



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

تحضير ودراسة المفرق الهجيني

Al/ P*Si*/NiO/Al

رسالة مقدمة الى

كلية التربية للعلوم الصرفة / ابن الهيثم _ جامعة بغداد

وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير في علوم الفيزياء

من

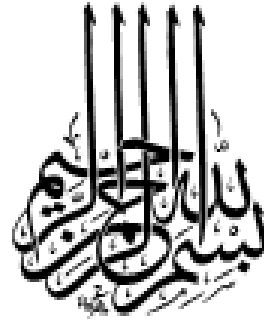
سرور أحمد خلف

بكالوريوس علوم فيزياء (2016)

بإشراف

الاستاذ الدكتور

علية عبد المحسن شهاب



وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ
عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ

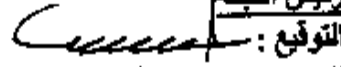
صدق الله العظيم

سورة هود (الآية 88)

أقرار لجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة المناقشة أننا اطلعنا على الرسالة الموسومة (تحضير ودراسة المارقي الهيجيني (Al/Psi/NiO/Al) المقدمة من قبل الطالبة (سرور أحمد خلف) وقد ناقشنا الطالبة في محتوياتها فوجدناها جديرة بالقبول ومستوفية لمتطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء وبتقدير (امتياز).

رئيس اللجنة

التوقيع: 

الاسم: د. سمير عطا مكي

المرتبة العلمية: أستاذ

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

التاريخ: ٢٠١٨ / ٩ / ٢٤

عضو اللجنة

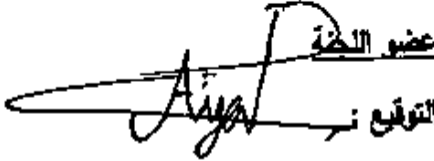
التوقيع: 

الاسم: د. ماجد حميد حصوني

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: الجامعة المستنصرية /كلية التربية / قسم الفيزياء

التاريخ: ٢٠١٨ / /

عضو اللجنة
التوقيع: 

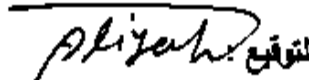
الاسم: د. اياد أحمد صالح

المرتبة العلمية: مدرس

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

التاريخ: ٢٠١٨ / ٩ / ٢٤

عضو اللجنة ومشرفا

التوقيع: 

الاسم: د. عليّة عبد المحسن شهاب

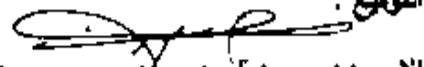
المرتبة العلمية: أستاذ

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

التاريخ: ٢٠١٨ / /

سقت من قبل مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة - ابن الهيثم - جامعة بغداد

التوقيع:



الاسم: د. حسن أحمد حميد

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

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

التاريخ: ٢٠١٨ / /

إقرار المشرف على الرسالة

أقر أن إعداد هذه الرسالة الموسومة (تحضير ودراسة المفرق الهجين

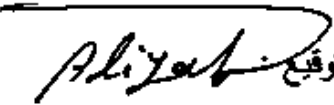
$Al/PSi/NiO/Al$) التي قدمها الطالب (سرور أحمد خلف) تم بإشرافي في قسم

الفيزياء كلية في التربية للعلوم الصرفة/ ابن الهيثم/ جامعة بغداد، وهي جزء من متطلبات

نيل شهادة ماجستير علوم في الفيزياء.

اسم المشرف : أ.د. علية عبد المحسن شهاب

المرتبة العلمية : أستاذ

التوقيع : 

التاريخ : 2018 / /

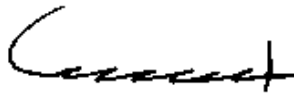
توصية رئيس قسم الفيزياء

بناء على التوصية المقدمة من الأستاذ الدكتور علية عبد المحسن شهاب أحيل

هذه الرسالة على لجنة المناقشة لبيان الرأي فيها.

الاسم : أ.د. سمير عطا مكي

المرتبة العلمية : أستاذ

التوقيع : 

التاريخ : 2018/ /

الإهداء

الى صاحب الرسالة الابدية

سيد الكائنات رسولنا محمد

(صلى الله عليه وعلى آله وسلم)

الى قدوتي الأولى ونبراسي الذي ينير دربي

الى من علمني ان اصمد امام أمواج البحر الثائرة

الى من رفعت رأسي عاليا افتخارا به

..... والدي العزيز

الى معنى الحب والحنان والتفاني

الى من حاكت سعادتي بخيوط منسوجة من قلبها

الى من كان دعائها سر نجاحي

.. والدتي العزيزة ..

الى من بهم أكبر وعليهم اعتمد

الى شمعة متقدة تنير ظلمة حياتي

الى من بوجودهم اكتسبت قوة ومحبة

.. أخواني .. أخواتي ..

أهدي لكم ثمرة جهدي المتواضع

سرور



الشكر والتقدير

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خير النبيين محمد (صلى الله عليه وعلى آله وسلم وعلى وصحبه أجمعين).

بعد شكر الله سبحانه وتعالى على اتمام البحث، اود ان اتقدم بالشكر والعرفان الى الاستاذة الدكتورة (علية عبد المحسن شهاب) التي يسرت لي طريق اختيار مشروع البحث وعلى كل ما قدمته من توجيهات ومعلومات قيمة طوال مدة اعداد البحث، وفقها الله سبحانه وتعالى، كما أشكر عمادة الكلية ورئاسة قسم الفيزياء و أساتذتي جميعهم الأفاضل في القسم لما قدموه من مساعدة ونصيحة، اتقدم بفائق الشكر والاحترام للدكتور أ.م.د. أحمد ناجي عبد(الجامعة المستنصرية/ كلية العلوم) لما قدمه من توجيهات علمية قيمة ومعلومات سديدة طول مدة اعداد البحث وفي توفير الأجهزة، وفقه الله تعالى فله مني جزيل الشكر والتقدير، اقدم شكري الجزيل وامتناني الى زميلي (م.م.ميثم عبد الحسين) لمساندته لي وتعاونه الكبير معي في كل ما قدمه من تشجيع وتوجيهات طوال مدة انجاز البحث، وفقك الله لك مني جزيل الشكر والتقدير، كما اتقدم بالشكر الى اساتذتي الكريمتين (م.د.سها عريبي، م.د.مي عبد الستار) لما قدمته من توجيهات وتشجيع وفقكم الله ، واتقدم بالشكر الكبير الى من وقف معي وزرع التفاؤل في دربي ولما قدموا من تشجيع ومساندة اصدقائي (نادين، عمر). كما اشكر جميع اصدقائي في الدراسة (منار، رؤى، نور، طيبة، اية، عبد الرحمن، حسن) لتشجيعهم الدائم.

سرور

الخلاصة

حضرت اغشية اوكسيد النيكل (NiO) بطريقة الصب بالقطرة الكيميائي بدرجات حرارة تلدن مختلفة (As – prepeard, 200,400,600)°C لمدة ساعة عند سمك (150±5)nm اذ تم ترسيب مادة اوكسيد النيكل (NiO) على قواعد من الزجاج والسليكون والسليكون المسامي، و دراسة الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية والكهرو بصرية. اظهرت نتائج حيود الاشعة السينية ان جميع الاغشية المحضرة ذات تركيب متعدد التبلور ذا اتجاهية (200)،(012). استعمل مجهر القوة الذرية لدراسة طوبوغرافية السطح ووجد ان الاغشية المحضرة والملدنة ذات تراكيب نانوية والحجم الحبيبي يقل مع زيادة درجة حرارة التلدن اما الخشونة ومعدل الخشونة (RMS) يزداد مع زيادة درجة حرارة التلدن. من قياسات الخواص البصرية تبين ان اغشية (NiO) لها امتصاصية عالية في مدى الأطوال الموجية للمنطقة المرئية (350-700)nm، وان فجوة الطاقة تتغير من 2.8-3.4 eV مع زيادة درجة حرارة التلدن.

من دراسة الخصائص الكهربائية للأغشية (NiO) بينت نتائج تأثير هول أن نوع الأغشية من النوع الموجب (p-type)، وان تركيز حاملات الشحنة يقل بينما التحركية تزداد مع زيادة درجة حرارة التلدن . اما نتائج قياسات (تيار- جهد) (I-V) في حالة الظلام للمفارق الهجينة المحضرة كافة تبين ان التيار يتغير مع زيادة درجة حرارة التلدن. تم تصنيع خلية شمسية من المفارق الهجين (p-NiO/n-Si) للأغشية المحضرة والملدنة على قواعد سيليكونية أحادية البلورة باتجاهية (111) من النوع (n-type). حيث بينت خصائص (تيار الدائرة القصيرة I_{sc} وفولتية الدائرة المفتوحة V_{oc}) أن الخلية الشمسية عند درجة حرارة تلدن 600°C تمتلك أعلى قيمة للكفاءة، إذ بلغت الكفاءة التحويلية (η=7.6%).

في هذا البحث تم تحضير أغشية السليكون المسامي (PSi) ذات التركيب النانوي باستخدام عملية التنميش الكهروكيميائية لكلا النوعين من السليكون المسامي (p,n) عند كثافة تيار التنميش (15mA /cm²) وزمن حفر (15min) لتركيب المسامات الحجمية.

وتم دراسة خصائص شرائح السليكون بواسطة قياسات حيود الاشعة السينية (XRD) و قياسات التحليل الطيفي (FTIR) ومجهر القوة الذرية (AFM). وتم حساب الحجم البلوري

من خلال قياسات (XRD) ، ووجد ان الحجم الحبيبي نانوي من خلال قياسات (AFM)،
اظهرت تحليلات (FTIR) وجود ذرة الهيدروجين على شكل اواصر ضعيفة (Si-H).

كما وتم تصنيع خلية شمسية من المفارق الهجينة للسليكون المسامي لكلا النوعين (n,p)
ووجد ان اعلى كفاءة تم الحصول عليها للمفرق الهجين (Al/p-Si/PSi/NiO/Al) ، الكفاءة
($\eta=8.6\%$).

لوحظ ان الاستجابة الطيفية للكواشف المصنعة من سليكون المسامي تعمل ضمن المنطقة
الطيفية (300-900)nm اذ يلاحظ وجود قمتين للكاشف (Al/n-Si/PSi/Al)
تظهر القمة الأولى عند الطول الموجي (700)nm أي ضمن منطقة المدى
المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي، والقمة الاخرى عند الطول الموجي (800)nm أي ضمن
منطقة مدى الأشعة تحت الحمراء القريبة، اما الاستجابة الطيفية للكاشف بعد اضافة مادة
اوكسيد النيكل اذ يلاحظ ظهور ثلاث قمم للكاشف (Al/n-Si/PSi/NiO/Al)
تظهر القمة الأولى عند الطول الموجي (700)nm أي ضمن منطقة
المدى المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي، والقمة الاخرى عند الطول الموجي (800)nm أي
ضمن منطقة مدى الأشعة تحت الحمراء القريبة، والقمة الثالثة تظهر عند طول موجي
(500) nm.

قائمة الرموز العلمية

وحدة القياس	المصطلح العلمي	الرمز
μm^2	مساحة الغشاء	A
-	معاملات ميلر	hkl
Å	المسافة البينية بين السطوح الذرية	d
Line.m^{-2}	كثافة الانخلاعات	δ
Crystal/nm^2	عدد البلوريات المتكونة لوحددة المساحة	N_o
$\text{cm}^2.(\text{V.s})^{-1}$	تحركية الحاملات	μ
eV	الألفة الإلكترونية	χ
V	جهد الانتشار (جهد البناء الداخلي)	V_{bi}
eV	فجوة الطاقة البصرية	E_g^{opt}
nm	الحجم البلوري	D
-	معامل الانكسار	n_o
$\Omega^{-1}.\text{cm}^{-1}$	التوصيلية الكهربائية	σ
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}
msec	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
mA/cm^2	كثافة تيار الاشباع	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
W	القدرة الساقطة	P_o
$cm.Hz^{1/2}.W^{-1}$	الكشفية النوعية	D^*
	الكفاءة التحويلية	η
nm	الطول الموجي	λ
-	الكفاءة التحويلية	$\eta\%$
A /W or V/W	الاستجابة الطيفية	R_λ
m/s	سرعة الضوء في الفراغ	c
$cm^3.C^{-1}$	معامل هول	R_H
cm^{-3}	تركيز حاملات الشحنة لوحدة الحجم	n
mV	فولتية هول	V_H
mA	تيار هول	I_x
-	القدرة المكافئة للضوء	NEP
μm	عمق انتشار الإلكترونات	L_n
μm	عمق انتشار الفجوات	L_p
cm^{-1}	معامل الامتصاص البصري	α
-	مجهر القوة الذرية	AFM
-	عامل الملء	F.F
nm	متوسط مربع الخشونة	RMS

قائمة المصطلحات

ASTM	American Society of 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
Ni	Nickel
XRD	X-Ray Diffraction
UV	Ultraviolet
IR	Infrared
VIS	Visible
NPS	Nanoparticles
RMS	Root mean square

رقم الصفحة	اسم الموضوع	الفقرة
الفصل الأول: مقدمة عامة		
1	مقدمة	1-1
2	طرائق تحضير الاغشية الرقيقة	2-1
3	خصائص أكسيد النيكل (NiO)	3-1
6	تطبيقات أكسيد النيكل	4-1
6	السليكون المسامي PSi	5-1
8	تطبيقات السليكون المسامي PSi	6-1
8	الدراسات السابقة	7-1
15	الهدف من البحث	8-1
الفصل الثاني: الجانب النظري		
16	المقدمة	1-2
16	مفهوم أشباه الموصلات	2-2
16	انواع أشباه الموصلات	3-2
18	الخواص الفيزيائية للأغشية الرقيقة	4-2
21	مجهر القوة الذرية AFM	5-2
22	طيف الاشعة تحت الحمراء FTIR	6-2
22	الخواص البصرية	7-2
27	الثوابت البصرية	8-2
28	تأثير هول Hall Effect	9-2
30	المفارق الهجينة	10-2
32	نماذج المفارق الهجينة	11-2
34	الخصائص الكهربائية للمفارق الهجين	12-2
36	معلومات الخلية الشمسية	13-2
38	الكواشف الضوئية	14-2
38	الكواشف الحرارية	15-2
39	الكواشف الفوتونية	16-2
40	معلومات أداء الكاشف	17-2
43	تصنيع السليكون المسامي PSi	18-2
44	شروط عملية الحفر	19-2
46	حساب المسامية والسمك	20-2

الفصل الثالث: الجانب العملي		
48	المقدمة	1-3
49	تحضير اغشية اوكسيد النيكل (NiO)	2-3
50	طريقة الصب بالقطرة الكيميائي	3-3
51	تحضير العينات	4-3
53	عملية ترسيب أقطاب الالمنيوم	5-3
54	قياس سُمك الأغشية	6-3
54	تلدين الاغشية الرقيقة	7-3
55	تشخيص تركيب الأغشية المُحضرة بتقانة حيود الأشعة السينية	8-3
55	قياسات مجهر القوة الذرية (AFM)	9-3
56	قياسات طيف الاشعة تحت الحمراء FTIR	10-3
56	فحوصات المجهر الضوئي	11-3
56	الفحوصات البصرية	12-3
57	القياسات الكهربائية	13-3
58	الخصائص الكهربائية للمفرق الهجين	14-3
60	معلومات الخلية الشمسية	15-3
61	خصائص الكاشف الضوئي	16-3
63	اعداد طبقة السليكون المسامي	17-3
الفصل الرابع: النتائج والمناقشة		
64	المقدمة	1-4
64	الخصائص التركيبية	2-4
70	قياسات مجهر القوة الذرية (AFM)	3-4
73	نتائج قياسات طيف الاشعة تحت الحمراء FTIR	4-4
76	نتائج الفحص بالمجهر الضوئي	5-4
76	الخصائص البصرية	6-4
84	الخصائص الكهربائية	7-4
85	خصائص المفرق الهجين	8-4
89	معلومات الخلية الشمسية	9-4
92	زمن البقاء	10-4
94	الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية لسليكون المسامي PSi	11-4
101	خصائص المفرق الهجين لسليكون المسامي	12-4

102	معلومات الخلية الشمسية لسليكون المسامي	13-4
106	معلومات انجاز الكاشف	14-4
	الفصل الخامس	
113	الاستنتاجات	1-5
114	المشاريع المستقبلية	2-5
115	المصادر	

الفصل الأول

PDF HADITH ONLINE

مقدمة عامة

1-1 المقدمة

Introduction

تمثل فيزياء الأغشية الرقيقة (Thin Films) إحدى الفروع الهامة في مجال فيزياء الحالة الصلبة (Solid State Physics) والذي تبلور عنه وأصبح فرعاً قائماً بحد ذاته كونه يرتبط و يتعامل مع نبائط دقيقة (Micro Devices) تتصف جميعها بأنها ذات سمك صغير جداً لا يتجاوز الأبعاد المايكروية [1].

تعد تقنية الأغشية الرقيقة واحدة من أهم التقنيات التي شاركت في دراسة أشباه الموصلات، و قد أعطت فكرة لكثير من الخواص الفيزيائية والكيميائية ، لأنها أسهمت بشكل فعال في الجانب العملي [2]. يطلق عادة مصطلح الأغشية الرقيقة على طبقة (Layer) او عدة طبقات (Multilayer) من ذرات معينة لا يتعدى سمكها مايكروناً واحداً ، وهي ناتجة عن تكثيف الذرات أو الجزيئات أو الأيونات التي تمتلك خواص فريدة مهمة مختلفة مقارنة لصفة جسيم سميك (Bulk) من اذ الصفات الفيزيائية والهندسية وعدم توازن تركيبها المايكروي وتضاريس السطح [3] ونظراً لقلّة سمك هذه الأغشية وسهولة تشققها قد رسبت على قواعد ترسيب من مواد مختلفة مثل الزجاج والكوارتز والسليكون والالمنيوم و فلزات أخرى تعتمد طبيعة الدراسة و تطبيقاتها [4]، الاغشية الرقيقة لها تطبيقات كثيرة يمكن ان نذكر منها :

1- التطبيقات الالكترونية Electronic Applications :-

تم استخدام الاغشية الرقيقة للاستعاضة عن الكثير من اجزاء الدوائر الالكترونية التي تعطي صفات مماثلة بكفاءة اكبر كالمقومات (Rectifiers) والمتسعات (Capacitors) والترانزستورات (Transistors) والحاسبات الرقمية . (Digital Computers).

Optical Applications**2- التطبيقات البصرية**

استعملت الأغشية الرقيقة في عملية التداخل المستخدمة في أجهزة الاستنساخ والتصوير الفوتوغرافي، كذلك استخدمت في طلاء العدسات والمرايا والمرشحات لبعض الأطوال الموجية ذات المواصفات الخاصة للاستفادة منها في الخلايا الضوئية (Photocells) والخلايا الشمسية (Solar cells) والكواشف (Detectors) [5,6].

ان التطور الحاصل في مجال الأغشية الرقيقة أدى الى تنوع البحوث التي تعنى بدراسة الخصائص الفيزيائية لهذه الاغشية ، وقد اسهمت الطرائق الحديثة في تحضير اغشية رقيقة ذات مواصفات على درجة عالية من النقاؤه والدقة تعتمد على سمك الغشاء وتجانسه مما يتطلب منظومات واجهزة دقيقة ومعقدة تحتاج الى تكاليف باهضة، كل ذلك أدى الى البحث عن طرائق فيها كلفة التحضير واطئة وبأجهزة اقل تعقيدا.

1 – 2 طرائق تحضير الأغشية الرقيقة Thin Films Preparation Methods

نتيجة للتطور العلمي فقد تطورت طرائق تحضير الاغشية الرقيقة واصبحت على درجة عالية من الدقة في تحديد سمك الغشاء وتجانسه ، وتعددت طرائقها واصبح لكل طريقة خصوصياتها ومميزاتها لتؤدي الغرض الذي استعملت من اجله ، وان اختيار الطريقة المناسبة لتحضير الغشاء يعتمد على عوامل عدة أهمها مجال استعمال الغشاء ونوع المواد المستعملة في التحضير وكلفة التحضير [7,8].

وبشكل عام يمكن تقسيم طرائق التحضير بين نوعين اساسين [9]:-

اولاً : الطرائق الفيزيائية .

ثانياً : الطرائق الكيميائية .

تتضمن الطرائق الفيزيائية الآتي:

1- طريقة التبخير الحراري في الفراغ Thermal Evaporation Method in Vacuum

- A. التبخير بالوميض (Flash Evaporation).
- B. التبخير بالقوس (Arc Evaporation).
- C. التبخير بالليزر (Laser Evaporation).
- D. التبخير بالحزمة الالكترونية (Electron Beam Evaporation).

2- طريقة الترنيذ (Sputtering Method)

أما الطرائق الكيميائية فتتضمن الآتي :-

1- الترسيب الكهربائي (Electrical deposition)

- A. الترسيب الالكتروليتي (Electrolytic deposition).
- B. أكسدة الانود (Anodic Oxidation).

3- الترسيب غير الكهربائي (Electroless deposition)

4- الصب بالقطرة الكيميائي (Drop casting Chemical)

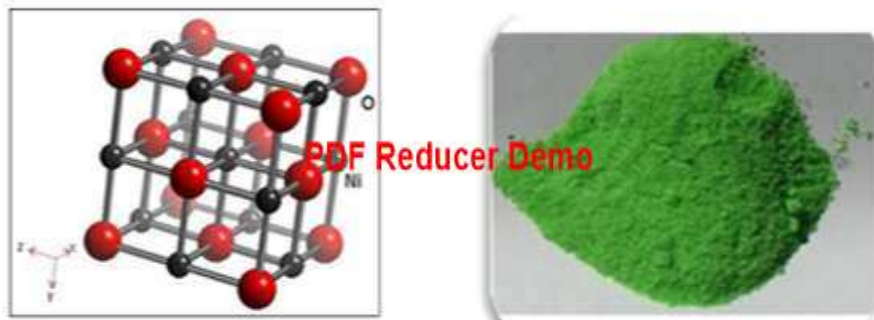
5- ترسيب البخار الكيميائي (Chemical Vapour deposition)

- A. الترسيب الكيميائي الحراري (Chemical Spray pyrolysis).
- B. تفاعلات التحويل (Transfer Reaction).
- C. البلمرة (Polymerization).

3-1 خصائص اوكسيد النيكل

Characteristics of (NiO)

يمكن الحصول على اوكسيد النيكل (NiO) على شكل مسحوق بلوري اما اخضر او اسود ذو كثافة (6.67g/cm^3) ووزن جزيئي (842.87g/mole) ودرجة انصهار $1955\text{ }^\circ\text{C}$ [10]. ان اغشية (NiO) ذات تركيب بلوري مكعب (cubic) متمركز الأوجه FCC وهي تشابه تركيب كلوريد الصوديوم (NaCl) البلوري ، وتعد هذه الأغشية هامة كونها دخلت في كثير من التطبيقات الفيزيائية بسبب خصائصها الكهربائية والبصرية المتميزة مثلا في تطبيقات المواد ضدادة الفيرومغناطيسية وفي شاشات العرض والمتحسسات والاجزاء الهامة التي تدخل في تصنيع الليزر والمرشحات والطلاءات غير العاكسة وكثير من التطبيقات الأخرى، وتكون توصيليتها من النوع الموجب (p-type) [11,12] أي ان حاملات الشحنة الاغلبية هي الفجوات (Holes)، اوكسيد النيكل ذو ثابت شبكية مقداره 4.173 \AA ، وهو لا يكون اوكسيديا توازنيا فيه نسبة المعدن Ni إلى الأوكسجين هي 1:1 بل يكون هناك زيادة من الأوكسجين، ووحدة الخلية لأوكسيد النيكل كما في الشكل (1-1) [13].



الشكل (1-1) التركيب البلوري لأوكسيد النيكل (NiO) [14]

الشكل (b) ((1-1) مادة اوكسيد النيكل (NiO) [15].

الجدول (1-1) بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لأوكسيد النيكل (NiO) [15].

Molar formula	NiO	Si
Molar mass	74.6928 g/mole	20.08 g/mole
Appearance	Green crystalline solid	
Density	6.67 g/cm ³	2.33 g/cm ³
Melting point	1955 °C 2228 K	1415 °C
Solubility in water	Negligible	
Solubility in ammonium Hydroxide	Soluble in KCN	
Band gap	(1.7 – 4.9) eV	1.12 eV
Crystal structure	Cubic (FCC)	Diamond cubic
Lattice constant	4.173 Å	5.43 Å
Related compounds	Nickel dioxide Ni ₂ O ₃	

Application of (NiO)**4-1 تطبيقات اوكسيد النيكل**

يستعمل اوكسيد النيكل في كثير من التطبيقات اهمها [10,16]:

- 1- في صناعة العزل الكهربائية مثل الثرمستورات.
- 2- في اصباغ النظارات والتزجيج.
- 3- اقطاب كهربائية في الاجهزة البصرية والالكترونية.
- 4- في إنتاج السبائك وصناعة السيراميك.
- 5- في بطارية النيكل - حديد معروفة ببطارية اديسون وهي مكونة من خلايا الوقود والكثير من املاح النيكل والمواد المحفزة.
- 6- استعمل النيكل لجعل البطاريات قابلة لإعادة الشحن.

Porous Silicon (PSi)**5- 1 السليكون المسامي**

تم الحصول على السليكون المسامي (PSi) في منتصف الخمسينات في "مختبرات بيل"، اذ تم اكتشاف خصائص اللمعان الضوئي للسليكون المسامي وبعدها تم استخدامه في عام 1990، [17]. اكتشاف التألق الضوئي عند درجة حرارة الغرفة لسليكون المسامي PSi من قبل (Canham). ان عدم استخدام السليكون الكتلي (Bulk Silicon) في مجال المصادر الباعثة للضوء بسبب كون السليكون مادة شبة موصلة ذات فجوة طاقة غير مباشرة (Indirect band gab) وبالتالي يحدث التألق الضوئي عند درجة حرارة الغرفة بشكل صغير. السليكون المسامي النانوي مادة جديدة ذات اهمية من الناحية العلمية والتطبيقية نظرا لتمتعها بخواص الحصر الكمي [18].

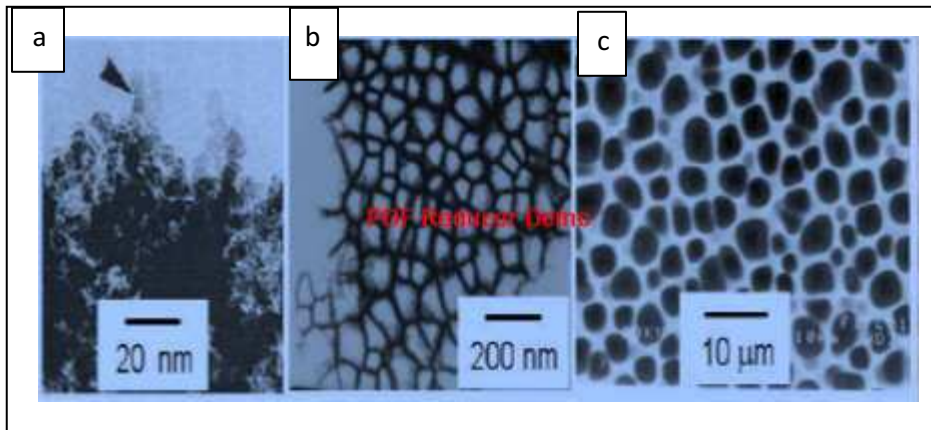
بشكل عام (P Si) هو شبكة مترابطة من تقوب (المسامات) في السليكون Si. يتم تصنيف P Si حسب قطر المسام ، والذي يمكن أن يختلف من بضعة نانومتر إلى بضعة ميكرونات اعتمادًا على متغيرات التكوين ، الجدول (2-1) يوضح التصنيف العام للمواد

الجدول (2-1) التصنيف للسليكون المسامي.

Dominant pore width (nm)	Type of material
≤ 2	<i>Microporous</i>
<i>2-50</i>	<i>Mesoporous</i>
> 50	<i>Macroporous</i>

تستخدم كلمة (nanoporous) أحيانا لأصغر نظام مسامي للتأكيد على البعد النانوي [19].

اما الشكل (2-1) يوضح انواع السليكون المسامي P Si.



(a) microporous (P Si) الشكل انواع السليكون المسامي (2-1)

(b) mesoporous (c) macroporous [20].

ظهرت مجموعة متنوعة من تطبيقات PSi منذ اكتشافها لأول مرة. وقد لوحظ بالفعل أن التطبيقات الممكنة لسليكون المسامي PSi في العزل الكهربائي للدوائر المتكاملة والتطبيقات الإلكترونية البصرية المختلفة. ولا تقتصر أهمية السليكون المسامي في تصنيع الكواشف الضوئية والدايودات [21].

7-1 الدراسات السابقة :-

1. حضر الباحثون (Patil et al .) سنة (2002) أغشية (NiO) بطريقة التريز، إذ درس الخصائص التركيبية بأستعمال حيود الأشعة السينية (XRD) وحسبت فجوة الطاقة الممنوعة للانتقال لألكتروني المباشر المسموح ، إذ وجد بأن فجوة الطاقة تتناقص من 3.58eV الى 3.4eV . بالإضافة الى قياس نوع توصيلية الغشاء عن طريق تأثير هول فكانت من نوع (P-type) . [22]
2. أجرى الباحث (Ezema et al.) سنة (2007) دراسة عن الخصائص البصرية لأغشية اوكسيد النيكل المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري، إذ تم حساب قيمة فجوة الطاقة البصرية للانتقال الالكتروني المباشر المسموح اذ تراوحت بين $2.10 - 3.90\text{eV}$ وبسمك مختلف يتراوح ما بين $0.06 - 0.364\ \mu\text{m}$ ووجد بأن نفاذية الأغشية المحضرة لمدى الأطوال الموجية للضوء المرئي تراوحت بين 50% الى 90% . [23].
3. درس الباحث (Puvashothaman et al) سنة (2008) الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية اوكسيد النيكل المحضرة بطريقة التريز ، إذ أظهرت دراسة حيود الأشعة السينية بأن هذه الأغشية متعددة التبلور وأن الاتجاه السائد لهذه لأغشية هو

(200)، اما الدراسة البصريه فبينت أن طبيعة الأنتقال هو إنتقال مباشر وأن قيمة فجوة الطاقه (3.6eV) [24].

4. درس الباحث (Srivastave et al.) سنة (2008) إمكانية تحضير أغشية اوكسيد النيكل بطريقة الطلاء بالبرم واستخدام محلول بوليمري على قواعد زجاجية، وأوضحت نتائج حيود الأشعة السينية بأن الأغشية المحضرة كانت متعددة التبلور ومن النوع المكعب ، وهو يشابه تركيب كلوريد الصوديوم (NaCl) ذي اتجاه سائد (111) ، أما النتائج البصرية فبينت بأن النفاذية عالية جدا تتراوح بين 80% الى 95% عند مدى الاطوال الموجية ، وأن قيمة فجوة الطاقة البصرية تتناقص بزيادة درجة الحرارة والتركيز المولاري، بينما كانت اكبر قيمة لفجوة الطاقة عند نسبة التبلور القليلة [25] .

5. تمكن الباحث (Ibrahim) سنة (2009) من دراسة الخصائص الكهروكيميائية والكهروبصريه لأغشية اوكسيد النيكل المحضرة بواسطة التبخير بالحزمة الالكترونية (electron beam evaporation)، اذ أظهرت دراسة حيود الأشعة السينية بأن هذه الأغشية متعددة التبلور، أما النتائج البصرية فقد بينت بأن قيمة فجوة الطاقة لهذه الأغشية (3.6 eV) [26].

6. أجرى الباحث (Igwe et al.) سنة (2009) دراسة لمعرفة تأثير التلدين الحراري على اغشية اوكسيد النيكل المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري المرسبه على قواعد زجاجية عند درجة حرارة °C (100,150,200,250,300)، واوضحت الدراسة بأن قيمة فجوة الطاقة تتراوح بين (1.9 - 4.4) eV وان معامل الانكسار

(Refraction Index) يتراوح بين (3.00 - 1.0) وسمك مختلف يتراوح بين $0.12 - 14$ μm [27].

7. قام الباحث (Mendoza et al.) سنة (2009) بتحضير أغشية أوكسيد النيكل باستعمال طريقة الترسيب بالحمام الكيميائي والترديد، أذ أظهرت الدراسة بأن هذه الأغشية ذات امتصاص عالي المنطقة المرئية مع نقصان درجة التبلور عند درجة حرارة (300 °C) نتيجة الفراغات الناتجة عن (Ni)، وعند التلدين بدرجات الحرارة العالية تم التخلص من الفراغات وبالتالي تحسين قيمة النفاذية البلورية [28].

8. تمكن الباحث (Saadati et al.) سنة (2010) من الحصول على أغشية أوكسيد النيكل وسمك مختلف يتراوح بين (285 - 645) nm والتي رسبت باستعمال طريقة التبخير بالحزمة الالكترونية عند درجة حرارة الغرفة وعلى قواعد زجاجية، تم تشخيص التركيب النانوي للأغشية باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD) ومجهر القوة الذرية (AFM)، أذ بينت النتائج بان اغشية (NiO) ذات اتجاه سائد (200) الذي يزداد مع زيادة سمك الغشاء . اضافة الى زيادة في الحجم البلوري الذي تم ايجاده بأستعمال (XRD). اما الحجم الحبيبي بواسطة (AFM) قد تم قياسه عند الأطوال الموجية (340 - 850)nm، وأن المعلمات البصرية لهذه الأغشية اثبتت بأن هذه الأغشية ذات تركيب متجانس [11].

9. حضر الباحث (Romero et al.) سنة (2010) أغشية أوكسيد النيكل النانوية التركيب بطريقة التحلل الكيميائي الحراري عند الضغط الجوي الاعتيادي بعد ترسيبها على قواعد من الزجاج وبوجود محلول خلاص النيكل المائية، أذ أظهرت النتائج تغير كبير في تشكيل السطح اعتمادا على درجة حرارة الترسيب والتركيز

المولاري للمحلول، فعند درجة حرارة 350°C كانت الاغشية بشكل نسيج شبكي ثم تصبح على شكل الياف نانوية (nanofibers) عند زيادة السمك، بينت الفحوصات التركيبية أن هذه الأغشية مكونة من حبيبات متصلة وحجمها تقريبا 100 nm وكذلك اظهرت فحوصات (XRD) أن الأغشية متعددة التبلور اما الفحوصات البصرية فقد بينت بان فجوة الطاقة تقل من 4.3 eV الى 3.6 eV [29].

10. حضر الباحث (Mallikarjuna) سنة (2011) اغشية اوكسيد النيكل ذات سمك مختلف على قواعد زجاجية بأستعمال طريقة التريذ وبوجود الاوكسجين النقي وعند قدرة تريذ مقدارها (150 W) ودرجة حراره ترسيب 250°C أذ درست الخواص التركيبية كدالة لتغير السمك بأستعمال تقنية حيود الأشعة السينية ، اذ أظهرت الدراسة ظهور المستوى (200) وكذلك ظهور مستويات اخرى مثل (220) وبينت القياسات ايضا أن قيمة فجوة الطاقة بحدود (3.82 eV) والنفاذية البصرية تقدر حوالي (60%) عند سمك 350 nm [30].

11. حضر الباحث (Bakry et al.) سنة (2010) أغشية اوكسيد النيكل المتبلورة وغير المتبلورة بأستعمال طريقة التحلل الكيميائي الحراري ، أذ رسبت هذه الأغشية على قواعد من الزجاج وعند درجات الحرارة المختلفة تراوحت ما بين 225 و 350°C وقد تم فحص التركيب البلوري بأستعمال تقنية حيود الأشعة السينية ومجهر القوة الذرية (AFM) ، عند درجة حرارة 225°C كانت الاغشية غير متجانسة، اما عند الدرجات الأعلى من 225°C فكان الغشاء متجانس وذو تركيب مكعب [12].

12. نجح الباحث (Raut et al.) سنة (2011) بأستعمال طريقة الترسيب بالمحلول الغروي للحصول على أغشية اوكسيد النيكل النانوية التركيب ، أذ أظهر التلدين بدرجات حراره C^0 (400–700) تغير في الخواص التركيبية والكهربائية والبصرية ، واطهرت الفحوصات التركيبية (XRD) (AFM) أن هذه الأغشية متبلورة وأن فحوصات السطح بينت أيضا وجود الحبيبات النانوية مع وجود المستويات العشوائية، وأن هناك نقصان بقيمة فجوة الطاقة من $(3.47 - 3.68) eV$ بعد التلدين $^{\circ}C$ (400 - 700)، وهذا يدل على تحسن الخصائص البصرية بتأثير التلدين [31].
13. درس الباحث (Ralu et al.) سنة (2012) امكانية تحضير اغشية أوكسيد النيكل النانوية التركيب بطريقة التحلل الكيميائي الحراري المرسبه على القواعد الزجاجية عند درجة حرارة $^{\circ}C$ (350)، وقد بينت نتائج حيود الأشعة الاشعة السينية أن هذه الأغشية متعددة التبلور ومن النوع المكعب، أما القياسات البصرية فقد بينت أن الامتصاصية تزداد بزيادة طاقة الفوتون وطبيعة الانتقال غير مباشر [32].
14. درست الباحثة (زينب طارق) سنة (2015) الخصائص الكهربائية والتركيبية و البصرية و التحسسية لغشاء أوكسيد النيكل. بينت فحوصات (SEM), (XRD), (AFM) الخصائص التركيبية لغشاء اوكسيد النيكل. حضرت اغشية (NiO) بسمك مختلف $(100,150,200)nm$ على ارضيات من الزجاج والسليكون والالومينا باستخدام تقنية التريذ بالموجات الراديوية وبدرجة حرارة للارضية $^{\circ}C$ (100) . درست الخصائص البصرية والكهربائية للأغشية باستخدام طيف النفاذية و تأثير هول. اشارت نتائج حيود الاشعة السينية ان جميع الاغشية لها تركيب متعدد التبلور من النوع المكعب . الحجم

الحبيبي بالأبعاد النانوية يعتمد على سمك الاغشية، اذ امتلك الغشاء بسمك nm (200) معدل لحجم الحبيبي بقيمة nm (85.5) وتزداد قيمة (RMS) بزيادة سمك الاغشية [33].

15. درست الباحثة (Mohsin) سنة (2015) الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية اوكسيد النيكل النقية والمطعمة بالليثيوم بتقنية (المحلول الجلاتيني)، اذ تم ترسيب اغشية رقيقة من (NiO) النقية والمشوبة بالليثيوم Li بتركيز مختلفة (0.03,0.06,0.09) mole على قواعد من الزجاج بدرجة حرارة الغرفة بأستخدام تقنية الطلاء بالمحلول الغروي وفحص تأثير كل من نسب التشويب بالليثيوم والسمك بين nm (50-200) على الخصائص التركيبية والبصرية لاغشية (NiO)، ثم تم وصف تركيب لأغشية بواسطة حيود الاشعة السينية (XRD) ومجهر القوى الذرية (AFM)، واطهر نتائج الفحوصات الاشعة السينية ان الاغشية النقية والمشوبة ذات تركيب متعدد بلوري من نوع مكعب وبالاتجاه السائد (111) كما تم حساب الحجم الحبيبي للنماذج المقاسة عند سمك nm (200) من بيانات (XRD) ووجد انه يزداد بزيادة نسب التطعيم بالمدى nm (24.2-20.11). من الخواص البصرية وجد ان نفاذية الاغشية تناقصت قليلا بعد التشويب بالليثيوم مع زيادة نسب التشويب الانتقالات الالكترونية كانت مباشرة مسموحة وبفجوة طاقه بين eV (3.8-3.5-3.4-3.6) [34].

16. درس الباحث (Hassan et al.) سنة (2016) الاعتماد على الخواص التركيبية والتحركية و تركيز حاملات الشحنة على سمك أغشية أوكسيد النيكل (NiO) المرسبة على قواعد من الزجاج بطريق الرش المايكروني التفاعلي RF عند طاقة التردد الراديوي W 200. بواسطة حيود الأشعة السينية (XRD) وجد ان اغشية أوكسيد النيكل متعددة

التبلور مع اتجاه سائد عند السطح ذو اتجاهية (200)، يزداد الحجم البلوري من nm (22.894) إلى nm (25.035) عند زيادة سمك الغشاء من nm (50) إلى nm (150). من فحوصات AFM زاد معدل الخشونة من nm (2.055) إلى nm (3.191) مع زيادة سمك الغشاء. يتم زيادة مقاومة غشاء اوكسيد النيكل NiO مع زيادة سمك الغشاء ، يتميز غشاء (NiO) بسمك يبلغ nm (150) بحد أقصى من المقاومة يبلغ $[35].(50.92)K\Omega.cm$

17. درس الباحث (Abd et.al) سنة (2016) امكانية تحضير اغشية اوكسيد النيكل (NiO) بالطريقة الكيميائية والترسيب بواسطة تقنية الصب على الزجاج وقد تم التأكد من الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية. اذ تبين من خلال فحوصات حيود الاشعة السينية (XRD) ان اغشية اوكسيد النيكل (NiO) متعددة التبلور ذات تركيب مكعب. وكشفت قياسات الاشعة فوق البنفسجية ان فجوة الطاقة لأغشية (NiO) حوالي $(1.8)eV$. وان طيف الاشعة تحت الحمراء بين ان اصرة اوكسيد النيكل (Ni-O) النانوية لها قيمة في منطقة IR ثم تتمدد وتتحول الى الاتجاه الازرق. [36]

18. حضر الباحث (Habubi et.al) عام (2016) السليكون المسامي (PSi) بعملية الحفر الكهروكيميائية (PEC) لشرائح السليكون من نوع (n-Si) من مقاومة $\Omega.cm$ (3.5 و 0.02) في حامض الهيدروفلوريك (HF) عند تركيز 24.5 % في زمن حفر مختلف (5 - 25) دقيقة. وقد تحقق التشعيع باستخدام شعاع الليزر من طاقة (W2) وطول موجة (810 nm). وقد درس الخصائص الهيكلية والمورفولوجية لطبقات (PSi) باستخدام تقنيات (SEM، XRD) والطريقة الوزنية. المقاومة لشرائح السليكون تزيد من $\Omega.cm$ (3.5-0.02) الحجم nano-crystallite ينخفض من nm (20.72) -

5.13) عند زيادة المقاومة من لشرائح السليكون وزمن الحفر. أظهرت صور SEM أن قيم عرض المسام وسمك طبقة PSi تزيد من $0.5 - 6.25 \mu\text{m}$ و $6.7 - 47 \mu\text{m}$ ، على التوالي. توضح القيم المسامية (P) لطبقات PS باستخدام الطريقة الوزنية أن المسامية تزداد من $(35 - 73) \%$ عند زيادة زمن الحفر. [37]

1-8 الهدف من البحث:

- 1- تحضير مادة اوكسيد النيكل عن طريق تفاعل كيميائي وتحضير اغشية (NiO) باستخدام طريقة الصب بالقطرة الكيميائي.
- 2- دراسة الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية لهذة الاغشية عند درجات حرارة تليدين مختلفة $(\text{As-prepared}, 200, 400, 600)^\circ\text{C}$. باستخدام ارضيات من الزجاج و السليكون نوع (n-type).
- 3- تحضير السليكون المسامي ومن ثم دراسة الخواص التركيبية والبصرية.
- 4- تصنيع خلية شمسية باستخدام رقائق السليكون - السليكون المسامي ودراسة خصائصها وقياس كفاءتها ودراسة تأثير نوع الارضية ودرجة حرارة التليدين على كفاءتها.
- 5- تصنيع كاشف باستخدام رقائق السليكون المسامي PSi ومن ثم حساب الاستجابية والكشفية النوعية.



1-2 المقدمة

Introduction

يتضمن هذا الفصل وصفاً عاماً للجانب النظري من حيث الأفكار والمفاهيم الفيزيائية النظرية، والإيضاحات العلمية والعلاقات والقوانين الرياضية التي يمكن من خلالها حساب ما يتعلق بالخواص التركيبية والبصرية والكهربائية التي يتم الحصول عليها عملياً في هذه الدراسة.

2-2 مفهوم أشباه الموصلات

Semiconductors

صنفت المواد الصلبة في الطبيعة من حيث توصيليتها الكهربائية عند درجة حرارة الغرفة إلى مواد موصلة ، ذات توصيلية كهربائية عالية بحدود $(10^3 - 10^8 \Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ ، ومواد عازلة ذات توصيلية واطئة جداً بحدود $(10^{-18} - 10^{-8} \Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ ، ومواد شبه موصلة توصيلتها بحدود $(10^{-8} - 10^3 \Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ ، أي أن توصيلتها تقع بين المواد الموصلة والعازلة. هذه المواد شبه الموصلة تكون عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة ، ولكنها تمتلك قابلية على التوصيل الكهربائي عند رفع درجة حرارتها إلى مقدار معين، إذ تزداد كثافة الإلكترونات المتوفرة للتوصيل بزيادة درجة الحرارة وازدياد تحفز الإلكترونات ، مما يؤدي إلى اجتياز فجوة الطاقة الممنوعة، لذلك يمكن التحكم بتوصيلة أشباه الموصلات بواسطة الحرارة [38].

2-3 تصنيف أشباه الموصلات :- يمكن تصنيف أشباه الموصلات على أساس التركيب

البلوري لها إلى :-

Crystalline Semiconductors

1. أشباه الموصلات البلورية

وتصنف بدورها إلى صنفين هما:

Single Crystal Semiconductors

I . أشباه الموصلات أحادية التبلور

تتميز ذرات هذه المواد بتجمعها في صفوف دورية الترتيب في تشكيلة ثلاثية الأبعاد بتمائل متكرر، فينتج عنها تركيبها البلوري من تكرار وحدة الخلية بأبعادها الثلاثة، إذ يكون تركيبها

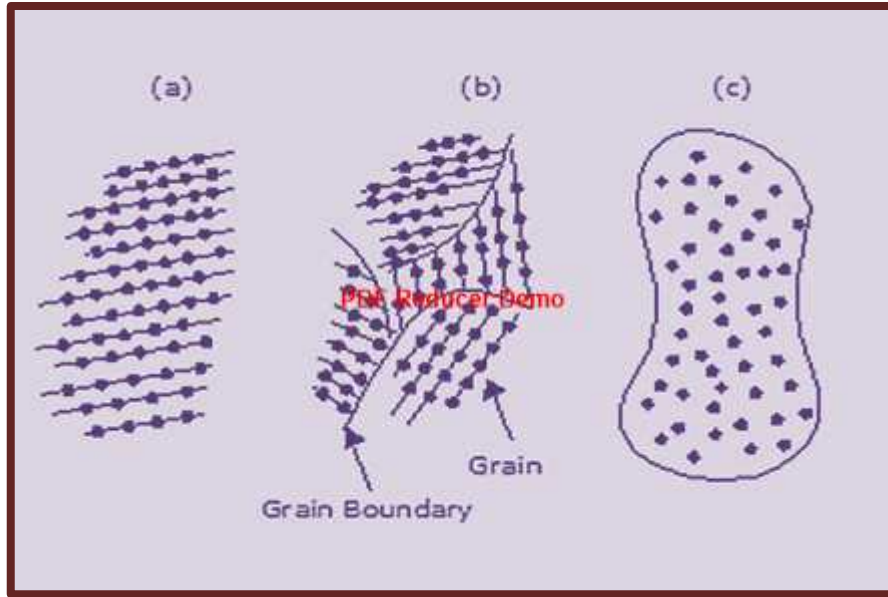
بنظام المدى الطويل (Long Range Order) كما في الشكل (a)(1-2)) فينتج تشكيلها باقل طاقة داخلية ممكنة لنظام تركيبها البلوري [40,39].

II. أشباه الموصلات متعددة التبلور Polycrystalline Semiconductors

تتميز ذرات هذه المواد بتركيبها بهيئة بلورات متعددة (Polycrystalline)، وليس بهيئة بلورة منفردة (Single Crystal)، إذ تكون تركيباً يدعى بالحبيبية (Grain)، فالحبيبية تمثل بلورة مفردة صغيرة بذاتها، ويوجد في ترتيب ذراتها الداخلية نظام المدى الطويل (Long Range Order) [46] كما في الشكل (b)(1-2)، 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) eV، لذلك تحاول بلورات هذه المواد التقليل من مساحة الحدود الحبيبية لكي تقلل من الطاقة الحرة الداخلية [42,41].

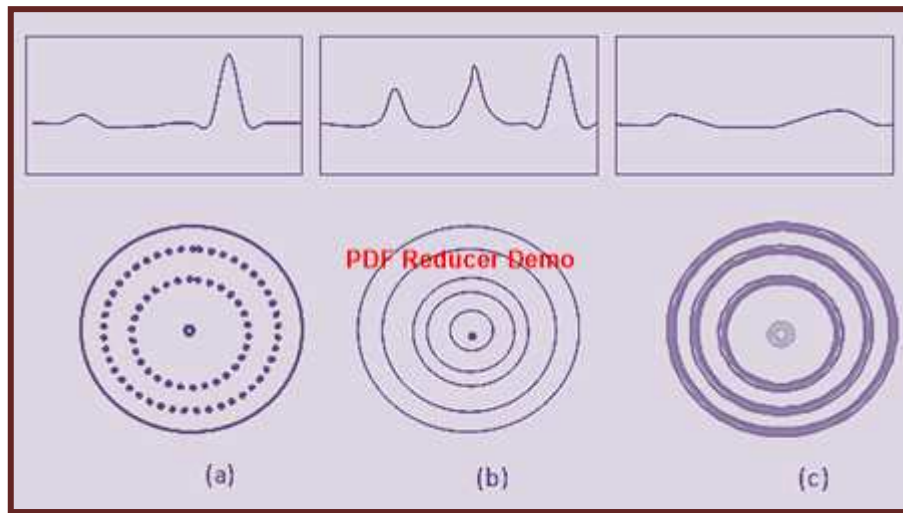
2- أشباه الموصلات العشوائية Amorphous Semiconductors

هي المواد التي يكون توزيع ذراتها غير مرتب ترتيباً هندسياً دورياً أي لاتمتلك نظاماً تكرارياً [42,43] وإن كان فيه بعض هذا التكرار فإنه لا يتعدى مسافة أكبر من اثنين أو ثلاثة أضعاف أنصاف الأقطار الذرية ، لذا فإنها تمتاز بامتلاكها ترتيب قصير المدى (Short Range Order) كما هو موضح في الشكل (c)(1-2)) [43]. وتستخدم تقنية حيود الالكترونات أو الأشعة السينية أو النيوترونات الحرارية لتحديد صفة التبلور أو العشوائية للمواد ، إذ يكون نمط الحيود في حالة المواد أحادية التبلور على شكل نقاط مضيئة (Spots) [44] ، أما في حالة المواد متعددة التبلور فيكون نمط حيود الاشعة السينية على شكل حلقات ذات اضاءة حادة رفيعة متداخلة ومتحدة المركز ، أما بالنسبة للمواد العشوائية أو غير المتبلورة فنكون حلقاتها عريضة ضعيفة الاضاءة ومتحدة المركز كما في الشكل (2-2)



الشكل (1-2) شبكية انواع الشبائك (a) احادية البلورة (b) متعددة البلورات (c)

عشوائية التركيب [41].



الشكل (2-2) حيود الاشعة السينية (a) المتبلورة (b) متعددة البلورات (c) عشوائي [44]

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

تتنوع الخواص الفيزيائية للأغشية الرقيقة بتنوع الغاية التي حُضر من اجلها الغشاء، وتنوعت البحوث التي تُعنى بهذا المجال، لذا سنقتصر في بحثنا هذا على دراسة الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية للأغشية الرقيقة.

1-4-2 الخواص التركيبية

Structural properties

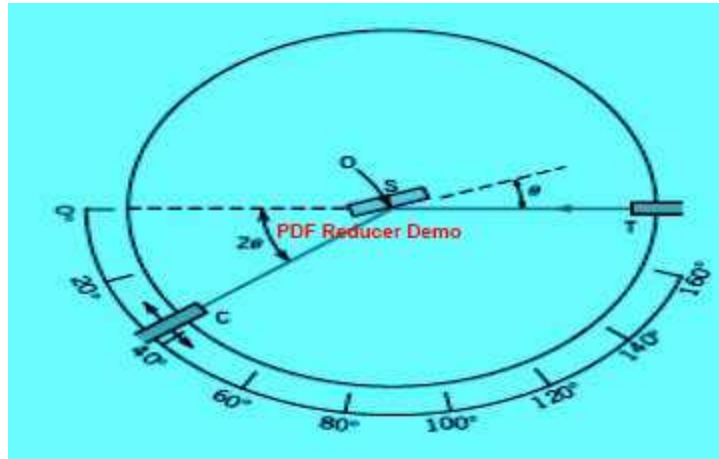
تعد دراسة الخصائص التركيبية للأغشية الرقيقة وسيلة هامة لتحديد هوية الأغشية المستحصل عليها من حيث طبيعة الغشاء و جودته، ونوع المستويات البلورية التي يمتلكها الغشاء، وغيرها. كما تساعد على تفسير النتائج المتباينة التي ترافق تغير الخصائص الفيزيائية للأغشية تبعاً لتغير ظروف التحضير ونوع ونسب مادة الاشابة وغيرها من المؤثرات الأخرى [45]

1-1-4-2: حيود الاشعة السينية

X-Ray Diffraction(XRD)

الأشعة السينية (X-Ray) موجات كهرومغناطيسية تنتج من اصطدام الكترونات معجلة بطاقة عالية بمادة الهدف ذات الوزن الذري الكبير، فهي اشعة ذات طاقة عالية نسبياً يتراوح مدى أطوالها الموجية بين $(0.01 - 100) \text{ \AA}$ ، وهذا المدى من الطول الموجي يعني انها تحقق الشرط الواجب توفراه لنفاذية الشعاع من المادة $(\lambda \leq 2d_{hkl})$ ، ولذلك يمكن استعمالها في تقانة الحيود البلوري [46].

ان استعمال حيود الاشعة السينية هي احدى التقانات الفعالة والشائعة لدراسة نوع التركيب البلوري للأغشية الرقيقة التي تزودنا بمعلومات كثيرة عن وحدة الخلية، إذ يستعمل جهاز المطياف الكاشف للأشعة السينية الذي يسجل الشدة كدالة لتغير الزاوية المبين مخططه بالشكل (2-3) لرسم طيف الحيود للمواد الخاضعة للفحص.



الشكل (2-3) الشكل التخطيطي لجهاز XRD [47].

الكاشف (C) ، العينة (S) ، المصدر للأشعة السينية (T) ، محور الدوران للعينة والكاشف

(O)

إذ تسقط الأشعة السينية ذات الطول الموجي الأحادي من المصدر (T) على العينة المراد فحصها (S) بزوايا مقدارها (Θ) التي تمثل زاوية سقوط الأشعة السينية مقاسة بالدرجة (deg.) فتعكس بزوايا مقدارها ضعف زاوية السقوط لتسجل على الكاشف (C)، ثم تغير زاوية السقوط مرة بعد مرة لتسجل القراءات بدءاً من قيمة الزاوية صفر وصولاً إلى الزاوية (160) درجة بحسب الحاجة إلى هذا المدى.

تزداد 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 إلى معلومات عن الحدود الحبيبية، وبالتالي معرفة النمو بالحجم الحبيبي لعينة الاختبار [48].

2-1-4-2 المسافة البينية بين السطوح الذرية (d_{hkl}) :

يمكننا حساب قيمة المسافة البينية للسطوح (d_{hkl}) المبين بالشكل (2-2) من المعادلة: [49]

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \Theta \dots \dots \dots (1-2)$$

إذ (n) :يمثل رتبة الحيود، (Θ) : تمثل زاوية السقوط للأشعة السينية بالطول الموجي (λ) ،

(hkl) : معاملات ميلر (Miller index)

Average Crystallite Size

3-1-4-2 معدل الحجم البلوري

إن المعلومات التي يزودنا بها نمط الحيود المستحصل يمكن أن نجد منه المعدل الذي نمت به

البلورات داخل الشبكة البلورية، فنجد معدل الحجم البلوري و ذلك باعتماد معادلة شيرر، إذ يمكننا

أن نجد مقدار التعريض للقمم المميزة (β) بالاعتماد على مقدار عرض منتصف القمة (FWHM)

(Full Width at Half Maximum) مقاساً بالوحدة نصف القطرية (rad) ، فيكون الحجم

البلوري مقاساً بوحدة (nm) على وفق المعادلة الآتية [51,50] .

$$D = \frac{(0.94\lambda)}{\beta_{FWHM} \cdot \cos \theta} \quad (2 - 2)$$

فيكون β_{FWHM} عرض المنحني عند منتصف القمة FWHM

Dislocation Density

4-1-4-2 كثافة الانخلاعات (δ)

تعرف كثافة الانخلاعات بانها عدد خطوط الانخلاعات التي تقطع وحدة المساحة في البلورة وهي تمثل النسبة بين الطول الكلي لخطوط الانخلاعات جميعها وحجم البلورة وتُحسب كثافة الانخلاعات عملياً باستخدام العلاقة الآتية [53,52]:

$$\delta = \frac{1}{(D)^2} \dots\dots\dots (3-2)$$

إذ تمثل (δ): كثافة الانخلاعات وتقاس بوحدات {Dislocation Line/m⁻²}
 (D): معدل الحجم البلوري ، بوحدات (nm).

Crystals layers number

5-1-4-2 عدد الطبقات البلورية (N_o)

وهو عدد الحبيبات ضمن وحدة الحجم المقاسة بوحدة cm³ التي يمكن ان نجدها بالعلاقة:
 [54].

$$N_o = t / (D)^3 \dots\dots\dots (4-2)$$

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

(N_o): (عدد البلوريات المتكونة في الغشاء، بوحدات (Crystal/nm²))

6-1-4-2 عرض المنحني عند منتصف أعظم شدة (Full Width at Half Maximum)

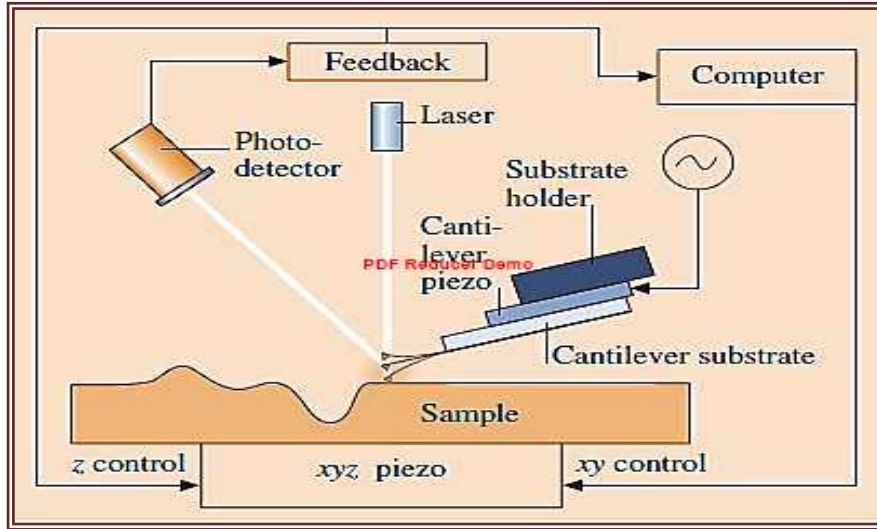
يمكن قياس عرض المنحني عند منتصف أعظم شدة (FWHM) للإتجاه التفضيلي، إذ أنه يساوي عرض الخط الجانبي {بوحدات الدرجات} عند منتصف أعظم شدة (منتصف القمة). [53] ويتم تحويله إلى نظام {الوحدات نصف قطرية} عند تطبيقه في قانون الحجم البلوري.

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 (5×10⁸)، مع إمكانية تشغيله ضمن الضغط الجوي الاعتيادي من دون الحاجة إلى تفريغ عالٍ [55]. 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 نتريد السيليكون (Si₃N₄) بنصف قطر في حدود بضعة نانومتترات، ويمثل الشكل (4-2) رسماً

تخطيطياً لمجهر القوة الذرية [49]. ويستخدم مجهر القوة الذرية عادة لقياسات مجموعة من الصفات الفيزيائية لسطوح العوازل والموصلات وأشباه الموصلات، إذ يزودنا بمعلومات في غاية الدقة عن خشونة السطح ومعدلها (R.M.S)، وكذلك الحجم الحبيبي للبلورات (Grain Size) [1]



الشكل (2-4) رسم تخطيطي لمجهر القوة الذرية [49].

2-6 تحويل فوريير الطيفي للأشعة 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 [49].

Optical Properties

2-7 الخواص البصرية

لدراسة الخواص البصرية للأغشية أهمية بالغة يمكن عن طريقها التعرف الى مقدار قيمة فجوة الطاقة البصرية وفق ظروف التحضير المحددة (الضغط، ودرجة الحرارة، وسمك الغشاء،الخ). وكذلك يمكننا معرفة الثوابت الأخرى من الامتصاصية والنفاذية ومعاملاتها وكذلك ومعامل الانكسار [56].

Optical Absorption

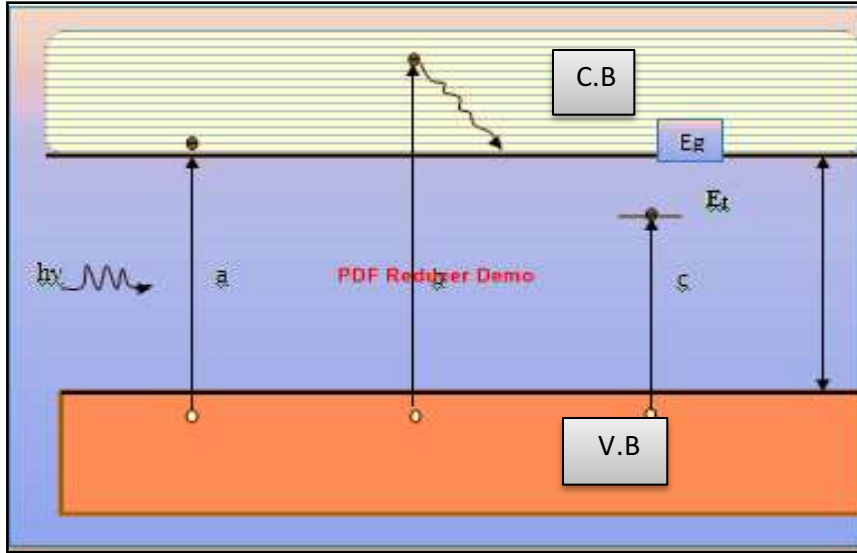
1-7-2 الامتصاص البصري

ويُعدّ من الدراسات المهمة وذات الفعالية الكبيرة في مجال فيزياء اشباه الموصلات والأغشية 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) [54,57] وفق المعادلة:

$$I_T = I_0 e^{(-\alpha t)} \dots \dots \dots (5-2)$$

إذ α معامل الامتصاص (Absorption Coefficient)، ويقاس بوحدة cm^{-1} ، الذي هو نسبة النقص في الطاقة الاشعاعية الساقطة، ويتغير تبعاً لتغير الطول الموجي وطبيعة المادة التي تسقط عليها، هذه العملية تعمل على تهيج الكترولون في حزمة التكافؤ منتقلاً الى حزمة التوصيل محرراً طاقة مقدارها $(h\nu - E_g)$ ، كما يبينه الشكل (5-2b). اما اذا كانت طاقة هذه الأشعة مساوية لقيمة فجوة الطاقة (E_g) فإن هذه الطاقة ستمتصها المادة التي سقطت عليها مولدة زوج الكترولون - فجوة كما مبين بالشكل (5-2a). ويمثل هذان الانتقالان 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 (5-2c) [58].



الشكل (2-5) الانتقالات الذاتية واللادائية في المواد شبه الموصلة [59].

2-7-2 معامل الامتصاص البصري Optical absorption coefficient (α)

ويعرف بأنه النسبة التي تنقص من الطاقة الإشعاعية الساقطة على المادة نسبة إلى المسافة التي قطعها 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 [59].

فعند سقوط حزمة ضوئية على غشاء رقيق فإن جزءاً منها ينعكس وجزءاً ينفذ وجزءاً تمتصه مادة الغشاء، وكمية كل من الطاقة المنعكسة والنافذة والامتصّة تعتمد على طبيعة مادة الغشاء الرقيق وسطحه والطول الموجي للحزمة الضوئية الساقطة. كذلك تدل قيمة معامل الامتصاص على قابلية مادة الغشاء لامتصاص طاقة الإشعاع الساقطة.

ولحساب معامل الامتصاص نبدأ بحساب طاقة الفوتون للأشعة الساقطة من المعادلة: [5].

$$E = h\nu \dots\dots\dots (6-2)$$

أما مقدار ما ينفذ من هذه الطاقة (T) خلال المادة شبه الموصلة التي سوف تعكس قدرًا منه (R) فيكون الجزء النافذ معطى على وفق المعادلة: [60].

$$T = (1 - R)^2 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (7-2)$$

ولحساب مقدار ما تمتصه المادة (A) من هذه الأشعة نستخدم المعادلة: [5].

$$T = e^{-2.303 A} \dots\dots\dots (8-2)$$

نعوض عن قيمة (T) من المعادلة (7-2) في المعادلة (8-2) نحصل على المعادلة:

$$e^{-2.303A} = (1 - R)^2 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (9-2)$$

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 (9-2) الى المعادلة:

$$e^{-2.303 A} = e^{-\alpha t} \dots\dots\dots(10-2)$$

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

$$\alpha = 2.303 (A/t) \dots\dots\dots (11-2)$$

Absorption edge

3-7-4 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 تقريبا جميع المواد

شبه الموصلة [61]. ان هذا المقدار الذي تبدأ عنده الزيادة السريعة للامتصاص يسمى بحافة

الامتصاص البصري (absorption-edge) . أما الطول الموجي الذي تكون عنده حافة

الامتصاص فيسمى بالطول الموجي للقطع (Cut off wavelength) . ويبين الشكل (6-2)

أن مقدار الامتصاص عند الطول الموجي الاقل والاكثر من الطول الموجي القاطع الذي يكون

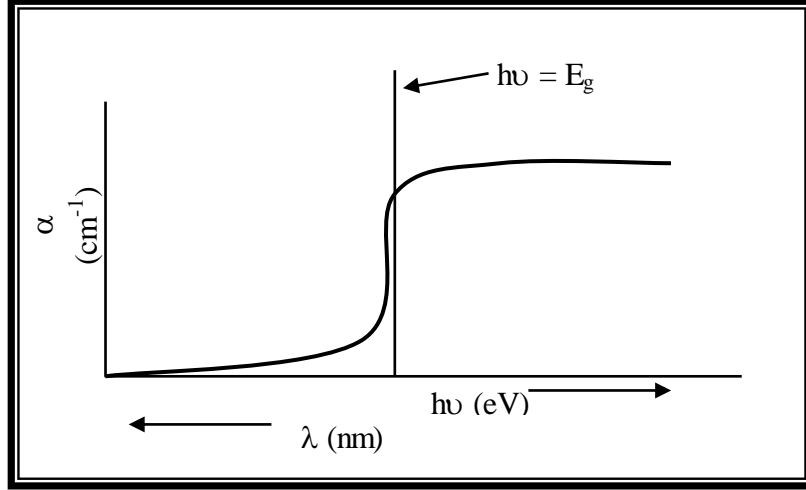
قليلا، إذ تتميز حافة الامتصاص عند رسم طيف معامل الامتصاص كدالة لطاقة الأشعة

الساقطة أو للطول الموجي لهذه الأشعة بصورة حافة قطع خطي مميز تبدو عريضة نسبياً في

حالة أشباه الموصلات متعددة التبلور وحادة في اشباه الموصلات الأحادية التبلور [61] . ويُعرّف

طول موجة القطع ($\lambda_{cut\ off}$) $h\nu = E_g$ بأنه الطول الموجي المقابل لطاقة الفجوة المحصورة (E_g)

لشبه الموصل النقي، الذي عند قيمته تبدأ عملية الامتصاص البصري [62,63].



الشكل (2-6) مقدار معامل الامتصاص قبل حافة الامتصاص وعندها وبعدها [64].

Optical Energy Gap

4-7-4 فجوة الطاقة البصرية

فجوة الطاقة للمواد شبه الموصلة هي مقدار الطاقة التي يحتاج إليها انتقال الإلكترون من قمة حزمة التكافؤ إلى قعر حزمة التوصيل، ويتأثر عرض هذه الفجوة بنسب الشوائب المضافة إلى المادة شبه الموصلة (مادة الغشاء)، وبدرجة الحرارة. وهذا التأثير يظهر زيادةً أو نقصاناً تبعاً لنوع المادة شبه الموصلة، فتزداد في بعضها وتقل في بعضها الآخر [65].

وتحسب قيمة فجوة الطاقة للانتقال المباشر المسموح والممنوع والانتقال غير المباشر المسموح والممنوع من معادلة تاوس التجريبية كالآتي: [65].

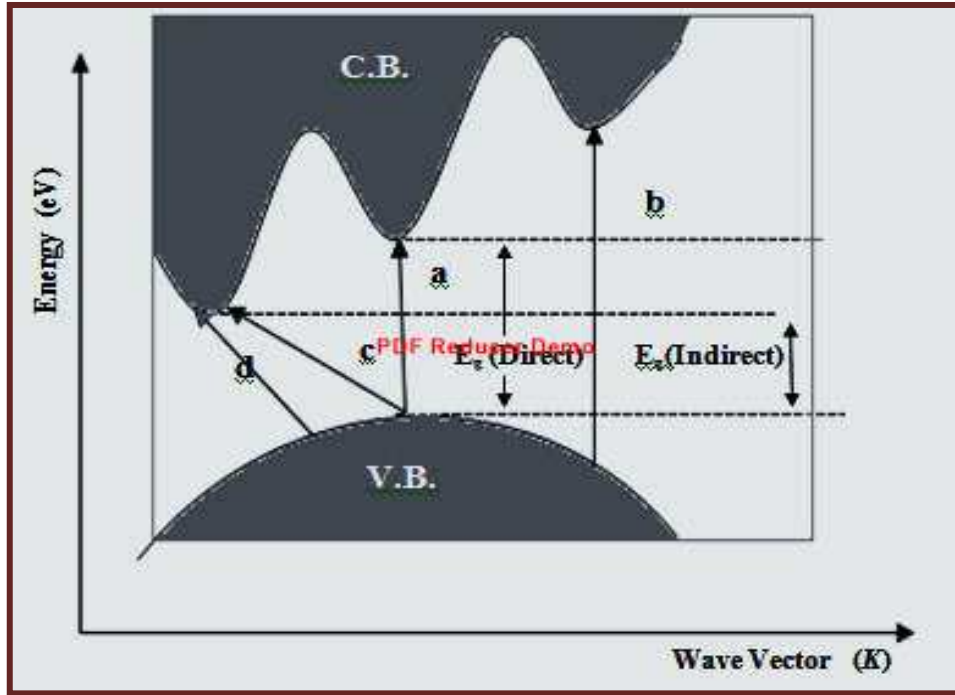
$$(\alpha h \nu) = \beta (h \nu - E_g^{opt})^r \dots\dots\dots (12-2)$$

إذ يمثل (β) ثابت الانتقال، أما 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 (2-7) يبين أنواع

الانتقالات آنفة الذكر



الشكل (2-7) الانتقالات الالكترونية [66]

a: مباشر مسموح b: مباشر ممنوع c: غير مباشر مسموح d: غير مباشر ممنوع

ورسم علاقة بيانية بين مقدار طاقة الفوتونات الساقطة ($h\nu$) للمحور 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 [67].

Optical Constants

8-2 الثوابت البصرية

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

Transmission

1-8-2 النفاذية (T)

تمثل النفاذية مقدار ما ينفذ من الطاقة الاشعاعية الساقطة على الغشاء بعد سقوط الأشعة عليه ويمكن ايجادها من المعادلة: [60].

$$T = 10^{-A} \dots \dots \dots (13-2)$$

Reflectance

2-8-2 الانعكاسية (R)

تعرف بأنها النسبة بين شدة الإشعاع المنعكس (I_R) باتجاه معين إلى الشدة الأصلية

(I_0) للإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط على المادة، كما في المعادلة الآتية [67].

$$R = \frac{I_R}{I_0} \quad (14 - 2)$$

فضلاً عن إمكانية إيجاد قيمتها من طيفي الامتصاصية والنفذية باعتماد قانون حفظ

الطاقة الذي يعطى بالعلاقة الآتية [67].

$$R = 1 - (A + T) \quad (15 - 2)$$

و من خلال ذلك تم إيجاد انعكاسية مادة الغشاء للأطوال الموجية الساقطة لجميع الأغشية المحضرة.

Refractive Index

3-8-2 معامل الانكسار (n_0).

يطلق على تسمية النسبة بين سرعة الضوء بالفراغ الى سرعته في أي وسط مادي آخر

بمعامل الانكسار الذي يمكن ايجاده اعتماداً على معرفة مقدار قيمة الانعكاسية للغشاء (R)،

فتكون قيمته على وفق المعادلة الآتية [67] .

$$n = \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}} \quad (16 - 2)$$

Hall Effect

9-2 تأثير هول

يعتبر من أهم الوسائل لدراسة الخصائص الكهربائية للمواد الصلبة، إذ أنها من أسهل وأكثر الطرائق لقياس كثافة حاملات الشحنة ونوعها وتحركيتها بصورة مباشرة [69,68]. يعرف تأثير

هول بأنه اختلاف توزيع التيار في شريحة موصلة أو شبه موصلة بفعل المجال

المغناطيسي [70]. إن معامل هول (R_H) يعطى بالعلاقة الآتية [71]:

$$\therefore R_H = \left(\frac{V_H}{I_x} \right) \frac{t}{B_z} \dots\dots\dots (17-2)$$

إذ أن $\left(\frac{V_H}{I_x}\right)$: يمثل ميل العلاقة الخطية بين V_H و I_x المقاسة مختبرياً.
 شدة المجال المغناطيسي ، (t) : سمك شبه الموصل (cm). (B_z)

وإن إشارة معامل هول (R_H) تكون موجبة لشبه موصل من النوع الموجب (p-type)،
 وسالبة لشبه موصل من النوع السالب (n-type). ففي حالة شبه الموصل من النوع السالب
 : [70](n-type)

$$R_H = - 1/qn , (cm^3.C^{-1}) \dots\dots\dots (18-2)$$

أما بالنسبة لشبه الموصل من النوع الموجب (p-type) فان معامل هول له يكون:

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

لذا يمكن التعبير عن تركيز حاملات الشحنة السالبة (n) والموجبة (p) كما يأتي [70]:

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

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

وقد يختلف تركيز الحاملات في شبه الموصل عن تركيز الشوائب، لأن كثافة الشوائب
 المتأينة تعتمد على درجة الحرارة وعلى مستويات طاقة الشوائب. وبجانب تركيز الحاملات
 ونوعها ، فمن الممكن قياس تحركية هول (μ_H) Hall mobility لحاملات الشحنة، والتي تساوي

حاصل ضرب معامل هول $(R_H) \times$ التوصيلية الكهربائية (σ) كما في المعادلة [72]:

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

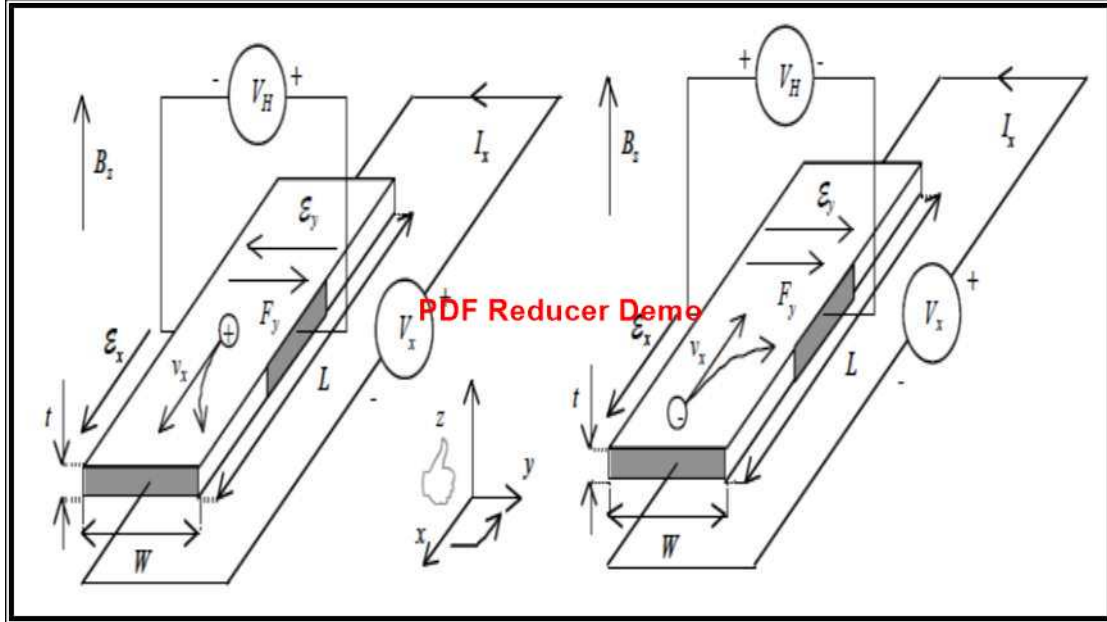
أذ أن :-

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

σ : التوصيلية الكهربائية $(\Omega.cm)^{-1}$ عند درجة حرارة الغرفة

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

إذ أن L و A و R : طول شبه الموصل ومساحته ($A=W.t$) ومقاومته الكهربائية،
على التوالي. W : عرض النموذج (cm) ، t : سمك النموذج (cm). الشكل (2-8) يوضح
ظاهرة تأثير هول في أشباه الموصلات نوع (n-type ,p-type)



الشكل (2-8): ظاهرة تأثير هول في أشباه الموصلات: (a) p-type, (b) n-type [73].

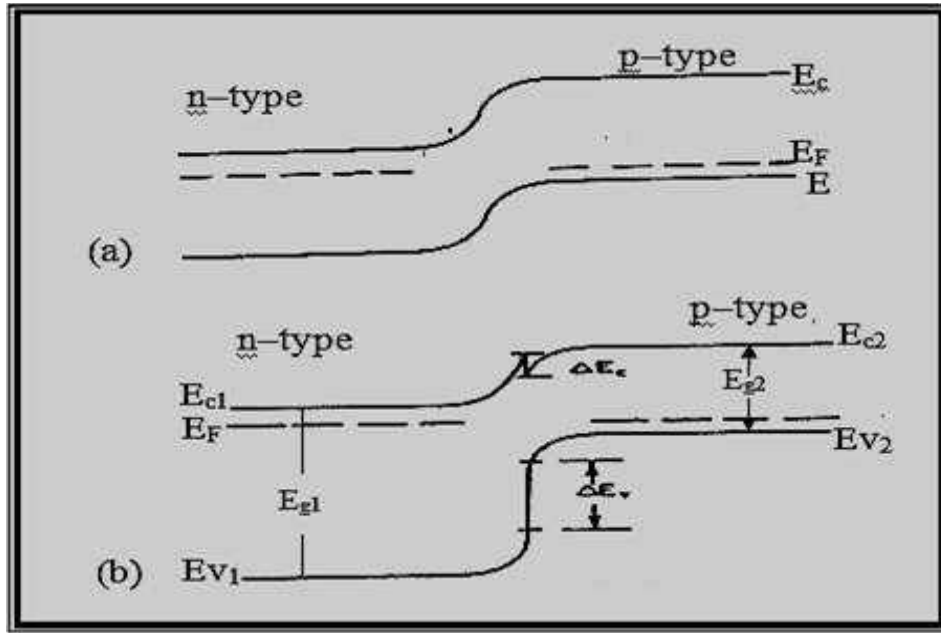
Heterojunctions

10-2 المفارق الهجينة

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 الشبكة (Lattice Mismatch) للمادتين [74,70]، في حين يتكون المفارق المتجانس (Homo junction) من اتصال مادتين شبه موصلتين من النوع نفسه، أي متماثلة في فجوة الطاقة والألفة الالكترونية وثابت العزل ودالة الشغل وثابت الشبكة، ويوضح الشكل (2-9) كلاً من المفارق الهجين والمفارق المتجانس.

وتنقسم المفارق الهجينة بين قسمين: مفارق هجين حاد (Abrupt Heterojunction)، ومفارق هجين متدرج (Graded Heterojunction)، وتصنف بحسب نوع التوصيلية على جانبي المفارق. فإذا كانت المادتان 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) [75].

ويتضح من الشكل (b) (9-2) أن وجود حاجز كبير نسبياً في حزمة التكافؤ (ΔE_v) للمفرك 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) فإن الفجوات تكون هي المسؤولة عن نقل التيار [76].



الشكل (2-9): مخطط حزم الطاقة لمفرك (a) متجانس (b) هجين [70]

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

المفرك [77]:

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

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

والثاني.

Heterojunction Models

11-2 نماذج المفارق الهجينة

Abrupt Heterojunction

1-11-2 المفارق الهجينة الحادة

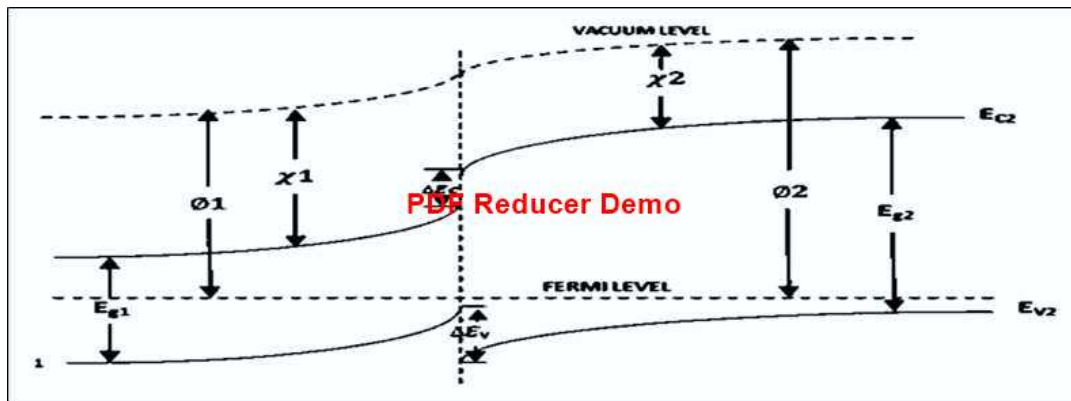
تشير أكثر الدراسات إلى أن أغلب المفارق الهجينة الحادة تمتلك اهتماماً متزايداً في تصنيع النبائط الكهروبصرية [76,68]، إذ تقسم المفارق الهجينة الحادة عادةً على:

1- المفارق الهجينة الحادة المتماثلة Abrupt Isotype Hetero junction

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 شوتكي يكون إسهام حاملات الأقلية في التيار الكهربائي قليلاً [76].

ويوضح الشكل (10-2) مخطط الطاقة لمفارق هجين متماثل نوع (p-P) في حالة توازن، لذا فإن حافات حزم الطاقة سوف تنحني بنحوٍ معاكس في حالة المفارق 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 [68,46]:

1. نموذج الانبعاث (*Emission Model*).
2. نموذج الانتشار (*Diffusion Model*).
3. نموذج الاختراق (*Tunneling Model*).
4. نموذج ثنائي شوتكي المزدوج (*Double - Schottky- Diode Model*).



الشكل (10-2): مخطط الطاقة لمفارق هجين متماثل نوع (p-P) في حالة التوازن [78]

2-11-2 المفارق الهجينة الحادة الغير متماثلة

Abrupt Anisotype Heterojunction

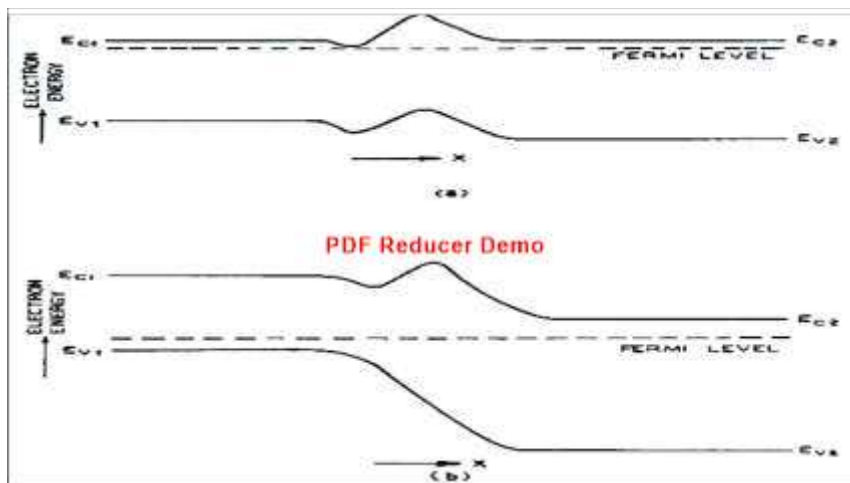
هنالك انواع من المفارق تتكون من (p-n) و (n-p)، وهي نبائط حاملات الاقلية. إن اي مفرق هجين يعتمد على طريقة التحضير وظروف التحضير. وقد وضعت عدة نماذج لتوضيح كيفية انتقال حاملات الشحنة في المفارق الهجينة الحادة غير المتماثلة، وهي [74, 76]:

1. نموذج الانتشار (Diffusion Model).
2. نموذج الانبعاث (Emission Model).
3. نموذج الانبعاث - إعادة الاتحاد (Emission - Recombination Model).
4. نموذج الاختراق (Tunneling Model).
5. نموذج الاختراق - إعادة الاتحاد (Tunneling - Recombination Model).

Graded Heterojunction

2-11-2 الهجينة المتدرجة

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 المفارق تحدد أيضاً بواسطة المجال الكهربائي الداخلي E. وهناك نوعان من هذه المفارق: المفروق الهجين المتدرج المتمائل الموضح في الشكل ((11-2)a)، والمفروق الهجين المتدرج غير المتمائل، الموضح في الشكل ((11-2)b) [76, 79].



الشكل (11-2): مخطط حزم الطاقة للمفروق الهجين المتدرج (a) n-n , (b) p-n [76].

12-2 الخصائص الكهربائية للمفرك الهجين

Electrical Properties of Heterojunction

1-12-2 خصائص (I-V) للمفرك الهجين في حالة الظلام

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

عند دراسة خصائص (تيار - جهد) توضح لنا آليات التوصيل الكهربائية، إذ تصنف هذه الخصائص بالاعتماد على قطبية الفولتية المسلطة كانهياز أمامي أو عكسي على التثنائي [80].

1-1-12-2 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، إذ 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:

I. منطقة الفولتيات الواطئة ($V < 0.4$). وفيها يوصف ارتباط (I-V) بالعلاقة الآتية [60]:

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

إذ إن (I_f): تيار الانحياز الأمامي (Forward Current)، q: شحنة الإلكترون، T:

درجة الحرارة المطلقة، (I_s): تيار الإشباع (Saturation Current)، (V): فولتية

الانحياز الأمامي المسلطة على الكواشف، (k_B): ثابت بولتزمان،

(n_f): عامل المثالية (Ideality Factor) وهو مقياس اقتراب $\left(\frac{k_B T}{q} = 0.0258 \text{ Volt}\right)$

الدايود المصنوع من حالة الدايود المثالي (β = 1) في معادلة (العالم شوكلي) أنفة

الذكر.

II. منطقة الفولتيات الكبيرة: وفيها يوصف ارتباط (I-V) بالعلاقة الآتية [60]:

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

A و B هما ثابتان غير معتمدين على درجة الحرارة والفولتية. ويرجع التناسب في المعادلة

(26-2) إلى تغلب تيار الاختراق عبر المفرك. وتطبق هذه العلاقة في حالة الانحياز الأمامي

وللفولتيات العالية، أي 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 اتحاده مع الإلكترونات في المادة n-type [79]

2-1-12-2 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 [76,72]:

- i. عند الفولتيات القليلة، فإن الفرق الهجين سوف يظهر تناسباً طردياً بين تيار الانحياز العكسي Reverse Current (I_r) والفولتية العكسية المسلطة، أي إن $(I_r \propto V)$.
- ii. أما في حالة الفولتيات العالية فيخضع التناسب للعلاقة $(I_r \propto V^m)$ ، إذ إن $(m > 1)$. وتم تفسير سلوك الفرق الهجين في حالة الانحياز العكسي على أساس نموذج الاختراق [81-76].

2-12-2 خصائص الفرق الهجين (I-V) عند الإضاءة

Properties Of Heterojunction (Current-Voltage) under illumination

تطرقنا سابقاً في الفقرة (7-2) 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 (6-2) يوضح عملية الامتصاص البصري وكيفية تولد أزواج (إلكترون - فجوة) في شبه الموصل، وأنه إذا كان مقدار طول موجة القطع $(\lambda_{cut\ off})$ الساقطة قصيراً، فإن (α) يصبح كبيراً cm^{-1} ($\alpha \geq 10^4$) لذا سوف يمتص الشعاع الساقط قريباً جداً من السطح، إذ يكون معدل إعادة الاتحاد كبيراً. وهذا كله ينطبق على الخصائص البصرية للفرق الهجين. إذ عند إضاءة الفرق الهجين ستنولد حاملات الشحنة في منطقة الشحنة الفراغية (منطقة النضوب)، فيتولد تيار ضوئي (I_{ph}) يعطى بالعلاقة [81,70]:

$$I_{ph} = q A G_{ph} (W + L_n + L_p) \dots\dots\dots (26-2)$$

إذ إن q : شحنة الإلكترون، A : مساحة الفرق 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) للفرق الهجين حالة الظلام يمكن التعبير عن العلاقة (I-V) في حالة الإضاءة بالنحو الآتي [68, 70]:

$$I_L = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{k_B T}\right) - 1 \right] + I_{ph} \dots\dots\dots (27-2)$$

$$\therefore I_{ph} = I_L - I_d \dots\dots\dots (28-2)$$

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 المنتقلة تحت تأثير تسليط مجال كهربائي خارجي).

اذ عند إضاءة المفرق الهجين، نلاحظ عندما تكون $(E_{g1} > E_{g2})$ فان 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].

13-2 معلمات الخلية الشمسية Solar Cell Parameters

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

1-13-2 فولتية الدائرة المفتوحة Open-Circuit Voltage (V_{oc})

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 [68]:

$$V_{oc} = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{J_{ph}}{J_s} + 1\right) \dots\dots\dots (29-2)$$

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 المستعمل في المفرق الهجين.

Short-Circuit Current (I_{sc})

2-13-2 تيار الدائرة القصيرة

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

كدالة لشدة الضوء الساقط، ويُعطى بالعلاقة الآتية [55]

$$I_{sc} = \int_0^{\lambda_m} N_{ph}(\lambda) \eta(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots (30-2)$$

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

$\eta(\lambda)$: كفاءة الكم الخارجية، $N_{ph}(\lambda)$: عدد الفوتونات الساقطة لوحدة المساحة

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}) بجعل المقاومة ($R \rightarrow \text{zero}$) ولذلك فإن ($V=0$) وبتعويض قيمة V في المعادلة (26-2) سوف تصبح ($I = I_{ph} = I_{sc}$) ، إذ إن I_{ph} يمثل التيار الضوئي [60].

Conversion Efficiency

3-13-2 كفاءة التحويلية

تعرف بأنها النسبة بين أعظم قدرة كهربائية خارجة إلى القدرة الضوئية الساقطة [55].

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100 \% = \frac{I_m V_m}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots (31-2)$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} I_{sc} F.F}{P_{in}} \dots\dots\dots (32-2)$$

إذ إن:

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

(P_m): أعلى قدرة خارجة من الخلية

($F.F.$): عامل الملء

(I_{sc}): تيار الدائرة القصيرة

(V_{oc}): فولتية الدائرة المفتوحة

Filling Factor

4-13-4 عامل الملء ($F.F.$)

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: [68]

$$F.F = \frac{J_m V_m}{J_{sc} V_{oc}} \times 100 \% \dots\dots\dots (33-2)$$

$$F.F = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{P_m}{V_{oc} I_{sc}} \times 100\% \quad \dots\dots(34-2)$$

إذ إن:

J_m : أعلى قيمة لكثافة التيار

V_m : أعلى قيمة للفولتية

J_{sc} : كثافة تيار الدائرة القصيرة

I_m : أعلى قيمة للتيار

Photodetector

14-2 الكواشف الضوئية

تعرف الكواشف الضوئية بأنها نبائط الكترولوضوئية 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 [81,73]:

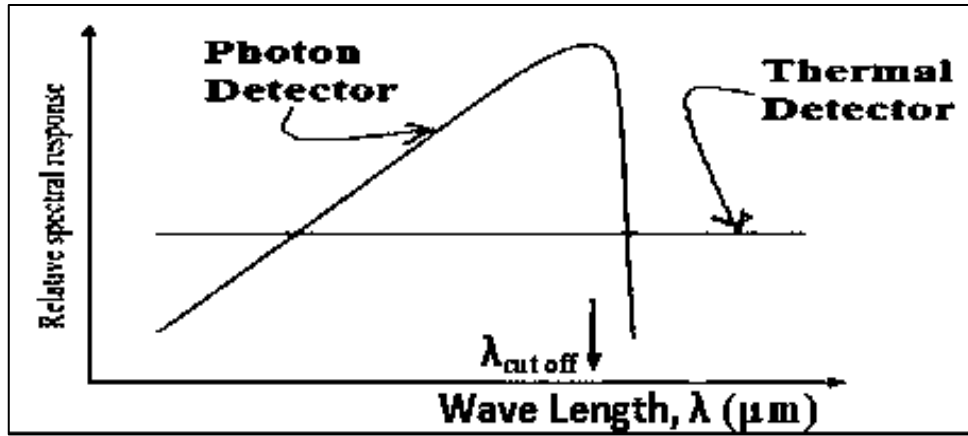
- i. توليد الحامل بواسطة الضوء الساقط.
 - ii. نقل و (أو) مضاعفة حاملات الشحنة بأي آلية من الآليات المسؤولة عن كسب التيار.
 - iii. تفاعل التيار مع الدائرة الخارجية لتجهيز اشارة الاخراج الكهربائية.
- وهناك مدى واسع من التطبيقات للكواشف الضوئية منها استخدامها كمجسات (متحسسات) للموجة تحت الحمراء في الفواصل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

Thermal Detectors

15-2 الكواشف الحرارية

تعتمد هذه الكواشف على التأثير الحراري، إذ ان الإشعاع الحراري الممتص يحث الجزيئات على الحركة لتسبب زيادة في درجة الحرارة للوسيط الماص للطاقة، إذ 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 (Long Wave Length, λ) عند درجة حرارة الغرفة.

[82]:



الشكل (2-12): الاستجابة الطيفية المثالية للكواشف الحرارية والفوتونية [83].

Photon Detectors

16-2 الكواشف الفوتونية

تعتمد هذه الكواشف على التأثير الكهروضوئي، فعند سقوط الضوء على الكاشف سوف تُمتص الفوتونات وتُهيح الإلكترونات إلى مستويات طاقة عليا، إذ إن 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].

Photoconductive Detectors

1. كواشف التوصيلية الضوئية

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 لتمتصها 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 مسط خارجي. وهناك نوعان رئيسان لهذه الكواشف [85]:

A. كواشف التوصيلية الذاتية (Intrinsic photoconductive detectors).

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

Photovoltaic Detectors

2. كواشف الفولطائية الضوئية

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 [87,86]. لذلك فإن هذه الكواشف تعمل بوجود أو عدم وجود مجال كهربائي خارجي (أي تعمل بوجود جهد الانحياز المسلط أو بغيابه) [86].

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 و MOS (MIS & MOS Diodes) [87,86].

وعموماً يعتمد المدى الطيفي لعمل هذه الكواشف بالدرجة الأساسية على قيمة فجوة الطاقة لكِلتا المادتين المصنَّع 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 [83].

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

17-2 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 [68]:

1-17-2 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 ان يتحقق.

2-17-2 الاستجابة النوعية Specific Responce \mathcal{R}

تعرف الاستجابة للكاشف أنها نسبة إشارة تيار او فولتية الاخراج الى قدرة اشارة الدخل البصرية. وللكاشف الضوئي الذي يمتلك اشارة تيار اخرج 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 [86,78]:

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

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).

3-17-2 الكشفية Detectivity D

تعرف الكشفية (D) بأنها أقل قدرة للإشارة الضوئية الساقطة يستطيع الكاشف أن يكشفها، وهي تُعد من أكثر معلمات 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 [76,68]:

$$D = \frac{1}{NEP} \text{ , (watt)}^{-1} \dots\dots\dots (36-2)$$

أي إن الكشفية D تزداد عندما تقل (NEP). وتقاس (NEP) بوحدات (watt). وغالباً ما يُعبّر عن (NEP) بالقدرة المكافئة للضوضاء ويُستعاض عن مصطلح الكشفية (D) بالكشفية النوعية (D^*) ويُستخدم للمقارنة بين أنواع الكواشف، ويعرف بالعلاقة [88,87]:

$$D^* = \frac{(A \cdot \Delta f)^{1/2}}{NEP} = (A \cdot \Delta f)^{1/2} \cdot D \dots\dots\dots (37-2)$$

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

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

الكشفية النوعية بدلالة (λ) كما في المعادلة [83]:

$$D^* = \frac{\eta \lambda}{2 h c} \left(\frac{q A}{I_s} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (38-2)$$

إذ إن I_s : تيار التشبع عند الانحياز العكسي، A : مساحة الكاشف، η : الكفاءة الكمية. وبتعويض المعادلة (2-38) في المعادلة (2-41)، (D^*) تصبح بدلالة الاستجابة الطيفية [38]:

$$D^* = \mathcal{R}_\lambda \frac{(A \cdot \Delta f)^{1/2}}{I_N} = \mathcal{R}_\lambda \left[\frac{A}{2 q I_d} \right]^{1/2}, \quad (\text{cm.Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}) \dots (2-39)$$

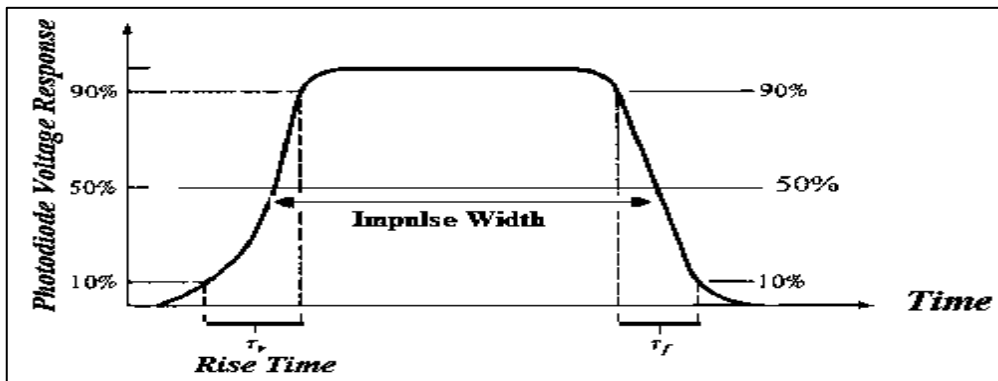
إذ إن q : شحنة الإلكترون، I_N : تيار الضوضاء، I_d تيار الظلام.

4-17-2 زمن الاستجابة وفترة حياة الحاملات

Response Time and Carrier Life Time

يعد زمن الاستجابة ($\tau_{response}$) من المعلمات الهامة 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 (2-13). 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 [87,86]. ويمكن حساب زمن الاستجابة ($\tau_{response}$) بواسطة حساب زمن النهوض (τ_{rise}) (Rise Time) كما موضح في الشكل (2-13) [89]:

أما فترة حياة الحاملات يعرف على أنه المعدل الزمني الذي تستغرقه الحاملات الاقلية لإعادة الاتحاد (أي معدل الفترة الزمنية المستغرقة بين توليد الحاملات وإعادة لتحادها).

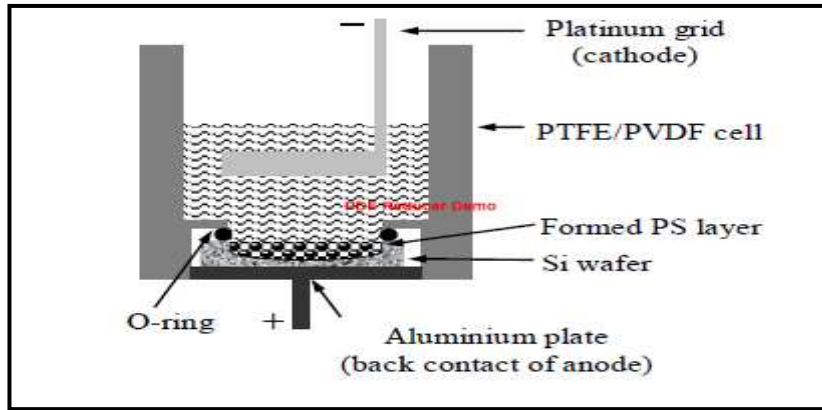


الشكل (2-13): علاقة زمن النهوض بزمن الاستجابة مع قيمة إخراج الكاشف الضوئي

2-18 تصنيع السليكون المسامي بواسطة الحفر الكهروكيميائي

Fabrication of porous silicon by electrochemical etching

في معظم الحالات ، يتم تشكيل هيكل (Psi) عن طريق الحفر الكهروكيميائي (ECE) لرقائق السليكون في محلول الكتروليتي يحتوي على HF ومعه الايثانول. اذ تكون رقائق السليكون منظفه ومصقولة. ويجب اضافة الايثانول الى المحلول الالكتروليتي [91,90] حيث يزيد من رطوبة السطح وكذلك يزيد من نفاذية HF داخل pores. وبتزايد كثافة التيار يحول الى طبقة متجانسة من الحفر، خلال هذه العملية يتحرر غاز الهيدروجين على شكل فقاعات تكون مغطية لسطح التفاعل. عند وجود الايثانول هذه الفقاعات سوف تترك السطح بسهولة بسبب انخفاض الشد السطحي. بالاضافة عملية انتاج الفقاعات سوف تظهر على شكل دوائر في المحلول تساعد على الانتقال بسهولة الى الطرف الاخر. لتكون قادرة على تصنيع طبقات متماثلة مع اعادة انتاج عالية ، يتم مراقبة كثافة التيار المطبقة وزمن الحفر والتحكم بها والاحتفاظ بها عند مستوى ثابت مطلوب أثناء العملية. الخلية الالكترونية تكون مصنوع من البوليمر ذات مقاومة عالية مثل *Teflon* . القطب السالب للخلية anodization عموما مصنوعة من البلاتين أو غيره من المواد المقاومة والموصلة الى HF، والسطح Si نفسه هو الانود [92]. الشكل (2-14) يوضح محتوى المواد للعملية رقائق السليكون وضعت على قرص معدني بشكل حلقة والجانب الأمامي حيث تجري عملية الحفر [93]



الشكل (2-14) رسم تخطيطي للخلية التقليدية ذات الدائرة الواحدة [93].

Anodization conditions

19-2 شروط عملية الحفر

Effect of Illumination

1-19-2 تأثير الإضاءة

من المتوقع أن يعتمد انحلال السليكون بطريقه الحفر (التميش) الكهروكيميائي بصورة مباشره على توليد فجوة - الكترون من خلال الإضاءة للاشعة. فإن تشكيل Psi (السليكون المسامي) يلاحظ فقط عند الفولتية العالية ($<5V$) عند عدم توفر الاضاءة لذا يتطلب تنفيذ الأكسدة (التميش) الى فوتونات ضوئية لغرض تصنيع Psi جهد أقل ($>1V$). حيث تتكون المواد الناتجة من جزأين اساسية احدهما هي الطبقة السطحية العليا هي nanoporous بقطر مسام حوالي (3 nm) وسمك يكون في نطاقات μm (0.2 - 1) والآخرى الطبقة الداخلية وتعتمد ابعادها على طريقة التحضير [94].

Solution Composition

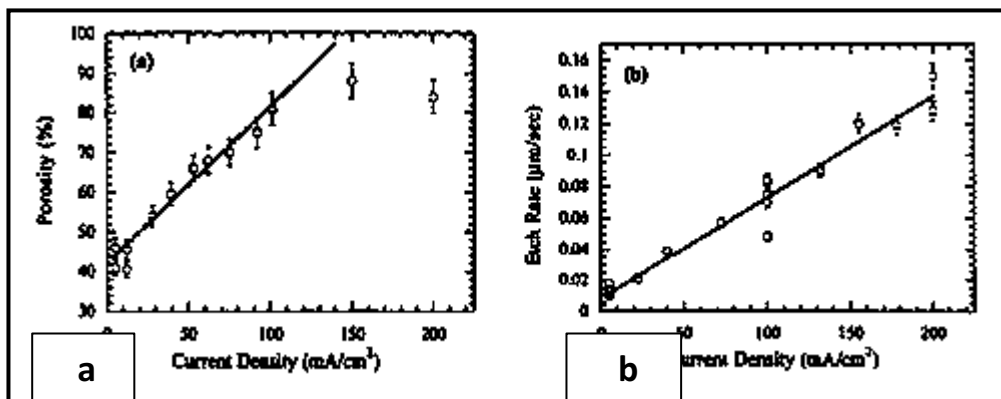
2-19-2 تركيب المحلول

عندما يتم استخدام محاليل HF المائية لتكوين Psi ، تلتصق فقاعات الهيدروجين بالسطح وتمنع اتمام عمليه الحفر او التتميش الكهروكيميائي وتعيق عملية تولد الفجوات بصورة منتظمة ولغرض توحيد طبقة Psi يجب القضاء على هذه الفقاعات يتم معالجه هذه الظاهرة من خلال إضافة عامل (محلول) اخر الى HF لأزالته تلك الفقاعات من سطح رقائق السليكون . في هذه الحالة ، لا يلزم سوى اضافة محلول الايثانول وبنسب كافية او محدهه الى (HF) لإزالة للفقاعات. ويعتبر الايثانول العامل الاساسي الأكثر استخدامًا في حالة تشكيل Psi [95,96].

Current density

3-19-2 كثافة التيار

إن كثافة التيار المستخدمة في التمثيش الكهروكيميائي للسليكون من العوامل الرئيسية التي تحدد مسامية طبقة PSi عندما تكون جميع المتغيرات الأخرى ثابتة [19]. تحدد كثافة التيار ما إذا كانت هذه الأيونات أو الفجوات هي الأنواع المقيدة. في حالة كثافات التيار الكبيرة ، يكون انتشار الجسيمات إلى الواجهة أبطأ من نقل الفجوات، لمعالجة هذه الحالة ، يجب ان يسيطر على نسبة ذرات Si المغادرة على شكل فجوة ويقابل ذلك الأيونات المكونة و المعوضه لأجراء عمليه التمثيش لإذابة السليكون [97]. وغالبا ما تسمى هذه العملية بالصقل الكهربائي ، وهي حالة معاكسة من انحلال Si، ومع ذلك يجب ان تكون هنالك ايونات HF الكافية على السطح البيني وبالتالي يحدث نمو المسام في رقائق Si. شكل (2-15) ، (a) و (b) يدل على اعتماد خطي من PSi المسامية ومعدل الحفر على كثافة التيار [98].

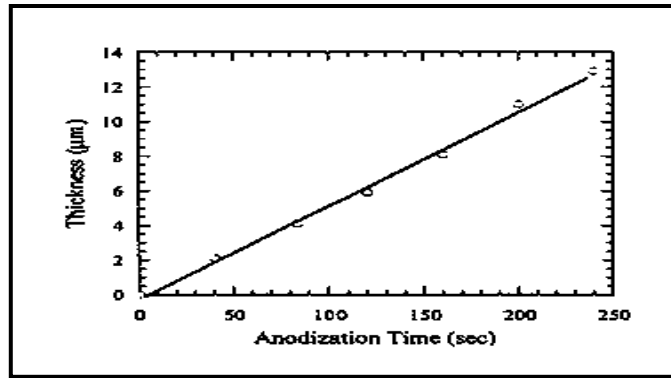


الشكل (2-15) المسامية ومعدل الحفر كدالة لتغير كثافة التيار [98].

Etching Time

4-19-2 زمن الحفر

زمن الحفر هو عامل مهم يمكن التحكم فيه بسهولة للتحكم في خصائص طبقة PSi. مع اختلاف زمن الحفر ، يتغير سمك ومسامية طبقات السليكون المسامي على وفق لذلك. يوضح الشكل (2-16) سمك طبقة PSi كدالة زمن الحفر [99].



الشكل . (16-2) اعتماد سمك PSi على زمن الحفر لنوع p-type [100] .

2- 20 حساب المسامية والسمك

Porosity and Thickness determination

تعد مسامية وسمك طبقات PSi من بين أهم المعايير التي تميز PSi. ان المسامية يمكن تحديدها بسهولة من خلال قياسات الوزن. يتم وزن الرقاقة الأولى أولاً قبل الحفر (m_1) ، ثم بعد عملية الحفر (m_2) وأخيراً ، بعد إذابة الطبقة المسامية بأكملها في محلول مائي NaOH مائي (m_3). يتم إعطاء المسامية ببساطة بالمعادلة التالية [101]:

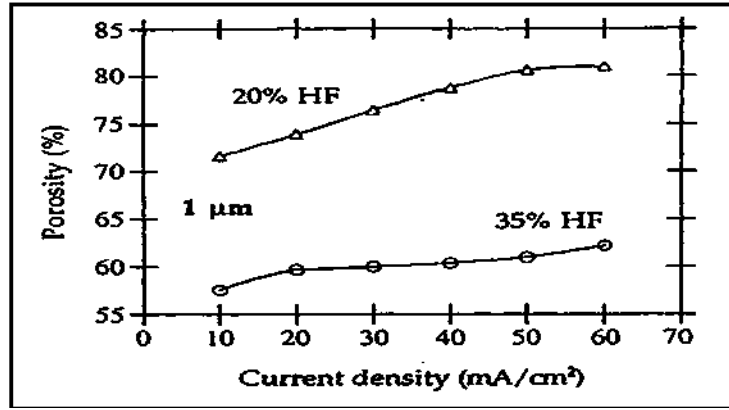
$$P (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \quad (40 - 2)$$

من هذه الكتل المقاسة ، من الممكن أيضاً تحديد سمك الطبقة المسامية (W) وفقاً للصيغة التالية

$$W = \frac{m_1 - m_3}{S * \rho} \quad (41 - 2)$$

حيث ρ هي كثافة (Si) و S هي مساحة المنطقة التي تتعرض إلى HF أثناء الحفر. المسامية المقاسة كدالة لكثافة التيار وتركيز HF للسليكون p-type ويظهر كما في الشكل (17-2). يبدو أنه بالنسبة لتركيز HF معين ، فإن المسامية تزداد بزيادة كثافة التيار وعند

كثافة تيار ثابت فان المسامية تقل بزيادة تركيز HF [102،103]



شكل (2-17) المسامية كدالة لكثافة التيار لتركيزين HF مختلفين. $\rho \approx 1 \Omega \text{ cm}$. سمك

طبقة مسامية = $1 \mu\text{m}$ [102].

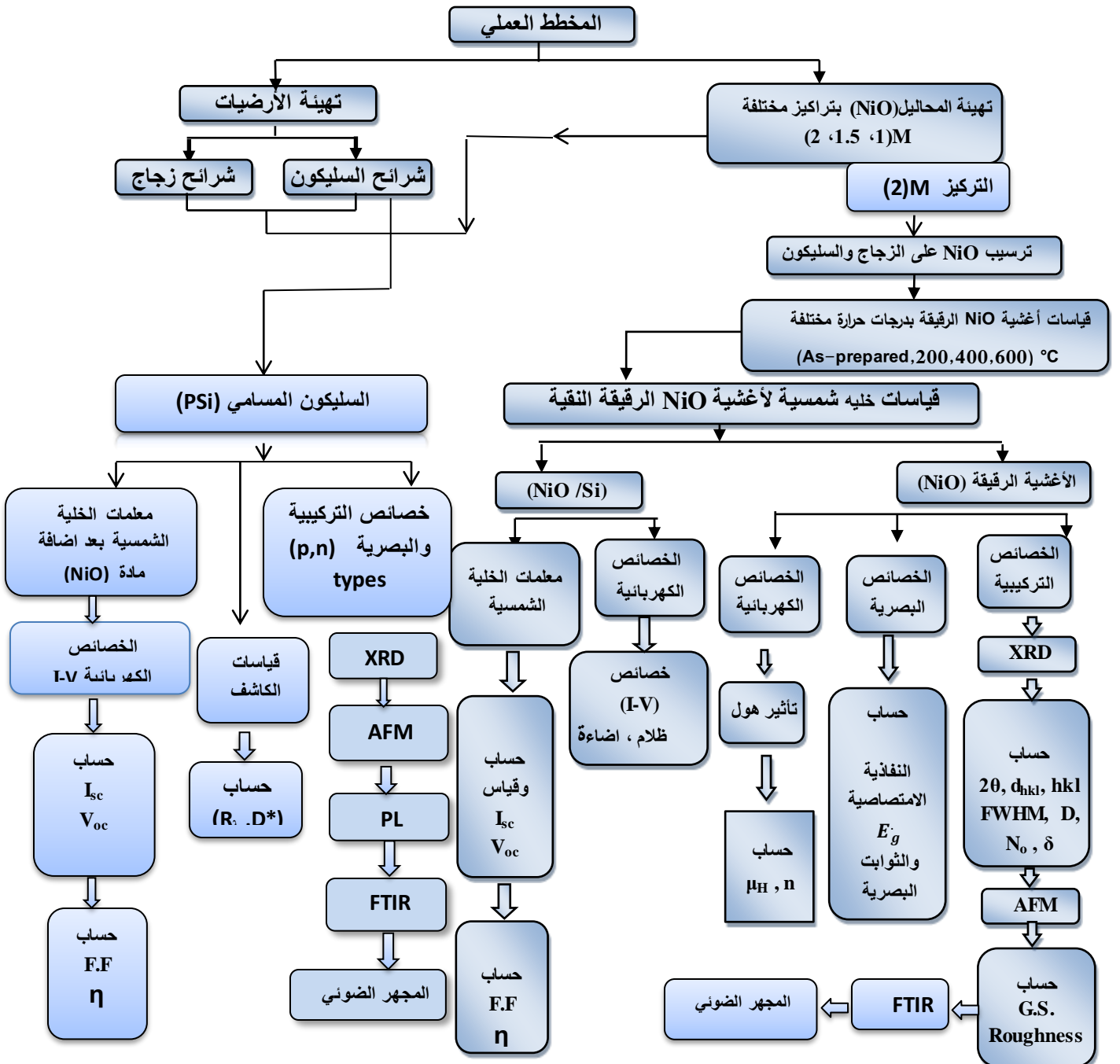


الفصل الثالث
الجانب العملي

1-3 المقدمة

Introduction

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



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

Preparation of (NiO) Film

2-3 تحضير أغشية (NiO) النقية

لتحضير أغشية (NiO) الرقيقة تم استخدام نترات النيكل الخضراء اللون $Ni(NO_3)_2$ وهيدروكسيد الصوديوم NaOH المجهزة من شركة (AG,CH947-BUCHS)، اذ نترات النيكل هي مادة بشكل مسحوق اخضر اللون وزنها الجزيئي (290.81 g/mole). وهيدروكسيد الصوديوم مركب صلب ابيض ذو وزن جزيئي (39.99 g/mole). ولتحضير المحلول بدرجة حرارة الغرفة تتم اذابة (1.5 g) من نترات النيكل في (50ml) من الايثانول، ويستخدم الخلاط المغناطيسي (Magnetic Stirrer) لمدة (10min) للحصول على محلول رائق اخضر اللون. ويتم اذابة (1.5) gm من هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) في (50)ml من الايثانول ثم تترك لمدة (10)min في الخلاط المغناطيسي (Magnetic Stirrer). اذ يتم اضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) فوق محلول نترات النيكل $Ni(NO_3)_2$. و يتم غسل محلول (NiO) الناتج بالماء الحار مرتين او اكثر وللحصول على الوزن المراد إذابته نستخدم العلاقة:

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

إذ ان:

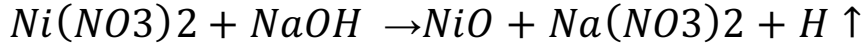
M: التركيز المولاري ويساوي (0.1)mol/l.

mt: كتلة مادة نترات النيكل

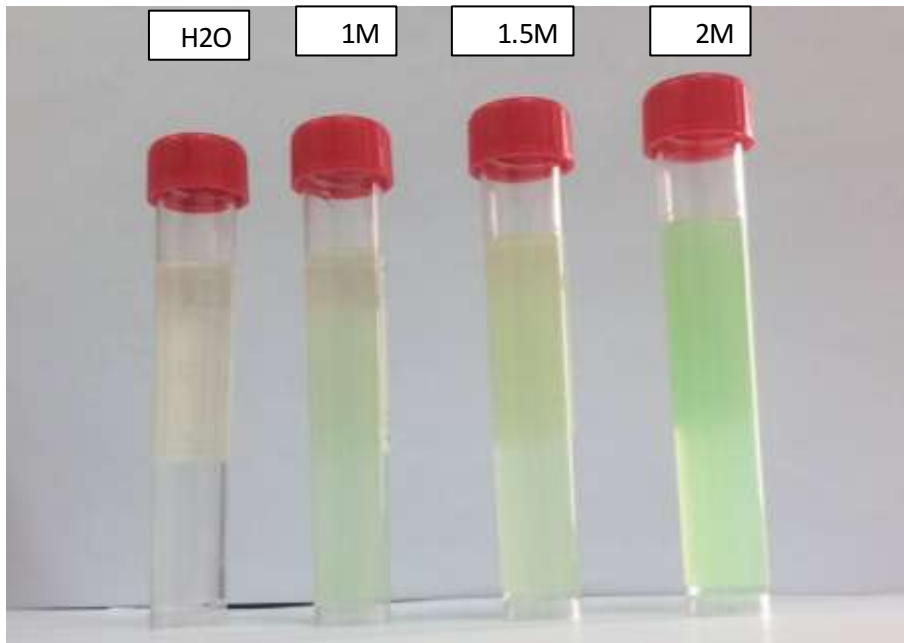
Mwt: الوزن الجزيئي لمادة نترات النيكل

V: حجم الماء المقطر (100)ml.

ولحساب كتلة مادة نترات النيكل استُخدم ميزان الكتروني حساس (Mettler A.E- 160) وتبلغ حساسيته ($10^{-4}g$) والمعادلة الكيميائية الآتية توضح عملية التحلل لمركب المحلول المستخدم:



كان المحلول الناتج 2M. اما في حالة الحصول على التركيز 1.5M يتم اذابة 1.5gm من النترات في 75 mole من الايثانول، وكذلك يتم الحصول على تركيز 1M بإذابة 1.5 gm من نترات النيكل في 100mole من الايثانول. حيث ان التركيز المستخدم 2M

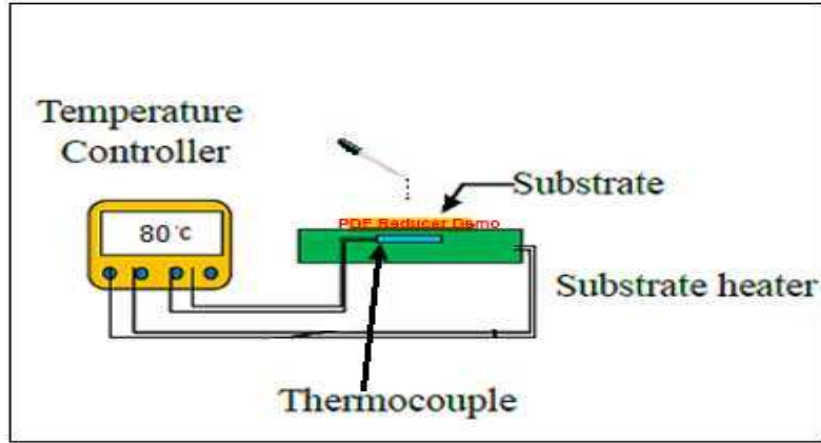


الشكل (3-2) محاليل (NiO) بتركيز مختلفة.

Drop casting method

3-3 طريقة الصب بالقطرة

تستخدم طريقة الصب بالقطرة الكيميائي للحصول على الأغشية الرقيقة كما موضحة بالشكل (3-3) وذلك بترسيب الغشاء على ارضيات من الزجاج او السليكون عند درجة حرارة $80^{\circ}C$ على قاعدة ساخنة بدرجات حرارة تعتمد على نوع المادة المراد ترسيبها، وهي الطريقة المستخدمة في البحث للحصول على غشاء (NiO).



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

Samples Preparation

4-3 تحضير العينات

Substrates Cleaning

1-4-3 تنظيف الأرضيات {القواعد}

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

A. النوع الأول: قواعد زجاجية مصنوعة من شرائح زجاج البورسلينات ذات سمك 1 mm

بأبعاد 26×76 mm² 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 26×19 mm.

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

التقليدية من بقع زيتية أو بقايا مواد أو أتربة عالقة بها.

3. تُغمر القواعد كلياً بحوض من الماء المُقطر (Distilled Water) لكي تُغسل باستعمال جهاز

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

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

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

5. وأخيراً تجفف الأرضيات جيداً بواسطة ورق الترشيح، ثم بالهواء الجاف باستعمال جهاز (Blower)، بعدها توضع على مسخن (هيتز) بدرجات حرارة 80°C .

B. النوع الثاني: قواعد شرائح سيليكونية (Si) أحادية البلورة (Single Crystal) من النوع المانح (n-type)، ذات اتجاهية بلورية (100) مقاومة كهربائية $\Omega\cdot\text{cm}$ (1-10) بقطر $(125+0.4)\text{mm}$ المُجهزة من شركة (Deutsche Solar AG) الألمانية، وتتضمن مراحل تنظيفها:

1. تُقَطَّع شرائح السليكون إلى أرضيات سليكونية بأبعاد $\{(25 \times 20) \times 0.2\} \text{mm}^3$.
 2. يتم إجراء عملية التتميش الكيميائي (Chemical Etching) للتخلص من الشوائب وطبقة الأوكسيد المتكونة من الجو على سطح (Si)، إذ يتم غمر الأرضيات السليكونية في حامض الهيدروفلوريك (HF) المخفف بنسبة (1:10) $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$ أي بتركيز (10%) لمدة (5) دقائق، إذ إن لهذا الحامض القابلية على إزالة طبقة الأوكسيد المتولدة على سطح السليكون من دون التأثير في (Si) نفسه.
 3. تُغسل الأرضيات (بالماء المقطر ثم بكحول الإيثانول) لمدة (5) دقائق لغرض إزالة الحامض وضمان التنظيف الجيد للأرضيات، وأخيراً تجفف الأرضيات السليكونية بأوراق الترشيح وبالهواء الساخن، وبذلك تكون جاهزة للاستعمال والترسيب.
- يكن 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.

2-4-3 تحضير الأقنعة

Masks Preparation

بعد ان تتم عملية تنظيف الأرضيات الزجاجية والسليكونية، يتم تحضير الأقنعة الخاصة بترسيب أغشية NiO النقية وأقطاب التوصيل الكهربائي. الأقنعة (Masks) المصنعة هي عبارة عن رقائق (Foils) من الألمنيوم النقي، وذلك لتوفرها ولسهولة تشكيل هذه الأقنعة عليه بحيث تكون مساحة الأقنعة تساوي مساحة الأرضيات الزجاجية والسليكونية المستعملة لتحضير الأغشية، إذ يتم عمل الفتحات بالأشكال الهندسية المناسبة وفق شكل ومساحة الأقطاب المطلوبة لعملية الترسيب الخاصة بالنماذج النقية والأقنعة الخاصة بأقطاب التوصيلات الكهربائية. الشكل (3-4) يبين النموذج المستخدم في هذه الدراسة.



الشكل (3-4) قناع ترسيب أقطاب تأثير هول، عرض كل قطب (0.4)cm والمسافة بين كل قطبين متقابلين (0.6)cm ،

3-5 عملية ترسيب أقطاب الألمنيوم

تم ترسيب أقطاب الألمنيوم لغرض عملية التوصيل الكهربائي 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 التتستن تحت ضغط (10^{-5} Torr).

Films Thickness Measurement

3-6 قياس سُمك الأغشية

هناك عدة طرائق لقياس سمك الاغشية المحضرة ، وهي من الامور الهامة في تصنيع النبائط الكهربائية ، وبعض هذه الطرائق المستخدمة في تحديد قياس سمك الاغشية قيد الدراسة.

1- الطريقة الوزنية Gravimetric Method

في هذه الطريقة يتم استخدام ميزان إلكتروني حساس نوع (Precisa-Swiss) حساسيته اربع مراتب عشرية، إذ نقوم 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) وفق العلاقة الآتية [89]:

$$t = \frac{\Delta m}{A \cdot \rho_f} = \frac{(m_2 - m_1)}{A \cdot \rho_f} \dots\dots\dots (1-3)$$

إذ إن:

m_1 : كتلة الأرضية الزجاجية قبل الترسيب بـ (g)،

m_2 : كتلة الأرضية الزجاجية بعد الترسيب بـ (g).

A : مساحة الغشاء بـ (cm^2)

ρ_f : كثافة مادة الغشاء (NiO) = 6.67 g/cm^3

t : سُمك الغشاء الرقيق المُحضر المُقاس بوحدات (nm).

7-3 تليدين الاغشية. Annealing Process of Thin films

بعد تحضير اغشية (NiO) النقية تم ادخلها في فرن كهربائي من نوع Victoreen عند درجات حرارة $(200,400,600)^\circ C$ لمدة ساعة واحدة. وتترك العينات في الفرن الكهربائي الى ان تصل الى درجة حرارة الغرفة .

8-3 تشخيص تركيب الاغشية المحضرة بتقانة حيود الأشعة السينية

Investigation the Structural of Prepared Films by (XRD) Technique

من المعلوم ، بعد اتمام عملية الترسيب يتم اختيار عدد من الأغشية التي تمتاز بتجانسها لتشخيص نوع التركيب البلوري لأي مادة عن طريق دراسة حيود الأشعة السينية (XRD) لتلك المادة. وتم في هذه الدراسة قياسات حيود الأشعة السينية 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: $(\lambda_{X-Ray}) = 1.5406 \text{ \AA}$.

Voltage: 40 kVolts.

Current: 30 mA.

Speed: 5(deg/min)

Scanning

Axis: Theta – (2θ) .

Scan Mode: Continuous Scan

Range: $(20-80)$ (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 الى نوع التركيب البلوري للمادة المستخدمة وأبعاد وحدة الخلية.

9-3 قياسات مجهر القوة الذرية (AFM)

Atomic Force Microscope Measurements (AFM)

تم استخدام تقانة (AFM) لدراسة تأثير التلدين في طوبوغرافية سطوح أغشية العينات المحضرة، باستعمال جهاز نوع (SPM-AA3000 contact mode spectrometer, Angstrom) المجهر من شركة (Advanced Inc. company, USA)، للحصول على

صور ثنائية وثلاثية الأبعاد تصف السطح من حيث معامل الخشونة (Roughness)، والحجم الحبيبي (grain Size).

10-3 قياسات طيف الأشعة تحت الحمراء FTIR.

Infrared (FTIR) Spectroscopy Measurement

يستخدم هذا المطياف في تعيين الاواصر الكيميائية في المركبات قيد الدراسة، وعند تسليط الأشعة تحت الحمراء على الجزيئات يحدث تداخل بين المجال الكهربائي للأشعة تحت الحمراء مع المجال الكهربائي المتولد عن عزم ثنائي قطب . وإذا توافق تردد المجال الكهربائي لشعاع من الأشعة تحت الحمراء مع تردد المجال في الجزيء ، فإن الجزيء يمتص هذا الشعاع، وعندئذ يحدث امتصاص الجزيء للطاقة ينقله من مستوى اهتزازي واطئ إلى مستوى اهتزازي أعلى. وعند فقدان الطاقة ورجوع جزء إلى مستوى اهتزاز "الأرضي" (ليس متأرا) يحصل انبعاث للضوء تحت الأحمر يمكن لكاشف حساس تسجيله ، وتسجل تلك البيانات على جهاز يرسمها على ورق بياني تمثل صورة طيف الأشعة تحت الحمراء تم إجراء قياسات FTIR باستخدام جهاز من نوع (SHIMADZU- 8400S) ضمن العدد الموجي يتراوح بين $500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$.

11-3 المجهر الضوئي . Optical Microscope

استخدم المجهر الضوئي من نوع (Leice dm 2500p for TL & RL) مزود بآلة تصوير رقمية و بقوة تكبير (400 X) ، إذ تم بوساطته فحص النماذج المحضرة للتعرف على طبيعة سطح الاغشية من حيث خلوها من الثقوب و التشققات والتكتلات

12-3 الفحوصات البصرية Optical Measurements

تم رسم طيف النفاذية T لمدى الأطوال الموجية (300-1000)nm لجميع الأغشية

المحضرة باستخدام مطياف من نوع (UV-Visible 1800 Spectrophotometer) انكليزي الصنع ، ويتم ذلك عن طريق وضع شريحة زجاجية داخل الجهاز غير مرسب عليها منظفة بصورة جيدة لتكون مرجعاً للعينة ، ومن ثم وضع الغشاء المرسب على شريحة زجاجية مصنوعة من مادة شريحة المرجع نفسه ويوضع أيضاً داخل الجهاز ، وبعدها يتم إسقاط الشعاع عمودياً مرة على الشريحة الزجاجية ومرة أخرى على الشريحة المرسب عليها، وبذلك يقوم الجهاز بإلغاء تأثير الزجاج، وتكون النتائج للغشاء المحضر فقط. ومن خلال طيف النفاذية يتم حساب الامتصاصية ثم تم حساب معامل الامتصاص، ودراسة نوع الانتقالات الالكترونية الحاصلة فيها، وحساب فجوة الطاقة ، وكذلك تم حساب الثوابت البصرية المتمثلة بـ (النفاذية -الانعكاسية- معامل الانكسار).

Electrical Measurements

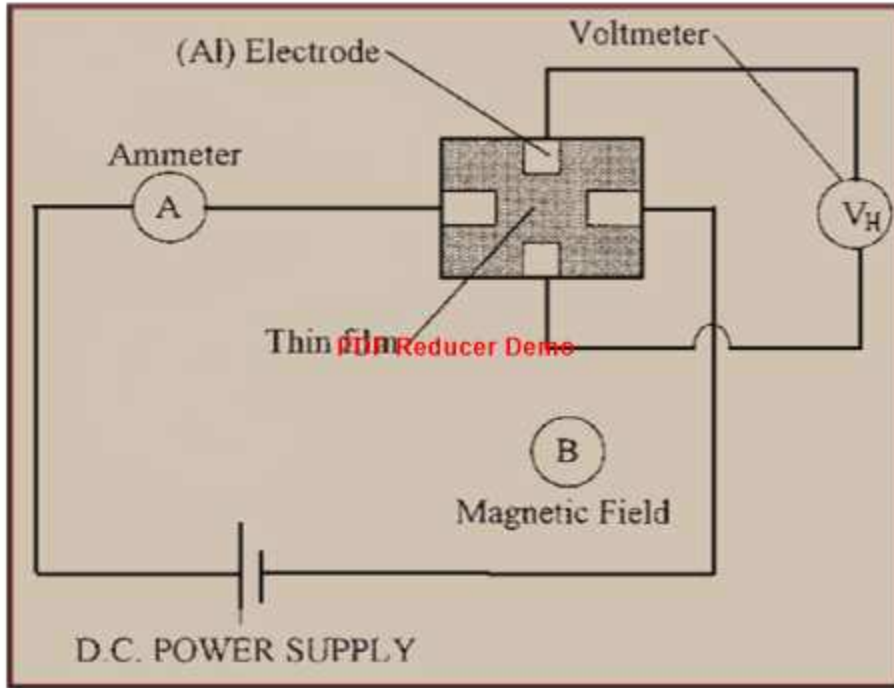
13-3 القياسات الكهربائية

Hall Effect Measurement

1-13-3 قياس تأثير هول

اجري قياس تأثير هول (في درجة حرارة الغرفة) على جميع الأغشية المحضرة المرسبة على أرضيات زجاجية ، 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 (Silver Paste)، وأن جهازي الأميتر والفولتميتر الرقمي من نوع (Keithily-616 Digital) والفولتميتر من نوع (Keithily. 177 Micro Voh Dmm) وكما موضح بالشكل (3-5)



الشكل (3-5) رسم تخطيطي للدائرة المستخدمة لقياس تأثير هول

14-3 الخصائص الكهربائية للمفرد الهجين

Electrical Properties of Heterojunction

1-14-3 قياس خصائص (I-V) في حالة الظلام:

(I-V) Characteristics Measurement in the Dark Condition

يتم قياس خصائص (I-V) في حالة الظلام وعند درجة حرارة الغرفة بوضع العينات داخل

حجرة مظلمة وربطه بالدائرة الكهربائية، عن طريق قياس تيار الظلام (I_d) وفولتية الانحياز

(V) المُسلطة عند الانحياز الأمامي (Forward Bias) يربط الجزء السالب من العينة بالجهد

السالب لمجهر القدرة، ويربط الجزء الموجب من العينة بالجهد الموجب لمجهر القدرة باستعمال المقياس الرقمي ذي القناتين من نوع Keithly-616 digital electrometer, Tektronics (Keithly-616 digital electrometer, Tektronics) (CDM 250) multimeter dual Farnel LT30/2 (0-10)V power supply، إذ يتم قياس التيار (I_d) في إحدى قناتيه وقياس الفولتية (V) على القناة الأخرى للمقياس الرقمي. ويتم قياس تيار الظلام وفولتية الانحياز أيضا للانحياز العكسي (Reverse Bias) وذلك بربط الجزء السالب من العينة بالجهد الموجب لمجهر القدرة المستمرة، ويربط الجزء الموجب من العينة بالجهد السالب لمجهر القدرة. وأن دراسة هذه الخصائص تمت ضمن مدى جهد الانحياز (0-10) Volts (10) المُجهز من مجهر القدرة المستمرة (D.C Power Supply) نوع (Dazheng: PS-303D)، ترسم العلاقة البيانية بين تيار الانحياز الامامي وجهد الانحياز المُسلط.

[92,76]

2-14-3 قياس خصائص (I-V) عند الإضاءة

(I-V) Characteristics Measurement under Illumination

تم استعمال الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل a (3-7) لدراسة هذه الخصائص، إذ تم قياس التيار الضوئي المتولد (I_{ph}) للعينات 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 العينة متغير ضمن المدى (0-10)Volts، مع مقارنة قيم التيار الضوئي المتولد من إضاءة العينة مع قيم تيار الظلام للكاشف تحت الجهد العكسي المُسلط نفسه. علماً بأن جهازي الأميتر والفولتميتر الرقميين المربوطين في الدائرة الكهربائية من نوع (UT136) مُجهز من شركة (UNI-Trend Group)

(Hong Kong) وأن القدرة الإشعاعية الساقطة على المفرق الهجين من المصباح تم تحديد قيمتها (إجراء مُعايرة لضوء المصباح) باستعمال مقياس القدرة الضوئية (Power Meter) نوع (LP1) من شركة (Sanwa Electric Instrument Com.-Tokyo)

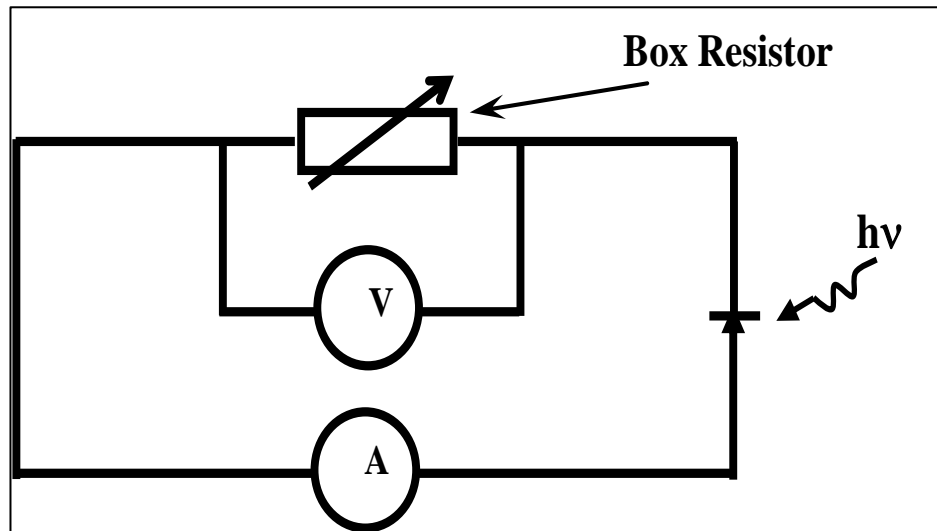
Solar Cell Parameters

15-3 معلمات الخلية الشمسية

1-15-3 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 المفرق وهي دالة لشدة الضوء الساقط، وبكثافة قدرة ضوئية مقدارها $(40) \text{ mW/cm}^2$ ، باستعمال المقياس الرقمي من نوع (Keithily (619 Digital Electrometer). وكذلك باستعمال صندوق مقاومات تتراوح قيمته من $M\Omega$ (1-100) كما في الشكل (3-6) 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 (2-31) و(2-33) لحساب الكفاءة التحويلية ($\eta\%$) وعامل الملء (F.F.) على التوالي.

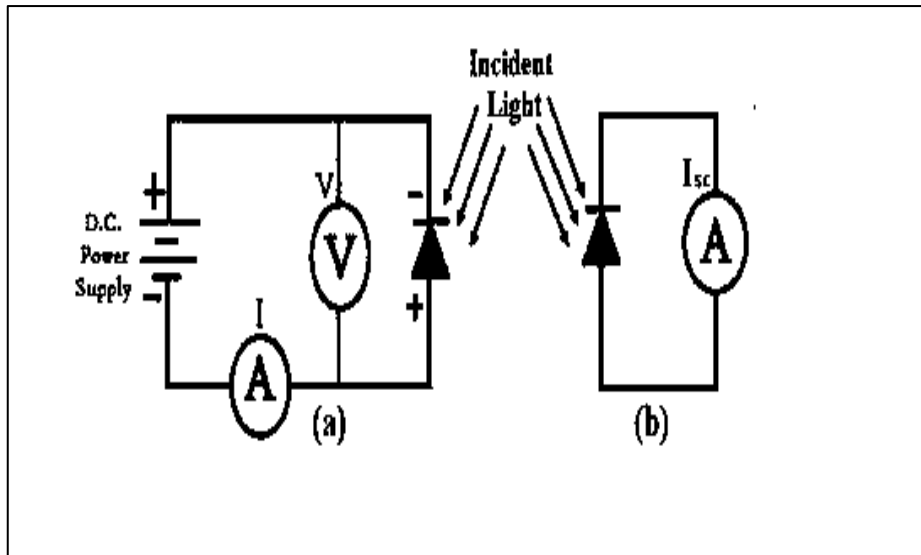


الشكل (3-6): مخطط الدائرة الكهربائية لقياس فولتية الدائرة المفتوحة.

2-15-3 قياس تيار الدائرة القصيرة I_{sc}

Short-Circuit Current Measurement

تم استعمال الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل (7-3)b لقياس قيمة تيار الدائرة القصيرة (I_{sc})، الذي يمثل مقدار التيار الضوئي المتولد في المفرد في حالة غياب تسليط جهد انحياز خارجي ، وهو دالة لشدة الضوء الساقط كما في المعادلة (2-30)، بقدرة ضوئية مقدارها $40 \mu W$ ، وتم قياس تيار الدائرة القصيرة (I_{sc}) المتولد باستعمال جهاز القياس الرقمي نوع (Keithley 619 Digital Electrometer/Multimeter).



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

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

16-3 خصائص الكاشف الضوئي

Photodetector properties Measurements

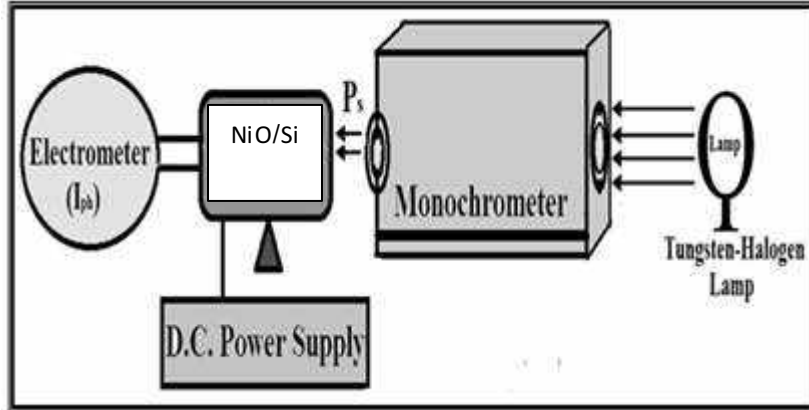
1-16-3 قياس الاستجابة الطيفية (R_λ):

Spectral Responsively Measurement

تم قياس الاستجابة الطيفية باستخدام منظومة فحص الكواشف الضوئية المُحضرة عن

طريق تسجيل قيم التيار المار عبر الكاشف وبقدرة 120 mW/cm^2 ، وتم تعريض الكواشف

لأشعة ضمن المدى الطيفي $\lambda = (400-900) \text{ nm}$ 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 (2-35).



الشكل (3-8): المنظومة المستعملة في قياس الاستجابة الطيفية للكواشف الضوئية

المُحضرة.

2-16-3 حساب الكشفية النوعية (D^*)

Specific Detectivity Measurement

تم حساب الكشفية النوعية (D^*) للكواشف المحضرة بوصفها دالة للطول الموجي باستخدام العلاقة (2-39).

3-16-3 قياس زمن وفترة حياة الحاملات الشحنة الاقلية

Minority Carrier Life Time measurement

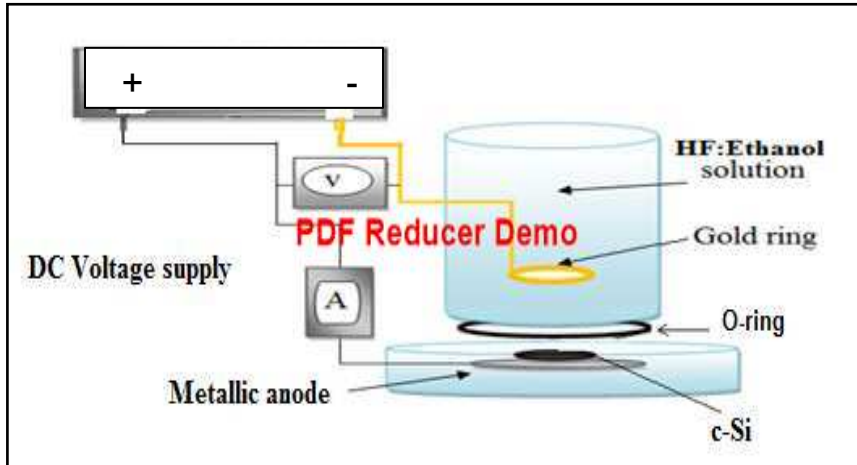
تم حساب زمن الاستجابة وفترة حياة الحاملات بواسطة جهاز لقياس زمن الاستجابة بقدرة (200)J نوع (Digital Storage Oscilloscope – Twintex – TSO 1202). والمصدر

الضوئي المستخدم الليزر.

17-3 اعداد طبقة السليكون المسامي PSi Preparation of Porous Silicon Layer

1-17-3 عملية الحفر الكهروكيميائي Electrodes etching

يتم استخدام رقائق السليكون البلورية من النوع (p,n-types) ذات مقاومة (20-2) $\Omega \cdot \text{cm}$ ، سمك (508) μm واتجاهية (100). كانت الرقائق ذات ابعاد (1.5×1.5) cm. تم إجراء الحفر الكهروكيميائي في محلول عالي النقاوة لحامض الهيدروفلوريك HF بتركيز (40%) وخليط الإيثانول بتركيز (99.99%) في درجة حرارة الغرفة باستخدام قطب الذهب (Au) كما هو موضح في الشكل (3-9) لمدة (15)min باستخدام كثافة تيار 15 mA/cm^2 لإنتاج منطقة محفورة من العينة حوالي 0.785 cm^2 .



تعيين الشكل (3-9) رسم تخطيطي للحفر الكهروكيميائي.

الفصل الرابع

PDF Reducer Demo
النتائج و الحسابات

1-4 المقدمة

Introduction

يتناول هذا الفصل عرض مناقشة النتائج للخصائص الكهربائية والتركيبية والبصرية والكهربوبصرية لأغشية (NiO) الرقيقة المرسبة على قواعد من الزجاج /السليكون /السليكون المسامي، كما تم تحليل خصائص معلمات الخلايا الشمسية، و حساب القدرة الناتجة عن الخلية المصنعة ، وحضرت الخلايا الشمسية بطريقة الصب بالقطرة الكيميائي عند سمك $(150\pm 5)\text{nm}$ بدرجات حرارة مختلفة $(\text{As} - \text{prepared}, 200, 400, 600)^\circ\text{C}$ مع استعراض اهم الاستنتاجات التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة.

2-4 الخصائص التركيبية

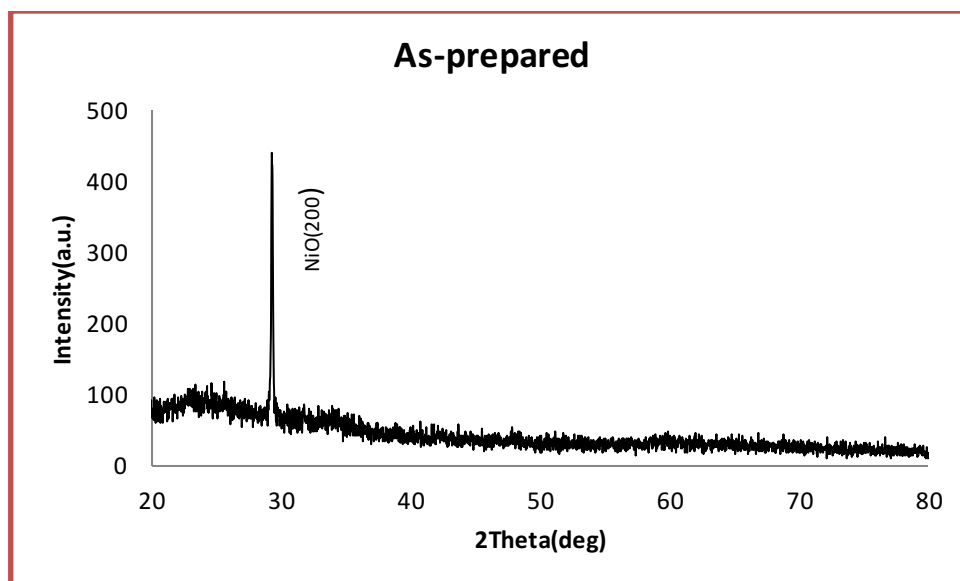
Structural Properties

تم ترسيب المحاليل المحضرة لمادة اوكسيد النيكل (NiO) ذات تركيز 2M على قواعد زجاجية/سليكونية ذات ابعاد $(26\times 19)\text{mm}$ بطريقة الصب بالقطرة عند درجة حرارة لا تزيد عن 80°C للحصول على اغشية رقيقة ذات اسطح منتظمة ومتجانسة.

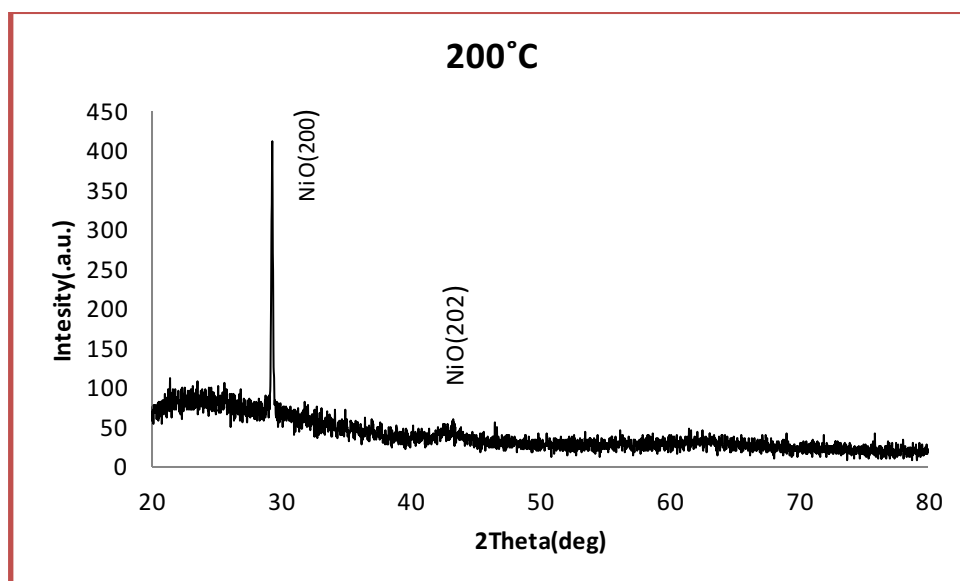
اظهرت نتائج حيود الاشعة السينية (XRD) لاغشية (NiO) المحضرة والملدنه بدرجات حرارة مختلفة انها ذات تركيب متعدد التبلور (polycrystalline) بطور تركيب مكعب متمركز الواجه (F.C.C)، واتضح التقارب الشديد بين القيم المسجلة عملياً مع القيم المثبتة على البطاقة المرقمة (JCPDP Card 01-089-3080)[104]. ويوضح الشكل (1-4) ظهور المستوى البلوري (200). اما في حالة درجة حرارة التلدين $^\circ\text{C}$ (200) يلاحظ من الشكل (2-4) ظهور المستويات البلورية عند السطح ذا الاتجاهية (200) (202)، اذ ان الاتجاه السائد عند درجة حرارة الغرفة ودرجة حرارة التلدين $^\circ\text{C}$ (200) هو (200) وهذا يتفق مع نتائج الباحثين [24,26]. الشكل (3-4) يشير الى ظهور مستويات بلورية مختلفة (012) (202) (200) (004) عند

زيادة درجة حرارة تليدين $^{\circ}\text{C}$ (400)، فتظهر القمم بارتفاعات اقل مما هو عليه في درجة حرارة تليدين $^{\circ}\text{C}$ (200) مع ظهور مستوى بلوري جديد بالاتجاه (004) ويعزى ذلك الى ان زيادة درجة حرارة التليدين قد أدت الى حدوث نماء بلوري في غشاء (NiO)، اما عند درجة حرارة تليدين $^{\circ}\text{C}$ (600) كما مبين في الشكل (4-4) يلاحظ اختفاء العديد من القمم وظهور المستويات (012) (004). كذلك تبين ان شدة القمم تزداد مما هو عليه عند درجة حرارة تليدين $^{\circ}\text{C}$ (400) ان الاتجاه السائد عند درجات حرارة التليدين $^{\circ}\text{C}$ (400-600) هو (012). اما في الشكل (4-5) يلاحظ مما ذكر ان هناك انحرافاً ضئيلاً في مواقع القمم لقيم (2 θ) في نمط الحيود لأغشية اوكسيد النيكل (NiO) ويعزى ذلك الى اختلاف الحجم البلوري للأغشية المحضرة والملدنة وبالتالي نقصان في عرض (FWHM) طبقاً الى قانون شرر، ان الزيادة في الشدة تعزى الى زيادة سطح انعكاس مستوى براك عند زيادة الحجم البلوري وتقليل الاستطارة من حافات تلك الحبيبات

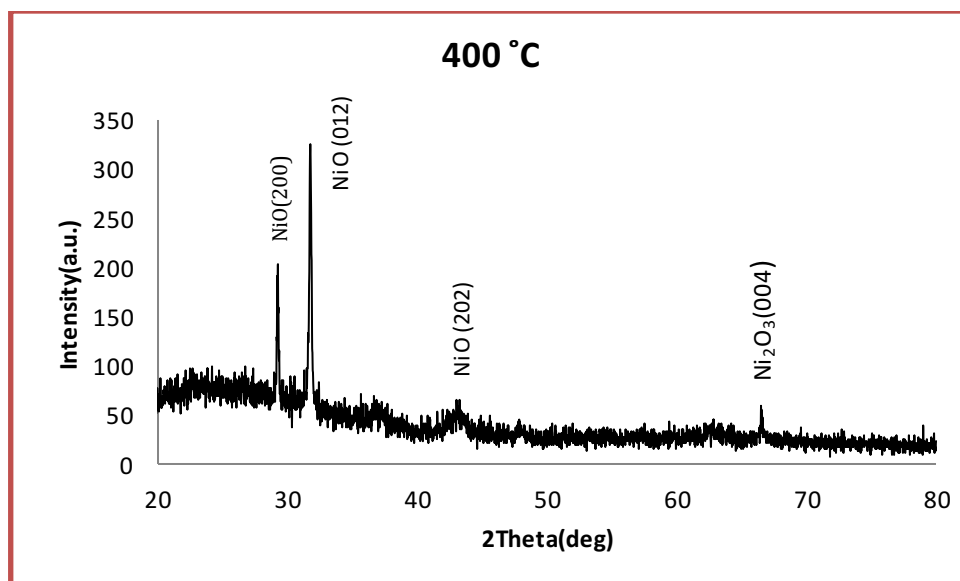
ووجد ان قيم المسافة البينية بين المستويات البلورية (d_{hkl}) لزوايا الحيود وسطوحها (2 θ) التي تقابل موقع قمم الأغشية المحضرة للنماذج المميزة، تتطابق مع القيم في المواصفة الدولية المرقمة (01-089-3080) [104] كما مبين في الجدول (4-1).



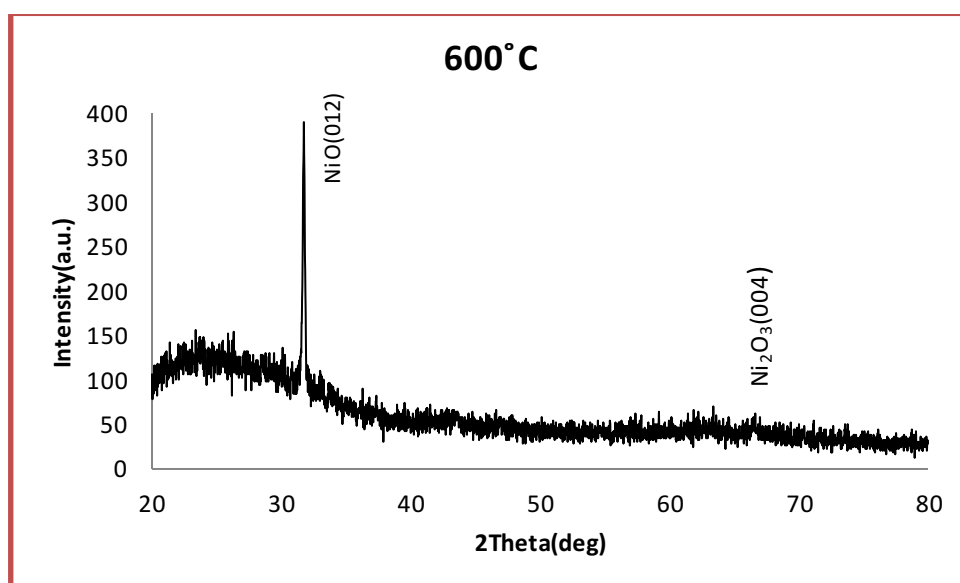
الشكل (4-1): حيود الأشعة السينية لغشاء (NiO) المحضرة عند درجة حرارة الغرفة



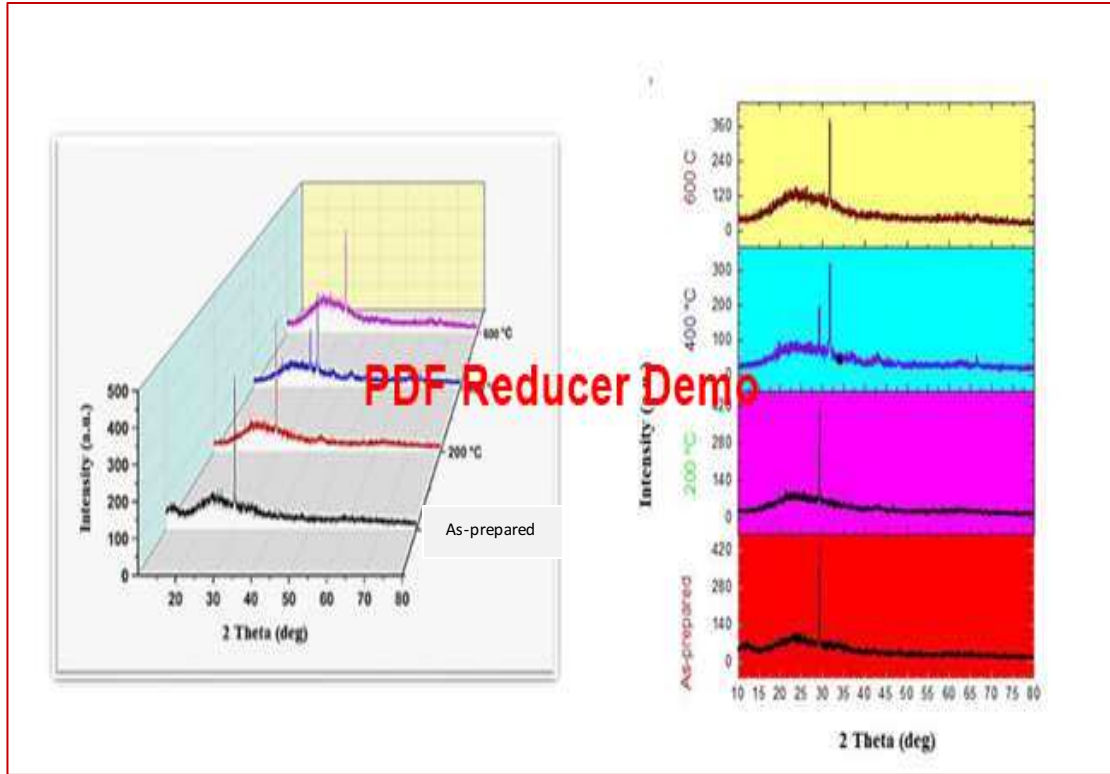
الشكل (4-2): حيود الأشعة السينية لغشاء (NiO) عند درجة حرارة تليدين 200 °C



الشكل (3-4): حيود الأشعة السينية لغشاء (NiO) عند درجة حرارة تليدين 400°C



الشكل (4-4): حيود الأشعة السينية لغشاء (NiO) عند درجة حرارة تليدين 600°C



الشكل (4-5) حيود الاشعة السينية لغشاء (NiO) لمختلف درجات حرارة التلدين.

وتم الحصول على عرض المنحني β (FWHM) للاغشية من قياسات حيود الاشعة السينية (XRD) كما مبين في جدول (4-2)، اذ يلاحظ فيه تغير (FWHM) بزيادة درجة حرارة الاغشية المحضرة، مع تغير الحجم البلورية (D) وفقاً لمعادلة شرر (2-2)، مما يؤدي إلى تغير المسافة بين سطوح البلورات (d_{hkl}) كما موضح في الجدول (4-2)، وبالتالي فإن زوايا الحيود للاشعة السينية (2θ) للقيم 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 ترتب نفسها مكانها الصحيح من الشبكة، وبالتالي تصبح اكثر انتظاماً باتجاه حالة التبلور [55].

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

(NiO) المحضرة مع نتائج بطاقة (ASTM) لـ (NiO) المرقمة (01-089-3080). [104].

<i>Samples (NiO)Thin films</i>	<i>2θ(deg) (ASTM)</i>	<i>2θ(deg) Observed</i>	<i>d (Å) (ASTM)</i>	<i>d (Å) Observed</i>	<i>(hkl)planes (ASTM)</i>
As-prepared	29.41 21.25 31.25	29.32 21.67 31.7	3.03 4.17 2.95	3.04 4.20 2.81	(200) (101) (012)
200°C	29.41 27.59	29.33 27.68	3.03 3.23	3.04 3.46	(200) (002)
400°C	29.41 31.25	29.26 31.56	3.03 2.95	3.04 2.81	(200) (012)
600°C	29.41 31.25 37.44	30.86 31.76 37.37	3.03 2.95 2.40	3.04 2.89 2.40	(200) (012) (111)

يبين الجدول (2-4) نتائج حيود الأشعة السينية للقمم السائدة (200) (012) لأغشية

(NiO) المحضرة.

NiO Thin film	(hkl)	d (Å)	2 Theta (deg)	Intensity (a.u)	β (FWHM) (deg)	D (nm)	$\delta \times 10^{14}$ lines.m ⁻²	$N_o \times 10^{-14}$ Crystal .m ⁻²
As- prepared	200	3.04	29.32	440	0.12	71.5	1.95	4.10
200 °C	200	3.04	29.33	412	0.14	61.29	2.66	6.51
400 °C	012	2.81	31.56	322	0.17	50.74	3.88	11.48
600 °C	012	2.89	31.76	390	0.18	47.45	4.35	13.60

3-4 قياسات مجهر القوة الذرية (AFM)

The Atomic Force Microscope measurements

تمت دراسة تضاريس سطوح الاغشية المحضرة ومدى تأثير تغير درجة حرارة التلدين عليها باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) وما يمتلكه من قدرة تصوير وتحليل لهذه السطوح واعطاء قيم احصائية في غاية الدقة بأستخدام برنامج Imager4.62 عن قيم خشونة السطح (Roughness) و الجذر التربيعي لمتوسط الخشونة (RMS) والحجم الحبيبي. ويوضح الجدول (3-4) والشكل (4-6)، ان قيمة Roughness و معدل الخشونة (RMS) تزداد بزيادة درجة حرارة التلدين. وان تأثير التلدين للاغشية يؤدي الى نقصان الحجم الحبيبي لجميع الاغشية المحضرة و المدلنة و يتبين من الجدول (3-4) الحصول على تراكيب نانوية. ويلاحظ من الشكل (4-6)، الأغشية تكون ذات سطوحاً منتظمة ومتجانسة التوزيع ويلاحظ من الشكل ايضا مجموعه من الحبيبات شبة كروية مصطفة بصورة افقية ثم تتجه نحو الاعلى مع وجود القليل من الفراغات بين الحبيبات وبزيادة درجة حرارة التلدين تظهر الحبيبات بحجم اصغر مع

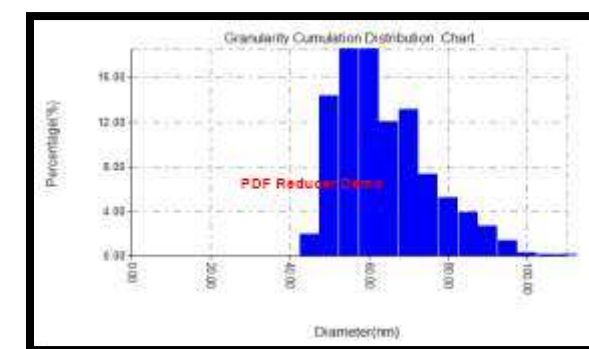
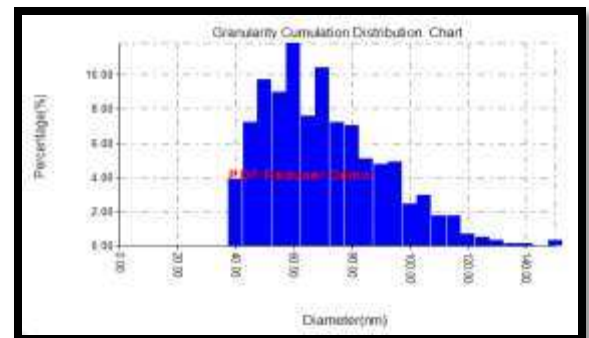
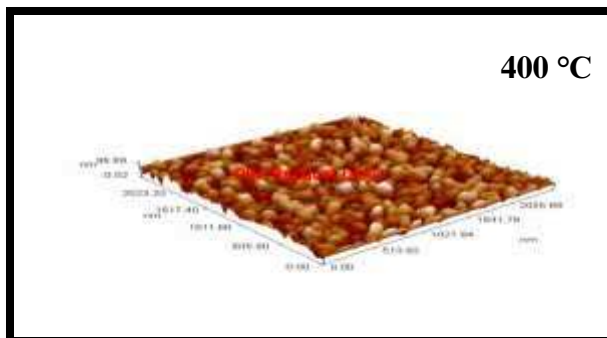
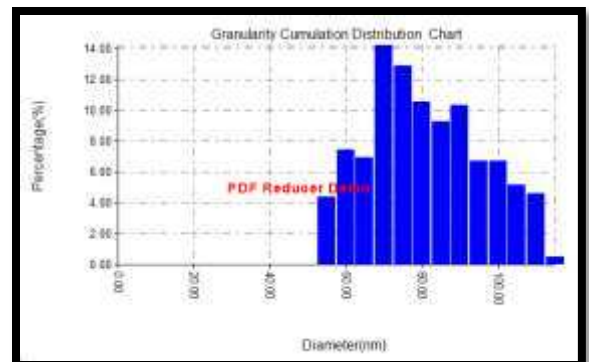
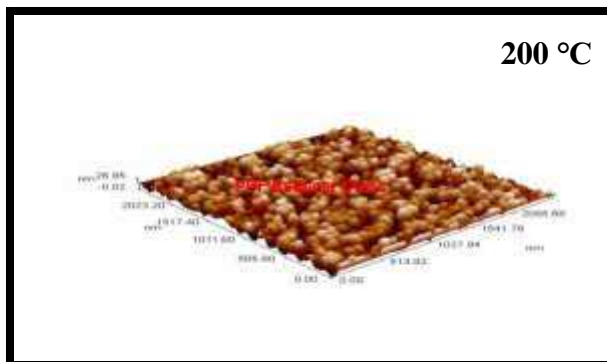
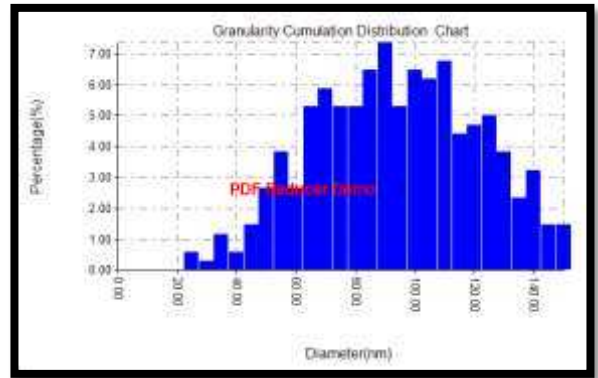
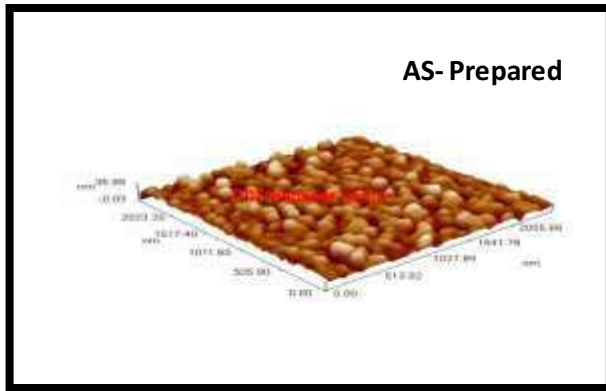
نقصان الفراغات. وان الأغشية تمتلك عدداً كبيراً من البلورات المصطفة والمتصلة بانتظام على السطوح ولا يلاحظ اي شقوق بينية او فراغات او ثقوب في التركيب.

وبالمقارنة بين الجدولين (2-4) و(3-4)، نلاحظ وجود تطابق بين قيم الحجم البلوري (Crystalite size) التي تم الحصول عليها باستخدام معادلة شرر من نتائج (XRD) وكذلك من قياسات (AFM)، إذ أظهرت النتائج أن الخصائص التركيبية والطوبوغرافية للسطح تتحسن لأغشية (NiO) المدنة عند درجات حراره مختلفه، مما جعلها ذات تطبيقات واسعة الانتشار في مجال النبائط الإلكترونية والقياسات للحجم الحبيبي تعطي انطباعاً بأن الاغشية المحضرة تكون نانوية التركيب.

الجدول (3-4): تغير معدل خشونة السطح ومعدل الحجم الحبيبي لأغشية (NiO)

المحضرة على الزجاج بدرجة حرارة مختلفة.

NiO thin film	Avg-diameter (nm)	RMS (nm)	Roughness (nm)
As-prepared	91.73	6.3	5.0
200°C	78.46	6.98	5.96
400°C	68.38	17.6	14.3
600°C	61.51	41.6	35.9

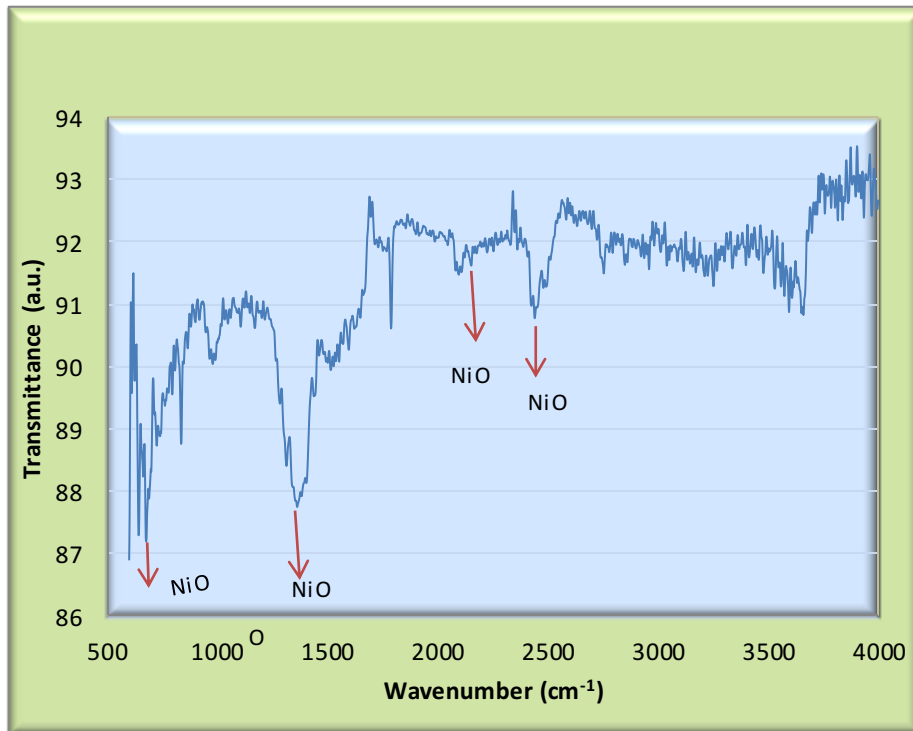


الشكل (4-6): صور AFM لأغشية NiO المحضرة بدرجات حرارة تليدين مختلفة.

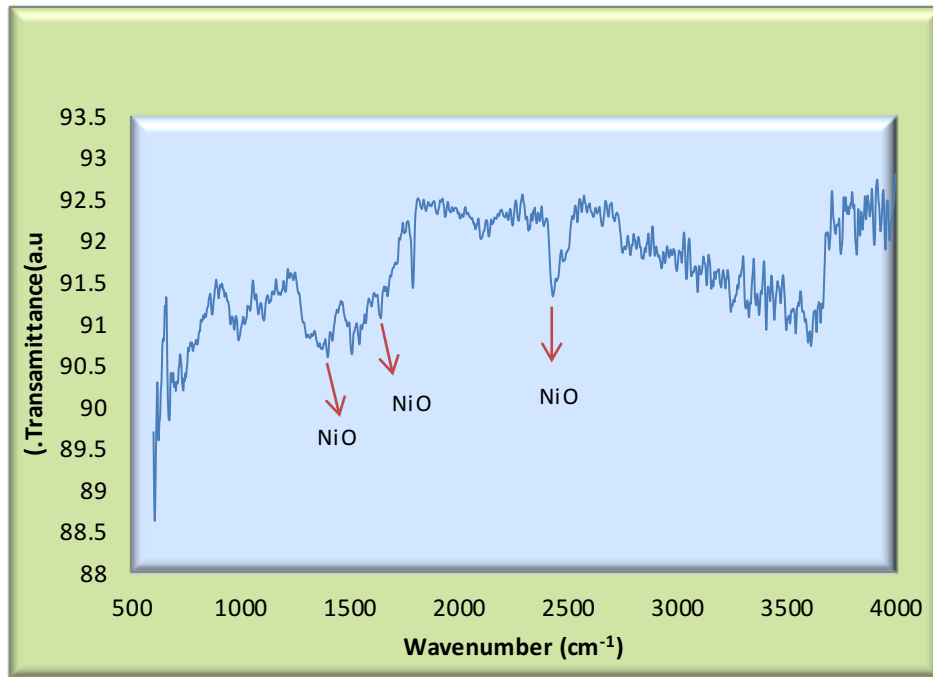
4-4 نتائج قياسات طيف الاشعة تحت الحمراء FTIR

Measurements of Infrared radiation spectrum

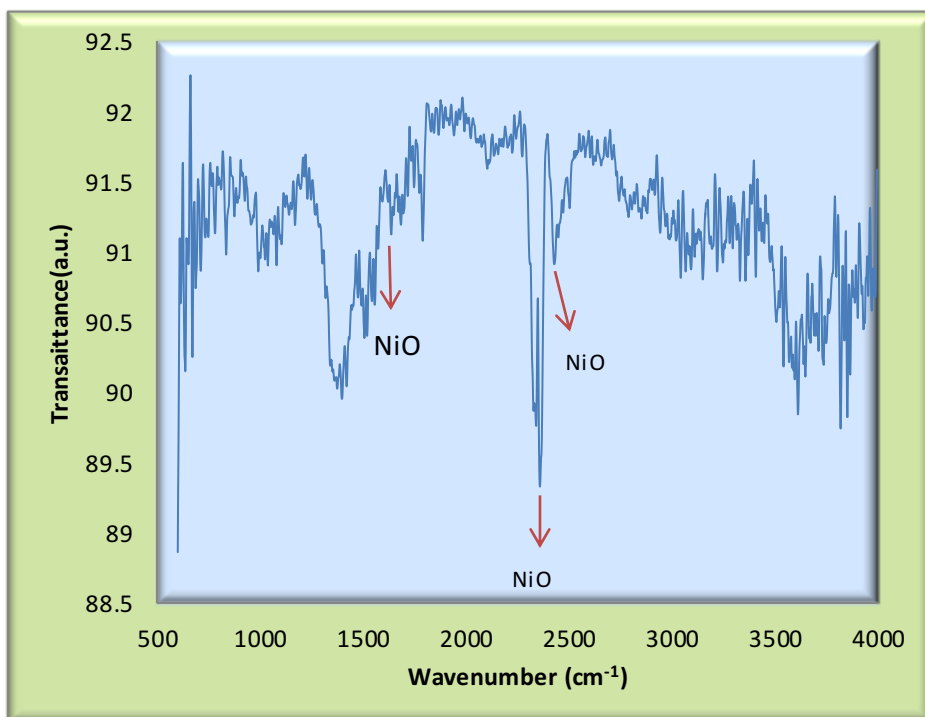
نلاحظ من الاشكال (7-4) (8-4) (9-4) (10-4) بيانات طيف الاشعة تحت الحمراء FTIR لأغشية NiO المحضرة في درجة حرارة الغرفة المدونة بدرجات حرارة $(200,400,600)^{\circ}\text{C}$. ومن الواضح ان هناك عدة قمم امتصاص تشير الى اوكسيد النيكل (NiO) ويلاحظ حدوث زحف للقمم الامتصاص عند زيادة درجة حرارة التلدين.



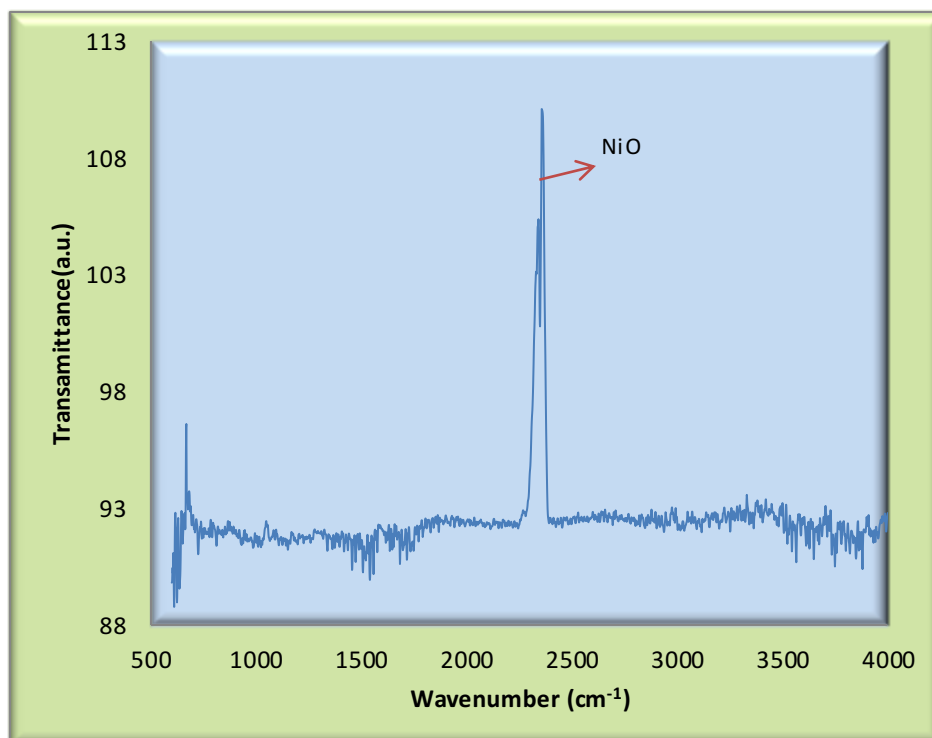
الشكل (7-4) طيف FTIR لأغشية NiO المحضرة بدرجات حرارة الغرفة.



الشكل (4-8) طيف FTIR لغشاء NiO الممدن 200°C.



الشكل (4-9) طيف FTIR لغشاء NiO الممدن 400°C.



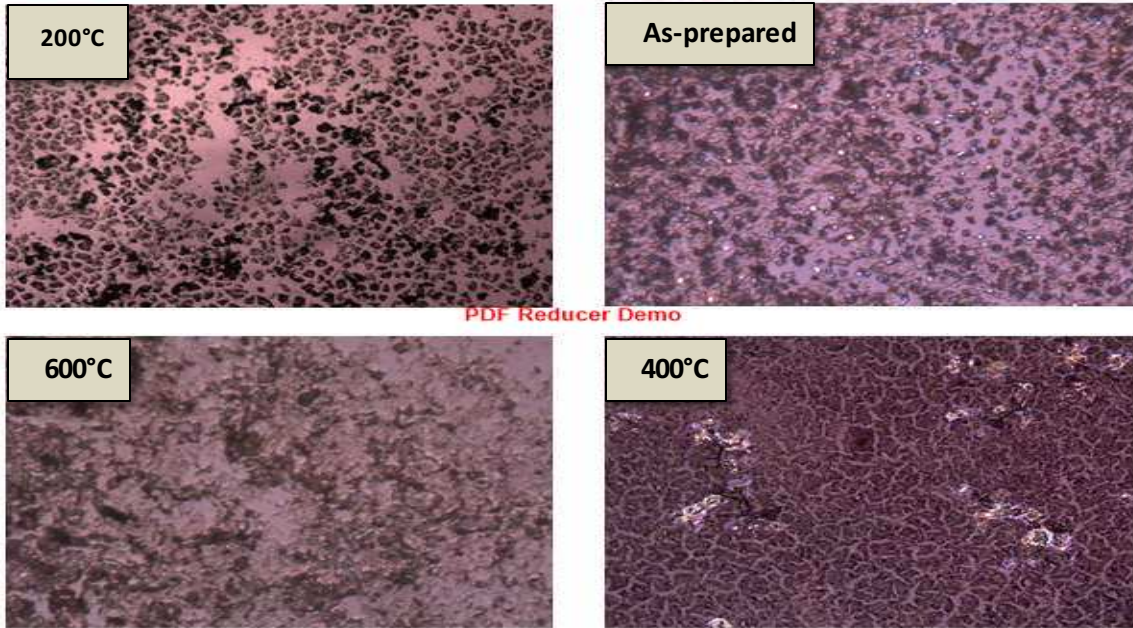
الشكل (4-10) طيف FTIR لغشاء NiO الملدن 600°C.

الجدول (4-4) موقع رنين IR لاغشية NiO المحضرة و الملدنة.

Samples	Wavenumber (cm ⁻¹)
NiO (as-prepared)	642
	1395
	2420
NiO (200°C)	1365
	1631
	2422
NiO (400°C)	1635
	2375
	2424
NiO(600 °C)	2357

4-5 نتائج الفحص بالمجهر الضوئي

يبين الشكل (4-11) نتائج الفحص بالمجهر الضوئي لأغشية NiO المحضرة و المدنة بدرجات حرارية $(200, 400, 600)^\circ\text{C}$ (As-prepared)، إذ اظهرت الصور خلو الأغشية من الشقوق والغبار وانتظام التركيب البلوري للأغشية المحضرة بزيادة درجة حرارة التلدين، وهذا ما اثبتته فحوصات الاشعة السينية . و يلاحظ من الشكل انه عند درجة حرارة الغرفة الحبيبات تكون كبيرة الحجم، اما عند درجة حرارة تلدين المختلفة يلاحظ تغير حجم الحبيبات . وبذلك تبين الصور تغير في حجم الحبيبات كلما زادت درجة حرارة التلدين مما يؤدي الى تحسين في تركيب الغشاء وتحسين الخصائص للاغشية.



الشكل (4-11) صور المجهر الضوئي لأغشية NiO المحضرة بدرجة حرارة تلدين مختلفة

بتكبير 1000

Optical Properties

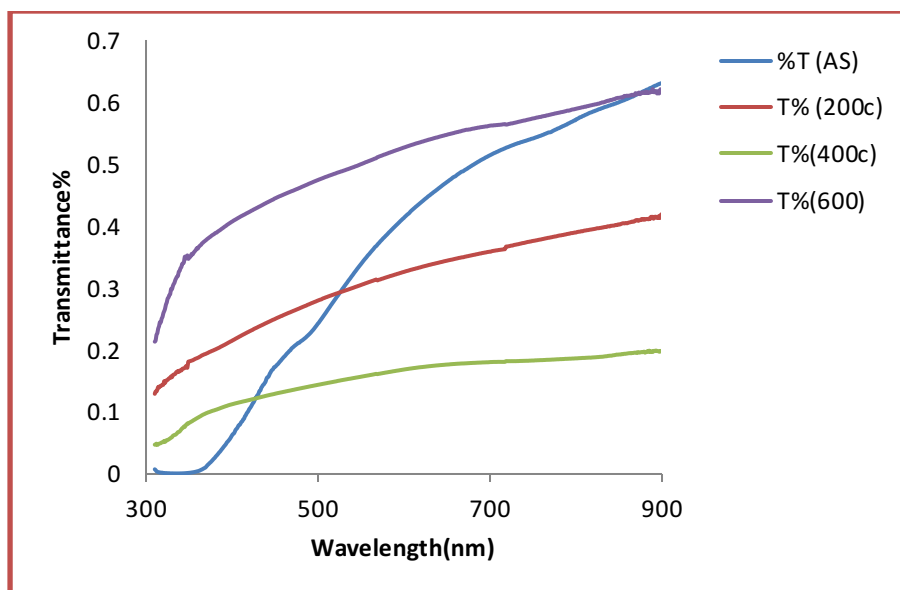
6-4 الخصائص البصرية

يتضمن هذا البند عرض نتائج الخواص البصرية فيما يتعلق (طيف النفاذية ، الانعكاسية ، ومعامل الامتصاص، فجوة الطاقة البصرية).

Transmittance**1-6-4 طيف النفاذية**

أجريت قياسات النفاذية (Transmittance) ضمن مدى الأطوال الموجية (300-900)nm للأغشية المحضرة عند درجات حرارة تليدين مختلفة. ويبين الشكل (4-12) تغير النفاذية بوصفها دالة للطول الموجي لأغشية (NiO)، وزيادتها في المنطقة (UV-VIS) عند طول موجي (350-900) nm، وهذا يدل على إمكانية استعمال أغشية (NiO) في صناعة الكواشف والخلايا الشمسية. وعليه ابدى منحنى نفاذية العينات المحضرة كافة سلوكاً بصرياً متشابهاً، إذ يلاحظ من الشكل أيضاً ان النفاذية تزداد بزيادة الطول الموجي ضمن المنطقة المرئية للطيف الكهرومغناطيسي أي تكون هناك زيادة تدريجية من (350-700) nm لجميع الأغشية المحضرة و الملدنة و تصل ذروتها عند المنطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة (700-800) nm، وهذا يتفق مع نتائج الباحثين [30].

ويلاحظ من طيف النفاذية عند درجة حرارة تليدين 600 °C ان هناك زيادة مفاجئة بصورة واضحة إذ تكون اعلى نفاذية تم الحصول عليها ضمن هذه الدرجة. وإن نقصان النفاذية البصرية كدالة للطول الموجي عند درجة حرارة الغرفة (AS-prepared) ويعزى لزيادة الفراغات بين الذرات المكونة للغشاء.



الشكل (4-12): طيف النفاذية لأغشية (NiO) النقية كدالة للطول الموجي بدرجات حرارة تليدين مختلفة.

Absorption Coefficient

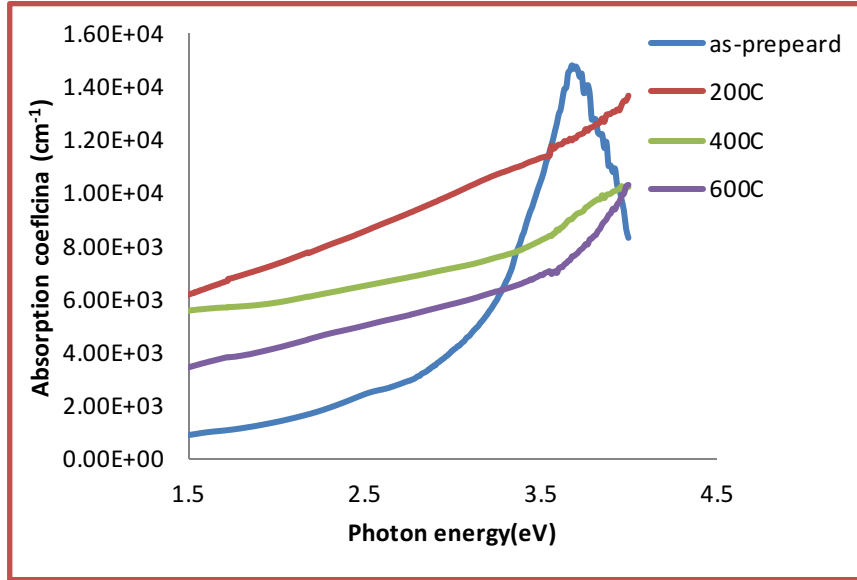
2-6-4 معامل الامتصاص

يوضح الشكل (4-13) تغير معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية NiO المحضرة والمعدنة بدرجات حرارة (200, 400, 600)°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 التليدين ادت الى تغير قيم

معامل الامتصاص التي تأتي من تحسن التركيب البلوري وزيادة انتظام الحبيبات البلورية

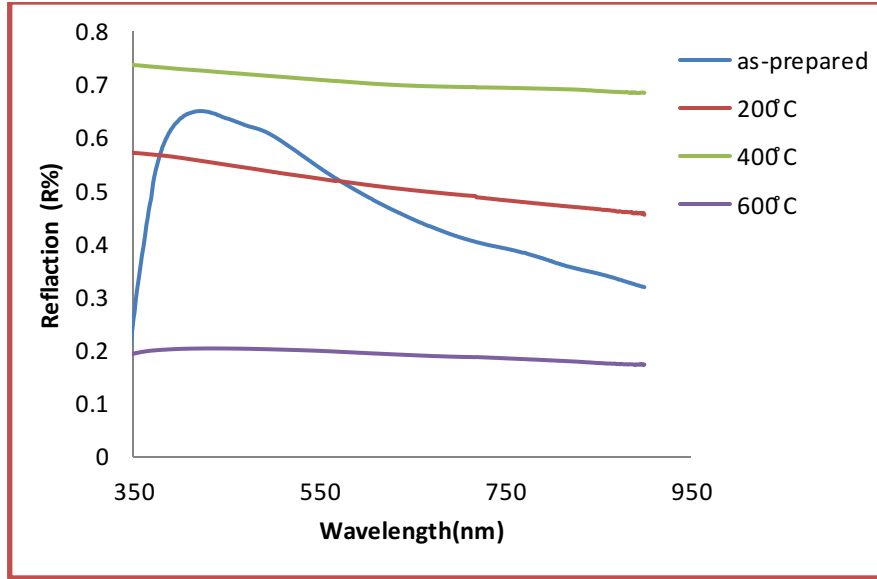
ونقصان حجمها بزيادة درجة حرارة التلدين وتناقص في العيوب البلورية وبالتالي نقصان الامتصاصية الناتجة من هذه العيوب البلورية.



الشكل (4-13) تغير معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية (NiO) النقية والملدنة

3-6-4 الانعكاسية. Reflectance

تم حساب الانعكاسية (R) من طيف الامتصاصية والنفاذية بموجب قانون حفظ الطاقة وبحسب العلاقة (2-15) ، ويبين الشكل (4-14) الانعكاسية كدالة لطاقة للطول الموجي لأغشية (NiO) المحضرة والملدنة بدرجات حرارية (200,400,600)°C ، اذ يلاحظ من الشكل إن الانعكاسية تتغير بزيادة الطول الموجي الساقط وهناك تغير في الانعكاسية مع زيادة درجات حرارة التلدين،



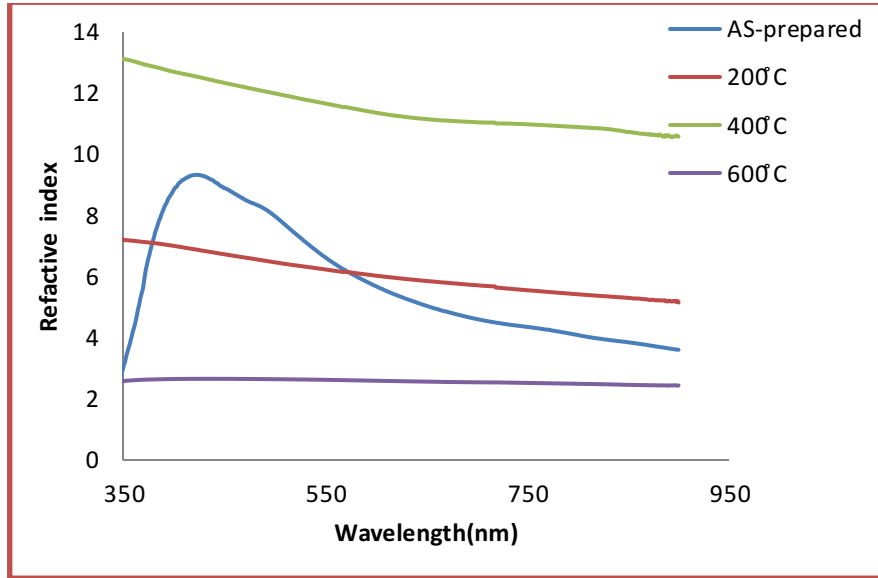
الشكل (4-14) الانعكاسية كدالة لطول الموجي لأغشية (NiO) المحضرة و الملدنة.

Refractive Index

4-6-4 معامل الانكسار.

تم حساب معامل الانكسار لأغشية اوكسيد النيكل (NiO) المحضرة من المعادلة (2-16) (16-2) وان معامل الانكسار هو دالة للانعكاسية (R) ، وعليه فقد انعكست نتائج الانعكاسية الطيفية وتغيرها مع الطول الموجي على نتائج معامل الانكسار. إن سلوك معامل الانكسار يتغير بتغير ظروف التحضير والتقانة المعتمدة في التحضير ، وتعتمد قيمته على عدة عوامل منها نوع المادة، والتركيب البلوري، إذ تتغير قيم معامل الانكسار تبعاً لتغير معامل الخشونة لسطح الغشاء المحضرة ، و يبين الشكل (4-15) تغير معامل الانكسار كدالة للطول الموجي الساقط للأغشية المحضرة و الملدنة بدرجة $(200,400.600)^{\circ}\text{C}$ ، إذ يلاحظ من الشكل في حالة الاغشية المحضرة عند درجة حرارة الغرفة ان معامل الانكسار يزداد بصورة سريعة مع زيادة الطول الموجي و ثم يبدأ بالنقصان عند الطول الموجي الطويل ، اما عند درجة حرارة تليدين $(200,400)^{\circ}\text{C}$ يلاحظ ان معامل الانكسار يتغير مع تغير الطول الموجي ، وعند درجة حرارة تليدين (600°C) هناك زيادة شبة مستقرة. وان سبب الزيادة في قيم معامل الانكسار بزيادة

درجات حرارة التلدين يعود الى ان التلدين عند الدرجات الحرارية المختلفة يعمل على تحسين كثافة الرص للاغشية الرقيقة .



الشكل (4-15) تغير معامل الانكسار كدالة لطول الموجي لاغشية (NiO) المحضرة و

المعدنة

The Optical Energy Gap

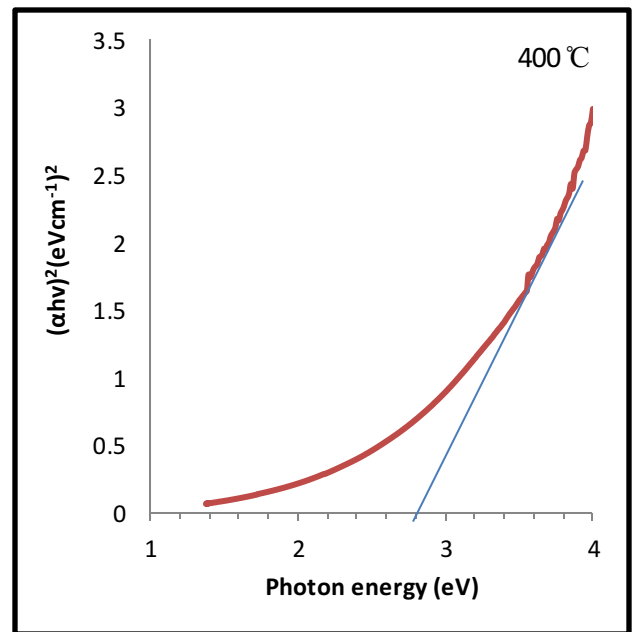
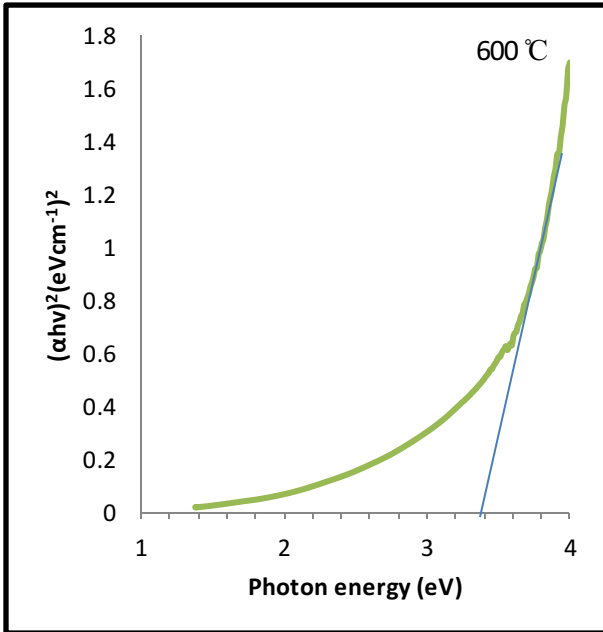
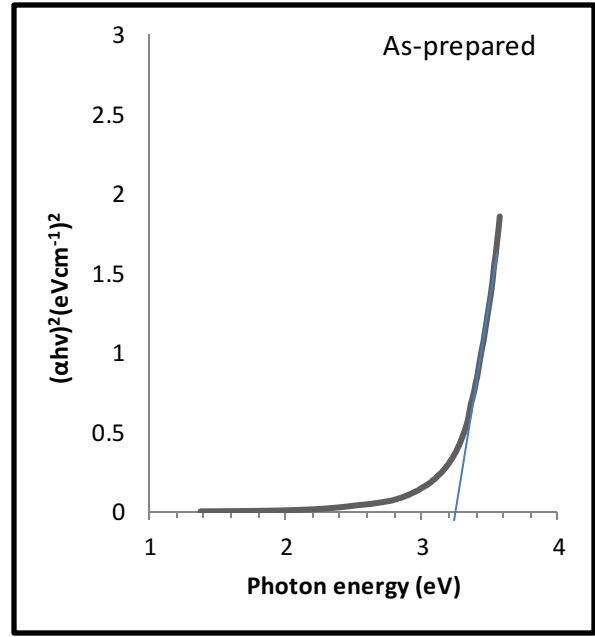
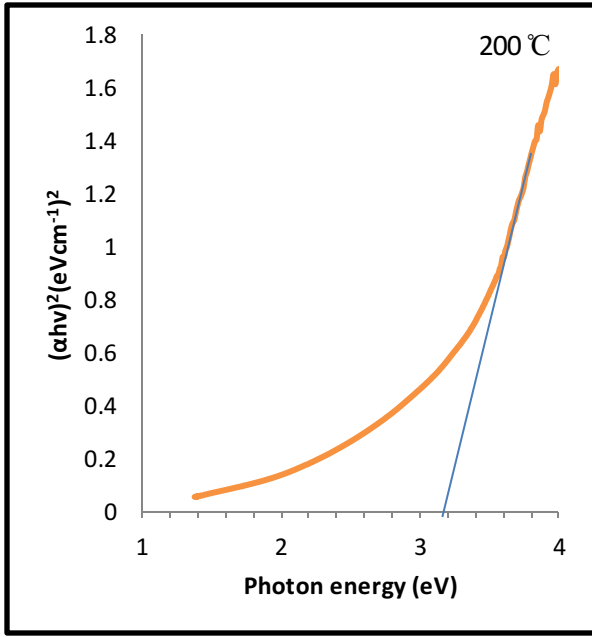
5-6-4 حساب فجوة الطاقة البصرية.

تعد قيمة فجوة الطاقة البصرية الممنوعة واحدة من أهم القيم البصرية التي يعتمد عليها في مجال فيزياء أشباه الموصلات لتصنيع كثير من النبائط الإلكترونية مثل الخلايا الشمسية، والكواشف والثنائيات الضوئية وغيرها، يبين الشكل (4-16) أن قيم معامل الامتصاص للاغشية المحضرة كافة ($\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$)، وهذا يشير الى ان الانتقال الإلكتروني من النوع المباشر. ويرسم العلاقة بين $(\alpha h\nu)^2$ وطاقة الفوتون الساقط $(h\nu)$ ، ويمد الجزء المستقيم من المنحني ليقطع محور طاقة الفوتون عند النقطة $[(\alpha h\nu)^2=0]$ فنحصل على قيمة فجوة الطاقة. يلاحظ أن التغير في مدى معين من طاقات الفوتون (مدى منطقة الأشعة المرئية) يكون خطياً، وهذه النتيجة تتفق مع ما توصل إليه الباحثون [24] لجميع الأغشية المحضرة، على الرغم من اختلاف ظروف التحضير.

ان علاقة تغير $(\alpha h\nu)^2$ بوصفها دالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية اوكسيد النيكل بدرجات حرارة مختلفة لوحظ منها أن زيادة درجات الحرارة التلدين تؤدي إلى تغير واضح في قيم فجوة الطاقة المسموحة كما موضحة في الجدول (4-5).

جدول (4-5) قيم فجوة الطاقة لأغشية اوكسيد النيكل بدرجات حرارة تلدين مختلفة

Samples	$\lambda_{\text{cut off}}$	Direct Allowed Transition E(eV)
As-prepared	387.5	3.2
200 °C	387.5	3.2
400 °C	442.8	2.8
600 °C	364.7	3.4



الشكل (4-16): العلاقة بين $(\alpha hv)^2$ وطاقة الفوتون لأغشية (NiO) المحضرة والمعدنة بدرجات

حرارة مختلفة.

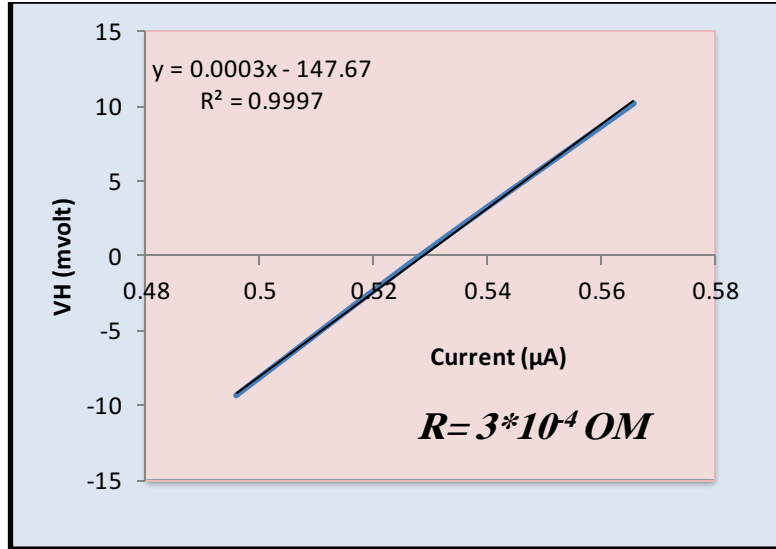
Electrical Characteristics**7-4 الخصائص الكهربائية:**

تعتمد الخصائص الكهربائية في أشباه الموصلات متعددة التبلور (Polycrystalline)

على العديد من العوامل مثل درجة الحرارة والضوء والمجال المغناطيسي. وإن دراسة هذه الخصائص تعد هامة لمعرفة طبيعة ميكانيكية التوصيل الكهربائي ونوعية حاملات الشحنة وتركيزها، وبالتالي مدى ملائمتها لتصنيع النبائط الإلكترونية بأنواعها المختلفة.

Hall Effect**1-7-4 تأثير هول**

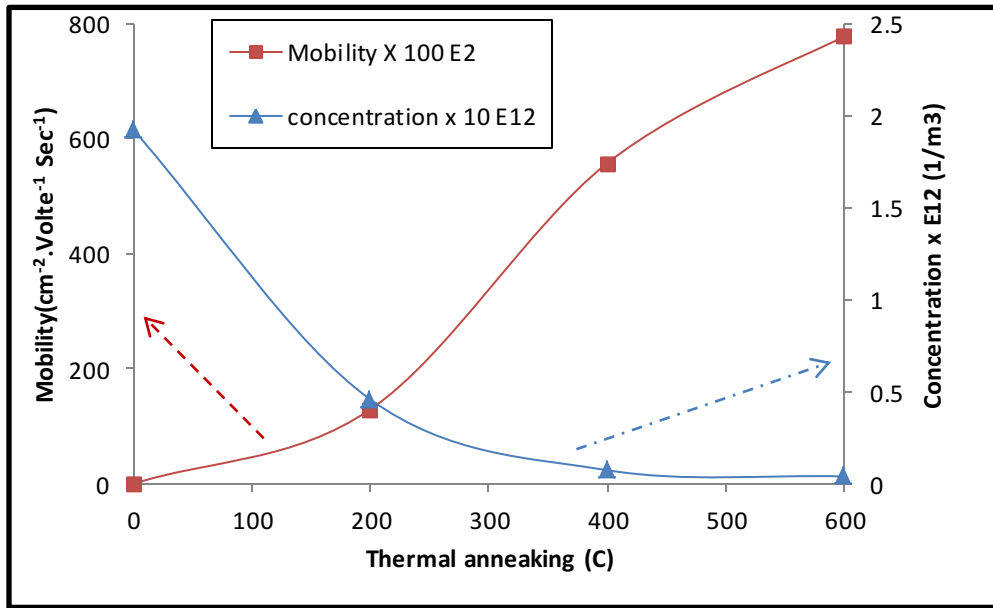
تم اجراء قياسات تأثير هول في درجة حرارة الغرفة لاغشية (NiO) المحضرة بواسطة تسليط مجال مغناطيسي (0.25) Tesla وذلك لمعرفة نوع وتركيز حاملات الشحنة (Majority Carrier). إذ ان من العلاقة بين فولتية هول والتيار لغشاء (NiO) المملدن على زجاج بدرجات حرارة مختلفة (As-prepared, 200, 400, 600)°C يمكن معرفة نوع حاملات الشحنة للأغشية المحضرة، وتكون العلاقة بين (V_H) و (I) طردية لإيجاد مقاومة سطح الغشاء كما في الشكل (4-17)، وهذا يدل على ان الاغشية المحضرة من النوع الموجب (P-type)، [105]



الشكل (4-17) العلاقة بين فولتية هول (V_H) والتيار لغشاء NiO النقي والمملدن بدرجات

حرارة مختلفة.

ومن الشكل (4-18) يتبين ان تركيز تلك الحاملات يقل بصورة مفاجئة مع زيادة درجة حرارة التلدين و يعزى ذلك الى ان زيادة درجة حرارة التلدين قد ادت الى نقصان في مستويات العيوب داخل فجوة الطاقة مما ينتج عنه ان حاملات الشحنة تحتاج الى طاقة اعلى للانتقال بتأثير المجال المغناطيسي وهذا يؤدي الى نقصان حاملات الشحنة وزيادة تحركيتها. [68]



الشكل (4-18) تركيز الحاملات و التحركية لاغشية NiO المحضرة و المدنة.

Characteristics of Heterojunction

8-4 خصائص المفروق الهجين

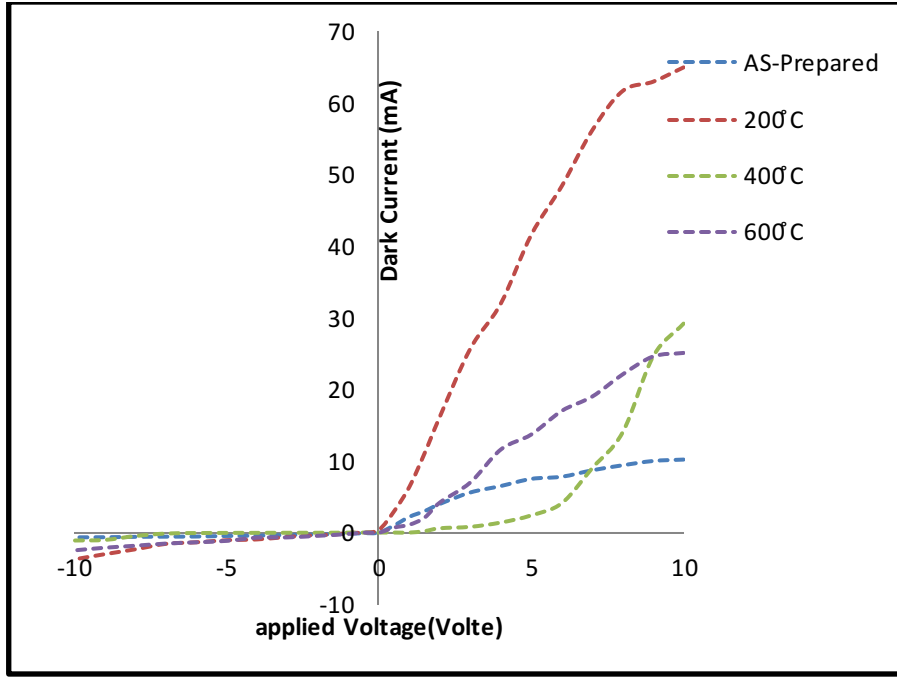
1-8-4 خصائص (I-V) للمفروق الهجين في حالة الظلام

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

يمثل الشكل (4-19) تيار الظلام المقاس كدالة لفولتية الانحياز الأمامي والعكسي للمفروق

الهجين (p-NiO/n-si/Al)، وتأثير درجات حرارة التلدين في تيار الظلام في الانحياز، اذ اكدت نتائج خصائص (I-V) أن المفروق 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 (7Volts) تقريباً، ويعد هذا السلوك العام للتيار مع الفولتية في الانحياز الأمامي والعكسي من الصفات العامة للمفارق الهجينة غير المتجانسة [102,101,99]. يلاحظ وجود ثلاث مناطق للتيار المنطقة الأولى تعرف بتيار إعادة الاتحاد، ويحدث هذا التيار عند الفولتيات الواطئة ($V < 0.5$ Volts) التي ينتج عنه تيار قليل مع تغير الفولتية، والمنطقة الثانية تتمثل عند زيادة الفولتية المسلطة يتسارع التيار بالزيادة مع الجهد المسلط، ويسمى بتيار الانتشار أو تيار الانجراف [106]. والمنطقة الثالثة تعرف بتيار التشبع. لوحظ ان درجة حرارة التلدين ادت الى زيادة في قيمة التيار للاغشية المحضرة، ويُعزى ذلك إلى زيادة 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 الهجيني في غشاء NiO، يلاحظ ان هناك استقراره للتيار عند معظم درجات حرارة التلدين ويلاحظ زيادة طفيفة عند المفارق المحضرة والمملدن بدرجة حرارة $(200,600)^\circ\text{C}$ ، وأن العلاقة الخطية بين الفولتية والتيار المبينة بالشكل تؤكد أن الاتصال بين الغشاء والأقطاب هو اتصال أومي [55,107].



الشكل (a) (4-19): خصائص (I-V) في حالة الظلام للمفرك الهجينى (p-NiO/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 الشبيكة البلورية، ومن ثم تُسبب زيادة في كثافة الانخلاعات.

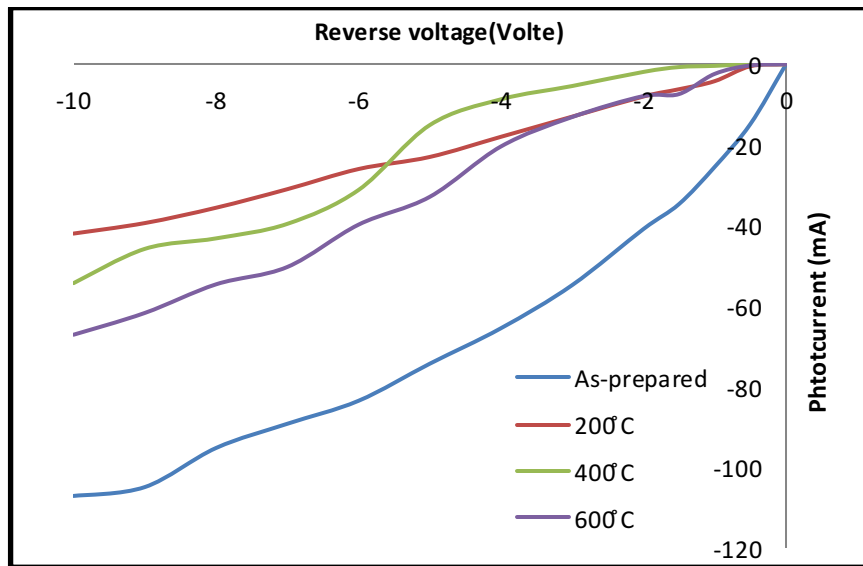
4-8-2 خصائص (I-V) عند الإضاءة .

(I-V) Characterization under illumination

تم تعريض المفارق الهجينة المحضرة لضوء أبيض. ويبين الشكل (b) (4-19) خصائص (I-V) للمفارق الهجينة المصنعة كافة الملدنة، وهي تمثل تغير منحنى تيار الإضاءة كدالة لجهد الانحياز العكسي للمفارق الهجينة المحضرة كافة ، ويعد قياس التيار الضوئي في مجال المفارق الهجينة واحداً من المعلمات المهمة والمؤثرة في خصائص الاستجابة الطيفية للكواشف الضوئية ، إذ نلاحظ من الشكل وللمفارق الهجينة المحضرة كافة هناك زيادة في قيمة التيار الضوئي (I_{ph}) مع زيادة فولتية الإنحياز العكسية المسلطة، ويمكن أن تُعزى زيادة التيار الضوئي المتولدة

مع زيادة فولتية الإنحياز العكسية إلى سببين. الأول يزداد التيار الضوئي بزيادة جهد الانحياز العكسي بسبب زيادة عرض منطقة النضوب.

و السبب الثاني هو زيادة فولتية الانحياز العكسي تؤدي إلى زيادة المجال الكهربائي الداخلي ، مما يزيد من احتمالية فصل زوج (إلكترون-فجوة)، كما ان زيادة قدرة الضوء الساقط تعني زيادة عدد الفوتونات الساقطة مما يزيد من عدد الحاملات المتولدة ضوئيا ضمن منطقة النضوب وضمن عمق انتشار الحاملات الذي يعتمد على زمن الحاملات الأقلية على جانبي منطقة النضوب، وبهذا يزداد التيار الضوئي بزيادة القدرة الساقطة [83,68].

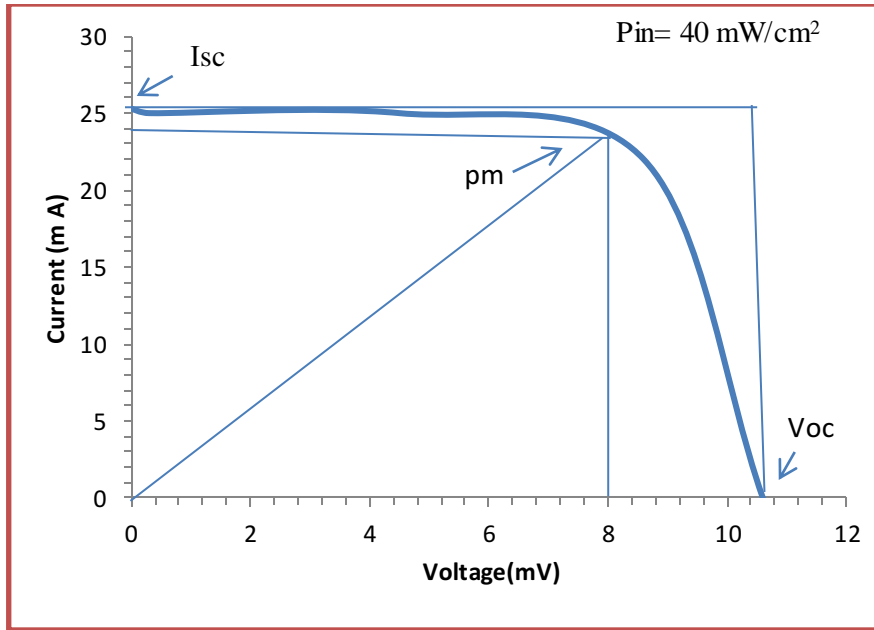


الشكل (b (4-19)) تغير تيار الاضاءة كدالة لجهد الانحياز العكسي للمفرق الهجين المحضر و الملدنة.

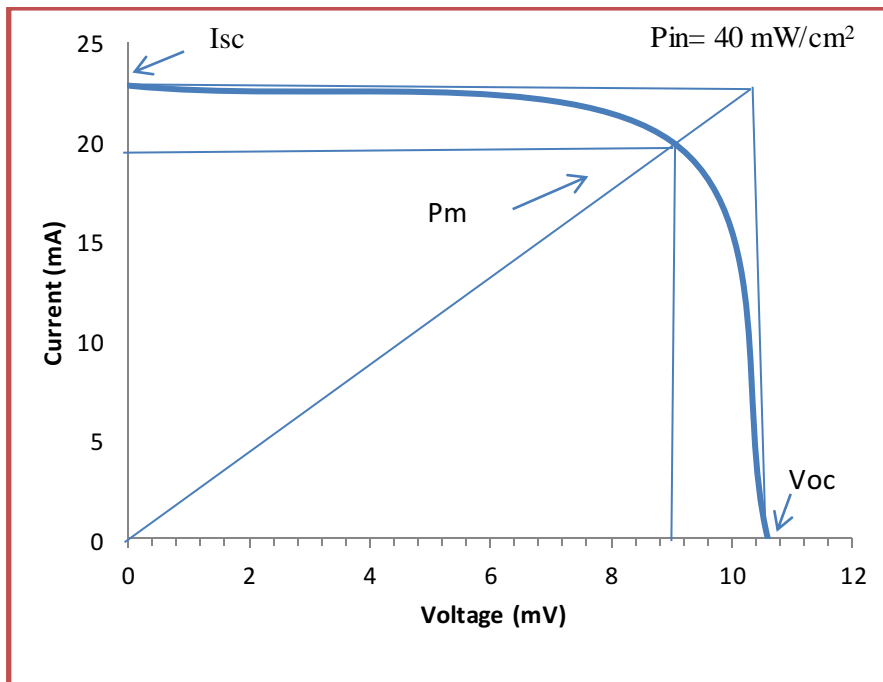
4-9 معلمات الخلية الشمسية

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

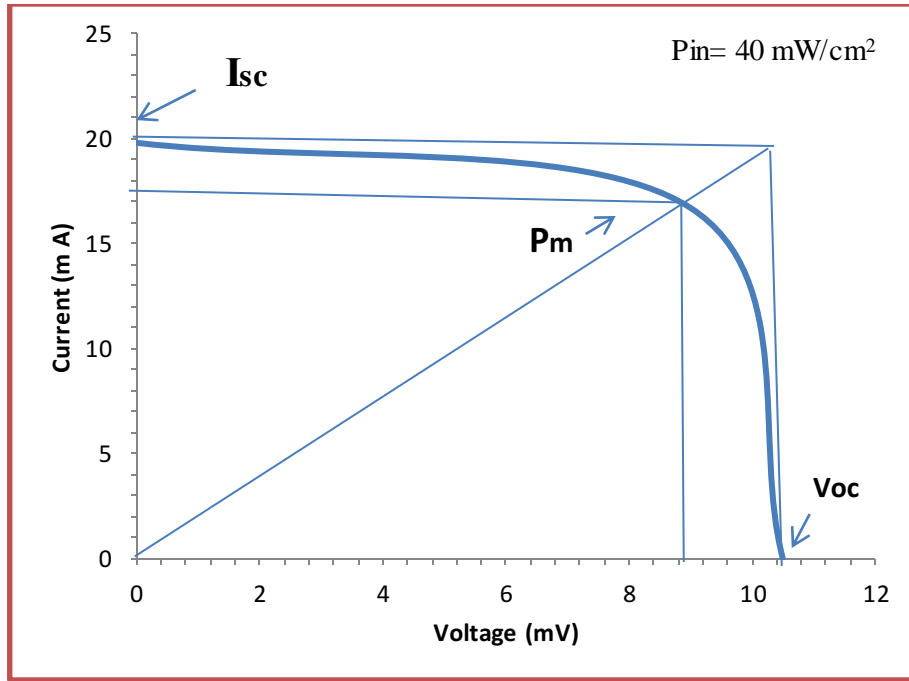
يُعد تيار الدائرة القصيرة I_{sc} وفولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} صفتين مميزتين للنبائط الفولتائية الضوئية مثل الخلايا الشمسية، ويصفان كفاءة النبيطة من دون الحاجة إلى تحييزها أو تسليط فرق جهد خارجي على النبيطة، ولأن I_{sc} و V_{oc} ينتجان من فصل أزواج (الكترن-فجوة) المتولدة في منطقة النضوب (W) بواسطة المجال الكهربائي الداخلي للنبيطة الناشئة من سقوط الإشعاع الضوئي عليها من دون الحاجة إلى تسليط مجال كهربائي خارجي على النبيطة. يلاحظ من الشكل a,b,c,d (4-20) والجدول (4-6) زيادة تيار الدائرة القصيرة I_{sc} وفولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} وزيادة القدرة الخارجة العظمى، ولذلك تؤدي إلى زيادة الكفاءة للخلية الشمسية بزيادة درجة حرارة التلدين. وتفسير ذلك يعود إلى تغير الخصائص التركيبية لمادة الغشاء بسبب تغير درجة حرارة التلدين، وتعمل أيضاً درجة الحرارة على تقليل سرعة إعادة الاتحاد ولا سيما على السطح. وبالتالي أدى إلى تحسن قيم كل من التيار والفولتية وإن التغير في المعلمات الفولتائية الضوئية (I_{sc} & V_{oc}) بسبب زيادة درجة حرارة التلدين. وتم استعمال المعادلات (2-31) و (2-33) في حساب كفاءة الخلية الشمسية وعامل الملء. بمقارنة مع حيود الأشعة السينية XRD لاغشية اوكسيد النيكل NiO وجد ان اعظم كفاءة عند درجة حرارة تلدين $600^{\circ}C$ ويعزى ذلك ان المادة تتبلور على شكل جزيئة اوكسيد النيكل (NiO) وتتخلص خواصها ضمن نطاق سلوك اشباه الموصلات.



الشكل a (4-20): معلمات الخلية الشمسية (V_m, I_m, I_{sc}, V_{oc}) للمفروق الهجين (NiO/Si) عند درجة حرارة الغرفة.

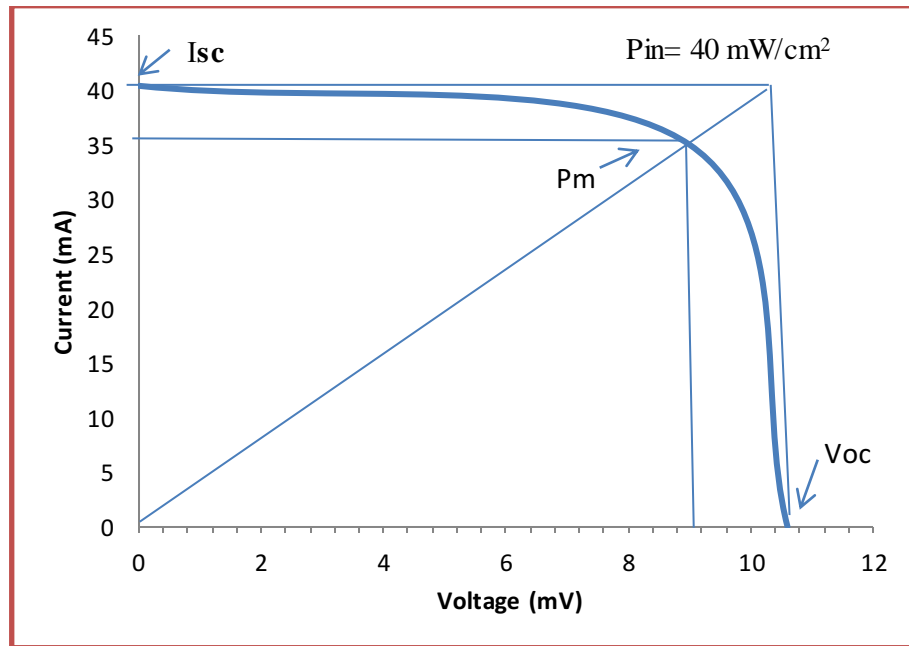


الشكل b (4-20): معلمات الخلية الشمسية (V_m, I_m, I_{sc}, V_{oc}) للمفروق الهجين (NiO/Si) عند درجة حرارة 200°C .



الشكل c (4-20): معلمات الخلية الشمسية (V_m, I_m, I_{sc}, V_{oc}) للمفرك الهجين (NiO/Si)

عند درجة حرارة 400°C



الشكل d (4-20): معلمات الخلية الشمسية (V_m, I_m, I_{sc}, V_{oc}) للمفرك الهجين (NiO/Si)

عند درجة حرارة 600°C

الجدول (6-4) قيم كل من (V_{oc}) (I_{sc}) (F.F.) ($\eta\%$) و (V_m, I_m) للخلايا الشمسية

المصنعة من المفروق (NiO/Si) بدرجات حرارة مختلفة

(As-prepared, 200, 400, 600)°C

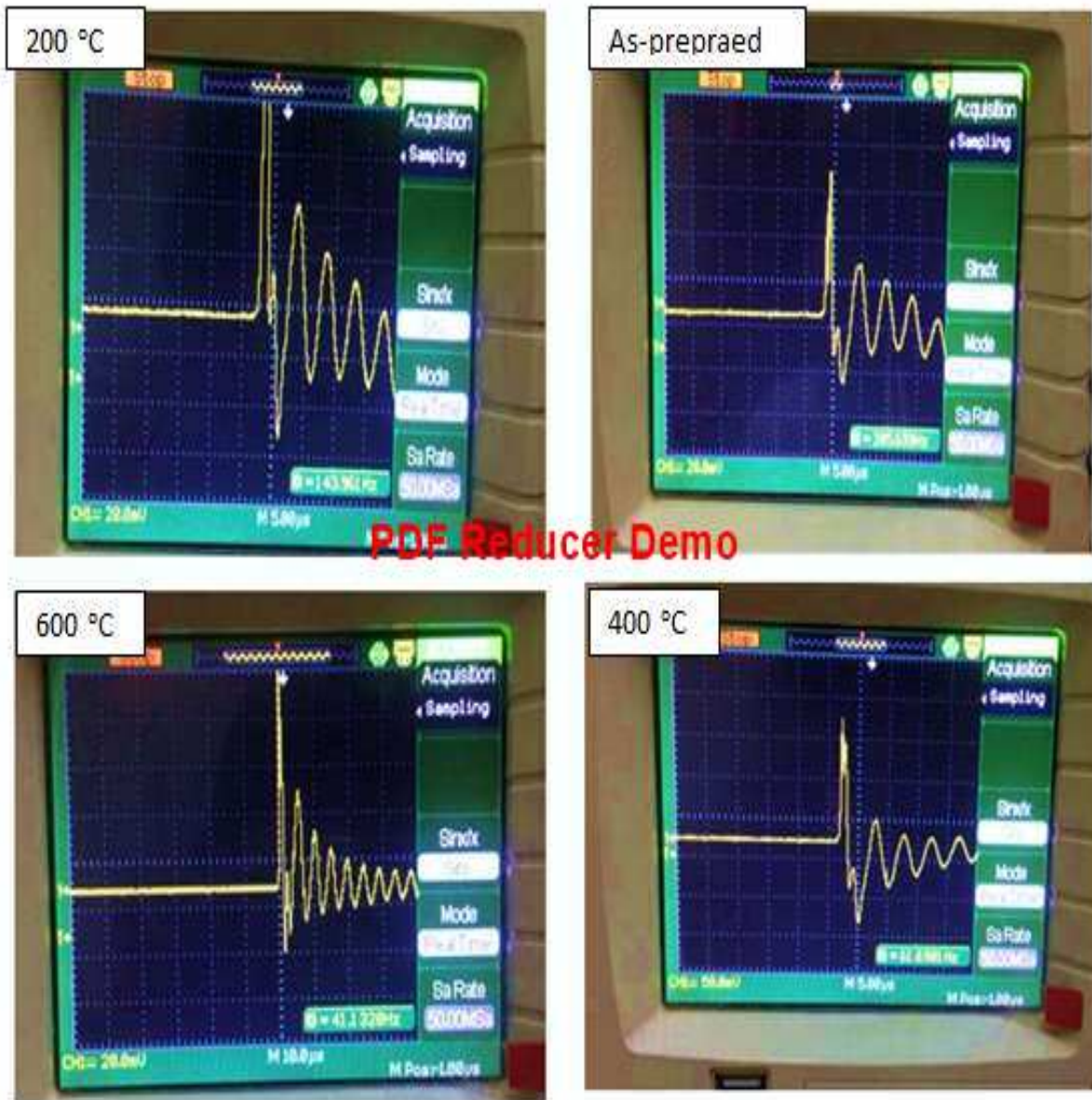
Sample	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mVolte)	I_m (mA)	V_m (mVolte)	F.F%	$\eta\%$
AS- prepared	25.2	10.6	23	8	68.8	4.6
200 °C	22.8	10.6	20	9	74.4	4.5
400 °C	40.4	10.6	17	9	73.5	3.8
600 °C	19.8	10.5	35	9	73.6	7.8

Life time

10-4 زمن البقاء

تم قياس زمن البقاء للحاملات (τ_{Life} - life time) عن طريق جهاز نوع (Twintex) قدرته (200) MHz وذلك لأيجاد زمن البقاء للحاملات اذ يعد من المعلمات المهمة للمفروق الهجين، لأنه يُعطي تصوراً تماماً عن تحركية الحاملات (μ). إذ يعد (τ_{Life}) معدل المدة الزمنية المستغرقة بين عملية توليد الحاملات وعملية إعادة إتحادها [68] ، لأنه يُحدد كفاءة العديد من نباتات أشباه الموصلات كالكواشف الضوئية والخلايا الشمسية، و يوضح الشكل (4-21) تغير زمن البقاء للحاملات للمفروق الهجين المُصنع الموضح في الجدول (4-7)، وأن أعلى قيمة لزمن البقاء للحاملات كانت للمفروق الهجين عند درجة حرارة تليدين°C (600) التي مقدارها (24.2)msec اذ ان زيادة درجة الحرارة التليدين تؤدي الى زيادة زمن البقاء

للحاملات ويعزى ذلك إلى نقصان كثافة العيوب التركيبية التي تعمل كمراكز فعالة لاقص الحاملات وإعادة اتحادها.



الشكل (4-21) زمن البقاء للمفرق الهجين NiO/Si المحضر والممدن.

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

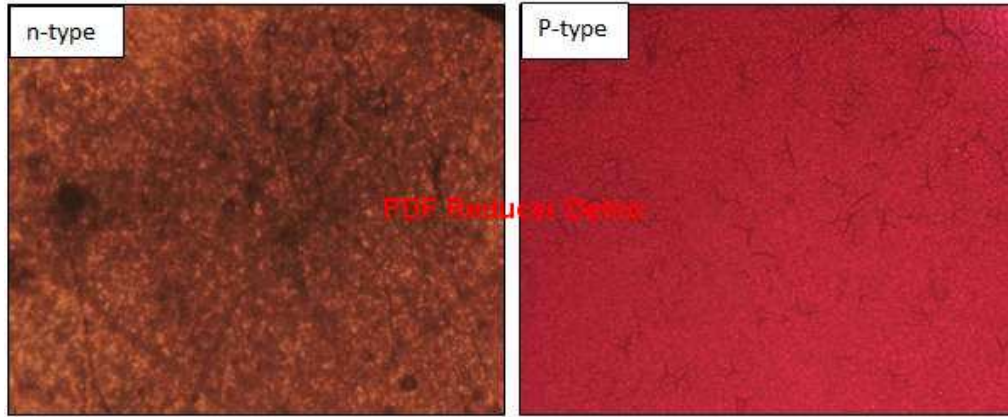
Samples	Life time (msec)
AS-Prepared	4.8
200 °C	6.9
400 °C	16.2
600 °C	24.2

4 - 11 الخصائص التركيبية والبصرية للسليكون المسامي (PSi)

يتضمن هذا البند دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لسليكون المسامي PSi المحضر عند ظروف زمن حفر (15min) وكثافة تيار ($15\text{mA}/\text{cm}^2$).

4-11-1 نتائج الفحص بالمجهر الضوئي .

يبين الشكل (4-22) نتائج الفحص بالمجهر الضوئي لنماذج السليكون المسامي PSi (n,p types) حيث يتم فحصها باستخدام المجهر الضوئي. يلاحظ من الشكل (4-22) المسامات موزعة على المنطقة المرسبة على الرقائق واطهرت الصور بالوان مختلفة نتيجة تأثير اللمعان الضوئي. اظهرت الصور انتظام التركيب البلوري لنماذج المحضرة، وخلق النماذج من العيوب والشقوق ما اثبتته فحوصات الاشعة السينية.

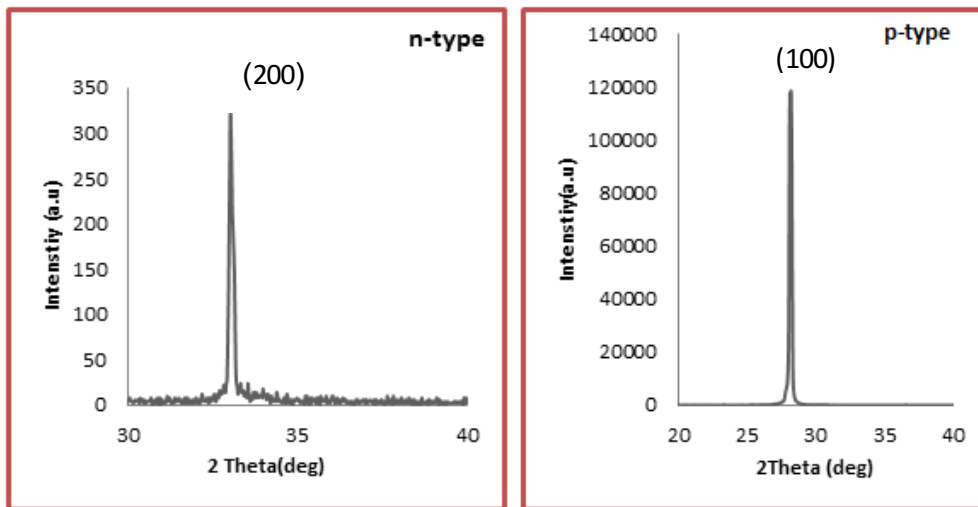


الشكل (4-22) صور المجهر الضوئي لسليكون المسامي.

X-ray diffraction

2-11-4 حيود الأشعة السينية

يظهر حيود الأشعة السينية لسليكون المسامي PSI المكون على شرائح من السليكون (n-type, p-type) المحضر عند ظروف زمن حفر (15) min وكثافة تيار 15 mA/cm^2 ظهور مستوى بلوري حاد وضيق في زاوية براك ($2\theta = 33.02$) و اتجاهية للقمة الحادة والتميزة ضمن السطح (200) ، اما في حالة (p-type) نلاحظ ظهور مستوى بلوري عند زاوية $2\theta = 28.1$ واتجاهية للقمة الحادة والتميزة (100) والذي ينعكس على سطح هيكل مكعب وفقا (ICDD N 1997 and 2011 JCPDS) [39]. يعزى سبب اختلاف زاوية براك لكل النوعين ادى الى اختلاف الاتجاهية.



الشكل (3-23) حيود الأشعة السينية للسليكون المسامي (PSi).

الجدول (4-8) يبين النتائج التي تم الحصول عليها من حيود الأشعة السينية لطبقة n-PSi ، التي تم تصنيعها في زمن حفر (15)min مع كثافة تيار 15 mA/cm^2 .

الجدول (4-8) يبين نتائج حيود الأشعة السينية لسليكون المسامي (PSi)

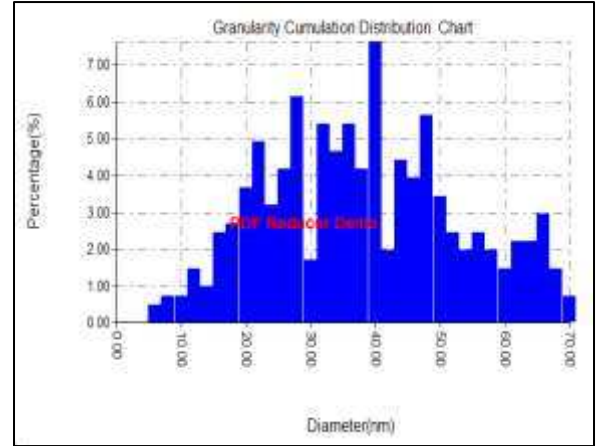
Sample	Etching time (min)	2 Theta (deg)	FWHM (deg)	D(nm)	$\delta \times 10^{14}$ (lines.m ⁻²)
n-type	15	33.06	0.1128	76.76	1.69
p-type	15	28.19	0.2587	33.08	9.13

3-11-4 قياسات مجهر القوة الذرية (AFM)

The Atomic Force Microscope measurements

الشكل (4-24) يمثل صور AFM ثلاثية الأبعاد لـ PSi المحضر على شرائح السليكون من (n-type ، p-type) . ويلاحظ من الشكل مسامات شبه كروية متماثلة ومصطفة باتجاه x و y وقم تتجه نحو الأعلى ويلاحظ تباين في الحجم. تم إيجاد الحجم الحبيبي ، ومتوسط الخشونة ، ومتوسط الجذر التربيعي للخشونة (RMS). وجد الحجم الحبيبي لا يتجاوز (37.16)nm كما موضح في الجدول (4-9). تشير نتائج AFM ان التيار وزمن الحفر ملائم لتشكيل طبقة السليكون المسامي اضافة الى ان التيار لا يصل الى مرحلة (Over etching) مرحلة ازالة طبقة السليكون المسامي ، كذلك تم حساب المسامية لسليكون المسامي ووجد انها حوالي 51% الجدول (4-9) معدل خشونة السطح ومعدل الحجم الحبيبي لسليكون المسامي PSi.

Sample	Average diameter (nm)	roughness average (nm)	RMS (nm)
PSi	37.16	6.82	7.88



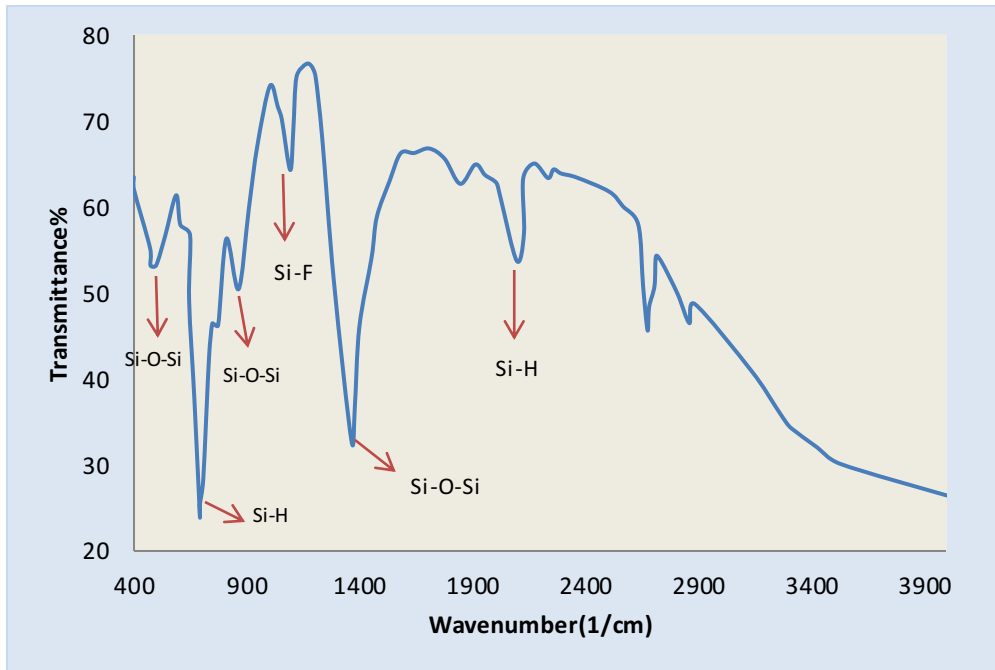
الشكل (24-4) صور AFM لسليكون المسامي PSi

4-11-4 نتائج قياسات طيف الأشعة تحت الحمراء FTIR

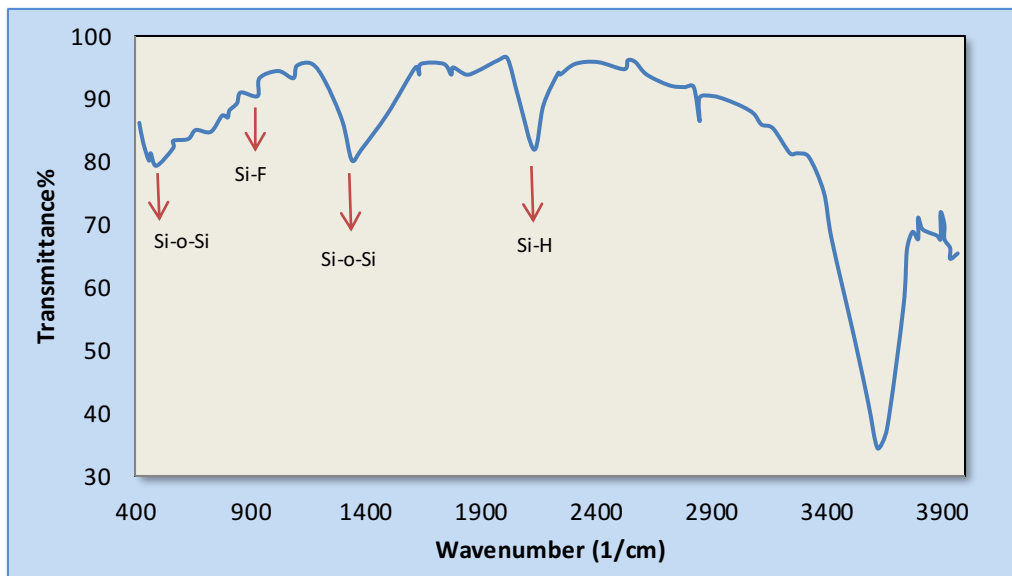
Measurements of radiation spectrum Infrared

نلاحظ من الأشكال الثلاثة (25-4)(26-4) بيانات طيف الأشعة تحت الحمراء FTIR

لسليكون المسامي PSi ومن الواضح ان هناك عدة قمم تشير الى وجود اواصر (Si-O-Si) عند شدة مختلفة وهذا يدل على تأكسد السليكون. اذ تظهر روابط كيميائية جديدة على السطح بكونها نطاق انتقال واسع بسبب تكوينات مختلفة للاواصر الكيميائية (Si-F, Si-H) في طيف الأشعة تحت الحمراء. كما موضح في الجدول (4-10). تعزى اهمية فحص FTIR وذلك لاثبات طبقة الأوكسيد المتكونه للسليكون المسامي ضمن Si-O-Si، فضلا عن اهمية (Si-H, Si-F). وذلك للدلالة عن حداثة التشكيل وعدم الوصول الى زمن الاضمحلال (ازالة الطبقة المكونة)



الشكل (25-4) طيف (FTIR) لسليكون المسامي (p-type, PSi)



الشكل (26-4) طيف FTIR لسليكون المسامي المحضر، (n-type)

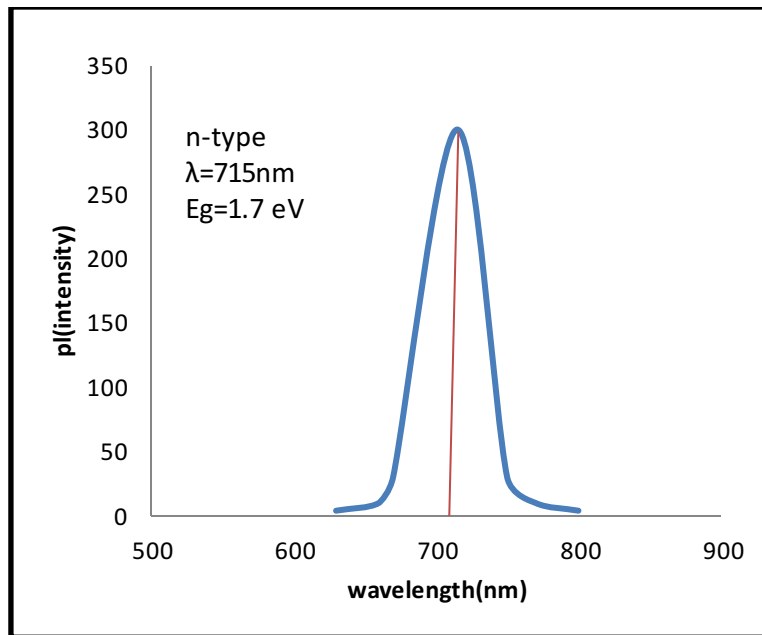
الجدول (4-10) موقع رنين IR لسليكون المسامي (PSi).

Sample	Wavenumber (cm ⁻¹)
Si-O-Si	492
	499
	864
	1381
	1364
Si-F	931
	1093
Si-H	692
	2132
	2096

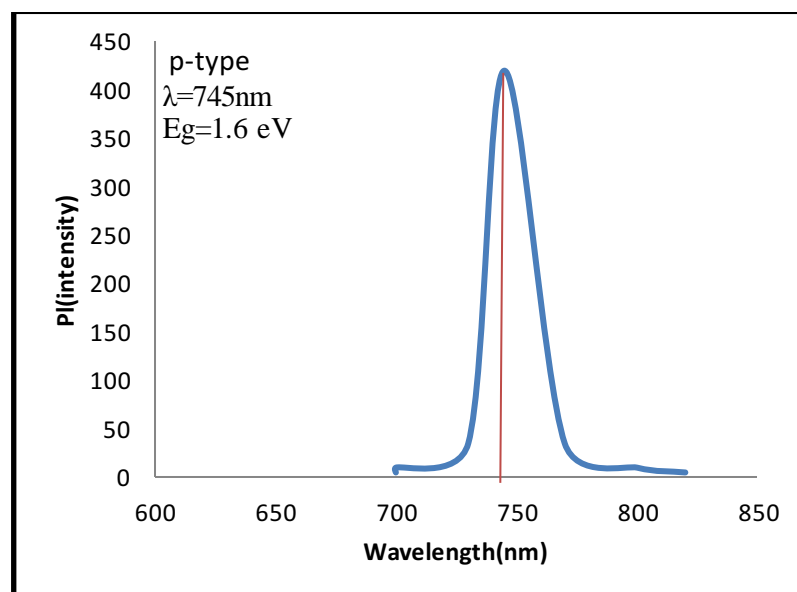
5-11-4 خصائص اللمعان الضوئي

Characteristics of Photoluminescence (PL)

بينت نتائج خصائص اللمعان الضوئي (PL) لسليكون المسامي كما في الشكل (4-27) في حالة n-type والتي تشير الى ان ذروة الانبعاث تحدث ضمن المدى (300) nm، وإن الانبعاث للطول الموجي (715) nm اذ وجد ان فجوة الطاقة عند هذا الطول الموجي تكون $E_g=1.7$ eV. في الشكل (4-28) للنوع p-type تكون ذروة الانبعاث ضمن المدى (420)nm وان الانبعاث للطول الموجي (745) nm وجد ان فجوة الطاقة حوالي $E_g = 1.6$ eV. مما يشير الى حدوث انحراف نحو الاطوال الموجية القصيرة blue shift وهذا يؤدي الى زيادة طيف الامتصاص من NIR الى Visible وتقليل تأثير الانعكاسات.



الشكل (27-4) طيف (PL) لسليكون المسامي n-type ,Psi



الشكل (28-4) طيف (PL) لسليكون المسامي P-type ،Psi.

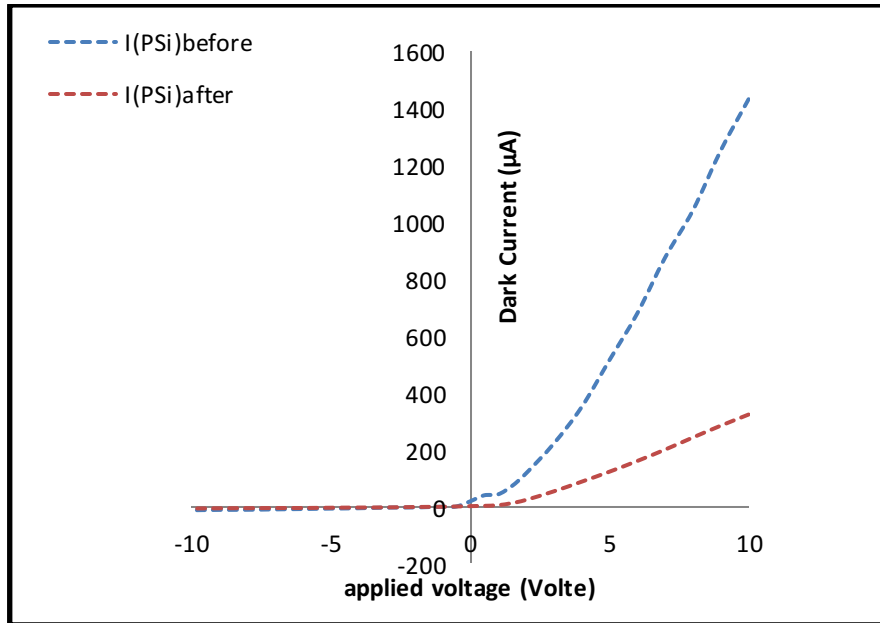
12-4 خصائص المفرك الهجين للسليكون المسامي

Characteristics of Heterojunction of PSi

1-12-4 خصائص (I-V) للمفرك الهجين في حالة الظلام لسليكون المسامي PSi

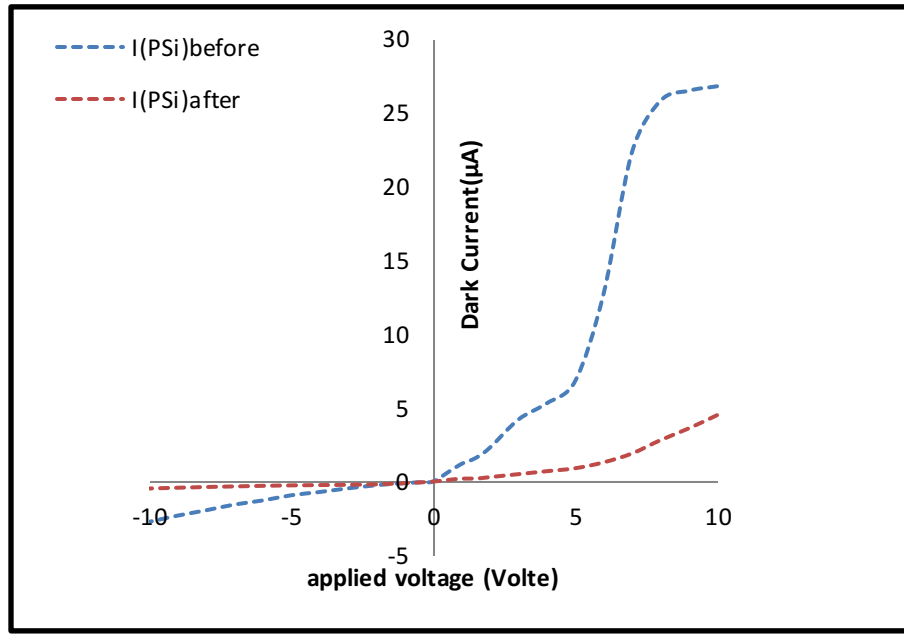
(I-V) Characteristics of Heterojunction in the Dark Condition

يمثل الشكل (4-29) (4-30) تيار الظلام المُقاس كدالة لفولتية الانحياز الأمامي والعكسي للمفرك الهجين (Al/p-Si/PSi/Al) (Al/n-Si/PSi/Al) تيار الظلام في الانحياز، 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. في حالة الانحياز الأمامي يلاحظ ظهور منطقتين للتيار الأولى تمثل تيار إعادة الاتحاد (0 - 1.5)volte وان هذا التيار يحدث عند الفولتيات الواطئة. أما المنطقة الثانية تتمثل بتيار الانتشار ويبدأ من (1.5- 10) volte. أما عن قيم تيار الظلام في حالة الانحياز العكسي للمفرك الهجين يلاحظ استقراره للتيار.



الشكل (4-29): خصائص (I-V) في حالة الظلام للمفرك الهجين

(Al/n-Si/PSi/Al)



الشكل (4-30): خصائص (تيار-جهد) في حالة الظلام للمفرك الهجيني

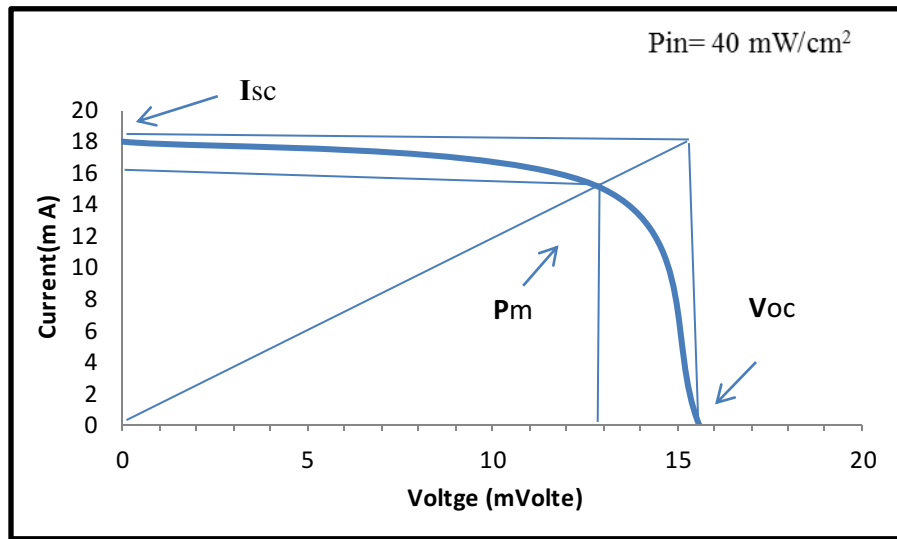


4-13 معلمات الخلية الشمسية للسليكون المسامي

4-13-1 قياسات (فولتية الدائرة المفتوحة و تيار الدائرة القصيرة)

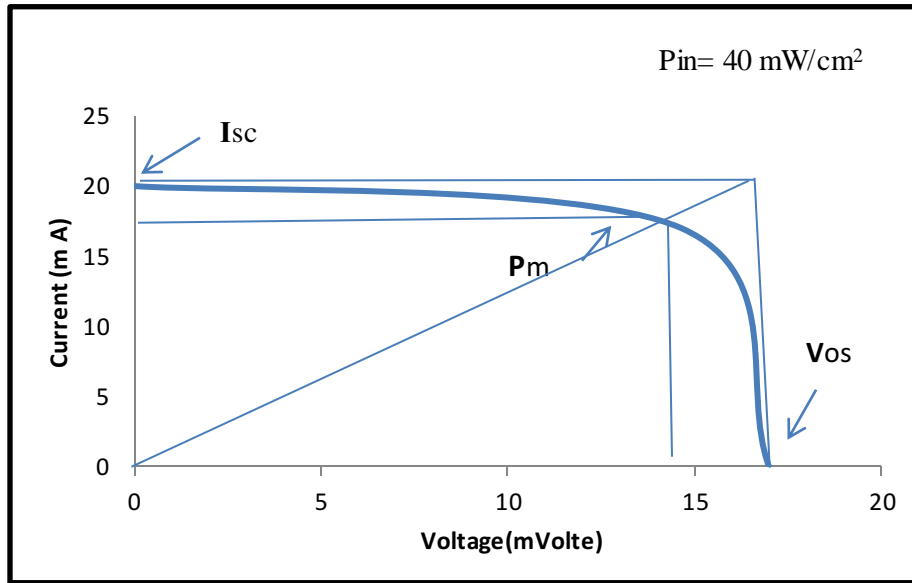
يلاحظ من الشكل a,b (4-31) تغير التيار مع الفولتية المسلطة للمفرك الهجين، ومن الجدول (4-11) يلاحظ زيادة تيار الدائرة القصيرة I_{sc} وفولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} وزيادة القدرة الخارجة العظمى للمفرك الهجين $(Al/n-Si/PSi/Al)$ ، $(Al/n-Si/PSi/NiO/Al)$ ، المحضر عند درجة حرارة الغرفة، عند اضافة اوكسيد النيكل (NiO) للمفرك الهجيني يلاحظ زيادة كفاءة الخلية اما في الشكل a,b (4-32) يبين تغير التيار مع الفولتية المسلطة. الجدول (4-11) يبين زيادة في تيار الدائرة القصيرة I_{sc} وفولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} وبذلك تزداد كفاءة الخلية ايضا للمفرك الهجيني بعد اضافة اوكسيد النيكل $(Al/p-Si/PSi) (NiO)$ ، $(Al/p-Si/PSi/NiO)$. عند المقارنة بين الجدولين (4-6) (4-11) يلاحظ زيادة كفاءة الخلية بتغير الارضية للمفرك الهجين في الجدول (4-6) تتغير الكفاءة بزيادة درجة حرارة التلدين حيث وجد ان كفاءة الخلية في درجة حرارة الغرفة (4.6%). الجدول (4-11) لمفرك السليكون المسامي PSi لكلا النوعين (p-type, n-type) قبل وبعد اضافة اوكسيد النيكل عند درجة

حرارة الغرفة تزداد كفاءة الخلية اذ تكون ضعف مما هي عليه في درجة حرارة الغرفة تصل الى (8.6 %). ويعمل زيادة الكفاءة الشمسية وعامل الملء وذلك لزيادة طيف الامتصاص ضمن منطقة NIR والتي تمتص من قبل السيلكون ومنطقة المرئية Visible تمتص من قبل السليكون المسامي PSi فضلا عن ذلك اضافة مادة NiO تؤدي الى مضاعفة طيف الامتصاصية ضمن المدى المرئي 550nm. من الجدول نستنتج ان المفروق الهجين من نوع (P-P) افضل من نوع (n-p)



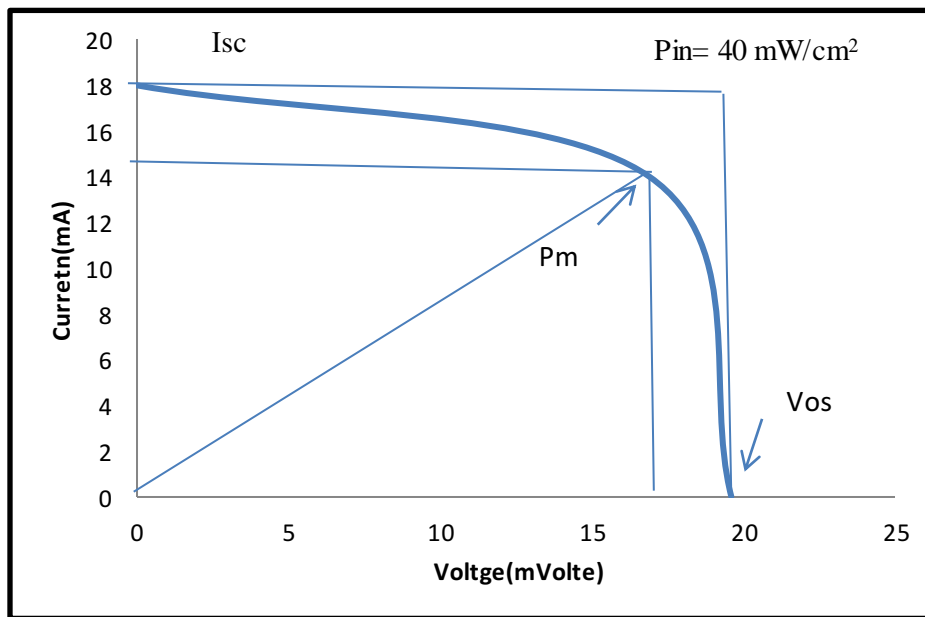
الشكل a (4-31): معلمات الخلية الشمسية (V_m, I_m, I_{sc}, V_{oc}) للمفروق الهجين

(Al/n-Si/PSi /Al)



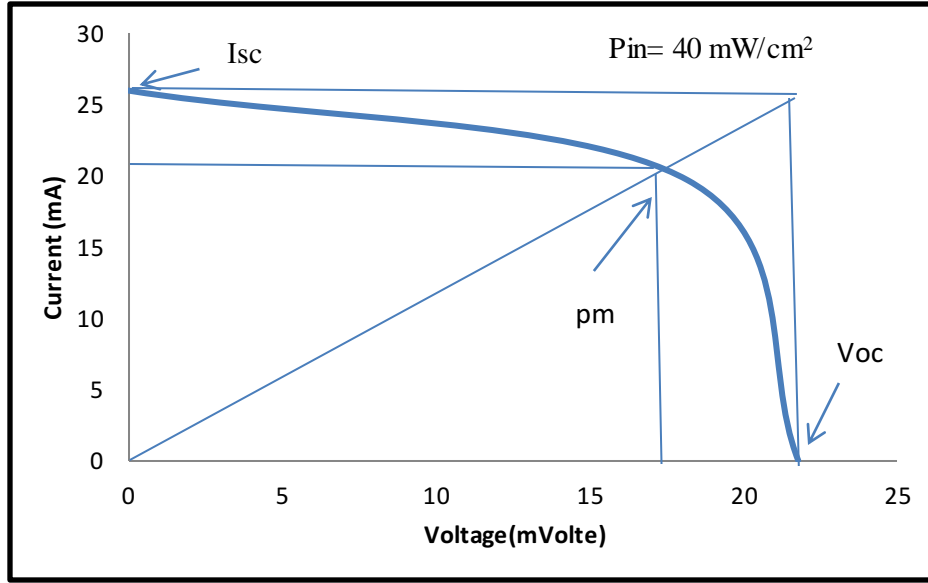
الشكل b (4-31): معلمات الخلية الشمسية (V_m, I_m, I_{sc}, V_{oc}) للمفروق الهجين

(Al/n-Si/PSi/NiO/Al)



الشكل a (4-32): معلمات الخلية الشمسية (V_m, I_m, I_{sc}, V_{oc}) للمفروق الهجين

(Al/p-Si/PSi /Al)



الشكل b (4-32): معلمات الخلية الشمسية (V_m, I_m, I_{sc}, V_{oc}) للمفرق

الهجين (Al/p-Si/PSi/NiO/Al).

الجدول (4-11) قيم كل من (V_{oc}) (I_{sc}) (F.F.) ($\eta\%$) و (V_m, I_m) للمفرق الهجين

لسليكون المسامي PSi

Sample	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mVolte)	I_m (mA)	V_m (mVolte)	F.F%	$\eta\%$
N-type Before	18	15.6	16	13	74	5.2
N-type After	20	17	17	14	70	5.95
P-type Before	18	19.6	14	16.5	65.5	5.78
P-type after	26	22.8	20	17.2	58	8.6

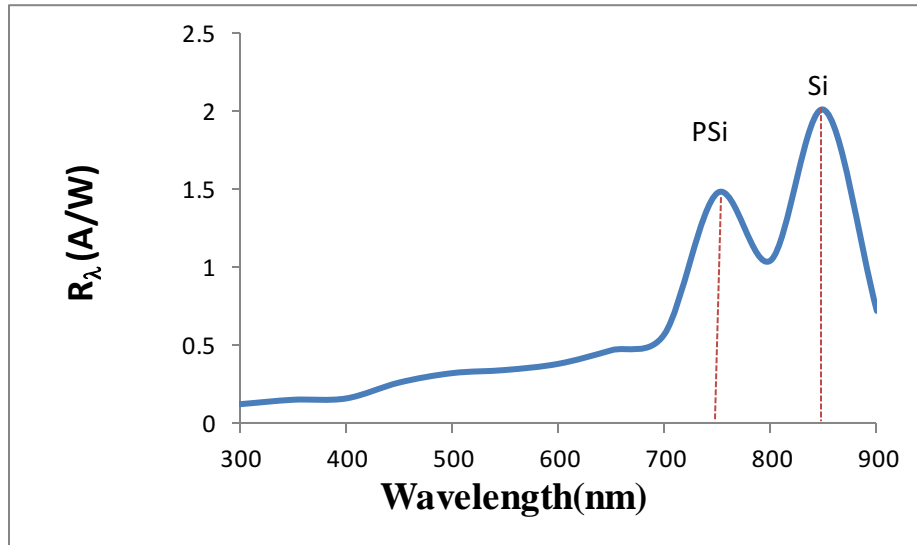
14-4 معلمات إنجاز الكاشف

Detector Performance Parameters Measurement

Spectral Responsivity

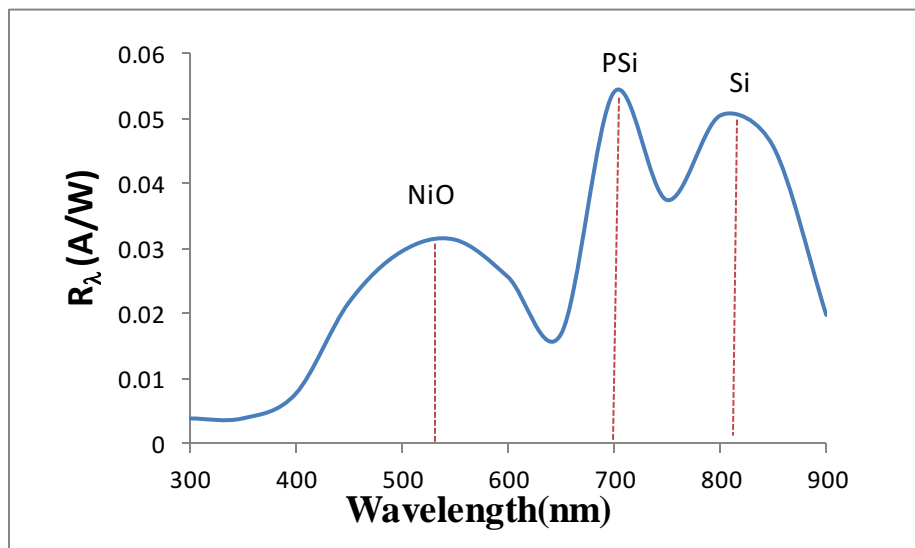
1-14-4 الاستجابة الطيفية

تعد الاستجابة الطيفية واحدة من المعلمات الهامة في الكواشف الفوتونية؛ إذ يمكن عن طريقها تحديد المدى الطيفي الذي يعمل ضمنه الكاشف، وكذلك تعد الاستجابة الطيفية دالة للتيار الضوئي. ويبين الشكل (a) ((33-4)) الاستجابة الطيفية كدالة للطول الموجي ضمن المدى (300-900)nm بفولتية انحياز عكسي (5V)، إذ يلاحظ ظهور قمتين للاستجابة الطيفية إحداهما عند طول موجي $700 \pm 50\text{nm}$ وهو طول موجة القطع لسليكون المسامي PSI، والأخرى: عند الطول الموجي $800 \pm 50\text{nm}$ ، وهو ما يقابل تقريباً طول موجة القطع للسليكون. أما من الشكل ((33-4))b، ((34-4))b، يلاحظ ظهور ثلاث قمم للاستجابة الطيفية أيضاً إحداهما عند طول موجي $500 \pm 50\text{nm}$ وهو طول موجة القطع لأكسيد النيكل NiO، والأخرى: عند الطول الموجي $800 \pm 50\text{nm}$ ، وهو ما يقابل تقريباً طول موجة القطع للسليكون، والثالث عند طول موجي $700 \pm 50\text{nm}$ وهو يمثل طول موجة القطع للسليكون المسامي PSI. في الشكل ((34-4)) a يلاحظ ظهور قمتين للاستجابة الطيفية إحداهما عند طول موجي $700 \pm 50\text{nm}$ وهو طول موجة القطع لسليكون المسامي PSI، والأخرى: عند الطول الموجي $800 \pm 50\text{nm}$ ، وهو ما يقابل تقريباً طول موجة القطع للسليكون إذ يلاحظ زيادة الاستجابة مع زيادة الطول الموجي الساقط إلى حد 850nm من المنطقة القريبة للأشعة تحت الحمراء،



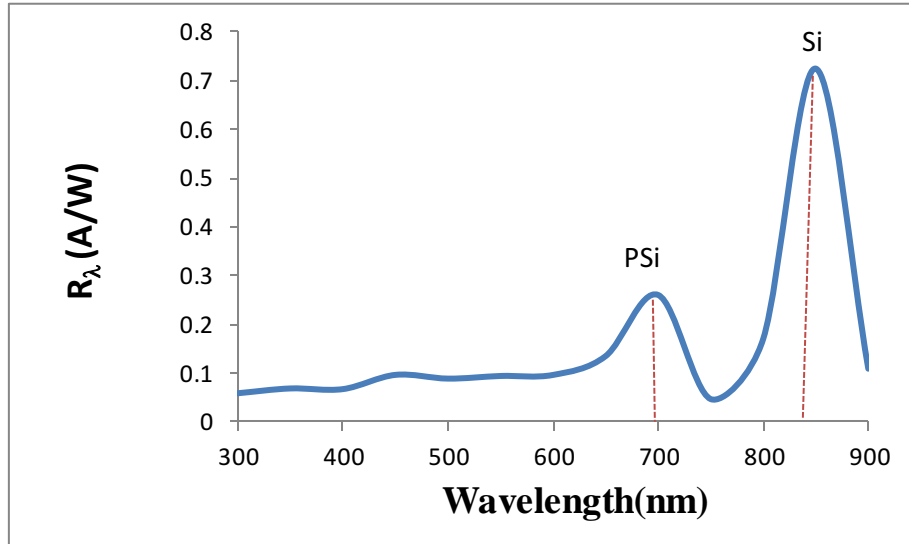
الشكل a (4-33) : تغير الاستجابة الطيفية كدالة لطول موجة تحت تأثير فولتية انحياز عكسي مقداره

(5 Volt) للكاشف الضوئي المحضر: (Al/n-Si/PSi /Al)



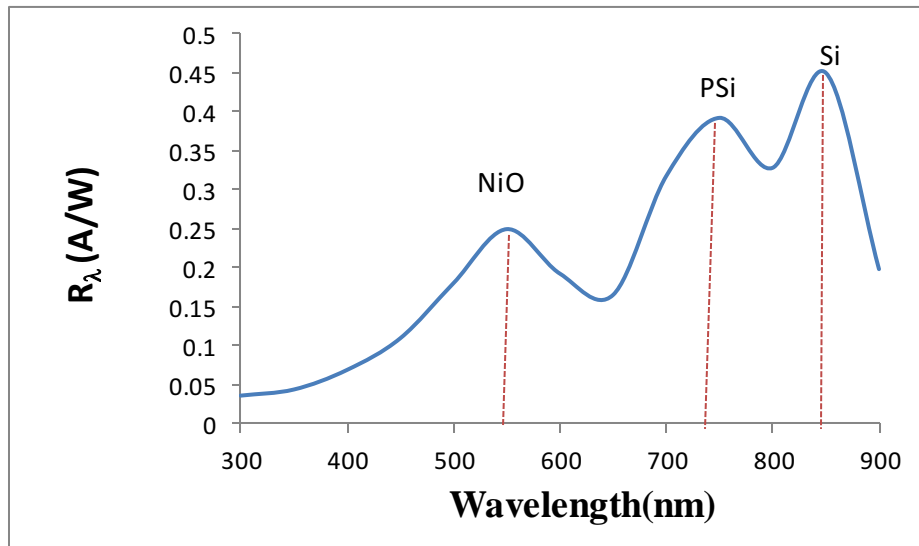
الشكل b (4-33): تغير الاستجابة الطيفية كدالة لطول موجة تحت تأثير فولتية انحياز عكسي

مقداره (5 Volt) للكاشف الضوئي المحضر: (Al/n-Si/PSi/NiO/Al).



الشكل a (4-34) : تغير الاستجابة الطيفية كدالة لطول موجة تحت تأثير فولتية انحياز عكسي

مقداره (5 Volt) للكاشف الضوئي المحضرة: (Al/p-Si/PSi /Al)



الشكل b (4-34): تغير الاستجابة الطيفية كدالة لطول موجة تحت تأثير فولتية انحياز عكسي

مقداره (5 Volt) للكاشف الضوئي المحضرة: (Al/p-Si/PSi/NiO/Al).

Specific Detectivity D^*

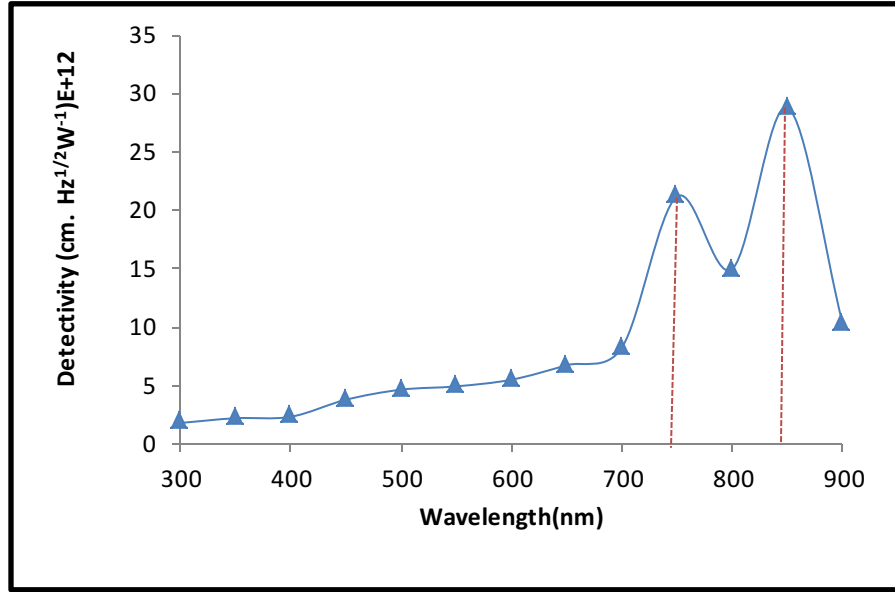
2-14-4 الكشفية النوعية

تغير الكشفية النوعية مع الطول الموجي الساقط لجميع الكواشف المحضرة وتحت

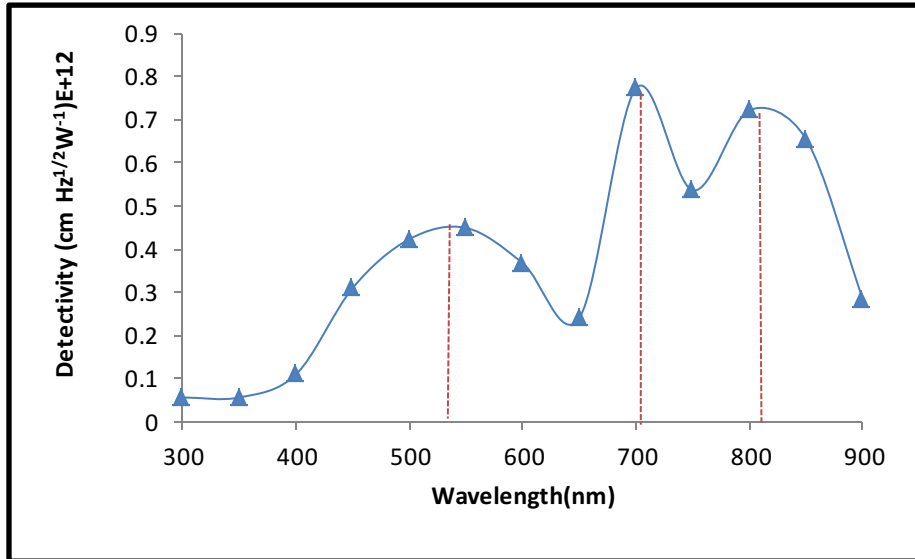
تأثير فولتية انحياز عكسي مقداره (5Volt) مبينة بالشكل (4-35)a,b,c,d وسلوك الكشفية

النوعية مقارب لسلوك الاستجابة الطيفية ولأنها دالة للاستجابة الطيفية ايضاً. ويُلاحظ ايضاً

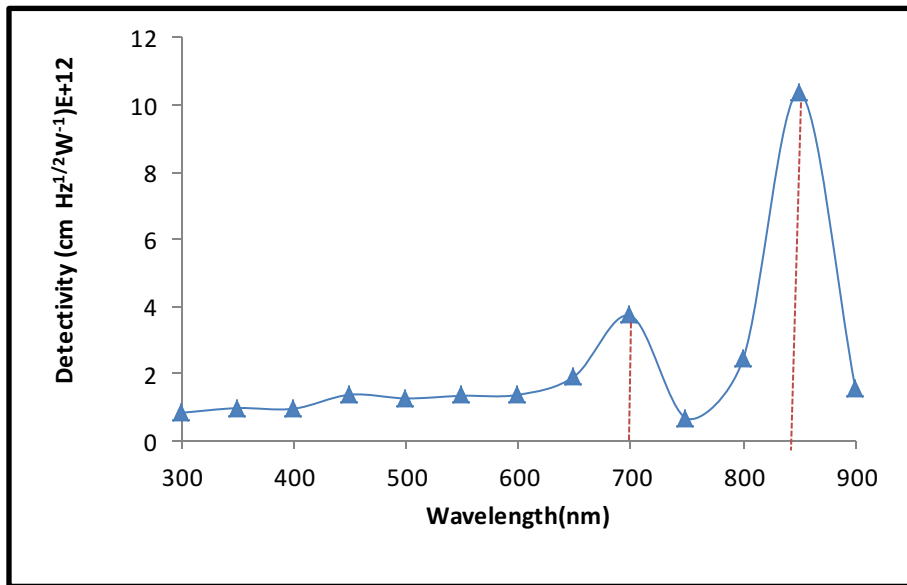
ظهر ثلاث قمم للكشفية النوعية: القمة الاولى (NiO) التي تكون عند الطول الموجي $\lambda=(550)\text{nm}$ والاخرى عند طول موجي $\lambda=(800)\text{nm}$ للكواشف المحضرة بدرجات حرارة الغرفة ، اذ لا تختلف تفسيرات منحنيات الكشفية النوعية عن مناقشة منحنيات الاستجابة الطيفية المذكورة سابقاً.



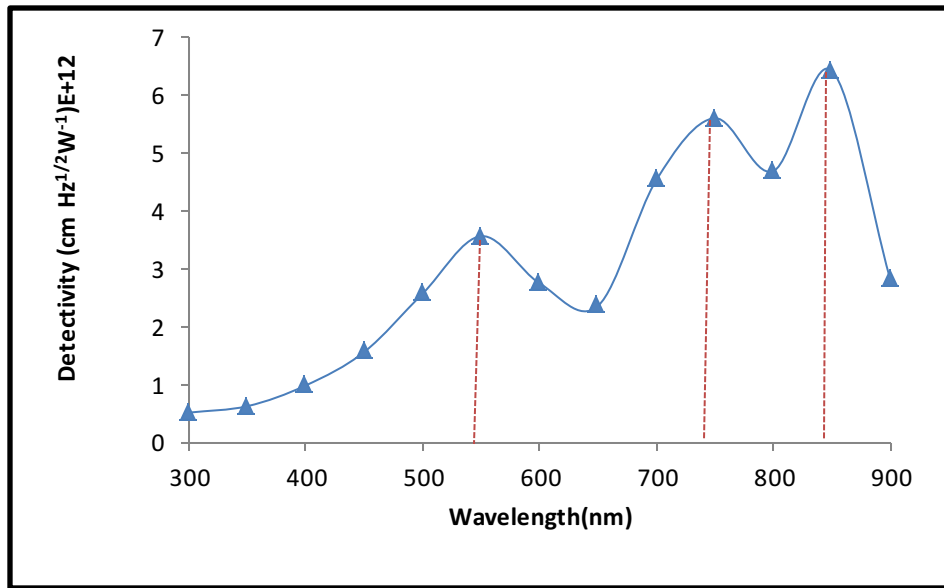
الشكل a (4-35): تغير الاستجابة الطيفية كدالة لطول موجة تحت تأثير فولتية انحياز عكسي مقداره (5 Volt) للكاشف الضوئي المحضر: (Al/n-Si/Psi)



الشكل b (4-35) : تغير الاستجابة الطيفية كدالة لطول موجة تحت تأثير فولتية انحياز عكسي مقداره (5 Volt) للكاشف الضوئي المحضر: (Al/n-Si/PSi/NiO/Al).



الشكل c (4-35): تغير الاستجابة الطيفية كدالة لطول موجة تحت تأثير فولتية انحياز عكسي مقداره (5 Volt) للكاشف الضوئي المحضر (Al/p-Si/PSi/Al).

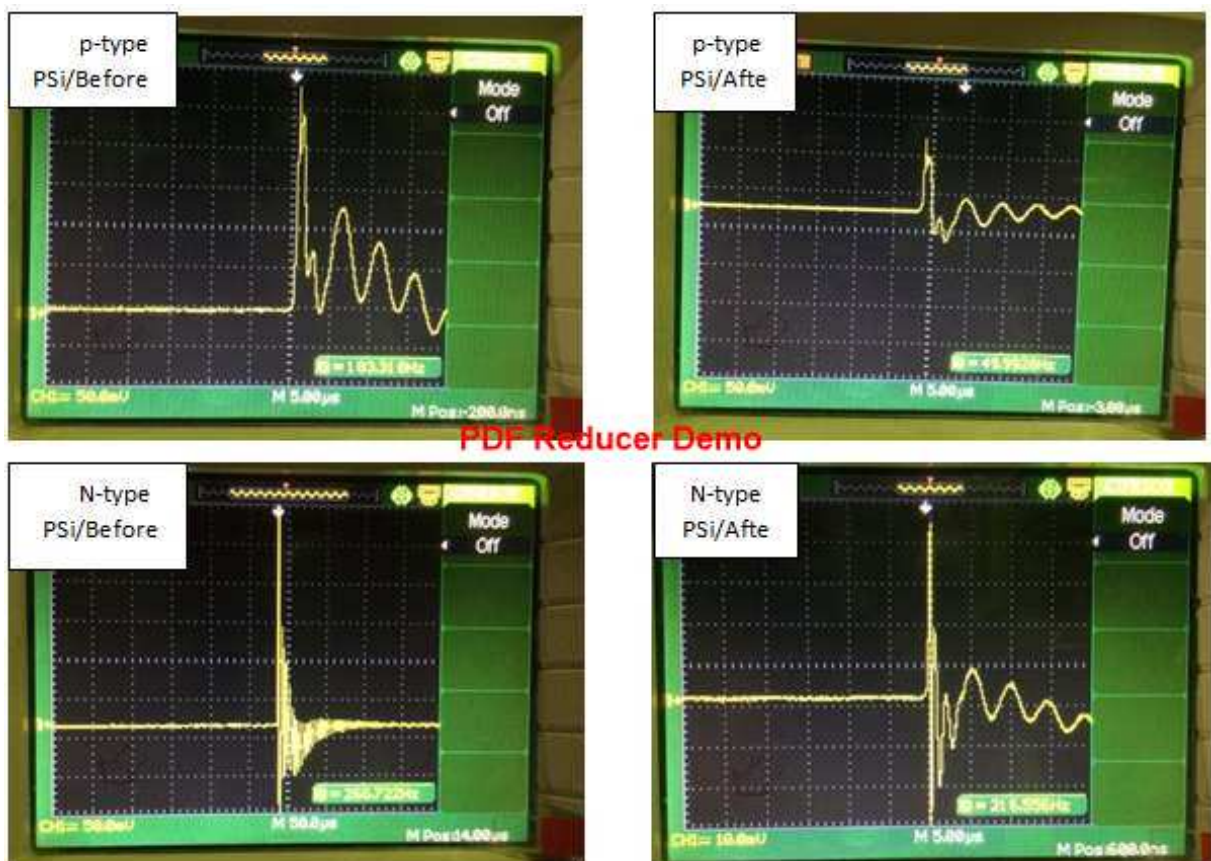


الشكل d (4-35) : تغير الاستجابة الطيفية كدالة لطول موجة تحت تأثير فولتية انحياز عكسي مقداره (5 Volt) للكاشف الضوئي المحضر: (Al/p-Si/PSi/NiO/Al).
3-14-4 زمن الاستجابة وفترة حياة الحاملات

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 الحساسة 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 (4-36)، 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.

الجدول (4-12): النتائج العملية في فترة حياة الحاملات لسليكون المسامي PSi .

Samples	Life time(m sec)
P-type PSi/before	5.4
P-type PSi/after	20
n-type PSi/before	3.7
n-type PSi/after	4.6



الشكل (4-36) : فترة حياة الحاملات لسليكون المسامي (PSi)

الفصل الخامس

الاستنتاجات

PDF Reducer Demo

والمشاريع

المستقبلية

الاستنتاجات

Conclusions

1. تم تحضير مادة اوكسيد النيكل NiO عن طريق تفاعل كيميائي وتحضير الاغشية الرقيقة بطريقة الصب بالقطرة الكيميائي، بإجراء فحوصات حيود الأشعة السينية لاغشية اوكسيد النيكل (NiO) المحضرة تبين أنها تمتلك تركيباً متعدد التبلور وبطور تركيب مكعب متمركز الوجة (FCC).
2. اظهرت نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية AFM ان الاغشية المحضرة والملدنة تمتلك ابعاد نانوية. وان تأثير التلدين ادى الى نقصان الحجم الحبيبي لجميع الاغشية.
3. من النتائج البصرية لوحظ أن لأغشية (NiO) المحضرة تمتلك نفاذية عالية، ضمن المدى المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي مما جعلها ملائمة لتصنيع الخلايا الشمسية، أعلى كفاءة ($\eta = 7.8\%$) عند درجة حرارة تلدين 600°C .
4. بإجراء فحوصات حيود الأشعة السينية لسليكون المسامي (PSi) المحضر تبين أنه يمتلك تركيباً احادي التبلور (Single).
5. تبين من فحوصات مجهر القوة الذرية لسليكون المسامي PSi ان الاغشية تمتلك ابعاد نانوية.
6. تبين من فحص الاضاءة الضوئية (PL) لسليكون المسامي لنوع p-type, n-type للاغشية المحضرة ان فجوة الطاقة حوالي $E_g = (1.6, 1.7) \text{ eV}$.

7. يمكن استخدام المفرق الهجين لسليكون المسامي PSi في تطبيقات الكاشف الضوئي ضمن الأشعة تحت الحمراء القريبة والطيف المرئي.

8. لوحظ ان اعلى كفاءة تم الحصول عليها باستعمال مفرق الهجين لسليكون المسامي عند درجة حرارة الغرفة كانت بقيمة $(\eta=8.6\%)$.

المشاريع المستقبلية

1. دراسة الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية لاغشية اوكسيد النيكل المطعم بالليثيوم.

2. تحضير اغشية رقيقة من مادة (NiO) بطريقة الاستئصال الليزري في مذيبات مختلفة ودراسة خصائصها الفيزيائية. و دراسة تأثير السمك في الخواص الفيزيائية لأغشية (NiO) المحضرة بطريقة الصب الكيميائي.

3. تحضير متحسس غازي من هذه الاغشية للغازات (H₂S,NO).

4. تحضير اغشية اوكسيد النيكل (NiO) المطعمة بالألمنيوم (Al) ودراسة خصائصها الفيزيائية كدالة لنسب التطعيم.

المصادر

PDF Reducer Demo

1. S.O.Kasap,"Principles Electrical Engineering Materials And Devices " University of Lawa , (2002)
2. O.S.Heavens , " Optical Properties of Thin Solid Films" (1954) Copy right (1991) Manufactured in the united states by courier corporation6692604.
3. k.D.Lever , " Thin Films " London, Publishing Ltd (1971) .
4. R.W. Berry and P.M.Hall , "Thin Films Technology " , New York (1979) .
5. K. L. Chopra, "Thin film phenomena", Mc Graw-Hill, Inc. Company, New York, (1968)
6. L. Eckortova, "Physics of Thin Films " , (Plenum press), (1977).
7. W. Robert, M. Peter and T. Murray, "Thin Film Technology", Litton Eduational Publishing, Inc. New York, (1968).
8. K. D. Leaver "Thin Films", Wy keham Publications London LTD., London, (1971).
9. K.L. Chopra & I. Kaur, "Thin Film Device Applications", Plenum prss, New York,(1983).
10. D. Franta, Beatrice Negule scu, Luc Thomas, Pierre Richar and Marcel Guyot,"Optical properties of NiO thin films prepared by pulsed Laser deposition technique"Applied surface science,Vol. 244(2005)426.
11. F.Saadaty ,A.R.Grayeli,and H.savaloni,"Dependence of the optical Properties of NiO thin films of film thickness and nano – structure " Journal of Theoretical and Applied physics,Vol. 5 (2010) 22.
12. A.M.Bakry and S.A.Mahmoud , "Effect of substrate Temperature on the optical Dispersion of sprayed Nickel oxide thin films", University of Hail, published in International Electronics,(2010) .

13. A. Fujishima, T.N. Rao, D.A. Tryk, "Journal of Photochemistry and Photobiology C:volum 1 ssue1 (29 June2000). p 1.
14. Kuniaki Arai, Taichi Okuda, Arata Tanaka, Masato Kotsugi, Keiki Fukumoto, Takuo Ohkochi , "Three-dimensional spin orientation in antiferromagnetic domain walls of NiO studied by x-ray magnetic linear dichroism photoemission electron microscopy" PHYSICAL REVIEW B 85, 104418 (2012)
15. Pradyot Patnaik, "Handbook of Inorganic Chemicals" Titel QD155.5P37,2002,P 619.
- 16.D.Adler ,and J.Feinleib,"phys".Rev.B2(1970)3112.
17. K .Lee, Y. Tseng, and C.Chu, "A high-gain porous silicon metal–semiconductor–metal photodetector through rapid therma oxidation and rapid thermal annealing ," Appl. Phys. 67, (1998) 541-543
- 18.C. Baratto, G. Faglia, G. Sberveglieri, Z. Gaburro, L. Pancheri, C. Oton and L. Pavesi, Sensors 2, (2002)
- 19.L. Canham, " Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafer" ,Appl. Phys. Lett. 57, (10): 1046-1048.
20. A. J. Zilkie, J. Meier, M. Mojahedi, Ph. J. Poole, P. Barrios, D. Poitras, Th. J. Rotter, Ch. Yang, A. Stintz, K. J. Malloy, P. W. E. Smith, and J. S. Aitchison, "Carrier Dynamics of Quantum-Dot, Quantum-Dash, and Quantum-Well Semiconductor Optical Amplifiers Operating at 1.55 μ ", Journal of quantum electronics, 43, (2007)11.
21. D. Petit, J.-N. Chazalviel, F. Ozanam, F. Devreux , “ Lewis Acid Mediated Hydrosilylation on Porous Silicon Surfaces “, Appl. Phys. Lett. ,USA ,70, (1997) 191.

22. P.S.patil, and L.D.kadam, "Preparation and characterization of spray Nickel oxide(NiO) thin films", Applied surface science, Vol. 199, (2002) 211.
23. F.I.Ezema, A.B.C.Ekwealor, and R.U.Osuji, "Optical properties of chemical bath deposited nickel oxide (NiO) thin films", Journal of Optoelectronics Materials and Advanced Vol. 9, No.6, (2007)1898.
24. K.K.purushothaman, "Nanostructured NiO based all solid state electronic device", J Sol-Gel Sci Technol, Vol.21 (2008)190.
25. Amit kumar srivastava, subhash Thota, and Jitendra , "preparation, Microstructure and Optical Absorption Behaviour of NiO thin films" Journal of Nanoscience and Nanotechnology , Vol.8, (2008) 4111
26. Mohammed Ibrahim, K.R.Murali. V.S.Vidhya. sanjeeviraja, and Jayachandran, , " Structural , Optoelectronic and electrochemical properties of nickel oxide films" J Mater Sci : Mater Electron, (2009) 935.
27. H.U.Igwe, O.E.Ekpe, and E.I.Ugwu, "Effects of Thermal Annealing on the optical properties of nickel oxide Thin film prepared by chemical bath deposition Technique", The Pacific Journal of Science and Technology, Vo ,10 No.2,(2009)12.
28. A.Mendoza-Galan. M.A.Vidales-Hurtado, and Lopez-Beltran "Comparison of the optical and structural properties of nickel oxide-based thin films obtained by chemical bath and sputtering", Thin Solid Films, Vol . 517,(2009) 3115.
29. R.Romero, F.Martin, J.R.Ramos-Barrado, D.Leinen, "Synthesis and characterization of nanostructured nickel oxide thin films prepared with chemical spray pyrolysis", Thin Solid Films, Vol. 518, (2010) 4499.
30. A.Malikarjuna Reddy, Sivasankar Redd, and sreedhara Reddy, "Thickness dependent properties of nickel oxide thin films

- deposited reactive magnetron sputtering", Vacuum ,Vol.85, (2011) 949.
31. B.T.Raut,S.G.pawar,M.A.chougule,shashwati sen,V.B.patel,"New proces For synthesis of nickel oxide thin films and their characterization", Journal of Alloys and Compounds, Vol . 509 ,(2011) 9065.
32. A.R.Ralu,V.S.Nagarethinam,N.Arunkumar,and M."Nanocrystalline Suganya, NiO thin films prepared by alow cost simplified spray technique using perfume atomizer", Vol.13,(2012)920.
33. زينب طارق عبد الحميد ،"الخواص التركيبية والكهربائية لأغشية اوكسيد النيكل المحضرة بطريقة التريذ، اطروحة دكتوراه ،جامعة بغداد ،كلية التربية للعلوم الصرفة ابن الهيثم، قسم الفيزياء(2015).
34. خنساء حليم محسن، "الخصائص التركيبية لاغشية اوكسيد النيكل النقية والمطعمة بالليثيوم بتقنية السول-جل" رسالة ماجستير كلية التربية ابن حيان للعلوم الصرفة جامعة ديالى، 2015 ،
35. Ehssan Salah Hassan , Mohammed Hadi Salih, Ahmed N. Abd. "Thikness Influence On The Synthesis Of Metal Oxide NiO Using RF-Magnetron Sputtering" JMESS, Vol.2,2016
36. Ahmed N.Abd,Reem S.Ali,Ali A.Hussein ,"Fabrication And Characterization Of Nickel Heterojunction Oxide Nanoparticles/Silicon" JMESS, Vol. 2,2016.
37. Nadir F. Habubi, Ahmed N. Abd, Mohammed O. Dawood, A. H. Reshak, "Fabrication and Characterization of a p-AgO/PS/n-Si Heterojunction for Solar Cell Applications", Physics Department, Education Faculty, Spring Science,business dordecht (10 August 2016).

المصادر

- 38.S. S Al-Rawi, S. J. Shakir and Y. N. Husan, "Solid State Physics", Publishing of Mousal University Arabic Version (1990).
- 39.M. G. Yousif " Solid State Physics "Vol.1 ,Baghdad University Arabic Version , (1989)
40. محمد أمين سليمان ،أحمد فؤاد باشا وشريف أحمد خيرى " فيزياء الجوامد " مطبعة الفكر العربي(2000).
- 41.R.A. Smith, "Semiconductor", Cambridge University press(1961).
- 42.M.N.Makadsi , " Material Science " , Baghdad University , (1990).
- 43.S. M. Sze , " Semiconductors Devices Physics and Technology " , Translated to Arabic by F. G. Hayaty and H. A. Ahmed, Baghdad, (1999)
- 44.K.Alexander , "X-Ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Material" , John wiley and sons , (1974).
- 45.M. Goorsky, "Ion Implantation", InTech Design Team, Inc Publication, Croatia, (2012).
- 46.W. D. Callister “ Materials Science and Engineering” 4th Edition , Wile, NewYork(1997).
- 47.C. Kittel "Introduction to solid state physics" John Wiley and sons ,5th edition, New York (1986).
- 48.A. Beiser " Concepts of Modern Physics " Mc Graw – Hill Kogakusha , Ltd , 2nd Edition , New York (1981) .
- 49.M.E. Elangovan, K. Ramesh, K. Ramamurthi, Solid State Comm., vol. 130, p. 523, (2004).
- 50.L. Pawlowski , "The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings", John Wiley and sons , 2nd. Edition, France , book, (2007).

المصادر

51. Y.N.AL-Jammal " Solid state physics ", AL- Mousul University ,Arabic version , (1990).
52. M. G. Yousif, "Solid State Physics", 2nd Edition, Baghdad University, Arabic version, (1989).
53. C. Suryanarayana and M. G. Norton, "X-ray Diffraction, A Practical Approach". Plenum Press, New York, (1998).
54. F. Scholz "Compound Semiconductors" book, (2009).
55. P. Miller, and R. Yang, "scanning tunneling and atomic Force Microscopy Combined" ,Applied Physics Letters, Vol:52, ,(1988). pp 2233-2235.
56. 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).
57. 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)
58. S. M. Sze, "Semiconductors Devices-Physics and Technology", 2nd Edition, John Wiley and Sons. In, New York, (2002).
59. أس. أم. زي، "نبائط أشباه الموصلات فيزياء وتقنية" دار الحكمة للطباعة والنشر (الموصل)، ترجمة د. فهد غالب حيالي ود. حسين علي أحمد (1990).
60. O. N. Bala Sundaram and V. Veeravazhuthi, "Thin Film Techniques and Applications", Allied Publisher PVT Limited, New Delhi, (2004).
61. A.N.Abd, " Quantum dots CdSe/PSi/Si Photodetector", Ph. D. thesis, AL- Mustansiriyah University, (2015).
62. S. M. Sze, "Semiconductors Devices-Physics and Technology", 2nd Edition, John Wiley and Sons. In, New York, (2002).

- 63.H. S. ALmalki, "Optical and Structural Properties of (ZnO-SnO₂) and their Mixture Prepared by Chemical Spray Pyrolysis", M.Sc. Thesis, University of Baghdad, (2009).
- 64.A. H. Clark "Optical properties of polycrystalline and amorphous thin films and devices " edited by Laurence L. Kazemerki, Academic press, (1960).
- 65.S. Ben "Solid State Electronic Devices" Hall International , Inc ,U. S. A. ,(1990).
- 66.Y. Sirotni ,Y. M. Shaskolskaya "Fundamentals of crystal physics ", Mir Publishers , Moscow, (1982).
- 67.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)
- 68.S. M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", 3rd Edition. John Wiley and Sons, Inc Publication, Canada, (2007).
- 69.G. Ng, D. Vasileska and D. K. Schroder, "Calculation of the electron Hall mobility and Hall scattering factor in 6H-SiC", Journal of Applied Physics, 106: 053719- 053724, (2009).
- 70.D. A. Neamen, "Semiconductor Physics and Devices", 3rd Edition, Mc Graw-Hill Com., Inc., University of New Mexico, U.S.A, (2003).
- 71.C. Kittel, "Introduction to Solid State Physics", 8th edition, John Wiley and Sons, Inc., USA, (2005).
- 72.W. D. Callister "Materials Science and Engineering: An Introduction", John Wiley & Sons, Inc, New York (2007) .
- 73.S. A. Hassan Abass, "Van der Pauw Measurements Of The Hall Effect In Nanoparticulate Silicon Layers", Diploma at AIMS, University of Cape Town, South Africa, (2008).

74. B. Streetman, and S. Banerjee, "Solid State Electronic Devices", 5th Edition, Newjersey, (2000).
75. 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.
76. B.L. Sharma and R.K. Purohit, "Semiconductor Heterojunctions". Pergamon Press, NewYork, (1974).
77. R. Mamazza Jr., D.L. Morel, C.S. Ferekides, "Thin Solid Films", Vol. 484, (2005), PP. 26-33.
78. S. C. Lofgran, "Thin Film Deposition & Vacuum Technology", Bachelor of Science, Brigham Young University, Idaho, (2013).
79. H. S. Nalwa, "Handbook of Surfaces and Interfaces of Materials", 5th Edition, Academic Press, Inc.USA, (2001).
80. G. Margaritondo, "Electronic Structure of semiconductor Heterojunctions", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, London, (1988).
81. M. Sze, "Semiconductors Devices Physics and Technology", John Wiley and Sons, Inc Publication, New York, (1990).
82. M. Shur , " Physics of Semiconductor Devices ," by Hall of India , New Delhi ,(1st Ed .) , (1995) .
83. Ayad.A.Salih " fabrication and study of photodetector from CdO:Al/ Si heterojunction" Ph.D . Thesis, Baghdad- University, 2015.
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.K. Othmer, "Photodetectors", Encyclopedia of chemical technology, Vol.17, John Wiley & Sons, (1982).
- 87.A.ROGALSKI "Infrared Detectors" 2 Edition , USA ,2011.
- 88.M. A. Kinch, "Fundamentals of Infrared Detector Materials", Published by Spie Press, USA, (2007).
- 89.H. Khdayer " Fabrication and studying the photoconducting Characteristics of InSb Junction with Silicon as a single crystal semiconductor" ph. Thesis. University of Baghdad, (2005).
- 90.M. Ashry, S. Fares, "Radiation Effect on Optical and Electrical Properties of CdSe(In)/P-Si Heterojunction Photovoltaic Solar Cells" , Microelectronics and Solid State Electronics ,1, (2012) 60-63
91. O. Bisi, Stefano Ossicini , L. Pavesi, "Porous silicon: a quantum sponge structure for silicon based optoelectronics" Surface Science Reports ,38 ,(2000).
92. Valeria Demontis , "Porous Silicon applications in biotechnology" ,M.Sc Thesis Universita Degli Studi Di Cagliari , (2006).
- 93.V. Lehmann and H. Foell. "Formation mechanism and properties of electrochemically etched trenches in n-type silicon" J. Electrochem. Soc., 137, (1990) 653.
94. A.Halimaoui, "Porous Silicon Science and Technology " ,33, Surf. Sci. , 245 , (1995) 360-372
- 95.A.C.Dillon , M.B.Robinson ,M.Y. Han , and S.M. George , "Diethylsilane decomposition on silicon surfaces studied using transmission FTIR spectroscopy ", J. Electrochem. Soc.,139, (1992) 537-543.

96. R.C. Anderson , R.S.Muller , and C.W.Tobias , " Investigations of porous Si for vapor sensing" , Sens. Actuators , A21 - A23 , (1990) 835-839.
97. V. Lehann , , U.Gosele , " Porous silicon formation: a quantum wire effect " Appl. Phys. Lett. , 58 (8), (1991) 1046 – 1048.
98. R.S.Muller, R. C. Anderson, C. W. Tobias, ” Electrochemistry of Silicon: Instrumentation, Science, Materials and Applications “, J. Electrochem Soc. 138, (1991)11.
99. M.J. Sailor , “ Sensor applications of porous silicon , in Properties of Porous Silicon” , vol. 18 ,(ed. L.Canham), Institution of Engineering and Technology , London , (1997) 364-370.
100. C. Tsai, K. H. Li, J. Campbell, A. Tasch ,” Photosensitive porous silicon based structures “ , Appl. Phys. Lett. (USA) ,62, (1993)2818
101. F. Ferrieu, A. Halimaoui, D. Bensahel , " Solid State Common", USA,84, (1992) 293.
- 102 . A. Halimaoui ,” Electrochemical and Chemical Behavior of Porous Silicon Layers: The Role of the Material Wettability and its High Specific Surface AreaSurf ”, Sci. Lett. ,Netherlands, 306, (1994) 550.
103. A.G. Cullis, LT. Canham, PJJ. Calcott , “Micropatterned arrays of porous silicon: toward sensory biointerfaces” , J. Appl. Phys. (USA), 82, 3, (1997) 909.
104. Powder Diffraction File, JCPDS - International Center for Diffraction Data. [ASTM] data files, (Card NO 005. 0661). Pennsylvania, (1997).
105. V.Figueiredo, E.Elangovan, G.Concalves, p.Barquinha, N.Franco " Effect of post – annealing on the Properties of Copper Oxide

المصادر

thin films Obtained from the oxidation of evaporated Metallic Copper" science Direct ,Applied surface science ,3949-3954, 2008.

106. M.A.Green,"Solar Cells " Translated by Y.M Hassan .University of Al- Mosul (1989) .
107. W. R. Frensley and N. G. Einspruch "Heterostructure and Quantum Well Physi-cs". Academic Press - San Diego.(1994).

Abstract

Nickel Oxide films were prepared by chemical drop casting, at different temperatures annealing (As – Prepared 200 , 400 , 600) °C for one hour . The nickel oxide for thickness (150 ± 5) nm was deposited on the substrate of the glass and silicon and porous silicon, The structural, optical, electrical and optoelectronic properties were studied. X-ray diffraction results showed that all prepared films are polycrystalline with preferred orientation along at a directional (200), (012). An atomic force microscope was used to study topographic of surface and found that the prepared and annealed films have nano structure and the grain size decrease with the increasing the temperature, while the roughness and (RMS) increase with the increasing the temperature.

From measurements of optical properties exhibited that the thin films (NiO) high absorbance has over the visible region with wavelength (300-700)nm. The energy gap changes from (2.8 – 3.4) eV with the increasing of the temperature.

Electrical measurements were studied for thin film prepared, The result Hall effect showed that the charge carriers are (p-type) positive, and the carrier concentration decrease and Hall mobility increase with increasing annealing temperature.

From measurements of (current-voltage) I-V)) in the case of darkness of all prepared heterojunction showed that the current changes with increasing the annealing temperature. Solar cell fabricated from (p-NiO/n-Si) heterojunction which prepared and annealing films on substrate (n-type) single crystal silicon with orientation (111). (Short Circuit Current and Open Circuit Voltage) characteristics shoed that the solar cell with annealing temperature (600) °C have higher efficiency ($\eta = 7.6\%$).

Nanocrystalline porous silicon (PSi) films were prepared by electrochemical etching of (n, p) types silicon wafers ,at current density $(15) \text{ mA/cm}^2$ and etching time (15) min.

PSi is characterized by studying X-ray diffraction XRD, FTIR and atomic force microscopy(AFM). The Crystallites size was measurement by X-Ray diffraction . From Atomic Force microscopy was found the nanometric size.(FTIR) analyses showed That presence of a hydrogen atom in the form of weak bonds (Si-H).

A solar cell was produced from the porous silicon of both types (n,p). The highest efficiency obtained for the heterojunction (Al/p-Si/PSi/NiO/Al) efficiency $(\eta=8.6\%)$.

Detectors fabricated of porous silicon showed a range of spectral responsivity between spectral region (300-900) nm where appears two peaks of the detector **(Al/n-Si/PSi/Al)** **(Al/p-Si/PSi/Al)**,The first peak appears at length (700 nm) within visible range of the electromagnetic spectrum, and the second peak at wavelength (800) nm within near infrared range,

spectral response of the detector after the addition of nickel oxide, notic three peaks of the detector**(Al/n-Si/PSi/NiO/Al)** **(Al/P-Si/PSi/NiO/Al)** The first peak at wavelength (700 nm) within visible range of the electromagnetic spectrum, and the second peak at wavelength (800) nm within the near infrared range, and the third peak notic at wavelength 500 nm.

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



Preparation and characterization of Al/ NiO/ Psi/Al Heterojunction

A thesis

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

PDF Reducer Demo

Surour Ahmed Khalaf

Supervised by:

Prof. Dr. Alia A. Shehab