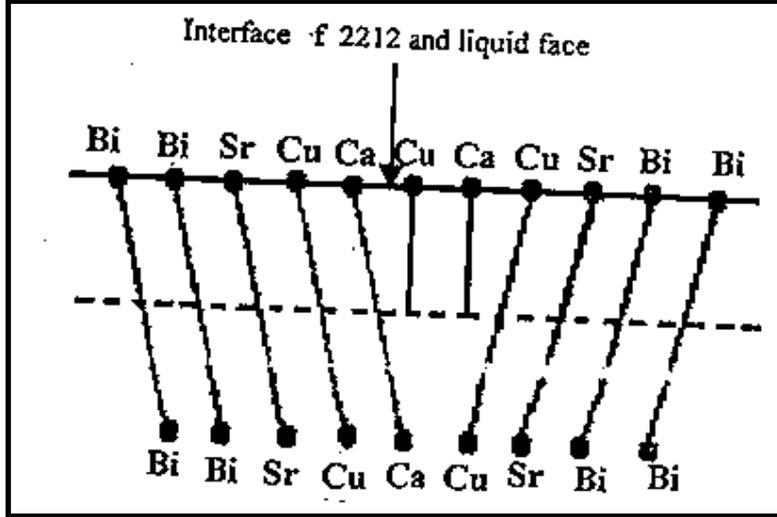
ومن هذه المعادلة فان الطور العالي والطور الواطئ ممكن ان ينتجا بواسطة تفاعل الحالة الصلبة للطور (Bi₂Sr₂CuO_x) مع (CaCuO₃) و (Cu) لتشكيل الطور (Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O₈)، بعد ذلك سوف يتشكل طورا واطئ الحرارة (Bi-2212)، والذي سوف يخضع لاحقا الى تفاعل غير متكافئ، ونتيجة لهذا سوف ينمو الطور ذو درجة الحرارة العالية (Bi-2223).

قام (Feng et al) [153]، باقتراح ان الطور (Bi-2223) يتشكل من الطور (Bi-2212) بواسطة عملية مشابهة للانتقال الطوري كما في المعادلة الاتية:

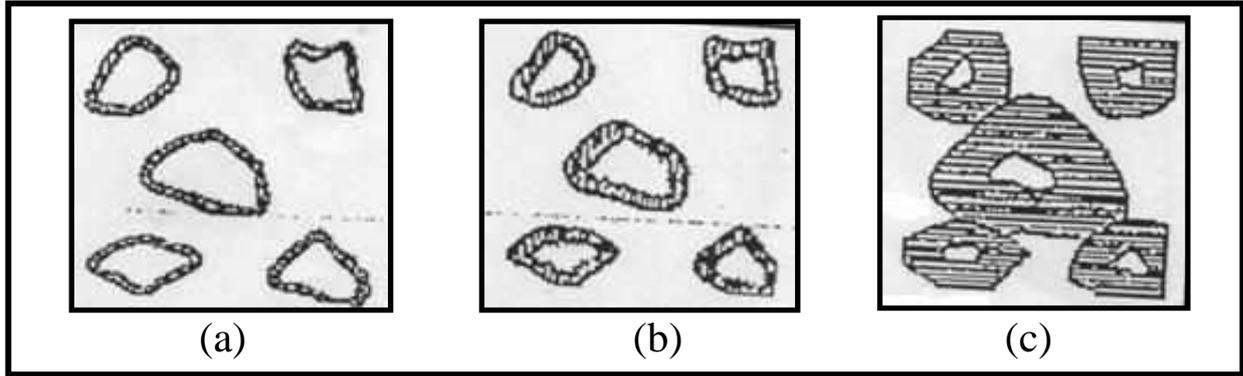


ان تنوي الطور (Bi-2223) ممكن ان يتشكل اذا ادخلت اي طبقات اضافية من (Cu-Ca-O) داخل الطور الاساس (Bi-2212)، كما هو مبين في الشكل (2-25)، ان الموضوع الاكثر الاحتمالية للتنوي هو السطح البيني بين الطور (Bi-2212) والمركب (Ca₂Cu₃O+CuO).

ان النتيجة في مثل هذا الادخال هو تكوين انخلاع حافي. وبعد ذلك ينمو الطور (Bi-2223) من خلال تسلق هذا الانخلاع الحافي بواسطة انتشار ذرات متنوعة من (Ca, Sr, Cu, O) موازية للانخلاع.



الشكل (2-25). تشكيل النواة بواسطة ادخال تركيب مكعب مشابه لتركيب البيروفسكايت (Ca-Cu-O) داخل الطور الاساس (Bi-2212) عند السطح البيني للطور (Bi-2212) والطور السائل. [153] اما (Wang et al) [154]، فقد لاحظوا آلية اخرى لتشكيل الطور العالي (Bi-2223) ووجدوا ان عملية التفاعل ابدت ثلاث مراحل هي: مرحلة التحفيز (Inducing period)، ومرحلة التسريع (Accelerating period)، ومرحلة التشكيل المتقدمة (Front forming period). في المرحلة الاولى يتناقص الطور (Bi-2212) بسرعة، وفي المرحلة الثانية تبدو ان سرعة التناقص للطور (Bi-2212) لاتصبح مسرعة ولكن تتباطئ بعض الشيء، لذلك فان الطور العالي (Bi-2223) لايمكن ان يتشكل بواسطة الترسيب المباشر للطور (Bi-2212)، ولكن بواسطة ذوبانية الطور (Bi-2212)، وهذه العملية موضحة في الشكل (2-26).



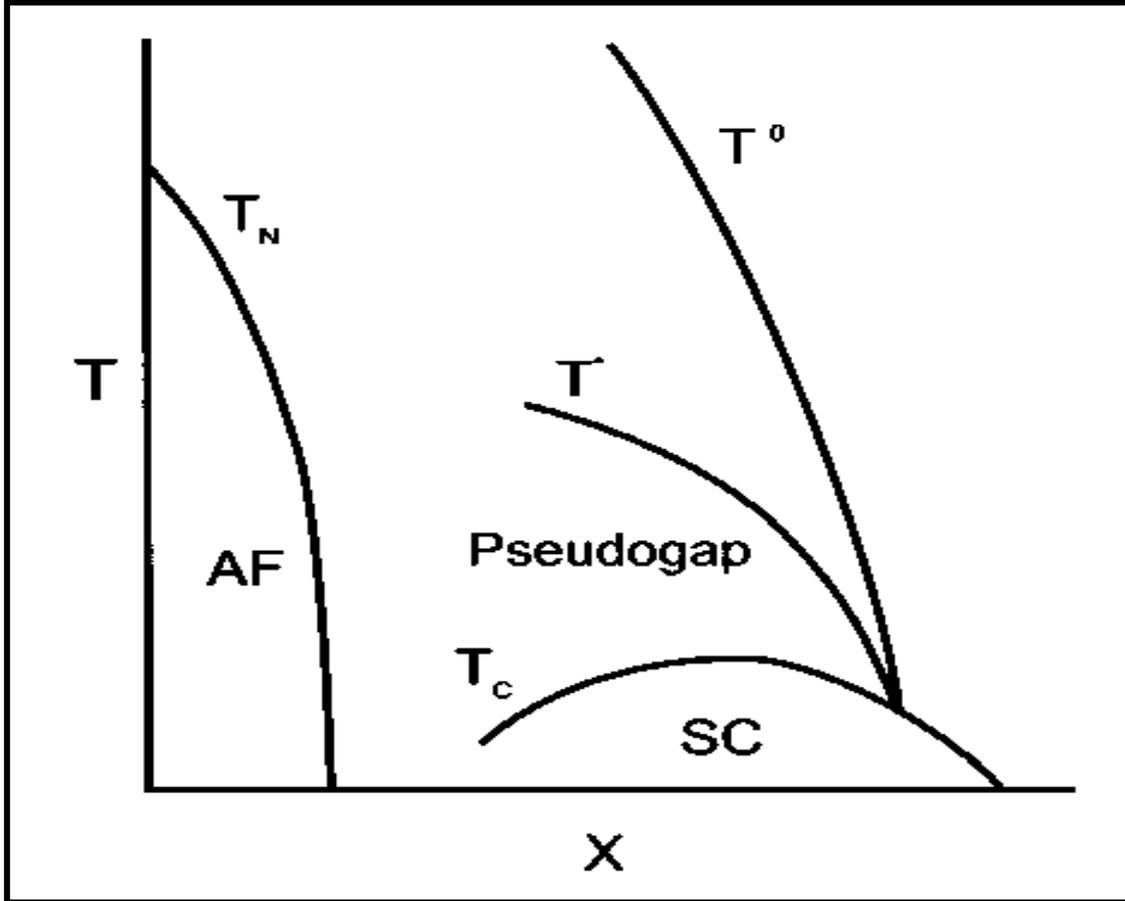
الشكل(2-26). مراحل تشكيل الطور (Bi-2223) حيث تمثل:

(a) المرحلة الاولى وهي مرحلة ترطب الطور (Bi-2212) و(b)المرحلة الثانية وهي مرحلة الذوبانية الجزئية (تكون الطور السائل) و(c)المرحلة الثالثة وهي مرحلة نمو الطور (Bi-2223). [154] ان الطور الواطئ المتكون يرطب بواسطة الطور السائل الغني بذرات (Ca,Cu) والذي يحتوي كذلك على ذرات عناصر اخرى مضافة مثل (Pb)، واما الطور السائل فيتشكل عند سطح الطور الواطئ (Bi-2212) والذي ينشأ من ذوبان او تآكل جزئي، ومن جهة اخرى فان الطور السائل المحتوي على (Ca,Cu,Pb) بغزارة يستطيع ان ينتشر تلقائيا الى سطح الطور (Bi-2212) المتبقي و خلال تفاعل بيني تتكون انوية الطور (Bi-2223) على السطح البيني للطور (Bi-2212). وبعد تكوين انوية (Bi-2223) يدخل التفاعل مرحلة النمو البلوري.

2-39 المخطط الطوري للموصلات الفائقة المعتمدة على اوكسيد النحاس (Phase Diagram Of Cuprate Superconductors)

تعتمد كل خواص الالكترون في الموصلات الفائقة عالية درجة الحرارة وبشدة على التطعيم. ان الموصلات الفائقة عالية درجة الحرارة من دون تطعيم هي عوازل كهربائية ومواد ضديدة فيرومغناطيسية، فاذا ازداد تركيز مادة التطعيم (X) فان هذه المواد تصبح معادن. تنشأ التوصيلية الفائقة عندما يكون تركيز المادة المطعمة (X) كبيرا، وهي التي تقع خلف حدود الطور المرتب مغناطيسيا. اظهرت التجارب ان نواقل الشحنة لها مواصفات الفجوات في كل اصناف الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية. لقد اصبح واضح حديثا ان التوصيلية الفائقة عالية الحرارة لها علاقة بخواص سلوك تلك المركبات في الطور

الطبيعي. كما هو موضح في المخطط الطوري الشكل (2-27)، حيث تتشا حالات التوصيلية الفائقة بالقرب من طور المضاد للفيرومغناطيسية. وفي الأنظمة الحاوية على اليتريوم مثلا، تكون المناطق المضادة للفيرومغناطيسي والتوصيلية الفائقة مجاورة بعضها لبعض الآخر. إذ تشير التجارب التي أجريت على استطارة مغناطيسية غير مرنة للنيوترونات الى وجود تقلبات مغناطيسية قوية في المنطقة المطعمة، وحتى خارج حدود طور المضاد- للفيرومغناطيسية. وهذا يشير الى الدور المهم للتقلبات الضديدة فيرومغناطيسية في المركبات ذات التوصيلية الفائقة وذات درجات الحرارة العالية. وفي الموصلات الفائقة ذات الحرارة العالية توجد الفجوة بغياب تماسك الطور، وهذا يعني انه في العينات غير الفائقة التوصيل هذه الفجوة تسمى بالفجوة الكاذبة والتي نراها في الشكل (2-22). حيث تظهر الفجوات الكاذبة في درجات حرارة اقل من بعض درجات الحرارة المميزة (T^*) والتي تعتمد على التطعيم. فيما عدا ذلك فان طبيعة الفجوة الكاذبة لم توضح بصورة تامة. ان دراسة الفجوات الكاذبة في طيف الالكترن للموصلات الفائقة ذات الحرارة العالية حدثت في العديد من البحوث. حيث ان (13) معدنا اصبحت فيها موصلات فائقة، اذا اتحدت إلكتروناتها الحرة في ازواج كوبر. فضلا عن ذلك تتشكل الازواج بطريقة مناسبة حيث يكون لدالة موجتها الطور نفسه. ان تماسك الطور مسؤول عن تغير المقاومة في ظروف التبريد تحت (T_c). ان وجود الازواج في الموصل الفائق يسبب ظهور الفجوة في طيف الاثارات. وفي الموصلات الفائقة القياسية، وان تماسك الطور للازواج يظهر أنيا مع ظهور الازواج المقترنة. ومن احدى وجهات النظر، فان الفجوة الكاذبة تتعلق بظهور الازواج المقترنة، والتي لاتتعلق بتماسك او ترابط الطور. ومن وجهة نظر اخرى: ان الفجوة الكاذبة تتشا في الموصلات الفائقة (HTSC) في الاتصال مع تشكيل الحالات المغناطيسية والتي تشترك مع حالات التوصيل الفائق. ان الجهود التجريبية تهدف الى حل هذه المعضلة المعقدة بوساطة التباين الشديد في خواص فجوة الموصل الفائق. بعض الفيزيائيين يظن بان الحالة الاكثر احتمالا هي تلك التي تتعلق بخلق حالات فائقة التوصيل مع ازواج الألكترونات عند تطعيم معين والتي تتواجد مع الضديدة فيرومغناطيسية. وهذا محتمل فقط في حالة جديدة من المادة التي نوقشت بصورة واسعة في السنوات الاخيرة بالارتباط مع (HTSC). [155]



الشكل (2-27) المخطط الطوري للموصلات الفائقة (Cuprates) كدالة بين درجة الحرارة (T) ونسبة التطعيم (X). و (T_N) هي درجة حرارة نيل (Neel Temperature)، و (T_c) هي درجة حرارة الحرجة للانتقال فائق التوصيل، و (T*) هي درجة الحرارة المميزة للفجوة الكاذبة، (T⁰) هي أعلى درجة حرارة انتقال. [155]

2-40 تطبيقات المواد فائقة التوصيل عالية درجات الحرارة Applications Of Superconducting Materials(HTSC)

ان معرفة الخواص البارزة للموصلات الفائقة تفسر تطبيقاتها التكنولوجية، ان الوصول الى المنطقة القريبة من الصفر المطلق ليس سهلا ومكلف جدا. وان التغلب على العديد من المعوقات في هذا الاتجاه مازال مستمرا. ان المعوقات الحقيقية والاكثر جدية تكمن في تعقيد الاجهزة، حيث ان بناء هذه الاجهزة وتركيبها وصيانتها يتطلب مهارات احترافية عالية جدا، وكذلك تتطلب تقنيات متقدمة. ان عملية تشغيل الاجهزة فائقة التوصيل تتطلب عزلها بصورة تامة وكاملة عن المحيط الخارجي. وكذلك فان عنصر الهليوم هو عنصر غالي الثمن ويعد من العناصر النادرة، لهذا يستعمل تبريد اضافي وخارجي بوساطة النتروجين السائل من اجل تقليل الكلفة والخسارة. فمثل هذه العملية والتمثلة في التبريد المزدوج يجعل الاجراءات اكثر تعقيدا. وان الشدات لهذه المجالات المغناطيسية المتعلقة بهذه الاجهزة ليست كبيرة، بالاضافة الى ذلك ممكن ان تتغير مع الوقت تحت تأثيرات خارجية. ولهذا السبب ولعدة سنوات فان المجالات المغناطيسية حصلت باستعمال المغناط الكهربية، ان الاسلاك فائقة التوصيل الكهربائي تختلف اختلافا جذريا عن تلك المستخدمة في التطبيقات الكهربية الاعتيادية. ويستعمل هنا الموصلات الفائقة من النوع الثاني لقدرتها على مقاومة وتحمل المجالات المغناطيسية العالية. ومن الجدير بالذكر ان تدفق التيار الكهربائي في سلك فائق التوصيل يتيح لنا امكانية اطفاء جهاز القدرة، لان الاسلاك ممكن ان تشكل حلقات والتيار يستمر بالتدفق الى اجل غير محدد طالما ان درجة الحرارة هي تحت درجة حرارة الانتقال الحرجة. وكذلك فان تطبيقات الاغشية الرقيقة من الموصلات الفائقة (HTSC) تتزايد بشكل كبير لاستعمالها في صناعة ادوات المايكرويف المتنوعة والمستعملة في الهواتف النقالة و الاتصالات بالاقدار الصناعية. [80,90,106]

ان التطبيقات الحديثة للموصلات الفائقة سوف تزداد بازدياد درجة حرارة انتقالها الحرجة. ان الموصلات الفائقة المستندة على النتروجين السائل تعطي المصانع مرونة اكثر لاستخدام التوصيلية الفائقة مقارنة بالموصلات الفائقة المستندة على الهليوم السائل. ان الأكتشاف المحتمل للموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة سوف تعطي املا كبيرا لجلب الوسائط

الفائقة التوصيل والتي تلبى حاجتنا من الطاقة. [156] من الممكن صناعة مغناط حديثة فائقة التوصيل اصغر بكثير من المغناط المقاومة، لان اللفات تحمل تيارا اكبر من دون خسارة طاقة. [74,157] حيث ان التدعيم بالموصلات الفائقة سوف يولد الكمية نفسها من التيار الكهربائي باستعمال اجهزة اصغر وطاقة اقل. حالما تتولد الكهربائية فانها ستتنتشر خلال الاسلاك فائقة التوصيل. والاكثر من هذا ان الطاقة ممكن ان تخزن في الملفات فائقة التوصيل لمدة زمنية اطول من دون فقدان ملحوظ. [64] ان التطبيقات الحالية للموصلات الفائقة ذات درجة الحرارة العالية تشمل وسائط الحماية المغناطيسية، وانظمة التصوير الطبية، ووسائط التداخل الكمي فائق التوصيل (Superconducting Quantum Interference Devices (SQUID_s))، المجسات تحت الحمراء، ووسائط معالجة الاشارات المتماثلة ووسائط المايكرويف. [158,159] ان استعمال الاغشية الرقيقة فائقة التوصيل الحديثة من الممكن ان يؤدي الى انتاج رقائق متراصة بشكل اكثر والتي تنقل المعلومات بصورة اسرع بعدة مرات. [74,156]

بما انه لم توجد التوصيلية الفائقة بدرجة حرارة الغرفة لحد الان فان التطبيقات في التوصيلية الفائقة محددة بدرجة حرارة مقاربة لدرجة حرارة النتروجين السائل. بما ان انظمة التبريد قد تطورت حديثا بشكل كبير فان تلك التطبيقات سوف تسهم بصورة كبيرة في المجتمع. تستعمل الموصلات الفائقة لصناعة بعض المغناط الكهربائية والتي تعد الاقوى من بين التي عرفها الانسان وتشمل الرنين المغناطيسي (MRI) والتي هي من اقوى المغناط المستخدمة والتي تساعد في خلق المجالات الضرورية لمساعدة الاطباء لرؤية الجسم من دون تداخل جراحي ومن دون تعرض الانسان لخطر الاشعاع. [160] وكذلك من الممكن استعمالها للعزل المغناطيسي حيث تنتزع ضعيفة المغناطيسية من خلفية ذات جسيمات اقل مغنطة او غير مغنطة كما في مصانع الاصبغة. [161]

وتعد احدى التطبيقات المثمرة جدا للموصلات الفائقة هي في نظام تنقية الماء باستعمال تأثير العزل المغناطيسي. وهذا النظام اكثر كفاءة بمائة مرة من انظمة التنقية بالعزل المغناطيسي المتوفرة حاليا. [162]

وكذلك تم استعمال الموصلات الفائقة في صناعة الدوائر الرقمية ومرشحات المايكرويف لمحطات الهواتف النقالة.

تستعمل الموصلات الفائقة لبناء مفارق جوزيفسون والتي هي وحدات البناء في (SQUIDS)، والذي هو من أكثر مقاييس التمغنط المعروفة حساسية. اعتمادا على طريقة العمل الخاصة، ومن الممكن استعمال ملتقيات جوزيفسون ككاشف فوتون او كخلاط.

ان تغيير المقاومة الكبير عند الانتقال من الحالة الطبيعية الى الحالة الفائقة التوصيل يستعمل لبناء المحارير وكاشفات الفوتون للمسعر الدقيق عالي التبريد. ولقد نشأت اسواق مبكرة عندما تغلبت فائدة الكفاءة، والنوعية، والحجم والوزن للوسائط المعتمدة على الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية على الكلفة الاضافية.

وكذلك تتضمن التطبيقات المستقبلية الواعدة محولات عالية الاداء، مثل اجهزة خزن الطاقة، نقل طاقة كهربائية، والمحركات الكهربائية واجهزة الطفو المغناطيسية. على اي حال فان التوصيلية الفائقة حساسة لتحريك المجالات المغناطيسية، كذلك التطبيقات التي تستعمل التيار المتناوب كالمحولات سوف تكون اكثر صعوبة للتطور من تلك التي تعتمد على التيار المباشر. [163]، ومن المعروف ان (HTSC) هي مواد هشة ولهذا فان هناك صعوبات تقنية لانتاج اسلاك، اشربة وملفات لاستعمال هذه المواد. على كل حال، تشير البحوث والتطور في هذا المجال الى استحصال حلول عديدة بحيث ستعدو اجهزة الموصلات الفائقة (HTSC) ووسائطا متوفرة تجاريا في المستقبل القريب، ان استعمال الاسلاك فائقة التوصيل في خطوط نقل الطاقة ذات الفولتية العالية هي احدى التطبيقات المهمة للموصلات الفائقة عالية درجة الحرارة. يعتمد اداء اسلاك (HTSC) على نوعية الاشربة حيث يجب ان تكون الاشربة المستعملة في اسلاك نقل الطاقة طويلة بحيث تكفي الطول المطلوب لمحتوى السلك المطلوب انشائه. ومن اهم الاستخدامات والتطبيقات لظاهرة التوصيل الفائق هي:

1- الاسلاك الناقلة التي تحمل الكهرباء من محطات التوليد الى المحطات الفرعية، وبما انه تلك الاسلاك مصنوعة من مادة فائقة التوصيل فان هذا يعني انه لا توجد مقاومة كهربائية للتيار الكهربائي، لذلك لا يوجد ضياع او خسارة بالطاقة. حيث ان هذه الاسلاك تكون نواقل حامية للكهربائية من الضياع عندما تستعمل معا وتكون على هيئة اسلاك متعددة الشعيرات وقوية ومرنة ومتينة وقادرة على حمل تيارا كهربائيا اكبر بمقدار (3-5) مرات اكثر من تلك المصنوعة من النحاس. [164]

2- المولدات المصنوعة من اسلاك فائقة التوصيل تكون اكثر كفاءة من المولدات المصنوعة من اسلاك النحاس، وفي الحقيقة هناك مولدات ذات كفاءة(99%) وحجمها نحو نصف حجم المولدات التقليدية. هذه الحقائق تجعلها تحديات مريحة جدا لاستعمالات القدرة.

[165]

3- الطفو المغناطيسي هو احد التطبيقات حيث يكون فيه اداء الموصلات الفائقة جيد جدا. ان المركبات الناقلة مثل القطارات يمكن ان تصنع للطفو فوق مغناط فائقة التوصيل قوية ،ويفسر عمليا بازالة الاحتكاك بين القطار والسكك. ليس فقط الكهرومغناطيسية التقليدية تخسر الكثير من الطاقة الكهربائية مثل الحرارة، ومن الناحية الفيزيائية تكون اكثر بكثير من المغناط فائقة التوصيل. [166]

4- في الصناعة الألكترونية، هناك مرشحات عالية الأداء جداً تُبنى الآن من سلك فائق التوصيل له مقاومة كهربائية قريبة من الصفر حتى في التذبذبات العالية، وهناك المزيد من مراحل تطور المرشحات للوصول الى امكانية استخدامها في الترددات المرغوبة. ترجم هذا الى تمرير الترددات المرغوبة وغلغ الترددات غير المرغوبة في تطبيقات الترددات الراديوية عالية الازدحام ((Radio Frequency (RF) كما في انظمة الهواتف الخلوية.

5- ومن بين التقنيات الناشئة وذات زخم استقراري جيد هي الجيروسكوب (Gyroscope)، بالنسبة للأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض والتي تستخدم خصائص تدفق الموصلات الفائقة لأزالة الاحتكاك إلى ما يقرب من الصفر، كذلك يجري تطوير أجهزة الكشف بالأشعة السينية (X-Ray detectors) فائقة التوصيل، نظرا لقدرتها الكامنة على الكشف عن كمية ضعيفة للغاية من الطاقة، وطور العلماء كاميرا تسمى (S-Camera) وهي كاميرا بصرية ذات حساسية عالية، ومن الممكن ان تؤدي الموصلات الفائقة دورا مهما في اتصالات الانترنت قريبا. [167,168]



الفصل الثالث
الجانِب العملي
Experimental Part

3-1 المقدمة Introduction

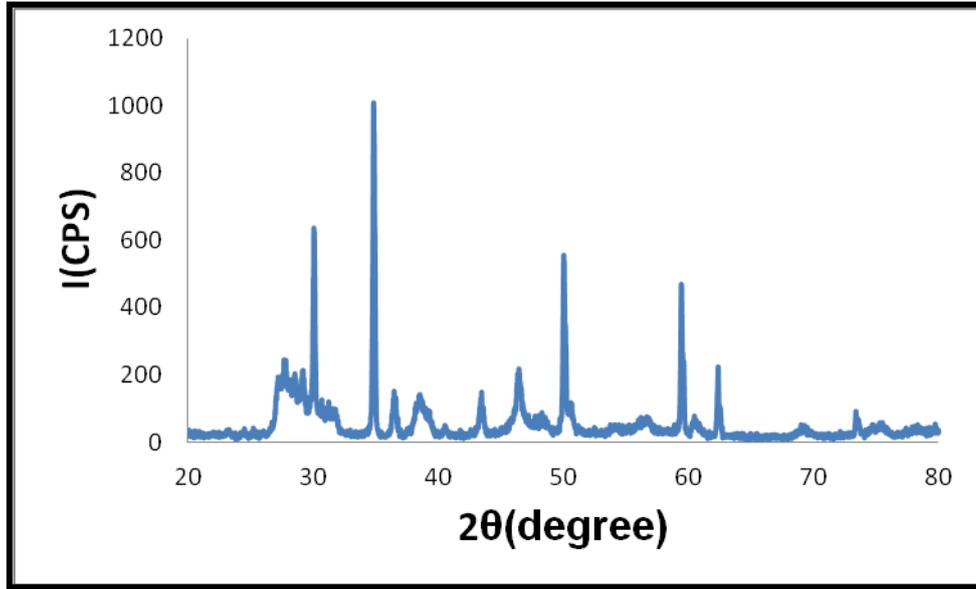
يتضمن هذا الفصل طريقة تحضير المركب $(\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta})$ حيث كانت نسب (In_2O_3) والمتمثلة بالمتغير (x) هي $(0 \leq x \leq 0.2)$ وبمدى تغير (0.05) لكل مجموعة، ونسب مختلفة من (La_2O_3) والمتمثلة بالمتغير (y) هي $(0 < y \leq 0.2)$ وبمدى تغير (0.05) لكل خلطة في المجموعة الواحدة، وكذلك يتضمن هذا الفصل فحوصات وقياسات مهمة شملت كل من فحوصات حيود الاشعة السينية (XRD)، وكذلك فحوصات المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة الحرجة، إضافة الى فحوصات الخواص العزلية والتي شملت (ثابت العزل الحقيقي ϵ' ، وثابت العزل الخيالي ϵ'' ، ظل الفقد العزلي $(\tan\delta)$ ، والتوصيلية الكهربائية المتناوبة $(\sigma_{a.c})$).

وقد تم تقسيم العمل في هذا البحث الى ثلاث مراحل هي:-

1. تهيئة المواد الأولية.
2. تحضير العينات.
3. اجراء الفحوصات والقياسات.

3-2 تهيئة المواد الاولية

تمت تهيئة المواد على شكل اكاسيد نقية بحسب النظام فائق التوصيل (BSCCO) والتي شملت $(\text{Bi}_2\text{O}_3, \text{CaO}, \text{CuO}, \text{In}_2\text{O}_3, \text{La}_2\text{O}_3)$ ، اما اوكسيد السترونتيوم (SrO) فقد تم الحصول عليه كاوكسيد نقي باختيار مادة نترات السترونتيوم $(\text{Sr}(\text{NO}_3)_2)$ واجراء المحاولات التجريبية عليه من خلال معاملتها حراريا، والتي استقرت على درجة حرارة حرق عند (900°C) ولمدة (48hr) وبمعدل صعود $(20^\circ\text{C}/\text{min})$ ، وقد تم التأكد من ذلك باستخدام فحص (XRD) وكما موضح بالشكل (3-1):



الشكل (3-1) مخطط (XRD) لأكسيد السترونتيوم (SrO).

وبالنتيجة تم تهيئة جميع المواد على هيئة أكاسيد نقية.

3-3 تحضير العينات

تم تحضير جميع العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة وتمت هذه العملية على عدة مراحل هي:-

3-3-1 تهيئة الخلطات :-

تم عمل خمس مجموعات للخلطات وهي (A,B,C,D,E) بالإضافة الى العينة النقية التي فيها $(\text{In}_2\text{O}_3(x)=0, \text{La}_2\text{O}_3(y)=0)$ والجدول (3-1) يبين نسب كل من $(x=(\text{In}_2\text{O}_3), y=(\text{La}_2\text{O}_3))$ لكل عينة ، وكذلك رمزها في المركب $(\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta})$:

الجدول (1-3) يبين نسب الاستبدال في العينات ورموزها

Code of Specimens	In ₂ O ₃ (X)	La ₂ O ₃ (Y)
Pure(O)	0	0
A1	0	0.05
A2	0	0.1
A3	0	0.15
A4	0	0.2
B1	0.05	0.05
B2	0.05	0.1
B3	0.05	0.15
B4	0.05	0.2
C1	0.1	0.05
C2	0.1	0.1
C3	0.1	0.15
C4	0.1	0.2
D1	0.15	0.05
D2	0.15	0.1
D3	0.15	0.15
D4	0.15	0.2
E1	0.2	0.05
E2	0.2	0.1
E3	0.2	0.15
E4	0.2	0.2

ثم بعدها تم إجراء الحسابات لكل الخلطات للحصول على اوزان كل خلطة على وفق الجدول (2-3) الاتي:

الجدول (2-3) الاوزان الذرية للاكاسيد المستخدمة

المادة	الاوزان الذرية
Bi_2O_3	$(2-x)((2*208.98)+(3*15.999))$
In_2O_3	$x((2*114.82)+(3*15.999))$
SrO	$2(87.620+15.999)$
CaO	$2(40.078+15.999)$
CuO	$(3-y)(63.546+15.999)$
La_2O_3	$y((2*138.91)+(3*15.999))$

حيث تم تجفيف كميات مناسبة من مساحيق الاكاسيد تحت درجة حرارة (125°C) ولمدة (1.5hr) وذلك للتخلص من الرطوبة. ثم تم وزن كل نسبة لكل مسحوق باستخدام ميزان حساس من نوع (KERN - 4 digit) كل على حدة.

2-3-3 عملية الخلط والطحن:

حيث تمت عمليتا الخلط والطحن على مرحلتين:

المرحلة الاولى: تمت باستخدام الهاون اليدوي المصنوع من مادة العقيق (Gate Mortar) حيث تم عملية الطحن والخلط ولمدة نصف ساعة.
المرحلة الثانية: كانت بوساطة خلاط كهربائي دوامي مستخدمين لذلك كرات من الفولاذ الصلب ولمدة (6hr). وكان الهدف من هذه الآلية هو الحصول على مساحيق دقيقة وكذلك الحصول على افضل حالة من التجانس.

3-3-3 تشكيل العينات:

تم تشكيل الخلطات الناتجة على شكل اقراص اسطوانية ، وذلك باستخدام قالب ذي قطر (1.5cm)، و باستخدام مكبس هيدروليكي وتحت ضغط كبس ($7\text{ton}/\text{cm}^2$) ولمدة دقيقة واحدة. وقد استعمل أسلوب الكبس المحوري من اتجاهين ، وذلك لضمان أفضل وأعلى قيمة للكثافة. وقد تم تشكيل (63) عينة بواقع (3) عينات للخلطة الواحدة.

4-3-3 عملية التلييد:

تم في هذه المرحلة اجراء عدة تجارب لاختيار الظروف المثلى في الحصول على افضل العينات والتي شملت درجة حرارة التلييد وزمن التلييد المناسبة للعينات المكبوسة ، وقد تم اختيار درجة حرارة التلييد (750°C) وكذلك زمن التلييد (140hr) وبمعدل تسخين (5°C/min) وتحت الضغط الجوي الاعتيادي ، وذلك للحصول على عينات متماسكة و من اجل ضمان عملية انتشار مثلى بين الذرات ، ثم بعد ذلك تم تبريد العينات الى درجة حرارة الغرفة وبمعدل تبريد (5°C/min) . وبالنتيجة تم الحصول (42) عينة بواقع (2) عينة لكل خلطة وعلى شكل اقراص اسطوانية بقطر (1.5cm) وبسمك يتراوح بين (0.15cm-0.25cm). كما موضح في الشكل (2-3).

4-3-4 الفحوصات والقياسات

1-4-3 فحوصات حيود الاشعة السينية (XRD) (X-Ray Diffraction):

تم فحص الخواص التركيبية للعينات الناتجة بواسطة استخدام جهاز فحص الاشعة السينية نوع (Shimadzu) ذي المواصفات (Cu_{kα}, Voltge:40Kv, Current:30mA, Wave Length=1.5406Å) وفي ضمن مدى (10°-70°) وفي درجة حرارة الغرفة ، وبعد الحصول على بيانات الفحص تم تشخيص الاطوار المتكونة في العينات ونسبها من خلال تشخيص (2θ,d,(hkl),I) في الفحص الخاص بالعينة ومقارنته مع نظيراتها في الفحوصات القياسية، لذلك تم تشخيص الاطوار المتكونة وهي (Bi-2223,Bi-2212,Bi-2201)، بالإضافة الى بعض اطوار الشوائب. وقد استعمل برنامج حسابي لحساب معاملات الشبيكة (a,b,c) ولحساب معاملات الشبيكة لوحدة الخلية من مخطط الاشعة السينية (وعلى اعتبار ان التركيب البلوري هو معيني قائم) تم استعمال العلاقة الاتية: [63]

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \dots \dots \dots (3 - 1)$$

حيث ان: h,k,l هي معاملات ميلر

ثم بعد ذلك تم حساب معاملات الشبكة لوحدة الخلية (a,b,c) لكل عينة رياضيا اعتمادا على قانون براك في حيود الاشعة السينية وبالاستعانة ببرنامج الماتلاب. وقد تم حساب نسبة كل طور من الاطوار بحسب العلاقة الرياضية الاتية: [22]

$$(V_{Ph})\% = \frac{\sum I_0}{\sum I_1 + \sum I_2 + \sum I_{other(peaks)}} \times 100\% \dots \dots \dots (3 - 2)$$

حيث I تمثل شدة القمم في كل طور.

اما كثافة وحدة الخلية فقد تم حسابها باستخدام العلاقة الاتية: [63]

$$D_m = \frac{W_m}{N_A V} \dots \dots \dots (3 - 3)$$

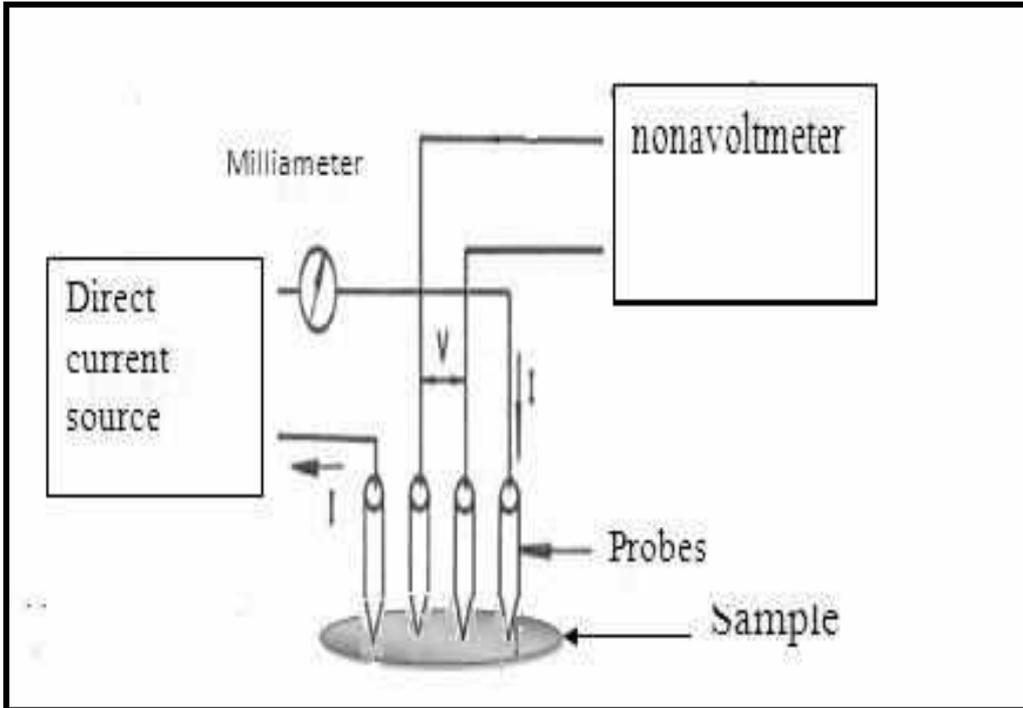
حيث ان N_A هو عدد افوكادرو بوحدات (Particles/gm.mol).

V هو حجم وحدة الخلية (cm^3).

W_m هو الوزن الجزيئي بوحدات (amu).

2-4-3 فحوصات المقاومة الكهربائية ودرجة الحرارة الحرجة:

تم قياس المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة الحرجة للعينات الناتجة باستخدام تقنية المجسات الاربعة، وتم استخدام تيار ثابت لكل العينات وفي حجرة مبردة بوساطة النتروجين السائل والشكل (3-3) يبين مخطط الدائرة الكهربائية لهذه التقنية.



الشكل (2-3) مخطط يوضح تقنية المجسات الاربعة لقياس المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة.

حيث تتصل حجرة التبريد بمضخة دوارة لتفريغها وللحصول على ضغط بحدود (6×10^{-2} mbar) داخل حجرة التبريد وتتصل ايضا بمقياس حراري رقمي (Thermocouple, type-K) يكون قريبا جدا من العينة لتحديد درجة حرارتها. وكذلك تتصل اربعة اسلاك بحجرة التبريد. حيث ان قياس المقاومة يتطلب اتصال العينة باربعة نقاط (المجسات)، و ان النقطتين الطرفيتين تتصلان بمجهر قدرة (D.C) لتجهيز العينة بتيار مستمر يحدد بوساطة نانواميتر اما النقطتان الداخليتان فتتصلان بنانوفولتميتر رقمي لقياس انخفاض الفولتية عبر العينة كي يتحسس لحد (nV) ويتم توصيل هذه المجسات الاربعة مع العينة بوساطة لاصق موصل (معجون الفضة).

إذا سرى تيار خلال العينة مقداره (I) فان هبوط الفولتية سوف يحدث عبر الاقطاب

لهذا فان مقاومة العينة يمكن ايجادها حسب العلاقة الاتية: [169]

$$\rho = \frac{V}{I} \frac{Wt}{L} \quad (\text{Four points probe}) \dots \dots \dots (3 - 4)$$

حيث ان: I هو التيار خلال العينة، V هو الفولتية في العينة، t هو سمك القرص.

L هو الطول المؤثر بين الاقطاب، W هو عرض العينة.

وتستخدم العلاقة الآتية:

$$\rho = 4.5324 \frac{V}{I} \quad (\text{Linear} - \text{four points probe}) \dots \dots (3 - 5)$$

أما تحديد درجة حرارة الانتقال الحرجة فيمكن تحديده من منحنى المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة وذلك باستخدام العلاقة الآتية:

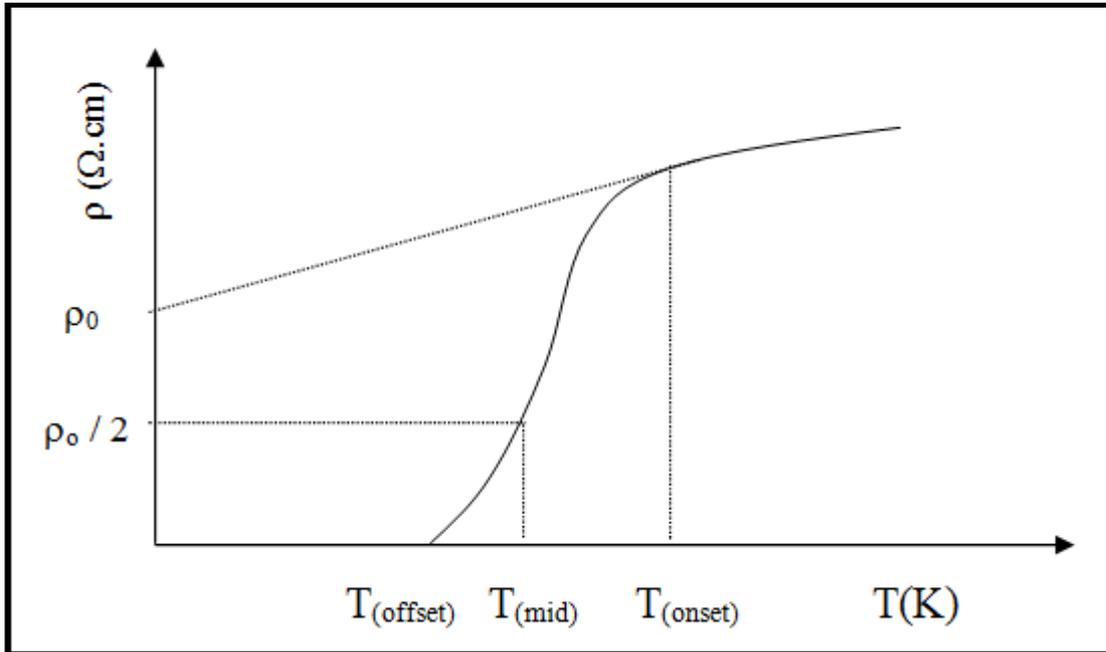
$$T_{c(Mid)} = \frac{T_{c(Onset)} + T_{c(Offset)}}{2} \dots \dots \dots (3 - 6)$$

حيث: $T_{c(Onset)}$ هي درجة حرارة الانتقال الابتدائية.

$T_{c(Offset)}$ هي درجة حرارة الانتقال النهائية عندما $(\rho=0)$.

$T_{c(Mid)}$ هي درجة الحرارة عند منتصف $(T_{c(Onset)}, T_{c(Offset)})$. [170]

والشكل (3-4) يوضح ذلك.



الشكل (3-3) حساب درجة الحرارة الحرجة من منحنى المقاومة.

ثم بعد ذلك تم حساب فجوة الطاقة للعينات فائقة التوصيل من خلال العلاقة

الآتية: [63]

$$E_g = 3.53 K_B T_c \dots \dots \dots (3 - 7)$$

وأما العينات الأخرى والتي أظهرت سلوكاً شبيهاً بموصل فقد تم حسابها من خلال معادلة ميل المماس لمنحنى مقلوب المقاومة الكهربائية كدالة لمقلوب درجة الحرارة $(1/\rho, 1/T)$.

بعدها قمنا بحساب تركيز الفجوات في العينات بالاعتماد على العلاقة

الآتية: [15]

$$p = 0.16 - \left[\left(1 - \frac{T_c}{T_{c(max)}} \right) / 82.6 \right]^{1/2} \dots \dots \dots (3 - 8)$$

حيث ان p يمثل تركيز الفجوات، $T_{c(max)}$ تمثل درجة حرارة الانتقال الحرجة التي يمكن الحصول عليها للنظام (BSCCO). وان تركيب النظام السيراميكي فائق التوصيل (BSCCO) وبصيغته الكيميائية $(Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta})$ ممكن اعتباره ككتلة فعالة كهربائيا حيث ان كل من النحاس والاكسجين يشكلون سلسلة من طبقات اوكسيد النحاس والتي عند اقحام هذه الطبقات في التركيب البلوري للنظام تسمح بدخول وخروج الاوكسجين من الى داخل التركيب البلوري للنظام ، لهذا فهو يوفر آلية لخلق تركيز معين من الفجوات والذي يكون ضروري لحدوث التوصيلية الفائقة ، وان تركيز الفجوات يعرف على اساس هو عدد الفجوات لكل ذرة نحاس في المستوي (CuO). وقد بينت البحوث والدراسات السابقة ان معدل تركيز الفجوات (p) هو في المدى (0.11-0.16) وفي الحقيقة فان اعتماد درجة حرارة الانتقال الحرجة (T_c) على تركيز الفجوات ممكن ان يكون اكثر عمومية والذي يلفت الانتباه الى التشابه المثير بين هذا السلوك وسلوك سبائك المعادن الانتقالية [15].

3-4-3 فحوصات الخواص العزلية:

تم قياس الخواص العزلية وذلك بالاستعانة بتحليل الممانعة باستخدام جهاز (LCR-Meter) ذو المواصفات (6500P Series, Issue A1, Wayne Kerr Electronics ,UK ,Frequency Rang(20Hz-120MHz)) ولمدى تردد (50Hz-1MHz) وعند درجة حرارة الغرفة ، وشملت القياسات كل من (ثابت العزل الحقيقي ϵ' ، وثابت العزل الخيالي ϵ'' ، ظل الفقد العزلي $(\tan\delta)$ ، والتوصيلية الكهربائية المتناوبة $(\sigma_{a.c.})$). وبحسب المعادلات الآتية: [171]

$$\epsilon' = \frac{Cd}{A\epsilon_0} \dots \dots \dots (3 - 9)$$

$$\tan\delta = \frac{\ddot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}} \dots \dots \dots (3 - 10)$$

$$\sigma_{a.c} = 2\pi f \epsilon_0 \ddot{\epsilon} \dots \dots \dots (3 - 11)$$

حيث ان: C تمثل سعة المتسعة (Farad).

d تمثل سمك العينة (m).

A تمثل مساحة الاقطاب (m²).

ϵ_0 تمثل سماحية الفراغ (8.85 X 10⁻¹² F/m).

f تمثل التردد (Hz).

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

Result and Discussion

1-4 المقدمة Introduction

منذ اكتشاف المواد فائقة التوصيل (Cuprats)، لوحظ ان عملية التطعيم او الاستبدال الجزئي للعناصر في التركيب البلوري لهذه المواد باخرى تختلف عنها في الخواص قد حسن وبصورة ملحوظة ومهمة من خواص هذه المواد، وان مثل هذه المعالجات حظيت باهتمام كبير وواسع من اجل التحري عن آليات جديدة للمواد فائقة التوصيل (Cuprates)، لهذا فان هذه العمليات تستعمل في الوقت الحاضر لتحسين الخواص التركيبية والكهربائية والمغناطيسية لهذه المواد مع التركيز وبصورة خاصة على تطبيقاتها.

تناولنا في هذا الفصل دراسة تأثير الاستبدال الجزئي بكل من الانديوم (In) بدلا من البزموت (Bi) واللانثانيوم (La) بدلا من النحاس (Cu) على سلوك التوصيل الفائق في المركب السيراميكي $(\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta})$ وعلى الخواص العزلية. اذ تم تحليل نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD)، المتمثلة بتحديد نوع التركيب ونسب الاطوار المتكونة ومعاملات الشبكة (a,b,c) والنسبة (c/a) وكثافة وحدة الخلية، وبعدها تم قياس المقاومة الكهربائية وتحديد درجة حرارة الانتقال الحرجة الابتدائية ($T_{c(\text{onset})}$) ودرجة حرارة الانتقال الحرجة النهائية ($T_{c(\text{offset})}$) والتي تتعدم عندها المقاومة الكهربائية ($\rho=0$) وكذلك عرض الانتقال (ΔT_c) ودرجة حرارة الانتقال الحرجة المتوسطة ($T_{c(\text{mid})}$) ثم بعدها تم حساب فجوة الطاقة (E_g) وتركيز الفجوات (Hole concentration (p)) لكل العينات، وقد ركزنا في عملنا هذا على تحديد العوامل المناسبة والظروف المثلى والتي يمكن من خلال استعمالها الحصول على مركب ذي درجة حرارة انتقال حرجة عالية ($\text{High}-T_c$) ثم بعد ذلك تم اجراء فحوصات الخواص العزلية التي شملت على (ثابت العزل الحقيقي وثابت العزل الخيالي ظل فقد العزلي والتوصيلية المتناوبة) ودراسة سلوكياتها في العينات وكذلك تأثير الاستبدال على هذه الخواص، وقد كانت العوامل المعتمدة في انتاج العينات هي:

1- ضغط الكبس الهيدروليكي المستعمل في تشكيل العينات هو ($7\text{ton}/\text{cm}^2$) ولمدة دقيقة واحدة. [26]

2- درجة حرارة التلييد (750°C) [31]، ولمدة (140hr).

3- جو التلييد هو الهواء الاعتيادي. [2]

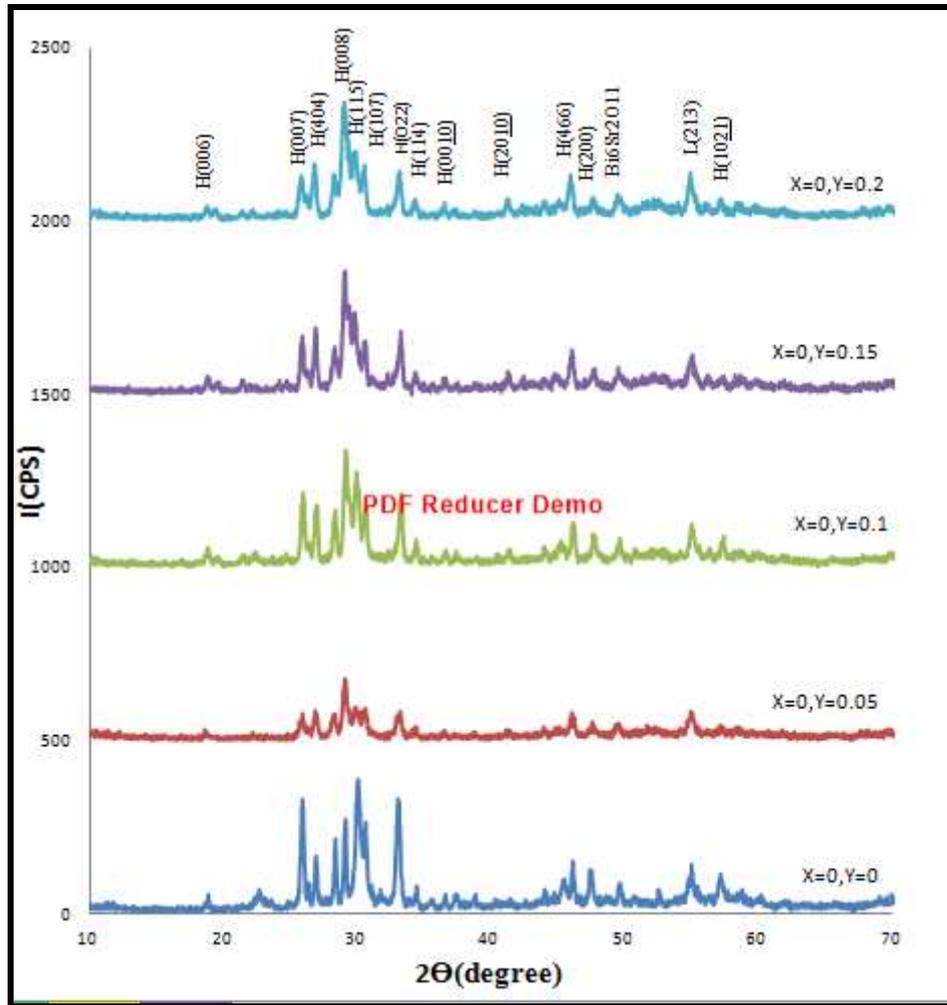
4- نسب الإضافات لكل (ln)، هي (0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2)، و (La) هي (0.05, 0.1, 0.15, 0.2).

ان الشيء المهم والمثير في التعامل مع المركبات السيراميكية فائقة التوصيل هو امكانية خفض او رفع درجة حرارة الانتقال الحرجة من خلال ضبط شروط التحضير وطريقته [3] والتي حاولنا فيها في هذا العمل جاهدين في الحصول على افضل الشروط وامثل طرائق التحضير للحصول على درجة حرارة انتقال حرجة عالية حيث تم اختيار درجة حرارة تلييد (750°C) بعد القيام بعدد من التجارب لاختيار درجة حرارة التلييد الانسب والأفضل، وكذلك تم اعتماد عملية الخلط والطحن على مرحلتين الاولى بوساطة الهاون اليدوي ولمدة نصف ساعة والثانية لمدة (6hr) بوساطة خلاط كهربائي دوامي من اجل الحصول على مساحيق ناعمة ومتجانسة كيميائيا وذات حجم جسيمي دقيق والتي تتبعها استخدام قوة كبس ($7\text{tons}/\text{cm}^2$)، [26] وذلك من اجل الحصول على عينات متراسة التي تساعد في عملية زيادة مساحة سطوح التلامس بين الجسيمات و الحصول على حجم حبيبي امثل في اثناء عملية التلييد وكذلك الحصول على فاعلية كيميائية اكبر وأسرع وبالتالي الحصول على كثافة اعلى والتقليل من خاصية الهشاشة قدر الامكان التي تمتاز بها المركبات السيراميكية فائقة التوصيل عموما، من الجدير بالذكر ان ضغط الكبس اقل من ($7\text{tons}/\text{cm}^2$) غير فعال وينتج عينات هشة والذي يؤدي الى فشل العينة، وكذلك اعتمدنا جو التلييد في الهواء الاعتيادي وبالضغط الجوي الاعتيادي لأنه الجو الامثل في الحصول على عينات ذات كثافة اكبر و درجة حرارة انتقال حرجة اعلى، حيث ان ارتفاع الكثافة يعني غلق المسامات وتقليل المسافة بين الحبيبات اللتين لهما الاثر الكبير في الحصول على (T_c) عالية، ان هذه الظروف بالإضافة الى تأثير تداخل ذرات اوكسجين اضافية من خلال عملية الاستبدال يمكن ان يسبب استقرارية في التركيب البلوري التي سوف

تخلق المزيد من الفجوات في طبقات اوكسيد النحاس (CuO) والتي يؤدي زيادة تركيزها الى انتاج طور عالي وتحسين كل من درجة الحرارة الانتقال الحرجة الابتدائية والنهائية. [172]

4-2 تأثير أضافه اللانثانيوم (La) على المركب السيراميكي فائق التوصيل $(\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta})$

1- 4-2 تحليل حيود الاشعة السينية (Analysis Of X-Ray Diffraction):



الشكل (4-1) مخطط حيود الاشعة السينية لعينات المجموعة (A).

في البداية تم تحليل حيود الاشعة السينية للعينة النقية والتي رمزنا لها بالرمز (O) حيث $(\text{In}=0, \text{La}=0)$ والتي تمثل الطور العالي للنظام فائق التوصيل (BSCCO) حيث لاحظنا فيه تكون الاطوار $(\text{Bi}-2223, \text{Bi}-2212, \text{Bi}-2201)$ مع وجود

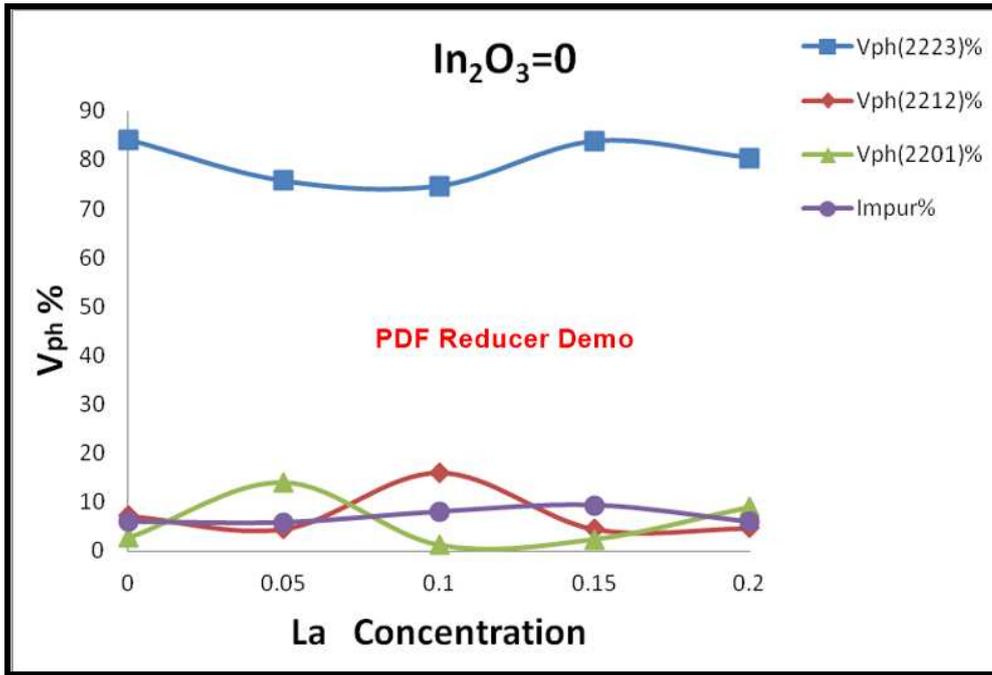
بعض الشوائب ولاحظنا فيه ارتفاع في شدة القمم للطور العالي (Bi-2223) دلالة على ارتفاع نسبة الطور العالي (Bi-2223) في العينة النقية مع انخفاض في شدة القمم للأطوار المتبقية والتي تمثل نسبا بسيطة من الأطوار (Bi-2212, Bi-2201) إضافة الى نسب قليلة من الشوائب وان ظهور الأطوار المختلفة في العينة النقية بصورة خاصة وباقي العينات بصورة عامة يعزى الى ازاحة العيوب الذرية او نقص الاوكسجين او عدم انتظام الايونات الموجبة والتي تؤدي الى تكس عيوب في التراص على طول المحور (c) والذي يؤدي في النهاية الى تشوه التركيب البلوري [173,174]، بعد ذلك تم استخراج وحساب ثوابت الشبكة للعينة رياضيا وبلاستعانة ببرنامج الماتلاب من خلال تحديد معاملات ملر (hkl) و (2θ) لكل قمة وباستعمال المعادلة (3-1) وكانت مقارنة جدا للحسابات القياسية والتي اظهرت ان العينة ذات تركيب بلوري معيني قائم (Orthorhombic)، ومن ثم تم حساب نسب الأطوار بعد تحديد القمم وشدتها ونوعها من خلال مقارنتها بالمخططات القياسية وحسب المعادلة (3-2)، وحساب النسبة (c/a) وكثافة وحدة الخلية حسب العلاقة (3-3) التي اظهرت قيما متفاوتة، ويرجع سبب هذه النتائج والموضحة في الجدول رقم (4-1) الى درجة حرارة وزمن التلييد حيث ان زيادة كل من درجة حرارة و زمن التلييد يعطي طاقة وزمن اكبر للكتلة المتحركة (Mass-Transport) كي يحصل تداخل بين جزيئات المواد وبالتالي اختزال المساحة السطحية الكبيرة للجزيئات على حساب حجمها، وكذلك ان زمن التلييد ضروري ومطلوب للحصول على اطوار متزنة ثرموديناميكيا حيث ان زمن التلييد الطويل يكون ضروري لادخال طبقات اضافية من (CaO) و (CuO) في تراكيب الأطوار الواطئة، وهذا اعطى نتائج ايجابية من حيث نسبة تكوين الطور العالي في العينة. [175,176]

من الشكل (4-1) والذي يمثل مخطط حيود الاشعة السينية (XRD) لعينات المجموعة (A) والتي تمثل المركب $(\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta})$ حيث في هذه المجموعة يكون (x=0) في حين ان (y=0.05, 0.1, 0.15, 0.2) والتي رمزنا لها بالرموز (A1, A2, A3, A4) على التوالي. حيث نلاحظ من خلال مخطط (XRD) ان هناك تغيرا في شدة القمم وكذلك في مواقعها عند زيادة قيمة (La) حيث نلاحظ زيادة

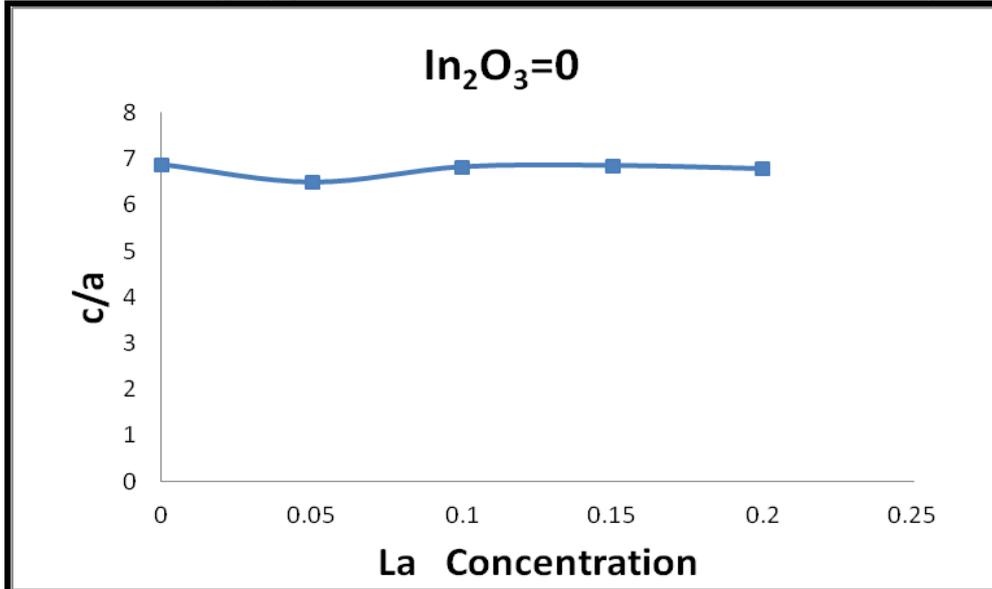
في شدة بعض القمم ونقصان في شدة القمم الاخرى اضافة الى وجود ازاحات في مواقع هذه القمم، ومن خلال حساب ثوابت الشبكة التي اظهرت ان جميع العينات كانت ذات تركيب بلوري معيني قائم وان قيم ثوابت الشبكة تتغير بتغير تركيز (La) والتي تؤدي بالتالي الى تغير في النسبة (c/a) وحجم وحدة الخلية والتي تؤثر في تغير قيم الكثافة والموضحة في الجدول (4-1). ومن خلال حساب نسب الاطوار للعينات ظهر نقصان واضح في نسبة تكون الطور العالي يقابله زيادة في نسبة تكون الاطوار البقية والشوائب وبصورة متفاوتة ويعزى هذا الى تكس وتجمع العيوب في التركيب الداخلي للعينات وهذا يتفق مع كل من [22,30,37]، والذين اكدوا ان النظام فائق التوصيل (BSCCO) يكون حساسا جدا لعملية الاستبدال باحد العناصر الاترية النادرة والتي من ضمنها اللانثانيوم حيث انها تسبب تدهورا في جميع خواص النظام حيث ان اضافة اللانثانيوم تسبب زيادة في تشكيل اطوار النظام (Bi-2212, Bi-2201) وتغير من استقرارية تشكيل (Bi-2223) حيث يقل حجم البلورات بزيادة تركيز اللانثانيوم لان متوسط حجم البلورات يرتبط بتبلور العينة حيث ان الحجم البلوري الاكبر يكون في المواد الاكثر تبلورا [177]، اما التغير في طول المحور (c) فممكن ان يعزى الى الزيادة في تركيز الاوكسجين والنتاج من استبدال (La₂O₃) بدلا من (CuO) وان هذه الزيادة تاخذ من قبل طبقات (Bi-O) المزدوجة والتي تسبب روابط اقوى بسبب تكافؤ اللانثانيوم الثلاثي والتي تؤدي الى زيادة قوى التآصر في طبقات البزموت والتي تؤدي الى نقصان في طول المحور (c) وزيادة في طول المحاور (a,b)، وقد ظهر ان العينة (A3) تمتلك اعلى نسبة من الطور العالي (Bi-2223) مقارنة بالاطوار (Bi-2212) و (Bi-2201) والشوائب المتكونة وكما موضح في الشكل (4-2) في حين اظهرت قيمة منخفضة للنسبة (c/a) كما موضح بالشكل (4-3) وكذلك هي اعلى قيمة للكثافة مقارنة بالعينة النقية والعينات (A1, A2, A4) وكما موضح بالشكل (4-4). ومن هذه النتائج يتضح ان العينة (A3) تمثل العينة المثلى في هذه المجموعة من حيث نسبة الاستبدال ويعزى السبب في هذه التقلبات الى عدم استقرارية الطور العالي حيث تحريكاته الحرارية تكون كبيرة مقارنة بالاطوار الواطئة.

الجدول (4-1) يبين نسب الاطوار ومعاملات الشبكة و(c/a) والكثافة للمجموعة (A).

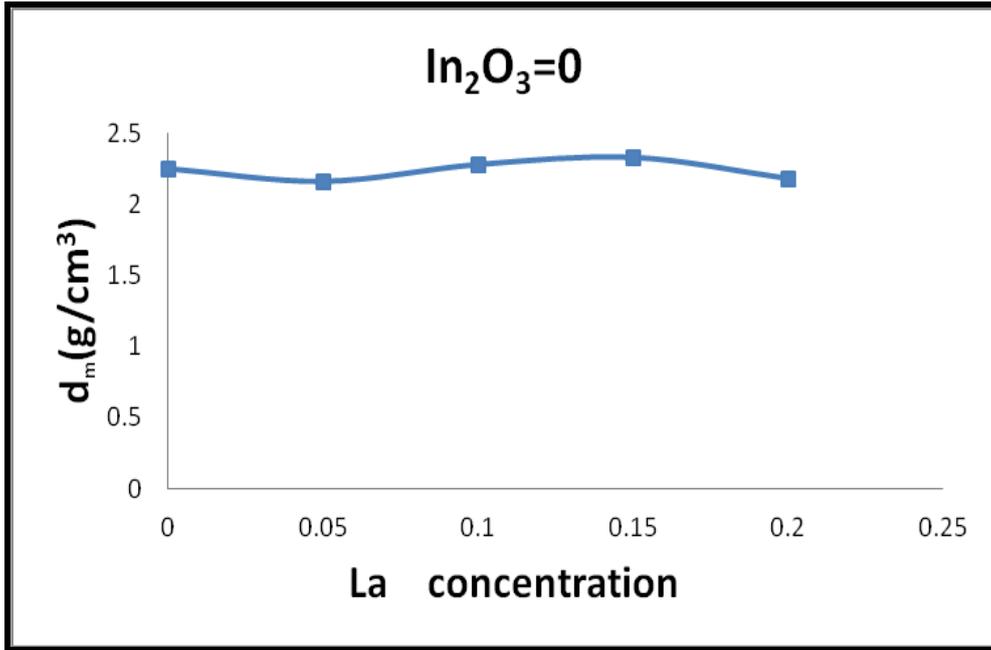
MIX	X	Y	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impur%	a (Å°)	b(Å°)	c(Å°)	c/a	d _m (g/cm ³)
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	6.871	2.250
A1	0	0.05	75.737	4.557	13.941	5.764	5.7061	5.4441	37.0341	6.490	2.16
A2	0	0.1	74.727	16.100	1.218	7.954	5.4230	5.4956	37.0022	6.823	2.28
A3	0	0.15	83.796	4.542	2.372	9.288	5.4030	5.4376	37.0181	6.851	2.33
A4	0	0.2	80.463	4.708	8.924	5.903	5.4410	5.8173	36.8927	6.780	2.18



الشكل (4-2) تغير نسب الاطوار والشوائب كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (A).



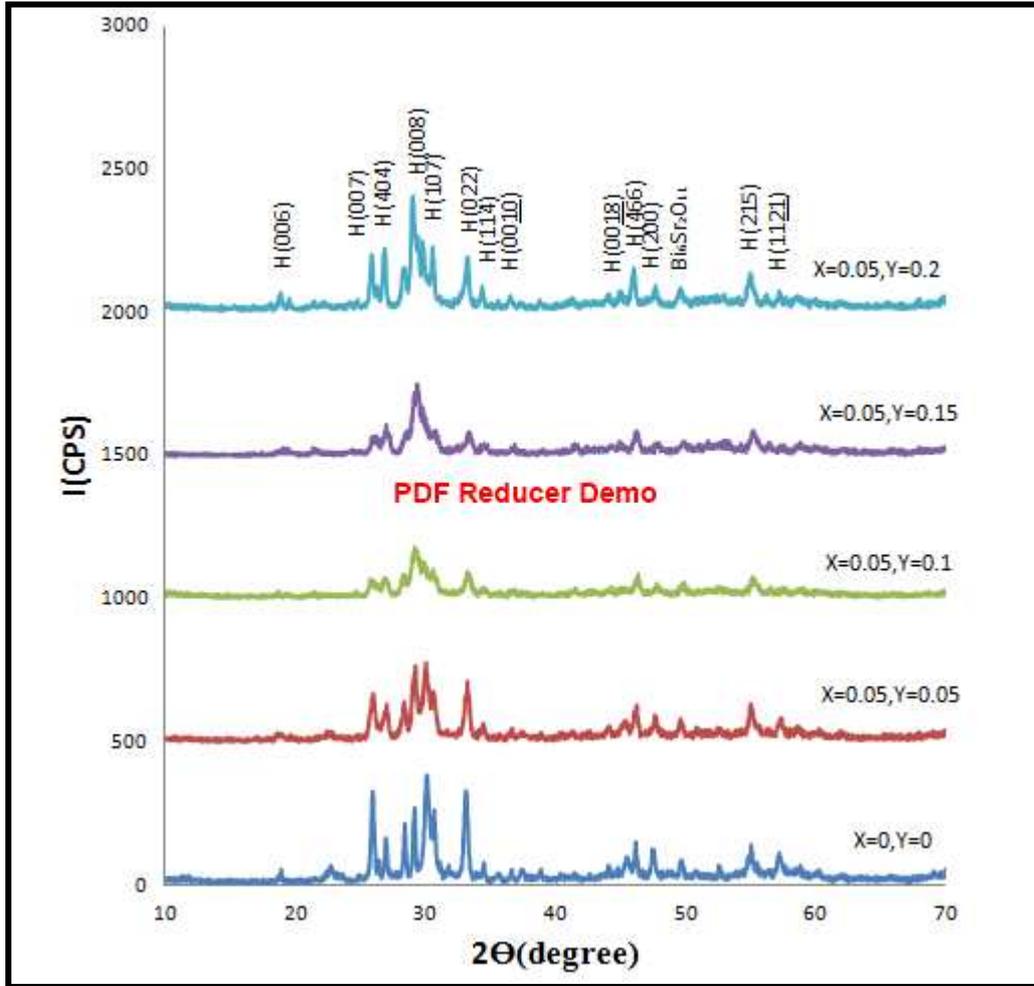
الشكل (4-3) تغير النسبة (c/a) كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (A).



الشكل (4-4) تغير كثافة وحدة الخلية كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (A). ان قيم كل من (2θ) و (hkl) و (d) للعينة المطعمة تتغير عن ما هي عليه في العينة النقية وان هذا التغير بالنتيجة يؤدي الى تغير ثوابت الشبيكة (a,b,c) وكذلك (c/a) وحجم وحدة الخلية وبالنتيجة تغير الكثافة ومنه الى التغير والتشوه في التركيب البلوري، ويحصل هذا التغير بالاعتماد على نوع الايون الموجب المستبدل به، ويعزى هذا التغير في التركيب الى آلية الانتشار ونمو البلورة والذي يحدد بوساطة انتشار السطح البيني، حيث حالما تصل الذرة الى السطح البيني فانها تنتشر مع الاطوار والذرات المحيطة بها وان طريقة الانتشار تعتمد على التراكيب والعناصر المشاركة ضمن العينة من حيث كهروسلبيتها وافتها الالكترونية، ومن الجدير بالذكر ان عملية الانتشار تكون محكومة بعناصر الاستبدال وكذلك الاوكسجين الذي يكون مهيم على معدل النمو في البلورة، حيث ان انتشار ذرات الاوكسجين اذا انتشرت من الهواء او من عناصر المركب فان النمو سوف يكون بنظامين:

1- نظام بخار- صلب، حيث تنتقل ذرات الاوكسجين بصورة مباشرة من الهواء الى السطح البيني.

2- نظام صلب- صلب، حيث ينتشر من العناصر المطعمة الى السطح البيني بالاضافة الى انتشار ايونات البزموت والنحاس. [178]



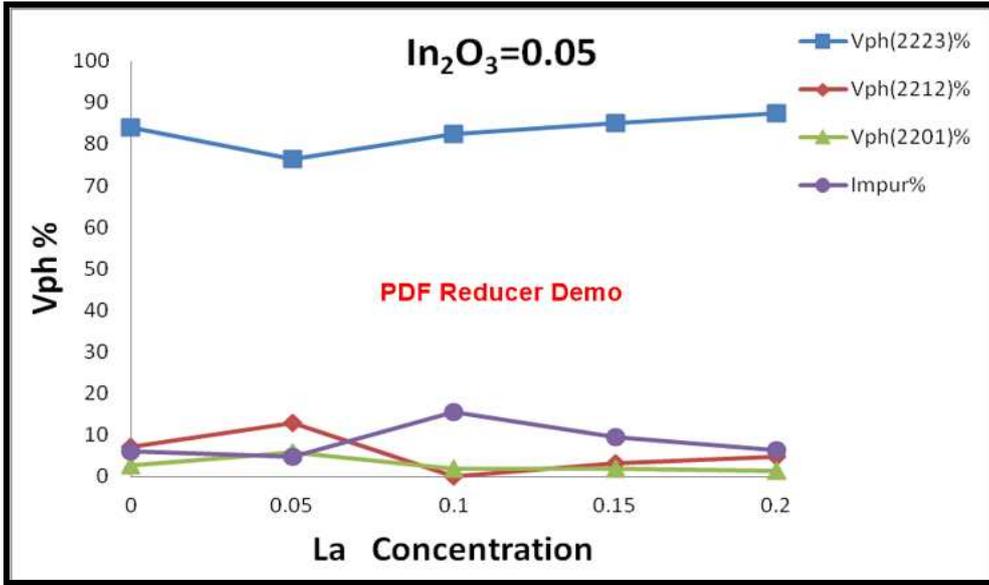
الشكل (4-5) مخطط حيود الاشعة السينية لعينات المجموعة (B).

الجدول (4-2) يبين نسب الاطوار ومعاملات الشبكة و (c/a) والكثافة للمجموعة (B).

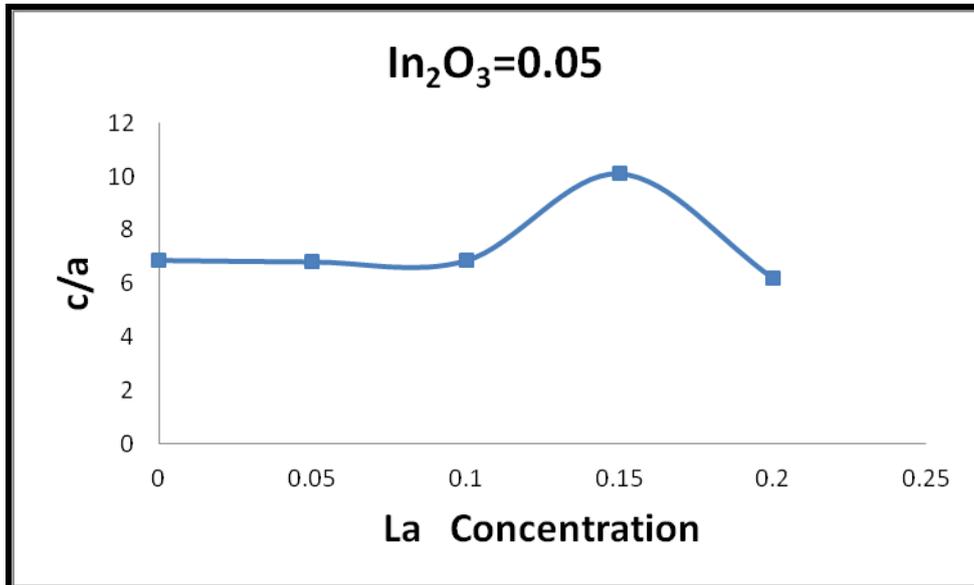
MIX	X	Y	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impur%	a(A°)	b(A°)	c(A°)	c/a	d _m (g/cm ³)
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	6.871	2.250
B1	0.05	0.05	76.395	13.003	5.865	4.734	5.4132	5.4510	36.8908	6.814	2.277
B2	0.05	0.1	82.507	0	1.895	15.597	5.3990	5.4538	37.0347	6.859	2.292
B3	0.05	0.15	85.171	3.308	1.960	9.558	3.6982	5.4269	37.3373	10.096	3.362
B4	0.05	0.2	87.541	4.796	1.265	6.395	5.9468	5.4444	36.9225	6.208	2.125

الشكل (4-5) يبين مخطط حيود الاشعة السينية (XRD) لعينات المجموعة (B) والتي يكون فيها (x=0.05) في حين (y=0.05,0.1,0.15,0.2) حيث اظهرت نتائج تحليل (XRD) ان كل العينات كانت ذات تركيب بلوري معيني قائم مع تغير في شدة القمم ومواقعها، حيث اظهرت تغيرا في شدة القمم للطور العالي و يظهر زيادة في قمم الطور (Bi-2223) والتي تدل على زيادة في نسبة تكون الطور العالي ونقصان في

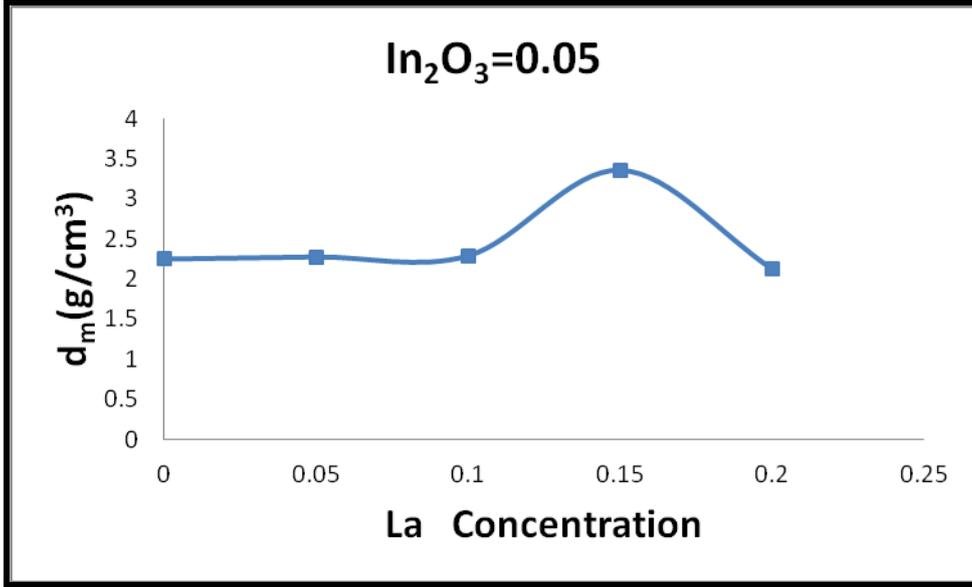
قم الاطوار الواطئة الاخرى والشوائب والتي تراكمها ممكن ان ينتج منه عيوب في الهيكل الداخلي للبلورة، وكذلك لوحظ تغير في الخواص التركيبية من حيث نسب الاطوار وثوابت الشبيكة والنسبة (c/a) والكثافة وذلك بزيادة نسبة الانديوم ($x=0.05$) والتي اظهرت تحسنا ملحوظا في نسبة تكوين الطور العالي حيث نلاحظ من خلال الجدول (2-4) ان نسبة الطور العالي تناقصت في البداية للعينة (B1) مقارنة بالعينة النقية وهذا يعزى الى ان نسبة الاستبدال بكل من الانديوم واللانثانيوم كانت دون النسبة المؤثرة لعملية الاستبدال لهذا فانها عملت على التأثير بشكل سلبي على تكوين الطور العالي، ثم بعد ذلك ازدادت بصورة ملحوظة بزيادة قيمة (La) بحيث اظهرت تحسنا في نسبة تكوين الطور العالي مقارنة بالعينة النقية، للعينات (B3, B4) كم موضح في الشكل (6-4) والتي انعكست على ارتفاع كل من النسبة (c/a) والكثافة للعينة (B3) وكما موضح في الشكلين (7-4) و (8-4) على التوالي، وكذلك نلاحظ تغيرا في معاملات الشبيكة (a, b, c) ، حيث نلاحظ ان وجود الانديوم في تراكيب عينات المجموعة (B) كان له اثر مباشر في زيادة تكون الطور العالي (Bi-2223) مع انخفاض في بقية الاطوار والشوائب بصورة متفاوتة وهذا ممكن ان يعزى الى اثر النمو بوجود الانصهار الجزئي او الطور السائل الجزئي والذي يعمل على معالجة العيوب في التركيب المجهرى مثل الشقوق في الحبيبات فائقة التوصيل والمتسببة بوساطة التشوهات الميكانيكية عند عملية الاستبدال والتي تؤدي الى تغيير في استقرارية الطور العالي [179]، وكذلك ممكن ان تكون بسبب الزيادة في تركيز الاوكسجين الناتجة عن الاستبدال بكل من الانديوم واللانثانيوم حيث سيتم اخذ هذه الزيادة من قبل طبقات البزموث التي تسبب ارتباطا اقوى بسبب التكافؤ العالي لكل من الانديوم واللانثانيوم والذي يؤدي الى زيادة قوة الترابط الايونية المشكلة في طبقات البزموث، ولذلك حدث تغيير معاملات الشبيكة والنسبة (c/a) بزيادة تركيز اللانثانيوم.



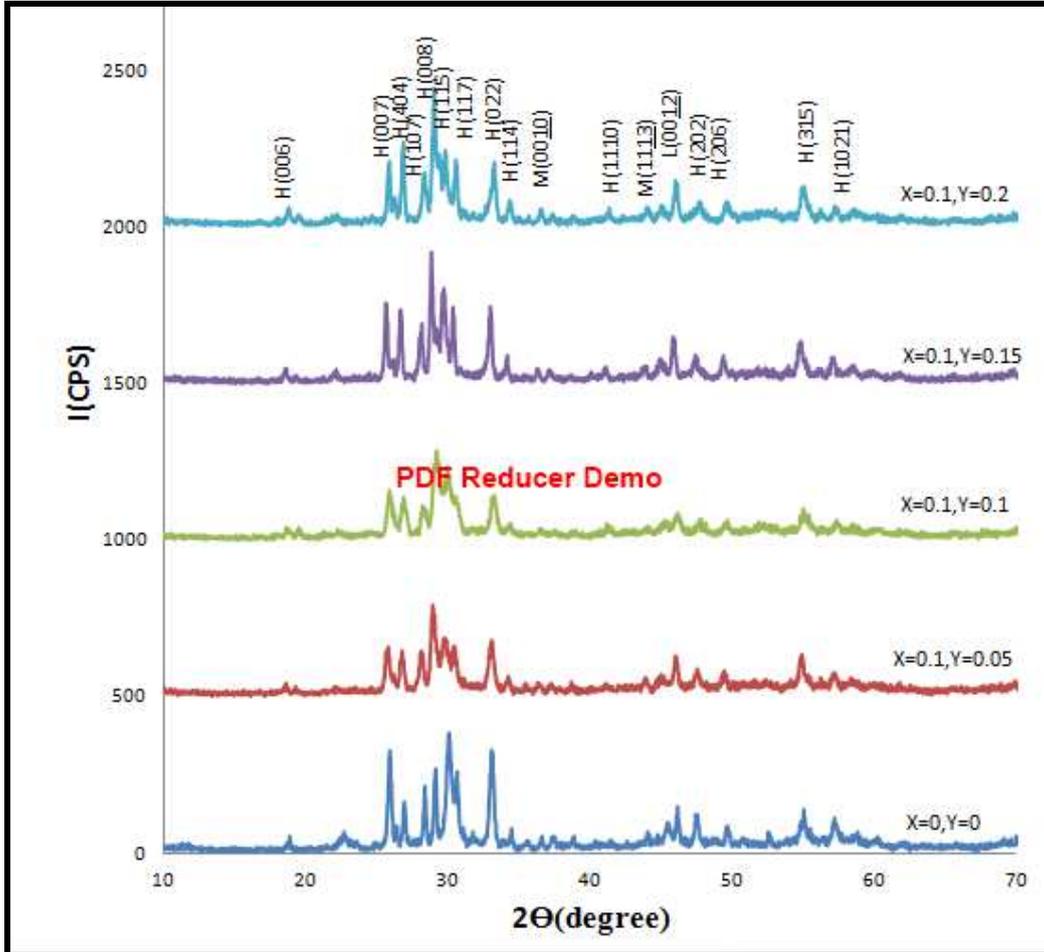
الشكل (4-6) تغير نسب الاطوار والشوائب كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (B).



الشكل (4-7) تغير النسبة (c/a) كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (B).



الشكل (4-8) تغير كثافة وحدة الخلية كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (B).



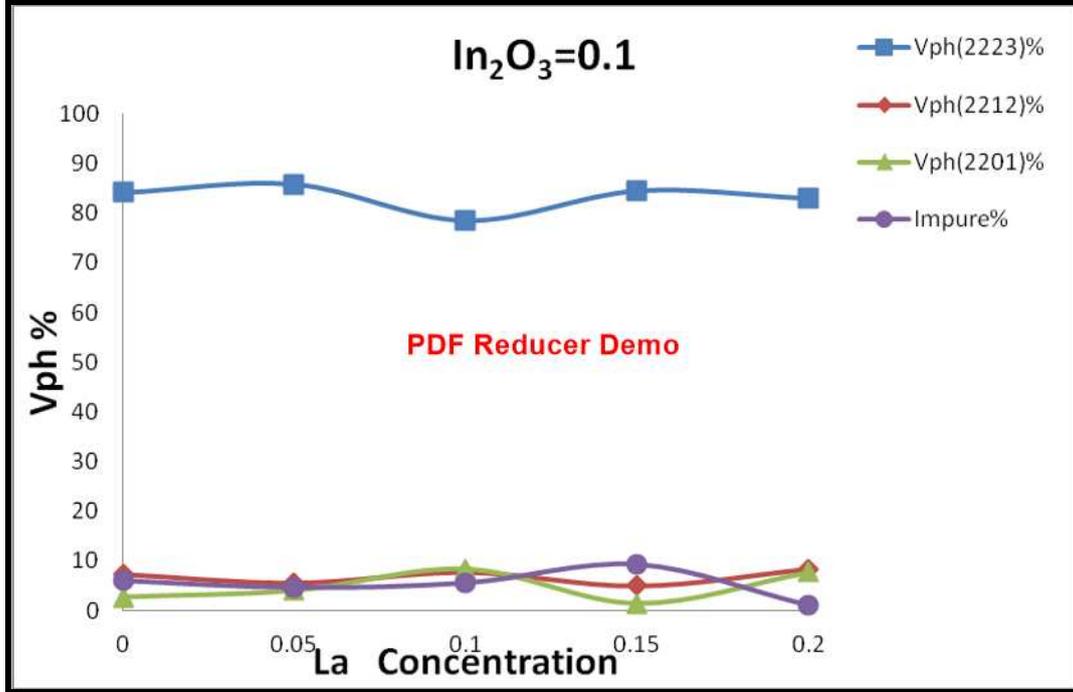
الشكل (4-9) مخطط حيود الأشعة السينية لعينات المجموعة (C).

الجدول (3-4) يبين نسب الاطوار ومعاملات الشبكة و(c/a) والكثافة للمجموعة (C).

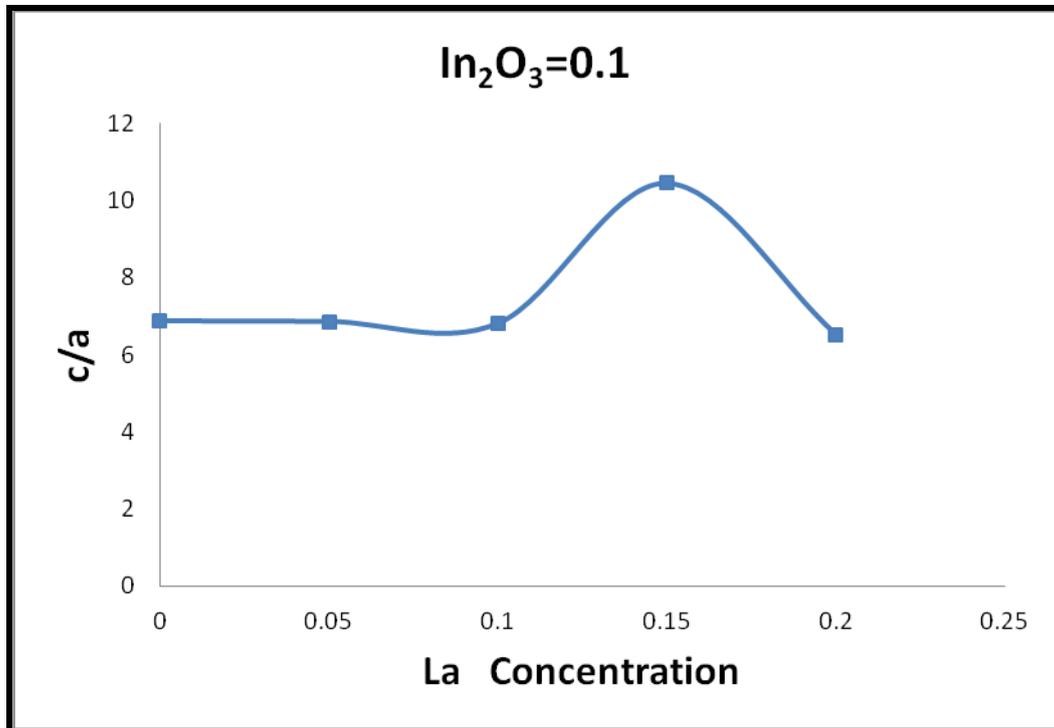
MIX	X	Y	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impur%	a(A°)	b(A°)	c(A°)	c/a	d _m (g/cm ³)
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	6.871	2.250
C1	0.1	0.05	85.816	5.565	4.021	4.596	5.4220	5.4632	37.1832	6.857	2.236
C2	0.1	0.1	78.421	7.631	8.421	5.526	5.4400	5.4377	37.0022	6.801	2.269
C3	0.1	0.15	84.480	4.966	1.354	9.198	3.6158	5.3867	37.8075	10.456	3.400
C4	0.1	0.2	82.959	8.247	7.701	1.091	5.4214	5.4464	35.3864	6.527	2.418

الشكل (9-4) والذي يمثل مخطط حيود الاشعة السينية لعينات المجموعة (C) التي يكون فيها (x=0.1) و (y=0.05,0.1,0.15,0.2)، حيث نلاحظ فيه ايضا اختلافا في شدة القمم حيث ارتفاع بعضها ونقصان البعض الاخر وكذلك اختلافا في نسب الاطوار حيث نلاحظ عدم استقرار وتقلبات عشوائية في نسب الاطوار المتكونة والشوائب كما موضح بالشكل (10-4)، اذ نلاحظ ان اعلى نسبة للطور العالي كانت للعينة (C1) بعدها انخفضت عن نسبته في العينة النقية ثم عادت وارتفعت بعض الشيء عنها للعينة (C3) والتي امتازت بارتفاع قيمة المحور (c) ونقصان المحور (a) والذي انعكس على ارتفاع النسبة (c/a) وكذلك ارتفاع الكثافة كما موضح في الشكلين (11-4) و (12-4) ويمكن ان يعزى هذا الى ان المركب أخذ التركيب الامثل والانتظام الافضل بسبب حصول حالة الاستقرار في الطور العالي عند نسب الاستبدال المحددة لكل من الانديوم واللانثانيوم وكذلك ممكن ان نفسره على اساس الزيادة في حجم الحبيبات وكذلك بسبب طول مدة التلييد والذي يكون مطلوبا لاستقرار والحصول على اطوار متزنة ثرموداينميكيا. اما العينة (C2, C4) فنلاحظ فيها نقصانا ملحوظا في نسبة تكون الطور العالي وفي طول المحور (c) مع زيادة في طول المحور (a)، ان السبب في هذا النقصان ممكن ان يعود الى تاثير مواقع بعض العيوب والشوائب والاطوار الواطئة في داخل التركيب البلوري التي تأخر وتعيق عملية التبلور وبناء الشبكة البلورية لتكوين الطور العالي، وكذلك ممكن ان يكون السبب في تغيير وتقلب نسب الاطوار في العينة وبالتالي تغيير الخواص التركيبية عند عملية الاستبدال هو التغيير في طول اواصر (CuO) وكذلك طول المحور (c) والذي يعزى الى التغيير في توزيع ذرات الاوكسجين داخل الشبكة البلورية والذي يؤثر بالنتيجة

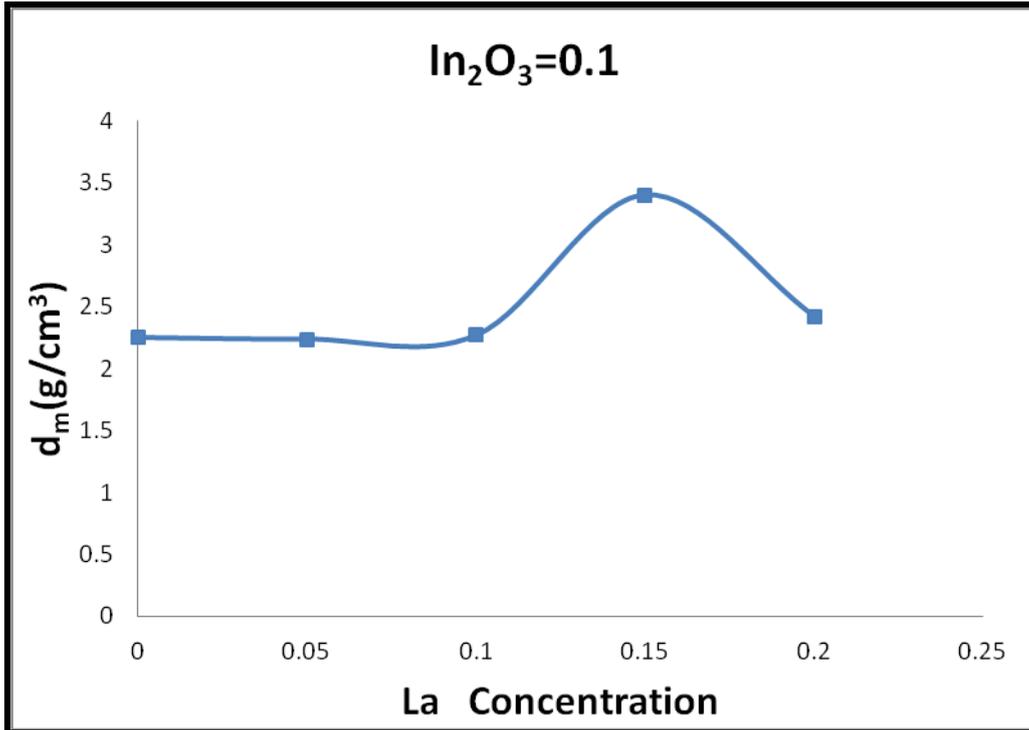
في سمك طبقة (CuO) وهذا يتضح من خلال التقلبات في نسبة الطور العالي لكل مديات التطعيم في المجموعة (C).



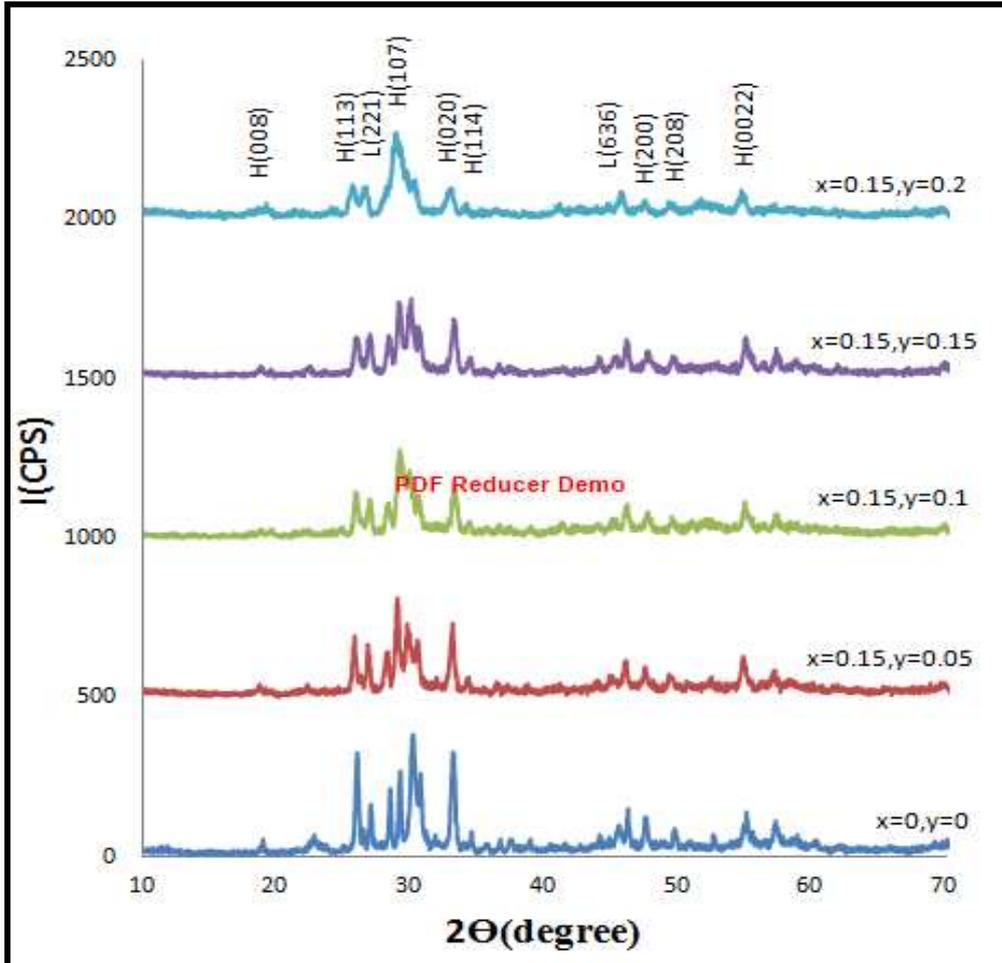
الشكل (4-10) تغير نسب الاطوار والشوائب كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (C).



الشكل (4-11) تغير النسبة (c/a) كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (C).



الشكل (4-12) تغير كثافة وحدة الخلية كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (C).



الشكل (4-13) مخطط حيود الأشعة السينية لعينات المجموعة (D).

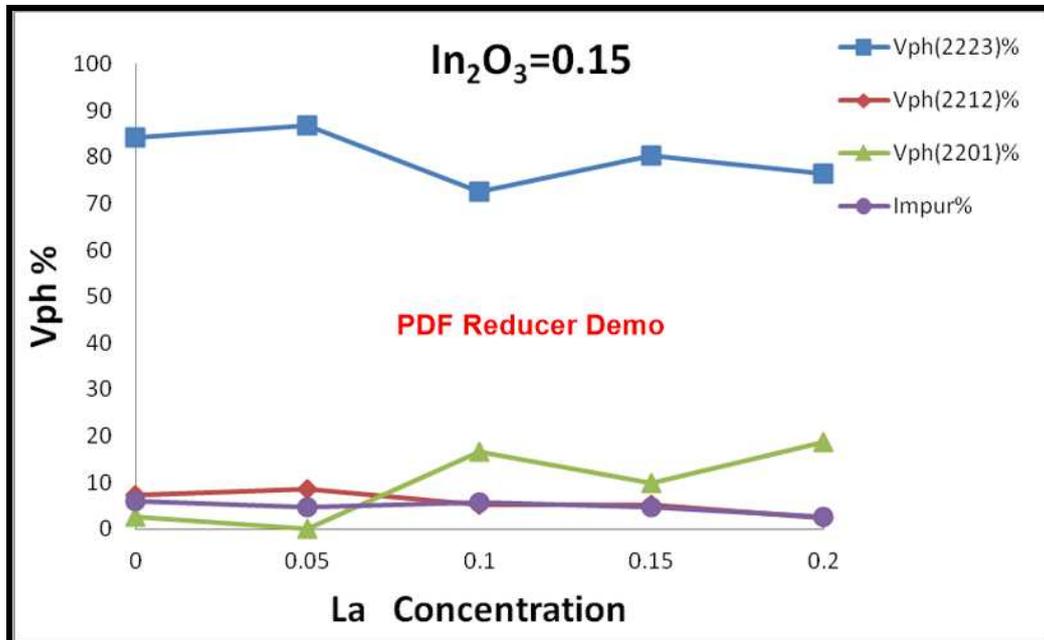
الجدول (4-4) يبين نسب الاطوار ومعاملات الشبيكة و(c/a) والكثافة للمجموعة (D).

MIX	X	Y	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impur%	a(A°)	b(A°)	c(A°)	c/a	d _m (g/cm ³)
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	6.871	2.250
D1	0.15	0.05	86.711	8.677	0	4.610	5.4317	5.4506	37.0662	6.824	2.230
D2	0.15	0.1	72.619	5.114	16.522	5.743	5.4116	5.4866	37.2174	6.877	2.233
D3	0.15	0.15	80.368	5.128	9.775	4.727	3.8422	3.7922	37.1959	9.680	4.591
D4	0.15	0.2	76.288	2.405	18.671	2.634	5.5365	5.4390	37.1626	6.712	2.242

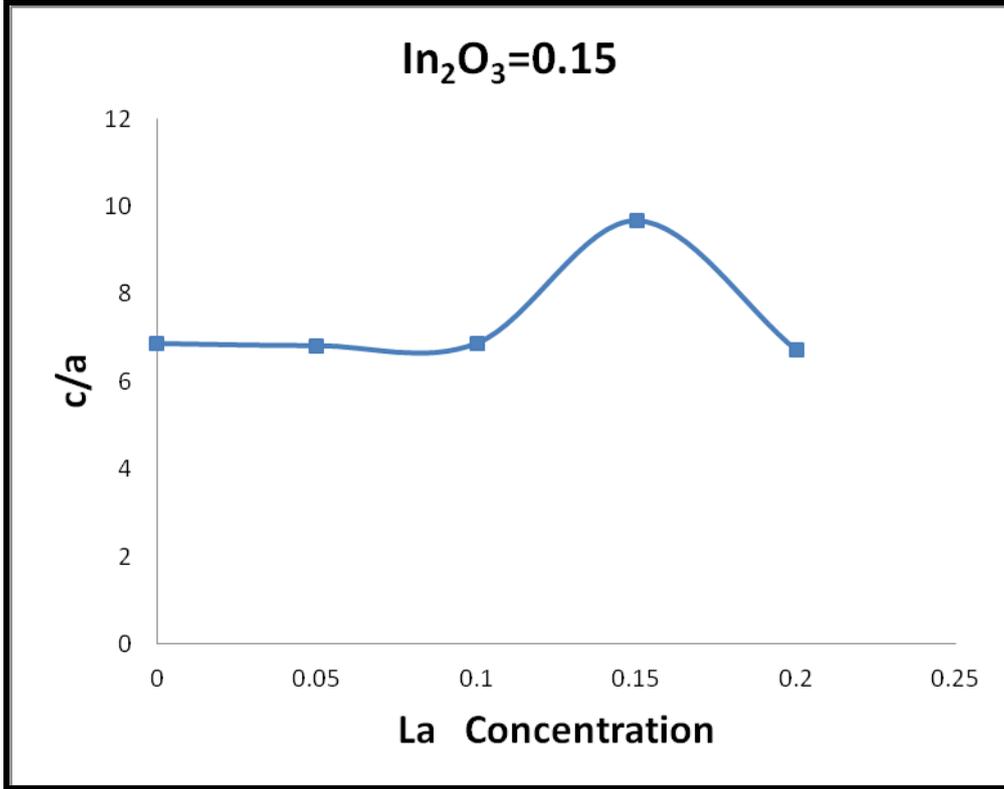
ومن خلال الشكل (4-13) والذي يوضح مخطط حيود الاشعة السينية للمجموعة (D) التي يكون فيها ($x=0.15$) و($y=0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) والذي نلاحظ فيه انخفاضاً ملحوظاً في شدات القمم لكل العينات مقارنة بقمم العينة النقية اذ نلاحظ ان العينة (D1) تمتلك الخواص التركيبية المثلى في هذه العينة والتي تظهر بصورة جلية من خلال ارتفاع الطور العالي وانعدام الطور الواطئ (Bi-2201) والتي ممكن اعتبارها نسبة الاستبدال المثلى من حيث استبدال الانديوم بدلا من البزموت، في حين ان باقي العينات اظهرت نقصانا ملحوظا في نسبة الطور العالي وزيادة في نسبة الاطوار الواطئة كما موضح في الجدول (4-4) وخصوصا للعينة (D2, D4) حيث نلاحظ انخفاضاً حاداً في الطور (Bi-2223) مع زيادة كبيرة في الطور الواطئ (Bi-2201) وكما موضح في الشكل (4-14). اما العينة (D3) فقد امتازت بنقصان حاد في معاملات الشبيكة (a, b) ونقصان بسيط في طول المحور (c) والذي انعكس على الزيادة في النسبة (c/a) وزيادة الكثافة التي ممكن ان يفسر على اساس النقصان في حجم وحدة الخلية وكما موضح في الشكلين (4-15) و(4-16). ان السلوك السابق لعينات المجموعة (D) يظهر ان زيادة نسبة استبدال الانديوم كانت ذات اثر ايجابي في رفع نسبة تكون الطور العالي وهذا يتضح من خواص العينة (D1) ولكن الزيادة في نسبة استبدال اللانثانيوم بدلا من النحاس عند هذه النسبة من الانديوم كانت ذات اثر سلبي في الخواص التركيبية وهذا واضح في تغير ثوابت الشبيكة والنسبة (c/a) وكذلك الكثافة.

ان النقصان في ثوابت الشبيكة للعينات المطعمة مقارنة بالعينة النقية ممكن ان يعزى الى ان ثابت الشبيكة (a) مسيطر عليه بوساطة طول الاصرة في المستوي (Cu-O) [180]، والتي تعرضت الى تشوهات كبيرة بسبب استبدال اللانثانيوم بدلا

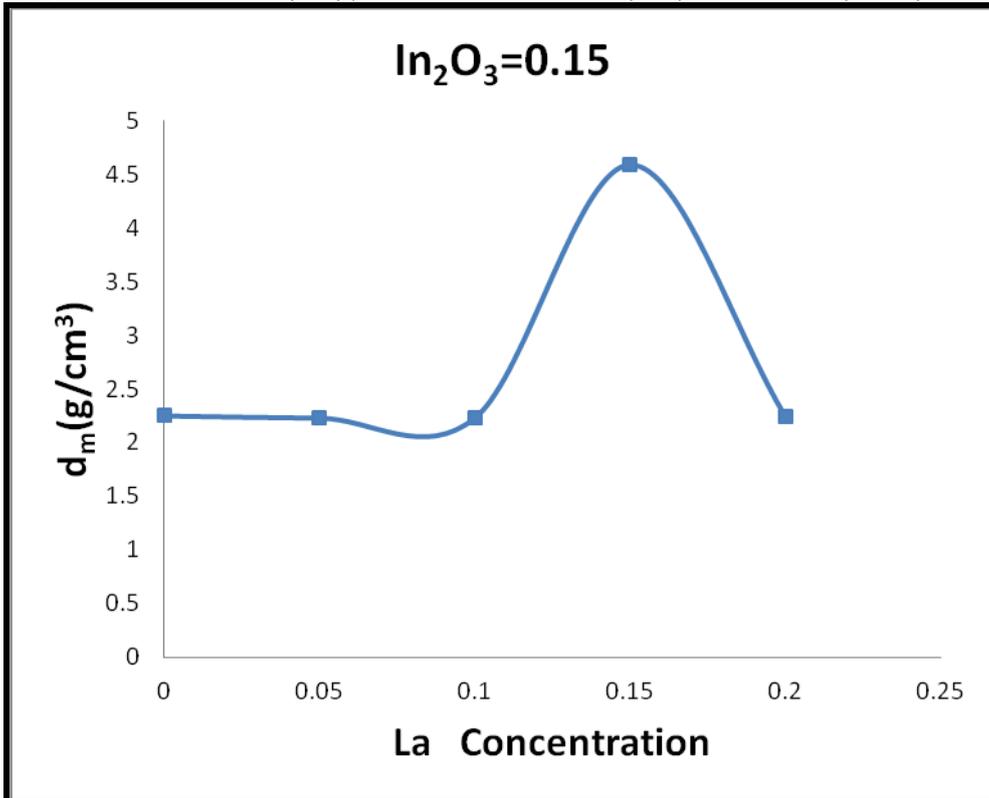
من النحاس، حيث ان اطوال ثوابت الشبكة ممكن ان يتمدد او يتقلص مع تغير الالكترونات في المدارات وكذلك ممكن ان يكون بسبب اختلاف انصاف الاقطار الايونية والتي تسبب تشوها في معاملات الشبكة [181]، وهذا يتضح من استبدال اللانثانيوم (La^{+3}) ذي نصف القطر الايوني (117.2pm) بدلا من النحاس (Cu^{+2}) ذي نصف القطر الايوني (87pm) [37]، ومن الجدير بالذكر ان سلوك ثابت الشبكة ممكن ان يكون بسبب ازاحة الايونات (In, La) بدلا من (Bi, Cu) وان التغير الحاصل في ثوابت الشبكة يشير الى اقحام انواع من الاوكسجين، وهذا ممكن ان يكون بسبب تاثير البيئة المحيطة بظروف التحضير والتي يكون لها اثر كبير في تركيز الاوكسجين والذي يؤدي الى تغير في الاطوار ومعاملات الشبكة في المركبات فائقة التوصيل [182]، وان الزيادة في تركيز الاوكسجين الذي سببه استبدال كل من البزموت والنحاس يتم اخذها من قبل طبقات البزموت والتي تؤدي الى زيادة قوى التآصر الايونية المتشكلة في طبقات البزموت والتي تسبب تغيرا في معاملات الشبكة والتركييب البلوري. بسبب الاختلاف الملحوظ في نصف القطر الأيوني والذي يمكن أن يسبب تشوهات عنيفة في معاملات الشبكة.



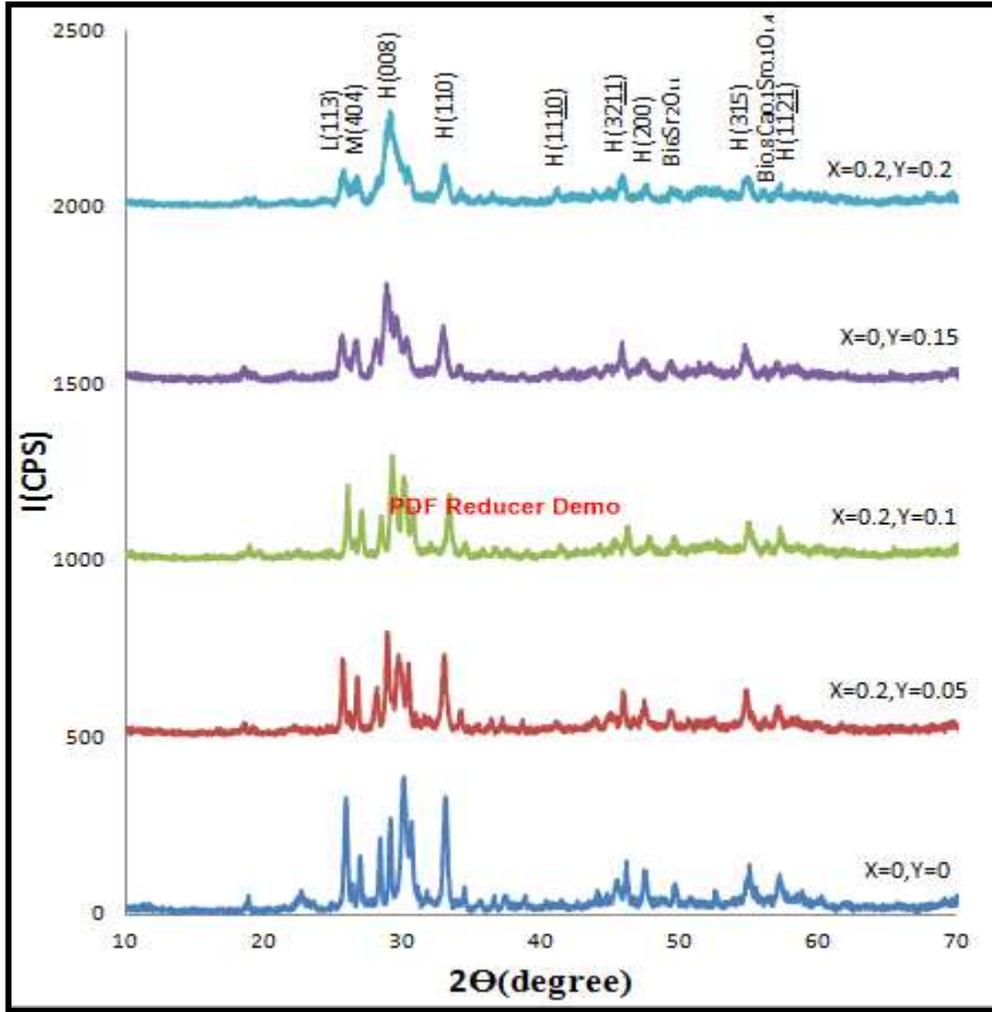
الشكل (4-14) تغير نسب الاطوار والشوائب كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (D).



الشكل (4-15) تغير النسبة (c/a) كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (D).



الشكل (4-16) تغير كثافة وحدة الخلية كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (D).



الشكل (4-17) مخطط حيود الأشعة السينية لعينات المجموعة (E).

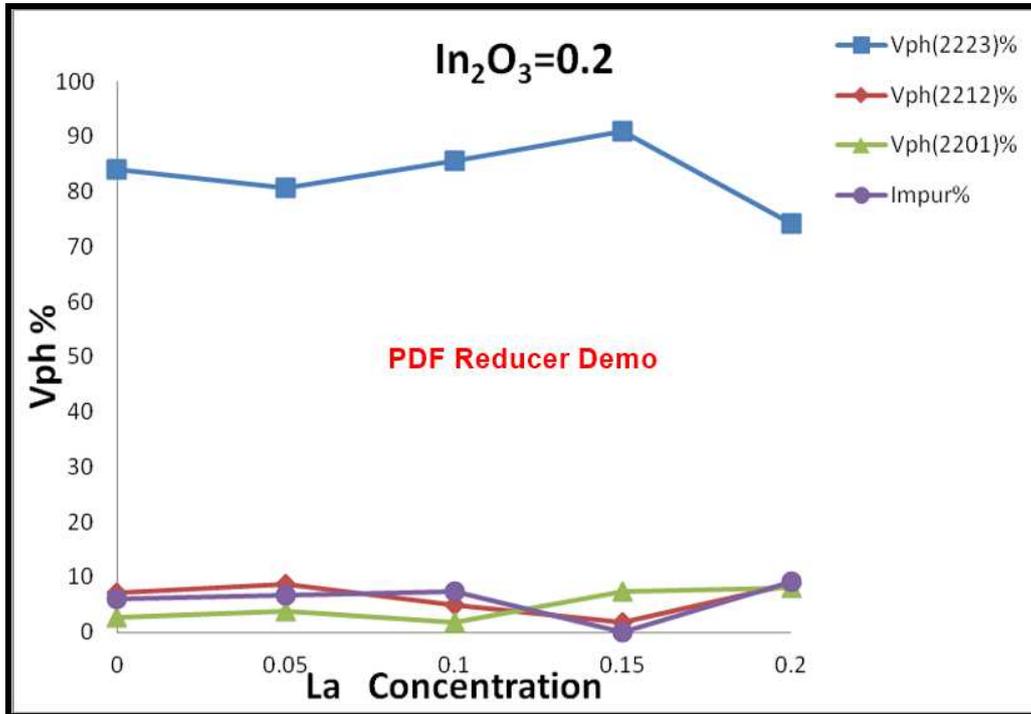
الجدول (4-5) يبين نسب الاطوار ومعاملات الشبكة و(c/a) والكثافة للمجموعة (E).

MIX	X	Y	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impur%	a(A°)	b(A°)	c(A°)	c/a	d _m (g/cm ³)
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	6.871	2.250
E1	0.2	0.05	80.573	8.735	3.911	6.779	5.6496	5.4441	37.0982	6.566	2.130
E2	0.2	0.1	85.616	5.022	1.902	7.458	5.4040	5.4728	37.1944	6.882	2.229
E3	0.2	0.15	90.933	1.705	7.360	0	5.2026	5.4571	37.0822	7.127	2.348
E4	0.2	0.2	74.102	8.826	7.953	9.117	5.5252	5.2922	37.1949	6.731	2.292

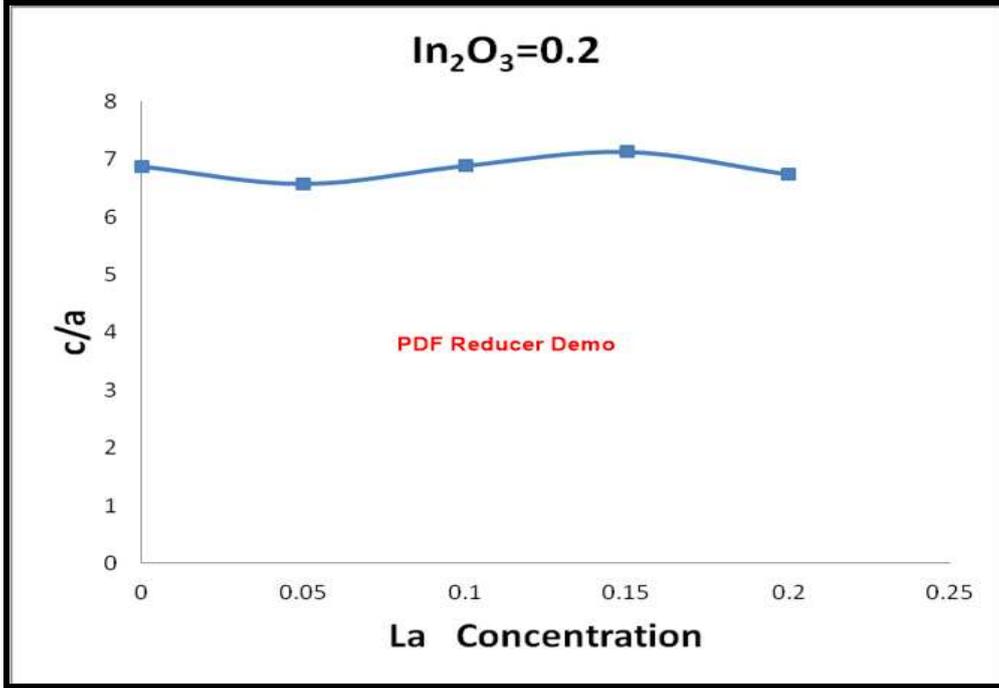
الشكل (4-17) يوضح مخطط حيود الأشعة السينية لعينات المجموعة (E) التي فيها (x=0.2) و (y=0.05, 0.1, 0.15, 0.2) حيث نلاحظ من خلال هذا المخطط اختلاف في شدة القمم و نلاحظ ايضا زيادة في شدة بعض القمم ونقصان في البعض الاخر بزيادة نسبة الاستبدال (La)، وكذلك نلاحظ ازاحة في مواقع القمم وتغير في قيم (2θ)، ومن خلال تحليل (XRD) لاحظنا ان كل العينات كانت ذات تركيب بلوري

معيني قائم وتحتوي على الاطوار (Bi-2201, Bi-2212, Bi-2223) مع وجود بعض الشوائب والموضحة قيمها في الجدول (4-5)، حيث نلاحظ نقصان في الطور العالي لكل من العينات (E1, E4) وزيادة في الطور العالي لكل من العينات (E2, E3) وان اعلى نسبة للطور العالي (Bi-2223) كانت للعيينة (E3) التي امتازت بخلوها من الشوائب كما موضح في الشكل (4-18) والتي امتازت بامتلاكها قيمة عالية للنسبة (c/a) وكذلك الكثافة كما هو موضح في الشكلين (4-19) و (4-20) لذا ممكن اعتبار العينة (E3) هي العينة الامثل من حيث الخواص التركيبية لهذه المجموعة، وممكن ان يعزى السبب في هذه السلوكية لهذه المجموعة هو التوافق بين نسبة الانديوم واللانثانيوم حيث ان تاثير الانديوم هنا كان ذو اثر سلبي على الخواص التركيبية للعيينة مقارنة بالعيينة النقية حيث عمل على تثبيط وعرقلة نمو الطور العالي والذي سبب انخفاضاً في نسبته، في حين ان الاطوار الواطئة والشوائب ازدادت على حساب الطور العالي وكذلك ادى الى زيادة الروابط الضعيفة بين الحبيبات والسبب في هذا السلوك يعزى الى نسبة الاستبدال الغير مجدبة ونسبة الاستبدال المفرطة في كل من العينات (E1, E4) [4]، ويمكن ان نقسم عملية الاستبدال الى ثلاثة انواع هي (عملية الاستبدال دون حالة التطعيم المؤثرة وتكون هذه غير مجدبة وذات اثر سلبي، وعملية الاستبدال المثلى، وعملية الاستبدال المفرطة وتكون ايضا ذات اثر سلبي) وفي هذه المجموعة نلاحظ عملية الاستبدال الانديوم بدلا من البزموت كانت مفرطة يرافقتها في ذلك نسب اللانثانيوم الغير مجدبة والتي تؤدي الى تاثيرات سلبية على الخواص التركيبية من حيث زيادة في نسبة نمو ونشوء الاطوار الواطئة والشوائب على حساب الطور العالي وان وجود الشوائب في العينة يكون ذو تاثير رئيس وكبير في تقليل النمو البلوري وبناء الشبيكة البلورية للطور العالي وهذا واضح من خلال خواص العينة (E1)، ولكن عند زيادة تركيز اللانثانيوم بثبوت نسبة الانديوم نلاحظ انها عملت كعامل مساعد على نمو الطور العالي والموضحة في كل من العينتين (E2, E3) وخصوصا العينة (E3) والتي امتازت باحتوائها على الاطوار (Bi-2201, Bi-2212, Bi-2223) مع انعدام وجود الشوائب والذي وفر لنا عملية نمو ونسبة تكون عالية بالنسبة للطور العالي والذي انعكس في الحصول على افضل

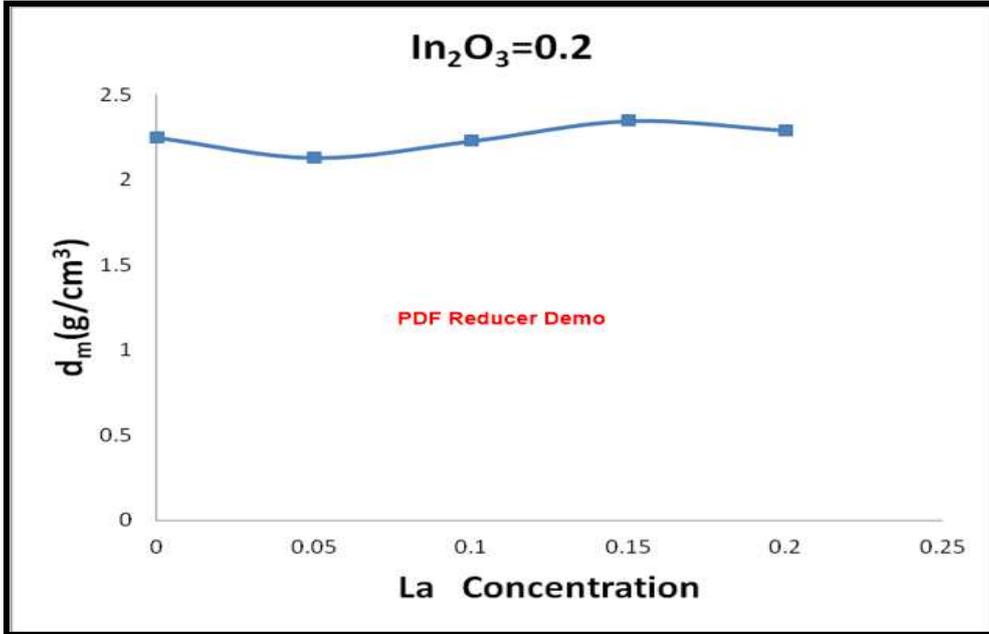
الخواص التركيبية للعينة فائقة التوصيل (E3)، أما العينة (E4) فكانت فيها زيادة تركيز اللانثانيوم مفرطة مما أدى إلى حصول تدهور في خواص العينة من حيث نقصان في نسبة تكون الطور العالي وزيادة في نسبة الأطوار الواطئة والشوائب، كذلك ممكن أن يعزى السبب في هذا السلوك إلى تأثير البيئة المحيطة على ظروف التحضير التي لها تأثير كبير يؤدي إلى تغير في الأطوار ومعاملات الشبكة من الموصلات الفائقة وكذلك فإن التطعيم المفرط ممكن أن يسبب تشوها موقعا أكثر في التركيب البلوري وخصوصا في طبقات (Cu-O).



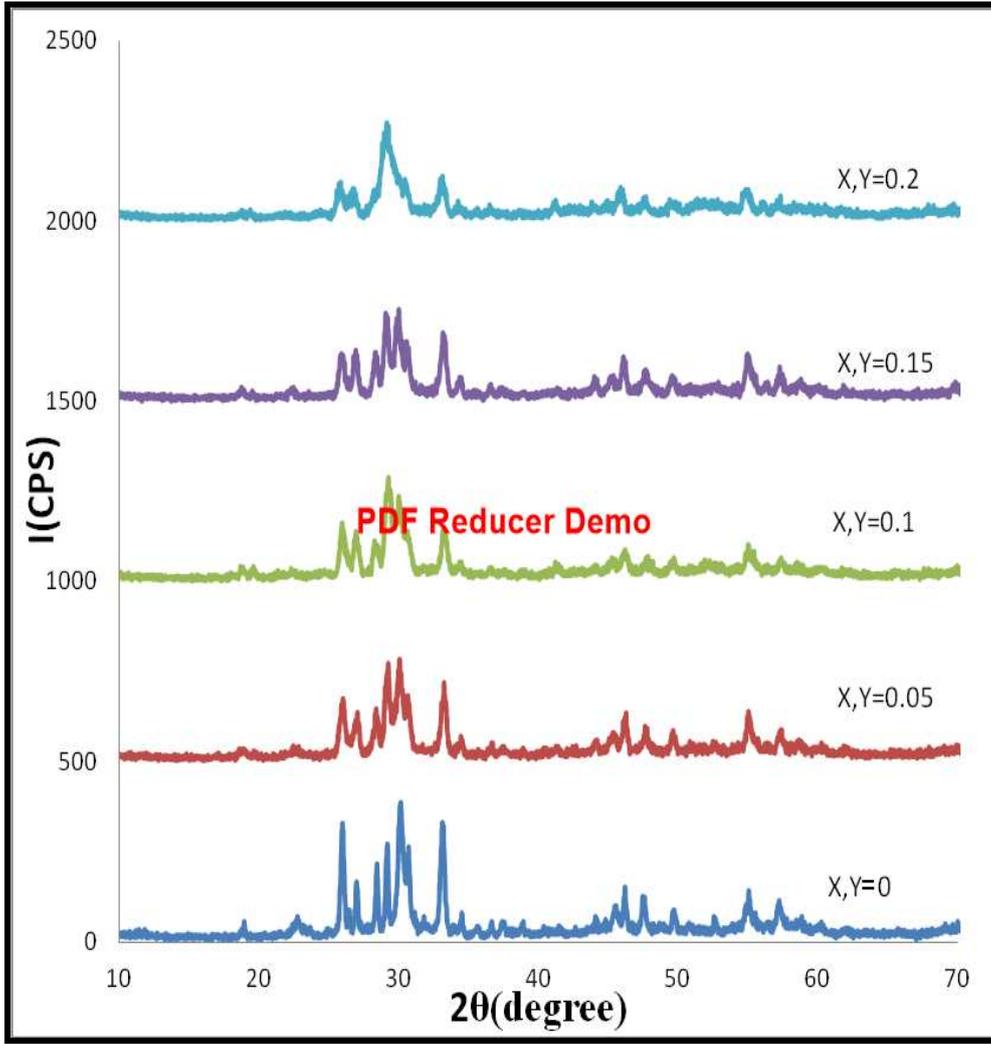
الشكل (4-18) تغير نسب الأطوار والشوائب كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات مجموعة (E).



الشكل (4-19) تغير النسبة (c/a) كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (E).



الشكل (4-20) تغير كثافة وحدة الخلية كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (E).



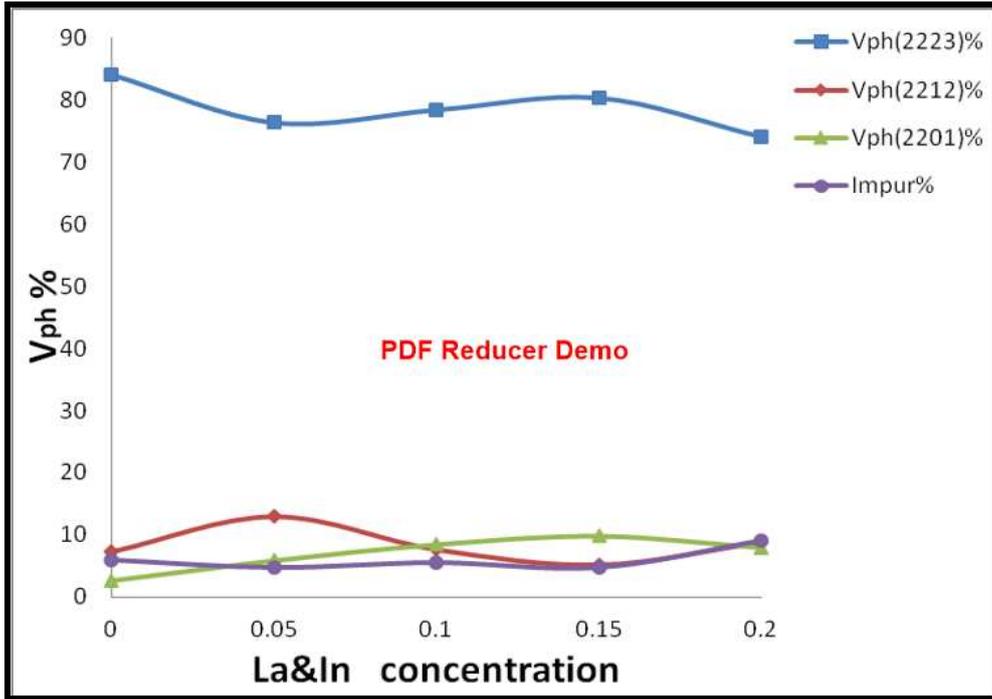
الشكل (4-21) مخطط حيود الأشعة السينية لعينات المجموعة التوازن.

الجدول (4-6) يبين نسب الأطوار ومعاملات الشبكة و (c/a) والكثافة للمجموعة التوازن.

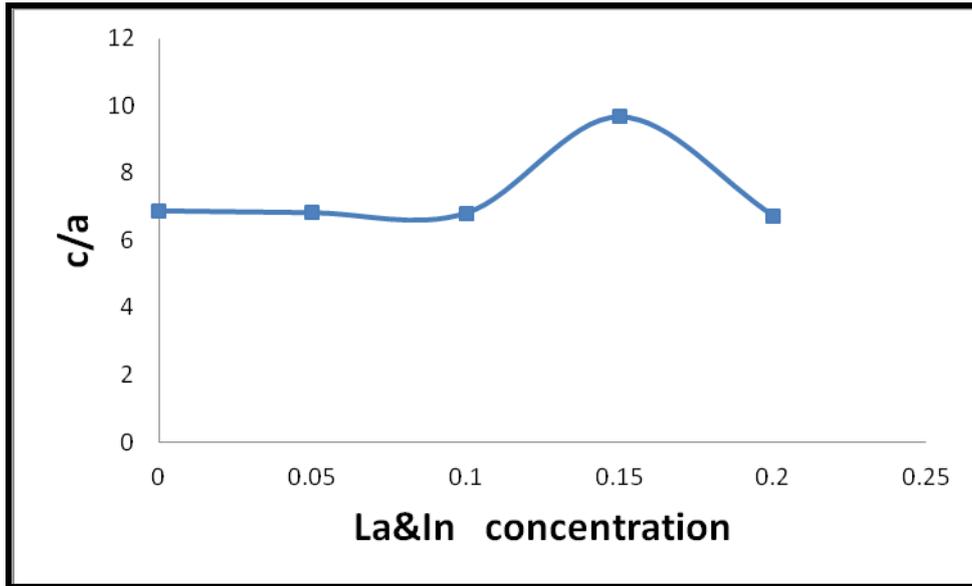
MIX	X	Y	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impur%	a(A°)	b(A°)	C(A°)	c/a	d _m (g/cm ³)
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	6.871	2.250
B1	0.05	0.05	76.395	13.003	5.865	4.734	5.4132	5.4510	36.8668	6.814	2.277
C2	0.1	0.1	78.421	7.631	8.421	5.526	5.4400	5.4377	37.0022	6.801	2.269
D3	0.15	0.15	80.368	5.128	9.775	4.727	3.8422	3.7922	37.1959	9.680	4.591
E4	0.2	0.2	74.102	8.826	7.953	9.117	5.5252	5.2922	37.1949	6.731	2.292

في الشكل (4-21) الذي يوضح مخطط حيود الأشعة السينية لعينات مجموعة التوازن التي يكون فيها (x,y=0.05,0.1,0.15,0.2) والتي تمتاز بنسب استبدال متساوية لكل من الانديوم واللانثانيوم، وقد لاحظنا من خلال تحليل (XRD) انخفاضا في الشدة لجميع العينات مقارنة بالعينة النقية وكذلك انخفاضا في نسبة الطور العالي يقابله زيادة في كل من الأطوار الواطئة والشوائب وكما موضح في الجدول

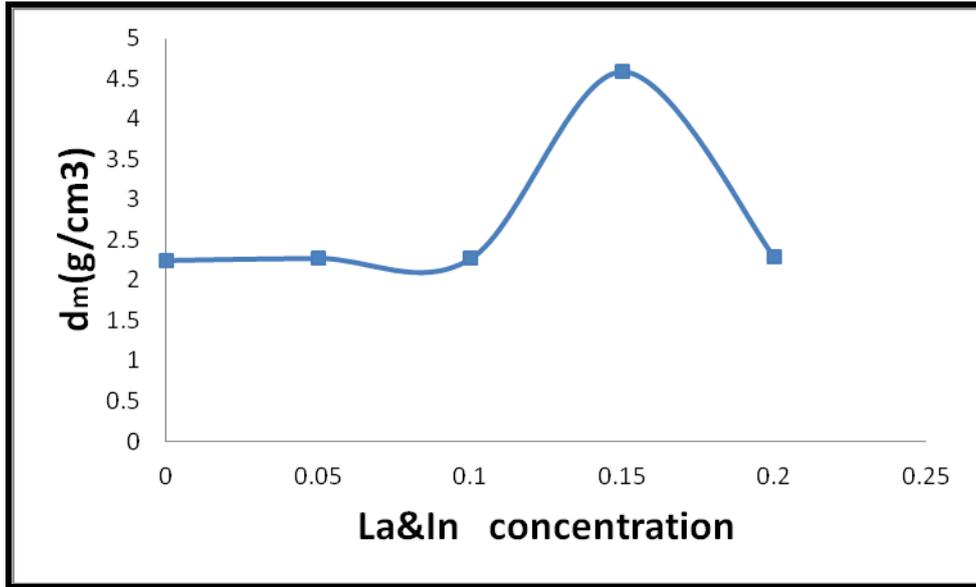
(4-6)، حيث نلاحظ ان اعلى نسبة للطور (Bi-2223) كانت للعينة (D3) كما هو واضح في الشكل (4-22)، في حين اننا نلاحظ وللعينة نفسها تناقصا حادا في معاملات الشبكة والذي ينعكس على انخفاض الحجم لوحدة الخلية وزيادة النسبة (c/a) وبالتالي الكثافة كما هو موضح في الشكلين (4-23) و(4-24). ويمكن ان تعزى هذه السلوكية الى ان ذرات الانديوم واللانثانيوم قد استبدلت بدل مواقع كل من ذرات البزموت والنحاس واللذان يسببان تغيرا في معاملات الشبكة التي تؤدي الى زيادة تكون الاطوار الواطئة والشوائب على حساب تكون الطور العالي والتي نعتقد ان سببها هو اختلال في مواقع الايونات لكل من الانديوم (In^{+3}) واللانثانيوم (La^{+3}) والتي ممكن ان تحتل مواقع في المستويات المتوازية وفي طبقات (Bi-O) و (Cu-O) وكذلك امكانية احتلال بعضها مراكز (Ca) وكذلك ممكن ان تقع هذه الذرات بين مواقع الحبيبات فائقة التوصيل وان مثل هذه التوزيعات تسبب امكانية تولد مراكز وهن في البنية التركيبية. ومن الممكن ان يكون لظروف التحضير الاثر الكبير في خواص العينات الناتجة من حيث (الحجم الحبيبي للمسحوق، اسلوب الخلط والطحن، قوة الكبس، درجة حرارة التلييد، طول مدة التلييد) على اعتبار ان نسب الاستبدال بكل من الانديوم واللانثانيوم متساوية، حيث ان تاثير درجة حرارة التلييد وطول مدته لا يقتصر فقط على امكانية توليد شقوق مجهرية في العينة ولكن ايضا ممكن ان يصل الى حالة اقرب الى الذوبانية والتي تعمل على دعم نمو الاطوار الواطئة والشوائب على حساب تكون الطور العالي وتشكيله ولذلك فان درجة حرارة التلييد ومدته تكون من العوامل الحرجة في انتاج عينات من النظام فائق التوصيل (BSCCO). وقد اثبت ان افضل درجة حرارة التلييد هي درجة الحرارة القريبة من نقطة الانصهار [85].



الشكل (4-22) تغيير نسب الاطوار والشوائب كدالة لتركيز (La&In) لعينات مجموعة التوازن.



الشكل (4-23) تغيير النسبة (c/a) كدالة لتركيز (La&In) لعينات مجموعة التوازن.



الشكل (4-24) تغير كثافة وحدة الخلية كدالة لتركيز (La&In) لعينات مجموعة التوازن.

4-2-2 نتائج فحوصات المقاومة الكهربائية ودرجة الحرارة الحرجة

Results Of Electrical Resistivity & Critical Temperature

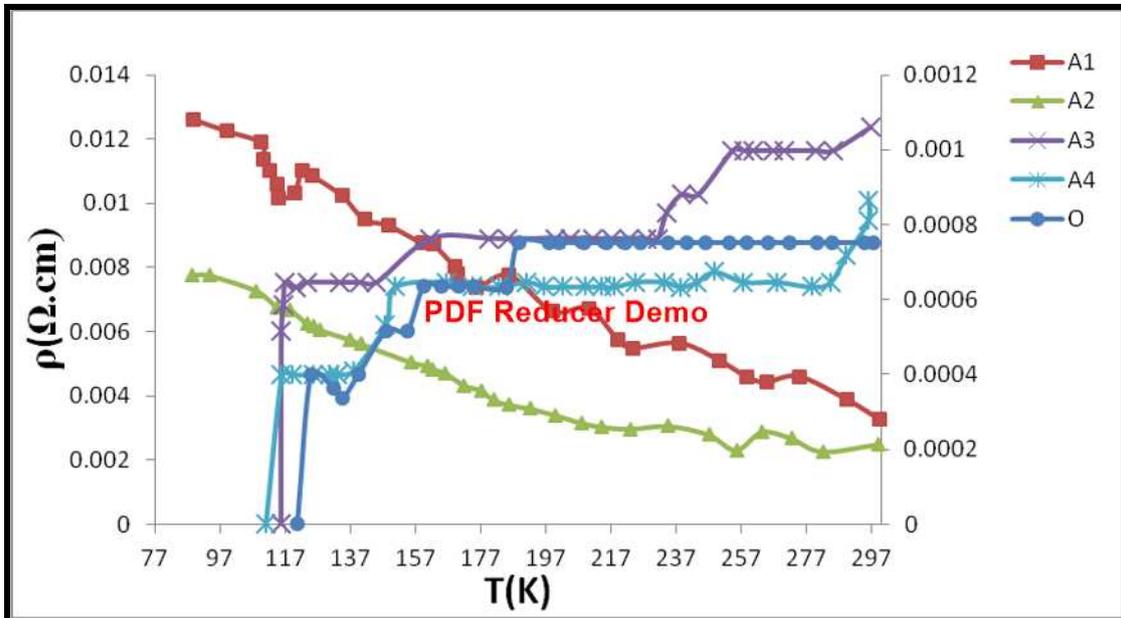
ان المقاومة الكهربائية بوصفها كدالة لدرجة الحرارة هي واحدة من أهم خصائص المادة والتي تعطينا مؤشرا جيدا في تحديد قيمة درجة حرارة الانتقال الحرجة (T_c)، وكذلك من الممكن ان تعطي دراستها مؤشرا جيدا لطبيعة العلاقة بين حبيبات المادة. ان من المبادئ والبديهيات المسلم بها في المواد فائقة التوصيل (Cuprats) هو ان عملية التفاعل لاقتزان وازدواج الالكترونات (أزواج كوبر) ضرورية لحدوث الانتقال فائق التوصيل اي الحصول على درجة الحرارة الحرجة (T_c)، وفي حالة التدهور من الممكن ان يصبح هذا التفاعل اضعف ورنين التنفق خلال مراكز التموضع على طول المحور (c) بين طبقات (CuO) وعبر طبقات (BiO) او الشركاء في المركب بسبب عملية التطعيم او الاستبدال الجزئي او الكلي اقل، وهذا السبب يعود الى ان عملية التنفق لكي تحدث يجب ان تتوافر بعض الشروط: أولا: ان النقل عبر طبقات (CuO) ثنائية الابعاد (2D) يجب ان تكون كافية لانتاج كثافة الكترونية كافية عند مستوى فيرمي، ثانيا: ان فجوة الطاقة الصغيرة يجب ان تكون قد تشكلت، ثالثا: الامتداد والمط في اواصر (Cu-O) والتقلبات في ازدواج الفونون يجب ان تكون واطئة والانتقال في البعد الثنائي (2D) يجب ان لا يكبح، رابعا: ان اواصر (Cu-O) يجب ان تكون مرتبة

ومنتظمة. ومن الجدير بالذكر ان اعلى آلية انتقال تحدث عندما يكون رنين التنفق بين طبقات (CuO) خلال مراكز التموضع عبر المحور (c) في اعلى حالاته.

ولكي نوضح سلوكيات درجة حرارة الانتقال الحرجة العالية (High-T_c) في المواد فائقة التوصيل (Cuprates) فان هناك توضيحات عديدة منها: اولاً: ان عملية الاستبدال تؤدي الى تغير في كثافة الحالات لحاملات الشحنة والتي تشير الى التغير في العزم المغناطيسية، ثانياً: استطالة المحور (c) بعض الشيء وبقاء الطبقات المستوية من (CuO) دون انحناء او التواء، ولهذا فان انتظام ازدواج الالكترونات الفائقة سوف يتحسن في المواد وهذا يعزى الى عدم التجانس الصغير وان من المثير للاهتمام ان انتظام الالكترونات الفائقة لايعني الانتظام التام في الشبكة بل بالعكس فهي تحتاج الى تشوه صغير وان التركيب البيروفسكايت التام للانظمة (Cuprats) يأتي من التشوه الناتج من: اولاً: الاختلاف في حجم الذرات في الجزء المتمركز من الجسم في تركيب الشبكة البيروفسكايت، ثانياً: من المواقع الشاغرة لذرات الاوكسجين [183,184]، في حين ان هناك رأياً آخر من حيث تأثير تغير تركيز وتدفق الاوكسجين على درجة الحرارة الحرجة العالية والذي ينص على انه: على الرغم من ان الاوكسجين يغير من قيمة المقاومة الكهربائية في الحالة الطبيعية الا انه لا يغير من درجة الحرارة الانتقال الحرجة فائقة التوصيل [185]، وفي الحقيقة ان التشوه في المحور (c) نتيجة لعملية الاستبدال او النقص في بعض الذرات يضبط ويعدل من كمية حاملات الشحنة المنقولة من المستوي (BiO) الى المستوي (CuO)، وهذا سوف يؤدي الى قوة دافعة لتوليد الاقتران وازدواج الفجوات فائقة التوصيل مشكلة البوزونات والتي هي تمثل تيار الحاملات في المواد فائقة التوصيل [186].

ان نمط انتقال الشحنة وحصول التوصيلية الفائقة في طبقات (CuO) يحصل عندما تعمل طبقات الاوكسيد المعدني كخزانات للفجوات وان التغير في اتزان الشحنة في طبقات الاوكسيد المعدني تتوازن خلال عملية خلق او فناء الفجوات في طبقات (CuO) خلال التفاعل ($Cu^{+2} \rightarrow Cu^{+3} + hole$)، لهذا فان توازن الشحنة في طبقات الاوكسيد المعدني اذا كان مضطرباً باي طريقة مثل ادخال ذرات اضافية من الاوكسجين او الاستبدال بوساطة معدن اخر ذي تكافؤ مختلف فان هذا يؤدي الى

تغير محتوى الفجوات في طبقات (CuO) ولذلك يؤثر على قيمة (T_c) على الخواص فائقة التوصيل [187]، بالإضافة الى ان العمليات الكيميائية لطبقات خزن الشحنات عادة ممكن ان تحور او تعدل بوساطة بعض العيوب البلورية مثل ذرات الاوكسجن البينية او فراغات الاوكسجين، والتي سوف تغير من حالات الاشغال الالكترونية في حزمة التوصيل وبالنتيجة في عدد الالكترونات في الطبقات الموصلة لاوكسيد النحاس (CuO) لهذا فان الاشغال الالكتروني في حزمة طاقة التوصيل للبلورة مهم جدا في الحالات فائقة التوصيل [188]. ومن الممكن اضافة واحد من الامور التي يجب ان تدرك ان التغير في الطبقات الموصلة (CuO) او الطبقات المجاورة لها (CaO) عادة ما يكون لها ايضا تاثير ليس فقط على الخواص التركيبية وانما ايضا على درجة حرارة الانتقال فائقة التوصيل الحرجة [189]. والنتيجة المستخلصة هي انه ليس هناك توضيح شامل او متفق عليه لسلوكيات المواد فائقة التوصيل (HTSC). ولكن ممكن ان نضيف ان السبب في تغير درجة حرارة الانتقال الحرجة هو التغير في توزيع كثافة الفجوات (او كثافة الالكترونات الفائقة التوصيل المكافئة) التي تعد هي المفتاح الالهام لفهم خواص (HTSC) [190].



الشكل (4-25) تغير المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لعينات المجموعة (A). المحور الايمن خاص بالعينات (O, A_3, A_4).

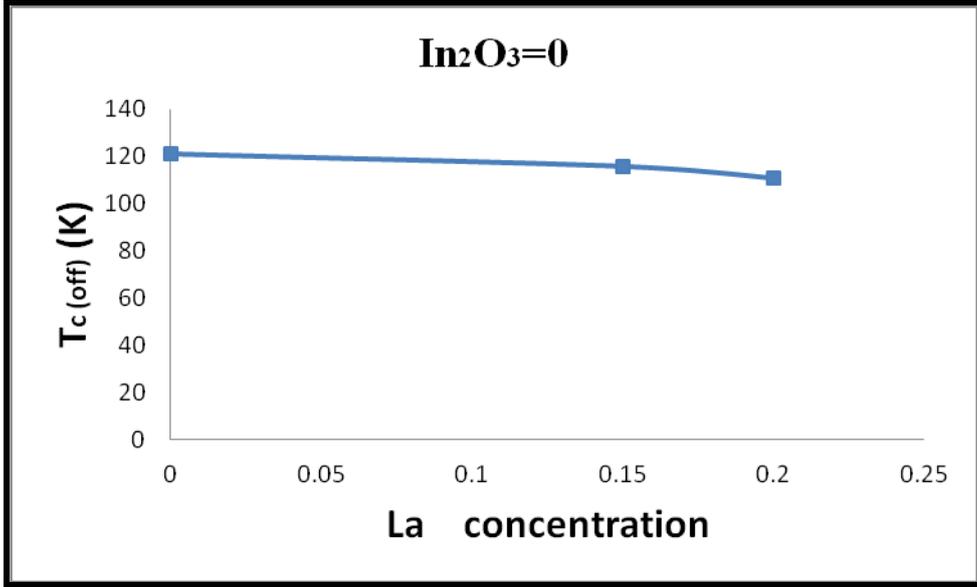
الجدول (4-7) يبين نسب الاطوار ودرجة الحرارة الحرجة وفجوة الطاقة وتركيز الفجوات للمجموعة (A).

MIX	X	Y	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impur%	T _{C(OFF)} (K)	T _{C(ON)} (K)	ΔT _C (K)	T _{C(mid)} (K)	E _g (eV)	P(Hole) concentration
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	120.9	125.1	4.2	123	0.036809516	0.16
A1	0	0.05	75.737	4.557	13.941	5.764	-----	-----	-----	-----	0.0138	-----
A2	0	0.1	74.727	16.100	1.218	7.954	-----	-----	-----	-----	0.0149	-----
A3	0	0.15	83.796	4.542	2.372	9.288	115.8	117.1	1.3	116.45	0.035256758	0.137
A4	0	0.2	80.463	4.708	8.924	5.903	111	115.9	4.9	113.45	0.033795338	0.128

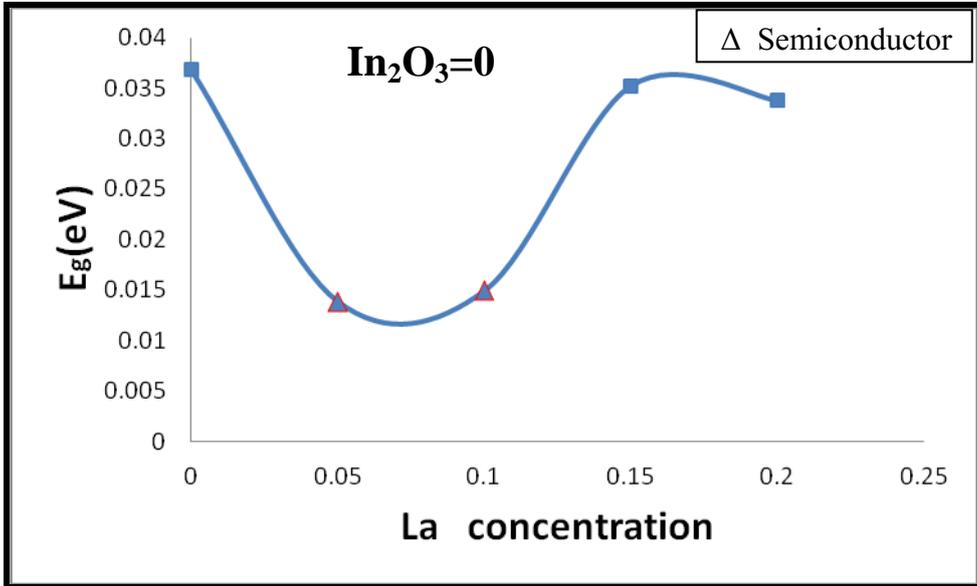
في الشكل (25-4) الذي يوضح سلوك المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لكل من العينة النقية وعينات المجموعة (A) التي فيها ($x=0$) و ($y=0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) حيث نلاحظ ان العينات (A1, A2) تكون ذات سلوك شبه موصل والذي يمكن ان يعزى الى عدم اكتمال نمو التركيب البلوري للعينات بسبب زيادة نسبة الشوائب والاطوار الاخرى. اما العينات (A3, A4) فكانت ذات سلوك معدني في المنطقة التي تسبق ($T_{c(onset)}$) التي عندها ظهر سلوك فائقة التوصيل لهذه العينات والتي امتازت بدرجات حرجة اقل من الدرجة الحرارة الحرجة للعينة النقية كما موضح في الجدول (7-4)، والذي نلاحظ منه ان انخفاض المقاومة الكهربائية في العينات فائقة التوصيل كان بصورة تدريجية اما بالنسبة الى عرض الانتقال (ΔT_c) فاننا نلاحظ انها كانت ذات قيم صغيرة والذي يدل على تجانس العينة، ويرجع السبب في هذا السلوك الى احتواء العينات على الاطوار الواطئة والشوائب وينسب متباينة [17]، وان الاختلاف في سلوك العينات من حيث درجة الحرارة الحرجة يمكن أن يعزى إلى الانخفاض الكبير في الطور العالي (Bi-2223) والزيادة في اطوار أخرى (Bi-2201, Bi-2212) بالمقارنة مع العينة النقية وهذا يتفق مع (XRD). والذي ممكن ان يحدث بسبب استبدال وغياب النحاس ثنائي التكافؤ (Cu^{+2}) في طبقات (CuO) نتيجة استبداله باللانثانوم ثلاثي التكافؤ (La^{+3}) والذي يميل إلى عمل تشويه واضطراب في شبكة اوكسيد النحاس (CuO) وتغير في تركيز حاملات الشحنة في طبقات خزن الشحنة والطبقات الموصلة في هذا النظام والتي ممكن ان تؤدي الى إلغاء التوصيل الفائق [191]. ومن المعلوم ان المواد فائقة التوصيل ذات الاساس بزموت (Bi-base) تكون غير مستقرة عندما يكون محتوى الاوكسجين يساوي صفرا ($\delta=0$) [192]، ولكن من الممكن استقراره من خلال خلق

فجوات اكثر في طبقات (CuO) وذلك من خلال ادخال ذرات اوكسجين اضافية في التركيب بواسطة عملية الاستبدال الجزئي حيث ان تولد فجوات اكثر في الطور (Bi-2223) سوف يؤدي الى تحسين كل من $(T_{c(onset)})$ و $(T_{c(offset)})$ [172,193]. وعليه ان التغير في تركيز الاوكسجين (O_2) في العينة يمكن أن يؤدي إلى تشوه في طبقات أوكسيد البزموت التي من المتوقع أن يقابلها تغير في تركيز الفجوات في طبقات (Cu-O) الذي اعتمدنا في قياسه على المعادلة (3-8) حيث ظهر لنا من النتائج المستحصلة من حساب تركيز الفجوات بصورة جلية انها لها دلالة واضحة على تغير قيمة درجة الحرارة الحرجة للعينات و ان تركيز الفجوات يكون ذو علاقة مباشرة معها، ومن الجدير بالذكر ان الدلالة التي يعطيها حساب تركيز الفجوات تكون لها الدلالة نفسها التي يعطيها حساب محتوى الاوكسجين ولكن تكون اكثر دقة وعمومية على اعتبار ان تاثير تغير تركيز ومحتوى الاوكسجين على الخواص التركيبية والخواص فائقة التوصيل هو في مقدار مايسببه من توليد او الغاء للفجوات في البنية التركيبية للعينة ولذا فان حساب الفجوات يوفر لنا دلالة ادق واكثر شمولية.

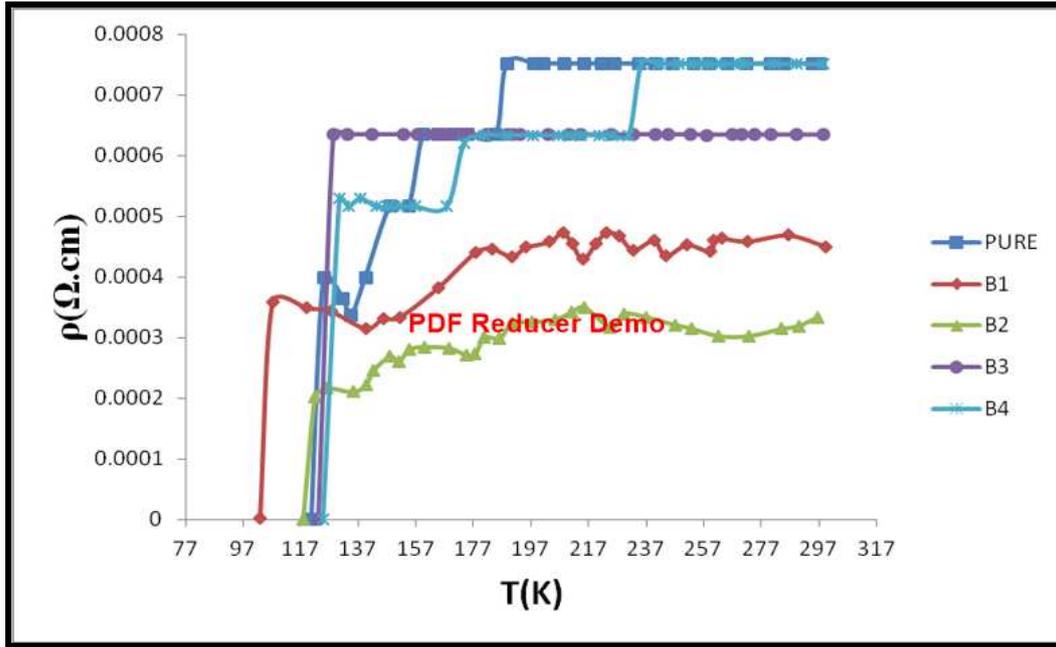
وان إعادة الترتيب في تركيز الفجوات بين (CuO) و (BiO) يمكن أن تسبب التغير في ثوابت الشبكة وتركيز الفجوات في طبقة (CuO) والتي تؤدي بالتالي الى الاختلال في كمية حاملات الشحنة في الطبقات فائقة التوصيل مسببة ظهور السلوك شبه الموصل في العينات او التدهور في الخواص فائقة التوصيل ومنه الانخفاض في درجات الحرارة الحرجة بزيادة نسبة اللانثانيم، وان هذا السلوك يعزى عادة الى الانتقال (عازل-معدن) والذي يظهر في النظام فائق التوصيل (BSCCO) عند الاستبدال او التطعيم باحد العناصر الاتربة النادرة [30,37]. كما هو موضح في الشكل (4-26) والذي ينعكس ايضا على النقصان في فجوة الطاقة التي تعتمد على قيمة درجة الحرارة الحرجة للعينات بحسب المعادلة (3-7) وكما هو مبين في الشكل (4-27).



الشكل (4-26) تغير درجة الحرارة الحرجة (T_c) كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (A).



الشكل (4-27) تغير فجوة الطاقة (E_g) كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (A).



الشكل (4-28) تغير المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لعينات المجموعة (B).

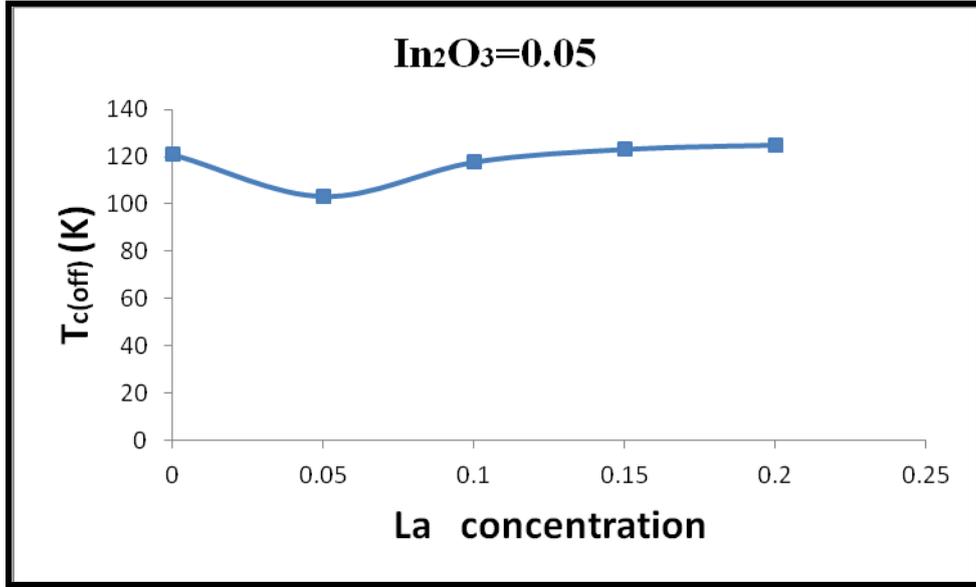
الشكل (4-28) يوضح سلوك المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لعينات المجموعة (B) ونلاحظ في هذا الشكل ان جميع النماذج كانت ذات سلوك معدني اي ان مقاومتها الكهربائية تتناقص مع نقصان درجة الحرارة في المنطقة التي تسبق ($T_{c(onset)}$) التي عندها تتحول المادة من حالتها الطبيعية الى الحالة فائقة التوصيل. مع ملاحظة ان الانتقال الى الحالة فائقة التوصيل لعينات المجموعة (B) كان بعدة خطوات والتي يعزى سبب انتقالاتها المتعددة الى تعدد الاطوار المتكونة في العينة والى وجود بعض الشوائب والعيوب البلورية في العينات بينما نلاحظ في العينة (B3) ان الانتقال كان حادا بخطوة واحدة، ويعزى السبب في ذلك الى ان كمية الطور (Bi-2223) تكون كافية لتشكيل شبكة مستمرة من الحبيبات الموصلة وان الانتقال يحصل ضمن هذه الحبيبات مع وجود الاطوار الواطئة [194].

الجدول (4-8) يبين نسب الاطوار ودرجة الحرارة الحرجة وفجوة الطاقة وتركيز الفجوات للمجموعة (B).

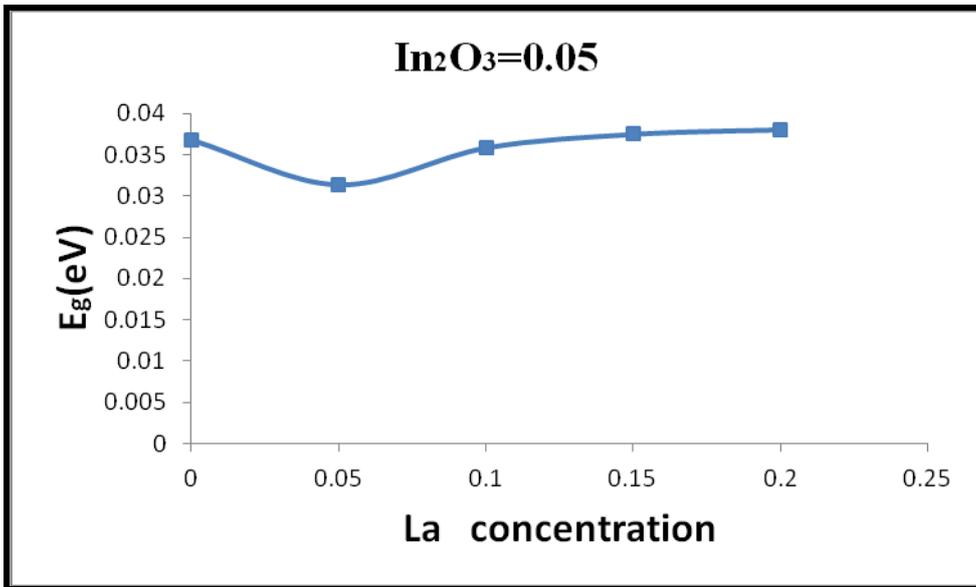
MIX	X	Y	$V_{ph(2223)}\%$	$V_{ph(2212)}\%$	$V_{ph(2201)}\%$	Impur%	$T_{C(OFF)}$ (K)	$T_{C(ON)}$ (K)	ΔT_C (K)	$T_{C(mid)}$ (K)	E_g (eV)	P(Hole) concentration
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	120.9	125.1	4.2	123	0.036809516	0.16
B1	0.05	0.05	76.395	13.003	5.865	4.734	103.1	107.5	4.4	105.3	0.031390084	0.117
B2	0.05	0.1	82.507	0	1.895	15.597	117.7	121.9	4.2	119.8	0.035835236	0.142
B3	0.05	0.15	85.171	3.308	1.960	9.558	123.1	128.3	5.2	125.7	0.037479334	> 0.16
B4	0.05	0.2	87.541	4.796	1.265	6.395	124.9	130.6	5.7	127.75	0.038027366	> 0.16

ومن خلال الجدول (4-8) نلاحظ ان هناك زيادة ملحوظة ومميزة لدرجة حرارة الانتقال الحرجة ($T_{c(\text{offset})}$) بزيادة نسبة اللانثانيوم وكما موضح في الشكل (4-29)، والسبب في هذا السلوك المميز يعزى الى دخول حالة استبدال اخرى وهي الانديوم بدلا من البزموت وبنسبة (0.05) حيث كان له الاثر الايجابي في ارتفاع نسبة تشكيل الطور العالي والذي انعكس في الحصول على درجة حرارة انتقال حرجة اعلى من درجة الحرارة الحرجة للعينة النقية كما في العينات (B3,B4) على الرغم من انخفاضها في حالة العينة (B1,B2) والذي يرجع السبب فيها الى ان نسبة الاستبدال كانت اقل من نسبة الاستبدال المثلى وهذه الحالة ممكن ان تسبب تشوها في التركيب وهذا التشوه ممكن ان يؤدي الى نشوء عيوب نقطية في الشبكة والتي ممكن ان تتجمع معا على شكل مجموعات عنقودية مشكلة عيوباً في التراص والتي ممكن ان تسهل عملية تكون الشوائب و تنوي الاطوار الواطئة ولذلك نقصان في قيمة درجة حرارة الانتقال الحرجة [7]، وكذلك نلاحظ زيادة في عرض الانتقال (ΔT_c) الذي ممكن ان يعزى الى الحالة المختلطة من الطور العالي والاطوار الواطئة مع هيمنة الطور العالي (Bi-2223). وكذلك ان عملية استبدال البزموت بالانديوم التي تعمل على زيادة كفاءة مواقع التنوي والنمو في تشكيل الطور العالي وكذلك تعمل على زيادة انتشار ذرات كل من الكالسيوم والنحاس وكذلك فان الاضافة المتزامنة لكل من الانديوم واللانثانيوم ممكن ان تؤدي الى الزيادة في توصيلية الحبيبات التي سببها الخصائص المعدنية لكل من الانديوم واللانثانيوم. وكذلك ان الاستبدال الجزئي بالبزموت ممكن ان يخلق فجوات اضافية في طبقات اوكسيد النحاس والتي تسهم في بقاء الزوج الالكتروني واستمراريته ولذلك يحصل ارتفاع في قيمة (T_c). بالاضافة الى ان الزيادة في درجة حرارة الانتقال الحرجة عند زيادة تركيز اللانثانيوم بوجود الانديوم ممكن ان يعزى الى حالة من الترابط القوي وزيادة مساحة الاتصال بين الحبيبات خلال عملية التلييد والتي بالنتيجة هي نقصان المسامية [195]، ومن خلال التمعن في الجدول اعلاه نلاحظ ان اعلى قيمة لدرجة الحرارة الحرجة كانت للعينة (B4) وهي ($T_c=124.9K$) والتي تؤدي بالنتيجة الى اعلى قيمة لفجوة الطاقة كما موضح في الشكل (4-30)، ويرجع السبب في هذا الى ارتفاع نسبة تشكيل الطور العالي وكذلك

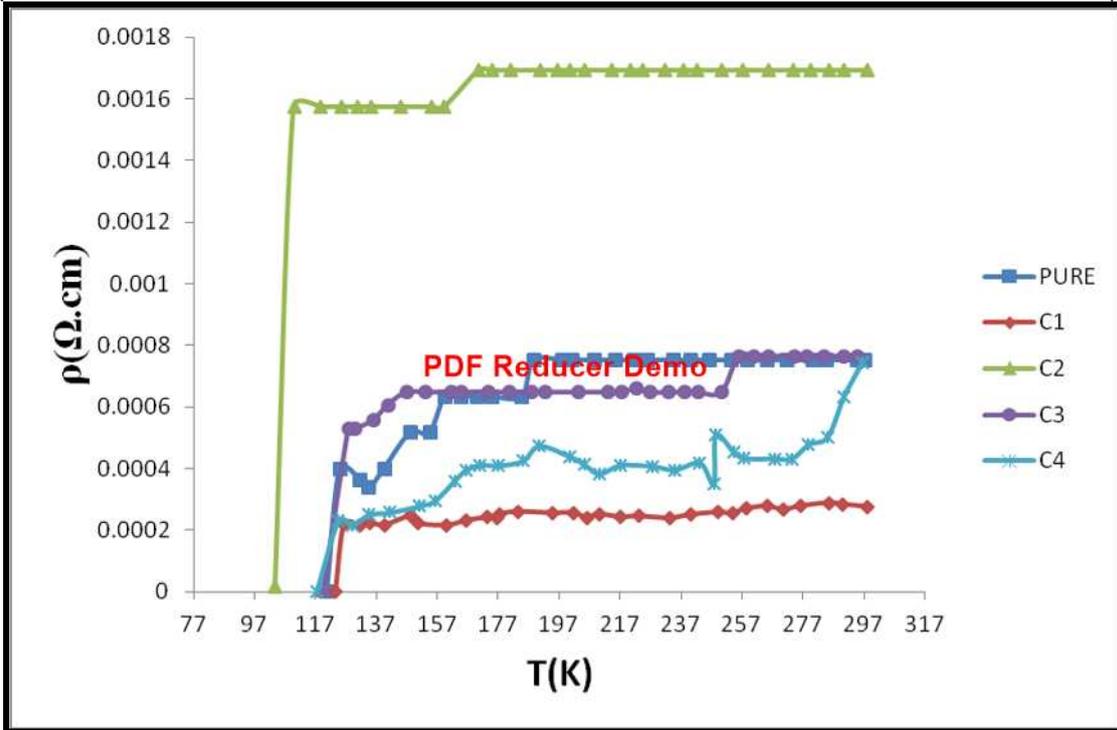
للزيادة في تركيز الفجوات التي اظهرت قيما اعلى من تركيز الفجوات مقارنة بالعينة النقية. ولكن برأينا ان العينة المثلى في هذه المجموعة هي العينة (B3) التي تمتاز بارتفاع نسبة الطور العالي وكذلك طول المحور (c) وارتفاع الكثافة وهذا دليل على حصولنا على افضل نسب استبدال لكل من الانديوم واللانثانيوم وأفضل استقرارية للطور العالي في هذه العينة.



الشكل (29-4) تغير درجة الحرارة الحرجة (T_c) كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (B).



الشكل (30-4) تغير فجوة الطاقة (E_g) كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (B).

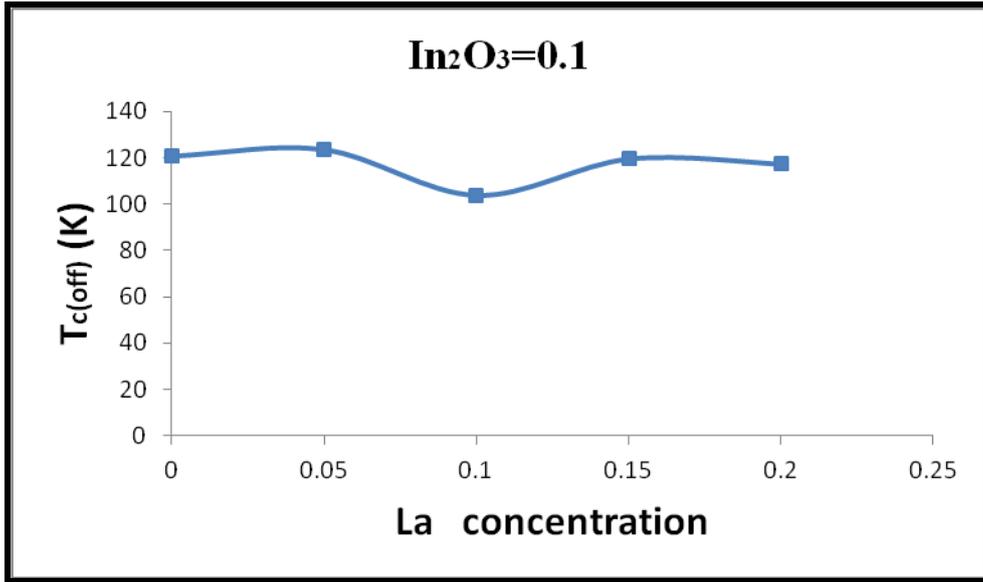


الشكل (31-4) تغير المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لعينات المجموعة (C). في الشكل (31-4) الذي يمثل سلوك المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لعناصر المجموعة (C) والتي يكون فيها ($x=0.1$) و ($y=0.05, 0.1, 0.15, 0.2$)، حيث نلاحظ من الشكل ان جميع العينات كانت ذات سلوك معدني في المنطقة التي تسبق ($T_{c(onset)}$) والتي عندها تبدأ العينة بالتحول الى الحالة فائقة التوصيل. الجدول (9-4) يبين نسب الاطوار ودرجة الحرارة الحرجة وفجوة الطاقة وتركيز الفجوات للمجموعة (C).

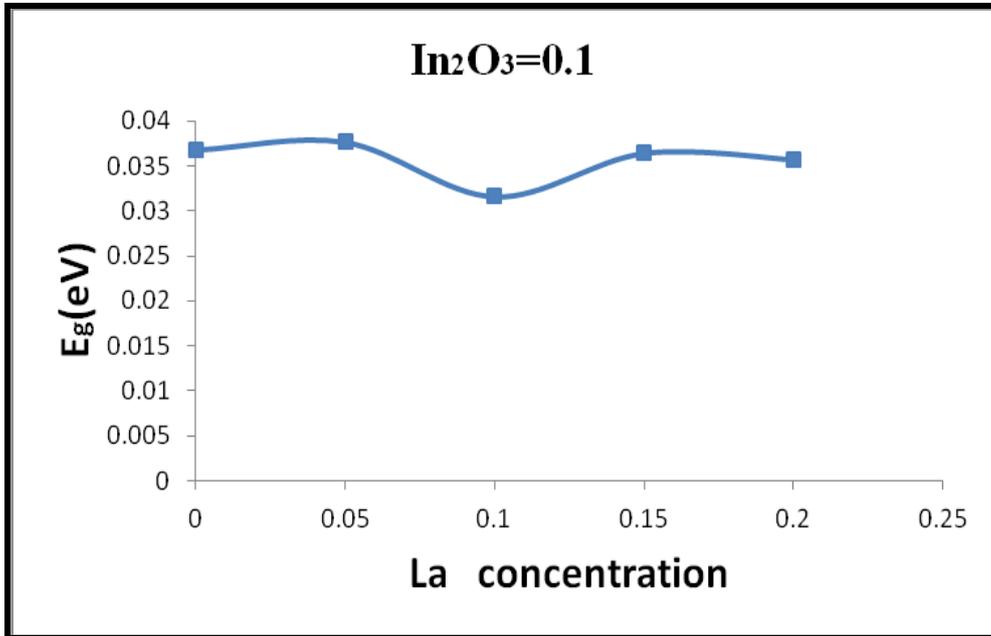
MIX	X	Y	$V_{ph(2223)}\%$	$V_{ph(2212)}\%$	$V_{ph(2201)}\%$	Impur%	$T_{C(OFF)}$ (K)	$T_{C(ON)}$ (K)	ΔT_C (K)	$T_{C(mid)}$ (K)	E_g (eV)	P(Hole) concentration
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	120.9	125.1	4.2	123	0.036809516	0.16
C1	0.1	0.05	85.816	5.565	4.021	4.596	123.7	126.5	2.8	125.1	0.037662011	> 0.16
C2	0.1	0.1	78.421	7.631	8.421	5.526	103.9	110	6.1	106.95	0.031633654	0.118
C3	0.1	0.15	84.480	4.966	1.354	9.198	119.7	128	8.3	123.85	0.036444161	0.149
C4	0.1	0.2	82.959	8.247	7.701	1.091	117.4	124.5	7.1	120.95	0.035743898	0.141

ومن خلال الجدول (9-4) الذي يظهر فيه اختلاف في درجات حرارة الانتقال الحرجة لعينات المجموعة (C) بزيادة كل من نسبة الانديوم وكذلك زيادة نسبة اللانثانيم، حيث نلاحظ انخفاضا في درجة الحرارة الحرجة لكل من العينات (C2, C3, C4) في حين هناك زيادة في درجة الحرارة الحرجة للعينة (C1) مقارنة بدرجة الحرارة الحرجة للعينة النقية والتي يمكن اعتبار ان نسبة الاستبدال فيها

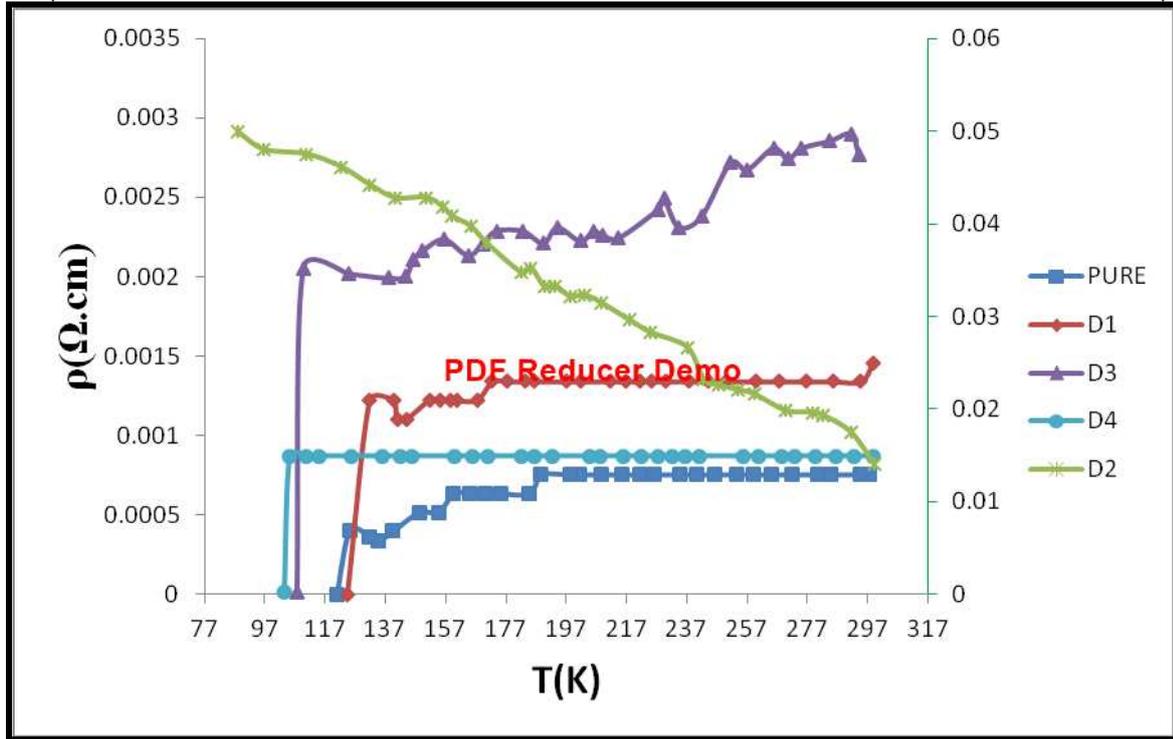
لكل من الانديوم واللانثانيوم هي نسبة الاستبدال المثلى وكما موضح في الشكل (4-32). وان السبب في انخفاض درجة الحرارة الحرجة وبصورة عشوائية يرجع الى ان الزيادة في تركيز اللانثانيوم سببت اختلالا واضطرابا في التركيب البلوري للعيينة وانخفاضا في الطور العالي (Bi-2223) والمصحوب بظهور الاطوار غير المرغوب بها والتي تؤدي دورا هاما في زيادة الروابط الضعيفة بين الحبيبات حيث ان هذه الاطوار غير المرغوبة والشوائب تتموضع بصورة رئيسة بين الحبيبات فائقة التوصيل وتمنع الازواج الفائقة من التدفق والسريان [196]، بالاضافة الى امكانية حدوث عدم تشبع التركيب بالاكسجين والذي يعمل تغيرا في الفراغات بين طبقات (CuO) ولهذا فانها تؤثر على انتقال الشحنة الى طبقات (CuO) [197]، والتي على الاغلب تميل الى حالة النقصان في الفجوات والذي ينعكس على حالة النقصان العشوائية في درجة حرارة الانتقال الحرجة، وكذلك يلاحظ ان هناك اتساعا في عرض الانتقال للعينات والذي يكون صفة ملحوظة في المواد فائقة التوصيل ذات درجة الحرارة العالية متعددة الاطوار وتفسر هذه الحالة بعدة اسباب وهي التشتت عند الحدود الحبيبية، والذي يعزى الى الكبت او اعاققة التوصيل الفائق وكذلك بسبب التشتت الذي يحصل داخل الحبيبية الواحدة، حيث ان هناك نوعين لطبيعة الانتقال فائق التوصيل احدهما هو الانتقال داخل الحبيبات، والآخر هو الانتقال على سطح الحبيبات علما ان درجة حرارة الانتقال الحرجة داخل الحبيبات هي اوطأ من درجة حرارة الانتقال بين الحبيبات. ونلاحظ من خلال الجدول ان افضل عينة كانت هي العينة (C1) حيث امتازت بامتلاكها اعلى نسبة للطور العالي واعلى تركيز للفجوات والتي كانت نتيجته ان يكون لها اعلى درجة حرارة حرجة بالتالي تكون لها اعلى فجوة طاقة كما هو موضح في الشكل (4-33) وبالنتيجة يمكن عدها افضل عينة في المجموعة (C).



الشكل (4-32) تغير درجة الحرارة الحرجة (T_c) كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (C).



الشكل (4-33) تغير فجوة الطاقة (E_g) كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (C).



الشكل (34-4) تغير المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لعينات المجموعة (D).

الشكل (34-4) الذي يوضح سلوك المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لعناصر المجموعة (D) التي يكون فيها كل من $(x=0.15)$ و $(y=0.05, 0.1, 0.15, 0.2)$ ، حيث نلاحظ ان كل العينات كان لها سلوك معدني في المنطقة التي تسبق $(T_{c(onset)})$ والتي عندها تتحول المادة الى الحالة فائقة التوصيل، ما عدا العينة (D2) والتي سلكت سلوكا شبه الموصل، وان عملية تحول المادة من الحالة فائقة التوصيل الى الحالة غير فائقة التوصيل (شبه موصلة، عازلة) عند اجراء عملية الاستبدال الجزئي يعود الى تكون ووجود كميات من الاطوار غير فائقة التوصيل مع بعض الاطوار الثانوية والشوائب وكذلك التقلبات التي ممكن ان تحدث في ذرات الاوكسجين، لهذا فان امكانية التغير والتحويل في الطبقات الموصلة ممكن ان يحدث وان عملية التحول لسلسلة من السلوك فائق التوصيل المتماثل ممكن ان يتغير من الحالة فائقة التوصيل الى الحالة غير فائقة التوصيل [188]، وكذلك ممكن ان يعزى السلوك شبه الموصل الى النقصان في تحركية حاملات الشحنة حيث ان الشوائب تؤدي دورا مشابه لدور مراكز العرقلة والكبح لحاملات الشحنة مسببة حاجز جهد عالي، اما بالنسبة لعرض الانتقال فاننا نلاحظ انخفاضا في عرض الانتقال

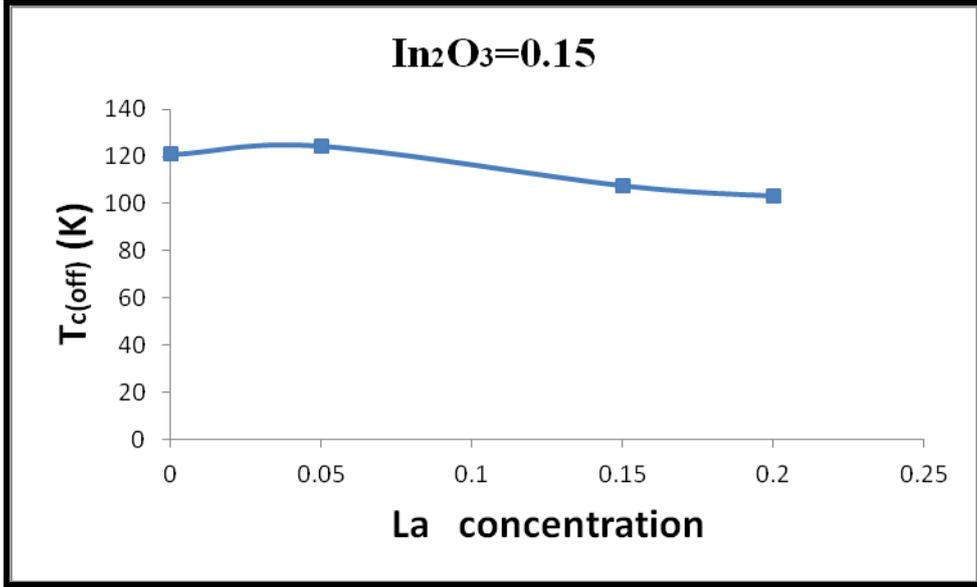
بالنسبة للعينات فائقة التوصيل ، ان السبب في الهبوط المفاجئ في المقاومة هو امكانية ان تعمل الشوائب والاطوار الثانوية الاخرى على اضافة مستويات طاقة اخرى في طبقات (CuO) والتي تترابط وتتواشج مع المستوي (CuO) مسببة ترابط بين المستويين لخلق الاكسيتون.

الجدول (4-10) يبين نسب الاطوار ودرجة الحرارة الحرجة وفجوة الطاقة وتركيز الفجوات للمجموعة (D).

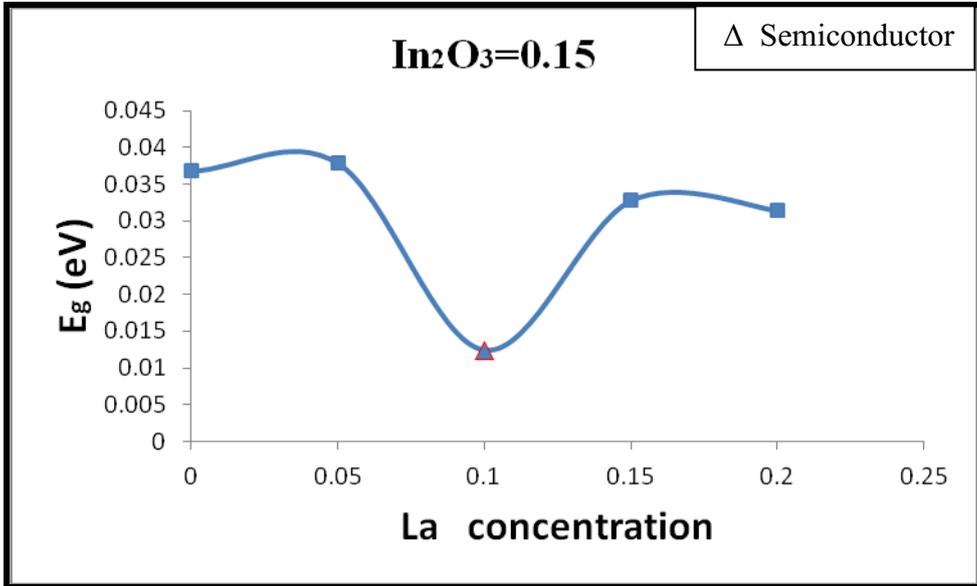
MIX	X	Y	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impur%	T _{C(OF)} (K)	T _{C(ON)} (K)	ΔT _C (K)	T _{C(mid)} (K)	E _g (eV)	P(Hole) concentration
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	120.9	125.1	4.2	123	0.036809516	0.16
D1	0.15	0.05	86.711	8.677	0	4.610	124.5	131.9	7.4	128.2	0.037905581	> 0.16
D2	0.15	0.1	72.619	5.114	16.522	5.743	-----	-----	-----	-----	0.0124	-----
D3	0.15	0.15	80.368	5.128	9.775	4.727	107.7	109.8	2.1	108.75	0.032790611	0.123
D4	0.15	0.2	76.288	2.405	18.671	2.634	103.3	105.1	1.8	104.2	0.031450976	0.118

ومن خلال الجدول (4-10) نلاحظ ان العينة (D1) كان لها اعلى نسبة من الطور العالي واعلى درجة حرارة انتقال حرجة مقارنة بالعينة النقية والعينات الباقية وكما موضح في الشكل (4-35)، حيث نلاحظ فيها انعدام الطور الواطئ (Bi-2201) والذي يؤدي بالنتيجة الى ارتفاع درجة الحرارة الحرجة للعينة (D1)، وكذلك ارتفاع قيمة فجوة الطاقة كما موضح في الشكل (4-36)، وهذه دلالة على ان زيادة تركيز الانديوم عند هذه النسبة من اللانثانيوم كانت ذات تاثير ايجابي من حيث دعمها في زيادة تشكيل الطور العالي وبالتالي زيادة درجة الحرارة الحرجة، ولكن بعد ذلك وبزيادة تركيز اللانثانيوم نلاحظ حصول تدهور ونقصان في الخواص فائقة التوصيل والذي ظهر من خلال السلوك شبه الموصل للعينة (D2) وكذلك الانخفاض في درجات الحرارة الحرجة لكل من العينات (D3, D4) [37]، وممكن تفسير هذا السلوك الى زيادة نسبة الاضافة الكبيرة في ذرات اللانثانيوم سببت تدهورا ونقصانا في الطور (Bi-2223) والذي يقابله زيادة ونمو في الاطوار الواطئة والشوائب، ويعزى السبب في ذلك الى امكانية دخول ذرات اللانثانيوم ضمن او في التركيب البلوري والتي كانت في حالة التطعيم المفرطة وكذلك ان الزيادة في نسبة الانديوم عند هذه النسب من اللانثانيوم يؤدي الى زيادة في الروابط الضعيفة بين الحبيبات، وكذلك الاختلاف في درجات الحرارة الحرجة ممكن ان يعزى الى نسبة تكون الحبيبات فائقة التوصيل داخل العينة

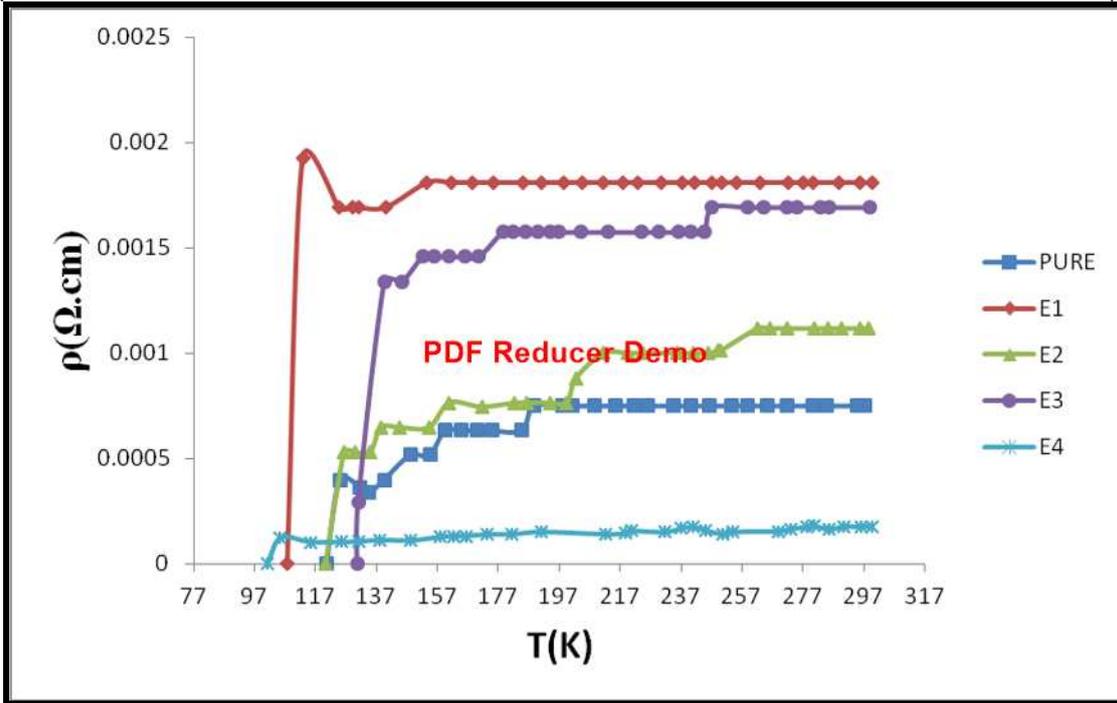
وكذلك نسبة تكون الشوائب والعيوب داخل التركيب البلوري والتي تكون محكومة بظروف التحضير والتشكيل والمتمثلة بنوع المواد المضافة ودرجة حرارة وزمن التلييد. وممكن ان تفسر هذه النتائج على اساس تركيز الفجوات في العينات، حيث لوحظ أن تركيز الفجوات في العينات المطعمة كانت أقل من تركيزها في العينة النقية، وهذا يؤدي إلى انخفاض في درجة حرارة الانتقال الحرجة في العينات (D3, D4)، وان تغير تركيز الفجوات في (CuO) مع زيادة تركيز (La^{+3}) يؤدي الى الانخفاض في درجة الحرارة الحرجة، والذي يمكن أن يكون راجعا إلى سببين هما: الأول هو عدم الاستقرار في التركيب البلوري والآخر هو تأثير ملء الفجوات [11]، وكذلك هناك سبب آخر هو أن الاستبدال في (النحاس) يؤدي إلى تدهور الخصائص فائقة التوصيل للمركبات (HTSC)، حيث ان استبدال النحاس من قبل معظم أيونات المعادن يؤدي إلى تدهور الموصلية الفائقة، على الرغم من أن حجم هذا التدهور والكبح يعتمد على أنواع الأيونات، وبصفة عامة يحدث التدهور والكبح بصورة أكبر عندما تحتل الأيونات المستبدلة موقع النحاس على سطح المستوي (CuO)، في حين يكون أقل بكثير إذا وجدت الأيونات في سلسلة خطية لموقع النحاس، [18,198] ونلاحظ من خلال الجدول ان العينة المثلثي في هذه المجموعة هي العينة (D1) ويرجع السبب في هذا الى امتلاكها النسبة الكبرى من الطور العالي وكذلك درجة الحرارة الحرجة العالية وانعدام الطور الواطئ فيها وكذلك امتلاكها تركيز فجوات عالي.



الشكل (35-4) تغير درجة الحرارة الحرجة (T_c) كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (D).



الشكل (36-4) تغير فجوة الطاقة (E_g) كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (D).



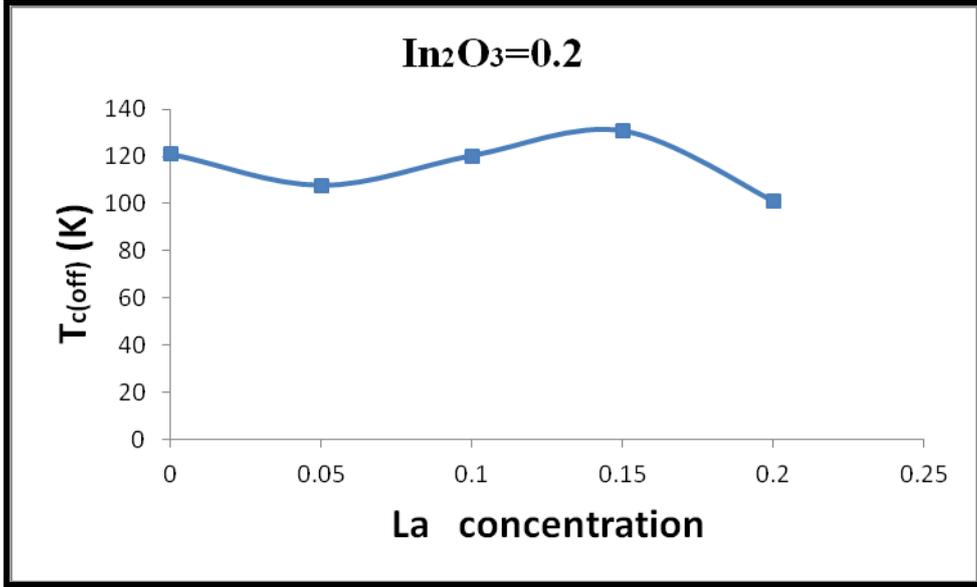
الشكل (37-4) تغير المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لعينات المجموعة (E).

في الشكل (37-4) الذي يمثل سلوك المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لعينات المجموعة (E) التي فيها ($x=0.2$) و ($y=0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) والتي نلاحظ فيها ان كل العينات كانت ذات سلوك معدني في المنطقة التي تسبق ($T_{c(onset)}$) والتي عندها تتحول المادة الى الحالة فائقة التوصيل، حيث اظهرت جميع العينات سلوك فائق التوصيل مع اختلاف في درجات حرارة الانتقال الحرجة، مع ملاحظة الارتفاع في عرض الانتقال الى الحالة فائقة التوصيل والذي يعزى الى وجود الشوائب والاطوار الواطئة وكذلك الى تولد بعض التشوهات الداخلية في التركيب البلوري بسبب عملية الاستبدال.

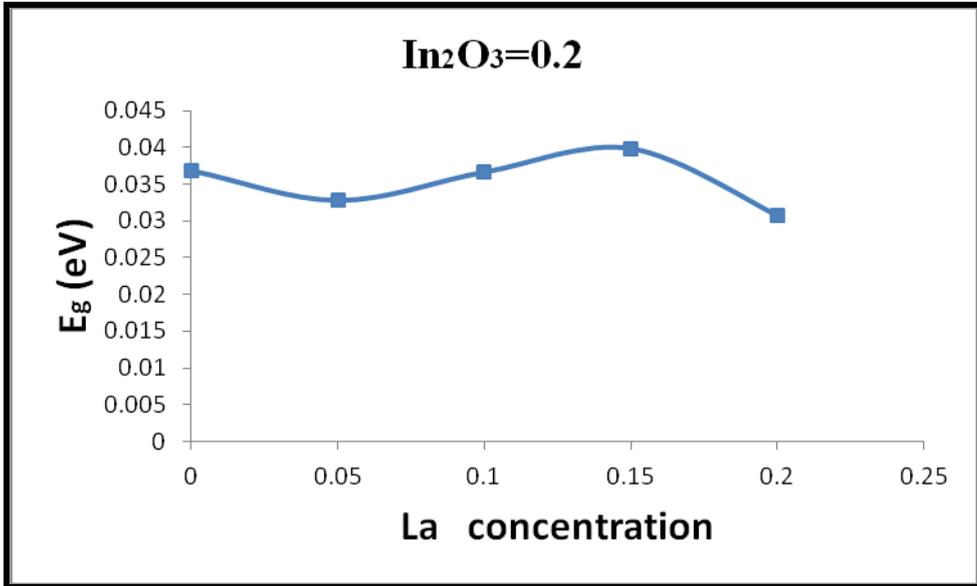
الجدول (11-4) يبين نسب الاطوار ودرجة الحرارة الحرجة وفجوة الطاقة وتركيز الفجوات للمجموعة (E).

MIX	X	Y	$V_{ph(2223)}\%$	$V_{ph(2212)}\%$	$V_{ph(2201)}\%$	Impur%	$T_{C(OF)}$ (K)	$T_{C(ON)}$ (K)	ΔT_C (K)	$T_{C(mid)}$ (K)	E_g (eV)	P(Hole) concentration
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	120.9	125.1	4.2	123	0.036809516	0.16
E1	0.2	0.05	80.573	8.735	3.911	6.779	107.8	112.9	5.1	110.35	0.032821058	0.123
E2	0.2	0.1	85.616	5.022	1.902	7.458	120.3	126.4	6.1	123.35	0.036626839	0.152
E3	0.2	0.15	90.933	1.705	7.360	0	130.7	139.7	9	135.2	0.039793249	>0.16
E4	0.2	0.2	74.102	8.826	7.953	9.117	101.1	105.5	4.4	103.3	0.030781159	0.115

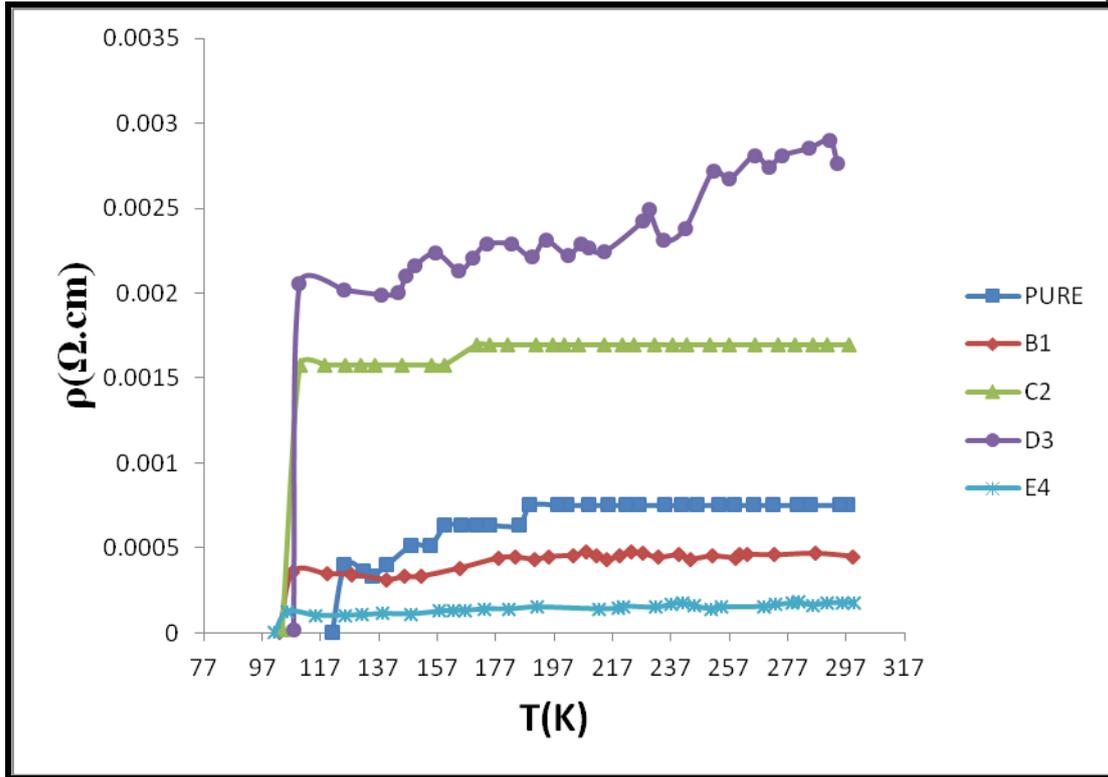
من خلال الجدول (11-4) نلاحظ هناك اختلافا واضحا في نسب الاطوار ودرجات الحرارة الحرجة للعينات حيث نلاحظ ازدياد في نسبة الطور العالي ودرجة الحرارة الحرجة للعينات (E2, E3) وانخفاضا في نسبة الطور العالي ودرجة الحرارة الحرجة للعينات (E1, E4) كما هو واضح في الشكل (38-4) والشكل (39-4) الذي يوضح تغير فجوة الطاقة تبعا لتغير درجة الحرارة الحرجة وكذلك تغير في تركيز الفجوات وقد ظهرت اعلى نسبة للطور العالي واعلى درجة حرارة حرجة للعيينة (E3) التي امتازت بخلوها من الشوائب والتي ممكن عدها العينة المثلى في هذه المجموعة وفي جميع العينات، حيث انها تمتلك اعلى نسبة من الطور العالي واعلى درجة حرارة حرجة وممكن ان يعزى السبب في هذا هو الوصول الى نسب الاستبدال المثلى التي تواشجت وتزامنت مع عوامل التحضير والتشكيل وكذلك هو امتلاكها اعلى تركيز من الفجوات، وكذلك ان عملية الاستبدال ممكن ان ينتج عنها ان بعض الشحنات الاضافية تنتقل الى داخل طبقات (CuO) والتي تؤدي الى ان بعض ذرات النحاس تنتقل من حالة التاكسد (Cu^{+2}) الى (Cu^{+3}) وان هذه الحالة المختلطة من التكافؤ تؤدي الى تحسن كبير في التوصيلية الفائقة [199]، ومن الجدير بالذكر ان تحسن الخواص فائقة التوصيل تتمثل في امتلاك العينة تركيب بلوري كثيف وحجم حبيبي كبير ومسامات اقل وهذه كلها تضمن توصيلية كبيرة بين الحبيبات والتي تكون محكومة بحالة طبقات (CuO) [178]، في حين نلاحظ في العينات (E1, E4) انخفاضا في نسبة الطور العالي والذي ادى الى الانخفاض في درجة الحرارة الحرجة وكذلك في تركيز الفجوات حيث ان انخفاض تركيز الفجوات في طبقات (CuO) دليل على ان الطور الواطئ ينمو على حساب الطور العالي [200]، وان هذا الانخفاض والتدهور ممكن ان يعزى الى ان نسب الاستبدال الكبيرة قد تسببت في تولد اجهادات ميكانيكية وحرارية في التركيب البلوري للعينات خلال عملية المعاملة الحرارية مسببة تشوهات وعيوب في التركيب البلوري للعينات، وكذلك ممكن ان يعزى الانخفاض في درجات الحرارة الحرجة ايضا الى فقدان وتبخر بعض ذرات اليزموث والاكسجين بسبب زمن التلييد الطويل والذي يؤدي الى تشوه التركيب البلوري للعينات.



الشكل (4-38) تغير درجة الحرارة الحرجة (T_c) كدالة لتركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (E).



الشكل (4-39) تغير فجوة الطاقة (E_g) كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (E).



الشكل (4-40) تغير المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لعينات مجموعة التوازن.

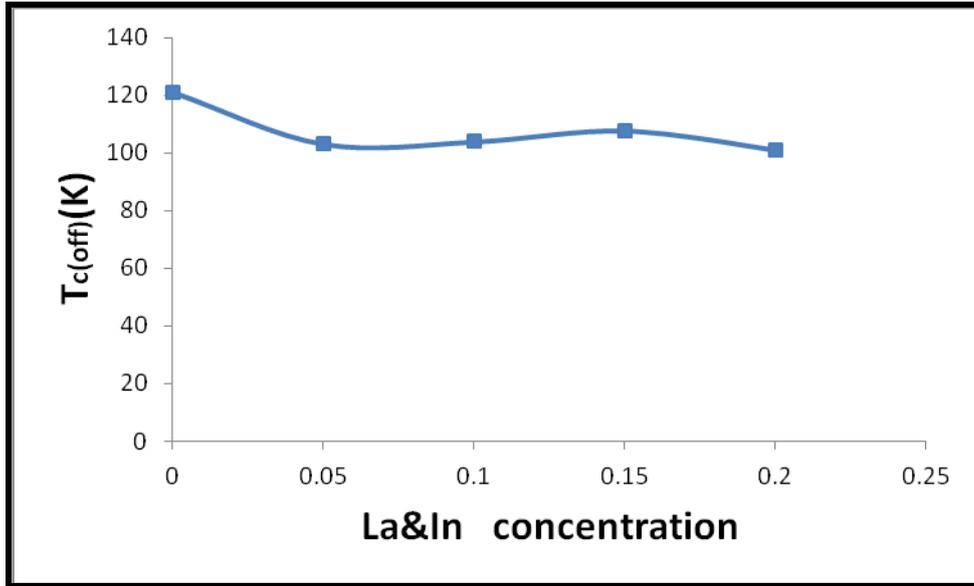
ان الشكل (4-40) يوضح سلوكية المقاومة الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لعينات مجموعة التوازن التي يكون فيها (x,y=0.05,0.1,0.15,0.2)، والتي نلاحظ فيها ان كل العينات كانت ذات سلوك معدني في المنطقة التي تسبق ($T_{c(onset)}$) التي عندها تتحول المادة الى الحالة فائقية التوصيل، حيث اظهرت جميع العينات سلوكا فائق التوصيل مع اختلاف في درجات حرارة الانتقال الحرجة.

الجدول (4-12) يبين نسب الاطوار ودرجة الحرارة الحرجة وفجوة الطاقة وتركيز الفجوات للمجموعة التوازن.

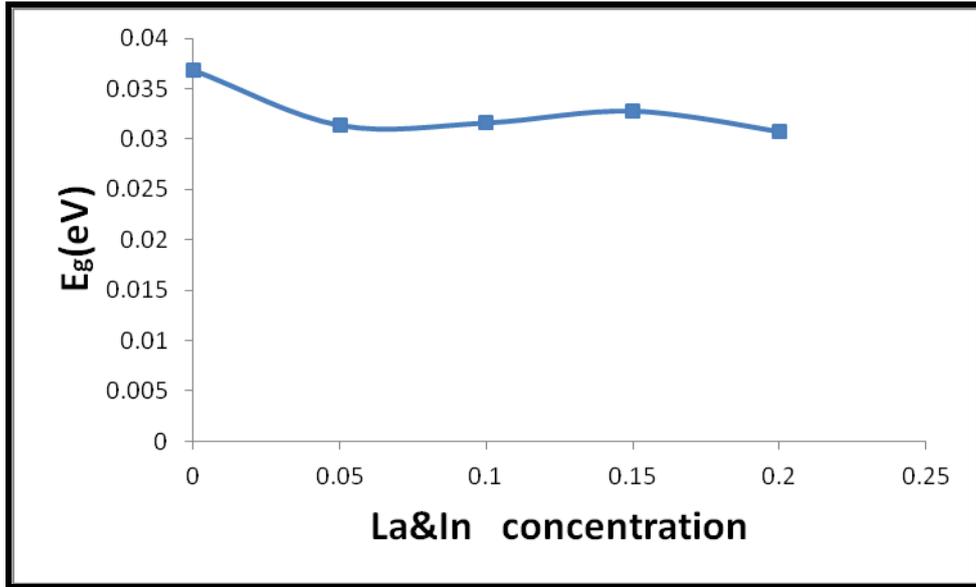
MIX	In ₂ O ₃	La ₂ O ₃	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impur%	T _{C(OFF)} (K)	T _{C(ON)} (K)	ΔT _C (K)	T _{C(mid)} (K)	E _g (eV)	P(Hole) concentration
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	120.9	125.1	4.2	123	0.036809516	0.16
B1	0.05	0.05	76.395	13.003	5.865	4.734	103.1	107.5	4.4	105.3	0.031390084	0.117
C2	0.1	0.1	78.421	7.631	8.421	5.526	103.9	110	6.1	106.95	0.031633654	0.118
D3	0.15	0.15	80.368	5.128	9.775	4.727	107.7	109.8	2.1	108.75	0.032790611	0.123
E4	0.2	0.2	74.102	8.826	7.953	9.117	101.1	105.5	4.4	103.3	0.030781159	0.115

ومن خلال الجدول (4-12) نلاحظ انخفاضا في تركيز الطور العالي مقارنة بالعينة النقية والذي ينعكس تأثيره على الانخفاض في درجة الحرارة الحرجة وكذلك التغير في فجوة الطاقة كما موضح في الشكلين (4-41) و(4-42)، ومن الجدول اعلاه ممكن ملاحظة ان عملية الاستبدال بنسب متساوية من الانديوم والانتانيوم

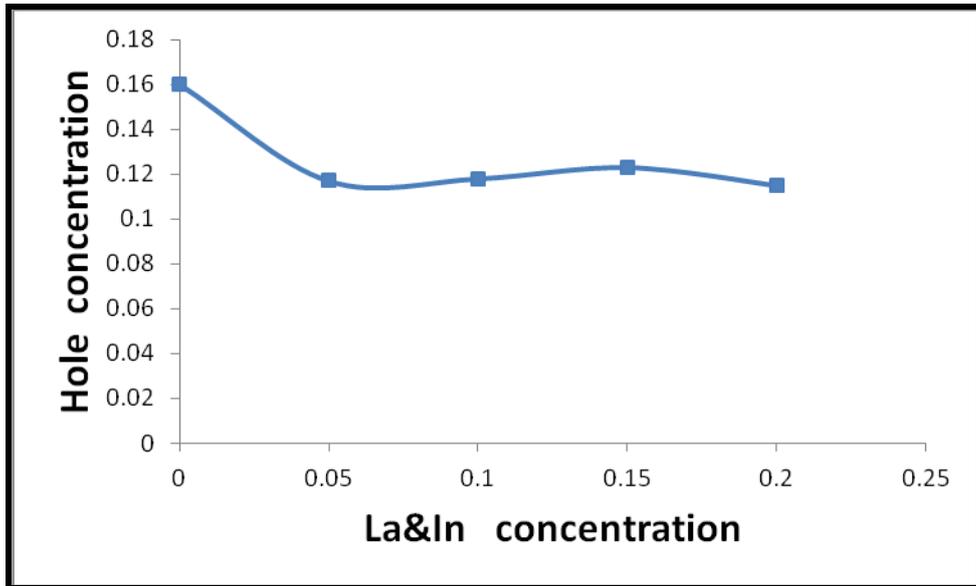
تؤدي الى الانخفاض في الخواص فائقة التوصيل مقارنة بالعينة النقية والتي تعزى الى ارتفاع احتمالية تكون الاطوار الواطئة والشوائب، وكذلك ان الاستبدال بكل من الانديوم واللانثانيوم يؤدي الى امكانية احتلال ذراتهما مواقع تقع بين الحبيبات فائقة التوصيل والتي بالنتيجة تسبب مواقع وهن وروابط ضعيفة بين الحبيبات، وكذلك ممكن ان يعزى سبب الانخفاض هذا الى الانخفاض في طول المحور (c) مقارنة بالعينة النقية، وكذلك امكانية ان يعمل الاستبدال بالنسب المتكافئة الى ان يدفع بالتفاعلات داخل العينة الى ان تتجه باتجاه تكوين الاطوار الواطئة والشوائب على حساب تكون الطور العالي والذي بالنتيجة يؤدي الى الانخفاض والتدهور في الخواص فائقة التوصيل. وممكن ان يعزى ايضا الى الانخفاض في تركيز الفجوات للعينات المطعمة مقارنة بالعينة النقية كما يوضحه الشكل (4-43).



الشكل (4-41) تغير درجة الحرارة الحرجة (T_c) كدالة لتركيز (La&In) لعينات مجموعة التوازن.



الشكل (4-42) تغير فجوة الطاقة (E_g) كدالة لتغير تركيز (La&In) لعينات مجموعة التوازن.



الشكل (4-43) تغير تركيز الفجوات كدالة لتغير تركيز (La&In) لعينات مجموعة التوازن.

ومن الجدير بالذكر ان النقصان في درجة حرارة الانتقال الحرجة مع زيادة نسبة الاستبدال ممكن ان تعزى الى العديد من الاسباب والتي منها:

1- ان عملية الاستبدال تسبب تغير في الشحنة عند مواقع (O^{-2}) وتحوّر في مواقعها وهذا يعمل تأثيرا ضارا على الطبقات البينية لنقل الشحنة والتي تؤدي الى الهبوط في التوصيلية الفائقة [199].

2- ان وجود العناصر عديمة البرم او الشوائب غير مغناطيسية في المستويات يقضي على مديات طويلة من نظام البرم والذي يؤدي الى تغيرات قوية في عوامل

التوصيلية الفائقة في المناطق المجاورة [202]. وان من المعلوم ايضا ان الاستبدال في طبقات (CuO) تعيق تقلبات ازدواج البرم الاثني فيرومغناطيسي في المستوي والتي تولد عدم انتظام خارج تاثير كثافة الفجوات لان عدم الانتظام الموضعي في التركيب والمحفز من قبل العنصر البديل يولد انخفاضا ونقصانا في درجة حرارة الانتقال الحرجة وكسر لازدواج الفجوات بوساطة مواقع العنصر البديل سواء في مستوي (CuO) او بين مستويات (CuO) [203].

3- ان عملية الاستبدال ممكن ان لا تغير من كثافة حاملات الشحنة ككل ولكن تعطي تقدما في اعادة توزيع الشحنات التي تنتج استنطرة قوية للالكترونات من العنصر البديل او الشوائب التي تكونت بسبب وجوده والمواقع القريبة والتي تؤدي الى كسر ازواج كوبر وبالتالي نقصان درجة الحرارة الحرجة بسرعة. [204,205]

على العموم فان حدوث حالة الانتقال الى التوصيلية الفائقة يكمن في ان العينة تكون ذات طبيعة حبيبية والتي تكون لها مركبتان: المركبة الاولى: ان الحبيبات فائقة التوصيل توفر مسارا او قناة لانتقال التيار الفائق وان مدى او حجم هذه المركبة محدود وهو $(T_{c(onset)} < T < T_{c(offset)})$. المركبة الثانية: هي الروابط الضعيفة (جوزيفسون) والتي هي بطبيعتها ليست فائقة التوصيل والسبب سواء هذه الروابط تكون ايضا ضعيفة او درجة الحرارة تكون اعلى من درجة حرارة الانتقال الحرجة لنفس الرابط، وعلى اي حال فان الانخفاض والتدهور في درجة الحرارة الحرجة يعزى الى ان مدى المركبة الاولى يكون غير كافي لتوفير مسار سالك للازواج الفائقة، وفي العينة التي تكون فيها درجة حرارة الانتقال الحرجة اعلى مايمكن فهذا يعني ان الحبيبات فائقة التوصيل والروابط الضعيفة (جوزيفسون) قد وفرت مسارا سالكا للازواج الفائقة [206,207]، اما بالنسبة لعرض الانتقال فان العرض الكبير يشير الى ان التيار الفائق، اما انتقل خلال اطوار متعددة فائقة التوصيل او خلال طور منفرد ذي حبيبات فائقة التوصيل ذات ازدواج سيء جدا.

وبرأينا ان لطريقة التحضير والمعالجة الحرارية تاثير كبير في الحصول على درجة حرارة انتقال حرجة عالية حيث تكون ذات دور كبير في زيادة درجة التبلور وكذلك زيادة معدل قطر الحبيبية والذي يرتبط مع نمو الطور العالي والذي يوفر استقرارا

ثرموديناميكيا، وان الزيادة التي تحصل في درجة الحرارة الحرجة ممكن توضيحها من وجهة نظر المعالجة الحرارية كالاتي: وهو ان عند زيادة الحرارة الممتصة من قبل الذرات في المسحوق فان هذه الذرات ستتفاعل فيما بينها مؤدية الى تشكيل عناقيد وهذه العناقيد تتصادم مع بعضها مشكلة عناقيد اكبر وثابتة ثرموداينميكيا وكذلك تزداد اعدادها بالاضافة الى حجمها، وهذا يؤدي الى زيادة في تحركية العناقيد وبالتالي زيادة درجة التبلور حيث ان تشكيل العناقيد يمثل شكلا اخر من اشكال التبلور وهذا يؤدي بالمحصلة الى الزيادة في درجة حرارة الانتقال الحرجة.

3-2-4 نتائج فحوصات الخواص العزلية (Results Of Dielectric Properties Tests)

ان الخواص العزلية في المواد الصلبة ممكن ان تختلف بشكل كبير من مادة الى مادة اخرى التي يكون تغيرها كدالة لكل من درجة الحرارة، وتردد المجال المطبق، والرطوبة، والتركييب البلوري، وغيرها من العوامل الخارجية. والتي ممكن ان تكون فيها الاستجابة خطية او غير خطية [208]، وعلى الرغم من ان المواد الفائقة التوصيل درست على مدى واسع، الا ان الدراسات التي تناولت خواصها العزلية مازالت قليلة جدا، لهذا جاء عملنا هذا لاثراء المعرفة بهذه الخواص للمواد فائقة التوصيل.

تعد الخواص العزلية مهمة لكل من العوازل الكهربائية واشباه الموصلات، وعندما يوضع عازل كهربائي في مجال كهربائي خارجي فان هذا المجال (اذا كان ضعيفا) فانه يسبب استقطابا يتغير خطيا مع المجال، وان ثابت التناسب يحدد ثابت العزل الكهربائي، ان الاهمية تشمل كلا المجالين الساكن والمتغير مع الزمن وان ثابت العزل من الممكن ان يعتمد على تردد المجال الخارجي. [209]

تمتلك العوازل الكهربائية عددا قليلا جدا من الالكترونات الحرة للمشاركة في التوصيلية الكهربائية الطبيعية، مثل هكذا مادة لها خواص كهربائية مميزة بسبب قابلية المجال الكهربائي على استقطاب المادة لخلق دايبولات كهربائية، ولهذا فان المواد الجزيئية العازلة تسمى بالجزيئات غير القطبية. [210]

وبالاضافة الى ظهور الدايبول في المادة بوجود المجال، لذا فان وجود الدايبول ممكن ان يكون صفة دائمية للتركيب الجزيئي. [211]

ان كل مركبات (CuO) هي عوازل. وبوساطة استبدال ذرات معينة في وحدة الخلية فان هذه المواد ممكن ان تسلك سلوكا معدنيا وممكن ان تصبح فائقة التوصيل، ان درجة حرارة الانتقال تعتمد بشدة على كثافة الحالات عند مستوى فيرمي، و هذا العامل له تاثير قوي عند تطعيم المركبات السيراميكية بذرات اخرى تختلف بتكافؤها لتزويدها بالكترونات او فجوات اضافية التي توفرها لتتحول الى مادة فائقة التوصيل. [212]

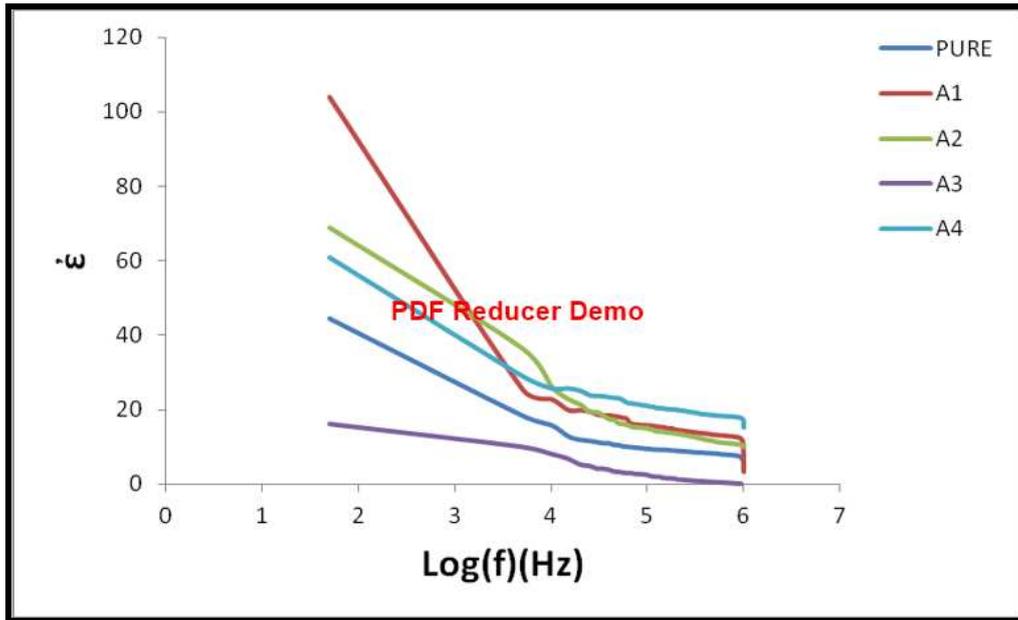
وقد اعتمدنا في عملنا هذا في قياس الخواص العزلية للعينات على تحليل الممانعة باستخدام الجهاز (LCR-Meter) ولمدى تردد (50Hz-1MHz) وعند درجة حرارة الغرفة، وقد شملت القياسات كل من (ثابت العزل الحقيقي ϵ' ، وثابت العزل الخيالي ϵ'' ، ظل الفقد العزلي $(\tan\delta)$ ، والتوصيلية الكهربائية المتناوبة $(\sigma_{a.c})$). وبالاعتماد على استعمال المعادلات (3-9,3-10,3-11).

1-3-2-4 ثابت العزل الحقيقي:

إن الجزء الحقيقي لثابت العازل (ϵ') يعطي مقدار جزء الطاقة المخزون ضمن المادة عند تعرضها الى مجال كهربائي خارجي. ان السلوك العام لثابت العزل الحقيقي في المواد الصلبة هو نقصانه بزيادة تردد المجال الكهربائي المسلط، وفي انظمة البزموت فان قيم ثابت العزل الحقيقي عند تردد (50Hz) تكون عالية وتتغير عند تغير عدد طبقات النحاس وتغير التردد [31]، حيث ان الجزء الحقيقي من ثابت العزل يعطي مقدار الجزء المخزون من الطاقة ضمن المادة عندما تتعرض الى مجال كهربائي متناوب والمكان الاكثر احتمالا الذي يمكن ان تخزن فيه الطاقة هو داخل الحبيبات (Intra-granular sites) اما المادة الموجودة بين الحبيبات (Inter-granular sites) فهي تعمل كحدود نهاية البلورة وهذه المواقع بين الحبيبات تكون ذات اتجاهات عشوائية بحيث يكون مجموع زخوم الدايبولات مساويا للصفر [213,214]. ومن الواضح في كل من الاشكال (4-44,46,48,50,52,54) والتي تمثل تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة لتردد المجال الكهربائي المسلط لعينات المجاميع (A,B,C,D,E) ومجموعة التوازن على التوالي، حيث نلاحظ ان قيمة ثابت العزل الحقيقي تقل مع ازدياد التردد للمجال الكهربائي المسلط، فيزيائيا وفي المواد القطبية فان القيمة الابتدائية لثابت العزل الحقيقي تكون عالية، ولكنها بزيادة التردد

تبدأ القيمة بالانخفاض، ويعزى السبب في ذلك إلى تأخر استجابة الدايبولات لمتابعة التغير في المجال الكهربائي المسلط عند الترددات العالية ، اي بمعنى اخر ان الدايبول يكون غير قادر على متابعة التغير في المجال الكهربائي المسلط ، وان تغير ثابت العزل الحقيقي ممكن ان يعزى الى طبيعة المادة ضمن المستويات الموصلة وكذلك الى التغير في حاملات الشحنة، حيث عندما تنتقل حاملات الشحنة ضمن المستويات الموصلة فانها تغير مواقعها عن مواقع اترانها وهذا ممكن ان يؤدي الى تولد متسعة ثنائية. ويلاحظ ان قيم ثابت العزل الحقيقي في الترددات دون (10KHz) هي محصلة لجميع انواع الاستقطاب (الايوني، الدوراني، الاتجاهي، الالكتروني) [208]، لهذا فان قيمة ثابت العزل الحقيقي تكون ذات قيمة عالية حيث ان ثنائيات الاقطاب تجد الوقت الكافي لتدوير نفسها باتجاه المجال الكهربائي المسلط ، وكذلك فان هذه القيمة العالية تأتي من نسبة الاستقطاب البيئي العالية التي تظهر خصوصا في المواد السيراميكية، وتظهر نتيجة العيوب في التشكيل او من الفراغات او نتيجة عدم التجانس في العينة او بسبب الاطوار المنفصلة الناشئة داخل المادة او نتيجة وجود ذرات شائبة بالنسبة الى بقية الأنواع، اذ انها تمثل مجموعة كبيرة من الشحنات تتراكم عند العيوب البلورية او الفراغات والتي تؤدي الى تولد تراكم موضعي للشحنات وانها تعمل على حث شحنات معاكسة في الجهة الاخرى مؤدية بذلك الى نشوء دايبولات في المادة، ولتوضيح تاثير العيوب والشوائب بصورة اكثر فاننا نعلم ان الشوائب والعيوب تسبب تشوها في الحجم المحيط والمجالات الموضعية وانه من الصعب جدا تخمين مقدار تأثيرها لهذا فانه لا توجد آليات كاملة لتفسيرها [215]، ان مدى التشوه يعتمد على طبيعة الشوائب والعيوب ومواقعها في البلورة والتفاعل بين الشائبة والمادة الام، وفي المواقع اللامركزية فان الشائبة تمتلك عزم دايبول يعبر عنه بوساطة العلاقة $(\Delta\mu = \Delta\mu_d + \sum_i q_i \Delta x_i)$ حيث $\Delta\mu_d$ هو التغير في عزم الدايبول عند موقع الشائبة، Δx_i هو ازاحة الشحنة q_i في الشبكة المحيطة بسبب وجود الشوائب، وفي المواد القطبية فان $\Delta\mu$ تعكس طبيعة قطبية المادة الام بحيث ان تحسس $\Delta\mu$ هو نفسه لكل الشوائب المتشابهة ضمن الحقل الواحد، فاذا كان تركيز الشوائب هو N فان مقدار التغير في الاستقطابية الكهربائية الظاهرية هو $(\Delta P = N\Delta\mu)$ والذي

يضاف ناتجها الى الطاقة الحرة للنظام [9]، وان هذا سوف لا يقتصر على ذرة او جزيئة واحدة بل تمتد الى مناطق كبيرة في المادة وان كمية كبيرة من الشحنات الفراغية سوف لا يحتاج الا الى تردد صغير لجعل زمن الاسترخاء مقاربا الى الصفر، لهذا فان مديات هذا النوع من الاستقطاب سوف تتلاشى عند تردد لا يتجاوز (10KHz) ثم بعدها يلاحظ الهبوط الحاد لثابت العزل الحقيقي حيث لا تستطيع ثنائيات الاقطاب اللحاق بتغيرات المجال الكهربائي المسلط وكذلك فانه عند الترددات العالية فان ثابت العزل الحقيقي يظهر القيم نفسها حيث ان ثابت الزمن للإشارة المطبقة يصبح اقل بكثير من ثابت الزمن لاستقطاب الدايبولات لذا تظهر المادة بأقل استقطاب. حيث يعزى استقرار قيم ثابت العزل عند الترددات العالية الى زوال تاثير كل من الاستقطاب الاتجاهي والأيوني واقتصار الاستقطاب الكلي على الاستقطاب الالكتروني الذي لا يتغير مع التردد.



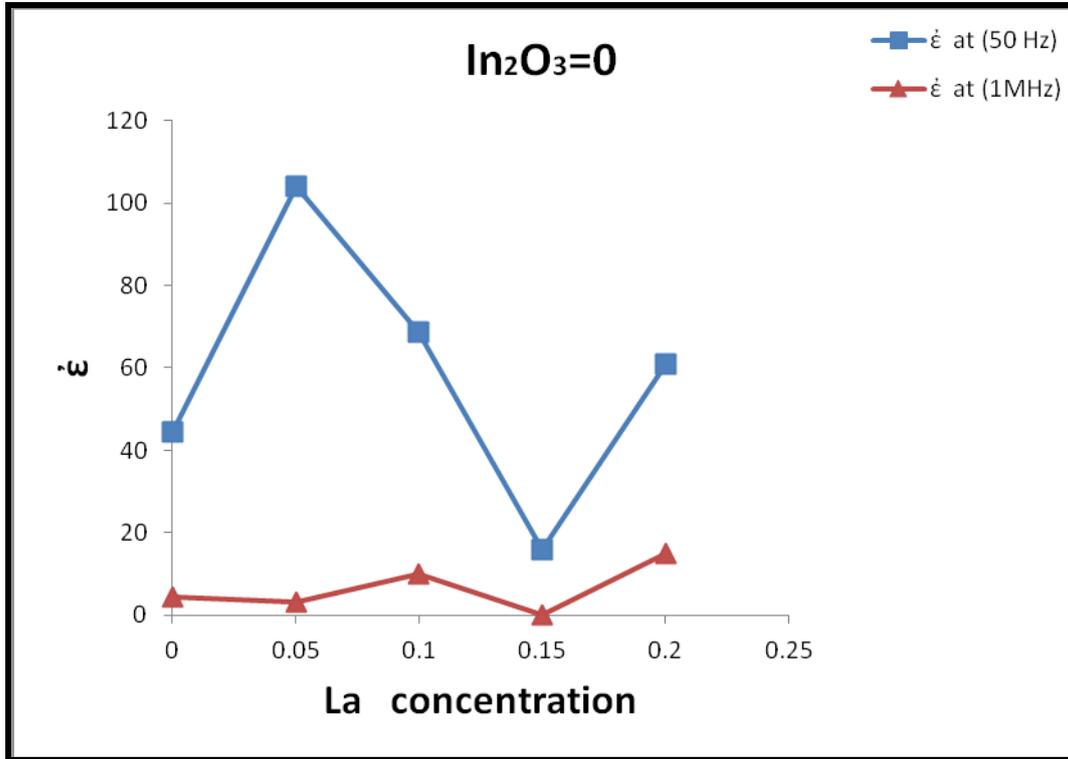
الشكل (4-44) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة للتردد لعينات المجموعة (A).

الجدول (4-13) قيم ثابت العزل الحقيقي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (A).

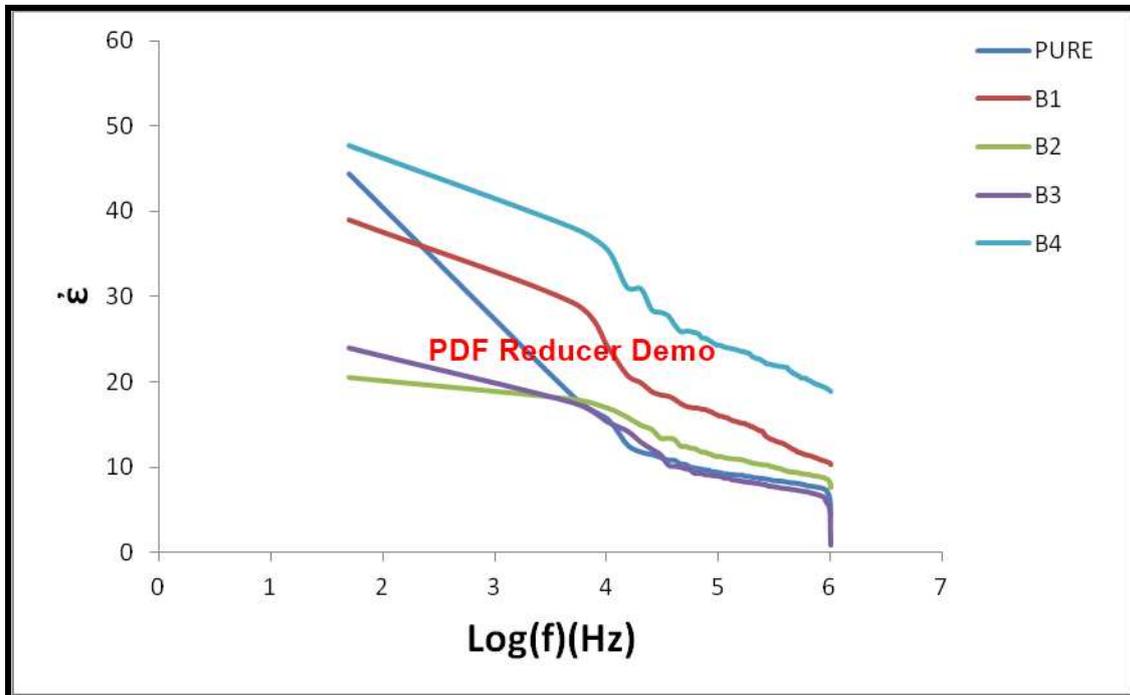
MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	Ġ at (50 Hz)	Ġ at (1MHz)
O	0	0	44.3503	4.460842
A1	0	0.05	104.1053	3.32147
A2	0	0.1	68.75839	9.969745
A3	0	0.15	15.98294	0.004834
A4	0	0.2	60.98751	15.03987

ومن خلال الجدول (4-13) الذي يوضح قيم ثابت العزل الحقيقي لعينات المجموعة (A) عند كل من التردد (50Hz) و (1MHz) حيث نلاحظ انه في حالة التردد (50Hz) ان قيم ثابت العزل الحقيقي تكون ذات قيم عالية مقارنة بالعينة النقية و تنخفض بزيادة نسب اضافة اللانثانيوم، حيث ان هذه القيم العالية ممكن ان تكون بسبب النسب العالية من الشوائب والاطوار المتعددة والذي يتفق مع تحليل نتائج (XRD)، وكذلك ممكن ان تكون بسبب الزيادة في تقارب الحبيبات وزيادة مساحة الاتصال بينها والانتشار والزيادة في التفاعل الكيميائي بين الشوائب والمادة الام بالاضافة الى انه عند الترددات الواطئة فان جميع آليات الاستقطاب تعمل مما يؤدي الى زيادة الاستقطابية وبالتالي زيادة ثابت العزل الحقيقي، في حين انه في التردد (1MHz) نلاحظ تغيرات عشوائية في قيم ثابت العزل الحقيقي حيث نلاحظ وجود اختلاف وعدم استقرارية في قيمة ثابت العزل الحقيقي بزيادة نسبة اللانثانيوم وكما موضح في الشكل (4-45) مع ملاحظة ان قيم ثابت العزل الحقيقي عند التردد (50Hz) تكون اكبر من قيمته عند التردد (1MHz) ولنفس النسبة من اللانثانيوم، [36] ويرجع السبب في هذا السلوك الى تغير طبيعة المادة والتغير في نسب الأطوار المتكونة من الشوائب ومدى تكون العيوب في المادة، حيث ان التباين في قيمة ثابت العزل الحقيقي عند الترددات العالية بزيادة نسبة اللانثانيوم سببه هو النقصان في آليات الاستقطاب المشاركة حيث ان زيادة نسبة اللانثانيوم تعمل

على زيادة عدد الشحنات والفجوات داخل العينة التي تعمل على التباين في تأثير آليات الاستقطاب وبالتالي تباين قيم ثابت العزل الكهربائي.



الشكل (4-45) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (A).

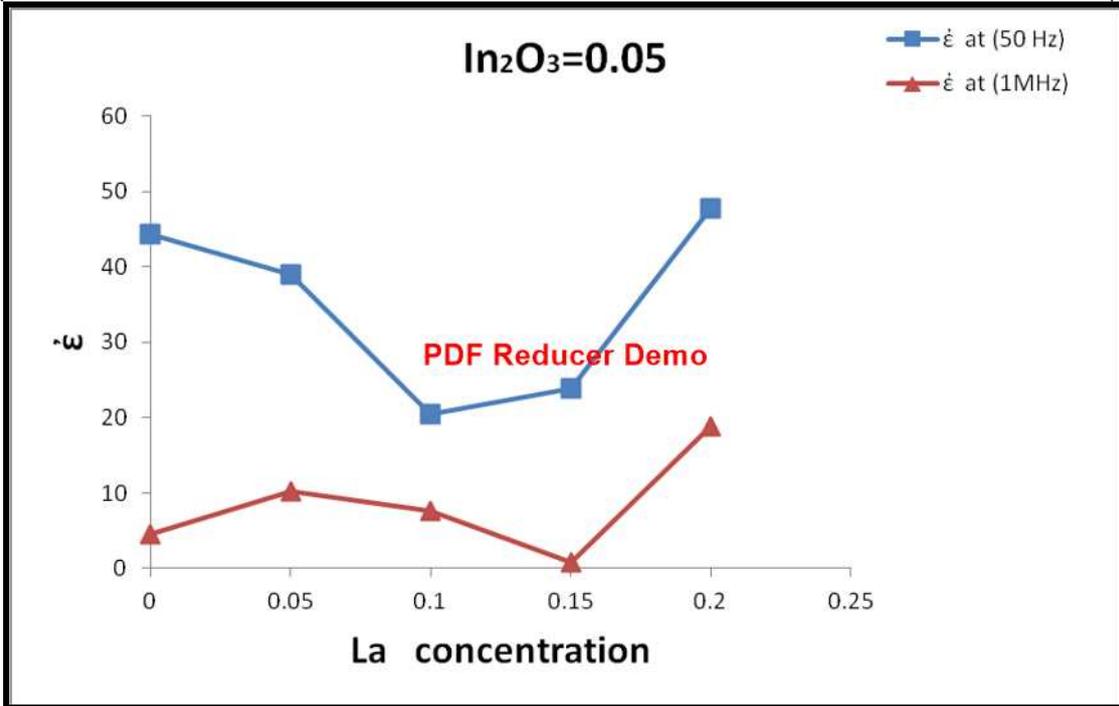


الشكل (4-46) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة للتردد لعينات المجموعة (B).

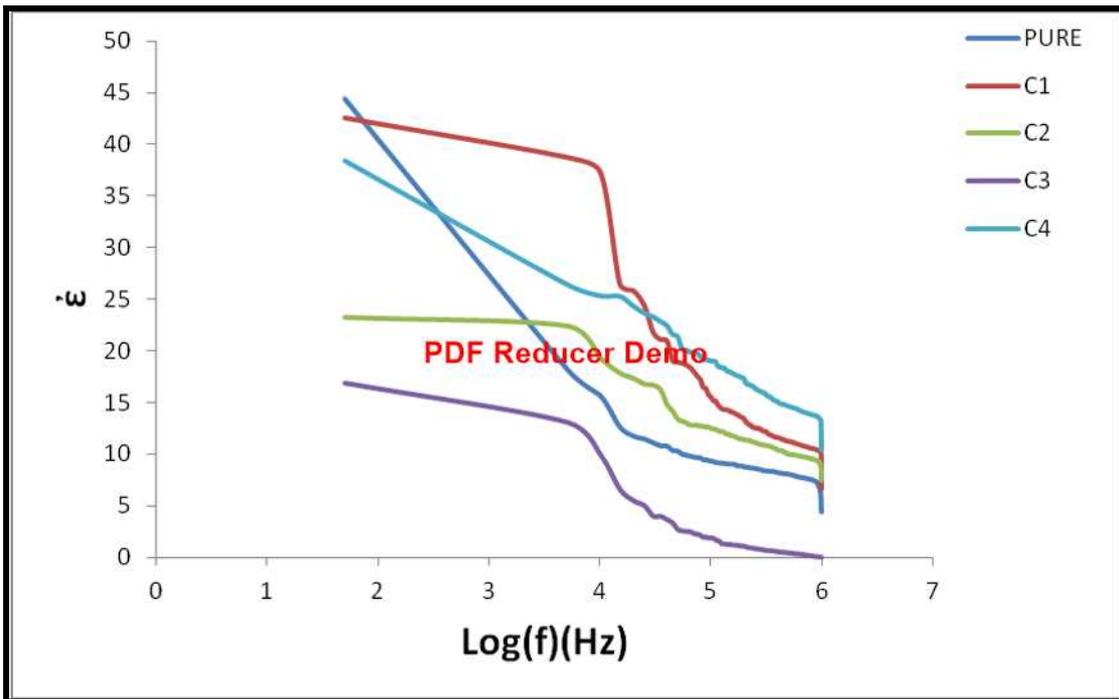
الجدول (4-14) قيم ثابت العزل الحقيقي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (B).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	Ġ at (50 Hz)	Ġ at (1MHz)
O	0	0	44.3503	4.460842
B1	0.05	0.05	38.96217	10.30366
B2	0.05	0.1	20.48739	7.640061
B3	0.05	0.15	23.92197	0.82774
B4	0.05	0.2	47.73134	18.82448

ومن الجدول (4-14) نلاحظ انخفاضاً في قيم ثابت العزل الحقيقي في عينات المجموعة (B) بصورة كبيرة وملحوظة عما هو كان عليه في عينات المجموعة (A) وعند تردد (50Hz)، حيث حصل اختلاف في تركيب العينة بسبب دخول عنصر آخر في عملية الاستبدال وهو الانديوم بدلاً من البزموت ونسبة (0.05) حيث نلاحظ أنه عند نسبة الانديوم هذه وبزيادة نسبة اللانثانيوم ان ثابت العزل الحقيقي عند التردد (50Hz) قد تناقص عما هو عليه في العينة النقية لكل من العينات (B1, B2, B3) أما العينة (B4) فقد كان ثابت العزل فيها أكبر مما في العينة النقية، ان التباين في قيمة ثابت العزل الحقيقي مع زيادة نسبة الاستبدال ممكن ان يعزى او يوضح على اساس الانتقال ضمن الحبيبات والذي يؤدي الى زيادة المناطق العازلة بالقرب من الحدود الحبيبية والتي معظمها تحدث بوساطة الفصل بينها [216]، اما بالنسبة للتردد (1MHz) فاننا نلاحظ زيادة في ثابت العزل مقارنة بالعينة النقية بالنسبة للعينات (B1, B2, B4) في حين نلاحظ انخفاضاً شديداً في قيمته بالنسبة للعينة (B3) مقارنة بالعينة النقية، وممكن ان يعزى هذا الاختلاف في قيمة ثابت العزل الى وجود الانديوم في التركيب البلوري حيث ان وجود الانديوم في التركيب البلوري يسبب زيادة في الاستقطاب ولذلك تحدث زيادة في ثابت العزل [9] وكما موضح في الشكل (4-47).



الشكل (4-47) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (B).

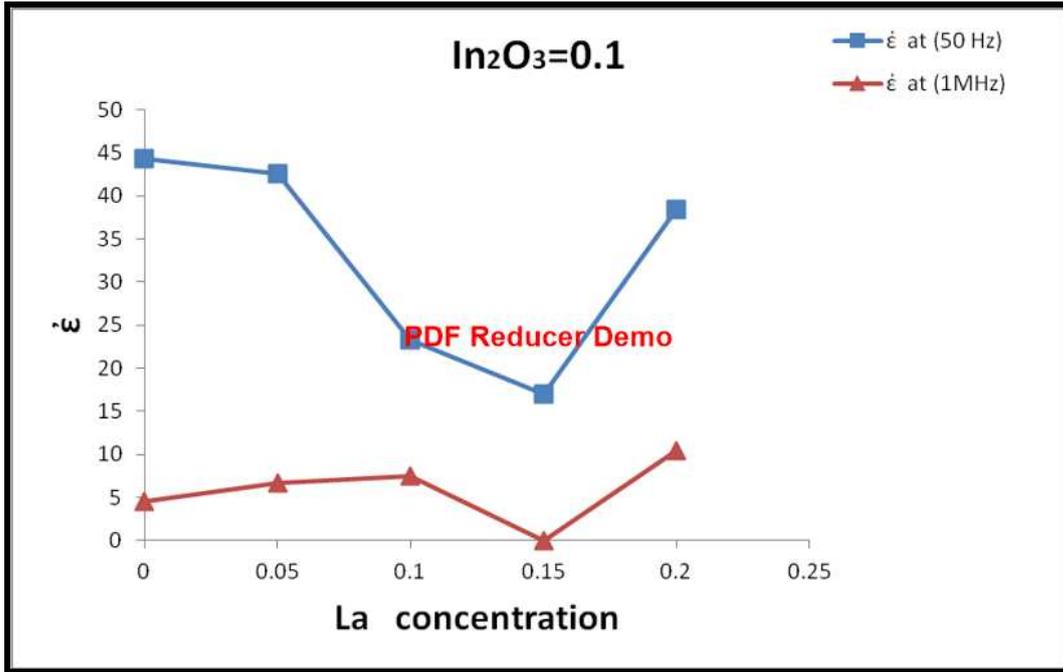


الشكل (4-48) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة للتردد لعينات المجموعة (C).

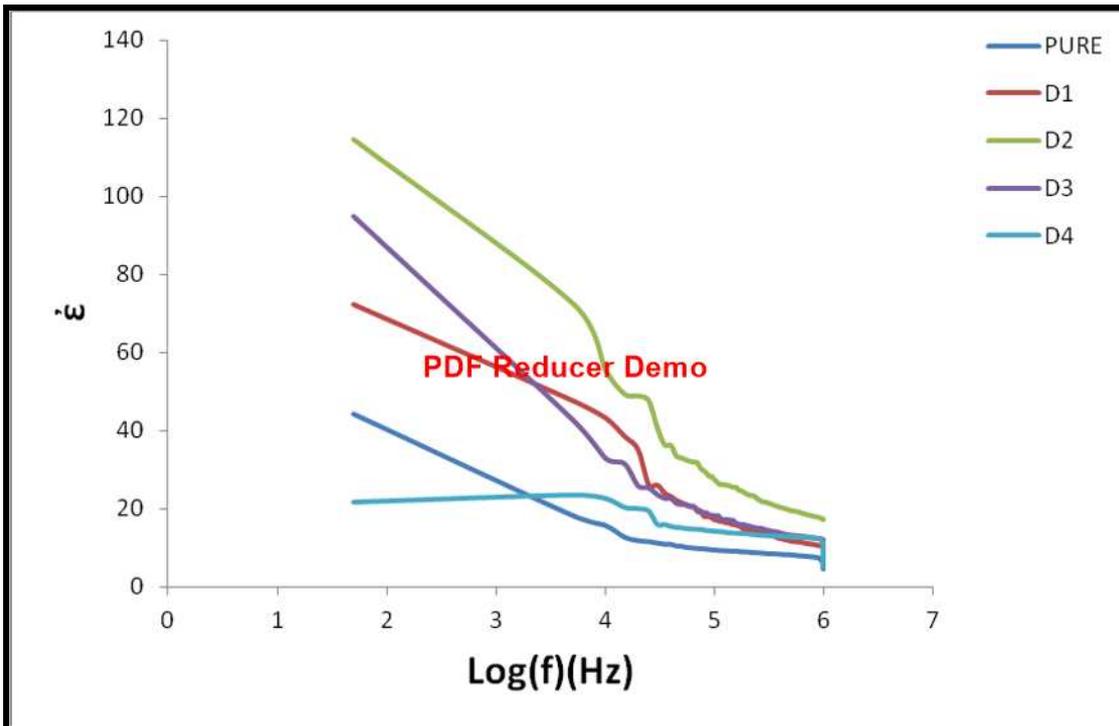
الجدول (4-15) قيم ثابت العزل الحقيقي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (C).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	ε̇ at (50 Hz)	ε̇ at (1MHz)
O	0	0	44.3503	4.460842
C1	0.1	0.05	42.53942	6.602335
C2	0.1	0.1	23.29156	7.448492
C3	0.1	0.15	16.9177	0.006522
C4	0.1	0.2	38.38332	10.42357

ومن الجدول (4-15) نلاحظ انه عند التردد (50Hz) حصول انخفاض في قيم ثابت العزل الحقيقي في عينات المجموعة (C) بصورة ملحوظة مقارنة بالعينة النقية، والسبب يعود هنا الى الزيادة في نسبة استبدال الانديوم والذي من الممكن ان يعمل على تعديل التركيب وتجانسه وإمكانية نقصان العيوب داخل المادة التي تخفض كثيرا من حدوث الية الاستقطاب البيئي التي لها الاثر الاكبر في المواد السيراميكية، اما في التردد (1MHz) فأنا نلاحظ زيادة في قيم ثابت العزل الحقيقي مقارنة بالعينة النقية ما عدا العينة (C3) والتي نلاحظ فيها تناقصا في قيمة ثابت العزل وذلك بسبب الغاء عمل بعض اليات الاستقطاب. وكما موضح في الشكل (4-49). و كذلك ممكن ان يرجع هذا التباين في قيمة ثابت العزل الى اختلاف نقاط الاتصال بين الاقطاب المعدنية ومستويات فيرمي للعينات السيراميكية حيث ان المعادن تمتلك مستوى فيرمي اعلى من المواد السيراميكية والذي يؤدي الى سريان الشحنات من العينات السيراميكية باتجاه الاقطاب المعدنية [217].



الشكل (4-49) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (C).

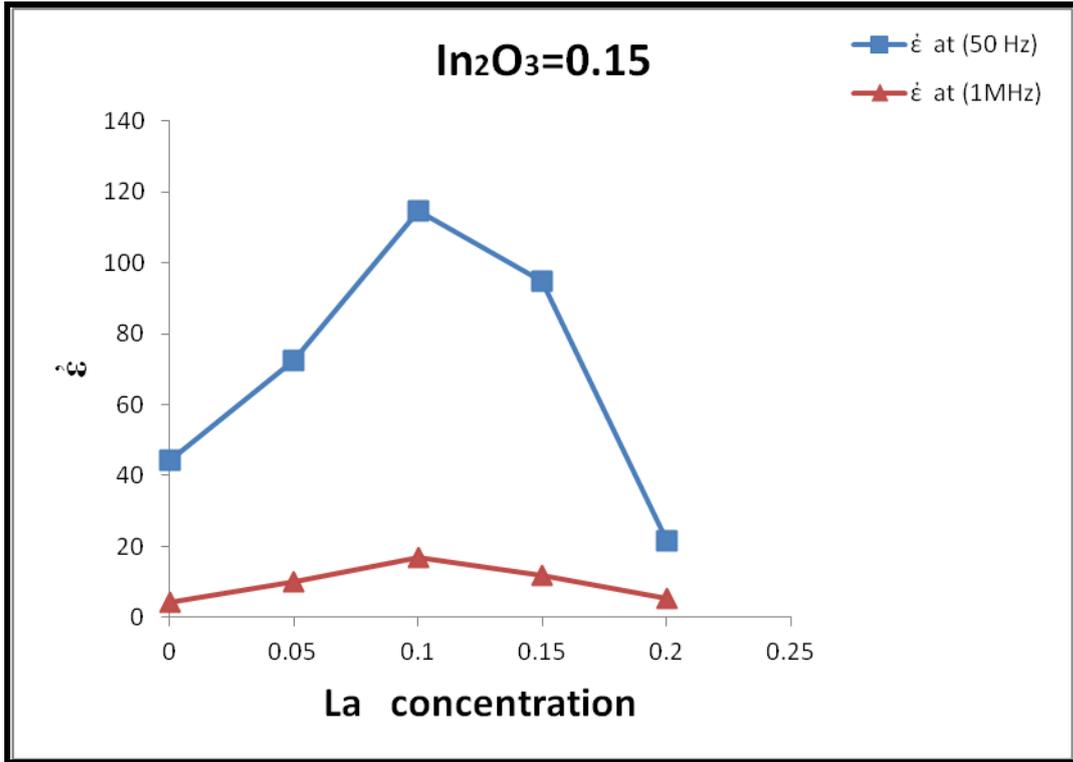


الشكل (4-50) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة للتردد لعينات المجموعة (D).

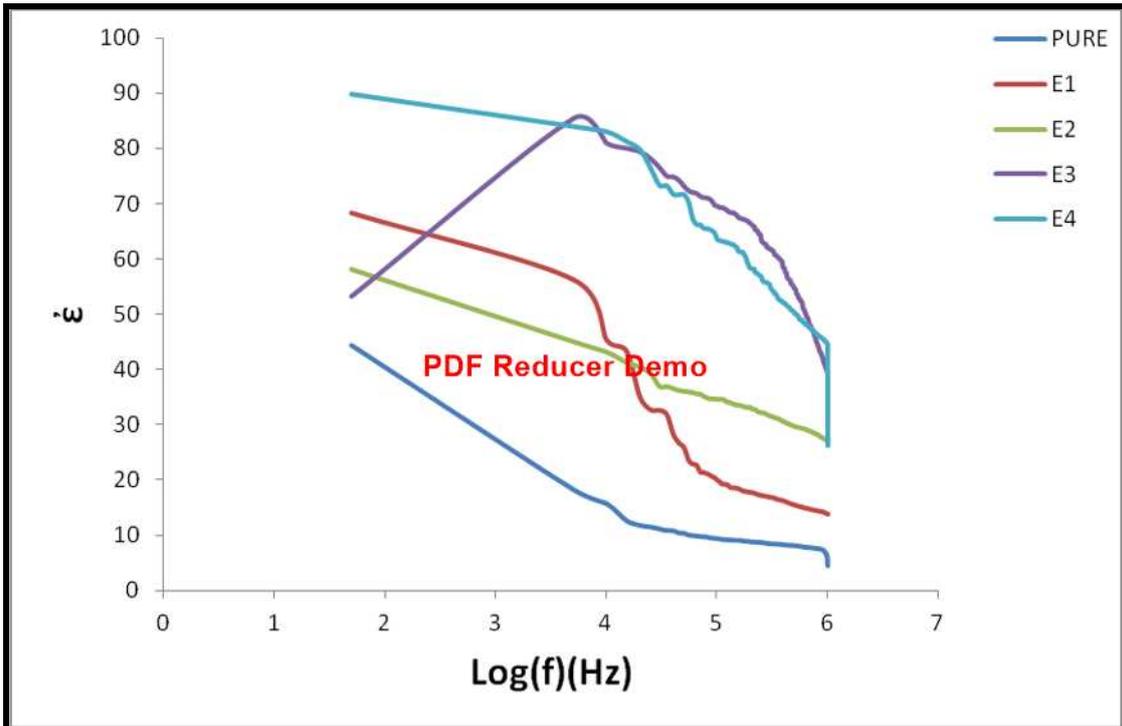
الجدول (4-16) قيم ثابت العزل الحقيقي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (D).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	ε at (50 Hz)	ε at (1MHz)
O	0	0	44.3503	4.460842
D1	0.15	0.05	72.43098	10.09757
D2	0.15	0.1	114.484	17.05422
D3	0.15	0.15	94.90428	11.95528
D4	0.15	0.2	21.66186	5.210014

ومن خلال الجدول (4-16) نلاحظ زيادة في قيم ثابت العزل الحقيقي في عينات المجموعة (D) وخصوصا في العينات (D1,D2,D3) بصورة ملحوظة وكبيرة بينما تناقص قيمته في العينة (D4) مقارنة بالعينة النقية، والسبب يعود هنا الى الزيادة في نسبة استبدال الانديوم والذي من الممكن ان تعمل على تشويه التركيب البلوري وتوليد الاطوار الثانوية والشوائب بالإضافة الى تأثير وجود المسامات والتي تعمل على تشكيل اواصر مختلفة في العينات المطعمة والتي تؤدي الى زيادة تاثير آلية الاستقطاب البيني، وبالتالي زيادة ثابت العزل الحقيقي للمادة، اما القيمة الواطئة في ثابت العزل الكهربائي فممكن ان يعزى الى الاختلافات في الكهرسلبية لعناصر الاستبدال ومكونات العينة [9]، ومن جانب اخر الزيادة في نسبة اللانثانيوم والمتزامنة مع الزيادة في نسبة الانديوم اللتين تؤديان بالنتيجة الى زيادة بتركيز الشحنات والفجوات داخل العينات والذي نلاحظه عند التردد (50Hz) من خلال زيادة في قيم ثابت العزل الحقيقي، اما في التردد (1MHz) فأنا نلاحظ زيادة في قيم ثابت العزل الحقيقي مقارنة بالعينة النقية، والذي يكون بسبب التحسن في الاستقطابية الناتج عن التناقص في الاهتزازات الحرارية للذرات [34]. وكما موضح في الشكل (4-51).



الشكل (4-51) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (D).



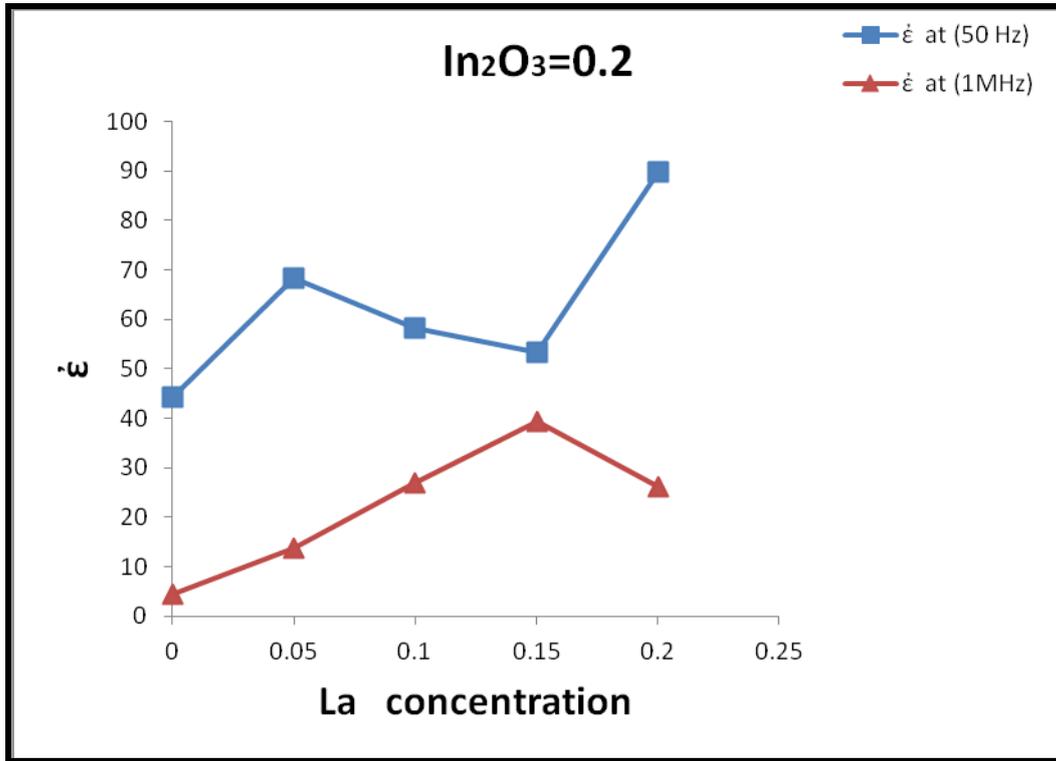
الشكل (4-52) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة للتردد لعينات المجموعة (E).

الجدول(4-17) قيم ثابت العزل الحقيقي عند تردد(50Hz) و(1MHz) للمجموعة (E).

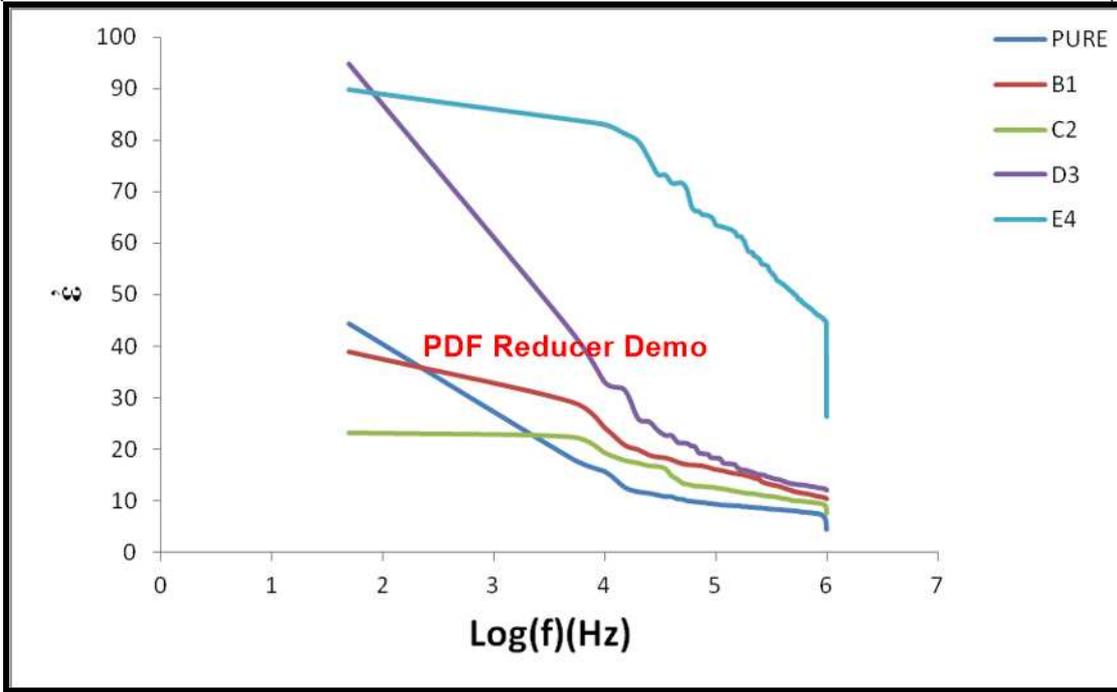
MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	Ē at (50 Hz)	Ē at (1MHz)
O	0	0	44.3503	4.460842
E1	0.2	0.05	68.2706	13.69788
E2	0.2	0.1	58.16976	26.97409
E3	0.2	0.15	53.3057	39.37079
E4	0.2	0.2	89.73508	26.24217

ومن خلال الجدول(4-17) نلاحظ زيادة في قيم ثابت العزل الحقيقي لكل من الترددات(50Hz,1MHz) في عينات المجموعة (E) بصورة ملحوظة مقارنة بالعينة النقية، والسبب يعود هنا الى الزيادة في نسبة استبدال الانديوم(0.2)، مع ملاحظة ان هذه الزيادة تتباين وتختلف قيمها بزيادة تركيز اللانثانيوم حيث ان الزيادة في نسبة الانديوم تسبب زيادة في ثابت العزل عموما بسبب زيادة الاستقطاب[9]، اما التباين في القيم فانه من الواضح جدا ان السبب هو زيادة تركيز اللانثانيوم حيث ممكن ان يعزى هذا الاختلاف في قيم ثابت العزل الى تغير طبيعة المادة ضمن المستويات الموصلة والتحويل الذي يحدث في حاملات الشحنة فيها[34]. كذلك فان الزيادة في تركيز الانديوم من الممكن ان تعمل على تعديل التركيب البلوري بعض الشيء واختزال بعض العيوب والأطوار الثانوية والشوائب، وكذلك المسامات والتي ممكن ان تقلل من تاثير الية الاستقطاب البيني، وبالتالي خفض قيمة ثابت العزل الحقيقي للمادة عما هو عليه في عينات المجموعة(D)، من جانب آخر ان الزيادة في نسبة اللانثانيوم والمتزامنة مع الزيادة في نسبة الانديوم تؤدي بالنتيجة الى زيادة بتركيز الشحنات والفجوات داخل العينات والذي نلاحظه عند التردد(50Hz) من زيادة في قيم ثابت العزل الحقيقي. اما في التردد(1MHz) فأنا نلاحظ انخفاضا في قيم ثابت العزل الحقيقي عما هو عليه في التردد(50Hz) وذلك بسبب الغاء عمل بعض اليات الاستقطاب. وكما موضح في الشكل(4-53). ونلاحظ في هذه المجموعة السلوكية الشاذة للعينة (E3) حيث نلاحظ الزيادة في ثابت العزل الحقيقي بزيادة التردد لحد المدى تقريبا بحدود (5KHz) ثم بعد ذلك يرجع الى السلوك الاعتيادي وهو النقصان

بزيادة التردد ويمكن ان يكون هذا السلوك بسبب ان جميع اليات الاستقطاب عملت سويا وبالطريقة المثلى مما ادى الى زيادة في قيمة ثابت العزل وبعدها حصلت حالة الاسترخاء للدايبولات وبدأت تنخفض اليات الاستقطاب العاملة شيئاً فشيئاً وبالتالى نقصان في ثابت العزل الحقيقي بزيادة التردد ويمكن ان تكون هذه الحالة في سلوكيات الاستقطاب تعود الى خلو العينة من الشوائب الذي يعطي مدى ومجالاً اوسع للثنائيات للدوران بحرية وللحاق بالمجال من دون اي معرقل.



الشكل (4-53) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة لتغير تركيز اللانثانايوم (La) لعينات المجموعة (E).



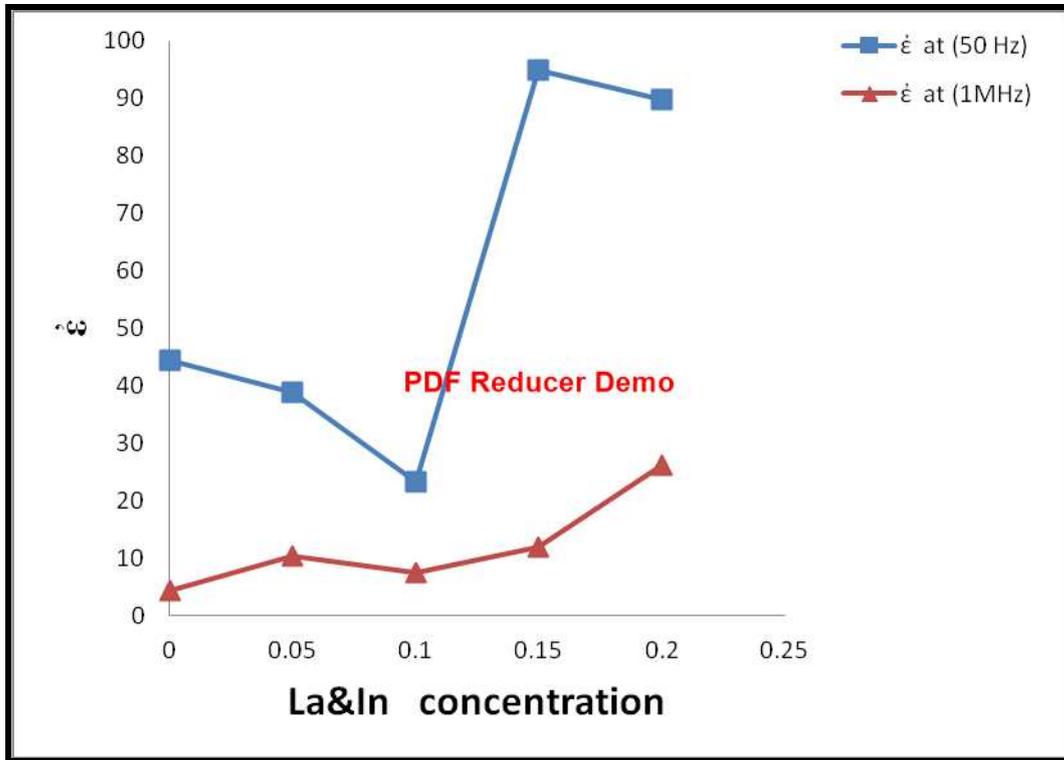
الشكل (54-4) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة للتردد لعينات مجموعة التوازن.

الجدول (18-4) قيم ثابت العزل الحقيقي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة التوازن.

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	Ġ at (50 Hz)	Ġ at (1MHz)
O	0	0	44.3503	4.460842
B1	0.05	0.05	38.96217	10.30366
C2	0.1	0.1	23.29156	7.448492
D3	0.15	0.15	94.90428	11.95528
E4	0.2	0.2	89.73508	26.24217

ومن خلال الجدول (18-4) نلاحظ ان هناك اختلافا في قيم ثابت العزل الحقيقي في عينات مجموعة التوازن بصورة ملحوظة مقارنة بالعينة النقية، حيث نلاحظ انخفاضا في قيمة ثابت العزل الحقيقي لكل من العينات (B1,C2) والتي تمتاز بنسب استبدال واطئة لكل من الانديوم واللانثانيوم في حين تظهر الزيادة الكبيرة والواضحة في العينات (D3,E4) التي تمتاز بنسب استبدال عالية لكل من الانديوم واللانثانيوم، والسبب يعود هنا الى ان الزيادة المفرطة في نسبة الاستبدال من الممكن ان تعمل على تشويه التركيب البلوري وتوليد الاطوار الثانوية والشوائب وهذا يتفق مع فحوصات (XRD) بالإضافة الى تأثير وجود المسامات والتي تعمل جميعها على

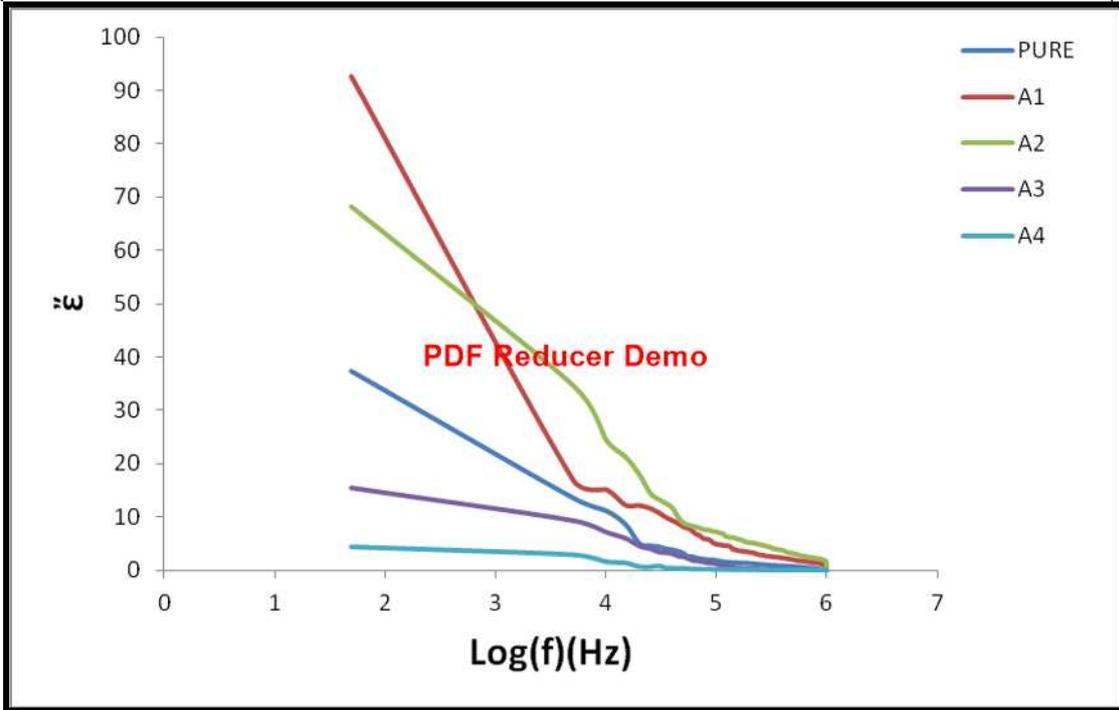
زيادة تأثير الية الاستقطاب البيئي، لذا تحدث زيادة ثابت العزل الحقيقي للمادة، بالإضافة الى ان الزيادة في نسبة اللانثانيوم والمتزامنة مع الزيادة في نسبة الانديوم وبنفس النسبة تؤدي بالنتيجة الى زيادة بتركيز الشحنات والفجوات داخل العينات والذي نلاحظه عند التردد (50Hz) من زيادة في قيم ثابت العزل الحقيقي. اما في التردد (1MHz) فأنا نلاحظ زيادة في قيمة ثابت العزل مقارنة بالعينة النقية و انخفاضاً في قيم ثابت العزل الحقيقي بزيادة التردد، وذلك بسبب الغاء عمل بعض اليات الاستقطاب. وكما موضح في الشكل (4-55).



الشكل (4-55) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة لتغير تركيز (La&In) لعينات مجموعة التوازن.

2-3-2-4 ثابت العزل الخيالي:

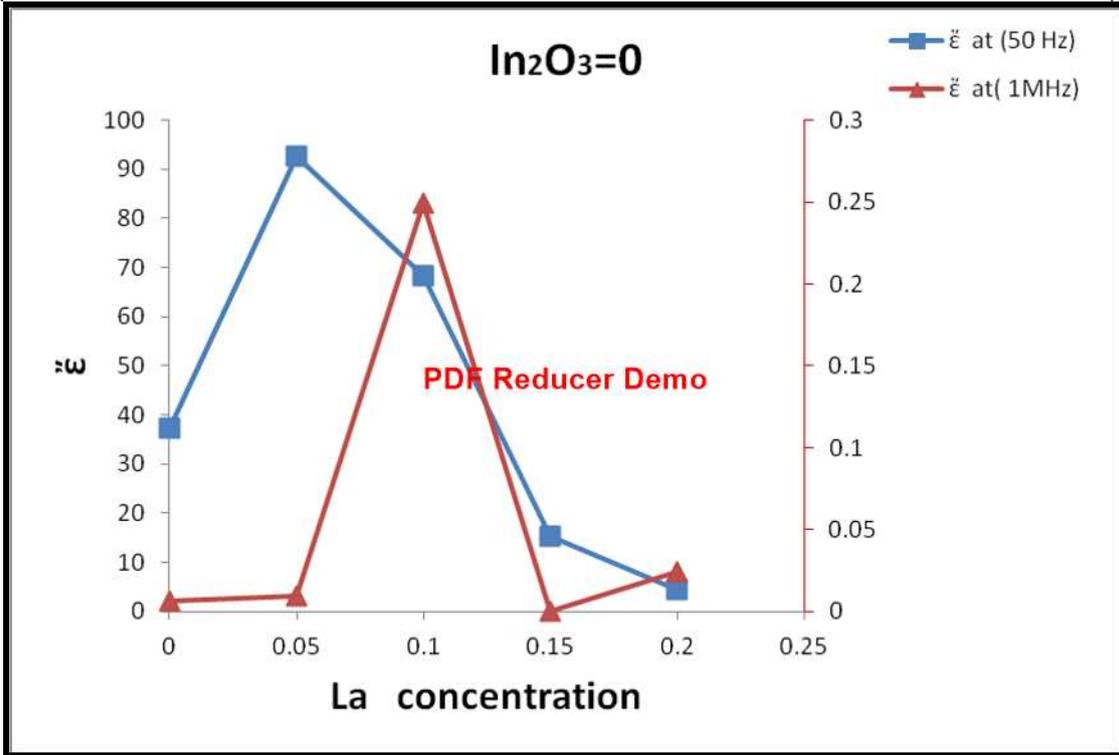
ان الجزء الخيالي من ثابت العزل الكهربائي يشير الى امتصاص الطاقة وتشتيتها عند الفواصل (الحدود الحبيبية والعيوب الموضعية وتكدس الشحنات الموضعي، وكذلك العيوب البلورية) تحت تأثير المجال الكهربائي المتناوب، وانه يتناقص بزيادة التردد الذي يعزى ايضا الى اليات الاستقطاب وتوزيعها داخل العينة كما هو واضح في كل من الاشكال (4-56,58,60,62,64) التي تمثل سلوك الجزء الخيالي من ثابت العزل كدالة للتردد لعينات المجاميع (A,B,C,D,E) ومجموعة التوازن على التوالي، ويلاحظ انه بثبوت التردد ان الزيادة في قيم ثابت العزل الخيالي مقارنة بالعينة النقية ممكن ان يعزى الى الزيادة في اعداد ثنائيات الاقطاب بسبب عملية الاستبدال التي تؤدي الى زيادة الطاقة المفقودة من جراء دوران ثنائيات الاقطاب واحتكاكها مع بعضها، و اما الانخفاض في قيمة ثابت العزل الخيالي فتعزى الى ان حركة حاملات الشحنة وبسبب كثرة عددها خلال المادة ممكن ان تتباطأ عندما تلاقي اي طور في المادة وبسبب وجود وتعدد هذه الاطوار في المادة فمن الممكن ان تؤدي الى تناقص الطاقة الممتصة او المتشتتة، ولذلك يحدث تناقصا في قيمة ثابت العزل الخيالي [36]. والموضح قيمها في الجداول (4-19,20,21,22,23,24) التي تمثل قيم ثابت العزل الخيالي كدالة لتغير تركيز كل من الانديوم واللانثانيوم عند الترددات (50HZ) و(1MHz) لعينات المجموعة (A,B,C,D,E) ومجموعة التوازن التي وضحت بالأشكال (4-57,59,61,63,65,67) على التوالي.



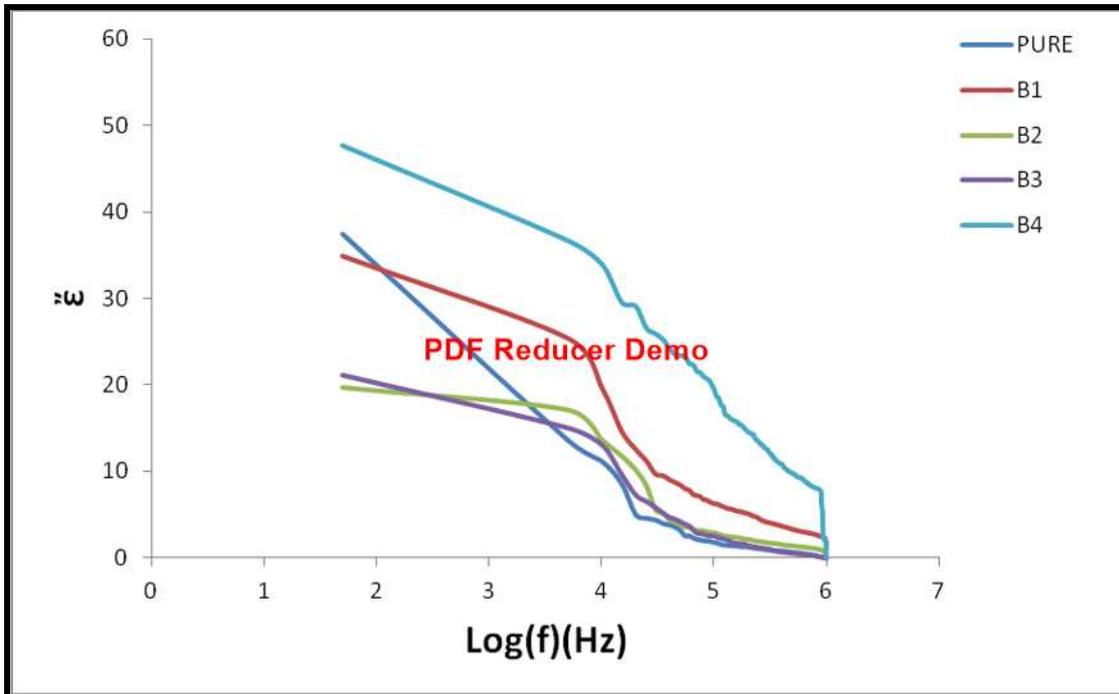
الشكل (56-4) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة للتردد لعينات المجموعة (A).

الجدول (19-4) قيم ثابت العزل الخيالي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (A).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	ξ at (50 Hz)	ξ at(1MHz)
O	0	0	37.39617	0.006245
A1	0	0.05	92.68498	0.0093
A2	0	0.1	68.34584	0.249244
A3	0	0.15	15.39157	2.27*10 ⁻⁵
A4	0	0.2	4.370365	0.02456



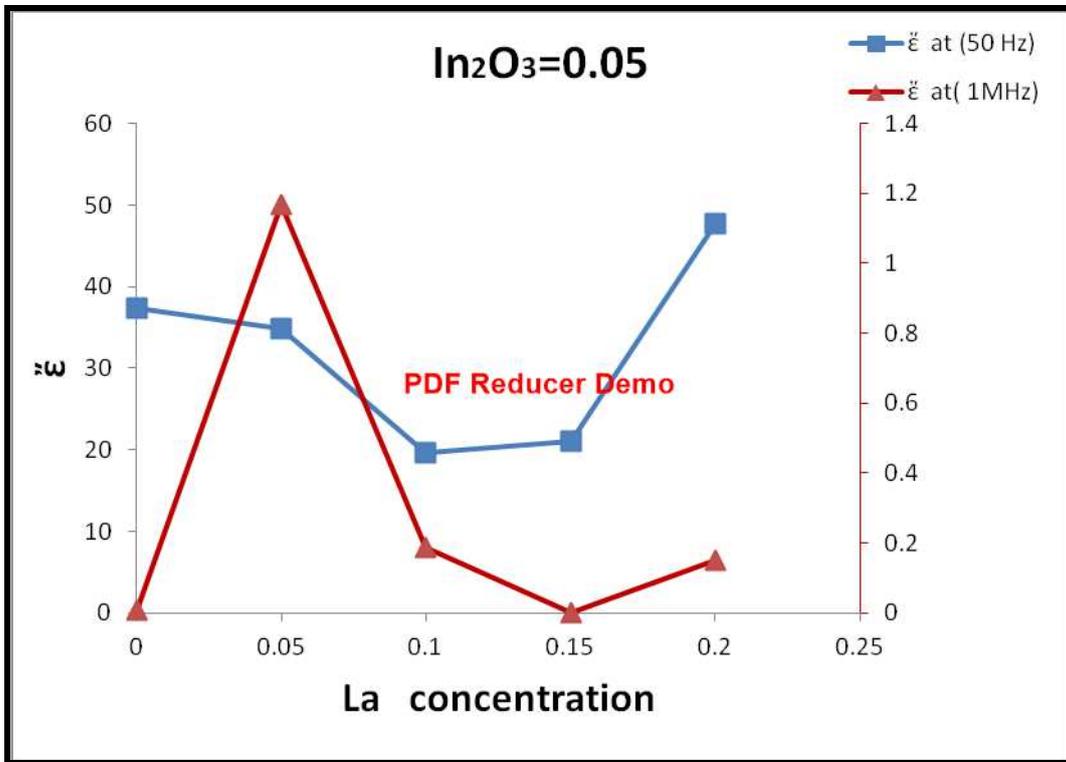
الشكل (4-57) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (A).



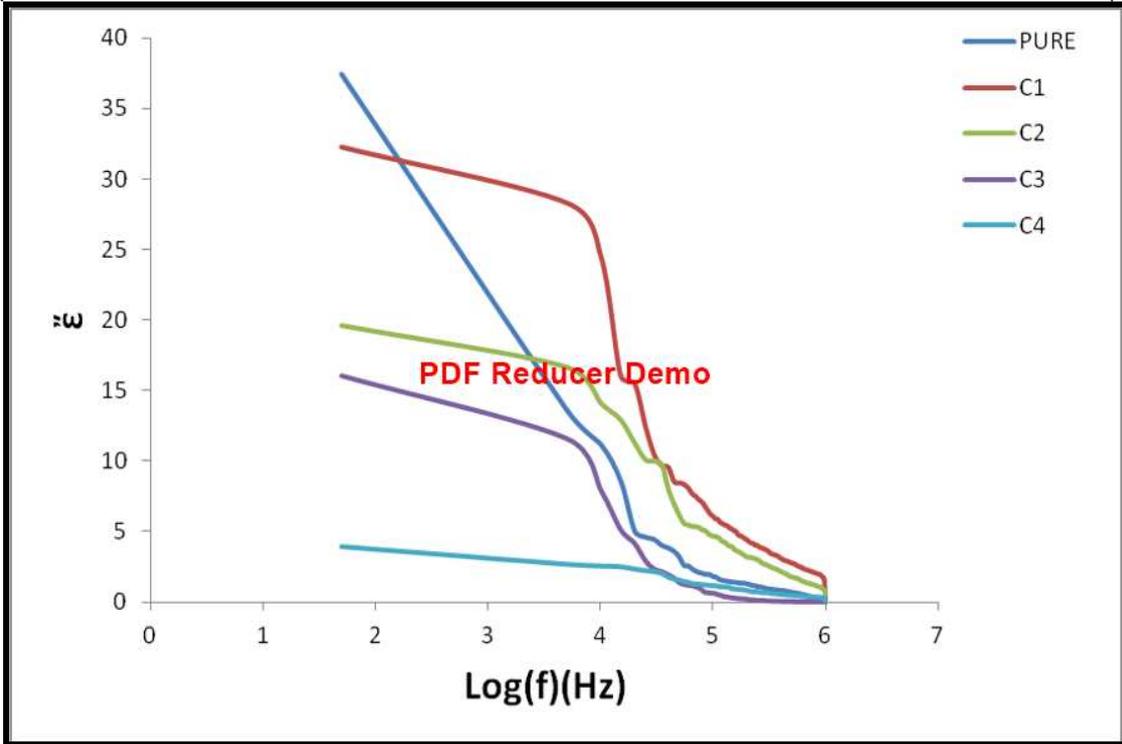
الشكل (4-58) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة للتردد لعينات المجموعة (B).

الجدول (4-20) قيم ثابت العزل الخيالي عند تردد (50Hz) و(1MHz) للمجموعة (B).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	ε̳ at (50 Hz)	ε̳ at(1MHz)
O	0	0	37.39617	0.006245
B1	0.05	0.05	34.82438	1.166375
B2	0.05	0.1	19.67609	0.187182
B3	0.05	0.15	21.05134	0.001897
B4	0.05	0.2	47.65019	0.150596



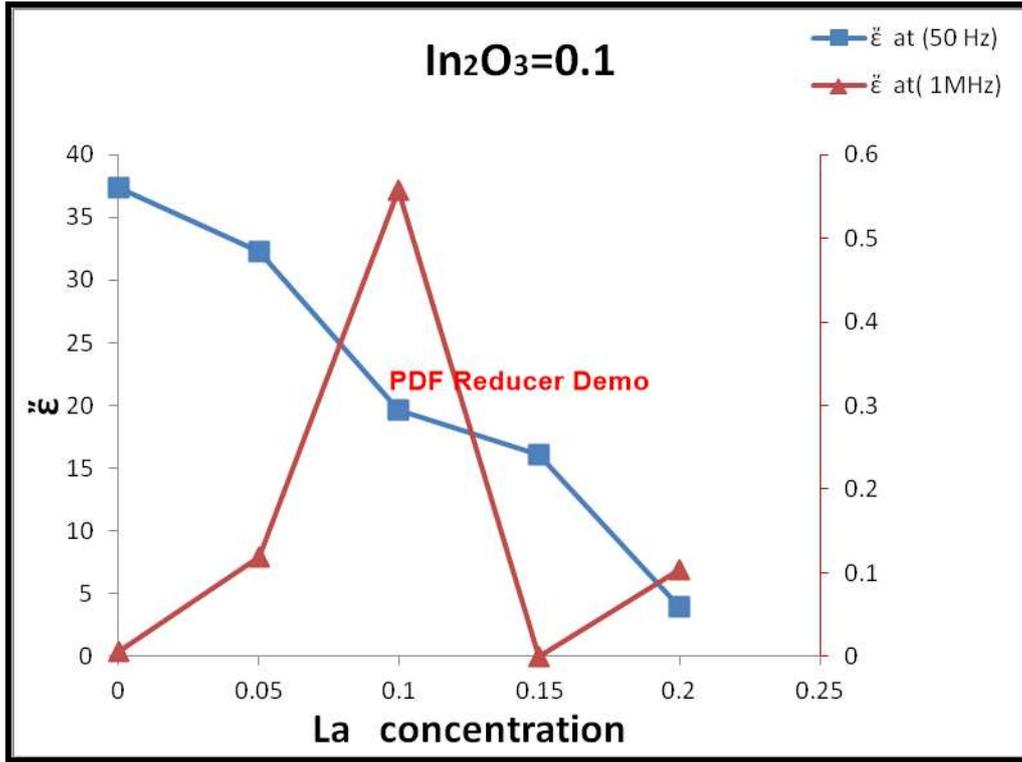
الشكل (4-59) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (B).



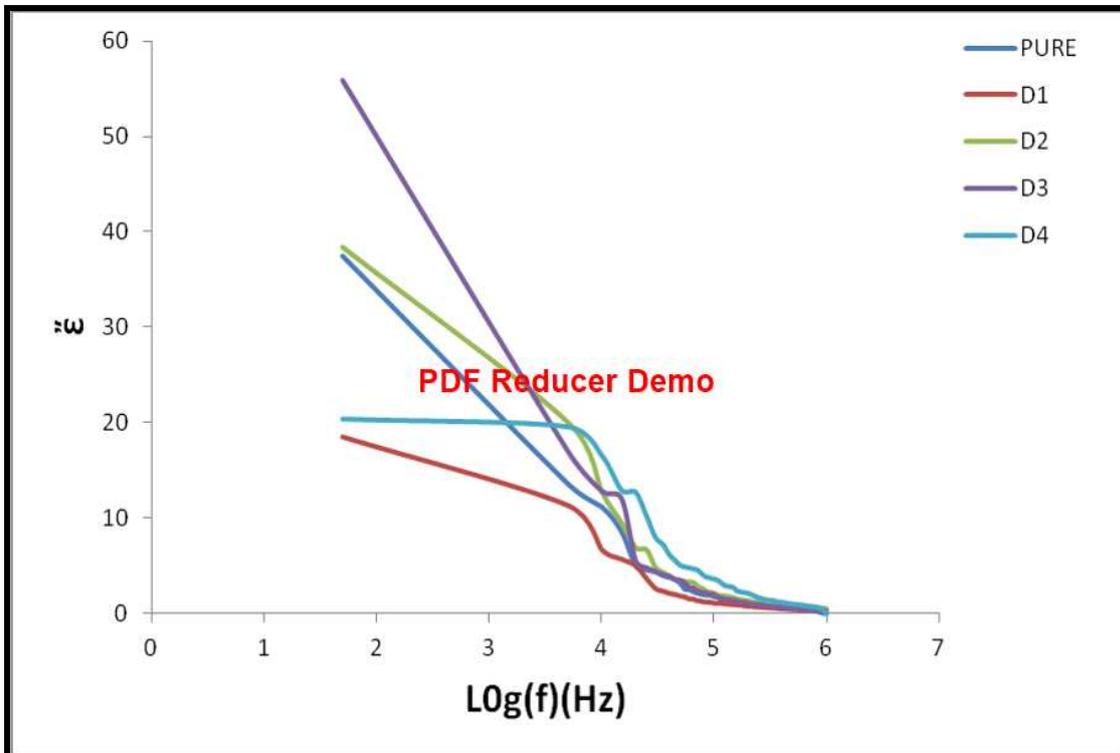
الشكل (60-4) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة للتردد لعينات المجموعة (C).

الجدول (21-4) قيم ثابت العزل الخيالي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (C).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	ε'' at (50 Hz)	ε'' at (1MHz)
O	0	0	37.39617	0.006245
C1	0.1	0.05	32.2704	0.118842
C2	0.1	0.1	19.63945	0.557147
C3	0.1	0.15	16.08873	5.02*10 ⁻⁶
C4	0.1	0.2	3.953482	0.104236



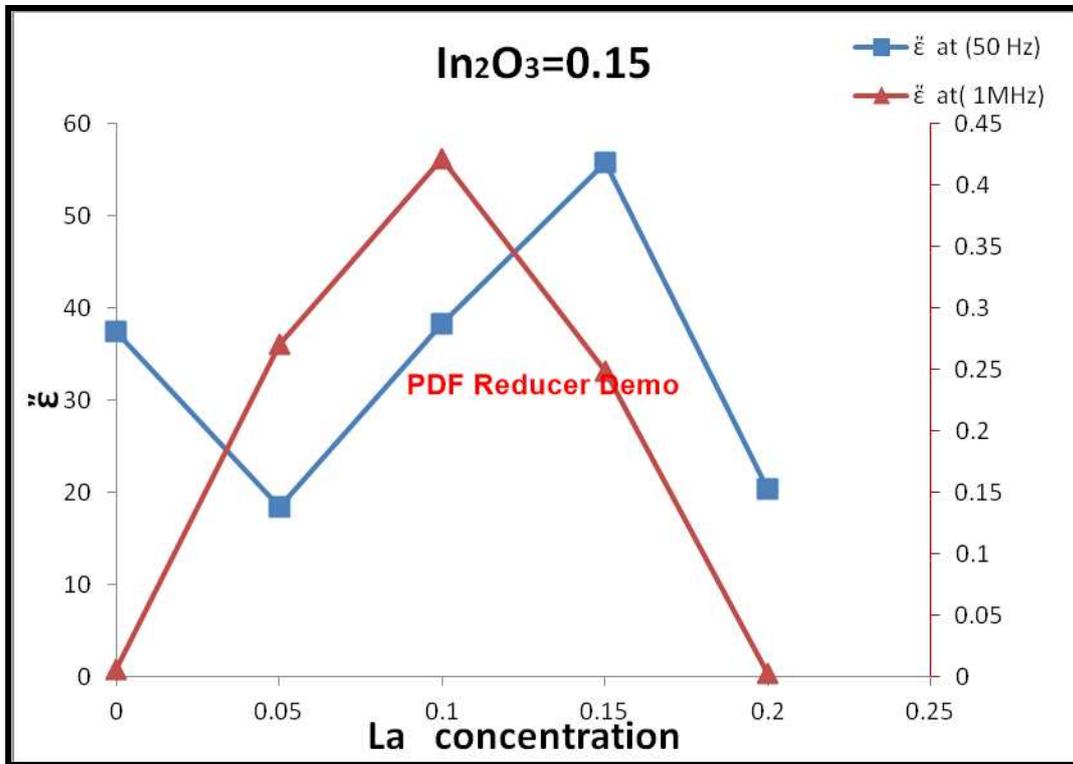
الشكل (4-61) تغيير ثابت العزل الخيالي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (C).



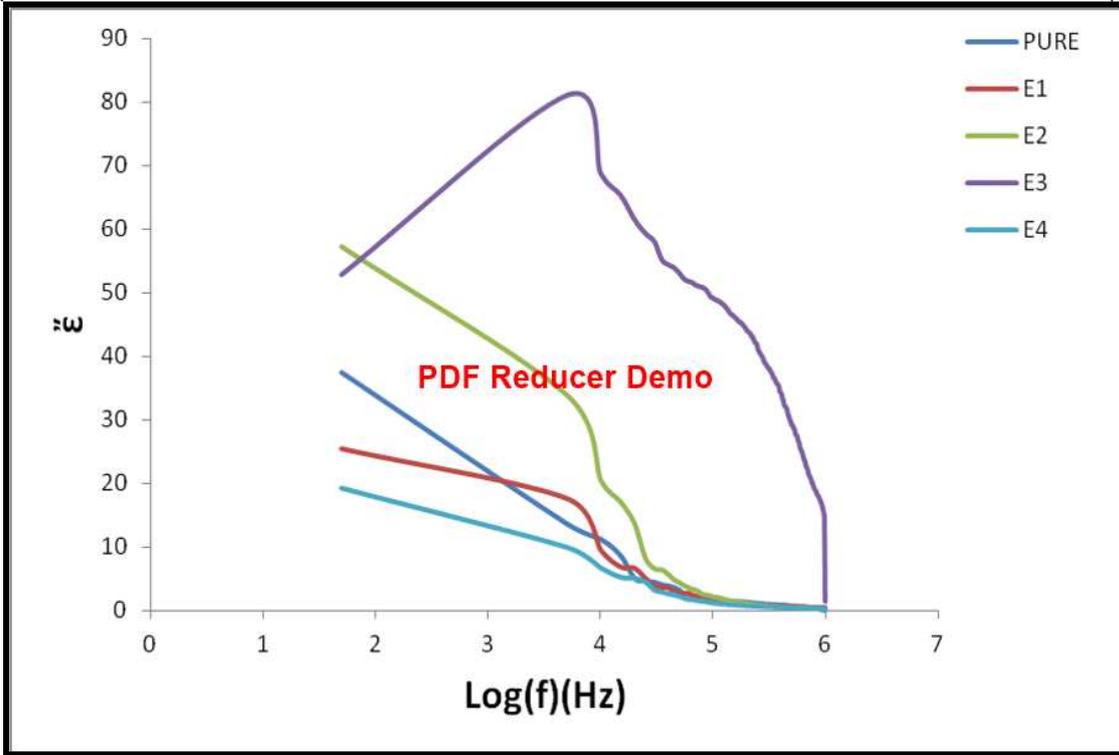
الشكل (4-62) تغيير ثابت العزل الخيالي كدالة للتردد لعينات المجموعة (D).

الجدول (4-22) قيم ثابت العزل الخيالي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (D).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	ε' at (50 Hz)	ε' at (1MHz)
O	0	0	37.39617	0.006245
D1	0.15	0.05	18.4699	0.270312
D2	0.15	0.1	38.32924	0.42141
D3	0.15	0.15	55.83219	0.248431
D4	0.15	0.2	20.43364	0.003126



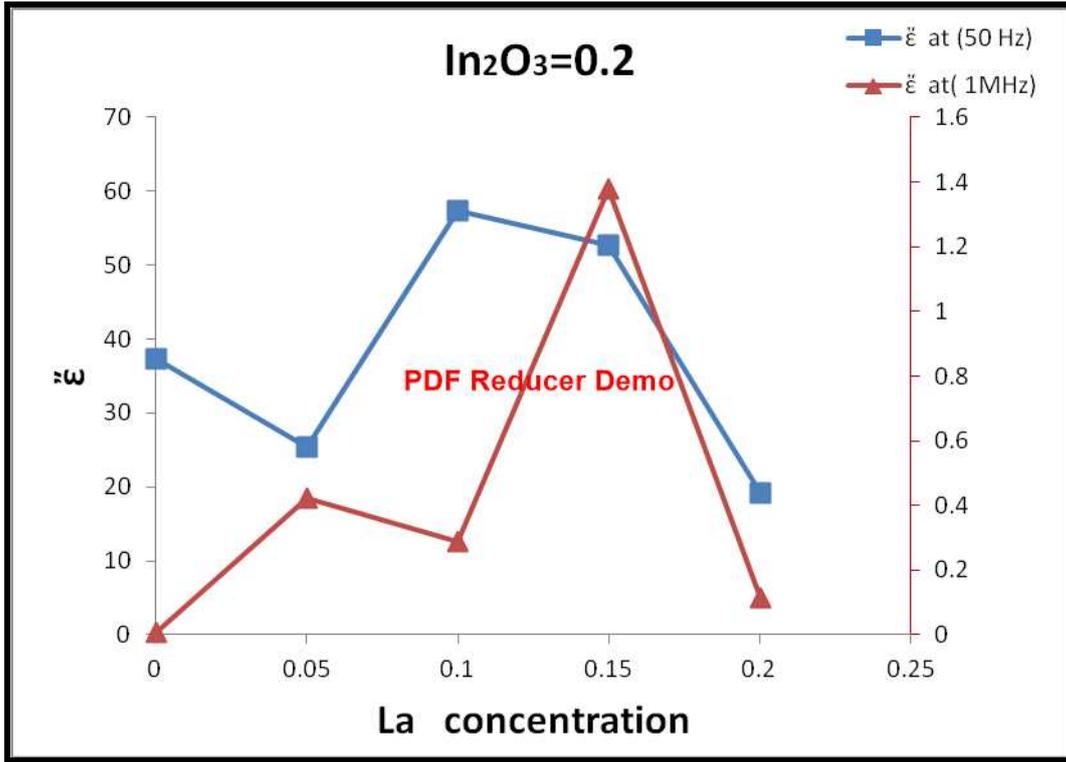
الشكل (4-63) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة لتغير تركيز اللانثانوم (La) لعينات المجموعة (D).



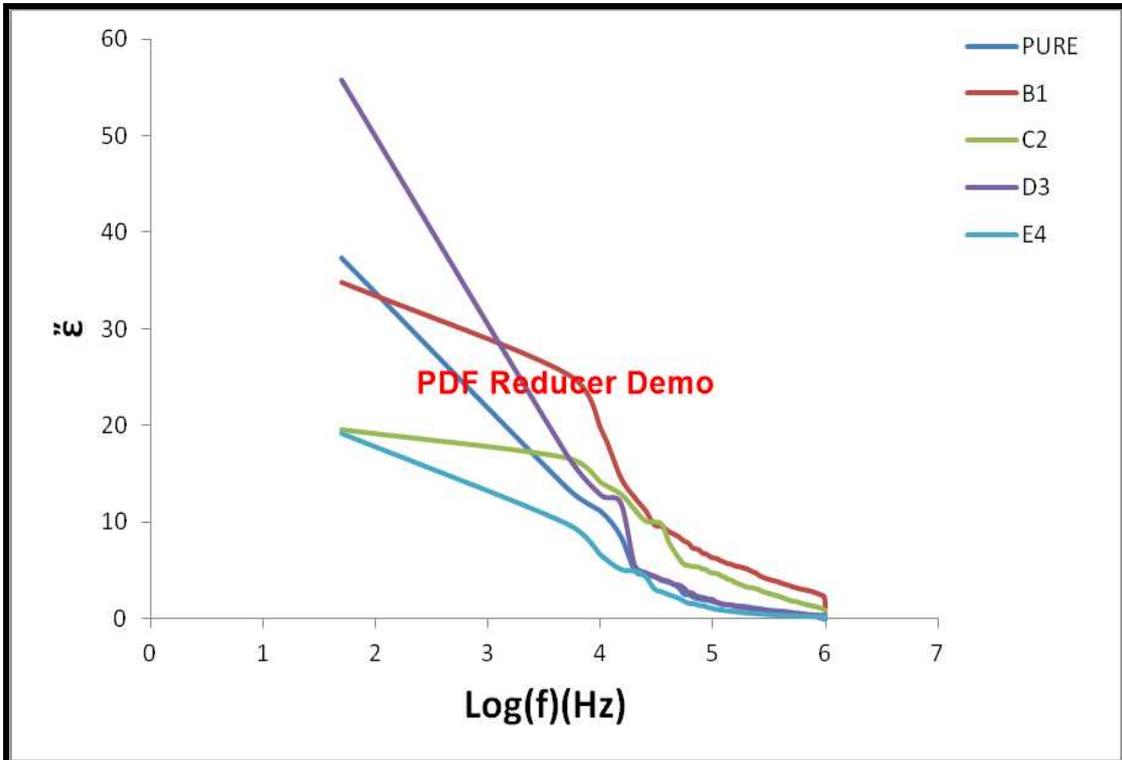
الشكل (64-4) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة للتردد لعينات المجموعة (E).

الجدول (23-4) قيم ثابت العزل الخيالي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (E).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	ε'' at (50 Hz)	ε'' at (1MHz)
O	0	0	37.39617	0.006245
E1	0.2	0.05	25.43762	0.423402
E2	0.2	0.1	57.30303	0.287274
E3	0.2	0.15	52.77265	1.377978
E4	0.2	0.2	19.12255	0.115203



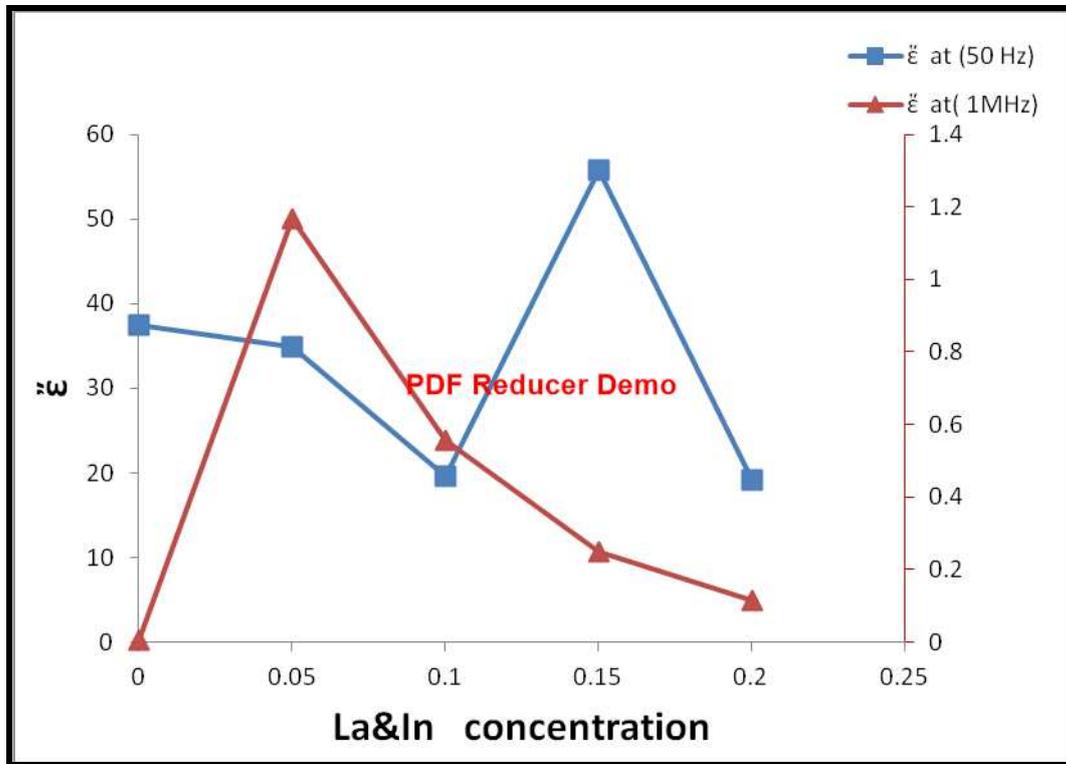
الشكل(4-65) تغيير ثابت العزل الخيالي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم(La) لعينات المجموعة (E).



الشكل(4-66) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة للتردد لعينات مجموعة التوازن.

الجدول (4-24) قيم ثابت العزل الحقيقي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة المتوازن.

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	ε̳ at (50 Hz)	ε̳ at (1MHz)
O	0	0	37.39617	0.006245
B1	0.05	0.05	34.82438	1.166375
C2	0.1	0.1	19.63945	0.557147
D3	0.15	0.15	55.83219	0.248431
E4	0.2	0.2	19.12255	0.115203



الشكل (4-67) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة لتغير تركيز (La&In) لعينات مجموعة المتوازن.

عموماً فإن القيم العالية من ثابت العزل الخيالي التي تظهر في العينات في البداية ثم تتخفف بسرعة في مرحلة مبكرة من القياسات مع زيادة التردد فإن ذلك يعزى إلى أن العنصر النشط (الأمي) من التيار يزيد بسرعة أكبر من مركبة الرادة السعوية، أما عند الترددات العالية فإن العينات التي تظهر تذبذباً مع التردد فإن هذا ممكن أن يعزى إلى انتقال النظام إلى حالة الفوضى وقد لوحظ أن هذا النوع من الاختلاف موجود في بعض العوازل، أما انخفاض قيم ثابت العزل الخيالي بتأثير التردد

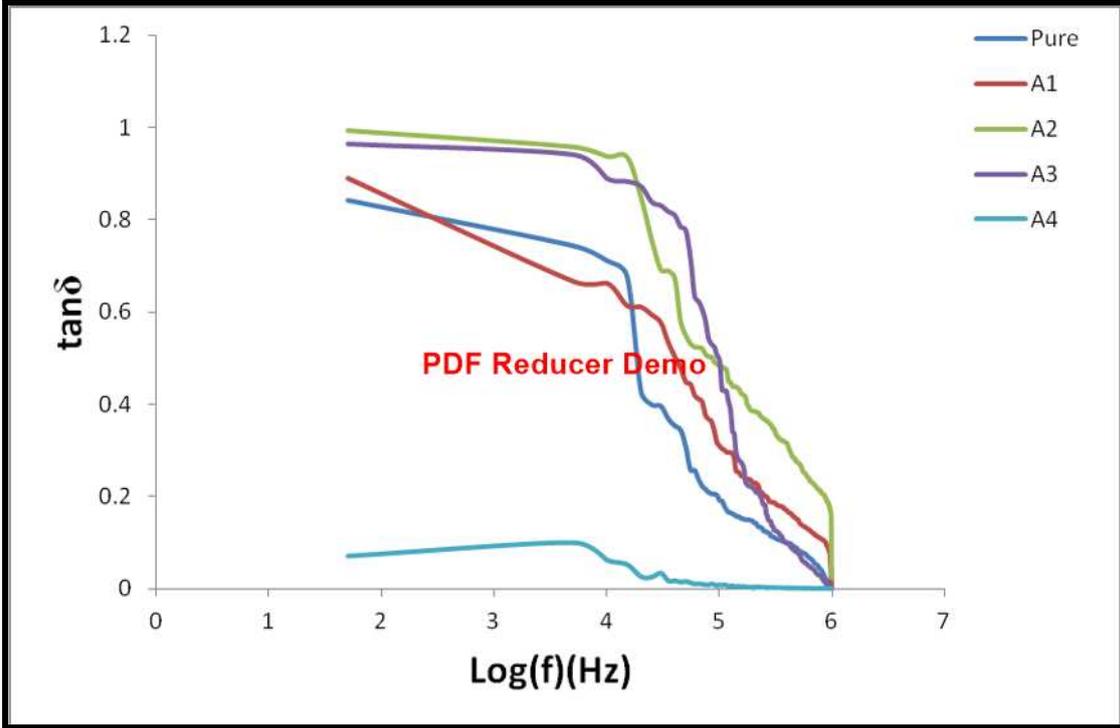
واستقرارها عند قيم محددة وصغيرة جدا ممكن ان تصل الى الصفر فان هذا يشير الى ان مثل هذه الحالة فان ثابت العزل الخيالي يصبح مستقلا ولايعتمد على التردد وان مثل هذه الحالة موجودة بالعوازل وتنسب هذه الحالة الى الاستقطابية الايونية والالكترونية[218].

ومن الجدير بالاشارة ان هناك عدة عوامل تؤثر في زيادة ثابت العزل الخيالي منها زيادة تحركية الايونات الموجبة وزيادة تحركية العيوب البلورية والتي تؤدي الى الزيادة في الطاقة المفقودة والمتشتتة وبالتالي زيادة بالفقدان العزلي وزيادة(ϵ'') [208,219]. ان قيم ثابت العزل الخيالي ممكن ان تنتج عن مقدار التخلف في الطور عن المجال الكهربائي المتناوب المسلط، وكذلك ممكن ان ينتج عن التهيج الحراري الذي ممكن ان يؤثر على استقطابية المادة وبالتالي على ثابت العزل الكهربائي ككل [217]،بالاضافة الى مقدار توصيلية عناصر الاستبدال وكهروسلبيتها بالمقارنة مع توصيلية النحاس وكهروسلبيته في النظام فائق التوصيل (BSCCO) [34]، وكذلك فان مقدار التغير في الحدود الحبيبية وتوزيعها ضمن التركيب البلوري للعينة يؤثر بصورة ملحوظة على قيمة ثابت العزل الخيالي [220].

3-3-2-4 ظل الفقد العزلي ($\tan\delta$):

عند تسليط مجال كهربائي على اي مادة فان التبديد بالطاقة يكون موجودا على شكل حرارة سواء في الموصلات او في العوازل ولكن العوازل تمتاز بخصوصية في هذا الجانب وهو ان التبديد في القدرة يكون متغير و يعتمد على تردد المجال الكهربائي المسلط وعلى طبيعة المادة العازلة وشكلها الهندسي وان هذا الضياع في القدرة يعرف كفقْدان عزلي (Dielectric Loss) والذي يصف الضياع تحت تأثير اي فولتية متغيرة على العازل، لذلك فعند الحديث عن الفقدان العزلي فالمعنى هو الضياع تحت تاثير مجال كهربائي متناوب، وان الفقدان العزلي يحصل في المادة بعد وصول الثنائيات الى اعظم حالة توازن مع المجال المسلط عند درجة حرارة محددة.ومن الجدير بالذكر ان الفقدان العزلي ممكن ان ينتج في المادة العازلة بسبب امتصاص الطاقة الكهربائية (احتكاك داخلي لثنائيات القطب) وكذلك بسبب تيار التسرب داخل المادة والتي ينتج من خلال زيادة تردد المجال الكهربائي المسلط. نلاحظ من خلال

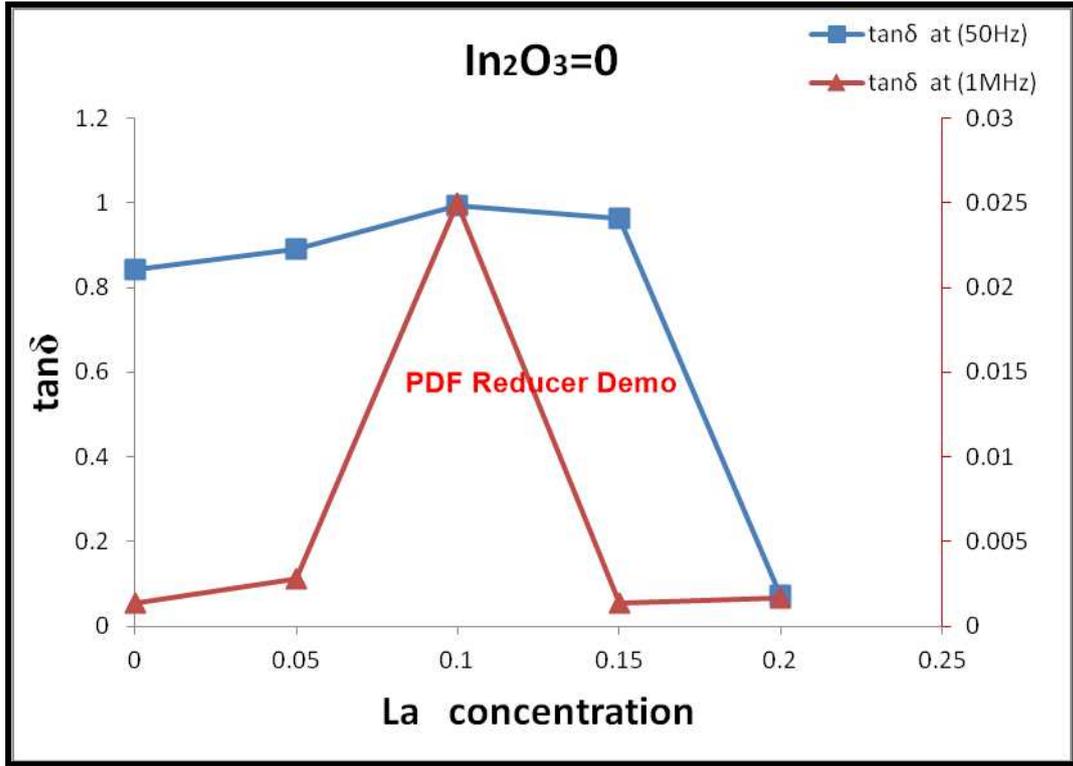
الاشكال (4-68,70,72,74,76,78) التي تمثل تغير ظل فقد العزلي ($\tan\delta$) كدالة للتردد لعينات المجاميع (A,B,C,D,E) ومجموعة التوازن على التوالي، حيث نلاحظ تناقص ظل فقد العزلي بزيادة التردد داخل العينة الواحدة ولجميع العينات، حيث ان فقدان العزلي ينتج من الاحتكاك والتهيج الحراري الذي يعمل على مقاومة توجيه ثنائيات القطب وإعاقة دورانها مع المجال المؤثر وان الطاقة اللازمة لإبقاء هذا الدوران تعطل الفقدان في القدرة، وكذلك فانه عند زيادة التردد يزداد تيار التسرب السطحي والحجمي و الناتج من وجود الرطوبة والشوائب ، وكذلك فان الاختلاف في قيم ($\tan\delta$) وباقي معاملات العزل ممكن ان يعزى الى عدم التجانس في توزيع الاطوار داخل العينة بسبب تغير نسب الاضافة والاستبدال وكذلك بسبب امكانية اختلاف توزيع الحرارة على العينة داخل الفرن في اثناء عملية التليد للعينة الواحدة وكذلك فيما بين العينات ولجميع الاضافات [36]. والجداول (4-25,26,27,28,29,30) تمثل قيم ($\tan\delta$) كدالة لتغير نسبة الاضافة لكل من الانديوم واللانثانيوم التي وضحت سلوكياتها في الاشكال (4-69,71,73,75,77,79) لعينات المجاميع (A,B,C,D,E) ومجموعة التوازن على التوالي.



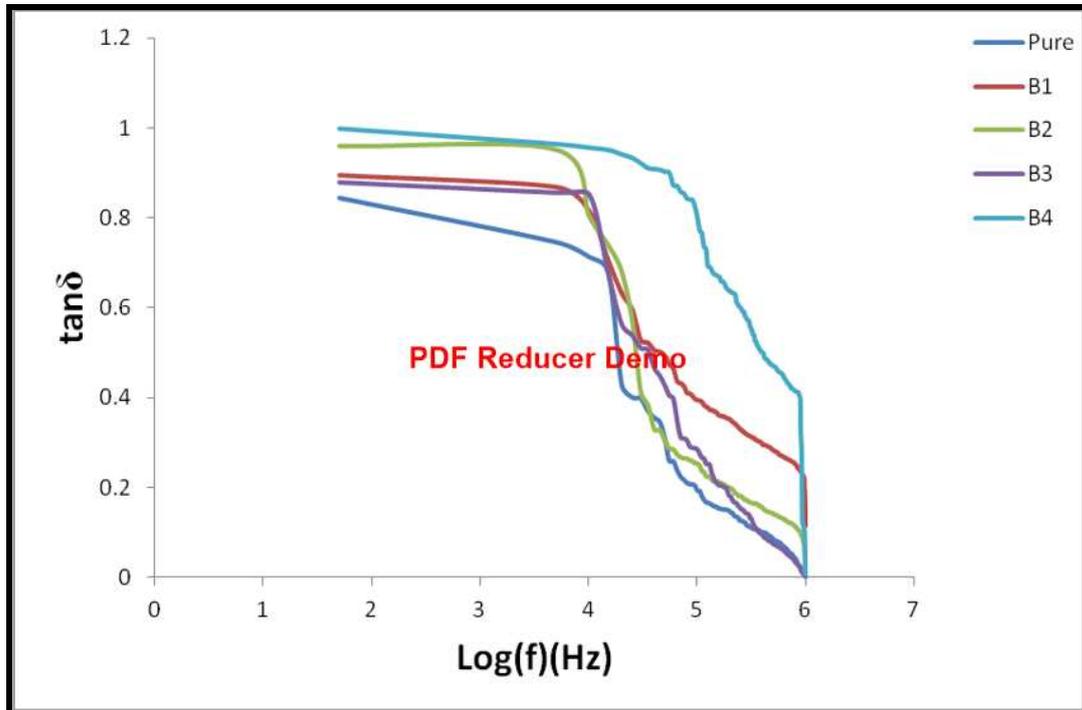
الشكل (4-68) تغير ظل الفقد العزلي كدالة للتردد لعينات المجموعة (A).

الجدول (4-25) قيم ظل الفقد العزلي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (A).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	tanδ at (50Hz)	tanδ at (1MHz)
O	0	0	0.8432	0.0014
A1	0	0.05	0.8903	0.0028
A2	0	0.1	0.994	0.025
A3	0	0.15	0.963	0.00139
A4	0	0.2	0.07166	0.00163



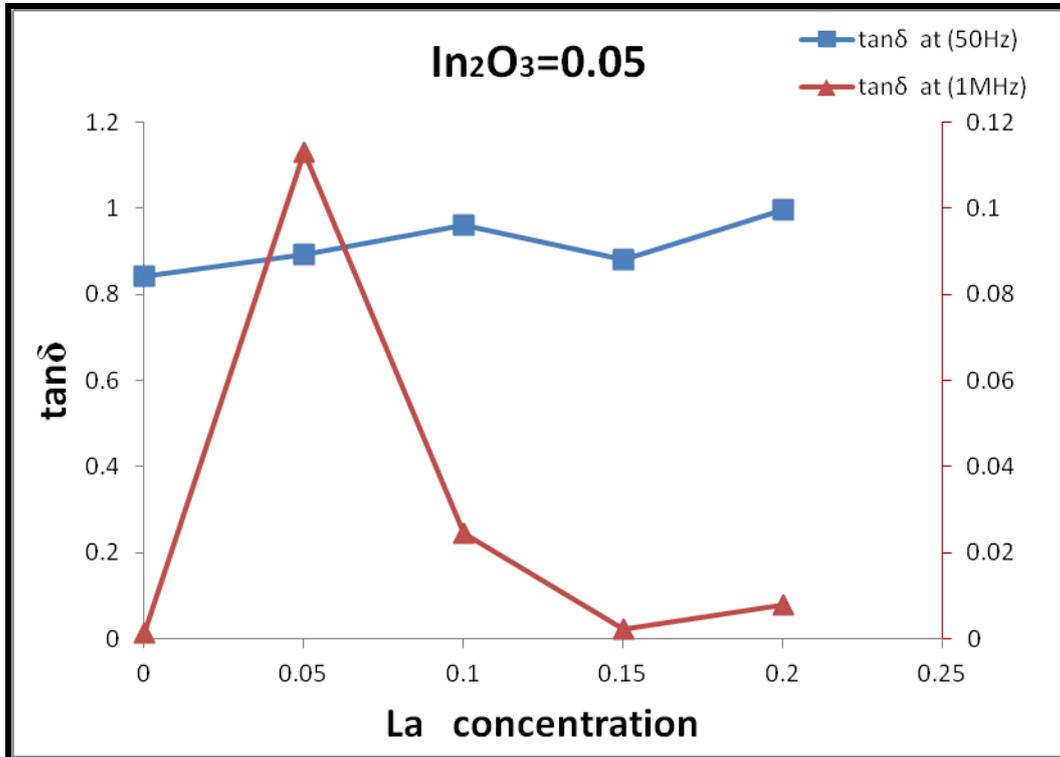
الشكل (69-4) تغير ظل الفقد العزلي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (A).



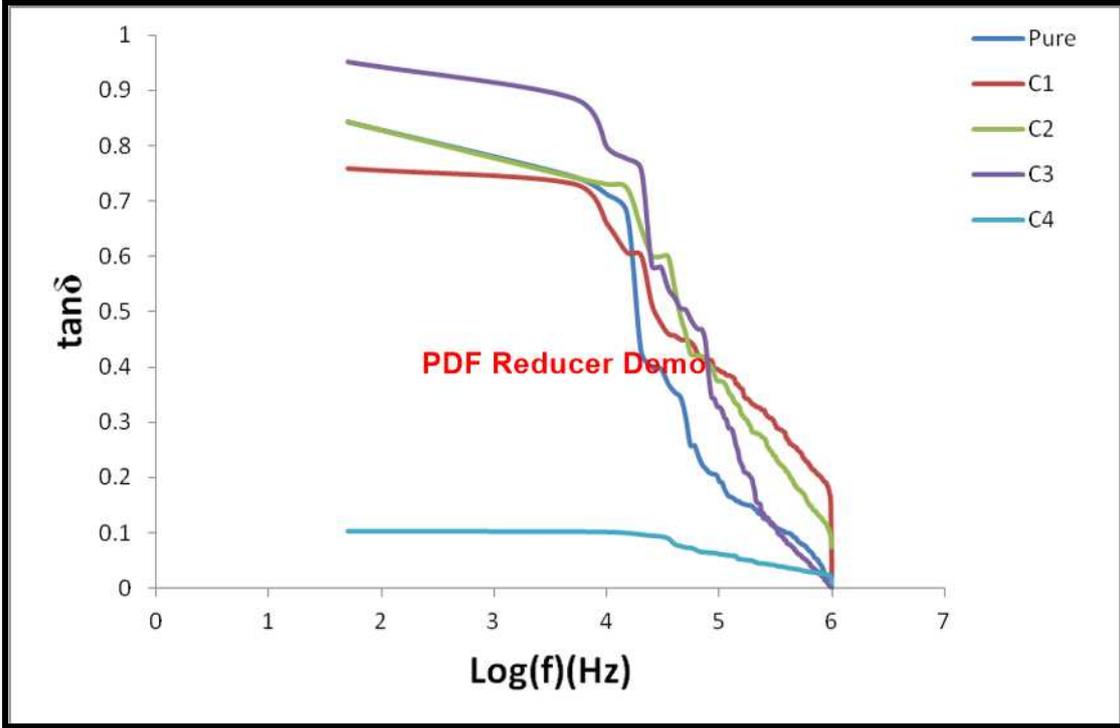
الشكل (70-4) تغير ظل الفقد العزلي كدالة للتردد لعينات المجموعة (B).

الجدول (4-26) قيم ظل الفقد العزلي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (B).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	tanδ at (50Hz)	tanδ at (1MHz)
O	0	0	0.8432	0.0014
B1	0.05	0.05	0.8938	0.1132
B2	0.05	0.1	0.9604	0.0245
B3	0.05	0.15	0.88	0.0023
B4	0.05	0.2	0.9983	0.008



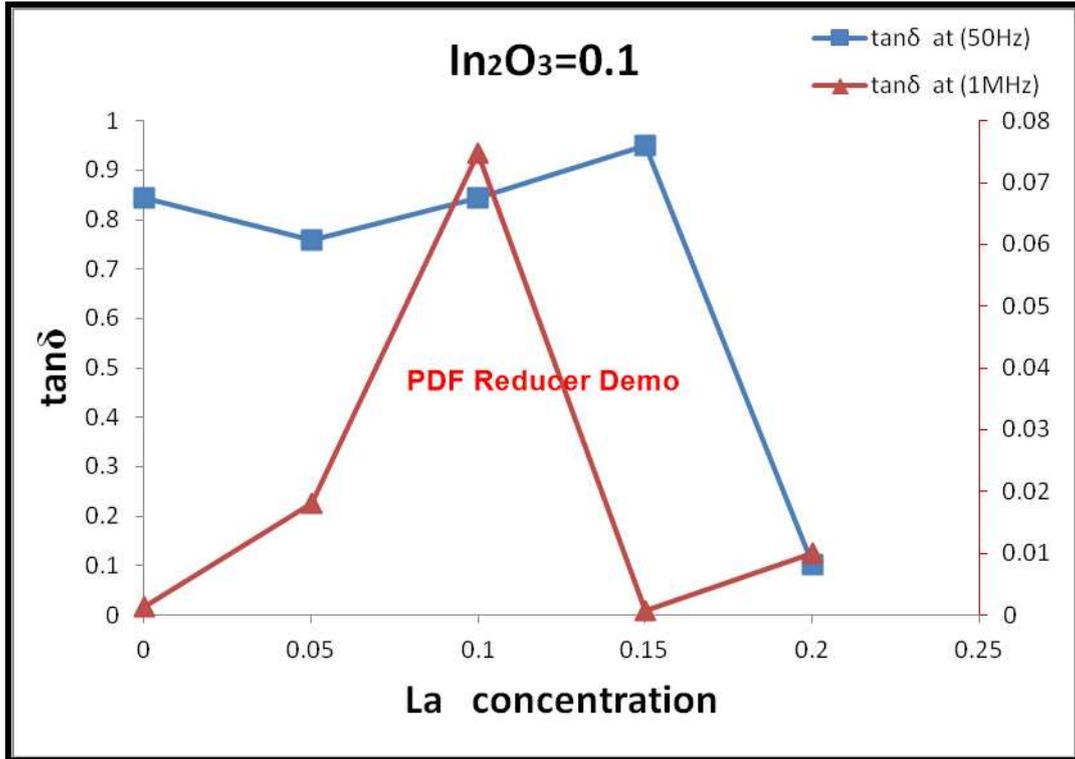
الشكل (4-71) تغير ظل الفقد العزلي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (B).



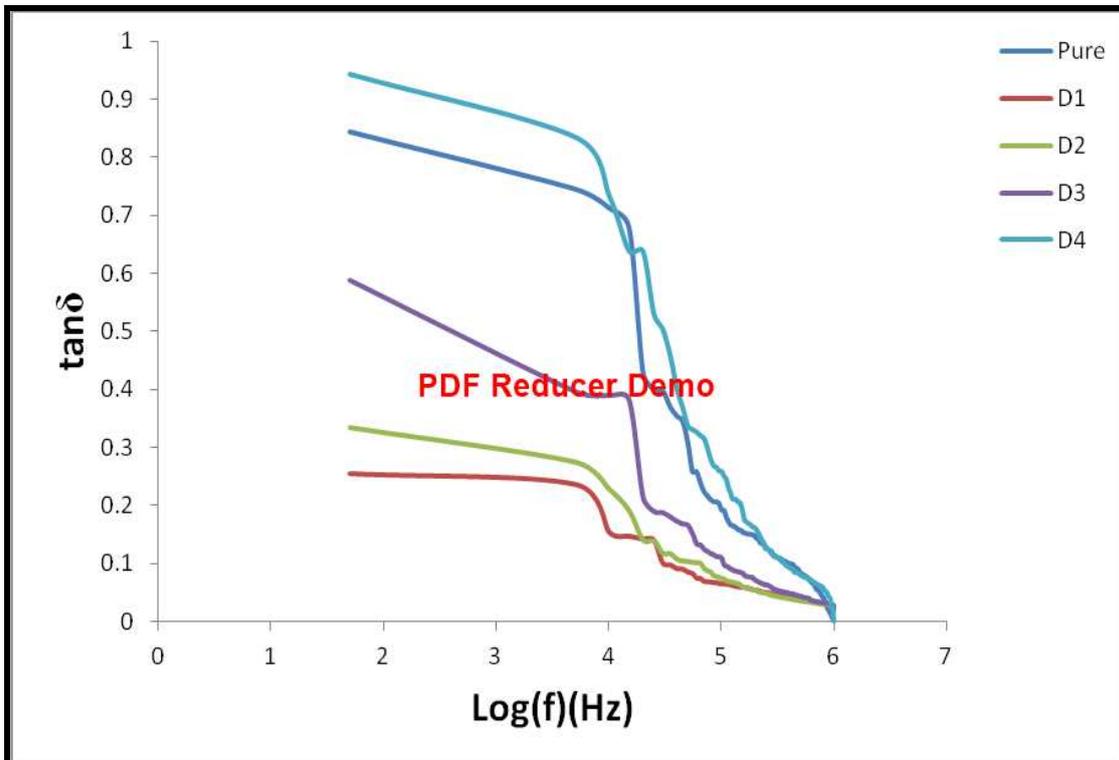
الشكل (4-72) تغير ظل الفقد العزلي كدالة للتردد لعينات المجموعة (C).

الجدول (4-27) قيم ظل الفقد العزلي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (C).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	tanδ at (50Hz)	tanδ at (1MHz)
O	0	0	0.8432	0.0014
C1	0.1	0.05	0.7586	0.018
C2	0.1	0.1	0.8432	0.0748
C3	0.1	0.15	0.951	0.00077
C4	0.1	0.2	0.103	0.01



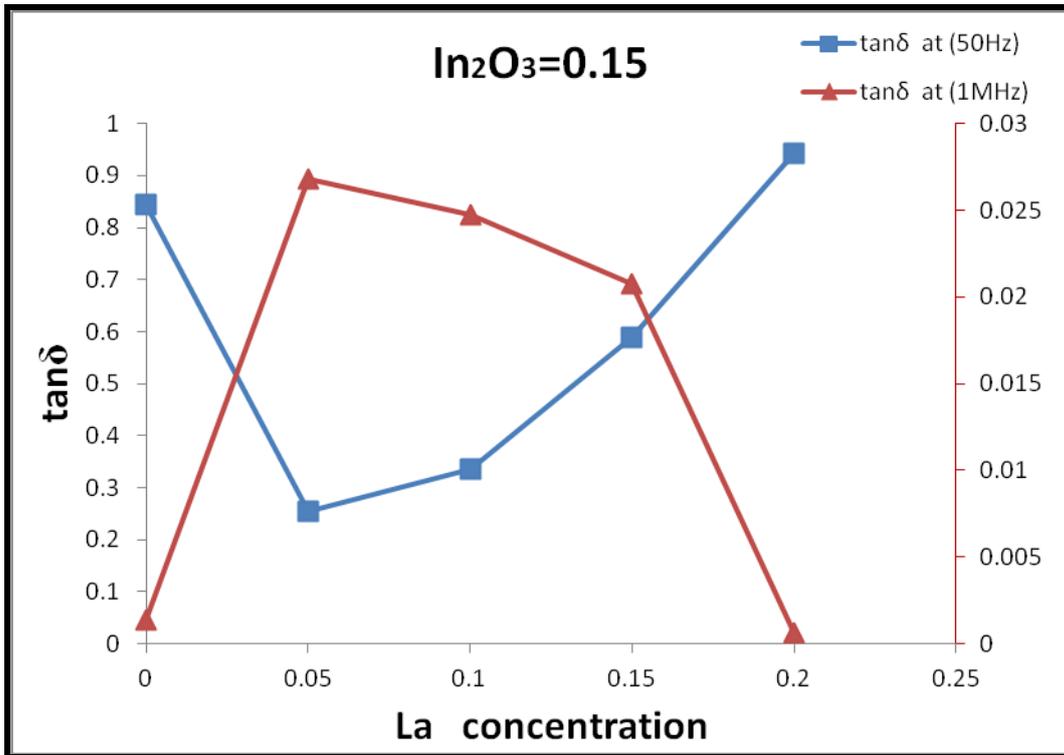
الشكل (4-73) تغير ظل الفقد العزلي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (C).



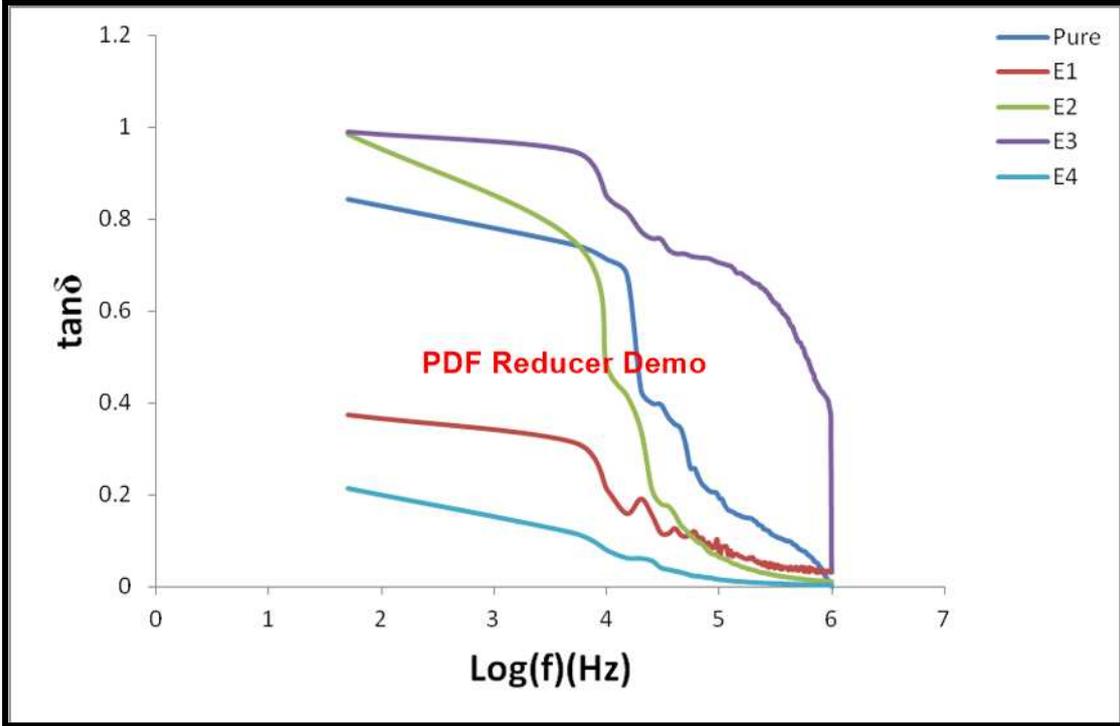
الشكل (4-74) تغير ظل الفقد العزلي كدالة للتردد لعينات المجموعة (D).

الجدول (4-28) قيم ظل الفقد العزلي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (D).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	tanδ at (50Hz)	tanδ at (1MHz)
O	0	0	0.8432	0.0014
D1	0.15	0.05	0.255	0.02677
D2	0.15	0.1	0.3348	0.02471
D3	0.15	0.15	0.5883	0.02078
D4	0.15	0.2	0.9433	0.0006



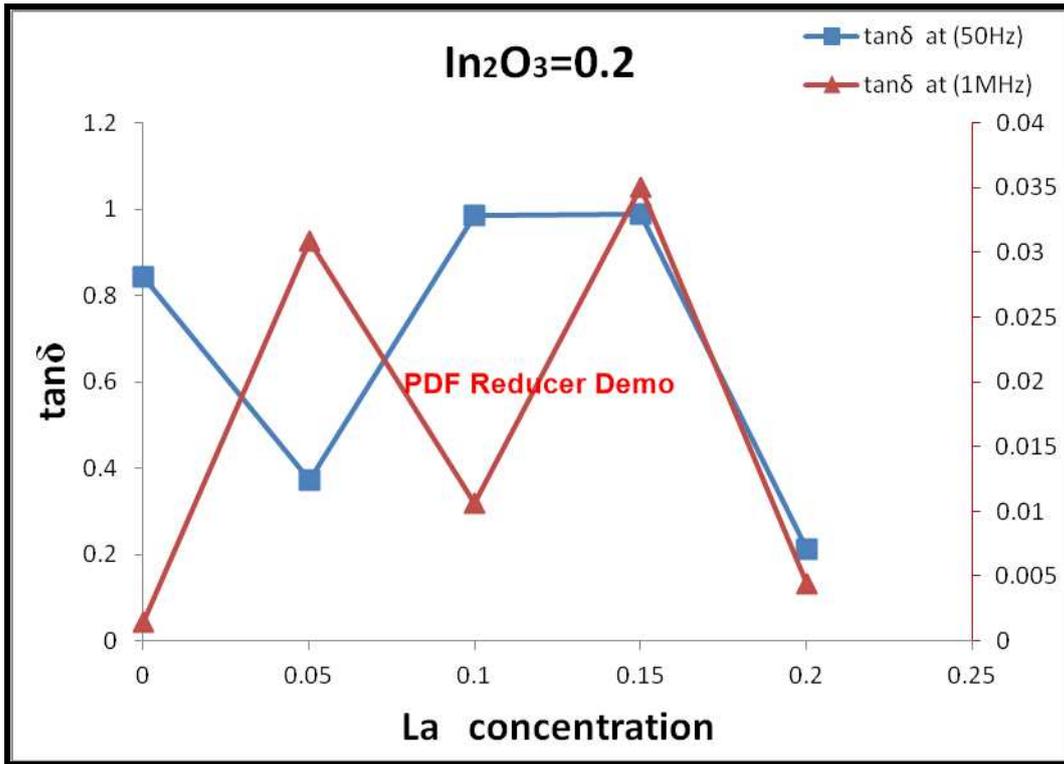
الشكل (4-75) تغير ظل الفقد العزلي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (D).



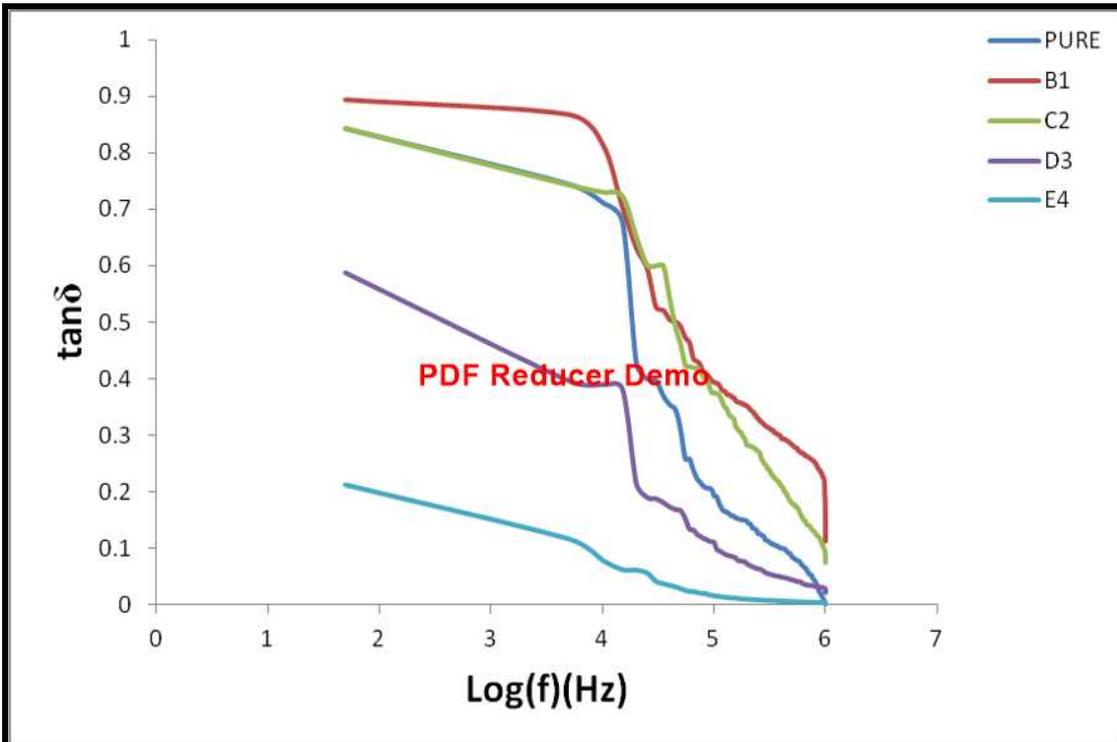
الشكل (4-76) تغير ظل الفقد العزلي كدالة للتردد لعينات المجموعة (E).

الجدول (4-29) قيم ظل الفقد العزلي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (E).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	tanδ at (50Hz)	tanδ at (1MHz)
O	0	0	0.8432	0.0014
E1	0.2	0.05	0.3726	0.03091
E2	0.2	0.1	0.9851	0.01065
E3	0.2	0.15	0.99	0.035
E4	0.2	0.2	0.2131	0.00439



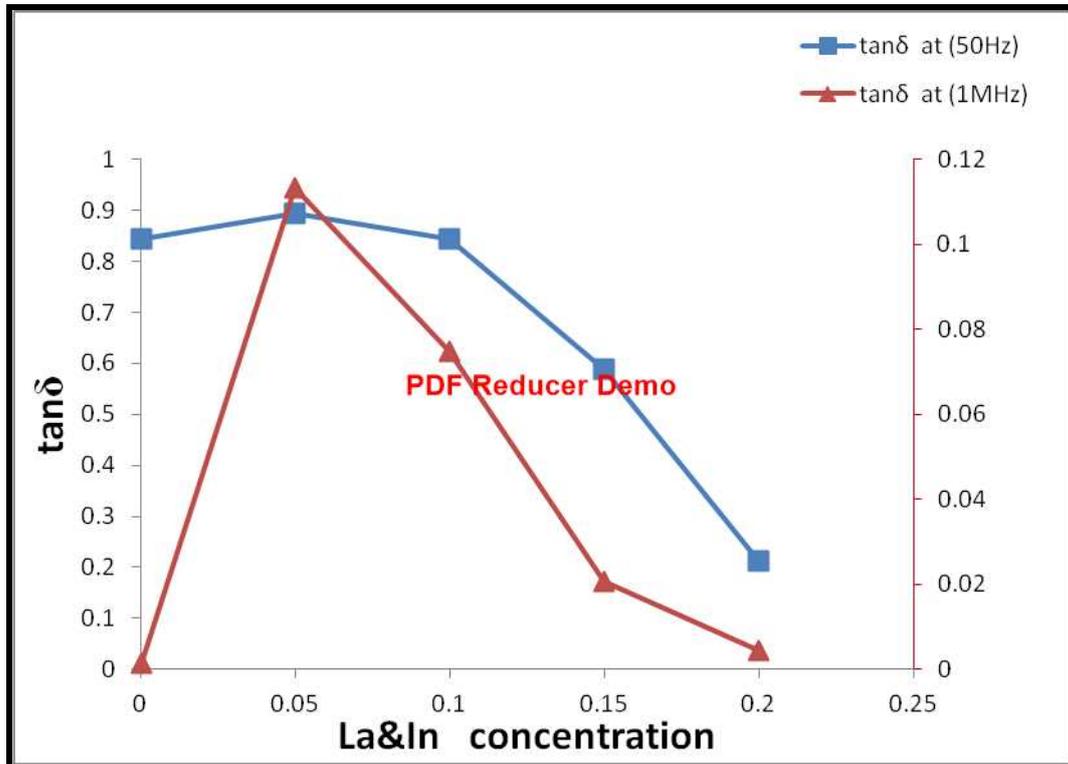
الشكل (4-77) تغير ظل الفقد العزلي كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (E).



الشكل (4-78) تغير ظل الفقد العزلي كدالة للتردد لعينات مجموعة التوازن.

الجدول (4-30) قيم ظل الفقد العزلي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة التوازن .

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	tanδ at (50Hz)	tanδ at (1MHz)
O	0	0	0.8432	0.0014
B1	0.05	0.05	0.8938	0.1132
C2	0.1	0.1	0.8432	0.0748
D3	0.15	0.15	0.5883	0.02078
E4	0.2	0.2	0.2131	0.00439



الشكل (4-79) تغير ظل الفقد العزلي كدالة لتغير (La&In) لعينات مجموعة التوازن.

ويعزى سبب في تغير قيمة ظل الفقد العزلي الى عامل اللزوجة أي الاحتكاك الداخلي للمادة بمعنى ان الطاقة اللازمة للتغلب على الاحتكاك الداخلي للمادة لها تاثير قوي على زيادة سرعة تراص ثنائيات الاقطاب وظهور الفقد بوقت مبكر مما يؤدي إلى زيادة عامل الفقد ($\tan\delta$) [208,221,222]. وتغير ظل زاوية الفقد ($\tan\delta$) مع التردد والمقاسة بدرجة حرارة الغرفة، حيث نلاحظ ان قيمة ظل زاوية الفقد لكل المركبات هي ذات قيم قليلة وانها اقل من الواحد وتقل مع زيادة التردد وهذا السلوك يعطي مؤشراً على ان سلوك هذه المركبات مشابه للسلوك الطبيعي للمواد

الفيروكهربائية (Ferroelectric) حيث تكون آليات الاستقطاب الأربعة فعالة عند الترددات الواطئة [223,224].

ان التغيير في قيم كل من $(\epsilon', \epsilon'', \tan\delta)$ مع الزيادة في نسب الاستبدال ممكن ان تكون بسبب الانتقال ضمن الحبيبات والذي يؤدي الى زيادة المناطق العازلة بالقرب من الحدود الحبيبية والتي معظمها تنشأ بواسطة الفصل بينها [216]، ويتضح هذا من القيم الواطئة لكل من $(\epsilon', \tan\delta)$. وكذلك ممكن ان يكون التغيير في $(\tan\delta)$ بسبب وجود حالة الاسترخاء في الدايبولات وان التغيير في نسبة الاستبدال تؤدي الى التغيير في $(\tan\delta)$ مع وجود الكثير من التقلبات.

وكذلك ممكن ان تعزى الزيادة بقيم $(\tan\delta)$ الى الزيادة في تيارات التسرب السطحية والتي تنشأ عن الرطوبة والشوائب على سطح العينة او تيارات التسرب الحجمية التي تنشأ عن عناصر الاستبدال [35]، اي بسبب وجود كل من (In, La)، وان عملية فقدان العزلي ممكن ان تكون بسبب حالة الشحن الالكتروستاتيكي والذي يحدث نتيجة لزيادة في عدد الالكترونات على سطح العينة العازلة (غير مؤرضة) وتظهر هذه الشحنات اثناء احتكاك وتماس السطوح مع الهواء المتاين او مع محتويات محيطها حيث عند تماس العينة مع المحيط الخارجي ممكن ان تتكون وتنشأ مستويات مختلفة من الشحنات تعتمد على طبيعة سطح العينة ومحتويات المحيط، وان سبب هذا السلوك هو انتقال الشحنات الكهربائية الى سطح العينة السيراميكية العازلة حيث تكتسب شحنات موجبة او سالبة ومع هذا فان الشحنات لا تكون موزعة بصورة متجانسة ويمكن عدها كجزر من الشحنات الموجبة الموجودة في بحر من الشحنات السالبة وبالعكس وتعتمد اشارة الشحنة الكلية على موقع التماس الاكبر بين المادة العازلة ومحيطها.

4-3-2-4 التوصيلية الكهربائية المتناوبة:

ان التوصيلية الكهربائية في العوازل لا يقصد بها خاصية توصيل التيار الكهربائي التي تتصف بها المواد الموصلة وشبه الموصلة، وإنما هي مقياس للقدرة المفقودة عند تسليط مجال كهربائي متناوب عبر العازل وهي ليست مقياس لكمية الشحنات المنقولة التي يمكن ان تنتقل خلال المادة من قطب الى اخر، وبعبارة اخرى هي مقياس لكمية الحرارة المتولدة نتيجة الاحتكاك الحاصل بين الثنائيات اثناء دورانها في مواضعها او بسبب اهتزاز الشحنات او التصادم بين الجزيئات الاخرى في المادة العازلة بتغير المجال الكهربائي المتناوب، وهذا يعني ان جزءا من الطاقة سوف يمتص من قبل المجال الكهربائي، والتوصيلية تنقسم الى نوعين (مستمرة، متناوبة)، حيث ان التوصيلية المستمرة تكون صغيرة جدا ولا تعتمد على تردد المجال الكهربائي المتناوب المسلط، اما التوصيلية المتناوبة فهي التي تمثل مقدار الفقدان الذي يحصل في العازل بسبب حركة ثنائيات القطب عند وقوع المادة العازلة تحت تأثير المجال المتناوب والتي يعبر عنها بالعلاقة (3-11) $(\sigma_{ac}=2\pi f\epsilon_0\epsilon')$ ، حيث نلاحظ من خلال هذه العلاقة الاعتماد المباشر للتوصيلية المتناوبة على كل من التردد للمجال الكهربائي المسلط وكذلك اعتمادها على الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي والذي يمثل امتصاص الطاقة وتشهيتها في المادة العازلة تحت تأثير المجال الكهربائي المتناوب، ومن الجدير بالذكر ان التوصيلية الكهربائية في العوازل تنشأ من الالكترونات المثيجة والمنقولة الى حزمة التوصيل وكذلك الفجوات المتروكة في نطاق التكافؤ ويكون تغير التوصيلية صغيرا وبطيئا عند الترددات الواطئة وكبيرا وسريعا عند الترددات العالية وبزيادة درجة الحرارة.

ان الاشكال (4-80,82,84,86,88,90) توضح تغير التوصيلية المتناوبة مع التردد لعينات المجاميع (A,B,C,D,E) ومجموعة التوازن على التوالي، حيث يلاحظ هنا ان التوصيلية تزداد مع ازدياد التردد، وذلك بحسب المعادلة (3-11) وكذلك ممكن ان تعزى هذه الزيادة الى ازدياد حاملات الشحنة بسبب الزيادة في نسبة الانديوم و اللانثانيوم وعلى اعتبار استبدال الانديوم بدلا من البزموت واستبدال النحاس ذي التكافؤ الثنائي باللانثانيوم ذي التكافؤ الثلاثي وكذلك وجود العيوب

النقطية (فرنكل، شوتكي) التي تكون مهيمنة في المواد ذات الاواصر الايونية والتساهمية (السيراميكية) وكذلك بسبب زيادة تيار التسرب السطحي الناتج على سطح العينة بسبب الرطوبة والشوائب، وهذا يؤدي الى زيادة التوصيلية المتناوبة حتى تصل الى الحالة التي يتم فيه امتصاص اقصى طاقة من المجال المسلط التي يكون فيها تردد المجال المسلط مساوي الى التردد الطبيعي للمادة والتي يكون فيها اقصى قيمة للتوصيلية الكهربائية المتناوبة (الحالة الرنينية) ، ثم بعدها تنخفض التوصيلية للمادة بسبب تموضع حاملات الشحنة وكذلك التشوه في الحبيبات الذي يقلل من تأثير الازدواج ضمن الحبيبات وتغلب تفاعل كولوم. وكذلك ممكن ان يفسر النقصان على اساس ان حركة الشحنات ممكن ان تعترضها المسامات (والتي تمتاز بها معظم المواد السيراميكية وخصوصا المركبات فائقة التوصيل حيث تمتاز بهشاشتها) ، اما الاختلاف في سلوك التوصيلية من خلال النموذج الواحد بثبوت التردد واختلاف نسب الاستبدال فممكن ان يفسر على اساس الاختلاف في التركيب البلوري للعينة وتكون الاطوار المتعددة فيها والذي يسبب عدم التماثل في سلوك التوصيلية المتناوبة بالنسبة الى اتجاهات محاور الخلية حيث ممكن ان تكون التوصيلية باتجاه المحور (c) تختلف عن سلوكها باتجاه المستوي (a,b)، حيث ان التوصيلية في النظام فائق التوصيل (BSCCO) تختلف بشكل نوعي بالاتجاهين (c) وكذلك باتجاه المستوي (a,b) [36]. والجداول (31,32,33,34,35,36) تبين قيم التوصيلية المتناوبة لعينات المجاميع (A,B,C,D,E) ومجموعة التوازن والموضحة بالاشكال (81,83,85,87,89,91) على التوالي والتي تبين سلوك التوصيلية المتناوبة في العينات.

ان القيم الواطئة للتوصيلية المتناوبة ($\sigma_{a,c}$) بشكل عام ممكن ان تكون بسبب تاثير درجة حرارة وزمن التليد حيث ان زيادة درجة حرارة وزمن التليد يؤديان إلى تناقص بالمسامية وزيادة الكثافة مما يشير إلى تقليل العيوب البلورية وبالتالي التقليل من الطاقة المتبددة بسبب العيوب والفجوات مما يعني تناقص في قيمة التوصيلية الكهربائية المتناوبة.

ان التباين الموجود في النتائج ممكن ان يكون بسبب التركيب الكيميائي الهجين (Chemical heterogeneity) والذي ممكن ان يؤدي إلى بعض التوزيع العشوائي للأيونات الموجبة (Cations) في العينات لتركيب البيروفسكايت (ABO_3) حيث ان هذا التوزيع العشوائي لمختلف الأيونات المتكافئة ممكن ان يؤدي إلى حدوث عدم انتظام (Fluctuation) في التركيب البلوري والذي ممكن ان يؤدي إلى حدوث أكثر من استرخاء (Multiple relaxation) في هذه المواد، وان وجود أكثر من استرخاء في هذه المواد ينتج بسبب امكانية حصولها عند الحبيبية (grain) والحدود الحبيبية (Grain boundary) [225,226]

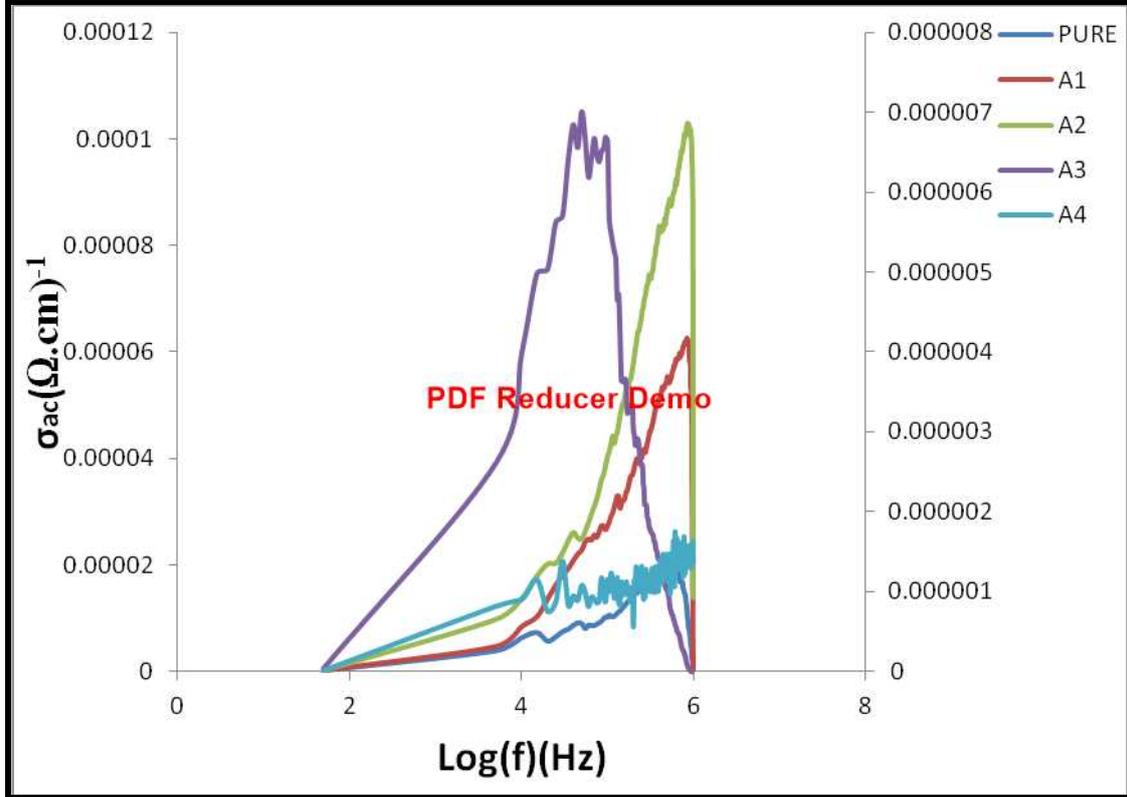
ولقد اقترحت العديد من الافكار لتفسير الية التوصيل في المواد منها :

1- **نظرية الحزم Band theory**: يشير تحليل ميكانيك الكم لحركة الإلكترونات التابعة لمجموعة من الأيونات المنتظمة في نسق بلوري معين بانها تمتلك مستوى معيناً ومحدداً من مستويات (حزم) الطاقة المسموحة تفصل بينها مسافات معينة يطلق عليها حزم الطاقة الممنوعة. ويوجد داخل كل حزمة طاقة مسموحة مستويات مختلفة تتدرج بانتظام، وتصلح هذه النظرية في حالة المواد المتبلورة .

2- **تأثير النفق Tunnel effect**: وهي من اليات انتقال التيار التي تحدث في المواد ذات النسق البلوري الجزيئي وهي تستند الى تأثير النفق في ميكانيك الكم الذي يتضمن اختراق الإلكترونات لحواجز الطاقة . وتكون هذه الالية محتملة في حالة وجود طبقات حزم بين جزيئية كثيرة وشديدة الرقة .

3- **الية التنطط Hopping mechanism**: وهي النظرية الأكثر احتمالاً في حالة اشباه الموصلات. وتفترض هذه الالية ان التيار ينتقل بقفزات تنشيط لحوامل التيار من منطقة ما في النظام المقترن الى منطقة اخرى قافزا فوق حواجز العوازل الكهربائية المتكونة نتيجة وجود المناطق غير المنتظمة (غير المقترنة) في التركيب وعملياً فان حركة الحوامل داخل النظام المقترن لا يتطلب أي طاقة تنشيط اضافية . ولا يؤدي ازدياد الحرارة الى تغير تركيز الحامل ولكنه يغير من احتمالية القفز . وقد دلت

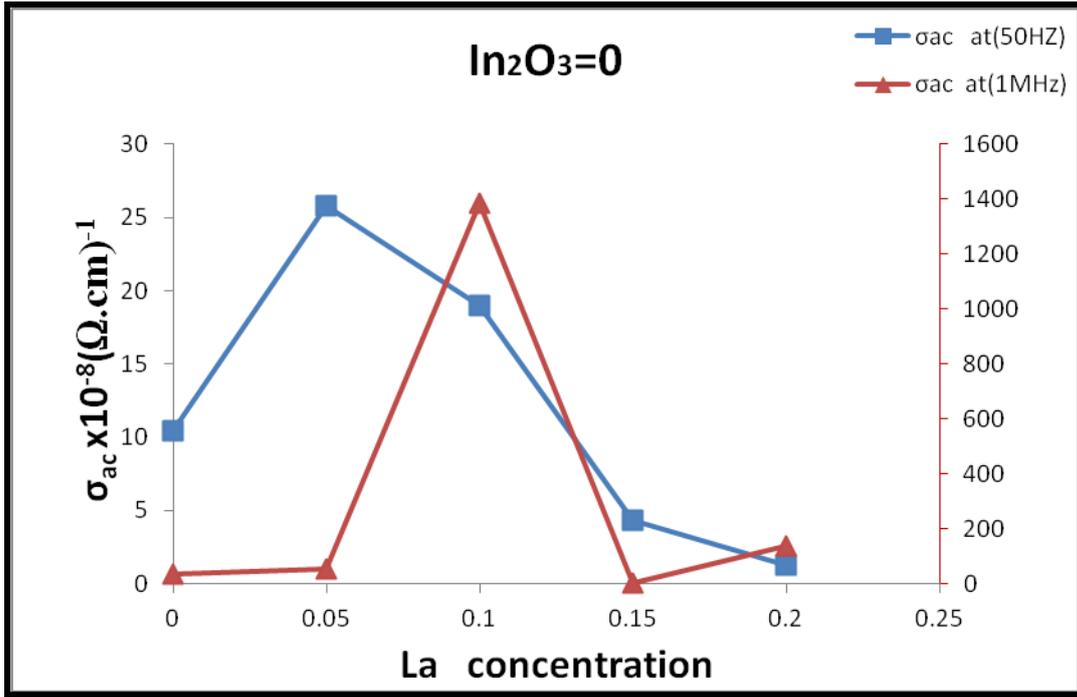
الدراسات النظرية على ان هذه الالية ملائمة جدا للانظمة ذات الحركة الواطئة لحاملات التيار كما هي الحال في اشباه الموصلات.



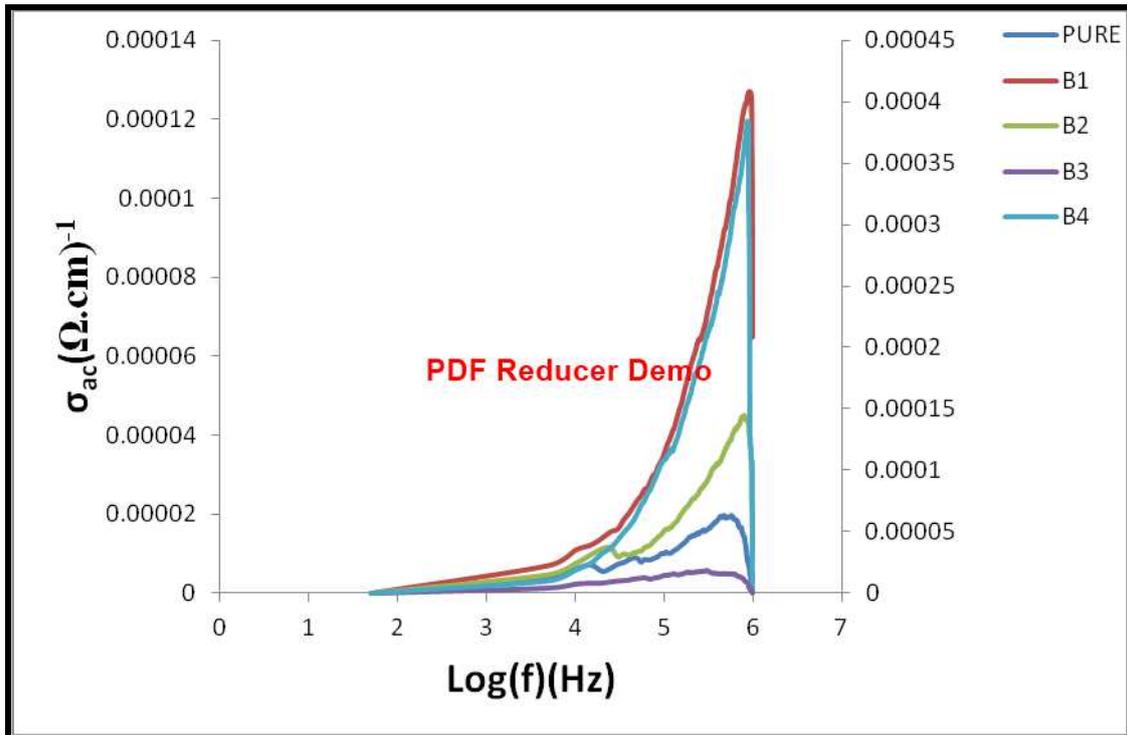
الشكل (4-80) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة للتردد لعينات المجموعة (A). المحور الايمن خاص بالعينات (A3,A4).

الجدول (4-31) قيم التوصيلية المتناوبة عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (A).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(50HZ)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(1MHz)
O	0	0	10.3967	34.7251
A1	0	0.05	25.7679	51.7115
A2	0	0.1	19.0012	1385.87
A3	0	0.15	4.2791	0.122
A4	0	0.2	1.2503	136.562



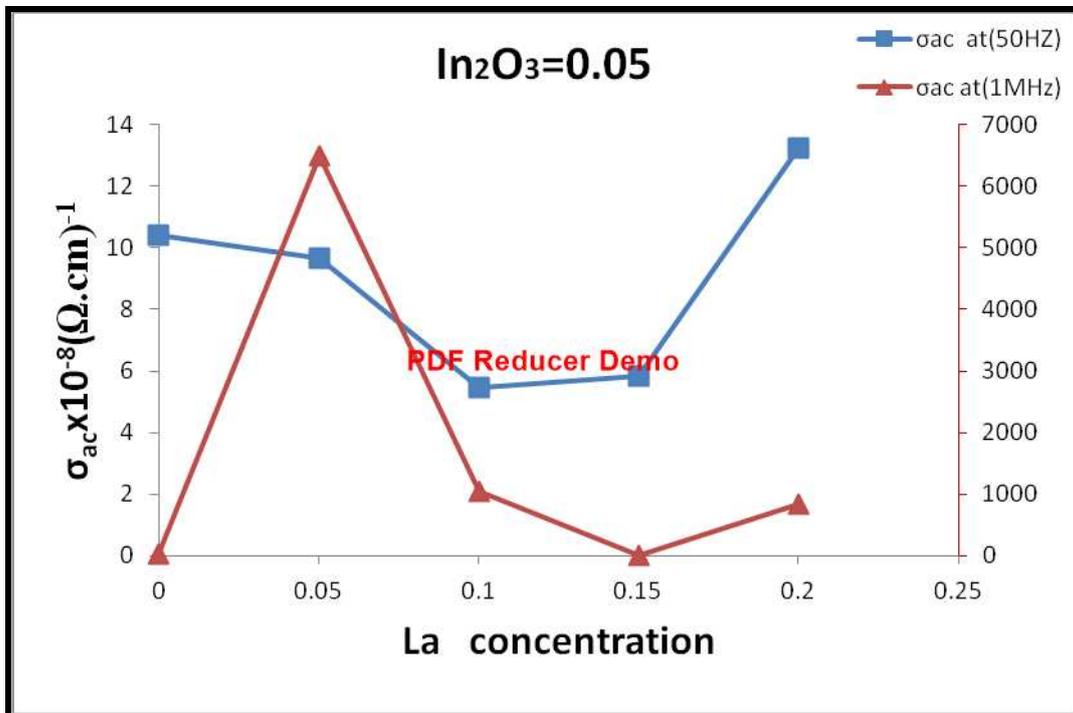
الشكل (81-4) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (A).



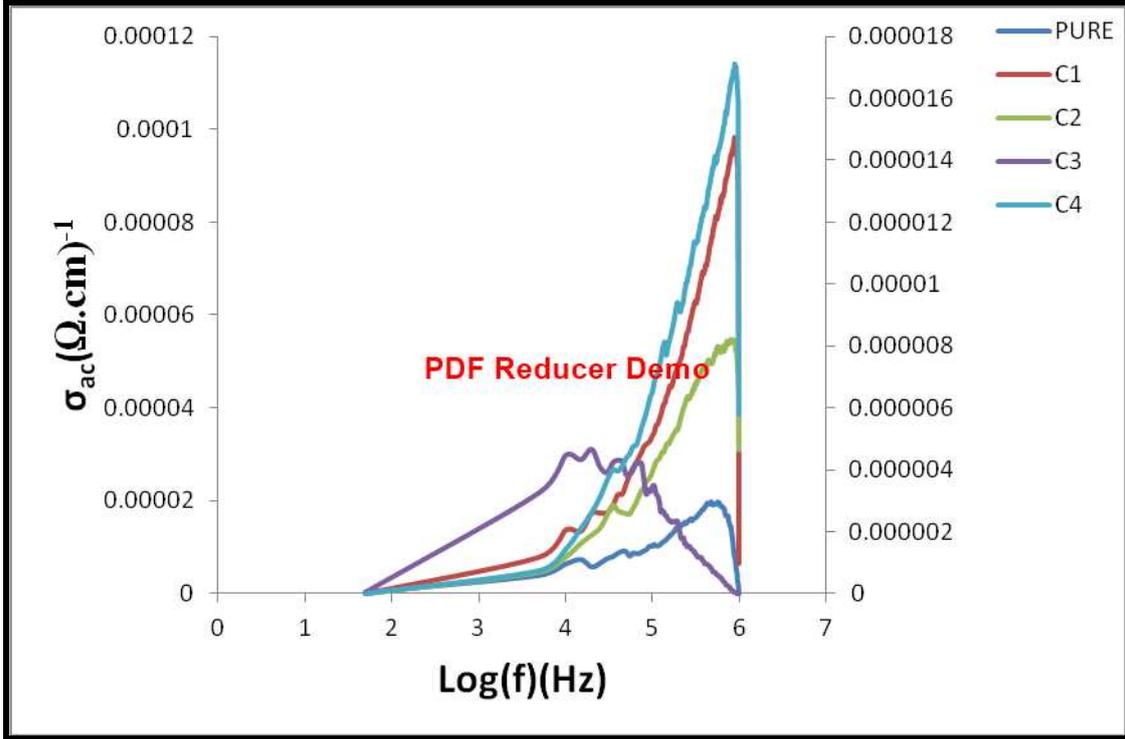
الشكل (82-4) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة للتردد لعينات المجموعة (B). المحور الايمن خاص بالعينات (B3, B4).

الجدول (4-32) قيم التوصيلية المتناوبة عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (B).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(50HZ)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(1MHz)
O	0	0	10.3967	34.7251
B1	0.05	0.05	9.68172	6485.41
B2	0.05	0.1	5.47026	1040.79
B3	0.05	0.15	5.8526	10.5478
B4	0.05	0.2	13.2475	837.36



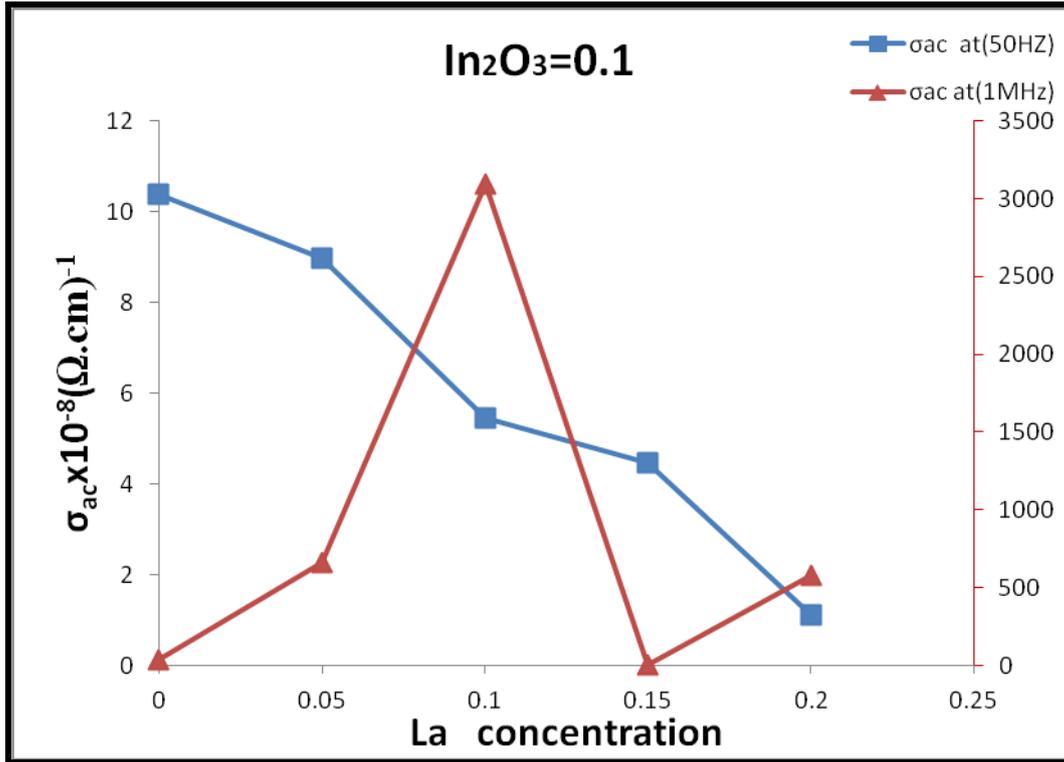
الشكل (4-83) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (B).



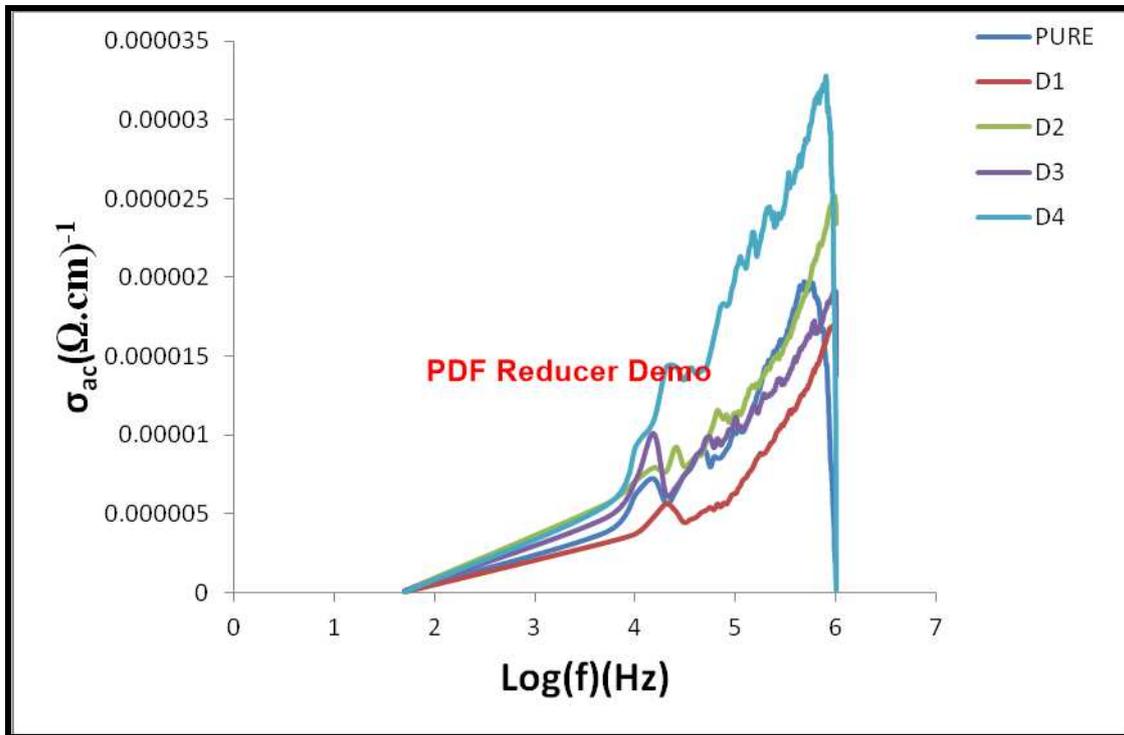
الشكل (4-84) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة للتردد لعينات المجموعة (C). المحور الايمن خاص بالعينات (C3,C4).

الجدول (4-33) قيم التوصيلية المتناوبة عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (C).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(50HZ)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(1MHz)
O	0	0	10.3967	34.7251
C1	0.1	0.05	8.97168	660.799
C2	0.1	0.1	5.46007	3097.91
C3	0.1	0.15	4.47292	0.027925
C4	0.1	0.2	1.09913	579.583



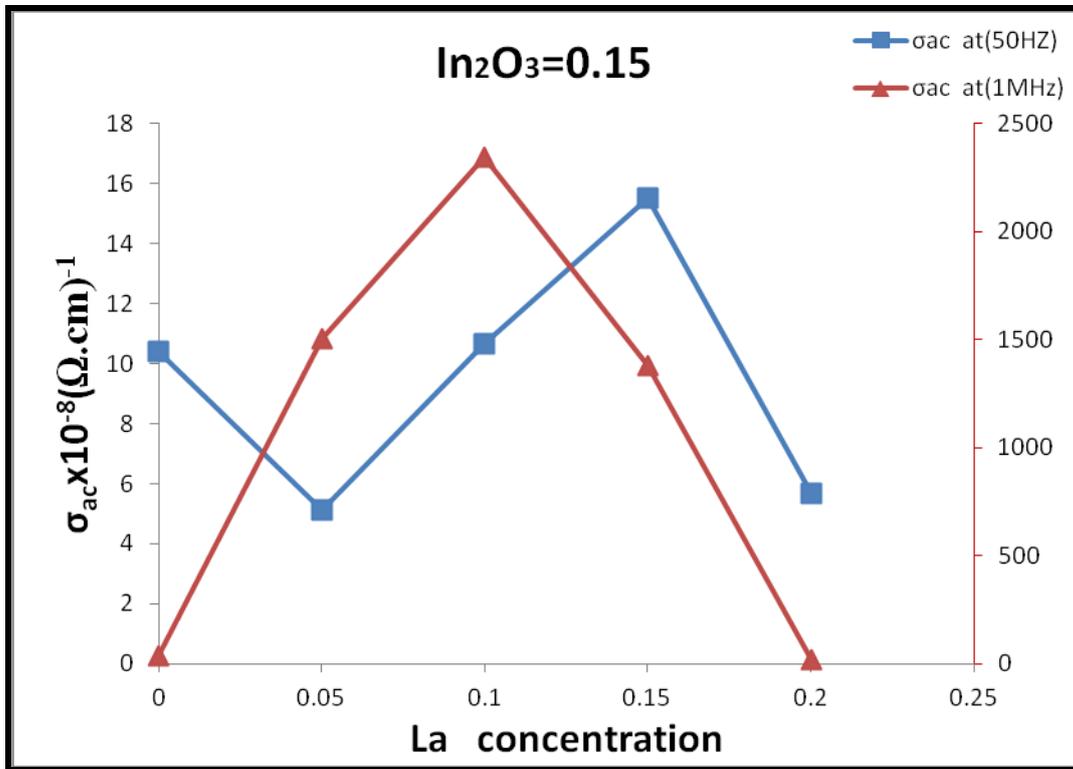
الشكل (4-85) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (C).



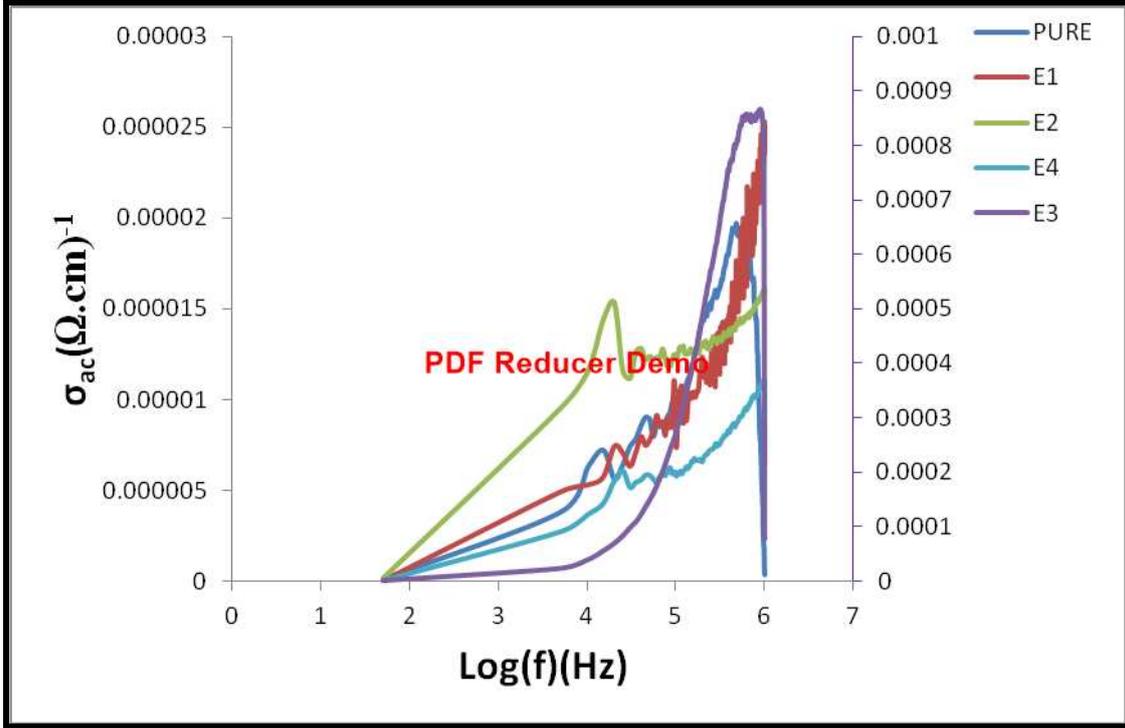
الشكل (4-86) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة للتردد لعينات المجموعة (D).

الجدول (4-34) قيم التوصيلية المتناوبة عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (D).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(50HZ)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(1MHz)
O	0	0	10.3967	34.7251
D1	0.15	0.05	5.13492	1503.02
D2	0.15	0.1	10.6561	2343.17
D3	0.15	0.15	15.5222	1381.35
D4	0.15	0.2	5.68087	17.3816



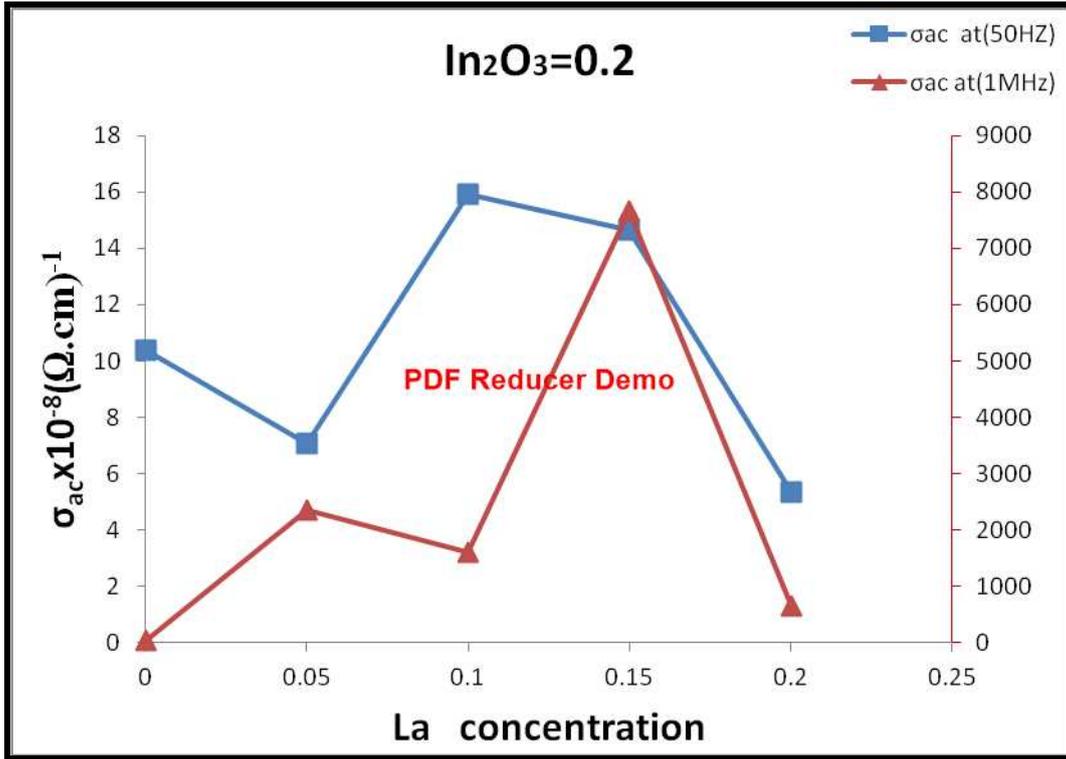
الشكل (4-87) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (D).



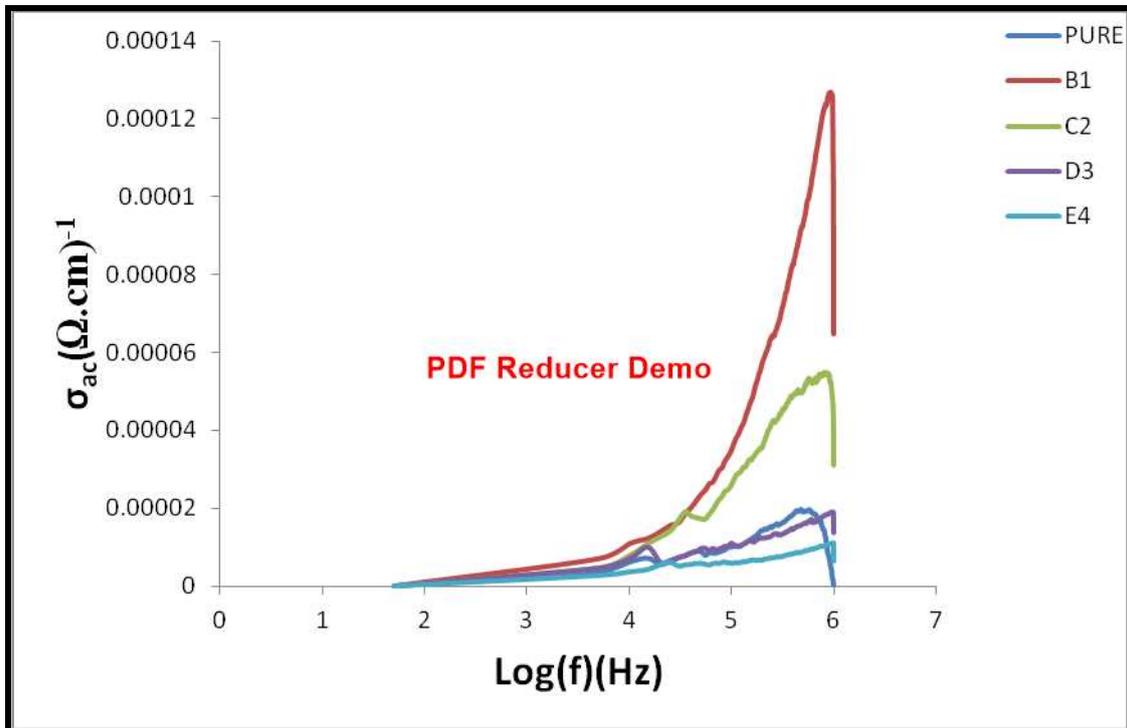
الشكل (4-88) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة للتردد لعينات المجموعة (E). المحور الايمن خاص بالعينة (E3).

الجدول (4-35) قيم التوصيلية المتناوبة عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (E).

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(50HZ)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(1MHz)
O	0	0	10.3967	34.7251
E1	0.2	0.05	7.07206	2354.24
E2	0.2	0.1	15.9311	1597.33
E3	0.2	0.15	14.6716	7661.99
E4	0.2	0.2	5.31637	640.565



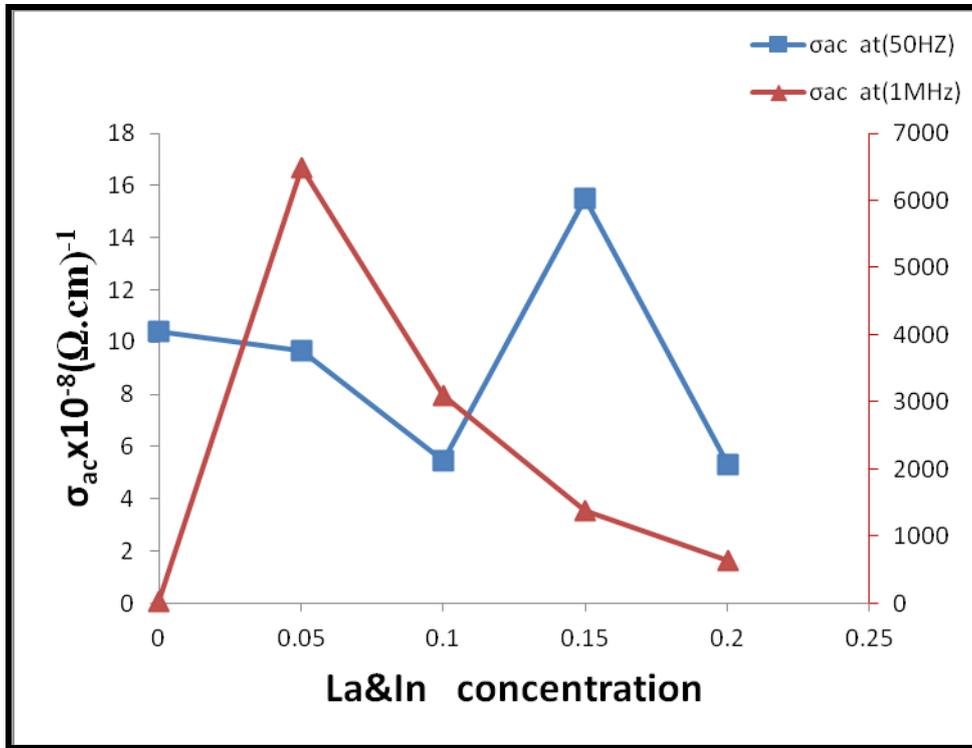
الشكل (4-89) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة لتغير تركيز اللانثانيوم (La) لعينات المجموعة (E).



الشكل (4-90) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة للتردد لعينات مجموعة التوازن.

الجدول (4-36) قيم التوصيلية المتناوبة عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة التوازن.

MIX	(In ₂ O ₃)	(La ₂ O ₃)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(50HZ)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(1MHz)
O	0	0	10.3967	34.7251
B1	0.05	0.05	9.68172	6485.41
C2	0.1	0.1	5.46007	3097.91
D3	0.15	0.15	15.5222	1381.35
E4	0.2	0.2	5.31637	640.565



الشكل (4-91) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة لتغير تركيز (La&In) لعينات مجموعة التوازن. ان القيم المختلفة للتوصيلية المتناوبة باختلاف نسب الاستبدال ممكن ان تعزى الى الية التنشط الموضعي او حركة التوجيه لثنائيات القطب وهذه النتائج تشير الى تاثير قفز حاملات الشحنة وهنا (In,La) بالقرب من المناطق المجاورة وبعدها تسترخي، وان حركة هذه الايونات المنقلة من موقع الى اخر حسب الية التنفق بين حواجز الجهد المزدوجة غير المتماثلة اقترحت ان القيم العالية تتواجد في المواد متعددة الاطوار والتبلور والمختلفة في الحجم الحبيبي، وان الاختلاف في قيمة (σ_{ac}) عند زيادة نسبة الاستبدال ممكن ان يكون بسبب الاختلاف في نسبة الاوكسجين الذي ممكن ان

يلاحظ في الانظمة فائقة التوصيل (HTSC) حيث ان التوصيلية المتناوبة ترتبط مع نسبة (Cu^{+3}) الموجودة في العينة لهذا فان نسبة الاستبدال ممكن ان تزيد من نسبة (Cu^{+3}) مع الاخذ بنظر الاعتبار التكافؤات الاخرى (Cu^{+1}, Cu^{+2}) حيث ان تكون الفجوات مرتبط بالنحاس بدلا من الاوكسجين، كما ان النقصان في التوصيلية المتناوبة ممكن ان يعزى الى زيادة في مراكز الكبح للحاملات [25]، وكذلك ممكن ان يرتبط مع تموضع حاملات الشحنة وعدم الانتظام ضمن الحبيبات حيث ان هذا يقلل من تأثير الازدواج ضمن الحبيبات بوساطة تفاعلات كولوم [227]. ونحن برائنا نرى ان نقصان التوصيلية بسبب الزيادة في التردد هو انه الزيادة في التردد ممكن ان تعطي سرعة اضافية مما يزيد من حركة الايونات و يعطيها فرصة اكبر للتشتت وزيادة التصادمات مع بعضها البعض وبالتالي حصول التعادل بالشحنة اي الحصول على ذرة متعادلة او جزيئة متعادلة وبذلك تقل نسبة الايونات الموجبة والسالبة نتيجة لاتحادها فتقل التوصيلية.

ومن وجهة نظر اخرى فان الاختلاف في الخواص العزلية $(\epsilon, \epsilon', \tan\delta, \sigma_{ac})$ في النظام فائق التوصيل (BSCCO) ممكن ان يكون بسبب الاختلاف الكبير في سمك طبقات خزن الشحنات حيث ان المركب ذا الطبقات المزدوجة من البزموت يمتلك طبقات خزن شحنات $(Bi_2Sr_2O_{5-\delta})$ اكثر سمكا، بالاضافة الى ان طبقة خزن الشحنة (Bi_2CuO_4) في الطور (Bi-2223) تكون اكثر توصيلية بينما طبقات خزن الشحنات $(Bi_2Sr_2O_{5-\delta})$ في الطور (Bi-2223, Bi-2212) تكون عازلة، حيث ان الاولى تزود حاملات اكثر من طبقات النحاس والطبقات الناتجة من عناصر الاستبدال بالمقارنة مع طبقات خزن الشحنة $(Bi_2Sr_2O_{5-\delta})$ العازلة تماما [228]، اما من حيث تأثير التردد على الخواص العزلية فممكن ان يفسر بشكل رائع من ناحية الاستقطاب الاتجاهي الذي يرتبط بحركة القفز ثلاثية الابعاد (3D) لمراكز الشحنة الموضعية [229].

4-3 تأثير أضافه الانديوم (In) على المركب السيراميكي فائق التوصيل



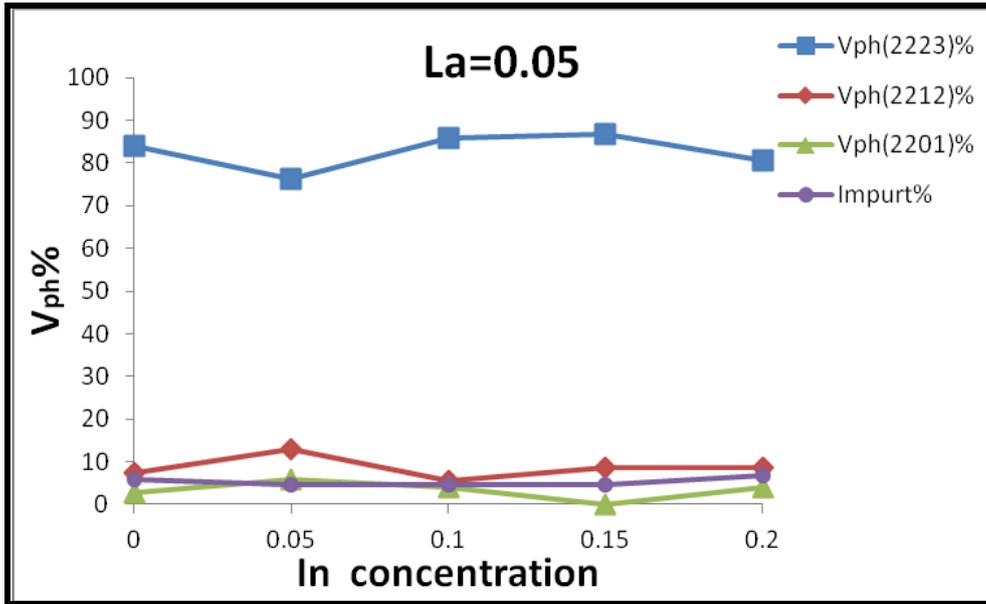
4-3-1 نتائج فحوصات (XRD):

الجدول (4-37) يبين نسب الاطوار ومعاملات الشبكة و(c/a) والكثافة للمجموعة (G).

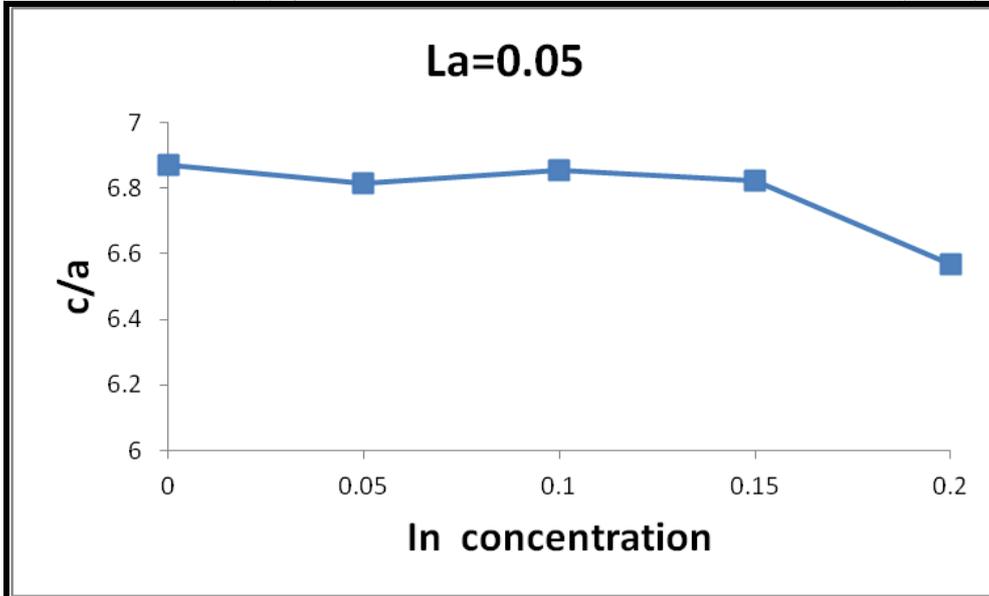
MIX	La ₂ O ₃	In ₂ O ₃	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impurt%	a A°	b A°	c A°	c/a	d _m (g/cm ³)
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	6.871	2.250
G1	0.05	0.05	76.395	13.003	5.865	4.734	5.4132	5.4510	36.8908	6.814	2.277
G2	0.05	0.1	85.816	5.565	4.021	4.596	5.4220	5.4632	37.1832	6.857	2.236
G3	0.05	0.15	86.711	8.677	0	4.610	5.4317	5.4506	37.0662	6.824	2.230
G4	0.05	0.2	80.573	8.735	3.911	6.779	5.6496	5.4441	37.0982	6.566	2.130

من خلال الجدول (4-37) والذي يظهر الخواص التركيبية لعينات المجموعة (G) والتي تكون فيها نسبة اللانثانيوم ثابتة (0.05) مع تغير في نسبة الانديوم (0.05, 0.1, 0.15, 0.2)، حيث اظهرت فحوصات (XRD) ان كل العينات كانت ذات تركيب بلوري معيني قائم مع زيادة في نسبة الطور العالي في العينات (G2, G3) والتي يقابلها تغير في كل من الاطوار الواطئة والشوائب ، في حين ان العينات (G1, G4) تظهر نقصانا في نسبة الطور العالي مقارنة بالعينة النقية ويعزى ذلك الى ان هذه العينات كانت فيها نسب الاستبدال دون مستوى التطعيم المجدي (Underdoped) واعلى من مستوى التطعيم المجدي (Overdoped) والتي في كلا الحالتين تعمل على دعم نشوء ونمو الاطوار الواطئة والشوائب على حساب الطور العالي. وكذلك نلاحظ في جميع العينات نقصانا في طول المحور (c) والنسبة (c/a) والكثافة لوحدة الخلية مقارنة بالعينة النقية، ان الاختلاف في ثوابت الشبكة ممكن ان يعزى الى الاختلاف في انصاف القطر الايونية للعناصر المستبدلة ومكونات العينة ، اما الاختلاف في الكثافة فيعزى الى الاختلاف في حجم وحدة الخلية وكذلك الى مدى اختزال المسامات والفراغات في التركيب البلوري [230]، اما بالنسبة للعينات (G2, G3) والتي تظهر تحسنا في تكون الطور العالي بالمقارنة مع العينة النقية فممكن ان يعزى هذا الى ان الانديوم عمل على تعديل التشوه في التركيب البلوري الذي يحصل في العينة بسبب اللانثانيوم والذي

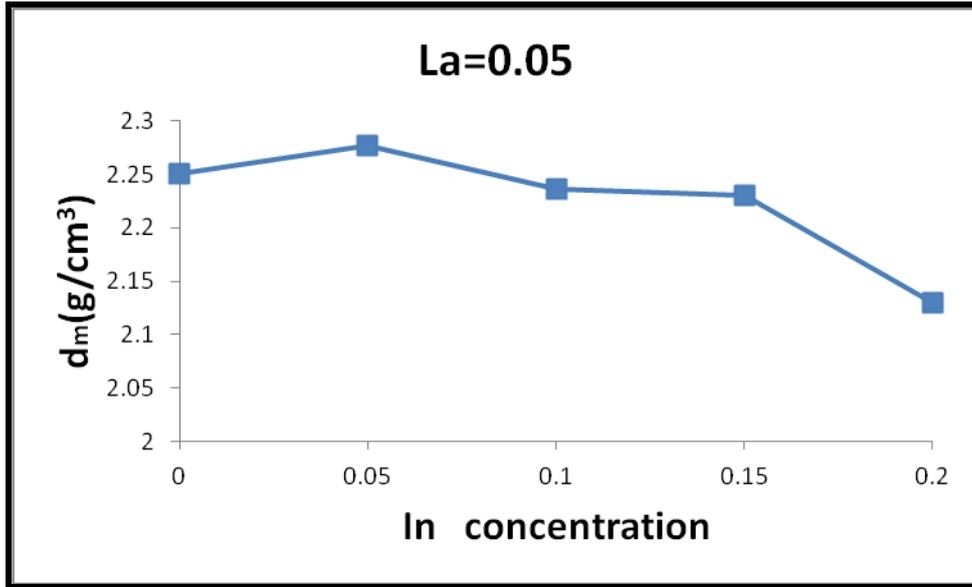
عزز بوساطة نسبة الاستبدال المجدية حيث عملت على تحسن الخصائص التركيبية وخاصة قوة التاصر بين الطبقات والتي تشكل اللبنة الأساسية لبناء المركب وكذلك إمكانية الزيادة في نسبة تحول الطور الواطئ (Bi-2212) إلى الطور العالي (Bi-2223) والاشكال (4-92,93,94) توضح نسب الاطوار وتغير النسبة (c/a) وتغير الكثافة كدالة لتركيز الانديوم على التوالي.



الشكل (4-92) تغير نسب الاطوار والشوائب كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (G).



الشكل (4-93) تغير النسبة (c/a) كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (G).



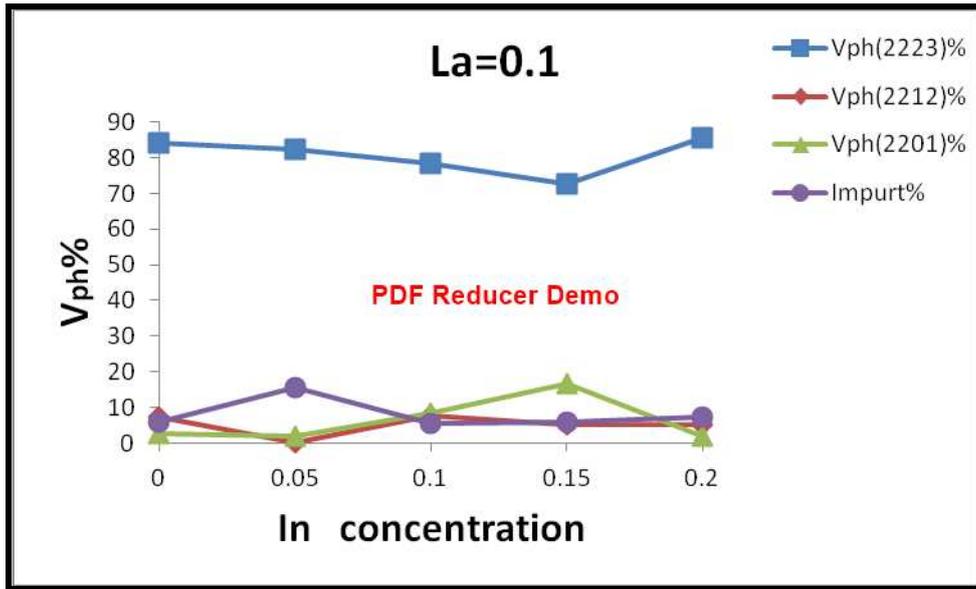
الشكل (4-94) تغير كثافة وحدة الخلية كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (G).

الجدول (4-38) يبين نسب الاطوار ومعاملات الشبكة و (c/a) والكثافة للمجموعة (H).

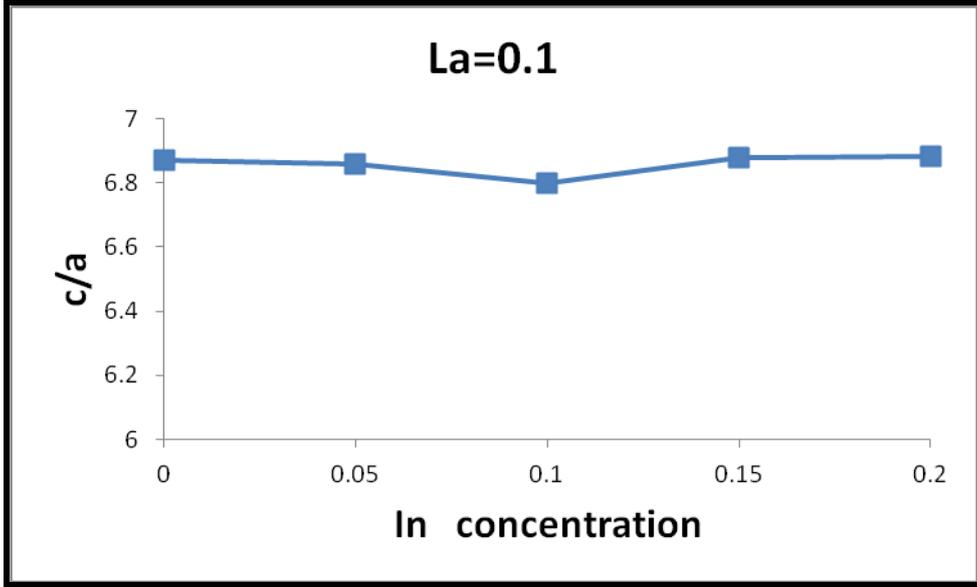
MIX	La ₂ O ₃	In ₂ O ₃	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impurt%	a A°	b A°	c A°	c/a	d _m (g/cm ³)
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	6.871	2.250
H1	0.1	0.05	82.507	0	1.895	15.597	5.3990	5.4538	37.0347	6.859	2.292
H2	0.1	0.1	78.421	7.631	8.421	5.526	5.4400	5.4377	37.0022	6.801	2.269
H3	0.1	0.15	72.619	5.114	16.522	5.743	5.4116	5.4866	37.2174	6.877	2.233
H4	0.1	0.2	85.616	5.022	1.902	7.458	5.4040	5.4728	37.1944	6.882	2.229

من خلال الجدول (4-38) الذي يظهر الخواص التركيبية لعينات المجموعة (H) التي تكون فيها نسبة اللانثانيوم ثابتة (0.1) مع تغير في نسبة الانديوم (0.05, 0.1, 0.15, 0.2)، حيث اظهرت فحوصات (XRD) ان كل العينات كانت ذات تركيب بلوري معيني قائم مع نقصان في نسبة الطور العالي في العينات (H1, H2, H3) وزيادته في العينة (H4)، ونقصان في طول المحور (c) لجميع العينات واختلاف في قيم النسبة (c/a) وكثافة وحدة الخلية بزيادة نسبة اللانثانيوم والتي يقابلها تغير في كل من الاطوار الواطنة والشوائب مقارنة بالعينة النقية. والذي توضحه الاشكال (4-95, 96, 97)، يعود هذا السبب الى زيادة نسبة اللانثانيوم بدلا من النحاس التي تعمل على اختلال في نسبة الاوكسجين والتي تسبب اختلالا وتشوها في طبقات اوكسيد النحاس وبالتالي في التركيب البلوري ونسبة تكون الطور العالي، وكذلك ممكن ان يعزى هذا السبب الى درجة حرارة التليد التي من الممكن ان تؤدي الى عدم تكون الطور السائل النسبي بالصورة المثلى والذي يؤدي

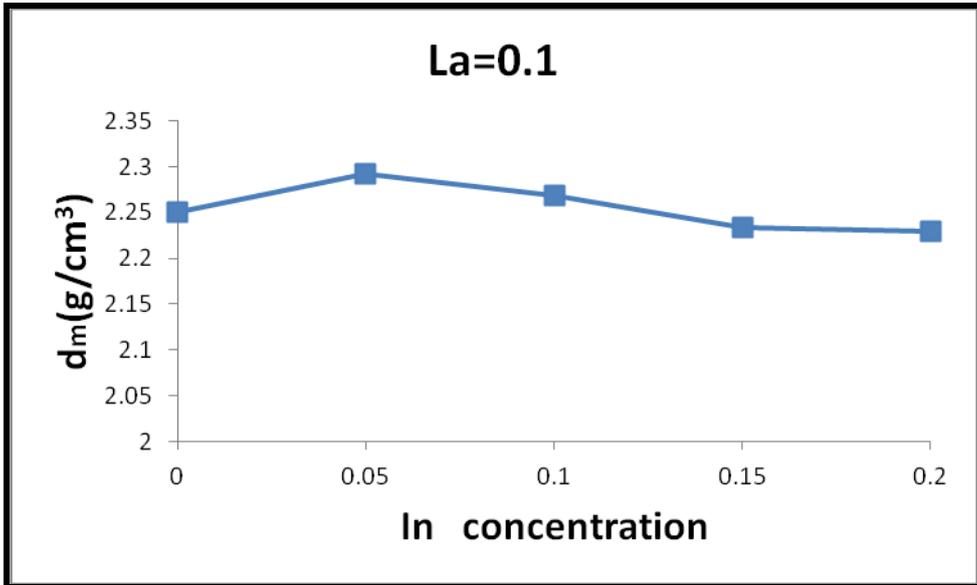
دورا مهما في زيادة نسبة تشكيل الطور العالي وكذلك له الاثر الكبير في زيادة الكثافة في التركيب البلوري، اضافة الى تغير نسب استبدال الانديوم بدلا من البزموت الذي من الممكن ان يؤدي الى دعم تفاعلات جانبية اخرى تؤدي الى زيادة تكون اطوار اخرى وشوائب التي تعمل على اضعاف التركيب البلوري والتقليل من عملية التبلور وتشويه وتغير في معاملات الشبكة. حيث ان استبدال الانديوم بدلا من البزموت يعمل على تكوين الروابط الضعيفة بين الحبيبات وبالتالي عدم استقرار التركيب وكذلك بسبب استبدال النحاس باللانثانيوم والذي يؤدي الى التدهور في الخواص التركيبية [4,22]. اما بالنسبة للعينة (H4) فقد كان لها الحظ الاوفر في ان تتوافق نسب كل من اللانثانيوم والانديوم بحيث شكلت نسب الاستبدال المثلى والتي ادت الى تحسن تشكيل الطور العالي (Bi-2223).



الشكل (4-95) تغير نسب الاطوار والشوائب كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (H).



الشكل (4-96) تغير النسبة (c/a) كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (H).



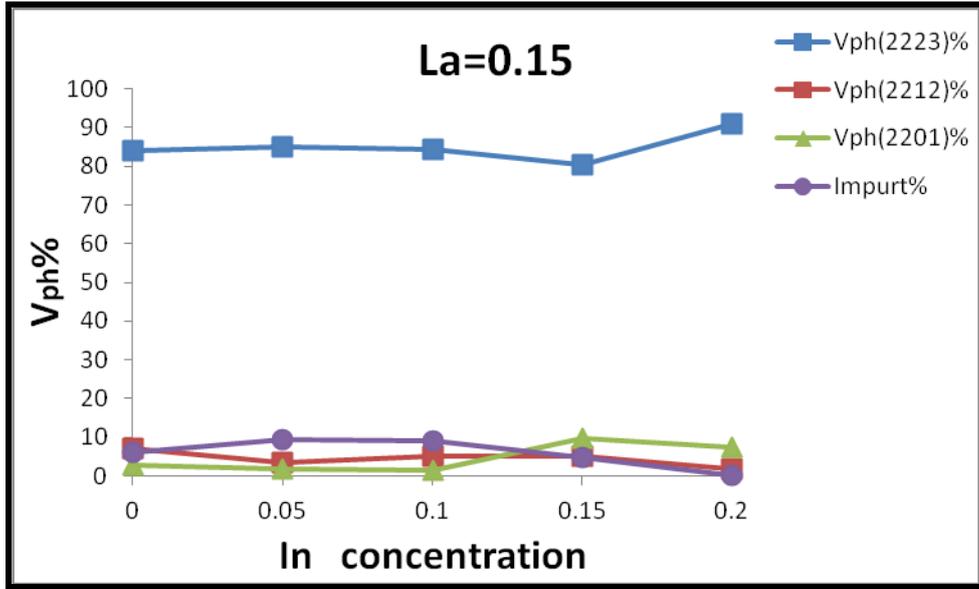
الشكل (4-97) تغير كثافة وحدة الخلية كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (H).

الجدول (4-39) يبين نسب الاطوار ومعاملات الشبكة و (c/a) والكثافة للمجموعة (K).

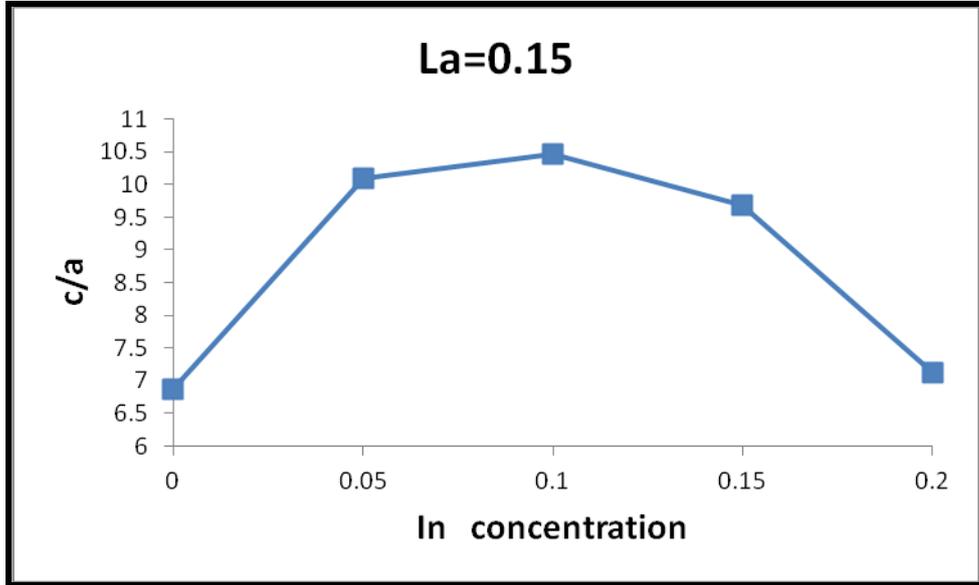
MIX	La ₂ O ₃	In ₂ O ₃	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impurt%	a A°	b A°	c A°	c/a	d _m (g/cm ³)
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	6.871	2.250
K1	0.15	0.05	85.171	3.308	1.960	9.558	3.6982	5.4269	37.3373	10.096	3.362
K2	0.15	0.1	84.480	4.966	1.354	9.198	3.6158	5.3867	37.8075	10.456	3.400
K3	0.15	0.15	80.368	5.128	9.775	4.727	3.8422	3.7922	37.1959	9.680	4.591
K4	0.15	0.2	90.933	1.705	7.360	0	5.2026	5.4571	37.0822	7.127	2.348

من خلال الجدول (4-39) الذي يظهر الخواص التركيبية لعينات المجموعة (K) والتي تكون فيها نسبة اللانثانيوم ثابتة (0.15) مع تغير في نسبة الانديوم (0.05,0.1,0.15,0.2)، حيث اظهرت فحوصات (XRD) ان كل العينات كانت ذات تركيب بلوري معيني قائم مع زيادة في نسبة الطور العالي في العينات (K1,K2,K4) مع زيادة في طول المحور (c) لعينات (K1,K2) و زيادة في قيم النسبة (c/a) وكثافة وحدة الخلية لجميع العينات بزيادة نسبة اللانثانيوم والتي يقابلها تغير في كل من الاطوار الواطنة والشوائب مقارنة بالعينة النقية. والذي توضحه الاشكال (4-98,99,100)، ويعود هذا السبب الى توفر الظروف المثلى في تشكيل الطور العالي واستقراره بداية من درجة حرارة وزمن وجو التليد الى مدى نسب الاستبدال لكل من الانديوم واللانثانيوم والتي عملت كلها جميعا متزامنة في تعديل التركيب البلوري وتحسينه. حيث ان عملية الاستبدال بدلا من البزموت والنحاس ممكن ان تعمل على دفع المادة الى تفاعلات تعمل على رفع الذرات الثنائية التكافؤ مثل النحاس وتحويلها الى ذرات ثلاثية التكافؤ التي تكون ضرورية في تشكيل المواد فائقة التوصيل ذات الدرجات الحرجة العالية. مثل هذه العملية ممكن ان تدفع بحالة التفاعل للمركب من مركب مطعم بصورة مشوشة الى مركب مطعم بصورة مستقرة.

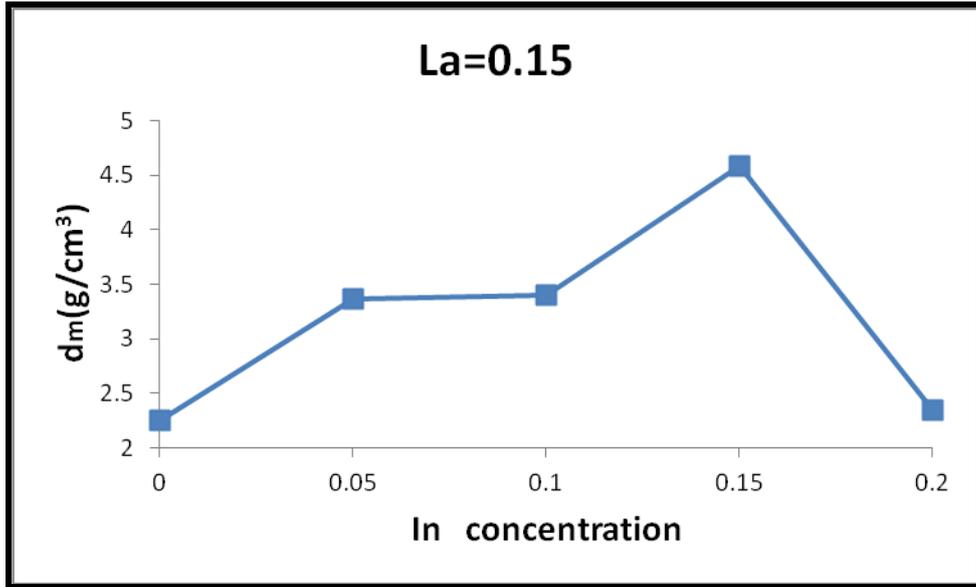
[199]



الشكل (4-98) تغير نسب الاطوار والشوائب كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (K).



الشكل (4-99) تغير النسبة (c/a) كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (K).



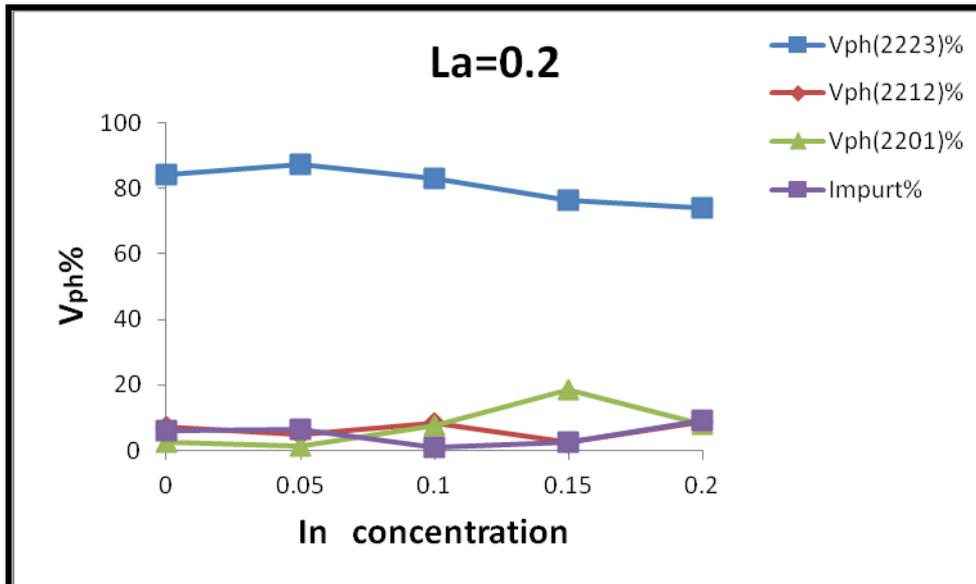
الشكل (4-100) تغير كثافة وحدة الخلية كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (K).

الجدول (4-40) يبين نسب الاطوار ومعاملات الشبيكة و (c/a) والكثافة للمجموعة (L).

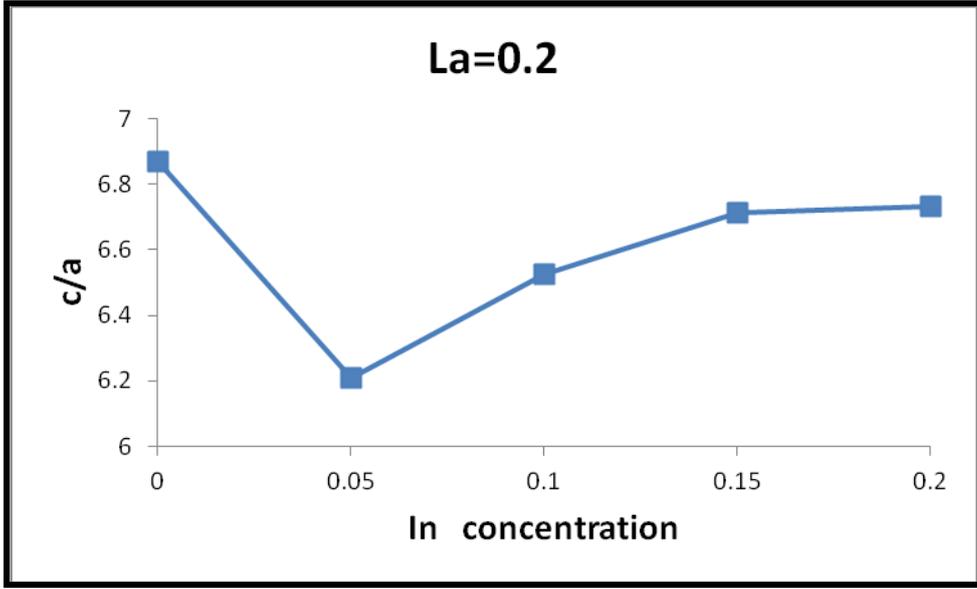
MIX	La ₂ O ₃	In ₂ O ₃	V _{ph(2223)} %	V _{ph(2212)} %	V _{ph(2201)} %	Impurt%	a A°	b A°	c A°	c/a	d _m (g/cm ³)
O	0	0	84.115	7.249	2.665	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	6.871	2.250
L1	0.2	0.05	87.541	4.796	1.265	6.395	5.9468	5.4444	36.9225	6.208	2.125
L2	0.2	0.1	82.959	8.247	7.701	1.091	5.4214	5.4464	35.3864	6.527	2.418
L3	0.2	0.15	76.288	2.405	18.671	2.634	5.5365	5.4390	37.1626	6.712	2.242
L4	0.2	0.2	74.102	8.826	7.953	9.117	5.5252	5.2922	37.1949	6.731	2.292

من خلال الجدول (4-40) والذي يظهر الخواص التركيبية لعينات المجموعة (L) التي تكون فيها نسبة اللانثانيوم ثابتة (0.2) مع تغير في نسبة الانديوم (0.05, 0.1, 0.15, 0.2)، حيث اظهرت فحوصات (XRD) ان كل العينات كانت ذات تركيب بلوري معيني قائم مع نقصان في نسبة الطور العالي في جميع العينات وبصورة مميزة وتدرجية بزيادة نسبة الانديوم ونقصان في طول المحور (c) لجميع العينات ونقصان في قيم النسبة (c/a) وكذلك اختلاف في كثافة وحدة الخلية بزيادة نسبة الانديوم والتي يقابلها تغير في كل من الاطوار الواطنة والشوائب مقارنة بالعينة النقية. والذي توضحه الاشكال (4-101, 102, 103)، ويعود هذا السبب الى زيادة نسبة اللانثانيوم بدلا من النحاس التي تعمل على اختلال في نسبة الاوكسجين والتي تسبب اختلالا وتشوها، وكذلك ممكن ان يعزى هذا السبب ان نسبة التطعيم اصبحت نسبة مفرطة والتي تؤدي الى تولد اجهادات ثرموآلية نتيجة طول الزمن ودرجة حرارة التليد والتي من الممكن ان تؤدي الى تاخر عملية التتوي والنمو وبالتالي تأخر التبلور

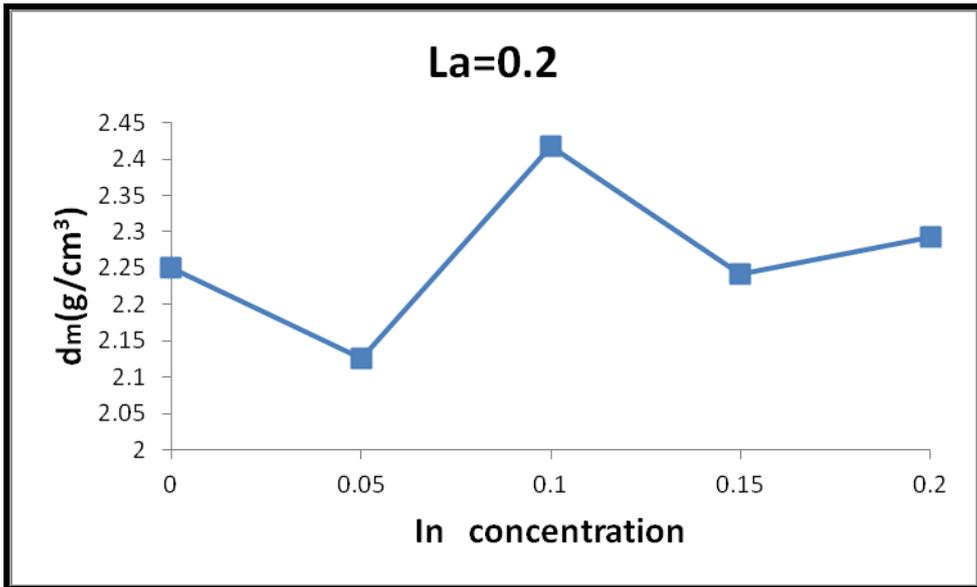
وتكون الطور العالي بسبب تكون الشوائب خلال عملية التفاعل حيث ان نسبة التطعيم تكون عاملا ذات تأثيرين متناقضين حيث ممكن ان تكون نسبة معينة عامل مساعد على تكوين الطور العالي بأفضل صورة وممكن ان تكون عاملا مثبطا يعمل على تغيير سير التفاعل باتجاه تكوين اطوار واطئة وشوائب على حساب الطور العالي. وبرايانا ان التأثير الاكبر كان لزيادة نسبة اللانثانيوم حيث ان من المعروف في الانظمة فائقة التوصيل (HTSC) ومنها النظام (BSCCO) حساسيتهم العالية للاستبدال والتطعيم باحد العناصر الارضية النادرة ومنها اللانثانيوم حيث تعمل هذه العناصر على تدهور خواص هذه الانظمة التركيبية وتنشيط واخماد حالة التوصيلية الفائقة فيها [22,36,37]، وكذلك تشويه تركيب الاواصر وتغير في معاملات وحدة الخلية،بالاضافة الى ان عملية الاستبدال كانت في مواقع النحاس حيث ان استبدال النحاس بمعظم الايونات المعدنية ينتج تدهورا في الخواص فائقة التوصيل بالرغم من ان مقدار هذا التدهور والايخماد يعتمد بشكل خاص على الانواع الايونية،ولكن على العموم فان الاخماد الاعظم يحدث عندما تشغل الايونات البديلة مواقع النحاس في طبقة (CuO) بينما يكون اقل بكثير اذا شغلت الايونات في السلسلة الخطية لمواقع النحاس [230,231].



الشكل (101-4) تغير نسب الاطوار والشوائب كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (L).



الشكل (4-102) تغير النسبة (c/a) كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (L).



الشكل (4-103) تغير كثافة وحدة الخلية كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (L).

2-3-4 نتائج فحوصات المقاومة الكهربائية ودرجة الحرارة الحرجة:

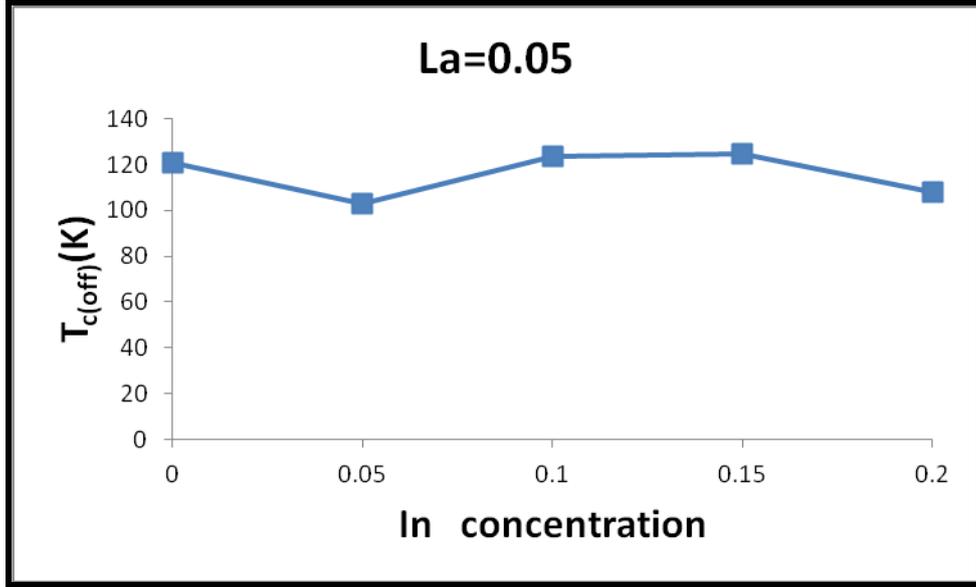
الجدول (4-41) يبين نسب الاطوار ودرجة الحرارة الحرجة وفجوة الطاقة وتركيز الفجوات للمجموعة (G).

MIX	La ₂ O ₃	In ₂ O ₃	V _{ph} (2223)%	V _{ph} (impurt)%	a A°	b A°	C A°	d _m (g/cm ³)	T _{C(OFF)} K	E _g (eV)	P(Hole concentration)
O	0	0	84.115	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	2.250	120.9	0.036809516	0.16
G1	0.05	0.05	76.395	4.734	5.4132	5.4510	36.8908	2.277	103.1	0.031390084	0.117
G2	0.05	0.1	85.816	4.596	5.4220	5.4632	37.1832	2.236	123.7	0.037662011	> 0.16
G3	0.05	0.15	86.711	4.610	5.4317	5.4506	37.0662	2.230	124.5	0.037905581	> 0.16
G4	0.05	0.2	80.573	6.779	5.6496	5.4441	37.0982	2.130	107.8	0.032821058	0.123

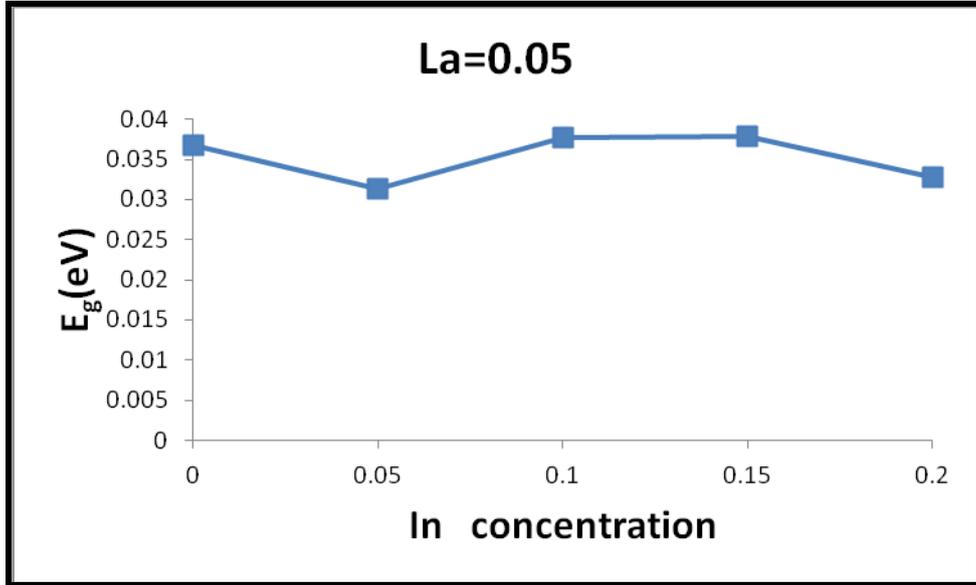
من الجدول (4-41) نلاحظ اختلافا واضحا في درجات الحرارة الحرجة للعينات المجموعة (G)، حيث نلاحظ ازدياد في درجة الحرارة الحرجة للعينات (G2, G3) في حين انخفاضها لكل من (G1, G4)، وهذه النتائج تنعكس ايضا على قيمة فجوة الطاقة والأشكال (4-104) و(4-105) توضح تغير درجة الحرارة الحرجة وفجوة الطاقة كدالة لتغير تركيز الانديوم على التوالي وكذلك تنعكس على تركيز الفجوات، ويمكن ان يعزى سبب هذه التقلبات بالنتائج تبعا لازدياد تركيز الانديوم هو ان الزيادة والنقصان في درجة الحرارة الحرجة كانت بسبب الزيادة والنقصان في نسبة الطور العالي والذي يتفق مع نتائج فحوصات (XRD)، حيث ان عملية التطعيم ممكن ان تخفف من التحوير الذي يحدث بوساطة توازن الشحنة، وعلى الرغم من ان هناك زيادة في الاوكسجين الا انها تظهر تدهورا في الطور العالي بسبب ان كثافة الالكترونات الفائقة في تركيب الطبقة ذات الصلة تكون منخفضة بما فيه الكفاية لتخفض درجة الحرارة الحرجة وتحول الجزيئة من الطور العالي الى الطور الواطئ.

اما الزيادة في درجة الحرارة الحرجة فممكن ان تكون بسبب عملية الاستبدال او العيوب والذي يعدل في مقدار الشحنات المنتقلة من طبقة البزموت الى طبقة النحاس والذي سوف يؤدي الى توليد قوة دافعة لتوليد الازواج من الفجوات فائقة التوصيل وكذلك ممكن ان تكون بسبب خلق تركيز الفجوات اكثر وبالنتيجة يحدث تحسن في

الطور العالي وزيادة في كل من $(T_{c(onset)})$ و $(T_{c(offset)})$. [172,186]



الشكل (4-104) تغير درجة الحرارة الحرجة (T_c) كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (G).



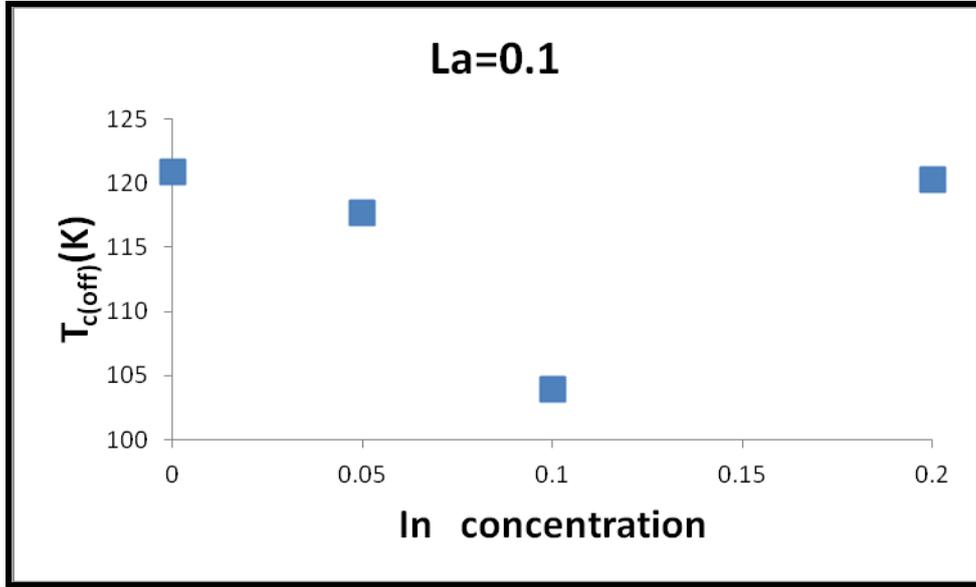
الشكل (4-105) تغير فجوة الطاقة (E_g) كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (G).

الجدول(4-42) يبين نسب الاطوار ودرجة الحرارة الحرجة وفجوة الطاقة وتركيز الفجوات للمجموعة (H).

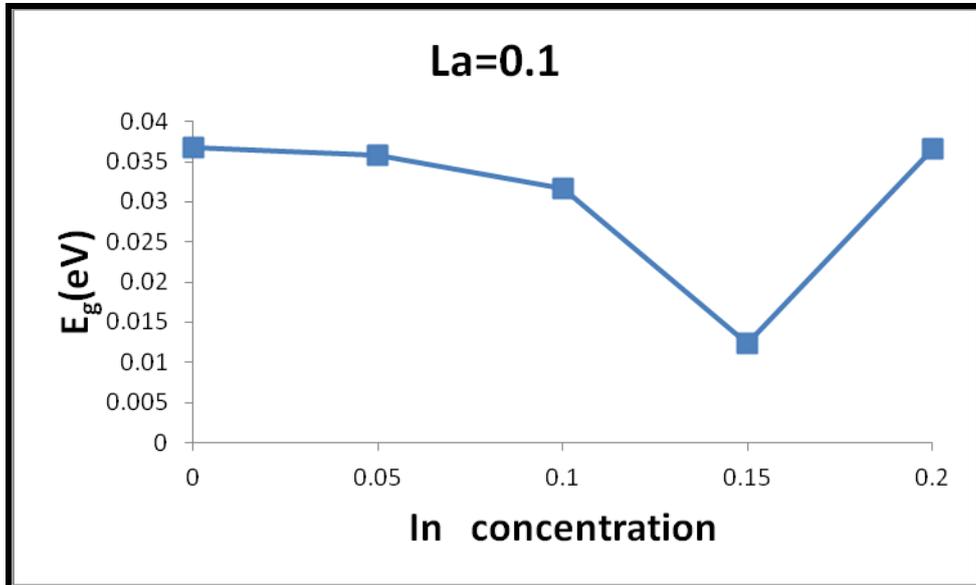
MIX	La ₂ O ₃	In ₂ O ₃	V _{ph} (2223)%	V _{ph} (impur)%	a A°	b A°	C A°	d _m (g/cm ³)	T _{C(OFF)} K	E _g (eV)	P(Hole concentration)
O	0	0	84.115	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	2.250	120.9	0.036809516	0.16
H1	0.1	0.05	82.507	15.597	5.3990	5.4538	37.0347	2.292	117.7	0.035835236	0.142
H2	0.1	0.1	78.421	5.526	5.4400	5.4377	37.0022	2.269	103.9	0.031633654	0.118
H3	0.1	0.15	72.619	5.743	5.4116	5.4866	37.2174	2.233	-----	0.0124	-----
H4	0.1	0.2	85.616	7.458	5.4040	5.4728	37.1944	2.229	120.3	0.036626839	0.152

ومن الجدول(4-42) والذي يظهر فيه نقصان في درجات حرارة الانتقال الحرجة لعينات المجموعة (H) بزيادة كل من نسبة الانديوم وكذلك زيادة نسبة اللانثانيوم مقارنة بالعينة النقية حيث نلاحظ انخفاضاً في درجة الحرارة الحرجة لكل من العينات (H1,H2,H4) مع ملاحظة ان العينة (H3) اظهرت سلوكاً شبه موصل وكما موضح في الشكل(4-106). وان هذا الاختلاف في درجات الحرارة الحرجة يؤدي الى الاختلاف في فجوة الطاقة كما هو واضح في الشكل (4-107)، والسبب يعزى الى ان الزيادة في تركيز اللانثانيوم يسبب اختلالاً واضطراباً في التركيب البلوري للعينة والمصحوب بزيادة الروابط الضعيفة بين الحبيبات نتيجة الزيادة في تركيز الانديوم والذي ينعكس على الاختلاف في درجة حرارة الانتقال الحرجة، وهناك سبب آخر وهو التشتت عند الحدود الحبيبية والتشتت الذي يحصل داخل الحبيبية الواحدة والذي يؤدي الى كبت او اعاققة التوصيل الفائق [4]، وان عملية الانتقال الى الطور فائق التوصيل مع الانخفاض في نسبة الطور العالي يعزى سببها الى ان نسبة تكون الطور العالي تكون كافية لتشكيل شبكة مستمرة من الحبيبات مع معظم الخطوط ضعيفة الربط لمناطق هذا الطور فقط وعند انخفاض درجة الحرارة فان التيار يمر عبر مسارات انتقال الحبيبات للطور العالي والتي تقترن معاً عبر الروابط الضعيفة متجاوزاً لمناطق الاطوار الواطئة والشوائب (اشبه ما يكون بحل ذكي لمتاهة)، اما بالنسبة للسلوك شبه الموصل للعينة (H3) فممكن ان يكون بسبب ان تحول المادة من الحالة فائقة التوصيل الى الحالة غير فائقة التوصيل (شبه موصل او عازل) يعزى الى الزيادة في كل من تركيز الاطوار الغير فائقة التوصيل وكذلك الاطوار الثانوية والشوائب والتي تؤدي الى النقصان في تحركية حاملات الشحنة حيث ان هذه الاطوار تعمل كمراكز كبح معرقله لحاملات الشحنة والتي تولد حاجز جهد عالي، وكذلك

ممکن ان تكون بسبب التقلبات التي تحدث في ذرات الاوكسجين نتيجة عملية الاستبدال والتي ممکن ان تغير او تحور في الطبقات الموصلة والذي يكون نتیجته ان تتغير حالة المادة من الحالة فائقة التوصيل الى الحالة غير فائقة التوصيل. [188]



الشكل (106-4) تغير درجة الحرارة الحرجة (T_c) كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (H).



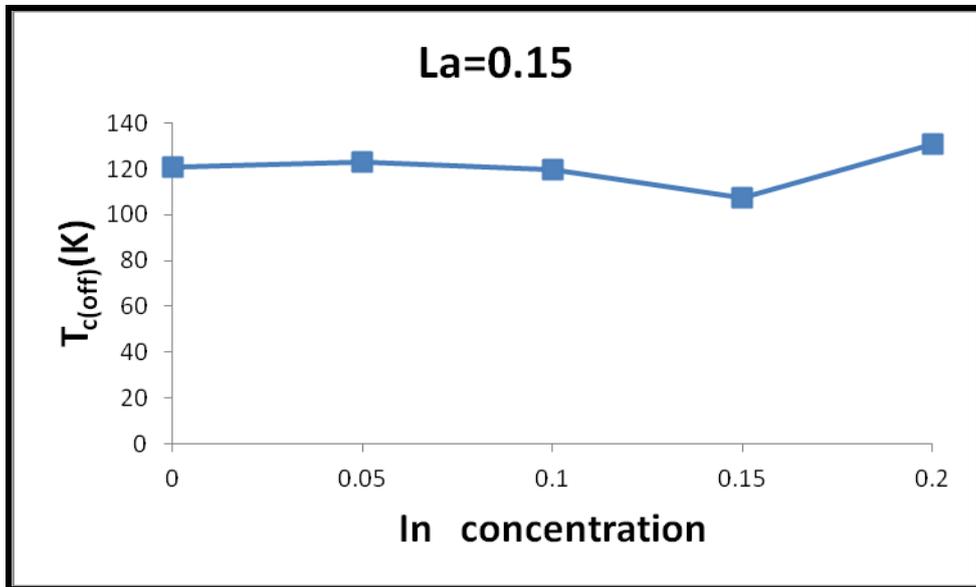
الشكل (107-4) تغير فجوة الطاقة (E_g) كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (H).

الجدول (4-43) يبين نسب الاطوار ودرجة الحرارة الحرجة وفجوة الطاقة وتركيز الفجوات للمجموعة (K).

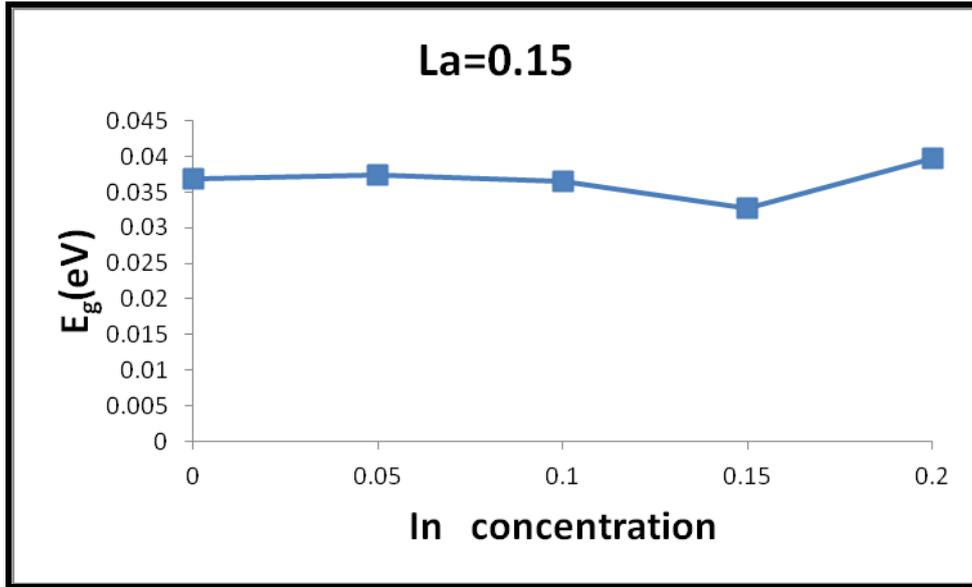
MIX	La ₂ O ₃	In ₂ O ₃	V _{ph} (2223)%	V _{ph} (impur)%	a A°	b A°	C A°	d _m (g/cm ³)	T _{C(OFF)} K	E _g eV	P(Hole concentration)
O	0	0	84.115	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	2.250	120.9	0.036809516	0.16
K1	0.15	0.05	85.171	9.558	3.6982	5.4269	37.3373	3.362	123.1	0.037479334	> 0.16
K2	0.15	0.1	84.480	9.198	3.6158	5.3867	37.8075	3.400	119.7	0.036444161	0.149
K3	0.15	0.15	80.368	4.727	3.8422	3.7922	37.1959	4.591	107.7	0.032790611	0.123
K4	0.15	0.2	90.933	0	5.2026	5.4571	37.0822	2.348	130.7	0.039793249	> 0.16

ومن خلال الجدول (4-43) نلاحظ في هذه المجموعة بالعموم تحسنا في الخواص فائقة التوصيل من حيث نسب الطور العالي (Bi-2223) حيث ان العينة (K4) كان لها اعلى نسبة من الطور العالي واعلى درجة حرارة انتقال حرجة مقارنة بالعينات البقية والعينة النقية وكما موضح في الشكل (4-35)، حيث نلاحظ فيها انعدام الشوائب والذي يؤدي بالنتيجة الى ارتفاع درجة الحرارة الحرجة للعينة (K4) وكذلك ارتفاع قيمة فجوة الطاقة كما موضح في الشكل (4-108) والشكل (4-109) على التوالي، في حين نجد ان هناك تباينا واضحا من حيث درجة الحرارة الحرجة حيث نجد زيادة في قيمها في كل من العينات (K1, K4) وحصول انخفاض في درجات الحرارة الحرجة لكل من العينات (K2, K3)، ويمكن تفسير هذا السلوك الى نسبة الاضافة الكبيرة في ذرات اللانثانيوم التي تسبب تدهورا ونقصانا في الطور (Bi-2223) والذي يقابله زيادة ونمو في الاطوار الواطئة والشوائب، ويعزى السبب في ذلك الى امكانية اقحام ذرات اللانثانيوم في مواقع غير مرغوبة بين الحبيبات فائقة التوصيل والتي تسبب مراكز وهن وقطع ضمن او في التركيب البلوري. وكذلك ان نسبة الانديوم عند هذه النسبة من اللانثانيوم تؤدي الى زيادة في الروابط الضعيفة بين الحبيبات، ويمكن ان تفسر هذه النتائج على اساس تركيز الفجوات في العينات حيث لوحظ أن تركيز الفجوات في العينات المطعمة كانت أقل من تركيزها في العينة النقية وهذا يؤدي إلى انخفاض في درجة حرارة الانتقال الحرجة في العينات (K2, K3)، وان تغير تركيز الفجوات في (CuO) مع زيادة تركيز (In⁺³, La⁺³) يؤدي الى الانخفاض في درجة الحرارة الحرجة، والذي يمكن أن يكون راجعا إلى سببين هما: الأول هو عدم الاستقرار في التركيب البلوري، والآخر هو تأثير ملء الفجوات، وكذلك هناك سبب اخر هو أن الاستبدال في (النحاس) يؤدي إلى تدهور الخصائص فائقة التوصيل

للمركبات (HTSC)، ونلاحظ من خلال الجدول ان العينة المثلى في هذه المجموعة هي العينة (K4) ويرجع السبب في هذا الى امتلاكها النسبة الكبرى من الطور العالي والتي ممكن ان تكون قد نتجت من حصول الحالة المثلى من تركيز الفجوات و محتوى الاوكسجين والذي عمل على شغل فراغات الاوكسجين في تركيب (Bi-2223)، وكذلك انعدام الشوائب فيها. بالاضافة الى ان مثل هذا التحسن ممكن ان يكون بسبب نسب الاستبدال والتي عملت على تحسين الروابط الضعيفة بين الحدود الحبيبية وبالتالي تحسين التوصيلية بين الحبيبات والذي نتيجته الحصول على درجة حرارة حرجة عالية. [233]



الشكل (108-4) تغير درجة الحرارة الحرجة (T_c) كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (K).



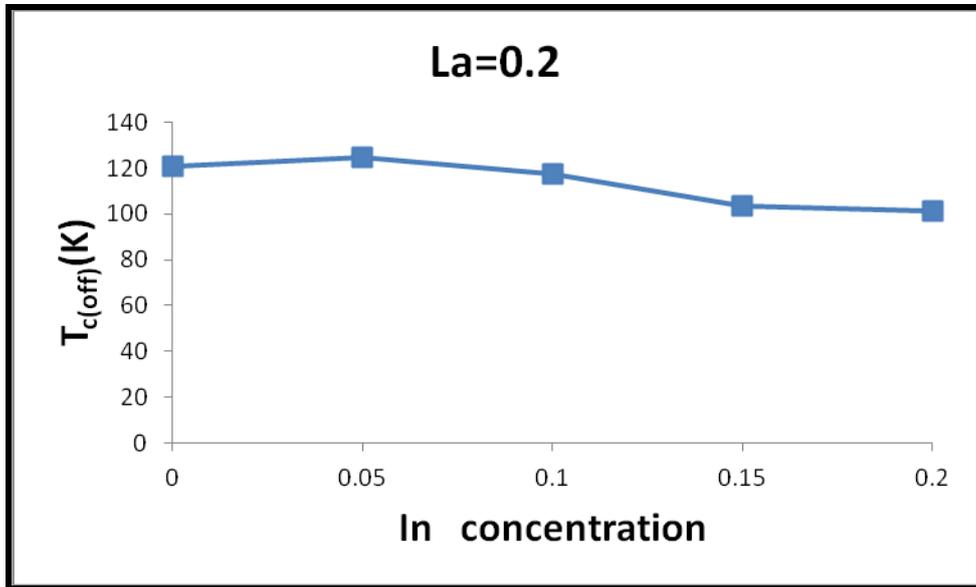
الشكل (4-109) تغير فجوة الطاقة (E_g) كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (K).

الجدول (4-44) يبين نسب الاطوار ودرجة الحرارة ودرجة فجوة الطاقة وتركيز الفجوات للمجموعة (L).

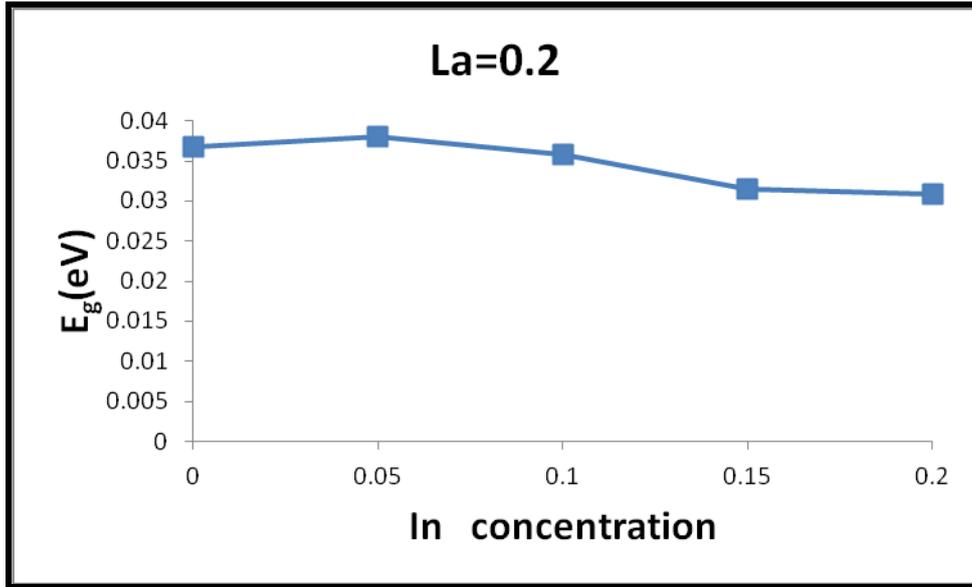
MIX	La ₂ O ₃	In ₂ O ₃	V _{ph} (2223)%	V _{ph} (impur)%	a A°	b A°	C A°	d _m (g/cm ³)	T _{C(OFF)} K	E _g (eV)	P(Hole concentration)
O	0	0	84.115	5.970	5.4169	5.4509	37.2246	2.250	120.9	0.036809516	0.16
L1	0.2	0.05	87.541	6.395	5.9468	5.4444	36.9225	2.125	124.9	0.038027366	> 0.16
L2	0.2	0.1	82.959	1.091	5.4214	5.4464	35.3864	2.418	117.4	0.035743898	0.141
L3	0.2	0.15	76.288	2.634	5.5365	5.4390	37.1626	2.242	103.3	0.031450976	0.118
L4	0.2	0.2	74.102	9.117	5.5252	5.2922	37.1949	2.292	101.1	0.030781159	0.115

الجدول (4-44) والذي يبين درجات الحرارة لعيّنات المجموعة (L) والتي تظهر تناقصاً وتدهوراً واضحاً في كل من نسبة الطور (Bi-2223) وكذلك درجة الحرارة الحرجة والتي تنعكس على تناقص فجوة الطاقة وبصور منتظمة مع زيادة نسبة الانديوم كما هو موضح في الشكلين (4-110,111) والتي يمكن أن يعزى هذا السلوك إلى الانخفاض الكبير في الطور العالي (Bi-2223) بالمقارنة مع العينة النقية. ماعدا العينة (L1) والتي يمكن اعتبارها العينة المثلى في هذه المجموعة من حيث نسبة الطور العالي وكذلك درجة الحرارة الحرجة ويعزى السبب في سلوك هذه العينة إلى ان الانخفاض الذي يمكن ان يحصل بسبب الزيادة في تركيز اللانثانيوم ممكن ان يعزز ويعالج بوساطة استبدال الانديوم من خلال تعزيز حالة الانصهار الجزئي وتكون الطور السائل الجزئي والذي يعمل على تحسين حالة النمو والتتوي للطور العالي وبالتالي زيادة درجة الحرارة الحرجة، ولكن وجود زيادة اكبر في تركيز

الانديوم تعمل على تدهور الخواص فائقة التوصيل في باقي العينات فانه ممكن ان يحدث بسبب غياب النحاس (Cu) في طبقات (CuO) نتيجة استبداله باللانثانيوم (La) و الذي يميل إلى عمل تشويه واضطراب في شبكة اوكسيد النحاس (CuO) والتنشيط من حالة التوصيل الفائق. هنالك أيضا زيادة أو نقصان تركيز الاوكسجين في العينة يمكن أن يؤدي إلى تشوه في طبقات أوكسيد البزموت والتي هي أيضا سوف تتعرض الى التشوه بسبب زيادة نسبة الانديوم والتي ممكن ان تسبب فقداننا في بعض ذرات البزموت التي من المتوقع أن يقابلها زيادة في تركيز الفجوات في طبقات (Cu-O)، لذلك سيكون هناك إعادة ترتيب في تركيز الفجوات بين (CuO) و (BiO) التي يمكن أن تسبب التغير في ثوابت الشبكة وتركيز الفجوات في طبقة (CuO) والتي تؤدي لاحقا الى الاختلال في كمية حاملات الشحنة في الطبقات فائقة التوصيل مسببة تناقص في الخواص فائقة التوصيل ومنه الانخفاض في درجات الحرارة الحرجة بزيادة نسبة الانديوم. [4]



الشكل (4-110) تغير درجة الحرارة الحرجة (T_c) كدالة لتركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (L).



الشكل (111-4) تغير فجوة الطاقة (E_g) كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (L).

3-3-4 نتائج فحوصات الخواص العزلية:

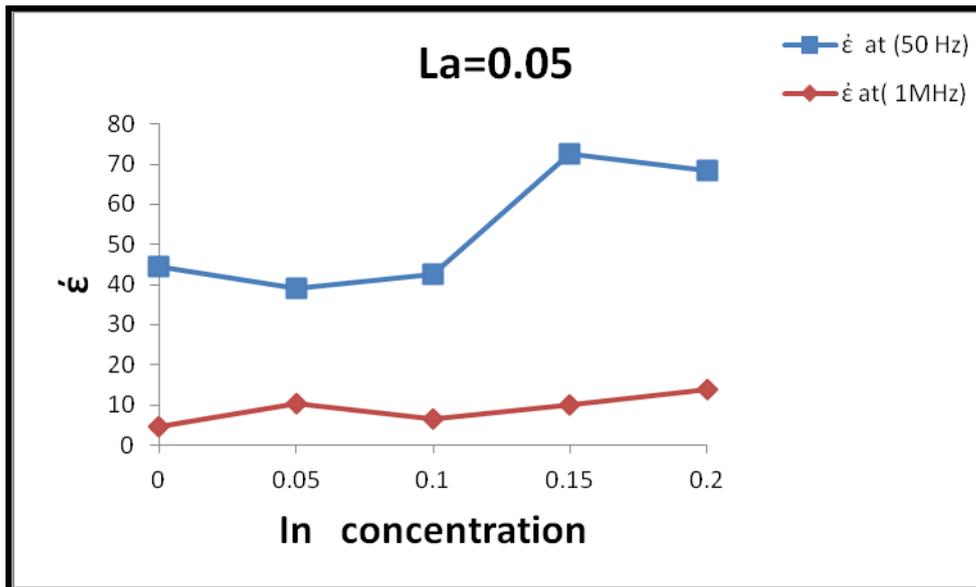
1-3-3-4 ثابت العزل الحقيقي:

من خلال الجداول (4-45,46,47,48) التي توضح تغيرات ثابت العزل الحقيقي بزيادة تراكيز كل من اللانثانيوم والانديوم عند ترددات (50Hz) و (1MHz) والموضحة في الاشكال (4-112,113,114,115) على التوالي، نلاحظ اختلافا في قيم ثابت العزل الحقيقي بصورة ملحوظة وكبيرة مقارنة بالعينة النقية، وكذلك هناك تباين في قيم ثابت العزل من مجموعة الى اخرى وكذلك ضمن المجموعة الواحدة والسبب يعود هنا الى الزيادة في نسبة الاستبدال لكل من الانديوم واللانثانيوم والذي من الممكن ان يعمل على تشويه التركيب البلوري وتوليد الاطوار الثانوية والشوائب بالاضافة الى تاثير وجود العيوب البلورية التي تسبب تشوها في الحجم المحيط بها وتحوير في المجالات الموضعية، والتي تعمل على زيادة تاثير الية الاستقطاب البيني، وبالنتيجة زيادة ثابت العزل الحقيقي للمادة، ومن جانب آخر الزيادة في نسبة اللانثانيوم والمتزامنة مع الزيادة في نسبة الانديوم تؤدي بالنتيجة الى زيادة بتركيز الشحنات والفجوات داخل العينات والذي نلاحظه عند التردد (50Hz) من زيادة في قيم ثابت العزل الحقيقي. اما الانخفاض في قيم ثابت العزل الحقيقي فممكن ان يعزى الى اختزال العيوب والاطوار الاخرى وكذلك اختزال بعض الحدود الحبيبية داخل

المادة والذي يعود الى تأثير درجة حرارة وزمن التليبد الطويل وهذا الذي يؤدي الى الانخفاض في الاستقطاب البيئي والذي يخفض من الاستقطاب عموما ، نلاحظ عموما انه عند النسب العالية للاندسيوم فان ثابت العزل يزداد بازدياد تركيز الانديوم وذلك بسبب زيادة الاستقطاب.[9]، واما في التردد (1MHz) فأنا نلاحظ انخفاضا في قيم ثابت العزل الحقيقي وذلك بسبب الغاء عمل بعض اليات الاستقطاب.

الجدول(4-45) قيم ثابت العزل الحقيقي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (G).

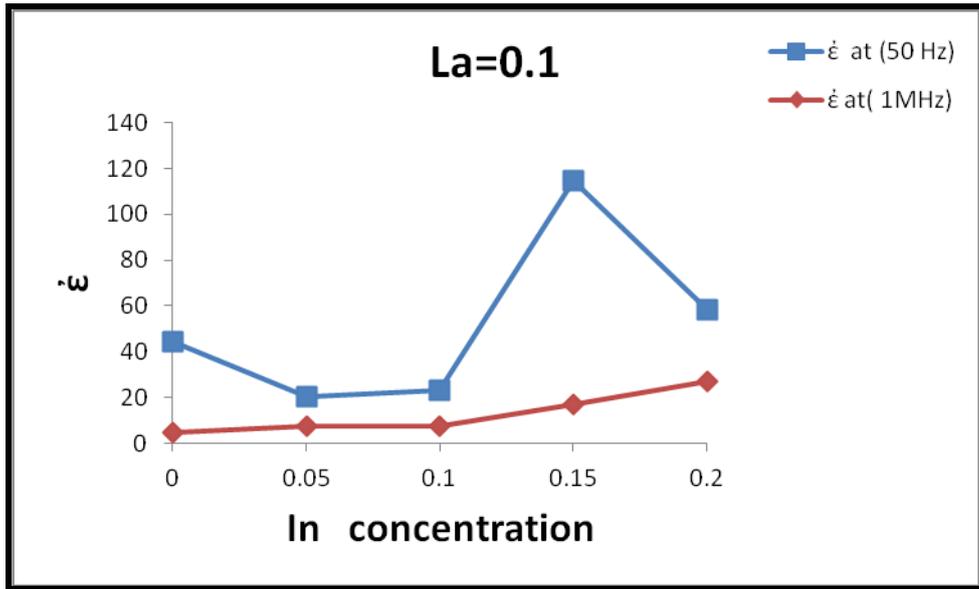
MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	ϵ' at (50 Hz)	ϵ' at(1MHz)
O	0	0	44.3503	4.460842
G1	0.05	0.05	38.96217	10.30366
G2	0.05	0.1	42.53942	6.602335
G3	0.05	0.15	72.43098	10.09757
G4	0.05	0.2	68.2706	13.69788



الشكل(4-112)تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة لتغير تركيز الانديوم(In)لعينات المجموعة(G).

الجدول(4-46) قيم ثابت العزل الحقيقي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (H).

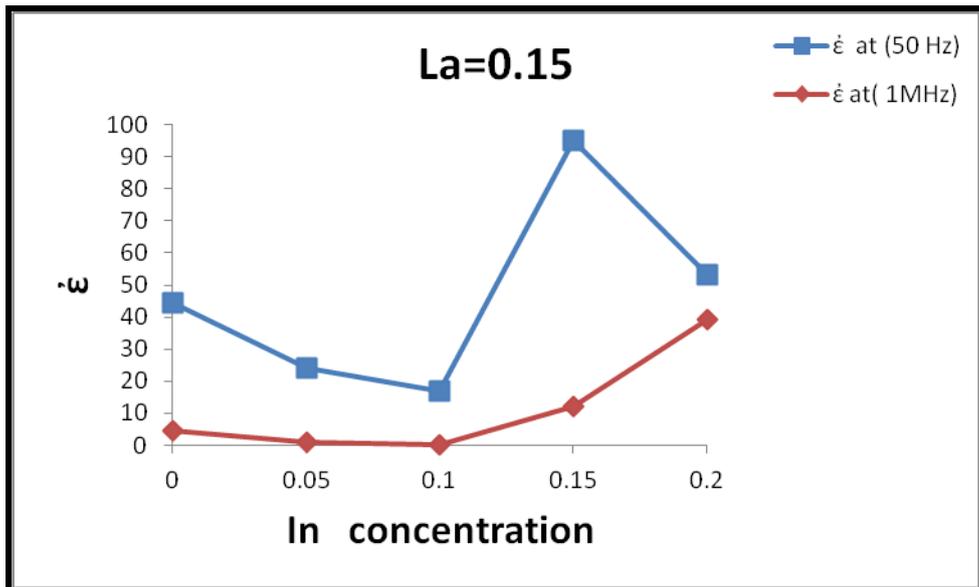
MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	ϵ' at (50 Hz)	ϵ' at(1MHz)
O	0	0	44.3503	4.460842
H1	0.1	0.05	20.48739	7.640061
H2	0.1	0.1	23.29156	7.448492
H3	0.1	0.15	114.484	17.05422
H4	0.1	0.2	58.16976	26.97409



الشكل (4-113) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (H).

الجدول (4-47) قيم ثابت العزل الحقيقي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (K).

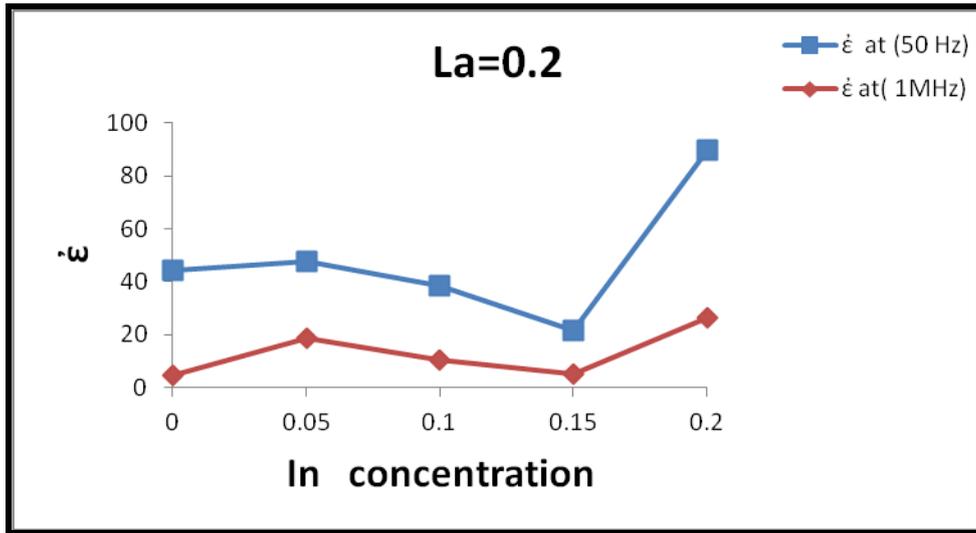
MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	ε' at (50 Hz)	ε' at (1 MHz)
O	0	0	44.3503	4.460842
K1	0.15	0.05	23.92197	0.82774
K2	0.15	0.1	16.9177	0.006522
K3	0.15	0.15	94.90428	11.95528
K4	0.15	0.2	53.3057	39.37079



الشكل (4-114) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (K).

الجدول (4-48) قيم ثابت العزل الحقيقي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (L).

MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	ϵ' at (50 Hz)	ϵ'' at (1MHz)
O	0	0	44.3503	4.460842
L1	0.2	0.05	47.73134	18.82448
L2	0.2	0.1	38.38332	10.42357
L3	0.2	0.15	21.66186	5.210014
L4	0.2	0.2	89.73508	26.24217



الشكل (4-115) تغير ثابت العزل الحقيقي كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (L).

2-3-3-4 ثابت العزل الخيالي:

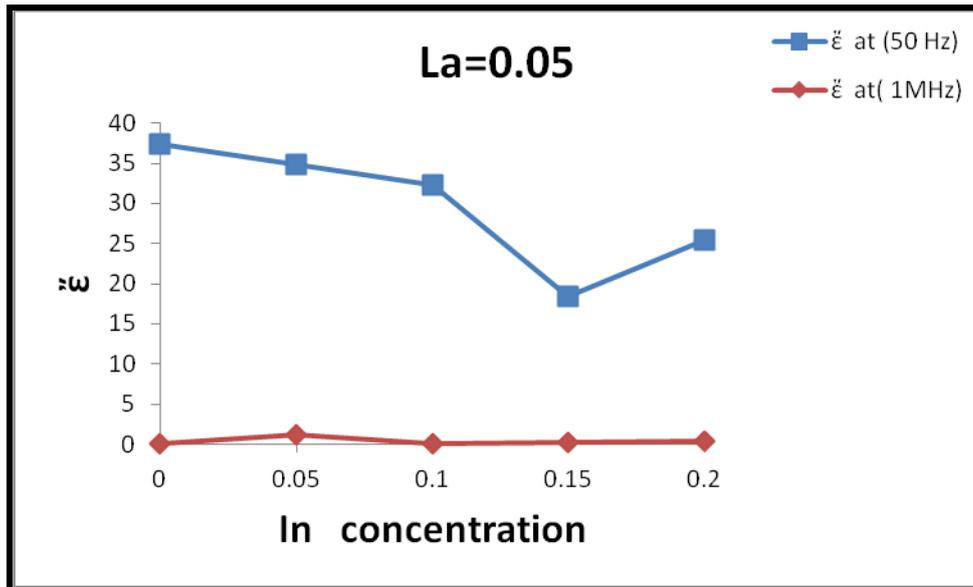
من خلال الجداول (4-49,50,51,52) التي توضح تغيرات ثابت العزل الخيالي بزيادة تراكيز كل من اللانثانيم والانديوم عند ترددات (50Hz) و (1MHz) والموضحة في الاشكال (4-116,117,118,119) على التوالي، فنلاحظ اختلافا في قيم ثابت العزل الخيالي بصورة ملحوظة وكبيرة مقارنة بالعينة النقية، والسبب يعود هنا الى الزيادة في نسبة الاستبدال لكل من الانديوم واللانثانيم، حيث ان الجزء الخيالي من ثابت العزل الكهربائي يشير الى امتصاص الطاقة وتشتيتها عند الفواصل (الحدود الحبيبية والعيوب الموضعية وتكدس الشحنات الموضعي وكذلك العيوب البلورية)، ويلاحظ انه بثبوت التردد ان الزيادة في قيم ثابت العزل الخيالي مقارنة بالعينة النقية ممكن ان يعزى الى الزيادة في اعداد ثنائيات الاقطاب بسبب عملية الاستبدال التي تؤدي الى زيادة الطاقة المفقودة من جراء دوران ثنائيات الاقطاب

واحتكاكها مع بعضها ، و اما الانخفاض في قيمة ثابت العزل الخيالي فتعزى الى ان حركة حاملات الشحنة وبسبب كثرة عددها خلال المادة ممكن ان تتباطأ عندما تلاقي اي طور في المادة وبسبب وجود هذه الاطوار وتعددتها في المادة فمن الممكن ان تؤدي الى تناقص الطاقة الممتصة او المتشتتة وهذا بالنتيجة يؤدي الى تناقص في قيمة ثابت العزل الخيالي. [221]

وبلاحظ ان هناك انخفاض في قيم ثابت العزل الخيالي واستقرارها في قيم مقارنة جدا للصفر عند الترددات العالية يشير الى ان مثل هذه الحالة من ثابت العزل الخيالي تكون مستقلة عن التردد ولا تعتمد عليه وهذه الحالة في طيف العوازل تنسب الى الاستقطابية الالكترونية والايونية. [218].

الجدول (4-49) قيم ثابت العزل الخيالي عند تردد (50Hz) و(1MHz) للمجموعة (G).

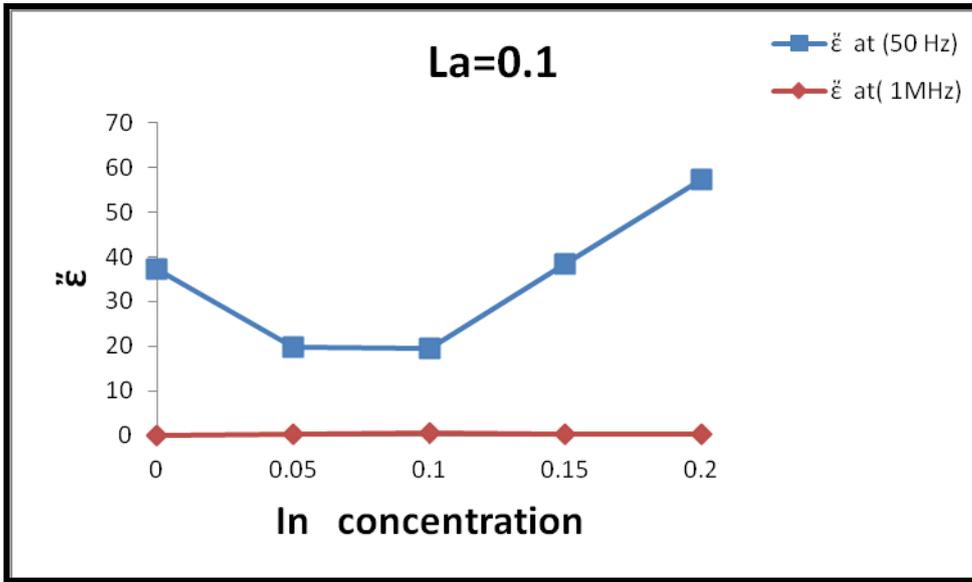
MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	ϵ'' at (50 Hz)	ϵ'' at(1MHz)
O	0	0	37.39617	0.006245
G1	0.05	0.05	34.82438	1.166375
G2	0.05	0.1	32.2704	0.118842
G3	0.05	0.15	18.4699	0.270312
G4	0.05	0.2	25.43762	0.423402



الشكل (4-116) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (G).

الجدول (4-50) قيم ثابت العزل الخيالي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (H).

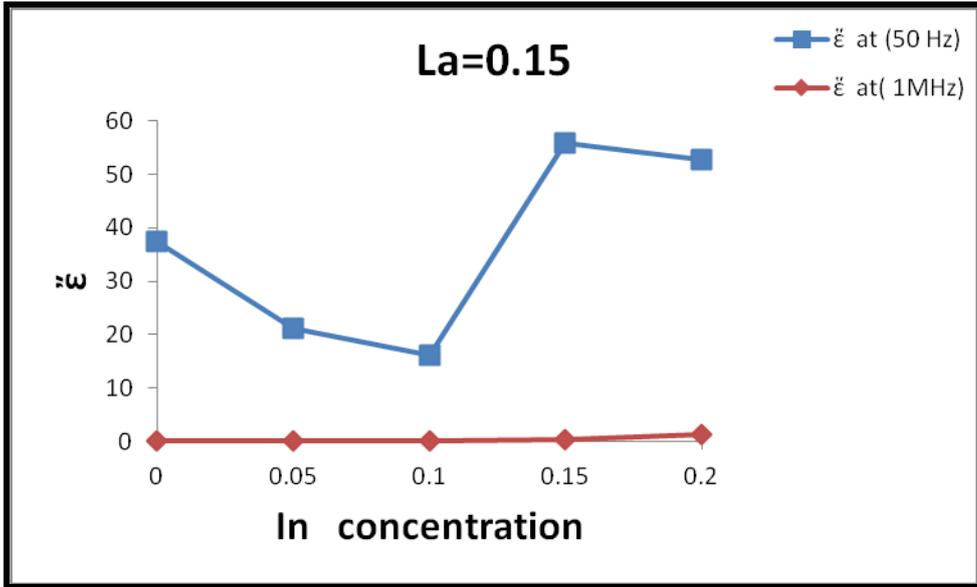
MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	ε̃ at (50 Hz)	ε̃ at(1MHz)
O	0	0	37.39617	0.006245
H1	0.1	0.05	19.67609	0.187182
H2	0.1	0.1	19.63945	0.557147
H3	0.1	0.15	38.32924	0.42141
H4	0.1	0.2	57.30303	0.287274



الشكل (4-117) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (H).

الجدول (4-51) قيم ثابت العزل الخيالي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (K).

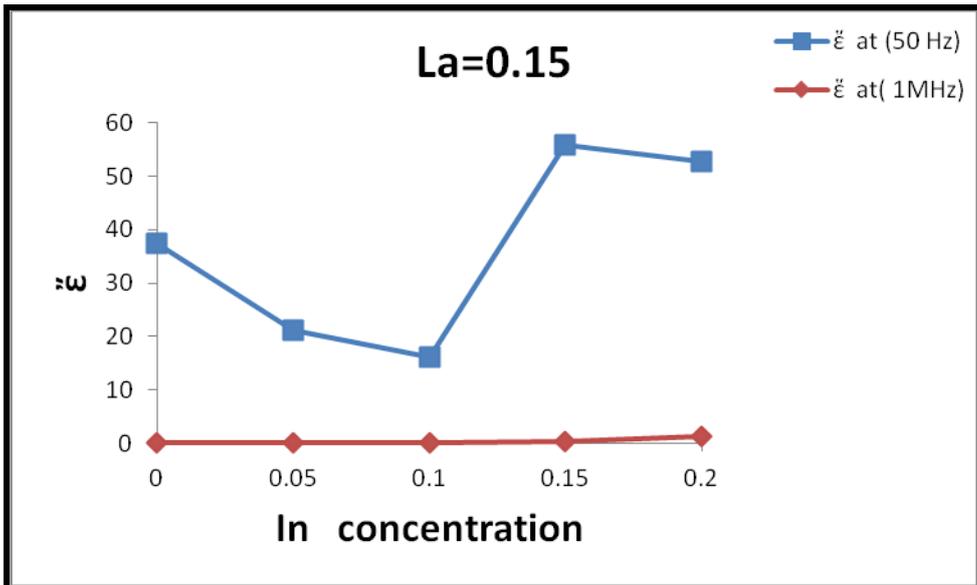
MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	ε̃ at (50 Hz)	ε̃ at(1MHz)
O	0	0	37.39617	0.006245
K1	0.15	0.05	21.05134	0.001897
K2	0.15	0.1	16.08873	0.00000502
K3	0.15	0.15	55.83219	0.248431
K4	0.15	0.2	52.77265	1.377978



الشكل (4-118) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (K).

الجدول (4-52) قيم ثابت العزل الخيالي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (L).

MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	ξ at (50 Hz)	ξ at (1 MHz)
O	0	0	37.39617	0.006245
L1	0.2	0.05	47.65019	0.150596
L2	0.2	0.1	3.953482	0.104236
L3	0.2	0.15	20.43364	0.003126
L4	0.2	0.2	19.12255	0.115203



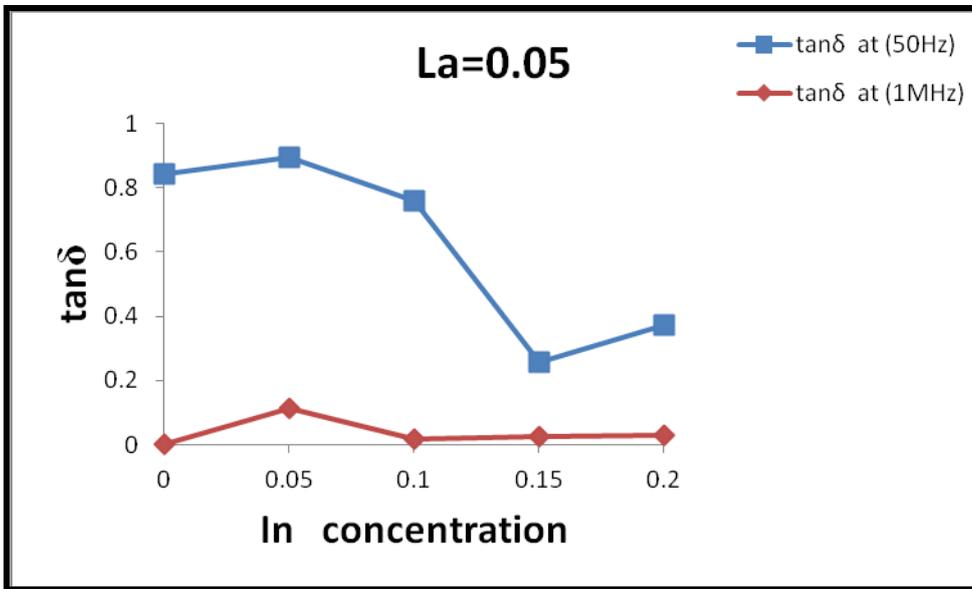
الشكل (4-119) تغير ثابت العزل الخيالي كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (L).

3-3-3-4 ظل الفقد العزلي ($\tan\delta$):

من خلال الجداول (4-53,54,55,56) التي توضح التغيرات في ظل الفقد العزلي بزيادة تركيز كل من اللانثانيوم والاندنيوم عند ترددات (50Hz) و (1MHz) والموضحة في الاشكال (4-120,121,122,123) على التوالي، فنلاحظ هناك اختلافا في قيم ظل الفقد العزلي بصورة ملحوظة وكبيرة مقارنة بالعينة النقية، والسبب يعود هنا الى الزيادة في نسبة الاستبدال لكل من الانديوم واللانثانيوم والذي من الممكن ان يعمل على تشويه التركيب البلوري وتوليد الاطوار الثانوية والشوائب بالإضافة الى تأثير وجود الحدود الحبيبية في التركيب البلوري المتعدد الاطوار للعينات، لذلك فعند الحديث عن الفقدان العزلي فالمعنى هو الضياع تحت تأثير مجال كهربائي متناوب، وان الفقدان العزلي يحصل في المادة بعد وصول الثنائيات الى اعظم حالة توازن مع المجال المسلط عند درجة حرارة محددة. ومن الجدير بالذكر ان الفقدان العزلي ممكن ان ينتج في المادة العازلة بسبب امتصاص الطاقة الكهربائية (احتكاك داخلي لثنائيات القطب) وكذلك بسبب تيار التسرب السطحي او الحجمي للمادة والذي ينتج من خلال زيادة تردد المجال الكهربائي المسلط. حيث نلاحظ تناقص ظل الفقد العزلي بزيادة التردد لجميع العينات، اذ ان الفقدان العزلي ينتج من الاحتكاك والتهدج الحراري اللذين يعملان على مقاومة توجيه ثنائيات القطب وإعاقة دورانها مع المجال المؤثر وان الطاقة اللازمة لإبقاء هذا الدوران تعطل الفقدان في القدرة، وكذلك فانه عند زيادة التردد فانه بالمقابل يزداد تيار التسرب السطحي والحجمي و الناتج من وجود الرطوبة والشوائب، وكذلك فان الاختلاف في قيم ($\tan\delta$) وباقي معاملات العزل ممكن ان يعزى الى عدم التجانس في توزيع الاطوار داخل العينة بسبب تغير نسب الاستبدال بسبب امكانية اختلاف توزيع الحرارة على العينة داخل الفرن خلال عملية التليد للعينة الواحدة وكذلك فيما بين العينات ولجميع نسب الاستبدال. وكذلك ان الاختلاف والتباين في قيم ($\tan\delta$) من عينة الى الاخرى ممكن ان يعزى الى التقلبات في المركبة الاومية الفعالة للتيار ومركبة الرادة السعوية [234]، وكذلك ممكن ان يرتبط وبصورة مباشرة بثابت العزل الخيالي وبحسب المعادلة (3-10).

الجدول (4-53) قيم ظل الفقد العزلي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (G).

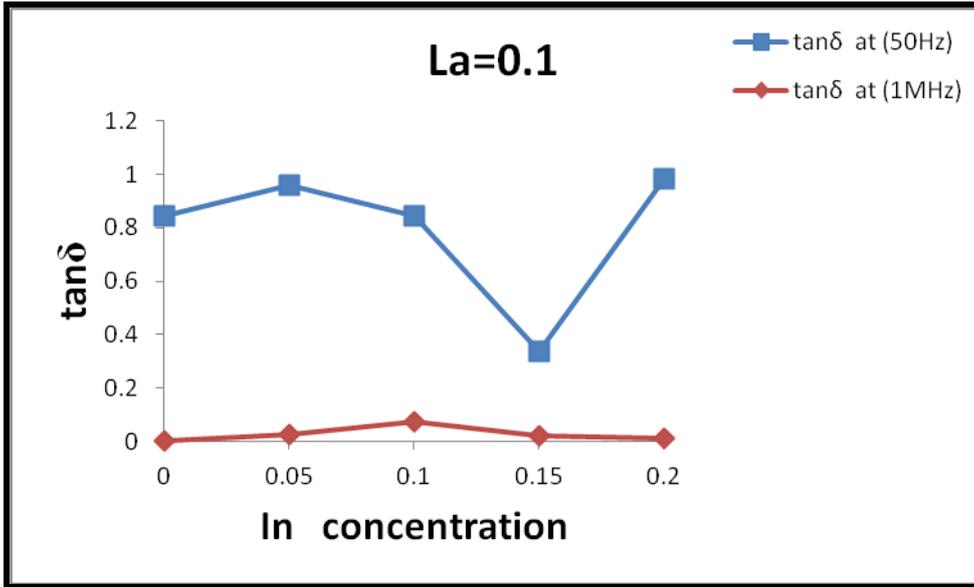
MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	tanδ at (50Hz)	tanδ at (1MHz)
O	0	0	0.8432	0.0014
G1	0.05	0.05	0.8938	0.1132
G2	0.05	0.1	0.7586	0.018
G3	0.05	0.15	0.255	0.02677
G4	0.05	0.2	0.3726	0.03091



الشكل (4-120) تغيير ظل الفقد العزلي كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (G).

الجدول (4-54) قيم ظل الفقد العزلي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (H).

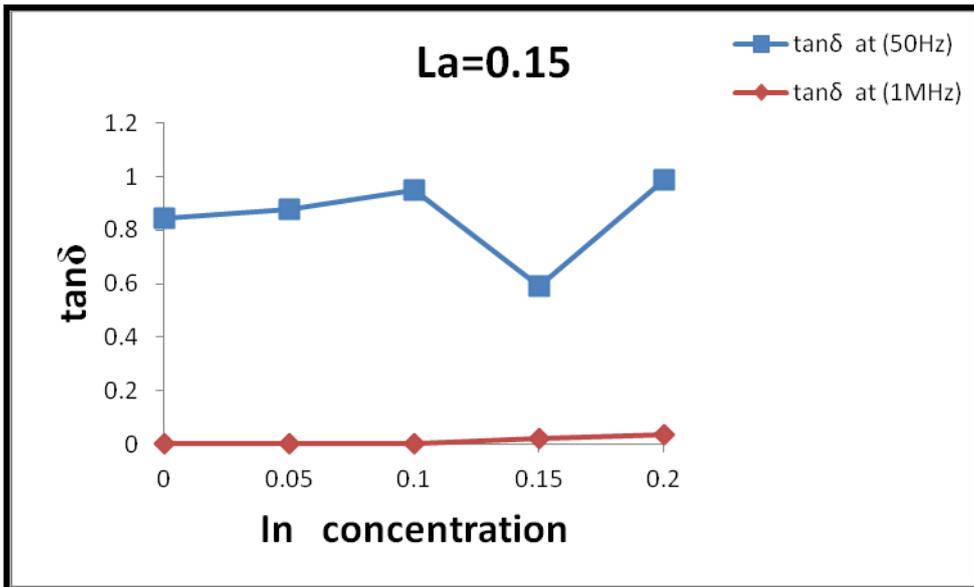
MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	tanδ at (50Hz)	tanδ at (1MHz)
O	0	0	0.8432	0.0014
H1	0.1	0.05	0.9604	0.0245
H2	0.1	0.1	0.8432	0.0748
H3	0.1	0.15	0.3348	0.02078
H4	0.1	0.2	0.9851	0.01065



الشكل (4-121) تغير ظل الفقد العزلي كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (H).

الجدول (4-55) قيم ظل الفقد العزلي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (K).

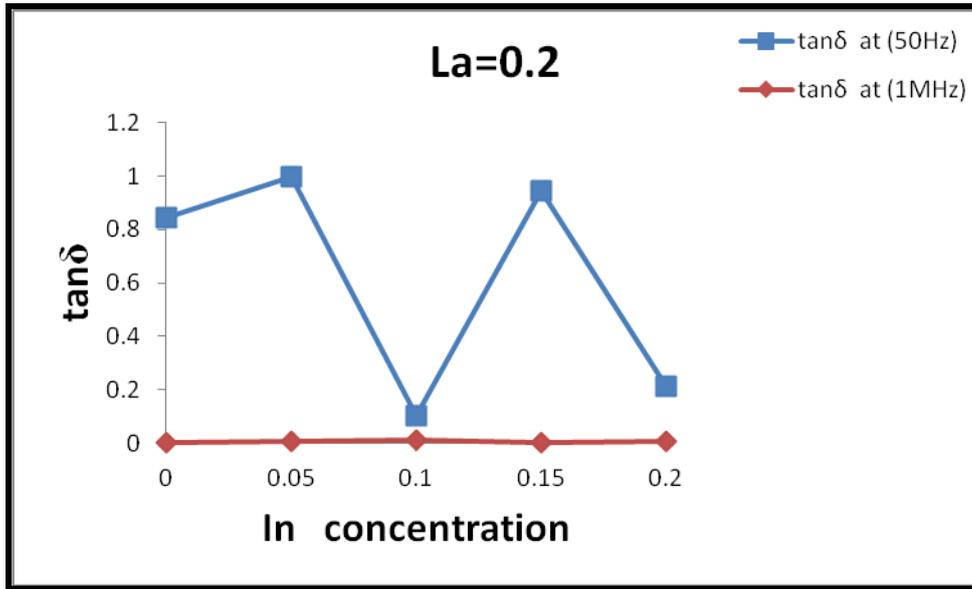
MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	tanδ at (50Hz)	tanδ at (1MHz)
O	0	0	0.8432	0.0014
K1	0.15	0.05	0.88	0.0023
K2	0.15	0.1	0.951	0.00077
K3	0.15	0.15	0.5883	0.02078
K4	0.15	0.2	0.99	0.035



الشكل (4-122) تغير ظل الفقد العزلي كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (K).

الجدول (4-56) قيم ظل الفقد العزلي عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (L).

MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	tanδ at (50Hz)	tanδ at (1MHz)
O	0	0	0.8432	0.0014
L1	0.2	0.05	0.9983	0.008
L2	0.2	0.1	0.103	0.01
L3	0.2	0.15	0.9433	0.0006
L4	0.2	0.2	0.2131	0.00439



الشكل (4-123) تغير ظل الفقد العزلي كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (L).

4-3-3-4 التوصيلية المتناوبة:

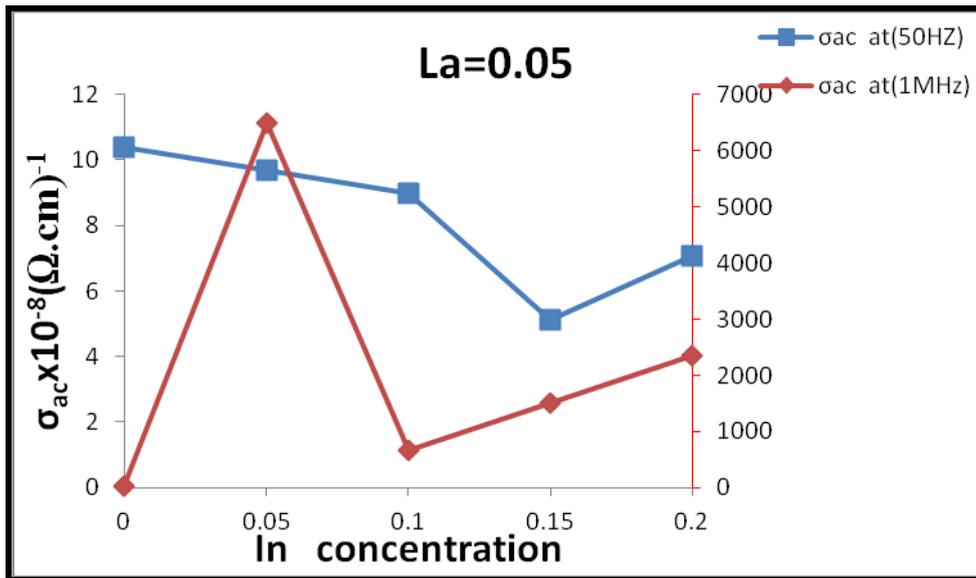
من خلال الجداول (4-57,58,59,60) التي توضح تغيرات في التوصيلية المتناوبة بزيادة تراكيز كل من اللانثانيوم والانديوم عند ترددات (50Hz) و (1MHz) والموضحة في الاشكال (4-124,125,126,127) على التوالي، فنلاحظ هناك اختلافا في قيم التوصيلية المتناوبة بصورة ملحوظة مقارنة بالعينة النقية والسبب يعود هنا الى الزيادة في نسبة الاستبدال لكل من الانديوم واللانثانيوم والذي من الممكن ان يعمل على تشويه التركيب البلوري وتوليد الاطوار الثانوية والشوائب بالإضافة الى تأثير وجود العيوب البلورية، ان التوصيلية الكهربائية في العوازل هي مقياس للقدرة المفقودة عند تسليط مجال كهربائي متناوب عبر العازل وهذا يعني ان جزءا من الطاقة سوف يمتص من قبل المجال الكهربائي، حيث ان التوصيلية المتناوبة تمثل

مقدار الفقد الذي يحصل في العزل بسبب حركة ثنائيات القطب عند وقوع المادة العازلة تحت تأثير المجال المتناوب والتي يعبر عنه بالعلاقة (11-3) $(\sigma_{ac}=2\pi f\epsilon_0\dot{E})$ ، حيث نلاحظ من خلال هذه العلاقة الاعتماد المباشر للتوصيلية المتناوبة على كل من التردد للمجال الكهربائي المسلط وكذلك اعتمادها على الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي والذي يمثل امتصاص الطاقة وتشتيتها في المادة العازلة تحت تأثير المجال الكهربائي المتناوب، ومن الجدير بالذكر ان التوصيلية الكهربائي في العوازل تنشأ من الالكترونات المثيجة والمنقلة الى حزمة التوصيل وكذلك الفجوات المتروكة في نطاق التكافؤ ويكون تغير التوصيلية صغيرا وبطيئا عند الترددات الواطئة وكبير وسريع عند الترددات العالية. وكذلك ممكن ان تعزى هذه الزيادة الى ازدياد حاملات الشحنة بسبب الزيادة في نسبة الانديوم و اللانثانيوم وعلى اعتبار استبدال النحاس ذي التكافؤ الثنائي باللانثانيوم ذي التكافؤ الثلاثي وكذلك وجود العيوب النقطية (فرنكل، شوتكي) التي تكون مهيمنة في المواد ذات الاواصر الايونية والتساهمية (السيراميكة) وكذلك بسبب زيادة تيار التسرب السطحي الناتج على سطح العينة بسبب الرطوبة والشوائب، وهذا يؤدي الى زيادة التوصيلية المتناوبة حتى تصل الى الحالة التي يتم فيه امتصاص اقصى طاقة من المجال المسلط والتي يكون فيها تردد المجال المسلط مساو الى التردد الطبيعي للمادة والتي يكون فيها اقصى قيمة للتوصيلية الكهربائية المتناوبة (الحالة الرنينية)، ثم بعدها تنخفض التوصيلية للمادة بسبب تموضع حاملات الشحنة وكذلك التشوه في الحبيبات الذي يقلل من تأثير الازدواج ضمن الحبيبات وتغلب تفاعل كولوم [227]. وكذلك ممكن ان يفسر النقصان على اساس ان حركة الشحنات ممكن ان تعترضها الحدود الحبيبية، اما الاختلاف في سلوك التوصيلية خلال النموذج الواحد بثبوت التردد واختلاف نسب الاستبدال فممكن ان يفسر على اساس التوازن في الشحنة حيث من الممكن ان تعمل الزيادة في نسبة الانديوم وعند نسب محددة على عدم توازن في الشحنة والذي يؤدي الى التناقص في عدد حاملات الشحنة في النظام [9] وكذلك ممكن ان تفسر على اساس الاختلاف في التركيب البلوري للعينة وتكون الاطوار المتعددة فيها والذي يسبب عدم التماثل في سلوك التوصيلية المتناوبة بالنسبة الى اتجاهات محاور

الخلية، حيث يمكن ان تكون التوصيلية باتجاه المحور (c) مختلفة عن سلوكها باتجاه المستوي (a,b) حيث ان التوصيلية في النظام فائق التوصيل (BSCCO) تختلف بشكل نوعي بالاتجاهين (c) وكذلك باتجاه المستوي (a,b).

الجدول (4-57) قيم التوصيلية المتناوبة عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (G).

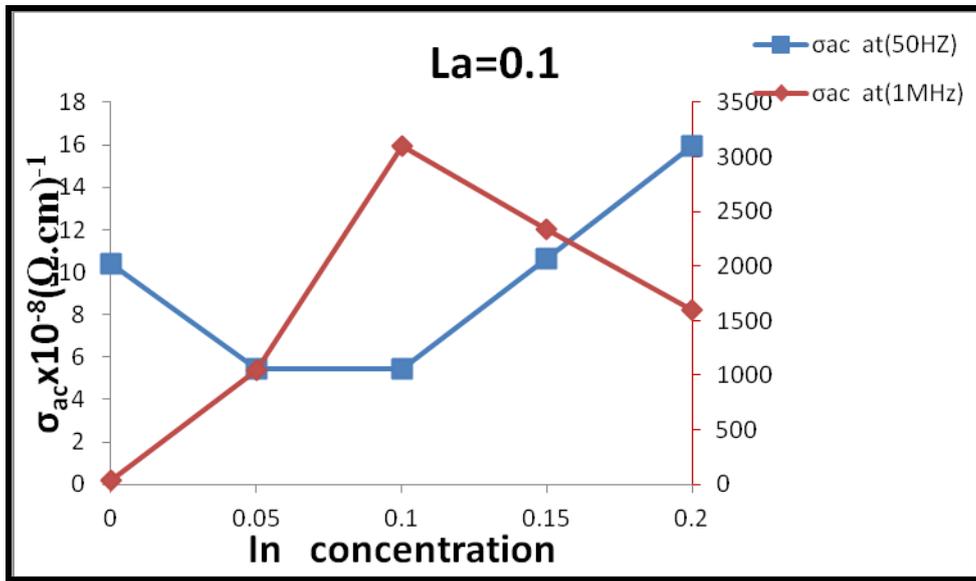
MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ (at(50HZ))	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(1MHz)
O	0	0	10.3967	34.7251
G1	0.05	0.05	9.68172	6485.41
G2	0.05	0.1	8.97168	660.799
G3	0.05	0.15	5.13492	1503.02
G4	0.05	0.2	7.07206	2354.24



الشكل (4-124) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (G).

الجدول (4-58) قيم التوصيلية المتناوبة عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (H).

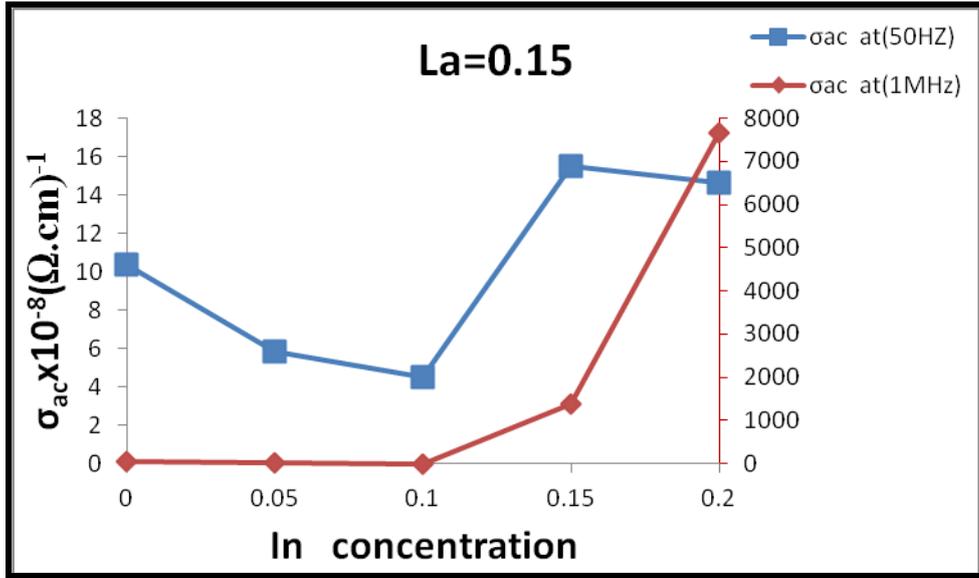
MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ (at(50HZ))	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(1MHz)
O	0	0	10.3967	34.7251
H1	0.1	0.05	5.47026	1040.79
H2	0.1	0.1	5.46007	3097.91
H3	0.1	0.15	10.6561	2343.17
H4	0.1	0.2	15.9311	1597.33



الشكل (4-125) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (H)

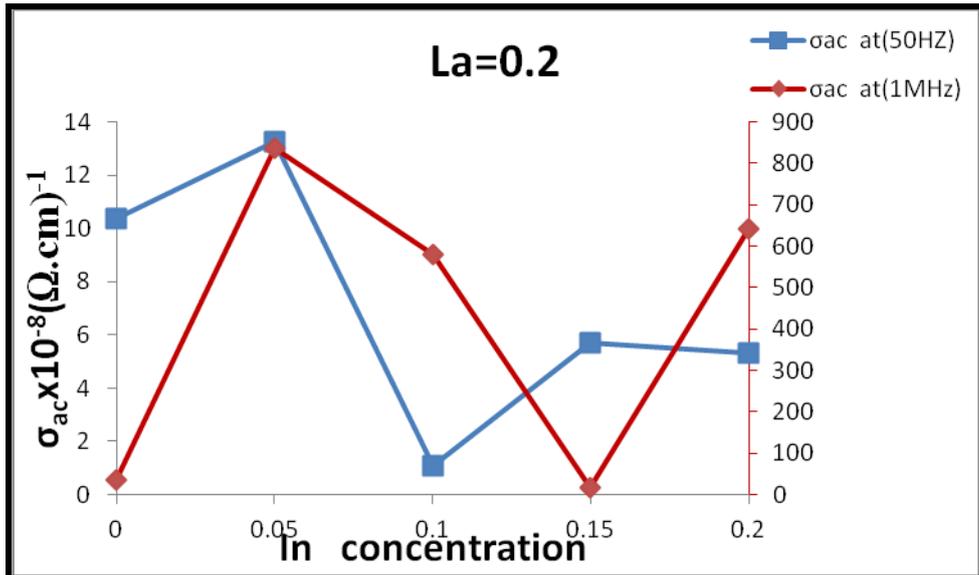
الجدول (4-59) قيم التوصيلية المتناوبة عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (K).

MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ (at(50HZ))	$\sigma_{ac} * 10^{-8}$ ($\Omega.cm$) ⁻¹ at(1MHz)
O	0	0	10.3967	34.7251
K1	0.15	0.05	5.8526	10.5478
K2	0.15	0.1	4.47292	0.027925
K3	0.15	0.15	15.5222	1381.35
K4	0.15	0.2	14.6716	7661.99



الشكل (4-126) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (K).
الجدول (4-60) قيم التوصيلية المتناوبة عند تردد (50Hz) و (1MHz) للمجموعة (L).

MIX	(La ₂ O ₃)	(In ₂ O ₃)	$\sigma_{ac} * 10^{-8} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ (at 50HZ)	$\sigma_{ac} * 10^{-8} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ at 1MHz)
O	0	0	10.3967	34.7251
L1	0.2	0.05	13.2475	837.36
L2	0.2	0.1	1.09913	579.583
L3	0.2	0.15	5.68087	17.3816
L4	0.2	0.2	5.31637	640.565



الشكل (4-127) تغير التوصيلية المتناوبة كدالة لتغير تركيز الانديوم (In) لعينات المجموعة (L).

الفصل الخامس

الاستنتاجات والدراسات المستقبلية

Conclusions and Future studies

Conclusions 5-1 الاستنتاجات

من خلال عملنا التجريبي في دراسة تأثير الاستبدال الجزئي بكل من الانديوم (In) واللانثانيوم (La) على المركب فائق التوصيل $(\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta})$ ، حيث استطعنا بنجاح في الحصول على عينات فائقة التوصيل ضمن الظروف التحضيرية التي اعتمدها، ومن خلال حصولنا على النتائج والتمعن في دراستها استطعنا ان نخرج منها بالاستنتاجات الآتية:

1- ان لطريقة التحضير دورا مهما جدا في انتاج العينات فائقة التوصيل على الرغم من ان عملية التحضير في النظام فائق التوصيل (BSCCO) وخصوصا في انتاج الطور العالي منه (Bi-2223) تكون صعبة جدا وتتطلب سيطرة كبيرة على جميع ظروف التحضير بداية من اختيار المواد وعناصر التطعيم وصولا الى الحصول على العينات بشكلها النهائي.

2- كان لعملية الخلط والطحن وطول المدة الزمنية والتي تضمنت آليتان هما: الاولى : بوساطة الهاون اليدوي (Mortar) والثانية بوساطة الخلاط الكهربائي الدوامي (Vortex Mixture)، الاثر الايجابي الكبير في تحسين الخواص فائقة التوصيل والحصول على نسب عالية من الطور (Bi-2223) من خلال توفير مساحيق متجانسة وذات حجم جسيمى دقيق والذي يوفر تقارب الجسيمات وزيادة مساحة التماس بينها التي توفر تفاعلا كيميائيا وتتوي ونمو بلوري جيد اثناء عملية التلبيد.

3- ان طول زمن التلبيد ضروري جدا لإدخال طبقات اضافية من طبقات اوكسيد النحاس (CuO) داخل التركيب الطبقي للمركب والحصول على اعلى نسبة من الطور العالي.

4- من خلال تحليل حيود الاشعة السينية (XRD)، ظهر ان جميع العينات كانت ذات تركيب بلوري معيني قائم (Orthorhombic)، وان الاستبدال بكل من الانديوم (In) بدلا من البزموت (Bi) واللانثانيوم (La) بدلا من النحاس (Cu) لم يغير من البنية البلورية بالنسبة للعينة النقية وان التركيب البلوري بقي نفسه لجميع العينات، وان العينات تحتوي على الاطوار (Bi-2201, Bi-2212, Bi-2223) مع وجود القليل من الشوائب وان

الشدة لقمم الطور العالي (Bi-2223) للعينة النقية اعلى من شدتها مقارنة بالعينات البقية.

5- كذلك اظهرت نتائج تحليل (XRD) ان نسب الطور العالي (Bi-2223) وباقي الاطوار وكذلك معاملات الشبيكة (a,b,c)، وان النسبة (c/a) وكثافة وحدة الخلية تغيرت وبصورة عشوائية مقارنة بالعينة النقية والتي كانت نتيجة لنسب الاستبدال لكل من الانديوم واللانثانيوم.

6- ان وجود الطور (Bi-2212) وينسب قليلة ممكن ان يكون ضروري لدفع العملية الترموداينميكية والتحول الطوري في النظام (BSCCO) الى استقرار اكثر وتكوين الطور (Bi-2223) بنسب اعلى.

7- ان اغلب العينات كانت ذات سلوك معدني من حيث تغير مقاومتها الكهربائية بانخفاض درجة الحرارة قبل تحولها الى الحالة فائقة التوصيل.

8- ان تغير درجة الحرارة الحرجة بتغير نسب الاستبدال كان عشوائيا ما عدا في حالة عينات المجموعة (B) والتي كان فيها تركيز الانديوم (In=0.05)، حيث اظهرت هذه المجموعة زيادة واضحة في درجة الحرارة الحرجة بزيادة نسبة استبدال اللانثانيوم وعينات المجموعة (D) والتي كان فيها تركيز الانديوم (In=0.15)، حيث اظهرت هذه المجموعة تدهورا و نقصانا واضحا في درجة الحرارة الحرجة بزيادة نسبة استبدال اللانثانيوم.

9- تزداد درجة الحرارة الحرجة ونحصل على (High-T_c) بزيادة نسبة الطور العالي (Bi-2223).

10- ان النظام فائق التوصيل وخصوصا الطور العالي (Bi-2223) محل الدراسة يكون حساسا جدا للاستبدال في طبقات اوكسيد النحاس (CuO)، حيث يؤدي الى تدهور في الخواص فائقة التوصيل وفقدانها وإمكانية ان تظهر بعض العينات سلوكا شبه موصل والذي ظهر في حالة الاستبدال باللانثانيوم (La) بدلا من (Cu) فقط وللنسب (0.05,0.1) ضمن المجموعة (A) وكذلك في النسبة (0.1) ضمن المجموعة (D) مع الانخفاض في درجة الحرارة الحرجة والخواص فائقة التوصيل لبعض العينات مقارنة بالعينة النقية.

11- تأثير وجود حالة الاستبدال بالانديوم (In) بدلا من البزموت (Bi) مع وجود الاستبدال باللانثانيوم (La) بدلا من النحاس (Cu) يقلل من التأثير السلبي لللانثانيوم.

12- ان حالة الاستبدال المتساوية في النسب لكل من الانديوم واللانثانيوم في المركب ادى الى الانخفاض في الخواص فائقة التوصيل من حيث انخفاض نسب تكون الطور (Bi-2223) وانخفاض درجة الحرارة الحرجة بزيادة نسب الاستبدال مقارنة بالعينة النقية.

13- ان نسبة الاستبدال المثلثي كانت في العينة (E3) والتي كانت فيها (In=0.2, La=0.15) والتي حصلنا فيها على اعلى نسبة للطور العالي (Bi-2223=90.933) وكذلك اعلى درجة حرارة انتقال حرجة هي ($T_c=130.7K$) واقل نسبة للشوائب (Impurities = 0).

14- امكانية استعمال بعض العينات كعوازل جيدة وفي الظروف الاعتيادية حيث ظهر ان افضل عينة من حيث ثابت العزل الحقيقي هي العينة (D2) وعند تردد (50Hz) والتي فيها (In=0.15, La=0.1) حيث بلغت قيمة ثابت العزل فيها (114.484) وهذا يتيح امكانية استخدامها في كثير من التطبيقات العملية في الحالة الطبيعية وضمن هذا التردد. اما في حالة تردد (1MHz) فكانت العينة (E3) والتي فيها (In=0.2, La=0.15) حيث بلغت قيمة ثابت العزل فيها (39.37079) وهذا يتيح امكانية استخدامها في كثير من التطبيقات العملية في الحالة الطبيعية وضمن هذا التردد.

15- ان تأثير استبدال اللانثانيوم بدلا من النحاس بثبوت نسبة الانديوم كان ذا اثر سلبي اكبر من استبدال الانديوم بدلا من البزموت بثبوت نسبة اللانثانيوم. وعلى جميع الخواص من حيث التركيب وكذلك من حيث درجات الحرارة الحرجة ومن حيث الخواص العزلية ويرجع ذلك الى سببين هما الاول: ان الاستبدال بدلا من النحاس في المواد (HTSC) ولجميع الايونات المعدنية يؤدي الى التدهور في جميع الخواص ، والثاني: هو الاستبدال بأحد العناصر الارضية النادرة والتي تكون فيها المواد (HTSC) وخصوصا النظام فائق التوصيل (BSCCO) حساس جدا لمثل هذه العناصر.

16- ان التغييرات التي حدثت على العينات نتيجة الاستبدال بالانديوم بدلا من البزموت بثبوت نسبة اللانثانيوم كانت ذات مؤشرات ودلالات ممنهجة اكثر من استبدال

اللانثانيوم بدلا من النحاس وبنسبة الانديوم حيث كانت فيها التغيرات على الاغلب عشوائية وذلك بسبب الاضطراب الذي يحصل في طبقات اوكسيد النحاس نتيجة الاستبدال باللانثانيوم.

2-5 الدراسات المستقبلية Future Studies

- 1- تحضير المركب $(\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta})$ ، للنسب $(0.2 \leq x \leq 0.5)$ ، $(0.2 \leq y \leq 0.5)$ ودراسة الخواص التركيبية والكهربائية والعزلية للمركبات الناتجة.
- 2- دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية والمغناطيسية للمركب.
- 3- تحضير المركب بطريقة الصول- جل.
- 4- تحضير المركب بتقنية الاغشية الرقيقة .
- 5- دراسة التوصيلية الحرارية للمركب.
- 6- دراسة تأثير درجة حرارة و زمن التليد على المركب.
- 7- دراسة مقارنة بين خواص المركب الملبد في الجو الاعتيادي وبين المركب الملبد في جو من الاوكسجين النقي.
- 8- دراسة الخواص العزلية للمركب ضمن مدى الترددات العالية (GHz).
- 9- دراسة تاثير الحجم الحبيبي لمساحيق الاكاسيد المستعملة على خواص المركب فائق التوصيل المنتج.
- 10- اجراء فحوصات المجهر الالكتروني الماسح (SEM) على هذه المركبات لمعرفة الخواص التركيبية الدقيقة لها.

REFERENCES

المصادر

- [1] H.Maeda, Y.Tanaka, M.Fukutomi and T.Asamo; Jap.J.Appl. Phys., 27 (1988) L209.
- [2] S . Bhan ,Y. Khan, B.Rothaemel: Supercond . Sci . Technol ,V. 2, (1989) , P265 .
- [3] R.S.DeBiasi, S.M.V.Araujo; J.of magnetism and magnetic materials, 104.(1992)471.
- [4] R.K.Nkum&Datars,Supercond.Sci.Technol.8(1995)822-826.
- [5] H. Jin , J. Kötzler,"Effect of La-doping on growth and superconductivity of Bi-2212 crystals", cond-mat.supr-con 1999.
- [6] Dawud, Azhar, "The effect of n variation on the high-Tc super. behavior of the Bi₂Sr₂Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4} system", Ph.D. Thesis, Al-Nahrin University, College of Science, (2000).
- [7] G. Y. Hermiz, "Thermal Analysis and Phase Transformation HTSc of (Bi_{1-x}Pb_x)₂(Sr_{1-y}Bay)₂Ca₂Cu₃O_{10+δ} compound", Ph.D. Thesis, University of Baghdad, College of Science, (2001).
- [8] S.F. Al Abodi, Ph. D. Thesis, The effect of substitution with La and Sm on Tc of HTSc of Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ compound, Baghdad University, College of Science, (2002).
- [9] R.K.Nkum.et.al,Solid State Communications.122.(2002)569-573.
- [10] B.Liang.et.al,Supercond.Sci.Technol.17(2004)731-738.
- [11] K.A.Jassim,Ph.D,Thesis,University Of Baghdad Collage Of Science,(2005).
- [12] H.J.Maktoof,M.D,Thesis,University Of Baghdad Collage Of Sience.(2005).
- [13] M.A.Hapeep,Ph.D,Thesis,University Of Baghdad Collage Of Science,(2006).
- [14] N.Ghazanfari.et al,Solid State Communication.144,(2007),210-214.
- [15] O.Bilgili , Y.Selamet and Kocabas " Effect of Li substitution in Bi-2223 superconductors " , original paper , J. supercond Nov Magn , vol 21,(2008) , pp 439-449 .

- [16] Odai Salman, M.Sc. Thesis, " The effect of Cu substitution on T_c of $\text{Bi}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ superconductors, Baghdad University, College of Science, (2009).
- [17] T.M.Salamati,et.al, Iranian Journal Of Physics Reaserch. Vol.10 .N.2.(2010).
- [18] H. A.Thabit , " superconducting properties of the $(\text{Bi}_{0.8}\text{Pb}_{0.2})_2(\text{Sr}_{0.9}\text{Ba}_{0.1})_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Ni}_x\text{O}_{10+\delta}$ system " Baghdad Science Journal , vol . 8, (2011) , pp 607 - 612 .
- [19] علي . عبد الكريم.دهش.مجلة كلية التربية الاساسية ،جامعة بابل.عدد خاص ببحوث المؤتمر العلمي الرابع لكلية التربية الاساسية ،جامعة بابل.(2012).
- [20] B.S.Mahdi,Eng&Tech Journal.Vol.30.No.2.(2012).
- [21] I. Verma, R. Kumar and N. Verma,"Studies on physical properties of nanostructured Zn doped Bi-2223 superconductors" Departments of Physics, University of Lucknow, Lucknow-226007.
- [22] Kareem Ali Jassim " Structure and electrical properties of Lanthanum doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ superconductor " , Turk J phys , Vol 36 , (2012) , pp 245 - 251 .
- [23] L.K.Abbas, M.M.Abbas and O.S.Mahdi ,Journal of Al- Nahrain University, Vol. 15, . 2 (2012) 113-120.
- [24] Suzan Malike Shakouli, Ph.D,Thesis,University Of Baghdad Collage Of Science,(2012).
- [25] Shaban.S.M.et.al,(IJAIEM),Vol.2,Issue.3,(2013).
- [26] G.Y.Hermiz , " Effect of Pressure on the Superconducting and Mechanical Properties of $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{1.8}\text{Ba}_{0.2}\text{Ca}_2\text{Cu}_{2.2}\text{Ni}_{0.8}\text{O}_{10+\delta}$ system" , advance in material physics and chemistry , vol 3,(2013) , pp 42-47 .
- [27] A. R. Jabur, " $\text{Bi}_{2-x}\text{Hg}_x\text{Sr}_{2-y}\text{Ba}_y\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_{10}/\text{Ag}$ Sheath HTSC Wires, (Hg, Ba) Substitution Effect on The Critical Temperature " Energy Procedia, Volume 36, (2013) , pp 985 – 994.
- [28] N.Q.Raof," The Impact of Preparation Condition and Li Substitution on $\text{Bi}_{2-x}\text{Li}_x\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ Compound", M.D, Baghdad Of University, College of Science,(2014).
- [29] G.Y.Hermiz,(IJIRSET),Vol.3,Issue. 1.(2014).
- [30] V.D.Rodrigues..et.al,UNESP,Depart.Physics&Chemistry,Iilha Solteira.SP.Brazil.(2014).
- [31] Shatha Hashim Mahdi,J.Chem.Bio.Phy.Sci,Sec.C.Vol.4,No.3,(2014).
- [32] A.M.Ibraheim.et.al,(IREPHY),Vol.8,No.5,(2014).
- [33] M.S.Shalby,et.al,Journal Of Radiation Research and applied. Sciences.9.(2016)345-351.

- [34] S. F. Oboudi, M. Q. M. AL-Habeeb, "Dielectric and Transport Properties of Ag Nanoparticles added $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ Superconductor Compound", AARJMD, Vol.3, Issue.3, (2016)
- [35] S. F. Oboudi, M. Q. M. AL-Habeeb, "Dielectric Properties and DC conductivity of Au Nanoparticles Doped $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ Bulk Superconductor", Iraqi Journal of Science, Special Issue ,Part B, (2016), pp:380-387.
- [36] جاسم.كريم.علي، حسين.حيدر.صاحي، "الاستبدال الجزئي بعنصر اللانثانيوم (La) واثره على الخصائص العزلية للنظام فائق التوصيل الكهربائي (BSCCO) $(\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3)_x(\text{La}_x\text{O}_{10+\delta})$ ، مجلة جامعة كربلاء العلمية، المجلد الخامس عشر، العدد الثاني/علمي/2017، ص328-318.
- [37] K.A.Jassim, H.S.Hussein, "Effect of Partial Substitution of Lanthanum (La) on the Structure and Electric Properties of $(\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3)_x(\text{La}_x\text{O}_{10+\delta})$ ", Ibn AL-Haitham Journal for Pure and Applied Science, VOL.30, Issue 3, 2017.
- [38] H.Kamerlingh Onnes; Commun. Phys.Lab.Univ. Leiden, 120b (1911)3.
- [39] H. Kamerlingh Onnes, Nobel lecture by H.K.Onnes, December 11, 1913.
- [40] F. London and H. London, Proc. R. Soc. London, A149, 71 (1935).
- [41] N. B. Kopnin "Introduction to The Theory of Superconductivity" Helsinki University of Technology, (2009), P 5.
- [42] W.Meissner, and R.Ochsenfeld; Naturwiissenschaften, 21(1933) 787.
- [43] C. P. Poole, Jr. Horacio A. Farach Richard J. Creswick ; "Superconductivity" , Elsevier Ltd, 2th edition, (2007) , P 409.
- [44] F.London and H.London; Superfluids, 1(1950) 152.
- [45] V.L.Ginzburg and L.D.Landau ; JETP (USSR), 20 (1950) 1064 .
- [46] J.Barden, L.N.Cooper and J.R.Schrieffer; Phys .Rev., 106 (1957)62.
- [47] L.P.Gor'kov Zh. Eksp. Teor. Fiz.36 (1959) ,1918-1923.
- [48] B.D.Josephson; Phys.Rev.Lett ., 1(1962) 251.
- [49] A. W. Sleight, J. L. Gillson, and P. E. Bierstedt: *Solid State Commas*, V. 17 (1975) , P. 27.
- [50] J.R.Gavaler; Appl . Phys. Lett ., 23 (1973) 480.
- [51] J.G.Bednorz ,K.A .Müller , " Possible High T_c Superconductivity in the La-Ba-Cu-O System" , Z . Phys . B , volume 64,(1986), p189 .
- [52] Paul Chu; Phys. Rev. Lett., 58 (1987) 405.
- [53] M.K.Wu, J.R.Ashburn, C,J.Torng, P.H.Hor, R.L.Meng ,L.Gao ,Z.J.Haug, Y.Q.Wang and C.W.Chu; Phys.Rev.Lett., 58(1987) 908.

- [54] C.Michel ,M. Hervieu ,M.M. Borel , " Super- conductivity in the Bi-Sr-Cu-O system " Zeitschrift fur Phy . B-Cond. Matter , vol. 68 , no. 4, (1987) , pp 421-423.
- [55] H.Maeda,Y.Tanaka, M.Fukutomi and T.Asamo; Jap.J.Appl. Phys. 27 (1988), L209.
- [56] P.H.Hor , L . Gao ,R.L. Meng , " High-pressure study of the new Y-Ba-Cu-O superconducting compound system " Phys. Review Lett., Vol. 58, N. 9,(1987) , pp 911-912.
- [57] Z. Z. Sheng and A. M. Hermann; Nature, 332 (1988) 55.
- [58] S. N. Putilin, E. V. Antupov, O. chmaissem and M. Marezio, Nature,V. 362 (1993) 226.
- [59] H.Eschrig"Theory of Superconductivity" (2008).
- [60] Junjing. Zhao, PhD. thesis Dept. Physics , Graduate College , University of Illinois at Chicago, (2012).
- [61] C. Kittel, "Introduction to solid state physics", 4th ed, John Wiley and sons, (1971).
- [62] M.A. Omar, "Elementary solid state physics", 5th ed., Addison-Wesley , (1993).
- [63] د. مؤيد جبرائيل يوسف "فيزياء الحالة الصلبة"، ج2، مطابع وزارة التعليم العالي،(1989).
- [64] A.Maqsood and M.Maqsood."proceeding of the international workshop held at Rajshahi university", Bangladesh, edited by AKMA Islam,28 Oct-1Nov.(1996).
- [65] W. D. Callister, Jr. " Materials Science and Engineering " ,7th ed , (2007).
- [66] R.S. Liu, J.M. Liang, S.F. Wu, Y.T.Huang and P.T.Wu: *Physica C* 159, (1981) , 385-390.
- [67] S.O.Pillia , " Solid state physics " , Revised and Enlarged Edition ,(1995) .
- [68] J. C. Phillips "Physics of High-T_c Superconductors" Printed in the U.S.A. (1992).
- [69] J. W. Halley,"Theories of High Temperature Superconductivity" Addison- Wesley, (1988).
- [70] J.Bardeen ,L.N. Cooper, and J.R.Schrieffer,"Theory of Superconductivity" , Phys. Rev, Vol.108 , N. 5, (1957) , p1175 .
- [71] C.S.Waing," Electronic structure , Lattice Dynamics and magnetic Interations in High temperature Superconductivity " , W.Lynn , springer , (1990) .

- [72] A.B.Pippard, Proc. Roy. Soc., (London) A216, 547, (1953), in Ref.26.
- [73] V.Z.Kresin and S.A. Wolf , " Fundamentals of Superconductivity " , plenum press, (1992) , pp 22 - 24.
- [74] V.Z.Kresin and S.A.Wolf, "Fundamentals of Superconductivity", Plenum Presses, New York, (1990).
- [75] A.C.Rose,Innes and E.H.Rhoderick, "Introduction to superconductivity", Pergamon Press, (1978).
- [76] K .Kumar , T. Sreekanth "Solid State Physics" Ch 10 ,(2005) ,PP214-216.
- [77] M.A.Wahab " Solid State Physics" 2nd edition, Ch 17,(2005) ,PP534-558.
- [78] E.Maxwell, Phys.Rev.V.78, (1950) , P.477.
- [79] L.Solymar and D.walsh,“ Electrical Properties of Materials ”, Oxford University Press, (1998).
- [80] P. A . Tipler , R. A. Llewelly " Modren physics " fourth edition , freeman New York , pp 487 - 495 , (2003).
- [81] J. C. Philips" Physics of high Tc superconductor", Ch 1 united states of America AT and T Bell laboratories Murray H.11, New Jersey (1998).
- [82] Zhao-Sheng Wang;" Superconducting Properties of Iron-Based Ba-122 by Transport Measurements and Scanning Nano-SQUID Microscopy"; University Joseph-Fourier - Grenoble I,(2012) ,P 6.
- [83] R. Baquero" Brief Introduction to Superconductivity" ,(2005),p13.
- [84] P. W. Anderson "Spin-charge Separation is the Key to the High-Tc Cuprates" *Physica C*, 9-10, November(2000), 341-348.
- [85] J.C.Phillips, Physics of High-Tc Superconductors , Academic press Inc., Ch1 (1989).
- [86] J.W.Lynn, High Temperature Superconductivity, Springer-veriag, (1990).
- [87] H.P.Myers; Introductory to Solid State physics,(Superconductivity Ch.13), Taylor and Francis (1990).
- [88] H.P. Myers "Introductory Solid State Physics" 2nd ,Taylor & Froncies (.1997).
- [89] J. S. Blakemore "*Solid state physics* " Ch 3, W.B. Saunders Company. Philadelphia. London. Toronto ((1970).
- [90] V. L. Ginzburg and L. D. Landau, JETP(USSR), V.20,(1950), p1064.
- [91] M.A.Omer; Elementary Solid State Physic (Superconductivity Ch.10) Addison-Wesley (1974).

- [92] W.Rainer, " High Temperature Superconductor " , materials properties and Application " , Kluwer Academic publishers , New York , (1998) .
- [93] R.Murugesan and Kiruthiga Sivaprasath , " Modern physics " , (2010) , pp 569 - 570 .
- [94] Andrei Moura Chkine " Room - Temperature superconductivity " Cambridge international science publishing ,(2004) pp 32 -33.
- [95] Werner Buckel , and Reinhold Kleiner " Superconductivity fundamentals and Applications " , Second Edition , Wiley,(2004) , p 160 .
- [96] J . D. Patterson , B. C. Bailey, "Solid-State Physics , Introduction to the Theory", Springer, Ch10(2007) ,P 461.
- [97] S.Chand," Modern Physics" 15th Revised Multicolour Edition,(2010) ,p587.
- [98] Ruslan Prozorov, Russell. W. Giannetta ; " Magnetic Penetration Depth in Unconventional Superconductors " , Topical review. To be published in "Superconductor Science and technology",(2006) ,p3.
- [99] R.D A. SERWAY, C. J. MOSES, and C. A. MOYER , " Modern Physics" THOMSOM ,BROOKS/COIL,3theddition,(2005), p446.
- [100]F.London ,H. London," The Electromagnetic Equations of the Superconductor , Proc. R. Soc. London, Vol.149, (1935), p71.
- [101]A.A. Ginzburg, Zh. Eksp. Teor. Fiz. **32**, 1442 (1957).
- [102]Ginzburg and Andryushin, Superconductivity;(1998),p 63.
- [103] M.A.Wahab " Solid State Physics structure and properties of material" , Second Edition , New Delhi, (2010), pp 555 - 556.
- [104]M.K.Wu ,J.R. Ashburn ,C.J. Torng , " Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure " Phys. Review Lett., Vol. 58 ,No.9, (1987), pp 908-910.
- [105] S.L.Kakani, A. kakani "Material Science " New age international publishers ,(2004), p 540 - 542.
- [106] P.Charles ,Jr.Poole et al " Superconductivity " Elsevier Ltd , second edition, (2007),pp24, 84 ,197 .
- [107] Adir Moyses Luiz " Superconductor " , Janeza Trdine , Croatia , (2010),pp 3-4.
- [108] Marco Van der Haar " Mixed – conducting preovskite membrances for Oxygen separation " partners Ipskamp , thesis , (2001) , p 25 .
- [109]Nader Bayani " Oxygen Transport properties of Highly – Doped perovsk , Te – Type Ferrite Oxides " thesis , university of Toronto , (2001) , p 4.

- [110] R.H.Patel, " Characterization of superconducting properties of BSCCO power prepared by attrition milling " , superconductor Science and technology , Vol 18, (2005), p 318 .
- [111] Brian. S.Mitchell " An Introduction to materials Engineering And Science" , Wiley , inc,(2004), p 45 .
- [112] Thomas Frello " structural and superconducting properties of High - T_c Superconductors " , Riso National laboratory , Roskilde , Denmark, (1999) , p 67.
- [113] Peter Vesely " The phase transformations in Bi - 2212 Superconducting system in various partial oxygen pressure " , Material Science , technology, V.99,(2005), p 410.
- [114] Yury Evgenevich Grigorashvili , " Superconductors Properties , Technology , and Applications " ,(2012), pp 244 - 245 .
- [115] Z. Hong, M. wang, G. Xiong and X. Fan : Physica C, V. 288, , P. 82,(1997).
- [116] H. Khosroabadi, M.R .Mohammadi Zadeh and M.Akhavan :Physica C 370, (2002) , 85-93.
- [117] M. Matsuda, A. Kikuchi, M. Takata, M. Ishii, T. Yamashita and H. Koinuma: Jap. J.Appl. Phys., V.28, (1989) ,p 940.
- [118] S. Bolat, E. Yanmaz & H. C.Omert, Turk J. Phy. 24 ,TUB ITAK. (2000), 129 - 135.
- [119] H. Zhang , H. Sato: Physica C, V. 214,(1993) , P. 265.
- [120] P.Majewski , " BiSrCaCuO high T_c superconductors " Adv . Muter , Vol. 6, (1994) , pp 460 - 469 .
- [121] D. Larbalestier, A. Gurevich, D. Matthew Feldmann & A. Polyanskii " High- T_c superconducting materials for electric power applications", Wisconsin 53706 USA, Nature , Vol. 414 , (2001) .
- [122] Svetlomis Stavrev " Modelling of High Temperature Superconductors For Ac power Application " , Thesis university Technique de Varna , Bulgarie,(2002), p 15 .
- [123] J.M. Tarascon, Y. Lepage, L.H. Greene, B.G. Bagley, P. Barboux, D. Hwang, G.W. Hull, W.r. Mckinnon and M. Giroud; Phys. Rev. B38 (1988) 2504.
- [124] E.K. AL-Shakarchi, M.N. Makadsi and A. J. Dawod; Proceeding of the fourth International conference on physics of condensed matter, Amman-Jordan, (2000).
- [125] H. Ehrenreich , D. Turnbull; "solid state physics", Vol. 42 Academic Press (1989).

- [126] S. G. Ganapathy Subramanian "Bi-Sr-Ca-Cu-O Thin Films Grown by Flash Evaporation and Pulsed Laser Deposition" M.Sc, Texas University (2003).
- [127] Todor Mihaylov Mishonov , "On The Theory of High - Temperature Superconductivity " , Thesies university of sofia, , (2007), p . 1.
- [128] Stephen D.wilson et al,Nature physics , Vol .442, (2006) , pp 59 - 62.
- [129] P.S.Kruchinin " Physics of High - T_c Superconductors American Scientific publishers " , Vol. 2 ,(2014) ,pp 1-22.
- [130] E.W. Carlson " Concepts in High Temperature Superconductivity " ,(2002) ,pp 26 - 31.
- [131] G.Baskara " Five - fold way to new high T_c superconductors " platinum Jubilee , (2009) , pp 279 - 310 .
- [132] D.James . Patterson and Bernard. C . Bailey " Solid -State physics Introduction to the Theory " , spring , (2007) , pp 482 - 489.
- [133] Jian Xun " Twenty years of High T_c Superconductivity " Nature Science , Vol .1 , (2006), pp 1-16 .
- [134] John Sarrao and Wai . Kwong Kwok , " Basic Research Needs for Superconductivity " , Argonna National Laboratory, 122 ,(2006), p p 61.
- [135] T.Timusk, "The Superconducting Energy Gap", LA PHYSIQUE AU,CANADA, Vol.67, No.2,(2011), pp 99-104.
- [136] T.Timusk ,B.Statt " The pseudogap in High - temperature superconductors " , Rep . Prog . Phys , (1999) , pp 61 - 62.
- [137] W.W.Warren. Jr " Cu Spin dynamics and Superconducting precursor effects in planes above T_c in $YBa_2Cu_3O_{6.7}$ " phys . Rev . Lett , Vol. 62 ,(1989) , p 193 .
- [138] R.E. Walstedt , " Cu NMR shift and line width anomalies in the $T_c = 60$ k phase of Y-Ba-Cu-O Phys . Rev, (1990), p 574 .
- [139] B.Batlog,T.T.M.Palstra,L.F.Schneemeyer, R.B.Van Dover and R.J.Cava:Physica C , V.(153-155),(1988), p1062.
- [140] S.A.Sunshine, T.Siegrist, L.F.Schneemeyer, D.W.Murphy, R.J.Cava: Phys. Rev. B, V.38, (1988), p893.
- [141] J.R.Schrieffer, X.G.Wen and S.C.Zhang: Phys. Rev. Lett., Vol.60, ,(1988),p944.
- [142] V.L.Ginzburg, Sov.:Phys.-Usp.13, (1970) , 335.
- [143] V.Z.Kresin and S.A.Wolf " Fundamentals of superconductivity" plenum press New York (1990).

- [144] A.K.Jassim;" Fabrication and Characterization of (Hg,Bi)-Doped of Tl Based Superconducting Systems" Ph.D,thesis, University Of Baghdad Collage Of Science, (2007).
- [145] M. Ohkubo , J. Geerk, Linker and O. Meyer" Phas intergrowth in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ superconducting thin films prepared by single cylindrical – sputtering gun", Appl. Phys. Let 67 (16) (1995) .
- [146] Rudi Hackl and Dietrich Einzel; "Superconductivity and Low Temperature Physics Part I: Superconductivity" , preliminary Garching, (2013), P 15.
- [147] T . Kirschner, J . Bankuti , M . Gal and K . Torkos : phys . Rev ., B , ,(1987) P 2313.
- [148] D . A . Porter, K . E . Easter ling , " phase transformation in Materials and allays " , Ch . 1,(1992) .
- [149] C . Domb , M . S . Green , " phase transformation and critical phenomena " , Ch . 1 ,(1972) .
- [150] A . R . West, " Solid state chemistry and its applications " , Ch . 2,(1989) .
- [151] S .Trivijitkasem , W.Sratongluan: kasetart J.(not.sci .),V.34, No1,(2000),P.159 .
- [152] M . Mizuno, H . Endo , J . Tsuchiya , N . kijima ,A .Sumiyama and Y.oguri: Jpn.J.Appl. phys,V.27,No.10,(1988), P1906.
- [153] Q . Feng, H.Zhong, S.Feng, X.Zhu ,K.Wu,Z liu and L.Xue : Solid State Comm., V.78,No.7,(1991), P609.
- [154] M .Wang , Gxiong ,X.Tang and Z . Hong :physica C,V.210 ,(1993), P.413.
- [155] S. P. Kruchinin;" Physics of High-Tc Superconductors" , American Scientific Publishers, Vol. 2, (2014) , pp. 1–22.
- [156] A.Mourachkine "Room-Temperature Superconductivity", Cambridge International Science Publisher First Published.(2004).
- [157] ISTE 1998 International Workshop on Superconducting Materials and Technology Issues for HTS Wires and Bulk Applications", Hotlin Applied Superconductivity- July, (1998).
- [158] P.Komarck, Supercond.Sci Technol.V.13, P.456. (2000).
- [159] K.K.Likharev, Dynamics of Josephson Junctions and Circuits", Gordon and Breach Science Publishers, (1986), P.30.
- [160] J.P. Jones "Materials science for electrical and electronic engineers" Ch 11, University of Birmingham Oxford University press, Inc .New York(2001), P287.

- [161] L. Solyner and D. Walsh "Electrical properties of materials" , Oxford, York, Tokyo, Oxford University, press , p.365 (1998).
- [162] Shoji. Tanaita "High-temperature superconductivity: History and out look" SAP international, V.10-13, No. 4 (2001).
- [163] P.J Ford and G.A.Saunders " high temperature superconductors Eten years on " contemporary .Phys ,J ,V.38, No.1, (1997) ,P63.
- [164] G.Y.Hermiz, B.A.Aljurani, H.A.Thabit, Journal of superconductivity and Novel Magnetism Vol. 25, No .6 (2012) 1629-1634.
- [165] K.Aka, M. Saito, M.Ito, K. Nakan and Heromiunoki " Advances in superconductivity" Kitazawa, Ishiguro {EDS} Aug. (1988), p225 - 227.
- [166] M. R. Beasley " Advances in superconductivity" Kitazawa, Ishiguro (EDS) 3- 15 (1988).
- [167] Oka-Ridge ,National Laboratory.Oran Facilities and Equipment for use in High-Temperature Superconductivity Research and Development (2004)
- [168] S. A. Sunshine, T. Siegrist, L.F. Schneemeyer, D. W. Murphy, R.J. Cava: Phys. Rev. B, V.38 (1988) , P893.
- [169] Moussa, Muna, "Effect of the Electron Beam and Laser Radiation on Tc of $Y_{1-x}(Gd,Pr)xBa_{2-y}SryCu_3O_{7-\delta}$ compounds", Ph.D. Thesis, Baghdad University, College of Science, (2003).
- [170] S. R. Ghorbani, "Structural and Electrical Transport properties of Doped Nd-123 Superconductors" Ph.D. Thesis, Royal Institute of Technology, Solid state physics, Department of physics and IMIT, Stockholm, (2002).
- [171] V.Raghavan., "Material Science and Engineering", 5thed, New Delhi, (2010), p.414
- [172] G.Xing, M.Wang, X.Fan and X.Tang,: Appl.Phys. A56, P.99 (1993).
- [173] B.Solunke, P.U. Sharma, M. P. Pandya, V. K. Lakhani, K.B. Modi, P. Venugopl Reddy and S. S. Shah .Indian Academy of Sciences, | joul of physicsm, V.12, N.32, P. 1(2005).
- [174] S.Koyama, U.Endo and T. Kawai :Jap.J. Appl. Phys, 27, 10, L1861,(1988).
- [175] A. Octa, A.Kirihigashi, Y.Sasaki and K.Ohba:Jap.J.Appl.Phys, V.27, No.12, P.L2289,(1988) .
- [176] Y. Mizauno, A. Sawa, H. Obara, M. Umeda, and H. Yamasaki, Physica C 2255, (1997) 282-287.

- [177] B.D.Cullity, S.R.Stock, "Elements of X-Ray Diffraction", New Jersey, Prentice Hall, (2001).
- [178] Zhang.Cui.Ping; "Fabrication of Large Bulk YBaCuO Superconductor Single Domains for Application to Flux Trapping, Current Transport and Energy Storage at 77K", University Joseph Fourier – Grenoble, PhD Thesis, (2009).
- [179] A. Ono, Jap. J. Appl. Phys., V. 27, No. 12, P. L2276-L2279, (1988).
- [180] B.L. Gyorffy, Z. Szotek, W.M. Temmerman, O.K. Andersen and O. Jepsen, "On the Quasi Particle Spectra of High Temperature Superconductors", Phys.Rev.B1–II Vol.58.No.2.(1998).
- [181] F.James, J.F.Shackelford and W. Alexander, "Material science and engineering hand book", 3th edition, CRC press LLC, New York, USA, (2001).
- [182] M.O.Yilmazar, H.Aydin, M.Akdogan and C.Terzioglu, "The effect of Sm→Ca substitution on mechanical properties of BSCCO superconductors", chin.phy, 45(2), (2007), P128.
- [183] L.Ganapathi, K. Ashok and J. Narayan, Physica C, V.167, (1990), p.669.
- [184] S. J. Fathi "Isovalent Substitution for Y and Ba in High Temperature Y₁Ba₂Cu₃O₇ Superconductor", Thesis Submitted To Baghdad University, Collage of Science, (1993).
- [185] Y. X. Jia, C. S. Lee and A. Zettl, Physica C, V.234, (1994), p 24.
- [186] N. F. Mott "Conduction in Non –Crystalline Materials" 2nd Edition, Clarendon Press, Oxford, (1993).
- [187] A.K.Pandey, G.D.Verma and O.N.Srivastara, Physica C, V.306 (1-2), (1998), P.47.
- [188] H.M.Sao, C.C.Lam, P.C.W.Fung, X.S.Wu, J.H.Du, G.J.Shen, J.C.L. Chow, S.L.Ho, K.C.Hung and X.X.Yao, Physica C, V.246, (1995), P.207.
- [189] D.Pavlov, "Synthesis and Properties of Substituted Hg-based Superconductors", Ph.D. University of Stock holms, Department of Lnorganic Chimistry.(2004).
- [190] O. Chmaissem, Q. Huang, E. V. Antipov, S. N. Putilin, M. Marezio, S. M Loureiro, J. J. Capponi, J. L. Tholence and A. Santoro, Physica C V.217, p.265, (1993).
- [191] A. Biju, "Improved superconducting properties by La addition in (Bi,Pb)-2212 bulk superconductor", J. Alloys Compd, 431, (2007), P.49-55.

- [192] J. Khaled, T. Komatsu and R. Sato : J. of ceramic society of Jap. 105, 4, (1997), P.279.
- [193] K. A. Jasim, M. A. N. Thejeel, R. S. Al-Khafaji, " The Effect of Doping by Sr on the Structural, Mechanical and Electrical Characterization of $\text{La}_1\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Ca}_2\text{Cu}_4\text{O}_{8.5+\delta}$ ", Ibn Al-Haitham Journal . for pure & Appl . Sci . vol . 27 (1), (2014).
- [194] M. J. Iqbal, R. Mehmood, Journal of Alloys and Compounds, 477, issues 1-2, (2009).
- [195] T. S. Heh, J. R. Chen and T. Y. Tseng, " Preparation of $\text{Bi}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_{1.0}\text{Ca}_{1.0}\text{Cu}_{1.8}\text{O}_y$ High-Tc Superconductor by the Citrate Method ", Jap. J. Appl. Phys. 29, 4, (1990), P. 652-655.
- [196] A. Ishii, T. Hatano, physica C, 340, (2000), P. 173 .
- [197] G. A. Al-Dahash; Effect of Deformation on Electronic Structure and Magnetic properties of Some High Temperature Superconductors", Ph.D. Thesis , Baghdad University , College of Science, (1998) .
- [198] M. K. Wu, D. H. Chen, D. Y. Chen, S. R. Sheen and F. Z. Chien: " Ion Substitution Effects on the Structure Stability of Cuprate Superconductors", Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 3, No. 3, (2000), pp. 139-144.
- [199] B. S. Keeseong , M. S. Park; " Magnetic Phase Diagram of $\text{Ca}_{2+x}\text{Y}_{2-x}\text{Cu}_5\text{O}_{10-\delta}$: Oxygen Hole-Doping Effects ", The University of Texas at Austin, , (2007), pp 36, 84, 85.
- [200] S. A. Halim, S. S. H. Ravandi, M. I. Adam, S. K. Chen and K. P. Lim. Sci, Technol, 18, 1, (2010), p. 266.
- [201] Liang , Ying Xue nong, Xu Xia Oshan, physica C, 337 (2000), p 285.
- [202] M. Nc, A. K. Rajarajan, K. Pataik, R. Vijayaraghavan & Gupta, solid state commun , 75. (1990), p. 987
- [203] B. Rajs, L. B. DhaL, H. C. Padhi, D. Behera & N. C. Mishra, solid state communications , 105. 767 . (1998).
- [204] H. M. Kurodas & Taki Tak Physica C, 297 (1998), P. 176 .
- [205] R. ZMA, A. Navrotsky & F. Licci, Physica C, 329. (2000), P. 88.
- [206] V. N. Vieira , P. pureur & Jscaf, phys Rev B, 66, (2002), 24506.
- [207] F. T. Diasa, V. N. Vieira, Jrp. Rodrigues, physica C , 408, (2004), P. 688.
- [208] W. B. Michel: "Fundamentals of ceramics", International Editions, The McGraw-Hill companies, Inc. New York. (1997).

- [209] James D. Patterson, Bernard C. Bailey ;"Solid-State Physics "Springer , 2007.p 509 .
- [210] A. Jalle," An Outline of polymer chemistry", Oliver and Boyed, Ltd(1974).
- [211] MC. Lovell; AJ. Aery and MA. Vernon, Physical properties of materials. New York. (1976).
- [212] C.W.Chu," Materials and physics of high temperature superconductors" , Hong Kong university press ,(2002).
- [213] A. Younis and N. A. Khan;" Dielectric Properties of $\text{Cu}_{0.5}\text{Tl}_{0.5}\text{Ba}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_{4-y}\text{Zn}_y\text{O}_{12-\delta}$ ($y=0,3$) Superconductor" ,Journal of the Korean Physical Society, Vol. 57, No. 6,(2010), pp. 1437-1443
- [214] A.J. Kareem,N.F. Rihab, H.M.Shatha ,"A study of the Structural , Mechanical and Dielectical Properties of $\text{LaBaCu}_2\text{O}_y$ ",(IREPHY), ISSN1971-680X,Vol(8),N.3,(2014).
- [215] M.Tinkham and C.J. Lobb, Solid State Phys. 42, 91,(1989).
- [216] S. Vilara, A. Castro, B. Rivas, A. Mirab, J. Rivasb, M. Rodr, "Study of the Dielectric Properties of the Perovskite $\text{LaMn}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_{3-\delta}$ " , Z. Anorg. Allg. Chem., 631,(2005),pp. 2265-2272.
- [217] A. Younis, A. Hussain, M. Asghar,A. Manzoor,S. Javed” : "AC-field Frequency Response of $\text{Cu}_{0.5}\text{Tl}_{0.5}\text{Ba}_2(\text{Ca}_{2-q}\text{Mg}_q)\text{Cu}_3\text{O}_{10-\delta}$ Bulk Superconductor” Journal of Superconductivity and Novel Magnetism,vol.24,Issue 4,(2011) , pp.1327-1332.
- [218] R. Choudhary, R. Palai, S. Sharma," Structural, Dielectric and Electrical Properties of Lead Cadmium Tungstate ceramics Materials Science and Engineering, B77,(2000) , pp. 235–240.
- [219] A. Chen, Y.Zhi, "Physical Review B", Vol.62, No.1 (2000).
- [220] W.Ryan,"Clay sand ceramic raw material",Applied Science publishers LTD ,London,(1979).
- [221] I.J. Mccolm, "Ceramic science for materials technologies", Leonard Hill,NEW YORK, (1983).
- [222] F.H.Norton, "Elements of ceramic", 2nd edition, Addison Wesley Pub, (1974).
- [223] C.K. Saman, K. Parasad., N.P. Choudhary, Bull.Mater. Sci. Vol.27, No.6 ,(2004).
- [224] C.K. Suman, K. Prasad, R.N. Choudhary, Mater. Sci. Lett. Vol.11,(2003), P. 788.

- [225] N.V.Prasad,G.Prasad,T.Bnimas an karam,S.V. Saryanarayana, G.S. Kumar, Bull. Mater. Sci. Vol.24, No.5 (2001).
- [226] N.V.Prasad,G.Prasad,T.Bnimas an Karam,S.V. Suryonarayana, G.S. Kumer, Mod.Phys.Letts. Vol.B12, (1998), P. 371.
- [227]S.Maekawa,H.Fukuyama,"Localization effects in two-dimensional superconductors",J.Phys.Soc.Jan,vol.51,(1982) ,pp.1380-1385.
- [228]M. Mumtaz,N.A. Khan, and S. Khan, "Study of Dielectric Properties of Oxygen-Postannealed $\text{Cu}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{Ba}_2\text{Ca}_2(\text{Cu}_{3-y}\text{M}_y)\text{O}_{10-\delta}$ Superconductor", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.23, No. 2, (2013), pp. 1-8.
- [229]J.B.Shi,"Dielectric studies in $T^* & T$ structure of $(\text{La,Gd})_2\text{CuO}_4$ ", Physica C, Vol.305, Issul 1, (1998), pp35-45.
- [230]Adil Mahmoud Ibraheim, "Effect Of Preparation Methods On The Structural , Mechanical and Electrical Properties Of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Cd}_x\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ System, Master Degree, University of Baghdad College Of Education For Pure Science Ibn- Al-Haitham Department of Physics, (2015).
- [231]Azhan Hashim, Robaiah Mamat, Azman Kasim, Noor Syuhaida Ibrahim, Nor Azura Che Mahmud , Mohd Mustaqim Rosli , "Characterazation of Dy-doped at Ca site in Low-Density $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Dy}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ Superconductor", Malaysian Journal of Analytical Sciences, Vol. 19, No. 4, (2015), P.852 - 859.
- [232]J.Clayhold,S. Hagen, Z.Z.Wang and N.P.Ong, Phys. Rev. B39, (1989), P.777.
- [233]A. Jabbar,I.Qasim,M. Khan,Z.Ali,K. Nadeem and M. Mumtaz, "Synthesis and superconducting properties of $(\text{Au})_x/\text{CuTl-1223}$ composites", Elsevier B.V, Journal of Alloys and Compounds, Vol.618, (2015) , pp. 110–114.
- [234]J. Chen, J. Wang, Y. Chen, "Capacitance Studies of Nd_2CuO_4 " Chinese Journal of Physics, 34, (1996) , pp. 2-11.

Abstract

The present thesis includes the study of effect of partial substitution of (In) instead of (Bi) ,and (La) instead of (Cu) on the structural properties, superconductivity and dielectric properties at room temperature of the superconductor ($\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta}$), where ($x=0.0,0.05,0.1,0.15,0.2$, $y=0.0,0.05,0.1,0.15,0.2$) and that each value from (x) took all values from (y). The aims of this study were to investigate the standard conditions for formation and stabilization of the high phase (Bi-2223) and obtaining the highest critical transition temperature (High- T_c), as well as to know the frequency ranges in which these samples can act as dielectric in normal conditions. The samples were prepared by a solid state reaction method using appropriate weights of high purity oxides powders (Bi_2O_3 , SrO , CaO , CuO , La_2O_3 , In_2O_3). The powders were mixed in two stages, the first using a manual mortar for half an hour and the second with a vortex electric mixer for (6 hours), then press the powder mixtures by using a hydraulic piston under pressure of ($7\text{ton}/\text{cm}^2$) for (1 minute) in the form of discs with a diameter of (1.5cm) and a thickness ranging from (0.15-0.25cm). samples were sintered in air at temperature (750°C) for (140hr) and heating temperature ($5^\circ\text{C}/\text{min}$) in order to obtain a coherent material and to ensure a gradual ideal diffusion between atoms. The last step was cooling of specimens to room temperature under the same heating rate. The results of the (XRD) showed for all samples an orthorhombic crystalline system, containing the highest proportion of the pure phase (Bi-2223) with low percentages of the low phases (Bi-2212, Bi-2201) and appearance of some impurities, and the highest phase rate for the specimen at ($x=0.2,y=0.15$) which is equal to(90.933%) and characterized by absence of impurities .The results of the measurement of the lattice constants (a, b, c) ,(c/a) and the density of the unit cell shows that the sample with ($x = 0.1$, $y = 0.15$) has the highest value of ($c=37.8075\text{\AA}$) and the highest value of($c/a=10.456$) while the specimen of ($x= 0.15,y = 0.15$) has the highest value for unit cell density ($d_m = 4.591\text{g} / \text{cm}^3$).The sample behavior was investigated in terms of electrical

resistance and critical temperature using the Four-Probe technique, we obtained the values of the critical transition temperatures, the energy gap and the concentration of the holes in the sample. The samples $(x=0, y=0.05)$, $(x=0, y=0.1)$ and $(x=0.15, y=0.1)$ has semiconductor behavior, while the other samples had superconducting behavior and the highest critical temperature obtained in the sample $(x=0.2, y=0.15)$ ($T_c = 130.7\text{K}$), which also had the highest value of the energy gap ($E_g = 0.0397\text{eV}$) and the highest concentration of holes. While the samples dielectric properties which includes (Dielectric constant (real & imaginary), Loss tangent and Alternating electrical conductivity), were studied as a function of the frequency and range (50 Hz-1MHz) at room temperature, a significant change was observed in the dielectric properties by increasing the concentration of both indium (In) and Lanthanum (La), where both the dielectric constant (real & imaginary), the loss factor decrease with frequency increment and begin to stabilize after ($\sim 10\text{kHz}$) and the alternating electrical conductivity increases with increasing frequency and thus conclude that the dielectric properties for all samples depends largely on the rate of substitution and the frequency. Also the (La) substitution effect instead of (Cu) at fixed (In) rate shows a large negative than (In) substitution instead of (Bi) with fixed (La) rate on all structure properties, critical temperature and dielectric properties, and that (La) substitution instead of (Cu) leads to deterioration of superconducting properties and thus the superconducting system (BSCCO) is very sensitive for substitution by (La). The change that occurs on specimens as a result of substitution by (In) instead of (Bi) at fixed (La) rate was systematic indicators and indications more than that a substitution of (La) instead of (Cu) at fixed (In) rate.

*Republic of Iraq
Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University of Baghdad
College of Education for Pure Science
Ibn-AL-Haitham*



*Preparation and study the effective of addition
(In and La) on $\text{Bi}_{2-x}\text{In}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-y}\text{La}_y\text{O}_{10+\delta}$
superconductor compound*

A Thesis

*Submitted to the Council of University of Baghdad /College of
Education for Pure Science (Ibn-AL-Haitham) in partial Fulfillment of
the Requirements for the Degree of Philosophy Doctorate of Science
In Physics*

By

Haider Sahi Hussein

B.Sc/1992

M.Sc/2009

Supervisors

Professor

Dr. Kareem Ali Jassim

2017