



جمهورية العراق  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
الجامعة المستنصرية - كلية التربية

تصنيع ودراسة الخصائص الكهربائية  
والفولتائية الضوئية  
لكاشف المفرق المهجين نوع pbs/si

رسالة مقدمة

الى مجلس كلية التربية - الجامعة المستنصرية  
ومى جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم  
فى الفيزياء

من قبل

زهير حسين جواد الغراوي

بإشراف

الاستاذ الدكتور

الاستاذ الدكتور

سعد عبد الباري توفيق

عبد المجيد عيادة السامرائي

2003 م

1423 هـ



جمهورية العراق  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
الجامعة المستنصرية - كلية التربية  
قسم الفيزياء

## تصنيع ودراسة الخصائص الكهربائية والفولتائية الضوئية لكاشف المفرق الهجين نوع $PbS/Si$

رسالة مقدمة إلى  
مجلس كلية التربية / الجامعة المستنصرية  
وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء

من قبل

زهير حسين جواد الخراوي

بإشراف

الأستاذ الدكتور  
سعيد عبد الباري توفيق

الأستاذ الدكتور  
عبد المجيد عيادة السامرائي

2003م

1423 هـ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قَالُوا سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ

أَنْتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ

سورة البقرة - ﴿ ٣٢ ﴾

بِسْمِ اللَّهِ  
الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## توصية الاساتذة المشرفين

نقر بأن إعداد هذه الرسالة قد جرى تحت إشرافنا في قسم الفيزياء - كلية التربية - الجامعة المستنصرية، وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء.



التوقيع

اسم المشرف: د. سعد عبد الباري توفيق

المرتبة العلمية: أستاذ

التاريخ: ٣١ / ١٢ / ٢٠٠٤



التوقيع

اسم المشرف: د. عبد المجيد عيادة السامرائي

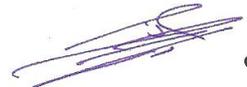
المرتبة العلمية: أستاذ

التاريخ: ٢١ / ١٢ / ٢٠٠٤

## توصية

### رئيس قسم الفيزياء

إشارة إلى التوصية أعلاه المقدمة من قبل الدكتور عبد المجيد عيادة السامرائي والدكتور سعد عبد الباري توفيق فقد تقرر إحالة هذه الرسالة إلى لجنة المناقشة لدراستها وبيان الرأي فيها.



التوقيع

الاسم : نادر فاضل حبوبى

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ:

## إقرار لجنة المناقشة

نحن أعضاء لجنة المناقشة أدناه، نشهد إننا اطلعنا على الرسالة الموسومة (تصنيع ودراسة الخصائص الكهربائية والفولتائية الضوئية لكاشف المفرق الهجين نوع PbS/Si) والمقدمة من قبل الطالب (زهير حسين جواد) وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء، وبعد إجراء المناقشة وُجِدَتْ إن الرسالة مستوفية لمتطلبات الشهادة المذكورة.

رئيس اللجنة

التوقيع:

الاسم: د. زياد طارق الدهان

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: منظمة الطاقة الذرية العراقية

عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: د. نجيبة عبد الله حسن الحداي

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: الجامعة المستنصرية / كلية التربية

عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: د. ميسون فيصل أحمد

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: جامعة بغداد / كلية العلوم

عضو اللجنة (مشرفاً)

التوقيع:

الاسم: د. سعد عبد الباري توفيق

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: منظمة الطاقة الذرية العراقية

عضو اللجنة (مشرفاً)

التوقيع:

الاسم: د. عبد المجيد عيادة السامرائي

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: جامعة ديالى / كلية العلوم

## **مصادقة عمادة كلية التربية.**

نصادق على ما جاء أعلاه.

التوقيع:

الاسم: د. نصيف جاسم الدليمي

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: الجامعة المستنصرية / كلية التربية

# الإهداء

إلى مدينة العلم وبابها وإلى بقية الله في الأرض

فخراً وولاءاً

إلى من اتشرف بحمل اسمه ومن جاهد في تربيتي وتعليمي والدي العزيز

شرفاً واعتزازاً

إلى من يستجيب الله لدعواتها ومن أوقدت سنين عمرها لتبني بها دربي

وأغرقتني بحبها وحنانها والدي الحنونة

براً واحساناً

إلى سندي في الحياة اخوتي الاعزاء نزار وقيس

حبا واحتراماً

وإلى افراد العائلة جميعاً

اهدي نعمة جهدي هذا

زهير

## شكر وتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم والحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خاتم الانبياء والمرسلين محمد الصادق الأمين وعلى اله الطيبين الطاهرين وأصحابه الغر الميامين.

يسرني ان اقدم جزيل شكري وفائق تقديري إلى مشرفي الفاضلين الاستاذ الدكتور عبد المجيد عيادة السامرائي والاستاذ الدكتور سعد عبد الباري توفيق لاقتراحهما موضوع البحث ونصائحهم القيمة وملاحظاتهم السديدة الهادفة في سبيل انجاز هذا البحث.

كما وأود ان اتقدم بفائق شكري وامتناني إلى عمادة كلية التربية ورئاسة قسم الفيزياء والى الاستاذ نادر فاضل والدكتور حسين اسماعيل والاستاذ زياد محمد ومنتسبي تسجيل الدراسات العليا ومكتبة كلية التربية وبالأخص الست اسماء كاظم والست علياء كاطع، لما قدموه لي من دعم وتسهيلات خلال فترة البحث ومساعدتهم في توفير مستلزمات اكمال دراستي.

وعرفانا مني بالجميل لا بد لي أن اتقدم بعميق شكري وتقديري إلى الاستاذ عمر عبد الستار لما ابداه من جهود مثمرة لمساعدتي خلال فترة بحثي هذا فكان لي خير سند في هذه الدراسة.

وأود ان اقدم شكري وتقديري إلى الاستاذ خليل ابراهيم والاستاذ رعد سعدون وجميع طلبة الدراسات العليا وأخص بالذكر منهم لينا وزياد وعبد الله وقصي وأوس وزملائي موسى ومسلم وحيدر لتعاونهم وتشجيعهم لي طوال فترة البحث.

كما واتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الزملاء مهند ووليد وحيدر على جهودهم وتعاونهم معي في طباعة واظهاره بهذه الصورة النهائية.

وفاءً واخلاصاً مني اقدم خالص شكري وفائق تقديري لعائلتي الكريمة لما منحوني من رعاية وتشجيع لاكمال مسيرتي الدراسية واخص بالذكر اخوتي نزار وقيس لما قدماه لي من مساعدة وعون طوال فترة البحث، داعياً من العلي القدير أن يحفظهم لي جميعاً ويمدهم بالصحة والعافية بحق محمد واله الاطهار.

(الباحث)

## الخلاصة

في هذا البحث جرى ولأول مرة تصنيع كاشف المفرق الهجيني (PbS/Si) بأستخدام تقنية الترسيب الكيميائي الحراري حيث تم ترسيب محلول نترات الرصاص ومحلول الثايوريا بعيارية (0.1M) على قواعد سليكونية احادية التبلور وبأتجاهية (111) ذات توصلية قابلة ومانحة بمقاومية ( $3-5 \Omega\text{cm}$ ). وكانت درجة حرارة الترسيب ( $350^\circ\text{C}$ ) من خلال نتائج قياسات المجسات الأربع تبين ان اغشية كبريتيد الرصاص المحضرة بهذه الطريقة ذات توصيلية مانحة (n-type) مما يدل ان المفارق المصنعة من النوع المتماثل وغير المتماثل .

تم التعرف على طبيعة تبلور غشاء كبريتيد الرصاص من خلال نتائج قياسات حيود الاشعة السينية (XRD) وتبين ان الغشاء ذات تركيب بلوري متعدد التبلور والاتجاه السائد لها (200) .

كما واطهرت نتائج خصائص تيار-جهد عند الظلام وفي الانحيازات الامامي والعكسي أن افضل ثنائي مصنع تمتلك عامل مثالية (1.08) عند سمك غشاء PbS (100nm) وصفة تقويم عالية تصل الى (807) عند سمك غشاء (250nm).

ومن خلال خصائص سعة-جهد تبين ان المفارق المصنعة تسلك سلوك المفرق الحاد كما تم حساب جهد البناء الداخلي ووجد ان اعلى قيمة لها تساوي (1 Volt) عند سمك غشاء (200nm). جرى قياس عمر الحاملات الاقلية بطريقة اضمحلال فولتية الدائرة المفتوحة المحتثة ضوئيا وكان أطول عمر للحاملات الأقلية بحدود ( $51\mu\text{s}$ ) عند سمك غشاء (200nm). وبينت نتائج قياسات الاستجابية الطيفية ان الكواشف المصنعة تعمل ضمن المدى الطيفي ( $450\pm 1150\text{nm}$ ) بقميتين الاولى عند الطول الموجي ( $825\pm 25\text{nm}$ ) والثانية عند الطول الموجي ( $1075\pm 25$ ) كما وان اعلى قيمة للكشفية النوعية تم الحصول عليها بحدود ( $8.85 \times 10^{11} \text{cm.Hz}^{1/2}.\text{W}^{-1}$ ) عند الطول الموجي (850nm). وان اعلى كفاءة كمية تم الحصول عليها عند الطول الموجي (800nm) ولسمك غشاء (200nm) بحدود (9.8%).

## قائمة الرموز والمصطلحات

وحدة القياس	المصطلح	الرمز
Å	ثابت الشبكة	a
m/s	سرعة الضوء	c
F	سعة المتسعة	C
cm <sup>2</sup> /s	ثابت الانتشار للفجوات	D <sub>n</sub>
cm <sup>2</sup> /s	ثابت الانتشار للإلكترونات	D <sub>p</sub>
eV	فجوة الطاقة	E <sub>g</sub>
J.S	ثابت بلانك	h
A	ثابت ديراك	ħ
A/cm <sup>2</sup>	التيار	I
J/K	كثافة التيار	J
eV	ثابت بولتزمان	k <sub>B</sub>
μm	الفولتية المكافئة للحرارة	k <sub>B</sub> T/q
μm	طول انتشار الإلكترونات	L <sub>n</sub>
Kg	طول انتشار الفجوات	L <sub>p</sub>
-	الكتلة الفعالة	m*
cm <sup>-3</sup>	عامل المثالية	n
cm <sup>-3</sup>	تركيز الشوائب القابلة	N <sub>A</sub>
Watt	تركيز الشوائب المانحة	N <sub>D</sub>
Watt	القدرة	P
c	القدرة الضوئية المسلطة	P <sub>o</sub>
Ω	شحنة الإلكترون	q
Ω/□	المقاومة الكهربائية	R
A/W	المقاومة السطحية	R <sub>s</sub>
K	الاستجابة الطيفية	R <sub>λ</sub>
V	درجة الحرارة المطلقة	T
V	الجهد المسلط	V <sub>a</sub>

وحدة القياس	المصطلح	الرمز
V	جهد البناء الداخلي	$V_{bi}, V_D$
V	فولتية الدائرة المفتوحة	$V_{oc}$
A	تيار الدائرة القصيرة	$I_{sc}$
A	كثافة تيار الاشباع	$J_s$
W	القدرة المكافئة للضوء	NEP
Hz	التردد	f
A	التيار الضوئي	$I_{ph}$
A	تيار الظلام	$I_d$
A	تيار الضوء	$I_n$
$cm.Hz^{1/2}.w^{-1}$	الكثافة النوعية	$D^*$
$cm^{-3}$	تركيز الحاملات النقية	$n_i$
$cm^{-3}$	تركيز الحاملات الاغلبية (الفجوات)	$n_p$
$cm^{-3}$	تركيز الحاملات الاغلبية (الالكترونات)	$n_n$
m	الطول الموجي	$\lambda$
-	الكفاءة الكمية	$\eta$
$cm^2/V.s$	تحركية الالكترونات	$\mu_n$
$cm^2/V.s$	تحركية الفجوات	$\mu_p$
$\Omega.cm$	المقاومية	$\rho$
s	فترة حياة الحاملات الاقلية	$\tau$
$(\Omega.cm)^{-1}$	التوصيلية الكهربائية	$\sigma$
eV	دالة الشغل	$\phi$
eV	الالفة الاكترونية	$\chi$

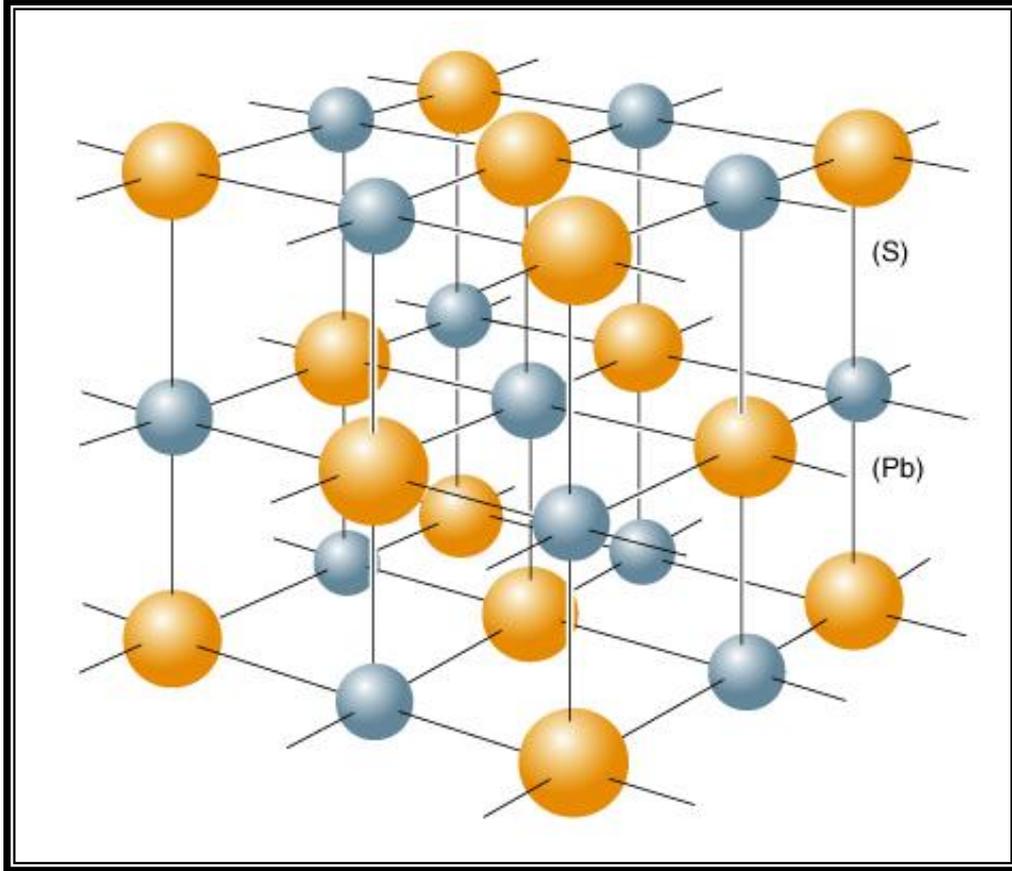
**1-1 المقدمة Introduction**

تعد تقنية الاغشية الرقيقة واحدة من أهم التقنيات التي ساهمت في تطوير دراسة أشباه الموصلات وأعطت فكرة واضحة عن العديد من خواصها الفيزيائية ويستخدم مصطلح الأغشية الرقيقة لوصف طبقة أو عدة طبقات من الذرات لايتعدى سمكها المايكرون الواحد [2,1]. ولأغشية الرقيقة استعمالات صناعية متعددة اذ تدخل في تركيب الاجهزة الالكترونية بشكل مقاومات وامتسعات وترانسستورات وغيرها وتعد أساساً لتصنيع الخلايا الشمسية والضوئية [3] وكما تدخل في صناعة الكواشف الكهروبصرية ضمن مديات طيفية.

تقسم المواد الصلبة من حيث توصيلتها الكهربائية الى ثلاثة اصناف، المواد العازلة والتي تكون توصيليتها واطئة جداً بحدود  $(10^{-18} - 10^{-8} (\Omega\text{cm}^{-1}))$  ، والمواد الموصلة وهي ذات توصيلة بحدود  $(10^3 - 10^6 (\Omega\text{cm}^{-1}))$  ، في حين هنالك زمرة كبيرة من المواد (عناصر ومركبات كيميائية) تقع توصيلتها بين المواد الموصلة والعازلة وتدعى بالمواد شبه الموصلة (Semiconductors)، وتقع توصيلتها الكهربائية ضمن المدى  $(10^{-8} - 10^3 (\Omega\text{cm}^{-1}))$  [5,4]. وفي الستينات اصبح واضحاً بأن استخدام المفارق الهجينة يساعد على تطوير نباتات اشباه الموصلات (Semiconductoer Devices) واستخداماتها في تطبيقات عديدة ، ابرزها (الدايود الباعث للضوء LED والخلايا الشمسية واول فكرة قام بها العالم اندرسن ( Anderson ) عام 1962 [6]. باستخدام ظاهرة تأثير النافذة ( Window effect ) وبفضل التطور الحاصل تم الحصول على خلية شمسية ذات كفاءة عالية تصل الى (20%) [7] .

**2-1 بعض الخواص الفيزيائية لمادة PbS, Si****Some of the physical properties of PbS – Si**

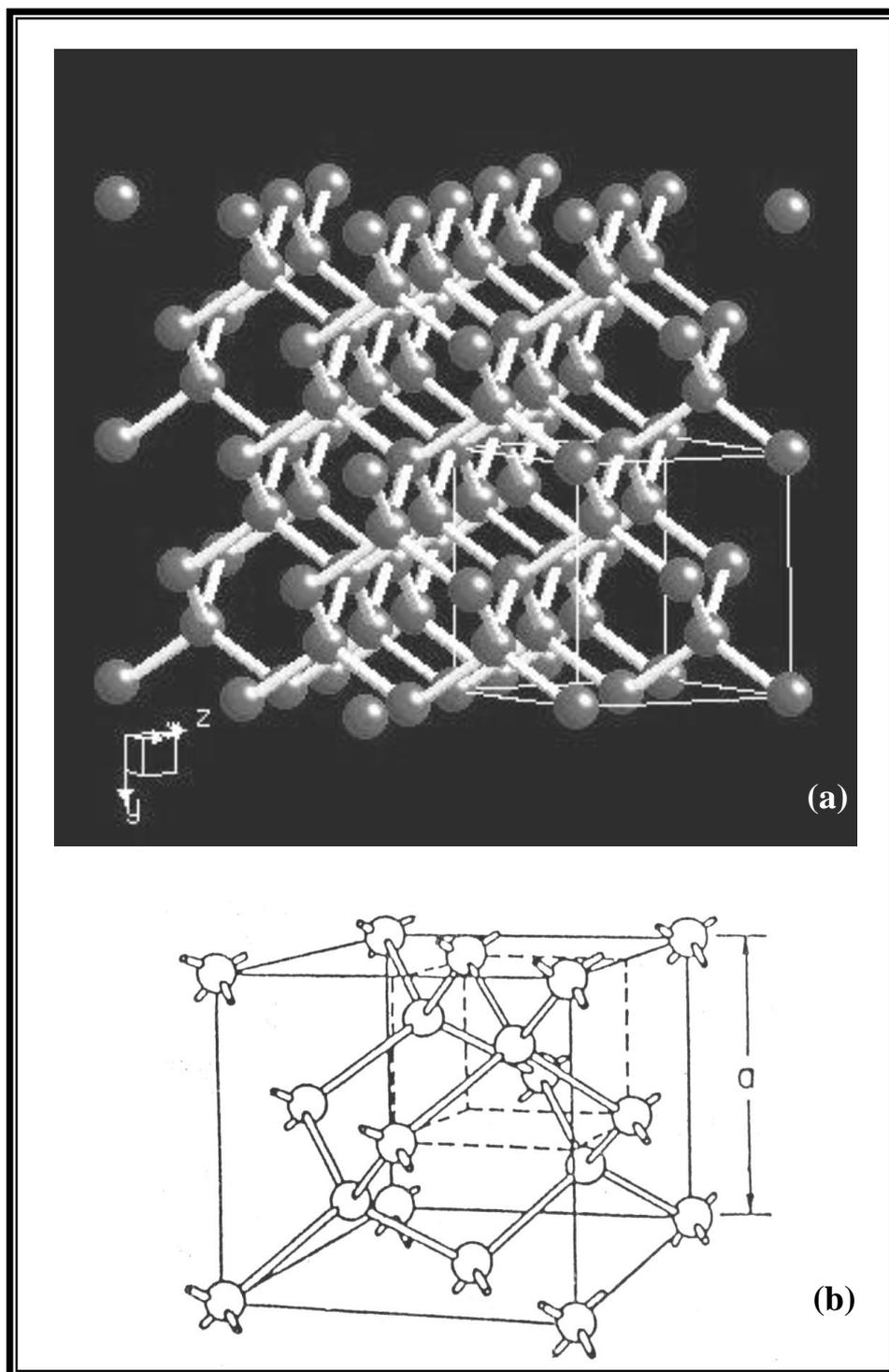
تعد أغشية كبريتيد الرصاص PbS من عناصر المجموعة (الرابعة-السادسة) (IV-VI) من الجدول الدوري [5]، وهي ذي تركيب بلوري مكعب (cubic) كما موضح بالشكل (1-1) وتكون وحدة الخلية من النوع متمركز الأوجه (F.c.c) ، اذ يحاط كل أيون كبريت بأربع ايونات رصاص وبمسافات متساوية مكوناً هيكلاً رباعياً منتظماً مركزه أيون الكبريت، اما الآصرة التي تربط بين ايونات الكبريت والرصاص فهي آصرة تساهمية ناتجة عن اشتراك الكترونين. إن مادة كبريتيد الرصاص ذات لون غامق مائل للسواد (غير شفاف) وهي مادة ذات فجوة طاقة مباشرة تقترب من (0.42 eV) عند درجة (300K) [8]. ولكبريتيد الرصاص قابلية ذوبان في الحوامض وهو لا يذوب في الكحول أو هيدروكسيد البوتاسيوم [9].



شكل (1-1) التركيب البلوري لمادة كبريتيد الرصاص (PbS) [10].

يعد السيليكون المادة الأكثر توفراً في العالم بعد الأوكسجين حيث ان مركبات السليكا (الرمل) والسليكات تمثل 25% من مادة القشرة الأرضية، وهو من عناصر المجموعة الرابعة (IV) من الجدول الدوري، والسيليكون هو أرخص المواد الشبه موصلة الداخلة في صناعة النبائط مقارنة بالمواد شبه الموصلة الأخرى وهو ذات تركيب بلوري يعرف بمشبك الماس (diamond lattice) [5].

ويوضح الشكل (2-1) التركيب البلوري للماس والتركيب البلوري لمادة السيليكون، وإن فجوة الطاقة له (1.12 eV) عند درجة (300K) ويبين الجدول (1-1) بعض الخصائص المهمة لمادتي السيليكون وكبريتيد الرصاص.



شكل (2-1) التركيب البلوري [10,51]

a - الماس

b - السليكون

جدول (1-1) بعض الخصائص المهمة لمادة  $PbS$  &  $Si$  [14,13,12,10,9].

Properties	Materials	
	PbS	Si
Formula Weight gm/mol.	239.25	28.08
Density gm/cm <sup>3</sup>	7.5	2.33
Melting point °C	1114	1415
Boiling point °C	-	2680
Coefficient of & linear Expansion at 300k °C <sup>-1</sup>	2.03*10 <sup>-5</sup>	2.44*10 <sup>-6</sup>
Energy Gap at 300 K(eV)	0.41	1.12
Gap Transition	Direct	Indirect
Electron Affinity (eV)	4.21	4.01
Mobility of Electrons at 300K (cm <sup>2</sup> /V.Sec)	500	1500
Mobility of Holes at 300K (cm <sup>2</sup> /V.Sec)	600	450
Effective Mass Electron	0.25	0.98
Effective Mass Holes	0.25	0.16
Work function at 300K (eV)	4.53	4.48
Lattice Mismatch (%) Si – PbS	8.9	
Dielectric Constant (Relative)	17.0	11.9
Lattice Constant (Å)	5.936	5.4309
Colour	Black	Grey-metallic

## 3-1 بعض الملاحظات عن المفروق الهجين:

يرمز للمفروق الهجين بثلاثة هيئات فهي كالاتي:

- (1) يشار بحرف كبير (Capital Letter) لتوصيلة المادة ذات فجوة الطاقة الكبيرة وبحرف صغير (Small Litter) للمادة ذات الفجوة الصغيرة [15]، مثل  $[(n-P)Ge-Si]$ .
- (2) يكتب رمز المادة ذات فجوة الطاقة الصغيرة في الجهة اليمنى من علامة (-) (Dash) ويكتب رمز المادة ذات فجوة الطاقة الكبيرة في الجهة اليسرى من العلاقة [16]، مثل  $(Si-Ge-Si, PbS)$ .
- (3) تفصل العلامة (/) (Slash) بين رمزي المادتين شبه الموصلتين، وتكتب بالجهة اليسرى من العلامة رمز مادة الغشاء الرقيق وفي الجهة اليمنى من العلامة تكتب رمز مادة القاعدة [17]، مثل  $(PbS/Si, Zno/Si, Ge/Si)$ .

## 4-1 طرق تصنيع المفارق الهجينة

**Methods of Fabrication of Hetrojunction**

بصورة عامة تحضر المفارق الهجينة بالأنماء الفوقي ( Epitaxial Growth ) لمادة شبه موصلة واحدة على مواد شبه موصلة مختلفة. تعد طريقة التصنيع مهمة في تحديد خصائص المفارق الهجين. يتوفر عدد كبير من تقنيات التصنيع وتصنف طرائق التصنيع كالاتي [18,16]:

1- طريقة التبخير في الفراغ.

لطريقة التبخير في الفراغ توجد عدة تقنيات يمكن من خلالها تصنيع المفارق الهجين مثال ذلك:

Single Evaporation Technique	( a ) تقنية التبخير المفرد
Coevaporation Technique	( b ) تقنية التبخير الثنائي
Flash Evaporation Technique	( c ) تقنية التبخير الوميضي
Sputterin Method	2- طريقة التريذ
Molecular Beam Epitaxy Method	3- طريقة الانماء بالحزمة الجزيئية
Alloying Method	4- طريقة التسيبك
Laser-Induced Epitaxy Method	5- طريقة الانتشار المحتث بالليزر
Solution Growth Method	6- طريقة محلول الانماء
Chemical Vapour-Transport Method	7- الطريقة الكيميائية بانتقال البخار
Chemical Method	8- الطريقة الكيميائية

ويمكن تقسيم هذه الطريقة الى اربع تقنيات كالاتي :

Electrical Deposition Technique	( a ) تقنية الترسيب الكهربائي
Chemical-Deposition Technique	( b ) تقنية الترسيب الكيميائي
Chemical- Displacement Technique	( c ) تقنية الإزاحة الكيميائية
Chemical-Spory Pyrolysis Method	( d ) تقنية الرش الكيميائي الحراري

وتم الاعتماد في دراستنا هذه استخدام تقنية الرش الكيميائي الحراري في تصنيع مفارق هجين لمادة (PbS/Si)، حيث تستخدم هذه الطريقة في تحضير اغشية مواد ذات درجة انصهار عالية يتعذر تحضيرها بالطرق الاخرى، لرفع امكانية الحصول على غشاء ذات تجانس جيد وبمساحات كبيرة.

## 5-1 مميزات تقنية الرش الكيميائي الحراري:

على الرغم من بساطة هذه التقنية الا ان هذه الاغشية التي تحضر بواسطة هذه التقنية لها مميزات عديدة [22,21,20,19]:

- 1 - طريقة غير مكلفة (اقتصادية).
- 2 - لا تحتاج الى أجهزة معقدة.
- 3 - الاغشية المحضرة بهذه الطريقة تمتلك استقرارية عالية في صفاتها الفيزيائية.
- 4 - بالامكان تحضير اغشية من مزج مادتين او اكثر وبنسب مختلفة.
- 5 - الاغشية المحضرة شديدة الالتصاق.
- 6 - بالامكان تصنيع عينات ذات مساحات كبيرة.
- 7 - سهولة الترسيب.
- 8 - تمكنا من تحقيق معدل ترسيب عالي.
- 9 - تنتج نبائط غير مكلفة.
- 10 - سهولة التعامل معها.

#### 6-1 الدراسات السابقة الخاصة بأغشية **PbS**:

هنالك دراسات عديدة اجريت على أغشية ( **PbS** ) الرقيقة ولظروف تحضير مختلفة لدراسة خواصها البصرية والتركيبية والكهربائية فضلاً عن استخدامها في تصنيع مفارق هجينة (الدراسة الحالية) ودراسة خصائصه الفولتائية الضوئية وتوضيفها للعمل ككاشف لمدى طيفي معين من الأشعة الكهرومغناطيسية من خلال اجراء قياسات الاستجابية الطيفية والكشفية .

□ قام كل من الباحثون ( **ELABD,STECKL & VIDINSKI** ) عام (1979/1980) بدراسة تأثير اتجاهية القاعدة (Substrate Orientation) على خصائص المفرك الهجين نوع (PbS/Si) المحضرة بطريقة الترسيب الكيميائي، وبأستخدام تقنية حيود الاشعة السينية (X-ray Diffraction)، أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية ان أغشية ( **PbS** ) المرسبة على قواعد سليكونية ذات اتجاهية (111) متعدد التبلور وله قمتان متغلبتان باتجاهية (311,220)، أما على قواعد سليكونية (100) فهو أيضاً ذا تركيب متعدد التبلور وله قمة واحدة متغلبة باتجاهية (200) [23].

□ قام الباحثان ( **STECKL & SHEV** ) عام (1980) بقياسات المسامحية المتناوبة (AC ADMITACE) كدالة للتردد وجهد الانحياز ودرجة الحرارة للمفرك الهجين نوع

P-n PbS-Si المحضر بطريقة التبخير (Evaporation) ويسمك غشاء (4500Å) مرسب على قواعد سليكونية ذات اتجاهية (100) ومقاومية (5-10 Ωcm)، وبعد اجراء الفحوصات الخاصة بالقياس وجدا ان كلاً من مركبات الموصلية والتقبلية الكهربائية للمفرق معتمدة على التردد [24].

□ درس الباحث (ANDREW) وجماعته عام (1980) الخواص البصرية والكشفية للمفرق الهجين نوع (PbS-Si) المحضر بطريقة الترسيب الكيميائي في درجة حرارة الغرفة، تم قياس فجوة الطاقة والبالغة (0.42eV) وحصلوا على أعلى كشفية للإشارة بقيمة  $(1 \cdot 10^{11} \text{ cm.Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1})$  عند درجة 85K. اما الاستجابية الطيفية كانت أعلى قمة لها عند الهول الموجي (1μm) و (1.5μm)، جرت القياسات اعلاه بأستخدام السيلكون نافذة لغشاء (PbS) [25].

□ قام الباحثين (ELABD & STECKE) عام (1980) بدراسة الفحوصات التركيبية للمفرق الهجين نوع (PbS-Si) والمحضرة بطريقة التحلل الكيميائي (Chemical Solution) على قواعد سليكونية احادية التبلور بواسطة المجهر الالكتروني (Electron Spectroscopy) وحيود الاشعة السينية ومطياف الكترونات أوكر (Auger Electron Spectroscopy) واطهرت نتائج القياسات ان غشاء (PbS) المحضر هو ذا تركيب متعدد التبلور ان حجم البلورات واتجاهية تبلورها معتمدة على اتجاهية القاعدة، كما اظهرت نتائج الدراسة عدم فعالية المعاملة الحرارية ودرجات الحرارة المنخفضة للكشف عن تركيبية الغشاء [26].

□ تمكن الباحث (SARMA) وجماعته عام (1982) من تحضير غشاء رقيق من المزيج  $\text{PbS}_x\text{Se}_{x-1}$  بواسطة تنمية المحاليل (Solution Growth Technique)، ثم درست خواصها التركيبية بتقنيات مختلفة وامكانية تصنيع ثنائي شوكي ومفرق نوع (Si/PbS<sub>x</sub>Se<sub>x-1</sub>) [27].

□ قام الباحث (SARMA) ومجموعته عام (1984) بتصنيع مفرق هجين نوع (PbS<sub>x</sub>Se<sub>x-1</sub>) بطريقة الانماء المحلولي وبنسب (0.1 < X < 1) بدرجة حرارة الغرفة، ودرسوا الخصائص الكهربائية (تيار جهد) و(وسعة جهد) فضلاً عن الاستجابية الطيفية وحصلوا على أعلى استجابية عند تسليط الاشعة عليها من جهة السيلكون عند الطول الموجي (1μm) وكذلك تم أستخدام نموذج اندرسن لرسم مخطط الطاقة للمفرق [28].

□ درس كل من (PETROV&PROKHOROW) عام (1984) الخصائص الكهرو بصرية لأغشية PbS بأستخدام حيود الأشعة السينية ومطياف الكترونات اوكر والمجهر الإلكتروني اثبتوا ان التركيب البلوري لأغشية (PbS) متعدد التبلور (Polycrystalline) [29].

□ حضر الباحث (KILMAKOW) وجماعته عام (1986) أغشية (n-PbS) المشوب بمادة الثاليوم TI من خلال تعريض أغشية PbS ببخار TI بدرجة حرارة (650°C)، ودرسوا توزيع التشويب على سطح الغشاء وكذلك لاحظوا بأن التشويب يقلل من قيمة ثابت الشبكية لغشاء (n-PbS) [30].

□ قام الباحث (PINTILIE) وجماعته عام (1995) بدراسة الخصائص الفولتائية الضوئية للمفرق الهجين نوع PbS-Si-Au المحضر بالطريقة الكيميائية على قواعد سليكونية من النوع السالب (n-type Silicon Substrats) وخصائص (تيار-جهد) و (وسعة-جهد) كما تم حساب فجوة الطاقة والبالغة (0.42eV) عند درجة حرارة الغرفة (RT) ونقصان قيمتها تدريجياً إلى (0.3eV) عند درجة حرارة النتروجين (NT)، وأعلى كشفية للأشارة تم الحصول عليه هي (2\*10<sup>11</sup> cm.Hz<sup>1/2</sup>.W<sup>-1</sup>) عند (RT) [31].

□ قام الباحث علي فؤاد الأمين عام (1996) بدراسة الخواص الضوئية والتركيبية لأغشية PbS وCdS المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري المرسب على قواعد من الكوارتز وتمكن من حساب فجوة الطاقة المباشرة المسموحة من طيف الامتصاصية والبالغة (2.180eV) ومن طيف النفاذية (2.181eV) وفجوة الطاقة المباشرة الممنوعة البالغة (1.840eV) وبأستخدام تقنية حيود الأشعة السينية وجد ان الأغشية المحضرة ذات تركيب بلوري متعدد التبلور [32].

□ تمكن كل من (THANGARAJU & KALIAMAN) عام (2000) من تحضير أغشية PbS المرسبة على الزجاج وعلى قواعد من (FTO) بأستخدام تقنية الرش الكيميائي الحراري (Spray Pyrolysis Technigue) ودُرس التركيب البلوري للغشاء وظهرت نتائج الفحوصات التركيبية ان غشاء PbS هو ذا تركيب بلوري متعدد التبلور ومن خلال القياسات البصرية والكهربائية تبين أن أغشية PbS تعمل ضمن المدى الطيفي (400-2500nm) وذات توصيلية كهربائية مانحة n-type وبقيمة (10<sup>-4</sup> Ωcm<sup>-1</sup>) [33].

□ تمكن الباحث (محمد سلمان محمد) عام (2000) من تصنيع كاشف المفرق الهجين نوع (PbS/Si) بطريقة التبخير الحراري في الفراغ، كما درس تأثير التلدين التقليدي والتلدين السريع على الخصائص الكهربائية والفولتائية الضوئية للكاشف وظهرت نتائج قياسات (تيار-جهد) حصوله على معامل المثالية (1.4)، وبين نتائج خصائص (سعة-جهد). ان المفرق المصنع من النوع الحاد ومن خلال دراسة الخصائص التركيبية للمفارق المصنعة تبين أن الغشاء المرسب متعدد

التبلور باتجاهية ( 111 ) وحصل على اعلى كشفية نوعية عند درجة حرارة الغرفة عند الطول الموجي (850nm) بحدود  $(7.2 \cdot 10^{12} \text{ cm Hz}^{1/2} \text{ W}^{-1})$  [34] .

### 7-1 هدف الدراسة :

تهدف الدراسة الحالية الى بحث امكانية تصنيع مفرق هجين نوع ( PbS/Si ) بطريقة الترسيب الكيميائي الحراري ( CSP ) ودراسة خصائصه الكهربائية والفولتائية الضوئية والتركيبية واختيار الظروف المثلى لتصنيعه. وبحسب علمنا انها المحاولة الاولى لتصنيع هذا النوع من المفارق الهجينة بهذه الطريقة. كما تهدف الدراسة إلى إمكانية استخدام المفرق ليعمل ككاشف للأشعة الساقطة عليه ولمدى وللمنطقة الطيفية المرئية وتحت الحمراء القريبة من خلال إجراء قياسات الاستجابية الطيفية والكشفية.

**1-2 المقدمة Introduction**

نظراً لما تمتاز به المفارق الهجينة من خصائص عديدة مما جعلتها تحتل الصدارة في صناعة نباتات اشباه الموصلات . ففي الستينيات من القرن الماضي أصبح واضحاً قدرة المفارق الهجين على تطوير تلك النباتات وادخلت مجالات تطبيقية مختلفة، مثل الخلايا الشمسية والدايود الباعث للضوء (LED) [6] والترانسستور [17] وليزر اشباه الموصلات [35] وأول فكرة قام بها (Anderson) عام 1962 [6]. وبفضل العمل المستمر من قبل الباحثين فقد تمكنوا من صنع اول ليزر لاشباه الموصلات باستخدام تقنية (المفارق المزدوج) [35] ، وكذلك توظيف المفارق الهجينة لتعمل ككواشف [24]. وتمتاز المفارق الهجينة بعدة مميزات [35,17]:

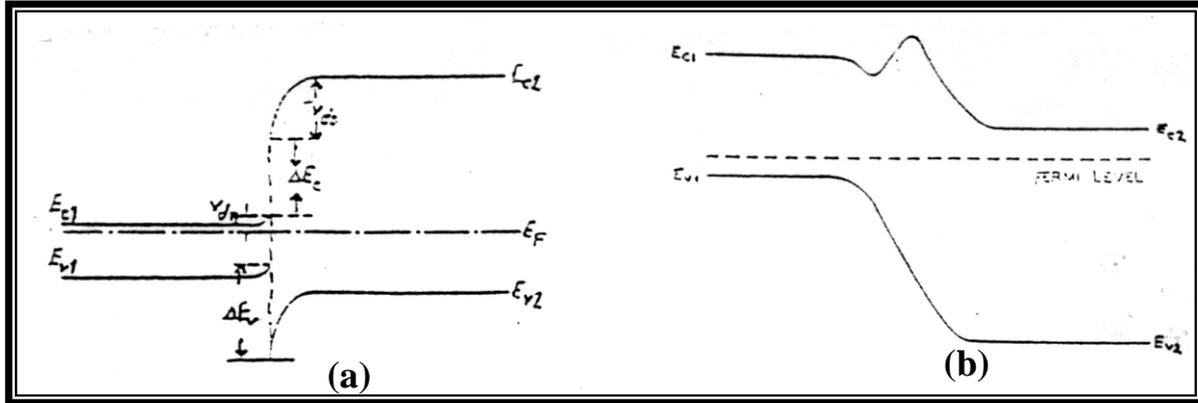
- 1- قلة التكاليف.
- 2- سهولة التصنيع باستخدام عدد من التقنيات.
- 3- لا تحتاج الى رفع درجة الحرارة اثناء عملية التكوين أي يمكن تحضيرها عند درجة حرارة الغرفة.
- 4- يمكن تصنيع مفارق هجين متماثل n-n او p-p بينما لا يمكن أن نحصل عليه في حالة المفارق المتجانس (Homojunction).
- 5- تمتاز المفارق الهجينة بكفاءة حقن عالية لكل من الالكترونات والفجوات اعتماداً على فجوة الطاقة للمادتين شبه الموصلتين.
- 6- بواسطة المفارق الهجين يمكن تحقيق ظاهرة تأثيرالنافذة (Window Effect).
- 7- امكانية تصنيع نباتات المفارق على شكل اغشية رقيقة.

**2-2 المفارق الهجينة Heterojunctions**

يعرف المفارق الهجين على انه اتصال حميمي (Intimate Contact) بين مادتين شبه موصلتين مختلفتين في الخواص الكهربائية والمتمثلة ب(فجوة الطاقة، الالفة الالكترونية، وثابت العزل الكهربائي، ودالة الشغل) [36,14]. فضلاً عن وجود فارقاً في ثوابت الشبكية وهذا مايسمى باللاتوافق الشبكي (Lattice Mismatch) [25] كما هو الحال في هذه الدراسة. ويمكن تصنيف المفارق الهجينة اعتماداً على:

- 1 - نوع التوصيلة الكهربائية على كل جانب من المفارق:  
إذا كانت كلتا المادتين شبه موصلتين لهما نفس التوصيلة فإن هذا النوع من المفارق يسمى بالمفارق الهجينة المتماثلة ( Isotype Heterojunctions ) مثال ذلك (n-n او p-p) وخلافاً لذلك فإن المفارق يكون من النوع غير المتماثل ( Anisotype Heterojunctions ) مثال ذلك (n-p او p-n) [37].

2 - حسب المسافة التي تنتقل بها الشحنات من أحد المواد الى الأخرى:  
 يمكن تصنيف المفارق الهجينة حسب المسافة التي تنتقل بها الشحنات بين مادتي المفارق إلى نوعين المفارق الهجين الحاد ( Abrupt Heterojunction ) والمفارق الهجين المتدرج ( Graded Heterojunction ) وذلك حسب المسافات عند الانتقال بالنسبة للشحنات من إحدى المادتين إلى الأخرى قرب السطح البيني الفاصل [16] وكما موضح في الشكل (1-2).



شكل (1-2) مخطط حزمة الطاقة للمفارق الهجين

a - الحاد n-p [38].

b - المتدرج p-n [16].

### 3-2 مخطط حزمة الطاقة للمفارق الهجين

#### Energy Band Diagram of Heterojunction

أول المفارق الهجينة المتماثلة وغير المتماثلة صنف من قبل ( Anderson عام 1960 ) الذي بين فيه تفاصيل حزمة الطاقة القريبة من السطح الفاصل ( Interface ) بين المادتين الشبه موصلتين [16] . إذ يعد أنموذجه للمفارق الحاد غير المتماثل ( Anisotype ) هو النموذج الأساسي الذي يعطي الأداء الأمثل للمفارق الهجين بالمقارنة مع السلوك العملي [40,39,6].

الشكل (a-2-2) يبين مخطط الطاقة لمادتين شبه موصلتين منفصلتين (مفارق هجيني معزول)، حيث ان  $E_g$  فجوة الطاقة و  $E_f$  مستوى فيرمي و  $E_v$  حافة حزمة التكافؤ و  $E_c$  حافة حزمة التوصيل و  $\epsilon$  ثابت العزل و  $\chi_{sc}$  الألفة الإلكترونية لشبه الموصل التي تعرف (بأنها الطاقة اللازمة لنقل الإلكترونات من حافة حزمة التوصيل الى مستوى الفراغ) و  $\Phi_{sc}$  دالة الشغل (الطاقة اللازمة لنقل الإلكترونات من مستوى فيرمي للمادة الشبه موصلة الى مستوى الطاقة في الفراغ)

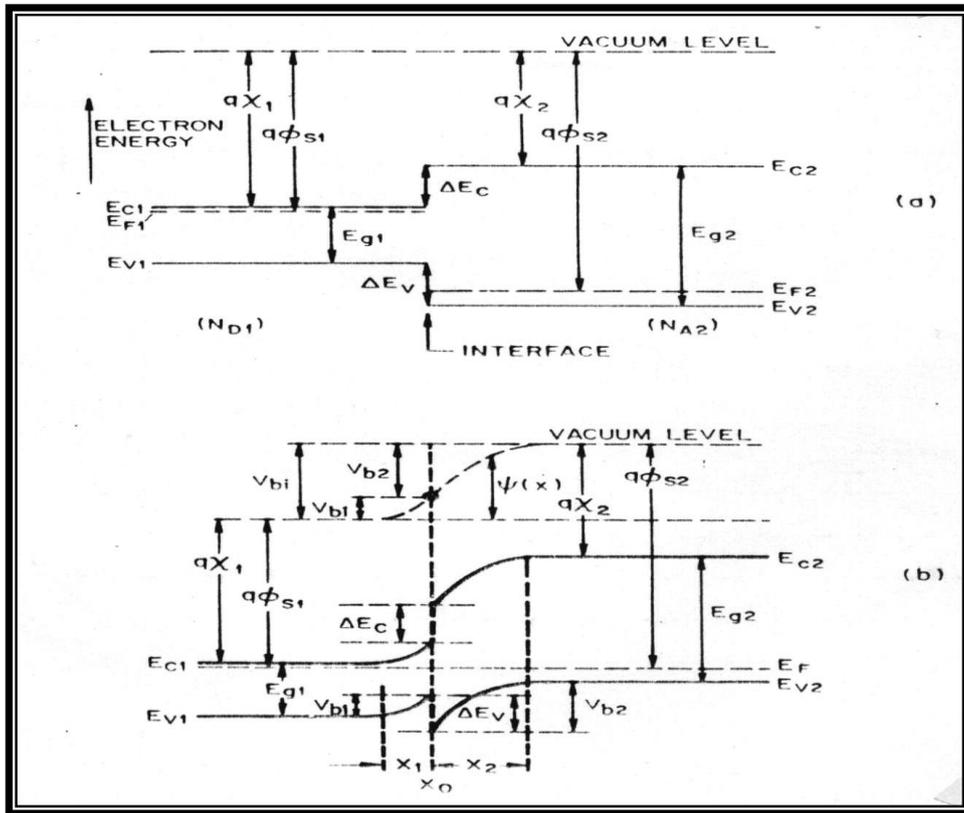
(Vacuum Level) الشكل (b-2-2) يبين مخطط الطاقة لمادتين حيث يتساوى مستوى فيرمي للمادتين أثناء الاتصال الحميمي (مفرق هجين عند التوازن) [35,7,6]. ويمثل  $(V_{bi})$  الفرق بين دالتي الشغل للمادتين وهو جهد البناء الداخلي الكلي [39,6]. ونلاحظ من خلال الشكل (2-2) عدم استمرارية (Discontinuity) كلاً من حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ. وتمثل  $(\Delta E_c)$  و  $(\Delta E_v)$  الفرق في حافتي التوصيل والتكافؤ على التوالي [6,17] ويمكن حسابها من المعادلات [6]:

$$\Delta E_c = \chi_1 - \chi_2 \dots\dots\dots (1-2)$$

$$\Delta E_v = (E_{g2} - E_{g1}) - (\chi_1 - \chi_2) \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\Delta E_c + \Delta E_v = E_{g2} - E_{g1} \dots\dots\dots (3-2)$$

حيث ان  $E_{g2}$  و  $E_{g1}$  تمثلان فجوتي الطاقة للمادة المانحة والقابلة على التوالي.  $\chi_2$  و  $\chi_1$  الآلفة الإلكترونية للمادتين القابلة والمانحة على التوالي.



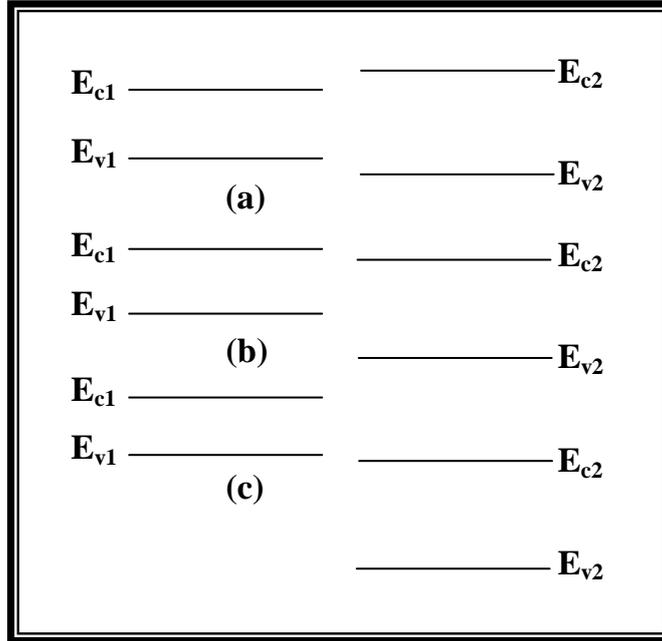
شكل (2-2) مخطط حزم الطاقة [6].

a - مادتين شبه موصلتين معزولتين (مفرق هجين معزول).

b - مفرق هجين (n-p) في حالة الاتزان الحراري.

إن لتركيب حزم الطاقة للمفرق الهجين أهمية في تحديد خواص المفرق الهجين ويوضح الشكل (3-2) الاحتمالات الثلاث لتداخل حزم الطاقة بين المادتين الشبه موصلتين حيث نلاحظ من الشكل (a-3-2) إن فجوة الطاقة الممنوعة (Forbidden bandgap) الكبيرة تتداخل كلياً مع

فجوة الطاقة الممنوعة الصغيرة ومثل هذا النوع من المفارق الهجينة يدعى بالمتلابس (Straddling) واما النوع الثاني فيدعى المائل بشدة (Stagger) كما في الشكل (b-3-2) والنوع الثالث يدعى مكسورة الفجوة (Brokengap) وكما في الشكل (c-3-2) [15].



شكل (3-2) احتمالات تداخل حزم الطاقة للمفارق الهجين [15].

- a- المتلابس *Straddling*  
 b- المائل بشدة *Staggered*  
 c- مكسورة الفجوة *Broken gap*

### (1-3-2) المفارق الهجينة الحادة *Abrupt Heterojunction*

تقسم المفارق الهجينة إلى نوعين مفارق هجينه حادة غير المتماثلة ومفارق هجينه حادة متماثلة.

#### (1-1-3-2) مفارق هجينه حادة غير المتماثلة

#### *Abrupt Aniso Type Heterojunctions*

هذه الأنواع من المفارق أما ان تكون  $p-n$  او  $n-p$  هي نبات الحاملات الأقلية (Minority Carrier Devices) ويمكن اعتباره تدرجاً لنماذج المفارق المتجانسة (Homojunctions) وتختلف خواص السطح الفاصل في المفارق الهجين تبعاً للمادة المستخدمة واعتماداً على طريقة التكوين [ 16]، تم اقتراح هذا المفهوم من لدن العديد من الباحثين والتي

توضح ميكانيكية انتقال حاملات الشحن في المفارق الهجينة غير المتماثلة والمحضرة بطرق مختلفة. والنماذج هي [16,6]:

1. أنموذج الانتشار Diffusion Model.
2. أنموذج الانبعاث Emission Model.
3. أنموذج الانبعاث - إعادة الاتحاد Emission-Recombination Model.
4. أنموذج الاختراق Tuneling Model.
5. أنموذج الاختراق - إعادة الاتحاد Tuneling-Recombination Model.

### 1- أنموذج الانتشار Diffusion Model

إن أول من طور هذا النموذج العالم ( Anderson ) [16,6] وقد أهمل تأثيرات ثنائيات الأقطاب ( Effects of Dipoles ) وحالات السطح الفاصل (Interface-States) وكما موضح في الشكل ( 4-2 ) الذي يمثل حالات الاتزان للمفرق الهجين غير المتماثل.

ويمكن حساب عرض منطقة النضوب في أي جانب منه من العلاقة [41,15] :

$$X_0 - X_1 = \left[ \frac{2N_{A1}\epsilon_1\epsilon_2(V_{bi} - V_a)}{qN_{D2}(\epsilon_1N_{A1} + \epsilon_2N_{D2})} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(4-2)$$

$$X_2 - X_0 = \left[ \frac{2N_{D2}\epsilon_1\epsilon_2(V_{bi} - V_a)}{qN_{A1}(\epsilon_1N_{A1} + \epsilon_2N_{D2})} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(5-2)$$

حيث ان :

$X_0$  عرض الانتقال في أي جانب للسطح الفاصل (  $X_0-X_1$  ) و (  $X_2-X_0$  ) عرض منطقة النضوب في الجانب المانح والجانب القابل على التوالي.  $\epsilon_2, \epsilon_1$  ثابت العزل الكهربائي للمادتين المانحة والقابلة على التوالي.  $N_{D2}$  و  $N_{A1}$  تركيز القابلات والمانحات للمادة شبه الموصلة القابلة والمانحة على التوالي.  $V_a$  الفولتية الخارجية المسلطة.  $V_{bi}$  جهد البناء الداخلي.

وان عرض منطقة النضوب (W) يمكن ايجاده من خلال العلاقة التالية [41]:

$$W = (X_2 - X_0) + (X_0 - X_1) \dots\dots\dots(6-2)$$

$$W = \left[ \frac{2\epsilon_1 \epsilon_2 (V_{bi} - V_a)(N_{A1} + N_{D2})^2}{(\epsilon_1 N_{D2} + \epsilon_2 N_{A1}) N_{D2} N_{A1}} \right]^{1/2}$$

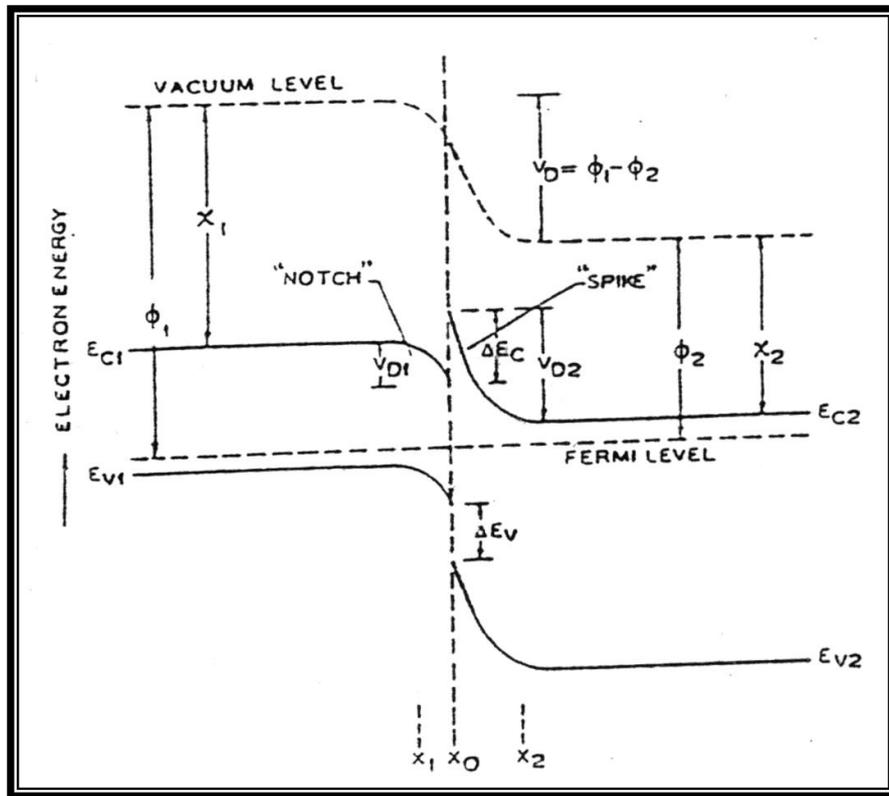
وان العلاقة بين جهد البناء الداخلي لكلتا المادتين  $(V_{bi2}, V_{bi1})$  هي [43,42]:

$$\frac{V_{bi1}}{V_{bi2}} = \frac{N_{D2} \epsilon_2}{N_{D1} \epsilon_1} \dots \dots \dots (7-2)$$

كما وان سعة منطقة النضوب تعطى بالعلاقة [45,44]:

$$C = \left[ \frac{a^2 q N_{A1} N_{D2} \epsilon_1 \epsilon_2}{2(\epsilon_1 N_{A1} + \epsilon_2 N_{D2})(V_{bi} - V_a)} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (8-2)$$

حيث  $a$  يمثل مساحة المفروق.



شكل (4-2) مخطط حزمة الطاقة للمفروق الهجين الحاد غير المتماثل  $p.n$  في حالة الاتزان [16].

أفترض العالم (Anderson) في هذا الأنموذج انه بسبب عدم الاستمرار في حافة الحزم عند السطح الفاصل فإن تيار الانتشار يتكون من الإلكترونات والفجوات (Holes and Electrons). ان حاملات التيار المسيطرة هي الإلكترونات لأن حاجز الإلكترونات هو اصغر بكثير مما هو عليه في الفجوات وبإهمال تيار التولد - إعادة الاتحاد فإن العلاقة بين التيار الفولتية تعطى بالعلاقة [47,46].

$$I = A \exp(-qV_{bi2} / k_B T) [\exp(qV_2 / k_B T) - \exp(-qV_1 / k_B T)] \dots\dots (9-2)$$

حيث :  $V_1, V_2$  جزء من الفولتية المسلطة عبر المادة شبه الموصلة p-n على التوالي،  
 $k_B$  ثابت بولتزمان ،  $T$  درجة الحرارة المطلقة.

والمعامل (A) يمثل بالعلاقة:

$$A = aqXN_{D2} \left( \frac{D_{nl}}{\tau_{nl}} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (10-2)$$

حيث :  $X$  معامل النفاذية للإلكترونات خلال الطبقة الفاصلة

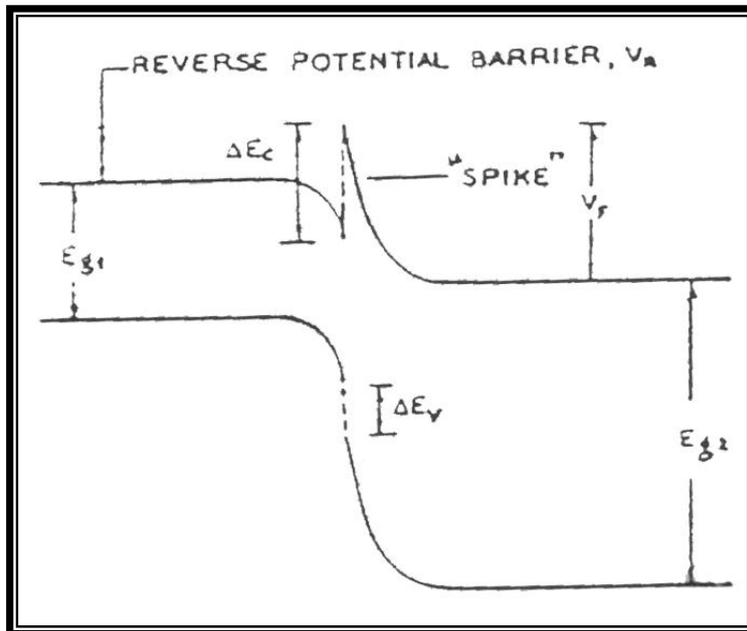
$D_{nl}, \tau_{nl}$  ثابت الانتشار وفترة حياة الحاملات للإلكترونات في المادة شبه الموصلة ذات التوصيلة القابلة.

وسيمم التطرق بشكل مختصر الى بقية النماذج مقتصرأ على عرض مخطط الطاقة وخصائص (تيار- جهد).

## 2- نموذج الانبعاث Emission Model

اقترح هذا الأنموذج من قبل العالمين ( PERIMAN & FEUCHT [16] والشكل 5-)

(2) يوضح مخطط حزمة الطاقة غير المتوازن لمفرق هجين الحاد غير المتماثل.



شكل (5-2) مخطط حزمة الطاقة لمفرق هجين حاد غير المتماثل p-n عند الانحياز [16].

ويمكن التعبير عن خصائص تيار. جهد وبإهمال تيار التولد . إعادة الاتحاد لمنطقة فضاء الشحنة ، لمفرق هجين p-n بالعلاقة [16]:

$$I = \frac{I_s [\exp(qV / k_B T) - 1]}{1 + (I_s / I_d)} \dots\dots\dots (11-2)$$

حيث V يمثل الفولتية المسلطة

$I_d$  تيار الانبعاث المحدد

$I_s$  تيار الأشباع ويمكن تمثيله بالعلاقة الآتية:

$$I_s = aqN_{D1} \left( \frac{D_{nl}}{\tau_{nl}} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (12-2)$$

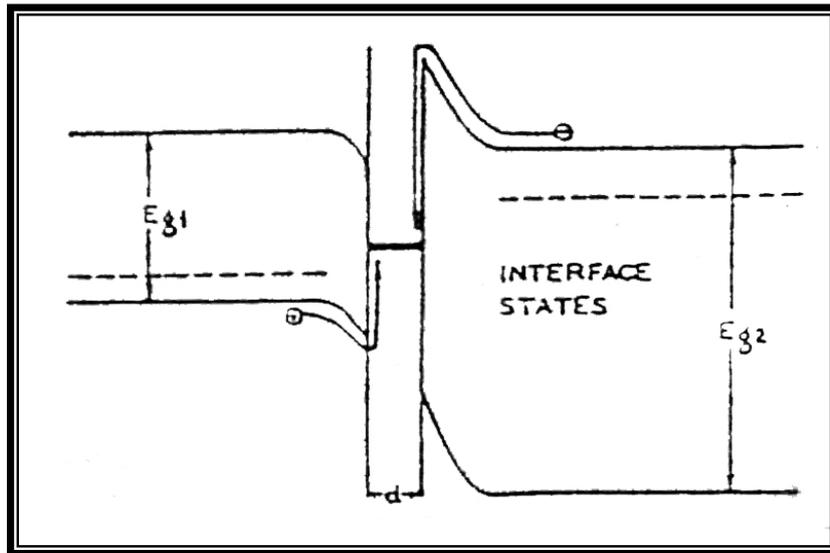
$N_{D1}$  يمثل تركيز المانحات في المادة الشبه موصلة ذات التوصيلة القابلة p-type

فإذا كان  $I_s \ll I_d$  فإن التيار الكلي يمكن اعتباره ناتج من دايدو شوكلبي المتجانس (Shockley's p-n homodiode) [48].

أما إذا كان  $I_s \gg I_d$  ففي هذه الحالة يشابه نظرية ثنائي الانبعاث الناتج من دايدو شوكلبي [47].

### 3- نموذج الانبعاث - إعادة الاتحاد Emission – Recombination Model

إقترح هذا الأنموذج من قبل العالم ( Dolega ) [16]، والشكل (6-2) يوضح مخطط الطاقة لأنموذج الانبعاث - إعادة الاتحاد لمفرق هجين p-n.



شكل (6-2) مخطط الطاقة لمفرق هجين p-n نموذج الانبعاث - إعادة الاتحاد [16] .

وإن صيغة ( Dolega ) المعقدة الخصائص تيار - جهد الأمامي عبر عنها العالم (Van Opdorop) بالصورة المبسطة [16]:

$$I = I_s \left[ \exp\left(\frac{qV}{nk_B T}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots (13-2)$$

$$I_s = B \exp\left(-\frac{qV_D}{nk_B T}\right) \dots\dots\dots (14-2)$$

حيث B ثابت يعتمد في درجات الحرارة الواطنة.  
n عامل يعتمد على نسبة كثافة الشوائب للمادتين شبه الموصلتين .

#### 4- أنموذج الاختراق Tunneling Model

وضحت ميكانيكية الاختراق للمفرق الهجين الحاد غير المتمائل (REDLKER STOPEK & WORLD). ويمكن التعبير عن خصائص تيار-جهد في p-n من قبل الانحياز الأمامي بالعلاقة [16] :

$$I = I_s (T) \exp(V/V_0) \dots\dots\dots (15-2)$$

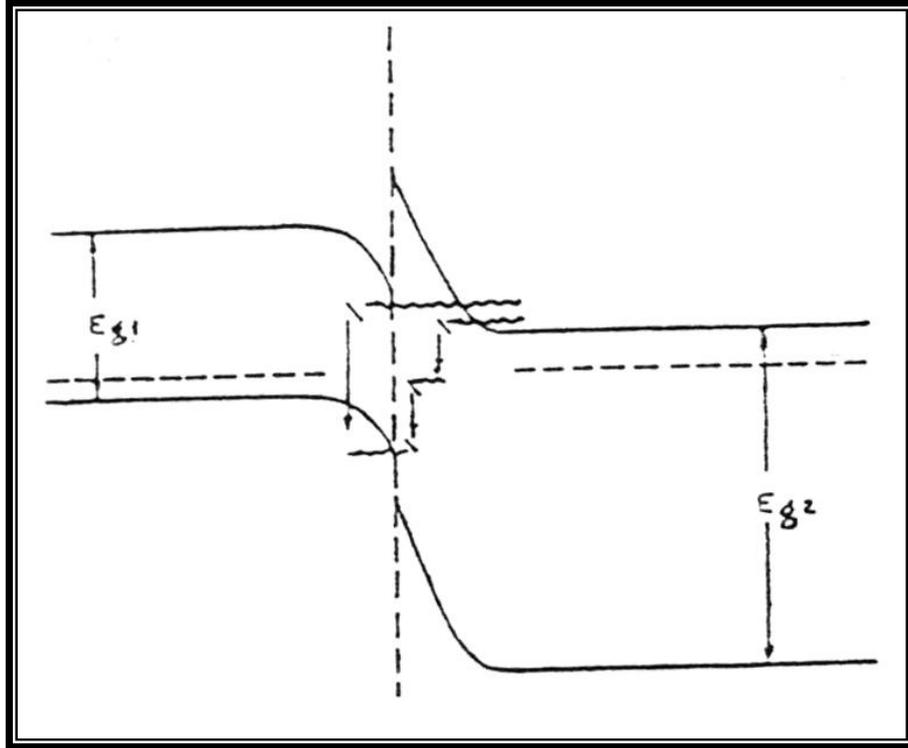
حيث :  $V_0$  ثابت.  
(T) درجة الحرارة المطلقة.  
ويمكن كتابة المعادلة ( 15-2 ) بصيغة ثانية:

$$I = I_{s0} \exp (T/T_0) \exp (V/V_0) \dots\dots\dots (16-2)$$

حيث:  $T_0$  &  $I_{s0}$  ثوابت.

#### 5- أنموذج الاختراق - إعادة اتحاد Tunneling – Recombination Model

درس هذا النموذج من قبل العالمين ( Riben & Feucht ) [16]. ويوضح الشكل (7-2) مخطط حزمة الطاقة للمفرق الهجين في حالة الانحياز الامامي. وتتضح فيه عملية الاختراق - إعادة الاتحاد.



شكل (7-2) مخطط الطاقة لمفروق الهجين الحاد غير المتماثل p-n في الأنتياز الأمامي. عمليات الاختراق-إعادة الاتحاد [2].

في هذا النموذج، اما الإلكترون يخترق حزمة التوصيل للمادة n-type الى الحالات الفارغة داخل الحزمة للمادة p-type ومن ثم يعاد اتحاده مع الفجوات، او أن الفجوات تخترق المادة p-type الى الحالات المشغولة في المادة n-type ثم يعاد اتحاده مع الإلكترونات. هذه العمليات تفقد الى تيار الأمامي بالصيغة:

$$I = B \exp[-\alpha(V_D - V)] \dots\dots\dots(17-2)$$

والتيار العكسي:

$$I = C \exp[-A(V_D - V)^{-1/2}] \dots\dots\dots(18-2)$$

حيث :

$$\alpha = \frac{4}{3\hbar} \left[ \frac{m_m^*}{N_{D2}} \right]^{1/2} \quad \& \quad A = \frac{4}{3\hbar} \left[ \frac{m_m^* \epsilon_2}{N_{D2}} \right]^{1/2} E_{g2}^{3/2}$$

B ثابت لا يعتمد بشكل كبير على درجة الحرارة وفولتية التشغيل.

C ثابت.

$m_m^*$  الكتلة الفعالة للإلكترون.

$\hbar$  ثابت ديراك.

### 2-1-3-2 Abrupt Isotype Heterojunctions هجينة حادة متماثلة

هذا النوع من المفارق الهجينة يتضمن n-n او p-p ، هي نبائط الحاملات الاغلبية (Majority – Carrier Devices) مثل دايمود شوتكي لذلك فان مساهمة الحاملات الاقلية في التيار الكهربائي تكون مهمة [16,6] ويوضح الشكل (8-2) مخطط الطاقة للمفارق الهجين نوع n- n في حالة الاتزان نلاحظ من الشكل ظهور (Spike) او بروز (Notch) عند حافة حزمة التوصيل على السطح الفاصل وهذا يحدث عندما تكون الالفة الإلكترونية للمادة الاولى اكبر من الالفة الإلكترونية للمادة الثانية  $\chi_1 > \chi_2$  وعند  $E_{g1} < E_{g2}$  [49]. حيث يمكن حساب حاجز الطاقة لحزمة التوصيل  $\Delta E_c$  من فرق الالفة الإلكترونية للمادتين  $(\Delta E_c = \chi_2 - \chi_1)$ ، وإن العلاقة بين جهد البناء الداخلي للمادتين  $V_{bi1}$  و  $V_{bi2}$  يعطى بالعلاقة [16,50]:

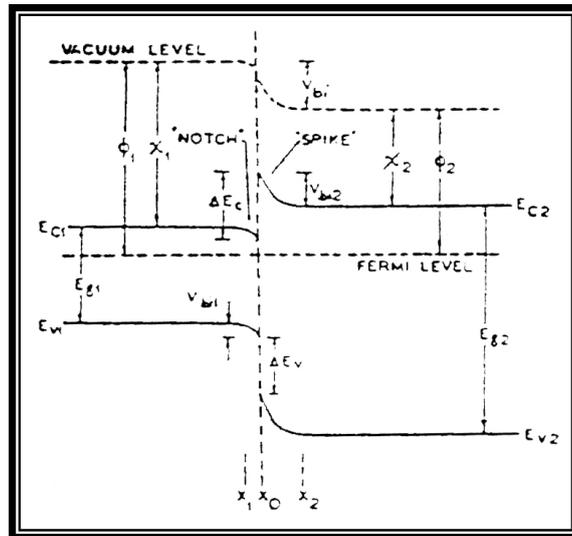
$$V_{bi2} = \frac{\epsilon_1 N_{D1}}{\epsilon_2 N_{D2}} \left[ \frac{k_B T}{q} \left[ \exp\left(\frac{qV_{bi1}}{k_B T}\right) - 1 \right] - V_{bi1} \right] \dots\dots\dots (19-2)$$

وإن جهد البناء الداخلي  $V_{bi} = V_{bi1} + V_{bi2}$  وتعطى سعة منطقة النضوب بالعلاقة [16]:

$$C = \left[ \frac{AqN_{D2}\epsilon_2}{2V_{bi}} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (20-2)$$

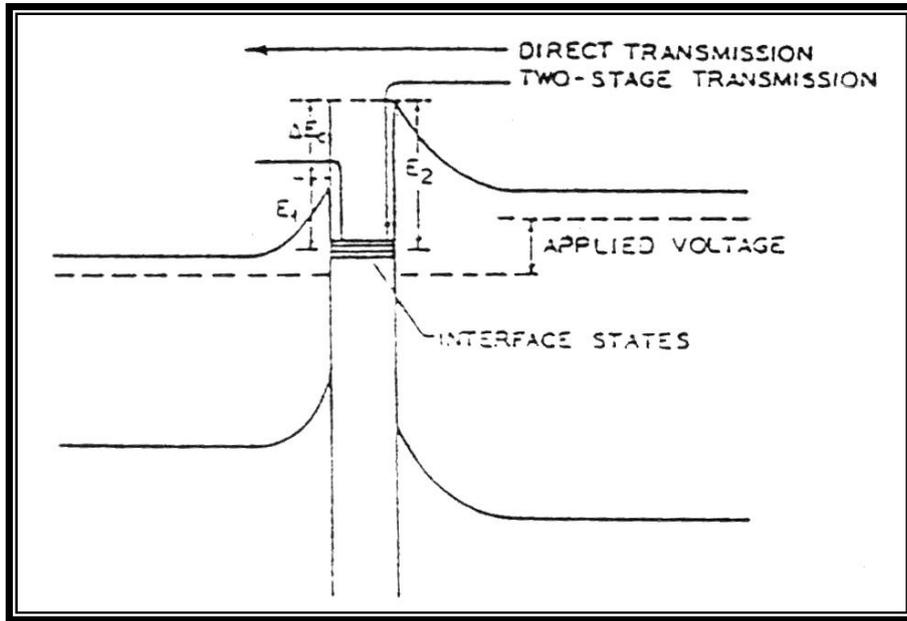
ومدرج أدناه نماذج عن المفارق الهجين الحاد المتماثل:

- 1 - أنموذج الانتشار.
- 2 - أنموذج الانبعاث.
- 3 - أنموذج ثنائي شوتكي المزدوج.
- 4 - أنموذج الاختراق.



شكل (8-2) مخطط الطاقة لمفارق هجين حاد متماثل n-n [16].

وضح كل من ( Milnes & Oldham ) نموذج شوكتي المزدوج (Double-Schottky-Diode Model)، حيث أوضحاً بأن الانخلاعات التي تحدث عند السطح الفاصل تعزى إلى عدم التطابق الشبكي [6]. وتمثل حالات السطح مراكز اصطياد ( Capturing Centers ) للحاملات المنتقلة اليها. فإذا كان مجموع الشحنات السالبة والموجبة في منطقة السطح البيني تساوي صفرًا فإن منطقة النضوب سوف تنمو وبالتالي يؤدي إلى تغير مخطط حزمة الطاقة وبما يشابه حالة الاتصال في (شبه موصل - معدن - شبه موصل) [16]. ويوضح الشكل (9-2) آلية انتقال التيار حسب هذا النموذج.



شكل (9-2) مخطط حزمة الطاقة لمفروق هجين  $n-n$  في حالة الانحياز الامامي يوضح آلية انتقال التيار [47].

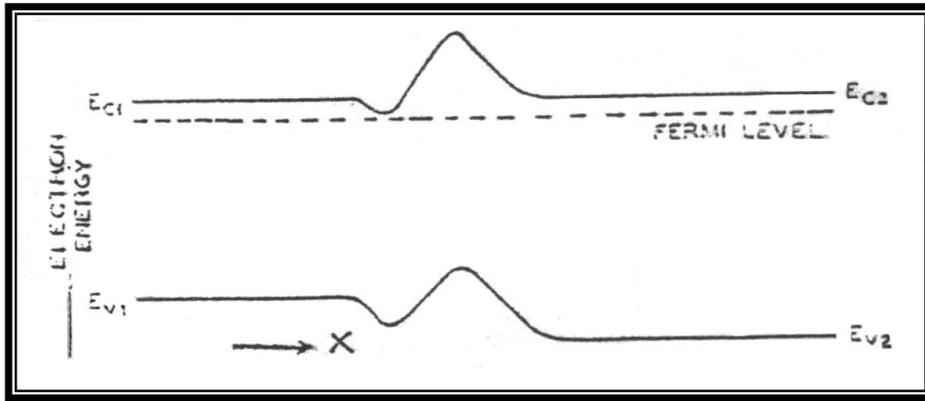
ففي هذه الحالة فان حاملات الشحنات المسؤولة عن سريان التيار هي الالكترونات أي أن

مرور التيار خلال المفروق الهجين يكون من خلال [16]:

1. انتقال الالكترونات من فوق حواجز الجهد للمفروق الهجين بدون ان تقتنص من قبل حاملات السطح البيني وهذه تسمى (انتقال مباشر).
2. انتقال الالكترونات فوق حواجز الجهد وتقتنص من قبل حاملات السطح الفاصل وبعد ذلك يعاد انبعائها (انتقال غير مباشر) وهذا النوع من الانتقالات يتضمن مرحلتين حيث تنبعث الالكترونات فوق احدى قمم حواجز الجهد وتقتنص من قبل حالات السطح ويعاد انبعائها ثانيةً فوق قمة الحاجز الثاني.

## 4-2 المفارق المتدرجة Graded Heterojunctions

قام كل من ( Milnes & Oldham ) بتوضيح تركيب هذا الأنموذج من المفارق الهجينة وبيان تأثير تدرج المفارق آخذاً بنظر الاعتبار اختلاف كل من فجوة الطاقة والالفة الالكترونية في منطقة النضوب خلال عملية التصنيع [6,16].  
والشكل ( b-1-2 ) و ( 10-2 ) يوضحان المفارق الهجين المتدرج غير المتماثل والمتماثل على التوالي.



شكل (10-2) مخطط الطاقة للمفارق الهجين المتدرج المتماثل n-n [16].

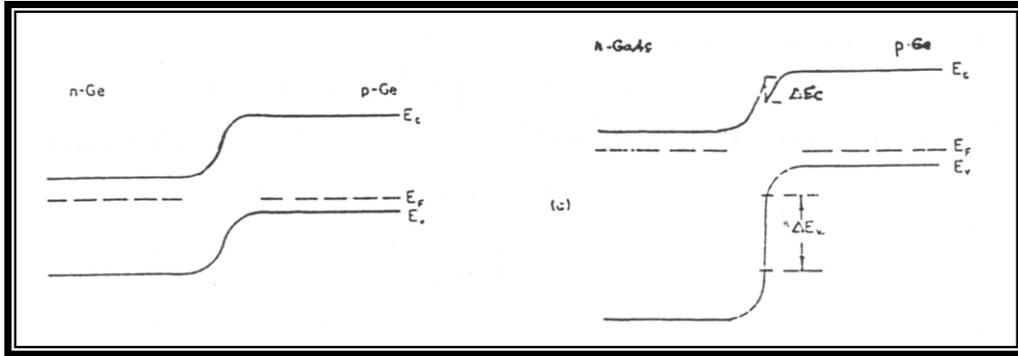
افترض كل من ( Van Ruyve & Williams ) ان هنالك اختلافاً بسيطاً في عدم انتظام التركيب باتجاه X بين المادتين الشبه موصلتين متجانستي التركيب، وإن عدم التجانس للمفارق يؤدي الى عدم استمرار التجانس لاحد المواد عند المادة في الجانب الاخر [16].

## 5-2 الفرق بين المفارق الهجين والمفارق المتجانس

هنالك فروقات عديدة تميز المفارق الهجين ( Heterojunction ) عن المفارق المتجانس ( Homojunction ) ويوضح الشكل ( 11-2 ) مخطط الطاقة لكلا النوعين وبرزت الفروقات بينهما يمكن تلخيصها كالاتي [6,17]:

1. إن مخطط حزمة الطاقة للمفارق الهجين يكون أكثر تعقيداً من المفارق المتجانس والسبب يعود الى وجود فرق مستويي الطاقة  $\Delta E_c, \Delta E_v$ .
2. في المفارق الهجين يكون الحاجز كبيراً جداً في حزمة التكافؤ والذي يمنع حقن الفجوات من المادة القابلة الى المادة المانحة وهذه الفجوات تهمل مقارنة مع الالكترونات التي تمر بالاتجاه المعاكس.

3. يمكن استخدام كواشف المفروق المهجين من كلتا الجهتين (Two-Sided illumination facility) مما يوفر مساحات واسعة للأستجابة الطيفية.



شكل (11-2) a - مخطط الطاقة للمفروق المتجانس n-p

b - مخطط الطاقة للمفروق المهجين n-p [6]

## 6-2 المعلومات المؤثرة على خواص المفروق المهجين

عند تصنيع المفارق الهجينة يجب الأخذ بنظر الاعتبار الآتي:

- 1 - خصائص الطبقات المنماة.
- 2 - خصائص سطح القاعدة.

### 1-6-2 خصائص الطبقات المنماة

هنالك العديد من المؤثرات التي يتوجب مراعاتها عند اختيار المادة شبه موصلة لصناعة المفارق الهجينة.

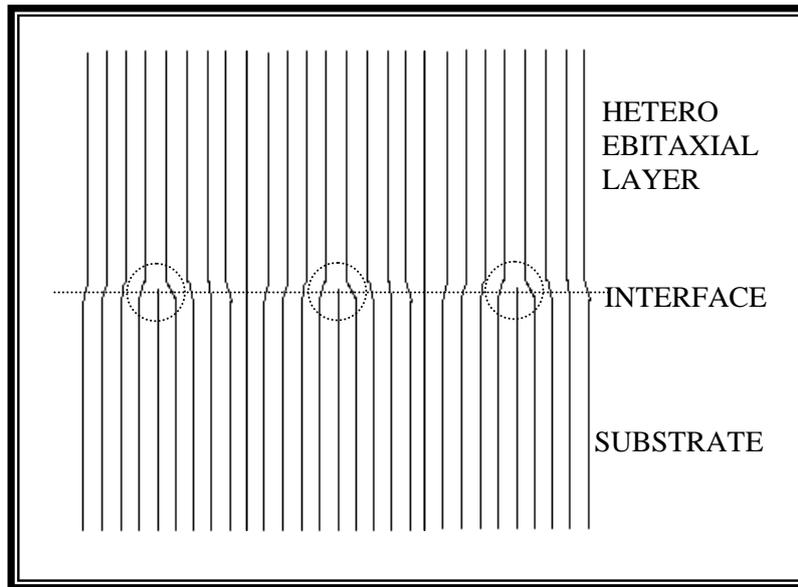
#### (1-1-6-2) عدم التطابق الشبكي Lattice Mismatch

ان عدم التطابق الشبكي بين أيه مادتين شبه موصلتين يحدث بسبب الاختلاف في ثابت الشبكية (Lattice Constant) للمادتين [51] ويمكن حساب عدم التطابق الشبكي او مايسمى باللاتوافق الشبكي من خلال العلاقة [23]:

$$\text{Lattice mismatch} = \frac{2 |a_2 - a_1|}{a_2 + a_1} * 100\% \dots\dots\dots (21-2)$$

حيث :

$a_1$  و  $a_2$  ثوابت الشبكة للمادتين الشبه موصلتين على التوالي. عند عملية تصنيع المفارق بإحدى طرائق الانماء الفوقي المختلفة (أنماء مادة شبه موصلة على قاعدة من مادة شبه موصلة احادية البلورة) فإن هنالك فارقاً في ثوابت الشبكة يؤدي الى حدوث انفعالات عند السطح البيني ينتج عنه انخلاعات [6,16] كما في الشكل (2-12) ينتج عنه حدوث انخلاعات حافية (Edge Dislocation) في بعض الاحيان، أي تزداد الاواصر المتدللية عند السطح البيني اعتماداً على زيادة اللاتوافق الشبكي [53]. وتؤثر انخلاعات الحافة في مراكز اعادة اتحاد الفجوات والالكترونات عبر المفرق [6]. علاوة على ذلك فإن اللاتوافق الشبكي الذي يزداد عن (4%) بين المادتين الشبه موصلتين يؤدي الى كثافة عالية في الانخلاعات في منطقة الاتصال والتي تؤدي بدورها الى ظهور خصائص غير مرغوب فيها (زيادة في تيار التسرب وتنشط ظاهرة أقتناص الحاملات) [15,54]. فضلاً عن تأثير خصائص (تيار - جهد) وبشكل كبير بعامل اللاتوافق الشبكي [55].



شكل (2-12) الانخلاعات اللاتوافقية عند السطح البيني الفاصل للمفرك الهجين [16].

وان التطابق التام في الثابت الشبكي يعتمد على سمك الغشاء المرسب ولا يحدث انخلاعات عندما يكون الغشاء رقيقاً جداً ومرسباً على قاعدة سمكية [6]. حيث ان ثابت الشبكة لمادة الـ (PbS) هي (5.9362Å) وثابت الشبكة للسيلكون هي (5.43072 Å) أي ان ثابت الشبكة لمادة (PbS) اكبر من ثابت الشبكة للسيلكون بنسبة (9.3%) وبذلك يكون نسبة اللاتوافق الشبكي للمفرك الهجين نوع (PbS/Si) هي (8.9%) [23].

### 2-1-6-2 Thermal Mismatch عدم التطابق الحراري

العامل المهم الاخر الذي يؤثر في خصائص الطبقات المنماة، ينشأ عن عدم التطابق الحراري عندما تمتلك المادتان الشبه موصلتين معامل تمدد حراري مختلف وأساساً تتطلب عملية الترسيب درجات حرارة عالية نسبياً تصل تقريباً الى بضع مئات من الدرجات الحرارية [ 56,5]. وعادة فإن عدم التطابق الحراري يؤدي إلى حدوث تشققات أو تقشر أو انخلاع الطبقات المرسبة [57]. ولتجنب تأثير عدم التطابق الحراري يجب مراعاة الآتي [6]:

1- تبريد الطبقات المنماة ببطء من درجات حرارة الانماء وصولاً إلى درجة حرارة الغرفة.

2- انماء طبقات عند درجات حرارة واطنة.

3- انماء طبقات رقيقة.

والجدول (1-2) يبين قيم معامل التمدد الحراري لبعض المواد والمركبات التي تدخل في صناعة المفارق الهجينة .

جدول (1-2) قيم معامل التمدد الحراري لبعض المواد شبه الموصلية [16,6].

Materials	Coefficient expansion per degree (at 300 K) (K <sup>-1</sup> )
Ge	$5.70 \times 10^{-6}$
Si	$2.33 \times 10^{-6}$
PbS	$2.03 \times 10^{-5}$
PbSe	$1.95 \times 10^{-5}$
PbTe	$9.80 \times 10^{-5}$

### 3-1-6-2 Inter diffusion الانتشار الداخلي

يؤثر الانتشار الداخلي عند السطح الفاصل للمفرق الهجين المصنع عند درجات الحرارة العالية وتظهر في المفارق المتكونة من مزج مادتين شبه موصلتين عن طريق انتشار شوائبهما على جانبي السطح الفاصل وتنتج عن ذلك انخلاعات عند السطح الفاصل وبالتالي يؤدي الى التقليل من خصائص المفرق المصنع [ 16]. حيث الانتشار دالة تتزايد مع درجة حرارة الانماء [39]، ويمكن تقليل تأثير الانتشار من خلال تقليل درجات حرارة الانماء [17].

## 2-6-2 خصائص سطح القاعدة

تتأثر خصائص المفرق الهجين عموماً وكفاءته بوجه خاص بشكل كبير جداً بطبيعة سطح القاعدة وعدد العيوب البلورية ونوعها وطبيعة الأوكسيد المتكونة لذا يكون من الضروري اجراء عملية التتميش الكيميائي لسطح القاعدة احادية البلورة والعمل على تحسين خصائص السطح قبل عملية الترسيب او الانماء الفوقي، والعامل المهم الاخر هو خشونة سطح القاعدة حيث يؤدي عدم التجانس الى عدم التوزيع الدقيق في السمك مما ينتج عنه استطارة الشعاع الساقط على سطح المفرق [58]. ويمكن اهمال تأثير خشونة السطح في حالة المساحات الصغيرة للنبائط المصنعة [59].

## 7-2 الخصائص الكهربائية للمفرق الهجين

**Electrical Properties of Heterojunction**

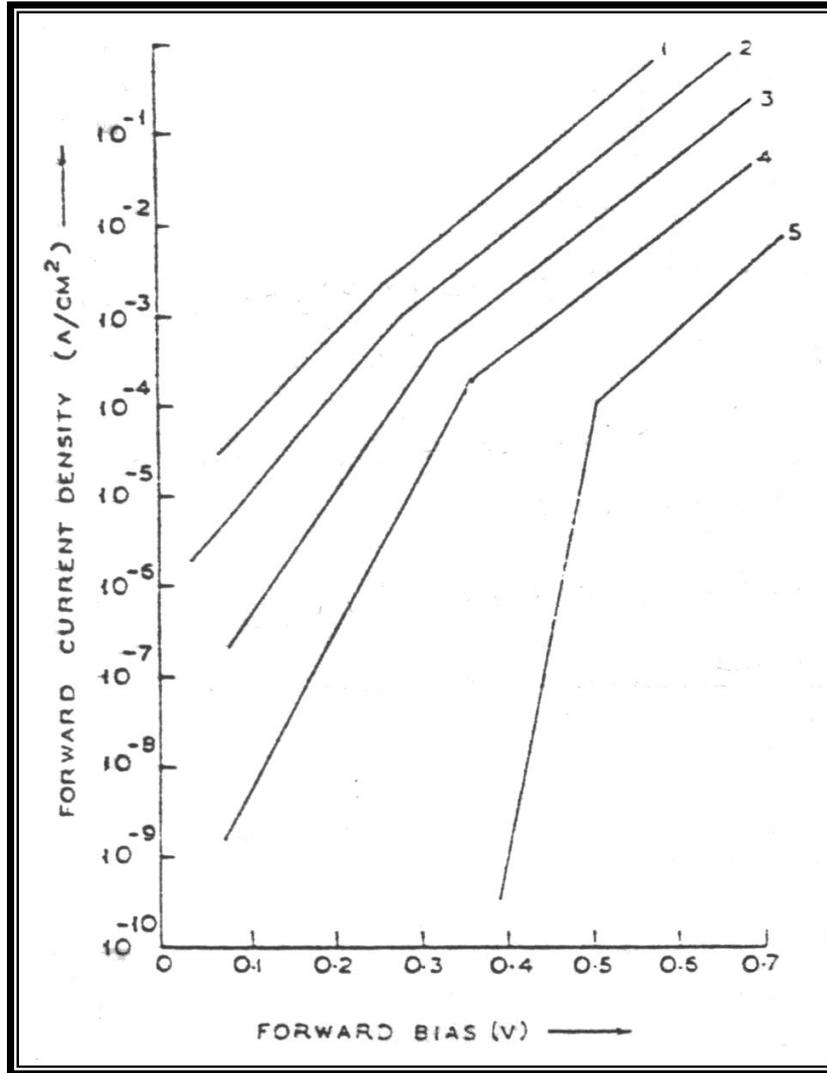
تتضمن الخصائص الكهربائية للمفرق الهجين خصائص (تيار-جهد) وخصائص (سعة-جهد) وقياسات المجس ذات النقاط الاربع ( Four-Point Probe )، ومن خلال هذه الخصائص تتعرف على نوع المفارق المصنعة وكفاءتها .

## 1-7-2 خصائص (تيار - جهد) للمفرق الهجين غير المتماثل

وضعت نماذج عديدة لتفسير خصائص (تيار-جهد) للمفرق الهجين غير المتماثل سبق ذكرها في الفقرة ( 1-1-3-3 ) ، والشكل ( 13-2 ) يبين اعتماد كثافة تيار الانحياز الامامي على الفولتية المسلطة ودرجة حرارة المفرق وبالأمكان تقسيم هذه العلاقة الى منطقتين، منطقة الفولتيات الصغيرة ( $V < 0.3$  V) عند درجة حرارة الغرفة وان التيار المسيطر على عملية انتقال حاملات الشحنات هو تيار اعادة الاتحاد والمعادلة التي تطبق في هذه الحالة تعطى بالصيغة:

$$I \propto \exp \frac{qV}{nk_B T} \dots\dots\dots (22-2)$$

حيث : n عامل المثالية الذي يعتمد على مختلف الخواص الفيزيائية للمفرق .



شكل (13-2) خصائص الانحياز الامامي لمفروق هجين p-n عند درجات حرارية مختلفة [16].  
 1.333K.    2.298 K.    3.250 K.    4.200 K.    5.77 K.

أما عند الفولتيات الكبيرة فإن التيار المسيطر هو تيار الاختراق ( Tunneling Current )  
 والمعادلة التي تنطبق على هذه الحالة

$$I \propto \exp(AV) \exp(BV) \dots\dots\dots (23-2)$$

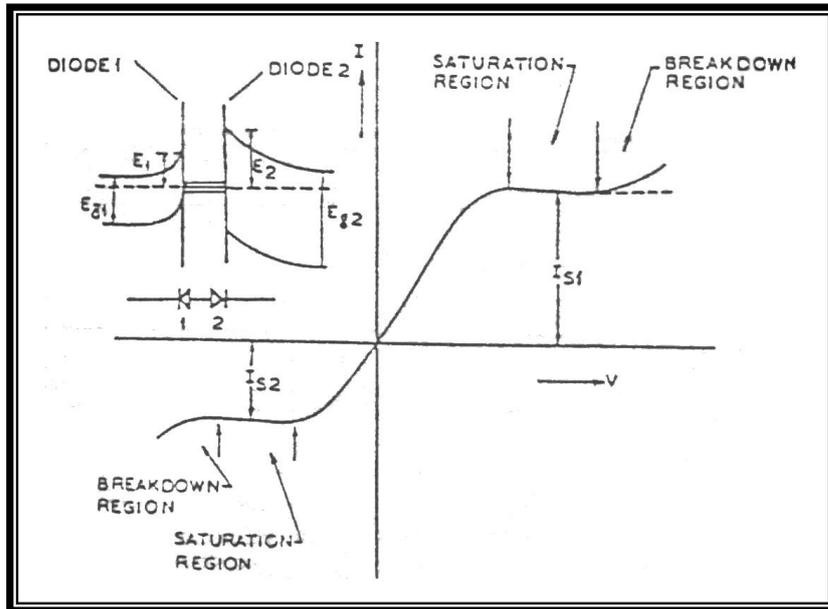
حيث :

A و B ثوابت لا تعتمد على الفولتية ودرجة الحرارة.

وفي حالة الانحياز العكسي ( Revers Bias ) أيضاً فإن خصائص (تيار-جهد) تقسم الى منطقتين، الأولى منطقة الفولتيات الواظنة، وفيها يتناسب التيار العكسي  $I_R$  طردياً مع الفولتية العكسية  $V_R$  ( $I_R \propto V_R$ ). والثانية ومنطقة الفولتيات العالية والتي فيها يتناسب قيم  $I_R$  مع  $V^m$  ( $I_R \propto V^m$ ) عند  $m \geq 1$  ونموذج الاختراق يفسر هذا السلوك [39,16,6].

2-7-2 خصائص (تيار - جهد) للمفروق الهجين المتماثل

في حالة المفروق الهجيني المتماثل فقد أوضح كل من ( Oldham & Milnes ) انه يتم الاعتماد على تركيز الشوائب في المادتين الشبه موصلتين وعلى حالات السطح ( Interface States ) فقد ذكر ان تيار الاشباع يحدث عند كلا القطبين ، وهذه النتائج فسرت حسب انموذج شوتكي المزدوج ( Double Shottky diode ). ومن خلال الشكل ( 14-2 ) نلاحظ وجود مطقتين من تيار الاشباع وهذه الحالة مشابه لحالة المفروق الهجين ذي الاشابة المعتدلة مع وجود اللاتوافق الشبكي الكبير مثل المفروق الهجين المتماثل نوع (n-Ge/n-Si) [1,1650].



شكل (14-2) خصائص (تيار-جهد) لمفروق هجين n-n حسب أنموذج ثنائي شوتكي المزدوج [16]

وان العلاقة بين (تيار-جهد) لثنائي شوتكي المزدوج تعطى بالعلاقة :

$$I_1 = -I_{S1} \left[ \exp\left(\frac{qV_1}{k_B T}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots(24-2)$$

و

$$I_2 = -I_{S2} \left[ \exp\left(\frac{qV_2}{k_B T}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots (25-2)$$

حيث :  $I_{S1}$  و  $I_{S2}$  يمثلان تيار الاشباع للدايود الاول والثاني على التوالي.

وان (  $V=V_1+V_2$  ) يمثل الفولتية الكلية المسلطة.

وتيار ثنائي شوتكي المزدوج يعطى بالعلاقة [36,16,6]:

$$I = \frac{2I_{S1} I_{S2} \text{Sinh}(qV / 2k_B T)}{I_{S2} \exp(qV / 2k_B T) + I_{S1} \exp(-qV / 2k_B T)} \dots\dots\dots (26-2)$$

## 8-2 خصائص (سعة - جهد)

### Capacitance-Voltage Characteristics

من خلال خصائص (سعة-جهد) يمكن التعرف على صافي التركيز غير النقي (Net Impurity Concentration) وجهد البناء الداخلي (Built-in Potential) للمفرك المتجانس [60] وحاجز شوتكي [61].

كما وتستخدم كتقنية تجريبية معتمدة (Technique Powerful Experimental) لتحليلات جهد منطقة النضوب وتوزيع الشحنة في المفرك الهجين [62].

في حالة المفرك الهجين غير المتماثل عندما يحدث الاتصال بين المادتين الشبه موصلتين اللتين تمتلكان توصيلة كهربائية مختلفة فإن الشحنات سوف تنتقل من احدهما الى الاخرى الى ان يتساوى مستوى فيرمي (Fermi Levels) وعندها تتكون منطقة ذات مقاومة كهربائية عالية عند السطح الفاصل بينهما وهذه المنطقة تسمى بمنطقة النضوب، عندها يمكن اعتبار المفرك عبارة عن متسعة ولحساب سعة المتسعة لوحدة المساحة تحت تسليط جهد الانحياز العكسي تعطى بالعلاقة [39,25]:

$$\frac{C}{a} = \frac{dQ}{dV_a} = \frac{\epsilon_s}{W} \dots\dots\dots (27-2)$$

حيث :

$\epsilon_s$  سماحية المادة الشبه موصلة

$V_a$  الفولتية المسلطة

$Q$  شحنة الالكترن

وبما ان  $W$  تساوي مجموع المعادلتين (4-2) و (5-2) نحصل على :

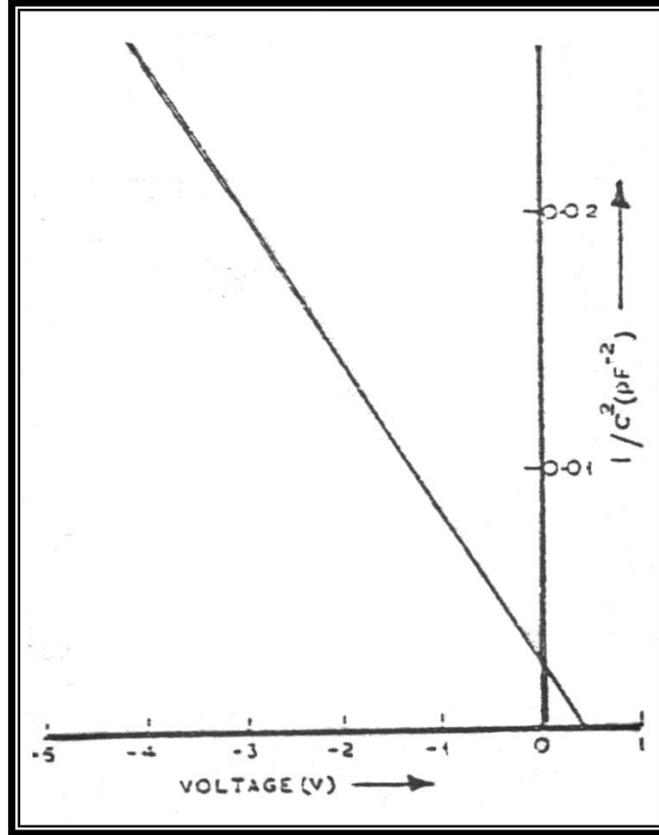
$$\frac{C}{A} = \left[ \frac{q\epsilon_1\epsilon_2 N_{D1} N_{A2}}{2(\epsilon_1 N_{D1} + \epsilon_2 N_{A2})} \right]^{1/2} (V_{bi} - V_a)^{-1/2} \dots\dots\dots (28-2)$$

حيث :

$N_{A2}$  و  $N_{D1}$  تركيز الشوائب المانحة والقابلة على التوالي.

$\epsilon_2, \epsilon_1$  ثابت العزل للمادة المانحة والقابلة على التوالي.

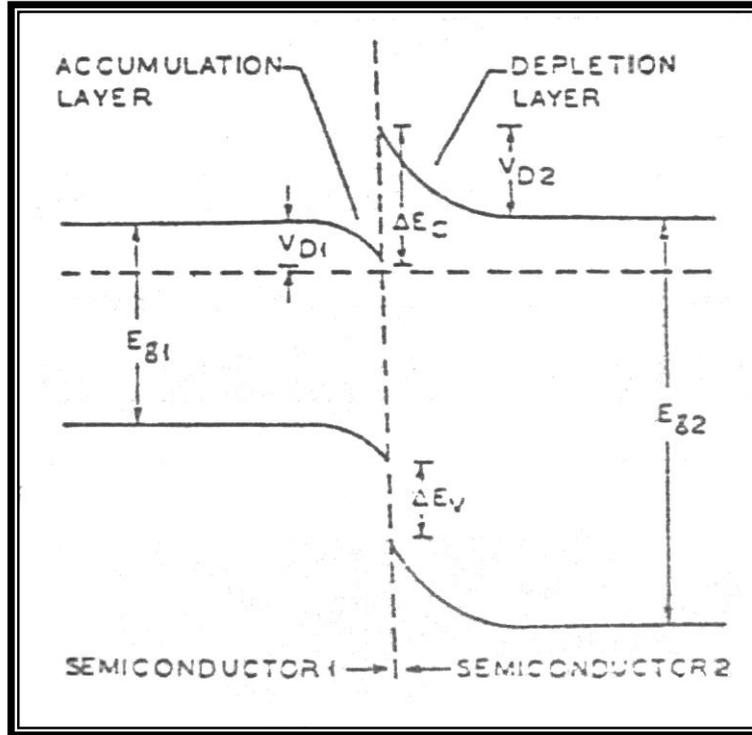
ومن خلال الشكل ( 15-2 ) يمكن ملاحظة ان  $\left( \frac{1}{C^2} \right)$  تتغير خطياً مع جهد الانحياز العكسي المسلطة ومن تقاطع العلاقة مع المحور السيني (محور الفولتية) يمكن حساب قيمة جهد البناء الداخلي  $V_{bi}$  للمفرك.



شكل (15-2) خصائص سعة-جهد للمفرك الهجين [16].

أما في حالة المفرك الهجين المتماثل وضعت نماذج عديدة لتفسير (سعة-جهد) وهذه النماذج تكون متماثلة لأنواع n-n و p-p. وضع (Anderson) معادلة مبسطة مشابهة لمعادلة المفرك الهجين غير المتماثل ولكن بأهمال حالات السطح الفاصل، ويوضح الشكل ( 16-2 ) مخطط حزمة الطاقة حيث نلاحظ وجود منطقة نضوب واحدة على جانب المادة ذات فجوة الطاقة الواسعة (WideGap) الذي يكون فيه استنزاف للحاملات وهذا يدل على ان الألفة الالكترونية قليلة، وتتجمع حاملات الشحن على الجانب الاخر من السطح الفاصل وان علاقة السعة لوحدة المساحة تعطى بالعلاقة [16,6]:

$$C = \left[ \frac{q\epsilon_2 N_{D2}}{2} \right]^{1/2} (V_{bi} - V_a)^{-1/2} \dots \dots \dots (29-2)$$



شكل (16-2) مخطط حزمة الطاقة لمفروق هجين n-n يوضح طبقة (التجميع والاستنزاف) [16].

## 9-2 الخصائص الكهروبصرية للمفارق الهجينة

تصنف الخصائص الكهروبصرية للمفارق الهجينة الى مجموعتين الاولى تتعلق بتولد تيار ضوئي (Photo Current) نتيجة لامتنصاص الفوتونات الساقطة والثانية تتعلق بأنبعاث فوتونات نتيجة للتثيغ الالكتروني للمفروق الهجين [16].

فعند سقوط الفوتونات الضوئية على المادة شبه الموصلة سوف تعاني من عدة عمليات من ضمنها الامتنصاص. يحدث الامتنصاص عندما تكون طاقة الفوتونات اكبر من فجوة الطاقة ( $h\nu > E_g$ ) ونتيجة لذلك تتولد ازواج (الكترن - فجوة) فأن هذه الازواج او الحاملات المتولدة عند السطح البيني او على مسافة لاتزيد عن طول انتشار الحاملات للمادتين شبه الموصلتين المتكونة منها المفروق الهجين يمكن التعبير عنها من خلال العلاقة [15]:

$$J_L = qG(W+L_n+L_p) \dots\dots\dots (30-2)$$

حيث :

$L_n$  و  $L_p$  هما طول الانتشار للالكترونات والفجوات على التوالي.

كما ويمكن التعبير عن خصائص (تيار-جهد) للمفروق الهجين المتماثل المثالي عند سقوط الضوء عليه بالعلاقة [63,16]:

$$J = J_s \left[ \exp\left(\frac{qV}{k_B T}\right) - 1 \right] - J_{ph} \dots\dots\dots (31-2)$$

حيث :

$J_s$  كثافة تيار الاشباع العكسي.

$J_{ph}$  كثافة التيار الضوئي المتولد بواسطة الاشعاع الساقط.

اما الحاملات المتولدة بمسافة اكبر من طول الانتشار فأنها لاتنتج تياراً ضوئياً لأنها تعاني من عمليات اعادة الاتحاد (Recombination).

وان معدل الفوتونات المتولدة  $G(x)$  تعطى بالعلاقة [64]:

$$G(x) = \phi_0 \alpha \exp(-\alpha x) \dots\dots\dots (32-2)$$

حيث :

$\phi_0$  كثافة فيض الفوتونات الساقطة

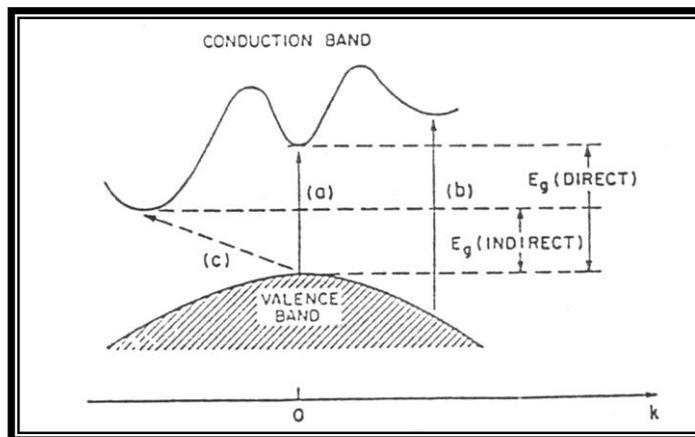
$\alpha$  معامل الامتصاص

$x$  عمق الاختراق

ويمكن تصنيف عمليات الامتصاص الى عمليات أساسية:

### 1-9-2 عمليات الامتصاص المباشرة Direct Absorbation Prossos

يحدث مثل هذا النوع من عمليات الامتصاص في المواد الشبه موصله ذات فجوة الطاقة المباشرة (Direct Band Gap Semi.) حيث تكون قيمة المتجه الموجي (  $K$  ) لاعلى مستوى طاقة لحزم التكافؤ نفس قيمة المتجه الموجي لأوطأ مستوى طاقة في حزم التوصيل [ 7]. وكما موضح في الشكل (a-17-2).



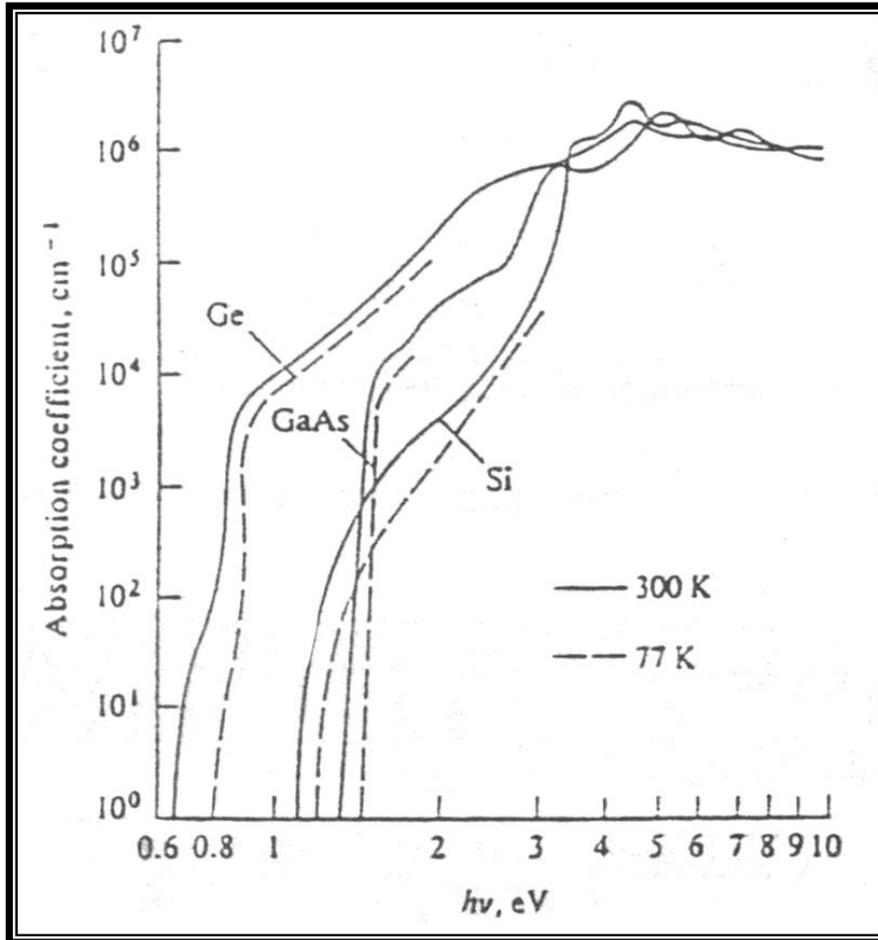
شكل (17-2) مخطط الطاقة [47]

a - فجوة الطاقة المباشرة

b - فجوة الطاقة غير المباشرة

## 2-9-2 عمليات الامتصاص غير المباشرة Indirect Absorption Prosses

تحصل هذه العمليات في المواد شبه الموصلة ذات فجوة طاقة غير المباشرة ، مثل Ge وSi وذلك لعدم التطابق بين قمة حزمة التكافؤ وقعر حزمة التوصيل في فضاء المتجه الموجي (K) [65] وكما موضح في الشكل ( 2-17-b )، وعليه فإن الفوتونات التي تكون طاقتها اكبر من  $E_g$  تؤدي الى الانتقال المباشر للالكترونات في حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل. أما الفوتونات التي تمتلك طاقات أوطأ من  $E_g$  فتسبب الانتقال بعملية ذات مرحلتين تشارك فيها اضافة إلى الفوتونات والالكترونات جسيم ثالث يعرف بالفونون (Phonon) [7] . ان قيمة معامل الامتصاص لشبه الموصل تعتمد على الطول الموجي للشعاع الساقط، والشكل (2-18) يوضح علاقة معامل الامتصاص مع الطول الموجي لبعض المواد الموصلة [64].



شكل (2-18) معاملات الامتصاص كدالة لطاقة الفجوة لبعض المواد شبه الموصلة [64].

كما ان المادة شبه الموصله تمتص جميع الاطوال الموجيه الأقصر من الطول الموجي القاطع  
(Wave Length Cutoff) ( $\lambda_c$ )

$$\lambda_{\mu m} = \frac{1.24}{E_g (eV)} \dots\dots\dots (33-2)$$

أي أن الكاشف لايعمل عند الاطوال الموجيه الاكبر من الطول الموجي القاطع، اما عند الاطوال  
الموجيه الاقصر فأن معاملات الامتصاص تكون عالية لذا فأن معظم الحاملات المتولدة تكون قرب  
السطح أي خارج منطقة الانتشار فيعاد اتحادها [66,36].

### 10-2 الخواص الفولتائية الضوئية للمفارق الهجينة

توصف الخواص الفولتائية الضوئية للمفارق الهجينة من خلال مقياسين ثابتين هما،  
فولتية الدائرة المفتوحة (Open-Circuit Voltage) و تيار الدائرة القصيرة ( Short-Circuit  
Current) اثناء عمل المفارق بدون انحياز خارجي.

#### 1-10-2 فولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{oc}$ )

تتولد فولتية على طرفي المفارق الهجين عند سقوط الضوء عليها وعندما يكون طرفيها غير  
متصلين كهربائياً أي ان المقاومة بين طرفي المفارق تساوي ما لا نهاية ( $\infty$ ) تسمى بفولتية الدائرة  
المفتوحة [15]. ويمكن التعبير عنها رياضياً من خلال جعل  $J=0$  في المعادلة (2-31) نحصل على  
:[67]

$$V_{oc} = \frac{k_B T}{q} \ln \left( \frac{J_{ph}}{J_s} + 1 \right) \dots\dots\dots (34-2)$$

والشكل (2-19) يوضح علاقة (تيار-جهد) للثنائي الضوئي لحالة الظلام والاضاءة من خلاله يمكن  
التعرف على خصائص كل من فولتية الدائرة المفتوحة  $V_{oc}$  و تيار الدائرة القصيرة  $I_{sc}$  والموضح  
لاحقاً.

#### 2-10-2 تيار الدائرة القصيرة ( $I_{sc}$ ).

تعرف تيار الدائرة القصيرة بأنه التيار المتولد في المفارق الهجين عندما يكون طرفي الدائرة  
متصلين (Short) وبدون جهد انحياز خارجي وبذلك تكون قيمة المقاومة بينهما تساوي صفراً  
[64] ويمكن التعبير عنها بالعلاقة [68]:

$$I_{SC} = \int_0^{\lambda_g} N_{ph}(\lambda)Q(\lambda)d\lambda \dots\dots\dots(35-2)$$

حيث :

$\lambda_g$  اعظم طول موجي يولد الحامل

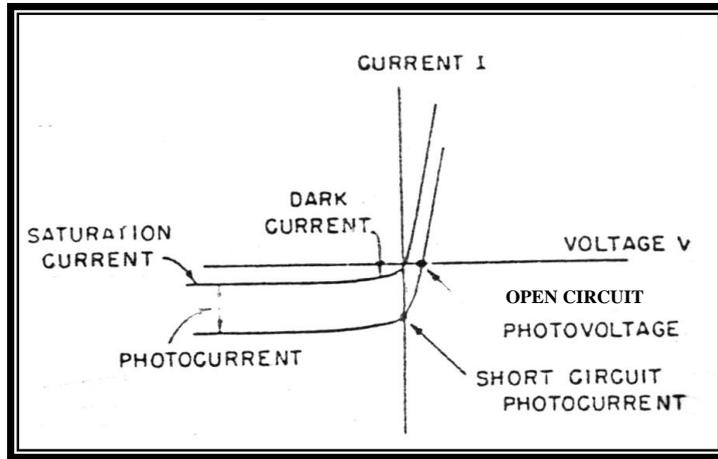
$N_{ph}(\lambda)$  الفيض الفوتوني الساقط

$Q(\lambda)$  الكفاءة الكمية الخارجة

وعند قصر الدائرة أي جعل  $V=0$   $R=0$  فتصبح المعادلة (31-2)

بالشكل الآتي:

$$J = J_{ph} = J_{sc} \dots\dots\dots(36-2)$$



شكل (19-2) خصائص (تيار-جهد) للدايود الضوئي [69].

## 11-2 الكواشف Detectors

تعرف الكواشف بأنها نبائط تعمل على تحويل الطاقة الضوئية الساقطة عليها (الاشعة الساقطة بكافة الاطوال الموجية فوق البنفسجية، والمرئية وتحت الحمراء) الى اشارة كهربائية يمكن قياسها اعتماداً على المادة شبه الموصلة المصنوع منها الكواشف وعلى طبيعة التفاعل بين الاشعة الساقطة عليها ومادة الكاشف وتصنف الكواشف البصرية الى نوعين [71,70]:

1- الكواشف الحرارية 2- الكواشف الفوتونية

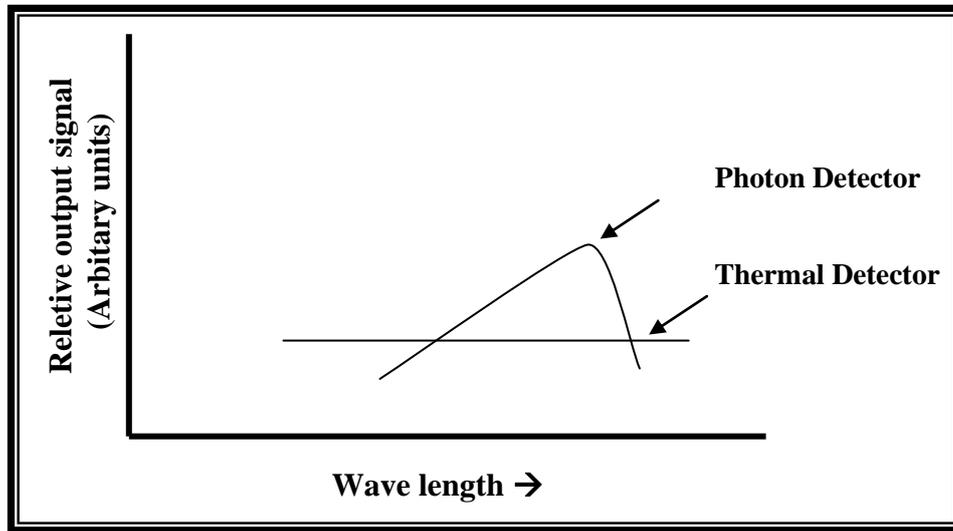
وإن علاقة الاستجابية لهذين النوعين تبعاً للطول الموجي الساقط عليها موضحاً في الشكل

(20-2).

## 1-11-2 الكواشف الحرارية Thermal Detectors

هذا النوع من الكواشف تعتمد في عملها على امتصاص الاشعة الساقطة عليها وينشأ عن هذا الامتصاص ارتفاع في درجة حرارة الكاشف مما يؤدي الى تغيير في الصفات الفيزيائية لمادة الكاشف، مثل زيادة في المقاومة الكهربائية والسعة، وتسمى طريقة عمل هذا النوع من الكواشف بالطريقة غير المباشرة وتمتلك هذه الكواشف استجابة قليلة وثابته لكافة الاطوال الموجية بشكل متساوي كما في الشكل (2-20) وهناك عدة انواع من هذه الكواشف منها [71]:

- (a) المزوج الحراري Thermocouple  
 (b) البولومتر Bolometer  
 (c) الثرموبایل Thermopile



شكل (2-20) علاقة الاستجابة الطيفية للكواشف الحرارية والفوتونية مع الطول الموجي [71,69].

## 2-11-2 الكواشف الفوتونية Photo Detectors

تختلف هذه الانواع من الكواشف عن الكواشف الحرارية بأنها تمتلك استجابة طيفية ثابتة عن اطوال موجيه محددة [72]. وتمتاز هذه الانواع بسرعة استجابة وحساسية عالية وضوضاء واطئة وتعتمد في عملها على امتصاص الاشعة الساقطة عليها بشرط ان تكون طاقة الفوتونات الساقطة اكبر من فجوة الطاقة ( $h\nu > E_g$ ) لمادة الكاشف وينشأ عن ذلك إنتاج زوج (الالكترون- فجوة) (Electron-Hole) لتخرج على شكل اشارة كهربائية يمكن قياسها، كما أن هذا النوع من الكواشف يحتاج إلى فولتية انحياز عند ظروف تشغيل معينة. [73,69] وتصنف هذه الكواشف الى نوعين اساسيين هما:

## 1 - كواشف التوصيلة الضوئية Photo Conductive Detectors

## 2 - كواشف الفولتائية الضوئية Photo Voltaic Detectors

## 1-2-11-2 كواشف التوصيلة الضوئية

ان ابط صورة لهذه الانواع من الكواشف تتكون من مادة شبه موصلة ذات تماس اومي على طرفيها [5] . فعند سقوط الاشعة عليها تتولد فيها ازواج (الكترن-فجوة) اما بواسطة عملية الامتصاص الأساسية او بفعل عملية الامتصاص بواسطة الشوائب مما تؤدي الى زيادة في التوصيلة الكهربائية حسب العلاقة ( 2-37) وهذه الزيادة ناتجة من التركيز في حاملات الشحن ، ولايعمل مثل هذه الكواشف الا بوجود مجال كهربائي خارجي (فولتية انحياز) [3,47,70].

$$\frac{\Delta\delta}{\delta} = \frac{\Delta n(b+1)}{bn_n + p_p} \dots\dots\dots (37-2)$$

حيث :

$n_n$  و  $p_p$  تركيز الالكترونات والفجوات على التوالي

$\Delta\delta$  تغيير التوصيلة

$b$  النسبة بين تركيز الالكترونات الى تركيز الفجوات

$\Delta n$  تركيز حاملات المتولدة نتيجة للامتصاص

وهذه الكواشف على نوعين:

1 - كواشف التوصيلة الضوئية الذاتية.

2 - كواشف التوصيلة الضوئية غير الذاتية.

## 2-2-11-2 كواشف الفولتائية الضوئية Photovoltaic Detectors

عند سقوط الاشعة الضوئية على هذا النوع من الكواشف تتولد فيها مجال كهربائي داخلي نتيجة لانتقال حاملات الشحن من مناطق التركيز العالي الى مناطق التركيز الواطيء . وينتج عنه (فولتية وتيار) يمكن قياسها وتعمل هذه الكواشف بوجود او عدم وجود مجال كهربائي خارجي لأن المجال الداخلي المتولد يكفي لفصل الأزواج المتولدة [69].

وتقسم الكواشف الفولتائية الضوئية إلى:

1 - ثنائي الوصلة p-n Junction

2 - الثنائي الهجين Heterojunction

3 - ثنائي شوتكي Shottky diode

4 - ثنائي الانهيار Avalanch diode

5 - شبه موصل - عازل - شبه موصل (S-I-S).

وكما ذكرنا سابقاً بعض خصائص ومميزات الثنائيات الهجينة (محور البحث) حين يتكون المفروق الهجين من حدوث الاتصال الكيميائي بين مادتين شبه موصلة ذات فجوة طاقة مختلفتين فضلاً عن اختلاف خصائص فيزيائية أخرى [36,15].

## 12-2 المعلومات المهمة للكواشف

لمعرفة اداء الكواشف هناك معلومات مهمة وأساسية يجب التطرق اليها ويمكن اجمالها كما يأتي:

### 1-12-2 الاستجابية الطيفية Spectral Response

تعرف الاستجابية بأنها مقياس اعتمادية الإشارة الخارجة من الكاشف على مقدار القدرة الضوئية الداخلة الى الكاشف، وبعبارة أخرى فإن الاستجابية تمثل (النسبة بين الكمية الخارجة من الكاشف الى الكمية الداخلة الى الكاشف)، والكمية الداخلة الى الكاشف تمثل قدرة الاشعة الساقطة على الكاشف في حين الكمية الخارجة من الكاشف تكون اما على شكل تيار ويقاس مباشرة من الكاشف او على شكل فولتية وتقاس عبر مقاومة حمل مربوطة على التوالي مع الكاشف ، والاستجابية تعطى بالعلاقة [74]:

$$R_{\lambda} = \frac{I_{ph}}{P_o} \text{ or } \frac{V_{ph}}{P_o} \dots\dots\dots(37-2)$$

حيث :

$I_{ph}$  و  $V_{ph}$  الفولتية الضوئية والتيار الضوئي على التوالي

$p_o$  القدرة الضوئية المسلطة على الكاشف

وتقاس الاستجابية الطيفية بوحدات (A/W) او (V/W)

وتختلف الاستجابية باختلاف نوع الكاشف حيث تستجيب الكواشف الفوتونية (الدراسة الحالية) لمدى محدد من الاطوال الموجية لتصل فيه قيمة الاستجابية الى اعلى قيمة ممكنة ثم تهبط الى قيمة واطئة جداً وذلك لان استجابية الكواشف تتناسب مع معدل انتقال الالكترونات بين حزم الطاقة [69].

### 2-12-2 القدرة المكافئة للضوضاء Noise Equivalent Power

هي قدرة الإشارة التي تستلم من قبل الكاشف لكي تعطي خرج مساوي الى الخرج الناتج بسبب الاشعة المحيطة ( Back ground radiation ) على فرض أن عرض حزمة الضوضاء مساوي الى (1Hz) [75] وتعطى بالعلاقة [76]:

$$NEP^* = NEP \Delta f^{1/2} \dots\dots\dots (38-2)$$

حيث :

$\Delta f$  عرض حزمة الضوضاء

$NEP^*$  القدرة النوعية المكافئة للضوضاء .

### 3-12-2 الكشفية والكشفية النوعية Detectivity & Specific Detectivity

تعد الكشفية من المعلمات المهمة التي تحدد إمكانية الكاشف على كشف الإشارة وتعرف بأنها اقل قدرة يستطيع ان يتحسسها، والكشفية تمثل مقلوب القدرة المكافئة للضوضاء وتعطى بالعلاقة [74,71]:

وتقاس بوحدة  $(Hz^{1/2} W^{-1})$ .

$$D = \frac{1}{NEP} \dots\dots\dots (39-2)$$

أما الكشفية النوعية والتي يرمز لها  $(D^*)$  فتعطى بالعلاقة [77]:

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

حيث: A مساحة الكاشف

كما يمكن التعبير عن الكشفية بدلالة الكفاءة الكمية بالعلاقة:

$$D^* = \frac{\eta \lambda}{2hc} \left[ \frac{qA}{I_s} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (41-2)$$

حيث :  $\eta$  الكفاءة الكمية

$h$  ثابت بلاتك

$c$  سرعة الضوء

وكذلك يمكن التعبير عن الكشفية النوعية بدلالة الاستجابية الطيفية والطول الموجي بالعلاقة :

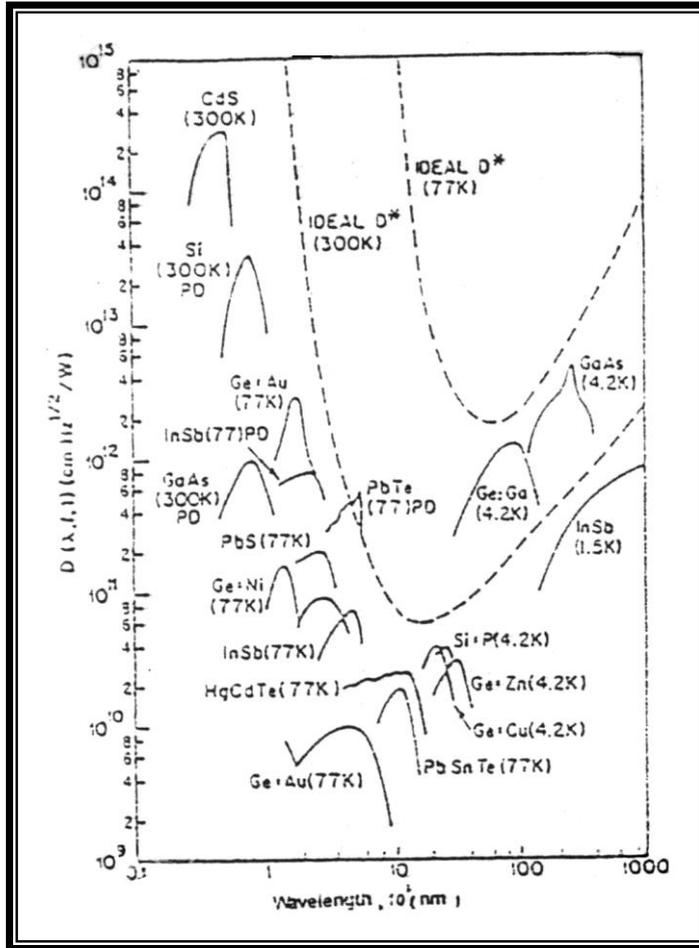
$$D^* = R_\lambda \left( \frac{A \cdot \Delta f}{I_n} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (42-2)$$

حيث:  $I_n$  يمثل تيار الضوضاء ويقاس بـ (nAmper) ويمكن حسابها من خلال العلاقة:

$$I_n = \sqrt{2qI_d \Delta f} \dots\dots\dots(43-2)$$

حيث  $I_d$  يمثل تيار الظلام.

وتعتمد عملية الكشف على الضوضاء المصاحبة وعلى الطول الموجي للشعاع الساقط على الكاشف، بعبارة اخرى (يستطيع الكاشف ان يتحسس الاشارة التي تفوق فيها قيمة الضوضاء المصاحب لذلك الكاشف [77]. والشكل (21-2) يوضح علاقة الكشفية والطول الموجي.



شكل (21-2) الكشفية كدالة للطول الموجي لبعض المواد شبه الموصلة [70].

### 4-12-2 الكفاءة الكمية Quantum Efficiency

تعرف الكفاءة الكمية بأنها النسبة المئوية بين عدد الالكترونات المتولدة الى عدد الفوتونات الممتصة لكل طول موجي محدد، وتعطى نظرياً بدلالة الانعكاسية ومعامل الامتصاص بالمعادلة [78]:

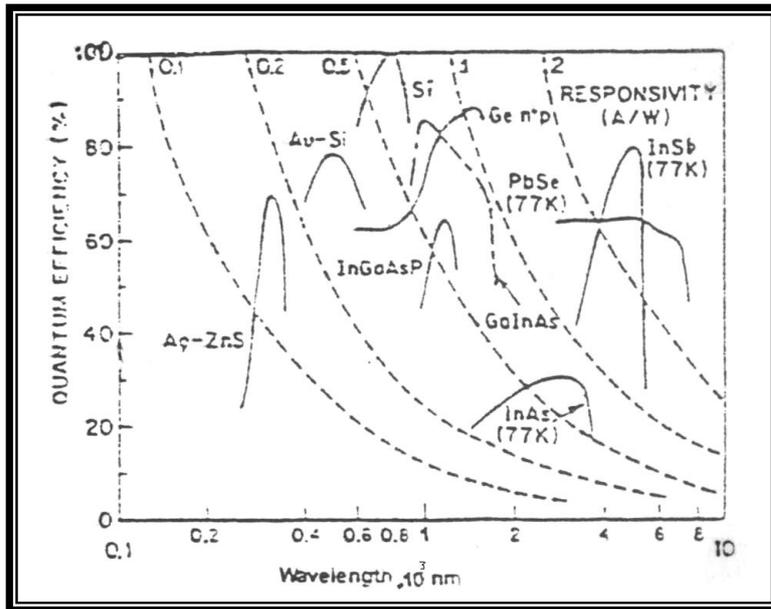
$$\eta = \frac{(1 - R)(1 - e^{-\alpha d})}{(1 - R e^{-\alpha d})} \dots\dots\dots(44-2)$$

حيث : R الانعكاسية و d سمك الغشاء الممتص للضوء  
 α معامل الامتصاص

ويمكن حسابها بدلالة الطول الموجي والاستجابية الطيفية [ 71]:

$$\eta = \frac{R_{\lambda} hc}{q\lambda} \dots\dots\dots(45-2)$$

حيث ان قيمة الكفاءة الكمية دائماً اقل من ( 1 )، وتعتمد على انعكاسية الاشعة الساقطة على سطح الكاشف ولزيادة قيمة الكفاءة الكمية نقلل من قيمة الانعكاسية وذلك بطلاء سطح الكاشف بمادة مضادة للانعكاس مثل (SiO<sub>2</sub>). كما أن الكفاءة الكمية تعتمد على مقدار الامتصاص ضمن منطقة النضوب، وأخيراً زيادة فترة حياة الحاملات من خلال تقليل العيوب التركيبية تجنباً لاعادة اتحاد الحاملات قبل تجمعها في منطقة النضوب [ 79,36]. والشكل (2-22) يوضح علاقة الكفاءة الكمية مع الطول الموجي.



شكل (2-22) العلاقة بين الكفاءة الكمية والطول الموجي لبعض المواد شبه الموصلة [ 47 ] .

### 5-12-2 الضوضاء في الكواشف Noise in Detectors

تتولد الضوضاء في المواد شبه الموصلة نتيجة للتغيرات الداخلية (Internal Fluctuations) والعمليات العشوائية التي تحدث بسبب الطاقة الحركية للجزيئات

والإلكترونات عند غياب الإضاءة وتكون الضوضاء على شكل تيار، وفي حالة الكواشف الفولتائية الضوئية تعطى بالعلاقة [80,69,41]:

$$I_n = \left( 4k_B T \frac{1}{R} \Delta f \right)^{1/2} \dots\dots\dots (46-2)$$

حيث  $\Delta f$  : عرض حزمة الضوضاء

$$\frac{1}{R} \text{ التوصيل الكهربائي}$$

وعند عدم وجود فوتاتية الانحياز تعطى بالعلاقة :

$$\frac{1}{R} = \frac{q}{k_B T} I_s \dots\dots\dots(47-2)$$

وبتعويض معادلة (47-2) في المعادلة (46-2) نحصل على:

$$I_n = (2qI_s \Delta f)^{1/2} \dots\dots\dots (48-2)$$

أما في حالة وجود فوتاتية انحياز

$$I_n^2 = 2q \left[ I_p + \frac{I_s}{n} \exp\left( \frac{qV}{nk_B T} \right) + \frac{k_B}{qR_D} \right] \Delta f \dots\dots\dots (49-2)$$

حيث  $R_D$  : مقاومة الظلام للكاشف عند انحياز = صفر و  $n$  عامل المثالية.

يمثل الحد الاول من المعادلة اعلاه تيار الضوضاء الناتج من الاشعاعات المحيطة وتعطى بالعلاقة:

$$I_p = AGq\eta\Phi_B \dots\dots\dots (50-2)$$

حيث  $A$  : مساحة الكاشف

$\Phi_B$  كثافة قدرة الاشعاعات المحيطة

أما الحد الثاني من المعادلة (49-2) يسمى بضوضاء الصدمة ( Shot Noise ) ناتج عن تسليط مجال كهربائي خارجي والمتمثل بفولتية الانحياز .

عندما تكون قيمة كل من  $\Phi_B = 0$  و  $V = 0$  فإن المعادلة (49-2) تؤول إلى ما يسمى بتيار ضوضاء جونسن كما في المعادلة (48-2).

## 2-12-5-1 انواع الضوضاء

هناك عدة انواع من الضوضاء يمكن ذكرها باختصار [ 81,80,73,69]:

## 1 - ضوضاء جونسون Johnson Noise

هذا النوع من الضوضاء هو الاكثر شيوعاً والذي ينشأ في جميع أنواع الكواشف في حالة التوازن الحراري مع المحيط، ويتولد نتيجة امتلاك الالكترونات الموجودة في حزمة التوصيل سرعة متذبذبة، وتسمى أيضاً بضوضاء الحرارة (Thermal Noise) وتجدر الإشارة إلى انه يحدث بغياب الجهد الخارجي.

اما بقية الانواع فتعزى الى وجود جهد الانحياز الخارجي:

## 2 - ضوضاء نوع (Shot)

وتحدث في الكواشف الفوتوفولتائية وينشأ هذا النوع بسبب تولد الالكترونات الناتجة من تسليط جهد الانحياز العكسي.

## 3- ضوضاء التولد - اعادة الاتحاد (Genevation-Recombination Nosie).

يظهر هذا النوع من الضوضاء في الكواشف الحرارية والتوصيلة الضوئية بسبب التذبذب الحاصل من التولد الحراري وإعادة اتحاد الحاملات الحرة مما يؤدي الى تذبذب تركيز الحاملات.

## 4- ضوضاء درجة الحرارة (Temparature Noise)

هذا النوع من الضوضاء يحدث بسبب الاختلاف او التذبذب في درجة حرارة الكاشف وخاصة في الكواشف الحرارية.

## 5- ضوضاء (1/f)

يعود سبب هذا النوع من الضوضاء الى الانخلاعات التي تحدث في المادة الشبه موصلة فضلاً عن اجهزة القياس المربوطة اثناء اجراء القياسات.

## 2-5-12-2 نسبة الاشارة الى الضوضاء Signal-to-Noise Ratio (S/N)

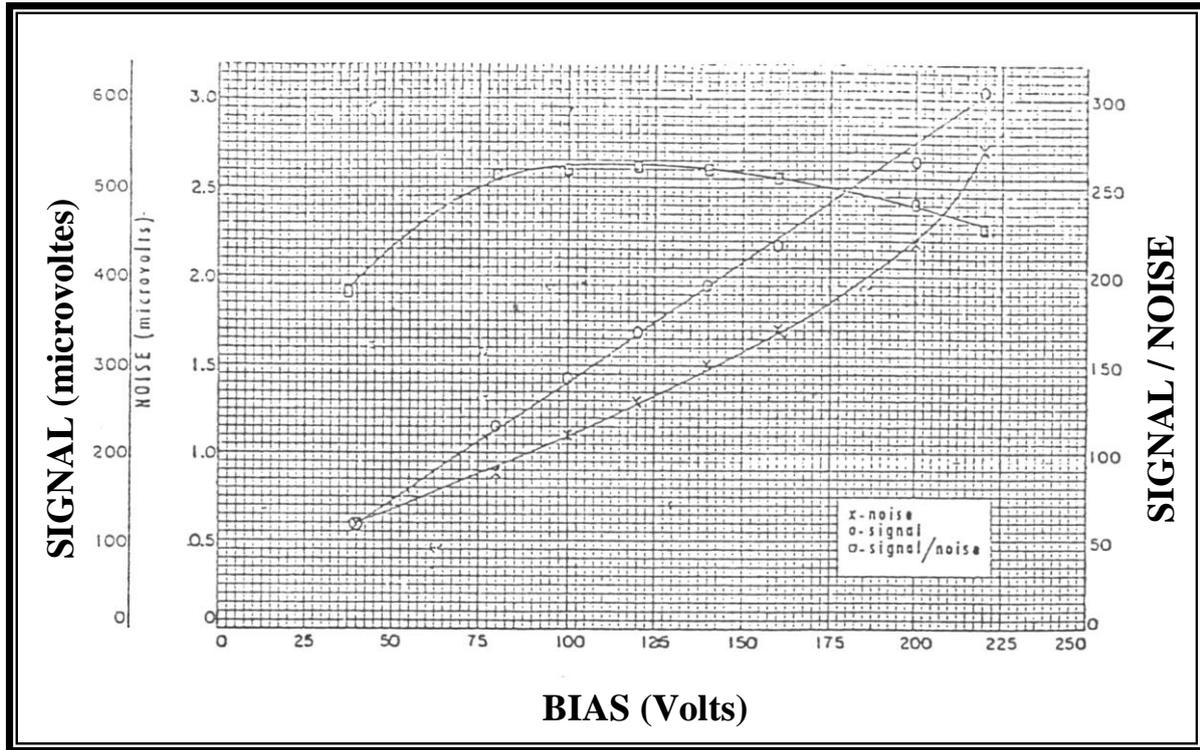
يعبر عن قيمة ضوضاء نوع (Shot) الناتج من التيار الضوئي بالعلاقة [74]:

$$I_{sh} = (2qI_{ph} \Delta f)^{1/2} \dots \dots \dots (51-2)$$

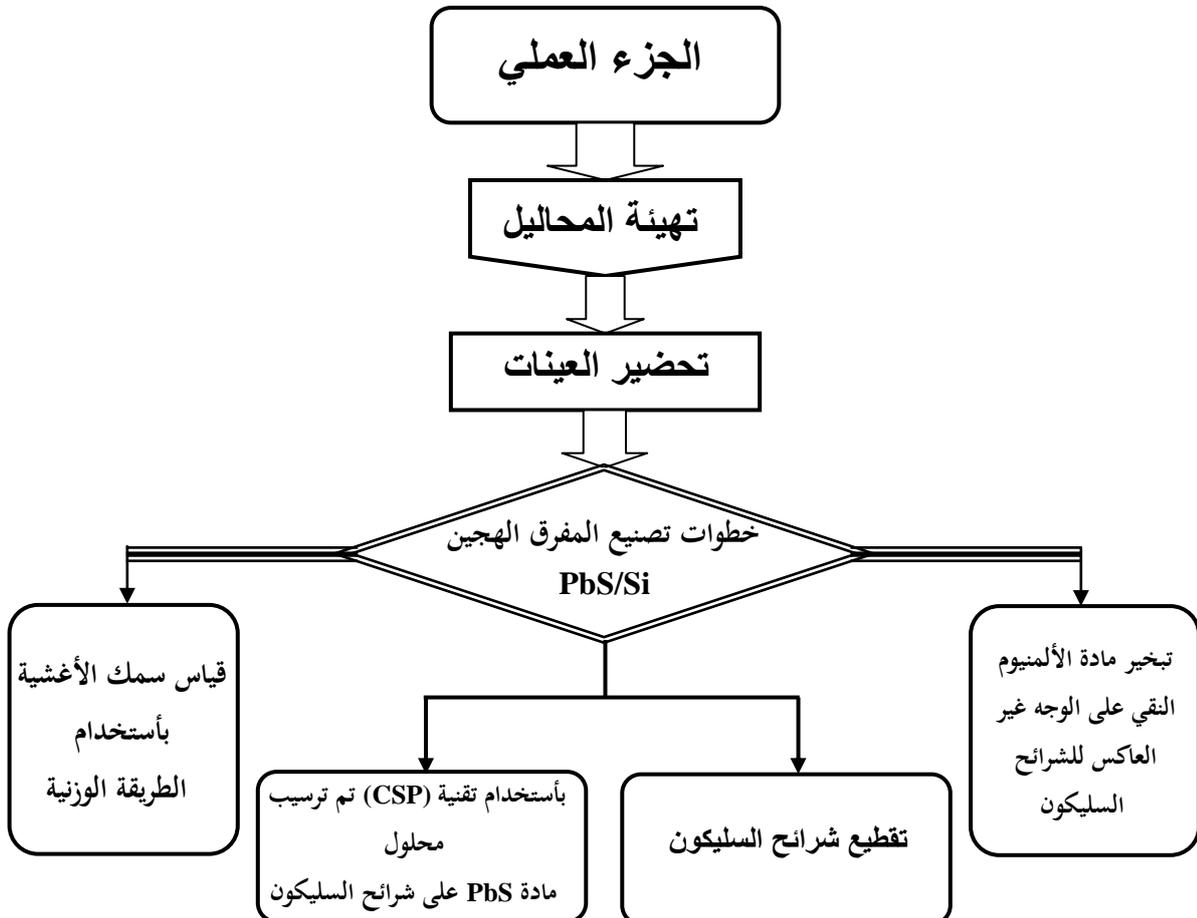
ويمكن التعرف على الاشارة الى نسبة الضوضاء (S/N) من خلال العلاقة التالية:

$$S / N = \frac{I_{ph}}{I_{sh}} = \frac{I_{ph}}{(2qI_{ph} \Delta f)^{1/2}} = \left( \frac{I_{ph}}{2q\Delta f} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (52-2)$$

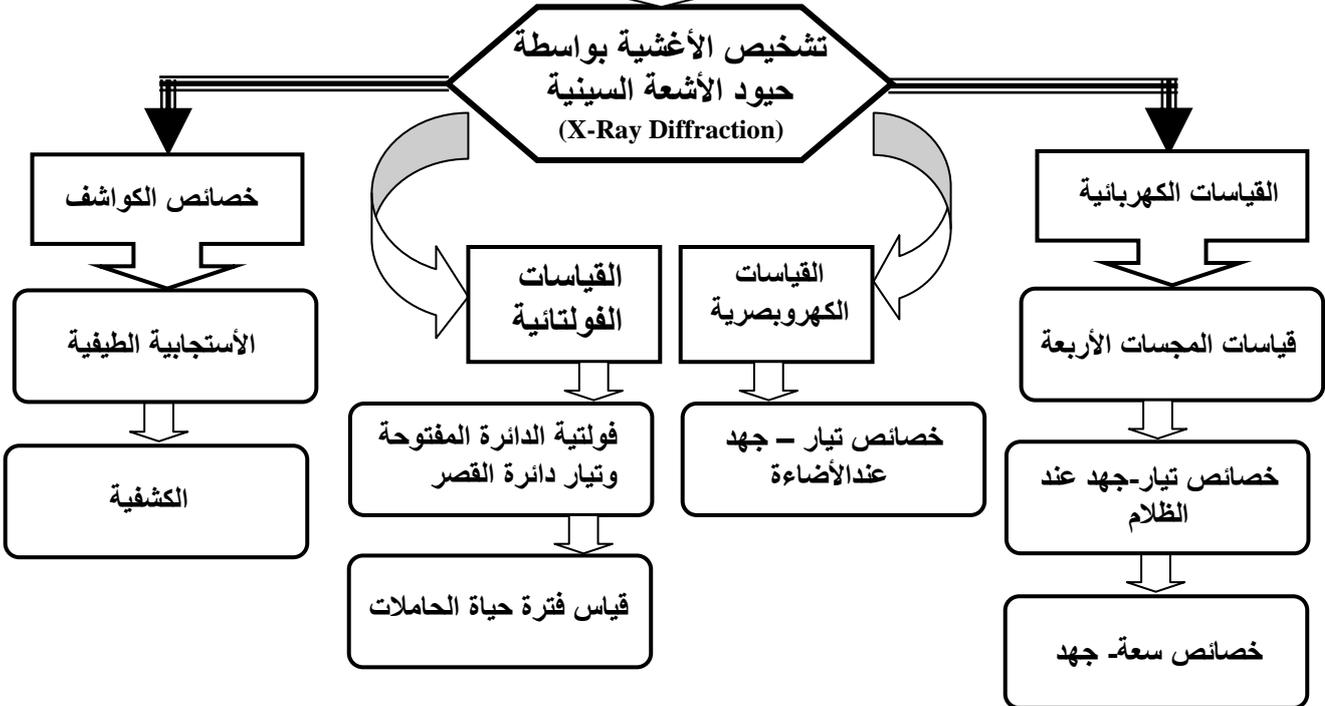
والشكل (23-2) يوضح علاقة (S/N) كدالة لفولتية الانحياز [82].



شكل (23-2) علاقة (S/N) مع جهد الانحياز [66].



**الأتصالات الأومية**



### 1-3 المقدمة Introduction

يتضمن هذا الفصل استعراضاً شاملاً للجوانب العملية والقياسات الخاصة بكاشف المفرق الهجين (PbS/Si) المحضرة بطريقة الترسيب الكيميائي الحراري، بدءاً من تحضير المحاليل الكيميائية وصولاً إلى عملية تصنيع الكاشف، كما يتضمن توضيحاً لجميع القياسات والفحوصات اللازمة لدراسة الخصائص التركيبية والكهربائية والفولتائية الضوئية والاستجابة الطيفية والكشفية.

### 2-3 منظومة الترسيب الكيميائي الحراري

ان منظومة الترسيب الكيميائي الحراري تتكون من عدة اجهزة بسيطة وكما موضحة في الشكل (1-3) يمكن بواسطتها الحصول على أغشية رقيقة لأغلب المواد الكيميائية وعلى قواعد متنوعة، وقد تم استخدامها لتحضير الغشاء الرقيق لمادة البحث (PbS) على قواعد سليكونية ذي اتجاهية (111)، وتتكون المنظومة من الاجهزة التالية:

#### 1. جهاز الرش Sprayer Nozzle

وهو جهاز مصنع محلياً من الزجاج الاعتيادي ويحتوي على خزان يوضع فيه محلول المادة المراد ترسيبها، وهذا الخزان اسطواني الشكل مفتوح من الاعلى نصف قطره ( 15mm ) وارتفاعه (80mm)، وجزئه السفلي مخروطي الشكل يتصل بأنبوبة شعرية بواسطة صمام زجاجي يستخدم لغرض التحكم بمقدار تدفق المحلول النازل الى الانبوبة الشعرية، وتحاط الانبوبة الشعرية بغرفة زجاجية منتفخة مخروطية الشكل مغلقة من الاعلى لأتصالها بالانبوبة الشعرية ومفتوحة من الاسفل لتحيط بالانبوبة الشعرية، بحيث تكون الفتحتان متحدتي المركز وبمستوى واحد. وتحتوي الغرفة الزجاجية على فتحة جانبية تسمح بمرور الهواء المضغوط داخلها والذي يعمل على تخلخل الضغط داخل الغرفة الزجاجية وتحويل القطرة النازلة من الانبوبة الشعرية الى رذاذ باتجاه القاعدة المراد ترسيب الغشاء عليها.

#### 2. حامل جهاز الرش Holder of Sprayer Nozzle

لتثبيت جهاز الرش اثناء عملية الرش يستخدم الحامل المعدني حيث يثبت جهاز الرش على ارتفاع معين بواسطة ماسك مثبت على حامل المعدني بحيث يمكن التحكم بارتفاع جهاز الرش عن سطح سخان الكهربائي وكذلك يمكن التحكم في وضع جهاز الرش، واعتيادياً تكون نهاية الانبوبة الشعرية التي يخرج منها المحلول بوضع عمودي على القاعدة المراد ترسيب الغشاء عليها، كما يثبت دورق زجاجي بواسطة ماسك على الحامل الحديدي تحت جهاز الرش بمسافة معينة والغرض منه منع سقوط قطرات المحلول على القاعدة اثناء تنظيم تدفق قطرات المحلول قبل عملية الرش،

وعند الانتهاء من عملية الرش يزاح الدورق تحت جهاز الرش وذلك تلافياً من سقوط قطرات المحلول على القاعدة الساخنة.

### 3. السخان الكهربائي Electric Heater

للحصول على التفاعل الكيميائي الحراري، يجب تسخين القاعدة المراد ترسيب الغشاء عليها الى درجة حرارة معينة يتحقق فيها تجانس الغشاء المحضر، وفي هذه الدراسة تم استخدام سخان كهربائي يعمل بمدى حراري يتراوح بين ( 50-600°C ). ذات حجم متوسط دائري الشكل قطره (15cm) تقريباً ويمكن السيطرة على درجة حرارة السخان بواسطة مجزئ جهد يربط مع السخان على التوازي.

### 4. مجزئ الجهد Potential Divider

لقد تم استخدام مجزئ جهد نوع ( Rotary Regavolt ) من انتاج شركة (The British Electric Resistance Co. LTD.)، ضمن مدى فولتية يتراوح (0-120 V)، حيث تم ربطه مع السخان الكهربائي على التوازي للتحكم بدرجة حرارة السخان وبالتالي التحكم بدرجة حرارة القاعدة المراد ترسيب الغشاء عليها.

### 5. المزدوج الحراري Thermo Couple

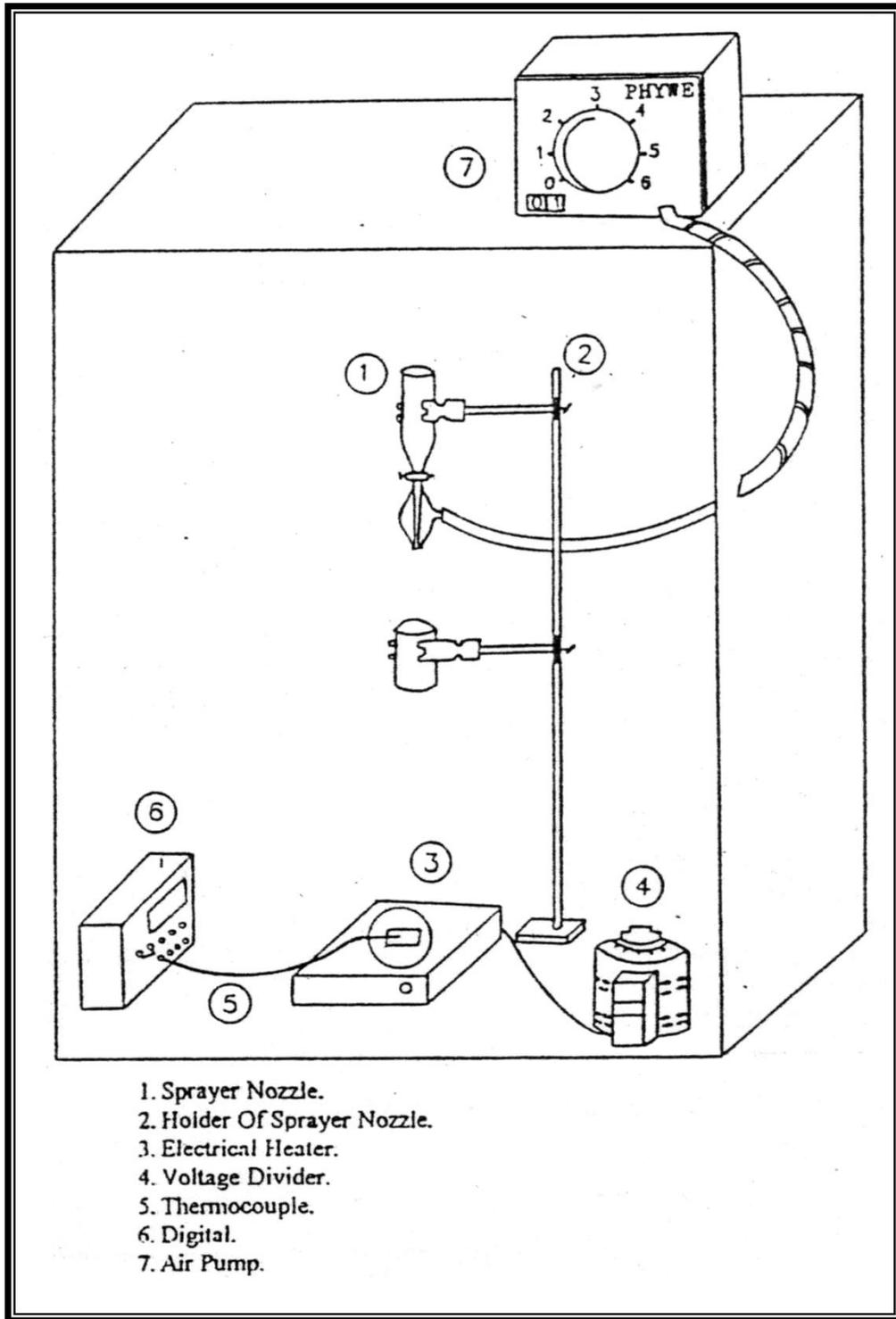
لقياس درجة حرارة السخان والقاعدة المستخدمة، أُستخدم المزدوج الحراري من نوع (NiCr-Ni) المجهز من قبل شركة (Phywe) الالمانية، حيث يتكون المزدوج من مجس حراري حساس يوضع على سطح القاعدة المستخدمة.

### 6. العداد الرقمي Digital Counter

يربط العداد الرقمي المجهز من قبل شركة (Phywe) الالمانية بللمزدوج الحراري ومن خلاله نتعرف على درجة حرارة القاعدة المستخدمة مقاسة بالدرجة المئوية.

### 7. مضخة الهواء Air Pump

للسيطرة على الهواء الداخل الى جهاز الرش، تم استخدام مضخة هواء من نوع (Geblase) المجهزة من قبل شركة (Phywe) الالمانية حيث تقوم بدفع الهواء المضغوط داخل الغرفة الزجاجية عن طريق الفتحة الجانبية الموجودة في الغرفة الزجاجية، وذلك بواسطة ربط مضخة الهواء مع جهاز الرش بأنبوب مطاوي مما يعمل على دفع المحلول النازل من الانبوبة الشعرية على سطح القاعدة المسخنة بشكل رذاذ دقيق. ويمكن التحكم بقوة دفع الهواء عن طريق منظم التحكم في المضخة وبما يتلائم مع ارتفاع جهاز الرش للحصول على اغشية ذات مواصفات جيدة.



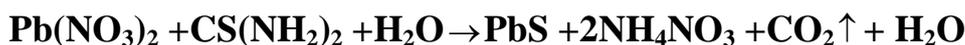
الرسم شكل (1-3) منظومة الترسيب الكيميائي الحراري

### 3-3 تهيئة المحاليل المستخدمة في تحضير أغشية كبريتيد الرصاص (PbS)

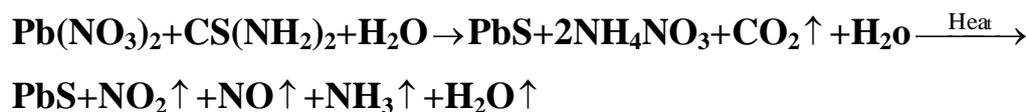
أستخدمت كلاً من مادة نترات الرصاص (Lead Nitrate (Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) ومادة الثايوريا (CS(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) في تحضير أغشية كبريتيد الرصاص (PbS). كما وان مادة نترات الرصاص التي استخدمت في هذا البحث كانت بنقاوة (99%) والمجهزة من شركة (General Purpose (Reafened BDH-Limited Poole-England).

تم تحضير المحلول الخاص بنترات الرصاص بعبارية (0.1M) وذلك بإذابة (3.312gm) من مادة نترات الرصاص في (50ml) من الماء المقطر وذابة كلياً بعد (15) دقيقة وكان الناتج محلول رائق عديم اللون، بعد ذلك تم ترشيح المحلول بواسطة ورق الترشيح تجنباً لوجود أية عوالق في جو المختبر أثناء عملية التحضير، أما بالنسبة لمادة الثايوريا المستخدمة فهي أيضاً كانت بنقاوة (99%) ومجهزة من الشركة نفسها المذكورة أعلاه. كما وان محلول مادة الثايوريا تم تحضيره بعبارية (0.1M) وذلك بإذابة (7.612gm) من مادة الثايوريا في (50ml) من الماء المقطر وقد ذابت كلياً خلال (10) دقائق وبذلك حصلنا على محلول رائق عديم اللون وقد تم ترشيح المحلول بنفس الطريقة السابقة المشار إليها. ولوزن المواد المستخدمة في تحضير هذا المحلول استخدم ميزان حساس من نوع (Mettler AE-160) حساسيته (10<sup>-4</sup> gm).

وأخيراً تم مزج محلول نترات الرصاص مع محلول الثايوريا اللذين سبق تحضيرهما وقد تحرر من تفاعل المحلولين غاز ثاني أكسيد الكاربون وتبقى مادة كبريتيد الرصاص ونترات الامونيوم المذابتين في الماء كما موضح في التفاعل التالي [83]:



وعند الترسيب تتحلل نترات الامونيوم بفعل الحرارة وبذلك تعطي عدة غازات مثل غاز ثاني أكسيد النايتروجين (وهو غاز سام) وغاز النتروز NO وغاز الامونيا NH<sub>3</sub> ويتبخر الماء وبذلك نحصل على غشاء من مادة PbS على سطح القاعدة السليكونية ويمكن تمثيل اجمالي العمليات الكيميائية وفق المعادلة الكيميائية:



### 3-4 تحضير العينات Sample Preparation

لقد تم في هذا البحث استخدام شرائح سليكونية احادية البلورية ( Singl Crystal ) من النوع المانح ( n-type ) ومن النوع القابل ( P-type ) بمقاومية كهربائية (3-5 Ω.cm) ذات اتجاهية (111) وبسمك (500<sup>±50</sup> μm).  
تم تنظيف الشرائح السلكونية بالماء المقطر الفاتر لأزالة العوالق وذرات الاتربة المحتمل وجودها ومن ثم تم غسل الشرائح بكحول الايثانول النقي لمدة لا تقل عن (5) دقائق وأخيراً أجريت عملية التنميش الكيميائي ( Chemical Etching ) للتخلص من الشوائب والملوثات وطبقة الاوكساید الموجودة على سطح الشرائح، وقد تمت هذه العملية بغمر العينات في حامض الهيدروفلوريك ( HF ) المخفف وبنسبة تركيز ( 1:10 HF:H<sub>2</sub>O ) لمدة ( 4-5 ) دقيقة بعد ذلك اخرجت العينات وتم غسلها بكحول الايثانول مرة ثانية لغرض ازالة الحامض المتبقي ومن ثم غسل العينات بالماء المقطر واخيراً تجفف العينات بواسطة ورق الترشيح والهواء الساخن.

### 3-5 العوامل المؤثرة على تجانس الاغشية المحضرة

هنالك عدد من العوامل التي تؤثر على تجانس الأغشية عند تحضيرها وهي:

#### 3-5-1 درجة حرارة القاعدة

للحصول على التفاعل المطلوب يجب تثبيت درجة حرارة القاعدة لأنها تعد أحد العوامل المهمة التي تؤثر في طبيعة الاغشية المحضرة وتجانسها حيث يتسبب في تغيير طبيعة التركيب البلوري للمادة وبالتالي تغير صفاتها الفيزيائية وفي هذه الدراسة تم ترسيب الاغشية على القواعد السلكونية بدرجة حرارة (723K) واختيرت هذه الدرجة بعد تجارب عديدة.

#### 3-5-2 معدل الرش

إن من العوامل المهمة في عملية الترسيب الكيميائي الحراري ثبوت معدل الرش خلال عملية التحضير إذ إن زيادة معدل الرش بصورة كبيرة يؤدي الى البرودة المفاجئة للقاعدة وللسخان الكهربائي وإن زيادة أو نقصان معدل الرش يؤثران على تجانس الغشاء المحضر وكذلك احتمال تشوه الغشاء او حدوث تشققات في القاعدة ويتم التحكم بمعدل الرش بواسطة الصمام الموجود في جهاز الرش.

## 3-5-3 زمن الرش

ضمن هذه الدراسة كان زمن الرش الواحدة هو بحدود ( 15 ) ثانية والمدة الزمنية بين رشة وأخرى هي دقيقة واحدة وتستمر عملية الرش عدة مرات لحين الحصول على الأسماك المطلوبة.

## 3-5-4 ارتفاع جهاز الرش

ويقصد بها المسافة العمودية بين فتحة جهاز الرش والقاعدة التي يتم الترسيب عليها والموضوعة على سطح سخان كهربائي. وفي دراستنا الحالية وللحصول على غشاء ذي نوعية جيدة كان الارتفاع الأمثل لجهاز الرش هو ( 30 cm )، والذي يوفر لنا رذاذ المحلول الساقط يغطي إجمالي المساحة التي يتم الترسيب عليها، ويحقق كون الغشاء المتكون ذا تجانس كبير يحقق المواصفات المطلوبة لتحضير الغشاء قيد البحث.

## 3-5-5 ضغط الهواء

ضمن هذه الدراسة تم تثبيت ضغط الهواء الداخل الى الغرفة الزجاجية في جهاز الرش بحدود  $1.14262 \times 10^{-5} (N/m^2)$  وذلك لضمان نزول المحلول على القاعدة بشكل رذاذ دقيق جداً وبسرعة لا تسبب في برودة مفاجئة القاعدة وبالتالي حدوث تشوه الغشاء المحضر.

## 3-6 تصنيع المفرق الهجين

## الخطوات المتبعة لتصنيع المفرق الهجين PbS/Si

1. تم باستخدام منظومة التبخير الحراري ( Thermal Evaporation unit ) ترسيب طبقة من مادة الالمنيوم النقي على احد اوجه الشرائح السلكونية وتحديداً الوجه غير العاكس واختير افضل سمك لطبقة الالمنيوم يحقق الاتصال الأومي ( Ohmic Contac ) هو ( 2000Å ) [85,84].
2. ومن ثم تلدن العينات بدرجة حرارية مقدارها ( 773K ) ولفترة زمنية ( 10 ) دقيقة وذلك لغرض تحسين خصائص الاتصال الاومي.
3. بعد الانتهاء من عملية ترسيب الالمنيوم على الوجه غير العاكس من شرائح السليكون تقطع الشرائح الى قطع صغيرة.
4. بواسطة منظومة الرش الكيميائي الحراري ( Chemical Spary Pyrolysis ) تم ترسيب غشاء PbS على القواعد السلكونية.

5. وضع أقنعة (Masks) على كل من القواعد السلكونية وذلك لغرض ترسيب الاتصال على هذه الجهة بشكل حلقة من غشاء الالمنيوم النقي.

### 7-3 قياس سمك الاغشية الرقيقة

#### Thickness Measurement of Thin Films

هنالك طرائق عديدة لقياس سمك الاغشية الرقيقة وذلك لتأثر خصائص الغشاء بسمكه. ومن هذه الطرائق [32]:

أولاً- الطريقة الكهربائية : تعتمد هذه الطريقة على العلاقة بين سمك الغشاء والمقاومة الكهربائية.

ثانياً- الطريقة الميكانيكية: يتم القياس بهذه الطريقة بواسطة أبرة دقيقة جداً (Stytus) مربوطة بنابض حلزوني، تمر هذه الأبرة عبر حافة الغشاء وأي تغيير في الحركة العمودية لها تعطي إشارة إلى جهاز الكتروني يشير إلى الفرق بين ارتفاع الغشاء بالنسبة للقاعدة.

ثالثاً- الطريقة الوزنية: وهي الطريقة المتبعة في هذه الدراسة يتم وزن كتلة القاعدة السلكونية بعد الانتهاء من عملية تنظيفها وتجفيفها ووزنها بعد انتهاء عملية الترسيب غشاء ال (PbS) عليه وذلك باستخدام ميزان الكتروني حساس من نوع (Mettler AE-160) ذي حساسية ( $10^{-4}$  gm) ومن معرفة فرق الكتلة وكثافة مادة الغشاء وقياس مساحته تم حساب سمك الغشاء الرقيق وفق المعادلة الآتية:

$$t = \frac{\Delta m}{\rho \times A} \dots\dots\dots (1-3)$$

حيث ان:

t - سمك الغشاء المحضر (cm)

$\Delta m$  - فرق الكتلة (كتلة مادة الغشاء) (gm)

$\rho$  - كثافة مادة الغشاء ( $gm/cm^3$ )

A - مساحة الغشاء ( $cm^2$ )

### 8-3 تشخيص الاغشية بواسطة حيود الاشعة السينية

تم التشخيص والتعرف على التركيب البلوري لأغشية PbS المرسبة على قواعد زجاجية بواسطة تقنية حيود الاشعة السينية (XRD). حيث عند تسليط حزمة اشعة سينية بزوايا معينة على سطح الغشاء فسوف تظهر قمم (Peaks) نتيجة لانعكاسات براك عن السطوح البلورية

المتوازية والتي يحصل عندها تداخل بناء ( Constructive Interference ) لموجات الأشعة السينية المنعكسة عنها، والتي تخضع لقانون براك (Bragg's Law) الاتي [86]:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

حيث ان:

d: المسافة بين المستويات

$\theta$ : زاوية الحيود

n: ثابت (رتبة الحيود)

$\lambda$ : الطول الموجي للشعاع الساقط

بعد ذلك تم حساب ثابت الشبكية (a) من العلاقة التالية [46]:

$$a = d (h^2 + k^2 + l^2)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

حيث h k l : تمثل معاملات ملر.

وإن دراسة الـ(XRD) تمت باستخدام جهاز حيود الأشعة السينية بالموصفات التالية:

Type Philips pw 1840  
Target: Cu  
Filter: Ni  
Wave Length: 1.54 Å

Speed: 3°/min  
Current: 20 mA  
Voltage: 40 KV  
Rang (2 $\theta$ ): 10°- 60°

### 9-3 القياسات الكهربائية Electrical Measurements

لقد شملت هذا النوع من القياسات على قياس المقاومة ومعرفة نوع التوصيلة الكهربائية، قياسات خصائص تيار- جهد عند الظلام، وقياسات سعة- جهد للكواشف المصنعة.

#### 9-3-1 قياس المقاومة ونوع التوصيلة الكهربائية

لمعرفة المقاومة ونوع التوصيلة الكهربائية والمقاومة السطحية لشرائح السليكون وغشاء

(PbS) المرسب على القواعد الزجاجية تم استخدام جهاز المجسات الاربعة

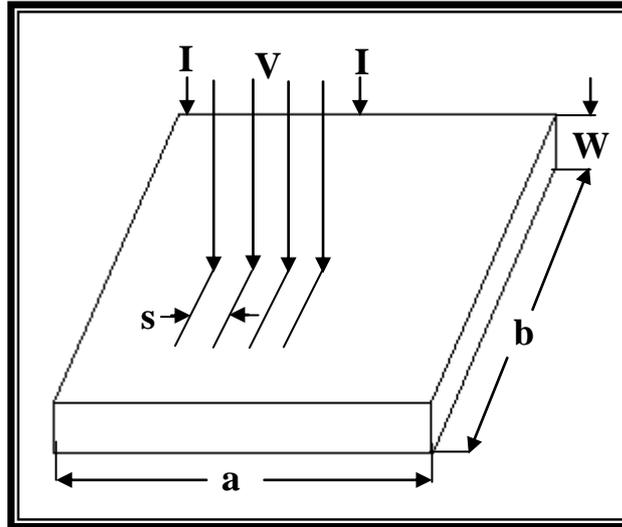
(Four-Point Probe) نوع (FPP 500) من انتاج شركة (VECCO) وهو عبارة عن جهاز

يحتوي على اربع مجسات ذات رؤوس دقيقة جداً وبنفس المستوي ومتساوية في البعد الواحدة عن

الاخري وكما موضح بالشكل (2-3). فعند وضع العينة المراد قياسها بتماس مع المجسات الاربعة.

يتم امرار تيار صغير من مصدر تيار بين النقطتين الخارجيتين ويتم قياس الفولتية بين النقطتين

الداخليتين. وتعطى قيمة المقاومة السطحية والمقاومية بالعلاقات الاتية [59,5]:



شكل (2-3) المجس ذي النقاط الاربع [5]

$$R_s = \frac{V}{I} (C.F) \Omega / \square \dots\dots\dots (4-3)$$

حيث:

$R_s$ : المقاومة السطحية.

C.F: معامل التصحيح (Correction Factor) وتساوي (54.4) [56].

ويمكن حساب المقاومة  $\rho$  من المعادلة الآتية:

$$\rho = R_s t (\Omega.cm) \dots\dots\dots (5-3)$$

حيث أن :

t: سمك الغشاء

وأخيراً بالامكان تحديد نوع المفرق اذا كان المفرق متماثل ام غير متماثل.

### 2-9-3 قياس تيار - جهد في حالة الظلام

#### Current – Voltage Measurements in The Dark Condition

تم قياس خصائص تيار- جهد في حالة الظلام وذلك بوضع الكاشف داخل حجرة مظلمة (Dark Chamber) وعند قياس تيار الانحياز الامامي (ربط الجزء المانع من الكاشف بالجهد السالب للمصدر وربط الجزء القابل بالجهد الموجب للمصدر) وعند قياس تيار الانحياز العكسي تم (ربط الجزء المانع من الكاشف بالجهد الموجب للمصدر وربط الجزء القابل بالجهد السالب للمصدر) عند جهد انحياز ضمن المدى  $V(0-2)$  عند درجة حرارة الغرفة ومن خلال رسم العلاقة بين تيار الانحياز الامامي وجهد الانحياز تم تحديد معامل المثالية (Ideality factor) وحسب العلاقة [87,50]:

$$n = \frac{q}{k_B T} \cdot \frac{V}{\ln \frac{I_f}{I_{sat}}} \dots\dots\dots(6-3)$$

حيث أن:

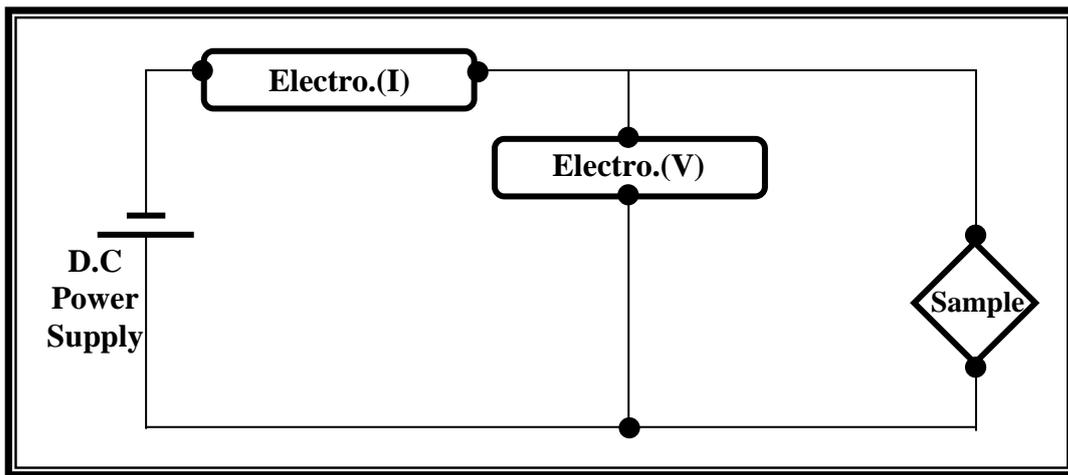
$V$  = فولتية الانحياز الامامي.

$k_B$  = ثابت بولتزمان.

$I_f$  = تيار الانحياز الامامي.

$I_{sat}$  = تيار الاشباع.

وتتألف منظومة قياس تيار - جهد عند الظلام من مجهز قدرة نوع (TANDEM D.C Power Supply) وجهاز قياس التيار نوع (Keithley. 619 Electrometer) لقراءة قيمة التيار الناتج، وجهاز قياس الفولتية نوع (Keithley.177 Micro Vohdmm) لقياس الجهد المسلط. وكما موضح في الشكل (3-3).



الشكل (3-3) مخطط منظومة قياس خصائص تيار - جهد عند الظلام.

### 3-9-3 قياس خصائص سعة - جهد

#### Capacitance - Voltage Characteristics Measurement

لتحديد جهد البناء الداخلي ( Built-in Potential ) ومعرفة نوع المفرك الهجين من ناحية كونه حاد أو متدرج فقد تم استخدام جهاز ( LRC ) نوع (LCZ System hp/4192 ALF) لقياس خصائص سعة- جهد عند جهد الانحياز العكسي ضمن المدى  $V(0.5-3)$  وبتردد  $1MHz$ . وهذا النوع من القياسات معتمدة لحد الان من قبل الباحثين لتحديد جهد البناء الداخلي ومعرفة نوع المفرك الهجين [89,88]. تم ايجاد قيمة جهد

البناء الداخلي  $V_{bi}$  عملياً من خلال رسم العلاقة بين  $(1/C^2)$  وجهد الانحياز العكسي حيث من تقاطع الخط المستقيم مع الجهد  $(1/C^2 = 0)$  يمكن تحديد جهد البناء الداخلي للكاشف المصنعة [90].

### 10-3 القياسات الكهروإلكترونية **Oploelectronic Measurements**

#### 1-10-3 قياس خصائص تيار- جهد في حالة الإضاءة

#### Current-Voltage Chara. Measurements under Illumination.

تم قياس التيار المار في الدائرة لجهد انحياز عكسي ضمن المدى  $V(0.05-8)$  حيث تم تعريض الكاشف للإضاءة بقدرات مختلفة تتراوح  $(2.8-230 \text{ mW/cm}^2)$  من مصدر ( Halogen Lamp type Philips)، وكما مبين في الشكل (a-4-3).

### 11-3 قياسات الفولتائية الضوئية **Photovoltaic Measurements**

#### 1-11-3 قياس فولتية الدائرة المفتوحة

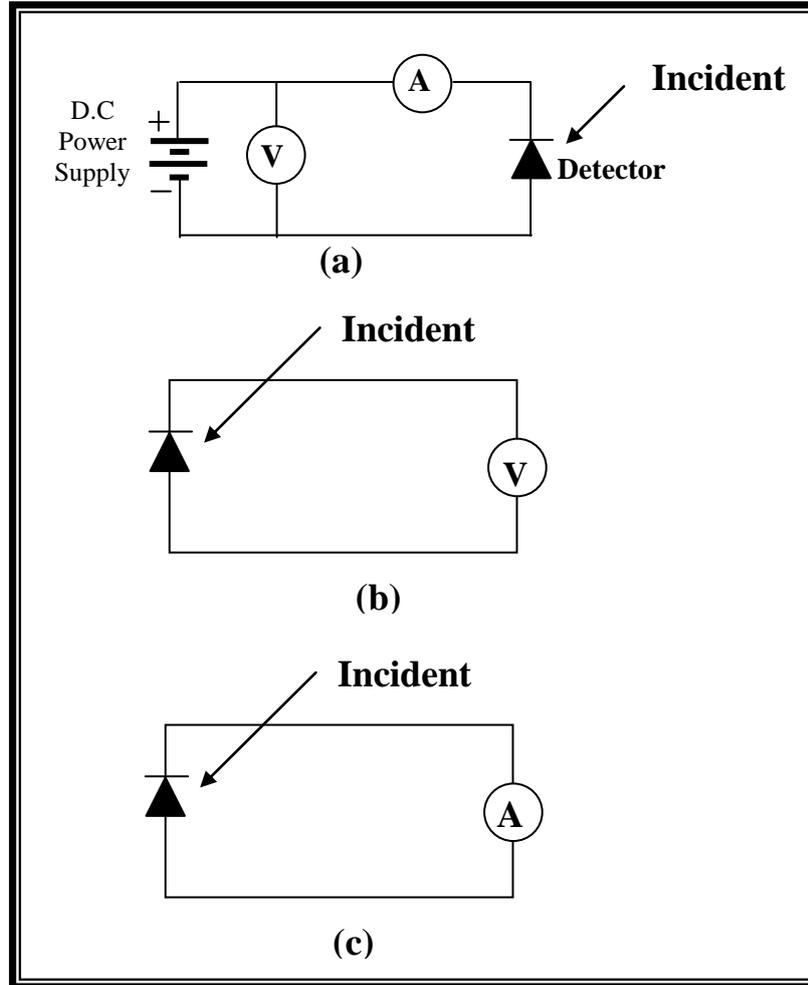
#### Open Circuit Voltage Measurement ( $V_{oc}$ )

تم قياس مقدار فولتية الدائرة المفتوحة كدالة لشدة الضوء الساقط كما مبين في الشكل (b-4-3).

#### 2-11-3 قياس الدائرة القصيرة

#### Short Circuit Current Measurement ( $I_{sc}$ )

وفي هذا القياس تم تحديد مقدار التيار المار في الكاشف كدالة لشدة الضوء الساقط وكما مبين في الشكل (c-4-3).



الشكل (3-4) مخطط الدائرة الكهربائية المستخدمة في قياس  
 (a) خصائص تيار- جهد عند الاضاءة  
 (b) فولتية الدائرة المفتوحة.  
 (c) تيار الدائرة القصير.

### 12-3 قياس فترة حياة الحاملات الأقلية

#### Minority Carriers lifetime Measurement

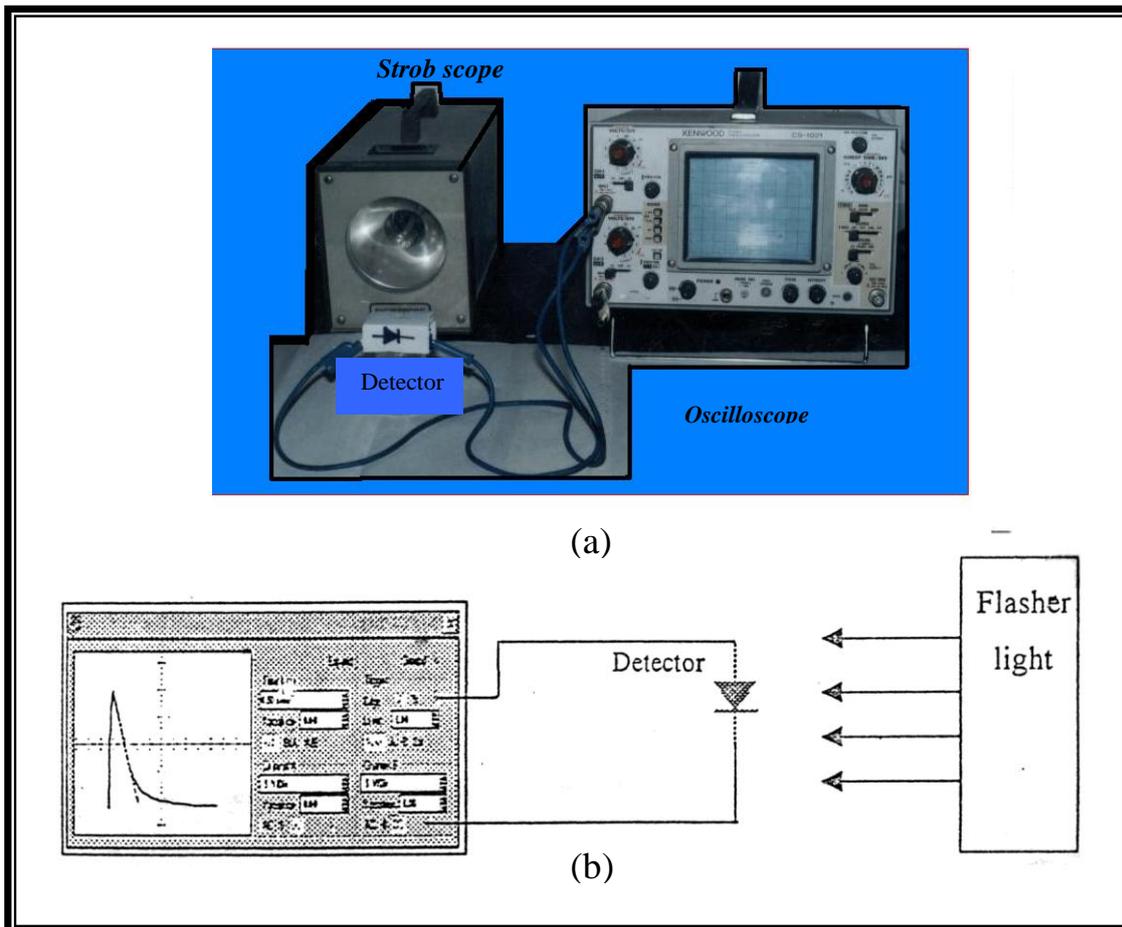
تعرف حياة الحاملات الاقلية ( $\tau$ ) بأنها الفترة الزمنية التي تفضيها الحاملات الاقلية قبل ان يعاد اتحادها وبتعبير آخر يمكن تعريفها بأنها الفترة الزمنية التي تهبط فيها الشدة الى (37%) من قيمتها القصوى (لحظة الاضاءة) [91].

وقد تم قياس فترة حياة حاملات الشحن الأقلية باستخدام مذبذب ضوئي (Digital Stroboscope) وجهاز راسم الذبذبات (CS-1021 Oscilloscope) ذات سعة 20 MHz المجهزة من شركة KENWOOD الالمانية كما مبين في الشكل (3-5) واعتماداً على تقنية نبضة اضمحلال فولتية الدائرة المفتوحة المحتثة ضوئياً (Photo- induced-open circuit voltage Deacy Technique) (OCVD).

فعند تعريض الكاشف الى ومضات من المذبذب واستلام الاشارة من خلال جهاز

الاولسكوب. تم تحديد مقدار الاضمحلال في فولتية الدائرة المفتوحة كدالة لزمن النبضة  $(\frac{\Delta V_{oc}}{\Delta t})$  والذي يمثل ميل منحنى الاشارة المستلمة وبالتالي حساب فترة حياة الحاملات الاقلية من العلاقة الاتية [93,92]:

$$\tau = \frac{k_B T}{q} \cdot \frac{1}{\Delta V_{oc} / \Delta t} \dots\dots\dots(7-3)$$



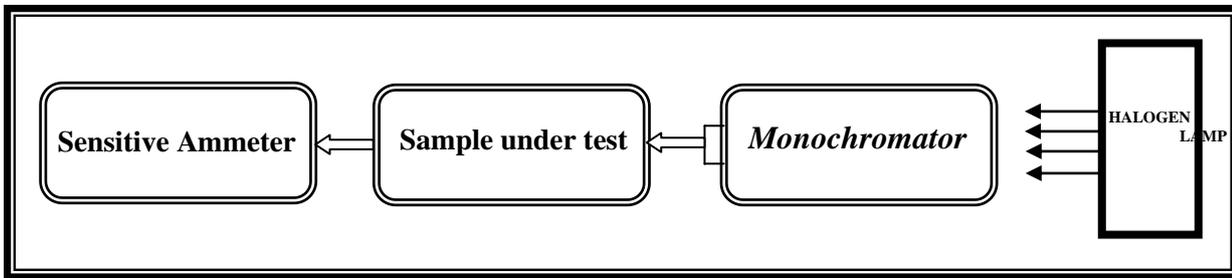
شكل (3-5)

(a) منظومة قياس فترة حياة الحاملات الاقلية

(b) مخطط منظومة قياس فترة حياة الحاملات الاقلية

**13-3 قياسات خصائص الكواشف****1-13-3 Spectral Responsivity Measurement** القياس الاستجابة الطيفية

تم قياس الاستجابة الطيفية للكواشف المصنعة باستخدام منظومة فحص الكواشف المؤلفة من موحد الطول الموجي ( Monochromator ) نوع ( Intrared Spectradiometer 764 ) وضمن المدى الطيفي nm (450-1150) ومقياس رقمي للتيار من نوع ( Fluke 8010 ) ( Adigital Multimeter ) لقياس التيارات الضوئية ومقياس القدرة ( Powermeter ) لقياس القدرة الاشعاعية المسلطة على الكاشف ولكل طول موجي، والشكل (3-6) يوضح مخطط للمنظومة المستخدمة في قياس الاستجابة الطيفية. وبتطبيق العلاقة (2-37) تم حساب الاستجابة الطيفية لكل طول موجي.



الشكل (3-6) مخطط منظومة قياس الاستجابة الطيفية.

**2-13-3 Detectivity Measurement** القياس الكشافية

نظراً لأهمية هذا المعلم في تصميم الكواشف فقد تم تحديد الكشافية كدالة للطول الموجي باستخدام العلاقة (2-42) وكما تم حساب تيار الضوضاء من خلال العلاقة (2-43).

**3-14-3 قياس الكفاءة الكمية**

تم تحديد الكفاءة الكمية للكواشف المصنعة كدالة للطول الموجي من خلال معرفة الاستجابة الطيفية حسب العلاقة (2-45).

**1-4 المقدمة Introduction**

بعد اجراء القياسات والفحوصات الخاصة بالكواشف المصنعة التي تم استعراضها في الفصل السابق نستعرض في هذا الفصل نتائج القياسات العملية ومناقشتها وتتضمن نتائج الفحوصات التركيبية والكهربائية والكهروإحصائية والكهروإحصائية الضوئية وكذلك النتائج الأستجابية الطيفية والكفاءة الكمية والكشفية. ومن الجدير بالذكر أن الكواشف المصنعة تستخدم من جهة المادة ذي فجوة الطاقة الضيقة ( Front-Wall Illumination ) أي من جهة مادة الـ (PbS) وتعد هذه الطريقة من احدى ميزات المفارق الهجينة، والفائدة من هذه الطريقة هو تقليل كبير بكلفة تصنيع الكاشف السليكوني المتجانس من خلال تصنيع كاشف مفرق هجيني يعمل بمنطقة مشابهة لتلك التي يعمل بها الكاشف السليكوني المصنوع بطريقة الانتشار ذي الكلفة العالية جداً، وإن بساطة تصنيع كاشف المفرق الهجيني (موضوع الدراسة) ناتجة من بساطة تقنية الترسيب الكيميائي الحراري فضلاً عن درجة حرارة تصنيعه الواطئة.

**2-4 نتائج الفحوصات التركيبية****1-2-4 حيود الاشعة السينية**

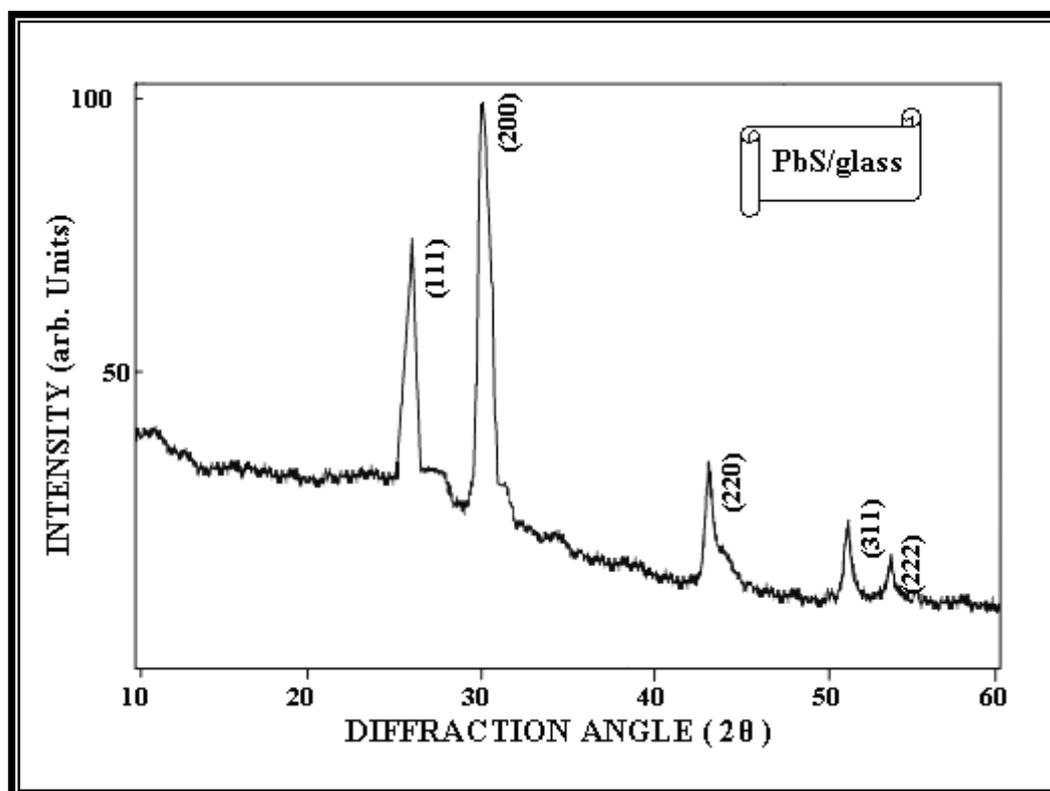
إن لهذا النوع من الفحوصات اهمية كبيرة في اعطاء معلومات عن التركيب البلوري للمادة وترتيب ذراتها فضلاً عن التعرف على هوية المادة المرسبة من خلال ايجاد ثابت الشبكية (a) والمسافة بين مستويات ذرات المادة (d).

من خلال نتائج طيف حيود الاشعة السينية الموضح في الشكل (1-4)، تبين ان اغشية (PbS) المحضرة كانت ذات تركيب متعدد التبلور (Polycrystalline) من النوع (F.cc) واتجاه السائد لها (111) و (200) ومن خلال مقارنة النتائج مع بطاقات (ASTM) وجدت انها مطابقة، وهذا يتفق مع النشريات السابقة [26,23]. وبتطبيق العلاقة (3.3) تم حساب ثابت الشبكية ووجد انه يساوي (5.94Å)، أما القيمة النظرية لثابت الشبكية فإنه يساوي (5.936Å) [23].

والجدول (1-4) يبين المعلومات والنتائج التي تم الحصول عليها من طيف حيود الاشعة السينية.

جدول (1-4) نتائج طيف حيود الأشعة السينية لغشاء (PbS)

D(Å)	h k l	2θ (deg)	I \ I <sub>0</sub>	2θ (deg) from ASTM cards	d(Å) from ASTM cards
3.42	111	26.0	84	26.0	3.429
2.97	29.9	100	100	30.11	2.969
2.09	43.1	57	57	42.62	2.09
1.78	311	35	35	50.04	1.79
1.71	222	16	100	53.48	1.71



شكل (1-4) طيف الأشعة السينية لغشاء PbS.

## 3-4 نتائج القياسات الكهربائية

## 1-3-4 نتائج قياسات المجسات الأربع

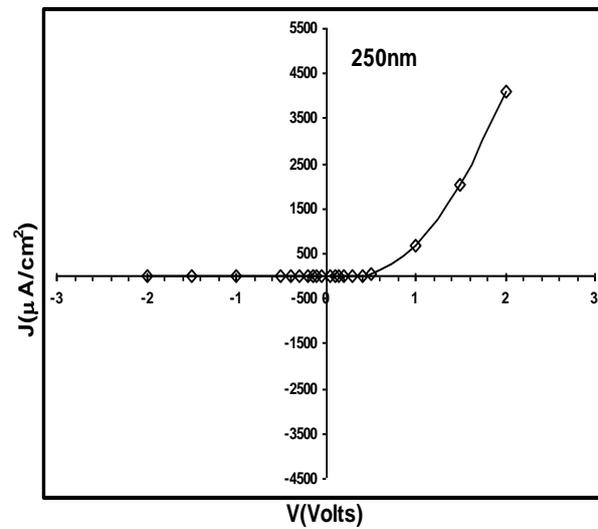
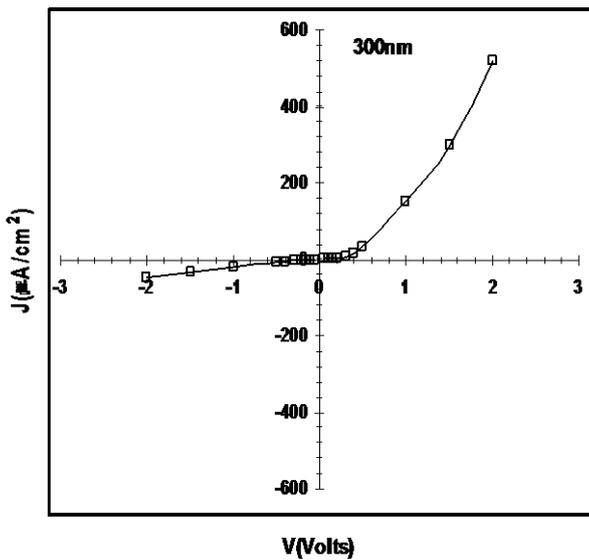
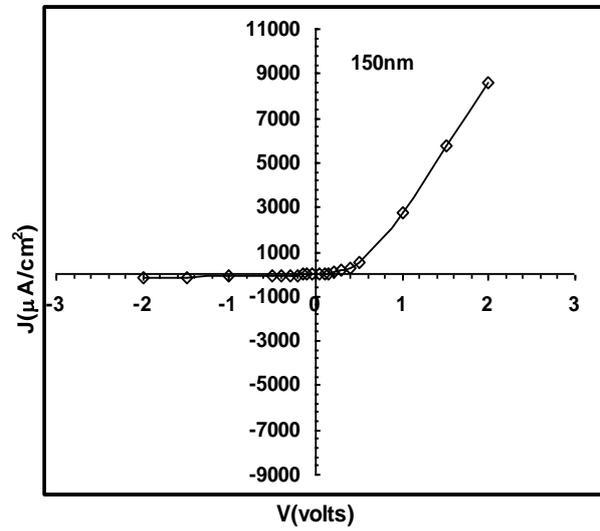
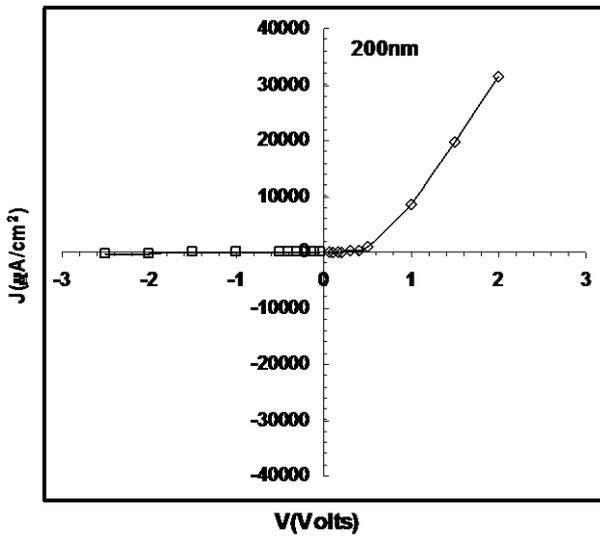
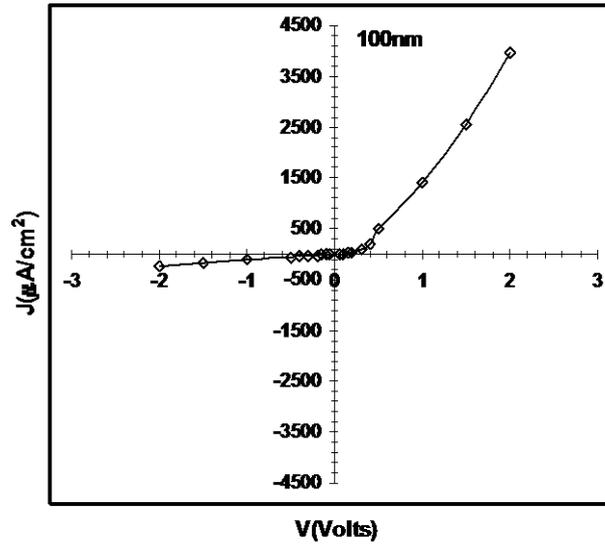
نظراً لأهمية هذا النوع من القياسات في معرفة نوع المفارق المصنعة فقد تم التعرف على نوع التوصيلة الكهربائية لأغشية وكبريتيد الرصاص المرسبة على قواعد زجاجية عازلة وكانت توصيلة مانحة n-type وبما ان تم ترسيب أغشية (PbS) على قواعد سليكونية قابلة ومانحة لذا فإن المفارق المصنعة من النوع غير المتماثل (n-PbS/p-Si) والمتماثل (n-PbS/n-Si).

## 2-3-4 نتائج قياس تيار - جهد في حالة الظلام

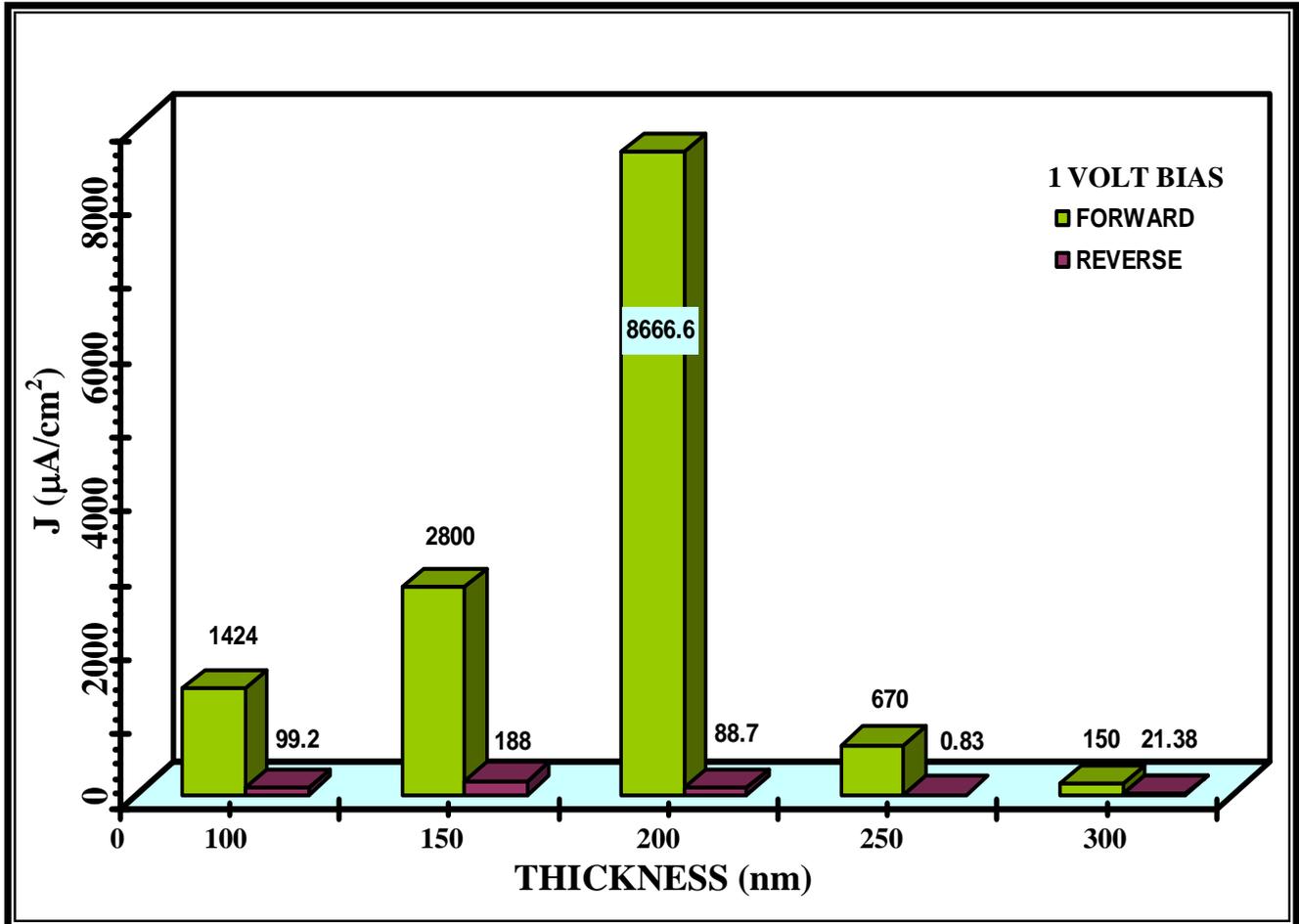
من خلال دراسة خصائص تيار - جهد في الظلام يمكننا التعرف على سلوك التيار الناتج مع الجهد المسلط على طرفي الكاشف ولكلا الانحيازات الأمامي والعكسي. ويوضح الشكل (2-4) منحني تيار الانحياز الأمامي والعكسي عند الظلام كدالة السمك ضمن المدى (100-300nm) وبزيادة (50nm) تبعاً للمفرق من النوع غير المتماثل، بصورة عامة نرى ان تيار الانحياز الأمامي ينشأ نتيجة لانتقال حاملات الشحن الأغلبية والجهد المسلط يعمل على حقن هذه الحاملات فينتج عنه تناقص في عرض منطقة النضوب وانخفاض في قيمة جهد التيار الداخلي (Built-in potential) ويكون تركيز حاملات الأقلية والأغلبية أكبر من مربع تركيز الحاملات الذاتية  $ni^2 < np$  مما ينتج عنه عند الفولتيات الواطئة تيار إعادة الاتحاد وذلك لان الإلكترونات المتهيجة من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل سوف يعاد اتحادها مع الفجوات الموجودة في حزمة التكافؤ وهذا ما تمت ملاحظته من خلال الزيادة القليلة في تيار الاتحاد في منطقة الفولتيات الواطئة [7]. أما عند الفولتيات العالية فنلاحظ زيادة متسارعة في قيمة التيار مع الجهد المسلط والمتغلب هو تيار الانتشار.

أما بالنسبة لتيار الانحياز العكسي فنلاحظ وجود منطقتين الأولى منطقة الفولتيات القليلة والتي يزداد التيار فيها مع زيادة الجهد المسلط والمتغلب فيه هو تيار التولد اما المنطقة الأخرى فتسمى بمنطقة الانتشار وهي عند الفولتيات العالية [45]. ومن خلال الشكل (2-4) نلاحظ زيادة في قيمة التيار إلى حد سمك (200nm) ومن ثم نقصانه ويعزى ذلك إلى الانخلاعات المتولدة نتيجة لزيادة السمك وهذه الانخلاعات تعمل كمصائد لحاملات الشحن مما يسبب انخفاض في قيمة التيار الناتج.

ومن خلال الشكل (3-4) يتبين لنا بأن الكواشف المصنعة تمتلك خصائص تقويم عالية (Rectification) ولا سيما عند سمك (250nm) وبالغلة (807)، حيث ان عامل المثالية تمثل النسبة بين تيار الانحياز الامامي إلى تيار الانحياز العكسي عند فولتية معينة مثل (1Volt).



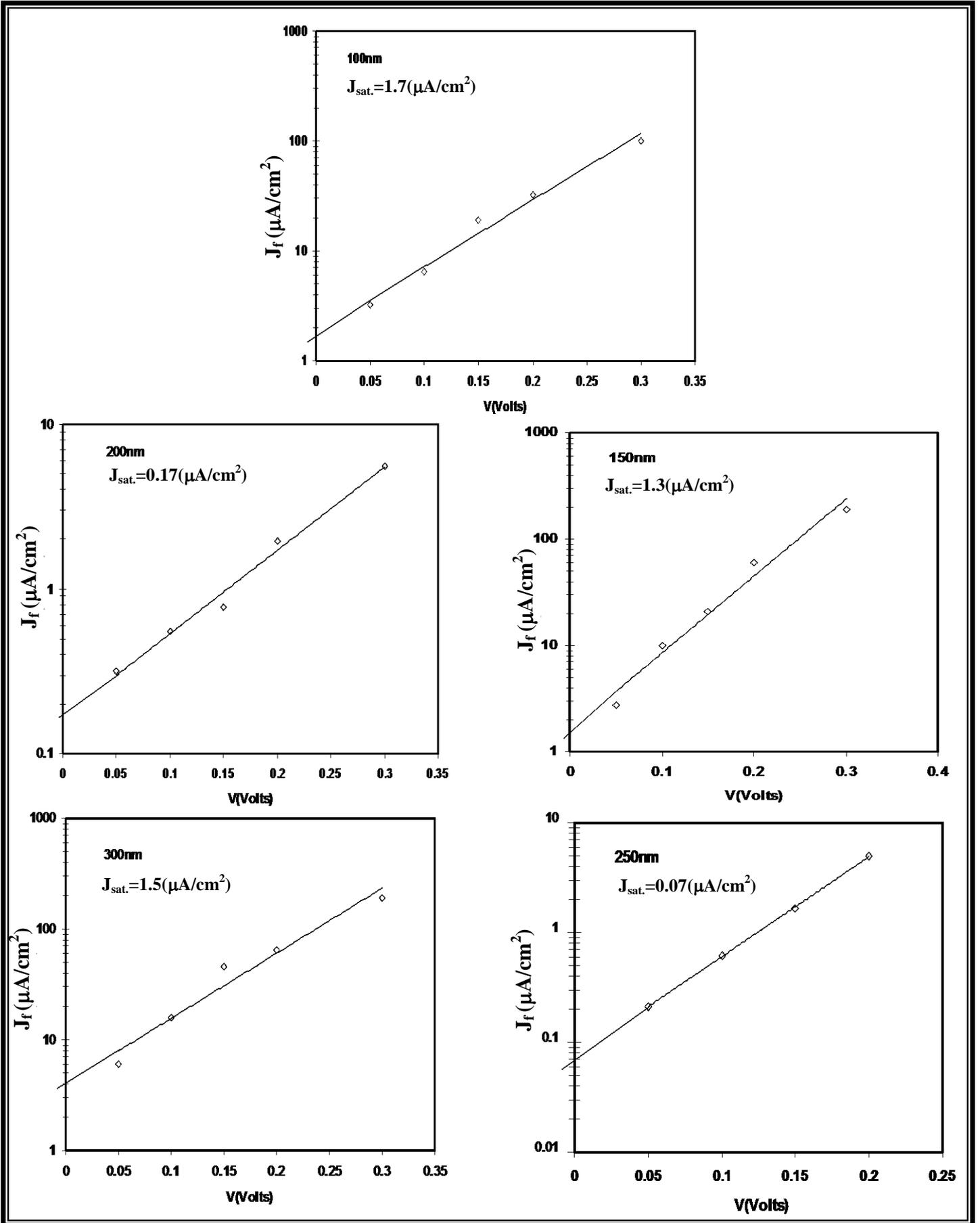
شكل (2-4) خصائص تيار - جهد لأسماك ترسيب مختلفة.



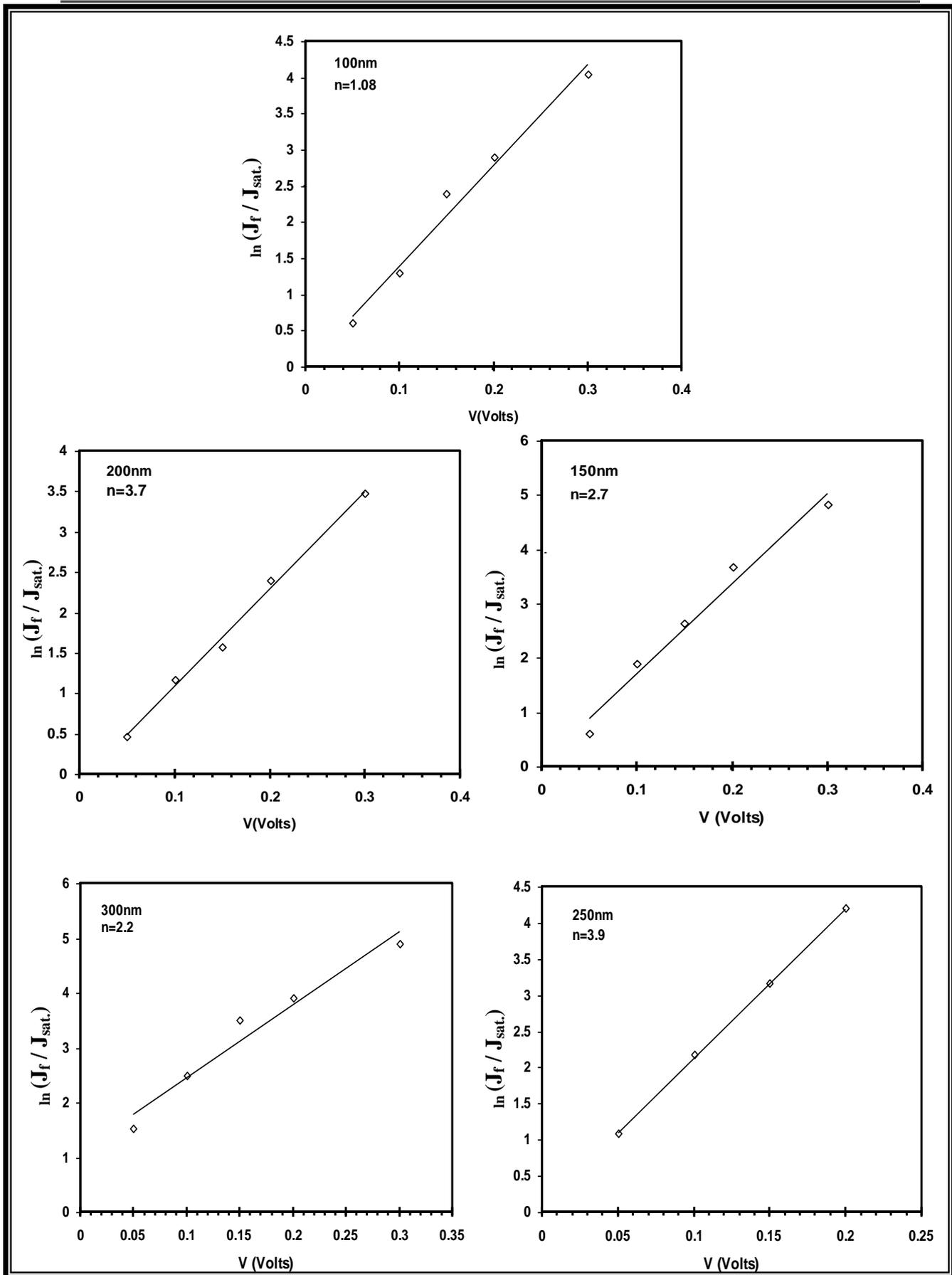
شكل (3-4) تيار الانحياز الامامي والعكسي دالة لأسماك ترسيب مختلفة لأغشية PbS

والشكل (4-4) يوضح خصائص تيار. جهد بالانحياز الأمامي على مقياس لوغاريتمي (Semi-Log) وان المفرك الهجين (PbS/Si) يتوافق مع نموذج الانتشار ، كما تم حساب تيار التشبع العكسي من تقاطع الخط المستقيم مع محور التيار أي عند فولتية انحياز (0 Volt)، ويلاحظ عند الأسماك القليلة تيار التشبع كبير ويعزى ذلك إلى أن المفرك سيكون قريباً من السطح ويسمى المفرك الضحل (Shallow junction) وهذا بالتالي يؤدي إلى حدوث تيار تسرب عالي. اما عند زيادة سمك غشاء (PbS) فإن المفرك سيكون بعيداً عن السطح ويسمى بالمفرك العميق (Deep junction) وبالتالي سيقبل معه تيار التسرب. وتجدر الإشارة إلى انه عند الأسماك الكبيرة مثل (300nm) وبسبب اللاتوافق الشبكي الكبير ستتولد انخلاعات ينتج عنها تيار إعادة الاتحاد وهذا التيار يضاف إلى تيار الانتشار وبالتالي سوف يزداد تيار التشبع. ومن خلال ايجاد ميل العلاقة بين  $\ln(J_f / J_{sat.})$  والجهد (V) الموضحة في الشكل (4-5) وبتطبيق المعادلة (3-6) تم حساب عامل المثالية (n) للكواشف المصنعة وكما مبين في الجدول (4-2) ووجد ان الكاشف ذات سمك غشاء (100nm) شبه مثالي لامتلاكه عامل مثالية وقدره (1.08) حيث ان القيمة النظرية لعامل المثالية يساوي (1).

أما بالنسبة للقيم العالية لعامل المثالية عند الاسماك العالية فلها علاقة بعمليات إعادة الاتحاد عند السطح الفاصل بسبب الانخلاعات الناتجة عن اللاتوافق الشبكي والذي يظهر تأثيره عند الاسماك العالية.

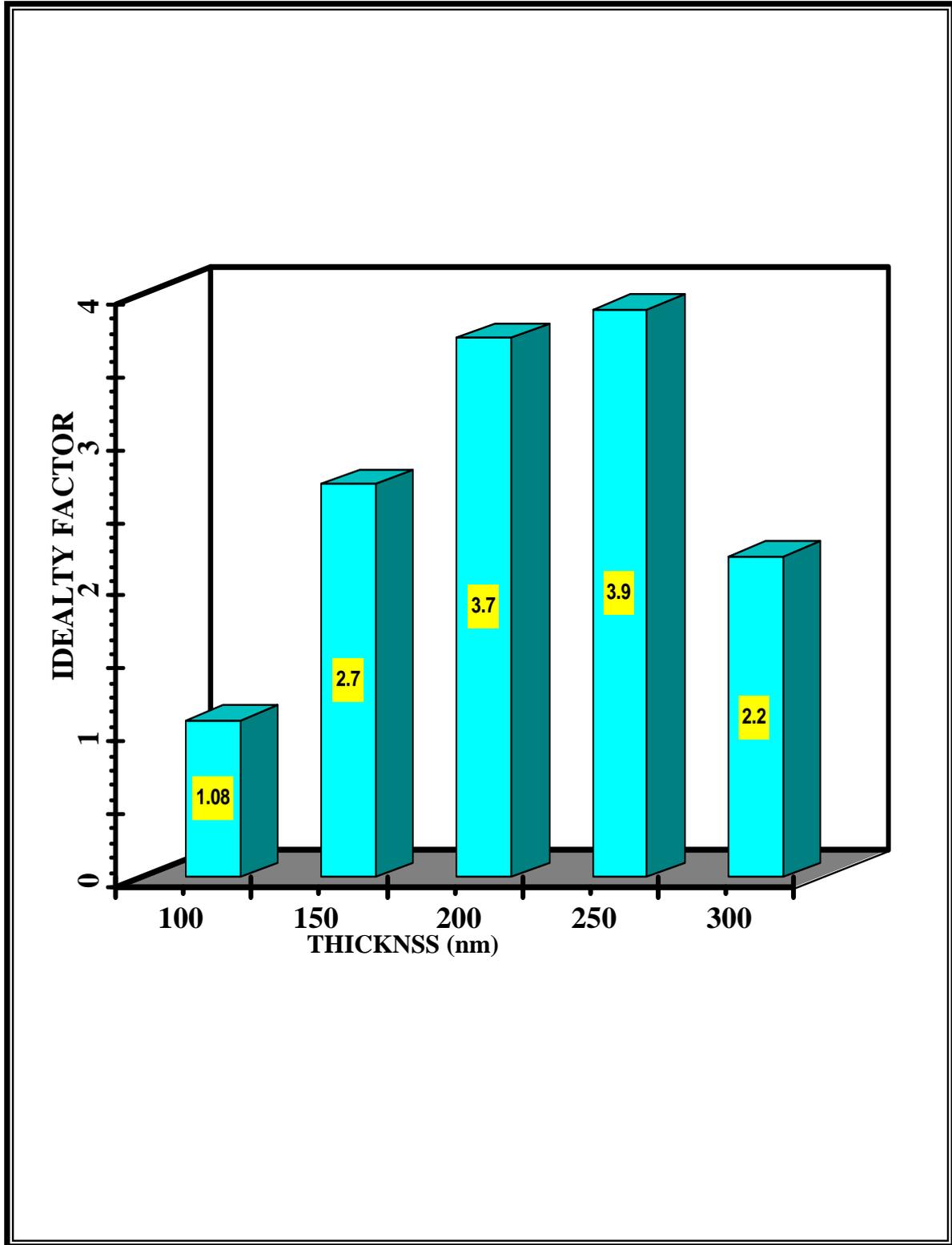


شكل (4-4) خصائص تيار - جهد بالانحياز الأمامي على مقياس لوغاريتمي للمفارق المصنعة.



شكل (5-4) العلاقة الخطية بين  $(\ln J_f / J_{sat.})$  وجهد الانحياز الأمامي للمفارق المصنعة.

والشكل (6-4) يبين علاقة عامل المثالية مع سمك الغشاء المرسب.

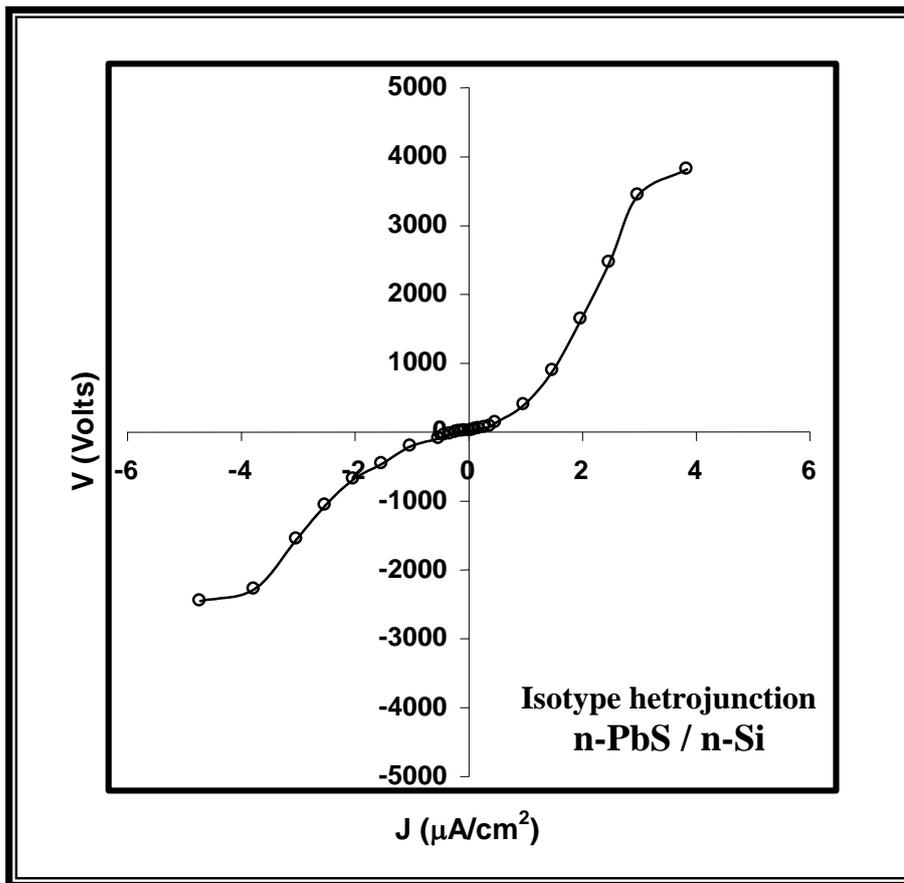


شكل (6-4) تغير عامل المثالية تبعاً لسمك الغشاء المرسب.

جدول (2-4) قيم عامل المثالية للكواشف المصنعة

Thinchness (nm)	n
100	1.08
150	1.3
200	3.7
250	3.9
300	2.2

وعند دراسة خصائص تيار - جهد بالانحياز الأمامي والعكسي للمفرك الهجين المتماثل (n-PbS/n-Si) كما موضح في الشكل (7-4)، يمكن ملاحظة ان سلوك هذا النوع من المفارق يشابه سلوك ثنائي شوتكي المزدوج لامتلاكه تيار الإشباع في المنطقتين الانحياز الأمامي والعكسي (كما موضح في الفقرة (2-7-2)) والنتيجة عن فصل جميع المزدوجات المتولدة حيث أن المفرك المتماثل له صفة تقويم ضعيفة.



شكل (7-4) خصائص تيار - جهد للمفرك الهجين المتماثل PbS / Si .

## 3-3-4 نتائج قياس خصائص (سعة . جهد)

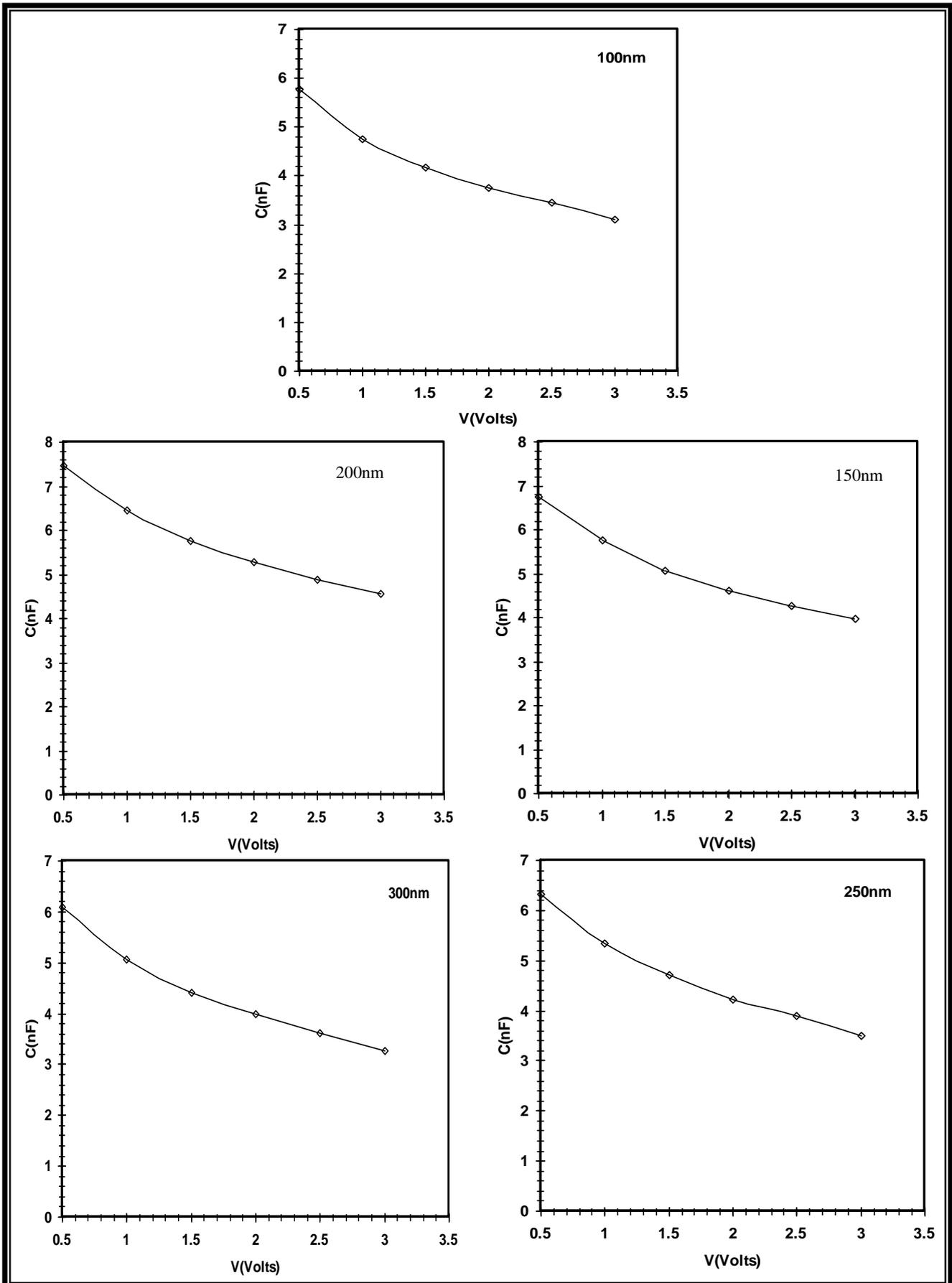
إن لهذا النوع من القياسات أهمية كبيرة في تحديد نوع المفرق فيما لو كان حاداً أو متدرجاً فضلاً عن حساب جهد البناء الداخلي  $V_{bi}$  وعرض منطقة النضوب وكذلك تركيز حاملات الشحن للغشاء المرسب.

ويوضح الشكل (4-8) تغير السعة مع جهد الانحياز العكسي عند تردد (1MHz) حيث نلاحظ تناقص السعة مع جهد الانحياز للمفرق الهجين غير المتماثل (n-PbS/p-Si) وفقاً للمعادلة (2-28) وإن تناقص سعة المفرق مع زيادة جهد الانحياز ينتج عنه زيادة في قيمة البناء الداخلي.

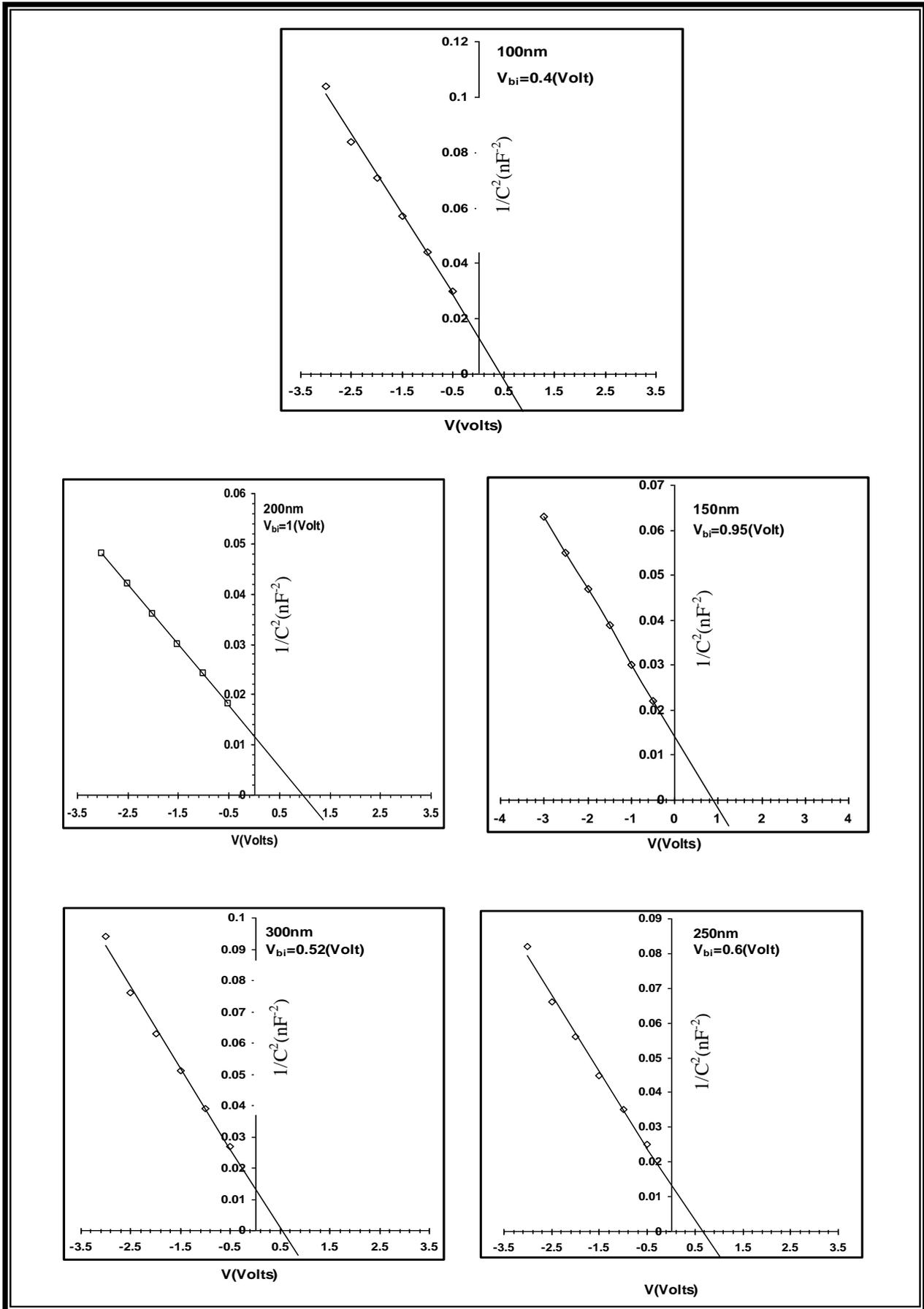
ويبين الشكل (4-9) العلاقة الخطية بين مقلوب مربع السعة  $(1/C^2)$  وجهد الانحياز العكسي مما يدل أن المفرق من النوع الحاد ، كما تم تحديد جهد البناء الداخلي للمفارق المصنعة من خلال تقاطع الخط المستقيم مع محور الفولتية أي عند  $(1/C^2=0)$  ، حيث نلاحظ أن هنالك اختلافاً بسيطاً في ميل الخط المستقيم ويعزى سبب ذلك اختلاف تجانس الاغشية المرسبة فضلاً عن الاختلاف في مساحة الثنائيات المصنعة.

ومن حساب ميل الخط المستقيم وجد تركيز الحاملات الأغلبية (الالكترونات) لغشاء

$$(PbS) \text{ المرسب بحوالي } 1.85 \times 10^5 \text{ cm}^{-3} .$$



شكل (8-4) خصائص سعة - جهد للمفارق المصنعة.



شكل (9-4) العلاقة بين مقلوب مربع السعة وجهد الانحياز العكسي للمفارق المصنعة.

## 4-4 نتائج القياسات الكهروبصرية

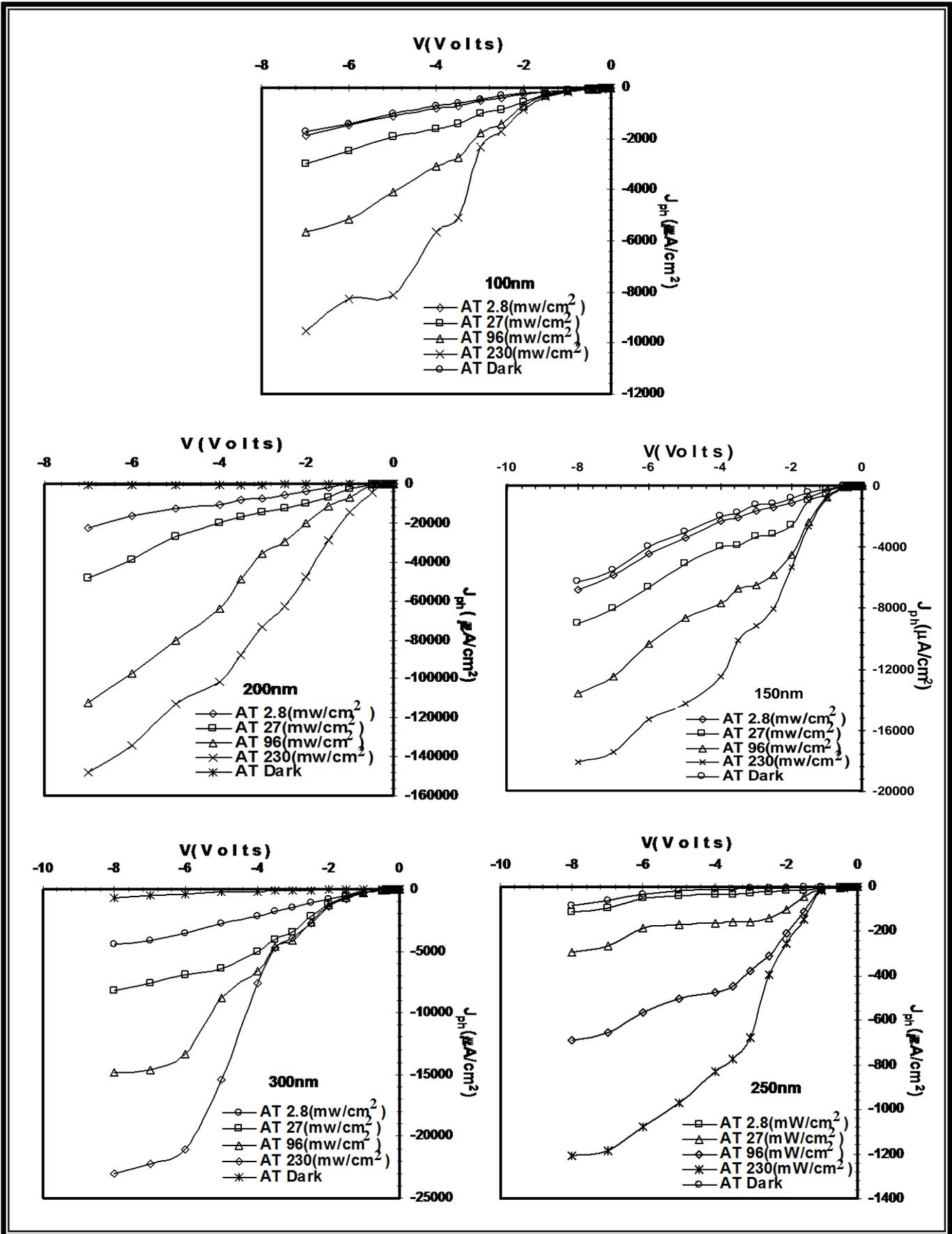
## 1-4-4 نتائج خصائص (تيار - جهد) في حالة الاضاءة

يعد التيار الضوئي من المعلمات المهمة في المفارق الهجية ولا سيما في المجال الكواشف، وإن الشكل (10-4) يوضح منحنيات تغير قيم تيار الظلام والتيار الاضاءة كدالة لجهد الانحياز العكسي عند قيم قدرة ضوئية مختلفة وباستخدام مصباح هلوجين (Halogen Lamp) ولاسماك ترسيب مختلفة.

ومن ملاحظة المنحنيات يتضح بصورة عامة زيادة في قيمة التيار الضوئي مع جهد الانحياز مقارنة بتيار الظلام ويعود سبب ذلك إلى زيادة عرض منطقة النضوب مع زيادة جهد الانحياز العكسي مما تكون معه الاستفادة اكبر من كمية الاشعة الساقطة على الكاشف وبذلك نحصل على امتصاص ضمن هذه المنطقة والمناطق المجاورة لها وبالتالي يزداد عدد المزدوجات (الكترن - فجوة) والتي تساهم في زيادة مقدار التيار الضوئي، كما ان جهد الانحياز العكسي يعمل على زيادة قيمة المجال الكهربائي الداخلي مما يزيد من احتمالية فصل ثنائيات الاقطاب وبذلك يزداد التيار الضوئي.

ان الزيادة في القدرة الضوئية الساقطة تعمل على زيادة في عدد الحاملات المتولدة ضوئياً التي تنتشر في منطقة النضوب ومناطق انتشار الحاملات الذي يعتمد على فترة حياة الحاملات الاقلية في منطقة النضوب. وان قيمة التيار في حالة الانحياز تعتمد على معدل تولد حاملات الشحن وعلى عرض انتشار الحاملات وحسب العلاقة (2-30).

ومن الشكل (10-4) نلاحظ ان اعلى قيمة للتيار الضوئي المتولد كانت عند سمك (200nm) ويعزى ذلك التبلور الجيد للغشاء المرسب والذي يقلل من تاثير حدود الحبيبات وبالتالي يكون تأثيره ذلك إيجابياً على تحركية الحاملات المتولدة ضوئياً مما يزيد قيمة التيار الضوئي.



شكل (10-4) خصائص تيار - جهد عند الاضاءة للمفارق المصنعة.

#### 5-4 نتائج قياسات الخصائص الفولتائية الضوئية

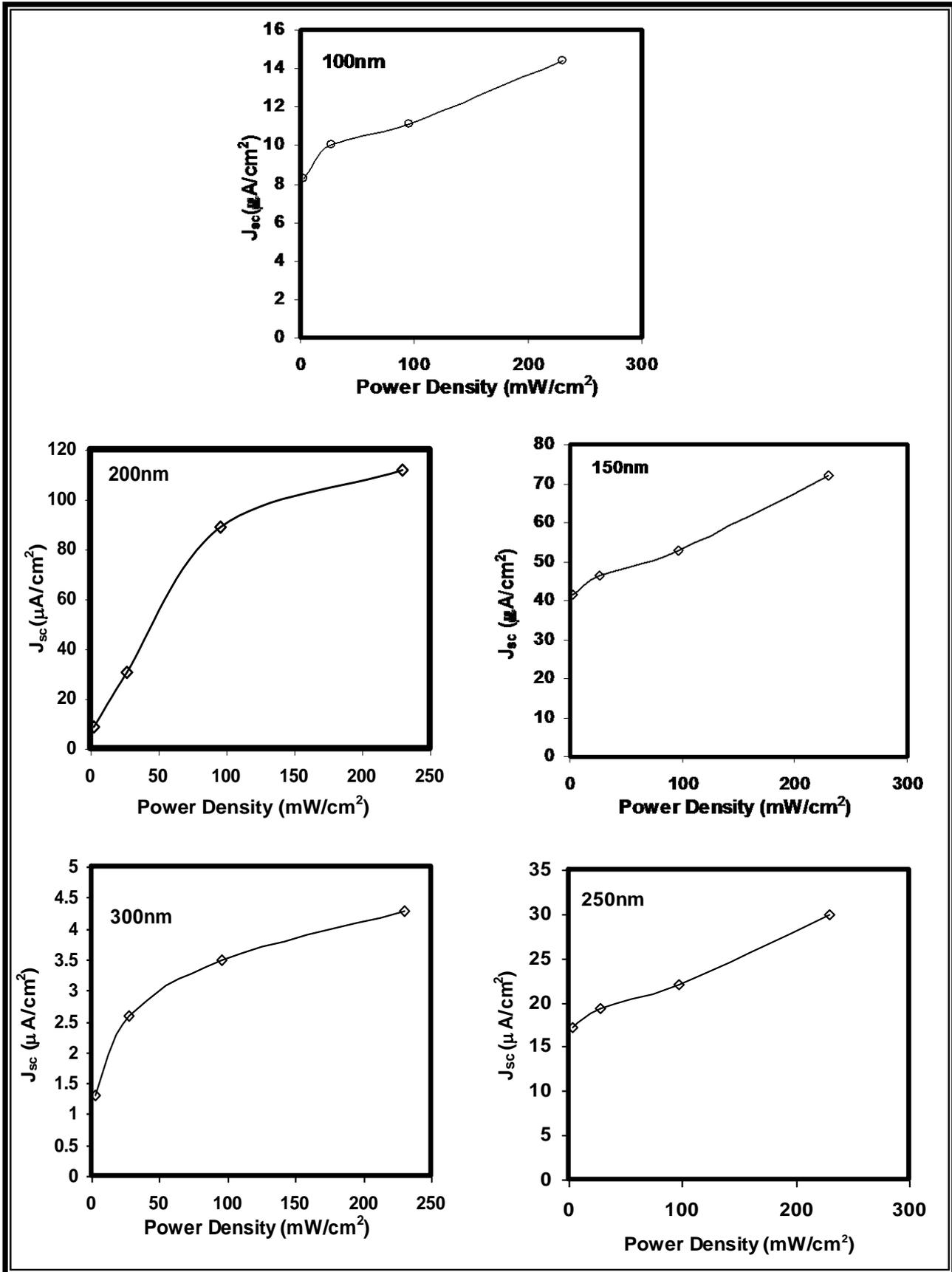
##### 1-5-4 نتائج قياسات تيار الدائرة القصيرة وفولتية الدائرة المفتوحة

إن لهذا النوع من القياسات أهمية كبيرة في تحديد مجال تشغيل المفرق ليعمل ككاشف او كخلية شمسية والتي تعمل بنمط الفولتائية الضوئية، باستخدام الدائرة الموضحة في الاشكال (b-5-3)(c-5-3) تم قياس تيار الدائرة القصيرة ( $J_{sc}$ ) وفولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{oc}$ ) الناتج من فصل مزدوجات (الالكترون - فجوة) بسبب المجال الكهربائي الداخلي دون الحاجة إلى المجال كهربائي خارجي.

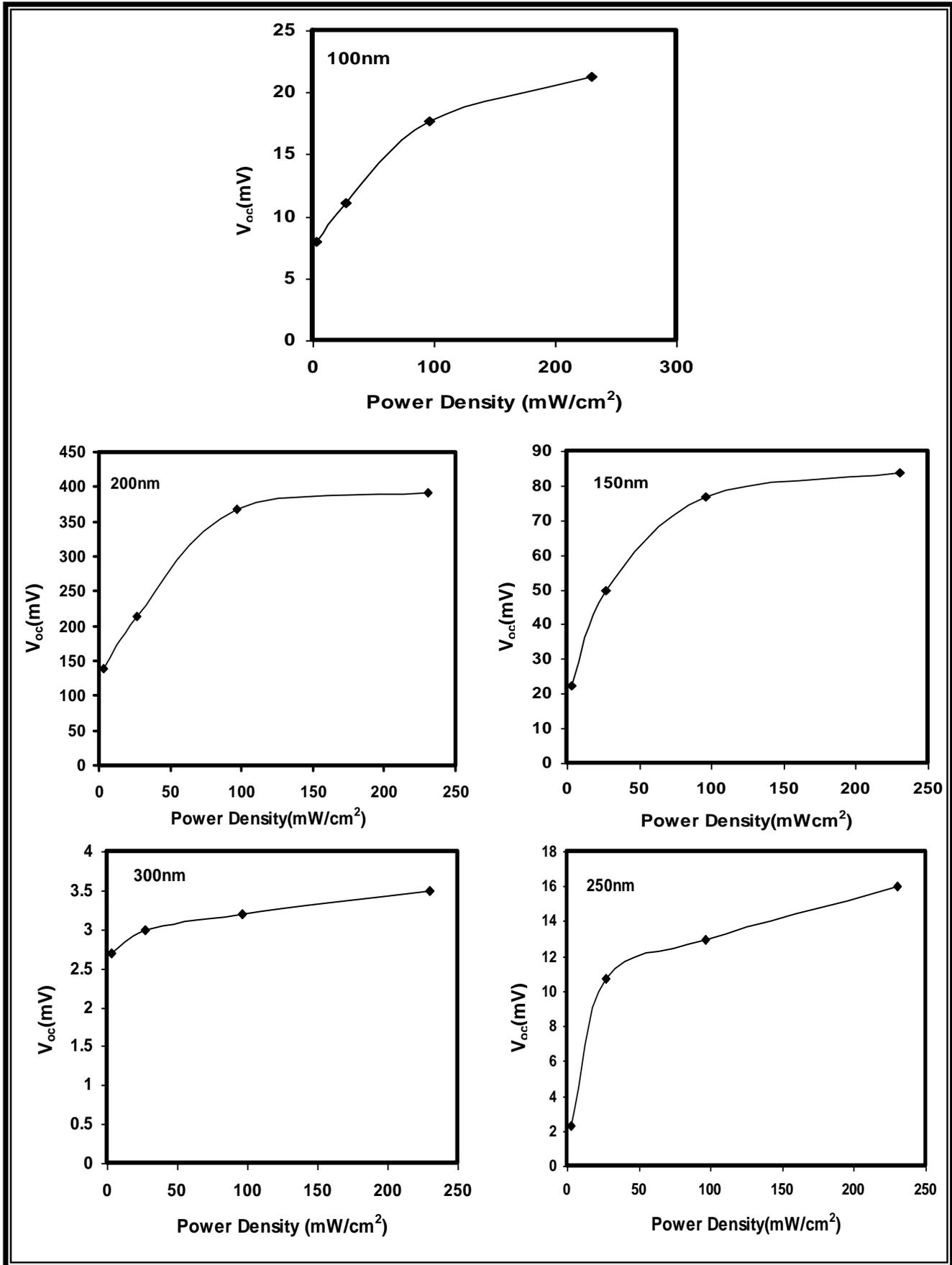
ويبين الشكل (11-4) تغير كثافة تيار الدائرة القصيرة كدالة لكثافة القدرة الضوئية الساقطة للمفارق المصنعة إذ يمكن ملاحظة الزيادة في قيمة ( $J_{sc}$ ) عند مدى معين من القدرات الضوئية الواطنة ويمكن ان يعزى ذلك إلى زيادة في الفيض الفوتوني للاشعة الساقطة والذي يؤدي إلى زيادة عدد مزدوجات (الالكترون - فجوة) ويعمل المجال الكهربائي الداخلي على فصل هذه المزدوجات وبالتالي يزيد من قيمة ( $J_{sc}$ )، وبعد ذلك تبدأ حالة التشبع بسبب فصل جميع المزدوجات في منطقة النضوب ومناطق انتشار الحاملات، ويكون مقدار التغير في الاستجابة مقاربا إلى الصفر. ومن خلال الشكل نفسه يتضح بأن افضل حالة هي عند سمك غشاء (200nm) والذي يحدد عمل الكاشف ضمن مدى معين من الاشعة الساقطة عليها، كما يلاحظ ان لهذا الكاشف اعلى قيمة لتيار الدائرة القصيرة وذلك لامتلاكه جهد بناء داخلي كبير مقارنة ببقية الكواشف المصنعة وكما موضح في الشكل (9-4).

أما عند الاسماك الكبيرة فيقل تيار الدائرة القصيرة نتيجة للعيوب المتكونة التي تعمل كمراكز اقتناص وإعادة اتحاد للحاملات المتولدة.

أما الشكل (12-4) فيوضح خصائص فولتية الدائرة المفتوحة كدالة للقدرات الضوئية المختلفة وهذه الخاصية مهمة في تحديد مقدار الفولتية الخارجة فضلاً عن مدى صلاحية توظيف المفرق للعمل ككاشف او كخلية شمسية كما يلاحظ ان اعلى قيمة لفولتية الدائرة المفتوحة هي عند سمك غشاء (200nm) ولأسباب التي سبق ذكرها (العيوب المتكونة عن الاسماك الكبيرة والتي تعمل كمراكز اقتناص وإعادة اتحاد للحاملات المتولدة).



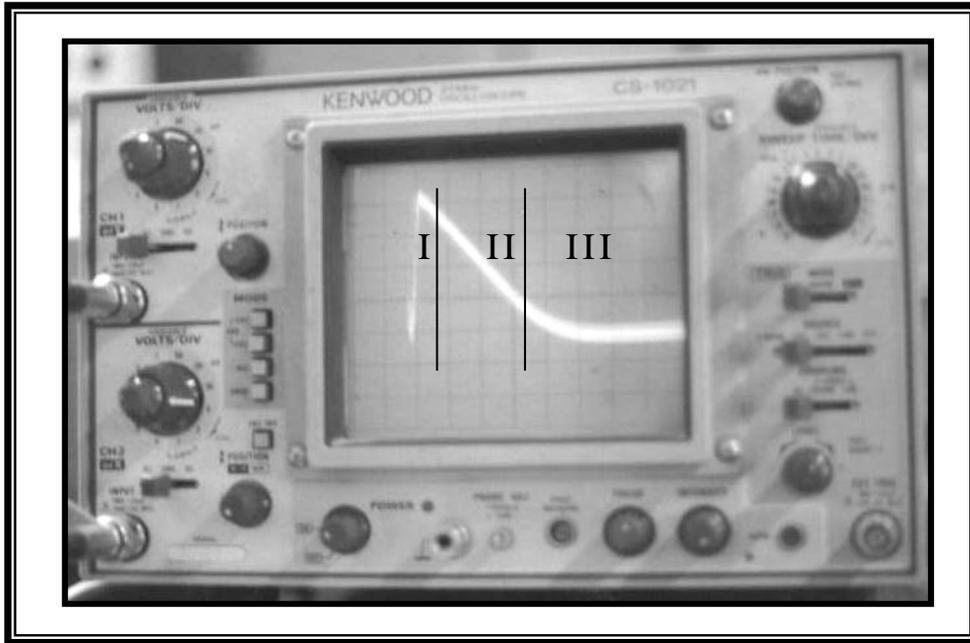
شكل (11-4) منحنيات تغير كثافة تيار الدائرة القصيرة كدالة لكثافة القدرة الضوئية.



شكل (12-4) منحنيات تغير فولتية الدائرة المفتوحة كدالة لكثافة القدرة الضوئية.

## 4-5-2 نتائج قياس فترة حياة الحاملات

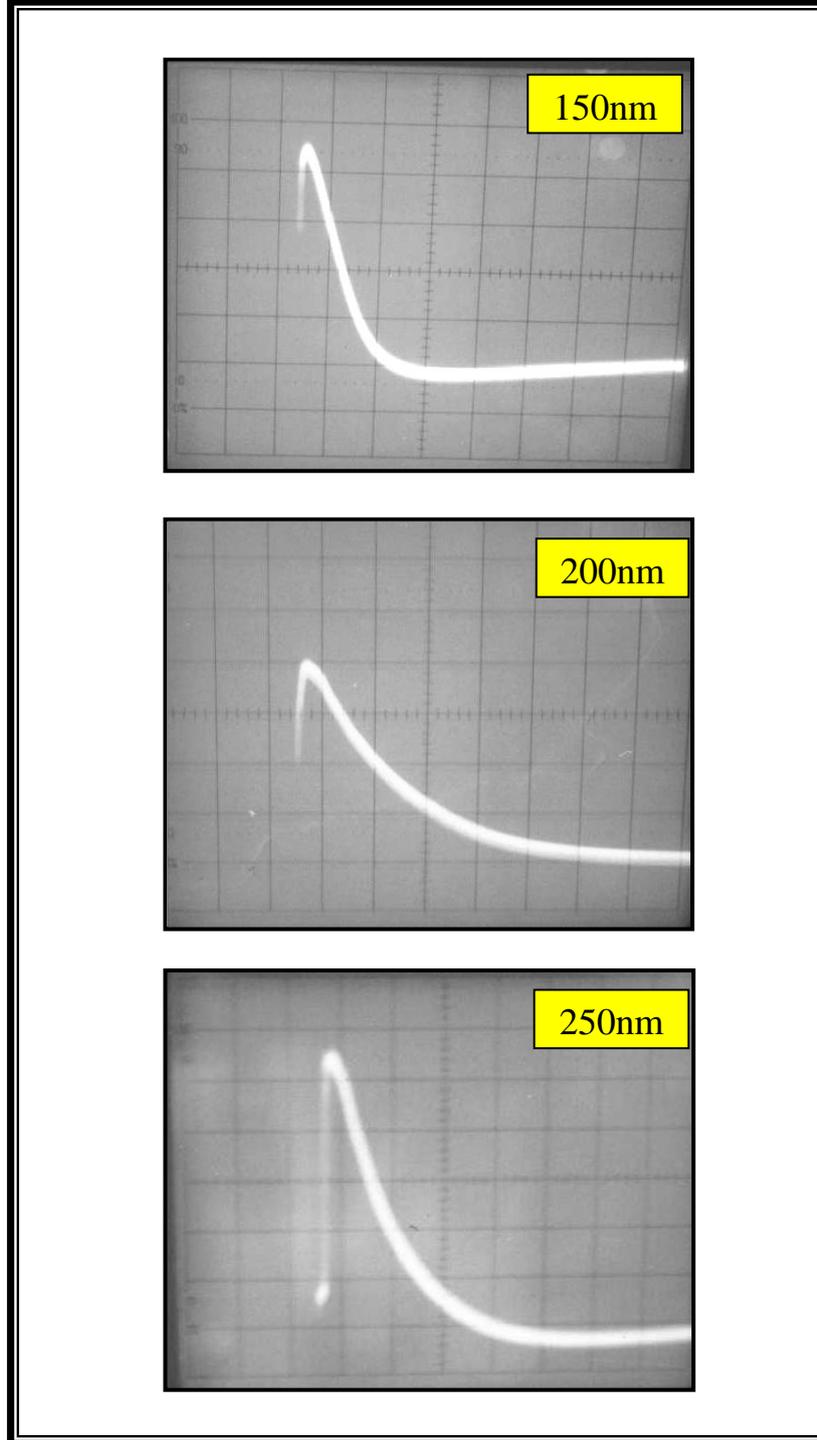
يعد هذا المعلم مهماً في تفسير الخصائص الفولتانية الضوئية للكواشف المصنعة والذي يعطي تصوراً عن عمق انتشار الحاملات وعمليات إعادة الاتحاد وتركيز العيوب وغيرها والشكل (4-13) يبين شكل نبضة اضمحلال فولتية الدائرة المفتوحة حيث نلاحظ وجود ثلاث مناطق، الأولى منطقة الحقن العالي (High injection) والذي يكون فيها تركيز الحاملات الاقلية المحقونة اكبر من تركيز الحاملات الاغلبية اما المنطقة الثانية فتسمى منطقة الحقن المتوسط (Intermediate injection) والتي يكون فيها تركيز الحاملات الاقلية المتولدة اكبر من تركيز الحاملات الاقلية حالة التوازن واقل من تركيز الحاملات الاغلبية عند التوازن، والمنطقة الثالثة هي منطقة الحقن الواطئ (Low injection) والتي يكون فيها تركيز الحاملات الاقلية المتولدة أقل من تركيز الحاملات الاقلية في حالة التوازن.



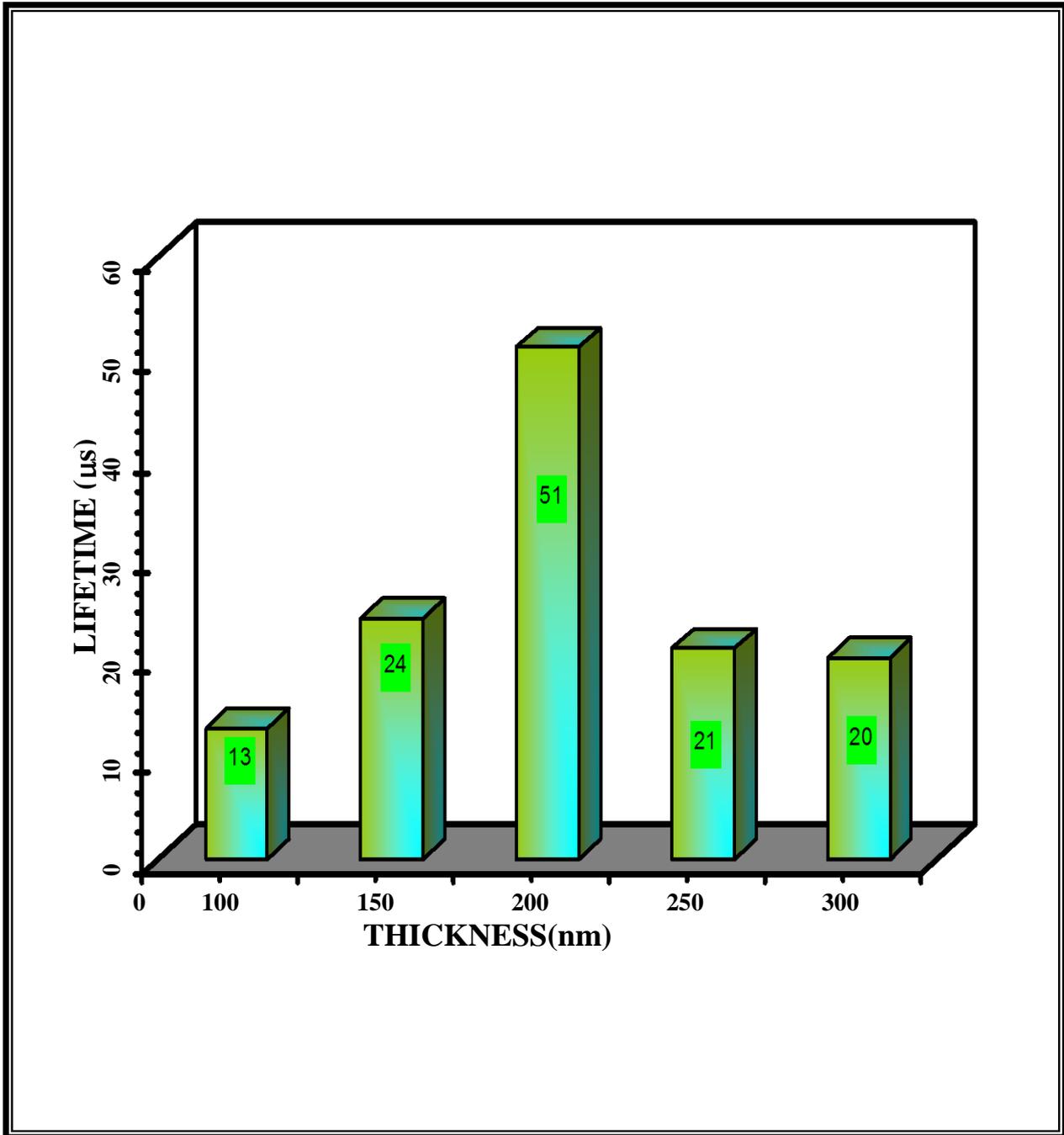
شكل (4-13) نبضة اضمحلال فولتية الدائرة المفتوحة.

الشكل (4-14) يوضح الصور الفوتوغرافية لشكل نبضة اضمحلال فولتية الدائرة المفتوحة كدالة السمك الغشاء المرسب ومن خلال ايجاد ميل الجزء المستقيم من منحنيات فولتية الدائرة المفتوحة وبتطبيق المعادلة (3-7) تم حساب عمر الحاملات الاقلية لجميع الكواشف المصنعة كدالة للسمك ويوضح الشكل (4-15) قيم عمر الحاملات كدالة للسمك اذ تتضح زيادة فترة حياة الحاملات إلى حد سمك غشاء 200nm بعدها تبدأ بالنقصان ويعزى ذلك إلى زيادة تركيز العيوب التي تعمل كمراكز قنص للحاملات مما يقصر من عمر الحاملات.

وإن أفضل سمك لغشاء (PbS) المرسب يمتلك أطول عمر للحاملات هو 200nm ويعود سبب ذلك إلى امتلاكه لأعلى قيمة لجهد البناء الداخلي كما مبين في الشكل (9-4).



شكل (14-4) صور فوتوغرافية لشكل نبضة اضمحلال فولتية الدائرة المفتوحة للكواشف المصنعة.



شكل (4-15) تغير عمر الحاملات الأقلية كدالة لسمك الغشاء المرسب للمفارق المصنعة.

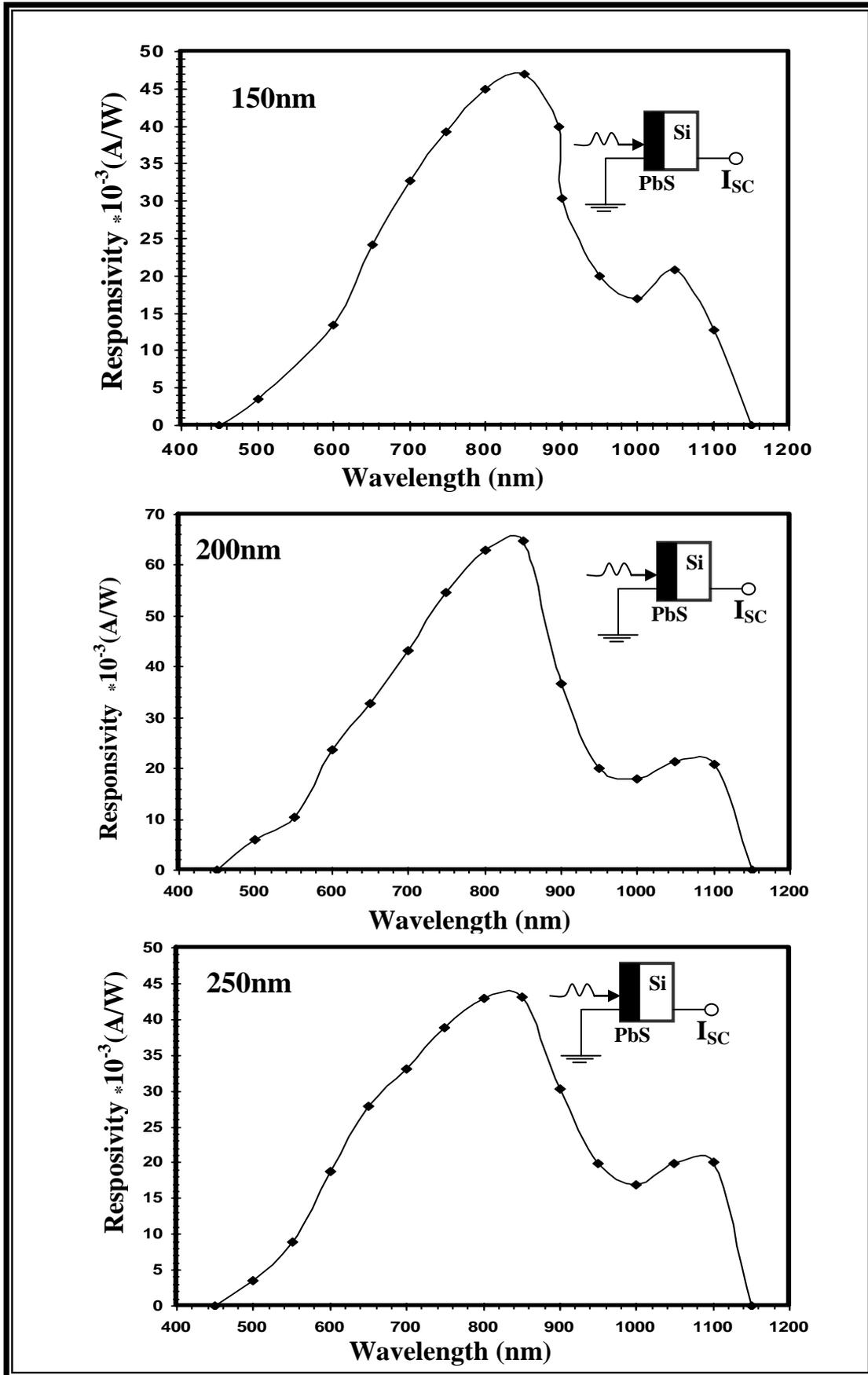
**6-4 نتائج خصائص الكاشف****1-6-4 نتائج الاستجابة الطيفية**

تعد الاستجابة الطيفية من المعلمات المهمة للكواشف وهي النسبية بين التيار الضوئي إلى كثافة القدرة الضوئية الساقطة ويتم من خلالها تحديد المدى الطيفي الذي يعمل به الكاشف. يوضح الشكل (4-16) منحنيات الاستجابة الطيفية كدالة للطول الموجي للكواشف المصنعة وهي منحنيات عريضة وهذا هو السلوك العام لاستجابة المفارق الهجينية ويمكن تقسيمه إلى ثلاث مناطق متميزة:

المنطقة الأولى: وهي منطقة الأطوال الموجية الأقصر من 700nm والتي تزداد فيها الاستجابة بزيادة الطول الموجي. وذلك لأن الأطوال الموجية القصيرة نسبياً سوف تمتص عند السطح وذلك لامتلاكها معامل امتصاص كبير عند تلك الأطوال الموجية أي عمق امتصاص صغير. وبزيادة الطول الموجي سوف يزداد عمق الامتصاص وبالتالي تزداد الاستجابة. وتقع المنطقة الثانية: ضمن المدى الطيفي للأطوال الموجية (700-900nm) وتكون فيها الاستجابة أعلى ما يمكن وذلك لأن امتصاصية الضوء تحدث في منطقة النضوب وعلى طرفيها بمسافة تعادل طول انتشار الحاملات وهذه المنطقة تمتلك كفاءة عالية في فصل المزدوجات (الكترن - فجوة) المتولدة بالمجال الكهربائي الداخلي هذا فضلاً عن قلة عمليات إعادة الاتحاد في هذه المنطقة مقارنة بالمنطقة الأولى .

أما المنطقة الثالثة: فهي منطقة الأطوال الموجية الأطول من (900nm) والتي تقل فيها الاستجابة مقارنة بالمنطقة الثانية ويعود سبب ذلك إلى ما يسمى بعمليات إعادة الاتحاد ضمن المادة (Bulk) Recombination مما ينعكس سلباً على قيمة الاستجابة الطيفية . وبالتالي تصل الاستجابة إلى الصفر عند الطول الموجي (1150nm) والذي يمثل  $\lambda_c$  للسليكون حيث بعده يصبح السليكون شفافاً وينفذ منه الضوء كلياً.

ومن خلال الشكل (4-16) نلاحظ وجود قمتين للاستجابة، الأولى عند الطول الموجي (825 ± 25nm) والثانية عند الطول الموجي (1075 ± 25nm) وإن أعلى استجابة تم الحصول عليها عند سمك غشاء (PbS)(200nm) لامتلاكه أعلى جهد بناء داخلي وأطول عمر للحاملات الاقلية والبالغة (51 μs) وكما مبين في الشكل (4-15)، أما عند الاسماك الكبيرة مثل (250nm) فنلاحظ اقل قيمة للاستجابة ويعزى ذلك إلى زيادة تركيز العيوب الناتجة من عدم التطابق الشبكي والحراري لمادتي المفرق وإن هذه العيوب تعمل كمراكز إعادة اتحاد مما يؤثر سلباً على قيمة الاستجابة فضلاً عن زيادة قيمة المقاومة السطحية بزيادة السمك مما يعني نقصان التوصيلية وبالتالي نقصان مقدار التيار الضوئي الناتج.



شكل (16-4) منحنيات الاستجابة الطيفية كدالة للطول الموجي للكواشف المصنعة.

ويوضح الشكل (4-17) تغير الاستجابية النسبية للكواشف المصنعة كدالة للطول الموجي ولأسماك المختلفة والذي يمكن من خلاله تحديد قمة الاستجابية النسبية وكانت بحدود  $(825 \pm 25\text{nm})$ .

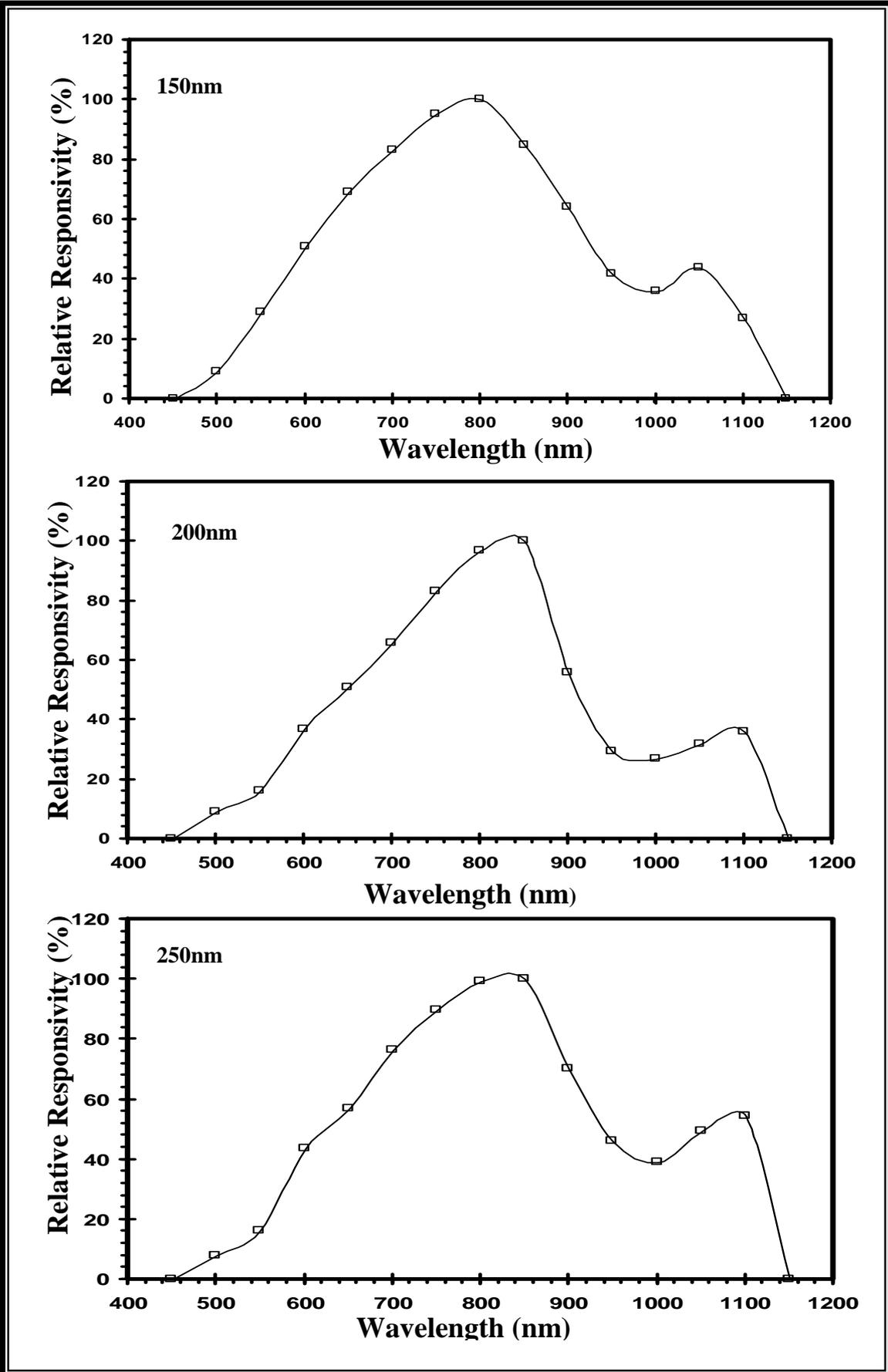
#### 4-6-2 نتائج الكشفية النوعية

نظراً لأهمية هذا المعلم في الكواشف فلقد تم حساب الكشفية النوعية  $(D^*)$  باستخدام العلاقة (2-42)، حيث تمثل الكشفية النوعية بانها اقل قدرة ضوئية يمكن ان تتحسها الكاشف ومنها نستدل على انها الكشفية النوعية دالة للضوء الناتجة من الاشعة المحيطة وضوء جونسن المتولدة اثناء عمل الكاشف.

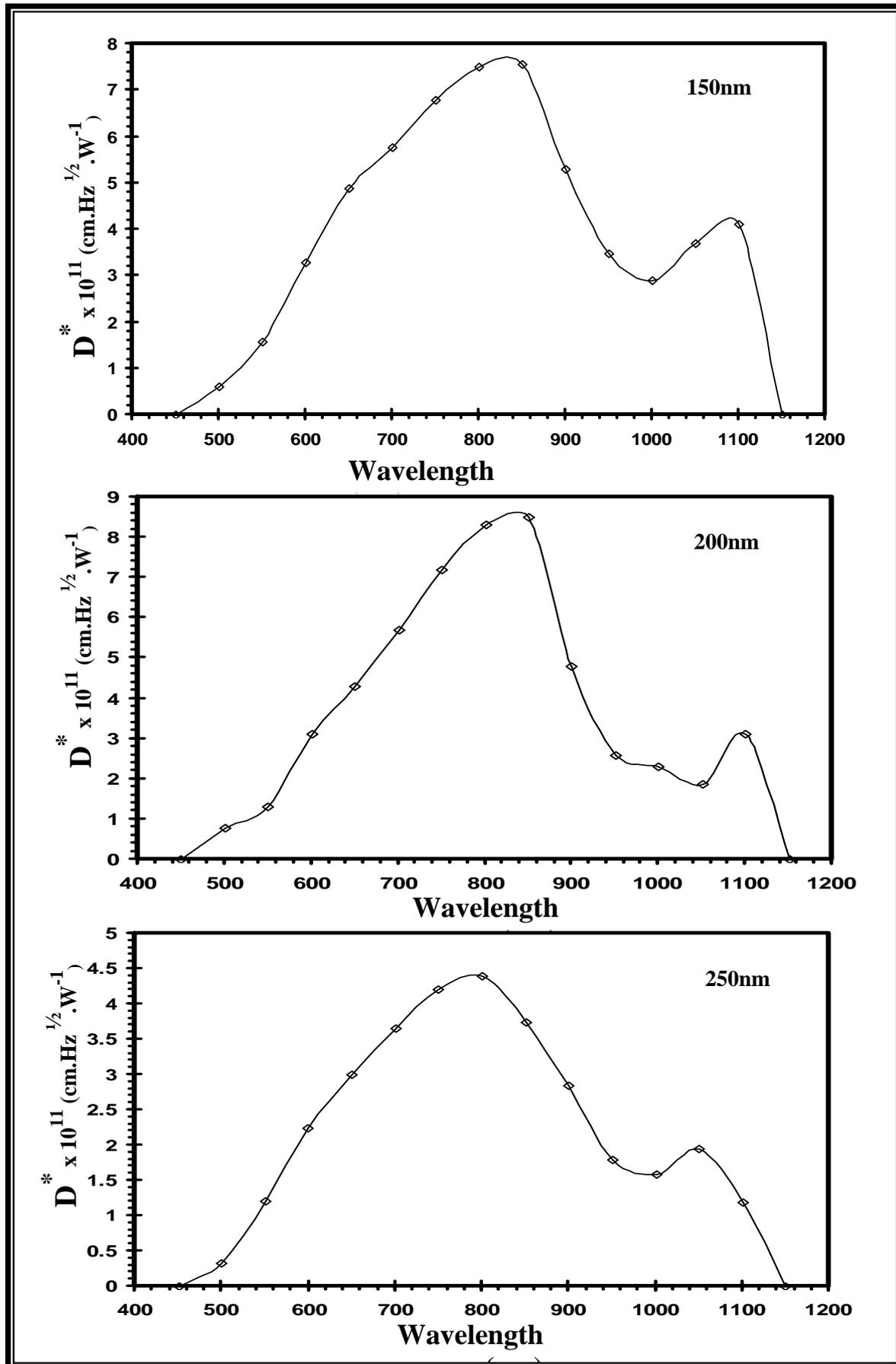
يوضح الشكل (4-18) منحنيات تغير الكشفية النوعية كدالة للطول الموجي للكواشف المصنعة حيث يمكن ملاحظة ان الكواشف التي لها تيار ظلام صغير تمتلك اعلى كشفية نوعية وحسب العلاقة المشار اليها اعلاه. وقد تم الحصول على اعلى قيمة للكشفية النوعية بحوالي  $(8.85 \times 10^{11} \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1})$  عند الطول الموجي  $(850\text{nm})$  وفي درجة حرارة الغرفة في حين كانت الكشفية النوعية التي تم التوصل اليها من قبل آخرين [25] هي  $(1 \times 10^{11} \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{w}^{-1})$  عند طول موجي  $(3\mu\text{m})$  وفي درجة حرارة  $85\text{K}$ . وكانت الكشفية النوعية بحوالي  $(7.2 \times 10^{12} \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{w}^{-1})$  عند طول موجي  $(825\text{nm})$  وفي درجة حرارة الغرفة لكواشف محضرة بطريقة التبخير عالية الكلفة [30]. وفيما يلي جدول (3-4) يبين قيمة الكشفية النوعية لبعض الكواشف.

جدول (3-4) قيم الكشفية النوعية لبعض الكواشف

Detector	$D^* (\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{w}^{-1})$	Condition	Ref.
CdS / Si	$2.63 \times 10^{12}$	at 800nm, at room temp.	94
Ge / Si	$100 \times 10^2$	at 850nm, at room temp.	95
PbTe / Si	$0.2 \times 10^{12}$	at 1300nm, at 110K	96
PbTe / InSb	$0.33 \times 10^{12}$	at 5000nm, at 77K	97
$\text{Pb}_{1-x} \text{Sn}_x \text{Te/PbTe}$	$0.1 \times 10^{12}$	at 1000nm, at 77K	98



شكل (17-4) منحنيات الاستجابية النسبية كدالة للطول الموجي للكواشف المصنعة.



شكل (4-18) منحنيات الكشفية النوعية كدالة للطول الموجي للكواشف المصنعة.

## 3-6-4 نتائج الكفاءة الكمية

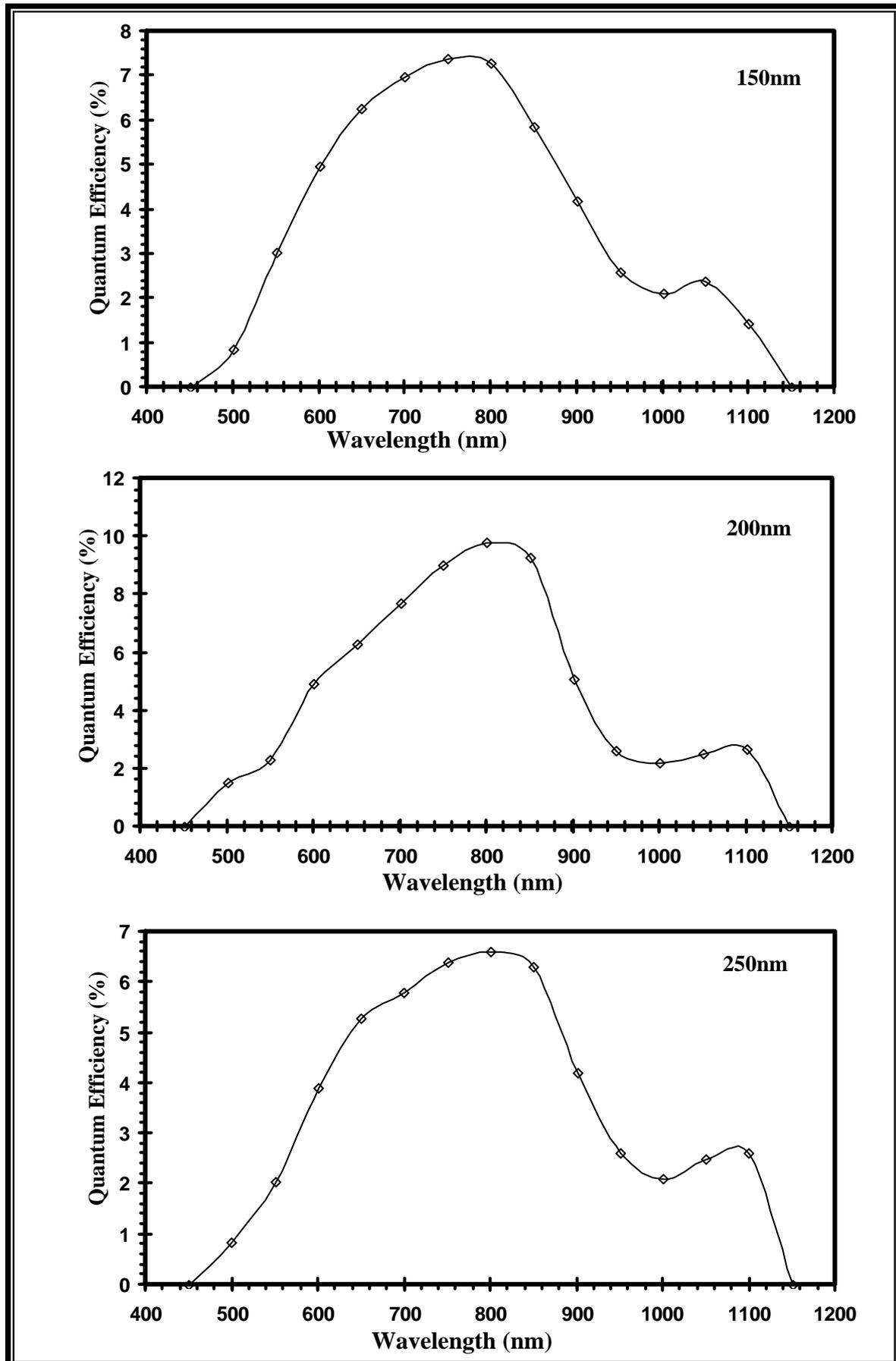
لتحديد استجابة الكواشف المصنعة للطول الموجي وشدة الضوء الساقطة عليها تم تحديد الكفاءة الكمية كدالة للطول الموجي والتي تمثل النسبة بين عدد الالكترونات المتولدة في الكاشف إلى عدد الفوتونات الساقطة على المساحة الفعالة من الكاشف ولكل طول موجي وهي تتناسب مع الاستجابة الطيفية .

والشكل (4-19) يوضح منحنيات تغير الكفاءة الكمية للكواشف المصنعة كدالة للطول الموجي ولأسماك ترسيب مختلفة ، حيث نلاحظ ان التغير في الكفاءة الكمية يتوافق مع التغير في الاتسجابية الطيفية ولأسباب المذكورة سابقاً. فلقد تمكنا من الحصول على اعلى كفاءة كمية بحدود ( 9.8% ) عند طول موجي (800nm) ولسمك غشاء (200nm).

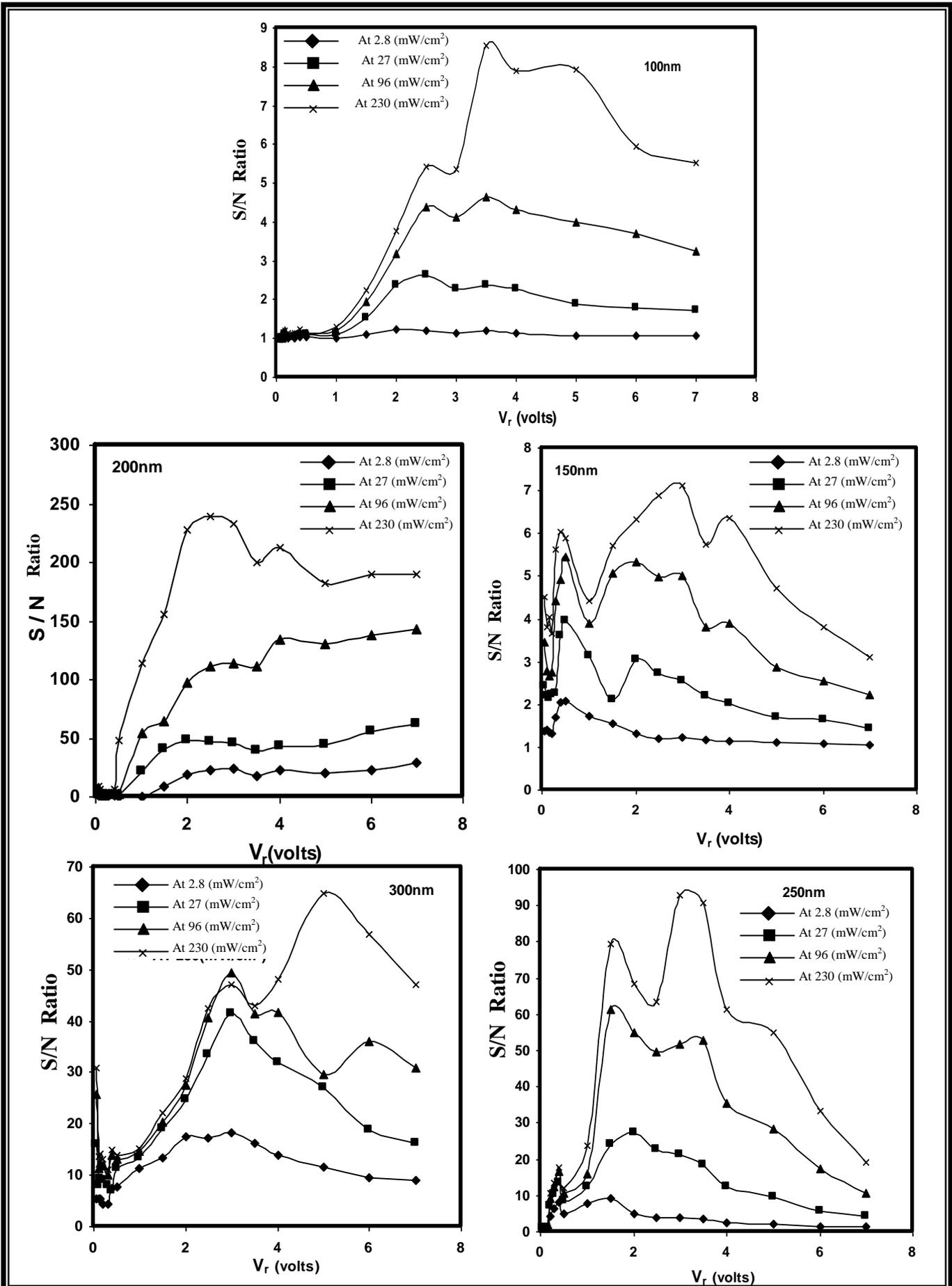
## 4-6-4 نتائج نسبة الاشارة إلى الضوضاء (S / N)

يعد هذا المعلم مهماً في الكواشف وتعرف بانها النسبة بين تيار الاضاءة إلى تيار الظلام، حيث يتم من خلاله تحديد جهد الانحياز الذي يعمل عنده الكاشف بافضل اشارة خارجة وباقل ضوضاء مصاحبة.

والشكل (4-20) يوضح منحنيات تغير (S / N) مع جهد الانحياز ولقدرات ضوئية مختلفة حيث نلاحظ قمم متعددة تقابل فولتيات مختلفة والتي تمثل الربحية في قيمة التيار الناتج كدالة لجهد الانحياز المسلط وبعد ذلك تتناقص قيمة (S / N) عند فولتيات معينة ويعود سبب ذلك إلى حالة التشبع في الكاشف . وان افضل اشارة خارجة وباقل ضوضاء كانت عند سمك (200nm) تقدر بحوالي (240) عند جهد (2Volt) وهذا يتفق مع نتائج تيار جهد عند الاضاءة والخصائص الفولتائية الضوئية الخاصة بهذا الكاشف.



شكل (19-4) منحنيات تغير الكفاءة الكمية مع الطول الموجي.



شكل (4-20) تغير (نسبة الاشارة إلى الضوضاء) مع جهد الانحياز العكسي.

## 1-5 الاستنتاجات.

في هذه الدراسة تم تصنيع كواشف المفرق الهجين نوع PbS/Si بطريقة الترسيب الكيميائي الحراري ولاسماك ترسيب مختلفة، ومن خلال دراسة الخصائص الكهربائية والفولتائية الضوئية والاستجابية الطيفية للكواشف المصنعة ومناقشتها تم التوصل إلى الاستنتاجات الآتية:

- (1) تعد هذه الدراسة المحاولة الاولى لتصنيع مفرق هجين نوع PbS/Si باستخدام تقنية الترسيب الكيميائي الحراري (CSP) ذات المكونات البسيطة.
- (2) أغشية كبريتيد الرصاص المحضرة بهذه الطريقة لها توصيلة مانحة n-type على عكس الأغشية المحضرة بالطرق الأخرى مثل طريقة التبخير والانماء الكيميائي حيث ان توصيليتها هي من نوع p-type.
- (3) أظهرت دراسة الخصائص التركيبية بواسطة حيود الأشعة السينية (XRD) ان أغشية PbS المحضرة ذات تركيب بلوري متعدد التبلور من النوع F.CC والاتجاه السائد لها (200).
- (4) إعتاد الخصائص الكهربائية والفولتائية الضوئية للمفرق لهجين PbS / Si على سمك غشاء (PbS) المرسب.
- (5) أظهرت نتائج خصائص تيار-جهد ان المفارق الهجينة غير المتماثلة n-PbS/p-Si متوافقة مع أنموذج الانتشار اما المفارق الهجين المتماثل n-PbS/n-Si متوافق مع أنموذج ثنائي شوتكي المزدوج.
- (6) تم تصنيع مفرق (n-PbS/p-Si) شبه مثالي بمعامل مثالية (1.08) عند سمك غشاء مرسب (100nm).
- (7) جميع الكواشف المصنعة لها صفة تقديم عالية وهي بحدود (807) عند سمك غشاء (250nm).
- (8) أظهرت نتائج خصائص (سعة - جهد) ان المفارق المصنعة من النوع الحاد واختلاف قيمة جهد البناء الداخلي تبعا لسمك الغشاء المرسب وعلى قيمة لها عند سمك غشاء (200nm) والبالغة (1Volt).
- (9) أوضحت نتائج قياس فترة حياة الحاملات الاقلية تاثير سمك الغشاء المرسب على تحركية الحاملات وعمق انتشارها واطول عمر للحاملات وجدت عند سمك غشاء (200nm) والبالغة (51 μs).

- (10) من خلال نتائج الاستجابة الطيفية اتضح بأن الكواشف المصنعة تستجيب للإشارة الساقطة عليها ضمن المدى الطيفي (450-1150nm) وإن أعلى استجابة لها تقع بين (800-900nm) وهي مماثلة لاستجابة الكاشف السليكوني المتجانس.
- (11) تم الحصول على أعلى كشفية نوعية للإشارة وبالغة (  $8.85 \times 10^{11} \text{cm.Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$  ) عند الطول الموجي (850nm) ولسمك غشاء (200nm).
- (12) أعلى كفاءة كمية تم الحصول عليها بلغت بحدود (9.8%).

## 2-5 التوصيات والمشاريع المستقبلية.

- (1) استخدام قواعد سلوكية ذات أسماك صغيرة نسبياً عند تصنيع كاشف المفرق الهجين PbS/Si لاستخدامه كنافذة للأشعة الساقطة عليها ودراسة خصائصه الكشفية.
- (2) دراسة تأثير التلدين على خصائص المفرق المصنوع بهذه الطريقة ومقارنة نتائجه مع النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة.
- (3) قياس خصائص كاشف المفرق الهجين PbS/Si عند درجات حرارية منخفضة.
- (4) قياس الاستجابة الطيفية لكاشف المفرق الهجين PbS/Si لشعاع ليزر نيودميوم - ياك.
- (5) استخدام مواد مضادة للانعكاس في طلاء نافذة المفرق الهجين ودراسة تأثيرها على خصائص المفرق.

---

# المصادر

- [1] K.L. Chopra, "Thin Film Phenomena" Mc Graw Hill, London, (1969).
- [2] K.L. Leaver, "Thin Films" Wykeham Publications London LTD. (1971).
- [3] R.A. Smith, "Semiconductor" 2<sup>nd</sup> edition Cambridge University Press, London (1987).
- [4] S.K. Al-Ani, Ph.D. Thesis, Brunel University, (1986).
- [5] S.M. Sze, "Semiconductor Devices Physics and Technology" Translated to Arabic by F.G. Hayaly, H.A. Ahmed, Baghdad, (1990).
- [6] A.G. Milnes & D.L. Feucht, "Heterojunctions and Metal-Semiconductor junction", Academic Press, London, (1972).
- [7] مارتن أ.كرين، "الخلايا الشمسية، مبادئ العمل التقنية وتطبيقات المنظومة" ترجمة الدكتور يوسف مولود حسن، جامعة الموصل (1989).
- [8] K. Hideyuki & A. Sadao, "Journal of Applied Physics", **Vol.83, No.11**, June (1998) P-P 5997-6000.
- [9] R.C. Weast and M.J. Astle "Hand Book of Chemistry and Physics", CRC Press, (1979).
- [10] N.N. Greenwood & A. Emswiler in "Chemistry of The Elements", 2<sup>nd</sup> edition, Butter Worth, UK, (1997).
- [11] C.R. Hubbard, H.E. Swanson, & F.A. Mauer, "J. Appl. Crystallogy", **8**,

---

**45** (1975).

[12] Philips Laou, “Heterojunctions on Monocrystalline Silicon”,  
Dissertation Abstracts, Mc GILL University, Canada, 1994, MAI  
33104, P.1307, Aug (1995).

[13] C. Kittel, “Introduction to Solid State Physics”, 5<sup>th</sup> edition, Wiley  
Eastern, New Delhi, (1979).

- 
- [14] B. Sapoval and C.Hermann, "Physics of Semiconductor", Springer-Verlag, New York, (1995).
- [15] Donald A. Neamen, "Semiconductor Physics and Devices", Richard D. Irwin, Inc., (1992).
- [16] B.L. Sharama and R.K. Purohit, "Semiconductor Heterojunction", Pergamon Press, New York, (1974).
- [17] D.V. Morgan and R.H. Williams, "Physics and Technology of Heterojunction Devices", Short Run Press, London, (1991).
- [18] K.J. Kramer, S.Talwar, E.Ishiba, K.H. Weiner, and T.W. Sigmon, "Appl. Surf. Scien.", **Vol. 69, No.2** (1993), P-P 121-126.
- [19] M.D. Uplance, C.D. Lokhande, P.S. Patil, and C.H. Bhosole, "Tr.J. of Physics, 20 (1996), P-P 1093-1097.
- [20] S. Martinuzzi, "Solar celles, 5(1982) P-P 243-268.
- [21] Tom Feng, Amal K. Ghosh, and Charles Fishman, "Appl. Phys. Lett.", Vol. 35, No.3. 1 August (1979), P-P 266-268.
- [22] Chailaja Kolhe, S.K. Kulikarni, M.G. Tawale, and V.G Bhide, "Solar Energy Materials", **13** (1986) P-P 203-211.
- [23] H. Elabd, A.J. Steckl, and W. Vidinski, "Solar Celles", **Vol. 1** (1979/1980), P-P 199-208.
- [24] A.J. Steckl and S.P.Shou, "Solid State Electronics", **Vol. 23** (1980), P-P 715-720.
- [25] A.J.Steckl, "IEEE Transactions on Electron Devices", **Vol. ED, No.1**, Jan. (1980).
- [26] H. Elabd and A.J. Steckl, "J.Appl. Phys.", **51 (1)**, Jan. (1980).

---

[27] Y.S. Sarma, H.N. Acharya, and N.K. Misra, “Thin Solid Films”, **90**  
(1982), L43-L47.

- 
- [28] Y.S. Sarma, H.N. Acharya, and N.K. Misra, "Infrared Phys.",  
**Vol.24,**  
**No.5** (1984), P-P 425-428.
- [29] Bull. Acad. Sci. USSR, Phys. Ser (USA), **Vol.48, No.2** (1984).
- [30] A. Klimakow, M. Schenk, and B. Christ, "Phys. Stat. Sol.", **(a) 95**  
(1986), P-P 573-578.
- [31] L. Pintile, E. Pentia, D.Peter, and I. Pintile, "Rom. Journ.  
Phys.", **Vol.40,**  
**No. 6-7** (1995), P-P 749-758.
- [32] علي فؤاد الأمين "دراسة الخواص الضوئية لأغشية CdS، PbS الرقيقة ومزيجها المحضرة  
بطريقة الرش الكيميائي الحراري"، رسالة ماجستير، جامعة بغداد (1990).
- [33] B. Thangaraju, P. Kaliannan, "Semiconductor Sciences &  
Technology"  
**15 (8)**, Aug. (2000), P-P 849-853.
- [34] محمد سلمان الدهلكي "دراسة الخصائص الكهربائية والفولتائية الضوئية لكاشف المفروق  
الهجين (PbS/Si)", رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، قسم العلوم التطبيقية، (2000).
- [35] Zh.I. Aiferov, "Semiconductor Heterjunction Physical Processes &  
Applications", ed. USSR acad.SC., (1989).
- [36] جون كورت، "منظومة الاتصالات الضوئية"، ترجمة الدكتور طارق عبد الله الجميلي والدكتور  
حسين جمعة البياتي، مديرية دار الطباعة والنشر، جامعة الموصل، (1988).
- [37] S.I. Csrveny, "Int.J. Electronics", **Vol.25, No.1** (1968), P-P 65-80.
- [38] P.R. Vaya, J.Maihi, B.S.V. Gopalan & Dattatreyan, "Phy. Stat.  
Sol.", **(a), Vol.93, No.1** (1986), P-P 353-360.
- [39] S.M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", John Wiley & Sons,  
New York, (1986).
- [40] A. Chatterjee & A.H. Marshak, "Solid State Electronics", **Vol.24,**  
**No.12**  
(1981), P.1111.
-

- 
- [41] S.Moss, "Hand Book of Semiconductor", Vol.4, North-Holland Pub. Co. U.K. Ch.1, 6B, (1980).
- [42] M.J. Adams & A.Nussbaum, "Solid State Electronic", **Vol. 22** (1979), P-P 783-791.
- [43] V.I. Stafeev, E.S. Banin, A.V. Gusarov, T.F. Terekhovich, O.V. Plevin & M.I Nikolaev., "Sov. Phys. Semi.", **Vol.12, No.9** (1987).
- [44] T.S. Moss, "Hand Book on Semiconductors", New York, (1981).
- [45] N.C. Sharma & K.L. Chopra, "Solid State Electronics", **Vol.23** (1980),  
P-P 869-873.
- [46] L. Eckertova, "Physics of Thin Films", Plenum Press, New York and London, (1977).
- [47] S.M Sze, "Physics of Semiconductor Devices", John Wiley & Sons, Ch.2.13, (1981).
- [48] Charles L. Alley & Kenneth W. Atwood, "Electronic Engineering", John Wiley & Sons, New York, (1973).
- [49] C. Corsi & M. Miller, "Thin Solid Films", **Vol.20**, (1974), P-P 541-543.
- [50] A. Georgakilas, E. Aperathitis, V. Fonkaraki, M. Kayambaki & P. Panayototos, "Materials Science & Engineering", **Vol. B44** (1997), P-P 383-386.
- [51] D.V. Morgan and K. Board, "An Introduction to Semiconductors Microtechnology", John Wiley & Sons, New York, (1991).
- [52] C.F. Klingshirn, "Semiconductor optics", Spring-Verlag, New York, (1997), P. 95, 147.
- [53] L.G. Bakueva, "Sov. Phys. Semiconductor", **Vol.13, No.2**, Feb. (1979),  
P.199.
- [54] Serge Luryl, Member, "IEEE. Tran. On elect. Devices" **Vol. EO31**,
-

- 
- No.9**, (1984), P.1135.
- [55] G.C. Osboarm, “Japanise Appl. Phys.”, **Vol.53, No.3** (1984), P.1584.
- [56] Ivor Brodicand Jukius, J. Muras, “The Physics of Micro  
Fabrication”,  
Plenum Press, New York, (1982).
- [57] R.N. Coastellano. Mrnotis, and G.W. Simmans, Vac.”, and Thin  
Film  
Technology”, **Vol.27** (1976), P.109.

- 
- [58] S.S. Charchan, "Laser Industry", Van Nostrand Reinhold Company, New York, (1972).
- [59] R. Brennan and D. Dickey, "Solid State Tech.", **Vol.27, No.12** (1986), P.125.
- [60] Raid A. Ismail & Wald K. Hamoudi, "Eng. and Technology, **Vol.49, No.2** (2000), P-P 119-124.
- [61] R. Mosca, E. Gombia, A. Motta, A. Bosacchi, S. Franchi, C. Beneventi, C. Ghezzi, and R. Magnanini, "Materials Science and Engineering", **B44** (1997), P-P 24-27.
- [62] R. Skrishnakumar. Y. Ramprakask, V. Subrama, K. Chandraseka rapillai, and A.S. Lakshmanan, **Vol. 562**, "Optical Materials Technology for Energy Efficiency and Solar Energy Conversion", **IV**, (1985).
- [63] R.L. Anderson, "Solid State Electronics", **5** (1962) P. 341.
- [64] David J. Roulston, "Bipolar Semiconductor Devices", Mc Graw-Hill, New York, (1990).
- [65] M.S. Lundstrom & R.J. Sckuelke, "Solide State Electronics", **Vol.25, No.8** (1982), P-P 683-691.
- [66] R.J. Elliot and A.F. Gibson, "An Introduction to Solid State Physics and It's Applications", Britain, (1974).
- [67] Edward S.Yang, "Microelectronic Devices", McGraw-Hill, New York, (1988).
- [68] H.J. Hovel, "Semiconductors and Semimetals, Solar Cells", **Vol.11**, Academic Press, (1975).
- [69] R.J. Keyes, "Topic in Applied Physics, Optical and IR Detector" Wiley

- 
- New York, (1966).
- [70] R. Vanzeei, “Parctical Applications of Infrared Techniques”, John Wiley & Sons, Inc., CH.1, 2, (1972).
- [71] P.W. Kruse, “Uncooled IR Focal Plane Array, OPTO- Electronics Review”, **Vol.7, No.4** (1999), P-P 253-258.
- [72] A.W. Van Herwaarden and P.M. Sarrd, “Thermal Sonders Based on The Seebeck Effect”, Sensors and Actuators, **10** (1986). P-P 321-346.
- [73] K.J. Buttom, “Infrared and Millimeter Waves”, Academic Press New York, London, (1980).
- [74] W. Budde, “Optical Materials Measurements, Physics Detectors of Optical Radiation”, **Vol.4**, Academic Press, New York, (1983).
- [75] M. Ross, “Laser Recivers-Devices, Techniques, Systems”, Willey, New York, (1966).
- [76] R.A. Ismail and A.M. Mousa, “Tr.J. of Physics”, **Vol.22** (1998), P-P1-7.
- [77] Amon Yariv, “Optical Electronic” Fourth Edition Sundress College Publishing, Adivision of Holt, Rinehart and Winston, Inc. (1991), P-P 443-444.
- [78] J.T. Verdeyen, “Laser Electronics”, Springer, New York, (1981).
- [79] Singh.R., “J. Appl. Physics”, **Vol.63, No.8** (1988) P. R89, 117.
- [80] H.L. Hartenagal, R. Katillus & A. Matulionis, “Microwave Noise in Semiconductor Devices”, John Wiley & Sons Inc., (2001).
- [81] G. Hass & M.H. Francombe, “Physics of Thin Films”, Academic Press Inc., **Vol.2** (1980).
- [82] R. Clark Jones, Proceedings of The TRE, (1959), P-P 1495-1504.

---

[83] نعمان الدين النعيمي وآخرون، "الكيمياء اللاعضوية"، والقسم الثاني، الطبعة الاولى، كلية

العلوم-جامعة بغداد، (1978).

[84] T.L. CHu, S.CHc. F. Flrset, H.A. Naseen & R. Stawski, "J. Appl. Phys.,

**58 (3)**, 1 August (1982).

[85] A. Musa, J.P. Ponon, J.J. Grob, M.Hageali, R Stuch & P. Siffert, "J.

Appl Phys.", **54 (61)**, Jun. (1983).

[86] يحيى نوري الجمال، "فيزياء الحالة الصلبة"، دار الحكمة للطباعة والنشر، (1990).

[87] A. Ambroziak, "Semiconductor Photoelectronic Devices", Gordon & Breach, Science Publisher, New York, (1969).

[88] **17** Europen PV Conference Munich, (2001).

[89] رائد عبد الوهاب اسماعيل، عبد المجيد عيادة ابراهيم، عمر عبد الستار عبد الرزاق، المؤتمر

العلمي السنوي الخامس عشر كلية التربية- الجامعة المستنصرية، 27-28 آذار (2002).

[90] C.M. Wu & E.S. Yang, "J. Appl. Phys.", **52 (7)**, July (1981).

[91] Annual Book of ASTM Standard, Section 10, "Electrical Insulation &

Electronics", **Vol.10,O5** (1987), P-P 39-42.

[92] Alanl. Fahren brach, Richard H. Bube "Fundamental of Solar Cell Photovoltiace, Solar energy conversion", Academic Press, New York, London, (1983), P.99.

[93] B.G. Streetman, "Solid State electronic Devices", Prentice –Hall International, (1990).

[94] عمر عبد الستار، "تصنيع ودراسة الخصائص الكهربائية والفولتائية الضوئية للمفرك الهجين

(CdS/Si)", رسالة ماجستير، كلية التربية، الجامعة المستنصرية (2002).

[95] جوزفين خوشابا، "دراسة الخصائص الكهربائية والفولتائية الضوئية للمفرك الهجين ( Ge/Si )"،

رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية (1999).

[96] P. Perfetti, F.Gerrina, C.Coluzza & G. Margaritondo, "J. Appl. Phys.",

---

**Vol.45, No.2** (1974), P-P 972-973.

[97] J.P. Donnelly, T.C. Harman and A.G. Fout, “Applied Physics Letters”,

**Vol.18, No.6** (1971), P-P 259-261.

[98] A.M. Andrews, J.T. Longe, J.E. Clarke & E.R. Gertner, “Applied Physics Letters, Vol.76, No.8 (1975), P-P 438-441.

## المبشرات الحديثة

- (1) عبد المجيد عيادة السامرائي، تصنيع ثنائي شبه مثالي هجين نوع PbS/Si بطريقة الترسيب الكيميائي الحراري، مجلة الفيزياء والرياضيات، العدد: 3، المجلد: 7، 2002.
- (2) سعد عبد الباري توفيق، أضاءة كاشف PbS/Si الهجين من جهة PbS المصنع بطريقة الترسيب الكيميائي الحراري، ( قيد النشر).

## ***ABSTRACT***

In The Present Work, PbS/Si heterojunction detector has been fabricated for the first time using chemical spray pyrolysis (CSP) technique. The procedure was carried out by spraying an aqueous solution of 0.1M lead nitrate and Thiourea onto (111) orientation and 3-5 resistivity n- and p-type single crystal silicon substrates. Substrates temperature was 350°C during spraying.

Four-point probe measurements revealed that the electrical conductivity was n-type indicating that the heterojunction were iso-and anisotype.

X-ray diffraction measurements demonstrated that the PbS epilayer is a polycrystalline, the dominant orientation is (200).

Forward and reverse I-V characteristics exhibited high quality diode with ideality factor of 1.08 for 100nm thickness of PbS-layer and rectification factor of 807 for 250nm thickness for PbS-layer.

Capacitance - Voltage measurement illustrated that the junction is abrupt type. Extrapolated built-in potential extracted from C-V measurements was 1Volt at 200nm PbS epilayer.

Minority carriers lifetime was estimated from photo-induced open-circuit voltage decay technique. Maximum value obtained was 51 $\mu$ s for 200nm PbS thickness.

Responsivity waveform showed that the mentioned detectors have a spectral response range between 450 and 1150nm, responsivity curve showed two distinct peaks, the first one was at  $850 \pm 25$ nm, while the second was at  $1075 \pm 25$ nm. Specific detectivity of  $(8.85 \times 10^{11} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1})$  at 850nm wavelength and quantum efficiency of 9.8% at 800nm have been obtained.

*Republic of Iraq  
Ministry of Higher Education  
&  
Scientific Research  
Al-Mustansiriyah University  
College of Education  
Department of Physics*



***Fabrication and Study of The Electrical  
and Photovoltaic Characteristics of  
PbS/Si Heterojunction Detector.***

*A thesis*

**Submitted to The Council of The College of Education, Al-Mustansiriyah University in  
Partial Fulfillment of the Requirement for the  
Degree of Master of Science in Physics**

*By*

***Zuhair Hussein Jawad***

*Supervised By*

***Prof. Dr. Abdul-Mjeed E. Al-Samar'ai***

***Prof. Dr. Saad Abdul Bari Tawfiq***

**2003**