



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد
كلية التربية للعلوم الصرفة / ابن الهيثم
قسم الفيزياء

تصنيع ودراسة خصائص نبيطة فوتوفولتائية من أكاسيد النحاس / سيليكون

رسالة مقدمة الى

جامعة بغداد / كلية التربية للعلوم الصرفة / ابن الهيثم

وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير في علوم الفيزياء

من قبل

ميثم عبد الحسين عبيد

بكالوريوس علوم فيزياء (٢٠١٥)

بإشراف

الاستاذ الدكتور

عليه عبد المحسن شهاب

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(قَالُوا سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا

إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ)

صدق الله العظيم
سورة البقرة الآية ٣٢

إقرار المشرف على الرسالة

أقر أن إعداد هذه الرسالة الموسومة بـ(تصنيع ودراسة خصائص نبيطة فوتوفولتائية من أكاسيد النحاس/ سيليكون) التي قدمها الطالب (ميثم عبد الحسين عبيد) تم بإشرافي في قسم الفيزياء كلية في التربية للعلوم الصرفة/ ابن الهيثم/ جامعة بغداد، وهي جزء من متطلبات نيل شهادة ماجستير علوم في الفيزياء.

اسم المشرف : د. عليّة عبد المحسن شهاب

المرتبة العلمية : أستاذ

التوقيع: 

PDF Reducer Demo

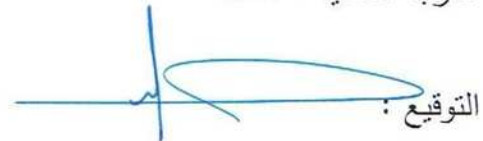
التاريخ : / / ٢٠١٧

توصية رئيس قسم الفيزياء

بناءً على التوصية المقدمة من الأستاذ الدكتور عليّة عبد المحسن شهاب أحيل هذه الرسالة على لجنة المناقشة لبيان الرأي فيها.

الاسم : د. كريم علي جاسم

المرتبة العلمية : أستاذ

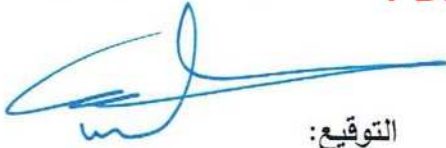
التوقيع: 

التاريخ : / / ٢٠١٧

إقرار المقوم اللغوي

أشهد أني راجعت رسالة الطالب (ميثم عبد الحسين عبيد) الموسومة بـ
(تصنيع ودراسة خصائص نبيطة فوتوفولتائية من أكاسيد النحاس/ سيليكون) من
الناحية اللغوية وصحت ما ورد فيها من أخطاء لغوية وتعبيرية ، وبذلك أصبحت
الرسالة مؤهلة للمناقشة قدر تعلق الأمر بسلامة الأسلوب وصحة التعبير ولأجله
وقعت.

PDF Reducer Demo



التوقيع:

الاسم: الدكتور خالد عبود حمودي

الدرجة العلمية: استاذ مساعد

التاريخ: ١٣ / ٨ / ٢٠١٧ م

إقرار لجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة المناقشة أننا اطلعنا على الرسالة الموسومة ب(تصنيع ودراسة خصائص نبيطة فوتوفولتائية من أكاسيد النحاس/ سيليكون) التي قدمها (ميثم عبدالحسين عبيد) وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها وفي ما له علاقة بها، ونرى انها جديرة بالقبول لنيل درجة ماجستير في علوم الفيزياء.

عضو اللجنة

التوقيع: 

الاسم: د. بشرى كاظم حسون

المرتبة العلمية: استاذ مساعد

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

التاريخ: 2017 / 12 / 20

عضو اللجنة (المشرف)

التوقيع: 

الاسم: د. عليا عبدالمحسن شهاب

المرتبة العلمية: استاذ

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

التاريخ: 2017 / /

صدقت من قبل مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة _ ابن الهيثم / جامعة بغداد

التوقيع:

الاسم: د. خالد فهد علي

المرتبة العلمية: استاذ

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

التاريخ: 2017 / /

رئيس اللجنة

التوقيع:

الاسم: د. سلمى محمد حسين

المرتبة العلمية: استاذ مساعد

العنوان: الجامعة التكنولوجية /

قسم العلوم التطبيقية

التاريخ: 2017 / /

عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: د. احمد ناجي عبد

المرتبة العلمية: استاذ مساعد

العنوان: الجامعة المستنصرية / كلية العلوم

التاريخ: 2017 / 12 / 20

الإهداء

- إلى روح سيد الكائنات محمد (صلى الله عليه وآله وسلم) .
- إلى التي سهرت الليالي وغمرتني بالسعادة والأمان .
- إلى الروح التي كانت ينبوع الحنان الدائم .
- إلى أمي.
- أهدي ثمرة جهدي المتواضع
- مع محبتي واعتزازي واحترامي .
- إلى من جعل فرحة أبنائه جُلَّ ما شقى لأجله طوال حياته
- إلى قدوتي ومصدر فخري .
- إلى أبي.

ميثم



شكر وتقدير

أحمد الله وأشكره شكر الذاكرين والصلاة والسلام على خير النبيين محمد صلى الله عليه وعلى آله وصحبه أجمعين .

لا يسعني بعد إكمال هذا البحث إلا أن اتقدم بالشكر الجزيل والتقدير الفائق إلى الدكتورة (عليّة عبد المحسن شهاب) لاقتراحها موضوع البحث ولما قدمته من اهتمام وجهد كبيرين طوال مدة إعداد البحث، وفقها الله سبحانه وتعالى إلى كل خير وصلاح ، كما أشكر عمادة الكلية ورئاسة قسم الفيزياء وجميع أساتذتي الأفاضل في القسم لما قدموه من مساعدة ونصيحة، و اقدم الشكر والعرفان للدكتور احمد ناجي عبد (الجامعة المستنصرية/ كلية العلوم) لما قدمه من توجيهات قيمة وسديدة طوال مدة إعداد البحث وفي توفير الأجهزة فله مني جزيل الشكر والتقدير . كما اشكر الدكتورة سها عريبي فدعم لما قدمته من مساعدة ونصيحة طوال مدة اعداد البحث، فلها مني جزيل الشكر والتقدير ، ولا يفوتني أن أشكر الدكتورة تغريد مسلم لتشجيعها لي ومساندتي .

ميثم

قائمة الرموز العلمية

وحدة القياس	المصطلح العلمي	الرمز
\AA	ثابت الشبكة	a
cm^2	مساحة الغشاء	A
\AA	المسافة البينية بين السطوح الذرية	d
line.cm^{-2}	كثافة الانخلاعات	δ
Crystal/nm^2	عدد البلوريات المتكونة لوحد المساحة	N_o
cm.(v.s)^{-1}	تحركية الحاملات	μ_c, μ_p
$\Omega^{-1}.\text{cm}^{-1}$	التوصيلية الكهربائية المستمرة	$\sigma_{d.c}$
eV	الألفة الإلكترونية	χ
V	جهد البناء الداخلي	V_{bi}
eV	فجوة الطاقة البصرية	E_g^{opt}
C	شحنة الإلكترون	q
cm^{-3}	تركيز الشوائب المانحة	N_d
Tesla	شدة المجال المغناطيسي	B
μm	عرض منطقة النضوب	W
nsec	زمن الاستجابة	τ_{response}
μsec	فترة حياة الحاملات	τ_{Life}
J.s	ثابت بلانك	h
J.K^{-1}	ثابت بولتزمان	k_B
K	درجة الحرارة المطلقة	T
-	عامل المثالية	β
eV	طاقة التنشيط	E_a
mA/cm^2	كثافة تيار الإشباع	J_{ph}
mV	فولتية الدائرة المفتوحة	V_{OC}
mV	أعلى قيمة للفولتية	V_m
mA	كثافة تيار الإشباع	J_s
mA	أعلى قيمة تيار	I_m

mA	تيار الدائرة القصيرة	I_{SC}
nm	سُمك الغشاء الرقيق	t
mA	التيار الضوئي	I_{Ph}
mA	تيار الظلام	I_d
-	النفاذية	T
-	الامتصاصية	A
-	الانعكاسية	R
-	الجزء الحقيقي لثابت العزل	ε₁
-	الجزء الخيالي لثابت العزل	ε₂
-	معامل الخمود	K₀
mW	القدرة الساقطة	P_o
cm.Hz^{1/2}.W⁻¹	الكثافة النوعية	D_λ
	الكفاءة الكمية	η *
nm	الطول الموجي	λ
-	الكفاءة التحويلية	η%
A /W or V/W	الاستجابة الطيفية	R_λ
m/s	سرعة الضوء في الفراغ	c
cm³.C⁻¹	معامل هول	R_H
cm⁻³	تركيز حاملات الشحنة لوحدة الحجم	n
μV	فولتية هول	V_H
μA	تيار هول	I_x
-	القدرة المكافئة للضوء	NEP
cm	عمق انتشار الإلكترونات	L_n
cm	عمق انتشار الفجوات	L_p
cm⁻¹	معامل الامتصاص البصري	α
-	حيود الأشعة السينية	XRD
deg	عرض منتصف المنحني عند اعظم الشدة	FWHM

قائمة المصطلحات

ASTM	American Society for Testing Materials
AFM	Atomic Force Microscopy
FTIR	Fourier Transform-Infrared Spectroscopy
FWHM	Full Width at Half Maximum
hν	Photon Energy
PV	Photovoltaic
PD	Photodetector
PL	Photoluminescence Spectroscopy
PSi	Porous Silicon
SEM	Scanning Electron Microscope
Cu	Copper
XRD	X-Ray Diffraction
UV	Ultraviolet
IR	Infrared
VIS	Visible
NP_s	Nanoparticles
PLA	Pulsed Laser Ablation
RMS	Root mean square

المحتويات

رقم الصفحة	اسم الموضوع	الفقرة
الفصل الأول: مقدمة عامة		
1	مقدمة	1-1
2	خصائص أكسيد النحاس (CuO)	2-1
4	تطبيقات أكسيد النحاس	3-1
5	الدراسات السابقة	4-1
13	هدف البحث	5-1
الفصل الثاني: الجزء النظري		
14	المقدمة	1-2
14	أشباه الموصلات	2-2
14	انواع أشباه الموصلات	3-2
16	الخواص الفيزيائية للأغشية الرقيقة	4-2
19	مجهر القوة الذرية AFM	5-2
19	تحويل فورييه الطيفي بالأشعة تحت الحمراء FTIR	6-2
20	الخواص البصرية	7-2
24	الثوابت البصرية	8-2
25	تأثير هول Hall Effect	9-2
26	المفارق الهجينة	10-2
27	نماذج المفارق الهجينة	11-2
29	الخصائص الكهربائية للمفارق الهجين	12-2
33	الكواشف الضوئية	13-2
33	الكواشف الحرارية	14-2
34	الكواشف الفوتونية	15-2
35	معلمت أداء الكاشف	16-2
38	معلمت الخلية الشمسية	17-2
الفصل الثالث: الجزء العملي		
42	المقدمة	1-3
43	طريقة الصب بالقطرة	2-3

المحتويات

رقم الصفحة	اسم الموضوع	الفقرة
43	تحضير العينات	3-3
46	عملية ترسيب أقطاب الالمنيوم	4-3
46	تحضير أغشية (CuO) النقية	5-3
47	قياس سُمك الأغشية	6-3
47	تشخيص تركيب الأغشية المُحضرة بتقانة حيود الأشعة السينية	7-3
48	قياسات مجهر القوة الذرية (AFM)	8-3
48	القياسات البصرية	9-3
49	القياسات الكهربية	10-3
50	الخصائص الكهربية للمفرق الهجين	11-3
52	قياسات خصائص الكاشف الضوئي	12-3
53	قياسات معلمات الخلية الشمسية	13-3
الفصل الرابع: النتائج والمناقشة		
56	المقدمة	1-4
56	الخصائص التركيبية	2-4
61	الفحص بمجهر القوة الذرية (AFM)	3-4
63	نتائج قياسات طيف الأشعة تحت الحمراء FTIR	4-4
66	الخصائص البصرية	5-4
73	الخصائص الكهربية	6-4
75	خصائص المفرق الهجين	7-4
82	قياسات معلمات إنجاز الكاشف	8-4
89	قياسات الخلية الشمسية	9-4
93	الاستنتاجات	10-4
94	المشاريع المستقبلية	11-4
95	المصادر	
	الملاحق	

الخلاصة

تم تحضير مادة اوكسيد النحاس بطريقة كيميائية بسيطة وترسيبه على قواعد زجاجية بطريقة الصب بالقطرة وبدرجة حرارة تلدين مختلفة لدراسة خواصه ، إذ تم ترسيب الاغشية الرقيقة على قواعد زجاجية و سيليكونية بطروف تحضيرية (As-prepared). أظهرت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) ان جميع الأغشية المحضرة من النوع متعدد التبلور وذات اتجاهية (110)، (002) كذلك استخدام مجهر القوة الذرية لمعرفة الحجم الحبيبي متجانس ومنتظم ومعدل خشونة السطح (RMS) يقل بزيادة درجات حرارة التلدين.

وبعد قياس الخواص البصرية تبين ان لأغشية (CuO) نفاذية متوسطة في مدى الأطوال الموجية للمنطقة المرئية (400-700)nm، وأن كلتا قيمتي النفاذية وفجوة الطاقة يتناقصان من $1.8-1.6$ eV لمادة (CuO) و 2 eV لمادة (Cu₂O) بالاعتماد على زيادة درجات حرارة تلدين الاغشية المحضرة.

ولوحظ من القياسات الكهربائية للأغشية المحضرة ان التوصيلية تزداد بزيادة درجة حرارة التلدين، وتبين من قياسات تأثير هول أن نوع التوصيلية لأغشية مادة CuO من النوع الموجب- القابل (p-type)، وبازدياد درجة حرارة التلدين يقل تركيز حاملات الشحنة وتزداد التحركية.

ومن نتائج قياسات (تيار- جهد) في حالة الظلام للكاشف الضوئي المُحضر تم حساب عامل المثالية للكواشف المصنعة، اذ وجد انها تقل بزيادة درجة حرارة التلدين، إذ بلغت أقل قيمة له (1.9) عند درجة حرارة تلدين 200°C ، لوحظ ان الاستجابة الطيفية للكواشف المصنعة تعمل ضمن المنطقة الطيفية (400-900)nm مع وجود قمتين للكاشف (p-CuO/n-Si)، تظهر القمة الأولى عند الطول الموجي (700)nm أي ضمن منطقة المدى المرئي من الطيف

الكهرومغناطيسي، والقمة الثانية عند الطول الموجي (840)nm للسيليكون أي ضمن منطقة مدى الأشعة تحت الحمراء القريبة، وكذلك الحال لبقية الكواشف المصنعة مع حدوث إزاحة طيفية في قمة الاستجابة الأولى ضمن المنطقة المرئية عند زيادة درجة الحرارة، اما عند درجة حرارة تليدين $^{\circ}\text{C}$ (300)، إذ تظهر القمة عند طول موجي (680)nm.

ووجد أن أفضل نتائج الكواشف الضوئية المحضرة كانت عند درجة حرارة الغرفة (As-prepared)، إذ بلغت أعلى قيمة للاستجابة الطيفية (0.64)A/W، والكشفية النوعية كانت حدود $10^{12} \times \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ عند الطول الموجي (840)nm، وأعلى زمن فترة حياة الحاملات (5.9) m sec، التي تم الحصول عليها عند درجة حرارة تليدين $^{\circ}\text{C}$ (300).

تم تصنيع خلية شمسية من المفروق الهجين (p-CuO/n-Si) المحضر من ترسيب أغشية (CuO) المدونة بدرجات حرارة مختلفة بطريقة الصب بالقطرة على قواعد سيليكونية أحادية البلورة باتجاهية (111) من النوع (n-type)، كما أظهرت خصائص (تيار الدائرة القصيرة وفولتية الدائرة القصيرة) في حالة الإضاءة أن الخلية الشمسية ذات درجة حرارة تليدين $^{\circ}\text{C}$ (300) تمتلك أعلى قيم للكفاءة مقارنة ببقية الخلايا الشمسية الأخرى، إذ بلغت الكفاءة التحويلية ($\eta=5.7\%$) في حالة الإضاءة، وأن المفروق المصنوع هو من النوع الحاد، ولوحظ تغير السعة بتغير كل من جهد الانحياز العكسي ودرجة حرارة التليدين في حين تتغير عرض منطقة النضوب وقيمة جهد البناء الداخلي بتغير درجة حرارة التليدين.

الفصل الاول

مقدمة عامة

تُعد فيزياء الأغشية الرقيقة (Thin Films) أحد الفروع المهمة في فيزياء الحالة الصلبة (solid state physics)، وأصبح فرعاً قائماً بحد ذاته بوصفه يتعامل مع نبائط مايكروية (Micro Devices) تتصف أجمعها بأنها ذات سمك صغير جداً لا يتجاوز الأبعاد المايكروية [1].

وتُعد تقانات تحضير الأغشية الرقيقة من أهم التقانات التي اسهمت في دراسة أشباه الموصلات، وأعطت فكرة للعديد من الخواص الفيزيائية والكيميائية؛ لأنها أسهمت بنحوٍ فعّال في الجانب العملي [2].

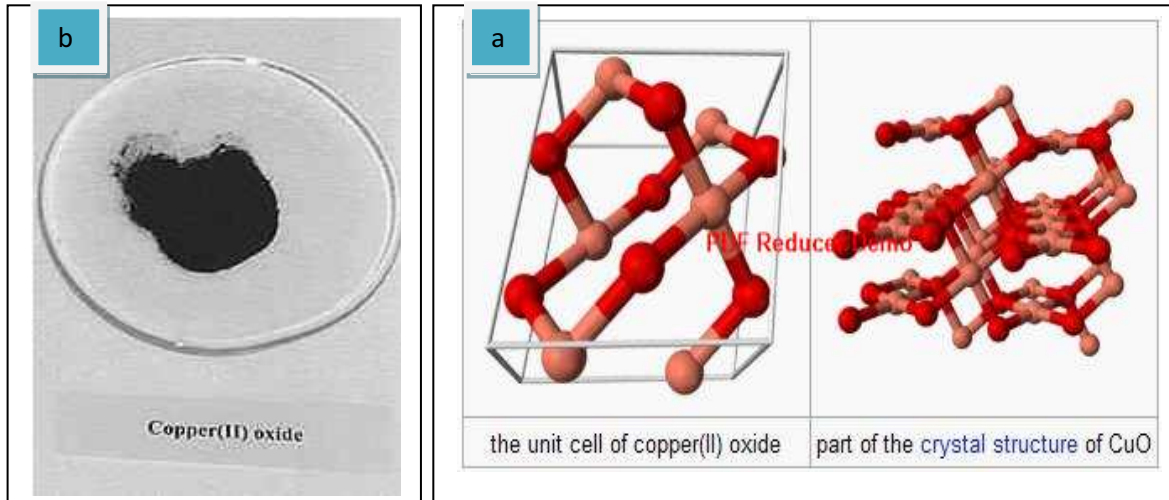
ويُطلق عادة مصطلح الأغشية الرقيقة المرسبة على طبقة (Layer) أو عدة طبقات (Multilayer) من ذرات معينة قد لا يتعدى سمكها مايكروناً واحداً، ناتجة عن تكثيف الذرات أو الجزيئات أو الأيونات التي تمتلك خواص فريدة مهمة تختلف مقارنة لصفة جسيم سميك (Bulk) كالصفات الفيزيائية والهندسية وعدم توازن تركيبها المايكروي وميثالورجيتها (Metallurgy)، ونظراً لقلّة سمك هذه الأغشية وسهولة تشققها تُرسب على مواد مختلفة كقواعد ترسيب (Substrates). ويعتمد نوع القاعدة على طبيعة الدراسة والتطبيقات مثل الزجاج، والكوارتز، والسيليكون، والألمنيوم [3]، ولهذا فإن الأغشية الرقيقة لها أهمية صناعية وتقنية، فهي تدخل في أكثر التطبيقات الالكترونية (Electronic Application)، إذ يتم استعمالها في أجهزة الذاكرة المغناطيسية (Magnetic Memory Devices)، وفي الدوائر المتكاملة (Integrated circuits)، والترانزستورات (Transistors)، والمقومات (Rectifiers)، والحواسيب الرقمية (Digital Calculators)، والكواشف (Detectors)، والخلايا الشمسية (Solar cells)، وكمتحسسات للغاز (Gas Sensors)، فضلاً عن هذه التطبيقات المتعددة استُعملت الأغشية الرقيقة في التطبيقات البصرية (Optical Applications)، إذ يتم استعمالها في أجهزة الاستتساخ والتصوير الفوتوغرافي وكمرشحات بصرية

(Optical Filters)، للإفادة منها في صناعة الخلايا الضوئية (Photo Cells)، والمرابا العاكسة، ومضادات الانعكاس (Anti Reflectance) [4].

Properties of Copper(II)Oxide(CuO)

2-1 خصائص أوكسيد النحاس

أوكسيد النحاس (CuO) من المواد شبه الموصلة. وأحد مركبات النحاس الكيميائية، يمكن الحصول عليه من أكسدة النحاس المعدني (metallic copper)، والأسماء العلمية له (tenorite) و (Cupric)، ويُعد من أكاسيد النحاس المستقرة (stable oxide)، ويمتلك فجوة طاقة تقع بين المدى (المرئي- المنطقة تحت الحمراء) [5,6]. والتركيب البلوري لهذه المادة هو أحادي الميل (monoclinic) وتكون وحدة الخلية من نوع متمركز القاعدة (bcc)، وفي الطبيعة يكون ذا لون بني غامق مائل للسواد (Black to brown powder) كما موضح بالشكل (1-1) [7].



شكل (1-1) (a) التركيب البلوري لأوكسيد النحاس (b) أوكسيد النحاس [7]

ويتميز أكسيد النحاس (CuO) بأنه عديم الرائحة، ويمتلك طبيعة غير سامة، وإمكانية توفره، وكلفة إنتاجه واطئة [8]. والتوصيلة لمادة CuO في طبيعتها (p-type)، أي إن حاملات الشحنة الأغلبية هي الفجوات (Holes) [9].

ويتميز بامتصاصه الضوء المرئي، ويُعرف كمادة ضديدة الفيرومغناطيسية (Anti-ferromagnetic) في درجة حرارة K (160 = T_N) [10]. إن الطول الموجي القاطع لمادة (CuO) هو (680 nm)، أما معامل الامتصاص فهو (10⁴ cm⁻¹) عند طول موجة (500nm) [11]. والجدول (1-1) يوضح الخصائص الفيزيائية والكيميائية لأكسيد النحاس [7].

جدول (1-1) بعض الخواص الكيميائية والفيزيائية لأكسيد النحاس (CuO) [7]

Properties	
Molecular formula	CuO
Molar mass	79.545 g/mol
Appearance	Black to brown powder
Density	6.31 g/cm ³
Melting point	1201 °C (1474 K)
Boiling Point	2000°C (2273K)
Solubility in water	Insoluble
Solubility in ammonium Hydroxide	Soluble
Band gap[12]	(1.2 – 2.1 eV)

Lattice constant	$a = 4.6837 \text{ \AA}$ $b = 3.4226 \text{ \AA}$ $c = 5.1288 \text{ \AA}$ $\beta = 99.54^\circ$ $\gamma = 90^\circ, \alpha = 90^\circ$
Related compounds	
Related compounds	Copper dioxide Cu_2O

Application of Copper Oxide (CuO)

3-1 تطبيقات اوكسيد النحاس

- تطبيقات الطاقة الشمسية (Solar cell applications): إذ يستخدم في المجمع الضوئي- الحراري التي تتطلب كفاءة عالية ومدى جيداً من الاستقرار وامتصاصية عالية في مدى الطول الموجي المرئي [13]، وفي نبائط تحويل الطاقة الشمسية [14].
- يستعمل في النبائط المغناطيسية (magnetic devices) [15] وفي أوساط الخزن المغناطيسية (magnetic storage media) [16].
- يستعمل في الاجهزة الكهروضوئية (Optoelectronic Device)؛ إذ إن له تطبيقات واسعة ومختلفة في الأجهزة الكهروضوئية، إذ يستعمل في أجهزة مختلفة مثل الدايبودات الباعثة للضوء [17]، والمجالات الباعثة (Field emission) [18].
- يستعمل في صناعة نبائط فائقة الايصالية، إذ إن انخفاض درجة الحرارة لمادة اوكسيد النحاس تؤدي بها إلى اكتساب صفة التوصيلية الفائقة، وتستخدم كذلك كموصلات الكترونية [19].
- متحسسات الغاز (Gas Sensors) [20,21].

1-4 الدراسات السابقة:

1. حضر (Sekhar, 2001) [22] اغشية رقيقة من مادة CuO بطريقة المحلول الجلاتيني (gel-sol) من محلول المثيلي لكلوريد نحاسي ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) باختلاف درجات حرارة التلدين، وأظهرت نتائج حيود الأشعة السينية أنه يكون بطور Cu_2O عند درجة الحرارة 360°C ، واطهر طور CuO بدرجات حرارة $(400-500)^\circ\text{C}$. اما قيمة فجوة الحزمة البصرية ($\text{CuO}, \text{Cu}_2\text{O}$) للاغشية فقد كانت (2.1 ، 1.9) الكترون فولت على التوالي.

2. حضر (Armelaio, et.al, 2003) [23] اغشية اوكسيد النحاس ذات الطور النانوي (nanophasic) باستخدام محلول اسيتات النحاس بتقانة الطلاء بالغطس (المحلول الغروي) على قواعد من السيليكون، عند درجة حرارة الغرفة في الهواء بعد طلاء الطبقة الخارجية، تمت الأكسدة الحرارية بدرجات حرارة مختلفة $(100-900)^\circ\text{C}$ ، واطهرت نتائج حيود الأشعة السينية اختلاف الطور للاغشية التي تمت الأكسدة فيها باختلاف درجات الحرارة، اذ إن الاغشية تتراوح من الطور الأحادي إلى متعدد الأطوار، وجميع الطبقات كانت من نوع تراكيب نانوية، والحجم البلوري اقل من (20 nm).

3. حضر (Huang and Yang, 2004) [24] اغشية رقيقة من مادة (CuO) بطريقة التبخير الحراري الفراغي باستخدام رقائق النحاس (Cu) للحصول على اغشية اوكسيد النحاس إذ تم ضخ اوكسجين في حجرة التفريغ بتغير درجات حرارة القاعدة $(900-300)^\circ\text{C}$ ، وتم اجراء قياسات (XRD, SEM, TEM)، واطهرت نتائج (XRD) ان الاغشية ذات تراكيب ثنائية التبلور، واطهرت نتائج (SEM) ان الاغشية ذات اسلاك نانوية بنمو متجانس، وكذلك اظهرت نتائج (TEM) ان هذه التراكيب متناهية الصغر ذات شكل محبب، والسطح املس.

4. رسبت (Papadimitropoulos and Vourdas, 2005) [25] اغشية رقيقة من اوكسيد النحاس (CuO) رسبت بواسطة اكسدة اغشية اوكسيد النحاس على قواعد السيليكون في درجات حرارة تتراوح بين 150°C إلى 450°C بطريقة التبخير الحراري في الفراغ، وظهرت فحوصات الاشعة السينية (XRD) ان اغشية اوكسيد النحاس تتألف من طورين Cu₂O، CuO نسبتها متفاوت مع الاكسدة، في درجات حرارة تصل إلى 225°C، إذ شكلت النحاس و Cu₂O بينما فوق درجة الحرارة هذه تكون بشكل CuO. يتم الحصول على Cu₂O النقي في درجة حرارة 225 C°، في حين CuO النقي يمكن الحصول عليه بدرجة حرارة فوق 335 C°.

5. رسب الباحث (Stefanov, 2006) [26] 100 nm من النحاس (Cu) بواسطة التبخير بالليزر (PLD) باستعمال ليزر CuBr النبضي بطولين موجيين (511,578)nm بأمد نبضة 30nsec، ثم تمت اكسدة غشاء النحاس بالهواء للحصول على غشاء (CuO)، ودرس خصائص اوكسيد النحاس عن طريق استعمال المجهر الالكتروني (SEM) وقياس فجوة الطاقة لغشاء اوكسيد النحاس، اذ بلغت (1.8 eV).

6. حضر الباحث Al-Kuhaili عام ٢٠٠٨ [27] أغشية اوكسيد النحاس (CuO, Cu₂O) بطريقة التبخير الحراري بالفراغ لمسحوق Cu₂O على قواعد من الزجاج مختلفة درجة الحرارة، بسمك (200nm). تم تلدين الأغشية المحضرة بدرجة حرارة من (100-300°C) لغشاء Cu₂O، وبدرجة حرارة من (300 - 450)°C لغشاء CuO، وتم دراسة الخصائص التركيبية للأغشية المحضرة، إذ وجد أن غشاء Cu₂O عندما يلدن بدرجة حرارة °C (300) يتحول إلى CuO تماماً، ولوحظ أن قمة غشاء CuO في حالة التلدين الحراري بدرجة حرارة °C (450) سوف تزداد زيادة حادة كبيرة، وأيضاً تم دراسة الخصائص البصرية للأغشية، فقد وجد بأن النفاذية البصرية للأغشية سوف تزداد بزيادة درجة حرارة التلدين وقيمة فجوة الطاقة تقل بزيادة درجة

حرارة التلدين، إذ تناقصت قيمة فجوة الطاقة لغشاء من Cu_2O (1.7-2.1 eV) وقيمة فجوة الطاقة لغشاء CuO تناقصت (1.3-1.7 eV).

7. درس (Chen and Long , 2009) [28] الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية أكاسيد النحاس ($\text{Cu}_2\text{O}, \text{CuO}$) المحضرة بطريقة الترسيب بالليزر (PLD) على قواعد من السيليكون باتجاهية (111)، بدرجات حرارة مختلفة للقواعد وبضغوط مختلفة . إذ وجدوا أن انخفاض الضغط أدى إلى زيادة سمك الأغشية والى نقصان النفاذية، ومن دراسة حيود الأشعة السينية وجد أن الأغشية المحضرة ذات طور مفرد (Single phase) .

8. حضرت الباحثة (Tarik , 2009) [29] أغشية رقيقة من أكاسيد النحاس ($\text{CuO}, \text{Cu}_2\text{O}$) بطريقة تحضير الترسيب بالليزر Nd-YAG النبضي بسمك (200nm)، ودرست الخصائص التركيبية والبصرية، إذ أوضحت نتائج حيود الأشعة السينية أن الأغشية المحضرة متعددة التبلور، أما القياسات البصرية فقد تم حساب الثوابت البصرية، وإيجاد قيمة فجوة الطاقة، فكانت قيمة فجوة الطاقة 1.8 eV لغشاء (CuO) و 2 eV لغشاء (Cu_2O)، عند تلدين الأغشية الرقيقة المحضرة تلديناً حرارياً سريعاً باستخدام مصباح هالوجيني، لوحظ أن التلدين أدى إلى زيادة الحجم الحبيبي، وان التلدين بدرجة حرارة 300 °C لغشاء (Cu_2O) يحوله بالكامل إلى غشاء (CuO)، كذلك أدى التلدين إلى نقصان بقيم فجوة الطاقة للأغشية المحضرة، إذ كانت قيمة فجوة الطاقة (2 eV) لغشاء (Cu_2O) قبل التلدين الحراري السريع وعند درجة حرارة تلدين 300°C أصبحت (1.72 eV)، ولغشاء (CuO) (1.8 eV) و أصبحت (1.7 eV) عند درجة حرارة تلدين (500 °C) .

9. حضر الباحث (Ahmad, 2010) [30] عينات من اوكسيد النحاس باستخدام طريقة التحلل الكيميائي الحراري لتحضير عينات بسمك مختلف لغرض استخدامها في بناء مرشحات حادة لإمرار الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة فضلاً عن تحضير عينات بأبعاد نانوية ودراسة الخصائص التركيبية والبصرية. استخدمت مادة اسيتات النحاس المائية $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ بنقاوة عالية، اذ حضر محلول التحلل بدرجة حرارة الغرفة بتركيز (٠,١) مولاري، وتم ترسيب الأغشية الرقيقة على قواعد زجاجية مسخنة بدرجة حرارة 400°C بسمك مختلف (100,200,300,400)nm. ومن نمط حيود الأشعة السينية XRD تم معرفة طبيعة التركيب البلوري هي متعددة التبلور، إذ تمتلك الأغشية المحضرة بسمك (100,300,400)nm اتجاهية سائدة [111]، أما الغشاء المحضر بسمك (200nm) فيمتلك اتجاهية سائدة [002].
10. درس (Ibrahim and Salman, 2011) [31] الخصائص التركيبية والكهربائية والبصرية لاغشية (CuO) المحضرة بسمك (100,200,500) nm بطريقة الرش الكيميائي عند درجة حرارة 573K على قواعد من الزجاج من محلول 0.2 مولاري من $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ مذاب في 50 مليلتراً من الكحول. اظهرت الفحوصات التركيبية ان الاغشية المحضرة لها تركيب متعددة التبلور باتجاهية [111]، اما قياسات التوصيلية المستمرة فتظهر بأن الاغشية لها طاقتان للتشيط $(E_{a1}=0.66-0.45)\text{eV}$ $(E_{a2}=0.85-0.05)\text{eV}$ ، اما نتائج التوصيلية المتتابة فاطهرت ان الاغشية المحضرة تخضع لأنموذج تنطط الحاجز المتلازم، اما فجوة الطاقة فكانت تتراوح بين $(E_g=1.5-1.85)\text{eV}$.
11. صنع (Kidowaki and Oku, 2012) [32] خلية شمسية مكونة من اوكسيد النحاس مع اوكسيد الزنك على قواعد (ITO) بواسطة الترسيب الكهربائي التركيب المايكروي وان اداء الخلية الشمسية لاغشية من (ITO/CuO/ZnO) او (ITO/ZnO/CuO) قد حققت اساس النبيضة الفوتوضوئية ومن قياسات تيار

فولتية تبين ان معاملات الخلية الشمسية $(\eta=1.1 \times 10^{-4}\%)$, $(F.F= 0.25)$, $(J_{sc}=1.6 \text{mAcm}^{-2})$ $(V_{oc}=2.8 \times 10^{-4}) \text{mV}$ ، اذ يلاحظ ان اعلى امتصاص بصري كان ضمن مدى (400–700) nm وفجوة الطاقة CuO تقريباً 2.1 eV.

12 . صنع (Kidowaki and Oku , 2012) [33] خلية شمسية مكونة من اوكسيد النحاس مع كاربون (C) على قواعد من (ITO) بواسطة الطلاء البرمي، إذ تم تصنيع نبيطة فوتوضوئية (مفرق هجيني) (ITO/CuO/C). اظهرت القياسات ان تيار الدائرة القصيرة تبلغ (0.18mA.cm^{-2}) وفولتية الدائرة المفتوحة (0.04V) تحت تأثير اضاءة، وعامل الملء قيمته $(F.F= 0.25)$ ، قياسات (XRD) لـ (CuO) بينت ان التركيب البلوري مكون من عدة طبقات، اذ لاحظ ان منطقة الامتصاص البصري العالية ضمن مدى (400–800) nm وفجوة الطاقة لاوكسيد النحاس 3.7eV.

13 . رسب (Awad and Jadaan , 2013) [35] اغشية اوكسيد النحاس باستخدام طريقة التحلل البارد عن طريق استخدام غاز حامل (غاز الهيليوم) من دون استخدام اي مواد مساعدة، إذ تم تحلل مسحوق اوكسيد النحاس الجاف على ارضيات زجاجية مسخنة بدرجة حرارة 300°C بواسطة تسخين الغاز بدرجات $(100,200,300,400)^{\circ}\text{C}$ بضغط 30 باراً بزوايا ترسيب مختلفة $(45^0,30^0,0)$ ، بعدها تم دراسة تأثير هذه المتغيرات في الخواص التركيبية والبصرية للاغشية الناتجة، إذ اظهرت نتائج حيود الاشعة السينية ان الاغشية المترسبة تمتلك تركيباً احادي الميل والغشاء يمتلك شفافية عالية تصل الى (96%).

14 . رسبت (Adnan and Elttayef,2014) [36] اغشية رقيقة من مادة اوكسيد النحاس بسمك مختلف $(200,100,20) \text{nm}$ على قواعد زجاجية بطريقة التريز الماكنيتروني ذي التردد الراديوي باستخدام هدف من مادة اوكسيد النحاس تحت ضغط غاز الاركون (Ar) وطاقة تريز (130) واطاً، ودرست الخصائص

البصرية لطيفي الامتصاصية والنفاذية للاغشية المحضرة، إذ بينت النتائج أن لهذه الاغشية امتصاصية عالية في منطقتي الاشعة البنفسجية والمرئية، وكذلك لها نفاذية عالية في المنطقة تحت الحمراء القريبة. ووجد أن قيم فجوة الطاقة البصرية اخذت قيماً مختلفة تتراوح بين eV (2.2 الى 2.6) بالنسبة الى الانتقالات المباشرة عند تغير سمك الغشاء (20nm الى 200nm).

15. حضر (Saravanakannan and Radhakrishnan , 2014) اغشية رقيقة من مادة اوكسيد النحاس نوع (p-type) [37] بتقانة التحلل الكيميائي الحراري، بثلاثة تراكيز مولية (0.2,0.15,0.1) M بدرجة حرارة $350^{\circ}C$ على قواعد زجاجية، من قياسات (XRD)، ووجد انها ذات طبيعة متعددة التبلور وذات تركيب بلوري احادي الميل تتألف من توزيع حجم حبيبي غير منتظم، إذ وجد ان معدل الحجم الحبيبي يتفاوت من (14-22)nm ويزداد مع تغيير التركيز، ومن الخصائص الكهربائية وجد من قياسات تأثير هول ان معامل هول يتناقص مع التحركية وان التوصيلية من نوع p-type، وظهرت النتائج ان التوصيلية وتركيز الحاملات تزداد بزيادة التركيز وحافة الامتصاص البصرية لكل الاغشية ضمن مدى (350-500)nm.

16. درس (al-Maiyaly and Khudayer , 2014) [38] الخصائص التركيبية والبصرية لاغشية اوكسيد النحاس (CuO) بواسطة التبخير الحراري، اذ تم اكسدة مادة Cu بدرجة حرارة $500^{\circ}C$ ، وظهرت نتائج الخصائص التركيبية لمادة (CuO) انه ذو تركيب بلوري احادي الميل باتجاهية (111). وان الحجم الحبيبي يتناقص مع استخدام الاوكسجين في الاكسدة.

17. صنع (Ahmed N. Abd.et.At , 2015) [39] كاشفاً من مادتي (PSi) واوكسيد النحاس بواسطة التتميش الكيميائي الضوئي (PECE)، ودرس خصائص (XRD)، (FTIR)، (AFM)، وظهرت نتائج

(XRD) لمادة (CuO NPS) انها تتكون من بلورة رباعية وطبيعة السطح متجانس وكروي، وطيف الاستجابة لكاشف (Al/CuO/Psi/Si/Al) يساوي (0.8A/W) ضمن طول موجي (780nm) تقريباً عند حافة امتصاص السيليكون وطيف استجابة لمادة اوكسيد النحاس يساوي (0.6 A/W) ضمن طول موجي تقريباً (650nm) عند حافة امتصاص (CuO)، والقيمة العظمى للكشفية ($13 \times 10^{12} W^{-1}$)، لذا فان الكاشف (Al/CuO/Psi/Si/Al) واقع ضمن طول موجي (780) nm.

18. حضر (Shashidhar and Angadi , 2015) [40] اغشية اوكسيد النحاس بواسطة التحلل الكيميائي بسمك مختلف (125-300) nm بالترسيب على قواعد من السيليكون بدرجة حرارة $350^{\circ}C$ ، اذا اظهرت نتائج (XRD)، (SEM)، (EDAX) ان الاغشية ذات تركيب بلوري احادي الميل، وان معدل الحجم الحبيبي يزداد من (15-120) nm بمدى درجة حرارة $100-400^{\circ}C$ على التوالي من الخصائص الكهربائية لاغشية اوكسيد النحاس وجد ان المقاومة تتراوح من $1.214 \times 10^{-2} - 1.33 \times 10^{-2}$ Ω .cm، اما اغشية (Au/CuO/nSi/AL) فوجد ان مقاومة $(32.46)k\Omega$ ، $(9.01-860)k\Omega$ ، $0.333-200$ Mv، $V_{oc}(325)$ ، I_{sc} (21-72) μA عامل الملاء والكفاءة تبلغ $9.71 \times 10^{-3} - 3.46 \times 10^{-3}$ % (17-24) على التوالي.

19. درس (Hashim and Shariffudin ,2015) [41] الخصائص الكهربائية والبصرية لاغشية اوكسيد النحاس المحضر بواسطة المحلول الغروي بترسيبه على قواعد من الكوارتز باستخدام طريقة الطلاء البرمي. إذ ان الهدف من البحث دراسة تأثير سرعة الطلاء البرمي في اغشية اوكسيد النحاس لخمس عينات rpm (1000,1500,2000,2500,3000) بدرجة تليدين ($600^{\circ}C$) لمدة (30)min، إذ تم حساب فجوة الطاقة لاغشية اوكسيد النحاس ووجد أنها تتناقص عند زيادة سرعة الطلاء البرمي.

20. درس (Wanjala and Njoroge,2016)[42] الخصائص الكهربائية والبصرية لأغشية اوكسيد النحاس (CuO) باستخدام طريقة التريز بتريسيب الاغشية على قواعد زجاجية تحت ضغط حجرة (5.0×10^{-5}) mbar، وظهرت قياسات البصرية (UV) ان طيف النفاذية يقع ضمن مدى الطول الموجي (250-2500)nm الذي تتراوح قيمته 55% الى 70%، والانعكاسية كانت اقل من 40% ضمن طول موجي (250-2500) nm، وجد ان قيمة فجوة الطاقة البصرية تبلغ (1.20-2.91)eV، وان فجوة الطاقة تتناقص بازيادة قوة الترسيب من (100-300)W والمقاومية الكهربائية تتناقص بازيادة قوة التريز من $(119-37.83)\Omega.cm$ مقارنة مع قوة التريز على التوالي.

21. حضرت (Hiba, 2017)[43] اغشية (CuO) بطريقة الاكسدة الحراري عن طريق التبخير الحراري لأغشية Cu بسمك مختلف (250,300,350,400)nm، ودرست الخصائص التركيبية والبصرية، إذ أظهرت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) ومجهر القوة الذرية (AFM) ان جميع الأغشية المحضرة من النوع متعدد التبلور وذات اتجاهية (111)، ($\bar{1}11$)، وان الحجم الحبيبي متجانس ومنتظم ومعدل خشونة السطح (RMS) يزداد بزيادة السمك.

ومن قياسات الخواص البصرية تبين ان لأغشية (CuO) امتصاصية عالية في مدى الأطوال الموجية للمنطقة المرئية (400-700)nm، وان قيمتي النفاذية وفجوة الطاقة يتناقصان من (1.8- 1.4) eV بالاعتماد على زيادة السمك للأغشية المحضرة، وتبين من قياسات تأثير هول أن التوصيلية من النوع الموجب- القابل (p-type)، وأظهرت نتائج قياسات (تيار-جهد) في حالة الظلام للكاشف الضوئي ان الاستجابة الطيفية للكاشف المصنعة تعمل ضمن المنطقة الطيفية (400-900)nm مع وجود قمتين للكاشف (p-CuO/n-Si)، تظهر القمة الأولى عند الطول الموجي (688)nm أي ضمن منطقة المدى

المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي، والقمة الثانية عند الطول الموجي $(810)\text{nm}$ أي ضمن منطقة مدى الأشعة تحت الحمراء القريبة، كما أظهرت خصائص (تيار الدائرة القصيرة وفولتية الدائرة القصيرة) في حالة الإضاءة أن الخلية الشمسية ذات سمك $(250)\text{nm}$ تمتلك كفاءة تحويلية ($\eta=3.3\%$) في حالة الإضاءة، أن المفرق المصنع هو من النوع الحاد، ولوحظ تناقص السعة بزيادة كل من جهد الانحياز العكسي والسمك في حين يزداد عرض منطقة النضوب وقيمة جهد البناء الداخلي بزيادة السمك.

5-1 هدف البحث:

تهدف الدراسة الى

١. تحضير اغشية رقيقة من مادة اوكسيد النحاس بطريقة كيميائية بسيطة وترسيبها على الزجاج لدراسة كل من الخواص التركيبية والبصرية والطبوغرافية.
٢. تأثير التلدين الحراري على خواص الاغشية المحضرة بطريقة الصب بالقطرة.
٣. بيان امكانية استخدام الاغشية المحضرة والمرتسبة على السيليكون في تطبيقات الخلايا الشمسية والكواشف الضوئية.

الفصل الثاني

الجانب النظري

Introduction

1-2 مقدمة

يتضمن هذا الفصل عرض المعلومات النظرية وكذلك العلاقات والمعادلات المتعلقة ببحثنا هذا.

Semiconductors

2 - 2 أشباه الموصلات

تشير أشباه الموصلات الى مواد تتميز بصفات تقع ما بين الموصلات والعوازل من حيث خواصها الفيزيائية الكهربائية، ففي درجات الحرارة القريبة من درجة حرارة الصفر المطلق تسلك سلوك تشابه العوازل، اما عند درجة الحرارة العالية تبدأ خواصها بالاقتراب من صفات المواد الموصلة، حيث تزداد توصيليتها للتيار الكهربائي، ويرتفع مقدار التيار المار فيها. كذلك يمكن الحصول على ذلك أيضاً اذا ما تم تسليط مجال كهربائي خارجي عليها[44].

Semiconductors Types

2 - 3 انواع اشباه الموصلات

يمكن تصنيف اشباه الموصلات بعدة طرائق اعتماداً على:

a- التركيب البلوري.

b- عدد عناصرها.

1 - 2 - 3 انواع تراكيب أشباه الموصلات Structures Types of Semiconductors

تصنف اشباه الموصلات اعتماداً على التركيب البلوري: [45,46].

أولاً : المواد شبه الموصلة البلورية (Crystalline Semiconductors) .

ثانياً: المواد شبه الموصلة العشوائية (Amorphous Semiconductors) .

Crystalline Semiconductors

1- 1- 2 - 3 المواد شبه الموصلة البلورية

تصنف تبعاً لخواصها الفيزيائية الى صنفين:

Single Crystal Semiconductors

a . أشباه الموصلات أحادية التبلور

تتميز ذرات هذه المواد بتجمعها في صفوف دورية الترتيب في تشكيلة ثلاثية الأبعاد بتمثال متكرر، فينتج تركيبها البلوري من تكرار وحدة الخلية بأبعادها الثلاثية، إذ يكون تركيبها بنظام المدى الطويل (Long Range Structure Order) فينتج تشكيلها باقل طاقة داخلية ممكنة لنظام تركيبها البلوري [47,46].

Polycrystalline Semiconductors

b. أشباه الموصلات متعددة التبلور

تتميز ذرات هذه المواد بتركيبها بهيئة بلورات متعددة (Polycrystalline)، وليس بهيئة بلورة منفردة (Single Crystal)، إذ تكون تركيباً يدعى بالحبيبية (Grain)، اعتماداً على ذلك تكون متماثلة الخواص في جميع الاتجاهات (Isotropic)، فالحبيبية تمثل بلورة مفردة صغيرة بذاتها، ويوجد في ترتيب ذراتها الداخلية نظام المدى الطويل وليس في الأنموذج البلوري للمادة جميعها، وبدوره يتكون من مجموعة هذه الحبيبات نظام المدى القصير (Short Range Order) في تركيبه لذرات مادته، وبذلك يستهلك طاقة أكبر من النظام ذي التركيب أحادي التبلور [46]، إذ يدعى الحد الفاصل بين حبيبية وحبيبية أخرى بالحدود الحبيبية، وتعد عيباً سطحياً غير متزن لانقطاع الترتيب الدوري للذرات عندها، لهذا السبب تمتلك طاقة عالية يتراوح مقدارها بين $(1.25 - 6.25) \text{ eV/nm}$ ، لذلك تحاول بلورات هذه المواد التقليل من مساحة الحدود الحبيبية لكي تقلل من الطاقة الحرة الداخلية [44,48].

Amorphous Semiconductor

2 - 1 - 2 - 3 أشباه الموصلات العشوائية

تكون الذرات في هذه المواد متجمعة ومتقاربة بنحو عشوائي بعضها من بعض ولا تمتلك أي صفة من الدورية، إذ إن تركيبها لا يكون ناتجاً من تكرار أي أنموذج لخلية الوحدة مكونة بذلك تشكيلة معقدة لا يمكن عدّها تبلوراً منتظماً، لذا سُميت أيضاً بالمواد غير المتبلورة (Non Crystalline Material) والزجاج الاعتيادي خير مثال لها [49]. وإذا اردنا ان نعرفها بصورة ادق يمكن أن نعدّ الترتيب الذري بشكله العام غير مفقود بصورة مطلقة، وإنما يظهر ضمن عدد محدود من مناطق التركيب البلوري للمادة أو في مجموعة محدودة من الذرات ولا سيما تلك الذرات التي تحيط بذرة في مكان ما من التركيب للمادة لو عدنا تلك الذرة مركزاً تترتب الذرات حولها، فكلما ابتعدنا عن هذه الذرة يظهر التوزيع العشوائي للذرات بصورة أوضح، إذاً هي تمتلك النظام قصير المدى في ترتيب ذراتها ضمن حيز محدود من المادة، إلا أنها تكون متماثلة الصفات في الاتجاهات بثلاثة ابعاد (Isotropic) مماثلة بذلك أشباه الموصلات متعددة التبلور ومختلفة عن أحادية التبلور ذات الخواص المتباينة (Anisotropic) [50]، ويطلق عليها أيضاً تسمية السوائل فائقة التبريد (Super Cooled Liquids) لامتلاكها عشوائية تركيب ذرات السوائل [44,47].

إن لطرائق تحضير المواد شبه الموصلة الاثر البالغ في تحديد تركيب هذه المواد، فعندما تحضر المادة بطريقة تتيح للذرات ان تترتب باقل طاقة ممكنة تتبلور المادة فتصبح ذات تركيب بلوري (احادي او متعدد). وعندما تكون طريقة التحضير بسرعة او بوقت لا يتيح للذرات ان تنتظم متبلورة فينتج

التركيب العشوائي الذي يستهلك طاقة اكثر مقارنة بالتركيب البلوري. لذلك تعد الحالة العشوائية من الحالات غير المستقرة ثرموديناميكياً، اي تتبلور عندما تُتاح لها الفرصة لفقدان الطاقة الزائدة، وعندها تسترخي الذرات بحالة اقل طاقة، لذلك هناك صورتان لبعض اشباه الموصلات مثلا الجرمانيوم والسيليكون وفلوريد البريليوم وأكاسيد البورون توجد اما بصورتها المتبلورة واما غير المتبلورة [51].

ان فحص المواد الاحادية التبلور باستعمال نمط حيود الأشعة السينية للأغشية المحضرة من المادة يظهر على هيئة نقاط مضيئة ومتعددة التبلور على هيئة حلقات متداخلة مع بعضها متحدة المركز، اما العشوائية فتظهر على شكل هالات عريضة وضعيفة الإضاءة عندها يمكن التكهن بتركيب المادة إذا كانت بلورية أحادية التبلور أو متعددة أو عشوائية التركيب [52].

4-2 الخواص الفيزيائية للأغشية الرقيقة physical properties of thin films

تعتمد الخواص الفيزيائية للأغشية الرقيقة على طريقة وظروف التحضير، وتتنوع البحوث التي تُعنى بهذا المجال، لذا سنقتصر في بحثنا هذا على دراسة الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية للأغشية الرقيقة.

Structural properties

4-2-1 الخواص التركيبية

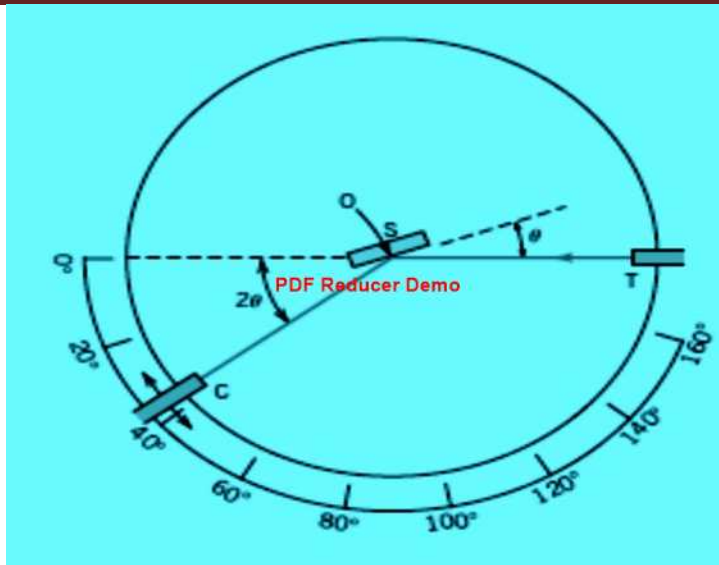
تدرس الخواص التركيبية للأغشية بعدة تقانات وحيود الأشعة السينية (XRD)، إحدى أكثر الطرائق اعتماداً التي اعتمدت في بحثنا هذا، لذلك سنأتي على شرحها بشيء من التفصيل [113].

X-Ray Diffraction(XRD)

4-2-1-1 : حيود الاشعة السينية

الأشعة السينية (X-Ray) موجات كهرومغناطيسية تنتج من اصطدام الكترونات معجلة بطاقة عالية بمادة الهدف ذات الوزن الذري الكبير مثل (الموليبيدوم والنحاس)، فهي اشعة ذات طاقة عالية نسبياً يتراوح مدى أطوالها الموجية بين (0.1 - 100) Å، وهذا المدى من الطول الموجي يعني انها تحقق الشرط الواجب توفره لنفاذية الشعاع من المادة ($\lambda \leq 2d_{hkl}$)، ولذلك يمكن استعمالها في تقانة الحيود البلوري [54].

ان استعمال حيود الاشعة السينية هي إحدى التقانات الفعالة والشائعة لدراسة التركيب البلوري للأغشية الرقيقة التي تزودنا بمعلومات كثيرة عن خلية الوحدة، إذ يستعمل جهاز المطياف الكاشف للأشعة السينية الذي يسجل الشدة كدالة لتغير الزاوية المبين مخططه بالشكل (1-2) لرسم طيف الحيود للمواد الخاضعة للفحص.



الشكل (1-2) الشكل التخطيطي لجهاز XRD [55].

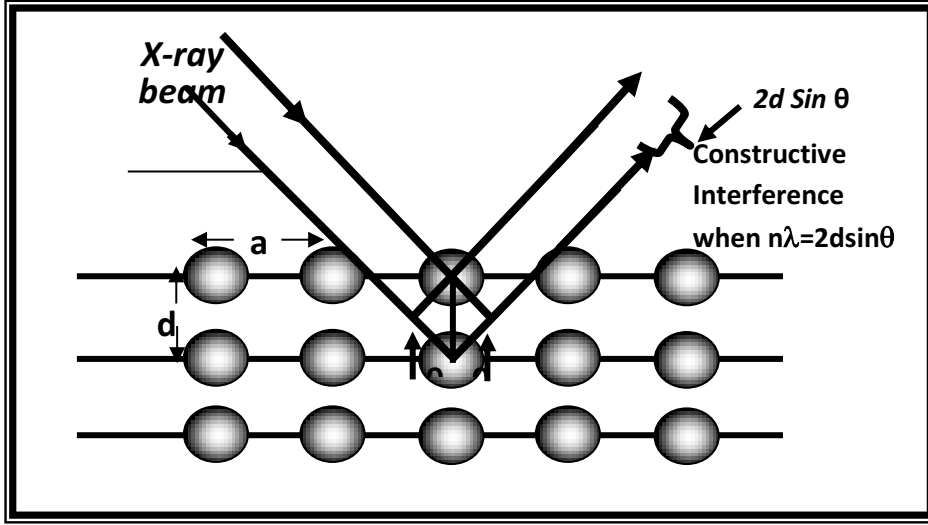
الكاشف (C) ، العينة (T) ، المصدر للأشعة السينية (S) ، محور الدوران للعينة والكاشف (O) إذ تسقط الأشعة السينية ذات الطول الموجي الأحادي من المصدر (S) على العينة المراد فحصها بزواوية مقدارها (θ) التي تمثل زاوية سقوط الأشعة السينية مقاسة بالدرجة (deg.) فتنعكس بزواوية مقدارها ضعف زاوية السقوط لتسجل على الكاشف (C) ، ثم تغير زاوية السقوط مرة بعد مرة لتسجل القراءات بدءاً من قيمة الزاوية صفر وصولاً الى الزاوية (160) درجة بحسب الحاجة إلى هذا المدى. تزودنا هذه التقانة بمعلومات عن مواقع القمم المميزة التي تمثل اتجاه النمو البلوري السائد داخل الشبكة البلورية وعرض المنتصف لأعظم مستوى شدة يمكن عن طريقه التوصل الى معلومات عن الحدود الحبيبية، وبالتالي معرفة النمو بالحجم الحبيبي لعينة الاختبار [56].

4-2-1-2 المسافات البينية (d_{hkl}) .

يمكننا حساب قيمة المساحة البينية للسطوح (d_{hkl}) المبين بالشكل (2-2) من المعادلة (معادلة براك): [53]

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin\theta \dots \dots \dots (2-3)$$

إذ (n) يمثل رتبة الحيود، و (θ) تمثل زاوية السقوط للأشعة السينية بالطول الموجي (λ) ، و hkl هي معاملات ملر (Miller index).



الشكل (2-2) يمثل نمط الحيود وفسحة السطوح d_{hkl} وثابت الشبكة a [57].

Crystallite Size

4-2-1-3 الحجم البلوري (G.S)

ان المعلومات التي يزودنا بها نمط الحيود المستحصل يمكن ان نجد منه المعدل الذي نمت به البلورات داخل الشبكة البلورية، فنجد معدل حجم البلوريات باعتماد فرضية شيرر (Scherer's Formula)، إذ يمكننا ان نجد مقدار عرض القمة المميزة (β) بالاعتماد على مقدار عرض منتصف القمة (Full Width at Half Maximum) (FWHM) مقاساً بالوحدة نصف القطرية (rad) فيكون الحجم الحبيبي مقاساً بوحدة (nm) على وفق المعادلتين: [57,58].

$$G.S = (0.94 \lambda) / \beta_{FWHM} \cdot \cos\theta \dots \dots \dots (2-4)$$

فيكون (β_{FWHM}) عرض المنحني عند منتصف القمة (FWHM).

Dislocation Density

4-2-1-4 كثافة الانخلاعات (δ)

ويطلق هذا المصطلح على عدد الخطوط التي يظهر بها الانخلاع داخل التركيب البلوري للمادة ضمن وحدة المساحة المقاسة بوحدة (cm^2)، وهو مؤشر لجودة التركيب البلوري، ويمكن ان نجده من العلاقة: [46].

$$\delta = 1 / (G.S)^2 \dots \dots \dots (2-5)$$

Crystals layers number

4-2-1-5 عدد الطبقات البلورية (N_o)

وهو عدد الحبيبات ضمن وحدة الحجم المقاسة بوحدة cm^3 التي يمكن ان نجدها بالعلاقة: [59].

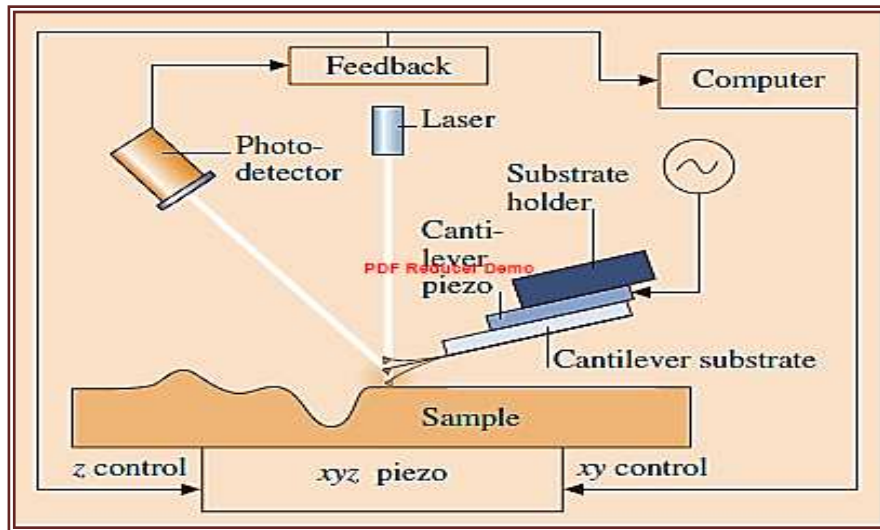
$$N_o = t / (G.S)^3 \dots\dots\dots(2- 6)$$

إذ (t) يمثل سمك الغشاء مقاساً بوحدة (nm)

Atomic Force Microscopy

5-2 مجهر القوة الذرية AFM.

تتضمن هذه التقنية تكبير صورة سطح الغشاء بطرائق فنية معقدة وحديثة جداً، ويمتاز مجهر القوة الذرية بقدرة تحليل عالية مقدارها $(0.1 - 1.0)nm$ وقوة تكبير تقدر بـ $(10^8 - 5 \times 10^2)$ ، مع إمكانية تشغيله ضمن الضغط الجوي الاعتيادي من دون الحاجة إلى تفريغ عالٍ [71]. يتكون هذا المجهر من ذراع (Cantilever) يكون في نهايته مجس (Probe) مكون من رأس حاد يعرف بالـ (Tip) يستعمل لمسح سطح العينة (وهذه الذراع مصنوعة من مادة نيتريد السيليكون (Si_3N_4) بنصف قطر في حدود بضعة نانومترات، ويمثل الشكل (2-3) رسماً تخطيطياً لمجهر القوة الذرية [53]. ويستخدم مجهر القوة الذرية عادة لقياسات مجموعة من الصفات الفيزيائية لسطوح العوازل والموصلات وأشباه الموصلات، من خلال استخدام برنامج (Imager 4.62) إذ يزودنا بمعلومات في غاية الدقة عن خشونة السطح ومعدلها (R.M.S)، وكذلك أحجام الحبيبات (Grain Size) [1]



الشكل (2-3) رسم تخطيطي لمجهر القوة الذرية [53]

2-6 تحويل فورييه الطيفي بالأشعة تحت الحمراء FTIR.

Fourier transformation infrared spectroscopy

في هذه التقنية يتم تمرير الأشعة تحت الحمراء خلال العينة، وتحصل عملية امتصاص بعض الأشعة الساقطة عن طريق العينة ونفاذ بعضها الآخر، ويمثل الطيف الناتج بصمة (Fingerprint) جزيئية على العينة (مثل بصمة الاصبع)، إذ لا يوجد اثنان من التراكيب الجزيئية تنتج عنه طيف الأشعة تحت الحمراء نفسها، لذلك يجعل التحليل بهذه التقنية (بالأشعة تحت الحمراء) مميزة من بقية أنواع التحليل [53].

Optical Properties

2-7 الخواص البصرية

لدراسة الخواص البصرية للأغشية أهمية بالغة يمكن عن طريقها التعرف على مقدار قيمة فجوة الطاقة البصرية على وفق ظروف التحضير المحددة (الضغط، ودرجة الحرارة، وسمك الغشاء،الخ). وكذلك يمكننا معرفة الثوابت الأخرى من الامتصاصية والنفاذية ومعاملاتها وكذلك معامل الخمود وثوابت العزل الحقيقي والخيالي. [60].

Optical Absorption

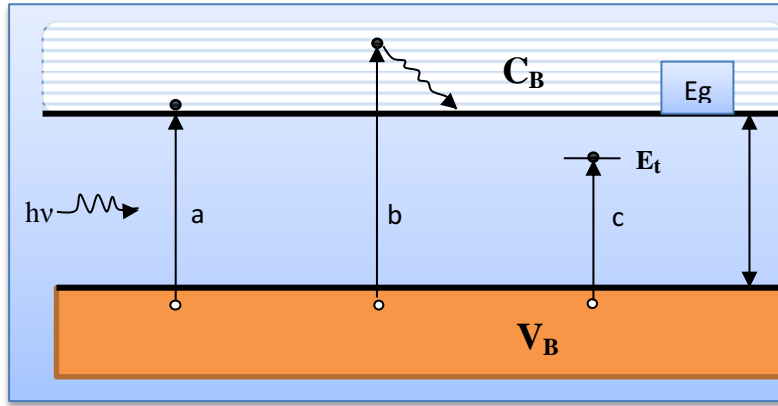
1-2-7 الامتصاص البصري

ان سقوط الأشعة الكهرومغناطيسية بطاقة مقدارها $(h\nu)$ اكبر من قيمة فجوة الطاقة بشدة مقدارها (I_0) على المادة التي سمكها (t) ستمتص جزءاً منها لينفذ بشدة مقدارها (I_T) ، هذا يمكننا من ان نجد العلاقة التي نحسب بها معامل الامتصاص (α) على وفق المعادلة: [61, 62]

$$I_T = I_0 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (2-8)$$

إذ α معامل الامتصاص (Absorption Coefficient)، ويقاس بوحدة cm^{-1} ، الذي هو نسبة النقص في الطاقة الإشعاعية الساقطة، ويتغير تبعاً لتغير الطول الموجي وطبيعة المادة التي تسقط عليها، هذه العملية تعمل على تهيج الكترول في حزمة التكافؤ منتقلاً الى حزمة التوصيل محرراً طاقة مقدارها $(h\nu - E_g)$ ، كما يبينه الشكل (2b-4). اما اذا كانت طاقة هذه الأشعة مساوية لقيمة فجوة الطاقة (E_g) فإن هذه الطاقة ستمتصها المادة التي سقطت عليها مولدة زوج الكترول- فجوة كما مبين بالشكل (2a-4). ويمثل هذان الانتقالات صنف الانتقال الذاتي (Intrinsic) من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل (Band to Band).

اما في حالة أن طاقة هذه الأشعة اقل من قيمة فجوة الطاقة فإن المستويات الموضعية الموجودة ضمن الفجوة المحظورة التي يمكن ان توجد العيوب الفيزيائية البلورية سوف تكون المستويات الموضعية التي يمكن ان ينتقل إليها الإلكترون في هذه الحالة، وهذا ما يمثله الانتقال اللاذاتي (Extrinsic) الذي يبينه الشكل (4-2c) [63].



الشكل (4-2) الانتقالات الذاتية واللاذاتية في المواد شبه الموصلة [63].

Optical absorption coefficient

7-2-2 معامل الامتصاص البصري (α)

ويعرف بأنه النسبة التي تنقص من الطاقة الإشعاعية الساقطة على المادة نسبة الى المسافة التي قطعتها باتجاه انتشار هذه الموجة داخل المادة شبه الموصلة، ويعتمد حساب هذه النسبة على طاقة الأشعة الساقطة بها ($h\nu$) وعلى الخواص البصرية للمادة شبه الموصلة كمقدار عرض فجوة الطاقة للمادة شبه الموصلة ونوع الانتقال الإلكتروني الذي يحدث بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل [63].

ولحساب معامل الامتصاص نبدأ بحساب طاقة الفوتون للأشعة الساقطة من المعادلة: [64].

$$E = h\nu \dots\dots\dots (2-9)$$

اما مقدار ما ينفذ من هذه الطاقة (T) خلال المادة شبه الموصلة التي سوف تعكس قدرًا منه (R) فيكون الجزء النافذ معطى على وفق المعادلة: [80].

$$T = (1 - R)^2 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (2-10)$$

ولحساب مقدار ما تمتصه المادة (A) من هذه الأشعة نعلم المعادلة: [64].

$$T = e^{-2.303 A} \dots\dots\dots (2-11)$$

نعوض عن قيمة (T) من المعادلة (2-11) في المعادلة (2-10) نحصل على المعادلة:

$$e^{-2.303A} = (1 - R)^2 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (2-12)$$

في حالة كون مقدار ما تمتصه المادة ومقدار ما ينفذ منها يصل تقريباً الى الواحد، اي ان مقدار ما تعكسه المادة يقترب من الصفر عند ذلك ستؤول المعادلة (2-12) الى المعادلة:

$$e^{-2.303 A} = e^{-\alpha t} \dots\dots\dots(2-13)$$

ومنها يمكن ان نجد قيمة معامل الامتصاص (α) من المعادلة:

$$\alpha = 2.303 (A/t) \dots\dots\dots (2-14)$$

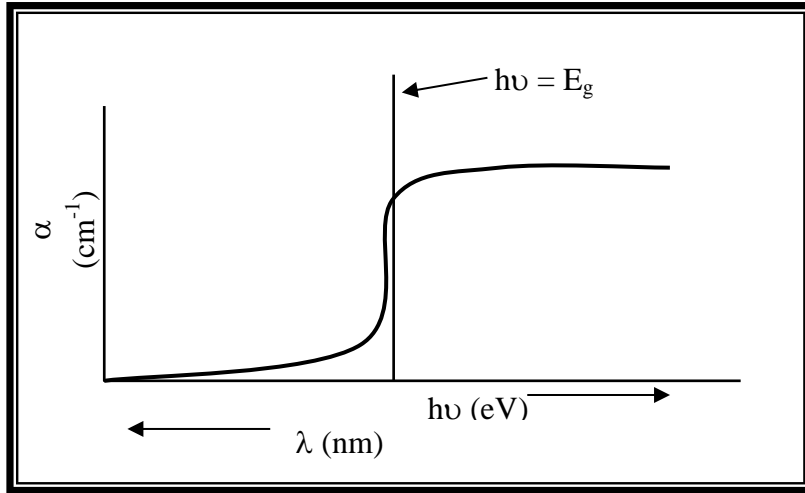
Absorption edge

7-2-3 حافة الامتصاص

يختلف مقدار الطاقة الإشعاعية التي تسقط بها الفوتونات على المادة، ففي الحالة التي يصل فيها هذا المقدار بقيمة مساوية لمقدار عرض فجوة الطاقة المحظورة للمادة شبه الموصلة فان مقدار ما ستمتصه المادة سيزداد بصورة كبيرة، وهذه الصفة تشترك بها تقريباً جميع المواد شبه الموصلة [65].

يُسمى المقدار الذي تبدأ عنده الزيادة السريعة للامتصاص بحافة الامتصاص البصري (absorption edge). اما الطول الموجي الذي تكون عنده حافة الامتصاص فيسمى الطول الموجي القاطع (Cut off wavelength).

ويبين الشكل (2-5) ان مقدار الامتصاص عند الطول الموجي الاقل والاكثر من الطول الموجي القاطع يكون قليلاً، إذ تميز حافة الامتصاص عند رسم طيف معامل الامتصاص كدالة لطاقة الأشعة الساقطة او للطول الموجي لهذه الأشعة بصورة حافة قطع خطي مميز تبدو عريضة نسبياً في حالة اشباه الموصلات متعددة التبلور وحادة في اشباه الموصلات أحادية التبلور. [65].



الشكل (2-5) حافة الامتصاص الاساسية ومناطق الامتصاص [66].

Optical Energy Gap:

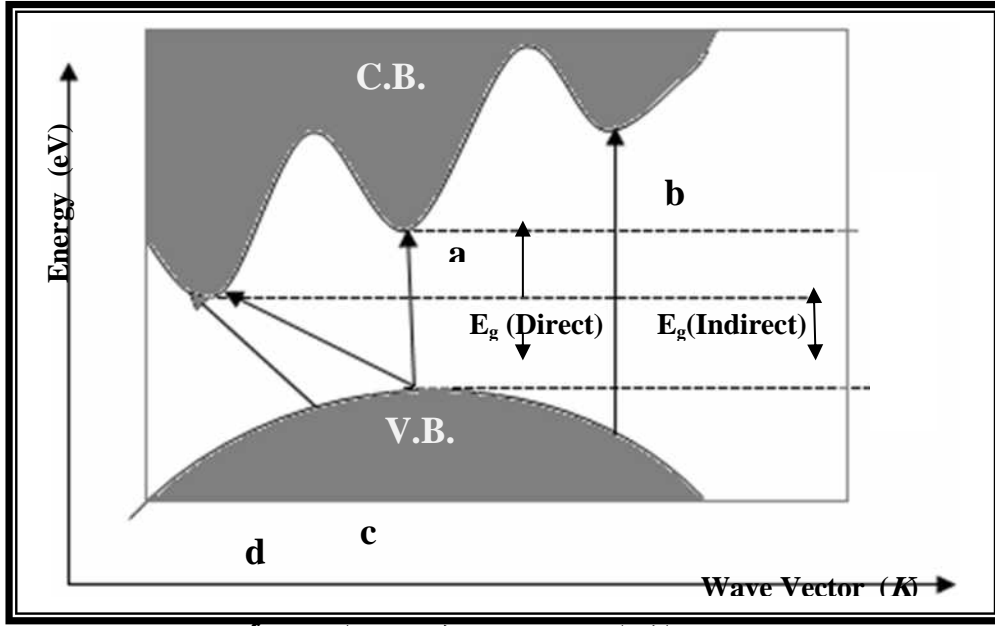
7-2-4 فجوة الطاقة البصرية:

فجوة الطاقة للمواد شبه الموصلة هي مقدار الطاقة التي يحتاج إليها انتقال الإلكترون من قمة حزمة التكافؤ الى قعر حزمة التوصيل، ويتأثر عرض هذه الفجوة بنسب الشوائب المضافة إلى المادة شبه الموصلة (مادة الغشاء)، وبدرجة الحرارة. وهذا التأثير يظهر زيادةً او نقصاناً تبعاً لنوع المادة شبه الموصلة، فتزداد في بعضها وتقل في بعضها الاخر [67].

وتحسب قيمة فجوة الطاقة للانتقال المباشر المسموح والممنوع والانتقال غير المباشر المسموح والممنوع من معادلة تاوس التجريبية كالآتي: [67].

$$(\alpha h \nu) = \beta^* (h \nu - E_g^{opt})^r \dots\dots\dots (2-15)$$

إذ يمثل (β^*) ثابت الانتقال، فإذا كان الانتقال من النوع المباشر او غير المباشر فتكون قيمته واحداً، اما قيمة الثابت (r) فإنها تأخذ القيم $(1/2)$ في حالة الانتقال المباشر المسموح، وتأخذ القيمة $(3/2)$ في حالة الانتقال المباشر الممنوع، وتأخذ القيم (2) و (3) في حالة الانتقال غير المباشر المسموح والممنوع على التوالي، الشكل (2-6) يبين انواع الانتقالات آنفة الذكر.



الشكل (6-2) الانتقالات الالكترونية

a: مباشر مسموح b: مباشر ممنوع c: غير مباشر مسموح d: غير مباشر ممنوع [68]

فيتم رسم علاقة بيانية بين مقدار طاقة الفوتونات الساقطة ($h\nu$) في المحور السيني ومقدار $(\alpha h\nu)^{1/r}$ للمحور الصادي، فيحدد مقدار فجوة الطاقة بإسقاط خط تماس للمنحني الناتج باتجاه المحور السيني فيقطعه عند النقطة $(\alpha h\nu)^{1/r} = 0$ وهذه النقطة تمثل قيمة فجوة الطاقة [68].

Optical Constants values

8-2 الثوابت البصرية:

الثوابت البصرية من الدوال المهمة هي التي عن طريق معرفة قيمها يمكن ان تحدد تطبيقات المواد شبه الموصلة او الاستعمال الامثل للغشاء الرقيق، وهذه الثوابت هي:

Refractive Index

8-2-1 معامل الانكسار (n_o)

هو النسبة بين سرعة الضوء بالفراغ الى سرعته في اي وسط مادي اخر بمعامل الانكسار الذي يمكن ايجاده اعتماداً على معرفة قيمة معامل الخمود (K) ومقدار قيمة الانعكاسية للغشاء (R) فتكون قيمته على وفق المعادلة: [69]

$$n_o = (1+R)^{1/2} / (1-R)^{1/2} \dots\dots\dots(2-16)$$

Transimission

8-2-2 النفاذية (T)

تمثل النفاذية مقدار ما ينفذ من الطاقة الاشعاعية الساقطة على الغشاء بعد سقوط الأشعة عليه ويمكن ايجادها من المعادلة [85]:

$$T = 10^{-A} \dots\dots\dots(2-17)$$

Reflectance (R) 8-2-3 الانعكاسية (R)

تمثل الانعكاسية مقدار ما يرتد من الطاقة الاشعاعية الساقطة من الغشاء الى الوسط الذي قدم منه، ويمكن ايجاد مقدارها على وفق المعادلة:[69].

$$R = 1 - T - A \dots\dots\dots(2-18)$$

9-2 تأثير هول (Hall Effect):

يعرف تأثير هول بأنه اختلاف توزيع التيار في شريحة موصلة أو شبه موصلة بفعل المجال المغناطيسي[70]:

$$R_H = - 1/qn , (cm^3.C^{-1}) \dots\dots\dots(2-19)$$

لذا يمكن التعبير عن تركيز حاملات الشحنة السالبة (n) والموجبة (p) بالآتي [71]:

$$n = - 1/q R_H , (cm^{-3}) \dots\dots\dots(2-20) \quad n \gg p$$

$$p = 1/ q R_H , (cm^{-3}) \dots\dots\dots(2-21) \quad p \gg n$$

وقد يختلف تركيز الحاملات في شبه الموصل عن تركيز الشوائب؛ لأن كثافة الشوائب المتأينة تعتمد على درجة الحرارة وعلى مستويات طاقة الشوائب. إذ من الممكن قياس تحركية هول (μ_H) Hall mobility لحاملات الشحنة التي تساوي حاصل ضرب معامل هول (RH) × التوصيلية الكهربائية (σ) كما في المعادلة [72]: ويبين الشكل (7-2) تأثير هول في شبه الموصل نوع (n-type).

$$\mu_H = |R_H| \sigma \dots\dots\dots(2-22)$$

إذ إن

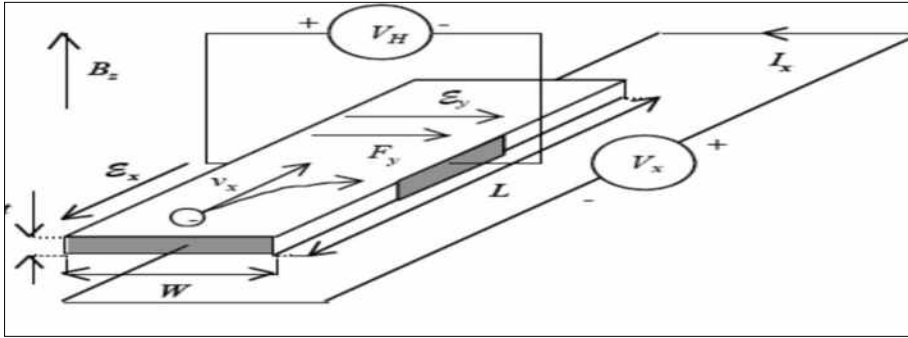
$$\mu_H : \text{تحركية هول } (cm^2.Volt^{-1}.sec^{-1})$$

$$\sigma : \text{التوصيلية الكهربائية } (\Omega.cm)^{-1} \text{ فتعطى بالعلاقة:}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{RA} \dots\dots\dots(2-23)$$

إذ إن

L و A و R : طول شبه الموصل ومساحته ($A=W.t$) ومقاومته الكهربائية، على التوالي.



الشكل (2-7): ظاهرة تأثير هول في أشباه الموصلات: n-type [76].

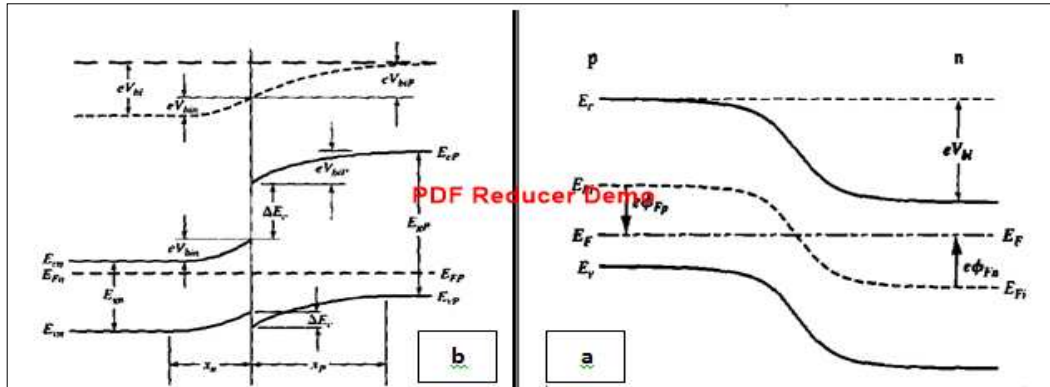
2-10 المفارق الهجينة (Heterojunctions)

يُعرف المفارق الهجين بأنه اتصال بين مادتين شبه موصلتين مختلفتين في فجوة الطاقة والألفة الالكترونية وثابت العزل ودالة الشغل فضلاً عن عدم التطابق في ثابت الشبيكة (Lattice Mismatch) للمادتين [73,70]، في حين يتكون المفارق المتجانس (Homojunction) من اتصال مادتين شبه موصلتين من النوع نفسه، أي متماثلة في فجوة الطاقة والألفة الالكترونية وثابت العزل ودالة الشغل وثابت الشبيكة، ويوضح الشكل (2-8) كلاً من المفارق الهجين والمفارق المتجانس.

وتنقسم المفارق الهجينة على مفارق هجين حاد (Abrupt Heterojunction)، ومفارق هجين متدرج (Graded Heterojunction)، وتصنف بحسب نوع التوصيلية على جانبي المفارق. فإذا كانت المادتين شبه الموصلتين تمتلكان التوصيلية نفسها عندئذ يدعى مفارقاً هجيناً متماثلاً (Isotype Heterojunction) مثل (n-n)، (p-p)، وبخلاف ذلك يدعى مفارقاً هجيناً غير متماثل (Anisotype Heterojunction) مثل (n-p)، (p-n). [101].

ويتضح من الشكل (2-8-b) أن وجود حاجز كبير نسبياً في حزمة التكافؤ (ΔE_v) للمفارق الهجين يسهم في عرقلة حقن الفجوات من الطرف (P) إلى الطرف (n). أما في حزمة التوصيل فإن ارتفاع الحاجز (ΔE_c) يكون قليلاً مقارنة مع الحاجز المتكون في حزمة التكافؤ، ولذلك تكون الالكترونات هي المسؤولة عن نقل التيار في هذا النوع من المفارق الهجينة. أما إذا كان العكس أي

انخفاض حاجز حزمة التكافؤ (ΔE_v) وارتفاع حاجز التوصيل (ΔE_c) فان الفجوات تكون هي المسؤولة عن نقل التيار [74].



الشكل (2-8): مخطط حزم الطاقة لمفروق (a) متجانس (b) هجين [70].

وأن (V_{bi}) : تساوي أيضاً مجموع جهد البناء الداخلي على كل جانب من جانبي المفروق [75]:

$$V_{bi} = V_{bi1} + V_{bi2} \dots \dots \dots (2-24)$$

إذ يمثل V_{bi1} و V_{bi2} : جهد الحاجز (جهد الانتشار) عند الاتزان لشبه الموصل الأول والثاني.

11-2 نماذج المفارق الهجينة (Heterojunction Models)

11-2-1 المفارق الهجينة الحادة (Abrupt Heterojunctions)

تشير اكثر الدراسات إلى أن أغلب المفارق الهجينة الحادة تمتلك اهتماماً متزايداً في تصنيع النبائط الكهروبصرية [76,74]، إذ تقسم المفارق الهجينة الحادة عادةً على:

1- المفارق الهجينة الحادة المتماثلة (Abrupt Isotype Heterojunction)

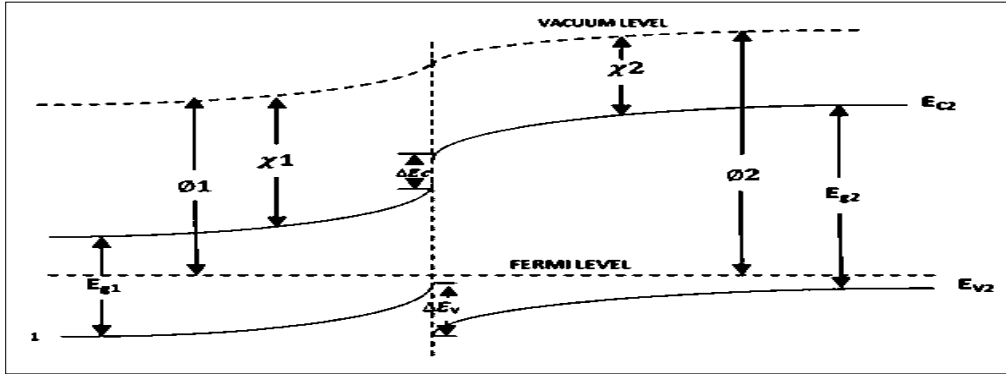
تتكون المفارق الهجينة (p-p) و (n-n) أي إن المادتين لهما نوع حاملات الشحنة أنفسها، ويشير الحرف الكبير إلى فجوة الطاقة الكبرى. وهي نبائط حاملات الأغلبية كما في ثنائيات شونكي يكون إسهام حاملات الأقلية في التيار الكهربائي قليلاً [74].

ويوضح الشكل (2-9) مخطط الطاقة لمفروق هجين متماثل نوع (p-p) في حالة توازن، لذا فإن حافات حزم الطاقة سوف تنحني بنحو معاكس في حالة المفروق غير المتماثل (p-n)، ونلاحظ وجود حافة حادة (*spike*) أو بروز عند حافة حزمة التكافؤ عند السطح الفاصل. ولتوضيح ميكانيكية انتقال حاملات الشحنة في المفارق الهجينة الحادة المتماثلة تم اقتراح عدة نماذج، وهي [76,47]:

١. أنموذج الانبعاث (*Emission Model*).
٢. أنموذج الانتشار (*Diffusion Model*).

٣. أنموذج الاختراق (Tunneling Model).

٤. أنموذج ثنائي شوتكي المزدوج (Double – Schottky– Diode Model).



الشكل (9-2): مخطط الطاقة لمفروق هجين متماثل (p-P) في حالة التوازن [77].

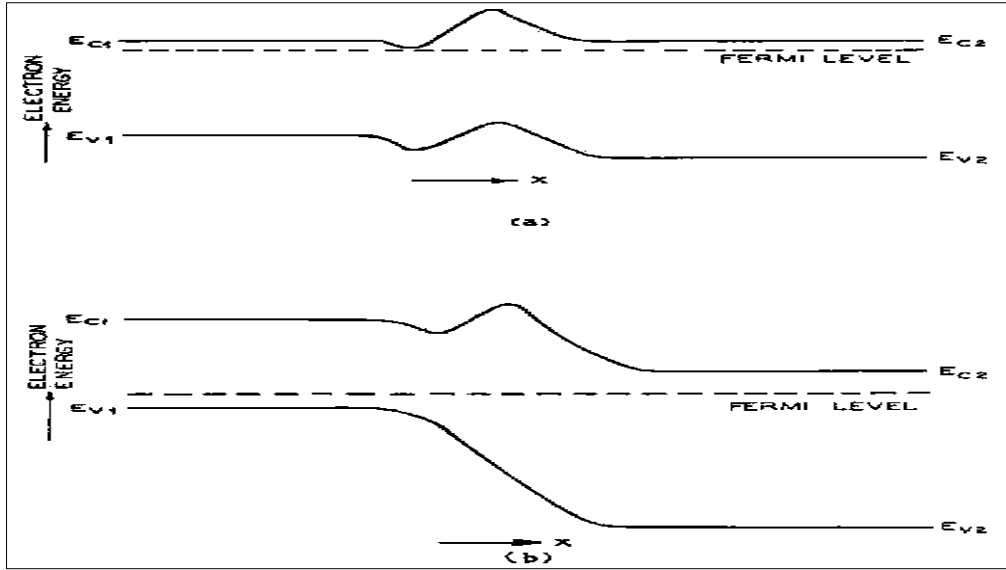
2- المفاروق الهجينة الحادة غير المتماثلة (Abrupt Anisotype Heterojunction)

هنالك انواع من المفاروق تتكون من (p-n) و (n-p)، وهي نبائط حاملات الأقلية. إن اي مفروق هجين يعتمد على طريقة التحضير وظروف التحضير. وقد وضعت عدة نماذج لتوضيح كيفية انتقال حاملات الشحنة في المفاروق الهجينة الحادة غير المتماثلة، وهي [73, 74]:

١. أنموذج الانتشار (Diffusion Model).
٢. أنموذج الانبعاث (Emission Model).
٣. أنموذج الانبعاث - إعادة الاتحاد (Emission –Recombination Model).
٤. أنموذج الاختراق (Tunneling Model).
٥. أنموذج الاختراق - إعادة الاتحاد (Tunneling –Recombination Model).

2-2-11 المفاروق الهجينة المتدرجة (Graded Heterojunction)

بتوضيح تركيب هذا الانموذج من المفروق وتأثير التدرج مع الأخذ بالحسبان الاختلاف في كل من الألفة الإلكترونية وفجوة الطاقة ومنطقة النضوب في أثناء عملية التصنيع. وأن حركة حاملات الشحنة في هذه المفاروق تحدد أيضاً بواسطة المجال الكهربائي الداخلي E. وهناك نوعان من هذه المفاروق: المفروق الهجين المتدرج المتماثل الموضح في الشكل (10-2)a، والمفروق الهجين المتدرج غير المتماثل، الموضح في الشكل (10-2)b [74, 78].



الشكل (10-2): مخطط حزم الطاقة للمفرك الهجين المتدرج (a) n-n , (b) p-n [74]

12-2 الخصائص الكهربائية للمفرك الهجين

Electrical Properties of Heterojunction

12-2-1 خصائص (تيار- جهد) للمفرك الهجين في حالة الظلام

(I-V) Characteristics of Heterojunction in the Dark Condition

عند دراسة خصائص (تيار- جهد) توضح لنا آليات التوصيل الكهربائية، اذ تصنف هذه الخصائص بالاعتماد على قطبية الفولتية المسلطة كانهياز أمامي أو عكسي على الثنائي [79].

12-2-1-1 خصائص (I-V) ظلام في حالة الانحياز الأمامي (Dark (Forward Bias)

خصائص (تيار- جهد) لنوع (p-n) تلاحظ أنه في حالة تسليط انحياز أمامي لأي ربط الطرف السالب (n) للمفرك مع القطب السالب للمصدر، والطرف الموجب (p) مع القطب الموجب للمصدر، اذ يزداد التيار مع زيادة الفولتية المسلطة. هناك عدة نماذج لتفسير سريان التيار بالانحياز الأمامي منها (نموذج الانتشار والانبعث والاختراق ونموذج الاختراق- إعادة الاتحاد). فإن شكل المنحني الناتج من رسم الانحياز الأمامي مع فولتية الانحياز يمكن تصنيفه إلى منطقتين:

1. منطقة الفولتيات الواطئة ($V < 0.4 V$). وفيها يوصف ارتباط (I-V) بالعلاقة الآتية [80]:

$$I_f = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{n_f k_B T}\right) - 1 \right] \xrightarrow{\text{where } (1=\text{neglected})} I_f = I_s \exp\left(\frac{qV}{n_f k_B T}\right) \quad (2-25)$$

إذ إن (If): تيار الانحياز الامامي (Forward Current)، q: شحنة الإلكترون، T: درجة

الحرارة المطلقة، (Is): تيار الإشباع (Saturation Current)، (V): فولتية الانحياز

الأمامي المُسلطة على الكواشف، (kB): ثابت بولتزمان، $(\frac{k_B T_0}{q} = 0.0258 \text{ Volt})$ ،

(n_f): عامل المثالية (Ideality Factor) وهو مقياس اقتراب الثنائي المُصنَّع من حالة

الثنائي المثالي ($n_f=1$) في معادلة (العالم شوكلي) أنفة الذكر.

ii. منطقة الفولتيات الكبيرة. وفيها يوصف ارتباط (I-V) بالعلاقة الاتية [80]:

$$I_f \propto \exp(AV) \exp(BV) \dots\dots\dots (2-26)$$

A و B هما ثابتان غير معتمدين على درجة الحرارة والفولتية. ويرجع التناسب في المعادلة (2-30) إلى تغلب تيار الاختراق عبر المفرق. وتطبق هذه العلاقة في حالة الانحياز الأمامي وللـفولتيات العالية، اي يخترق الإلكترون حزمة التوصيل للمادة n-type ذات الفجوة العريضة مثلاً، إلى حالات الحزم الداخلية الفارغة المتمركزة في المادة ذات فجوة الطاقة الضيقة p-type يعاد اتحاده مع فجوة. أو قد يحدث انتقال للفجوات بالاتجاه المعاكس ليعاد اتحادهما مع الإلكترونات في المادة n-type [78].

2-2-1-2 خصائص (I-V) ظلام في حالة الانحياز العكسي (Dark Reverse Bias):

كذلك نجد ان خصائص (تيار - جهد) في الظلام، فإن خصائص الانحياز العكسي سوف تقسم على منطقتين أيضاً [76,74]:

i. عند الفولتيات القليلة، فإن المفرق الهجين سوف يظهر تناسباً طردياً بين تيار الانحياز العكسي (I_r) Reverse Current والفولتية العكسية المسلطة، أي إن ($I_r \propto V$).

ii. أما في حالة الفولتيات العالية فيخضع للتناسب للعلاقة ($I_r \propto V^m$) ، إذ إن ($m > 1$).

وتم تفسير سلوك المفرق الهجين في حالة الانحياز العكسي على أساس نموذج الاختراق [81,74].

2-2-2 خصائص (سعة - جهد) {(C-V) Characteristics}:

لدراسة خصائص (سعة- جهد) تم حساب الفولتية الداخلية (V_{bi}) وتركيز الشوائب وارتفاع الحاجز، وكذلك تحليل جهد منطقة النضوب وتوزيع الشحنات بين المفرق الهجين [76]. والعلاقة التي يمكن بها حساب سعة المتسعة لوحدة المساحة (C) المصاحبة لانتقال الشحنات عند إهمال حالات السطح، وهي المعادلة نفسها لمتسعة ذات لوحين متوازيين، إذ يتمثل الفاصل بين اللوحين بعرض منطقة النضوب (W) [79]:

$$C = \frac{dQ}{dV} = \frac{\epsilon_s}{\omega} \dots\dots\dots (2-27)$$

إذ إن C : سعة النضوب لوحدة المساحة تحت الانحياز العكسي، ω : عرض منطقة النضوب.

dQ : التغير الجزئي في شحنة طبقة النضوب لكل وحدة مساحة نتيجة للتغير في الفولتية المسلطة dV ،
 ϵ_s : ثابت العزل المكافئ للمفرق الهجين، ويعطى بالعلاقة [81]:

$$\epsilon_s = \frac{\epsilon_n \cdot \epsilon_p}{\epsilon_n + \epsilon_p} \quad \dots\dots\dots (2-28)$$

إذ إن ϵ_p و ϵ_n : هما ثابت العزل للمادة المانحة والقابلة على التوالي.
 وتحسب سعة المفرق لوحدة المساحة لمفرق متماثل بواسطة عرض منطقة النضوب كما في
 العلاقة [71]:

$$C = \frac{\epsilon_p}{\omega} \quad , \quad C = \frac{\epsilon_n}{\omega} \quad \dots\dots\dots (2-29)$$

وحالة الانحياز الأمامي، إذ يسري تيار كبير عبر المفرق الهجين، وهناك عدد كبير من الحاملات
 المتحركة في منطقة النضوب [76,71]. وتعطى سعة النضوب لوحدة المساحة (C) بالعلاقة
 الآتية [76]:

$$C = \left[\frac{q (N_n N_p \epsilon_n \epsilon_p)}{2 (\epsilon_n N_n + \epsilon_p N_p)} \right]^{1/2} (V_{bi} - V_a)^{-1/2} \quad \dots\dots\dots (2-30)$$

إذ تمثل N_p و N_n : تركيز الشوائب المانحة والقابلة للمادة الأولى والثانية على التوالي.

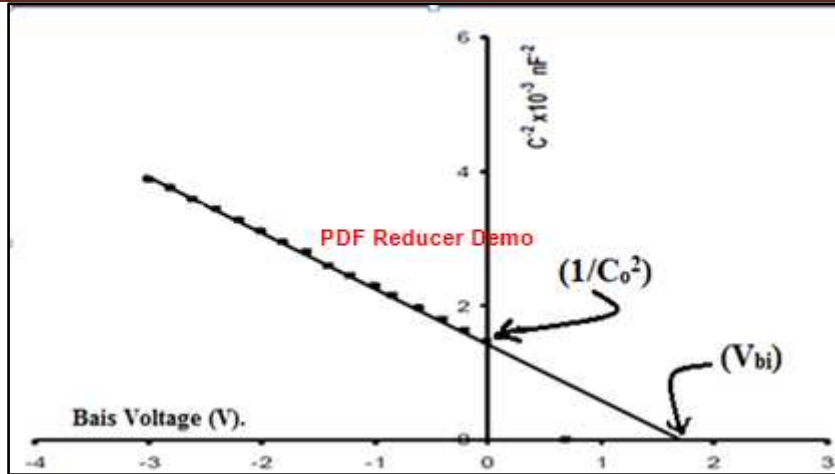
V_a : فولتية الانحياز العكسي المسلطة، V_{bi} : جهد البناء الداخلي.

ويتضح من المعادلة (2-31) عند رسم العلاقة بين $(1/C^2)$ كدالة للفولتية المسلطة (V) تكون
 علاقة الخطية الناتجة دالة على أن المفرق الهجين هو من النوع الحاد (Abrupt)، وإن امتداده يتقاطع
 مع محور الفولتية ($1/C^2 = 0$) ليعطي قيمة جهد البناء الداخلي (V_{bi}) [70] ، كما موضح بالشكل
 (2-11).

كما يمكن قياس عرض منطقة النضوب (ω) للمفرق بالاستعانة بالمعادلة (2-32) كآلاتي:

$$\omega = \epsilon_s / C_o \quad \dots\dots\dots (2-31)$$

إذ إن C_o : هي سعة منطقة النضوب لوحدة المساحة عند ($V=0$). ويتم معرفة قيمتها من نقطة
 تقاطع الخط المستقيم مع محور مقلوب مربع السعة ($1/C^2$).



الشكل (2-11): خصائص (C-V) تحت الانحياز العكسي لمفرفق هجين نوع (n-p) [76,82].

3-2-12 خصائص المفرفق الهجين (تيار- جهد) عند الإضاءة

Properties Of Heterojunction (Current-Voltage) under illumination

تطرقنا سابقاً في الفقرة (2-7) الخاص بالخصائص البصرية لأشباه الموصلات وماذا يحدث داخل شبه الموصل إذا سقط عليه ضوء طاقة فوتوناته $(h\nu)$ ، وعلاقته بفجوة الطاقة الممنوعة (E_g) الشكل (2-6) يوضح عملية الامتصاص البصري وكيفية تولّد أزواج (إلكترون- فجوة) في شبه الموصل، وأنه إذا كان مقدار طول موجة القطع $(\lambda_{cut\ off})$ الساقطة قصيراً، فإن (α) يصبح كبيراً 10^4 cm^{-1} $(\alpha \geq)$ لذا سوف يمتص الشعاع الساقط قريباً جداً من السطح، إذ يكون معدل إعادة الاتحاد كبيراً. وهذا كله ينطبق على الخصائص البصرية للمفرفق الهجين. إذ عند إضاءة المفرفق الهجين ستتولد حاملات الشحنة في منطقة الشحنة الفراغية (منطقة النضوب)، فيتولد تيار ضوئي (I_{ph}) يعطى بالعلاقة [81,70]:

$$I_{ph} = q A G_{ph} (W + L_n + L_p) \dots\dots\dots (2-32)$$

إذ إن q : شحنة الإلكترون، A : مساحة المفرفق الهجين، W : عرض منطقة النضوب، G_{ph} : معدل التولد لحاملات الشحنة وهو دالة لمعامل الامتصاص، (L_p, L_n) : طول الانتشار للإلكترونات والفجوات على التوالي.

ومن علاقة خصائص (I-V) للمفرفق الهجين حالة الظلام يمكن التعبير عن العلاقة (I-V) في حالة الإضاءة بالنحو الآتي [70, 76]:

$$I_L = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{k_B T}\right) - 1 \right] + I_{ph} \dots\dots\dots (2-33)$$

$$\therefore I_{ph} = I_L - I_d \dots\dots\dots (2-34)$$

إذ إن I_L : التيار الكلي في حالة الإضاءة، I_s : تيار الإشباع I_{ph} : هو التيار الضوئي المتولد من الإشعاع الساقط (يمثل الزيادة في تركيز حاملات الشحنة)، I_d : تيار الظلام (يمثل إسهام جميع الإلكترونات والفجوات الحرة المنقلة تحت تأثير تسليط مجال كهربائي خارجي).

اذ عند إضاءة المفرق الهجين، نلاحظ ان قيمة $(E_{g1} > E_{g2})$ وذلك نتيجة سقوط الفوتونات على السطح الأمامي للمادة ذات الفجوة العريضة E_{g1} مما يؤدي الى ان الفوتونات الساقطة ذات الطاقة عالية تمتص في المادة التي تكون ذات فجوة طاقة عريضة، في حين تنفذ الفوتونات ذات الطاقة الواطئة خلال المادة ذات الفجوة العريضة وتمتصها المادة ذات الفجوة الضيقة E_{g2} . هذه الظاهرة تدعى بتأثير النافذة (*Window effect*). تؤدي الى استجابة ضوئية كافية للمفرق الهجين غير المتماثل (p-n) [81, 70].

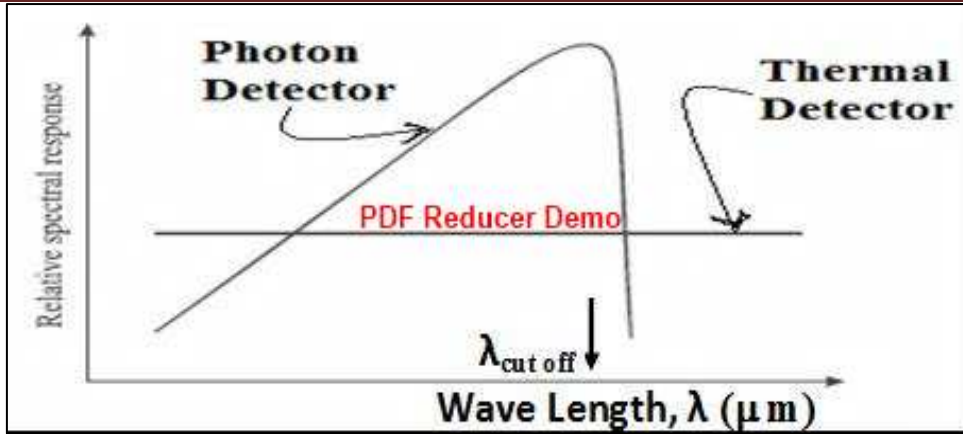
2-13 الكواشف الضوئية Photodetectors

تعرف الكواشف الضوئية بأنها نبائط الكتروضوئية مصنعة من مواد شبه موصلة، وتقوم بتحويل الاشارات البصرية الى إشارات كهربائية يمكن قياسها مثل التيار الضوئي. وان عملية الكشف تدخل في ثلاث مراحل، هي [76,81]:

- i. توليد الحامل بواسطة الضوء الساقط.
 - ii. نقل و (أو) مضاعفة حاملات الشحنة بأي آلية من الآليات المسؤولة عن كسب التيار.
 - iii. تفاعل التيار مع الدائرة الخارجية لتجهيز اشارة الاخراج الكهربائية.
- وهناك مدى واسع من التطبيقات للكواشف الضوئية منها استخدامها كمجسات (متحسسات) للموجة تحت الحمراء في الفواصل البصرية وككواشف في الاتصالات عبر الاليف البصرية. اذ إن عملية الكشف تتم باليتين هما: التأثير الحراري والتأثير الكهروضوئي، فيمكن تصنيف الكواشف إلى نوعين هما: الكواشف الحرارية، والكواشف الفوتونية.

2-14 الكواشف الحرارية Thermal Detectors

تعتمد هذه الكواشف على التأثير الحراري، إذ ان الإشعاع الحراري الممتص يحث الجزيئات على الحركة لتسبب زيادة في درجة الحرارة للوسيط الماص للطاقة، اذ يسبب حدوث تغيرات في الخصائص الفيزيائية لعنصر الكاشف. وتمتاز الكواشف الحرارية بأنها تستجيب للأطوال الموجية كافة بنحو ثابت متساوٍ كما في الشكل (2-12). واهمية الكواشف الحرارية هي استجابتها للأشعة ذات الأطوال الموجية الطويلة (λ , Long Wave Length) عند درجة حرارة الغرفة. [83]:



الشكل (2-12): الاستجابة الطيفية المثالية للكواشف الحرارية والفوتونية [81].

2-15 الكواشف الفوتونية Photon Detectors

تعتمد هذه الكواشف على التأثير الكهروضوئي، فعند سقوط الضوء على الكاشف سوف تمتص الفوتونات وتهيج الإلكترونات إلى مستويات طاقة عليا، إذ ان تكون حاملات الشحنة الكهربائية (إلكترونات أو فجوات) تعمل الشحنات على زيادة التوصيلية الكهربائية أو توليد فرق جهد. وتتصف هذه الكواشف بأنها تمتلك استجابة طيفية ضمن مدى محدد من الأطوال الموجية معتمدة على خصائص مادة شبه الموصل للكاشف، وتمتلك زمن استجابة قصيراً [70].

١. كواشف التوصيلية الضوئية (Photoconductive Detectors): وهي قطعة من شبه

موصل ذي تماس أومي عند النهايتين [84]. وتعتمد في عملها على قيمة التوصيلية الكهربائية للقطعة الشبه موصلة عند تعرضها للإشعاع الضوئي، فإذا كانت طاقة الفوتون الساقط كافية تمتصها الإلكترونات وتتكون إلكترونات توصيل، ولذلك تزداد التوصيلية، وسوف تتغير التوصيلية الكهربائية لمادة الكاشف كدالة لشدة الإشعاع الساقط. ويتصف هذا النوع من الكواشف بأنه لا يعمل إلا بوجود مجال كهربائي مسلط خارجي. وهناك نوعان رئيسان لهذه الكواشف [85]:

A. كواشف التوصيلية الذاتية (Intrinsic photoconductive detectors).

B. كواشف التوصيلية غير الذاتية (Extrinsic photoconductive detectors).

٢. كواشف الفولطائية الضوئية Photovoltaic Detectors

يعتمد امتصاص هذه الكواشف للضوء على تولد قوة دافعة كهربائية نتيجة تولد مجال كهربائي داخلي بسبب انتقال الحاملات من مناطق التركيز العالي إلى مناطق التركيز الواطئ [81,86]. لذلك فإن هذه الكواشف تعمل بوجود أو عدم وجود مجال كهربائي خارجي (أي تعمل بوجود جهد الانحياز المسلط أو بغيابه) [87].

لذا تعمل هذه الكواشف غالباً بوجود انحياز عكسي مسلط، لكي تتحسن خصائص الكاشف كزيادة التوصيلية، فإن المجال الكهربائي في منطقة الامتصاص يكون كبيراً عند الانحياز العكسي، وبالنتيجة تتحرك الحاملات المتولدة من امتصاص الفوتون بسرعة أكبر إلى الدائرة الخارجية وتعطي استجابة سريعة، فضلاً عن أن عرض منطقة النضوب (W) تكون أكبر عند الانحياز العكسي، وهذا يؤدي إلى نقصان سعة المفرق، فيقل الثابت الزمني ($\tau = RC$) من ثم تؤدي إلى استجابة سريعة [87,86].

وهناك عدة أنواع من الكواشف الفولتائية الضوئية، نذكر منها: كواشف المفرق المتباين

(Heterojunction detector) وكواشف شوتكي (Schottky detectors) وكواشف PIN

(detectors) وثنائيات MIS وMOS (MIS & MOS Diodes) [88,87].

وعموماً يعتمد المدى الطيفي لعمل هذه الكواشف بالدرجة الأساسية على قيمة فجوة الطاقة لكلا المادتين المصنوع منهما الكاشف الضوئي، وذلك يوضح المدى الطيفي بحسب الجدول (1-2) للأطوال الموجية ضمن الأشعاع الكهرومغناطيسي.

الجدول (1-2): مناطق المدى الطيفي للأطوال الموجية للأشعاع الكهرومغناطيسي [88].

Wavelength Range	Division-Wave Name	Abbreviation
(200-400) nm	Ultraviolet	UV
(400-700) nm	Visible	VIS
(700-1000) nm	Near infrared	NIR

16-2 معلمات أداء الكاشف Detector Performance Parameters

هي المعلمات المهمة لخصائص الأداء للكاشف الضوئي، وتستعمل لمعرفة كفاءة الكاشف وإمكانية توظيفه في التطبيقات العملية، ومن هذه المعلمات [76]:

16-2-1 الاستجابة الطيفية Spectral Response

لأن استجابة الكاشف الضوئي تعتمد على الطول الموجي، فإن الكاشف الضوئي المعطى يستجيب لمدى معين من الطيف البصري. ويتحدد المدى الطيفي لاستجابة كاشف ضوئي بمادته، وتركيبه، وطريقة تجميعه. وتعين عادةً استجابة الكاشف الضوئي الطيفية بدلالة الاستجابة الطيفية والكشفية الطيفية للكاشف. وباختيار كاشف ضوئي لتطبيق ما، فإن التطابق بين المحتوى الطيفي للإشارة البصرية والاستجابة البصرية للكاشف هي الشيء الأول الذي يجب أن يتحقق.

16-2-2 الاستجابة النوعية \mathcal{R} Specific Responce

تعرف الاستجابة للكاشف الضوئي بأن تسمح تعيين إشارة الإخراج المتيسرة للكاشف لإشارة بصرية معطاة. أو أنها نسبة إشارة تيار أو فولتية الإخراج إلى قدرة إشارة الدخل البصرية. وللكاشف الضوئي الذي يمتلك إشارة تيار إخراج استجابية مقاسة بواسطة الكاشف تعمل على تحويل قدرة إشارة الإدخال البصرية الساقطة P_s . وهي تحدد إشارة الإخراج المتيسرة للكاشف لإشارة بصرية داخلية. وتعطى بالعلاقة [86,76]:

$$\mathcal{R} = \frac{I_{ph}}{P_s} \quad \text{or} \quad \frac{V_{ph}}{P_s} \dots\dots\dots (2-35)$$

إذ إن I_{ph} و V_{ph} : تيار وفولتية الإخراج الناتجة عن الإضاءة، P_s : قدرة الأشعة الساقطة.

وتقاس الاستجابة \mathcal{R} بوحدات (Amp/watt) أو (Volt/watt).

16-2-3 الكفاءة الكمية η Quantum Efficiency

من الخصائص المميزة للكواشف قابلية امتصاص الضوء، وأن امتصاصية الضوء تحسب عن طريق معامل الامتصاص α للنبيطة الكاشفة والطول الموجي الساقط λ . وكذلك تحسب قابلية الامتصاص للكاشف بحسب معلم يدعى بالكفاءة الكمية (η^*)، وتعرف بأنها احتمالية توليد حاملات شحنة في كاشف ضوئي لكل فوتون يسقط عليه. وتعرف كذلك (η^*): بأنها النسبة بين عدد حاملات الشحنة ($N_{carriers}$) {إما إلكترونات ضوئية وإما أزواج (إلكترون- فجوة)} المتولدة ضوئياً، إلى العدد الكلي للفوتونات الساقطة الممتصة ($N_{photons}$)، وتعطى بالعلاقة [70,81]:

$$\eta^* = \frac{N_{carriers}}{N_{photons}} = \frac{(I_{ph}/q)}{(P_s/h\nu)} \dots\dots\dots (2-36)$$

إذ إن I_{ph} : هو التيار الضوئي المتولد، P_s : القدرة البصرية الساقطة.

ν : تردد الموجة الساقطة التي طولها الموجي λ ، h : ثابت بلانك، q : شحنة الإلكترون.

ويمكن إيجاد علاقة تربطها بالاستجابة الطيفية \mathcal{R} وذلك بتعويض المعادلة (2-35) في المعادلة (2-40) [87]:

$$\eta(\lambda) = \mathcal{R}(\lambda) \frac{hc}{q\lambda} \dots\dots\dots (2-37)$$

إذ إن $\eta(\lambda)$: الكفاءة الكمية للكاشف بدلالة الطول الموجي (λ) للإشعاع الساقط.

$\mathcal{R}(\lambda)$: الاستجابة الطيفية بدلالة λ ، h : ثابت بلانك، c : سرعة الضوء، q : شحنة

الإلكترون.

إذ إن المقدار (hc/q) ثابت ويساوي (1.24) فتصبح المعادلة (2-37) بنحو أيسر ، كآتي:

$$\eta(\lambda) = 1.24 \frac{\mathcal{R}(\lambda)}{\lambda} \dots\dots\dots (2-38)$$

إذ إن $\eta(\lambda)$ كمية خالية من الوحدات، $\mathcal{R}(\lambda)$: الاستجابة الطيفية بوحدة (A/W).

λ : الطول الموجي للموجة الساقطة بوحدة (μm).

16-2-4 الكشفية Detectivity D

تعرف الكشفية (D) بأنها أقل قدرة للإشارة الضوئية الساقطة يستطيع الكاشف أن يكشفها، وهي تُعد من أكثر معالم الكاشف أهمية. وتعتمد على (درجة الحرارة، وتردد القطع، والطول الموجي الساقط، ومساحة الكاشف، وعرض حزمة التردد والجهد المسلط على الكاشف، والضوضاء المصاحبة للكشف) وتمثل مقلوب القدرة المكافئة للضوضاء، كما في المعادلة الآتية [76,74]:

$$D = \frac{1}{NEP} \text{ , (watt)}^{-1} \dots\dots\dots (2-39)$$

أي إن الكشفية D تزداد عندما تقل (NEP). ونقاس (NEP) بوحدة (watt). وغالباً ما يُعبّر عن (NEP) بالقدرة المكافئة للضوضاء ويُستعاض عن مصطلح الكشفية (D) بالكشفية النوعية (D^*) ويُستخدم للمقارنة بين أنواع الكواشف، ويعرف بالعلاقة [89,86] :

$$D^* = \frac{(A \cdot \Delta f)^{1/2}}{NEP} = (A \cdot \Delta f)^{1/2} \cdot D \dots\dots\dots (2-40)$$

إذ إن A : مساحة الكاشف، Δf : عرض نطاق التردد.

ونُقاس الكشفية النوعية بوحدة ($\text{cm.Hz}^{1/2} \text{ watt}^{-1}$). وأنها دالة للطول الموجي λ . وتعطى

الكشفية النوعية بدلالة (λ) كما في المعادلة [88]:

$$D^* = \frac{\eta \lambda}{2 h c} \left(\frac{q A}{I_s} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (2-41)$$

إذ إن I_s : تيار التشبع عند الانحياز العكسي، A : مساحة الكاشف، η : الكفاءة الكمية.

وبتعويض المعادلة (2-38) في المعادلة (2-41)، تصبح بدلالة الاستجابة الطيفية [44]:

$$D^* = \mathcal{R}_\lambda \frac{(A \cdot \Delta f)^{1/2}}{I_N} = \mathcal{R}_\lambda \left[\frac{A}{2 q I_d} \right]^{1/2} \text{ , (cm.Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}) \dots\dots (2-42)$$

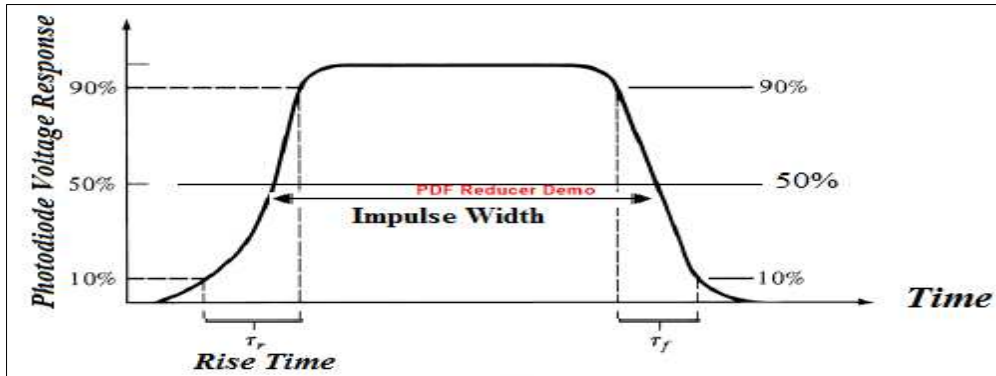
إذ إن q : شحنة الإلكترون، I_N : تيار الضوضاء.

5-2-16 زمن الاستجابة وفترة حياة الحاملات:

Response Time and Carrier Life Time

يعد زمن الاستجابة ($\tau_{response}$) من المعلمات المهمة في اختبار أداء سرعة الكاشف، ويُعرّف بأنه الزمن المطلوب لزيادة قيمة الخرج للكاشف من (10%) إلى (90%) من قيمتها القصوى [86] كما موضح في الشكل (2-14). ويرتبط زمن الاستجابة بعوامل كهربائية (المقاومة R والسعة C)، أي يرتبط بالثابت الزمني (τ) الذي يعطى بالعلاقة ($\tau = R.C$) [89]، ويعتمد زمن الاستجابة على زمن تجمع الشحنات في منطقة النضوب للمفرق وعلى الثابت الزمني لدائرة الثنائي وعلى مساحة الكاشف وجهد الانحياز المسلط وسعة منطقة النضوب (C_o) للمفرق الهجين [86,87]. ويمكن حساب زمن الاستجابة ($\tau_{response}$) بواسطة حساب زمن النهوض (τ_{rise}) (Rise Time) كما موضح في الشكل (2-14) [90]:

ولهذا فإن سرعة الاستجابة تتحدد بسعة منطقة النضوب وابتشار الحاملات وزمن اختراقها لمنطقة النضوب [87].



الشكل (2-14): علاقة زمن النهوض بزمن الاستجابة مع قيمة إخراج الكاشف الضوئي [86].

17-2 معلمات الخلية الشمسية Solar Cell Parameters

تعتمد عادة ثلاثة معالم "Parameters" لدراسة ما ينتج عن الخلية الشمسية، وهي تيار الدائرة القصيرة "short circuit current"، وفولتية الدائرة المفتوحة "open circuit voltage" وعامل الملء "fill factor"، والكفاءة التحويلية "Conversion Efficiency"، وهي كالتالي:

17-2-1 فولتية الدائرة المفتوحة (V_{oc}) Open-Circuit Voltage

ويعرف مقدار الفولتية الظاهرة على جانبي المفرق الهجين في حالة غياب الجهد الخارجي المسلط كدالة لشدة الضوء الساقط. وتحسب فولتية الدائرة المفتوحة (V_{oc}) عندما تكون مقاومة الحمل المربوط

مع المفرق الهجين كبيرة جداً ($R \rightarrow \infty$)، فتجعل كثافة التيار ($J=0$) وعندها تكون ($V=V_{oc}$)، وبذلك فإن القيمة المثالية لهذا المعلم تُعطى بالعلاقة الآتية [76]:

$$V_{oc} = \frac{k_B T}{q} \ln \left(\frac{J_{ph}}{J_s} + 1 \right) \quad \dots\dots\dots (2-43)$$

إذ إن J_{ph} : كثافة التيار الضوئي، وتعتمد على الأبعاد الهندسية التصنيعية للمفرق الهجين.

J_s : كثافة تيار الإشباع، وتعتمد على تركيب وخصائص شبه الموصل المستعملة في المفرق الهجين.

17-2-2 تيار الدائرة القصيرة (I_{sc}) Short-Circuit Current

يعرف بمقدار التيار المار في المفرق الهجين في حالة غياب جهد الانحياز الخارجي المسلط كدالة

لشدة الضوء الساقط، ويُعطى بالعلاقة الآتية [71]

$$I_{sc} = \int_0^{\lambda_m} N_{ph}(\lambda) \eta(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots (2-44)$$

إذ إن λ_m : أقصى طول موجي لتوليد الحاملات ($0 < \lambda < \lambda_m$).

$\eta(\lambda)$: كفاءة الكم الخارجية، $N_{ph}(\lambda)$: فيض الفوتونات الساقطة.

ويزداد تيار الدائرة القصيرة (I_{sc}) كلما قلَّ عرض الفجوة المحظورة (E_g)؛ لأن كثيراً من الفوتونات الساقطة تمتلك طاقة كافية لتكوين زوج (إلكترون- فجوة) وذلك عندما تكون الفجوة أقل بكثير من طاقتها. وعملياً يمكن قياس (I_{sc}) بتقصير الدائرة الكهربائية وجعل المقاومة ($R \rightarrow \text{zero}$) ولذلك فإن ($V=0$) وبتعويض قيمة V في المعادلة (2-47) سوف تصبح ($I = I_{ph} = I_{sc}$)، إذ إن I_{ph} يمثل التيار الضوئي [91].

17-2-3 كفاءة التحويلية Conversion Efficiency

يعرف بأنها النسبة بين أعظم قدرة كهربائية خارجة إلى القدرة الضوئية الساقطة [71].

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100 \% = \frac{I_m V_m}{P_{in}} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2-45)$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} I_{sc} F.F}{P_{in}} \quad \dots\dots\dots (2-46)$$

إذ إن:

(P_{in}): قدرة الأشعة الشمسية الساقطة.

(P_m): أعلى قدرة خارجة من الخلية

($F.F.$): عامل الملاء

(I_{sc}): تيار الدائرة القصيرة

(V_{oc}): فولتية الدائرة المفتوحة

17-2-4 عامل الملء (F.F) Fill Factor

يُعرف بأنه النسبة بين القدرة المستفاد منها إلى القدرة الحقيقية ($J_m V_m / J_{sc} V_{oc}$) تُسمى عامل الملء، وهو مقياس للقدرة التي يمكن الحصول عليها من الخلية الشمسية وتكتب بالنحو الآتي: [76]

$$F. F = \frac{J_m V_m}{J_{sc} V_{oc}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2-47)$$

$$F. F = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{P_m}{V_{oc} I_{sc}} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2-48)$$

إذ إن:

J_m : أعلى قيمة لكثافة التيار

V_m : أعلى قيمة للفولتية

J_{sc} : كثافة تيار الدائرة القصيرة

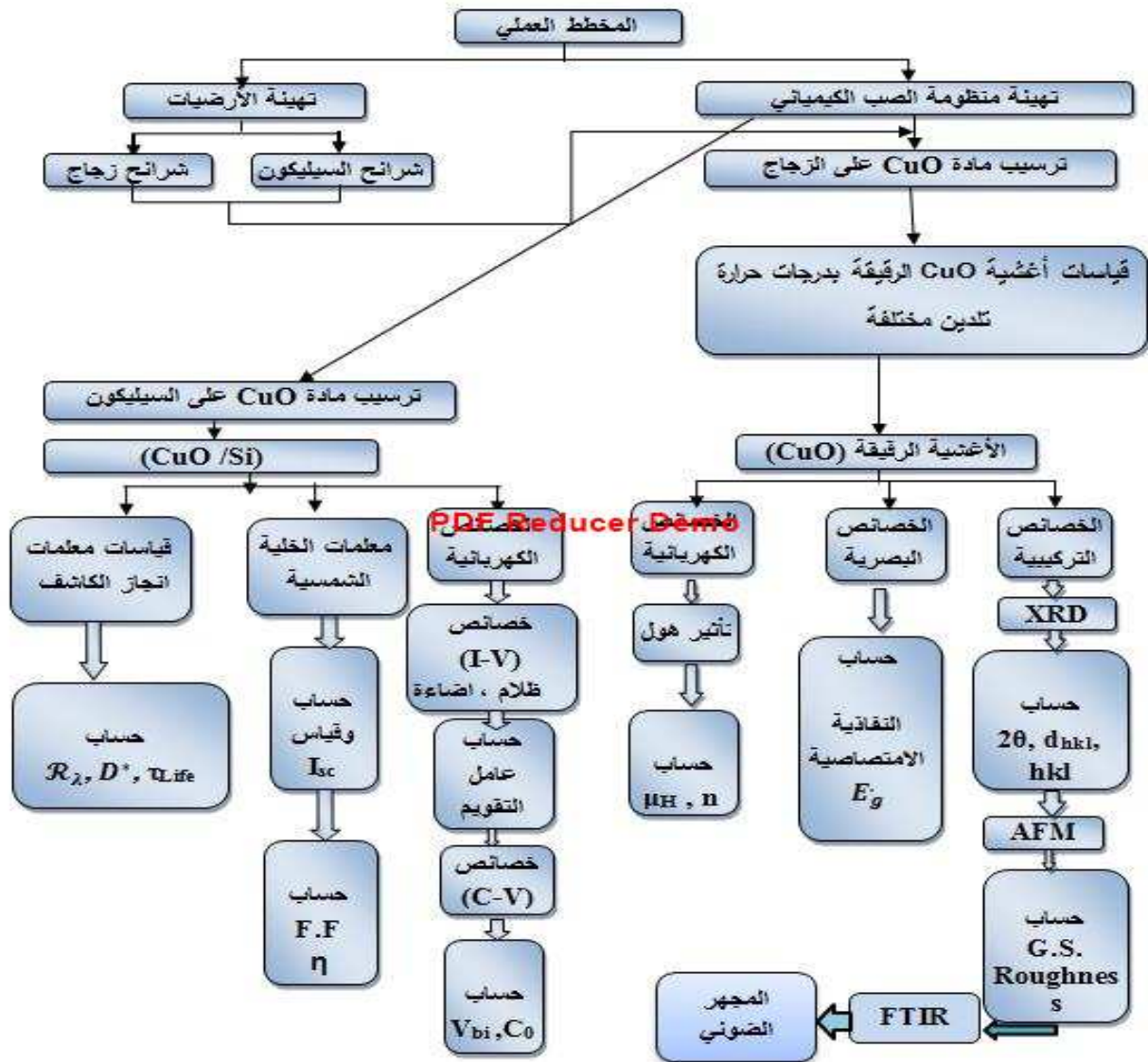
I_m : أعلى قيمة للتيار

الفصل الثالث

الجانب العملي

1-3 المقدمة Introduction

يتضمن هذا الفصل عرضاً لطريقة تحضير أغشية أكسيد النحاس (CuO) الرقيقة باستخدام تقانة الصب الكيميائي (Drop casting) واختيار القواعد وتنظيفها ومن ثم ترسيب الأغشية عليها للحصول على أغشية رقيقة وبالمواصفات المطلوبة والفحوصات التي اجريت على هذه الاغشية يوضح الشكل (1-3) مخططاً للخطوات المتبعة في الجزء العملي.

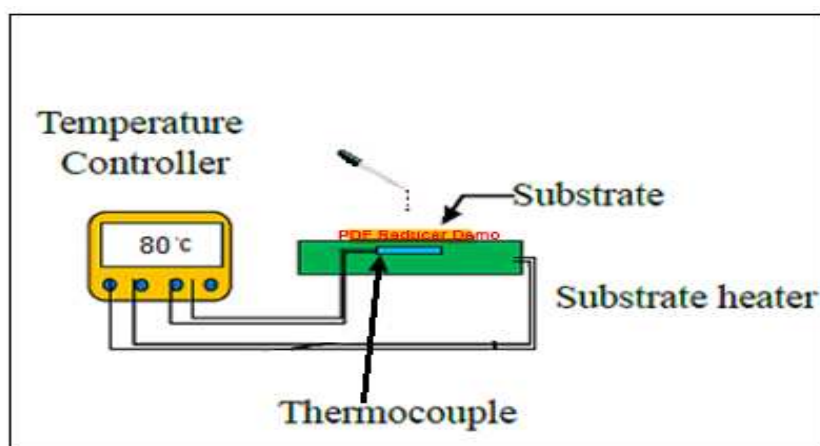


الشكل (1-3): مخطط الخطوات المتبعة في الجزء العملي.

Drop casting method

2-3 طريقة الصب بالقطرة

تستخدم طريقة الصب الكيميائي للحصول على الأغشية الرقيقة كما موضحة بالشكل (2-3) وذلك بترسيب الغشاء على ارضيات من الزجاج او السيليكون او الألمنيوم على قاعدة ساخنة بدرجات حرارة تعتمد على نوع المادة المراد ترسيبها، وهي الطريقة المستخدمة في البحث للحصول على غشاء (CuO).



شكل (2-3) مخطط لترسيب الاغشية بطريقة الصب بالقطرة

3-3 تحضير العينات Samples Preparation

1-3-3 تنظيف الأرضيات {القواعد} Substrates Cleaning

تم ترسيب الأغشية الرقيقة في هذه الدراسة على نوعين من الأرضيات:

A. النوع الأول: قواعد زجاجية مصنوعة من شرائح زجاج البورسليكات ذات سمك (1 mm) بأبعاد

mm (26x76) مُجهزة من شركة (Superior) ألمانية المنشأ، إذ قُطعت الشريحة الزجاجية إلى

أربع قطع متساوية. وتخضع عملية تنظيف القواعد الزجاجية لعدة مراحل، هي:

1. تُقطع كل شريحة زجاجية إلى أربع أرضيات متساوية بأبعاد mm (26x19).

2. تُغسل القواعد الزجاجية أولاً بالماء الاعتيادي المخلوط بمساحيق التنظيف لإزالة الأوساخ التقليدية

من بقع زيتية أو بقايا مواد أو أتربة عالقة بها.

٣. تُغمر القواعد كلياً بحوض من الماء المُقطر (Distilled Water) لكي تُغسل آلياً باستعمال

جهاز الرجاج الكهربائي الذي يعمل بالأموح فوق الصوتية (Ultrasonic) لمدة (15) دقيقة.

٤. تُغمر القواعد مرة أخرى بحوض من كحول الإيثانول (C_2H_5OH) عالي النقاوة (99%) لتُغسل

آلياً باستعمال جهاز (Ultrasonic) ذاته لمدة (15) دقيقة.

٥. وأخيراً تجفف الأرضيات جيداً بواسطة أوراق الترشيح، ثم بالهواء الجاف باستعمال جهاز

(Blower)، بعدها توضع على مسخن (هيتز) بدرجات حرارة $80^{\circ}C$.

B. النوع الثاني: قواعد شرائح سيليكونية (Si) أحادية البلورة (Single Crystal) من النوع القابل

(n-type)، ذات اتجاهية بلورية (100) بمقاومية كهربائية ($1-10 \Omega.cm$) بقطر

(125+0.4mm) المُجهزة من شركة (Deutsche Solar AG) الألمانية، وتتضمن مراحل

تنظيفها:

١. تُقَطَّع شرائح السيليكون إلى أرضيات سيليكونية بأبعاد $\{ (25 \times 20) \times 0.2 \} mm^3$.

٢. يتم إجراء عملية التتميش الكيميائي (Chemical Etching) للتخلص من الشوائب وطبقة

الأوكسيد المتكونة من الجو على سطح (Si)، إذ يتم غمر الأرضيات السيليكونية في حامض

الهيدروفلوريك (HF) المخفف بنسبة (1:10) $HF:H_2O$ أي بتركيز (10%) لمدة (5) دقائق،

إذ إن لهذا الحامض القابلية على إزالة طبقة الأوكسيد المتولدة على سطح السيليكون من دون

التأثير في (Si) نفسه.

٣. تُغسل الأرضيات (بالماء المقطر ثم بكحول الإيثانول) لمدة (5) دقائق لغرض إزالة الحامض

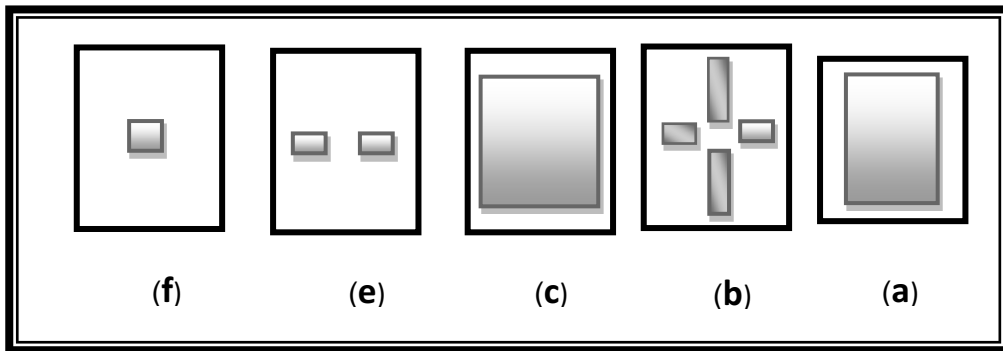
وضمن التنظيف الجيد للأرضيات، وأخيراً تجفف الأرضيات السيليكونية بأوراق الترشيح

وبالهواء الساخن، وبذلك تكون جاهزة للاستعمال والترسيب.

يكمُن سبب اتباع كل هذه المراحل في تنظيف الأرضيات بنوعيتها في أن نظافة الأرضيات لها تأثير كبير وواضح في طبيعة تركيب مادة الغشاء الرقيق المحضر المترسب على هذه الأرضيات؛ لأن الشوائب والذرات العالقة والأتربة ستؤثر جداً في تغيير الصفات الفيزيائية للأغشية المحضرة وفي دقة نتائج القياسات المدروسة عملياً.

3-3-2 تحضير الأقنعة Masks Preparation

بعد ان تتم عملية تنظيف الأرضيات الزجاجية والسيليكونية، يتم تحضير الأقنعة الخاصة بترسيب أغشية CuO النقية وأقطاب التوصيل الكهربائي. الأقنعة (Masks) المُصنعة هي عبارة عن رقائق (Folios) من الألمنيوم النقي، وذلك لتوفرها ولسهولة تشكيل هذه الأقنعة عليه بحيث تكون مساحة الأقنعة تساوي مساحة الأرضيات الزجاجية والسيليكونية المستعملة لتحضير الأغشية، التي يتم عمل الفتحات والأشكال الهندسية المناسبة على وفق شكل ومساحة الأقطاب المطلوبة لعملية الترسيب الخاصة بالنماذج النقية والأقنعة الخاصة بأقطاب التوصيلات الكهربائية. ويوضح الشكل (3-3) أنواعاً مختلفة من الأقنعة المستعملة في هذه الدراسة.



الشكل (3-3): نماذج مختلفة من الأقنعة المستعملة في هذه الدراسة مع أبعادها الهندسية.

(a) القناع المستعمل لترسيب غشاء (CuO) بمساحة $1 \times 1.5 \text{ cm}^2$ على الأرضيات الزجاجية والسيليكونية،
 (b) قناع ترسيب أقطاب تأثير هول، عرض كل قطب 0.4 cm والمسافة بين كل قطبين متقابلين 0.6 cm ،
 (c) قناع ترسيب أقطاب التوصيل ظهر القاعدة السيليكونية بمساحة $1.2 \times 1.6 \text{ cm}^2$ ، (e) قناع

ترسيب أقطاب التوصيل على الأغشية المحضرة (f) قناع ترسيب أقطاب التوصيل على الأغشية المحضرة فوق وجه القاعدة السيليكونية لدراسة خصائص معلمات الكواشف الضوئية المحضرة.

4-3 عملية ترسيب أقطاب الألمنيوم

تم ترسيب أقطاب الألمنيوم لغرض عملية التوصيلية الكهربائية مع النبائط الأخرى باستخدام سلك من الألمنيوم عالي النقاوة (99%) بطريقة التبخير الحراري في الفراغ (Thermal Evaporation in Vacuum) بواسطة منظومة من نوع (Edward) وباستخدام حويض من التنتستن تحت ضغط (10^{-5} Torr)، وقد ثبتت الاسلاك على طرفي الكاشف.

5-3 تحضير أغشية النقية: (CuO) Pure Film

لتحضير أغشية (CuO) الرقيقة تم استخدام اسيتات النحاس المائية $Cu(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$ المجهزة من شركة (CDH-INDIA)، وهي مادة بشكل مسحوق أزرق اللون ووزنها الجزيئي (199.65g/mol). ولتحضير المحلول بدرجة حرارة الغرفة تتم اذابة (1.9965 g) من اسيتات النحاس المائية في (100 ml) من الماء المقطر، ويستخدم الخلاط المغناطيسي (Magnetic Stirrer) لمدة (10min) للحصول على محلول رائق أزرق اللون. وللحصول على الوزن المراد إذابته نستخدم العلاقة:

$$M = \frac{Mt}{Mwt} * \left(\frac{1000}{V}\right) \text{ --- (1-3)}$$

إذ ان:

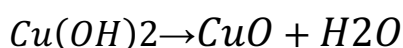
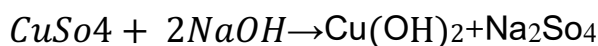
M: التركيز المولاري ويساوي (0.1mol/l).

Mt: كتلة مادة اسيتات النحاس المائية.

Mwt: الوزن الجزيئي لمادة اسيتات النحاس المائية.

V: حجم الماء المقطر (100ml).

ولحساب كتلة مادة اسيتات النحاس المائية ($\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) استُخدم ميزان إلكتروني حساس (Mettler A.E- 160) تبلغ حساسيته (10^{-4}g) والمعادلة الكيميائية الآتية توضح عملية التحلل لمركب المحلول المستخدم:



6-3 قياس سُمك الأغشية Films Thickness Measurement

الطريقة الوزنية (Gravimetric Method) في هذه الطريقة يتم استخدام ميزان إلكتروني حساس نوع (Precisa-Swiss) حساسية اربع مراتب عشرية، إذ تقوم بقياس كتلة الأرضيات الزجاجية المُعدة للترسيب قبل عملية ترسيب المادة عليها وبعد عملية الترسيب. وبواسطته يمكن إيجاد الفرق بين الكتلتين الذي يمثل كتلة مادة الغشاء المُحضر، وكذلك قياس أبعاد مساحة الغشاء، إذ يتم الحصول على سمك الغشاء المُحضر (t) على وفق العلاقة الآتية:

$$t = \frac{\Delta m}{A \cdot \rho_f} = \frac{(m_2 - m_1)}{A \cdot \rho_f} \dots \dots \dots (2-3)$$

إذ إن m_1 : كتلة الأرضية الزجاجية قبل الترسيب ب (g)، m_2 : كتلة الأرضية الزجاجية بعد الترسيب ب (g). A : مساحة الغشاء ب (cm)، كثافة مادة الغشاء $\rho_f(\text{CuO}) = 6.31 \text{ g/cm}^3$.
 t : سُمك الغشاء الرقيق المُحضر المُقاس بوحدات (nm).

7-3 تشخيص تركيب الأغشية المُحضرة بتقنية حيود الأشعة السينية

Investigation the Structural of Prepared Films by (XRD) Technique

يتم تشخيص نوع التركيب البلوري لأي مادة عن طريق دراسة نمط الحيود للأشعة السينية (XRD) لتلك المادة. وتم في هذه الدراسة قياسات حيود الأشعة السينية للسبائك المحضرة وللأغشية

المرسبة ضمن المدى الزاوي ($2\theta=20^{\circ}-80^{\circ}$) لأجل معرفة نوع تركيبها البلوري باستعمال جهاز حيود الأشعة السينية بالمواصفات الآتية:

X-Ray Tube

Target: Cu k_{α} .

Wave Length: (λ_{X-Ray}) = **1.5406 nm** .

Voltage: 40 KV.

Current: 30 mA.

Speed: 5 (deg./min)

Scanning Measurements

Axis: Theta – (2θ).

Scan Mode: Continuous Scan.

Range: (20–80) (deg.).

Step: 0.05 (deg.).

وتم إيجاد المسافة بين المستويات البلورية (d) بالاعتماد على قانون براك (*Bragge Law*)

المعادلة (1-2)، عن طريق إيجاد كل من ($hkl, 2\theta$) ومقارنتها بالجدول القياسية لبطاقات

[American standard for testing materials] (ASTM) يتم التعرف على نوع التركيب

البلوري للمادة المستخدمة وأبعاد خلية الوحدة.

8-3 قياسات مجهر القوة الذرية (AFM)

Atomic Force Microscope Measurements (AFM)

تم استخدام تقانة (AFM) لدراسة تأثير السمك في طوبوغرافية سطوح أغشية العينات

المحضرة، باستعمال جهاز نوع (SPM-AA3000 contact mode spectrometer,

Angstrom) المجهز من شركة (Advanced Inc. company, USA)، للحصول على صور

ثنائية الأبعاد وثلاثية الأبعاد تصف السطح من حيث معامل الخشونة (Roughness)، والحجم

الحبيبي (grain Size).

9-3 القياسات البصرية Optical Measurements

تضمنت قياسات الخصائص البصرية قياس طيف النفاذية (T) والامتصاصية (A) للأغشية

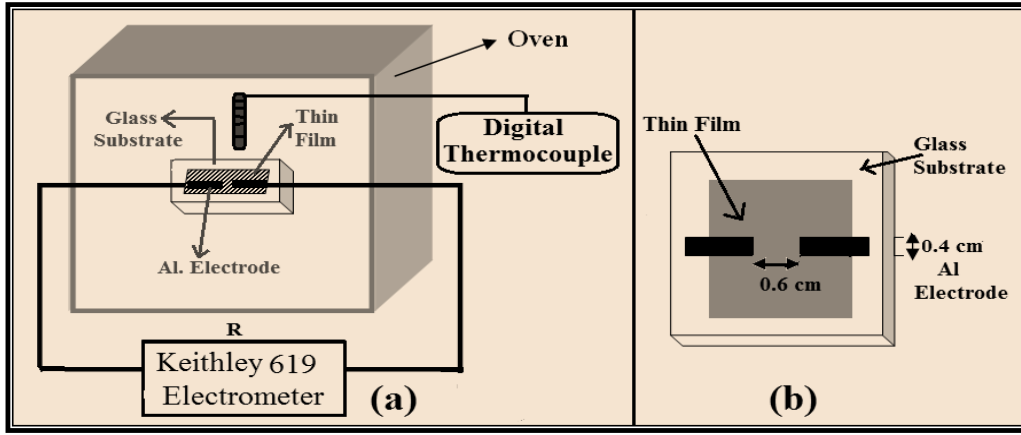
المرسبة كافة على الأرضيات الزجاجية، وذلك باستخدام مطياف نوع 1800 (UV-Visible)

(Spectra Photometer)، إذ يتم قياس قيم النفاذية والامتصاصية بوصفها دوال لتغير الطول الموجي الساقط (λ) على العينة ضمن مدى الطول الموجي (300-900)nm، وكذلك إيجاد فجوة الطاقة البصرية.

3-10 القياسات الكهربائية (Electrical Measurements):

3-10-1 قياس تأثير هول (Hall Effect Measurement):

اجري قياس تأثير هول (في درجة حرارة الغرفة) على جميع الأغشية المحضرة المترسبة على أرضيات زجاجية ، وذلك من اجل معرفة نوع حاملات الشحنة الأغلبية (Majority Carriers) عن طريق إيجاد معامل هول (R_H) الذي بواسطته يتم حساب تركيز الحاملات (n) وتحركيتها (μ)، إذ تم وضع الاغشية المحضرة بعد ترسيب أقطاب التوصيل عليه بصورة عمودية أمام مجال مغناطيسي (B_z) ثابت وشدته تساوي ($B = 0.25$) Tesla (Wb/m^2) متعامد مع مجال كهربائي يمر خلال العينة، في اي نقطة من القياسات تخلق تغيراً في تدفق التيار في داخل الغشاء اي باختلاف الجهد عن طريق مُجهز قدرة مستمرة (D.C Power Supply) نوع (Tandem) مربوط على التوالي مع جهاز قياس التيار (Ammeter) لقياس التيار المار في الغشاء الرقيق (I_x)، في حين تم ربط القطبين المتوازيين الآخرين من أقطاب الغشاء بأسلاك التوصيل النحاسية المعزولة مع طرفي جهاز قياس الفولتية (Voltmeter) على التوازي لقياس فولتية هول (V_H) المتولدة على طرفي الغشاء الرقيق، وتجدر الإشارة هنا إلى أن طريقة توصيل أسلاك النحاس مع أقطاب الغشاء تمت باستعمال لحام عجينة الفضة (SilverPaste)، وأن جهازي الأميتر والفولتميتر الرقميين من نوع (Keithily-616 Digital) والفولتميتر من نوع (Keithily. 177 Micro Voh Dmm) وكما موضح بالشكل (3-4).



الشكل (3-4): (a) مخطط الدائرة الكهربائية المستخدمة لقياس التوصيلية الكهربائية المستمرة ($\sigma_{d.c}$).
(b) مخطط شكل العينة المستخدمة في قياس $\sigma_{d.c}$ بعد ترسيب أقطاب التوصيل عليها.

11-3 الخصائص الكهربائية للمفروق الهجين

Electrical Properties of Heterojunction

1-11-3 قياس خصائص (تيار-جهد) في حالة الظلام:

(Current-Voltage) Characteristics Measurement in the Dark Condition

يتم قياس خصائص ($I-V$) في حالة الظلام وعند درجة حرارة الغرفة بوضع الكاشف الضوئي في داخل حجرة مظلمة وربطه بالدائرة الكهربائية، عن طريق قياس تيار الظلام (I_d) وفولتية الانحياز (V) المُسلطة عند الانحياز الأمامي (Forward Bias) بربط الجزء السالب من الكاشف بالجهد السالب لمجهز القدرة، ويربط الجزء الموجب من الكاشف بالجهد الموجب لمجهز القدرة باستعمال المقياس الرقمي ذي القنوات من نوع (Keithily- 616 digital electrometer, Tektronics CDM 250) multimeter dual Farnel LT30/2 (0- 10)V power supply)، إذ يتم قياس التيار (I_d) في إحدى قنواته وقياس الفولتية (V) على القناة الأخرى للمقياس الرقمي. ويتم قياس تيار الظلام وفولتية الانحياز اي للانحياز العكسي (Reverse Bias) وذلك بربط الجزء السالب من الكاشف بالجهد الموجب لمجهز القدرة المستمرة، ويربط الجزء الموجب من الكاشف بالجهد السالب لمجهز القدرة. وأن دراسة هذه الخصائص تمت ضمن مدى جهد

الانحياز (0-10) Volts) المُجهز من مجهز القدرة المستمرة (D.C Power Supply) المستعمل من نوع (Dazheng: PS-303D)، ترسم العلاقة البيانية بين تيار الانحياز الامامي وجهد الانحياز المُسلط، وكذلك يمكن ايجاد قيمة عامل المثالية (n_f) (Ideality factor) على وفق المعادلة (2-25)، [92,76]:

2-11-3 قياس خصائص (تيار-جهد) عند الإضاءة

Current-Voltage) Characteristics Measurement under Illumination

تم استعمال الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل a (7-3) لدراسة هذه الخصائص، اذ تم قياس التيار الضوئي المتولد (I_{ph}) للكواشف المُحضرة كدالة لجهد الانحياز العكسي (V) المُسلط، إذ تم تعريض الكاشف الضوئي لضوء أبيض من مصباح هالوجين (Halogen Lamp- (24V,50W) مُجهز من شركة (Wotan-Germany) بكثافة قدرة ضوئية مقدارها ($26.6\mu W$)، وأن جهد الانحياز العكسي المُسلط على الكاشف متغير ضمن المدى (0-10)Volts، مع مقارنة قيم التيار الضوئي المتولد من إضاءة الكاشف مع قيم تيار الظلام للكاشف تحت الجهد العكسي المُسلط نفسه. علماً بأن جهازي الأميتر والفولتميتر الرقميين المبروتين في الدائرة الكهربائية من نوع (UT136) جُهزا من شركة (UNI-Trend Group: Hong Kong) وأن القدرة الإشعاعية الساقطة على الكاشف الضوئي من المصباح تم تحديد قيمتها (إجراء مُعايرة لضوء المصباح) باستعمال مقياس القدرة الضوئية (Power Meter) نوع (LP1) من شركة (Sanwa Electric Instrument Com.-Tokyo)

3-11-3 قياس خصائص (سعة- جهد)

Capacitance – Voltage) Characteristics Measurement

تمت قياسات خصائص (سعة- جهد) للكواشف تحت جهد الانحياز العكسي ضمن المدى (0-10)Volts باستخدام تردد واحد هو (10)KHz، وذلك باستعمال جهاز (LCR-Meter) نوع (Hewlett –Packard: LCR-4261A). ان قياس (C-V) مهم في تحديد جهد البناء الداخلي (V_{bi}) ومعرفة نوع الاتصال للمفرق الهجين (حاد Abrupt أو مُتدرج Graded)، إذ يتم إيجاد قيمة (V_{bi}) عملياً من رسم العلاقة البيانية بين ($1/C^2$) وجهد الانحياز العكسي (V) المُسلط، وإن نقطة تقاطع الخط المستقيم مع محور الجهد تمثل قيمة (V_{bi})، وكذلك إيجاد سعة منطقة النضوب لوحدة المساحة (C_0) عند النقطة التقاطع ($V=0$) وأن طريقة قياس هذه المتغيرات من الرسم البياني بين محور (V) ومحور ($1/C^2$).

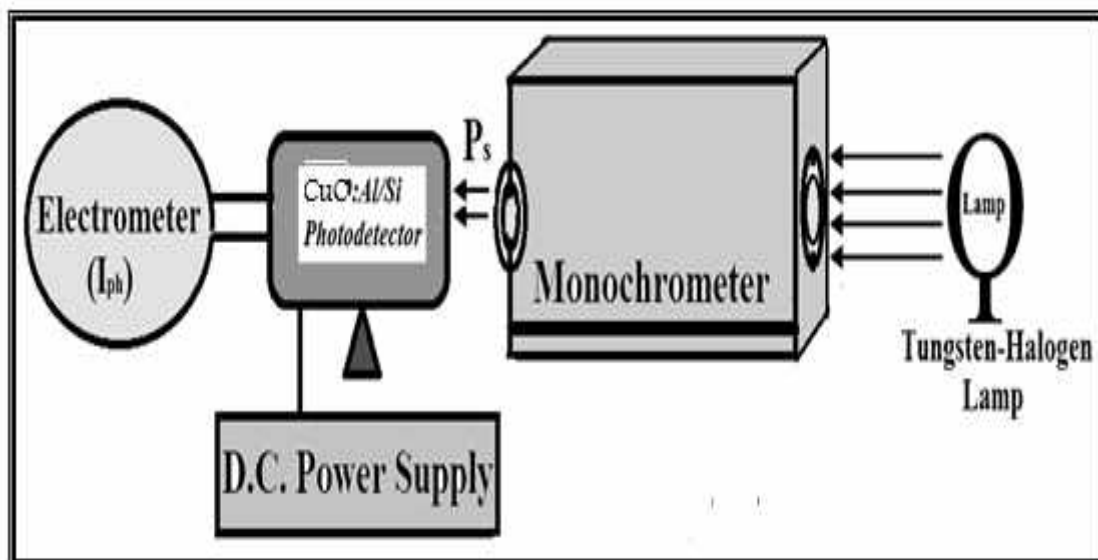
12-3 قياسات خصائص الكاشف الضوئي:

Photodetector properties Measurements

1-12-3 قياس الاستجابة الطيفية (R_λ):

Spectral Responsively Measurement

تم قياس الاستجابة الطيفية باستخدام منظومة فحص الكواشف الضوئية المُحضرة عن طريق تسجيل قيم التيار المار عبر الكاشف وبقدرة (120) mW/cm²، وتم تعريض الكواشف لأشعة ضمن المدى الطيفي (400-900) nm $\lambda =$ وذلك بتحديد مقدار قيمة الاستجابة الطيفية (R_λ) لكل طول موجي ساقط (λ) على الكاشف، إذ يتم قياس مقدار التيار الضوئي المتولد (I_{ph}) عن كل طول موجي ساقط باستخدام العلاقة (2-39).



الشكل (3-5): المنظومة المستعملة في قياس الاستجابة الطيفية للكواشف الضوئية المحضرة.

2-12-3 حساب الكشفية النوعية (D^*)

Specific Detectivity Measurement:-

تم حساب الكشفية النوعية (D^*) للكواشف المحضرة بوصفها دالة للطول الموجي باستخدام

العلاقة (2-42).

3-11-3 قياس زمن وفترة حياة الحاملات الشحنة الاقلية:

Minority Carrier Life Time measurement

تم حساب زمن الاستجابة وفترة حياة الحاملات بواسطة جهاز لقياس زمن الاستجابة بقدرة

(200)MHz نوع (Digital Storage Oscilloscope – Twintex – TSO 1202).

13-3 قياسات معلمات الخلية الشمسية:

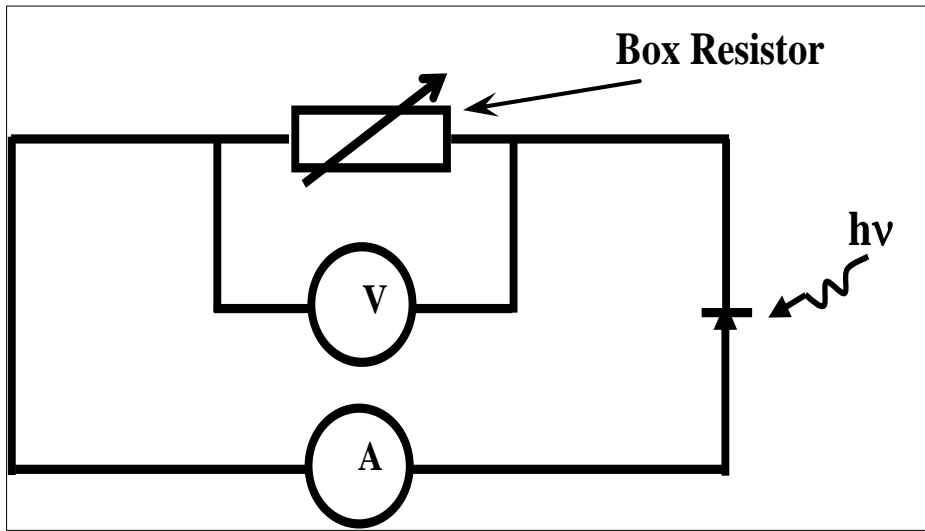
1-13-3 قياس فولتية الدائرة المفتوحة V_{oc}

Open-Circuit Voltage Measurement

تم قياس قيمة فولتية الدائرة المفتوحة (V_{oc})، التي تمثل مقدار الفولتية المتولدة في الكاشف

الضوئي في حالة غياب تسليط جهد انحياز خارجي على الكاشف وهي دالة لشدة الضوء الساقط،

ويكثافة قدرة ضوئية مقدارها 40 mW/cm^2 ، باستعمال المقياس الرقمي من نوع Keithly 619 (Digital Electrometer). وكذلك باستعمال صندوق مقاومات تتراوح قيمته من $(1-100) \text{ M}\Omega$ ، وبعد أن تم تحديد القيم العظمى لكل من التيار والفولتية (V_m, I_m) والتيار الدائرة القصيرة (I_{sc})، وفولتية الدائرة المفتوحة (V_{oc}) وعامل الملء والكفاءة التحويلية عن طريق رسم العلاقة بين كثافة التيار والفولتية؛ تم اعتماد المعادلتين (2-46) و(2-47) لحساب الكفاءة التحويلية ($\eta\%$) وعامل الملء (F.F.) على التوالي.

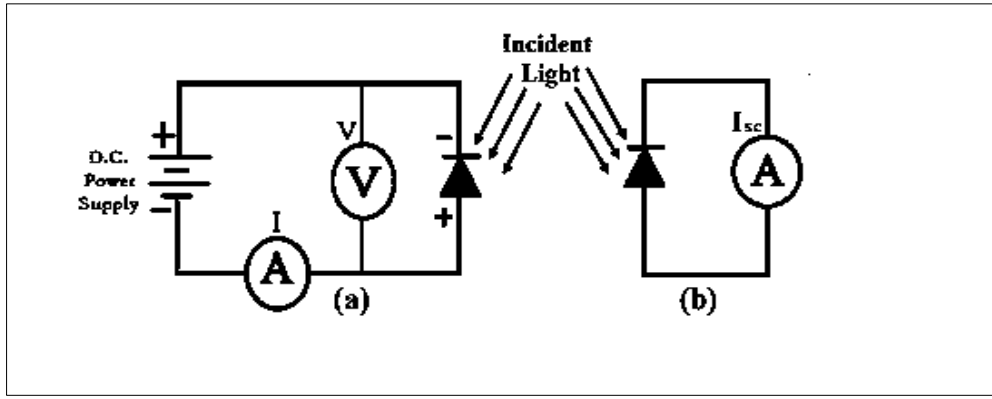


الشكل (3-6): مخطط الدائرة الكهربائية لقياس فولتية الدائرة المفتوحة.

2-13-3 قياس تيار الدائرة القصيرة I_{sc}

Short-Circuit Current Measurement

تم استعمال الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل (3-7) لقياس قيمة تيار الدائرة القصيرة (I_{sc})، الذي يمثل مقدار التيار الضوئي المتولد في الكاشف الضوئي في حالة غياب تسليط جهد انحياز خارجي على الكاشف، وهو دالة لشدة الضوء الساقط كما في المعادلة (2-44)، بقدرة ضوئية مقدارها 40 mW ، وتم قياس تيار الدائرة القصيرة (I_{sc}) المتولد باستعمال جهاز المقياس الرقمي نوع (Keithley 619 Digital Electrometer/Multimeter).



الشكل (3-7): مخطط الدائرة الكهربائية المستعملة في القياسات الكهروضوئية لقياس

(a) خصائص (تيار-جهد) عند الإضاءة، (b) تيار الدائرة القصيرة (I_{sc}).

الفصل الرابع

تحليل النتائج
ومناقشتها

1-4 المقدمة Introduction

يتناول هذا الفصل مناقشة النتائج التي تم الحصول عليها والعوامل المؤثرة في أداء الكواشف المحضرة من الأغشية الرقيقة (CuO) المرسبة على قواعد السيليكون. وتضمنت الدراسة الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية والكهرو بصرية. وتم تلدين الاغشية المحضرة بطريقة الصب بالقطرة عند سمك ثابت $(250\pm 5)\text{nm}$ بدرجات حرارة تلدين مختلفة $(\text{As} - \text{prepared}, 100, 200, 300)^\circ\text{C}$ ، وتمت مقارنة النتائج المستحصلة مع نتائج الدراسات والبحوث المنشورة مع استعراض لاهم الاستنتاجات التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة.

2-4 الخصائص التركيبية Structural Properties

تم ترسيب اغشية اوكسيد النحاس على قواعد زجاجية بطريقة الصب عند درجة حرارة لاتزيد عن 80°C وذلك للحصول على سطح غشاء منتظم ومتجانس.

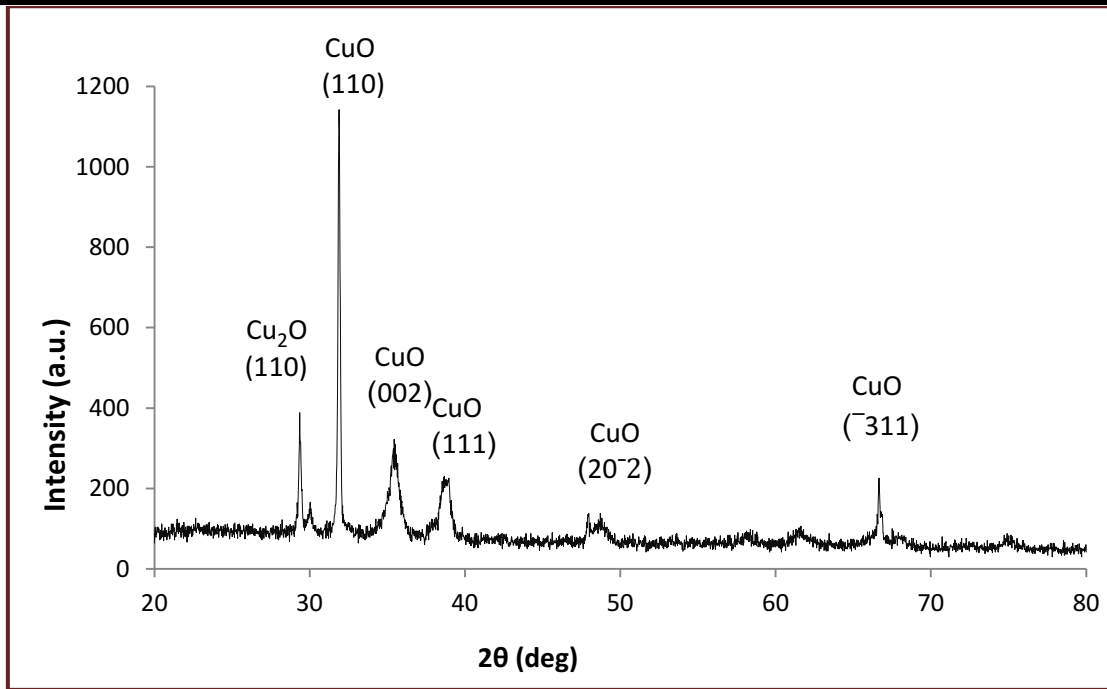
اظهرت نتائج حيود الاشعة السينية (XRD) لجميع اغشية (CuO) النقية والملدنه بدرجات حرارة مختلفة انها ذات تركيب متعدد التبلور ومن النوع احادي الميل. ونلاحظ من الشكل (1-4) ان الاتجاه السائد هو (110) مع وجود عدة قمم، واظهرت الاغشية المحضرة بدون تلدين المستويات البلورية $(\bar{3}11)$ $(20\bar{2})$ (111) (002) (110) ، وفي درجة حرارة 100°C نلاحظ ظهور العديد من القمم كما في الشكل (2-4). وظهرت المستويات البلورية $(31\bar{1})$ $(11\bar{3})$ (202) (004) ، ويعزى ذلك الى حدوث انماء بلوري في غشاء (CuO) بسبب زيادة في درجة الحرارة التلدين، اما في درجة حرارة تلدين (200°C) ، فتظهر القمم بارتفاعات اعلى مما هي عليه في درجة تلدين حرارة (100°C) مع ظهور مستويات جديدة $(\bar{3}11)$ $(20\bar{2})$ $(11\bar{2})$ (200) $(\bar{1}11)$ كما في الشكل (3-4)، وعند زيادة درجة حرارة التلدين للغشاء الى 300°C نلاحظ ظهور (Cu_2O) كقمة سائدة مع اختفاء العديد من القمم، إذ تظهر القمم بشدة اعلى مما هي عليه كما في الشكل (4-4)

وظهور قمم جديدة (220) (113) ($\bar{2}20$)، ونلاحظ مما ذكر ان هناك انحرافاً ضئيلاً في مواقع القمم حول قيم (2θ) في نمط الحيود لأغشية اوكسيد النحاس ونقصاناً في قيمة العرض الكامل عند منتصف الذروة العظمى (FWHM) للاتجاه السائد، ويمكن معرفة نوع التركيب عن طريق مقارنة أنموذج الحيود الناتجة من الفحص مع القيم في بطاقة (ASTM) وهذه النتيجة تتفق مع نتائج الباحثين [38,34] بالرغم من اختلاف طريقة وظروف التحضير.

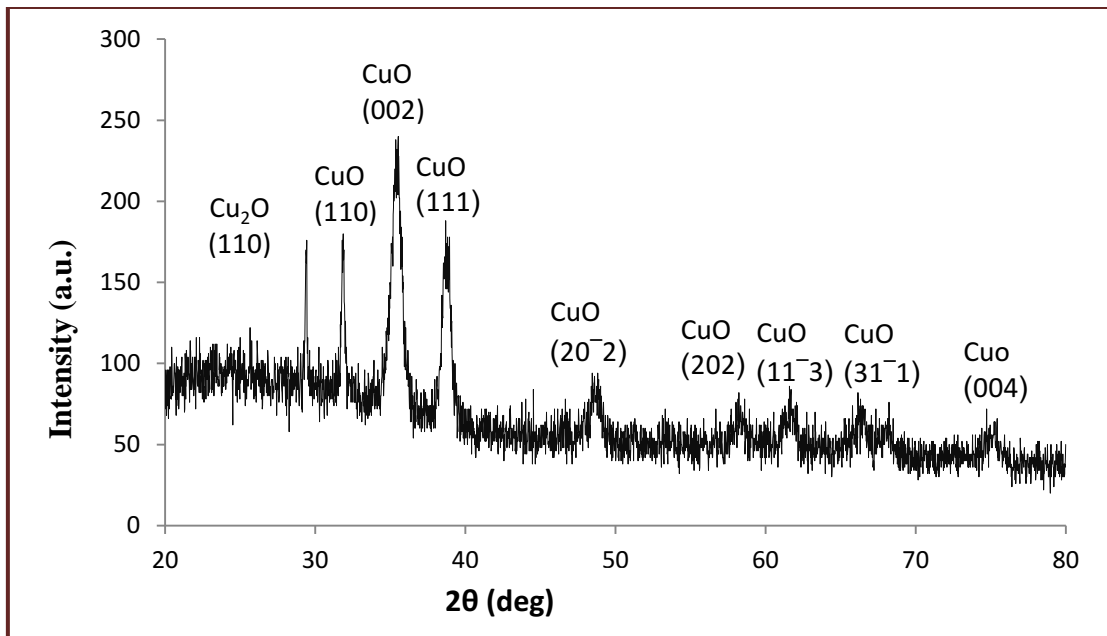
كما اظهرت ان قيم المسافة بين المستويات الذرية (d_{hkl}) لزوايا الحيود وسطوحها $\{2\theta\}$ التي تقابل موقع قمم الأغشية المحضرة للنماذج المميزة، تتطابق مع القيم في المواصفة الدولية [ASTM] المرقمة (005-0661) [93] كما مبين في الجدول (1-4).

ويبين الجدول (2-4) ان نتائج حيود الاشعة السينية للأغشية (CuO) المحضرة تمتلك المستويات البلورية (110)، (002)، ويعزى هذا النمو البلوري للأغشية في هذا الاتجاه إلى فرضية أنموذج (Van Der Drift) [94]، ويدعى بفرضية البقاء للأسرع (Survival of the fastest).

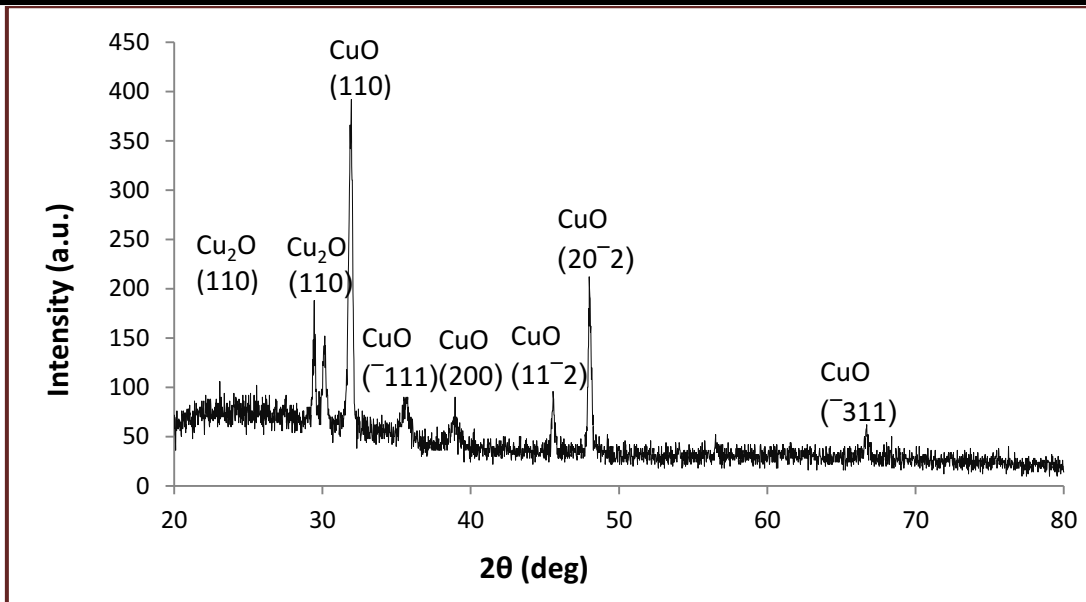
وتم الحصول على عرض المنحني (FWHM) بواسطة حيود الاشعة السينية (XRD) كما مبين في جدول (2-4)، اذ يلاحظ فيه تغير (FWHM) بزيادة درجة حرارة الاغشية المحضرة، مع تغير الحجم البلورية (G.S) وفقاً لمعادلة شرر (2-3)، مما يؤدي إلى تغير المسافة بين سطوح البلورات (d_{hkl}) كما موضح في الجدول (2-4)، وبالتالي فإن زوايا حيود للأشعة السينية (2θ) للقمم السائدة ازدادت حدة مع زيادة درجة الحرارة، والسبب يعود الى ان زيادة درجة الحرارة بمقدار معين يساعد الذرة على ان تمتلك حرية اكبر بالحركة، وبالتالي ان تكون في مكانها الصحيح من الشبكة، وبالتالي تصبح اكثر انتظاماً باتجاه حالة التبلور [71].



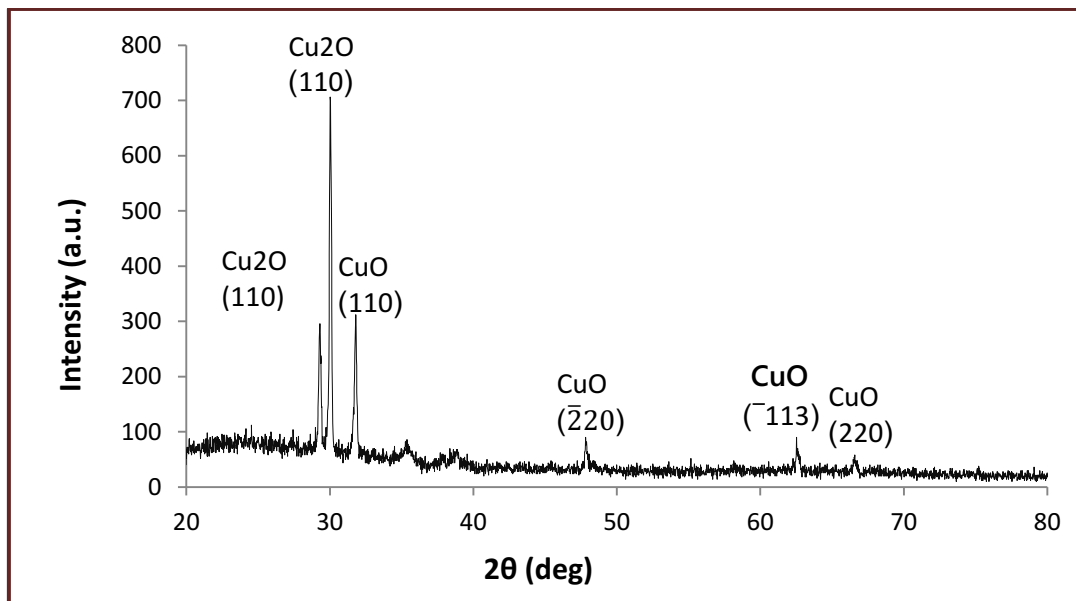
الشكل (1-4): حيود الأشعة السينية لغشاء CuO النقية المحضرة عند درجة حرارة الغرفة



الشكل (2-4): حيود الأشعة السينية لغشاء CuO بدرجة حرارة 100°C



الشكل (3-4): حيود الأشعة السينية لغشاء CuO بدرجة حرارة 200°C



الشكل (4-4): حيود الأشعة السينية لغشاء CuO بدرجة حرارة 300°C

يبين الجدول (1-4): مقارنة بين نتائج نماذج حيود الأشعة السينية (XRD) للاغشية (CuO)

المحضرة مع نتائج بطاقة (ASTM) لـ (CuO) المرقمة (005-0661). [93]

<i>Sample</i>	<i>2θ (deg)</i>	<i>2θ (deg)</i>	<i>d (Å)</i>	<i>d (Å)</i>	<i>(hkl)planes</i>
<i>CuO</i>	(ASTM)	Observed	(ASTM)	Observed	(ASTM)
<i>Thin films</i>					
As-prepared	29.7	29.4	3	3.03	(110)
	35.41	35.41	2.532	2.532	(110)
	48.71	48.73	1.86	1.86	(20 $\bar{2}$)
100°C	31.9	31.85	2.775	2.790	(110)
	35.417	35.419	2.532	2.532	(002)
	38.70	38.73	2.324	2.322	(111)
200°C	29.7	29.64	3.00	3.02	(110)
	32.22	31.92	2.77	2.80	(110)
	48.45	48.46	1.877	1.876	(20 $\bar{2}$)
300°C	29.703	29.76	3.005	3.043	(110)
	29.98	29.99	2.978	2.970	(110)
	32.22	32.01	2.77	2.79	(110)

يبين الجدول (2-4) نتائج حيود الأشعة السينية للقمة السائدة (110) لأغشية (CuO)

المحضرة.

CuO Thin film	2 Theta (deg)	β (FWHM) (deg)	G.S (nm)	$\delta \times 10^{14}$ lines .m ⁻²	$N_o \times 10^{-4}$ lines ⁻² .m ⁻⁴
As- prepeard	29.40	0.15	51.63	3.75	6.71
100°C	31.85	0.86	9.61	108.25	36.05
200°C	31.92	0.30	27.35	13.36	12.66
300°C	29.99	0.15	52.59	3.61	6.58

3-4 قياسات مجهر القوة الذرية (AFM):

The Atomic Force Microscope measurements

تم استعمال جهاز مجهر القوة الذرية لمعرفة طوبوغرافية وتضاريس سطوح الأغشية المحضرة، ودراسة تأثير تغير درجات الحرارة التلدين في خصائص هذه الاغشية والحصول على قيم ذات دقة عالية عن معدل الحجم الحبيبي وأعدادها وتوزيعها، ودرجة خشونة السطح اعتماداً على معدل الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخشونة (RMS)[95]. كما موضح في الجدول (3-4) والشكل (4-5)، فكلما زادت قيمة Roughness زاد معدل الخشونة (RMS) وبالعكس. تتغير قيمة الجذر التربيعي لمتوسط الخشونة (RMS) في اثناء عملية المسح لسطح الأغشية المدلنة بدرجات حرارة مختلفة في صور (AFM) ثلاثية الأبعاد (3D) الموضحة في الشكل (4-5)، اذ لوحظ ان جميع سطوح الأغشية تكون سطوحاً منتظمة ومتجانسة التوزيع بصورة مصفوفة افقية ذات قمم واطئة جداً تتجه الى الأعلى بنحو كروي تفصل بينها مسافات نانوية وان الأغشية تمتلك عدداً كبيراً من البلورات المصطفة والمتصلة بانتظام على السطوح وبلا شقوق بينية او فراغات وبلا ثقوب

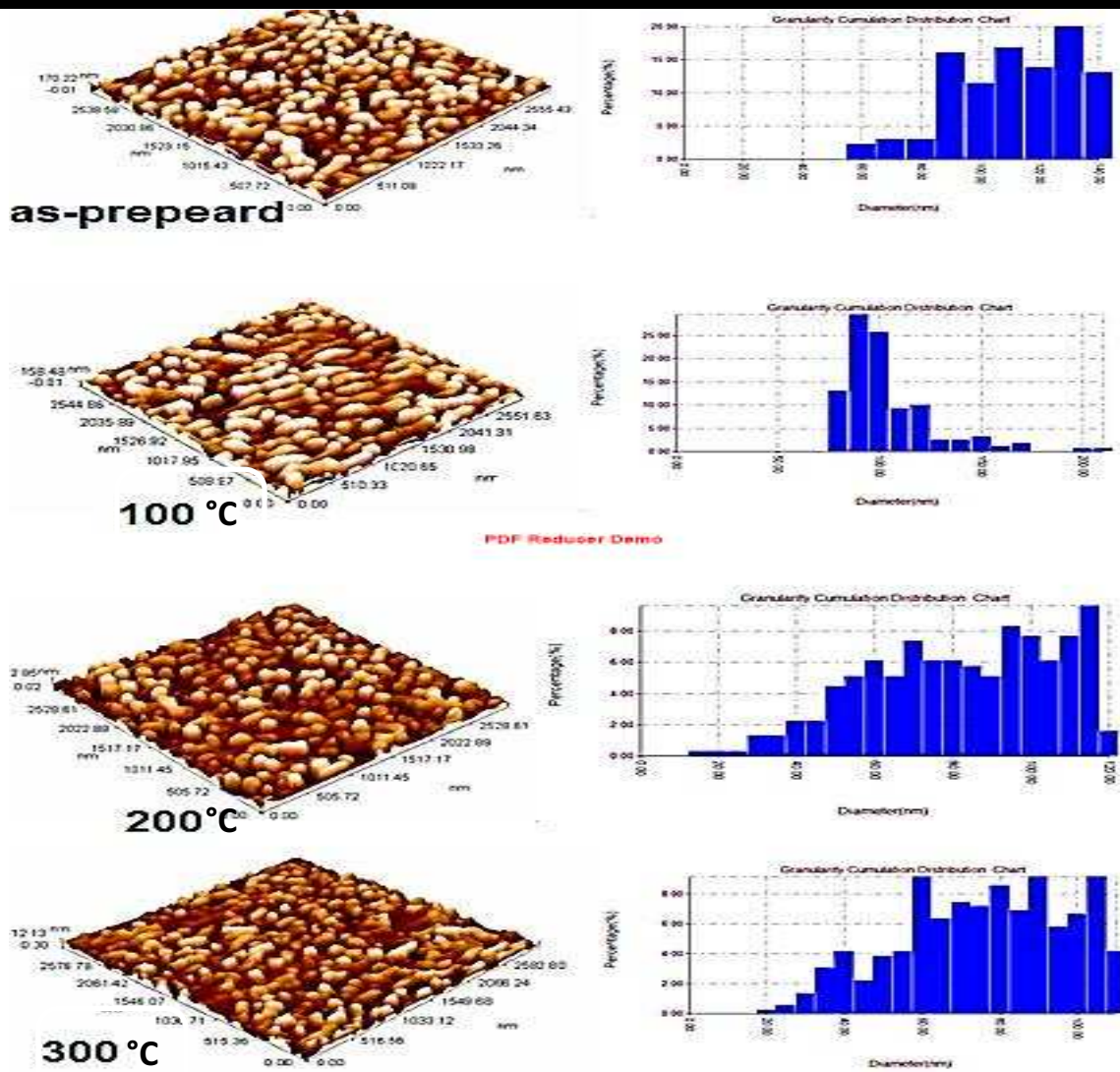
في التراكيب، وان أفضل انتظامية توزيع وتجانس بلورات نجده في حالة الغشاء المحضر عند درجة حرارة 300°C ، وهذا يدل على أن تضاريس وطوبوغرافية سطح الغشاء ذات تجانس عالٍ، لذلك تستعمل في تطبيقات الخلايا الشمسية ونبائط أشباه الموصلات للكواشف الضوئية. [32,39].

وبالمقارنة بين الجدولين (2-4) و(3-4)، نلاحظ وجود فرق بين قيم الحجم البلوري (Crystalite size) التي تم الحصول عليها باستخدام معادلة شرر من نتائج (XRD) وكذلك من قياسات (AFM). وهذا الفرق طبيعي نتيجة اختلاف آلية وتقانة القياس [95]، إذ أظهرت النتائج أن الخصائص التركيبية والطوبوغرافية للسطح تتحسن لأغشية (CuO) الملدنة عند درجات حراره مختلفة، مما جعلها ذات تطبيقات واسعة الانتشار في مجال النبائط الإلكتروضوئية والقياسات للحجم الحبيبي تعطي انطباعاً بأن الاغشية المحضرة تكون نانوية التركيب.

الجدول (3-4): تغير معدل خشونة السطح ومعدل الحجم البلوري لأغشية (CuO) المحضرة على الزجاج بدرجة

حرارة مختلفة.

CuO thin films	Average Diameter (nm)	Surface Average (nm)	(RMS)(nm)
As-prepared	73.25	2.26	2.71
100°C	79.8	0.568	0.62
200°C	99.5	37	43.40
300°C	106.93	40.3	47.10



الشكل (4-5): صور AFM لأغشية CuO النقية بدرجات حرارة تليدين مختلفة.

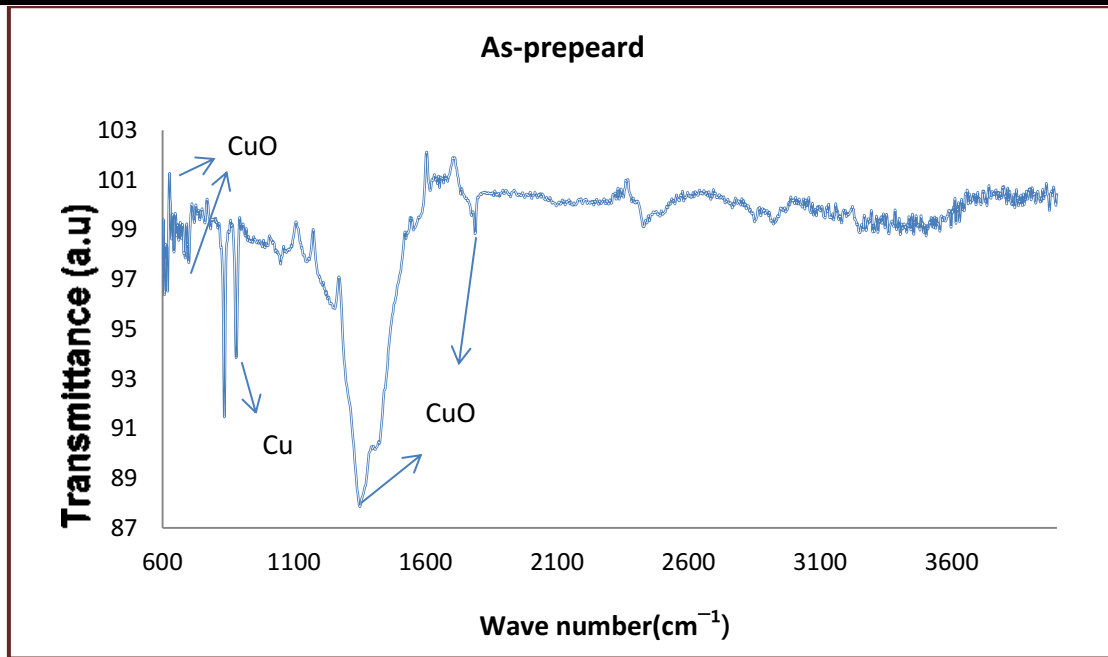
1-4-4 نتائج قياسات طيف الاشعة تحت الحمراء FTIR

Measurements of Infrared radiation spectrum

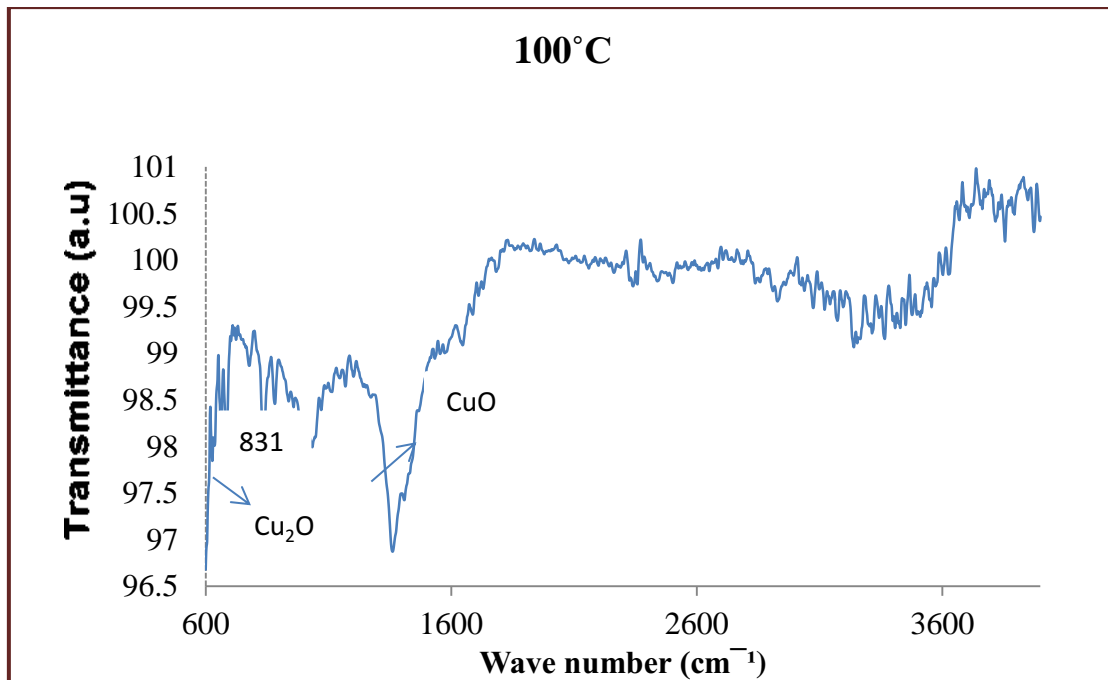
الاشكال الاربعة (4-6) (4-7) (4-8) (4-9) يمثل طيف الاشعة تحت الحمراء للاغشية

المحضرة والملدنه بدرجات حرارة تليدين $^{\circ}\text{C}$ (100,200,300) و ان هناك اصرة تربط بين النحاس

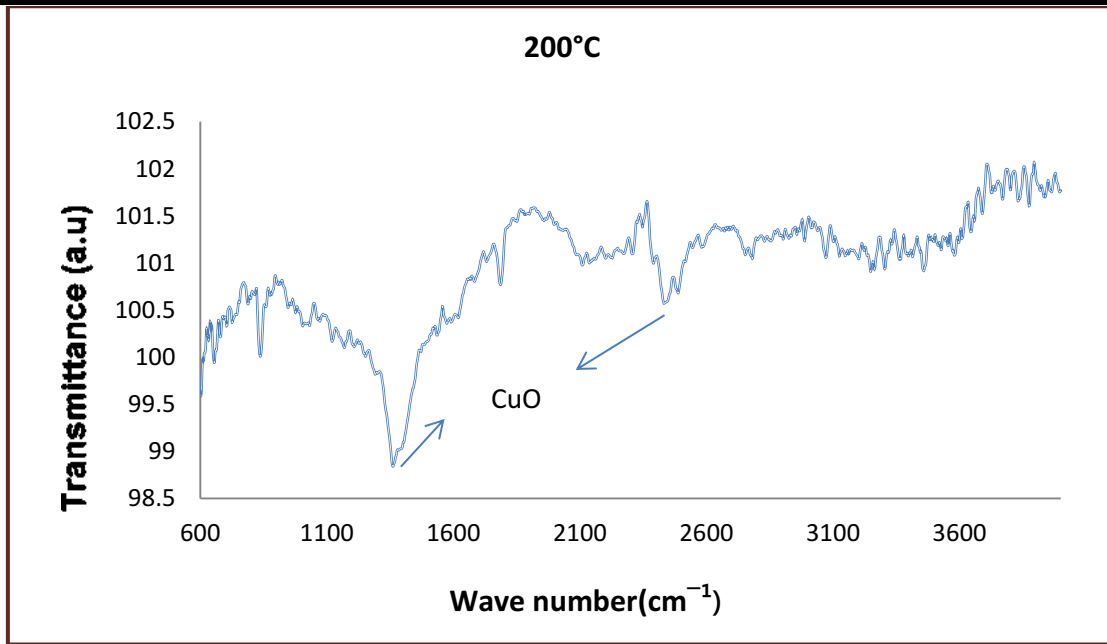
والاوكسجين عند المدى 1200 تقريبا.



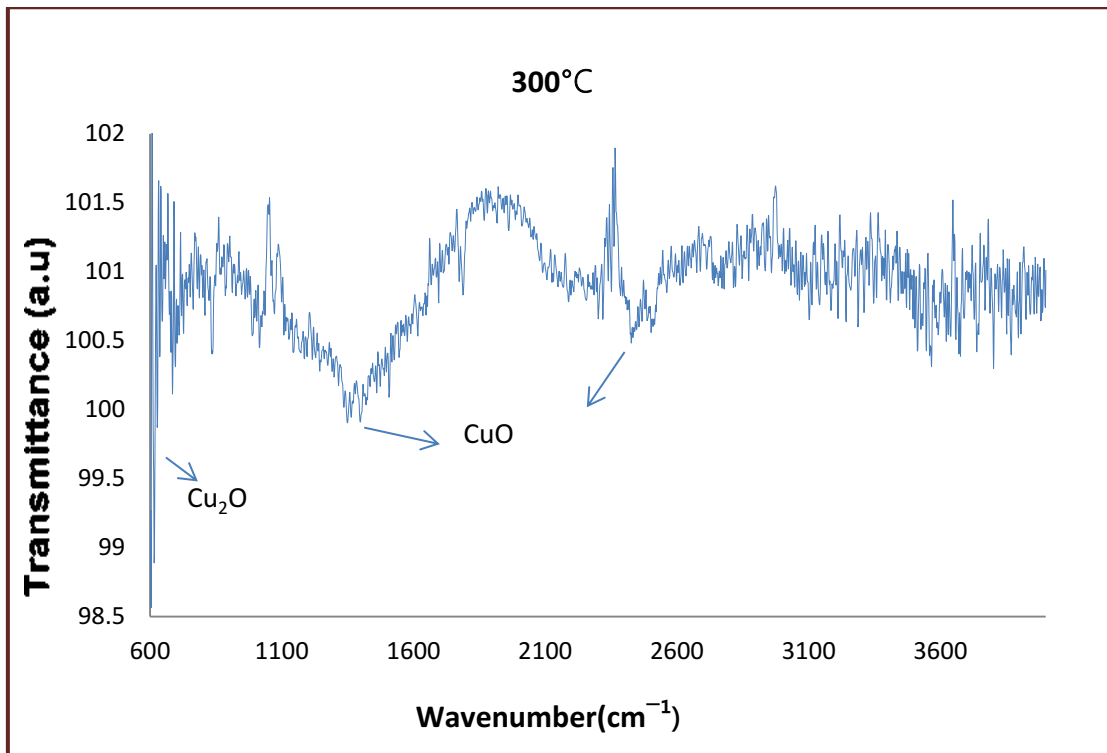
الشكل (6-4) طيف FTIR لغشاء CuO النقي.



الشكل (7-4) طيف FTIR لغشاء CuO الملدن 100°C.



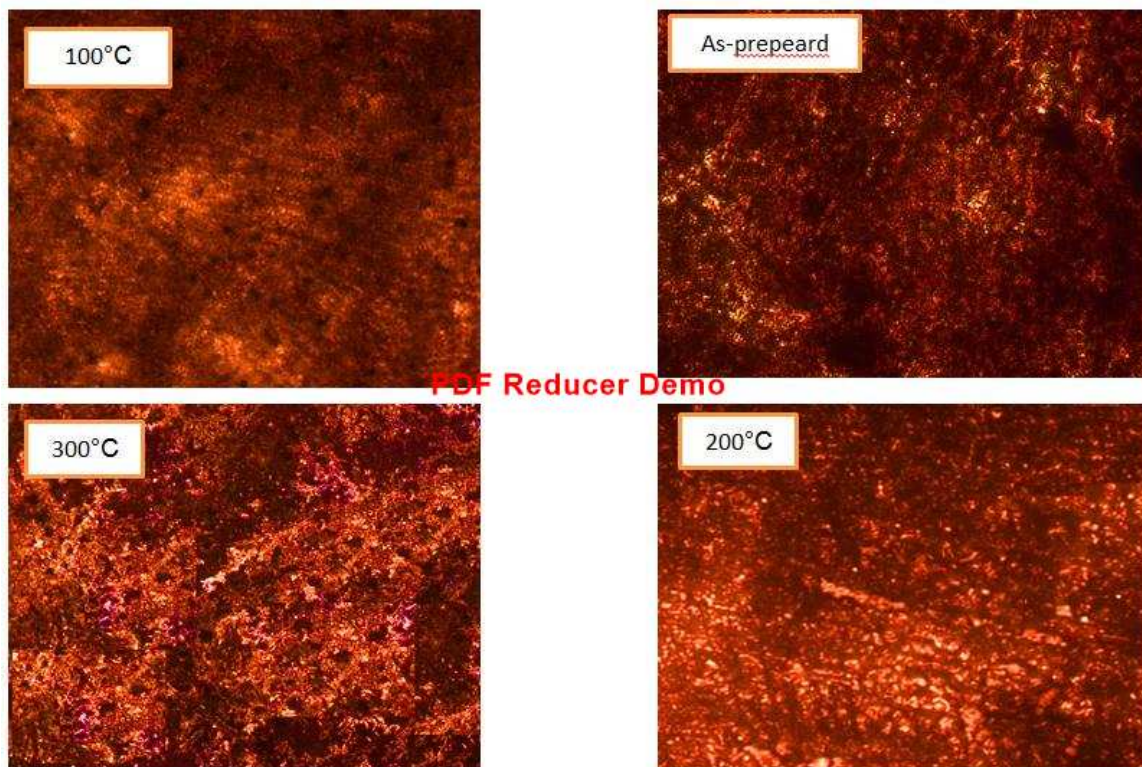
الشكل (8-4) طيف FTIR لغشاء CuO المملد 200°C.



الشكل (9-4) طيف FTIR لغشاء CuO المملد 300°C.

2-4-4 نتائج الفحص بالمجهر الضوئي

يبين الشكل (10-4) نتائج الفحص بالمجهر الضوئي لآغشية CuO النقية والمعدنة بدرجات حرارية $(300,200,100,As\text{-prepeard})^{\circ}C$ ، إذ أظهرت الصور تغير في الحجم الحبيبي وانتظام التركيب البلوري للآغشية المحضرة بزيادة درجة حرارة التلدين، وهذا ما اثبتته فحوصات الأشعة السينية.



الشكل (10-4) صور المجهر الضوئي لآغشية CuO المحضرة بدرجة حرارة تلدين مختلفة بتكبير

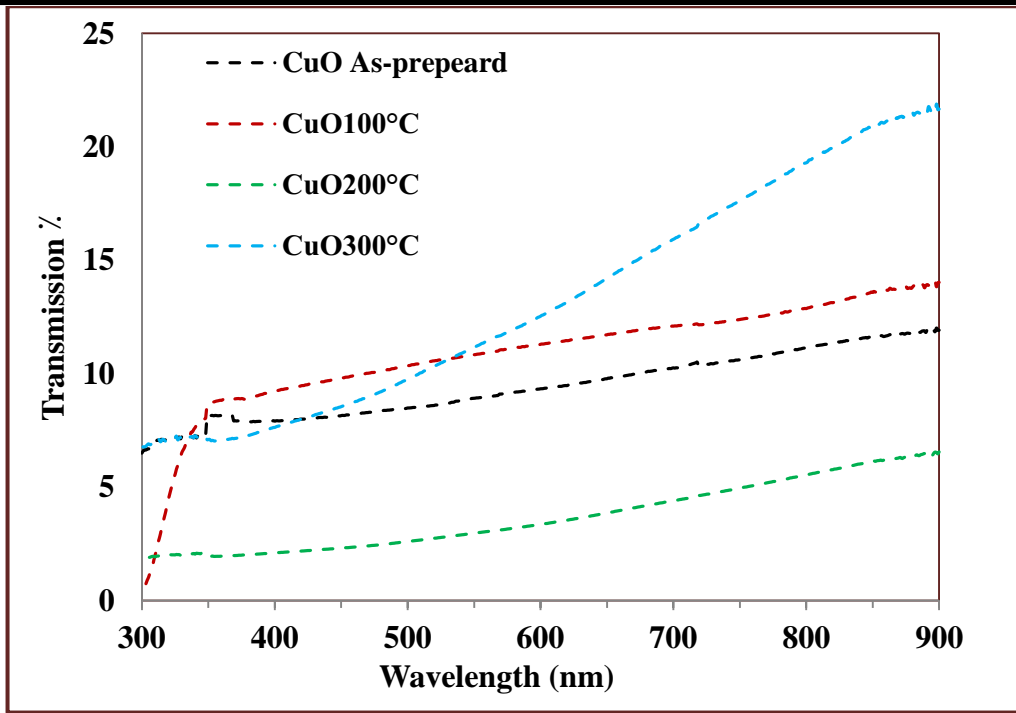
1000M

5-4 الخصائص البصرية Optical Properties

ان لدراسة الخواص البصرية للآغشية اهمية بالغة في ايجاد الثوابت البصرية التي يمكن عن طريقها التعرف على مقدار قيمة فجوة الطاقة البصرية، وكذلك يمكننا معرفة الثوابت الاخرى من امتصاصية ونفاذية ومعاملاتها وكذلك معامل الخمود ومعاملات العزل الحقيقي والخيالي.

4-5-1 طيف النفاذية Transmittance

أجريت قياسات الامتصاصية والنفاذية (Transmittance) ضمن مدى الأطوال الموجية (300-900)nm لجميع الأغشية المحضرة عند درجات حرارة تليدين مختلفة °C (As-). يبين الشكل (4-11) تغير النفاذية بوصفها دالة للطول الموجي لأغشية (CuO)، وزيادتها في المنطقة (UV-VIS) عند (350-700) nm، وهذا يدل على إمكانية استعمال أغشية (CuO) في صناعة الكواشف والخلايا الشمسية. وعلى إبدى منحني نفاذية العينات المحضرة كافة سلوكاً بصرياً متشابهاً، إذ بدأت الزيادة التدريجية شبه المستقرة من (550 nm)، إذ تزداد بصورة مفاجئة (λ_{cut})، ثم تتغير بازدياد درجات الحرارة، وهذا يتفق مع نتائج الباحثين [31,96]. ونجد أن نفاذية الأغشية المحضرة كافة تكون قليلة جداً عند الأطوال الموجية الأقل من (550 nm) التي تقع ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي. وإن زيادة النفاذية البصرية كدالة للطول الموجي عند زيادة درجة حرارة التليدين إلى °C (300) نتيجة التوزيع العشوائي لذرات (Cu₂O) مع ذرات (CuO).



الشكل (4-11): طيف النفاذية لأغشية (CuO) النقية كدالة للطول الموجي بدرجات حرارة تليدين

مختلفة

2-5-4 طيف الامتصاصية Absorbance

تعتمد الامتصاصية على طاقة الفوتونات الساقطة للمادة شبه الموصلة، على خشونة

السطح، ونوع المادة، وطبيعة تركيبها البلوري، وتم حساب قيم طيف الامتصاصية بتطبيق المعادلة

(2-11)، اذ ان طيف الامتصاصية خاصة معاكسة بالسلوك لطيف النفاذية، ويوضح الشكل

(4-12) طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي لأغشية أكسيد النحاس النقية بدرجات حرارة

تليدين مختلفة. إذ يتبين من الشكل ان الامتصاصية تقل بصورة حادة وسريعة عند زيادة الطول

الموجي حتى تبلغ في ذروتها لتصل إلى (40%) عند الأطوال الموجية الأقل من (550nm)، أي

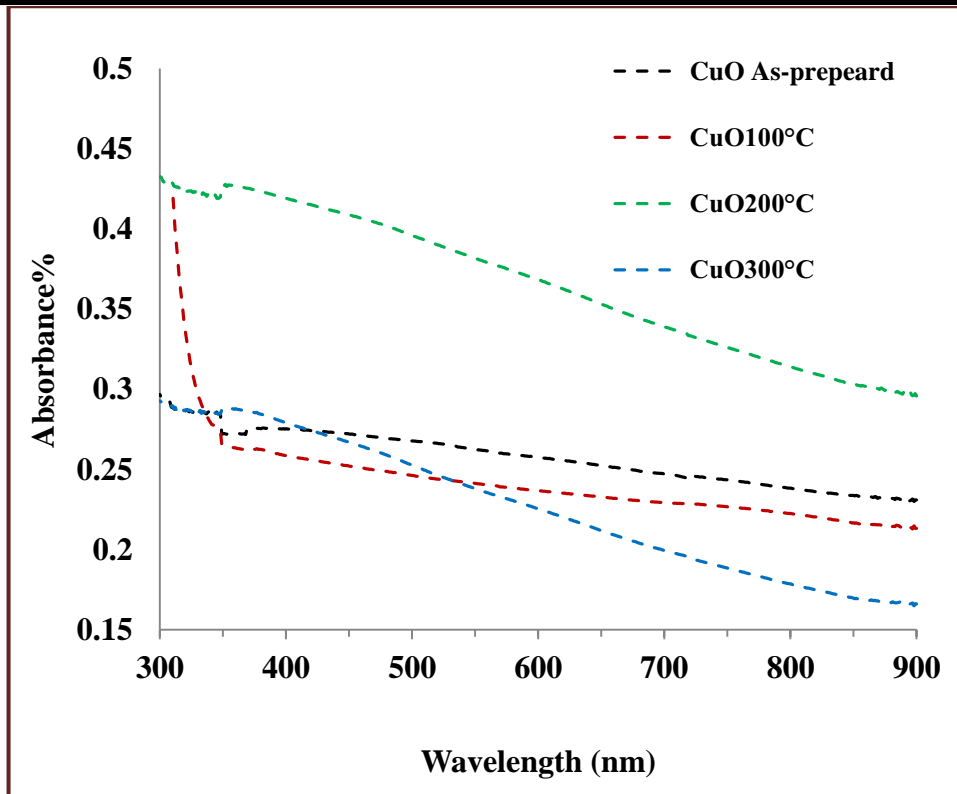
يكون الطول الموجي للإشعاع الساقط أقل من طول موجة القطع للغشاء ($\lambda < \lambda_{cut\ off}$) التي

تقع ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي، وهذا يتفق مع نتائج ما توصل إليه

الباحثون [38,41, 96]. ويعود سبب ذلك إلى الامتصاص العالي في هذه المنطقة (Band-to-

(band absorption)، وهذا ما يقابله أوطاً نفاذية مستحصلة كما هو موضح بالشكل (4-12). وتكون طاقة الفوتون الضوئي الساقط مساوية أو أكبر من قيمة فجوة الطاقة البصرية الممنوعة (E_g^{opt}) لجميع الأغشية المحضرة مما يدل على حدوث الانتقالات الإلكترونية المباشرة، ويكون ذلك عادةً عند الطول الموجي المقابل لحافة الامتصاص الأساسية (Fundamental Absorption Edge) التي تزداد بنقصان قيمة فجوة الطاقة البصرية (E_g^{opt}).

ونلاحظ من طيف الامتصاصية المبين في الشكل (4-12) ان أفضل امتصاصية للأغشية المحضرة، تتراوح بين % (60-70) ضمن مدى nm (300-900) في المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي، وبذلك يمكن الإفادة من هذه الاغشية المحضرة في صنع المفرك الهجين وفي صناعة الخلايا الشمسية كمصدر للطاقة الكهربائية في الأقمار الصناعية وكواشف الإشارة البصرية في منظومة الاتصالات وغيرها [97, 98, 99]. إذ يلاحظ انه بزيادة درجات الحرارة تتجه حافة الامتصاص نحو الأطوال الموجية الطويلة (Red Shift) كما يبين الشكل (4-12) تأثير تغير درجات الحرارة في قيم الامتصاصية، فزيادة درجات الحرارة تؤدي إلى تغير واضح في قيم الامتصاصية اما في المنطقة تحت الحمراء القريبة حيث يبدأ بالتناقص عند طول موجي (750nm)، وهذا يُعزى إلى أن زيادة درجات الحرارة قد تؤدي إلى ازدياد في المستويات المانحة بالقرب من حزمة التوصيل، وبذلك فإن امتصاص الفوتونات ذات طاقة الأقل قيمة من فجوة الطاقة للأغشية المحضرة يكون ممكناً [100]. اي ان الامتصاصية تزداد مع زيادة درجات الحرارة لطول موجي معين، ويعود السبب الى انخفاض العيوب وتحسن التركيب البلوري كما ورد في الخصائص التركيبية [98]. وتدل الامتصاصية العالية على إمكانية استعمال هذه الأغشية المحضرة في الكواشف الضوئية والخلايا الشمسية في المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي [33, 37, 98].



الشكل (4-12): طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي لأغشية (CuO) النقية بدرجات حرارة

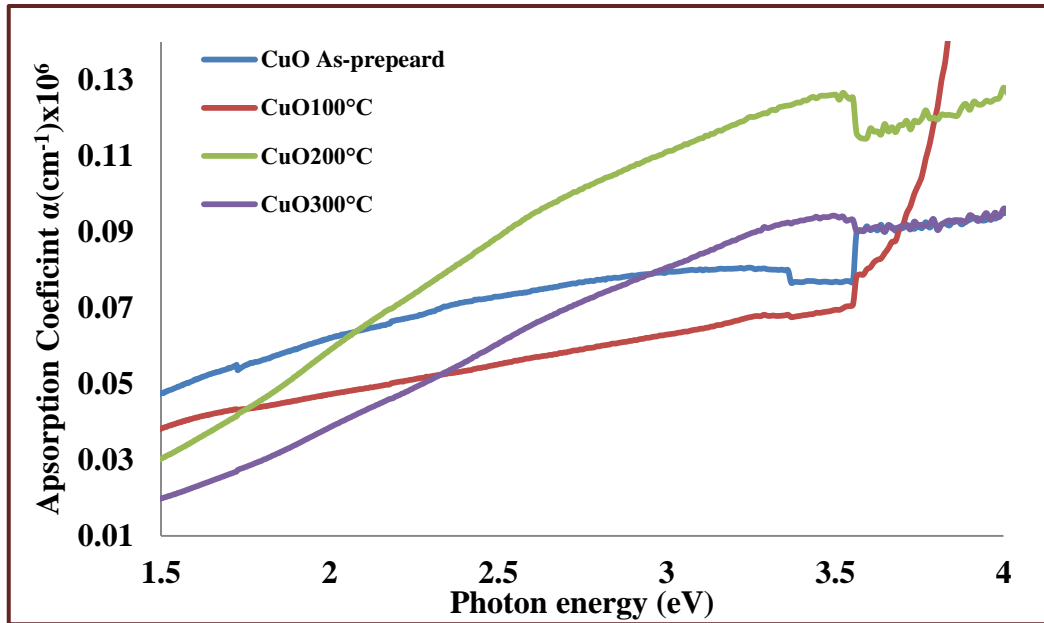
تلدين مختلفة

3-5-4 معامل الامتصاص Absorption Coefficient

يوضح الشكل (4-13) تغير معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية CuO المحضرة و الملدنة بدرجات حرارية (100,200,300)°C، ويتضح أن معامل الامتصاص يبدأ على نحو عام بالزيادة التدريجية مع زيادة طاقة الفوتونات الضوئية الساقطة حتى تصبح قيمته أكبر من (10^4cm^{-1}) لمديات الطاقة التي تبدأ من (2eV) بالنسبة إلى الأغشية النقية، وان القيم العالية لمعامل الامتصاص تشير إلى حدوث انتقالات الكترونية مباشرة ما بين حزمتي التكافؤ والتوصيل عند تلك الطاقات.

ويتضح من الشكل أيضاً (4-13) ان زيادة درجة حرارة التلدين ادت الى تغير في قيم معامل الامتصاص التي تأتي من تحسن التركيب البلوري وزيادة انتظام الحبيبات البلورية وزيادة

حجمها بزيادة درجة حرارة التلدين وتناقص في العيوب البلورية وبالتالي نقصان الامتصاصية الناتجة من هذه العيوب البلورية، وهذا يتفق مع نتائج الفحوصات التركيبية التي حصلنا عليها.

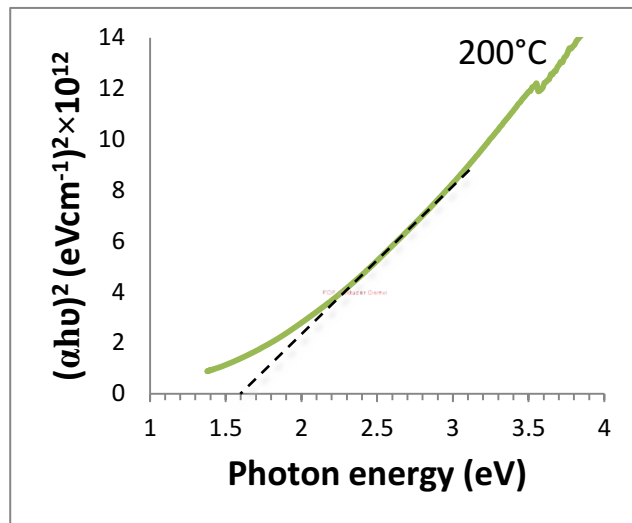
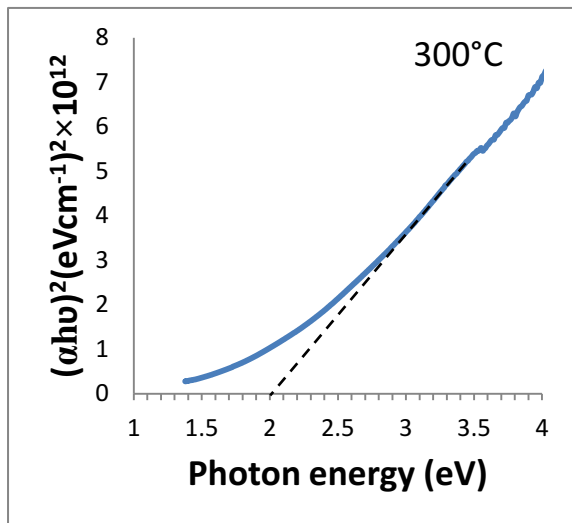
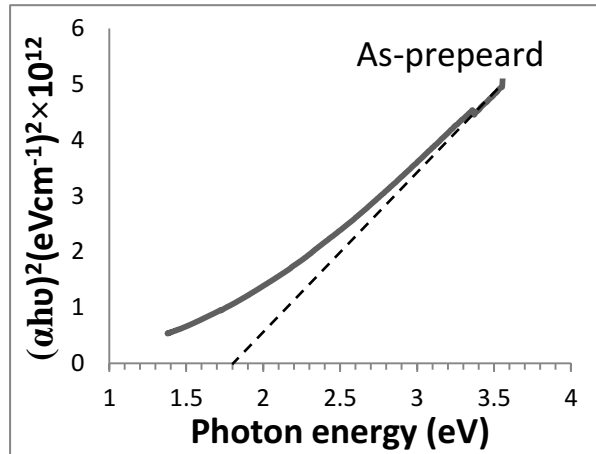
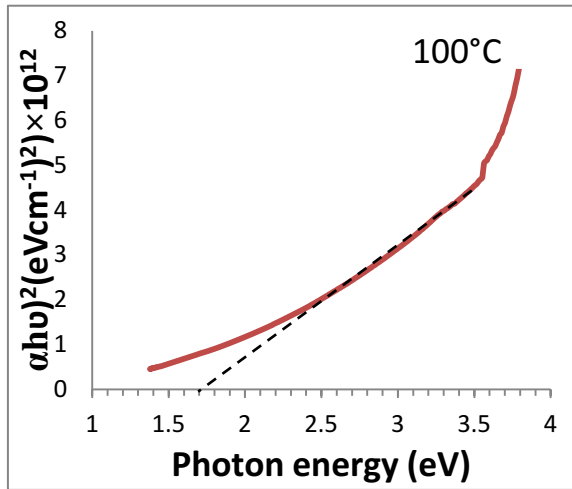


الشكل (4-13) تغير معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون الساقط لاغشية (CuO) النقية والمعدنة

4-5-4 فجوة الطاقة (E_g^{opt}) (The Optical Energy Gap)

يبين الشكل (4-13) أن قيم معامل الامتصاص للاغشية المحضرة كافة ($\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$)، وهذا يشير الى ان الانتقال الالكتروني من النوع المباشر. ومن رسم طاقة الفوتون الساقط ($h\nu$) مع علاقة تغير $(\alpha h\nu)^2$ بحد الجزء المستقيم من المنحني ليقطع محور طاقة الفوتون عند نقطة $[(\alpha h\nu)^2 = 0]$ يلاحظ أن التغير في مدى معين من طاقات الفوتون (مدى منطقة الأشعة المرئية) يكون خطياً، وهذه القيمة تتفق مع ما توصل إليه الباحثون [31,34,101] لجميع الأغشية المحضرة، على الرغم من اختلاف ظروف التحضير.

ان علاقة تغير $(\alpha h\nu)^2$ بوصفها دالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية اوكسيد النحاس بدرجات حرارة مختلفة لوحظ منها أن زيادة درجات الحرارة التلدين تؤدي إلى تغير واضح في قيم فجوة الطاقة المسموحة كما موضحة في الجدول (4-4).



الشكل (4-14): العلاقة بين $(\alpha h\nu)^2$ وطاقة الفوتون لأغشية (CuO) النقية والمعدنة بدرجات حرارة

مختلفة.

جدول (4-4) قيم فجوة الطاقة لأغشية اوكسيد النحاس بدرجات حرارة تليدين مختلفة

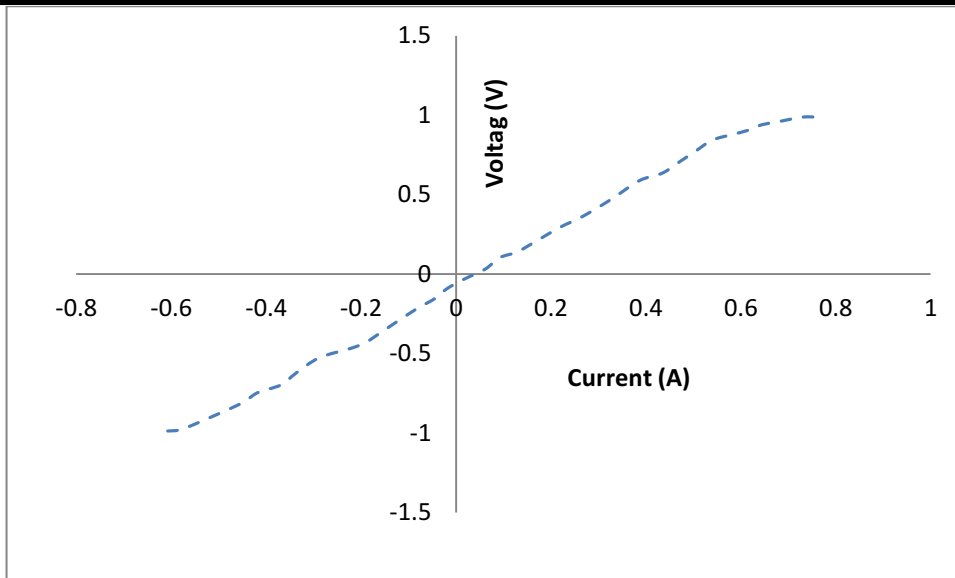
Sample	Direct Allowed Transition Eg (eV)
As-prepared	1.8
100°C	1.7
200°C	1.6
300°C	2

6-4 الخصائص الكهربائية: Electrical Characteristics

تعتمد الخصائص الكهربائية في أشباه الموصلات متعددة التبلور (Polycrystalline) على العديد من العوامل مثل درجة الحرارة والضوء والمجال المغناطيسي. وإن دراسة هذه الخصائص تعد مهمة لمعرفة طبيعة ميكانيكية التوصيل الكهربائي ونوعية حاملات الشحنة وتركيزها، وبالتالي مدى ملاءمتها لتصنيع النبائط الإلكترونية بأنواعها المختلفة.

1-6-4 تأثير هول (Hall Effect):

تم اجراء قياسات تأثير هول في درجة حرارة الغرفة لاغشية (CuO) المحضرة بواسطة تسليط مجال مغناطيسي Tesla (0.25) وذلك لمعرفة نوع وتركيز حاملات الشحنة (Majority Carrier). إذ ان من العلاقة بين فولتية هول والتيار لغشاء (CuO) المملدن على زجاج بدرجات حرارة مختلفة (As-prepared, 100, 200, 300)°C؛ يمكن معرفة نوع حاملات الشحنة للأغشية المحضرة، وتكون العلاقة بين (V_H) و (I) طردية لايجاد مقاومة سطح الغشاء كما في الشكل (4-15)، وهذا يدل على ان الاغشية المحضرة من النوع الموجب (P-type)، ومعامل هول (R_H) من النوع الموجب) [37,102].

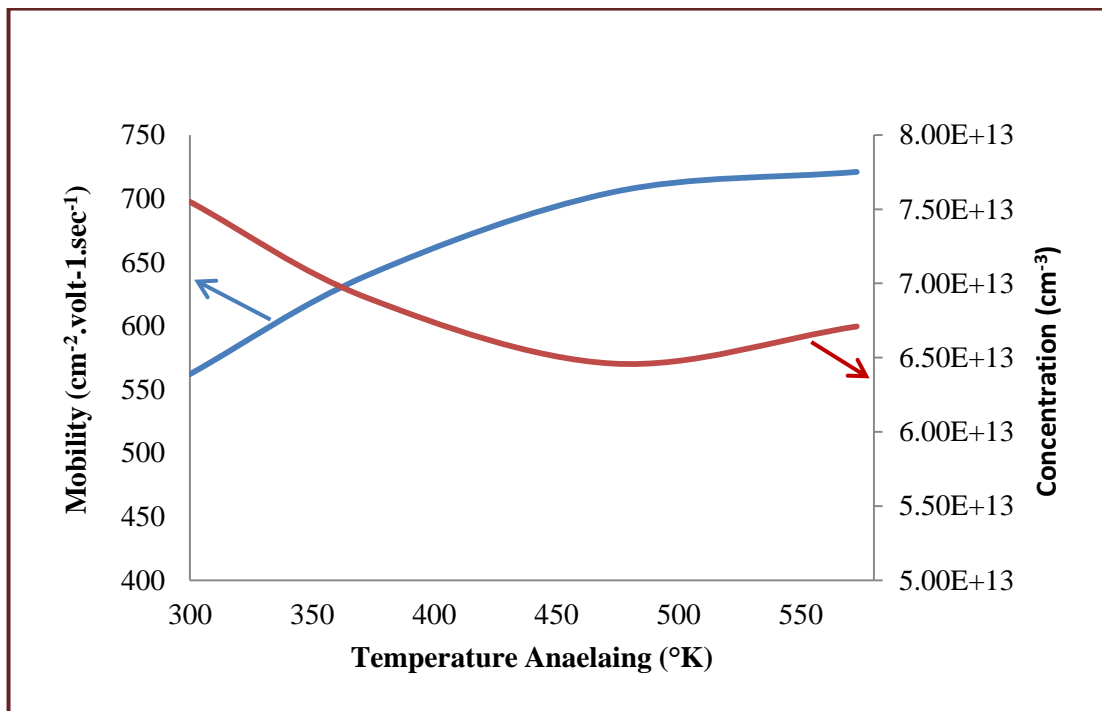


الشكل (4-15) العلاقة بين فولتية هول (V_H) والتيار لغشاء CuO النقي والملدن بدرجات حرارة مختلفة.

اما التحركية الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة التلدين فنلاحظ فيها استقرارية كبيرة عند الدرجات

الحرارة العالية 450°K ، وتبدأ بالنقصان عند الدرجات الحرارة الواطئة، ويعزى ذلك الى وجود

فراغات عند السطح بزيادة درجة الحرارة. [103]



الشكل (4-16) تركيز الحاملات والتحركية لاغشية CuO المحضرة والملدنة

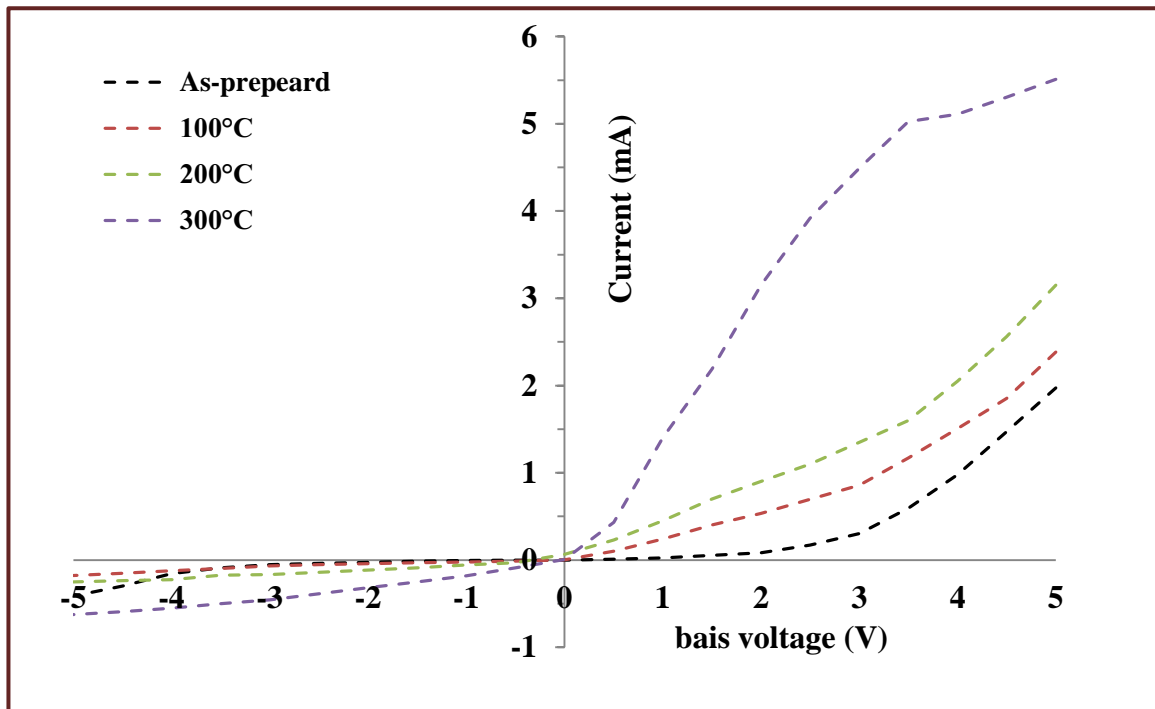
7-4 خصائص المفرق الهجين Characteristics of Heterojunction

1-7-4 خصائص (تيار-جهد) للمفرك الهجين في حالة الظلام

(I-V) Characteristics of Heterojunction in the Dark Condition

يمثل الشكل (17-4) تيار الظلام المُقاس كدالة فولتية الانحياز الأمامي والعكسي للمفرك الهجين (p-CuO/n-si)، وتأثير درجات حرارة التلدين في تيار الظلام في الانحيازين، إذ أكدت نتائج خصائص (تيار- جهد) أن المفرك الهجين المُصنع هو من النوع غير المتماثل (Anisotype-Heterojunction)، وذلك بسبب اختلاف سلوك التيار في الانحياز الأمامي عن سلوكه في الانحياز العكسي، ففي حالة الانحياز الأمامي يكون سلوكه مشابهاً لسلوك الدالة الأسية ($y=e^x$) تقريباً، في حين يكون سلوك التيار في حالة الانحياز العكسي شبه خطي، ويزداد بصورة تدريجية وبنحوٍ طفيف مع جهد الانحياز العكسي، ويعطي فولتية انهيار بصورة تدريجية (Break down Voltage) عند الجهد (3Volts) تقريباً، ويعد هذا السلوك العام للتيار مع الفولتية في الانحياز الأمامي والعكسي من الصفات العامة للمفارق الهجينة غير المتجانسة [104,105,106]، ويبين الشكل (17-4) أيضاً خصائص (تيار-جهد) في حاله الظلام للأغشية المحضرة والملدنة. ففي حالة الانحياز الأمامي يزداد التيار المار في المفرك مع زيادة الجهد المسلط، إذ يعمل الجهد المسلط من المصدر على حقن الحاملات الأغلبية، مما ينتج عنه انخفاض في قيمة جهد البناء الداخلي (V_{bi}) وعرض منطقة النضوب، فيكون تركيز حاملات الأغلبية والأقلية اصغر من تركيز الحاملات الذاتية (intrinsic)، أي إن $\{p.n > n_i^2\}$ ، ولذا ينشأ تيار تحت يحاول إعادة التوازن يسمى بتيار إعادة الاتحاد، ويحدث هذا التيار عند الفولتيات الواطئة ($V < 0.5$ Volts) التي ينتج عنه تيار قليل مع تغير الفولتية عن طريق تغير عرض منطقة النضوب، وعندما تزداد الفولتية المسلطة يتسارع التيار بالزيادة مع الجهد المسلط، ويسمى بتيار الانتشار أو تيار الانجراف [104,108,107]، إذ إن زيادة المجال الكهربائي المُسلط (E) على المفرك الهجين يعمل على زيادة

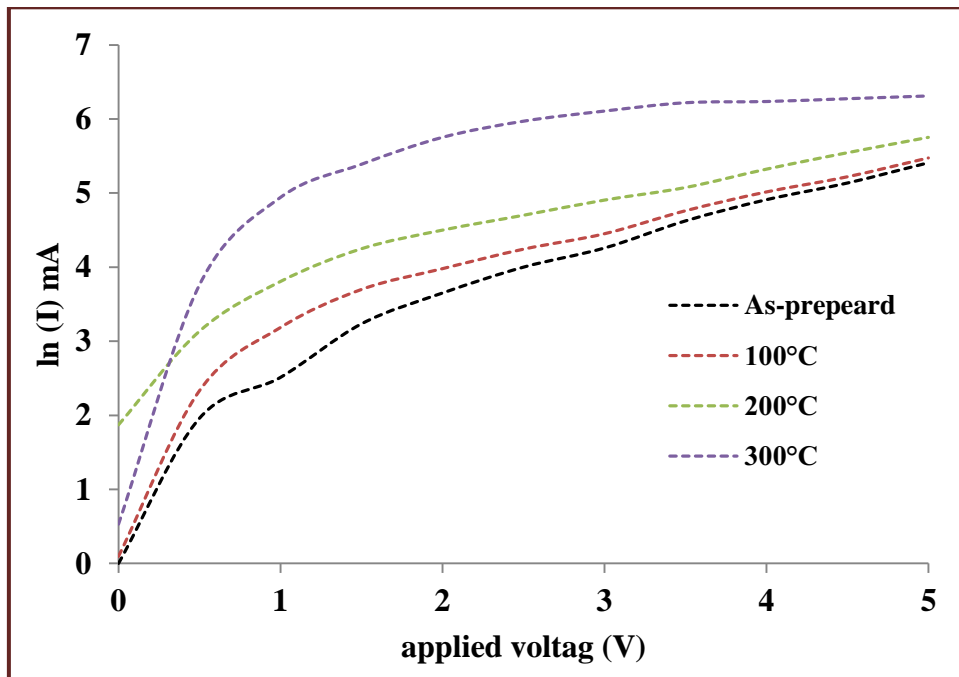
سرعة انجراف (V_d) للحاملات على وفق العلاقة ($V_d = \mu_e E$)، فيقلل من اصطيادها [104]، وبالتالي يكون سلوك التيار الناتج خطياً تقريباً مع فولتية الانحياز الأمامي عند الفولتيات العالية، ويلاحظ من الشكل أيضاً ان درجة حرارة التلدين ادت الى زيادة في قيمة التيار عن الاغشية المحضرة، ويُعزى ذلك إلى نقصان فجوة الطاقة البصرية وزيادة في ترتيب الذرات فضلاً عن نقصان في تركيز حاملات الشحنة مع زيادة درجة حرارة التلدين، وهذه النتيجة تتفق مع نتائج هذا البحث لفحوصات الخصائص البصرية وكذلك مع نتائج قياسات تأثير هول السابقة، أما عن قيم تيار الظلام في حالة الانحياز العكسي للمفارق الهجينة في غشاء CuO عند درجة حرارة الغرفة، فكانت أقل من القيم المناظرة لها للمفارق المملدن بدرجة حرارة 100°C CuO/Si، وهناك زيادة عند المفارق المحضرة والمملدن بدرجة حرارة $(200,300)^\circ\text{C}$ ، وأن العلاقة الخطية بين الفولتية والتيار المبينة بالشكل تؤكد أن الاتصال بين الغشاء والأقطاب هو اتصال أومي [109,110].



الشكل (4-17): خصائص (تيار-جهد) في حالة الظلام للكواشف الضوئية (p-CuO /n-Si)

أما في حالة الانحياز العكسي تؤدي اي زيادة في درجات الحرارة إلى زيادة في تيار الظلام مع الفولتية المسلطة، مما يؤدي الى اضطرابات في دورية الشبكة البلورية، ومن ثمَّ تُسبب زيادة في كثافة الانخلاعات.

ومن اجل دراسة ميكانيكيات نقل التيار، تم رسم تيار الانحياز الأمامي للمفرك الهجين (CuO/Si) المملد عند درجات حرارة مختلفة على مقياس شبه لوغارتمي (Semi-log scale) على محور الصادات من أجل تحديد مناطق التغير الأسي عند الفولتيات الواطئة كما موضح في الشكل (18-4)



الشكل (18-4): تيار الظلام الأمامي كدالة لفولتية الانحياز للمفرك الهجين (CuO/Si) بدرجات حرارة تليدين مختلفة.

بعد حساب ميل الخط المستقيم في الشكل (18-4) في المدى الخاص بمنطقة التغير الأسي بين الفولتية والتيار يمكن حساب عامل المثالية (nf) بالاستعانة بالمعادلة (2-25). ويبين الجدول (4-5) قيم عامل المثالية، إذ أظهرت النتائج أن عامل المثالية يأخذ قيمة كبيرة ($nf > 1$) مما يؤكد وجود أكثر من ميكانيكية توصيل واحدة لنقل التيار، وكما أكدته نتائج التوصيلية الكهربائية

المستمرة، فضلاً عن تحسن الخصائص الكهربائية عن طريق نقصان عامل المثالية (n_f)، إذ يهيمن تيار إعادة الاتحاد عند قيم ($n_f > 1$)، وهذا يعني أن كل إلكترون متهيج منتقل من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل سوف يعيد اتحاده مع فجوة موجودة في حزمة التكافؤ، وبنحو عام تؤكد مدى قيم عامل المثالية المُستحصلة وجود التركيب النانوي (nanostructure) في بناء الأغشية والمفارق الهجينة المحضرة [111].

ويعزى ابتعاد قيم عامل المثالية عن الحالة المثالية ($n_f = 1$) إلى ارتباط هذا العامل بعمليات إعادة الاتحاد التي تحدث عند السطح البيني وكذلك لوجود العيوب البينية (Interfacial States) الناشئة من عدم التطابق الشبكي (Δ) لثابت الشبكة لمادتي المفرق الهجين عن طريق عملية الترسيب كما وضّحنا ذلك سابقاً. وإذا كانت قيمة عامل المثالية عالية، فهذا يعني أن الأداء الكهرو بصري للمفرق الهجين سوف يقل، وأن أفضل مفرق هجيني محضر لتصنيع الكاشف الضوئي كان عند درجة حرارة الغرفة و لخلية شمسية كان عند درجة حرارة تليدين 300°C وهذا ما أُثبت في مواضع أخرى من هذه الدراسة.

الجدول (4-5): عامل المثالية للمفارق الهجينة المحضرة بدرجات حرارة تليدين مختلفة

Sample	Ideality factor (n_f)
As-prepared	4.49
100	3.85
200	1.9
300	2.62

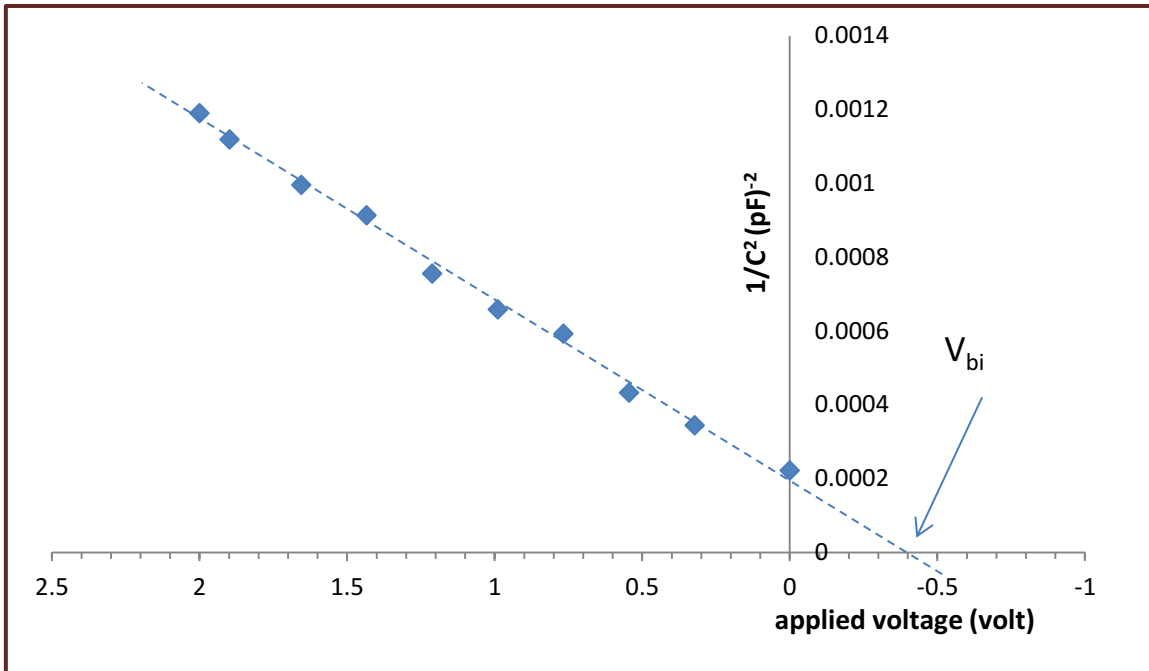
2-7-4 خصائص سعة - جهد

(Capacitance–Voltage) Characterization

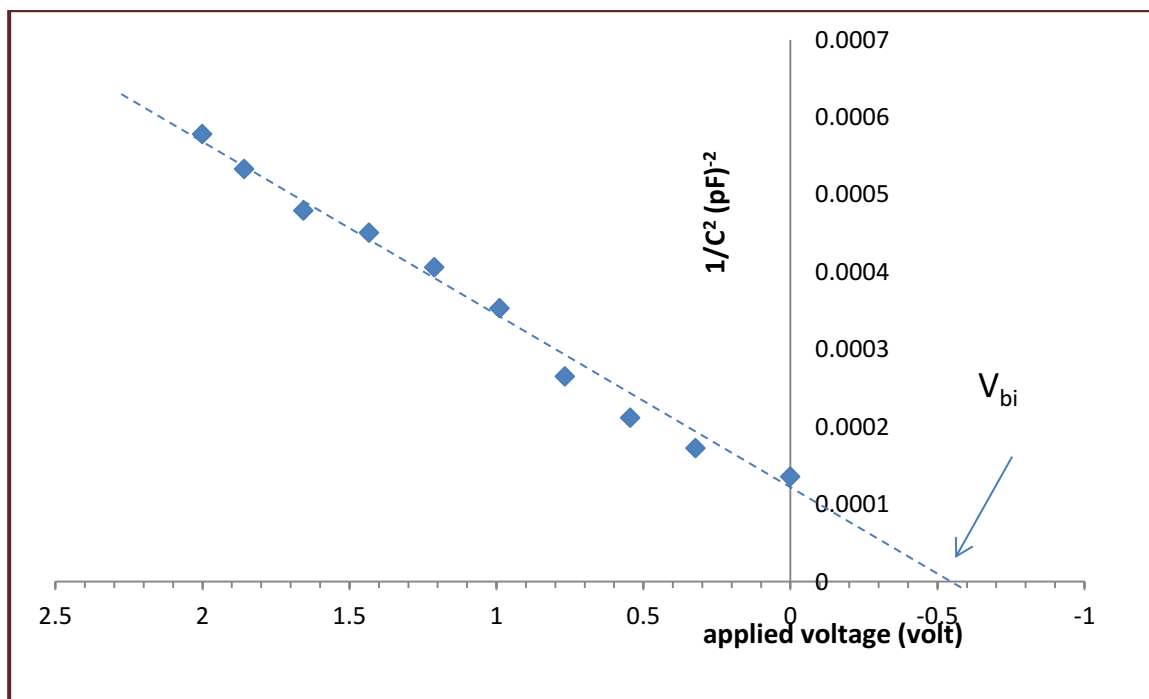
تم تحديد بعض خصائص المفرق الهجين كقياس (سعة - جهد)، وهي من القياسات الكهربائية المهمة المستعملة في المفرق الهجين، بحساب (V_{bi}) جهد البناء الداخلي وسعتها (C_0) التي لها تأثير في الخصائص الكهربائية للكواشف، وكذلك في تحديد نوع الوصلة.

نلاحظ من الشكل a,b,c,d (4-19) أنه تم رسم العلاقة بين جهد الانحياز العكسي عند تردد (10KHz) ومقلوب مربع السعة $(1/C^2)$ وذلك لحساب جهد البناء الداخلي (V_{bi}) ، وان المفرق من النوع الحاد، والعلاقة خطية بين مقلوب مربع السعة والفولتية، ويكون (V_{bi}) من تقاطع امتداد خط المستقيم مع فولتية $(1/C^2 = 0)$ ، كما موضح في الجدول (4-6)، إذ نلاحظ أن زيادة في قيمة جهد البناء الداخلي للمفرق عند درجة حرارة 100°C هي $(V_{bi} = 0.5) \text{ Volt}$ ويعود سبب ذلك الى ازدياد عرض منطقة الاستنزاف، وبالتالي زيادة (C) سعة المفرق ثم تبدأ بالنقصان عند درجة حرارة $(200,300)^\circ\text{C}$ ، وتبلغ قيمته $(V_{bi}=0.25,0.2) \text{ Volt}$ على التوالي، حيث ان اقل قيمة لجهد البناء الداخلي كانت عند درجة حرارة تليدين $(300)^\circ\text{C}$ بسبب ظهور مركب اخر وهو (Cu_2O) ، ويعود سبب ذلك الى زيادة في منطقة النضوب، إذ تعمل خصائص (C-V) على تحسين الخصائص الكهربائية للمفرق الهجين [85, 1]، كما أظهرت النتائج انه في حالة الانحياز العكسي فان سعة المفرق تزداد مع زيادة الفولتية، والسبب في ذلك يعود إلى زيادة جهد البناء الداخلي مع زيادة الحاملات، فضلاً عن نقصان في منطقة الاستنزاف (W) التي تنتج عن زيادة في سعة المفارق الهجينة، إذ تكون العلاقة طردية بين جهد البناء الداخلي وعرض منطقة النضوب، وتؤدي اي زيادة في درجات الحرارة الى نقصان قيم السعة، وان سبب ذلك هو حدوث الانخلاعات التي قد تمثل مراكز إعادة التحام زوج (الكترين- فجوة) ومراكز اقتناص للالكترونات، ومن ثم تكوين طبقات

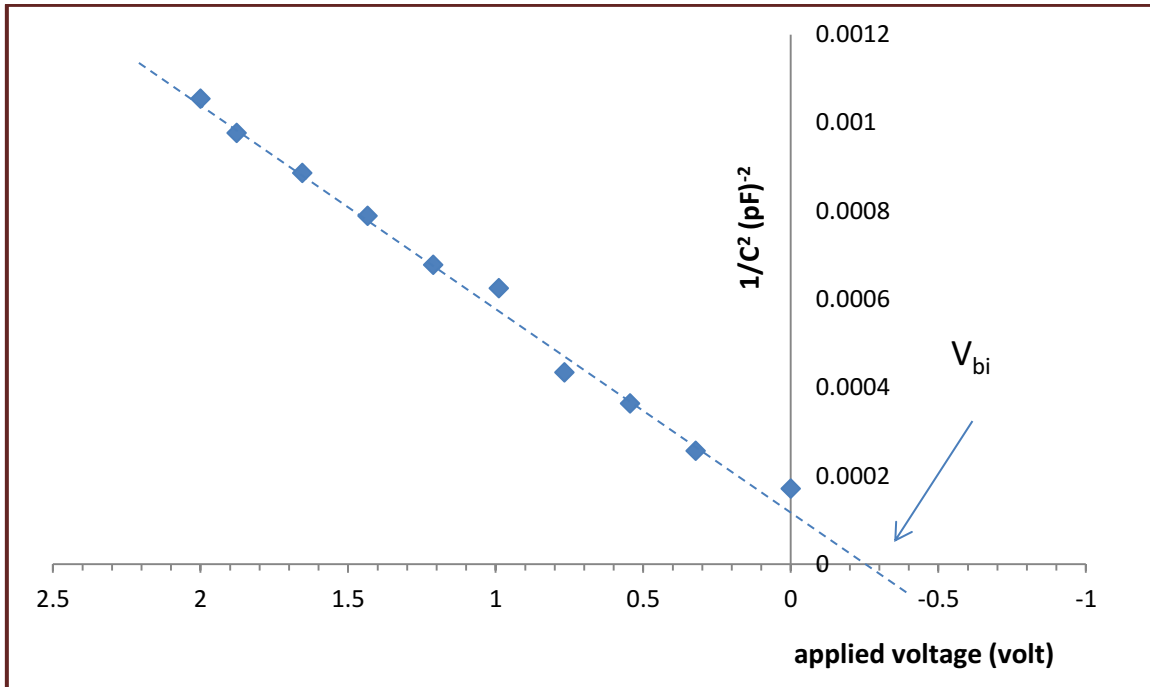
استنزاف داخلية يمكن عن طريقها نقل احتمالية إعادة الالتحام لحاملات الشحنة وتعتبر عبر الوصل ويؤدي ذلك الى نقصان عرض منطقة النضوب.



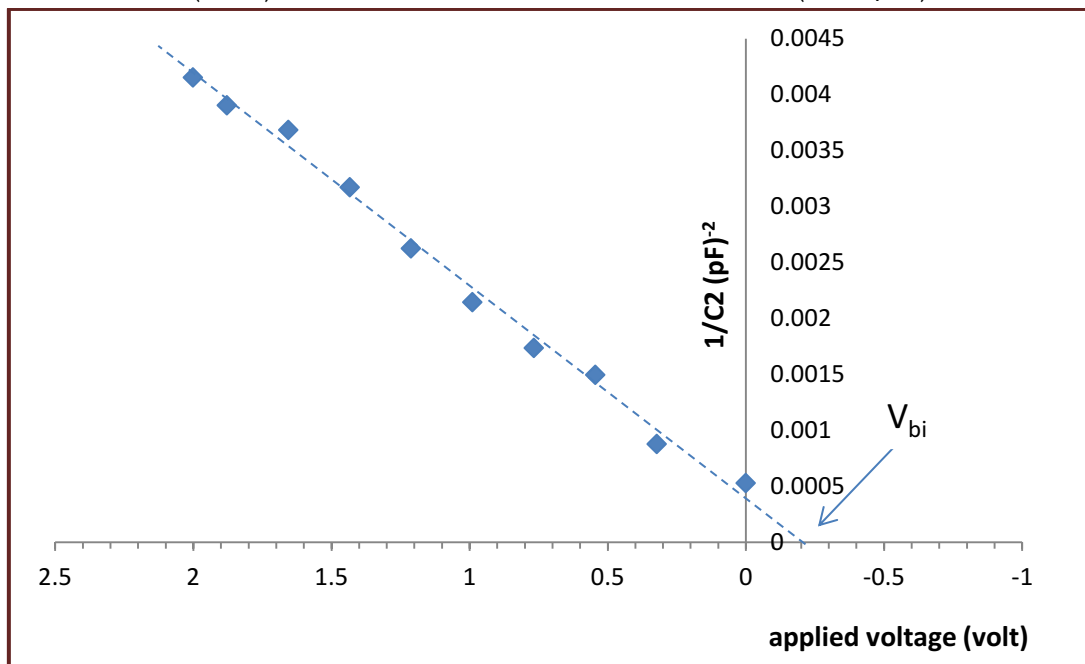
الشكل a(4-19): تغير مقلوب مربع السعة مع جهد الانحياز العكسي للمفرق الهجين (CuO/Si) للتردد $f = 10\text{KHz}$ عند درجة حرارة الغرفة.



الشكل b(4-19): تغير مقلوب مربع السعة مع جهد الانحياز العكسي للمفرق الهجين (CuO/Si) للتردد $f= 10$ KHz عند درجة حرارة 100°C .



الشكل c(4-19): تغير مقلوب مربع السعة مع جهد الانحياز العكسي للمفرق الهجين (CuO/Si) للتردد $f= 10$ KHz عند درجة حرارة 200°C .



الشكل d(4-19): تغير مقلوب مربع السعة مع جهد الانحياز العكسي للمفرق الهجين (CuO/Si) للتردد $f=10$ KHz عند درجة حرارة 300°C .

الجدول (4-6): سعة وجهد البناء الداخلي للمفرق الهجين (CuO/Si) عند تردد $f = 10 \text{ KHz}$

Sample	$c_0(nF)$	$V_{bi} \text{ (volt)}$
As-prepared	67	0.4
100	85	0.5
200	76	0.25
300	43	0.2

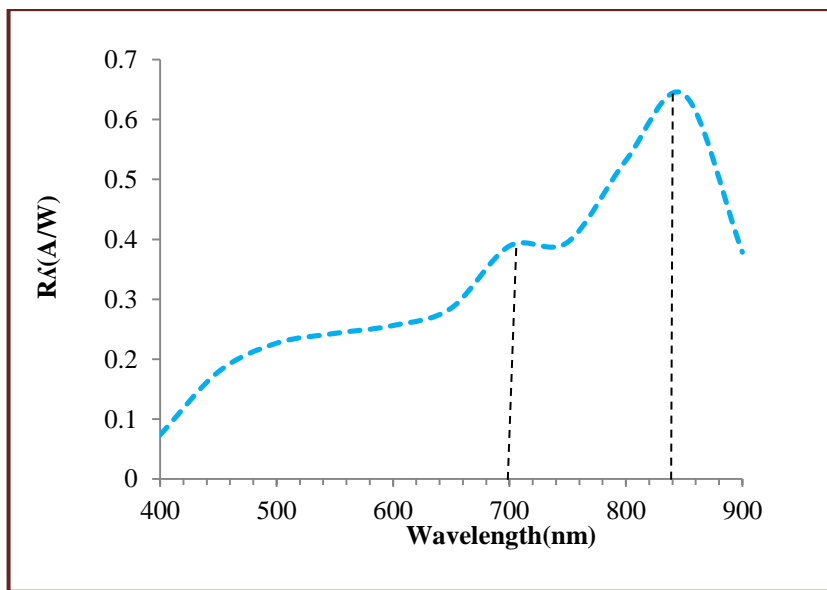
8-4 قياسات معلمات إنجاز الكاشف:

Detector Performance Parameters Measurement

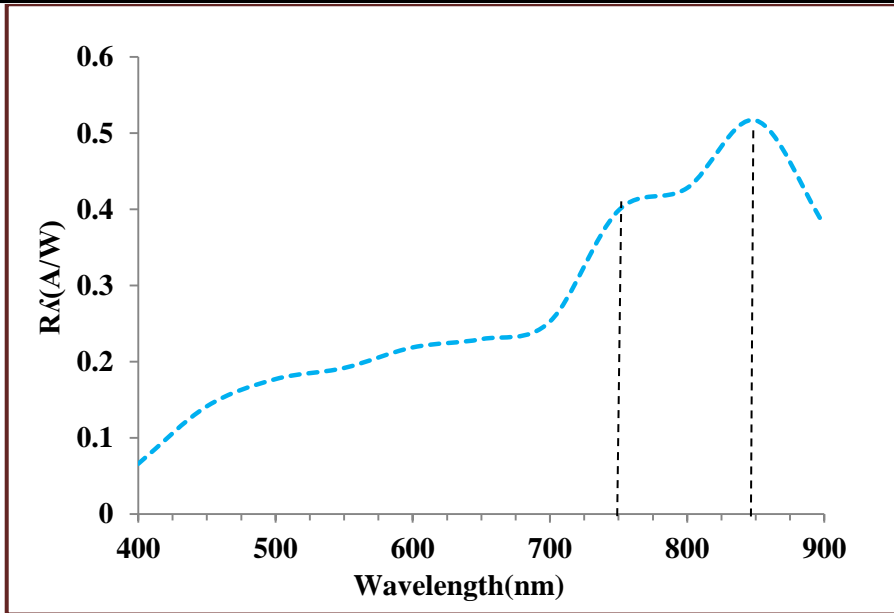
1-8-4 الاستجابة الطيفية Spectral Responsivity

تعد الاستجابة الطيفية واحدة من المعلمات المهمة في الكواشف الفوتونية؛ إذ يمكن عن طريقها تحديد المدى الطيفي الذي يعمل ضمنه الكاشف، وكذلك تعد الاستجابة الطيفية دالة للتيار الضوئي. ويبين الشكل (4-20) الاستجابة الطيفية كدالة للطول الموجي ضمن المدى (400-900)nm بفولتية انحياز (5V)، إذ يلاحظ ظهور قمتين للاستجابة الطيفية إحداهما عند طول موجي $750 \pm 50 \text{ nm}$ وهو طول موجة القطع لغشاء CuO، والأخرى: عند الطول الموجي $840 \pm 50 \text{ nm}$ ، وهو ما يقابل تقريباً طول موجة القطع للسيليكون أما عند درجة حرارة 300°C فإن قمة الغشاء CuO تظهر عند طول موجي (680) nm، إذ يلاحظ زيادة الاستجابة مع زيادة الطول الموجي الساقط إلى حد 750nm من المنطقة المرئية، وهذا يعود إلى امتصاص الأطوال الموجية الطويلة عند سطح الغشاء (CuO) الذي له معامل امتصاص كبير عند تلك الأطوال أي عمق امتصاص صغير عند السطح، إذ يعاد اتحاد الحاملات الفائضة عند السطح قبل أن تصل إلى

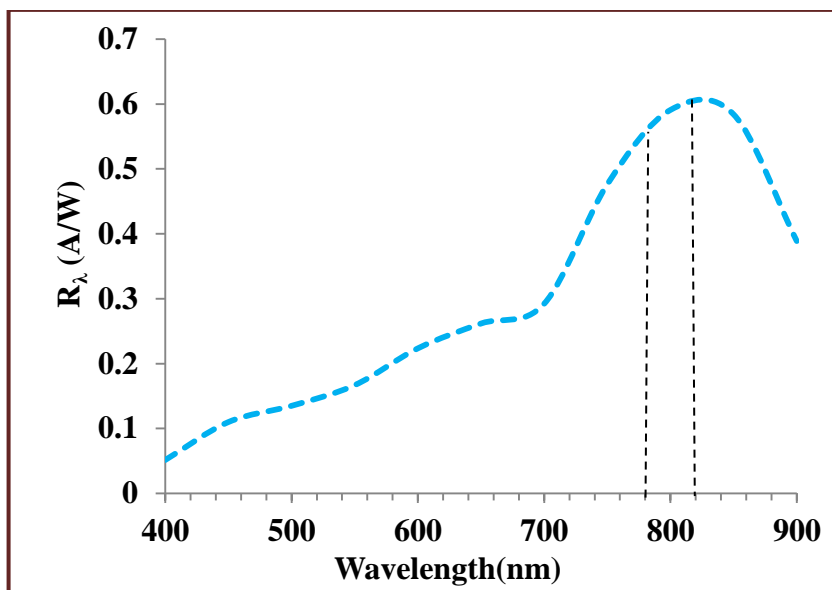
المفروق p-n، وبالتالي صعود بطيء في الاستجابة الطيفية، أما تأثير درجة الحرارة في الاستجابة الطيفية فيبين الشكل ان تغير في قيمة الاستجابة الطيفية تكون بزيادة درجة حرارة التلدين بسبب ان الامتصاص يحدث ضمن منطقة النضوب أو ضمن منطقة تعادل عمق انتشار الحاملات، أي ضمن المناطق التي يمتد فيها المجال الكهربائي الداخلي، مما يزيد من احتمالية فصل أزواج (إلكترون- فجوة) المتولدة، وبالتالي زيادة التيار الضوئي الذي يؤدي بدوره إلى زيادة الاستجابة الطيفية.



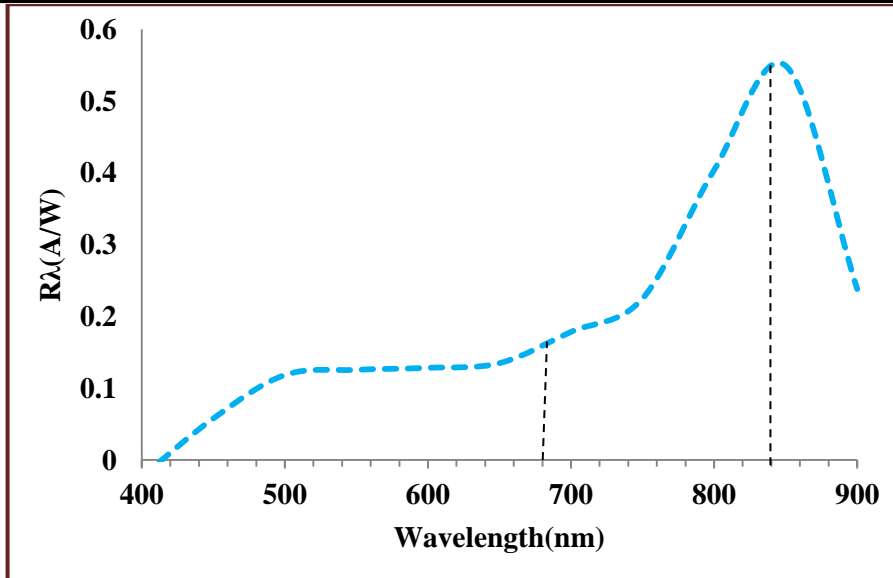
الشكل (4-20) a : تغير الاستجابة الطيفية كدالة لطول موجة تحت تأثير فولتية انحياز عكسي مقداره (5 Volt) للكاشف الضوئي المحضرة: (CuO/Si) بدرجة حرارة الغرفة.



الشكل (4-20) b : تغير الاستجابة الطيفية كدالة لطول موجة تحت تأثير فولتية انحياز عكسي مقداره (5 Volt) للكاشف الضوئي المحضرة: (CuO/Si) بدرجة حرارة 100°C .



الشكل (4-20) c: تغير الاستجابة الطيفية كدالة لطول موجة تحت تأثير فولتية انحياز عكسي مقداره (5 Volt) للكاشف الضوئي المحضرة: (CuO/Si) بدرجة حرارة 200°C .

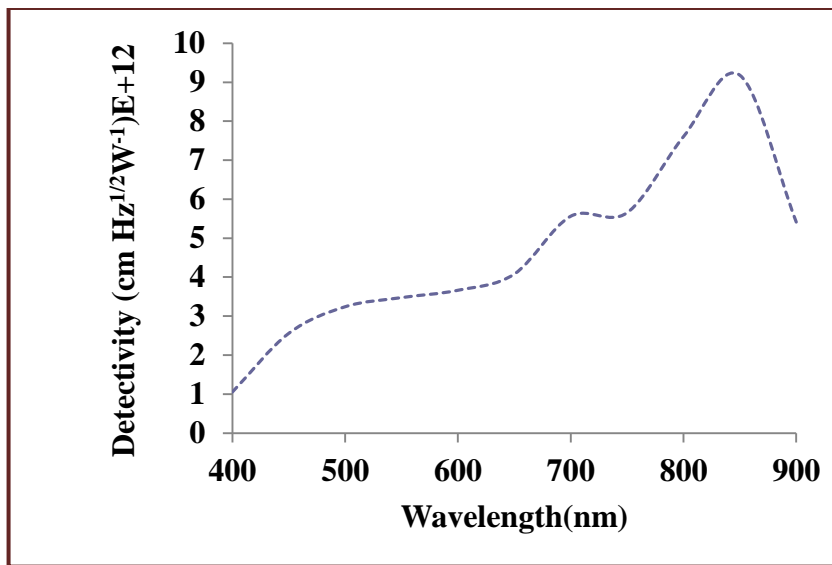


الشكل (4-20) d: تغير الاستجابة الطيفية كدالة لطول موجة تحت تأثير فولتية انحياز عكسي مقداره (5 Volt) للكاشف الضوئي المحضرة: (CuO/Si) بدرجة حرارة 300°C.

2-8-4 الكشفية النوعية D^* Specific Detectivity

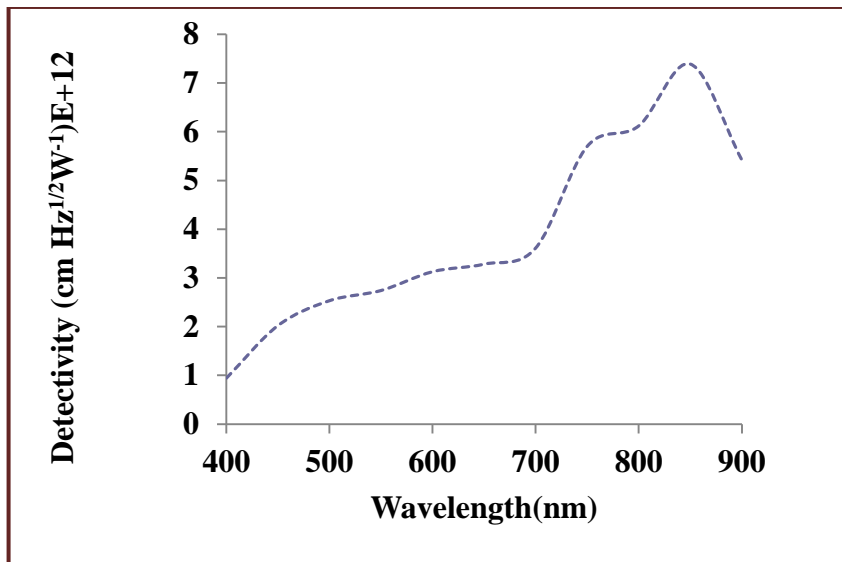
تغير الكشفية النوعية مع الطول الموجي الساقط لجميع الكواشف المحضرة وتحت تأثير فولتية انحياز عكسي مقداره (5 Volt) مبينة بالشكل (4-21) a,b,c,d وسلوك الكشفية النوعية مقارب لسلوك الاستجابة الطيفية ولأنها دالة للاستجابة الطيفية أيضاً وبزيادة جهد الانحياز المُسلط تتغير الكشفية مما يدل على إسهام المجال الكهربائي الخارجي في فصل أزواج (إلكترون - فجوة) فيزداد تيار الاضاءة لتزداد الاستجابة والكشفية معاً. ويُلاحظ أيضاً ظهور قمتين للكشفية النوعية: القمة الاولى (CuO) التي تكون عند الاطوال الموجية $\lambda = (700, 750, 780, 680) \text{ nm}$ للكواشف المحضرة بدرجات حرارة تليدين مختلفة على التوالي، وهذه القيم تكون متطابقة جداً مع نتائج الخصائص البصرية نفسها للكواشف المحضرة كافة، اذ لا تختلف تفسيرات منحنيات الكشفية النوعية عن مناقشة منحنيات الاستجابة الطيفية المذكورة سابقاً. عن طريق ملاحظة الشكل (4-21) a,b يتضح تأثير زيادة درجات الحرارة في قيم الكشفية النوعية (D^*) للكواشف الضوئية، اذ بلغت قيم الكشفية عند درجة حرارة (As-prepared) °C $(9.1 \text{ cm.Hz}^{1/2}.W^{-1}) \times 10^{12}$ كما موضح في

نتائج الاستجابة الطيفية، إذ أدى ازدياد درجات الحرارة إلى نقص في فجوة الطاقة (CuO) ونقصان تركيز الحاملات وزيادة تحركيتها مما يؤدي إلى زيادة التوصيلية.



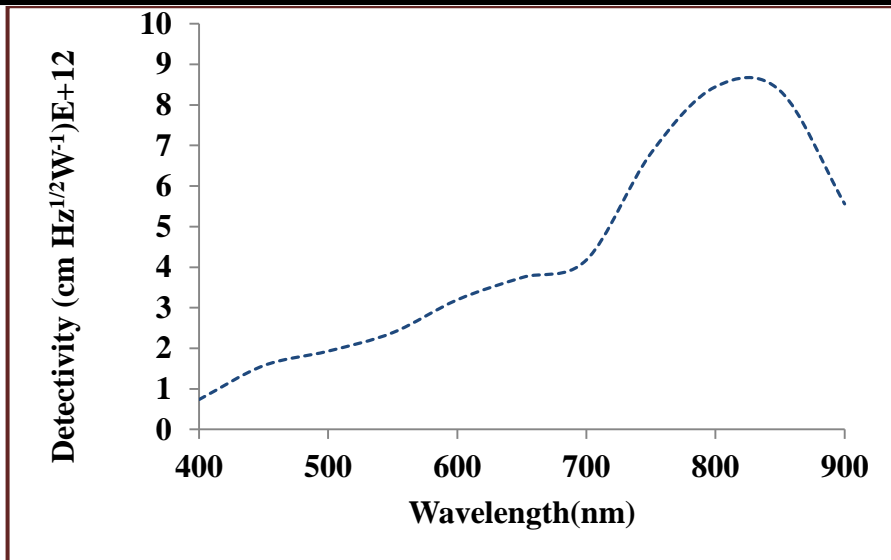
الشكل (4-21) a: تغير الكشفية النوعية كدالة لطول موجة الأشعة الكهرومغناطيسية الساقطة، وتحت

تأثير فولتية انحياز عكسي للمفرق الهجين: (CuO/Si) بدرجة حرارة الغرفة



الشكل (4-21) b: تغير الكشفية النوعية كدالة لطول موجة الأشعة الكهرومغناطيسية الساقطة، تحت

تأثير فولتية انحياز عكسي للمفرق الهجين: (CuO/Si) بدرجة حرارة 100°C.

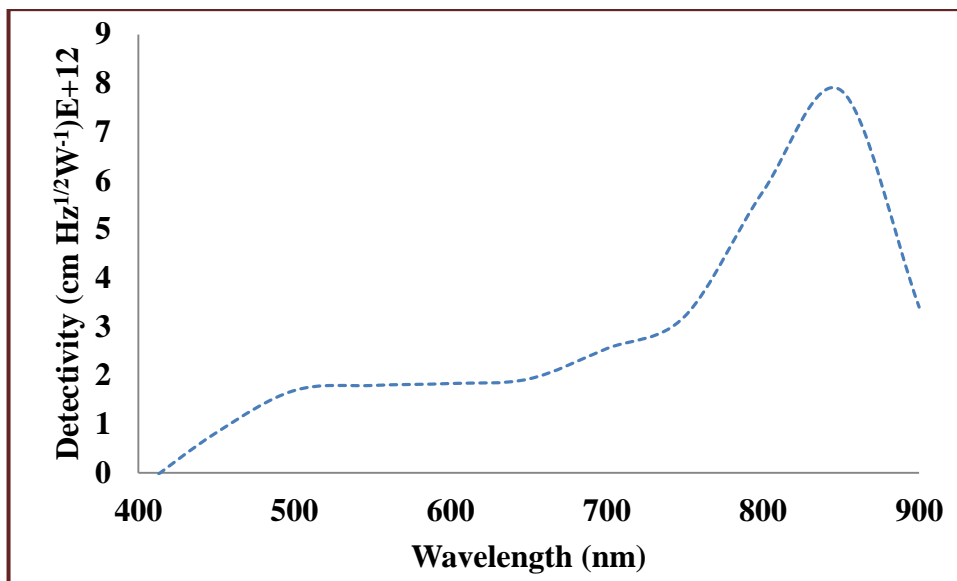


الشكل (21-4) c: تغير الكشفية النوعية كدالة لطول موجة الأشعة الكهرومغناطيسية الساقطة، وتحت

تأثير فولتية انحياز عكسي للمفرق الهجين: (CuO/Si) بدرجة حرارة 200°C

يبين الشكل d (21-4) قيم الكشفية النوعية للكاشف المحضر بدرجة حرارة 300°C

ويكون مقدار الكشفية $10^{12} \times (D=8.2 \text{ cm.HZ}^{1/2}.\text{W}^{-1})$ عند طول موجي 450 nm .



الشكل (21-4) d: تغير الكشفية النوعية كدالة لطول موجة الأشعة الكهرومغناطيسية الساقطة، وتحت

تأثير فولتية انحياز عكسي للمفرق الهجين: (CuO/Si) بدرجة حرارة 300°C

3-8-4 زمن الاستجابة وفترة حياة الحاملات

ويحدد زمن البقاء عن طريق انتشار الحاملات وزمن انجراف الحاملات في منطقة النضوب

وسعة منطقة النضوب، ويتأثر زمن البقاء بزمن تصادم الشحنة في منطقة النضوب ومساحة الكاشف

الحساسية وكذلك جهد الانحياز، تم حساب فترة حياة الحاملات للكاشف المصنع بالاعتماد على زمن النهوض (t_{rise}) للإشارة الخارجة من الكاشف المعرض إلى نبضة ليزر نبضي تحت انحياز عكسي بمقدار (5Volt)، كما موضح في الشكل (4-22)، إذ ان اعتماد زمن البقاء على الطول الموجي المستخدم للقياس نتيجة زيادة معامل الامتصاص للمادة المستعملة في تصنيع الكاشف الذي يكون دالة للطول الموجي وبالتالي تأثره باختراق الفوتونات للمادة النافذة، وكذلك يتأثر زمن البقاء بزمن عبور الحاملات المتولدة ضوئياً عند أعماق مختلفة، وهذا يتضح عند فولتيات الانحياز القليلة أو المعدومة.



الشكل (4-22): فترة حياة الحاملات بدرجة حرارة تليدين مختلفة (As-prepared, 100, 200, 300)°C

الجدول (4-7): النتائج العملية في فترة حياة الحاملات بدرجة حرارة تليدين مختلفة.

Sample	Life time Carrier τ_{Life} (m sec)
As-prepared	1.5
100	5.3
200	5.3
300	5.9

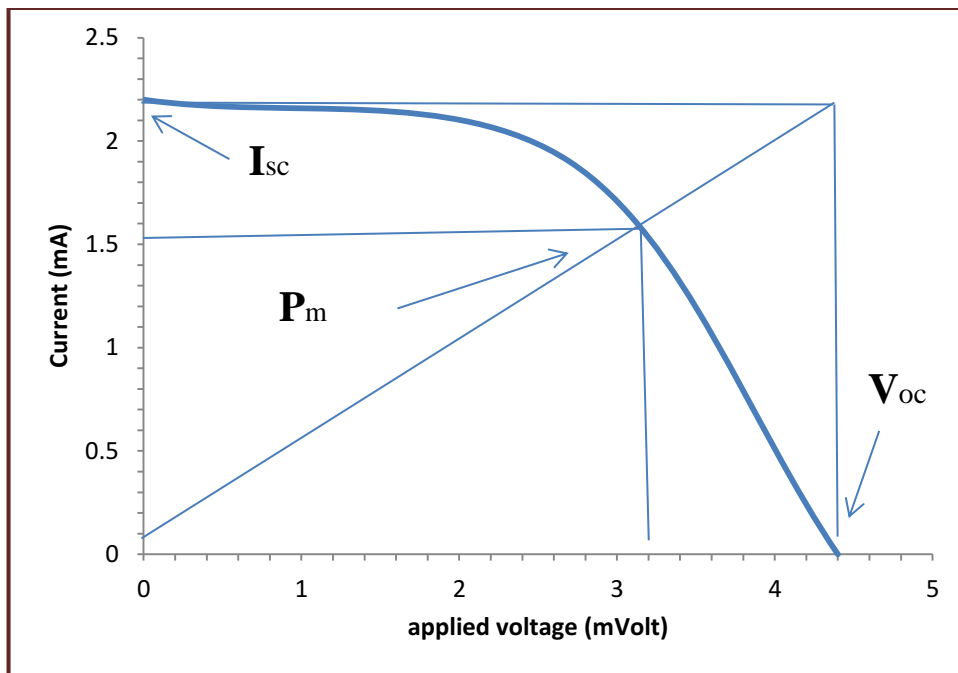
9-4 قياسات الخلية الشمسية

1-9-4 قياسات (فولتية الدائرة المفتوحة و تيار الدائرة القصيرة):

يُعد تيار الدائرة القصيرة I_{sc} وفولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} صفتين مميزتين للنبائط الفولتائية الضوئية مثل الخلايا الشمسية، ويصفان كفاءة النبيطة من دون الحاجة إلى تحييزها أو تسليط فرق جهد خارجي على النبيطة، ولأن I_{sc} و V_{oc} ينتجان من فصل أزواج (e-p) المتولدة في منطقة النضوب (W) بواسطة المجال الكهربائي الداخلي للنبيطة الناشئة من سقوط الإشعاع الضوئي عليها من دون الحاجة إلى تسليط مجال كهربائي خارجي على النبيطة. يلاحظ من الشكل (4-23) a,b,c,d والجدول (4-8) زيادة تيار الدائرة القصيرة I_{sc} وفولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} وزيادة القدرة الخارجية العظمى، ولذلك تؤدي إلى زيادة الكفاءة للخلية الشمسية بزيادة درجة حرارة التليدين. وتفسير ذلك يعود إلى النقصان في تركيز العيوب التركيبية التي تعمل كمراكز إعادة اتحاد، وعليه تقل احتمالية إعادة اتحاد الحاملات المتولدة ضوئياً، وتعمل أيضاً درجة الحرارة على تقليل سرعة إعادة الاتحاد ولا سيما على السطح. كما أن درجة الحرارة تعمل على تقليل الانعكاسية على السطح كونها مادة عازلة (Dielectric Material)، وبالتالي أدى إلى تحسن قيم كل من التيار والفولتية وإن الزيادة في المعلمات الفولتائية الضوئية (I_{sc} & V_{oc}) بسبب زيادة درجة حرارة التليدين تقود أيضاً إلى

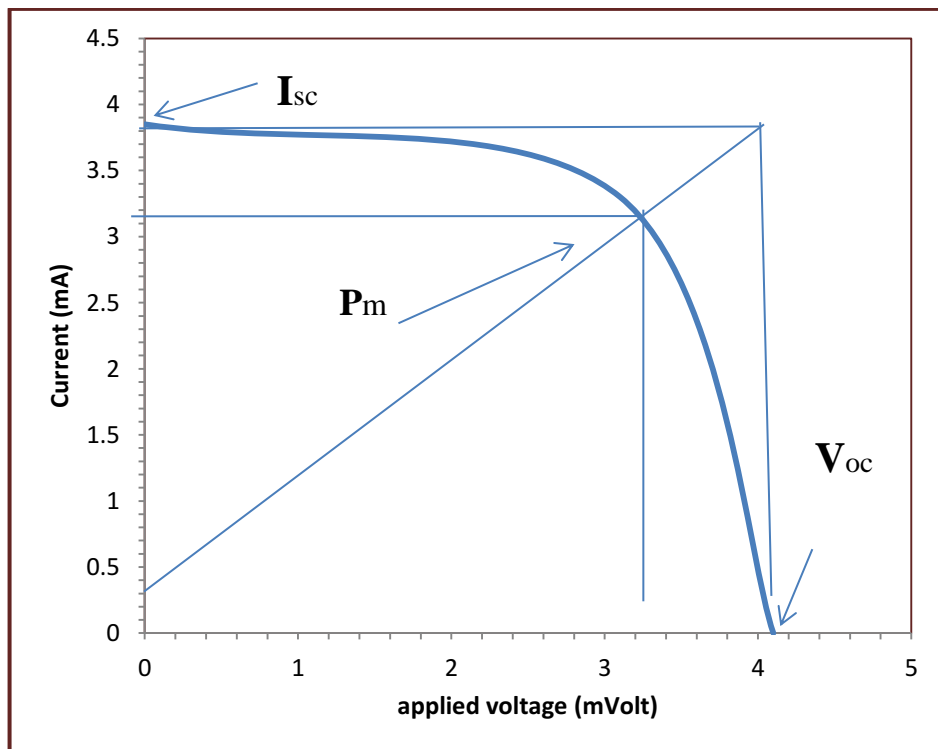
ارتفاع قيمة الاستجابة الطيفية وبالتالي تحسين خصائص الكاشف. وتم استعمال المعادلات

(46-2) و(48-2) في حساب كفاءة الخلية الشمسية وعامل الملء.



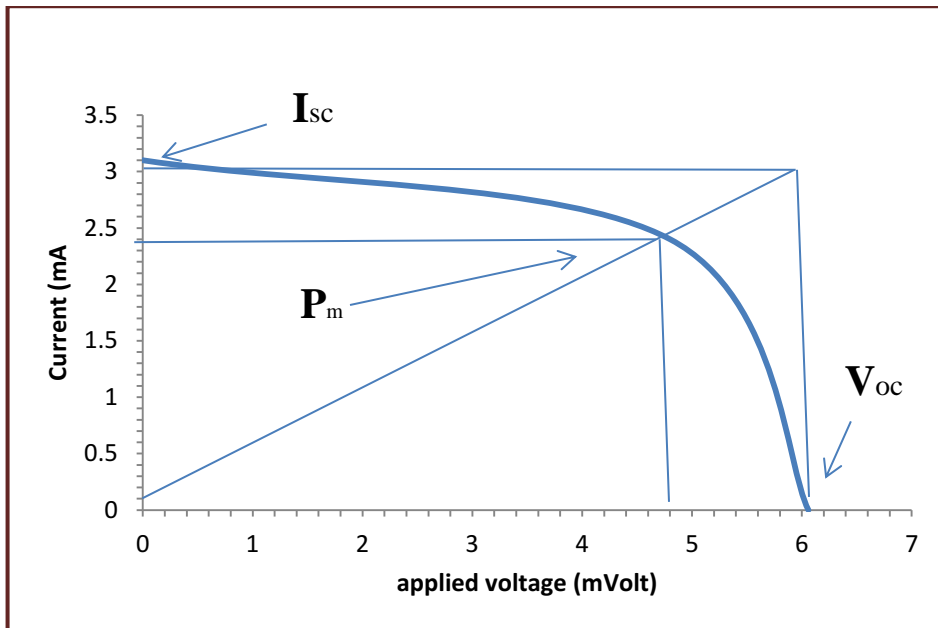
الشكل a (4-23): معالمات الخلية الشمسية (V_m, I_m, I_{sc}, V_{oc}) للمفروق الهجين (CuO/Si) عند

درجة حرارة الغرفة.



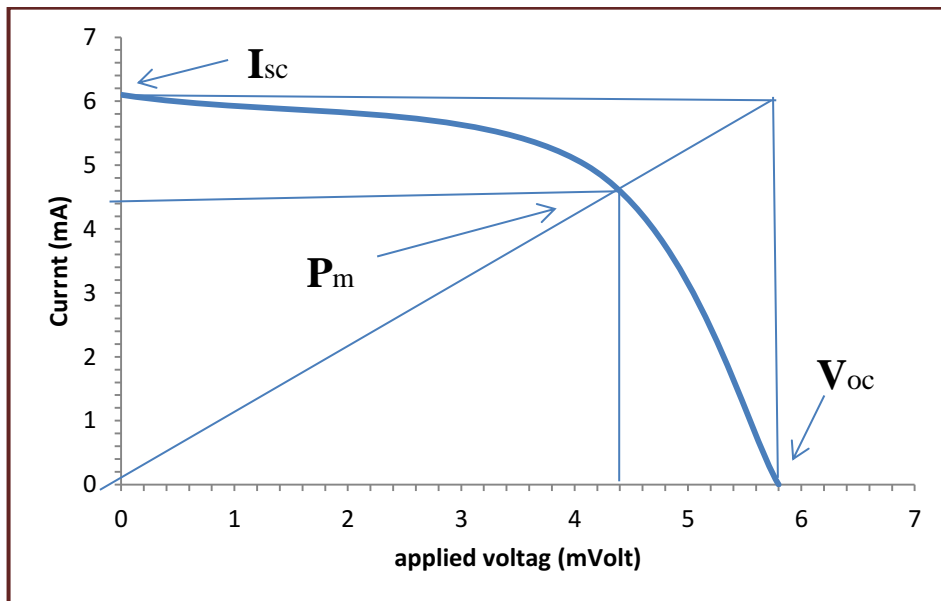
الشكل b (23-4): معلمات الخلية الشمسية (V_m, I_m, I_{sc}, V_{oc}) للمفرق الهجين (CuO/Si) عند

درجة حرارة $100^\circ C$



الشكل c (23-4): معلمات الخلية الشمسية (V_m, I_m, I_{sc}, V_{oc}) للمفرق الهجين (CuO/Si) عند

درجة حرارة $200^\circ C$



الشكل d (23-4): معلمات الخلية الشمسية (V_m, I_m, I_{sc}, V_{oc}) للمفرق الهجين (CuO/Si) عند

درجة حرارة $300^\circ C$.

الجدول (4-8) قيم كل من (V_{oc}) (I_{sc}) (F.F.) ($\eta\%$) و (V_m, I_m) للخلايا الشمسية المصنعة من المفروق (CuO/Si) بدرجات حرارة مختلفة $^{\circ}C$ (300,200,100,As-prepared).

Sample	I_{sc} mA	V_{oc} mV	I_m mA	V_m mV	F.F%	$\eta\%$
AS	2.2	4.4	1.5	3.2	42.1	1.2
100	3.85	4.1	3.1	3.3	64.8	2.5
200	3.1	6.06	2.4	4.8	61.32	2.8
300	6.1	5.8	4.4	4.4	54.72	5.7

الفصل الخامس

الاستنتاجات و

المشاريع المستقبلية

4-10 الاستنتاجات (Conclusions):

بعد تحضير أغشية (CuO) بدرجات حرارة تليدين مختلفة (As-) $^{\circ}\text{C}$ تم دراسة خصائصها وجدت أنها مطابقة للبطاقة (ASTM)، تم التوصل الى الاستنتاجات الآتية:

1. سهولة تحضير اغشية رقيقة من مادة اوكسيد النحاس النانوية بطريقة كيميائية يسيرة.
2. تبين من الخصائص التركيبية للغشاء بعد فحص الاشعة السينية أن المادة مطابقة للمواصفة العالمية، وكذلك عدم وجود اي اثر لمادة اخرى فضلاً عن أن المادة احادية الميل ومتعددة التبلور، وأن زيادة درجة الحرارة تؤدي الى ظهور جذور الاوكاسيد.
3. تبين من قياس مجهر القوة الذرية ان الاغشية ذات ابعاد نانوية.
4. وجد من النتائج البصرية أن المادة مناسبة في تصنيع خلية شمسية بأعلى كفاءة (5.7%) عند درجة حرارة تليدين $^{\circ}\text{C}$ (300).
5. يمكن استخدام المفرك الهجين في تطبيقات الكاشف الضوئي ضمن الاشعة تحت الحمراء القريبة و المرئية.
6. زيادة التليدين للغشاء المستخدم في تصنيع الخلية الشمسية يؤدي الى زيادة عمر الحاملات الذي بدوره يزيد من التيار السطحي فيه وذلك لمنع اعادة الالتحام بين الفجوات والالكترونات.
7. تبين من قياسات تيار جهد ان عامل المثالية يساوي 1.9 عند درجة حرارة تليدين $^{\circ}\text{C}$ (200).

11-4 المشاريع المستقبلية (Future Work)

١. تحضير مفرق هجين لأغشية (CuO) على قواعد من السيليكون المسامي لزيادة كفاءة الخلية الشمسية.
٢. تحضير اغشية رقيقة من مادة (CuO) بطريقة الاستئصال الليزري في مذيبات مختلفة.
٣. دراسة تأثير السمك في الخواص الفيزيائية لأغشية (CuO) المحضرة بطريقة الصب الكيميائي.
٤. تحضير متحسس غازي من هذه الاغشية للغازات (H_2S, NO_2).

المصادر

References:

1. Tribble ,(Electrical Engineering Materials And Devices) University of Lawa , (2002)k.D.Lever , (“Thin Films”) London (1971) .
2. O.S.Heavens , (“Optical Properties of Thin Solid Films”) (1954) Copy right (1991) .
3. R.W. Berry and P.M.Hall , (“Thin Films Technology ”) , New York (1979) .
4. L. Eckertova, "Physics of Thin Film ",Plenum press, New York and London, 1977.
5. H. G. Rashid, Design and optimization of thin Films optical filters With applications in the Visible and in Frared region", Ph. D. thesis, AL-Mustansiriyah University, 1996.
6. D. A. Gerdeman and N. L. Hecht, "*Arc plasma Technology in materials science*", Spring erverlag, New York, (1972).
7. A. K. Abass, Sol. “Energy. Mater.”,Vol. 17, PP. 375 – 378, (1988).
8. J. B. Forsyth, S. Hull," **The effect of hydrostatic pressure on the ambient temperature structure of CuO**", J. Phys. Condens. Matter 3, PP. 5257-5261, (1991).
9. B.Balamurugan, B.R. Mehta, “Thin Solid Films”,Vol. 90,PP. 396, (2001).
- 10.AE. Rakhshani , “Solid State Electron”, Vol. 7,PP. 29 (1986).
- 11.WM. Sears, E.Fortin , "Solar Energy Mater",Vol. 10, PP.93, (1984).
- 12.Z.H. Gan, G.Q. Yu, B.K. Tay, C.M. Tan, Z.W. Zhao, Y.Q. Fu, “J..Appl. Phys ”, Vol. 37, P. 81, (2004).
- 13.S.C. Ray, “Solar Energy Materials and Solar Cells”.Vol. 68, PP. 307–312, (2001) .
- 14.X.P. Gao, J.L. Bao, G.L. Pan, H.Y. Zhu, P.X. Huang, F. Wu, D.Y. Song, “J. Phys. Chem”, Vol. 108, PP. 5547.1966, (2004).
- 15.H.M. Xiao, S.Y. Fu, L.P. Zhu, Y.Q. Li, G. Yang, Eur." J. Inorg. Chem.", Vol. 14, (2007).
- 16.H. Fan, L. Yang, W. Hua, X. Wu, Z. Wu, S. Xie, B. Zou,” Nanotechnology”, Vol. 15, P. 37, (2004).
- 17.C.T. Hsieh, J.M. Chen, H.H. Lin, H.C. Shih, “Applied Physics Letters”,Vol. 83, P. 3383, (2003).
- 18.P.O. Larsson, A. Andersson, R.L. Wallengerg, B. Svensson,” J. Catal”, Vol. 163, P. 279 ,(1996).
- 19.W. Chae, J. Ho Yoon, H. Yu, D. Jang, Y. Kim,” J. Phys. Chem. “, Vol. 108, P. 11509, (2004) .

20. M. Ando, T. Kobayashi, M. Haruta, "Sens. Actuat", Vol. 851, PP. 24–25, (1995).
21. M. Ando, T. Kobayashi, M. Haruta, "Catal. Today", Vol. 36, P. 135 (1997).
22. C. Ray Sekhar, "*Preparation of copper oxide thin film by the sol gel like dip technique and study of their structural and optical properties*", Soler Energy Materials & Soler Cell. Vol 68, (2001), PP. 307-312.
23. L. Armelao, D. Barreca, M. Bertapelle, G. Bottaro, C. Sada, E. Tondello "*A sol–gel approach to nanophasic copper oxide thin films*", Thin Solid Films 442, (2003), PP. 48–52.
24. L. S. Huang and S. G. Yang "*Preparation of Large –Scale Cupric oxide nanowires by thermal evaporation method*" Journal of Crystal Growth , 260, 2004, pp 130-135
25. G. Papadimitropulos and N. Vourdas, "*Deposition and Characterization of copper oxide thin film*" Journal of Physics conference series 10, (2005), 182-185.
26. P. Stefanov "*XPS studies of short pulse laser interaction with copper*" Applied surface Science .vol 253 ,p.1046-1050 (2006).
27. M. F. Al-Kuhaili, "**Characterization of copper oxide thin films deposited by the thermal evaporation of cuprous oxide (Cu₂O)**", Vol. 82, PP. 623–629, (2008).
28. A. Chen, and H. Long "*Controlled growth and characteristics of single-phase Cu₂O and CuO films by pulsed laser deposition*", Vol. 83, 2009, PP. 927–930 .
29. Hiba S. Tarik, "*Preparation Of Copper Oxide Thin Films Cu₂O & CuO By The Laser and Study of Their Structure and Optical Properties*", M.Sc. Thesis, University of Technology, (2009).
30. Sura .M Ahmad "*the Effect of Thickness on The Optical and Structural Properties of Copper Oxide The Nano- Grain Size* ", M.Sc. Thesis , AL-Mustansiriyah University , 2010.

31. I. Ibrahim and, M. Salman " *Electrical behavior and Optical Properties of Copper Oxide thin Film* " Baghdad Science Journal , **Vol.8**,(2),2011.
32. H. Kidowaki, T. Oku " *Fabrication and Characterization of CuO – based Solar Cells* " Journal of Materials Science Research , **Vol.1**, No.1,2012.
33. H. Kidowaki, T. Oku " *Fabrication and Evaluation of CuO /ZnO Heterostructures For Photoelectric Conversion* " IJRRAS, 13(1) , 2012.
34. K. Uthman and M. Bakeko " *Effect of Oxidation temperature on the properties of copper oxide thin film prepared from thermally oxidized evaporated copper thin film* " Journal of applied physics , **Vol .3**, 2013, pp 61-66.
35. S. H. Awad and R. I. Jadaan " *Study the Optical properties of Copper Oxide thin film Deposited by Cold Spray* " AL- Oadisiya Journal for Engineering Science, **Vol.6**,2013, No .4.
36. R. Adnan ,A. Elttayef " *Optical properties of (CuO)thin film prepared by (R.F) Plasma sputtering* " Wasit Journal for Science & Medicine , pp.265-276, 2014, 7(4).
37. V. Saravanakannan and T. Radhakrishnan " *Structural ,Electrical and Optical Characterization of CuO thin films prepared by Spray pyrolysis Technique* " International Journal of Chem tech Research , **Vol .6**,No.1, 2014,pp.306-310.
38. Burhra. K.al-Maiyaly and I.H. Khudayer " *Effect Ambient Oxidation on Structural and optical properties of copper oxide thin film* " International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology , **Vol. 3**, 2014.

39. Ahmed N. Abd and Aseel M. Abdul Majeed "*Fabrication and Characterization of copper Oxide Nanoparticles /Psi Heterodiode*" International Letters of Chemistry Physics and Astronomy ,**Vol.57**, 2015 pp25-35.
40. R. Shashidhar and B. Angadi "*Preparation and Characterization of Spray Deposited CuO thin films towards Fabrication of low Cost Hetero-Junction Solar Cells*" Advances in Applied Physical and Chemical Sciences –A sustainable Approach ,2015.
41. H. Hashim and S. S. Shariffudin "*Electrical and Optical Properties of copper Oxide thin films by Sol-Gel Technique*" International Conference on Electronic Devices , **Vol.99**,2015.
42. k. S. Wanjala and W. K. Njoroge "*Optical and Electrical Characterization of CuO thin film as Absorber Material for Solar cell Applications*" American Journal of Condensed matter physics ,6(1), 2016, pp.1-6.
43. Hiba M. Ali "Fabrication and Study Properties Photodetector and solar cell (CuO Thin film)", M.Sc. Thesis, University of Baghdad, (2017)
44. S. S. Al- Rawi , J. S. Jaber, Y. M. Hassan "Solid State Physics " Al-Mousul University , Arabic Version ,(1988) .
45. متي ناصر ، " علم المواد " جامعة بغداد، ١٩٩٠.
46. M. G. Yousif " Solid State Physics "Vol.1 ,Baghdad University Arabic Version , (1989)
47. محمد أمين سليمان، أحمد فؤاد باشا وشريف أحمد خيرى " فيزياء الجوامد " مطبعة الفكر العربي(2000).

- 48.J.S.Blakmore " Solid State Physics " Cambridge Press, 2nd Edition (1986) .
- 49.Y.N.Al-Jammal" Solid State Physics "Al- Mousul University ,Arabic Version , (1990).
- 50.A. Kinbara , S. Baba , and N. Matuta " Mechanical Properties of Metal and Component Films " Journal of Thin Solid Films , Vol. 141 , P. 222 , (1986).
- 51.M. N. Makadsi " Materials Science " High Education Publishing Baghdad , Arabic Version , (1990) .
- 52.K. Alexander " X-Ray Diffraction Procedures For Poly Crystalline Material " John Wiley and Sons , (1974) .
- 53.M.E. Elangovan, K. Ramesh, K. Ramamurthi, Solid State Comm., vol. 130, p. 523, (2004).
54. W. D. Callister “ Materials Science and Engineering” 4th Edition , (1997).
- 55.C. Kittel "Introduction to solid state physics" John Wiley and sons ,5th edition, (1986).
- 56.A. Beiser " Concepts of Modern Physics " Mc Graw – Hill Kogakusha , Ltd , 2nd Edition , (1980) .
- 57.L. Pawlowski “The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings", John Wiley and sons , 2nd. Edition, France , book, (2007).
- 58.Y.N.AL-Jammal " Soild state physics" AL- Mousul University ,Arabic version , (1990).
- 59.F. Scholz “Compound Semiconductors” book, (2009).
- 60.J. Pattar , S. N. Sawant , M. Nagaraja , N. Shashank , K. M. Balakrishna , G. Sanjeev & H. M. Mahesh ” Structural Optical and

Electrical Properties of Vacuum Evaporated Indium Doped Zinc Telluride Thin Films” Int. J. Electrochem. Sci., Vol. 4, pp 369-376 , (2009).

61.M. Dhanam, R.R. prabhu & P.K. Manoj "Investigations on chemical bath deposited Cadmium Selenide thin films" Materials Ch & Phy, Vol.107, pp289-296, (2008).

62.F. Scholz “Compound Semiconductors” book, (2009).

٦٣ . أس . أم . زي ، "نبائط أشباه الموصلات فيزياء وتقنية" دار الحكمة للطباعة والنشر (الموصل)، ترجمة د. فهد غالب حيالي ود. حسين علي أحمد (١٩٩٠).

64.K.L.Chopra " Thin Film Phenomena " Mc Graw – Hill , New York (1969).

65.J. I. Pankove "Optical Processes in Semiconductors" Prentice-Hall, New Jersey, (1971) .

66.A. H. Clark "Optical properties of polycrystalline and amorphous thin films and devices " edited by Laurece. L. Kazemerki, Academic press, (1960).

67.S. Ben “Solid State Electronic Devices” Hall International , Inc ,U. S. A. ,(1990).

68.Y. Sirotin ,Y. M. Shaskolskaya "Fundamentals of crystal physics " , Mir Publishers , Moscow, (1982).

69.S. A. Tawfiq " A study of optical and electrical properties of the cadmium stannate material using the Co - Evaporation method " PH.D. Thesis , Al –Mustansiriya University, (1996) .

70.D. A. Neamen, "*Semiconductor Physics and Devices*", 3rd Edition, Mc Graw-Hill Com., Inc., University of New Mexico, U.S.A, (2003).

- 71.P. Miller, and R. Yang, "scanning tunneling and atomic Force Microscopy Combined" ,Applied Physics Letters, Vol:52, ,(1988). pp 2233-2235.
- 72.W. D. Callister *"Materials Science and Engineering: An Introduction"*, John Wiley & Sons, Inc, New York (2007) .
- 73.B. Streetman, and S. Banerjee, "*Solid State Electronic Devices*", 5th Edition, Newjersey, (2000).
- 74.B.L. Sharma and R.K. Purohit, "*Semiconductor Heterojunctions*". Pergamon Press, NewYork, (1974).
- 75.R. Mamazza Jr., D.L. Morel, C.S. Ferekides, "*Thin Solid Films*", Vol. 484, (2005), PP. 26-33.
- 76.S. M. Sze, "*Physics of Semiconductor Devices*", 3rd Edition. John Wiley and Sons, Inc Publication, Canada, (2007).
- 77.S. C. Lofgran, "*Thin Film Deposition & Vacuum Technology*", Bachelor of Science, Brigham Young University, Idaho, (2013).
- 78.H. S. Nalwa, "*Handbook of Surfaces and Interfaces of Materials*", 5th Edition, Academic Press, Inc.USA, (2001).
- 79.G.Margaritondo,"*Electronic Structure of semiconductor Heterojunctions*", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, London, (1988).
- 80.O. N. Bala Sundaram and V. Veeravazhuthi, "*Thin Film Techniques and Applications*", Allied Publisher PVT Limited, New Delhi, (2004).
- 81.S. M. Sze, "*Semiconductors Devices Physics and Technology*", John Wiley and Sons, Inc Publication, New York, (1990).
- 82.H. H. Ahmed, "*Fabrication and Study Characteristics Of CdS / Si Heterojunction Detector by CBD Technique*". Tikrit Journal of Pure Science, 17(2): 169-175, (2012).

- 83.M. Shur , "*Physics of Semiconductor Devices* ," by Hall of India , New Delhi ,(1st Ed .) , (1995) .
- 84.A. M. Abdul Majeed, A. N. Abd, N. F. Habubi, "*Fabrication and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles/Psi Heterodiode*" International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy Vol. 57 (2015) pp 25-35.
- 85.R. A. Smith, "*Semiconductors*", 2nd Ed, Cambridge University Press, London, (1987).
- 86.A.ROGALKI "*Infrared Detectors*" 2 Edition , USA ,2011.
- 87.K. Othmer, "*Photodetectors*", Encyclopedia of chemical technology, Vol.17, John Wiley & Sons, (1982).
- 88.A.A.Salih "*fabrication and study of photodetector from CdO:Al/Si heterojunction*" Ph.Sc . Thesis, Baghdad- University, 2015.
- 89.M. A. Kinch, "*Fundamentals of Infrared Detector Materials*", Published by Spie Press, USA, (2007).
- 90.I. H. Khdayer "*Fabrication and studying the photoconducting Characteristics of InSb Junction with Silicon as a single crystal semiconductor*" ph. Thesis. University of Baghdad, (2005).
- 91.O. N. Bala Sundaram and V. Veeravazhuthi, "*Thin Film Techniques and Applications*", Allied Publisher PVT Limited, New Delhi, (2004).
- 92.R. A. Ismail, N. F. Habubi, A. M. Ali, "*Structural and electrical properties of CdO/porous-Si heterojunction*", Iraqi Journal of Physics, 10(18):76-85, (2012).
- 93.Powder Diffraction File, JCPDS - International Center for Diffraction Data. [ASTM] data files, (Card NO 005. 0661). Pennsylvania, (1997).

94. A. Van der Drift " *Evolution and selection a principle governing growth orientation in vapor – deposited layers* " Philips Res, Rep.(1968) (267 -288).
95. L. Dghoughi, F. Ouachtari, M. Addou, B. Elidrissi, H. Erguig, A. Rmili, A. Bouaoud, " *The effect of Al-doping on the structural, optical, electrical and cathode luminescence properties of ZnO thin films prepared by spray pyrolysis* ". Physica, B405: (2010), 2277-2282.
96. T.A. Daldow, M. Dirar, A. Allah, A. Ahmed, S. Ahmed, R. Abd. Algani " *Determination of energy gaps of CuO & ZnO Solar Cells using spectra and electric power* " International journal of engineering sciences & management ,(2015).
97. D. Jundale and S. Pawar " *Nanocrystalline CuO Thin Film synthesis Microstructural and Optoelectronic Properties* " Journal of sensor Technology 2011,1,pp 36-46 .
98. R.A. Hammood, A. Abbas " *Structural and Optical properties of CuO Thin films Prepared via R.F magnetron sputtering* " Vol 3, (2014), Issue 7.
99. S. Kose, F. Atuya, V. Bilgin, I. Akyuz " *some physical Properties of Copper Oxide films* " Materials Chemistry and physics, pp.351-358,(2008)
100. A. H. Clark, " *Optical Properties of Polycrystalline and Amorphous Thin Films and Devices* ", Edited By Lawrence L. Kazamerki, Academic Press, (1980).
101. M.R. Johan and M.S.M. Suan " *Annealing Effects on the Properties of copper Oxide thin films Prepared by Chemical*

- Deposities*" International Journal of ElectroChemical Science, Vol . 6 ,(2011), pp.6094- 6104.
102. V.Figueiredo, E.Elangovan, G.Concalves, p.Barquinha, N.Franco
" Effect of post – annealing on the Properties of Copper Oxide thin films Obtained from the oxidation of evaporated Metallic Copper"
science Direct ,Applied surface science ,3949-3954, 2008.
103. K. V. Ravi ," Imprecation and Impurities in Semiconductor Silicon" , John Wiley and Sons, Inc, (1981).
104. S. M. Sze," Semiconductors Devices Physics and Technology ",
Translated to Arabic by F. G. Hayaty and H. A. Ahmed, Baghdad,
(1990).
105. W. Schoield, "Physics For Engineering", New York, (1970).
106. S .Waider ." An Introduction to solar Energy".Translated by S.J.
Shakeret . al . Al-Mosul university (1989).
107. M.A.Green,"Solar Cells " Translated by Y.M Hassan .University of
Al- Mosul (1989) .
108. K.Alexander ,"X-Ray Diffraction Procedures for Polycrystalline
and Amorphous Material" , John wiley and sons , (1974).
109. P. Miller, and R. Yang, "scanning tunneling and atomic Force
Microscopy Combined" ,Applied Physics Letters, Vol:52, ,(1988). pp
2233-2235.
110. W. R. Frensley and N. G. Einspruch "Heterostructure and Quantum
Well Physi-cs". Academic Press - San Diego.(1994).
111. Giorgio Margaritondo,"Electronic Structure of semiconductor
Heterojunctions " , London, (1988).
112. عبد الهادي يحيى الصائغ ، وفيصل عبد المجيد ، وزكي عبد الجبار " علم البلورات
"مطبعة جامعة الموصل ، ١٩٨١ .

Abstract

In this research, photodetector and solar cell fabrication from copper oxides (CuO) its properties were studied, which prepared by deposition CuO at different temperature annealing (as prepared, 100, 200 and 300) °C by Drop casting method, These films have been prepared by deposited on glass and silicon substrate in room temperature (as prepared). The XRD investigation showed that all the films that all prepared films are polycrystalline with preferred orientation along (002), (110) plane and atomic force microscopy properties (AFM), for all films that grain size all the films were homogeneous and smooth and root mean square (RMS) change by increases temperature.

From through measurements of optical properties exhibited that the thin films (CuO) low absorbency over the visible region wavelength of (400-700)nm, both two values transmission and the optical energy band gap decrease from (1.8-1.6) eV for (CuO) and (2)eV for (Cu₂O) depend on the increase thin film annealing temperature.

Through electrical measurements for thin film prepared, it has been revealed that increasing in electrical conductivity with increasing annealing temperature, note the Hall effect were (p-type) positive semiconductor, and with increase annealing temperature decline concentration and increase mobility.

From the result of the I – V characteristics measurements for prepared detectors under dark calculate the ideality factor for detectors fabricated, as it found decreasing with increasing annealing temperature then value less (1.9) on annealing temperature (200) °C, noted the detectors fabricated showed a range of spectral responsively between (400-900) nm with two peaks (p-CuO/n-Si) one peak at (700)nm wavelength-visible region, while the second peak at (840)nm wavelength near IR region. The same response for the detectors fabricated with wavelength shifted in the first peak response within visible region, as for annealing temperature (300) °C the peak appear at (680) nm wavelength. As found the good result of the spectral responsively at as prepared temperature which has a peak

response about (0.64) A/W and a specific detectivity of (9.178) $\text{cm.Hz}^{1/2}.\text{W}^{-1}\times 10^{12}$ at (840) nm wavelength with maximum carrier life time which about (5.9) msec obtained at temperature (300) °C

Solar cell fabricated from (p-CuO/n-Si) heterojunction which prepared from deposited films by using drop casting method from (CuO) with different temperatures, and (n-type) single crystal silicon substrate with orientation (110). As showed illumination and (Short Circuit Current and Open Circuit Voltage) characteristics measurements solar cell with annealing temperature (300) °C have higher efficiency among other cells, the efficiency (η) value from ($\eta = 5.7\%$) that the heterojunction is abrupt, and the capacitance decreases with increasing reverse bias voltage, also with increasing annealing temperature, while the width of depletion layer and the value of built-in potential increases with increasing of annealing temperature.

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
& Scientific Research
University of Baghdad
College of Education for pure
Science / Ibn Al-Haitham
Department of Physics



Fabrication and Characteristics for Copper Oxide / Silicon for photovoltaic device

A thesis

Submitted to the college of education for pure science
(Ibn Al-Haitham)/ Baghdad University in partial fulfillment of the
requirements for the Degree of Master in Physics

By

Maithm Abd Al-Hussein Obeid

Supervised by:

Prof. Dr. Alia A . Shehab

1438 A.H

2017 A.D