



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

# الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية لأغشية سيلينايد الكادميوم (CdSe) المشوبة وتصنيعها كغنيطة

أطروحة مقدمة إلى

مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة - ابن الهيثم / جامعة بغداد  
وهي جزء من متطلبات نيل درجة دكتوراه فلسفة في الفيزياء  
تقدم بها

**طاهر حمد محمود**

( بكالوريوس علوم في الفيزياء 2006 )  
( ماجستير علوم في الفيزياء 2011 )

بإشراف

أ.م.د. بشرى كاظم حسون

أ.د. سمير عطا مكي

أيار 2018 م

شعبان 1439 هـ

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ  
اِنَّا نَحْنُ نُحْيِ الْمَوْتٰی وَنَكْتُبُ مَا قَدَّمُوا وَآثَارَهُمْ  
وَکُلَّ شَیْءٍ اَحْصٰیْنَاهُ فِیْ اِمَامٍ مُّبِیْنٍ  
صدق الله العظيم

سورة يس

الآية 12

# الإهداء

إلى من علمني العطاء من دون انتظار ..... أبي الحبيب  
إلى من كان دعائها لي سر نجاحي ..... أمي الحبيبة  
إلى من أشدد به أزمري دوما ..... أخي قرّة عيني  
إلى نسيمات الصباح وعطر الزهور الفواح ..... أخواتي نور عيني  
إلى ثمرة قلبي وريحانة فؤادي ..... ولدي علي  
إلى من ينبض قلبها بالحب من أجلي ..... زوجتي الغالية  
و إلى كل من أفادني ولو بلفظة ..... أساتذتي وزملائي

اهدي ثمرة جهدي المتواضع هذا

طاهر

## إقرار الأستاذين المشرفين

نشهد أن إعداد الاطروحة الموسومة بـ " الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية لأغشية سيلينايد الكادميوم (CdSe) المشوبة وتصنيعها كنيطة " جرى بإشرافنا في قسم الفيزياء/ كلية التربية للعلوم الصرفة - ابن الهيثم / جامعة بغداد وهي جزء من متطلبات نيل درجة دكتوراه فلسفة في الفيزياء للطلاب ( طاهر حمد محمود ) .

التوقيع: 

الاسم : د. بشرى كاظم حسون

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

التاريخ : 2017 / 12 / 25

التوقيع: 

الاسم : د. سمير عظامكي

المرتبة العلمية : أستاذ

التاريخ : 2017 / 12 / 25

## توصية رئيس قسم الفيزياء

إشارة إلى التوصية المقدمة من الاستاذين المشرفين أحيل هذه الاطروحة على لجنة المناقشة لبيان الرأي فيها.

التوقيع: 

الاسم : د. كريم علي جاسم

المرتبة العلمية : أستاذ

التاريخ : 2018 / /

## إقرار لجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة المناقشة أننا اطلعنا على الاطروحة الموسومة (الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية لاغشية سيلنايد الكاديوم (CdSe) المشوبة وتصنيعها كنيبيطة ) المقدمة من قبل الطالب (طاهر حمد محمود ) وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها فوجدناها جديرة بالقبول ومستوفية لمتطلبات نيل درجة دكتوراه فلسفة في الفيزياء وبتقدير ( امتياز ) .

### رئيس اللجنة

التوقيع :  
الاسم: د. علي عبد المحسن شهاب  
المرتبة العلمية: استاذ  
العنوان: جامعة بغداد / كلية التربية للعلوم الصرفة ( ابن الهيثم ) / قسم الفيزياء  
التاريخ: 2018 / /

### عضو اللجنة

التوقيع :  
الاسم: د. رعد محمد صالح الجاد  
المرتبة العلمية: استاذ  
العنوان: جامعة بغداد / كلية العلوم / قسم الفيزياء  
التاريخ: 2018 / /

التوقيع :  
الاسم: د. زياد طارق محمود  
المرتبة العلمية: استاذ  
العنوان: جامعة بغداد / كلية النهرين / قسم الهندسة الطبية  
التاريخ: 2018 / 5 / 20

### عضو اللجنة

التوقيع :  
الاسم: د. ايمان حميد خضير  
المرتبة العلمية: استاذ مساعد  
العنوان: جامعة بغداد / كلية التربية للعلوم الصرفة ( ابن الهيثم ) / قسم الفيزياء  
التاريخ: 2018 / 5 / 20

### عضو اللجنة

التوقيع :  
الاسم: د. وسام جعفر عزيز  
المرتبة العلمية: استاذ مساعد  
العنوان: الجامعة المستنصرية / كلية العلوم / قسم الفيزياء  
التاريخ: 2018 / 5 / 20

### عضو اللجنة ومشرفاً

التوقيع :  
الاسم: د. بشرى كاظم حسون  
المرتبة العلمية: استاذ مساعد  
العنوان: جامعة بغداد / كلية التربية للعلوم الصرفة ( ابن الهيثم ) / قسم الفيزياء  
التاريخ: 2018 / 5 / 20

### عضو اللجنة ومشرفاً

التوقيع :  
الاسم: د. سمير عطا مكي  
المرتبة العلمية: استاذ  
العنوان: جامعة بغداد / كلية التربية للعلوم الصرفة ( ابن الهيثم ) / قسم الفيزياء  
التاريخ: 2018 / 5 / 20

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

( عميد الكلية )

التوقيع :  
الاسم: د. خالد فهد علي  
المرتبة العلمية: استاذ  
العنوان: جامعة بغداد / كلية التربية للعلوم الصرفة ( ابن الهيثم )  
التاريخ: 2018 / /

## الخلاصة

تم في هذا البحث تحضير سبيكة المركب الثنائي سيلينيد الكاديوم من عناصرها الاولية وبالصيغة الكيميائية ( $Cd_{50}Se_{50}$ ) وذلك بإذابة عنصري الكاديوم والسيلينيوم في انبوبة من زجاج الكوارتز مفرغة من الهواء تحت ضغط مقداره ( $8 \times 10^{-3}$  mbar) ، ومن تبريد العينة باعتماد طريقة التبريد البطيء للمنصهر وإجراء فحوصات حيود الاشعة السينية للسبيكة المحضرة ومسحوقها ، تم التأكد من الحصول على سبيكة المركب الثنائي ( $CdSe$ ) بتركيب بلوري متعدد التبلور وبنظام بلوري من النوع السداسي (Hexagonal) .

تم ترسيب أغشية المركب ( $CdSe$ ) على قواعد من الزجاج وذلك لدراسة خصائص المركب التركيبية والبصرية والكهربائية ، وقواعد أخرى من السيليكون النقي ذي تبلور أحادي وبالالاتجاه السائد (111) ومن النوع الموجب (P-Type) بهدف تصنيع الخلايا الشمسية من أغشية المادة ، وذلك باعتماد طريقة التبخير الحراري في الفراغ عند درجة حرارة الغرفة ( $27^{\circ}C$ ) وبمعدل ترسيب مقداره ( $0.7nm/sec$ ) وبسمك مختلف  $(300,500,700,900) \pm 20nm$  ، كذلك تمت دراسة تأثير الاشابة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) على خصائص الاغشية المحضرة والخلايا الشمسية المصنعة وتمت مقارنة النتائج للحالتين النقية والمشوبة .

بينت نتائج حيود الاشعة السينية ان الاغشية المحضرة بنوعها النقي والمشوب كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع السداسي مع هيمنة النمو بالاتجاه السائد (002) ، يرافق ذلك تزايد واضح في كل من درجة التبلور والحجم الحبيبي الناتج بزيادة سمك الغشاء المحضر وعملية التشويب ، حيث تم اعتماد تقانة الفحص بمجهر القوة الذرية (AFM) في قياس معدل الحجم الحبيبي للأغشية الناتجة فضلاً عن دراسة الخصائص الاخرى كتحديد قيمة خشونة سطح الغشاء المحضر والتي أظهرت نتائج القياس ايضاً زيادة الخشونة بزيادة سمك الغشاء المحضر أولاً وبعملية التشويب ثانياً .

أظهرت نتائج القياسات البصرية أن امتصاصية أغشية ( $CdSe$ ) للأطوال الموجية الواقعة ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي تزداد بزيادة سمك الغشاء المحضر مع تعزز هذه النتيجة بعملية التشويب بعنصر القصدير .

كذلك تم حساب قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة كافة وذلك باعتماد طيف النفاذية كدالة للطول الموجي ضمن المدى ( $300-1100$ ) nm وأظهرت النتائج امتلاك اغشية ( $CdSe$ ) فجوة طاقة بصرية مباشرة وان قيمتها قد تناقصت بزيادة السمك وعملية التشويب ضمن المدى ( $1.68-1.72$ ) eV يقابل ذلك تزايداً واضحاً في قيم معامل الامتصاص سيما للمنطقة المرئية من الطيف الامر الذي انعكس ايجاباً على كفاءة النبائط المصنعة كخلايا شمسية .

أظهرت نتائج قياسات التوصيلية الكهربائية المستمرة (DC) ان هنالك نقصاناً في قيمة المقاومة الكهربائية بزيادة درجة الحرارة مما يشير الى سلوك اشباه الموصلات للمادة المدروسة ، فضلاً عن امتلاك الاغشية المحضرة طاقتي تنشيط مما يشير الى وجود آليتين للانتقال الالكتروني فيها ، وان قيم طاقات التنشيط قد تناقصت بعملية التشويب ، أما بالنسبة الى قياسات تأثير هول فقد أظهرت النتائج بأن الاغشية المحضرة كانت ذات توصيلية كهربائية من النوع السالب (N-type) وان عملية التشويب قد عززت من حاملات الشحنة الاغلبية لاسيما عند اعظم سمك تم تحضيره (700,900) nm على التوالي .

بينت نتائج قياسات خصائص (تيار-جهد) في حالة الاضاءة ان الخلايا الشمسية المصنعة من غشاء المادة بسمك (900) nm تمتلك اعلى قيمة للكفاءة التحويلية من بين النماذج النقية الاخرى ذات السمك المختلف ، حيث بلغت كفاءتها التحويلية (2.17%) وعند اشابة المفارق المصنعة بعنصر القصدير وبنسبة تشويب (3%) تحسنت الكفاءة التحويلية لنماذج الخلايا كافة مع بقاء الصدارة للخلايا الشمسية ذات سمك (900) nm حيث بلغت كفاءتها التحويلية بعد التشويب (3.84%) .

أما نتائج قياسات (سعة-جهد) فقد بينت بأن المفارق المصنعة هي من النوع الحاد وان سعة منطقة النضوب تقل بزيادة السمك في حين انها تزداد بعملية التشويب مع تناقص واضح في قيمة جهد البناء الداخلي وعرض منطقة النضوب بعملية التشويب ايضاً .

## قائمة الرموز والمصطلحات

Symbols	المصطلح	الرمز
Cadmium Selenide	سيلينايد الكاديوم	CdSe
Boltzman constant	ثابت بولتزمان	$K_B$
Kelvin	كلفن	K
Density of the Film	كثافة الغشاء	$\rho_o$
Band gap Energy	حزمة فجوة الطاقة	$E_g$
electron mobility	تحركية الإلكترونات	$\mu_n$
hole mobility	تحركية الفجوات	$\mu_H$
Absorption coefficient	معامل الامتصاص	$\alpha$
Film thickness	سمك الغشاء	t
Electron charge	شحنة الإلكترون	q
X-Ray Diffraction	حيود الأشعة السينية	XRD
Wave length	الطول الموجي	$\lambda$
d space	فسحة السطوح	d
Miller indices	معاملات ميلر	hkl
Full Width at Half Maximum Intensity	عرض المنحني عند منتصفه أعظم شدة	FWHM
Dislocation Density	كثافة الانخلاعات	$\delta$
Crystal Layers Number	عدد الطبقات البلورية	$N_o$
Micro strain	الاجهاد المايكروبي	$\mu\epsilon$
Average Crystallite Size	معدل الحجم البلوري	C.S
Atomic force microscopy	مجهر القوة الذرية	AFM
Absorptance	الامتصاصية	A
Transmittance	النفاذية	T
Reflectance	الانعكاسية	R
Intensity of incident light	شدة الضوء الساقط	$I_0$
Intensity of Absorption light	شدة الإشعاع الممتص	$I_A$
Intensity of Transmittance light	شدة الإشعاع النافذ	$I_T$



## قائمة الرموز والمصطلحات

Symbols	المصطلح	الرمز
Electron affinity	الآلفة الألكترونية	$\chi$
Work function	دالة الشغل	$\phi$
Activation energy	طاقة التنشيط	$E_a$
Hall coefficient	معامل هول	$R_H$
Primitive of acceptor material	سماحية المادة القابلة	$\epsilon_p$
Primitive of donor material	سماحية المادة المانحة	$\epsilon_n$
Donor doping concentration	تركيز الشوائب المانحة	$N_D$
Acceptor doping concentration	تركيز الشوائب القابلة	$N_A$
Width of space charge	عرض منطقة النضوب	$W$
Capacitance of space charge	سعة منطقة النضوب	$C$
Saturation current	تيار التشبع	$I_s$
Ideality factor	عامل المثالية	$\beta$
Built-in potential	جهد البناء الداخلي	$V_{bi}$
Primitive of Hetrojunction	السماحية الكهربائية للمفروق المجهين	$\epsilon_s$
Air Mass	كتلة الهواء	$AMX$
Short circuit current	تيار الدائرة القصيرة	$I_{SC}$
Open circuit voltage	فولتية الدائرة المفتوحة	$V_{OC}$
Fill factor	عامل الملء	$F.F.$
Saturation current density	كثافة تيار الإشباع	$J_s$
Maximum voltage	أعلى قيمة للفولتية	$V_m$
Maximum current	أعلى قيمة تيار	$I_m$
Maximum current density Value of Solar Cell	أعلى قيمة لكثافة تيار الخلية الشمسية	$J_m$
Conversion Efficiency	كفاءة التحويل	$\eta$
Power of incident sun light	قدرة الأشعة الشمسية الساقطة	$P_{in}$
Maximum output Power of the Cell	أعلى قدرة خارجة من الخلية	$P_m$
Short circuit current density	كثافة تيار الدائرة القصيرة	$J_{SC}$

## قائمة الرموز والمصطلحات

Symbols	المصطلح	الرمز
Resistance	المقاومة	$R_o$
Resistivity	المقاومية	$\rho$
Conductivity	التوصيلية	$\sigma$
Temperature	درجة الحرارة المطلقة	T
D.C. Conductivity	التوصيلية المستمرة	$\sigma_{d.c}$
Cross section area of the film Between electrodes of Al	مساحة المقطع العرضي للغشاء بين قطبي الألمنيوم	S
Distance between electrodes of Al	المسافة بين قطبي الألمنيوم	L
Width of electrode	عرض القطب	b
Root Mean Square Of Roughness	الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة	RMS
Conduction band	حزمة التوصيل	$E_c$
Valence band	حزمة التكافؤ	$E_v$
Fermi level	مستوى طاقة فيرمي	$E_F$
Scanning Electron Microscopy	المجهر الماسح الإلكتروني	SEM
Carrier Concentration	تركيز الحاملات	n
Ohm	اوم	$\Omega$
Wave Length Cut Off	طول موجة القطع	$\lambda_{\text{Cut Off}}$

## قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
1-19	الفصل الأول : مقدمة عامة	
1	المقدمة	1-1
2	خصائص مادة الغشاء	2-1
2	سيلينايد الكاديوم	1-2-1
5	الخصائص الفيزيائية والكيميائية للسليكون	2-2-1
7	خصائص المادة الشائبة (القصدير)	3-2-1
9	الدراسات السابقة	3-1
19	تطبيقات أغشية سيلينايد الكاديوم	4-1
19	هدف الدراسة	5-1
20-63	الفصل الثاني : الجانب النظري	
20	المقدمة	1-2
20	المواد شبه الموصلة	2-2
21	عناصر ومركبات أشباه الموصلات	3-2
24	طرائق تطعيم أشباه الموصلات	4-2
26	معادلة الانتشار	5-2
29	حيود الأشعة السينية	6-2
31	ثوابت الشبكة البلورية	7-2
31	معدل الحجم البلوري	1-7-2
32	كثافة الانخلاعات	2-7-2
32	عدد الطبقات البلورية	3-7-2
32	الاجهاد المايكروني	4-7-2
33	الخواص البصرية لأغشية اشباه الموصلات	8-2
33	الامتصاصية	1-8-2
34	النفاذية	2-8-2

34	معامل الامتصاص	3-8-2
35	الامتصاص البصري	9-2
37	حافة الامتصاص الاساسية ومناطق الامتصاص	10-2
40	الانتقالات الالكترونية في شبه الموصل	11-2
42	الخواص الكهربائية	12-2
42	التوصيلية المستمرة في اشباه الموصلات	1-12-2
44	تأثير هول	2-12-2
46	المفارق الهجينة	13-2
47	نظرية المفارق الهجينة الحادة غير المتماثلة	1-13-2
51	المفارق الهجينة الحادة المتماثلة	2-13-2
52	المفارق الهجينة المتدرجة	3-13-2
52	العوامل المؤثرة على كفاءة المفارق الهجين المصنع	4-13-2
54	الخلية الشمسية	14-2
55	الاشعاع الشمسي	15-2
57	الخصائص الكهربائية للمفارق الهجين	16-2
57	خصائص (تيار - جهد)	1-16-2
59	خصائص (سعة - جهد)	2-16-2
61	معامل خرج الخلية الشمسية	17-2
61	تيار الدائرة القصيرة	1-17-2
62	فولتية الدائرة المفتوحة	2-17-2
62	عامل الملء	3-17-2
63	كفاءة التحويل	4-17-2
64-86	الفصل الثالث : الجانب العملي	
64	المقدمة	1-3
66	المخطط الطوري	2-3
67	تحضير سبيكة المركب	3-3
68	طرائق تحضير الاغشية الرقيقة	4-3

70	منظومة التبخير الحراري (منظومة الطلاء)	5-3
74	تنظيف قواعد الترسيب وتهيئتها	6-3
75	تحضير الاقنعة	7-3
76	تحضير أغشية سيلينايد الكاديوم	8-3
76	قياس سمك الأغشية المحضرة	9-3
78	القياسات التركيبية	10-3
78	الفحص بتقنية حيود الاشعة السينية	1-10-3
79	فحوصات مجهر القوة الذرية	2-10-3
80	فحوصات المجهر الالكتروني الماسح	3-10-3
80	فحوصات مطياف تشتت الطاقة	4-10-3
81	الفحوصات البصرية	11-3
81	القياسات الكهربائية	12-3
82	التوصيلية الكهربائية المستمرة	1-12-3
83	قياسات تأثير هول	2-12-3
84	القياسات الكهربائية للخلايا الشمسية	13-3
84	قياسات خصائص (التيار – الفولتية) في حالة الظلام	1-13-3
85	قياسات خصائص (التيار – الفولتية) في حالة الاضاءة	2-13-3
86	قياسات خصائص (سعة – فولتية)	3-13-3
87-174	الفصل الرابع : النتائج والمناقشة	
87	المقدمة	1-4
88	الخصائص التركيبية	2-4
88	نتائج حيود الأشعة السينية	1-2-4
106	فحوصات طيف تشتت الطاقة	2-2-4
111	نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية	3-2-4
116	نتائج الفحص بالمجهر الالكتروني الماسح	4-2-4
119	نتائج قياس سمك الاغشية المحضرة	3-4
120	الخواص البصرية	4-4

120	طيف الامتصاصية	1-4-4
124	طيف النفاذية	2-4-4
127	طيف الانعكاسية	3-4-4
129	حساب معامل الامتصاص	4-4-4
131	حساب قيمة الفجوة البصرية	5-4-4
137	الخصائص الكهربائية	5-4
137	التوصيلية الكهربائية المستمرة	1-5-4
143	تأثير هول	2-5-4
147	الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية	6-4
147	خصائص (سعة - جهد)	1-6-4
155	خصائص (تيار - جهد)	2-6-4
168	حساب كثافة تيار الاشباع وعامل المثالية	3-6-4
171	الاستنتاجات	7-4
173	المقترحات والمشاريع المستقبلية	8-4

# الفصل الاول

الخصائص التركيبية لأغشية (CdSe)  
والدراسات السابقة

## الفصل الاول

### Introduction

### (1-1) المقدمة

تمثل طاقة الشمس المصدر الرئيس للطاقة في كوكب الارض فهي تعد واحدة من أهم مصادر الطاقة المتجددة التي كانت وما زالت متوفرة ، والتي يعول عليها حاليا كأحدى أهم مصادر الطاقة البديلة عن النفط والغاز ، ولقد أعطت الدول المتقدمة خلال السنوات الطوال الماضية النصيب الاوفر من إمكانياتها المادية الى البحوث العلمية والتطبيقات العملية في مجال تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية وهو ما يعرف باسم (التطبيقات الفوتوفولتائية) ، إذ إن إنتاج الطاقة الكهربائية من أشعة الشمس لا يتطلب مركزية التوليد ، بمعنى إمكانية إنتاج الطاقة الكهربائية واستهلاكها ضمن المنطقة نفسها أو المكان من دون الحاجة لمحاولات الضغط العالي والى أسلاك التوصيل الناقلة للتيار ( كما هو الحال في محطات توليد الطاقة الكهربائية ) ، فضلا عن ان الطاقة الشمسية هي طاقة نظيفة اي أنها لا تلوث الجو ولا تترك فضلات مؤثرة في البيئة مما يكسبها وضعا خاصا في هذا المجال سيما في تطبيقات القرن القادم [1] .

أما بالنسبة الى التقنية المستخدمة في الخلايا الشمسية والتي على أساسها يتم تحويل الضوء فيها الى كهرباء فهي بسيطة نسبيا وغير معقدة بالمقارنة مع التقنيات المستخدمة في مصادر التوليد الاخرى ، إذ تستخدم في صناعة الخلايا الشمسية مواد ذات مواصفات خاصة تسمى بأشباه الموصلات (Semiconductor materials) والتي نادراً ما تكون متواجدة في الطبيعة بشكل عناصر منفردة (كالسليكون أو الجرمانيوم) ، أو تكون بشكل مركبات (Compounds) والتي غالبا ما يتم تحضيرها باستعمال طريقة التبريد البطيء لمنصهر السبيكة المحضرة من عناصرها الاولية ، ومن ثم يتم طحنها ليتم ترسيب مسحوقها بعد ذلك على قواعد من مواد مختلفة منها الزجاج أو السليكون أو غيرها ( تبعا لنوع الدراسة وطبيعة التطبيق ) وبسبك لا يتجاوز المايكرون الواحد ليتم بذلك تحضير ما يسمى بالغشاء الرقيق (thin films) [2,3] ، أما بالنسبة الى النبائط المصنعة كخلايا شمسية فيتم تجميع ذات الكفاءة العالية منها بنظام كهربائي وهندسي محدد لتكوين ما يسمى باللوح الشمسي والذي يتم تعريضه لأشعة الشمس وبزاوية معينة ليتم بذلك إنتاج أكبر قدر ممكن من الكهرباء .

لقد تزايدت دراسات الباحثين المتعلقة بتقنية الاغشية الرقيقة ، وذلك لما لها من أهمية كبيرة في مجالات الصناعة الالكترونية الحديثة ، فهي فضلا عما ذكر من مجال استعمالها في صناعة الخلايا الشمسية والضوئية ، لها استعمالات صناعية متعددة ، إذ تدخل في تركيب الاجهزة الالكترونية بشكل مقومات (Rectifiers) وامتسعات (Capacitors) وترانزستورات (Transistors) وغيرها ، كما تدخل في صناعة



كواشف الاشعة الكهرومغناطيسية (Electromagnetic wave detectors) ضمن مديات طيفية محددة فضلا عن أن لها الكثير من التطبيقات الالكترونية والبصرية الاخرى منها استعمالها في صناعة الدوائر الالكترونية المتكاملة ( Integrated Circuits ) والمفاتيح الكهربائية ، وفي التصوير والاستنساخ الضوئي ، وفي صناعة المرايا الاعتيادية والحرارية والطلاءات العاكسة وغير العاكسة ، ويكون اعتماد ذلك بشكل مباشر ورئيسي على نوع الغشاء المستعمل وطبيعة المواد الأولية الداخلة في تركيبه البلوري [4,5] .

## The Properties of Thin Film

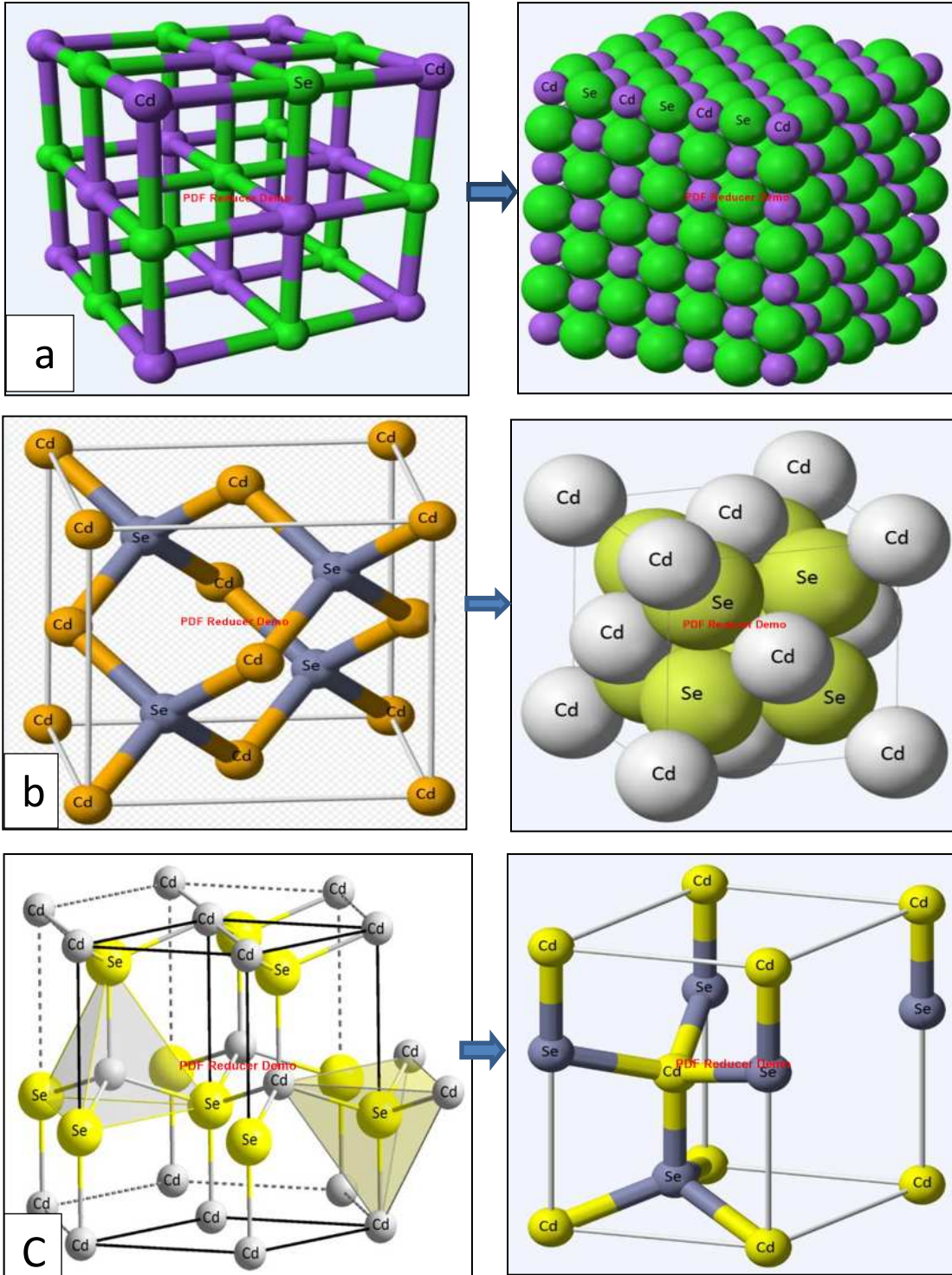
## (2-1) خصائص مادة الاغشية المحضرة

### Cadmium Selenide Properties

### (1-2-1) خصائص سيلينايد الكاديوم

يعرف سيلينايد الكاديوم بأنه مركب كيميائي لاعضوي ( Inorganic Compound ) من مركبات عنصر الكاديوم ، صيغته الكيميائية (CdSe) وذو لون اسود ، ولكونه يرتبط بأحد عناصر المجموعة السادسة من الجدول الدوري (Se) ، لذا فإنه يعد من جالكوجينات اشباه الموصلات الزجاجية التي تنتمي الى المجموعة (II- VI) من الجدول الدوري [6,7] .

يتبلور سيلينايد الكاديوم بنظامين بلوريين أحدهما المكعب (Cubic) والذي يظهر بطورين ، الاول يسمى (rock-salt) ويرمز له (α - CdSe) ، أما الطور الثاني فيسمى (Sphalerite) ويكون مشابها لتكوين كبريتيد الزنك (Zinc blende) ويرمز له (β - CdSe) ، أما النظام الاخر الذي يتبلور به المركب فهو النظام السداسي (Hexagonal) او ما يسمى (Wurtzite) ويرمز له (γ - CdSe) وكما موضح ذلك في الشكل (1-1) . يكون النظام الاول غير مستقر (Metastable state) ويتشكل بصورة خاصة من العمليات الكهروكيميائية ، اما النظام الاخر فيعد النظام البلوري الاكثر استقرارا ويتشكل إما بصورة غير مباشرة بوساطة عملية تلدين الطور المكعب (Cubic) أو بصورة مباشرة بوساطة طرائق التحضير الاخرى [8-12] . يمتلك سيلينايد الكاديوم معامل امتصاص ذا قيمة عالية لاسيما ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي وبسبب هذه الخاصية لاقى اهتماما كبيرا في مجال صناعة الخلايا الشمسية بوصفه كمادة الكتروبرصرية سواء كان بصورته النقية (CdSe Pure) أو بشكل طبقات (Multilayer's) كما في النوع السالب (n-type semiconductor) ، وذو فجوة طاقة مباشرة ذات قيمة مساوية الى (1.74eV) عند درجة حرارة الغرفة (300k) [15,16] ، ويبين الجدول (1-1) معظم الخصائص الفيزيائية للمركب .



الشكل (1-1) التركيب البلوري لمادة سيلينيد الكاديوم [2,15]

$\gamma$  - CdSe (c) ,  $\beta$  - CdSe - (b) ,  $\alpha$ - CdSe -(a)

الجدول (1-1) : أهم الخصائص الفيزيائية لمادة سيلينيد الكاديوم [2,8,15,16]

Molecular formula	CdSe
Group	II-VI
Appearance	Black ,Translucent
Crystal structure	Cubic (zinc blende) and hexagonal (wurtzite) structure
Zinc blende lattice parameter at (300k)	$a_0 = 6.08 \text{ \AA}$
Wurtzite lattice parameters at (300k)	$a_0 = 4.30 \text{ \AA}$ , $C_0 = 7.02 \text{ \AA}$
Zinc blende unit cell volume	$224.75 \text{ \AA}^3$
Wurtzite unit cell volume	$112.40 \text{ \AA}^3$
Molecular Weight	191.39 (g/mole)
Transition Type	Direct
$E_g^{\text{opt}}$ at (300k)	1.74 eV
Density	$5.81 \text{ (gm / cm}^3\text{)}$
Melting point	$1268 \text{ }^\circ\text{C}$
Refractive index	2.5
Dielectric constant	9.3 - 10.2
Electron mobility( $\mu_e$ ) at (300k)	$660 \text{ ( cm}^2 \text{ / V. S)}$
Hole mobility( $\mu_h$ ) at (300k)	$40 \text{ ( cm}^2 \text{ / V. S)}$
Resistivity	$10^5 \text{ (}\Omega\text{.cm)}$
Absorption Coefficient ( $\alpha$ )	$10^4 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
Linear Expansion Coefficient	$4.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Oxidation State	Cd (+2) & Se (-2)
Ionic Radius ( $\text{\AA}$ )	$\text{Cd}^{+2} \text{ (0.95) \& Se}^{-2} \text{ (1.98)}$
Hazards	Very Toxic and Dangerous.
Lattice mismatch for CdSe/Si	11%

## (2-2-1) الخصائص الفيزيائية والكيميائية للسليكون (Si)

**The Physical and Chemical Properties of Silicon**

يعرف السليكون بأنه عنصر كيميائي رمزه ( Si ) وعدده الذري (14) ، رباعي التكافؤ ، بمعنى أنه يمتلك أربعة إلكترونات حرة في غلافه الخارجي يستطيع بوساطتها أن ينشئ روابط الكترونية مع العناصر الأخرى وبسهولة .

يصنف السليكون من أشباه الموصلات ، وهو ذو فجوة طاقة غير مباشرة مقدارها (1.12eV) ، ويعد من أهم عناصر الجدول الدوري في صناعة الرقائق الالكترونية الصغيرة ( Micro Chipset ) المستخدمة في الاجهزة الحديثة ، وكذلك في صناعة المعالجات المايكروية (Micro processors) ، فضلا عن صناعة الدوائر الالكترونية المتكاملة والدوائر المستخدمة في أجهزة الحاسوب ، وعلى هذا الاساس يلقب عنصر السليكون بـ (عنصر الالكترونيات الحديثة ) [5,17] ، فهو يعد ثاني أكثر العناصر وفرة بعد الاوكسجين ، حيث يمثل نحو (28%) من مكونات القشرة الارضية [18] ، ولذلك فهو واسع الانتشار ، حيث يوجد في الطبيعة على شكل مركبات كيميائية منها السليكات (SiO<sub>4</sub>) ومنها السليكا (SiO<sub>2</sub>) والتي تمثل أساس تكوين الرمل والصخور .

أن التواجد الهائل للسليكون في القشرة الارضية وسهولة استخراجة جعلت منه المادة الانسب في الصناعات الالكترونية الحديثة لاسيما وقد تعددت طرائق استخلاصه من ضمن المركبات الكيميائية التي يتواجد فيها ليتم الحصول بالنتيجة على رقائق سليكونية نقية (Silicon wafer) تكون جاهزة لطباعة الدوائر الالكترونية المتكاملة عليها وصناعة النماذج الالكترونية منها [5] ، ويبين الجدول (2-1) أهم الخصائص الفيزيائية لعنصر السليكون .

الجدول (2-1) : أهم الخصائص الفيزيائية لعنصر السليكون [5,17]

Physical parameters	Value
Molecular formula	Si
Group (Periodic Table)	IV
Classification	Semiconductor
Crystal Structure	Diamond Cubic
$E_g^{opt}$ at (300K)	1.12 eV
Transition Type	Indirect
Lattice Constant	5.43 Å
Molecular Weight	28.08 (g/mole)
Electron affinity ( $\chi$ )	4.1-4.5 eV
Thermal expansion coefficient	$2.33 \times 10^{-6}$ (°C <sup>-1</sup> )
Density	2.33 (g/cm <sup>3</sup> )
Melting Point	1415 °C
Refractive Index	3.45
Dielectric Constant	11.7
Resistivity at (300K)	$2.3 \times 10^3$ Ω.m
Electron Mobility at (300K)	1417 (cm <sup>2</sup> /V.s)
Intrinsic Carrier Concentration	$1.5 \times 10^{10}$ (cm <sup>-3</sup> )
Thermal Conductivity	149 (W/m.K)
Oxidation State	Si (+4)
Atomic Radius	1.11 (Å)
Ionic Radius	0.4 (Å)
Hazards	Less Toxic.

**Tin Metal properties****(3-2-1) خصائص مادة التطعيم (القصدير)**

يعرف القصدير بأنه عنصر كيميائي رمزه (Sn) وعدده الذري (50) ذو لون فضي وتركيب بلوري رباعي ( Tetragonal ) ينتمي إلى المجموعة الرابعة من الجدول الدوري , ويتم الحصول عليه عن طريق اختزال معدن الكاسيترايت ( اوكسيد القصدير ) إلى معدن القصدير بعملية التسخين الحراري في أفران خاصة [19,20] .

يمتلك معدن القصدير خواص معدنية جيدة ذات درجة من الأهمية مكنته من أن يستعمل في صناعة مجموعة كبيرة من المنتجات ، ومن هذه الخواص قابليته للطرق والتشكيل [21] ، وبفعل طبيعة توزيعه الإلكتروني في الأغلفة الثانوية من المدارات الخارجية لذراته [  $5S^2 5P^2$  ] , مكنه ذلك من أن يكون متواجداً بحالتين تأكسديتين إحداهما (+4) والأخرى (+2) ، إلا أنه غالباً ما يميل إلى أن يكون متواجداً بحالته التأكسدية الأولى (+4) لكون هذه الحالة الأكثر استقراراً (من حيث مستويات الطاقة) بالنسبة للإلكترونات المدارات الخارجية لذراته ، وعلى هذا الأساس يصنف القصدير على أنه من الشوائب المانحة للإلكترونات بفعل تصرف ذرات شائبة من منحها إلكترونات مداراتها الخارجية إلى المادة المشوبة بها جاعلةً منها مادة شبه موصلة غزيرة بالإلكترونات من النوع السالب ( n-type ) [22,23] .

أما استعمالاته فغالباً ما يدخل في منظومات الطلاء كمادة طلاء خارجية لحماية المادة المطلية من التآكل أو الأكسدة أو التفاعل الكيميائي (وكما هو الحال في معلبات حفظ الأغذية ، إذ يمنع القصدير الأحماض الموجودة في علب الطعام من التفاعل مع مكونات العلبه ) [24] , فضلاً عن استعمالاته المتعددة الأخرى في عمليات التشويب باعتباره مادة إشابة , وفي إنتاج الخلائط المعدنية المستعملة في صناعة سبائك اللحام ( Solder ) ذات درجة الانصهار الواطئة والمستعملة في لحام الأسطح الفلزية أو الأقطاب في الدوائر الكهربائية [25] ، ويبين الجدول (3-1) أهم الخصائص الفيزيائية لمعدن القصدير .

الجدول (3-1) : أهم الخصائص الفيزيائية لمعدن القصدير [21-25]

Physical parameters	Value
Molecular formula	Sn
Group	IV
Classification	Metal
Color	Silvery White
Physical State	Solid
Molecular Weight	118.710 gm\mole
Melting Point	232 °C
Boiling Point	2600 °C
Density	7.31 gm/cm <sup>3</sup>
Oxidation State	+2 & +4
Vander Waals Radius	2.17 Å
Atomic Radius	1.45 Å
Covalent Radius	1.40 Å
Ionic Radius	0.93 Å For Oxidation +2
Ionic Radius	0.83 Å For Oxidation +4
Crystal Structure	Tetragonal
Electrical Resistivity	115 nΩ .m
Magnetic Ordering	Paramagnetic
Thermal Conductivity	66.8 W. m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> at (300 K)
Solubility In Water	Slightly soluble in hot Water
Hardness	Softer than Gold , Harder than Lead
Formation Ability	Malleable and Ductile Metal

## (3-1) الدراسات السابقة

## Literature Survey

❖ درس كل من [Shiraki, et al, 2001] [26] تأثير الاشابة بالنحاس وبنسبة تشويب مقدارها (3%) على الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية (CdSe) النقية والمحضرة بتقنية التبخير الحراري في الفراغ وبدرجات حرارة ترسيب مختلفة °C ( 200 , 150 , 100 , 30 ) . بينت نتائج الفحوصات التركيبية بأن مادة المركب (CdSe) بهيأتها كمسحوق (powder) كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع السداسي مع نمو ذري بعدة اتجاهات بلورية كان المميز والسائد منها في الاتجاهات (100) و(103) و(110) على التوالي ، أما نتائج الفحوصات التركيبية للأغشية المشوبة فكانت أيضا من النوع السداسي مع نمو الحبيبات بالاتجاه المميز(002) مع تزايد الشدة لهذا الاتجاه بزيادة درجة حرارة الترسيب ، كذلك أظهرت نتائج المجهر الماسح الالكتروني بأن الاغشية المحضرة كانت مؤلفة من حبيبات نانوية صغيرة الحجم كروية الشكل وذات توزيع منتظم ومتجانس ، مع تزايد واضح يظهر في حجمها الحبيبي بتأثير كل من عملية التشويب وزيادة درجة حرارة الترسيب ، أما نتائج الفحوصات البصرية فقد أظهرت بأن الاغشية المشوبة كانت ذات فجوة طاقة بصرية مباشرة تراوحت قيمتها بين 2.05-2.22 eV اعتمادا بذلك على درجة حرارة الترسيب .

❖ استخدم كل من [Sebastion, et al, 2003] [27] طريقة الجدار الحار ( Hot wall ) في ترسيب أغشية سيلينيد الكاديوم على قواعد من الزجاج العادي وقواعد أخرى من زجاج التوصيل الفائق (ITO) بسماك مختلف nm ( 600 , 1200 , 1800 ) وبدرجات حرارة ترسيب مختلفة °C ( 147, 247, 327, 367 ) ، وتمت دراسة تأثير تغير كل من السمك ودرجة حرارة الترسيب على الخواص التركيبية والبصرية للأغشية المحضرة . أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية امتلاك الاغشية المحضرة تركيبا بلوريا متعدد التبلور ومن النوع السداسي وبالاتجاه السائد (002) مع زيادة واضحة جدا في الشدة المميزة بزيادة السمك متحولا بذلك تركيبها البلوري الى الطبيعة الاحادية ( Single Crystalline ) بزيادة السمك وبحجم بلوري تراوحت قيمته من ( 25.2nm ) ولغاية ( 42.2nm ) . أما بالنسبة الى كثافة الانخلاعات المسجلة فقد كانت ذات قيم متناقصة بزيادة السمك أيضاً ، وفيما يتعلق بالقياسات البصرية فقد أظهرت نتائج قياسات طيف النفاذية أن الاغشية المحضرة كانت ذات فجوة طاقة بصرية مباشرة وذات قيمة مساوية الى ( 1.72eV ) مع نقصان طفيف يظهر في هذه القيمة ولغاية ( 1.69eV ) بزيادة كل من السمك ودرجة حرارة الترسيب .



- ❖ قام كل من [Lokhande ,et al ,2004] [28] بترسيب أغشية سيلينايد الكاديوم الرقيقة على قواعد من الزجاج بدرجة حرارة الغرفة وذلك باعتماد طريقة التبخير بالحمام الكيميائي ، ومن ثم تمت دراسة أثر التلدين وبدرجات حرارية مختلفة وبزمن مقداره أربع ساعات على الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية للأغشية المحضرة . أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية أن الاغشية المحضرة قبل التلدين كانت ذات تركيب بلوري من النوع المكعب متحولا الى الطور المستقر (السداسي) بعملية التلدين وبالالاتجاه السائد (002) يرافق ذلك تزايد في الحجم الحبيبي الناتج ، أما نتائج الفحوصات البصرية فقد أظهرت بأن المعاملة الحرارية للأغشية المحضرة قد عملت على تقليل قيمة فجوة الطاقة البصرية لتصبح (1.70eV) بعملية التلدين بعد أن كانت مساوية الى (2.3eV) للأغشية غير المدنة ، أما بالنسبة الى الفحوصات الكهربائية فقد أسفرت النتائج عن نقصان في قيمة المقاومة الكهربائية بعملية التلدين من جراء التحسن الحاصل في نوع التبلور ودرجته بعد التلدين ، لتصبح المقاومة ذات قيمة مساوية الى (  $10^3 \Omega.cm$  ) بعملية التلدين ، بعد أن كانت مساوية الى (  $10^6 \Omega.cm$  ) قبل التلدين .
- ❖ قام الباحث [Bhuse ,2005] [29] بتحضير أغشية (CdSe) باعتماد طريقة الترسيب بالحمام الكيميائي ومن ثم دراسة أثر الاشابة بالزئبق وبنسب تراوحت بين (0.01 – 10) mol % على الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية للأغشية المحضرة ، وأظهرت نتائج الدراسة بأن الاغشية المحضرة بنوعها النقي والمشوب كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور مع زيادة واضحة تظهر في كل من درجة التبلور والحجم الحبيبي الناتج بزيادة نسب التشويب ، أما نتائج الفحوصات البصرية فقد أظهرت بأن قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية النقية كانت مساوية الى (1.87eV) مستقرة بذلك عند هذه القيمة ولغاية نسب التشويب القليلة مع نقصان بسيط يظهر في قيمة (E<sub>g</sub>) عند نسب التشويب العالية ، كذلك أظهرت نتائج الفحوصات الكهربائية بأن جميع الاغشية المحضرة كانت ذات توصيلية كهربائية من النوع السالب (n- type) مع تناقص في قيمة المقاومة الكهربائية بزيادة نسب التشويب .
- ❖ رسب كل من [Sharma ,et al ,2007] [30] أغشية سيلينايد الكاديوم الرقيقة على أنواع مختلفة من أرضيات الترسيب منها الفولاذ المقاوم للصدأ والتيتانيوم وزجاج التوصيل الفائق (FTO) وذلك باستعمال طريقة الترسيب بالتحلل الكهربائي ، دُرست الخواص التركيبية للأغشية المحضرة وذلك باعتماد تقنية الحيود بالأشعة السينية وأظهرت النتائج بان الاغشية المحضرة كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع السداسي مع ظهور قمم عدة وبشدة متفاوتة تشترك بالاتجاه (002) ولقواعد الترسيب كافة ، كذلك أظهرت النتائج التركيبية أيضا أن الحجم البلوري الناتج للأغشية المحضرة كان ضمن المدى (10.20 – 14.55) nm .

أما نتائج الفحوصات البصرية فقد أظهرت بأن الاغشية المرسبة على زجاج التوصيل الفائق (FTO) كانت ذات فجوة طاقة مباشرة وذات معامل امتصاص عالي وأن قيمة فجوة الطاقة لها كانت مساوية الى (1.8eV) ، كذلك تم ايجاد معلمات الخلايا الشمسية للنبائط المصنعة من أغشية المادة وباختلاف ارضيات الترسيب تحت شدة إضاءة كان مقدارها (40 mW/cm<sup>2</sup>) وأظهرت النتائج بأن الاغشية المرسبة على زجاج التوصيل الفائق (FTO) كانت ذات عامل ملء وكفاءة تحويل أكبر ما تم الحصول عليه مقارنة بالأغشية المرسبة على النوعين الاخرين من الارضيات ، حيث بلغت الكفاءة قيماً مساوية الى (0.02%) و(0.124%) و(0.3%) ، أما قيم عامل الملء فكانت مساوية الى (27%) و(28.81%) و(39.25%) للأغشية المرسبة على ارضيات التيتانيوم والفولاذ المقاوم للصدأ وزجاج التوصيل الفائق على التوالي .

❖ حضر كل من [Mohan , et al ,2008] [31] أغشية سيلينايد الكادميوم الرقيقة على قواعد من الزجاج وبسمك مختلف (67, 170, 305) nm وذلك باستخدام تقنية التبخير الحراري في الفراغ ومن ثم دراسة تأثير تغير السمك على معلمات سطح الغشاء المحضر ومدى تأثير بعض الخصائص البصرية بذلك . أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية ظهور عدة قمم تعود الى طوري المادة المكعب والسداسي الا أن الطور السداسي كان هو السائد وبالاجته المميز (100) ، كذلك وجد من نتائج فحوصات الاشعة السينية نقصان الاجهاد الناشئ مع زيادة الحجم البلوري بزيادة سمك الغشاء المحضر ليبلغ قيمة مقدارها (39.6 nm) عند أعلى سمك محضر ، أما نتائج فحوصات المجهر الماسح الالكتروني فقد كشفت أن الاغشية المحضرة كانت مكونة من حبيبات نانوية صغيرة الحجم كروية الشكل مع خلوها من العيوب الإبرية والتشققات المايكروية ، يرافق ذلك تزايد ملحوظ في حجم تلك الحبيبات بزيادة السمك مكونة الغشاء المستمر والمتجانس لاسيما عند أكبر سمك محضر ، أما فيما يتعلق بنتائج الفحوصات البصرية فقد أظهرت النتائج أن الاغشية المحضرة كانت ذات فجوة طاقة مباشرة مع حصول نقصان في قيمتها بزيادة السمك مسجلة أعلى قيمة لها (2.37eV) عند أقل سمك محضر وأقل قيمة لها (1.95eV) عند أكبر سمك محضر (300 nm) .

❖ قام كل من [Yadav ,et al ,2010] [32] بتحضير أغشية سيلينايد الكادميوم على قواعد من الزجاج وبدرجات حرارة أرضية مختلفة °C (300 ,325 ,350) وذلك باعتماد طريقة الرش الكيميائي . تمت دراسة الخواص التركيبية والكهربائية فضلا عن دراسة التركيب المورفولوجي والخواص البصرية للاغشية المحضرة ، وأظهرت نتائج الفحوصات التركيبية باعتماد تقنية الحيود بالاشعة السينية أن الاغشية المحضرة كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع السداسي .

كذلك أظهرت نتائج فحوصات المجهر الماسح الالكتروني ( SEM ) بان حبيبات الغشاء المحضر كانت ذات توزيع منتظم ومتجانس وذات شكل كروي ، أما نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية (AFM) فقد أوضحت بان الحجم الحبيبي الناتج للأغشية المحضرة بدرجة حرارة اساس (300°C) كان دون (100 nm) وبمعدل خشونة مقداره (0.48 nm) ، وفيما يتعلق بنسب تركيز العناصر في المركب فقد أظهرت نتائج قياسات مجهر تفريق الطاقة (EDS) بأن المركب وهو بهيأة غشاء رقيق كان أقرب الى حالة (Stoichiometric compound) عند الترسيب بدرجة حرارة اساس (300°C) كذلك بينت نتائج الفحوصات البصرية بأن الاغشية الناتجة كانت ذات فجوة طاقة مباشرة وأن قيمتها تراوحت بين (1.74 - 1.87) eV اعتمادا بذلك على درجة حرارة الترسيب ، أما نتائج القياسات الكهربائية فقد أظهرت بان الاغشية الناتجة كانت ذات توصيلية كهربائية من النوع السالب (n-type) مع تناقص في قيمة المقاومة الكهربائية من (2.32MΩ) ولغاية (0.36MΩ) بنقصان درجة حرارة الترسيب من (350°C) ولغاية (300°C) .

❖ قام كل من [Al – Ani ,et al ,2011] [33] بدراسة تأثير الاشابة بالنحاس على الخواص الكشفية لأغشية (CdSe) المحضرة بسلك (1μm) ، كذلك تمت دراسة أثر التشويب بالنحاس على الخواص التركيبية للأغشية المحضرة وذلك باعتماد طريقة الانتشار الحراري وبنسب تشويب تراوح مقدارها % (1-5) ، وأظهرت النتائج زيادة الاستجابية الكشفية بعملية التشويب ، اما نتائج الفحوصات التركيبية فقد أظهرت زيادة درجة تبلور الغشاء الرقيق بزيادة نسب التشويب فضلا عن الزيادة الحاصلة في الحجم الحبيبي الناتج .

❖ رسب كل من [Karan ,et al ,2011] [34] أغشية سيلينايد الكاديوم الرقيقة على زجاج التوصيل الفائق (ITO) باعتماد تقنية الترسيب الكهربائي على القطب السالب . أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية باعتماد تقنية الحيود بالأشعة السينية أن الاغشية المحضرة كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع السداسي مع هيمنة تبلور الغشاء بالاتجاه السائد (002) ، كذلك أظهرت نتائج فحوصات المجهر الماسح الالكتروني تزايدا واضحا في الحجم الحبيبي الناتج يقابل ذلك تناقصا في كل من كثافة الانخلاعات والإجهاد المايكروي بزيادة جهد الترسيب ، أما نتائج الفحوصات البصرية فقد أظهرت بأن فجوة الطاقة للأغشية المحضرة كانت من النوع المباشر وأن قيمتها كانت مساوية الى (1.73eV) مع تزايد هذه القيمة بعملية التلدين لتصبح مساوية الى (1.78eV) ، أما كفاءة التحويل للخلايا الشمسية المصنعة قبل التلدين وبعده فقد كانت مساوية الى (0.3%) و (1.3%) على التوالي .

❖ حضر كل من [Pawar ,et al ,2012] [35] أغشية سيلينايد الكاديوم على قواعد من الزجاج وذلك باعتماد طريقة الترسيب بالحمام الكيميائي وبزمن ترسيب مختلف ، ومن ثم تمت دراسة أثر الاشابة بعنصر النيكل (Ni) وبنسب تشويب مقدارها % ( 0.5, 1, 1.5 ) على الخواص البصرية والتركيب المايكرو لسطح الغشاء المحضر . أظهرت نتائج الدراسة زيادة سمك الغشاء المحضر بزيادة زمن الترسيب حيث بلغ السمك المحضر  $(1.55 - 1.7) \mu m$  بأزمان ترسيب تراوحت بين (18 - 16) ساعة . أما نتائج فحوصات المجهر الماسح الالكتروني (SEM) فقد أظهرت تغيراً واضحاً جداً في كل من الحجم الحبيبي ودرجة تجانس السطح بزيادة كل من سمك الغشاء المحضر ونسبة الشوائب المضافة ، حيث تمت ملاحظة أن الحبيبات الناتجة كانت ذات شكل كروي متجانس وبحجم حبيبي متزايد بزيادة كل من السمك ونسبة الشائبة المضافة ، كذلك تم فحص العينات المحضرة بمطياف تشتت الطاقة (EDS) لبيان نسب تركيز العناصر في الغشاء المحضر ، وأظهرت النتائج أن المركب وهو بهيأة غشاء كان أقرب الى ما يسمى بـ ( Stoichiometric compound ) ، أما نتائج الفحوصات البصرية والناتجة من قياس طيف النفاذية فقد أظهرت أن الاغشية المحضرة النقية كانت ذات فجوة طاقة بصرية بحدود (1.77eV) مع زيادة واضحة تظهر في قيمة فجوة الطاقة بعملية التشويب وزيادة نسبة الشائبة المضافة لتتجه بذلك حافة الامتصاص الأساسية نحو الاطوال الموجية القصيرة بعملية التشويب، أما قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المشوبة بالنسب ( 0.5 % ) و (1%) و (1.5%) فكانت مساوية الى (1.88eV) و (2.07eV) و (2.21eV) على التوالي .

❖ حضر كل من [Syed ,et al ,2013] [36] أغشية رقيقة من المركب الثنائي ( CdSe ) على قواعد من الزجاج وبسمك (200 nm) بطريقة التبخير الحراري في الفراغ ، ومن ثم دراسة اثر التشويب بالانتيمون وبنسب مختلفة % ( 0.5, 1, 2.5 ) على بعض الخصائص الفيزيائية للأغشية المحضرة أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية بأن الاغشية المحضرة بنوعها النقي والمشوب كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع السداسي مع هيمنة النمو بالاتجاه المميز (002) ، ومن ثم زيادة التبلور بهذا الاتجاه بزيادة نسب التشويب يقابل ذلك انحراف في قيم زوايا براك نحو الزوايا الصغيرة ، كذلك وجد من نتائج الفحوصات التركيبية نقصان في قيمة الحجم البلوري بزيادة نسبة التشويب ، أما نتائج الفحوصات البصرية فقد أظهرت بان قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية النقية كانت مساوية الى (1.74eV) مع انحراف حافة الامتصاص الاساسية نحو الاطوال الموجية الطويلة بعملية التشويب وفيما يتعلق بنتائج الفحوصات الكهربائية فقد أظهرت زيادة في قيم التوصيلية الكهربائية بعملية التشويب نتيجة للزيادة الحاصلة في تركيز حاملات الشحنة .

❖ حضر كل من [Hankare ,et al ,2014] [37] أغشية سيلينايد الكادميوم الرقيقة على قواعد من الزجاج وأخرى من السليكون وذلك باعتماد طريقة الترسيب بالحمام الكيميائي ، وبزمن ترسيب مختلف (1,2,3,4,5) hour ومن ثم تمت دراسة الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية للأغشية المحضرة . أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية ظهور عدة قمم مميزة للأغشية المحضرة مما يشير الى كونها ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع السداسي مع هيمنة النمو بعدة اتجاهات بلورية كان المميز والسائد منها في الاتجاه (100) ومن ثم في الاتجاهين (102) و(103) على التوالي ، كذلك أظهرت نتائج فحوصات المجهر الماسح الالكتروني بأن الاغشية المحضرة كانت ذات تجانس منتظم وذات حبيبات صغيرة الحجم كروية الشكل موزعة بكثافة عالية على مساحة العينة المفحوصة ، أما نتائج الفحوصات البصرية فقد أظهرت بأن الاغشية المحضرة كانت ذات فجوة طاقة مباشرة وذات معامل امتصاص أكبر من  $(10^4 \text{ cm}^{-1})$  وان قيمة فجوة الطاقة لها كانت مساوية الى  $(1.70\text{eV})$  أما بالنسبة الى القياسات الكهربائية فقد أظهرت النتائج بأن الاغشية المحضرة كانت ذات مقاومة نوعية عالية نسبيا بحدود  $(10^7 \Omega.\text{cm})$  مع تناقص واضح يظهر في هذه القيمة بزيادة زمن الترسيب ، ومن رسم منحنى التوصيلية الكهربائية المستمرة للأغشية المحضرة وجد أن طاقة التنشيط لها كانت مساوية الى  $(0.447 \text{ eV})$  عند درجات الحرارة العالية والى  $(0.034 \text{ eV})$  عند درجات الحرارة الواطئة . كذلك تضمنت الدراسة ايضا قياس كل من فولتية الدائرة المفتوحة  $(V_{oc})$  وتيار الدائرة القصيرة  $(I_{sc})$  فضلا عن قياس عامل الملاء  $(F.F)$  وكفاءة التحويل  $(\eta\%)$  للخلايا الشمسية المصنعة وكانت النتائج مساوية الى  $(267 \text{ mV})$  ،  $(175 \text{ mA})$  ،  $(28.67\%)$  ،  $(1.01\%)$  على التوالي .

❖ قام كل من [Delekar ,et al ,2014] [38] بتصنيع مفرق هجين من أغشية سيلينايد الكادميوم الرقيقة على قواعد من السليكون وبسمك  $(840 \text{ nm})$  فضلاً عن تحضير أغشية رقيقة منها على قواعد من الزجاج وذلك باعتماد طريقة التبخير بالحمام الكيميائي ، ومن ثم أجريت الفحوصات التركيبية والبصرية والكهربائية للنماذج المحضرة كافة . أظهرت نتائج فحوصات المجهر الماسح الالكتروني (SEM) بأن الاغشية المحضرة كانت مؤلفة من حبيبات كروية صغيرة ومنتظمة الشكل وذات توزيع متجانس (uniform spherical shape) ، أما نتائج الفحوصات التركيبية فقد أظهرت بان الاغشية المحضرة كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور (poly crystalline) ومن النوع المكعب (cubic) .

كذلك بينت نتائج قياسات طيف النفاذية بأن الاغشية المرسبة كانت ذات فجوة طاقة مباشرة قيمتها (1.99 eV)، أما نتائج القياسات الكهربائية فقد أظهرت بان الاغشية المحضرة كانت ذات توصيلية كهربائية من النوع السالب (n-type semiconductor) وذات طاقة تنشيط مساوية الى (0.445 eV) أما فيما يتعلق بعامل الملء والكفاءة التحويلية للنبیطة المصنعة كخلية شمسية فقد وجد أنها كانت مساوية الى (20.97%) و (0.7%) على التوالي .

❖ درس كل من [Chander, et al, 2015] [39] تأثير تغير السمك على الخواص التركيبية والبصرية لأغشية (CdSe) وذلك باعتماد تقنية التبخير الحراري في الفراغ ، حيث تم ترسيب الاغشية على قواعد من الزجاج العادي وقواعد أخرى من زجاج التوصيل الفائق (ITO) وبسمك مختلف (445, 631, 810) nm على التوالي . أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية بأن الاغشية المحضرة كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع المكعب (cubic) مع هيمنة النمو بالاتجاه السائد [111] وبشدة انعكاس متزايدة بزيادة السمك مما يدل على زيادة درجة التبلور بزيادة السمك ، كذلك أظهرت النتائج التركيبية بان الحجم الحبيبي الناتج للأغشية المحضرة كان ضمن المدى (23.90 – 34.03) nm ، أما نتائج الفحوصات البصرية فقد أظهرت بان الاغشية المحضرة كانت ذات فجوة طاقة مباشرة وأن قيمتها كانت ضمن المدى (1.75 – 1.92) eV .

❖ درس كل من [Rao, et al, 2015] [40] تأثير الاشابة بعنصر الحديد (Fe) وبالنسب % (5, 10) على الخواص التركيبية والبصرية لأغشية (CdSe) النقية ، وذلك باعتماد طريقة التبخير بالحمام الكيميائي ، أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية بان الاغشية المحضرة بنوعها النقي والمشوب كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع السداسي مع تناقص مستمر في الحجم البلوري بزيادة نسبة التشويب مسجلا قيمة مقدارها (18) nm للحالة النقية ، وأقل من ذلك (16) nm عند نسبة التشويب % (5) ليستمر التناقص لغاية القيمة (12) nm عند نسبة التشويب % (10) ، ذلك بسبب احتلال ذرات شائبة الحديد مواقع استبدالية في شبكة البلورة ، كذلك أظهرت نتائج الفحص بالمجهر الماسح الالكتروني (SEM) احتواء العينات المشوبة على حبيبات كبيرة الحجم نوعا ما والتي كان لها الاثر في زيادة خشونة السطح ، أما نتائج الفحوصات البصرية فقد أظهرت نقصاناً في قيمة فجوة الطاقة البصرية بعملية التشويب من القيمة (2.20) eV للحالة النقية ولغاية القيمة (1.88) eV للأغشية المشوبة بنسبة % (10) ، إذ تم تفسير ذلك باعتماد ما يسمى بـ (Quantum size effect) .

❖ قام الباحث [Kariper, 2016] [41] بتحضير أغشية سيلينايد الكاديوم الرقيقة على قواعد من الزجاج بدرجة حرارة ترسيب ( $50^{\circ}\text{C}$ ) وبقيم مختلفة لعامل (PH) بلغت (7-10) ، وذلك باعتماد طريقة التبخير بالحمام الكيميائي ، أجريت الفحوصات التركيبية والبصرية على الاغشية المحضرة كافة . أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية ظهور أغشية المادة بطوريها المميزين وهما المكعب والسداسي اعتمادا بذلك على قيمة عامل (PH) ، كذلك أظهرت نتائج الدراسة ايضا الحصول على أفضل درجة تبلور عند الترسيب بقيمة عامل (PH) مساوٍ الى (8) ، ذلك أنه تم الحصول في هذه القيمة من عامل (PH) على غشاء ذي حجم حبيبي بأكبر قيمة له وأقل قيمة ناتجة لكثافة الانخلاعات المتكونة فيه . أظهرت نتائج القياسات البصرية اختلافاً في قيمة فجوة الطاقة المحسوبة للأغشية المحضرة باختلاف قيمة عامل (PH) ، حيث تراوحت قيمة فجوة الطاقة البصرية لها ضمن المدى (1.76- 2.09) eV أما فيما يتعلق بقياس سمك الاغشية المحضرة ، فقد تم قياس سمكها وذلك باستخدام مجهر القوة الذرية وأظهرت النتائج اختلاف سمك الغشاء المحضر بتغير قيمة عامل (PH) حيث تم الحصول على أغشية المادة بأكبر سمك لها عند أعلى قيمة مأخوذة لعامل (PH) .

❖ حضر كل من [Khudiar ,et al ,2016] [42] سبيكة المركب الثنائي (CdSe) بطريقة إخماد المنصهر (التبريد السريع) ومن ثم ترسيب أغشية سيلينايد الكاديوم الرقيقة على قواعد من الزجاج بدرجة حرارة الغرفة وبسمك مختلف (350 ,450 ,500 ,600) nm وذلك باستعمال تقنية التريذ بالحرمة الالكترونية ، ومن خلال الاستعانة بتقنيات الفحص المتوفرة تمت دراسة تأثير تغير السمك على الخواص التركيبية والبصرية للأغشية المحضرة . أظهرت نتائج الفحص بتقنية حيود الاشعة السينية أن الاغشية المحضرة الناتجة كانت ذات تركيب بلوري من النوع السداسي مع ظهور ثلاث قمم بالاتجاهات (100) و (102) و (200) كان المميز والسائد منها في الاتجاه (102) وبشدة متزايدة بزيادة السمك مما يشير الى تحسن بلورة الغشاء المحضر بتغير السمك ، ومن نتائج الفحوصات التركيبية تم حساب الحجم البلوري الناتج للأغشية المحضرة وذلك باعتماد معادلة شرر ، وأظهرت النتائج زيادة الحجم البلوري بزيادة السمك مسجلا قيما تراوحت بين (10.34 -17.1) nm بزيادة السمك ، اما فيما يتعلق بفحوصات مجهر القوة الذرية فقد أظهرت النتائج زيادة واضحة في قيم خشونة السطح المسجلة بزيادة السمك مع تزايد مستمر في معدل الحجم الحبيبي الناتج مسجلا قيما تراوحت بين (65.88 – 93.4) nm بزيادة السمك أيضا ، اما بالنسبة الى الفحوصات البصرية المنجزة باعتماد طيف النفاذية فقد أظهرت نتائجها انحرافاً في حافة الامتصاص الاساسية نحو الاطوال الموجية

الطويلة ، وذلك بسبب النقصان الحاصل في قيمة فجوة الطاقة البصرية بزيادة السمك لتبلغ قيمة مقدارها (1.80 eV) و (2.21eV) عند أعلى سمك (600 nm) وأقل سمك (350 nm) على التوالي .

❖ استخدم كل من [Yang ,et al, 2016] [43] تقنية ليزر النبضة في تحضير اغشية سيلينايد الكاديوم الرقيقة على قواعد من زجاج التوصيل الفائق (FTO) بدرجات حرارة ترسيب مختلفة  $(150, 250, 350) ^\circ\text{C}$  وبسمك (100 nm) ومن ثم دراسة بعض الخواص التركيبية والبصرية للأغشية المحضرة . أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية أن الاغشية المحضرة كانت ذات تركيب بلوري من النوع المكعب (cubic) وبنمو ذري بثلاثة اتجاهات بلورية (111) و(220) و(311) كان المميز والسائد منها في الاتجاه (111) مع زيادة واضحة جدا في شدة هذا الاتجاه بزيادة درجة حرارة الترسيب مما يشير الى زيادة درجة التبلور بزيادة درجة حرارة الترسيب ، كما بينت نتائج قياسات طيف النفاذية زيادة في قيمة فجوة الطاقة البصرية بزيادة درجة حرارة الترسيب لتبلغ أعلى قيمة لها (2.01eV) عند درجة حرارة ترسيب  $350^\circ\text{C}$  وأقل قيمة لها (1.94 eV) عند درجة حرارة ترسيب  $150^\circ\text{C}$  لتتحرف بذلك حافة الامتصاص الاساسية مقتربة من الاطوال الموجية القصيرة ، كذلك تضمنت الدراسة ايجاد كفاءة التحويل للمفرق الهجين (CdSe / CdTe) المحضر باعتماد التقنية ذاتها وأظهرت الدراسة امكانية الحصول على كفاءة تحويل تقارب (10%) عند استخدام تقنية الترسيب بليزر النبضة في تصنيع المفارق الهجينة التي تحتوي على مادة (CdSe) كجزء من مكوناتها .

❖ قام كل من [Kumar ,et al, 2016] [44] بترسيب أغشية سيلينايد الكاديوم الرقيقة على أرضيات من الزجاج وبظروف تحضير مختلفة من زمن ترسيب ودرجة حرارة وذلك باعتماد طريقة التبخير بالحمام الكيميائي مع تلدين بعض النماذج المحضرة بدرجات حرارة مختلفة  $(150, 200)^\circ\text{C}$  ولمدة (90) دقيقة ، وتم قياس الضيائية الضوئية (PL) فضلا عن دراسة الخواص الكهربائية للنماذج المحضرة بنوعها الملدن وغير الملدن . أظهرت نتائج قياسات الضيائية الضوئية بأن الاغشية المحضرة كانت تمتلك أعظم قمة للانبعاث الفوتوني عند الطول الموجي (520nm) مع زيادة عالية تظهر في شدة هذه القمة بعملية التلدين ، أما بالنسبة الى الخواص الكهربائية المدروسة فقد بينت نتائج قياسات تأثير هول بأن الاغشية المحضرة كانت ذات توصيلية كهربائية من النوع السالب (n-type) مع نقصان في قيمة المقاومة الكهربائية بعملية التلدين .



❖ درس كل من [Killedar ,et al ,2017] [45] أثر الاشابة بعنصر الانديوم وبنسبة تشويب مقدارها (0.15%) على الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية لأغشية سيلينايد الكادميوم الرقيقة والمحضرة على قواعد من الفولاذ المقاوم للصدأ وأخرى من الزجاج وذلك باعتماد طريقة الترسيب بالتحلل الكهربائي الكيميائي . أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية بأن الأغشية المحضرة كافة بنوعيتها النقي والمشوب كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع المكعب مع زيادة درجة التبلور بعملية التشويب ، أما بالنسبة الى نتائج القياسات البصرية فقد أظهرت بأن الاشابة بعنصر الانديوم قد عملت على تقليل قيمة فجوة الطاقة البصرية لتصبح بعد التشويب مساوية الى (1.67eV) بعد أن كانت مساوية الى (2.02eV) قبل التشويب ، وفيما يتعلق بالقياسات الكهربائية فقد أظهرت نتائج قياسات هول بأن الاغشية المحضرة بنوعيتها النقي والمشوب كانت ذات توصيلية كهربائية من النوع السالب (n-type) ، كذلك تضمنت الدراسة ايجاد معلمات الخلايا الشمسية للاغشية المحضرة والمقارنة بين نوعيتها النقي والمشوب وأظهرت النتائج بأن شوائب الانديوم المضافة قد عملت على تحسين مخرجات الخلايا الشمسية المصنعة من كفاءة تحويل وعامل ملء لتصبح قيمتها بعد التشويب مساوية الى (2.01%) و (0.63%) مقارنة بقيمتها قبل التشويب والمساوية الى (0.8%) و (0.56%) على التوالي .

❖ استخدم كل من [Bangera ,et al ,2017] [46] طريقة التبخير الحراري في الفراغ في تحضير أغشية المركب الثنائي (CdSe) على قواعد من الزجاج وبسمك (500 nm) ومن ثم دراسة تأثير الاشابة بعنصر البزموت وبنسب تشويب مختلفة % (1,2,3) على بعض الخصائص الفيزيائية للأغشية المحضرة . أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية بأن الاغشية المحضرة كافة بنوعيتها النقي والمشوب كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع السداسي مع ظهور عدة قمم كان المميز والسائد منها في الاتجاه (002) لتزداد بعد ذلك شدة هذه القمة متجهة نحو قيم أصغر لزوايا براك بعملية التشويب لاسيما عند نسب التشويب الكبرى ، كذلك أظهرت نتائج الفحوصات البصرية بأن الاغشية النقية كانت ذات فجوة طاقة مقدارها (1.67eV) مع ثبات هذه القيمة ولنسب التشويب المأخوذة كافة ، أما نتائج القياسات الكهربائية فقد أظهرت نقصان قيم كل من المقاومة وطاقة التنشيط مع زيادة تركيز حاملات الشحنة بعملية التشويب .

**CdSe Films Applications****(4-1) تطبيقات أغشية سيلينايد الكاديوم**

نظرا لامتلاك المركب الثنائي سيلينايد الكاديوم خصائص الكترولوبصرية مميزة ، منها القيمة العالية لمعامل الامتصاص وغيرها من الخصائص المذكورة آنفاً ، جعلته مناسباً في العديد من التطبيقات ذات الكلفة الاقتصادية المقبولة ، حيث تستخدم أغشيته في صناعة [47-50] :-

High efficiency solar cells	❖ الخلايا الشمسية ذات الكفاءة العالية .
light emitting diodes	❖ الدايدودات الباعثة للضوء .
Photo conductors	❖ الموصلات الضوئية .
Thin films transistors	❖ ترانزستورات الاغشية الرقيقة .
Gamma –ray detectors	❖ كواشف أشعة كاما .
Photo defectors	❖ الكواشف الضوئية .
Gases sensors	❖ متحسسات الغازات .
Laser devices	❖ أجهزة الليزر .

**Aim of Research****(5-1) هدف الدراسة**

1. تحضير سبيكة المركب الثنائي سيلينايد الكاديوم (CdSe) من عناصرها الاولية بنسبة مقدارها (50%) لكل عنصر وحسب الاوزان الذرية .
2. تحضير أغشية رقيقة من المادة بسمك مختلف ( 300 , 500 , 700 , 900 ) nm على قواعد من الزجاج وأخرى من السليكون عند درجة حرارة الغرفة بطريقة التبخير الحراري في الفراغ .
3. تشويب أغشية (CdSe) بمعدن القصدير وبنسب تشويب مختلفة للحصول على افضل مفرق هجين .
4. دراسة تأثير تغير السمك ونسبة الشائبة المضافة على الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية لاغشية (CdSe) المرسبة على القواعد الزجاجية .
5. دراسة تأثير تغير السمك ونسبة الشائبة المضافة على خصائص المفارق الهجينة المصنعة من أغشية المادة وتحديد القيمة المثلى للسمك ونسبة الشائبة المضافة في الحصول على افضل مفرق يعمل بمواصفات وخصائص عالية .

# الفصل الثاني

الجانب النظري

**introduction****(1-2) المقدمة**

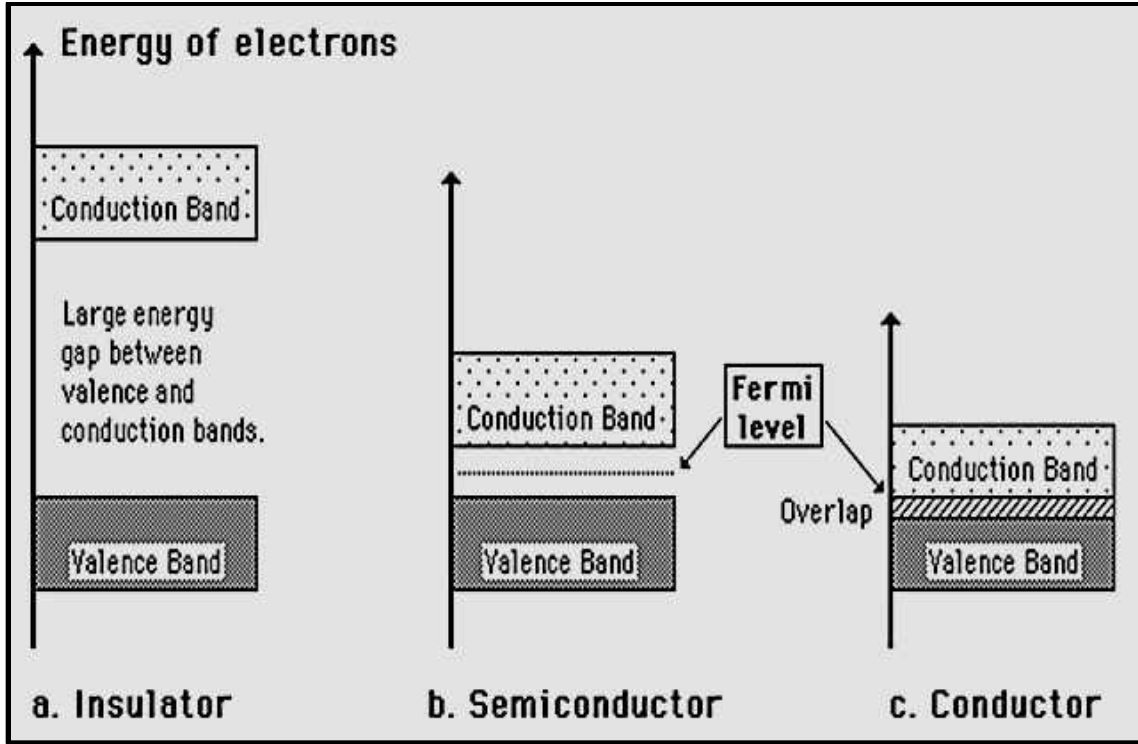
يستعرض هذا الفصل كل ماله علاقة بموضوع البحث كالمفاهيم والنظريات الفيزيائية والايضاحات العلمية فضلا عن ذكر القوانين والعلاقات الرياضية المتعلقة بالخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية والتي اعتمدت في تفسير النتائج المستحصلة من الدراسة الحالية .

**Semiconductor materials****(2-2) المواد شبه الموصلة**

تصنف المواد الصلبة في الطبيعة بشكل عام من حيث توصيليتها الكهربائية الى ثلاثة أصناف وهي المواد الموصلة والمواد شبه الموصلة والمواد العازلة . تمتاز المواد الموصلة بكونها تمتلك مقاومة ذات معامل حراري موجب بمعنى أن توصيليتها الكهربائية تقل بزيادة درجة الحرارة ، ذلك أن حزم الطاقة فيها تكون متداخلة مع انعدام فجوة الطاقة المحظورة فيها ، فهي تمتلك توصيلية كهربائية عالية جدا بحدود  $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1} (10^3 - 10^8)$  ، أما المواد العازلة فهي ذات توصيلية كهربائية واطئة جدا بسبب كبر قيمة فجوة الطاقة لها ما بين حزمي التكافؤ والتوصيل ، ولذا فأن هذه المواد غالبا ما تتعرض الى الانهيار او التلف عند تعريضها لمؤثر خارجي (كالتسخين مثلا) بهدف تحسين خواصها الكهربائية فهي ذات توصيلية كهربائية بحدود  $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1} (10^{-18} - 10^{-8})$  .

أما اشباه الموصلات فتمتاز بأنها مواد ذات سلوك مزدوج ما بين الموصلات والعوازل من حيث خاصية التوصيل الكهربائي فيها ، لذا فهي تعد مواد عازلة عند درجات الحرارة الواطئة جدا بمقاومة كهربائية ذات قيمة كبيرة سرعان ما تتناقص هذه القيمة بارتفاع درجة الحرارة لتمتلك بذلك أشباه الموصلات مقاومة كهربائية ذات معامل حراري سالب ، ومشابهة بهذا السلوك (سلوك التوصيل) سلوك المواد الموصلة [51] .

وبناءً على ما تم ذكره ، ولأن التوصيلية الكهربائية لأشباه الموصلات تكون ذات تأثير شديد ببعض العوامل التي من شأنها تحسين الخواص الكهربائية لهذه المواد (كالتشويب مثلاً) ، الأمر الذي جعل من اشباه الموصلات مواد بالغة الأهمية في التطبيقات العلمية والصناعات الالكترونية الحديثة [52] ، ويوضح الشكل (1-1) مخطط حزم الطاقة للمواد الصلبة بأنواعها الثلاثة الموصلة وشبه الموصلة والعازلة [5] .



الشكل (1-2) مخطط حزم الطاقة في المواد الصلبة [5]

(a) : العازل ، (b) : شبه الموصل ، (c) : الموصل

### (3-2) عناصر ومركبات اشباه الموصلات

#### Element and compounds of a semiconductors

يمكن تقسيم المواد الشبه الموصله من حيث نوع وعدد العناصر الداخلة في تركيبها البلوري الى :-  
 1- عناصر أشباه الموصلات : وفي هذا النوع من اشباه الموصلات ترتبط ذرات العنصر الواحد مع بعضها البعض بأربع أو اصر مشبعة تساهمية ، متماثلة وذات تناسق ( تكافؤ) رباعي (For fold Coordination) وبأقل مرونة ممكنة مكتسبا بذلك تركيبها البلوري قوامه الصلب ، ومن اهمها عنصر الجرمانيوم ( Ge ) والسليكون ( Si ) [51,52] .

#### Semiconductor compound

#### 2- مركبات اشباه الموصلات

تتكون هذه المركبات من اتحاد عنصر من عناصر مجموعة معينة مع عنصر او اكثر من عناصر مجموعة أخرى من الجدول الدوري وبناء على ذلك تنوعت مركبات أشباه الموصلات لتشمل :-

I . مجموعة الاكاسيد الموصلة الشفافة : Transparent conducting oxides  
وهي نوع من اشباه الموصلات يمتاز تركيبها البلوري باحتوائه على عنصر الاوكسجين كمكون اساسي فيها وكعامل مساعد في تكوين الاواصر الايونية بين ذراتها ، تمتاز بكونها شفافة للأشعة المرئية وتحت الحمراء القريبة ومن اشهرها (CdO) و (ZnO) [53,54] .

II . مركبات عناصر المجموعة الثلاثية - الخماسية (III – V) من الجدول الدوري  
ومن امثلتها المركبات (InAs) و (GaSb) ، أما اشهرها فهو مركب الكاليوم أرسنايد (GaAs)  
المستعمل في تطبيقات متعددة كالثنائي الباعث للضوء ( Light Emitting diode ) [5] .

III . مركبات الجالكوجينات Chalcogenide compound  
نوع من اشباه الموصلات تتكون من اتحاد عنصر من مجموعة معينة مع أحد عناصر المجموعة السادسة من الجدول الدوري والتي هي ( Se ,Te , S ) عدا عنصر الاوكسجين ومن الامثلة على ذلك المركب قيد الدراسة الحالية ( CdSe ) والذي ينتمي الى مركبات مجموعة العناصر الثنائية – السادسة (II-VI) من الجدول الدوري والتي تنتمي بدورها الى مركبات الجالكوجينات ، فضلا عن مركبات عناصر المجموعة الثلاثية – السادسة (III-VI) وعناصر المجموعة الرباعية- السادسة (IV- VI) من الجدول الدوري وكذلك مركبات عناصر المجموعة الخماسية - السادسة (V- VI) من الجدول الدوري ايضاً [53,54] .

تمتاز مركبات الجالكوجينات بصورة عامة بكونها شفافة للأشعة المرئية وتحت الحمراء القريبة اعتمادا بذلك على قيمة فجوة الطاقة لها ، اما من حيث التكافؤ الأيوني بين ذرات عناصرها فيمكن تقسيمها على هذا الاساس الى قسمين هما [53,54] :-

A- المركبات المتكافئة كيميائياً Stoichiometric compound  
أن معظم الانظمة الثنائية للجالكوجينات تكون متكافئة كيميائياً ، بمعنى انها تمتلك تكافؤاً كيميائياً بين ذراتها الايونية الموجبة والسالبة مثال ذلك المركبات (CdTe) و (CdSe) و (ZnSe) وغيرها .

B- المركبات غير المتكافئة كيميائياً Non Stoichiometric compound  
ويظهر ذلك في الانظمة الثلاثية او الرباعية المتكونة من أكثر من عنصر واحد إضافة الى عنصر الجالكوجين ، والمسماة بـ (الجالكوبرايت ) والتي تكون عناصرها ذات نسب وزنية متباينة .

حيث تكون غير متكافئة كيميائياً بمعنى انها لاتمتلك تكافؤاً كيميائياً بين ذراتها الايونية الموجبة والسالبة ومن أمثلتها المركب (  $As_{30} Te_{48} Si_{12} C_{10}$  ) والمركب ( CIGS ) ذو الصيغة (  $CuIn_{1-x} Ga_x Se_2$  ) وكذلك المركب ( AAS ) ذو الصيغة (  $AgAlSe_2$  ) [55,56] .

إن لمركبات أشباه الموصلات أهمية كبيرة جداً ، إذ تعد واحدة من المواد المهمة والمفيدة جداً في مجالات صناعية مختلفة ولاسيما في الصناعات الالكترونية الحديثة ذلك أن أغشيتها الرقيقة تستخدم في الكثير من التطبيقات العملية والتكنولوجية كصناعة كواشف الاشعة (Wave detectors) وكذلك في صناعة المتحسسات الغازية (Gas sensors) والخلايا الشمسية (Solar Cells) ، فضلا عن استخدامها (ولاسيما الجالكوجينات منها ) في صناعة المفاتيح الالكترونية (Electronic Swathing) وأجهزة الذاكرة وخرن البيانات (Electronic and Optical Memory Application) وفي صناعة النوافذ الشفافة للاشعة تحت الحمراء (Windows Infrared Transmittance) ، حيث تمتاز هذه المركبات بمدى واسع من الصفات الفيزيائية كالخصائص الكهربائية والبصرية وفجوة الطاقة لها فضلا عن خصائص النبائط المصنعة منها والتي تميزها عن عناصر أشباه الموصلات [52,53,54] ، ويوضح الجدول (1-1) بعضاً من عناصر اشباه الموصلات ومركباتها .

الجدول (1-2) عناصر ومركبات أشباه الموصلات الثنائية والثلاثية والرابعة العنصر [57]

Element	IV-IV	III-V	II-VI	IV-VI	Ternary	Quaternary
			ZnO			
			CdO			
Si		AlAs	ZnS			
Ge		GaP	ZnSe			
C	SiC	AlSb	CdS			
Sn	GeSi	GaAs	ZnTe	PbS	$Al_x Ga_{1-x} As$	$Al_x Ga_{1-x} As_y Sb_{1-y}$
Pb		GaSb	<b>CdSe</b>	PbTe		
		InAs	HgS			
		InSb	CdTe			
			HgSe			
			HgTe			

## (4-2) طرائق تطعيم أشباه الموصلات Semiconductor Doping Methods

تتأثر خواص أغشية أشباه الموصلات الرقيقة بشدة عند إضافة (إدخال) بعض الشوائب إليها أو إحداث بعض العيوب فيها ، إذ إن مثل هذه الشوائب أو العيوب تعمل على زيادة توصيلية شبه الموصل والى ظهور نوع واحد من حاملات الشحنة وتضائل أو اختفاء النوع الآخر [51] ، ان مثل هذه التقنيات يكون مرغوبا فيها في معظم التطبيقات العملية ، وتتنوع طرائق إشابة أشباه الموصلات لتشمل ما يأتي :-

### 1. الإشابة بطريقة الخلط Doping By Mixture Method

تتم الإشابة في هذه الطريقة بخلط المادة المراد تشويبها مع نسبة وزنية معينة من مادة التشويب ، وذلك عندما تكون درجة حرارة الانصهار لهما متقاربة [58] ، أما إذا كان هنالك فارق بين درجتي حرارة الانصهار لكل من المادة الشائبة والمادة المشوبة فعندها يتم اللجوء إلى طريقة التشويب بالتبخير الثنائي (Co – Evaporation Method) .

### 2. الإشابة بطريقة (الإذابة بالمحلول) Doping By Solubility In Solution Method

في هذه الطريقة تكون كل من مادة الغشاء المُحضّر ومادة التشويب بهيأة محاليل ذوبانية يتم خلطها باعتماد نسب حجمية معينة لكل من محلول مادة الغشاء ومادة التشويب وذلك للسيطرة على كمية الشوائب المتكونة في الغشاء الناتج ، مع الأخذ بالحسبان الوزن الجزيئي لكل من مادة الغشاء ومادة التشويب [59] .

### 3. الإشابة بالانتشار الحراري Doping By Thermal Diffusion Method

تُعد عملية الانتشار الحراري واحدة من العمليات الرئيسة في السيطرة على كمية المواد المطعمة في أشباه الموصلات ، إذ تُعتمد هذه الطريقة لتطعيم أرضية شبه الموصل بصورة انتقائية للحصول على منطقة إما نوع (n- type) وإما نوع (p-type) .

أن آلية التطعيم بهذه الطريقة تتم عند درجات حرارة مرتفعة ، حيث توضع مادة التطعيم بالقرب من سطح شريحة شبه الموصل المراد تطعيمه ، ومن تبخير مادة التطعيم حراريا تنتشر ذراتها داخل شريحة شبه الموصل بواسطة الترسيب من الطور الغازي ، وكما في الشكل a (2-2) ، إذ يتناقص التركيز التطعيمي للمادة المطعمة تدريجياً من السطح ، أما شكل التوزيع لمادة التطعيم فيتحدد بصورة أساسية بعاملين أساسيين هما درجة حرارة التطعيم وزمن الانتشار [5] ، ولقد اعتمدت هذه الطريقة في عملية إشابة مادة الغشاء قيد الدراسة بواقع زمن انتشار مقداره ساعة وبدرجة حرارة مقدارها (200 °C) .

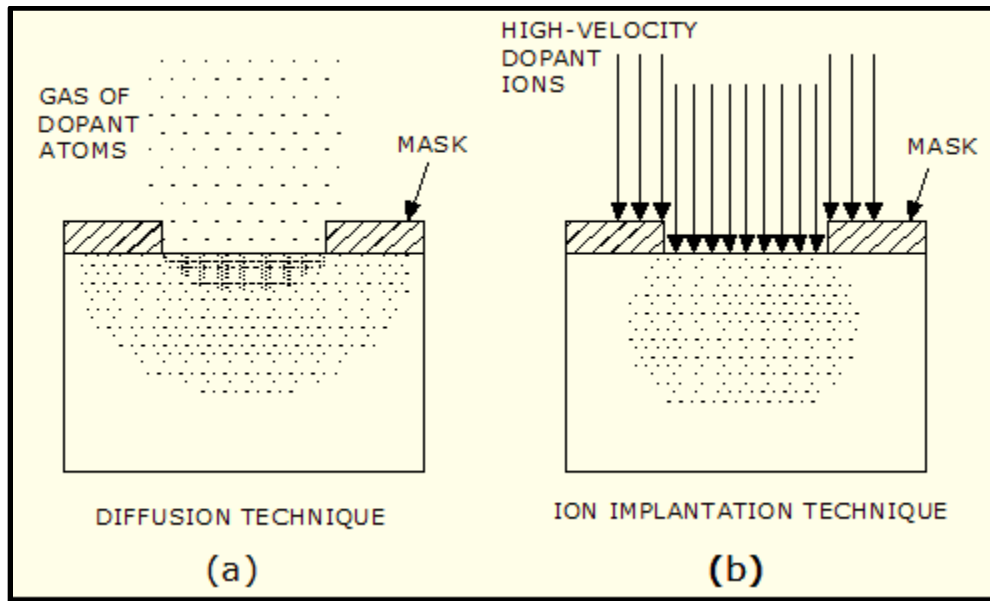


## Doping By Ion Implantation

## 4 . الإشابة بالزرع الأيوني

تتم في هذه الطريقة السيطرة على كمية المواد المطعمة في أشباه الموصلات بدقة أكبر مما هي عليه الحال بطريقة الإشابة بالانتشار الحراري ، فضلا عن أن هذه الطريقة توفر إمكانية التحكم في شكل توزيع الشوائب وإجراء المعالجة الحرارية عند درجات الحرارة الواطئة .

أما آلية التطعيم بهذه الطريقة فتتم بزرع ( Implanting ) أيونات المادة المطعمة بواسطة حزمة أيونات ذات طاقة عالية وفي جو مفرغ من الهواء ، إذ يكون لتركيز التطعيم بهذه الطريقة قيمة عظمى داخل شبه الموصل وكما في الشكل رقم b (2-2) ، أما شكل التوزيع لمادة التطعيم فيتحدد بصورة أساسية بعاملين هما كتلة الأيون المزروع وطاقة التعجيل [52] .



الشكل ( 2-2 ) تقنيات التشويب (a): تقنية الانتشار ، (b): تقنية الزرع الأيوني [52] .

## Doping By Co-evaporation

## 5 . الإشابة بالتبخير الثنائي

يتم في هذه الطريقة استعمال حويضين للتبخير ، إذ توضع مادة الغشاء الرقيق في أحدهما وتوضع مادة التشويب في الآخر ويتم التحكم بمقدار التيار المار في كل منهما بواسطة محولة للتيار المستمر لكل منها منهما حيث يتم تغيير مقدار الفولتية بصورة تدريجية إلى أن تتم عملية الترسيب لكل من مادة الغشاء ومادة التشويب [52] .

## 6 . الإشابة بالليزر

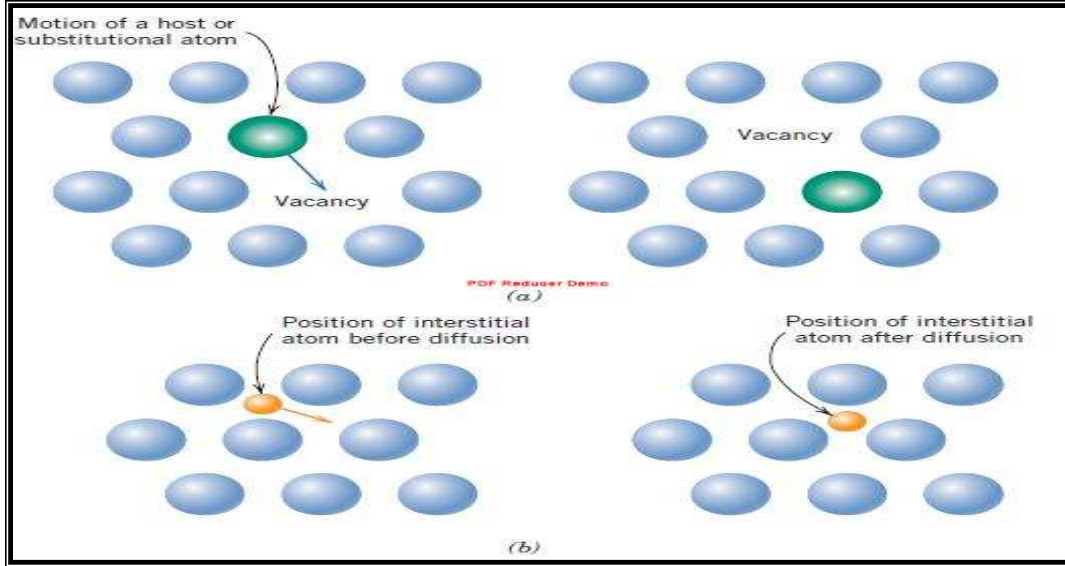
## Doping By Laser

يتم في هذه الطريقة إقحام ذرات المادة الشائبة في المادة شبه الموصلة وذلك بصهر المادة المراد تشويبها بواسطة حزمة من الليزر، ومن تواجد مادة الإشابة تنتشر ذراتها في المنطقة المنصهرة ولعمق معين يتحدد بعدة عوامل منها ، قدرة النبضة الليزرية المستعملة ، وطولها الموجي ، والأقطار الذرية لكل من ذرات المادة الشائبة والمادة المشوبة ، وطبيعة التركيب البلوري للمادة المشوبة ( من حيث نسبة الملاء أو الرص فيها ) [60].

## (5-2) معادلة الانتشار

## Diffusion Equation

في عملية التشويب بالانتشار الحراري ، تنتشر ذرات المادة الشائبة في المادة شبه الموصلة بإحدى آليتين ، إما بعملية ملء الفراغات الشبكية المتولدة في المادة ( Vacancies Filling ) ، وإما بعملية الإقحام الذري ( Interstitial Atoms ) ، وكما مبين ذلك في الشكل (2-3) ، حيث تمثل الدوائر ذات اللون الأزرق ذرات المادة المضيفة وهي شاغلة مواقع متزنة في شبكة البلورة في حين تمثل الدوائر ذات اللون المختلف ذرات المادة الشائبة ، فعند درجات الحرارة العالية تهتز ذرات الشبكة البلورية حول مواقع اتزانها بفعل الطاقة الحرارية التي اكتسبتها مؤهلة إياها لتترك موقعها في شبكة البلورة ولتصبح كذرة مقحمة نفسها في مواقع بينية بين ذرات الشبكة (Interstitial Atom) منتجة بذلك فراغاً شبيكياً سرعان ما يمتلئ بواسطة ذرة شائبة مجاورة وكما هو مبين بالشكل (a) (2-3) ، وعندئذٍ تدعى ميكانيكية الانتشار في هذه الحالة بالانتشار الفراغي (Vacancy Diffusion) ، أما إذا تحركت الشوائب بين ذرات شبكة المادة المشوبة ومن دون أن تشغل مواقع في نقاط شبكة البلورة ، الشكل (b) (2-3) ، فعندئذٍ تدعى ميكانيكية الانتشار في هذه الحالة بالانتشار المقحم أو الانتشار البيني (Interstitial Diffusion) وغالبا ما تكون حركة الذرة الشائبة حركة مقحمة إذا كانت أصغر بكثير من ذرات المادة المشوبة ، في حين أنها تكون تعويضية (أو استبدالية) في حال كونها أصغر بقليل من ذرات المادة المشوبة [51,61] .



الشكل (3-2) ميكانيكيات الانتشار (a): ميكانيكية الفراغ ، (b): ميكانيكية الإقحام [5] .

أما فيض الانتشار ( Diffusion Flux ) فيعرف بأنه : عدد ذرات المادة الشائبة المارة من خلال وحدة المساحة للمادة المشوبة وفي وحدة الزمن ، ويعطى بالمعادلة الآتية [61,62] :-

$$F = - D \frac{dc}{dx} \dots\dots\dots (1-2)$$

حيث تمثل (F): فيض الانتشار بوحدات  $\left(\frac{\text{atoms}}{\text{m}^2 \cdot \text{sec}}\right)$  .

(D): ثابت التناسب يدعى بـ (معامل الانتشار) بوحدات  $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{sec}}\right)$  ويعتمد على درجة الحرارة .

$\left(\frac{dc}{dx}\right)$ : تدرج تركيز ذرات المادة الشائبة كدالة لمسافة الانتشار بوحدات  $\left(\frac{\text{atom}/\text{m}^3}{\text{m}}\right)$  .

تدعى المعادلة أعلاه بقانون فيك الأول للانتشار (First Fick's Law) ، حيث يصف هذا القانون بشكل عام الانتشار الذي يحدث عند تواجد أو اتصال مادتين ذواتي تركيزين مختلفين مع بعضهما البعض حيث يتم انتقال الجزيئات (أو الذرات) من المناطق ذات التركيز العالي إلى المناطق ذات التركيز المنخفض أما الإشارة السالبة التي تظهر في المعادلة أعلاه فتعني أن اتجاه فيض انتشار الشوائب بعكس اتجاه تركيزها في المادة المشوبة .

أما معدل الانتشار ( Diffusion Rate ) وعلاقته بطاقة التنشيط فيعطى من قانون فيك الأول للانتشار وكما في المعادلة الآتية [61,62] :-

$$D = D_0 \exp \left[ \frac{-\epsilon_a}{k_B T} \right] \dots\dots\dots(2-2)$$

إذ إن ( D ) : المعدل الزمني للانتشار(معامل الانتشار)

(  $\epsilon_a$  ) : طاقة التنشيط للانتشار

( T ) : درجة الحرارة المطلقة

(  $D_0$  ) : ثابت الانتشار

(  $k_B$  ) : ثابت بولتزمان

وتتأثر عملية انتشار ذرات المادة الشائبة في المادة شبه الموصلة بعدة عوامل منها [5,62,63] :-  
أولاً: درجة حرارة الانتشار ، فكلما زادت درجة الحرارة ( ضمن حدود معينة ) زاد معدل الانتشار ( Diffusion Rate ) في المادة المشوبة تبعاً لذلك .

ثانياً : انحدار تركيز الشوائب في المادة المشوبة (  $\frac{dc}{dx}$  ) يمثل القوة الأساسية الدافعة لعملية الانتشار ، وبتأثير ذلك ستتحرك ذرات المادة الشائبة ( تنتشر ) من منطقة التركيز العالي باتجاه منطقة التركيز الواطئ .

ثالثاً : درجة تشوه المادة المشوبة أثناء عملية إنمائها البلوري من حيث احتوائها على العيوب البلورية ، إذ تعمل هذه العيوب بدورها ( ولا سيما الفراغات منها ) على زيادة معدل الانتشار .

رابعاً : التباين في انصاف الأقطار الذرية أو الايونية بين ذرات المادة الشائبة والمادة المشوبة يكون ذا تأثير في تحديد آلية الانتشار فيما إذا كانت عن طريق ملء الفراغات أو عن طريق الإقحام الذري .

## (6-2) حيود الاشعة السينية

## X- Ray Diffraction

تعد الاشعة السينية ( بطيفها الخطي الحاد ) إحدى اهم الطرائق شيوعاً في الكشف عن العناصر الداخلة في تركيب المواد المختلفة وتحليلها ، فضلاً عن دراسة تركيبها البلوري ، نظراً لما تمتلك هذه الاشعة من خواص فريدة وهامة منها عدم تأثرها بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية ذلك أنها ليست دقائق مشحونة إضافة الى كونها ذات أطوال موجية قصيرة جداً تتراوح بين  $1-100 \text{ \AA}$  ، أي انها ذات تقارب جيد والمسافات البينية الفاصلة بين المستويات الذرية في شبكة البلورة ( d ) بمعنى أنها تحقق شرط براك في الحيود  $(\lambda \leq 2 d_{hkl})$  مما يوفر امكانية استعمالها في تقنيات الحيود البلوري لمعرفة طبيعة التركيب البلوري للمواد المختلفة والأطوار البلورية التي يمكن ان تتواجد فيها ، فضلاً عما توفره هذه التقنية من معلومات ايضاً حول شكل خلية الوحدة ومواصفاتها وطبيعة التركيب البلوري للأغشية المحضرة من تلك المواد مع ثوابت الشبكة البلورية لها والاتجاه السائد فيها وعند ظروف تحضيرية معينة [64,65] .

افترض براك ان البلورة عبارة عن مجاميع كبيرة من سطوح (hkl) متوازية من الذرات تعيد نفسها بصورة دورية في فضاء ثلاثي الابعاد وأن ( d ) هي المساحة بين أي سطحين متعاقبين ، وبذلك كان تخيله للبلورة كما هو موضح في الشكل (2-4) ، إضافة الى ذلك افترض براك ايضاً أن حزمة الاشعة السينية المتوازية وعند ارتطامها بالبلورة ، ستحدث زاوية  $(\Theta)$  مع إحدى مجاميع السطوح المتوازية ( d<sub>hkl</sub> ) في البلورة ، وبناءً على ما افترضه براك ، ومن جراء ما سيحدث من عمليات التداخل البناء ( Construction Interference ) للاشعة المنعكسة عند زوايا معينة تدعى زوايا براك ( Bragg's Angles ) ستظهر عندئذ القمم المميزة لمادة الاغشية المحضرة ، بشرط ان تكون الاشعة المنعكسة عن مجموعة السطوح المتوازية ذات طور مماثل (أي ان فرق المسار البصري بين الشعاعين المنعكسين يساوي عدداً صحيحاً من الاطوال الموجية ) وذات مصدر أحادي الطول الموجي ( Monochromatic X-Ray ) [65] .

ومن معرفة الطول الموجي للأشعة السينية المستعملة (  $\lambda$  x-ray ) ومرتبة الحيود ( n ) وزاوية براك التي ظهرت عندها كل قمة ، يمكن الحصول على قيم فسخ السطوح ( d<sub>hkl</sub> ) للتوجهات الذرية المميزة لمادة الاغشية المحضرة من خلال الاستعانة بقانون براك والذي يعطي بالعلاقة الاتية [65] :-

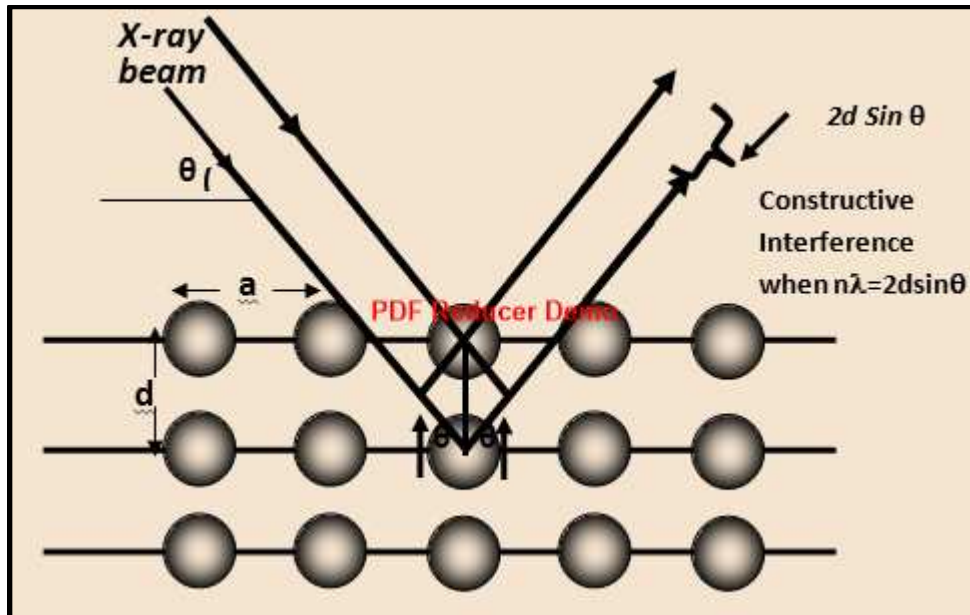
$$n \lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \dots\dots\dots (3-2)$$

اذ تمثل (n) : عددا صحيحا يمثل مرتبة التداخل

(λ) : الطول الموجي للأشعة السينية المستعملة (1.5406 Å)

(d<sub>hkl</sub>) : المسافة البينية لمجموعة السطوح (hkl)

ومما تجدر الاشارة اليه ، ان الطريقة التي اعتمدت في الفحص بتقنية حيود الاشعة السينية هي طريقة تدوير البلورة والتي فيها يسمح للبلورة بالدوران المستمر حول محور ثابت عمودي على اتجاه سقوط الاشعة السينية والتي تكون بدورها ذات طول موجي أحادي (Monochromatic) وبذلك تتغير زاوية براك بوصفها دالة للشدة المقاسة .



الشكل (4-2) الحيود البلوري وقانون براك [65]

### Crystal lattice parameters

### (7-2) ثوابت الشبكة البلورية

تتبلور أغشية سيلينايد الكاديوم عادة بنظامين (تركيبين بلوريين) ، أحدهما النظام المكعب ( ويمثل التركيب البلوري غير المستقر) ، أما الآخر فهو النظام السداسي (ويمثل التركيب البلوري المستقر للمركب) ولأجل إيجاد قيم ثوابت الشبكة البلورية ( a=b=c ) فيما إذا كانت الاغشية الناتجة ذات نظام بلوري مكعب فإنه يتم اعتماد الصيغة الآتية [65] :-

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \dots\dots\dots (4-2)$$

أما إذا كانت الاغشية الناتجة ذات نظام بلوري سداسي فإنه يتم اللجوء الى المعادلة الخاصة بهذا النظام لغرض إيجاد قيم ثوابت الشبكة الخاصة به (a,c) وذلك باعتماد الصيغة الآتية [65] :-

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2+hk+k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \dots\dots\dots (5-2)$$

ومن طيف حيود الشعاع السيني الناتج (XRD) ، ومن معرفة قيمة مساحة السطح ( d<sub>hkl</sub> ) ، وبالاستعانة ببيانات ( JCPDS ) الخاصة بالمركب لمقارنة زوايا الحيود البلوري ومعرفة معاملات ميلر له يمكن التعرف على نوع التركيب البلوري وتحديد قيم ثوابت الشبكة لأي نوع من النظام البلوري الناتج للأغشية المحضرة .

### Average crystallite size

### (1-7-2) معدل الحجم البلوري (D)

يمكن حساب معدل نمو البلورات داخل الشبكة البلورية لمادة الغشاء المحضر ( CdSe ) وذلك بالاستعانة بنتائج حيود الأشعة السينية وبعتماد معادلة شرر الآتية [66] :-

$$D = \frac{0.94 \lambda_{x-ray}}{B_{FWHM} \cos\theta} \dots\dots\dots (6-2)$$

اذ تمثل ( B<sub>FWHM</sub> ) : عرض المنحني عند منتصف الشدة ( Full width at half maximum )  
( FWHM ) بالوحدات نصف قطرية .

( λ<sub>X-RAY</sub> ) : طول موجة الأشعة السينية المستعملة (1.5406Å°)

( θ ) : زاوية حيود براك ، ( 0.94 ) : عامل الشكل

Dislocation Density (2-7-2) كثافة الانخلاعات ( $\delta$ )

تعد كثافة الانخلاعات بأنها المؤشر الى جودة وتماثلية التركيب البلوري للغشاء الناتج من عملية التبخير ، حيث تعرف بأنها النسبة بين طول خطوط الانخلاع لكل وحدة حجم من البلورة ويتم إيجادها من خلال العلاقة الآتية [51] :-

$$\delta = \frac{1}{D^2} \dots\dots\dots(7-2)$$

اذ تمثل ( $\delta$ ) : كثافة الانخلاعات بوحدات (Dislocation line / nm<sup>2</sup>)

Crystal layers number (3-7-2) عدد الطبقات البلورية ( $N_o$ )

يتم ايجاد عدد الطبقات البلورية المترسبة على وحدة المساحة من سطح الغشاء المحضر وذلك بالاستعانة بنتائج الحجم البلوري ( D ) وقيمة السمك ( t ) بعد التعويض عنها في العلاقة الآتية [67] :-

$$N_o = \frac{t}{D^3} \dots\dots\dots(8-2)$$

Micro Strain (4-7-2) الإجهاد المايكروي ( $\mu\epsilon$ )

يعرف الاجهاد المايكروي بأنه عبارة عن خلل أو عيب يصيب شبيكة البلورة بسبب وجود ذرات غريبة قد ترافق تكوين الغشاء أثناء عملية التحضير أو احتواء المادة ضمناً لها ، مسببةً إما انضغاطاً (Compress) لذرات المادة المجاورة لها فيما لو كانت ذات حجم كبير ، وإما توتراً (Tensile) لذرات المادة المجاورة لها فيما لو كانت ذات حجم صغير ، ويمكن ايجاد الاجهادات المايكروية المتكونة في أغشية المادة وذلك بالاستعانة بنتائج حيود الاشعة السينية وبتطبيق العلاقة الآتية [31,34] :-

$$\mu\epsilon = \frac{B_{FWHM} \cos\Theta}{4} \dots\dots\dots(9-2)$$



## (8-2) الخواص البصرية لأغشية أشباه الموصلات

### Optical properties of semiconductor thin films

تعتمد الخواص البصرية لأغشية أشباه الموصلات على طبيعة التركيب البلوري للمادة المراد دراسة خواصها فضلا عن طريقة وظروف تحضير الاغشية الرقيقة منها وما يرافق ذلك من متغيرات فيزيائية عديدة كتغير السمك ، ضغط التبخير ، معدل الترسيب ، درجة حرارة الاساس ، درجة حرارة التلدين ، التشويب ، كل هذه العوامل مسؤولة عن اظهار خواص أغشية أشباه الموصلات ( كالامتصاصية والنفاذية ومعامل الامتصاص وقيمة فجوة الطاقة وحافة الامتصاص الاساسية ) والتي بدراستها يمكن التعرف على التطبيقات البصرية للأغشية المحضرة من تلك المواد ، وأن اي تغير في هذه العوامل يؤدي الى تغير ملحوظ في هذه الخواص ولاسيما انحراف حافة الامتصاص الاساسية نحو طاقات أعلى أو أوطأ ومن ثم حدوث تغيراً في قيمة فجوة الطاقة البصرية [68,69] .

### Absorptance

### (1-8-2) الامتصاصية

تعرف الامتصاصية بأنها النسبة بين ما يمتصه الغشاء من شدة معينة ( $I_A$ ) الى الشدة الاصلية ( $I_0$ ) للإشعاع الكهرومغناطيسي المسلط عليه عند طول موجي معين ، وتكون الامتصاصية عادة كمية خالية من الوحدات وتعطى بالعلاقة الاتية [68,70] :-

$$A = \frac{I_A}{I_0} \dots\dots\dots(10-2)$$

وترتبط الامتصاصية مع كل من النفاذية والانعكاسية بالعلاقة الاتية :-

$$A+T+R= 1 \dots\dots\dots(11-2)$$

حيث تعرف العلاقة اعلاه بقانون حفظ الطاقة والتي يمكن ايجاد قيم الانعكاسية ( $R$ ) ، كذلك ترتبط الامتصاصية مع النفاذية بالعلاقة الاتية :-

$$A= \log \left( \frac{1}{T} \right) \dots\dots\dots(12-2)$$

والتي منها تم ايجاد قيم الامتصاصية للأغشية المحضرة كافة .

## Transmittance

## (2-8-2) النفاذية

تعرف النفاذية بأنها النسبة بين ما يمرره الغشاء من شدة معينة غير ممتصة ( I ) الى الشدة الاصلية للإشعاع الكهرومغناطيسي المسلط عليه عند طول موجي معين ، تكون النفاذية عادة كمية خالية من الوحدات وتعطى بالعلاقة الآتية [70,71] :-

$$T = \frac{I_T}{I_0} \dots\dots\dots (13-2)$$

يتم الحصول على قيم النفاذية للأغشية عادة إما بصورة مباشرة من خلال استخدام المطياف البصري ( UV – VIS 1800 Spectrophotometer ) والذي يسجل النفاذية كدالة للطول الموجي ضمن المدى ( 300 - 1100 nm ) ، او يتم حسابها باعتماد العلاقة الآتية :-

$$T = 10^{-A} \dots\dots\dots (14-2)$$

وتعتمد النفاذية على عدة عوامل منها [72] :-

- 1- سمك الغشاء المحضر: فكلما زاد سمك الغشاء المحضر ( ولحد معين ) قلت النفاذية والعكس صحيح .
- 2- نسب التشويب : بزيادة نسب التشويب (ضمن حدود معينة) يزداد عدد المستويات الموضعية ما بين حزمتي التكافؤ والتوصيل وبالتالي زيادة الامتصاصية ونقصان النفاذية .

## Absorption Coefficient

## (3-8-2) معامل الامتصاص

يعد معامل الامتصاص واحدا من المعلمات البصرية الاساسية التي يستفاد منها في معرفة نوع الانتقالات الالكترونية الحاصلة في شبه الموصل فيما اذا كانت مباشرة أم غير مباشرة ، إذ يعرف بأنه مقدار التوهين الحاصل في فيض طاقة الاشعاع لوحدة المسافة باتجاه انتشار الموجة داخل الغشاء ووحداته ( cm<sup>-1</sup> ) ويعطى من خلال معادلة لامبرت في الامتصاص بعد اشتقاقها وكما يأتي [5,17]

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (15-2)$$

إذ تمثل ( I<sub>0</sub> ) ، ( I ) : شدة الاشعاع الساقط والنافذ من الغشاء على التوالي

( α ) : معامل الامتصاص

( t ) : سمك الغشاء

ومن اعادة صياغة المعادلة (14-2) أعلاه نحصل على قيمة معامل الامتصاص ( $\alpha$ ) حسابيا من خلال المعادلة الآتية :-

$$\alpha = 2.303 \frac{A}{t} \dots\dots\dots (16-2)$$

## Optical absorption (9-2) الامتصاص البصري

يعد التفاعل الحاصل ما بين فوتونات الاشعاع الكهرومغناطيسي المسلط على المادة والشحنات التي تحويها تلك المادة (الكترونات ذراتها أو أيوناتها) العامل الاساس في تشغيل معظم النبائط الالكترونية الحديثة ذلك أن عملية التشغيل الاساسية في الثنائي الباعث للضوء (LED) هي الانبعاث التلقائي من جراء التحيز الامامي ، وفي الليزر فهي الانبعاث المحفز ، أما في كواشف الضوء والخلايا الشمسية فأن مبدأ التشغيل الاساسي فيها هو الامتصاص والذي يعد أساس العمليات السابقة أيضا ، اذ يعتمد على طاقة فوتونات الاشعاع الساقط فضلا عن قيمة فجوة الطاقة البصرية لشبه الموصل [52] .

يبين الشكل (5-2) الانتقالات الالكترونية الاساسية المحتملة والحاصلة في شبه الموصل عند إضافته بفوتونات ذات طاقات مختلفة ، اذ يلاحظ من الشكل كيف أن الكترونات التكافؤ لكي تستطيع الانتقال من المستويات المملوءة بها تماما (حزمة التكافؤ) الى المستويات الفارغة منها تماما (حزمة التوصيل) لا بد لها من طاقة كافية تؤهلها عبور فجوة الطاقة المحظورة لشبه الموصل من خلال امتصاصها لفوتونات طاقتها تخضع للعلاقة الآتية [51,73] :-

$$(hv)_{\text{photon}} \geq E_{\text{gap}} \dots\dots\dots (17-2)$$

فبالنسبة للفوتونات المسلطة ذات الطاقات التي تكبر قيمة فجوة الطاقة لشبه الموصل بمقدار قليل ( $(hv)_{\text{photon}} > E_g$ ) فسوف تتولد أزواج (الكترون - فجوة) من جراء الانتقال الالكتروني مع تبديد فرق الطاقة الاضافي ( $hv - E_{\text{gap}}$ ) على شكل حرارة وكما هو موضح في الشكل b (5-2) .

أما اذا كانت طاقة الفوتونات المسلطة ذات قيمة أقل من قيمة فجوة الطاقة المحظورة لشبه الموصل النقي أي أن ( $hv < E_{\text{gap}}$ ) فإن الانتقال الالكتروني لا يحدث (في حين أنه يمكن أن يتم في شبه الموصل غير النقي (المشوب) وذلك بمساعدة المستويات الموضعية لذرات الشوائب المضافة والمسماة

بالمصائد ( Traps levels ) والمتواجدة ضمن فسحة الطاقة الممنوعة لشبه الموصل وكما هو موضح في الشكل c (5-2) [51,52] .

أما إذا كانت الفوتونات المسلطة ذات طاقات مساوية تماماً لقيمة فجوة الطاقة المحظورة لشبه الموصل النقي ، عندها سوف تمتص تماماً من قبل المادة لتتولد بذلك الأزواج المرتبة من ( الكترون – فجوة ) وتظهر بذلك حافة الامتصاص الأساسية للمادة فضلاً عن إمكانية حساب ما يسمى بـ (طول موجة القطع للمادة ) وذلك من خلال المعادلة الآتية [51,52] :-

$$(h\nu_0)_{\text{photon}} = E_g = \frac{hc}{\lambda_{\text{cut off}}} \dots\dots\dots(18-2)$$

إذ تمثل ( h ) : ثابت بلانك وقيمه (6.626 x 10<sup>-34</sup> J.sec)

( c ) : سرعة الضوء بالفراغ (3 x 10<sup>8</sup> m/sec)

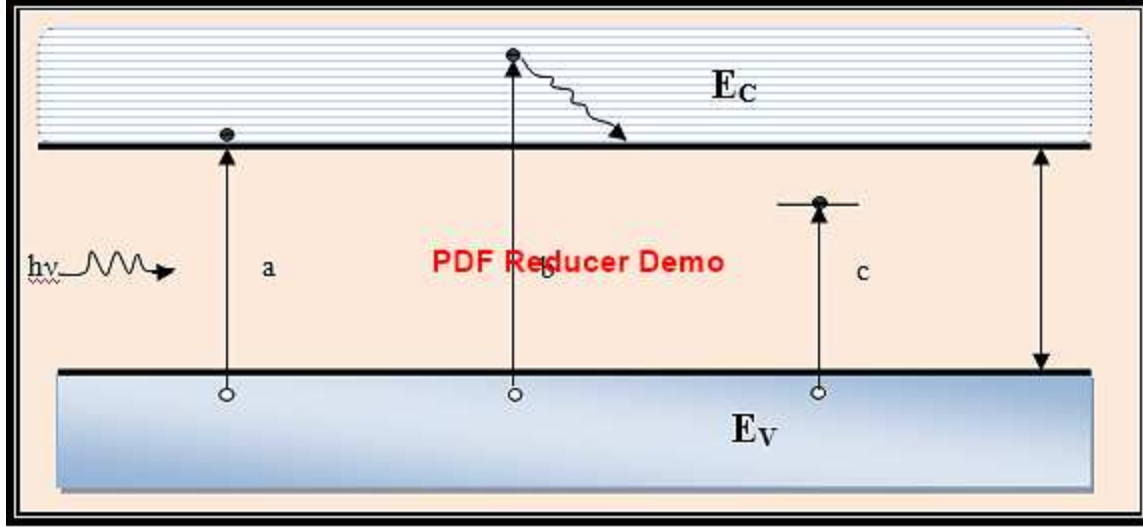
( $\nu_0$ ) : تردد العتبة للشعاع الكهرومغناطيسي المسلط واللازم لحدوث الانتقال الإلكتروني .

وبالتعويض عن قيم الثوابت في العلاقة أعلاه تصبح بالصيغة الآتية :-

$$\lambda_{\text{cut off}}(\text{nm}) = \frac{1240}{E(\text{ev})} \dots\dots\dots(19-2)$$

حيث  $(\lambda)_{\text{cut off}}$  من المعادلة أعلاه تمثل طول موجة القطع والذي يعرف بأنه طول الموجي المقابل لطاقة الفجوة المحظورة لشبه الموصل النقي الذي عند قيمته تبدأ عملية الامتصاص البصري لتظهر بذلك حافة الامتصاص الأساسية للمادة (Fundamental Absorption Edge) [5,73] .

يسمى كل من الانتقالين (a) و(b) الموضحين لاحقاً في الشكل (5-2) بالانتقال الذاتي أو الجوهري (Intrinsic Transition) أو انتقال الحزمة إلى حزمة (Band to Band Transition) ، أما الانتقال الثالث (C) والذي لا يتم (في شبه الموصل النقي) إلا بوجود المستويات الموضعية لذرات الشوائب ضمن الفجوة المحظورة ، فيسمى بالانتقال غير الذاتي (Extrinsic Transition) [5,52] .



الشكل (5-2) عملية الامتصاص لأشباه الموصلات [5,17].

## (10-2) حافة الامتصاص الاساسية ومناطق الامتصاص

### Fundamental absorption edge and absorption region

تمتاز حافة الامتصاص الاساسية بأنها إحدى أهم الصفات المميزة لأشباه الموصلات التي تمتلك فجوة طاقة محظورة ، إذ تعد واحدة من المعلمات البصرية الاساسية والتي من الضروري دراسة موقعها لأي غشاء محضر ضمن الطيف الكهرومغناطيسي المسلط ، لما يترتب على ذلك من أهمية في تعيين موقع فجوة الطاقة المحظورة لشبه الموصل وبالتالي تحديد طبيعة التطبيق الذي يمكن تسخير مادة الغشاء المحضر في خدمته ، فضلا عن كونها تعطي معلومات مهمة عن خواص حزم الطاقة المتكونة في المادة ونوع الانتقالات الالكترونية الحاصلة فيها ، ويمكن تعريفها بأنها المنطقة التي تمثل بداية الانتقال الالكتروني (بداية الامتصاص البصري) ما بين حزمتي التكافؤ والتوصيل ، وتمثل أقل فرق بالطاقة ( $E_g$ ) بين أعلى نقطة في قمة حزمة التكافؤ (V.B) وأوطأ نقطة في قعر حزمة التوصيل (C.B) وتكون مساوية الى الكمية ( $h\nu_0$ ) وكما في المعادلة (18-2) ، حيث تمثل ( $\nu_0$ ) تردد العتبة للشعاع الكهرومغناطيسي المسلط واللازم لحدوث الانتقال الالكتروني [74].

تمتاز حافة الامتصاص الاساسية بأنها حادة ( Sharp ) في اشباه الموصلات أحادية التبلور ( Single crystalline ) ، في حين أنها تكون أقل حدة في اشباه الموصلات المتعددة التبلور ( polycrystalline ) [75] ، ويقسم طيف الامتصاصية البصري في اشباه الموصلات الى ثلاث مناطق أساسية هي [76] :-

### 1- منطقة الامتصاص العالي High absorption region

وهي المنطقة المتمثلة بالجزء ( A ) في الشكل (2-6) ، إذ تمتاز بأن معامل الامتصاص فيها يكون أكثر تميزاً من مناطق الامتصاص الأخرى وأكبرها قيمة ، إذ يكون ذا قيمة أكبر أو يساوي  $(10^4 \text{ cm}^{-1})$  وذا علاقة طردية مع طاقة الفوتون الساقط ، بمعنى أن معامل الامتصاص في هذه المنطقة يزداد بزيادة طاقة الفوتونات المسلطة ويخضع للعلاقة الآتية والمسماة بعلاقة تاوس (Tauc formula) [75] :-

$$\alpha h\nu = \beta ( h\nu - E_g^{\text{opt}} )^r \dots\dots\dots (20-2)$$

حيث إن :-

- (  $\beta$  ) : ثابت يعتمد على طبيعة المادة ويتناسب مع كثافة الحالات في حزمي التكافؤ والتوصيل
- (  $E_g^{\text{opt}}$  ) : فجوة الطاقة البصرية لشبه الموصل ، (  $h\nu$  ) : طاقة الفوتون المسلط .
- (  $r$  ) : متغير يعتمد على نوع الانتقال الإلكتروني فيما إذا كان مباشراً او غير مباشر ، فتكون قيمته مساوية الى (1/2) في حالة الانتقال المباشر المسموح ، ومساوية الى (3/2) في حالة الانتقال المباشر الممنوع ، ومساوية الى (2) أو (3) في حالة الانتقال غير المباشر بنوعيه المسموح والممنوع على التوالي .

ومن الجدير بالذكر أن هذه المنطقة تكون ناتجة من جراء الانتقالات الإلكترونية من المستويات الممتدة ( extended states ) في حزمة التكافؤ (V.B) الى المستويات الممتدة في حزمة التوصيل (C.B).

2- المنطقة الأسية

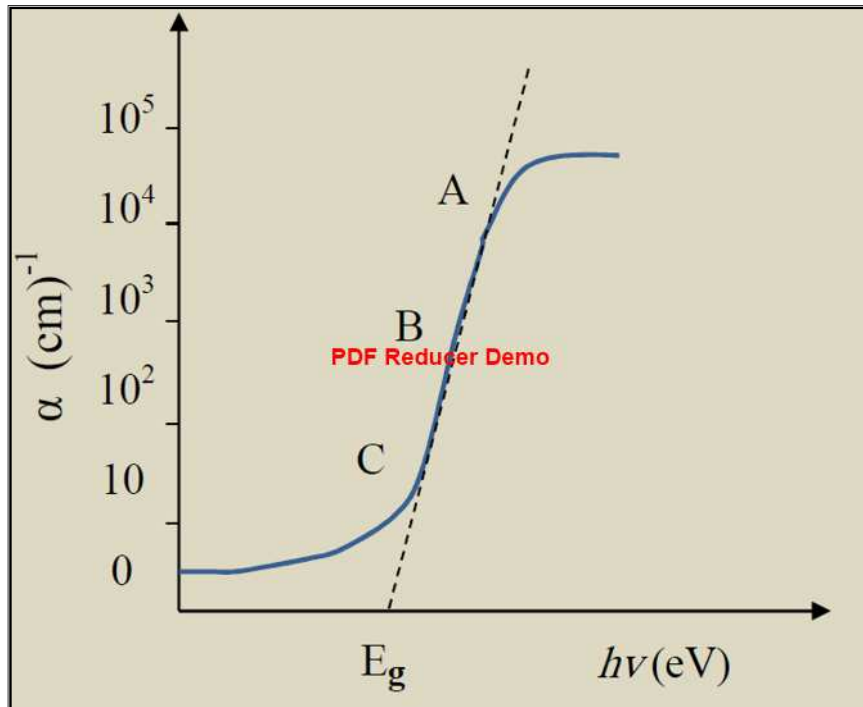
The exponential region

وفيها تكون الانتقالات الالكترونية من المستويات الموضعية ( Tail localization states ) في قمة حزمة التكافؤ الى المستويات الممتدة في حزمة التوصيل ، كذلك من المستويات الممتدة في حزمة التكافؤ الى المستويات الموضعية في قعر حزمة التوصيل ، وتتمثل هذه المنطقة بالجزء (B) من الشكل (6-2) ، وفيها يكون معامل الامتصاص  $(\alpha)$  ذا قيمة تقع ضمن المدى  $( 1 \leq \alpha \leq 10^4 )$  ( cm<sup>-1</sup>) ويخضع لعلاقة أورباخ (Urbach formula) الاتية [76]:-

$$\alpha = \alpha_0 \exp \left( \frac{h\nu}{\Delta E_t} \right) \dots\dots\dots(21-2)$$

حيث ان  $(\alpha_0)$  : ثابت يعتمد على نوع المادة .

$( \Delta E_t )$  : عرض الذبول للمستويات الموضعية والمتواجدة في فجوة الطاقة الحركية لشبه الموصل غير النقي .



الشكل (6-2) حافة الامتصاص ومناطق الامتصاص [77].

Low absorption region

3- منطقة الامتصاص الضعيف

تمتاز هذه المنطقة بأن معامل الامتصاص فيها يكون صغيراً جداً ( $\alpha < 1\text{cm}^{-1}$ ) ذلك لأن الانتقالات الالكترونية في هذه المنطقة تتم بوساطة كثافة الحالات داخل الفسحة الحركية والناجمة عن العيوب التركيبية واختلاف ظروف التحضير عن تلك القياسية ، وتتمثل هذه المنطقة بالجزء (c) من الشكل (6-2) .

## (11-2) الانتقالات الالكترونية في شبه الموصل

### Electronic transitions in semiconductor

قد يتطابق أو لا يتطابق موضع طاقة قمة حزمة التكافؤ ( V.B ) في فضاء متجه الموجة ( K ) مع موضع طاقة قعر حزمة التوصيل ( C.B ) ، فعند حدوث هذا التطابق يقال عندئذ أن شبه الموصل يمتلك فسحة ذاتية مباشرة ( Direct Intrinsic gap ) وكما هو الحال في المركب شبه الموصل ( GaAs ) ، أما إذا لم يحدث التطابق المذكور فإن شبه الموصل عندئذ يكون ممتلكاً لفسحة ذاتية غير مباشرة ( Indirect Intrinsic gap ) وكما هو الحال في عناصر أشباه الموصلات ( Si ) و ( Ge ) على التوالي [51,52] وعلى هذا الأساس هنالك نوعان من الانتقالات الالكترونية في اشباه الموصلات هما:-

### Direct transition

### اولاً : الانتقال المباشر

ويظهر في أشباه الموصلات التي تمتلك فسحة ذاتية مباشرة حيث يتفاعل فوتون الموجة الكهرومغناطيسية المسلطة مع الالكترونات في حزمة التكافؤ ، مسبباً انتقالها مباشرة عبر فجوة الطاقة من أعلى نقطة في قمة حزمة التكافؤ الى أوطأ نقطة في قعر حزمة التوصيل ، ويكون فيه متجه الموجة ثابتاً لا يتغير لكل من النقطتين ( ذلك لأنهما على استقامة واحدة في فضاء متجه الموجة ) وكما في الشكل a (7-2) أي أن ( $\Delta k = 0$ ) ولهذا يكون كل من الزخم والطاقة محفوظين في هذا النوع من الانتقال [51,70] .

أما إذا حدث الانتقال بين النقاط الواقعة في المناطق المجاورة لمناطق الانتقال المباشر المسموح مع بقاء قيمة متجه الموجة ثابتاً لا يتغير ، أي أن ( $\Delta k = 0$ ) ، فإن الانتقال عندئذ يسمى بالانتقال المباشر الممنوع ( forbidden Direct transition ) وكما هو موضح في الشكل b (7-2) .

أما معامل الامتصاص ( $\alpha$ ) للانتقالين المذكورين فيتم حسابه من خلال المعادلة (20-2) مع الإشارة الى أن كلا النوعين من الانتقال المباشر لا يعتمد على درجة الحرارة [51] .



### Indirect transition

### ثانيا : الانتقال غير المباشر

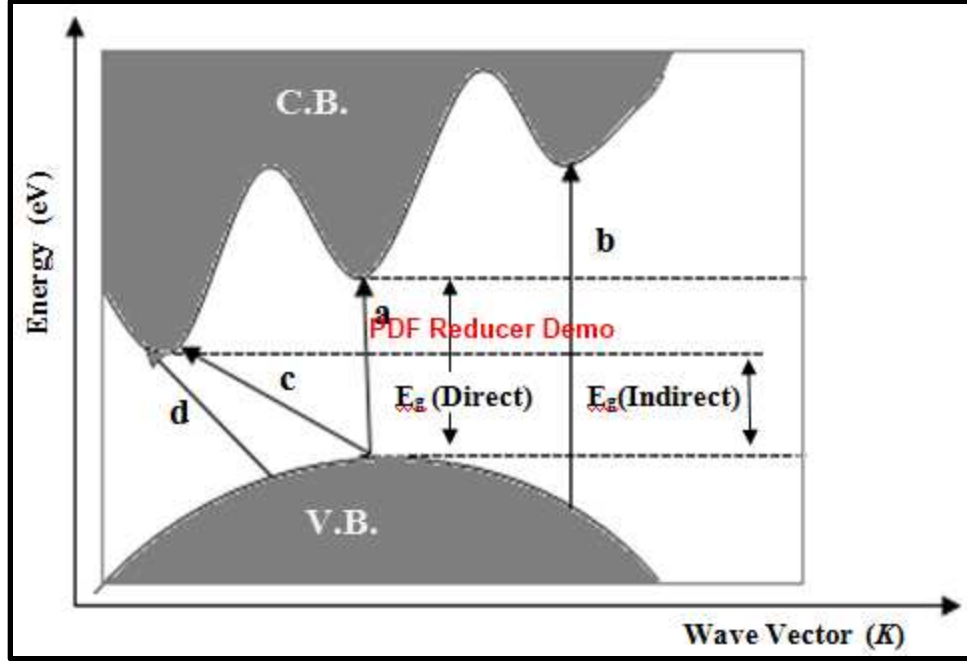
ويظهر هذا النوع من الانتقالات في اشباه الموصلات التي تمتلك فسحة ذاتية غير مباشرة ( Indirect Intrinsic gap ) حيث تكون طاقة الفوتون الساقط غير كافية بمفردها لتهييج الالكترونات وانتقالها عبر الفجوة الممنوعة الى حزمة التوصيل ، وذلك لأن موضع طاقة قعر حزمة التوصيل في هذه المواد يكون بعيدا (في فضاء متجه الموجة) عن موضع طاقة قمة حزمة التكافؤ [76]، بمعنى أن  $(\Delta k \neq 0)$  وهذا يعني أنه لا يمكن في هذه الحالة توليد أزواج ( الكترون - فجوة ) بوساطة عملية امتصاص بصرية صرفة ذات خطوة واحدة (مباشرة) ما لم يتم في هذه العملية أما امتصاص فونون أو انبعاث فونون والذي يعرف بأنه : وحدة كم الطاقة الاهتزازية في شبكية البلورة ووضيفته في هذه الحالة موازنة التغير الحاصل في زخم الالكترون المنتقل وبالتالي المحافظة على قانون حفظ الزخم والطاقة فعندما يكون الانتقال من أعلى نقطة في قمة حزمة التكافؤ الى أوطأ نقطة في القعر غير المباشر لحزمة التوصيل فعندها يسمى الانتقال الحاصل بالانتقال غير المباشر المسموح ( Allow Indirect Transition ) وكما في الشكل c (7-2) .

أما إذا حدث الانتقال بين النقاط الواقعة في المناطق المجاورة لمناطق الانتقال غير المباشر المسموح فيسمى عندها الانتقال الحاصل بالانتقال غير المباشر الممنوع ( Forbidden Indirect Transition ) وكما في الشكل d (7-2) ، أما بالنسبة الى معامل الامتصاص لهذا النوع من الانتقال فيتم حسابه وذلك باعتماد العلاقة الاتية [51,70,76] :-

$$(\alpha h\nu) = \beta_1 (h\nu - E_g^{Opt} \pm E_p)^r \dots\dots\dots (22-2)$$

حيث أن  $(\beta_1)$  : ثابت يعتمد على درجة الحرارة وعلى خواص كل من حزمتي التكافؤ والتوصيل .  
 $(r)$  : معامل أسي يعتمد على نوع الانتقال ، ففي حالة الانتقال غير المباشر المسموح تكون قيمته  $(r=2)$  وفي حالة الانتقال غير المباشر الممنوع تكون قيمته  $(r=3)$  .  
 $(\pm E_p)$  : طاقة الفونون المنبعث أو الممتص ، إذ تشير الإشارة السالبة الى عملية امتصاص فونون أما الإشارة الموجبة فتشير الى عملية انبعاث فونون .

ومما تجدر الإشارة اليه أن الانتقالات الالكترونية تحدث في جميع درجات الحرارة عدا بعض عمليات الانتقال غير المباشر التي يرافقها امتصاص فونون حيث يتعذر حدوثها في درجات الحرارة الواطئة لعدم توفر فونونات عند تلك الدرجات ولذا فإن هكذا نوع من الانتقالات يكون معتمدا على درجة الحرارة .



الشكل (7-2) الانتقالات الالكترونية [5]

(a) : مباشر مسموح ، (b) : مباشر ممنوع ، (c) : غير مباشر مسموح ، (d) : غير مباشر ممنوع

## (12-2) الخواص الكهربائية

### Electrical properties

### (1-12-2) التوصيلية المستمرة في اشباه الموصلات

### D.C Electrical Conductivity in Semiconductors

تمتاز أشباه الموصلات بكونها تمتلك مقاومة ذات معامل حراري سالب بمعنى ان زيادة درجة الحرارة تؤدي الى زيادة التوصيلية في شبه الموصل ، فعند درجة حرارة الصفر المطلق ( $0^{\circ}\text{K}$ ) يسلك شبه الموصل سلوك المادة العازلة ، ولكن بارتفاع درجة الحرارة سرعان ما تتحرر الكثرونات التكافؤ من أواصرها منتقلة بذلك من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل تاركة وراءها الفجوات (holes) في حزمة التكافؤ ، ففي حالة الاتزان فأن حركة الكثرونات سوف تكون باتجاهات عشوائية ، وعند تسليط مجال كهربائي على شبه الموصل النقي (intrinsic semiconductor) فأن الكثرونات سوف تنجرف باتجاه معاكس للمجال المسلط مكونة تياراً يدعى بتيار الانجراف (drift current) وباتجاه المجال المسلط نفسه أما الفجوات فسوف تتحرك باتجاه المجال المسلط نفسه ، وبذلك فأن نوعين من حاملات الشحنة سوف

تشارك في عملية التوصيل في شبه الموصل النقي (intrinsic semiconductor) هما الالكترونات والفجوات وحسب العلاقة الآتية [51,52] :-

$$\sigma = ne\mu_n + pe\mu_p \dots\dots\dots (23-2)$$

حيث تمثل :

$\sigma$  : التوصيلية الكلية لشبه الموصل .

$P, n$  : عدد الالكترونات والفجوات لكل وحدة حجم على التوالي .

$\mu_p, \mu_n$  : تحركية كل من الالكترون والفجوة على التوالي .

يتبين من خلال المعادلة اعلاه أن التوصيلية المستمرة لشبه الموصل النقي تعتمد على عاملين اساسيين هما تركيز كل من الالكترونات و الفجوات وكذلك تحركيتها ، أما اذا كان شبه الموصل مشوباً وغير نقي ( Extrinsic ) فإن معادلة التوصيلية الكهربائية المستمرة له ستكون بالشكل الآتي [51,52] :-

$$\sigma = ne\mu_n \dots\dots\dots (24-2) \quad \text{لشبه الموصل الغزير بالالكترونات}$$

$$\sigma = pe\mu_p \dots\dots\dots (25-2) \quad \text{لشبه الموصل الغزير بالفجوات}$$

ان توصيلية أشباه الموصلات تكون ذات تأثير شديد بكل من عاملي التشويب وتغير درجة الحرارة ويمكن كتابة معادلة التغير في التوصيلية الكهربائية المستمرة مع تغير درجة الحرارة وفقاً لمعادلة أرهينوس (Arrhenius) الآتية [78] :-

$$\sigma_{dc} = \sigma_0 \exp \left( \frac{-E_a}{K_B T} \right) \dots\dots\dots (26-2)$$

حيث تمثل :-

$\sigma_0$  : التوصيلية الصغرى وتمثل ثابتاً يتغير ببطئ مع درجة الحرارة .

$T$  : درجة الحرارة المطلقة بوحدات (K) .

$E_a$  : طاقة التنشيط بوحدات (eV) .

$K_B$  : ثابت بولتزمان .

(2-12-2) تأثير هول

Hall Effect

يعد تأثير هول من اهم الوسائل لدراسة الخواص الالكترونية للمواد الصلبة ولاسيما أشباه الموصلات منها ، حيث يعد من القياسات الاكثر شيوعا واهتماماً في تطبيقات الاغشية الرقيقة ، لما يوفره من معلومات عن طبيعة العينة المفحوصة فيما إذا كانت ذات توصيلية كهربائية سالبة ( n- type ) أم الموجبة ( p-type ) من خلال اشارة معامل هول (R<sub>H</sub>) ، فضلا عن إعطائه بيانات دقيقة عن تركيز حاملات الشحنة فيها وتحركيتها [51,52] .

يمكن تعريف تأثير هول بأنه الاختلاف الحاصل في توزيع التيار المار خلال شريحة من مادة شبه موصلة عند تسليط مجال مغناطيسي عمودي عليها ، فإذا أثر مجال مغناطيسي كثافة فيضه (B<sub>Z</sub>) بصورة عمودية على عينة من مادة شبه موصلة يسري فيها تيارا كهربائيا مستمرا فعندها سوف تميل حاملات الشحنة الاغلبية في العينة الى الانحراف جانبا مولدة بذلك فرق جهد على جانبي العينة المفحوصة يدعى بفرق جهد هول ( Hall voltage ) والذي يكون عموديا على اتجاه كل من التيار والمجال المغناطيسي ويتسبب في الوقت نفسه بنشوء مجال كهربائي يدعى بمجال هول (Hall field E<sub>H</sub>) [5] وكما موضح في الشكل (2-8). يمكن حساب معامل هول (R<sub>H</sub>) بوحدات (cm<sup>3</sup> / coulomb) من ايجاد ميل العلاقة البيانية بين مقدار فولتية هول وتيار حاملات الشحنة ، حيث ان [5,51]:-

$$R_H = \left( \frac{V_H}{I_X} \right) \left( \frac{t}{B_Z} \right) \dots\dots\dots (27-2)$$

حيث تمثل :-

( $\frac{V_H}{I_X}$ ) : مقدار الميل الناتج من العلاقة الخطية بين  $V_H$  و  $I_X$  .

( t ) : سمك عينة شبه الموصل .

(B<sub>Z</sub>) : شدة المجال المغناطيسي المسلط بوحدة ( Tesla ) .

فإذا كان مقدار ميل البياني الناتج سالباً ، دل ذلك على أن شبه الموصل يحتوي على فيض من الالكترونات وانه من النوع السالب ( n-type ) وعندئذ يُكتب معامل هول له بالصيغة الاتية [5,51]:-

$$R_H = - \frac{1}{qn} \dots\dots\dots (28-2)$$

أما إذا كان مقدار ميل البياني الناتج موجبا ، دل ذلك على ان شبه الموصل يحتوي على فيض من الفجوات وأنه من النوع الموجب ( p-type ) وعندئذ يُكتب معامل هول له بالصيغة الآتية [5,51]:-

$$R_H = + \frac{1}{qp} \dots\dots\dots(29-2)$$

حيث تمثل :-

n : تركيز حاملات الشحنة السالبة (الالكترونات) لكل وحدة حجم ( $cm^{-3}$ ).

P : تركيز حاملات الشحنة الموجبة (الفجوات) لكل وحدة حجم ( $cm^{-3}$ ).

q : شحنة الالكترون .

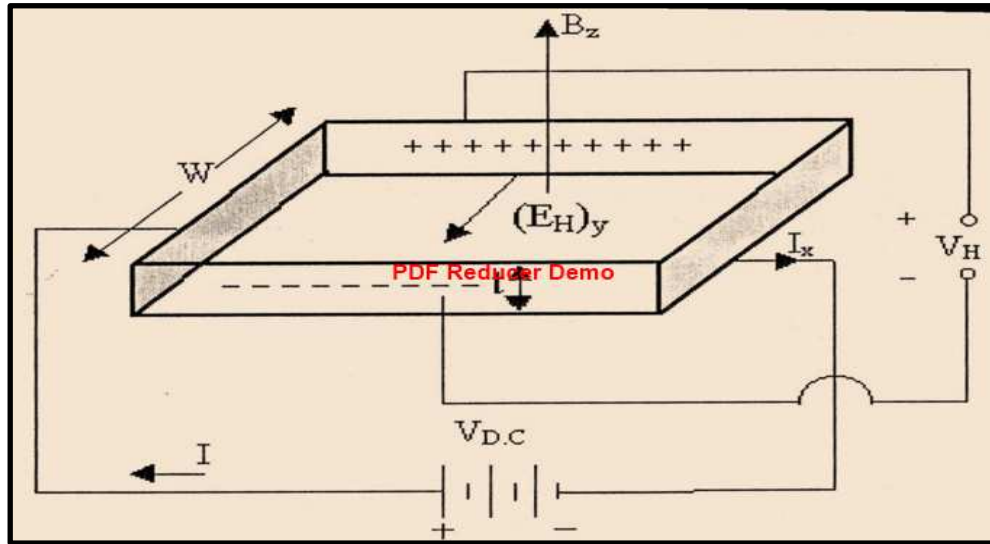
كما يمكن ايجاد تحركية هول ( $\mu_H$ ) من خلال العلاقة بين معامل هول ( $R_H$ ) والتوصيلية ( $\sigma$ ) وكما

في العلاقة الآتية [5,51] :-

$$\mu_H = \frac{\sigma}{nq} = | R_H | \sigma \dots\dots\dots(30-2)$$

حيث تمثل :-

$\mu_H$  : تحركية هول بوحدات ( $cm^2 / V.S$ ) .

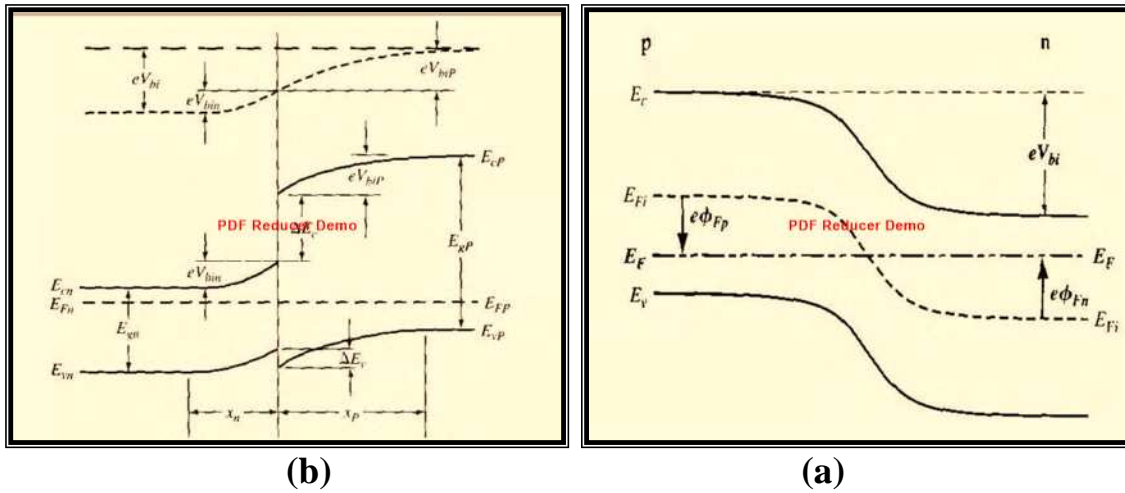


الشكل (8-2) الدائرة الكهربائية لقياس تأثير هول [17]

(13-2) المفارق الهجينة

Heterojunctions

يعرف المفارق الهجين بأنه ثنائي وصلة ناتج عن اتصال بين مادتين شبه موصلتين مختلفتين فيما بينهما من حيث تركيز حاملات الشحنة وفي قيمة فجوة الطاقة والألفة الالكترونية وثابت العزل ودالة الشغل فضلاً عن عدم التطابق في ثابت الشبيكة ( Lattice Mismatch ) للمادتين [79,80] ، أما النوع الاخر من المفارق والمسمى بالمتجانس (Homojunction) فيتكون من اتصال مادتين شبه موصلتين من النوع نفسه بمعنى أن المادتين متماثلتين في قيم كل من فجوة الطاقة والألفة الالكترونية وثابت العزل ودالة الشغل وثابت الشبيكة ، عدا كونهما مختلفتين في نوع الحاملات ، ويوضح الشكل (9-2) كلا النوعين من المفارق المتجانس والمفارق الهجين .



الشكل (9-2) مخطط حزم الطاقة للمفارق (a) : المتجانس ، (b) : الهجين [17] .

ويمكن تصنيف المفارق الهجينة الى [81] :-

1. المفارق الهجين الحاد (Abrupt) والمفارق الهجين المتدرج (Graded) ، استنادا بذلك الى المسافة المقطوعة أثناء انتقال حاملات الشحنة من المادة شبه الموصلة الاولى الى المادة شبه الموصلة الثانية وبالعكس .
2. المفارق الهجين المتماثل (Isotype Heterojunction) مثال ذلك (P-P) و (n-n) ، والمفارق الهجين غير متماثل (Anisotype Heterojunction) مثال ذلك (n-p) و (p-n) ، استنادا بذلك الى نوع التوصيلية الكهربائية على جانبي المفارق المتكون .

3. المفرق الهجين المتلابس (Straddling Heterojunction) وهو الشائع في أغلب المفارق الهجينة والمفرق الهجين المائل بشدة (Stagger Heterojunction) ، والمفرق الهجين المكسور الفجوة (Broken gap Heterojunction) ، استناداً بذلك الى تنظيم الحزم (حزمتي التكافؤ والتوصيل) وعرض فجوة الطاقة لكل من المادتين المكونتين للمفرق .

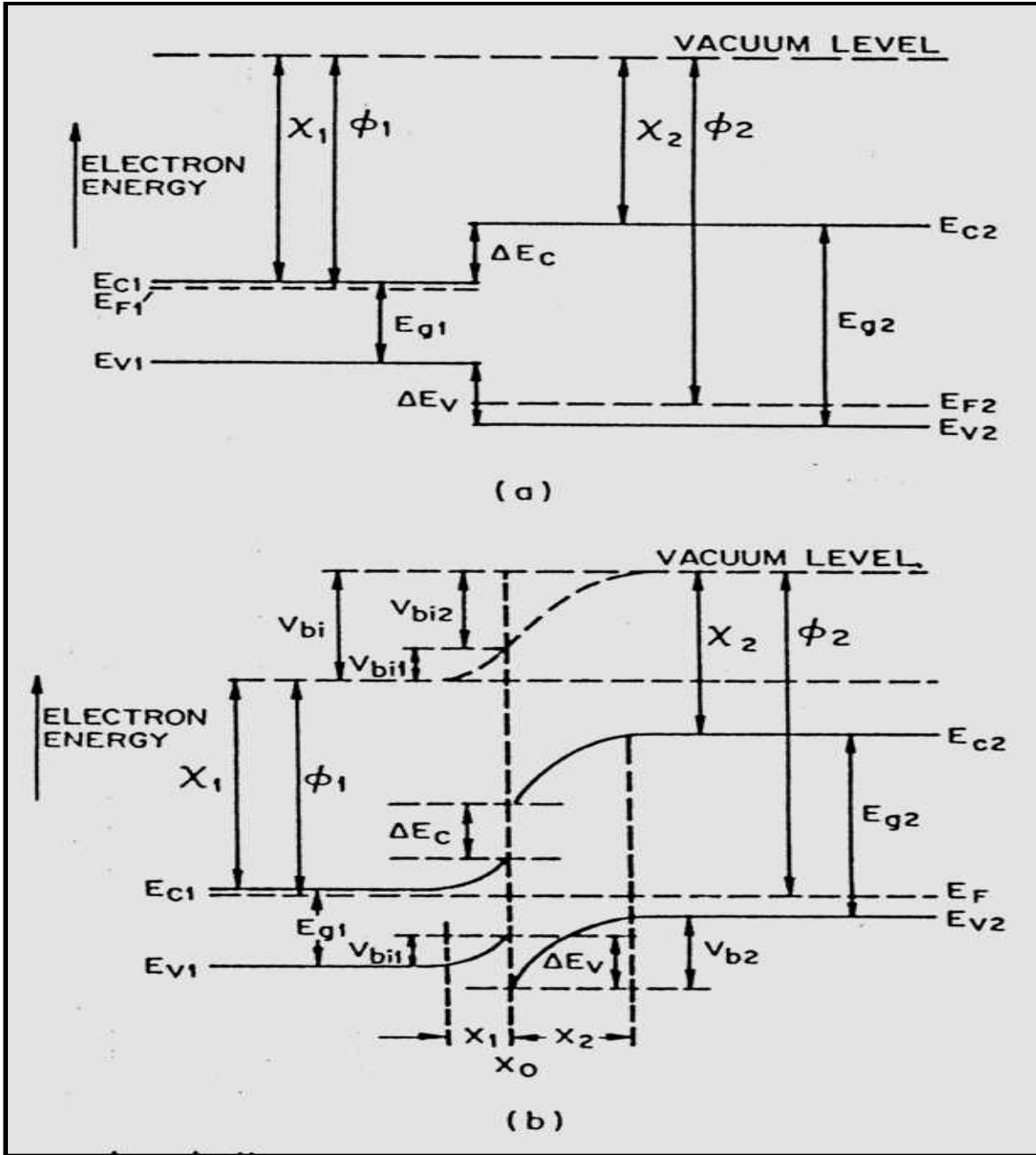
وبالعودة الى الشكل (9-2-b) يتضح أن وجود حاجز كبير نسبياً في حزمة التكافؤ ( $\Delta E_v$ ) للمفرق الهجين يسهم في عرقلة حقن الفجوات من الطرف (P) إلى الطرف (n). أما في حزمة التوصيل فان ارتفاع الحاجز ( $\Delta E_c$ ) يكون قليلاً مقارنة مع الحاجز المتكون في حزمة التكافؤ، ولهذا تكون الالكترونات هي المسؤولة عن نقل التيار في هكذا نوع من المفارق الهجينة. أما إذا تحقق العكس ، بمعنى انخفاض حاجز حزمة التكافؤ ( $\Delta E_v$ ) وارتفاع حاجز التوصيل ( $\Delta E_c$ ) فان الفجوات ستكون هي المسؤولة عن نقل التيار في هكذا نوع من المفارق [81] .

### (1-13-2) نظرية المفارق الهجينة الحادة غير المتماثلة

#### (Theory of Abrupt Anisotype Heterojunctions)

يُعد أنموذج (Anderson) في تفسير سلوك المفرق الهجين الحاد غير المتماثل (Abrupt Anisotype Heterojunction) مثال ذلك (p-n) و (n-p) هو الأنموذج الأساسي الذي يعطي الأداء المثالي للمفرق الهجين [82] . فإذا كانت لدينا مادتان من شبه موصل معزولتين عن بعضهما ومختلفتين في قيمة فجوة الطاقة ( $E_g$ ) والألفة الالكترونية ( $\chi$ ) (والتي تعرف بأنها الطاقة اللازمة لنقل الإلكترون من قعر حزمة التوصيل إلى مستوى الفراغ والذي يمثل موقع الإلكترون حال خروجه من سطح المادة) [5] ، ودالة الشغل ( $\phi$ ) (والتي تعرف أيضا بأنها الطاقة اللازمة لنقل إلكترون من مستوى فيرمي خلال المادة إلى مستوى الفراغ إذ تعتمد على شبه الموصل والتطعيم) [83]. وكما موضح ذلك في الشكل (10-2) والذي يبين مخطط حزم الطاقة لمادتين إحداها نوع (p-type) والأخرى نوع (n-type) قبل الاتصال وبعده ، فعند التقاء هاتين القطعتين بحيث يكون مستوى فيرمي مستمراً عبر منطقة السطح البيني خلال المادتين شبه الموصلتين في حالة الاتزان - (وكما موضح ذلك في الشكل (10-2-b)) - فسوف يكون هناك فرق في الألفة الالكترونية للمادتين يتبع ذلك عدم الاستمرارية في حزمة التوصيل ( $\Delta E_c$ ) ، بقيمة تعطى بواسطة الفرق في الألفة الالكترونية . وبنحو مماثل سيكون هنالك عدم استمرارية في حافة حزمة التكافؤ ( $\Delta E_v$ ) أيضاً [84] .

إن عدم الاستمرارية في حزمتي الطاقة ( $\Delta E_c$  و  $\Delta E_v$ ) ، لاختلاف فجوة الطاقة للمادتين تؤثر بنحو كبير في خواص الانتقال للحاملات عبر المفروق ، لذلك فان قيمتي ( $\Delta E_c$ ) و ( $\Delta E_v$ ) من العوامل الأساسية والمهمة في نبائط المفروق الهجين المصنع .



الشكل (10-2) مخطط حزم الطاقة [85]

(a) : مادتان شبه موصلتين معزولتان ، (b) : مفروق هجين (n-p) عند التوازن



ومن الشكل (10-2-b) ، يمكن حساب مقدار كل من  $(\Delta E_c)$  و  $(\Delta E_v)$  من خلال العلاقات الآتية [17] :-

$$\Delta E_c = \chi_1 - \chi_2 = \Delta x \dots\dots\dots(31-2)$$

$$\Delta E_v = (\chi_2 + E_{g2}) - (\chi_1 + E_{g1}) = \Delta E_g - \Delta x \dots\dots\dots (32-2)$$

$$\Delta E_c + \Delta E_v = \Delta E_g \dots\dots\dots (33-2)$$

حيث تمثل :-

$E_{g1}$  ,  $E_{g2}$  : فجوتا الطاقة للمادتين المانحة (n-type) والقابلة (p-type) على التوالي.

$\chi_1$  ,  $\chi_2$  : الألفة الإلكترونية للمادتين المانحة (n-type) والقابلة (p-type) على التوالي.

أما  $V_{bi}$  فتساوي مجموع جهد البناء الداخلي على كل جانب من جانبي المفرق [85]:

$$V_{bi} = V_{bi1} + V_{bi2} \dots\dots\dots(34-2)$$

حيث تمثلان :-

$V_{bi1}$  و  $V_{bi2}$  : قيمة الجهد الكهروستاتي عند الاتزان لشبه الموصل (1) وشبه الموصل (2) على التوالي .

أما بالنسبة الى منطقة النضوب ( والتي تعرف بأنها منطقة تتكون قرب المفرق ويكون فيها عدد الحاملات الحرة منخفضاً جداً) [71] ، فيتم ايجاد عرضها والسعة لأي انحياز عن طريق حل معادلة بواسون (Poisson equation) لطرفي المفرق على جانبي السطح البيني لينتج منه العلاقات الآتية :- [17,52]

$$X_n = (X_0 - X_1) = \left[ \frac{2N_{A2} \epsilon_1 \epsilon_2 (V_{bi} - V_a)}{qN_{D1}(\epsilon_1 N_{D1} + \epsilon_2 N_{A2})} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(35-2)$$

$$X_p = (X_2 - X_0) = \left[ \frac{2N_{D1} \epsilon_1 \epsilon_2 (V_{bi} - V_a)}{qN_{A2}(\epsilon_1 N_{D1} + \epsilon_2 N_{A2})} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(36-2)$$

حيث تمثل :-

$(X_0 - X_1)$  و  $(X_2 - X_0)$  : عرض منطقة النضوب في الجانبين المانح و القابل على التوالي .

$N_{A2}$  و  $N_{D1}$  : تركيز الشوائب المانحة والقابلة للمادة الأولى والثانية على التوالي .

$\epsilon_n$  و  $\epsilon_p$  : السماحية للمادتين المانحة والقابلة على التوالي .

$q$  : شحنة الإلكترون  $V_{bi}$  : جهد البناء الداخلي .

$V$  : الجهد الكلي المسلط .

إن عرض منطقة الانتقال (منطقة النضوب) الكلية تعطى بالمعادلة الآتية [85] :-

$$W = X_n + X_p = (X_0 - X_1) + (X_2 - X_0) \dots\dots\dots (37-2)$$

وبالتعويض ينتج :-

$$W = \left[ \frac{2\varepsilon_1\varepsilon_2 (V_{bi} - V_a)(N_{A2} + N_{D1})^2}{q(\varepsilon_1 N_{D1} + \varepsilon_2 N_{A2}) N_{D1} N_{A2}} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (38-2)$$

أما سعة منطقة النضوب فتعطى بالمعادلة الآتية [5] :-

$$C = \left[ \frac{qN_{D1} N_{A2} \varepsilon_1 \varepsilon_2}{2(\varepsilon_1 N_{D1} + \varepsilon_2 N_{A2})(V_{bi} - V)} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (39-2)$$

لقد افترض (Anderson) في هذا النموذج أن تيار الانتشار (Diffusion) سيتألف بصورة تقريبية من الالكترونات والفجوات ، وذلك بسبب عدم الاستمرار في حافات الحزم عند السطح البيني الفاصل بين وصلتي المفروق المتكون ، وبالعودة إلى الشكل (10-2-b) يمكن ملاحظة أن حاجز الالكترونات اكبر من حاجز الفجوات ، لذلك فإن تيار الفجوات سيكون هو السائد في هذه الحالة [85].

لقد اقترحت نماذج اخرى غير نموذج اندرسون لتفسير آليات انتقال حاملات الشحنة ضمن المفروق الهجين الحاد غير المتماثل ومن هذه النماذج هي [81] :-

1. أنموذج الانبعاث (Emission Modle) .
2. أنموذج الانبعاث – إعادة الإتحاد (Emission –Recombination Modle).
3. أنموذج الاختراق (Tunneling Modle).
4. أنموذج الاختراق – إعادة الإتحاد (Tunneling –Recombination Modle).
5. أنموذج الانتشار (Diffusion Modle) .

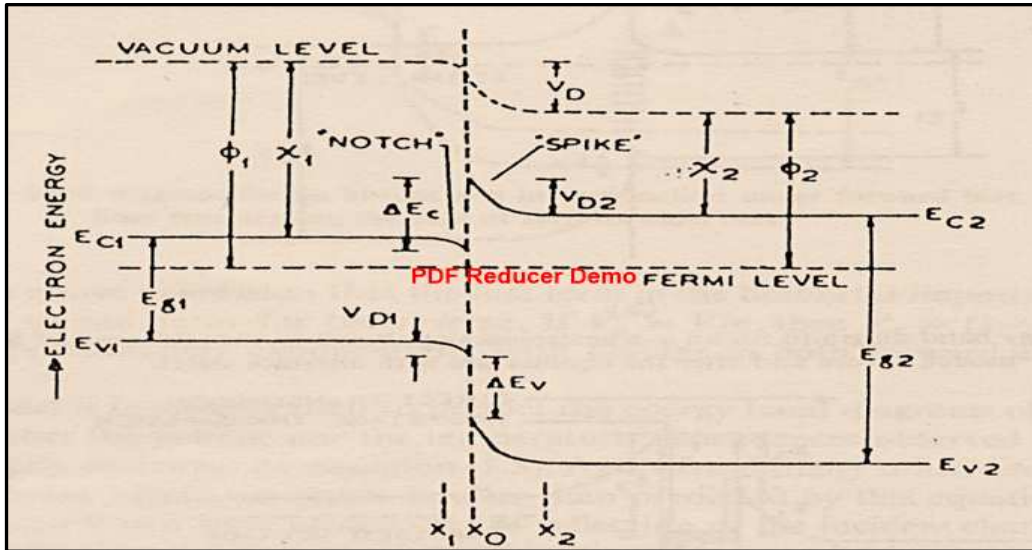
## (2-13-2) المفارق الهجينة الحادة المتماثلة Abrupt Isotype Heterojunctions

يختلف المفارق الهجين المتماثل عن المفارق الهجين غير المتماثل بأن التوصيلية الكهربائية على جانبي المفارق تكون متماثلة ، بمعنى أنها (من النوع نفسه) وهي إما أن تكون (n-n) وإما أن تكون (p-p) . لقد تمت دراسة التحليل النظري لهذا النوع من المفارق من قبل عدد من الباحثين منهم ( Anderson و Chandra و Chang ) [86] .

يبين الشكل (11-2) مخطط الطاقة لمفارق هجين متماثل نوع (n-n) ، حيث يتضح من الشكل أن دالة الشغل ( $\phi$ ) للمادة ذات فجوة الطاقة العريضة هي اصغر من دالة الشغل للمادة ذات فجوة الطاقة الضيقة ، لذا فان حافات حزم الطاقة سوف تنحني بنحو معاكس عما هو عليه الحال في حالة المفارق غير المتماثل (n-p) او (p-n) مكونة بذلك حافة حادة (spike) او نتوء (Notch) عند حافة حزمة التوصيل عند السطح البيني الفاصل [85].

لقد تم اقتراح عدة نماذج لتفسير ميكانيكية انتقال حاملات الشحنة في المفارق الهجينة الحادة المتماثلة ومن هذه النماذج [81,87] :-

1. أنموذج الانبعاث Emission Model
2. أنموذج الانتشار Diffusion Model
3. أنموذج الاختراق Tunneling Model
4. أنموذج ثنائي شوتكي المزدوج Double-Schottky-Diode Model .



الشكل (11-2) مخطط حزم الطاقة لمفارق هجين متماثل (n-n) في حالة التوازن [81]

## Graded Heterojunctions

## (3-13-2) المفارق الهجينة المتدرجة

يعرف المفارق الهجيني المتدرج (Graded Heterojunction) بأنه المفارق الذي تكون فيه حزم الطاقة مستمرة عند السطح البيني الفاصل ، ولقد قام الباحثان (Oldham و Milnes) بتوضيح تركيب هذا الأنموذج من المفارق الهجين وتأثير تدرج المفارق مع الأخذ بالحسبان الاختلاف في كل من فجوة الطاقة والألفة الالكترونية في منطقة النضوب في أثناء عملية التصنيع. وبينما أن حركة حاملات الشحنة في هذه المفارق تحدد أيضاً بوساطة المجال الكهربائي الداخلي [81] .

## (4-13-2) العوامل المؤثرة على كفاءة المفارق الهجين المصنع

### parameters Effects on The Heterojunction Efficiency

عند تصنيع المفارق الهجين من مادتين شبه موصلتين مختلفتين في خصائصهما الفيزيائية فإن هنالك عوامل رئيسية هامة سوف تؤثر في خصائص المفارق المصنع ومن هذه العوامل هي [81,88] :-

#### Lattice Mismatch ( $\Delta$ )

#### 1. عدم التطابق (التمائل) الشبكي

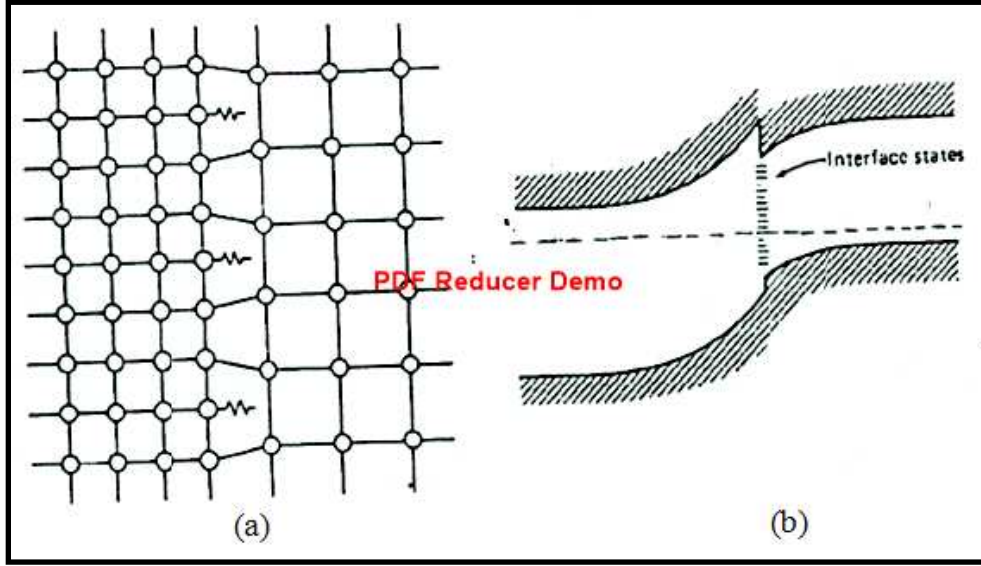
يعرف عدم التطابق الشبكي بأنه اختلاف في ثابت الشبكة البلورية ( $a$ , Lattice Constant) للمادتين شبه الموصلتين المكونتين للمفارق بسبب اختلاف البنية البلورية لكل منهما ، وبناءً على ذلك يظهر عدم التوافق الشبكي عند تصنيع المفارق الهجين دون المفارق المتجانس ، ذلك أن التركيب البلوري للأخير يكون متوافقاً على امتداد المفارق [89] .

يبين الشكل (2-12) مفرقاً مكوناً من مادتين لهما الشبكة البلورية نفسها إلا انهما مختلفتان في ثابت الشبكة لهما حيث يلاحظ من الشكل ظهور عيوب عند السطح البيني للمفارق من جراء عدم الموائمة بين الشبكتين المتلامستين ، الأمر الذي يسمح لهذه العيوب بإنشاء مستويات طاقة مسموحة تقع ضمن منطقة الاستنزاف ، إذ تعمل بدورها كمراكز إعادة اتحاد لحاملات الشحنة (ازواج الكترون – فجوة) خلال عملية نقل التيار عبر المفارق ، الأمر الذي يؤثر سلباً على أداء النبيطة المصنعة .

إن درجة التطابق الشبكي تعتمد على ثابت الشبكة للمادتين الأساس ( $a_s$ , Substrate) والفوقية ( $a_e$ , Epitaxy) وان أي اختلاف في ثابت الشبكة للمادتين سيؤدي الى ما يسمى بـ (اللاتوافق الشبكي) والذي يعطى بالعلاقة الآتية [81] :-

$$\text{Lattice mismatch } (\Delta) = \frac{|a_e - a_s|}{a_e} \times 100\% \dots\dots\dots (40-2)$$

ان عدم التطابق الشبكي بمقدار (1%) أو اكثر يتسبب في نشوء انخلاعات عدم الموازنة ( عيوب السطح البيني ) والتي من شأنها التقليل من كفاءة النبيطة المصنعة .



الشكل (12-2) [89]

(a) العيوب الناتجة من عدم التوافق عند السطح البيني بين شبكتين .

(b) حالات عيوب مناظرة في الفجوة المحظورة والناتجة من عدم التوافق هذا .

### Thermal Mismatch

### 2. عدم التوافق الحراري

يظهر تأثير هذا النوع من اللاتوافق عند درجات الحرارة العالية نتيجة لاختلاف معامل التمدد الحراري لكل من المادتين المكونتين للمفرق لیتسبب ذلك في تكوين الانخلاعات والتي يمكن ان تظهر أيضاً في أثناء عملية التبريد السريع (المفاجئ) من درجات الحرارة العالية [90] .  
كذلك يمكن أن يتسبب انعدام التوافق الحراري في تقشر الطبقة المرسبة أو تشققها ولتقليل تأثير ذلك عادة ما يتم اللجوء الى طريقة التبريد البطيء او محاولة تنمية الطبقات عند درجات حرارة انماء واطنة [82] .

## Interdiffusion

## 3. الانتشار الداخلي

يظهر تأثير الانتشار عند تصنيع مفرق هجين مكون من مادتين إحداهما أو كلاهما عبارة عن مركب من مركبات أشباه الموصلات ، فعند حدوث عملية الانماء سوف تنتشر العناصر المكونة لتلك المركبات وشوائبها عند السطح البيني للمفرق مما يغير ذلك من الطبيعة الحادة للمفرق الهجين الناتج مسبباً ظهور الانخلاعات عند السطح البيني للمفرق الناتج يضاف الى ذلك انه قد يتسبب في تكوين مفرق متجانس على جانب واحد أو كلا الجانبين عند السطح الفاصل للمفرق الهجين ، وهذا التأثير يمكن أن يُقلل باستعمال درجة حرارة إنماء منخفضة [5,81] .

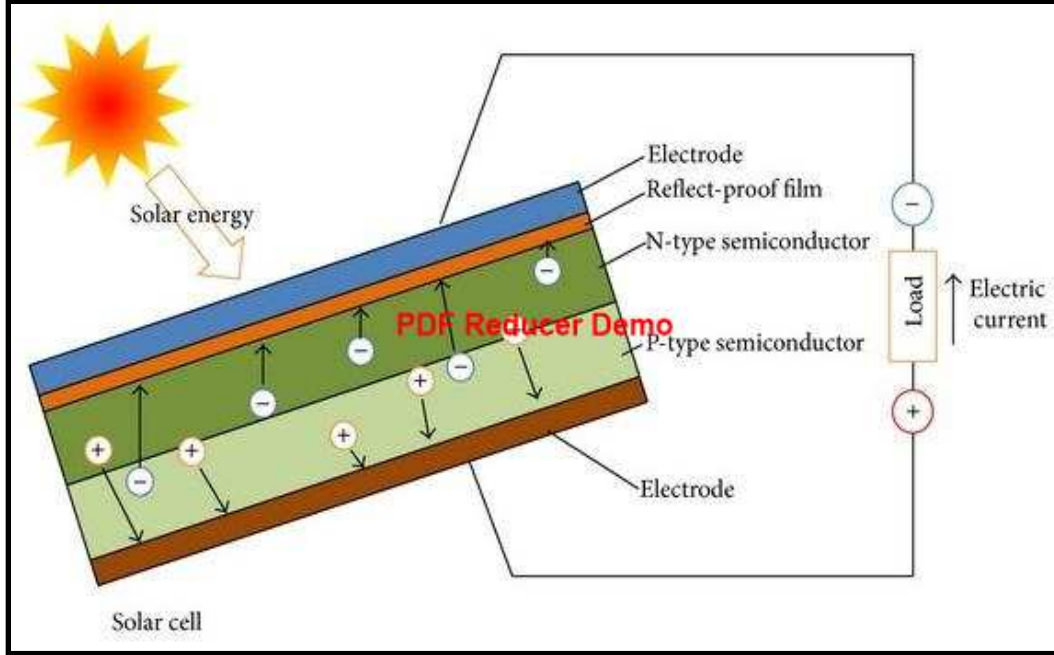
## Solar cell

## (14-2) الخلية الشمسية

تعرف الخلية الشمسية ( أو البطارية الشمسية ) بأنها شريحة الكترونية ثنائية الوصلة مصنوعة من مواد شبه موصلة تقوم بتحويل فوتونات الشعاع الكهرومغناطيسي الساقط عليها مباشرة من قبل الشمس الى جهد كهربائي يتسبب في مرور تيار كهربائي مستمر بالدائرة الخارجية والذي يمكن ان يحول الى تيار متناوب او يتم تخزينه في بطاريات لاستعمالات اخرى .

يعتمد مبدأ عمل الخلايا الشمسية على كونها مصدراً من مصادر الطاقة المتجددة غير النافذة على سطح الارض ، فإذا ما تم توصيل هذه الخلايا مع بعضها البعض وتركيبها في لوح واحد فأنها سوف تكون ما يسمى باللوح الشمسي ، حيث تبدأ بتجهيز الحمل بالتيار بمجرد ان تتعرض لأشعة الشمس المباشرة ، وذلك بأن تتولد أزواج (الكترن - فجوة) على جانبي الملتقى بتأثير كمات الضوء الساقط لتتجمع بذلك الشحنات السالبة المتولدة عند الطرف (N) والشحنات الموجبة المتولدة عند الطرف (P) من الوصلة ناتجاً عن ذلك فرق جهد كهربائي بين القطبين مودياً الى سريان التيار في الدائرة الخارجية ومنه الى الحمل وكما مبين ذلك في الشكل (2-13) [89] .

اما اذا لم يكن مصدر الاضاءة هو الشمس ( كأن يكون ضوء مصباح الهالوجين او الضوء الصناعي مثلاً ) فعندئذ تسمى الخلايا المصنعة بالخلايا الضوئية وبنفس مبدأ عمل الخلايا الشمسية تماماً ، باستثناء أن الطيف الساقط عليها سيكون أغلبه ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي .



الشكل (13-2) آلية توليد التيار الكهربائي في الخلية الشمسية [89]

## Solar Radiation

## (15-2) الإشعاع الشمسي

يدعى (معدل الطاقة الشمسية الساقطة بصورة عمودية على وحدة المساحة خارج الغلاف الجوي وعند متوسط المسافة ما بين الشمس والأرض) بالثابت الشمسي (Solar Constant) وقيمته مساوية الى  $(1353W/m^2)$  ، فعند مرور أشعة الشمس عبر الغلاف الجوي فإن شدتها سوف تتناقص نتيجة لامتناس جزء منها أثناء مرورها في طبقات الجو المختلفة ، فضلا عن تشتت جزء منها واستطارتته من قبل بخار الماء وذرات الغبار العالقة في الجو [5] .

إن مقدار التناقص الحاصل في شدة الأشعة الشمسية الواصلة الى الأرض يعتمد على طول مسار الأشعة ضمن الغلاف الجوي وكذلك على طبيعة الغلاف الجوي المحيط بهذا المسار ، حيث يتم التعبير عن طول المسار المقطوع من قبل أشعة الشمس ضمن الغلاف الجوي بما يعرف بـ كتلة الهواء (Air Mass) ويرمز له " AMX " إذ يمثل العامل (x) درجة كتلة الهواء، وهي معلومة ضرورية لمعرفة مدى كفاءة عمل الخلايا الشمسية في ظل ما يصلها من إشعاع شمسي [91].

يوضح الشكل (14-2) منحنيات الطيف للإشعاع الشمسي ، إذ يمثل المنحني العلوي الطيف الشمسي خارج الغلاف الجوي ، حيث يشار إليه بكتلة الهواء صفر ( AM0 ) ( Air Mass Zero) والذي يُؤخذ بالحسبان في التطبيقات الخاصة بالتوابع والسفن الفضائية.

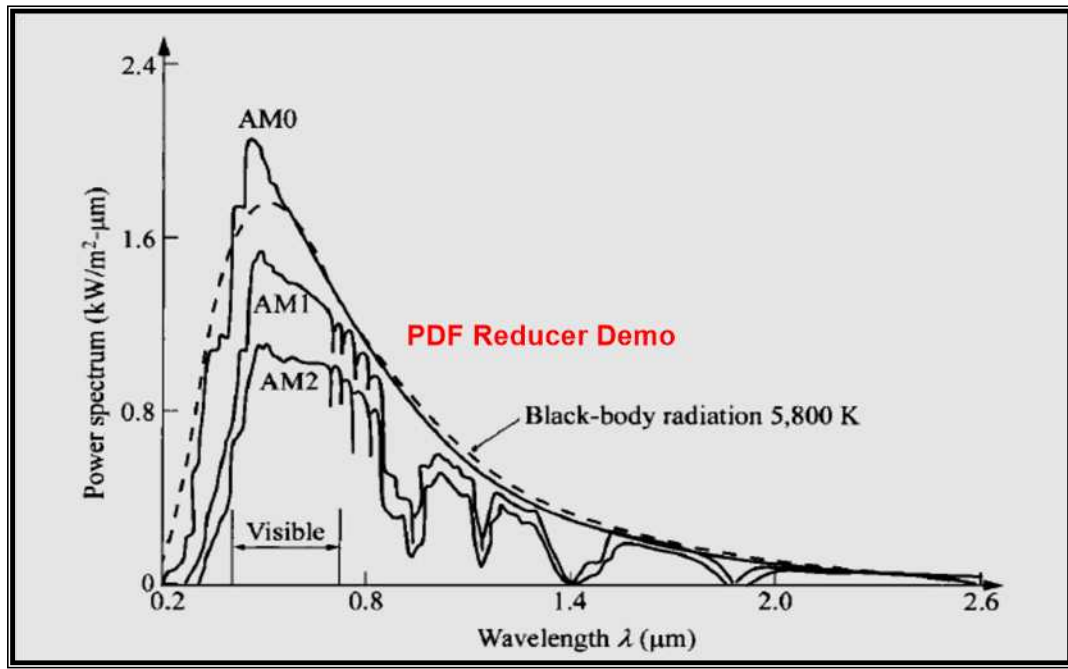
أما كتلة الهواء واحد ( AM1 ) فتمثل الطيف على سطح الأرض عندما تكون الشمس عمودية فوق الرأس ، وعندها تكون القدرة الساقطة بحدود ( 925 W/m<sup>2</sup> ) وأن هذا الفرق سببه التوهين الجوي لضوء الشمس والنتاج عن امتصاص الأشعة فوق البنفسجية في طبقة الأوزون والى الاستطارة الناشئة عن ذرات الغبار والرداذ في الجو [5] .

تُعد كتلة الهواء ( AM1.5 ) أوسع مقياس معتمد على سطح الأرض، إذ تكون كثافة القدرة الكلية للإشعاع بحدود ( 1000W/m<sup>2</sup> ) وهي أعلى قدرة شمسية ساقطة على سطح الأرض تقريباً في اغلب مدن العالم ، حيث تصنع الشمس زاوية مقدارها ( 48° ) مع العمود فوق الرأس ، كذلك تعتمد بعض مناطق العالم كتلة الهواء الثانية (AM2) عندما تكون الزاوية التي تصنعها الشمس مع العمود فوق الرأس تساوي (60°) على وفق العلاقة الآتية [89] :-

$$AMX=1/\cos (\Theta).....(41-2)$$

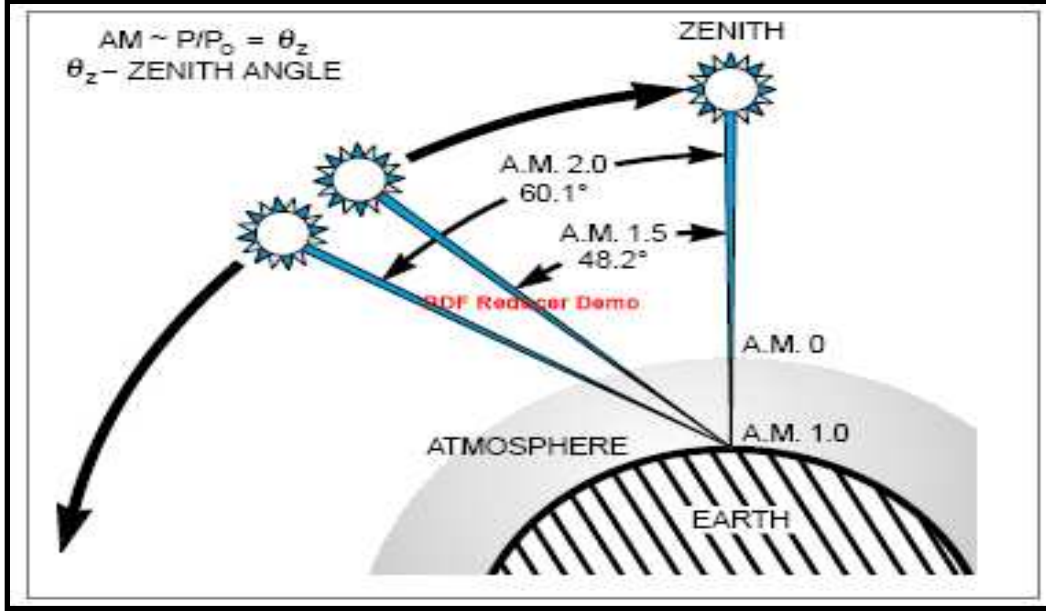
حيث تمثل :-

( $\Theta$ ) : الزاوية بين العمود فوق الرأس وموقع الشمس ، وكما موضح ذلك في الشكل (2-15) .



الشكل (2-14) يوضح منحنيًا إشعاعياً للطيف الشمسي عند AM0 , AM1 [17]





الشكل (2-15) كيفية حساب درجة كتلة الهواء (AMX) عن طريق زاوية ميلان الشمس [92].

## (2-16) الخصائص الكهربائية للمفرك الهجين

### Electrical Characteristics of Heterojunction

تُعد الخصائص الكهربائية واحدة من الخصائص التي تعطي معلومات عن تركيب الحزم للمفرك الهجين وتحديد فائدة النبيلة لتسخير ذلك في التطبيقات العملية والصناعية المناسبة ، وتمثل في قياس خصائص (تيار- جهد) وخصائص (سعة-جهد) .

### (2-16-1) خصائص (تيار- جهد)

إن المعادلة التي تصف خصائص (تيار- جهد) للمفرك الهجين في حالة الظلام للانحياز الامامي تعطى بالعلاقة الاتية [17]:-

$$I_f = I_s \left[ \exp \left( \frac{qV}{\beta k_B T} \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (42-2)$$

وبإهمال المقدار (1) من المعادلة السابقة نحصل على المعادلة الاتية :-

$$I_f = I_s \exp\left(\frac{qV}{\beta k_B T}\right) \dots \dots \dots (43-2)$$

حيث تمثل :-

- .  $\beta$  : عامل المثالية (ideality factor) .
- .  $I_s$  : تيار التشبع ( Saturation current ) .
- .  $I_f$  : تيار الانحياز الامامي (Forward Current) .
- .  $V$  : الفولتية المسلطة (موجبة في حالة الربط الامامي وسالبة في حالة الربط العكسي) .
- .  $T$  : درجة الحرارة بوحدة الكلفن .
- .  $q$  : شحنة الإلكترون .
- .  $K_B$  : ثابت بولتزمان .

تعرف المعادلة أعلاه (43-2) بمعادلة العالم شوكلي وتصف سلوك التيار مع الفولتية (I-V) عند منطقة الفولتيات الواطئة ( $V < 0.4 \text{ Volt}$ ) ، حيث تكون مساهمة التيار في هذه المنطقة ناشئة من عمليات اعادة الاتحاد ، أما في حالة الفولتيات العالية فإن ارتباط الفولتية بالتيار يوصف بالعلاقة الاتية [87] :-

$$I_f \propto \exp(AV) \exp(BV) \dots \dots \dots (44-2)$$

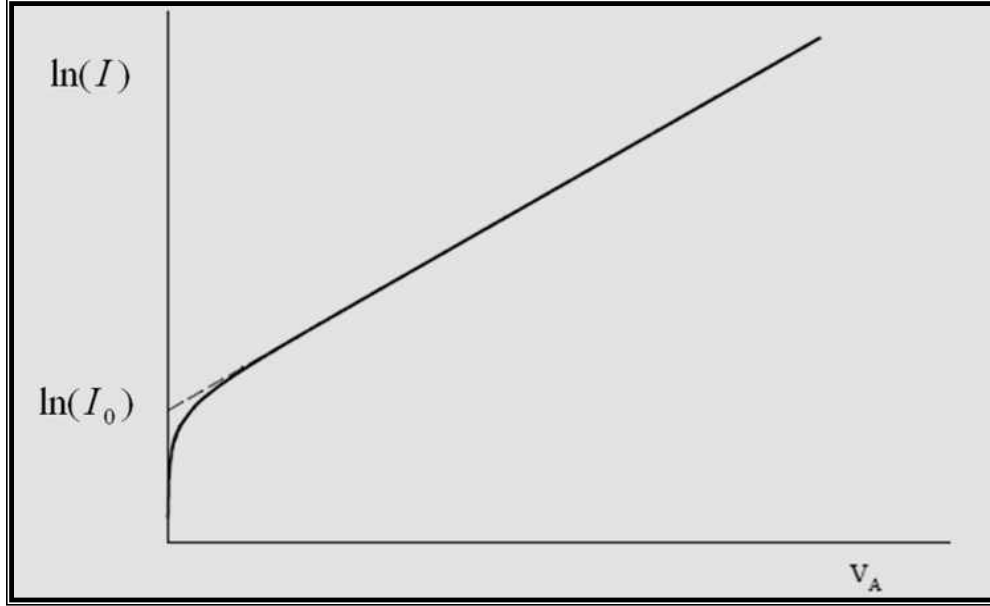
إذ إن  $A$  و  $B$  ثابتان غير معتمدين على درجة الحرارة والفولتية .

وبالعودة الى المعادلة (43-2) وبأخذ اللوغاريتم الطبيعي لطرفي المعادلة نحصل على :-

$$\ln I_f = \ln I_s + qV / \beta K_B T \dots \dots \dots (45-2)$$

وبرسم العلاقة بين  $\ln(I_f)$  وفولتية التحيز الامامية وكما في الشكل (16-2) يمكن حساب عامل المثالية ( $\beta$ ) عن طريق إيجاد ميل الخط المستقيم الناتج والتعويض عن قيمته بالمعادلة الاتية [17] :-

$$\beta = \frac{q}{k_B T} \frac{dV}{d(\ln I_f)} \dots \dots \dots (46-2)$$



الشكل (16-2) العلاقة بين فولتية التحيز و  $\ln(I)$  [17]

أما بالنسبة الى خصائص (التيار-جهد) للمفارق الهجينة في حالة الانحياز العكسي ، فانها تظهر تناسباً خطياً (  $I_R \propto V$  ) عند الفولتيات القليلة ، أما في حالة الفولتيات العالية فيخضع التناسب للعلاقة (  $I_R \propto V_m$  ) حيث ان  $m \geq 1$  [82] .

### (2-16-2) خصائص (سعة - جهد) Capacitance - Voltage Characteristics

تتم دراسة خصائص (سعة - جهد) وذلك لتحديد نوع المفارق المصنع وحساب الفولتية الداخلية له وفي حساب سعة المفارق وتركيز حاملات الشحنة فيه ، فضلاً عن احتساب ارتفاع حاجز الجهد وعرض منطقة الاستنزاف (W) ، ففي حالة الانحياز الأمامي يسري تيار كبير عبر المفارق مع وجود عدد كبير من الحاملات المتحركة في المنطقة ، ولذلك تُجرى القياسات في حالة الانحياز العكسي. إن قيمة السعة لمفارق هجين غير متماثل تعطى بالعلاقة الآتية [17,92] :

$$C = \left[ \frac{q (N_n N_p \epsilon_n \epsilon_p)}{2 (\epsilon_n N_n + \epsilon_p N_p)} \right]^{1/2} (V_{bi} - V)^{-1/2} \dots\dots\dots(47-2)$$

حيث تمثل :-

- $N_p$  و  $N_n$  : تركيز المانحات والقابلات على التوالي .
- $\epsilon_p$  و  $\epsilon_n$  : السماحية للمادتين المانحة والقابلة على التوالي .
- $V$  : الفولتية العكسية المسلطة .
- $V_{bi}$  : جهد البناء الداخلي .
- $q$  : شحنة الالكترون .
- $C$  : السعة .

ومن رسم العلاقة بيانياً بين قيم مقلوب مربع السعة ( $1/C^2$ ) على المحور (y) كدالة للفولتية العكسية المسلطة نحصل على الشكل (2-17) والذي يستدل من العلاقة الخطية الناتجة فيه ان المفروق الهجين المصنع هو من النوع الحاد (Abrupt) ، وأن تقاطع امتداد الخط البياني الناتج مع احداثي الفولتية يعطي قيمة جهد البناء الداخلي للمفروق ( $V_{bi}$ ) ، أما تقاطعه مع إحداثي مقوب مربع السعة فيعطي سعة المفروق ( $C_0$ ) ، أما ميل الخط البياني الناتج والمتمثل بالكمية الفيزيائية ( $dC^{-2}/dV$ ) فمنه يتم إيجاد تركيز حاملات الشحنة وذلك باعتماد المعادلة الآتية [86]:-

$$\text{Slope} = \left( \frac{d C^{-2}}{d V} \right) = - \left[ \frac{2(\epsilon_n N_n + \epsilon_p N_p)}{q A^2 (N_n N_p \epsilon_n \epsilon_p)} \right] \dots\dots\dots(48-2)$$

حيث تمثل (A) : مساحة المفروق .

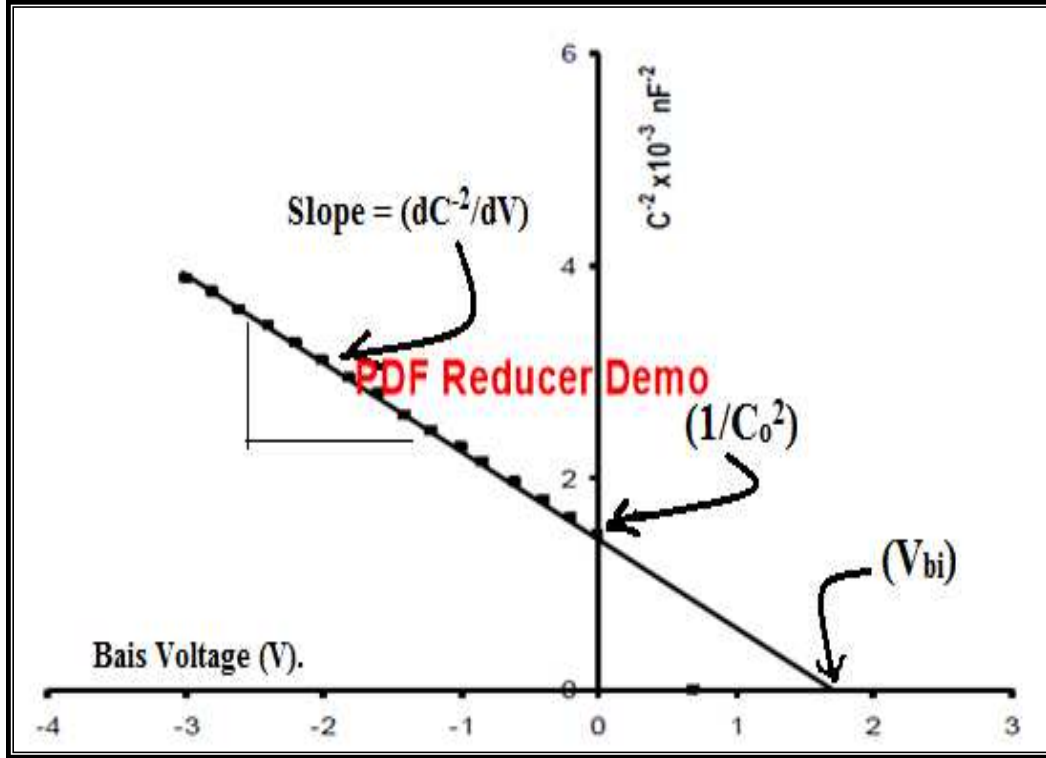
اما عرض منطقة النضوب (W) للمفروق ، فيتم الاستعانة بالمعادلة التالية لإيجاد قيمته وكما يأتي :-

$$W = \epsilon_s / C_0 \dots\dots\dots(49-2)$$

حيث تمثل :-

- $(C_0)$  : السعة عند فولتية تحييز تساوي صفراً .
- $(\epsilon_s)$  : محصلة السماحية الكهربائية للمفروق الهجين وتعطى بالمعادلة الآتية [5] :-

$$\epsilon_s = \frac{\epsilon_n \epsilon_p}{\epsilon_n + \epsilon_p} \dots\dots\dots(50-2)$$



الشكل (17-2) مخطط خصائص (C-V) لمفروق هجين تحت الانحياز العكسي [87]

### Solar Cell Output Parameters

### (17-2) معالم خرج الخلية الشمسية

تُعمد عادة أربعة معالم لدراسة ما ينتج عن الخلية الشمسية ، وهي تيار الدائرة القصيرة " short circuit current " ، وفولتية الدائرة المفتوحة " open circuit voltage " وعامل الملء " fill factor " والكفاءة التحويلية " Conversion Efficiency " .

### Short-Circuit Current (I<sub>sc</sub>)

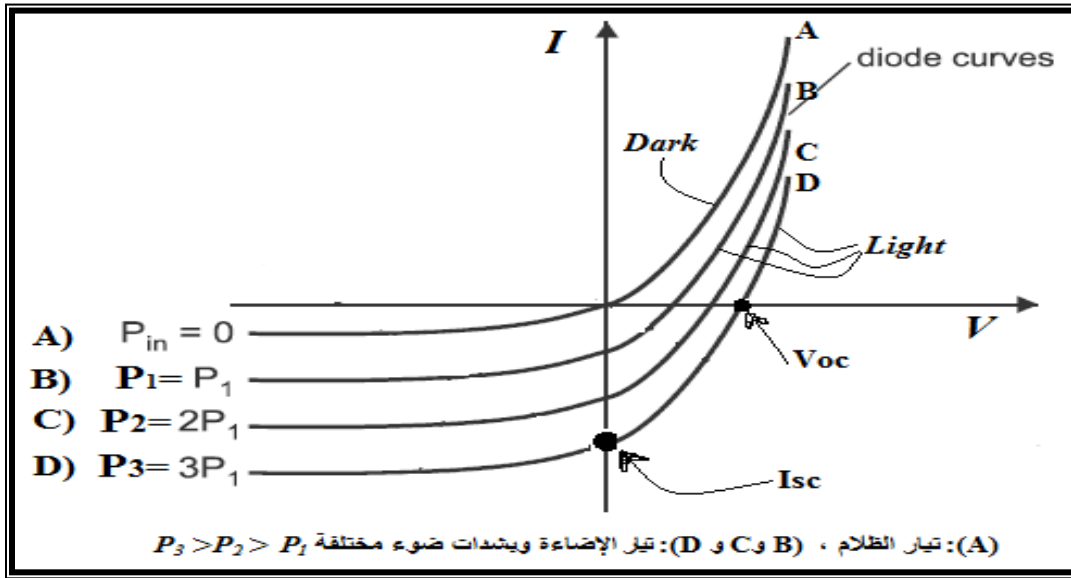
### (1-17-2) تيار الدائرة القصيرة

ويمثل مقدار التيار المار في المفروق الهجين كدالة لشدة الضوء الساقط في حالة غياب جهد الانحياز الخارجي المسلط ، وذلك عندما يكون طرفاها متصلين كهربائياً ، أي أن المقاومة بينهما تساوي صفراً . وكما في الشكل (18-2) [81,87].

**Open-Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )**

**(2-17-2) فولتية الدائرة المفتوحة**

تعرف بأنها الفولتية المتولدة في الخلية الشمسية عندما يكون طرفاها منفصلين كهربائياً ، أي أن المقاومة بينهما عملياً ما لا نهاية ، وتقاس عندما تكون مقاومة الحمل المربوط مع المفرك الهجين كبيرة جداً والتي تعمل بدورها على جعل كثافة التيار المار عبر المفرك ( $J=0$ ) وعندها تكون ( $V=V_{oc}$ ) وكما مبين ذلك في الشكل (18-2) [87] .



الشكل(18-2) مخطط خصائص (I-V) لمفرك هجين [87]

(A) قبل الإضاءة (ظلام) ، (B,C,D) بعد الإضاءة بشدهات ضوء مختلفة .

**Fill Factor**

**(3-17-2) عامل الملء (F.F)**

يعرف عامل الملء (F.F) بأنه مقدار المساحة التي يملؤها منحنى (I-V) للخلية الشمسية وهو مقياس للقدرة التي يمكن الحصول عليها من الخلية الشمسية ، حيث يمثل النسبة بين القدرة المستفاد منها إلى القدرة الحقيقية ( $J_m V_m / J_{sc} V_{oc}$ ) ويعطى بالمعادلة الآتية [87] :-

$$F.F = \frac{J_m V_m}{J_{sc} V_{oc}} \dots \dots \dots (51-2)$$

$$F.F = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} = \frac{P_m}{V_{oc} I_{sc}} \dots\dots\dots(52-2)$$

حيث تمثل :

$J_m$  : أعلى قيمة لكثافة التيار .

$V_m$  : أعلى قيمة للفولتية .

$J_{sc}$  : كثافة تيار الدائرة القصيرة .

$V_{oc}$  : فولتية الدائرة المفتوحة .

$I_m$  : أعلى قيمة للتيار .

### Conversion Efficiency

### (4-17-2) كفاءة التحويل

هي النسبة بين أعظم قدرة كهربائية خارجة من الخلية إلى القدرة الضوئية الساقطة عليها وتعطى

بالمعادلة الآتية [17]:-

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100\% = \frac{I_m V_m}{P_{in} A} \times 100\% \dots\dots\dots (53 - 2)$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} I_{sc} F.F}{P_{in} A} \dots\dots\dots (54 - 2)$$

حيث إن:-

$(P_{in})$  : قدرة الأشعة الشمسية الساقطة ، التي تساوي  $(100 \text{ mW/cm}^2)$ ، وتصنع الشمس في هذه الحالة

زاوية مقدارها  $(48^0)$  مع الأفق والتي تسمى (AM1.5).

$(A)$  : المساحة الفعالة للخلية الشمسية بوحدة  $(\text{cm}^2)$

$(P_m)$  : أعلى قدرة خارجة من الخلية .

$(V_{oc})$  : فولتية الدائرة المفتوحة .

$(I_{sc})$  : تيار الدائرة القصيرة .

$(F.F)$  : عامل الملء .

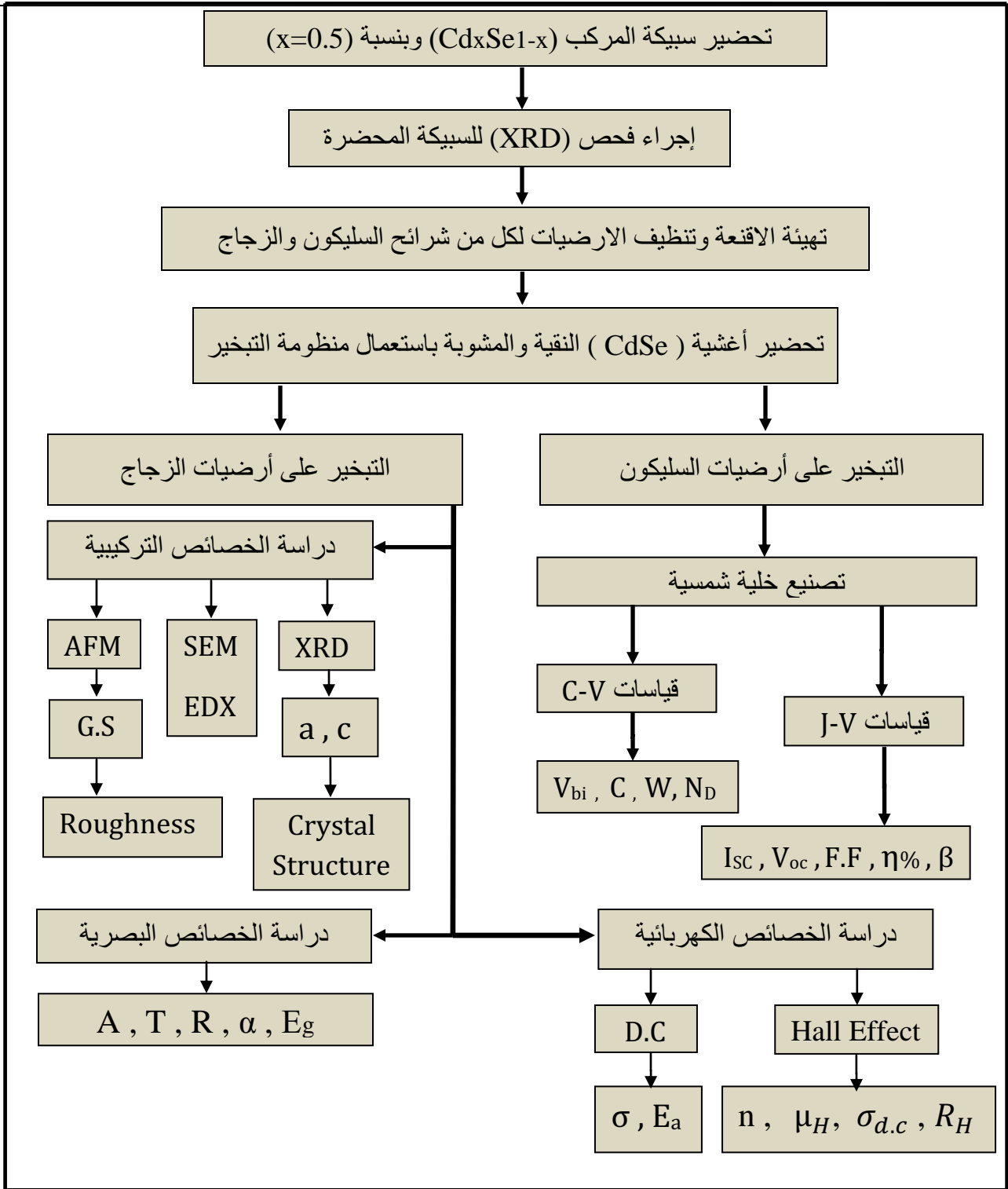
# الفصل الثالث

الجانب العملي



**introduction****(1-3) المقدمة**

يتضمن هذا الفصل عرضاً للطريقة التي تم فيها الحصول على سبيكة المركب الثنائي سيلينايد الكاديوم ومن ثم كيفية تحضير الأغشية الرقيقة وذلك بإعطاء وصفا موجزاً لأجزاء منظومة التبخير الحراري المستعملة وكيفية تحضير الأغشية فيها بدءاً من عملية تهيئة العينات ومراحل تنظيفها مرورا بظروف التبخير المعتمدة أثناء عملية ترسيب الغشاء الرقيق ولغاية تصنيع المفرك الهجين ودراسة خصائصه ، فضلاً عن وصف الاجهزة المستخدمة في الفحوصات التركيبية والقياسات البصرية والكهربائية للنماذج المحضرة ، والشكل (1-3) يمثل خطوات العمل المتبعة في هذه الدراسة .



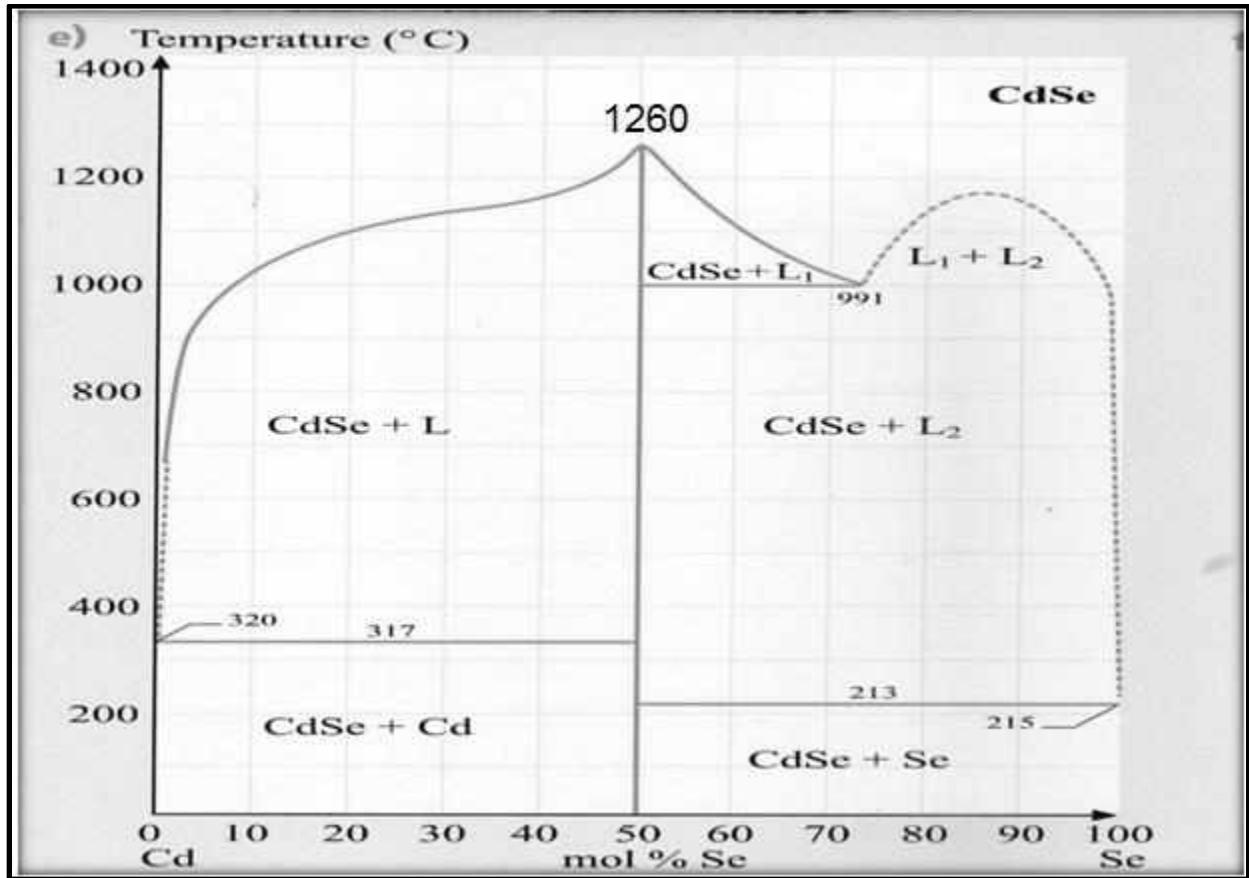
الشكل (1-3) مخطط الخطوات المتبعة في الجانب العملي

## Phase diagram

## (2-3) المخطط الطوري

يعرف المخطط الطوري بأنه عبارة عن مخطط هندسي بياني بأبعاد ثنائية أو ثلاثية ، يصف ظروف الاتزان الترموديناميكية من ضغط وحجم ودرجة حرارة لنظام مكون من مادة واحدة كالماء مثلا أو مكون من عدة عناصر مجتمعة مع بعضها البعض كما هو الحال في السبائك ، وذلك عندما يتغير عامل أو عاملان من العوامل الترموديناميكية ( كتغير التركيز بتغير درجة الحرارة ) مع بقاء العامل الثالث ثابتا ( الضغط ) .

يمتاز المخطط الطوري بأهميته في تزويدنا بمعلومات عن درجة انصهار السبيكة المراد تحضيرها وكذلك درجة انصهار كل عنصر من عناصرها وعن حالة السبيكة فيما إذا كانت صلبة أم سائلة عند درجة حرارة معينة وطبيعة تركيبها البلوري وعدد الاطوار المستقرة وظروف اتزانها ونسبة كل طور فيها [93] ، ويوضح الشكل ( 2-3 ) المخطط الطوري للمركب الثنائي سيلينيد الكاديوم بدلالة تغير درجة الحرارة وعند ضغط ثابت ( الضغط الجوي ) .



الشكل (2-3) المخطط الطوري لمادة سيلينيد الكاديوم [15] .

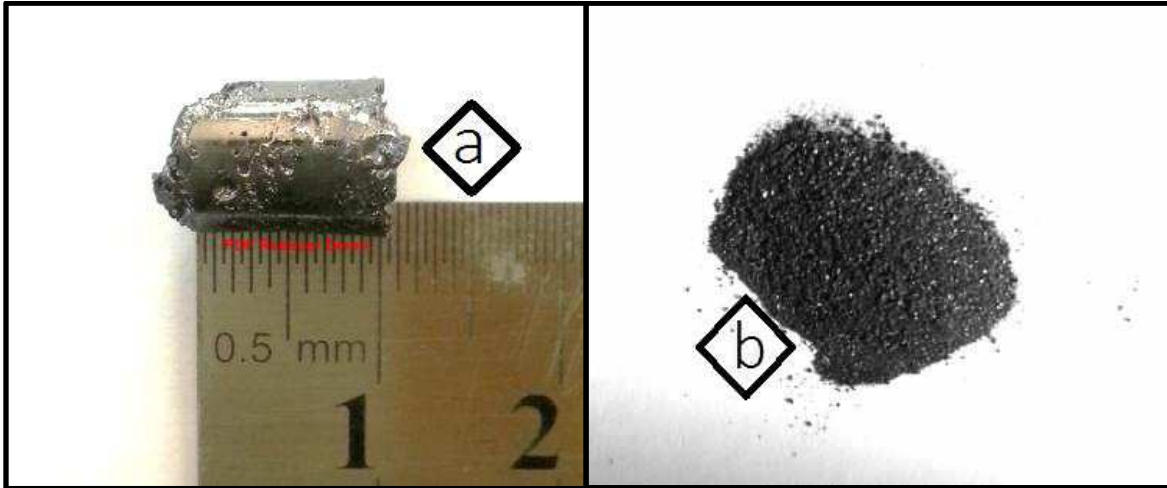
**CdSe Alloy Preparation****(3-3) تحضير سبيكة (CdSe)**

تم تحضير سبيكة المركب الثنائي سيلينايد الكاديوم (CdSe) بعدة خطوات هي :-

1- جهزت عناصر المركب (CdSe) من شركة ( Fluka ) الألمانية وبنقاوة (99.998%) بحيث تحقق النسبة الوزنية المتكافئة ( 50% : 50% ) لكل من عنصري الكاديوم (Cd) والسيلينيوم (Se) على التوالي اي (Se<sub>50</sub> Cd<sub>50</sub>) وبواقع (3gm) للسبيكة ككل وذلك باستخدام ميزان الكتروني حساس من نوع ( Precisa ) ذي أربع مراتب عشرية .

2- وضعت الاوزان المكافئة للنسب الوزنية أعلاه والمساوية الى (1.762gm) و (1.238gm) لعنصري الكاديوم والسيلينيوم على التوالي في انبوبة زجاجية من الكوارتز بقطر داخلي مقداره (1.1cm) وذات طول (30cm) وذلك لتفادي انفجارها بسبب ضغط بخار السيلينيوم العالي ، وذلك بعد أن تم تنظيفها جيدا بوساطة الماء والصابون السائل متبوعا ذلك بالكحول ، ومن ثم غلقها من احد طرفيها بوساطة الشعلة ( الاوكسي استيلينية ) ليم تفريغها من الهواء باستخدام المضخة الدوارة (Rotary Pump) وما أن يصل مقدار الضغط في داخلها بحدود ( $10^{-3}$  torr) عندئذ يغلق طرفها الاخر بإحكام ، ومن ثم توضع في فرن كهربائي لتكون جاهزة بذلك لعملية الحرق .

3- وضعت العينة الزجاجية بصورة مائلة داخل فرن حراري من نوع (Carbolite) وذلك لصهر مكوناتها بمعدل تدرج حراري مقداره ( 5°C / min ) ، ومن وصول درجة الحرارة داخل الفرن الى درجة حرارة اكبر من درجة انصهار المركب بقليل (1260°C) اعتمادا بذلك على المخطط الطوري للمركب ، تم حساب زمن مكوث للعينة مقداره ثلاث ساعات مع تحريكها بين مدة وأخرى وذلك لضمان تجانس الخليط خلال عملية الصهر ، ومن ثم تم تبريدها باستعمال طريقة التبريد البطيء للمنصهر، بعدها تم كسر العينة لاستخراج سبيكة المركب منها ، حيث خضعت السبيكة المحضرة لفحوصات حيود الاشعة السينية للتأكد من كونها المادة المطلوبة ، ومن ثم طحنت بوساطة طاحونة مختبرية ( glass mortar ) للحصول على مسحوق المادة ليكون جاهزا بذلك للفحوصات التركيبية وتحضير الاغشية منه ، ويوضح الشكل (3-3) شكل السبيكة المحضرة مع مسحوقها .



الشكل (3-3): (a) سبيكة المادة المحضرة بطول (1cm) ، (b) مسحوقها

### Thin Films Preparation Methods

### (4-3) طرائق تحضير الأغشية الرقيقة

نتيجةً للتطور العلمي والريادة التكنولوجية الواسعة التي شهدتها تقنية الأغشية الرقيقة في مجالات الصناعة الالكترونية والبصرية ، تطورت طرائق تحضير الأغشية الرقيقة ، وأصبحت تُحضّر في الوقت الحاضر بشتى الطرائق والتقنيات العلمية المتقدمة ، أما بالنسبة إلى اتباع طريقة معينة من دون أخرى في تحضير نوع معين من أنواع الأغشية فيعود ذلك إلى طبيعة ونوع المادة المستعملة في تحضير ذلك الغشاء أولاً ، وإلى ظروف الترسيب من ضغط ودرجة حرارة ومعدل ترسيب ثانياً ، ويمكن تصنيف طرائق تحضير الأغشية الرقيقة إلى :-

### Chemical Methods

### أولاً : الطرائق الكيميائية

في هذه الطرائق يتم تحضير الأغشية الرقيقة من محاليل موادها الأساسية أو محاليل مركباتها

الكيميائية وتشمل ما يأتي [87,94] :-

### Electrical Deposition

### 1. الترسيب الكهربائي

ويتضمن :-

### Electrolytic Deposition

I . الترسيب بالتحلل الكهربائي

### Anodic Oxidation

II . أكسدة الأنود

Chemical Vapor Deposition	2 . طريقة ترسيب بخار العنصر كيميائياً وتتضمن هذه الطريقة عدّة طرائق منها :-
Chemical Spray Pyrolysis	I . الرش الكيميائي الحراري
Laser chemical vapor deposition	II . ترسيب بخار العنصر بالليزر
Transfer Reaction	III . تفاعلات التحويل
Polymerization	IV . البلمرة
<b>Physical Methods</b>	<b>ثانياً : الطرائق الفيزيائية</b> وتشمل [81,94] ما يأتي :-
Physical Vapor Deposition	1 . الترسيب الفيزيائي للبخار تتم عملية الترسيب في هذه الطريقة تحت ضغط منخفض جداً (فراغ) ، وتتنوع هذه الطريقة من حيث أسلوب التبخير المتبع فيها لتشمل ما يأتي :-
Resistance Heating	I . التبخير عن طريق التسخين بالمقاومة
Electron –Beam Evaporation	II . التبخير بالحزمة الالكترونية
Flash Evaporation	III . التبخير بالوميض
Arc Evaporation	IV . التبخير بالقوس
Laser Evaporation	V . التبخير بالليزر
Sputtering Method	2 . طريقة التريذ وتشمل ما يأتي :-
Reaction sputtering	I . التريذ الفعال
Glow –Discharge sputtering	II . التريذ بالتفريغ الوميض
Ion beam sputtering	III . التريذ بالحزمة الايونية
Cathodic sputtering	IV . التريذ السالب

ولأن طريقة التبخير الحراري في الفراغ عن طريق آلية التسخين بالمقاومة ( Resistance Heating ) هي الطريقة التي تم اعتمادها في تحضير الأغشية قيد الدراسة ، لذا سيتم تناول هذه الطريقة بشيء من التفصيل .

### (5-3) منظومة التبخير الحراري (منظومة الطلاء)

#### Thermal Evaporation System (Coating system )

تم تحضير اغشية سيلينايد الكادميوم الرقيقة بنوعيتها النقي والمشوب وذلك بالاستعانة بمنظومة الطلاء نوع ( Edward 300 ) والمبينة صورتها في الشكل (3-4) حيث تتالف هذه المنظومة من الاجزاء الأساسية الآتية :-

#### Evaporation chamber

#### اولا : حجرة التبخير

تتالف حجرة التبخير بصوره أساسية من :-

- I - الغطاء (The cover) :- يكون بشكل اسطوانة مصنوعة من مادة (Stainless steel) ومجهزة بنافذة زجاجية شفافة ذات قدرة على تحمل درجات الحرارة العالية والضغط الواطئ جدا للترسيب.
- II - اقطاب التسخين (Heating poles) :- يثبت بوساطتها حويض التبخير ويتم تجهيزه بالفولتية اللازمة لتبخير المادة التي يحويها بوساطة محولة كهربائية مربوطة مع الاقطاب على التوازي .
- III - حويض التبخير (Evaporation boat) :- ويتنوع من حيث الشكل ونوع مادة التصنيع ، فأما من حيث المادة فغالبا ما يكون مصنوعا من معدني التنكستن او الموليبدنيوم ، نظراً لما يمتلكانه من درجة انصهار عالية ( $3410^{\circ}\text{C}$  و  $2623^{\circ}\text{C}$ ) على التوالي ، وأما من حيث الشكل فيكون إما بشكل نابض حلزوني كما هو الحال في سلك التنكستن المستعمل لترسيب اقطاب التوصيل الكهربائي (الالمنيوم) ، وإما أن يكون الحويض بشكل صندوق صغير ذي غطاء مثقب او من دون غطاء أو غير ذلك اعتمادا على طبيعة المادة المراد ترسيبها فيما لو كانت ( Bulk or Powder ) ، ولقد استعمل في تحضير الاغشية قيد الدراسة نوعان من الحويضات هما :-

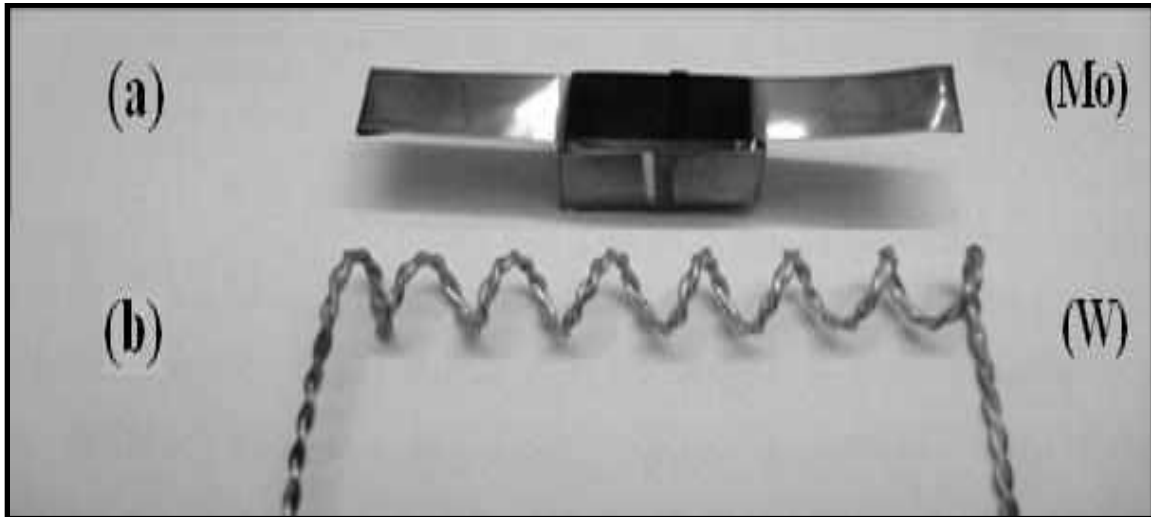
- 1- سلك حلزوني من مادة التنكستن ( W ) لترسيب اقطاب الالمنيوم وكما في الشكل (5-3b).
- 2- حويض مصنوع محليا من معدن الموليبدنيوم ( Molybdenum ) بشكل مكعب مفتوح من الاعلى وذي حجم ( $1\text{cm}^3$ ) لتفادي تطاير المادة من الحويض خلال عملية التسخين ، وكما في الشكل (5-3a) .

IV- حاملة العينات (Substrate holder):- ذات شكل كروي وبنصف قطر تكور مقداره ( $r_0 = 9\text{cm}$ ) وكما موضح في الشكل (6-3a) ، حيث يعد الشكل الكروي أفضل من حاملة العينات المستوية من حيث ان الترسيب على الارضيات سيكون نفسه ولجميع النقاط الواقعة على السطح الكروي ، وهذا يؤدي بالنتيجة الى الحصول على عينات متجانسة وذات سمك غشاء منتظم ومتساو .  
ومن تحريك حاملة العينات على طول مسمار محوري مثبت شاقوليا على ارضية الحجرة ، يتم التحكم بالمسافة العمودية الفاصلة بين العينات ومصدر التبخير ، حيث تم تثبيت العينات على بعد ( $2r_0 = 18\text{ cm}$ ) من حويض التبخير باعتبارها كانت أفضل مسافة تجريبية تم فيها الحصول على أغشية ذات تجانس عالي والتصاق جيد وكما موضح ذلك في الشكل (6-3b) .

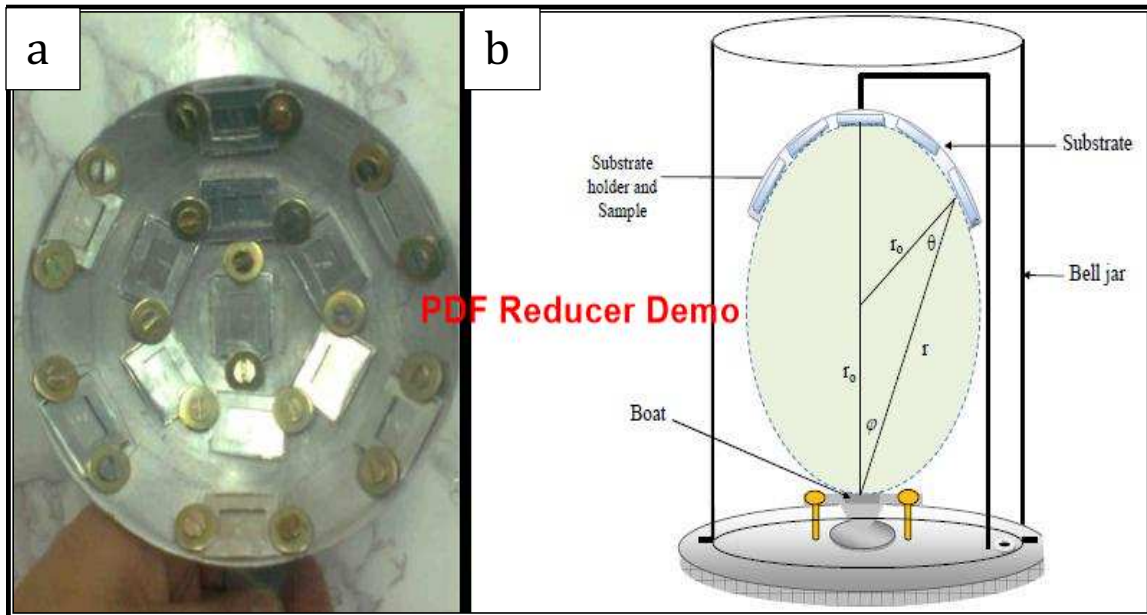


الشكل (3- 4) صورة فوتوغرافية لمنظومة التبخير المستخدمة (Edward)





الشكل (3-5): (a) حويض المولبيدينيوم المُصنَّع لتبخير مادتي الغشاء والشائبة  
(b) حويض التنكستن لتبخير قضبان الألمنيوم (المستخدمة في ترسيب أقطاب التوصيلات الكهربائية).



الشكل (3-6)

(a) حاملة العينات (Substrate Holder) ذات المقطع الكروي المستخدمة في هذه الدراسة.  
(b) مخطط بسيط لحجرة التبخير بعد وضع حاملة العينات ذات المقطع الكروي ( $r_0=9\text{cm}$ ).

## ثانيا : وحدة التفريغ

## Vacuum unit

ان من الشروط الواجب توافرها اثناء عملية تحضير الاغشية ، هو ان يتم تحضيرها في فراغ عالي بحدود (  $1 \times 10^{-6}$  torr ) أو اكثر لضمان عدم حدوث اي تلوث أو اكسدة للغشاء ، ولتحقيق ذلك عادة ما يتم استخدام نوعين اساسيين من المضخات تألفت منهما وحدة التفريغ في المنظومة المستخدمة هما :-

I - المضخة الميكانيكية الدوارة ( Mechanical rotary pump ) :- مضخة مفرغة تعمل على سحب الغازات من داخل حجرة التبخير للحصول على فراغ بحدود (  $10^{-3}$  torr ) والذي يمثل الحد الأدنى من الضغط اللازم الوصول اليه لكي تبدأ المضخة الثانية (الانتشارية) بالعمل على تقليله وصولا الى الضغط المناسب للتبخير .

II - المضخة الانتشارية ( oil diffusion pump ) :- تمتاز هذه المضخة بكونها ذات تفريغ عال جدا ، إذ تعمل على تقليل الضغط داخل حجرة التفريغ الى ما يقارب (  $10^{-6}$  torr ) أو اقل ، وبذلك فهي تعد مكملة لعمل المضخة الدوارة فضلا عن انها تعمل من دون ضوضاء او حركات اهتزازية.

## ثالثا : مقاييس الفراغ

## Vacuum gauges

لأجل قياس درجات التفريغ المطلوب الوصول اليها ، تم استخدام نوعين من مقاييس الفراغ هما :-

1- مقياس بيراني ( Pirani gauge ) : ويعمل ضمن المدى (  $10^{-3}$  - 1 torr ) وبذلك يكون عمله مرافقا لعمل المضخة الميكانيكية الدوارة .

2- مقياس بيننك ( Penning gauge ) : ويعمل ضمن المدى (  $10^{-6}$  -  $10^{-2}$  torr ) وبذلك يكون عمله مرافقا لعمل المضخة الانتشارية .

## رابعا : منظومة التبريد

## Cooling system

ان من المشاكل التي ترافق عمل المضخة الانتشارية هي امكانية حدوث تسريب في دقائق الزيت المتبخر الى داخل حجرة التبخير في أثناء عملية الترسيب ، الأمر الذي يؤثر سلبا على جودة الأغشية المحضرة ونقاوتها وقوة التصاقها بالقاعدة ، وللحيلولة دون حصول ذلك ، يتم معالجة هذه المسألة وذلك بتبريد جدران المضخة إما باستعمال النيتروجين السائل وإما باستعمال الماء المبرد ( والذي استعمل في تبريد المنظومة المستخدمة في هذه الدراسة ) .

**(6-3) تنظيف قواعد الترسيب وتهيئتها Cleaning and preparation substrates**

استعمل في هذه الدراسة نوعان من قواعد الترسيب هما الزجاج والسليكون ، فأما القواعد الزجاجية فكانت ذات سمك (0.1cm) وبأبعاد  $(2.5 \times 2.0) \text{ cm}^2$  حيث قطعت الى أربع قطع متساوية لترسيب الأغشية عليها ، ولما كانت نظافة الأرضيات ذات تأثير كبير في طبيعة تركيب الغشاء المترسب عليها ( فيما إذا كانت تحتوي على شوائب أو ذرات عالقة أو بقع زيتية ) وما لذلك من تأثير في تغيّر الصفات الفيزيائية للأغشية المدروسة ، لذا تُعد عملية تنظيف الأرضيات ( Substrates ) من الأمور الواجب العناية بها من أجل الحصول على أغشية ملائمة للدراسة وبأقل درجة تلوث ممكنة ، وتتم عملية تنظيف الأرضيات الزجاجية بعدة خطوات هي : -

- 1- يتم غسلها أولاً بالماء الجاري وأحد مساحيق التنظيف للتخلص من البقع أو بقايا مواد أو أتربة عالقة بها .
- 2- توضع تحت الماء الجاري لمدة (15) دقيقة لضمان زوال مسحوق التنظيف.
- 3- تُغمر بحوض من الماء المقطر لتُغسل ألياً بوساطة جهاز (Ultrasonic) لمدة (15) دقيقة .
- 4- تُغمر بالحوض نفسه من كحول الإيثانول النقي لتُغسل ألياً بوساطة الجهاز السابق نفسه والمدة نفسها .
- 5- تجفف بعد ذلك بوساطة ورق ترشيح ومن ثم تُعرض لتيار هوائي جاف بوساطة الـ ( Blower ) .
- 6- تُثبت على حامل العينات ، ومن ثم توضع داخل حجرة التبخير لتكون بذلك جاهزة لعملية الترسيب .

اما فيما يتعلق بقواعد السليكون فبعد ان يتم تقطيع شريحة السليكون الى قطع صغيرة مربعة الشكل ذات ابعاد  $(2.5 \times 2.0) \text{ cm}^2$  ، يتم تنظيفها وذلك بغمرها لمدة تتراوح بين دقيقتين الى ثلاث دقائق بمحلول حامض الهيدروفلوريك (HF) المخفف بنسبة ( 1:10 ) بالماء المقطر لضمان إزالة طبقة الاوكسيد المتكونة من جراء الظروف الجوية ، بعدها تغسل بالماء المقطر ومن ثم توضع في جهاز الموجات فوق الصوتية ( Ultrasonic ) لمدة (15) دقيقة ، ومن ثم تجفف لتكون جاهزة بذلك لعملية الترسيب ، ويوضح الجدول (1-3) مواصفات شرائح السليكون المستعملة .

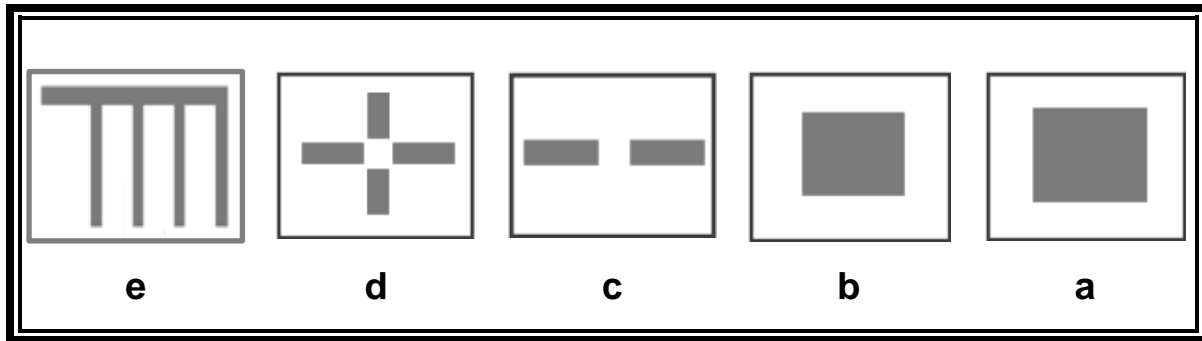
الجدول (1-3) مواصفات شرائح السليكون المستعملة

Made in Germany	المنشأ
100 mm	قطر الشريحة diameter
30 $\Omega$ .cm	المقاومية Resistivity
(111)	الاتجاهية Orientation
525 $\mu$ m	السماك Thickness
P-Type	النوع

### (7-3) تحضير الأقنعة

### Masks Preparation

لأجل الحصول على أغشية ذات شكل يلائم القياسات الخاصة بكل من القواعد الزجاجية والسليكونية على حدٍ سواء تم استعمال الأقنعة ، وهي عبارة عن شرائح رقيقة من النحاس أو الالمنيوم النقيين مساحتها تتلائم ومساحة القواعد المراد ترسيب الغشاء عليها ، يحفر بداخلها أشكال مختلفة الأبعاد والقياسات بحسب مساحة الأقطاب المطلوبة وشكلها لاتمام متطلبات القياسات الكهربائية وغيرها ، وبعد ان يتم تنظيفها بعناية بالماء المقطر والكحول يتم تجفيفها ومن ثم توضع ملاصقة للقواعد الزجاجية او السلكونية لتكون جاهزة بذلك لعملية الترسيب او التقطيب ، والشكل (7-3) يوضح نماذج الاقنعة المستعملة قيد الدراسة .



الشكل (7-3) نماذج مختلفة من الاقنعة: (a) القناع المستعمل لترسيب الغشاء . (b) القناع المستعمل لتحديد المساحة المناسبة للتشويب. (c) القناع المستعمل لترسيب أقطاب التوصيلية المستمرة. (d) القناع المستعمل لترسيب أقطاب تأثير هول. (e) القناع المستعمل لترسيب اقطاب الخلية الشمسية

### (8-3) تحضير أغشية سيلينايد الكاديوم Preparation (CdSe) thin film

حضرت أغشية المركب الثنائي (CdSe) النقية وذلك بوضع الأوزان  $0.6383 \pm 0.0004$  gm حوض (Boat) من معدن الموليبدنيوم ، وبعد وصول الضغط داخل حجرة التبخير الى المقدار  $(0.2128, 0.3546, 0.4965)$  المكافئة لكل سمك قيد الدراسة  $20 \pm (300,500,700,900)$  nm وعلى التوالي في حوض (Boat) من معدن الموليبدنيوم ، وبعد وصول الضغط داخل حجرة التبخير الى المقدار  $(2.2 \times 10^{-5} \text{ torr})$  باستعمال وحدة التغطية من نوع (E306 coating unit) والمجهزة من شركة (Edwards) ، رسبت المادة على الارضيات المثبتة على بعد (18cm) من حوض التبخير بمعدل ترسيب مقداره  $(0.7 \pm 0.1) \text{ nm/sec}$  وبدرجة حرارة الغرفة ( $27^\circ\text{C}$ ) عن طريق تسخين الـ (boat) الى درجة تبخر المادة وذلك بإمرار تيار مستمر عالٍ فيه بواسطة محولة للتيار معدة لهذا الغرض ، وبعد أن تركت العينات داخل حجرة التبخير لتبرد ، تم تهيتها بعد ذلك الى الخطوة التالية ألا وهي قياس السمك ، ومن ثم اجراء الفحوصات المخبرية عليها ودراسة خواصها التركيبية والبصرية والكهربائية .

### (9-3) قياس سمك الاغشية المحضرة Films thickness measurement

تم قياس سمك أغشية سيلينايد الكاديوم المحضرة في هذه الدراسة بطريقتين هما :-

#### Gravimetric method

#### اولا : الطريقة الوزنية

يتم في هذه الطريقة إيجاد كتلة القاعدة الزجاجية قبل ترسيب الغشاء عليها وبعده وذلك باستعمال ميزان الكتروني حساس ذي حساسية لغاية  $(10^{-4} \text{ gm})$  ومن ايجاد الفرق بين الكتلتين وقياس مساحة الغشاء المحضر ومعرفة كثافة مادة الغشاء ، يتم حساب سمك الغشاء المحضر وفقا للعلاقة الموضحة أدناه [5] :-

$$t = \frac{\Delta m}{s \cdot \rho_0} \dots\dots\dots(1-3)$$

اذ تمثل :

$\Delta m$  : الفرق بين كتلة القاعدة الزجاجية قبل ترسيب الغشاء عليها وبعده بوحدة ( gm )

$\rho_0$  : كثافة مادة الغشاء المحضر بوحدة  $(\text{gm/cm}^3)$

S : مساحة نموذج الغشاء المحضر بوحدة  $(\text{cm}^2)$

t : سمك الغشاء المحضر بوحدة (cm)

ومن الجدير بالذكر أن هذه الطريقة تعد غير دقيقة في قياس سمك الغشاء المحضر لكونها ذات نسبة خطأ كبيرة نسبيا ، ولذا غالبا ما يتم اللجوء الى طرائق اكثر دقة في قياس سمك الاغشية المحضرة منها طريقة القياس باعتماد المقياس الطيفي العاكس .

ثانيا : قياس سمك الاغشية المحضرة باعتماد المقياس الطيفي العاكس

### TF Probe Spectroscopic Reflectometer film Thickness Measurement System

أعتمد في هذا البحث قياس سمك الاغشية المحضرة باستخدام المقياس الطيفي العاكس والمجهز من قبل شركة "Angstrom Sun Technologies Inc" والموضح في الشكل (3-8) والذي يعتمد في قياسه للسمك على مبدأ قياس طيف انعكاسية الغشاء المحضر كدالة للطول الموجي ضمن المدى (450-750) nm حيث يتم تمثيل النتائج بيانيا ليتم الحصول على مخطط يمثل سلوك المادة قيد الفحص ضمن المدى المذكور أنفا ، ومن مقارنة القيم الناتجة من الجهاز مع تلك المخزونة في ذاكرة الجهاز ولسمك محدد من المادة نفسها والذي يسمى بـ (Standard Thickness) ، ومن خلال انحدار البيانات الحاصل بين النموذجين المحضر والقياسي باستعمال دالة (Fitting Measurement) يتم قياس سمك الغشاء المحضر فضلا عن قياس بقية الثوابت البصرية الاخرى كمعامل الانكسار والخمود من خلال برنامج معد لهذا الغرض يأتي مرفقا مع الجهاز المذكور أعلاه كقرص مدمج ، ومن الجدير بالذكر ان هذه الطريقة تعد أكثر كفاءة وأكثر دقة في قياس السمك مقارنة بالطريقة الوزنية .



الشكل (3-8) صورة فوتوغرافية للمقياس الطيفي العاكس والمستخدم في قياس سمك الاغشية المحضرة

**Structural measurement**

**(10-3) القياسات التركيبية**

**X-ray diffraction technique**

**(1-10-3) الفحص بتقنية حيود الاشعة السينية**

لغرض التأكد من كون مادة السبيكة المحضرة (قبل عملية الطحن وبعدها) تعود بطبيعتها الى المركب الثنائي سيلينايد الكاديوم ، ولأجل تحديد طبيعة التركيب البلوري للأغشية المحضرة من هذه المادة فيما اذا كانت ذات تركيب بلوري أحادي التبلور (Single crystalline) أو متعدد التبلور (Poly crystalline) أو عشوائية التركيب (Amorphous structure) ، وما على ذلك من تأثير عند الاشابة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) استخدم جهاز حيود الاشعة السينية من نوع (SHIMADZU JAPAN) XRD 600 وذي المواصفات المذكورة أدناه :-

X-RAY

Measure

Target: Cu  $k_{\alpha}$  .

Axis: Theta -2Theta.

Wave length: 1.54060A°.

Scan mode: continuous Scan.

Voltage: 40kv.

Range: 20-80 (deg)

Current: 30mA

Step: 0.0500 (deg)

Speed: 5.0000(deg / min)

ولتحديد نوع التركيب البلوري للأغشية المرسبة يتم مقارنة قيم زوايا الحيود البلوري ( $2\theta$ ) ومعاملات ميلر ( $hkl$ ) وفسح السطوح ( $d$ ) المعطاة من نتائج الفحص بمثيلاتها من القيم المثبتة بالجدول القياسية لبطاقة ( JCPDS ) لمادة الاغشية المحضرة وللنظامين المكعب والسداسي .  
أما لإيجاد ثوابت الشبكة البلورية فيما اذا كانت الاغشية المحضرة ذات النظام البلوري السداسي فيتم تطبيق المعادلة الاتية [65] :-

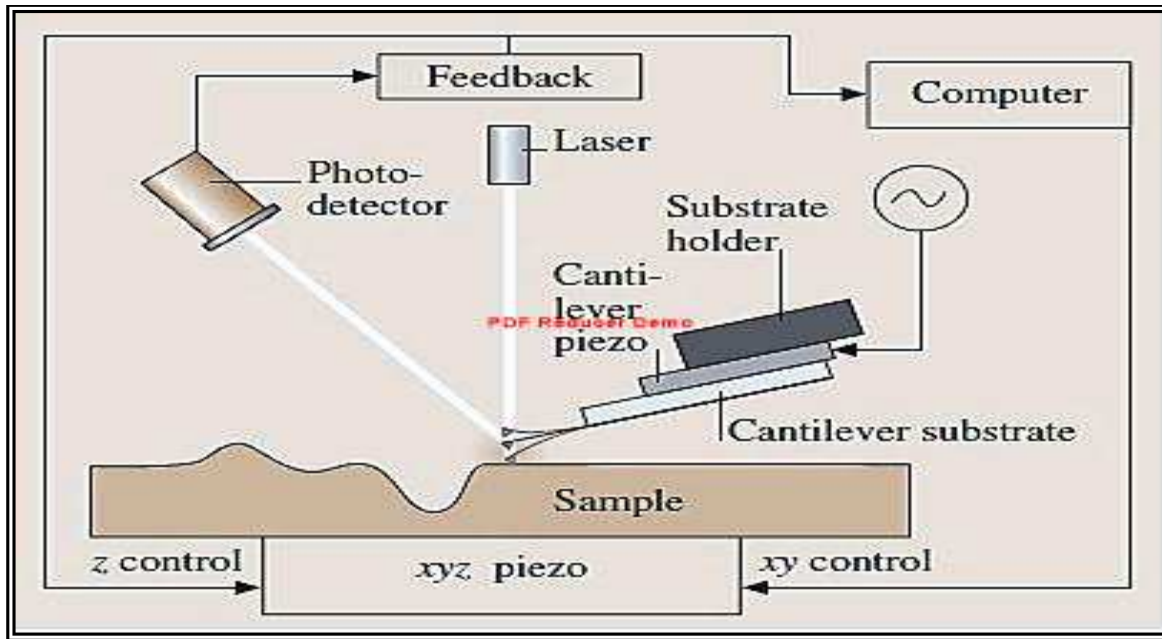
$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2+hk+k^2}{a^2} \right) + \frac{\ell^2}{c^2} \dots\dots\dots (2-3)$$

وبالتعويض عن قيم معاملات ميلر ( $hkl$ ) وفسح السطوح ( $d$ ) المثبتة إزاء كل قمة من القمم المميزة لمادة الاغشية المحضرة ، تم الحصول على معادلتين رياضيتين حسبتهما قيم ثوابت الشبكة البلورية ( $a,c$ ) لمادة الغشاء المحضر .

## (2-10-3) فحوصات مجهر القوة الذرية

**Atomic Force Microscopy Investigation**

لإعطاء صورة واضحة عن معالم سطح الغشاء المحضر من حيث خشونة السطح (Surface Roughness) ومعدل الحجم الحبيبي فيه (Average grain size) ومدى تأثير هذه المعالم بعملية التشويب ، وللإحاطة الكاملة بآلية تشكيل السطح من ذرات المادة المتبخرة وما على ذلك من تأثير عند تحضير الغشاء الرقيق بأكثر من سمك ، استُخدم مجهر القوة الذرية من نوع (mode Spectrometer) ، حيث يتركب هذا المجهر كأبسط وصف له من عتلة (Cantilever) ذات نصف قطر يتراوح بحدود بضعة نانومترات مصنوعة من مادة نيتريد السليكون ( $Si_3 N_4$ ) ومزودة في نهايتها بمجس ( Probe ) ذي رأس حاد يدعى بـ ( Tip ) يعد الجزء الاساسي في عملية الفحص ، إذ يستخدم لمسح سطح العينة بقدرة تحليل يتراوح مقدارها (0.1 - 1.0) nm وبقوة تكبير تقدر بحوالي ( $10^8 - 5 \times 10^2$ ) مرة ، أما بيانات الفحص فيتم معالجتها من قبل وحدة المعالجة المركزية ( CPU ) ليتم تمثيلها بعد ذلك بشكل صور ثنائية وثلاثية الابعاد فضلا عن إعطائه قيما دقيقة لمعاملات السطح المذكور أعلاه ، أما فيما يتعلق بظروف تشغيل الجهاز فيمتاز بإمكانية تشغيله ضمن الضغط الجوي الاعتيادي من دون الحاجة الى تفريغ عالي [95] ، ويمثل الشكل (9-3) رسما تخطيطيا لمجهر القوة الذرية .



الشكل (9-3) رسم تخطيطي يمثل مجهر القوة الذرية [96]



**(3-10-3) فحوصات المجهر الالكتروني الماسح****Scanning Electron Microscope Measurements (SEM)**

يعد المجهر الالكتروني الماسح واحداً من أهم التقنيات العلمية في العصر الحديث ولاسيما الانواع المتطورة منه ، فهو أداة رائعة لمشاهدة العالم غير المرئي من الاجسام الدقيقة جدا وخاصة فيما يتعلق بالتراكيب النانوية ، وذلك عن طريق صور مفصلة ثلاثية الابعاد ومكبرة بدرجات تفوق تلك الناتجة عن المجاهر الضوئية وتكون باللونين الاسود والابيض ، حيث يمتاز بقدرة تحليل عالية جدا (بحدود 0.2 nm) وبقوة تكبير تصل لغاية  $(2 \times 10^6)$  مرة ، ويستخدم لغرض دراسة مورفولوجيا السطح المختلفة في الاغشية الرقيقة ، وذلك عن طريق اضاءة العينة بتسليط سيل من الالكترونات عليها ، ومن ثم تكبير الصورة الناتجة ليتم بذلك الحصول على صورة واضحة المعالم ودقيقة عن طبيعة سطح الغشاء المحضر من حيث درجة تبلوره ، وشكل وطبيعة توزيع الجسيمات فيه ومدى تجانسها وترتيبها ضمن الحجم الحبيبي الناتج وتركيز الحدود الحبيبية المتكونة ، فضلا عن امكانية اظهار نوع العيوب التركيبية المتكونة في الغشاء الرقيق كالفراغات أو التشققات أو التكتلات الذرية والناشئة من جراء اختلاف طرق وظروف التحضير المعمول بها

استخدم المجهر الماسح من نوع (SAI 2300 contact mode Spectrometer , Angstrom) والمجهز من شركة (Advanced Inc. Company , USA) ذلك انه يوفر صوراً ثنائية الابعاد وبدقة عالية (بحدود  $1\mu\text{m}$ ) وبتكبير مقداره (50.000) مرة عن طبيعة التركيب المايكروي الدقيق للغشاء المتكون ومدى تأثير ذلك بكل من زيادة سمك الغشاء المحضر وعملية تشويبه .

**(4-10-3) فحوصات مطياف تشتت الطاقة****Energy Dispersive Spectrometer Measurements (EDS)**

بعد تحضير سبيكة المركب الثنائي سيلينايد الكادميوم ، تم التأكد من تركيز نسب العناصر الداخلة في تكوينها ، وكذلك الحال بالنسبة للأغشية الرقيقة المحضرة من مسحوقها وذلك بالاستعانة بمطياف تشتت الطاقة من نوع (AIS 2300C) والمجهز من قبل شركة (Seron Technologies . Inc.) الكورية حيث انه يعطي صوراً لمخطط توزيع طيف الطاقة للعناصر مرفقا ذلك بجدول مثبت فيه النسب الوزنية والذرية لكل عنصر تم الكشف عنه .

## Optical Measurements

### (11-3) الفحوصات البصرية

بعد تحضير أغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) ، تمت دراسة خواصها الضوئية وذلك باستخدام مطياف نوع (UV-Visible 1800 Spectro Photometer) انكليزي الصنع وكما موضح في الشكل (10-3) ، حيث تم قياس قيم النفاذية كدالة لتغير الطول الموجي ضمن المدى (300-1100 nm) ومن طيف النفاذية الناتج تم حساب طيفي الانعكاسية والامتصاصية فضلاً عن حساب الثوابت البصرية الأخرى كعامل الامتصاص ( $\alpha$ ) وقيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة كافة ( $E_g$ ) وذلك باعتماد المعادلات (11-2) و(12-2) و(16-2) و(20-2) على التوالي .



الشكل (10-3) جهاز المطياف من النوع (UV-Spectrophotometer-1800 ,UK)

## Electrical Measurements

### (12-3) القياسات الكهربائية

بعد تحضير وتهيئة الاقنعة الخاصة بكل نوع من القياسات الكهربائية ، تم تقطيب كل من النبائط والأغشية المحضرة بمعدن الألمنيوم وذلك بالاستعانة بمنظومة التبخير نفسها ، ومن خلال تبخير الألمنيوم النقي تحت ضغط ( $5 \times 10^{-5}$  torr) تم الحصول على اقطاب التوصيل الكهربائية ويسمك (200 nm) ، حيث تم ربطها بعد ذلك بأسلاك توصيل نحاسية عن طريق استعمال عجينة الفضة (Silver paste) لتكون جاهزة بذلك لإجراء القياسات الكهربائية والكهروضوئية المطلوبة .

(1-12-3) التوصيلية الكهربائية المستمرة

**D.C Electrical Conductivity Measurement**

تم حساب التوصيلية الكهربائية المستمرة للأغشية المحضرة كافة وذلك عن طريق قياس تغير المقاومة الكهربائية كدالة لتغير درجة الحرارة ضمن مدى حراري معين وباستخدام الدائرة المبينة في الشكل (11-3) ، حيث توضع عينة الغشاء المحضر في فرن كهربائي من نوع (Binder) الألماني المنشأ ، ومن ثم تسجيل قيم المقاومة الكهربائية بواسطة جهاز (Keithly 616 Digital Electrometer) وبمعدل قراءة واحدة لكل (10) درجات بدءا من درجة حرارة الغرفة (30°C) ولغاية درجة حرارة (150°C) .

حسبت التوصيلية الكهربائية المستمرة ( $\sigma_{d.c}$ ) للأغشية المحضرة كافة اعتمادا على المعادلات الآتية [97]:-

$$\sigma_{dc} = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots (3-3)$$

$$\rho = R_o \frac{S}{L} \dots\dots\dots (4-3)$$

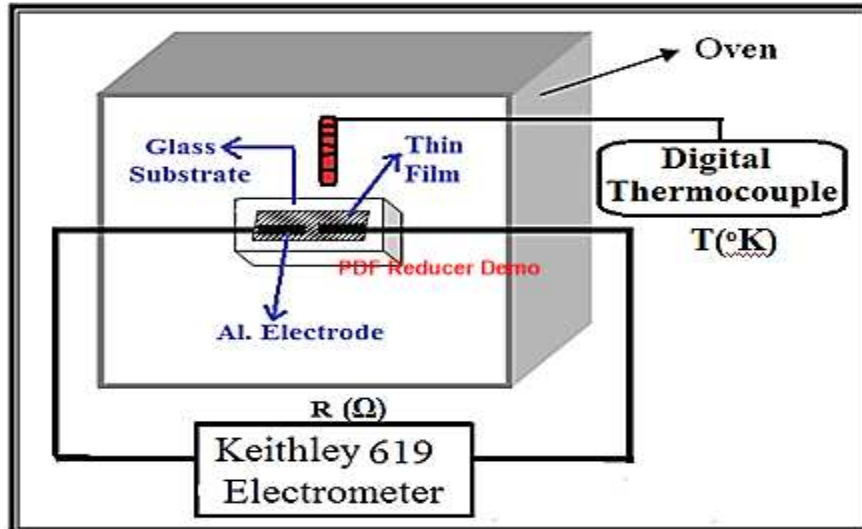
$$S = b \times t \dots\dots\dots(5-3)$$

$$\rho = R_o \frac{b \times t}{L} \dots\dots\dots (6-3)$$

- إذ ان :-  $\sigma_{d.c}$  : التوصيلية المستمرة ( D.C Conductivity ) بوحدات  $(\Omega \cdot cm)^{-1}$
- $\rho$  : المقاومة ( Resistivity ) بوحدات  $(\Omega \cdot cm)$  .
- $R_o$  : مقاومة الغشاء بوحدات  $(\Omega)$  .
- $L$  : المسافة بين قطبي الألمنيوم بوحدات  $(cm)$  .
- $b$  : عرض القطب بوحدات  $(cm)$  .
- $t$  : سمك الغشاء المحضر بوحدات  $(cm)$  .
- $S$  : مساحة المقطع العرضي للغشاء بين قطبي الألمنيوم بوحدات  $(cm^2)$

ومن خلال رسم العلاقة بين  $(Ln\sigma)$  ومقلوب درجة الحرارة المطلقة  $(1000 /T)$  ومن ميل الخط البياني الناتج يتم حساب طاقة التنشيط للغشاء المحضر وذلك باعتماد العلاقة الآتية [87] :-

$$E_a (eV) = Slope \times K_B \dots\dots\dots (7-3)$$

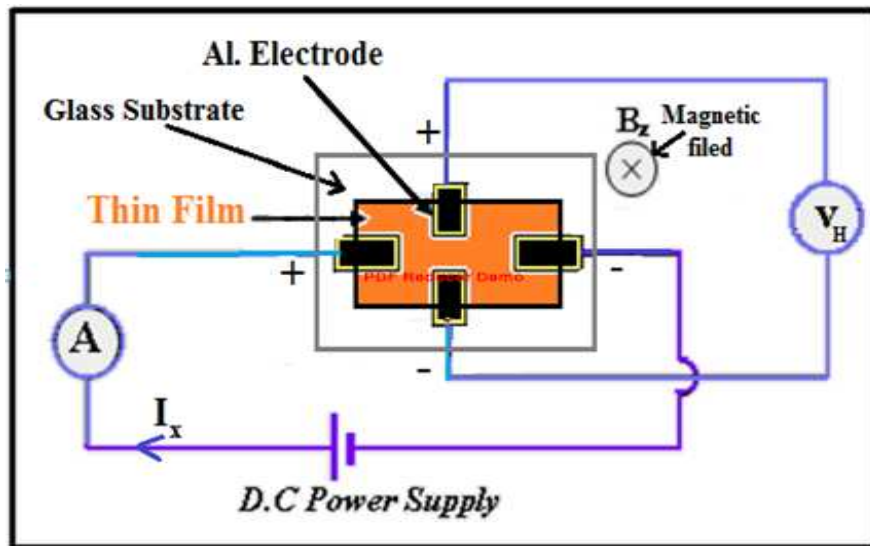


الشكل (11-3): مخطط الدائرة الكهربائية المستخدمة لقياس التوصيلية الكهربائية المستمرة ( $\sigma_{d.c}$ ).

### Hall Effect Measurement

### (2-12-3) قياسات تأثير هول

بعد ترسيب الاقطاب الكهربائية المناسبة لعملية الفحص ، أجريت قياسات تأثير هول للأغشية المحضرة كافة بنوعها النقي والمشوب وذلك باعتماد منظومة تأثير هول نوع (HMS-3000) والمجهزة من شركة (Ecopia) الكورية ، حيث تمت من خلالها معرفة نوع حاملات الشحنة الاغلبية في الغشاء المحضر (Majority Carriers) فضلا عن تركيزها ، كذلك تم حساب قيم التحركية والتوصيلية والمقاومية ومعامل هول عند درجة حرارة الغرفة ، ويبين الشكل (12-3) الدائرة الكهربائية الخاصة بتأثير هول .



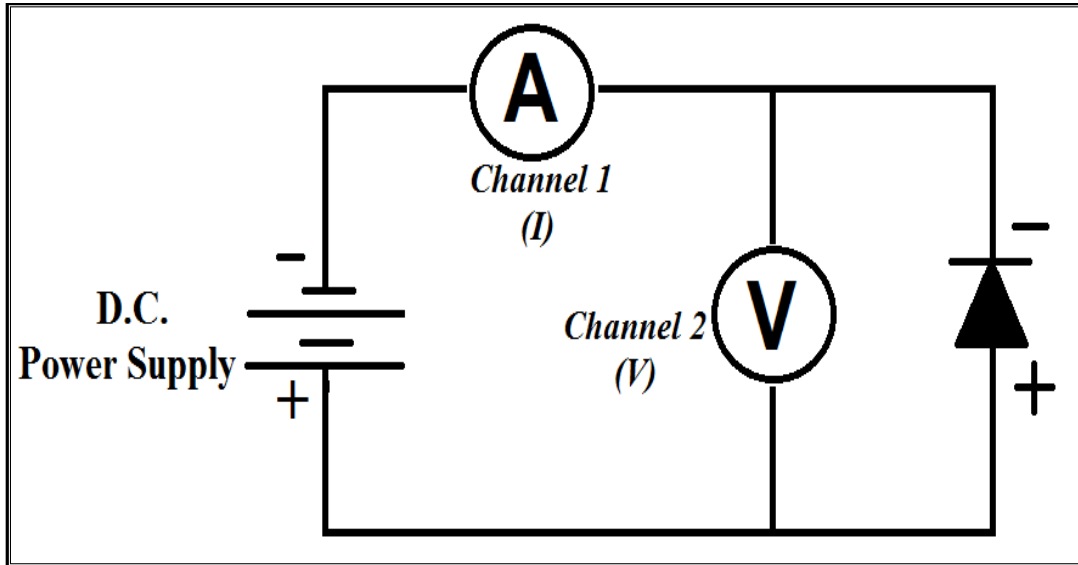
الشكل (12-3): مخطط الدائرة الكهربائية المستخدمة لقياس تأثير هول.

## (13-3) القياسات الكهربية للخلايا الشمسية

## (1-13-3) قياسات خصائص (التيار - الفولتية) في حالة الظلام

**Current –Voltage Characteristic in Dark Case**

تمت دراسة خصائص (I-V) في حالة الظلام للخلايا المصنعة بسمك مختلف النقي منها والمشوب وذلك بجعل الخلية جزءا من الدائرة الموضحة في الشكل ( 13-3 ) ، حيث توضع الخلية داخل حجرة مظلمة ومن تحييزها أماميا ( وذلك بربط الجزء الموجب من الخلية بالجهد الموجب لمجهر القدرة من نوع ( F30-2 , Farnell Instrument ) والذي يزود الدائرة بالتيار المستمر (D.C) ، وربط الجزء السالب من الخلية بالجهد السالب من المجهر ) وعند جهد انحياز ضمن المدى (0-3 volt) يتم عندئذ قياس قيم تيار الانحياز الامامي وذلك باستخدام مقياس التيار الرقمي من نوع ( Keithly 616 Digital Electrometer ) فضلا عن استخدامه لقياس قيم تيار الانحياز العكسي بمجرد ان يتم عكس القطبية بين الخلية ومجهر القدرة وعند جهد انحياز يمتد ايضا من ( 0-3 volt ) ، ومن خلال رسم العلاقة البيانية ما بين قيم تيار الانحياز الامامي (وذلك بعد أن يتم أخذ دالة Ln لها ) وبين قيم جهد الانحياز المأخوذة ، يتم عندئذ حساب عامل المثالية ( Ideality Factor ) وذلك من خلال العلاقة (2-46) .

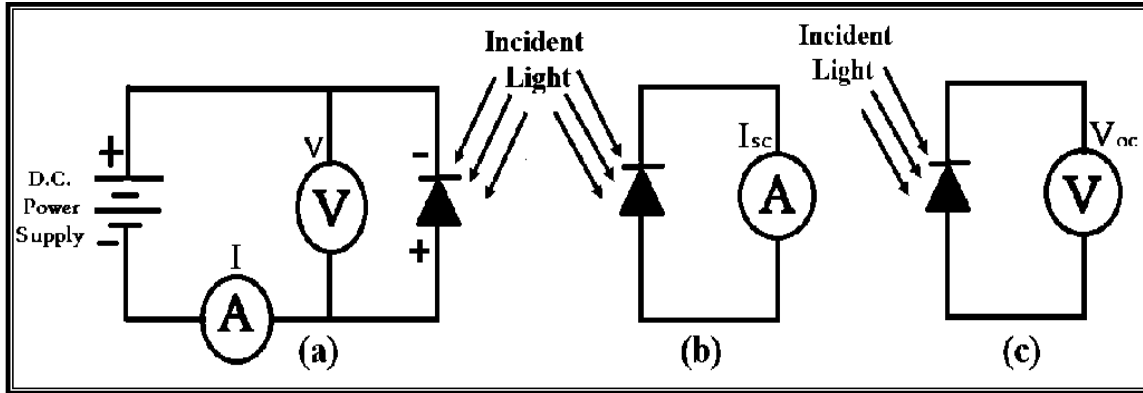


الشكل (13-3): مخطط الدائرة الكهربية المستخدمة في قياس خصائص (تيار - جهد) في حالة الظلام.

(2-13-3) قياسات خصائص (التيار - الفولتية) في حالة الإضاءة

**(Current – Voltage) Characteristic under Illumination**

اعتمدت الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (3-14) لإتمام قياسات خصائص (التيار - الفولتية) في حالة الإضاءة للخلايا الشمسية المصنعة كافة ولكلا النوعين من الانحياز ، حيث استُخدم لهذا الغرض مصباح الهالوجين من نوع (Philips) وبكثافة قدرة ضوئية مقدارها  $(100 \text{ mW} / \text{cm}^2)$  وفقا الى المعايير الدولية وبتزامن مع الجهد الخارجي المسلط ، ومن قياس قيمة كثافة تيار الدائرة القصيرة ( $J_{s.c}$ ) وفولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{o.c}$ ) ومن خلال رسم العلاقة بينهما بيانيا ، يتم تحديد قيم كل من كثافة التيار الاكظم ( $J_{max}$ ) والفولتية العظمى ( $V_{max}$ ) والتي منها يتم الحصول على قيم كل من عامل الملء والكفاءة التحويلية للخلايا الشمسية المصنعة وذلك باعتماد العلاقتين (2-51) و (2-53) على التوالي .



الشكل (3-14): مخطط الدائرة الكهربائية المستخدمة في القياسات الكهرو بصرية لقياس:

(a) خصائص (تيار-جهد) عند الإضاءة ، (b) تيار الدائرة القصيرة ، (c) فولتية الدائرة المفتوحة .

## (3-13-3) قياسات خصائص (السعة – فولتية)

**(Capacitance –Voltage) Characteristic Measurement**

أجريت قياسات خصائص (السعة - جهد) لنماذج الخلايا الشمسية المحضرة كافة وذلك بتسليط جهد انحياز عكسي ضمن المدى ( 0.1-2 volt ) ولقيم مختلفة من الترددات ( 100KHz , 10KHz ,1KHz ) كانت افضلها عند الترددين (100KHz,1MHz) وذلك بالاستعانة بجهاز ( LCR-Meter ) من نوع ( LCR meter Gwinstek8105 G) والموضحة صورته في الشكل (3-15) ، ومن رسم العلاقة البيانية بين مقلوب قيم مربع السعة كدالة لجهد الانحياز العكسي يتم الحصول على جهد البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ) وذلك من خلال تقاطع امتداد الخط المستقيم الناتج مع محور الجهد عند النقطة ( $1/C^2 = 0$ ) ، أما بالنسبة الى قيمة السعة ( $C_0$ ) عندما ( $V=0$ ) فيتم منها الحصول على عرض منطقة النضوب ( $W$ ) وذلك بعد تعويض قيمتها في المعادلة (2-49) .



الشكل (3-15) جهاز (LRC) نوع ( LCR meter GW instek 8105G ) .

# الفصل الرابع

النتائج والمناقشة



## (1-4) المقدمة

## Introduction

يتضمن هذا الفصل تحليل ومناقشة النتائج التي تم التوصل اليها من هذه الدراسة لكلٍ من الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية لأغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمشوبة بالقصدير بنسبة تشويب ( 3% ) والمحضرة بتقنية التبخير الحراري في الفراغ على قواعد من الزجاج وأخرى من السليكون بدرجة حرارة الغرفة وبسبك مختلف  $20 \pm (300, 500, 700, 900) \text{ nm}$  وبمعدل ترسيب مقداره  $(0.7 \pm 0.1) \text{ nm/sec}$  ومقارنة النتائج المستحصلة من تقنيات الفحص المختلفة والتي استخدمت في هذا الدراسة مع نتائج الدراسات السابقة والبحوث المنشورة بهذا الصدد ، إضافة الى دراسة وتحليل خصائص ومعلمات الخلايا الشمسية المصنعة من المادة وحساب القدرة الناتجة عنها مع استعراض لأهم الاستنتاجات التي تم التوصل اليها من الدراسة الحالية ، ووضع بعض المقترحات للمشاريع المستقبلية الواقعة ضمن إطار هذا البحث .

## Structural properties

## (2-4) الخصائص التركيبية

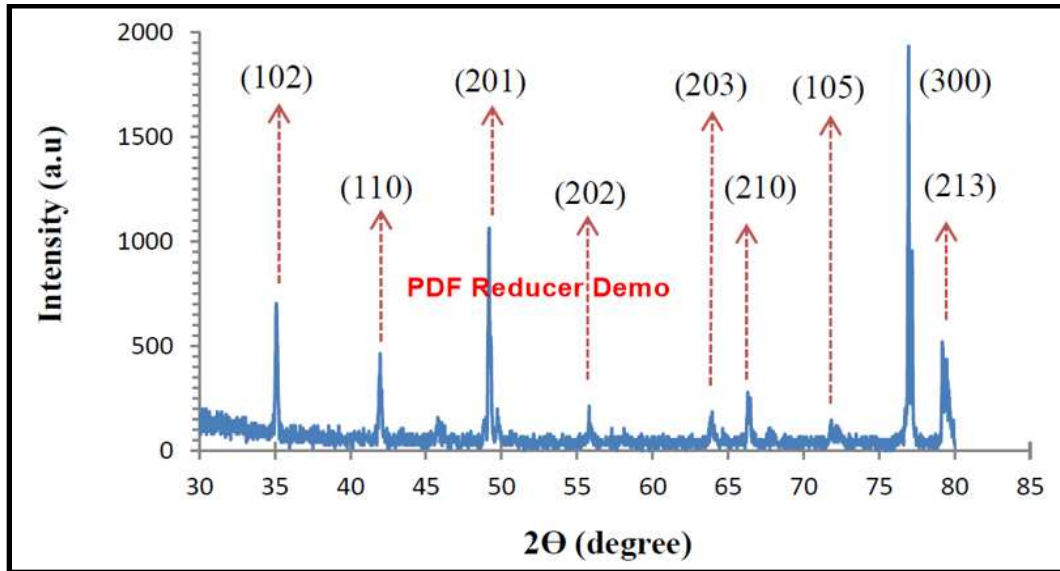
## X-Ray diffraction results

## (1-2-4) نتائج حيود الاشعة السينية

## (1-1-2-4) نتائج حيود الاشعة السينية لسبيكة (CdSe) المحضرة

## X-Ray Diffraction Result Of CdSe Alloy

بعد الحصول على سبيكة المركب الثنائي سيلينايد الكاديوم من عناصرها الاولية بطريقة التبريد البطيء للمنصهر ، أجريت عليها الفحوصات التركيبية باعتماد تقنية الحيود بالأشعة السينية ، وذلك للتأكد من طبيعة مكونات السبيكة المحضرة ، أظهرت نتائج الفحص بأن مادة سيلينايد الكاديوم بهيأتها ككتلة أو كسبيكة محضرة (prepared as alloy) كانت ذات تركيب بلوري متعددة التبلور (polycrystalline) ومن النوع السداسي (hexagonal structure) مع نمو ذري بعدة اتجاهات بلورية كان المميز والسائد منها في الاتجاه (300) وكما موضح ذلك في الشكل (1-4) ، وعند إجراء المقارنة بين النتائج التي تم التوصل اليها من فسخ السطوح ( $d_{hkl}$ ) وزوايا الحيود البلوري ( $2\theta$ ) المقابلة لمواقع القمم المميزة لسبيكة المادة المحضرة مع ما جاء من القيم الواردة في البطاقة المرقمة (08-0459) والصادرة من اللجنة المشتركة عن بطاقات الحيود القياسية لمساحيق المواد (JCPDS) (Joint committee on powder diffraction standards) [98] كانت النتائج ذات تطابق جيد من حيث قيم فسخ السطوح ( $d_{hkl}$ ) مع تطابق بسيط في قيم زوايا الحيود البلوري لا يتعدى قيمة الزاوية نفسها لعدد من مواقع القمم المميزة وكما مبين ذلك في الجدول (1-4) .



الشكل (1-4) مخطط حيود الاشعة السينية لسبيكة المركب الثنائي (CdSe) المحضرة

الجدول (1-4) مقارنة النتائج المستحصلة من نماذج حيود الاشعة السينية لسبيكة المركب الثنائي (CdSe) المحضرة مع البطاقة القياسية (JCPDS) للمادة والمرقمة (08-0459)

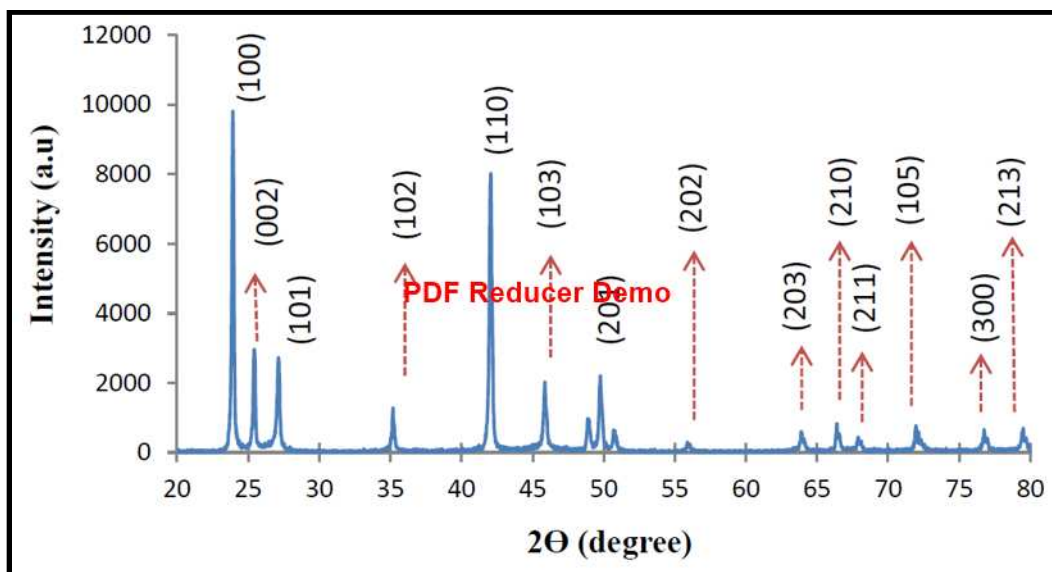
(hkl) (JCPDS)	$2\theta$ (JCPDS)	$2\theta$ (Observed)	d (A°) (JCPDS)	d (A°) (Observed)
(102)	35.1072	35.1135	2.554000	2.55362
(110)	41.9675	41.9623	2.151000	2.15131
(201)	50.6730	49.1854	1.800000	1.85095
(202)	55.8422	55.8383	1.645000	1.64515
(203)	63.8810	63.9400	1.456000	1.45273
(210)	66.3862	66.3098	1.407000	1.40847
(105)	71.9035	71.8257	1.312000	1.31326
(300)	76.7262	76.9681	1.241100	1.23783
(213)	79.4303	79.2291	1.205500	1.20809

(2-1-2-4) نتائج حيود الاشعة السينية لمسحوق سبيكة (CdSe) المحضرة

### X-Ray Diffraction Result Of CdSe Powder

أظهرت نتائج الفحص بتقنية حيود الاشعة السينية أن مسحوق السبيكة المحضرة للمركب الثنائي سيلينايد الكاديوم كانت أيضا ذات تركيب بلوري متعدد التبلور (polycrystalline) ومن النوع السداسي (hexagonal structure) مع نمو ذري بعدة اتجاهات بلورية كان المميز والسائد منها في الاتجاه (100) وكما موضح ذلك في الشكل (2-4) ، وهذا يتفق مع نتائج الدراسات [26,42] .

وعند مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من جداول الحيود البلوري فيما يتعلق بفسح السطوح وزوايا الحيود البلوري ( $2\theta$ ) المقابلة لمواقع القمم المميزة لمسحوق السبيكة المحضرة مع ما جاء من القيم الواردة في البطاقة المرقمة (08-0459) ، كانت النتائج ذات تطابق جيد وكما مبين ذلك في الجدول (2-4) ، مع وجود انحراف بسيط في مواقع القمم المميزة ، يعزى سبب ذلك الى اختلاف ظروف تحضير السبيكة عن تلك القياسية المعمول بها عالميا .



الشكل (2-4) مخطط حيود الاشعة السينية لمسحوق سبيكة المركب الثنائي (CdSe) المحضرة

الجدول (2-4) مقارنة النتائج المستحصلة من نماذج حيود الاشعة السينية لمسحوق سبيكة المركب الثنائي (CdSe) المحضرة مع البطاقة القياسية (JCPDS) للمادة والمرقمة (08-0459)

(hkl) (JCPDS)	2θ (JCPDS)	2θ (Observed)	d (Å°) (JCPDS)	d (Å°) (Observed)
(100)	23.9008	23.9538	3.720000	3.71198
(002)	25.3538	25.4559	3.510000	3.49625
(101)	27.0804	27.1482	3.290000	3.28202
(102)	35.1072	35.1984	2.554000	2.54765
(110)	41.9675	42.0508	2.151000	2.14699
(103)	45.7884	45.6704	1.980000	1.98489
(201)	50.6730	50.7365	1.800000	1.79794
(202)	55.8422	55.8800	1.645000	1.63698
(203)	63.8810	63.9189	1.456000	1.45527
(210)	66.3862	66.4054	1.407000	1.40668
(211)	67.8592	67.8990	1.380000	1.37932
(105)	71.9035	71.9551	1.312000	1.31122
(300)	76.7262	76.7759	1.241100	1.24045
(213)	79.4303	79.4720	1.205500	1.20500

### (3-1-2-4) نتائج حيود الاشعة السينية لأغشية (CdSe) المحضرة

## X-Ray Diffraction Result Of CdSe Thin Films

بينت نتائج فحوصات حيود الاشعة السينية أن جميع أغشية سيلينايد الكاديوم الرقيقة والمحضرة بسمك مختلف ( النقي منها والمشوب بالقصدير بنسبة تشويب (3%) ) كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور (polycrystalline) ومن النوع السداسي ( hexagonal structure ) مع نمو ذري بثلاثة اتجاهات بلورية هي (002) و(102) و(103) كان المميز والسائد منها في الاتجاه (002) وللأغشية المحضرة كافة ، وهذا يتفق مع نتائج الدراسات [26,27,36,46]

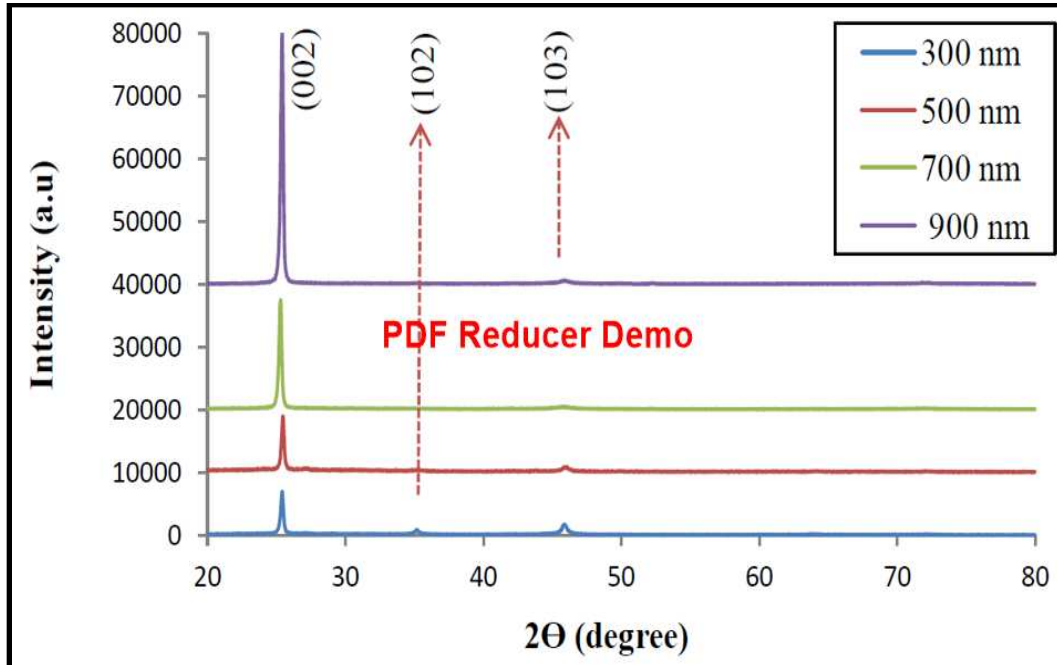
وعند مقارنة النتائج التي تم التوصل اليها من فسخ السطوح ( $d_{hkl}$ ) وثوابت الشبيكة البلورية (a,c) وزوايا الحيود البلوري ( $2\theta$ ) المقابلة لمواقع القمم المميزة لنماذج الاغشية النقية ذات السمك المختلف مع ما جاء من القيم الواردة في البطاقة المرقمة (08-0459) ، كانت النتائج متطابقة الى حد كبير وكما مبين ذلك في الجدول (3-4) .

الجدول (3-4) قيم فسخ السطوح وزوايا الحيود البلوري وثوابت الشبيكة البلورية لأغشية سيلينايد الكاديوم (CdSe) النقية والمحضرة بسمك مختلف

Thickness (nm)	(hkl) (JCPDS)	$2\theta$ (JCPDS)	$2\theta$ Observed	d (A°) (JCPDS)	d (A°) Observed	a,c (A°) (JCPDS)	a,c (A°) Observed
300	(002)	25.3538	25.5008	3.5100	3.4902	4.299 7.010	4.333 6.980
	(102)	35.1072	35.2600	2.5540	2.5435		
	(103)	45.7884	45.8503	1.9800	1.9775		
500	(002)	25.3538	25.4436	3.5100	3.4980	4.299 7.010	4.298 6.996
	(102)	35.1072	35.1796	2.5540	2.5490		
	(103)	45.7884	45.8855	1.9800	1.9760		
700	(002)	25.3538	25.3227	3.5100	3.5143	4.299 7.010	4.283 7.029
	(102)	35.1072	Disappear	2.5540	Disappear		
	(103)	45.7884	45.7703	1.9800	1.9808		
900	(002)	25.3538	25.4389	3.5100	3.4985	4.299 7.010	4.286 6.997
	(102)	35.1072	Disappear	2.5540	Disappear		
	(103)	45.7884	45.9152	1.9800	1.9750		

كذلك يتبين من نماذج الحيود للأغشية النقية والموضحة في الشكل (3-4) ان هنالك زيادة ملحوظة في الشدة المنعكسة عن القمة الاولى ذات الاتجاهية المميزة (002) بزيادة سمك الغشاء المحضر ، ويعزى السبب في ذلك الى زيادة درجة تبلور مادة الغشاء الرقيق بزيادة السمك حيث تميل ذرات الطبقات المترسبة لاحقا لترتيب أنفسها في الاتجاه ذي الطاقة الداخلية الاقل للتخلص من الطاقة الفائضة لديها والوصول الى حالة الاستقرار (Stable state) ومن تتابع الذرات المتبخرة بترتيب أنفسها في ذلك الاتجاه (002) - بزيادة السمك - سيأخذ بالتميز والوضوح ، في حين سيبدأ الاتجاهان الاخران بالاضمحلال وهذا يتفق مع نتائج الدراسات [27,39,42] .

أما فيما يتعلق بأغشية سيلينايد الكاديوم المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) ولسمك مختلف من المادة ، فقد أظهرت نتائج قياسات حيود الاشعة السينية أن التطابق بين النتائج المستحصلة من نماذج الحيود للأغشية المشوبة مع بطاقة (JCPDS) للمادة النقية قد تحسن بعملية التشويب مع زيادة واضحة جدا تظهر في شدة القمة المميزة بالاتجاه السائد (002) وكما مبين ذلك في الجدول (4-4) وموضح في الاشكال (4-4)، (5-4)، (6-4)، (7-4) على التوالي .



الشكل (3-4) نموذج حيود الاشعة السينية لأغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمحضرة بسمك مختلف

إذ يتبين من ملاحظة الجدول (4-4) أن هنالك إزاحة ملحوظة في مواقع القمم المميزة ( $2\theta$ ) لمادة الاغشية المحضرة بعد عملية التشويب عنها قبل التشويب ، فضلاً عن التحسن الحاصل في قيم فسخ السطوح ( $d_{hkl}$ ) واقتربها أكثر من القيم الواردة في البطاقة القياسية (JCPDS) ، أن تفسير ذلك يعود الى تحسن التركيب البلوري بعملية التشويب من جراء دخول ذرات المادة الشائبة ( $S_n$ ) في التركيب البلوري للمادة المشوبة (CdSe) واحتلالها مواقع إبدالية في شبكة البلورة لها ، الامر الذي يؤثر على فسخ السطوح ( $d_{hkl}$ ) وبالتالي على زوايا الحيود ( $2\theta$ ) ليتفق ذلك ونتائج الدراسات [29,36,40,46] .

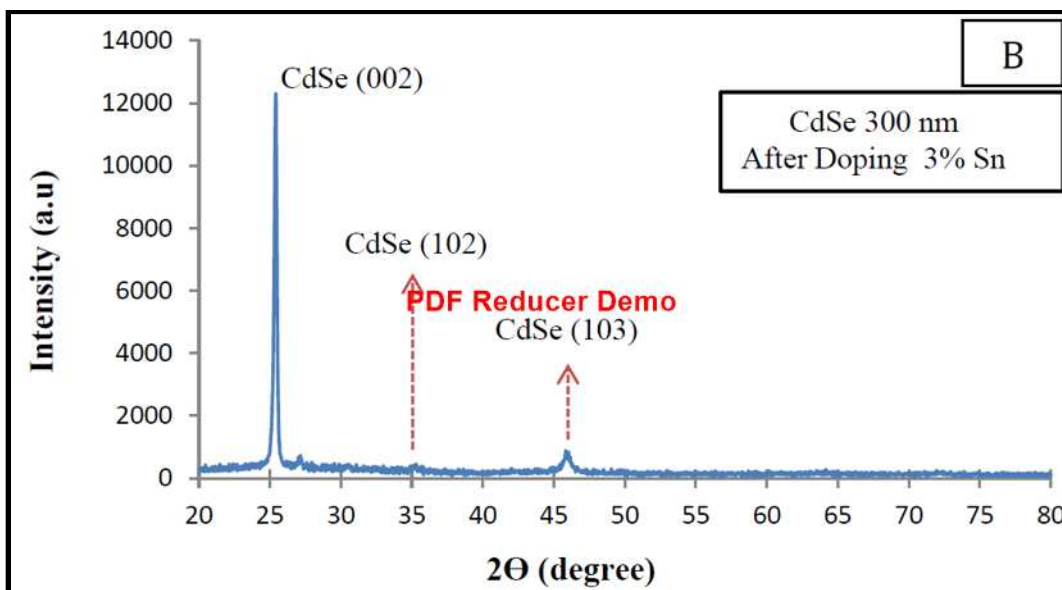
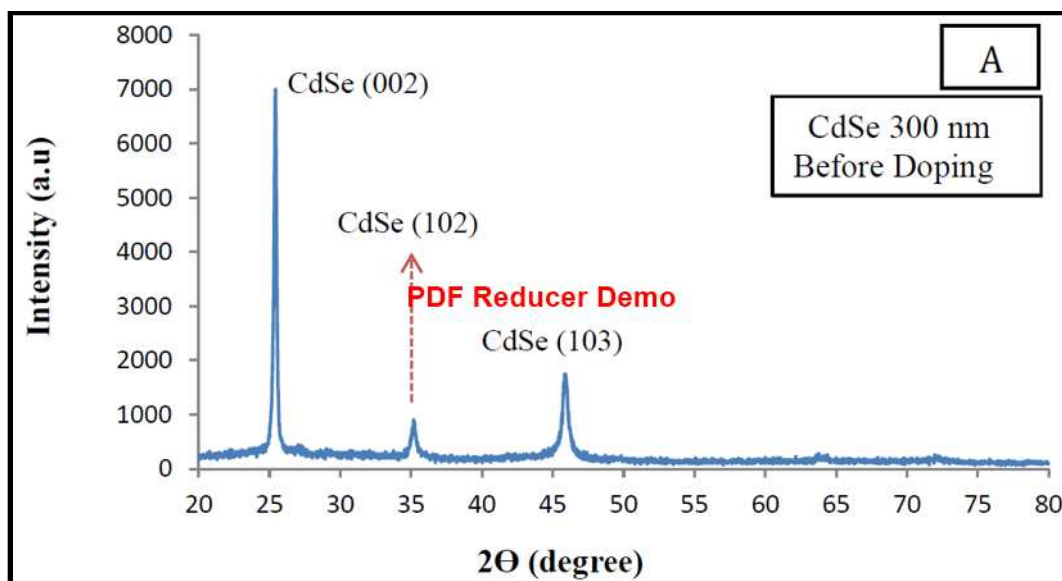
الجدول (4-4) قيم فسخ السطوح وزوايا الحيود البلوري وثوابت الشبكة البلورية لأغشية سلينايد الكاديوم (CdSe) المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) والمحضرة بسمك مختلف

Thickness (nm)	(hkl) (JCPDS)	$2\theta$ (JCPDS)	$2\theta$ Observed	d (A°) (JCPDS)	d (A°) Observed	a,c (A°) (JCPDS)	a,c (A°) Observed
300	(002)	25.3538	25.4379	3.5100	3.4987	4.299 7.010	4.315 6.997
	(102)	35.1072	35.2077	2.5540	2.5470		
	(103)	45.7884	45.7703	1.9800	1.9787		
500	(002)	25.3538	25.4313	3.5100	3.4995	4.299 7.010	4.294 6.999
	(102)	35.1072	Disappear	2.5540	Disappear		
	(103)	45.7884	45.8222	1.9800	1.9788		
700	(002)	25.3538	25.2309	3.5100	3.5196	4.299 7.010	4.274 7.039
	(102)	35.1072	Disappear	2.5540	Disappear		
	(103)	45.7884	45.6152	1.9800	1.9818		
900	(002)	25.3538	25.3539	3.5100	3.5100	4.299 7.010	4.273 7.028
	(102)	35.1072	Disappear	2.5540	Disappear		
	(103)	45.7884	45.8103	1.9800	1.9790		

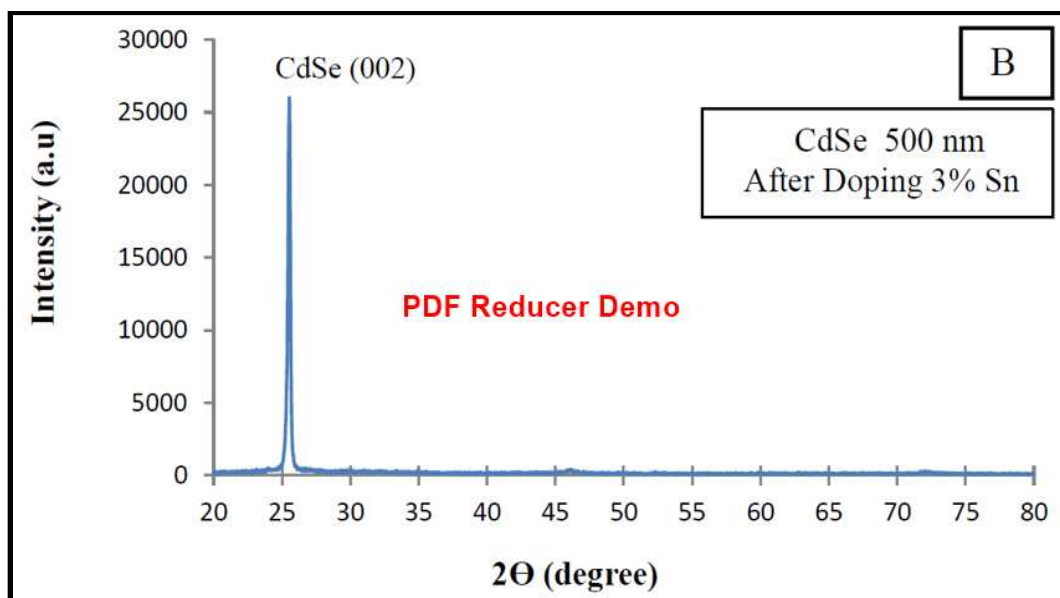
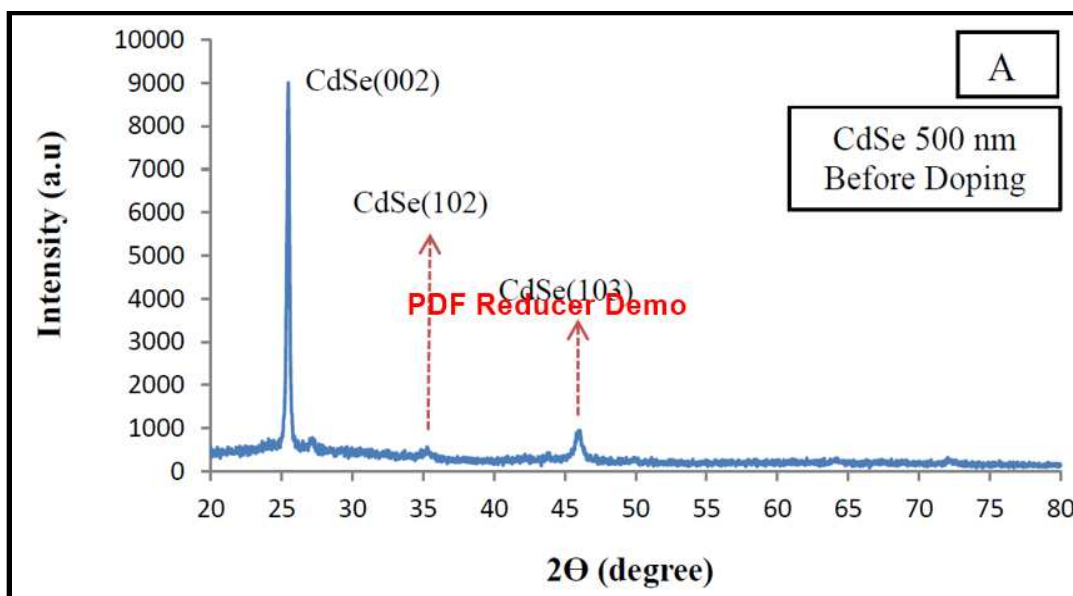
أما فيما يتعلق بالشدة (Intensity) ، فبالرجوع الى الجزء (B) من الاشكال (4-4) و(5-4) و(6-4) و(7-4) على التوالي ، يتبين أن هنالك زيادة واضحة جدا في شدة القمة المميزة الاولى ذات الاتجاهية (002) للأغشية بعد التشويب عنها قبل التشويب ولكل سمك محضر مما يشير الى زيادة درجة تبلور المادة بعملية التشويب ، بمعنى إن إضافة الشوائب بنسبة محددة ادى الى تحسين التركيب البلوري وزيادة انتظامية المادة ، الأمر الذي جعل من الصعوبة ملاحظة القمم المميزة لذرات المادة الشائبة في طيف حيود المادة المشوبة (CdSe) ، ولما كان من المفضل أظهار تلك القمم لما لذلك من أهمية كبيرة في التأكد من تمام نجاح عملية التشويب وتفاعل ذرات المادة الشائبة مع ذرات المادة المشوبة ، ولذا تم أخذ طيف اخر للأغشية المشوبة بالقصدير (Sn) ولكن في هذه المرة كان واقعا ضمن المدى  $^{\circ}(30-80)$  ، فوجد أن القمم المميزة للمادة الشائبة (Sn) قد ظهرت بوضوح وكما مبين ذلك في الشكل (a,b,c,d) (8-4) ، مما يؤكد أن ذرات المادة الشائبة قد تفاعلت مع ذرات المادة المشوبة واحتلت مواقع في شبكة البلورة لها .

إن الزيادة الواضحة جدا في شدة القمة المميزة الاولى (002) ما هي إلا ناتج من تفاعلات مهمة تحدث بين العيوب الذاتية (الفراغات) والعيوب الدخيلة الناشئة عن شوائب غريبة ، ذلك إن ذرات المادة الشائبة بحكم فارق نصف القطر الايوني الذي بينها  $(0.83 \text{ \AA})$  وبين ذرات المادة المشوبة  $(0.95 \text{ \AA})$  و  $1.98 \text{ \AA}$  لكل من أيونات الكاديوم الموجبة وإيونات السيلينيوم السالبة على التوالي ) ، مكنها ذلك من احتلال مواقع أبدالية في شبكة البلورة للمادة المشوبة ، فضلا عن معالجة بعض العيوب التركيبية التي ترافق تكوين الغشاء أثناء عملية التصنيع كالثغرات أو ما تسمى ( الفراغات ) ، الأمر الذي جعل من عملية الابدال أو ملء الفراغ عملية بسيطة ، ذلك لان متطلبات طاقة الاجهاد ( الطاقة اللازمة لحشر الذرة الشائبة في شبكة البلورة للمادة المشوبة ) تكون قليلة إذا كان حجم الذرة الشائبة مقاربا لذرات البلورة المستضيفة أو أكبر منها قليلا ، في حين تكون متطلبات طاقة الاجهاد غير متوفرة ( بل محرمة تماما ) إن كان حجم الذرة الشائبة كبيرا جدا مقارنة بذرات البلورة المستضيفة ، الأمر الذي ساعد على زيادة درجة تبلور الغشاء المحضر بعملية الإشابة المتعمدة ، ومن ثم الزيادة الملحوظة في الشدة المقاسة ليتفق ذلك ونتائج الدراسات [29,36,45,46] .

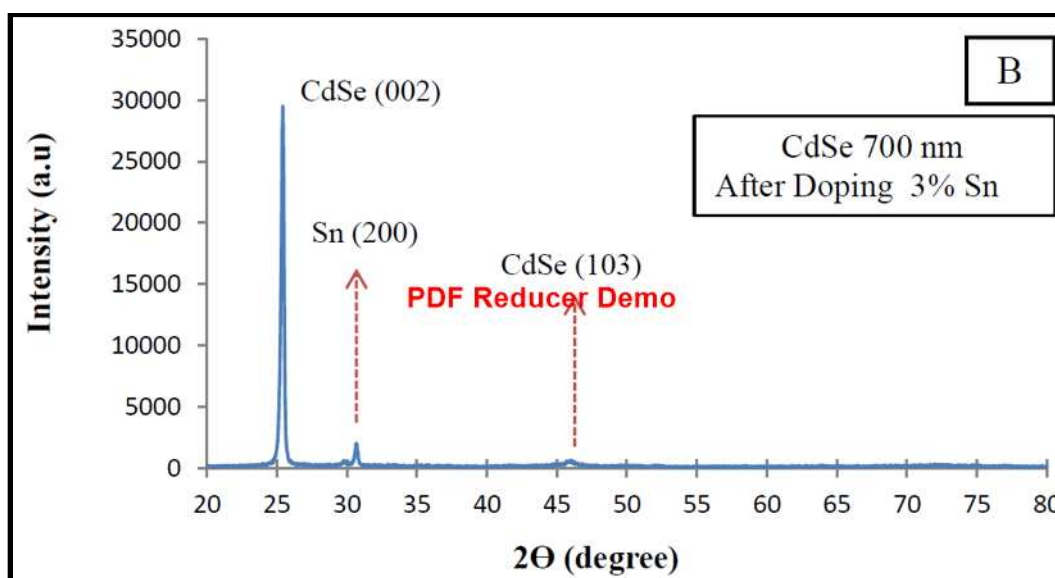
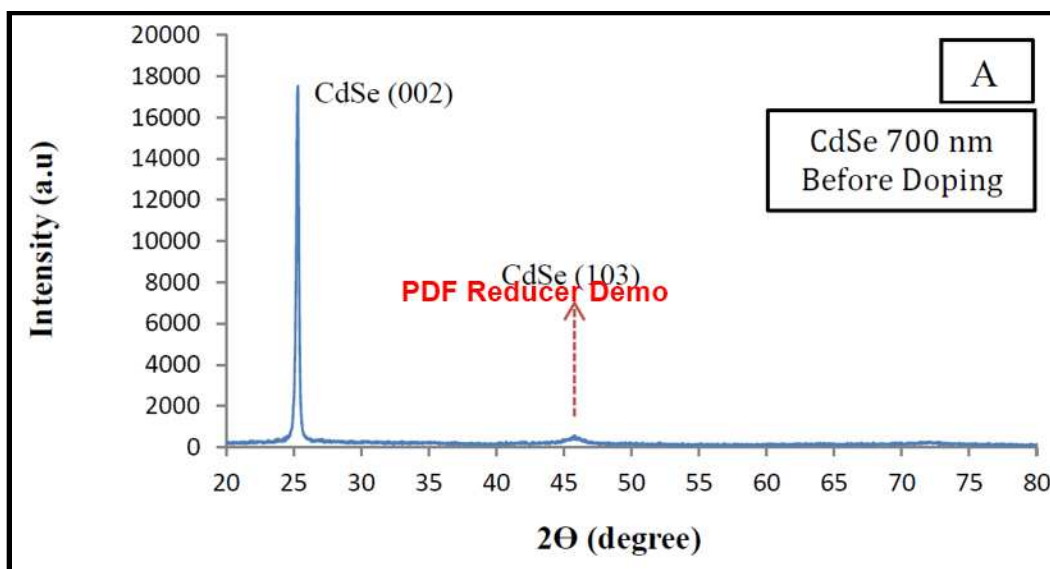




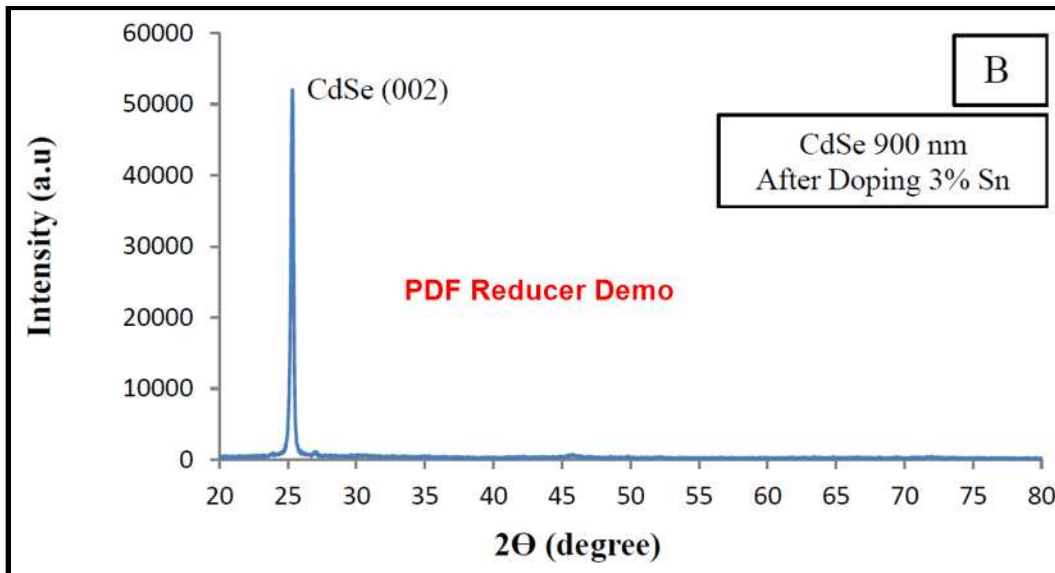
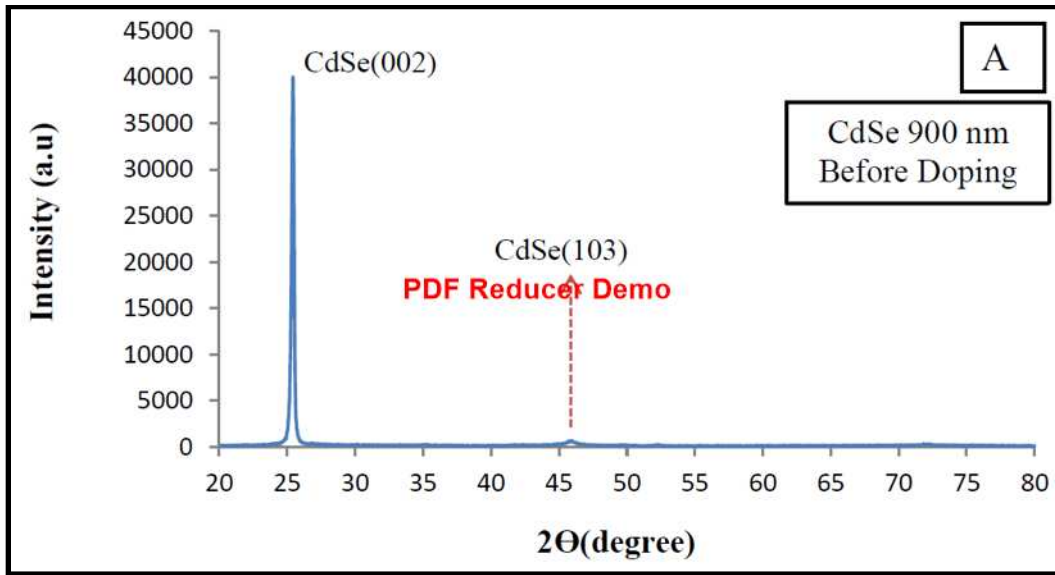
الشكل (4-4) مقارنة بين نموذجي حيود الاشعة السينية لأغشية المركب الثنائي سيلينيد الكاديوم (CdSe) المحضرة بسمك (300 nm) قبل عملية التشويب وبعدها .



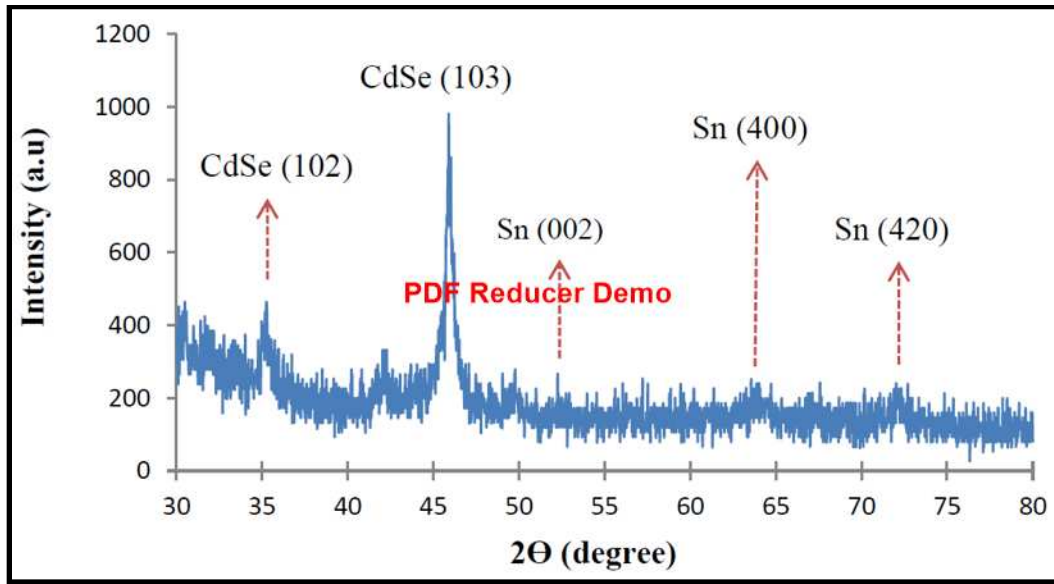
الشكل (4-5) مقارنة بين نموذجي حيود الاشعة السينية لأغشية المركب الثنائي سيلينيد الكادميوم (CdSe) المحضرة بسمك (500 nm) قبل عملية التشويب وبعدها .



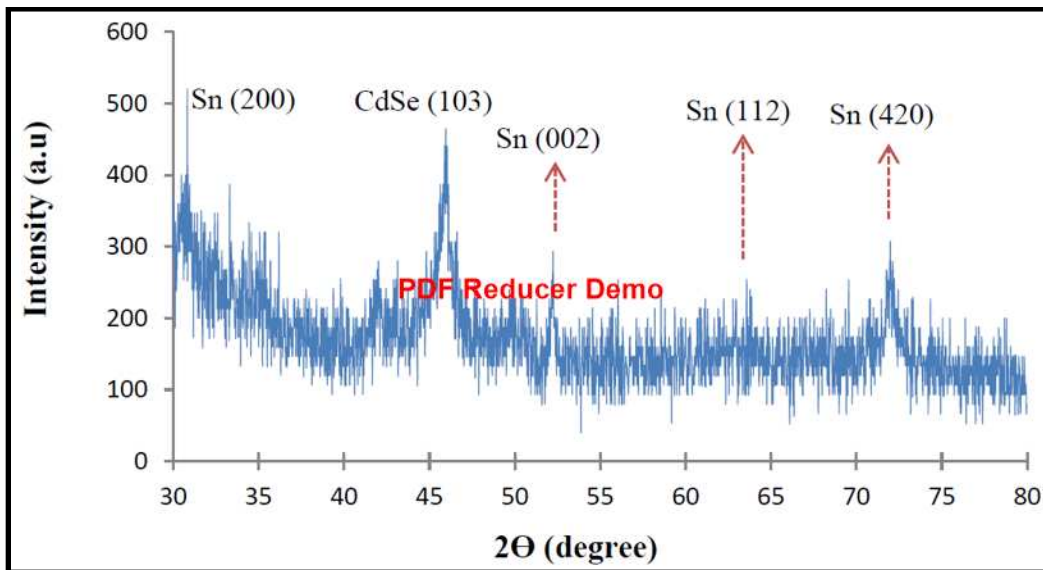
الشكل (4-6) مقارنة بين نموذجي حيود الاشعة السينية لأغشية المركب الثنائي سيلينيد الكادميوم (CdSe) المحضرة بسمك (700 nm) قبل عملية التشويب وبعدها .



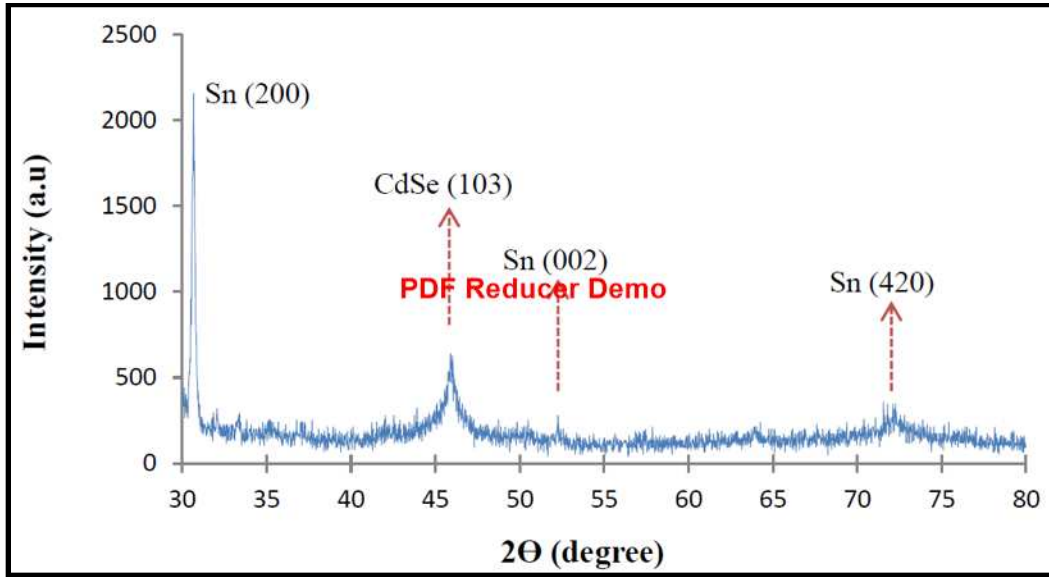
الشكل (7-4) مقارنة بين نموذجي حيود الاشعة السينية لأغشية المركب الثنائي سيلينيد الكاديوم (CdSe) المحضرة بسمك (900 nm) قبل عملية التشويب وبعدها .



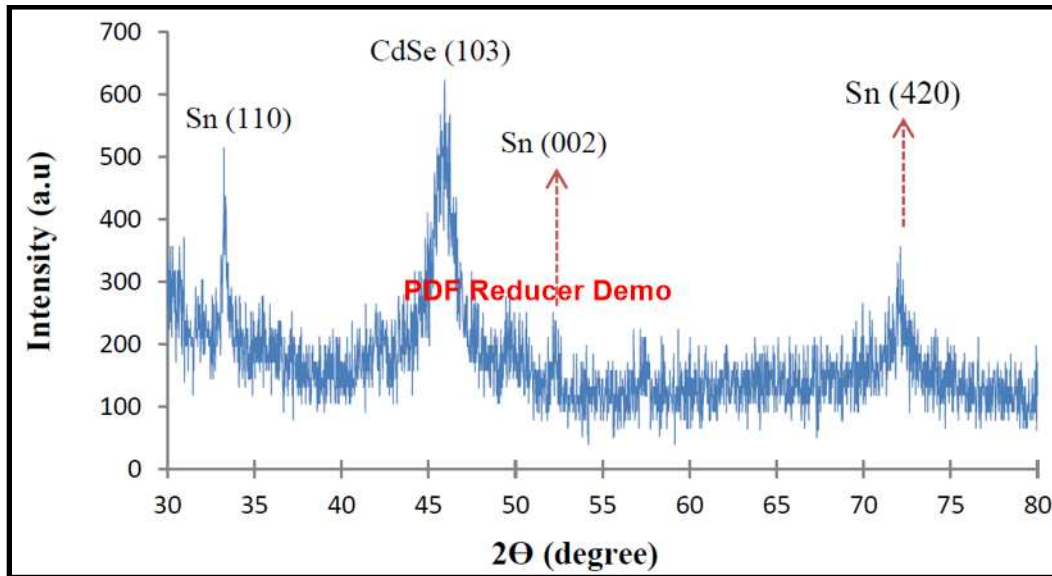
الشكل (8-4-a) مقطع من نموذج حيود الاشعة السينية لشائبة القصدير المضافة الى أغشية (CdSe) المحضرة بسمك (300 nm)



الشكل (8-4-b) مقطع من نموذج حيود الاشعة السينية لشائبة القصدير المضافة الى أغشية (CdSe) المحضرة بسمك (500 nm)



الشكل (8-4-c) مقطع من نموذج حيود الاشعة السينية لشائبة القصدير المضافة الى أغشية (CdSe) المحضرة بسمك (700 nm)



الشكل (8-4-d) مقطع من نموذج حيود الاشعة السينية لشائبة القصدير المضافة الى أغشية (CdSe) المحضرة بسمك (900 nm)

الجدول (4-5) معاملات ميلر وزوايا الحيود البلوري وفسح السطوح لشائبة القصدير (Sn) المضافة الى أغشية (CdSe) النقية ومقارنتها بتلك القياسية (JCPDS) والمرقمة (18-1380) [99].

Thick ness (nm)	(hkl) (JCPDS)	2 $\theta$ (JCPDS)	2 $\theta$ Observed	d(A°) (JCPDS)	d(A°) Observed
300	(002)	52.5187	52.2472	1.741000	1.74945
	(400)	63.7831	63.6681	1.458000	1.46040
	(420)	72.4142	72.2507	1.304000	1.30972
500	(200)	30.6444	30.5626	2.915000	2.92269
	(002)	52.5187	52.2532	1.741000	1.74927
	(112)	63.5395	63.3202	1.463000	1.46758
	(420)	72.4142	72.2206	1.304000	1.30705
700	(200)	30.6444	30.5870	2.915000	2.91813
	(002)	52.5187	52.2738	1.741000	1.74863
	(420)	72.4142	72.2481	1.304000	1.30662
900	(110)	33.2155	33.1445	2.695000	2.69994
	(002)	52.5187	52.2772	1.741000	1.74852
	(420)	72.4142	72.0307	1.304000	1.31003

تم حساب معدل الحجم البلوري (Crystallite size) للقيمة السائدة (002) لنماذج الاغشية المحضرة بسمك مختلف (300,500,700,900) nm بنوعها النقي والمشوب بالقصدير بنسبة تشويب (3%) ، وذلك بالاستعانة بنتائج حيود الاشعة السينية وباعتماد معادلة شرر (2-6) ، كذلك تم حساب كثافة الانخلاعات ( $\delta$ ) وعدد الطبقات البلورية المتكونة ( $N_0$ ) لنماذج الاغشية المحضرة كافة من خلال المعادلتين (2-7) و(2-8) على التوالي فضلا عن حساب الاجهاد الداخلي ( $\mu\epsilon$ ) من خلال المعادلة (2-9) .

أظهرت النتائج للأغشية النقية والمثبتة في الجدول (6-4) زيادة كل من معدل الحجم البلوري (D) وعدد الطبقات البلورية المتكونة ( $N_o$ ) بزيادة سمك الغشاء المحضر ، يقابل ذلك تناقص واضح يظهر في كل من كثافة الانخلاعات ( $\delta$ ) والإجهاد الداخلي ( $\mu\epsilon$ ) بزيادة السمك أيضاً ليتفق ذلك ونتائج الدراسات السابقة [27,31,42] ، وكما هو موضح أيضاً في الأشكال (9-4) و(10-4) و(11-4) و(12-4) على التوالي ، اما سبب ما ظهر من نتائج فيعزى الى حصول تحسن في التركيب البلوري بزيادة سمك الغشاء المحضر وما لذلك من تأثير على كل من المعلمات التركيبية المذكورة اعلاه ، ذلك إن التركيب البلوري ذو أكبر حجم حبيبي وأقل كثافة إنخلاعات يمثل أفضل تركيب بلوري يمكن الحصول عليه وفقاً للدراسة [41] ، وهذا ما تم الحصول عليه فعلاً بالنسبة للأغشية ذات السمك (700,900) nm وكما مبين ذلك في نتائج قياسات حيود الأشعة السينية المثبتة في الجدولين (6-4) و(7-4) ، وموضح أيضاً في الشكلين (6-4-A) و(7-4-A) على التوالي .

الجدول (6-4) المعلمات التركيبية لأغشية سيلينايد الكاديوم (CdSe) النقية المحضرة بسمك مختلف

Thickness (nm)	Volume of unit cell ( $\text{Å}^3$ )	FWHM at (002) (deg)	D (nm)	$N_o * 10^{15}$ (crystal/ $m^2$ )	$\delta * 10^{15}$ (Lines/ $m^2$ )	$\mu\epsilon * 10^{-4}$
300	113.488	0.2370	35.01	6.99	0.82	10.34
500	111.918	0.2245	36.96	9.90	0.73	9.80
700	111.646	0.2208	37.58	13.19	0.71	9.60
900	111.310	0.2079	39.90	14.16	0.63	9.08

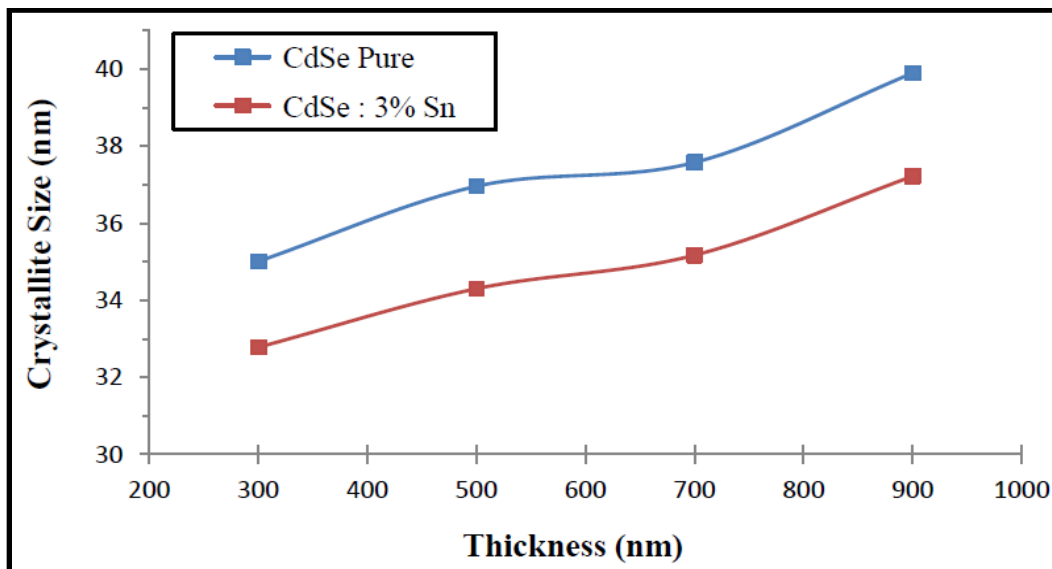
أما فيما يتعلق بكون الأغشية كانت ذات قيم متناقصة من حيث الإجهاد الداخلي الناشئ فيها بزيادة السمك فيعزى سبب ذلك الى ميل الحبيبات – بزيادة السمك – للنمو معاً بالاتجاه ذي الأقل طاقة داخلية ممكنة وبأقل أجهاد داخلي ممكن (تقليص الحدود الحبيبية بين الحبيبات) لتصبح بذلك عناقيداً أكبر ومنها جُزراً أكبر مكونة بذلك الغشاء المتجانس [41].



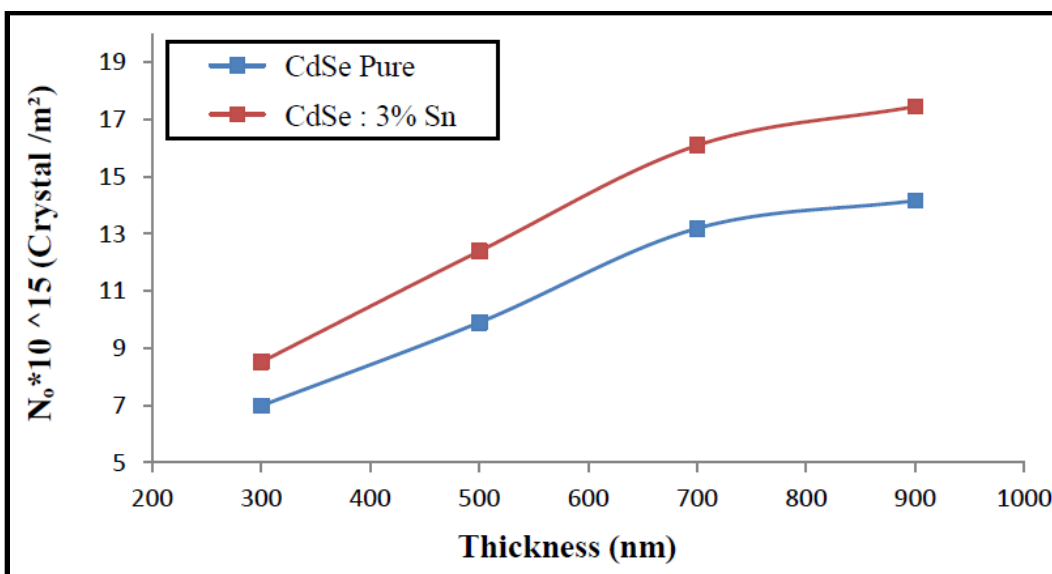
أما بالنسبة الى نتائج الاغشية المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) والمثبتة في الجدول (7-4) ، فقد أظهرت بأن السلوك العام للمعلمات التركيبية بعد عملية التشويب كان مشابهة لحالة ما قبل التشويب وكما موضح ذلك في الأشكال (9-4)، (10-4)، (11-4)، (12-4) على التوالي ، سوى ظهور تزايد واضح يظهر في قيم كل من كثافة الانخلاعات ( $\delta$ ) والاجهاد الداخلي ( $\mu\epsilon$ ) وعدد الطبقات البلورية المتكونة ( $N_o$ ) بعملية التشويب مع تزايد يظهر ايضاً في قيم عرض المنحني عند منتصف الشدة (FWHM) يقابل ذلك تناقص قليل في معدل الحجم البلوري (D) ولكل سمك محضر بعد التشويب عنه قبل التشويب . يعزى سبب ذلك الى فارق نصف القطر الايوني بين ذرات المادة الشائبة والمادة المشوبة مما يؤدي الى تزايد عرض القمة عند منتصف الشدة (FWHM) وبالتالي التناقص الملاحظ في الحجم البلوري الناتج وفقاً لمعادلة شرر الامر الذي يدفع بالحبيبات المتكونة (ولاسيما ذوات الاتجاه المميز منها (002)) لاستقبال عدد أكبر من بلورات المادة المشوبة ، ومن ثم الزيادة المستمرة في الحجم الحبيبي الناتج ، ليتفق ذلك ونتائج الدراسات [36,40] .

الجدول (7-4) المعلمات التركيبية لأغشية سيلينيد الكاديوم (CdSe) المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) والمحضرة بسمك مختلف

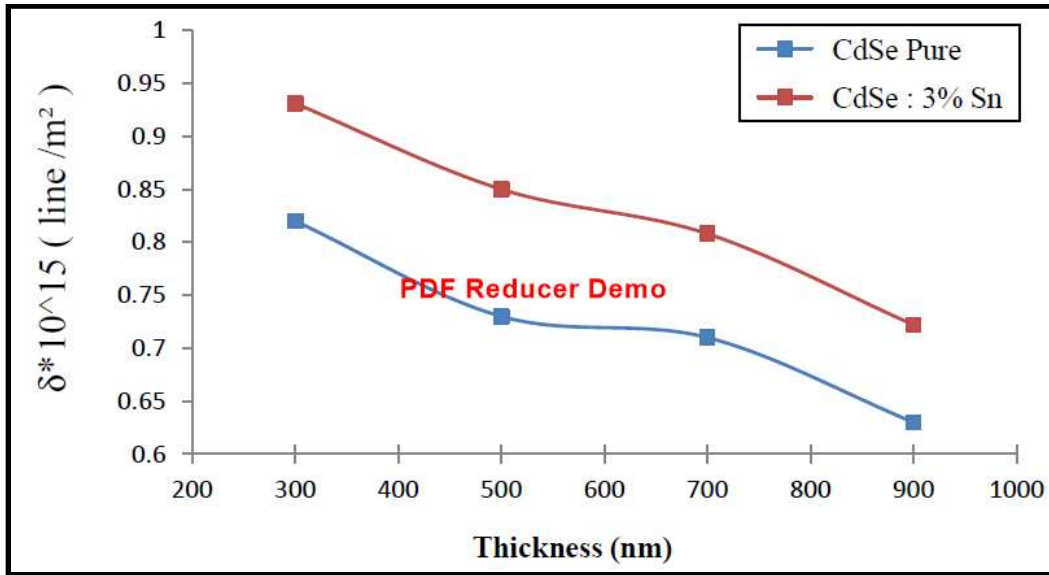
Thickness (nm)	Volume of unit cell ( $\text{Å}^3$ )	FWHM at (002) (deg)	D (nm)	$N_o * 10^{15}$ (crystal/ $m^2$ )	$\delta * 10^{15}$ (Lines/ $m^2$ )	$\mu\epsilon * 10^{-4}$
300	112.820	0.2531	32.78	8.52	0.93	11.00
500	111.758	0.2419	34.30	12.39	0.85	10.55
700	111.352	0.2359	35.17	16.09	0.81	10.29
900	111.126	0.2229	37.22	17.45	0.72	9.730



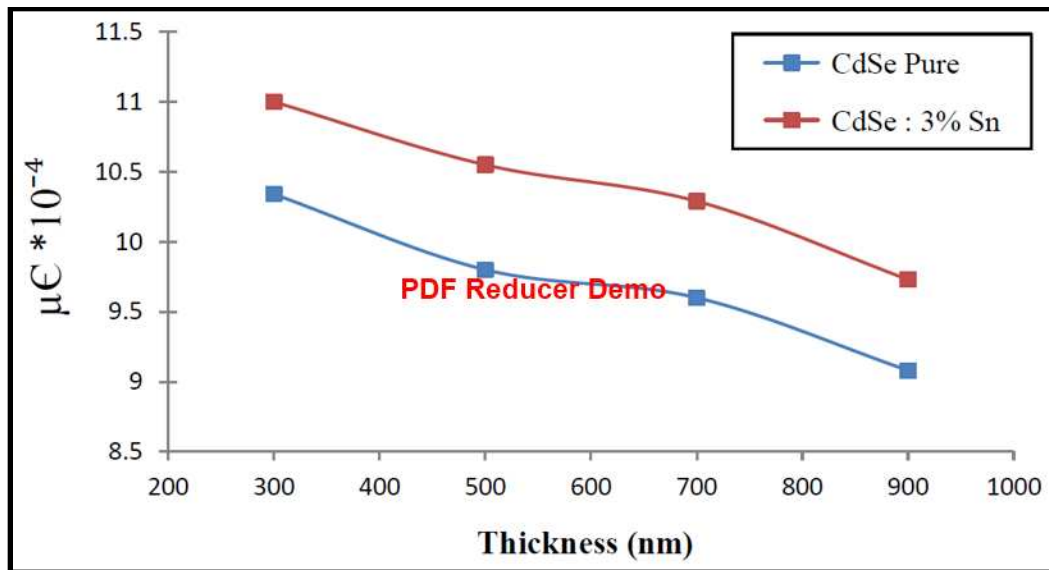
الشكل (4-9) تغير الحجم البلوري (D) كدالة لتغير السمك لأغشية (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها



الشكل (4-10) تغير عدد الطبقات البلورية المتكونة ( $N_0$ ) كدالة لتغير السمك لأغشية (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها



الشكل (4-11) تغير كثافة الانخلاعات ( $\delta$ ) كدالة لتغير السمك لأغشية (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها



الشكل (4-12) تغير الأجهادات المايكروية الناتجة ( $\mu_e$ ) كدالة لتغير السمك لأغشية (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها

## (2-2-4) فحوصات طيف تشتت الطاقة (EDS)

**Energy Dispersive Spectrometer Measurements**

يبين الجدول (8-4) القيم النظرية للنسب المئوية الوزنية والذرية لعناصر المركب الثنائي (CdSe) عندما يراد تحضيره بالصيغة (Cd<sub>50%</sub>Se<sub>50%</sub>) ، حيث تم فحص سبيكة المركب بمطياف تشتت الطاقة وأظهرت النتائج احتواء السبيكة المحضرة على عناصرها الأولية (Cd) و (Se) وبالنسب المبينة في الجدول (9-4) وكما موضح ذلك في الشكل (13-4) .

كذلك أجريت فحوصات مقياس طيف تشتت الطاقة لأغشية المركب عند أعلى سمك تم تحضيره ( 900 nm ) ، وأظهرت النتائج اقتراب عناصر المركب من حالة ( Stoichiometric Compound ) عندما يتم تحضيره بهيأة غشاء رقيق وكما مبين ذلك في الجدول (10-4) وموضح في الشكل (14-4) ليتفق ذلك ونتائج الدراسات السابقة [32,35] .

أما بالنسبة الى أغشية المركب المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) والمحضرة بسمك مختلف nm (300,500,700,900) على التوالي ، فقد أجريت لها فحوصات طيف تفريق الطاقة أيضا للتأكد من مدى اقتراب نسبة التشويب المضافة من القيمة النظرية المعمول بها ، وكانت النتائج كما مبينة في الأشكال (15-4) و(16-4) و(17-4) و(18-4) على التوالي ، مع بيان قيم النسب الوزنية المئوية إزاء كل عنصر من العناصر التي تم الكشف عنها باستخدام هذا المقياس .

الجدول (8-4) القيم النظرية للنسب المئوية الوزنية والذرية لعناصر المركب الثنائي سيلينايد الكاديوم ذي الصيغة ( $Cd_{50\%}Se_{50\%}$ )

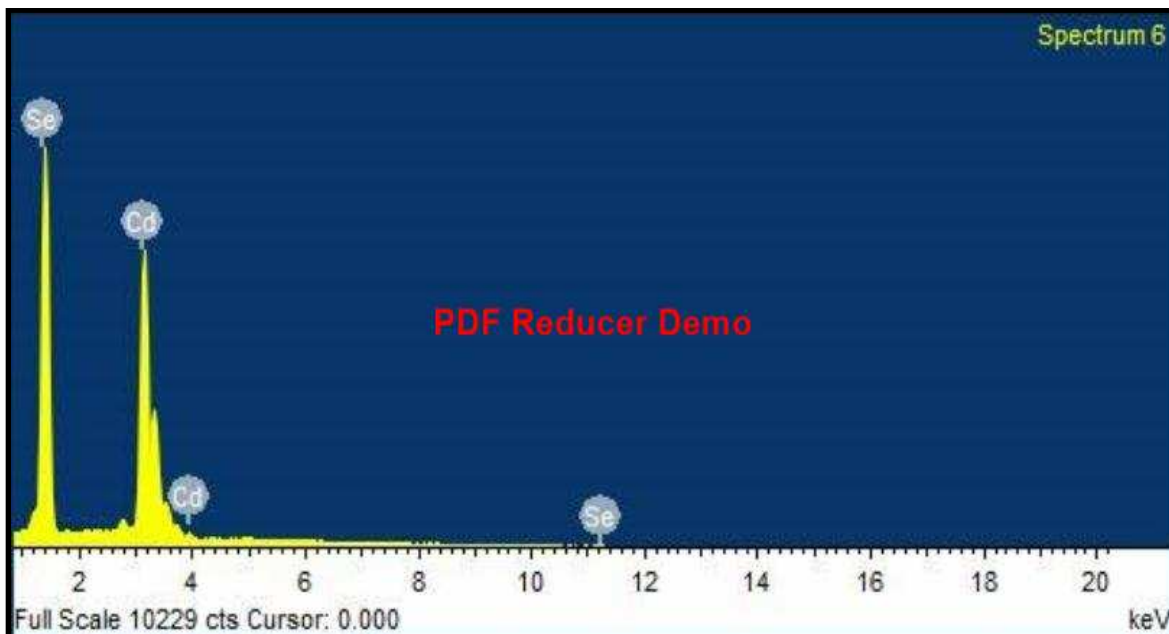
Element	Atomic %	Weight %
Cd	50	58.74
Se	50	41.26
Total	100 %	100 %

الجدول (9-4) القيم العملية للنسب المئوية الوزنية والذرية لعناصر شبكة المركب الثنائي ( $Cd_{50\%}Se_{50\%}$ ) والمحضرة مختبرياً

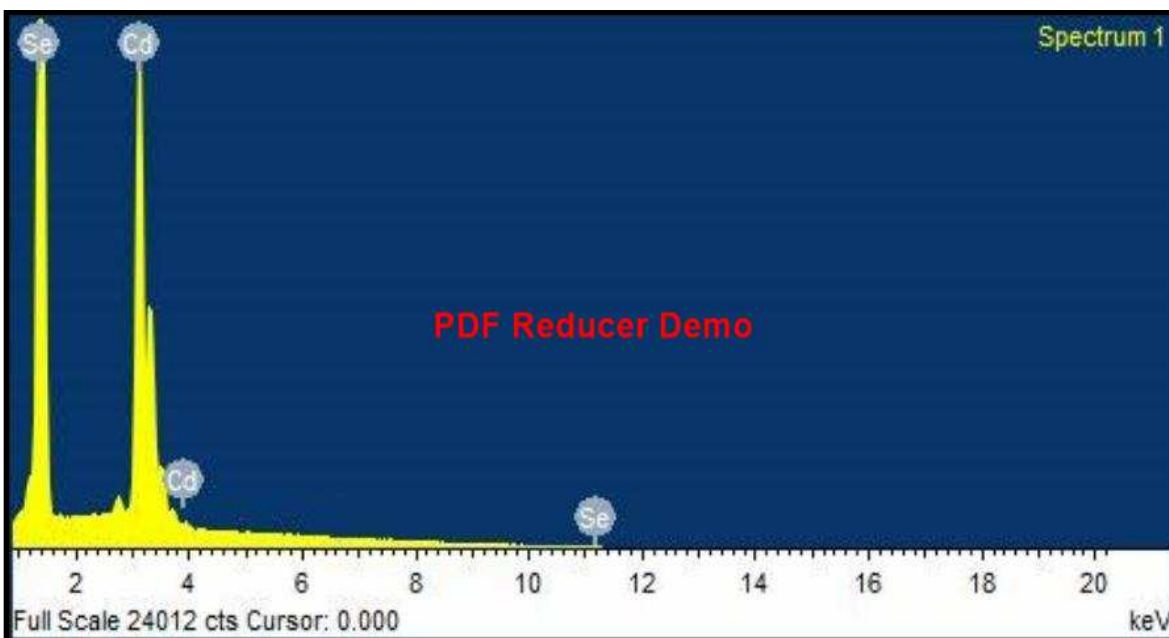
Element	Atomic %	Weight %
Cd	47.16	55.96
Se	52.84	44.04
Total	100 %	100 %

الجدول (10-4) القيم العملية للنسب المئوية الوزنية والذرية لعناصر المركب الثنائي ( $Cd_{50\%}Se_{50\%}$ ) بهيئة غشاء رقيق وبسمك (900 nm)

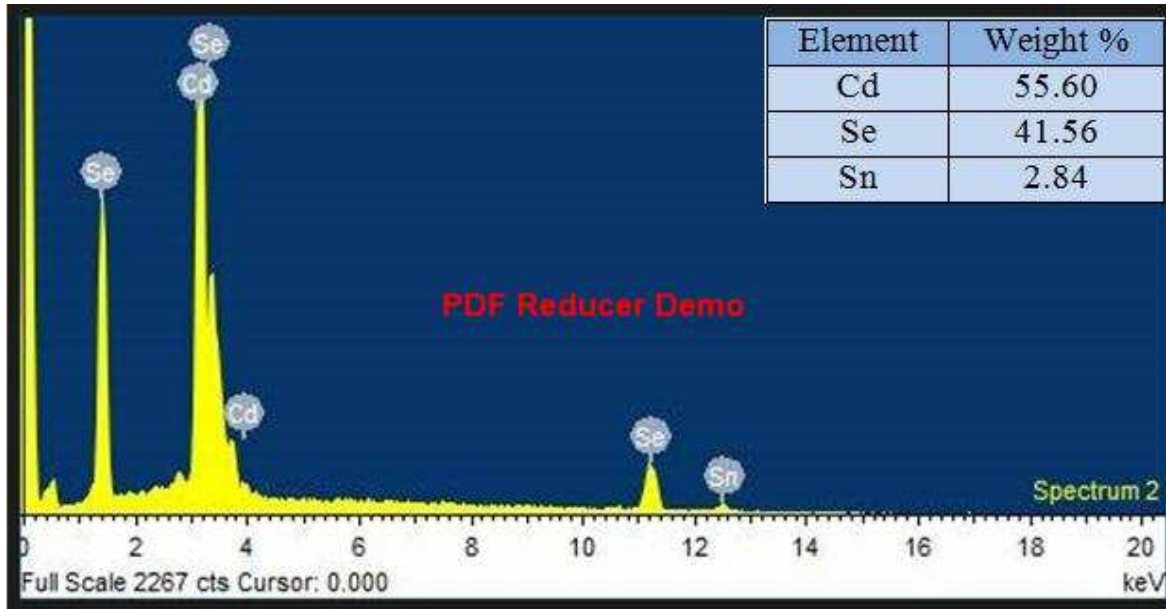
Element	Atomic %	Weight %
Cd	49.72	58.47
Se	50.28	41.53
Total	100 %	100 %



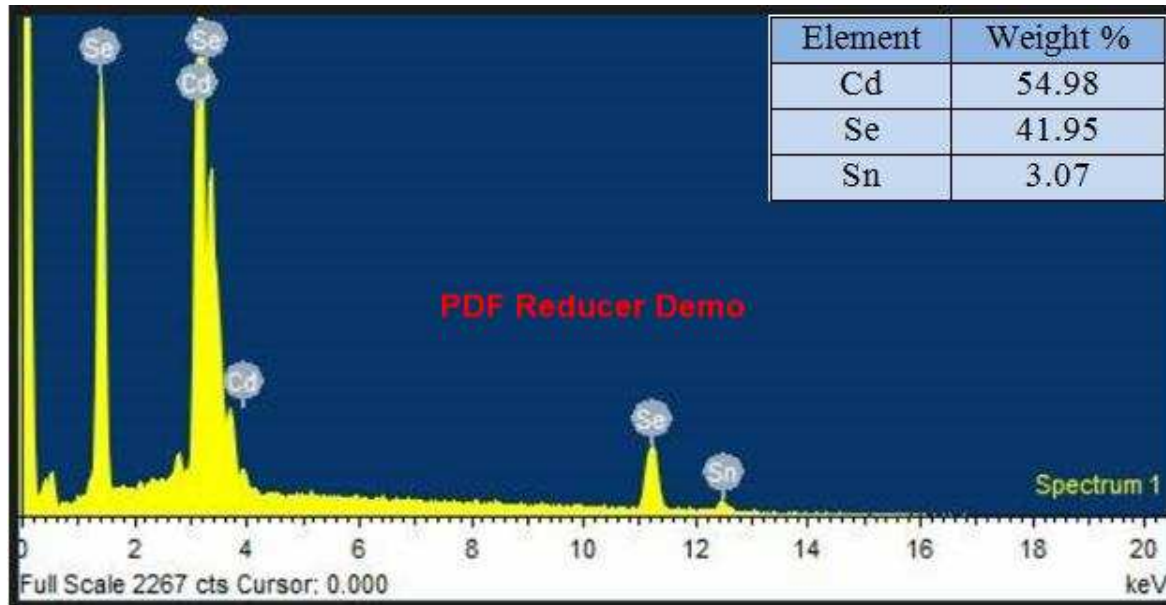
الشكل (4-13) طيف فلورة الاشعة السينية ومقياس طيف تشتت الطاقة لعناصر سبيكة المركب الثنائي (CdSe) المحضرة مختبرياً



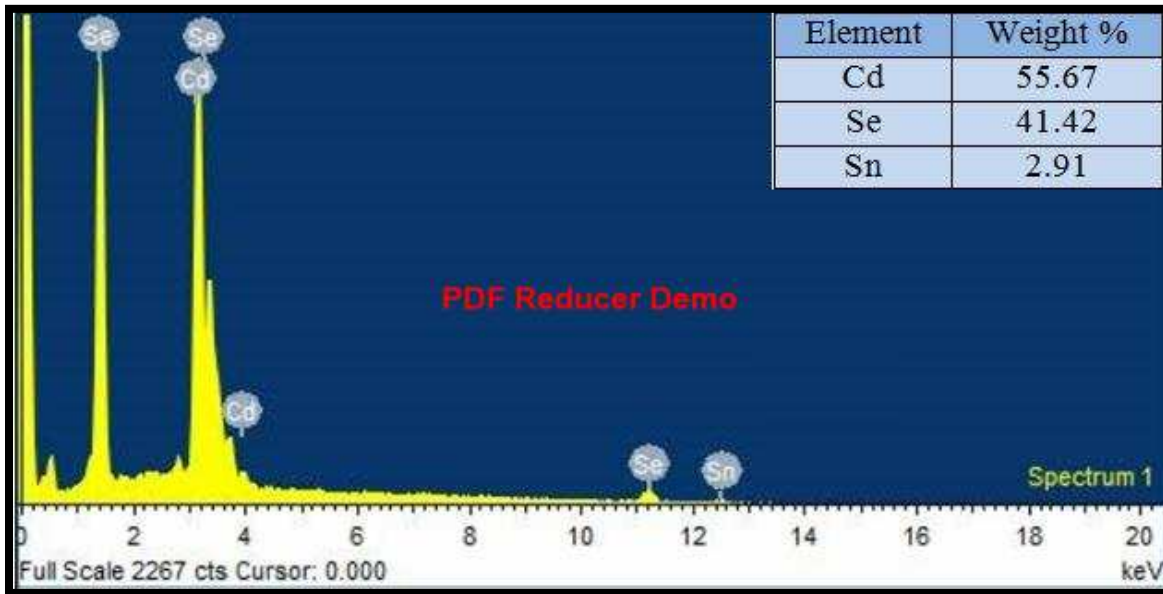
الشكل (4-14) طيف فلورة الاشعة السينية ومقياس طيف تشتت الطاقة لأغشية المركب الثنائي (CdSe) المحضرة بسلك (900 nm)



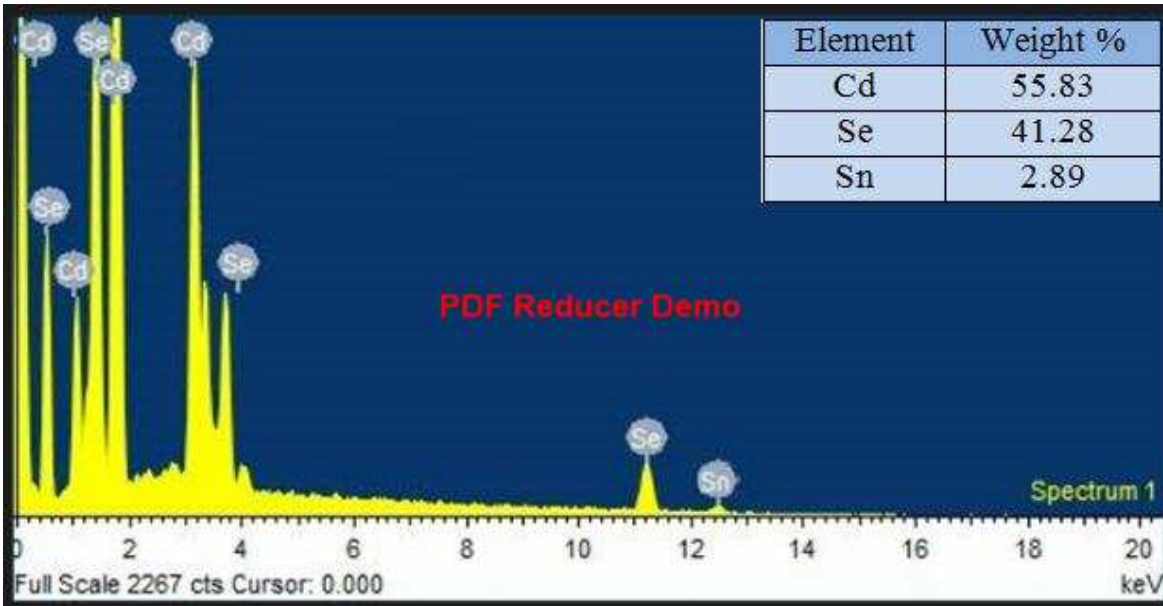
الشكل (4-15) طيف فلورة الاشعة السينية ومقياس طيف تشتت الطاقة لأغشية المركب الثنائي (CdSe) المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) والمحضرة بسمك (300 nm)



الشكل (4-16) طيف فلورة الاشعة السينية ومقياس طيف تشتت الطاقة لأغشية المركب الثنائي (CdSe) المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) والمحضرة بسمك (500 nm)



الشكل (17-4) طيف فلورة الاشعة السينية ومقياس طيف تشتت الطاقة لأغشية المركب الثنائي (CdSe) المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) والمحضرة بسمك (700 nm)



الشكل (18-4) طيف فلورة الاشعة السينية ومقياس طيف تشتت الطاقة لأغشية المركب الثنائي (CdSe) المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) والمحضرة بسمك (900 nm)



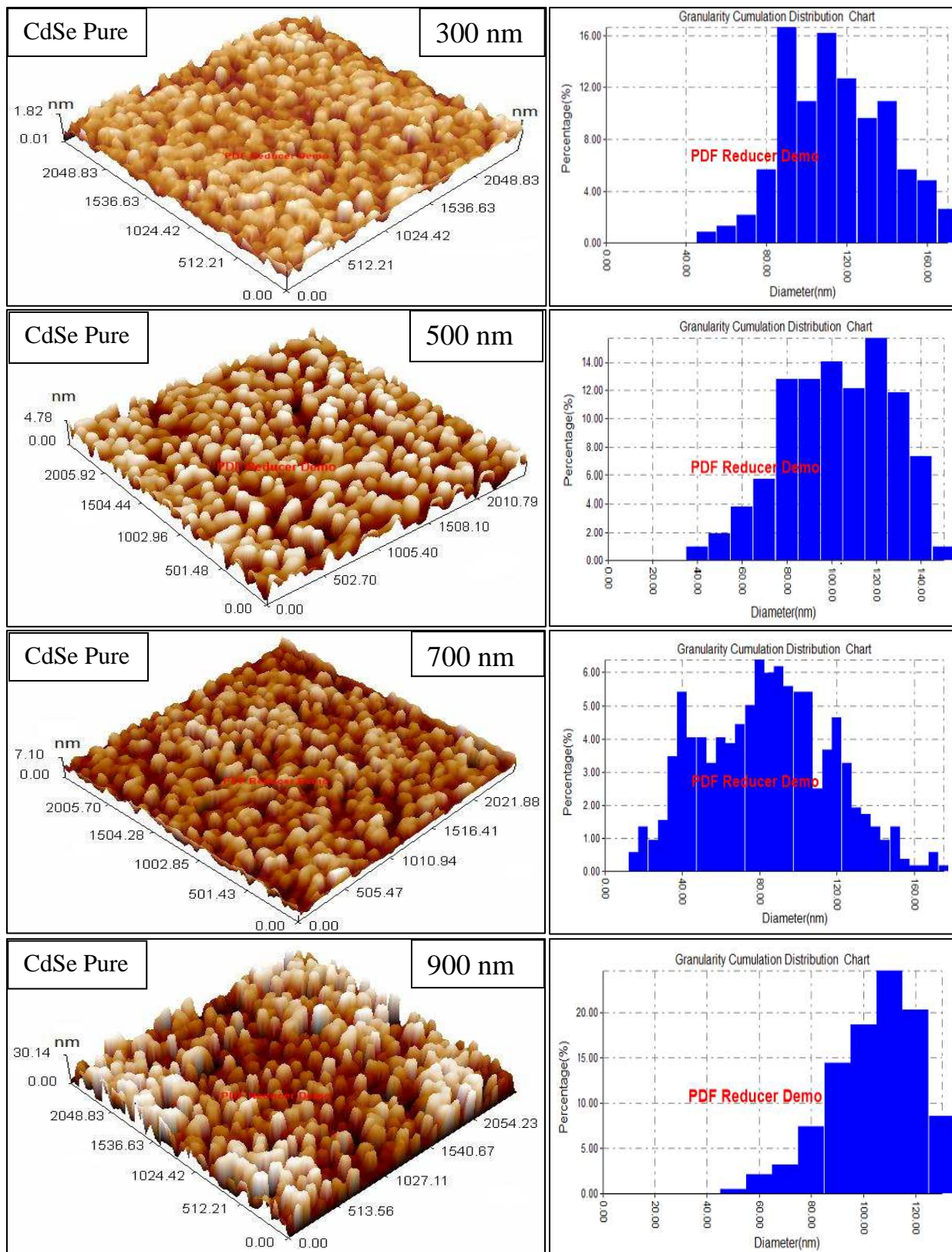
## (2-2-4) نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية (AFM)

**Atomic force microscopy Results**

تعد دراسة سمات ومعالم سطح الغشاء المحضر من الامور الواجب دراستها نظراً لما تمتلكه من تأثير مهم في كفاءة الخلية الشمسية المصنعة ، وعلى هذا الاساس تم دراسة تضاريس وطوبوغرافية سطوح أغشية سيلينايد الكاديوم (CdSe) المحضرة بسمك مختلف ، النقي منها والمشوب بالقصدير بنسبة تشويب (3%) وذلك باعتماد مجهر القوة الذرية (AFM) لما يمتلكه من إمكانيات عالية في إعطاء قيم إحصائية دقيقة عن معدل الحجم الحبيبي (Grain size) وكيفية توزيعها على السطوح (Distribution chart) ودرجة خشونة سطح الغشاء المحضر (Roughness) اعتماداً بذلك على الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة (RMS) فضلاً عن إعطائه صور الفحص ببعدين وبثلاثة ابعاد .

يبين الشكل (4-19) صوراً ثلاثية الابعاد لأغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمحضرة بسمك مختلف (300, 500, 700, 900) nm مع مخطط توزيع حبيبات الغشاء خلال مساحة السطح المفحوص إذ يتضح من الشكل كيف أن حبيبات الغشاء تأخذ بالتميز والوضوح والنمو نحو الاعلى بزيادة السمك حيث تصبح ذات حجم حبيبي أكبر مع توزيع منتظم ومتجانس على طول مساحة سطح الغشاء ، ويعزى سبب ذلك الى زيادة تجمع ذرات المادة المترسبة على السطح بزيادة السمك - (لاسيما بالاتجاه (002)) - لتصبح بذلك عناقيداً أكبر ومنها جزراً أكبر مكونة بذلك الغشاء المتجانس ذا الحجم الحبيبي الاكبر ولتحسن بذلك خواصه التركيبية ( لاسيما الزيادة الحاصلة في درجة تبلوره ) من جهة ، ولتزداد بذلك خشونة السطح من جهة أخرى وهذا يتفق مع نتائج فحوصات حيود الاشعة السينية ومع نتائج الدراسات السابقة [31,35,42] .

ويبين الجدول (4-11) قيم كل من معدل الحجم الحبيبي والخشونة السطحية وقيم الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة لكافة أغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمحضرة بسمك مختلف ، حيث يتبين من خلال الجدول الحصول على تراكيب نانوية للأغشية النقية المحضرة ، فضلاً عن الحصول على أفضل قيم من شأنها وتحسين مخرجات الخلايا الشمسية المراد تصنيعها عند أعلى سمك محضر (900nm) .



الشكل (19-4) صور (AFM) لأغشية (CdSe) النقية والمحضرة بسمك مختلف

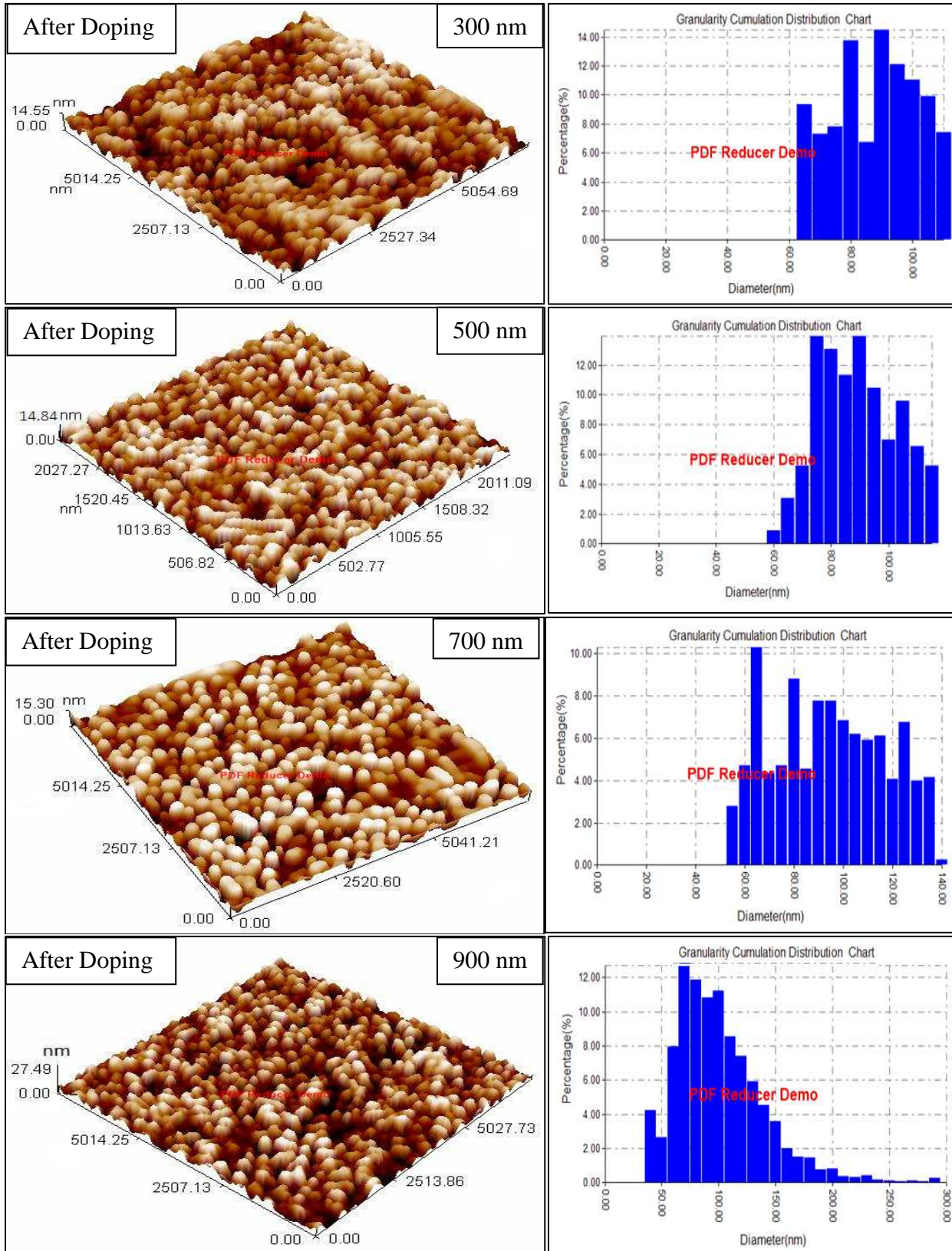
الجدول (11-4) قيم معدل الحجم الحبيبي والخشونة السطحية والجزر التربيعي لمربع متوسط الخشونة لأغشية (CdSe) النقية والمحضرة بسمك مختلف

Thickness (nm)	Grain Size (nm)	Root mean square (nm)	Roughness density (nm)
300	78.80	0.25	0.198
500	80.94	1.16	0.979
700	91.79	1.42	1.180
900	96.16	8.70	7.540

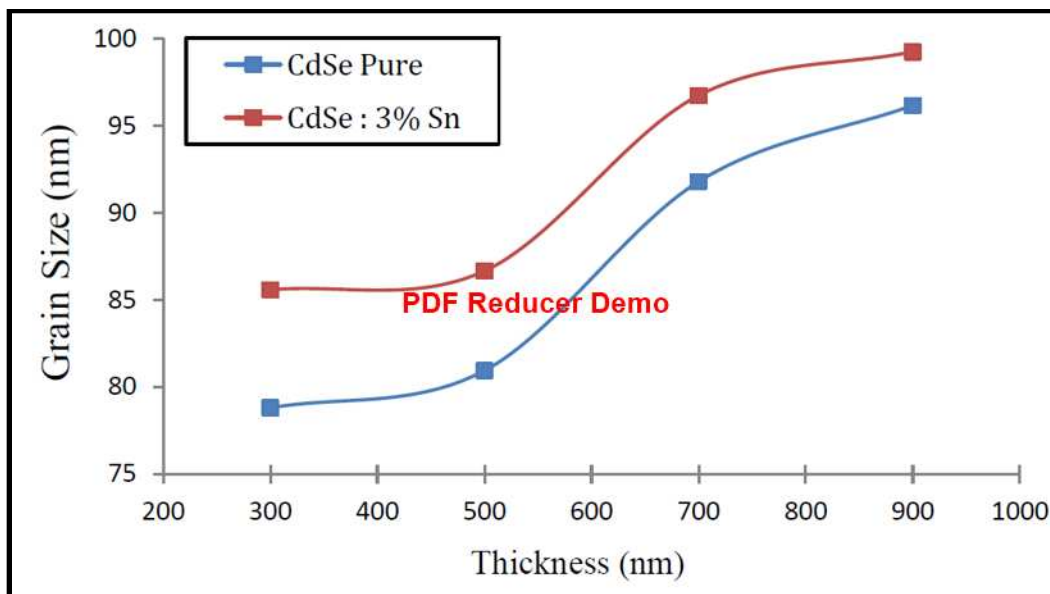
أما فيما يتعلق بالأغشية المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) فيلاحظ من الشكل (4-20) أن الشائبة المضافة كانت ذات تأثير واضح على شكل وطبيعة سطح الغشاء المحضر بعد التشويب عنه قبل التشويب ولكل سمك محضر ، إذ يلاحظ من النتائج المبينة في الجدول (4-12) ، كيف أن الشائبة المضافة قد عملت على زيادة قيم الجزر التربيعي لمعدل متوسط الخشونة وبالتالي زيادة خشونة السطح لتبلغ أكبر قيمة لها عند أعظم سمك محضر ، وهذا يعد دليلاً آخر في أن المادة الشائبة المضافة كانت ذات تأثير ايجابي وواضح في تحسين الخصائص التركيبية للمادة قيد الدراسة متفقاً ذلك ونتائج الدراسات السابقة [26,29,33] ويبين الشكلان (4-21) و(4-22) تغير كل من الحجم الحبيبي والخشونة السطحية كدالة لتغير السمك لأغشية المادة النقية والمشوبة على التوالي .

الجدول (12-4) قيم معدل الحجم الحبيبي والخشونة السطحية والجزر التربيعي لمربع متوسط الخشونة لأغشية (CdSe) المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) والمحضرة بسمك مختلف

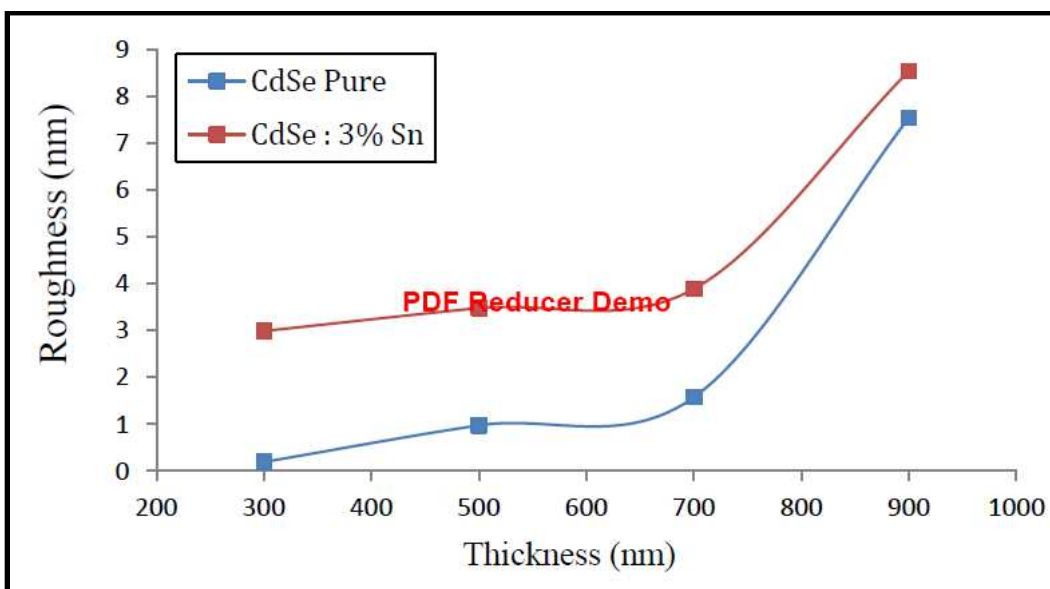
Thickness (nm)	Grain Size (nm)	Root mean square (nm)	Roughness density (nm)
300	85.58	3.52	2.99
500	86.66	3.64	3.48
700	97.73	4.10	3.89
900	99.24	9.57	8.54



الشكل (20-4) صور (AFM) لأغشية (CdSe) المشوبة بالقصدير بنسبة (3%) والمحضرة بسمك مختلف



الشكل (4-21) تغير الحجم الحبيبي كدالة لتغير السمك لأغشية (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها



الشكل (4-22) تغير خشونة السطح كدالة لتغير السمك لأغشية (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها

## (3-2-4) نتائج الفحص بالمجهر الالكتروني الماسح ( SEM )

**Scanning Electron Microscopy Results**

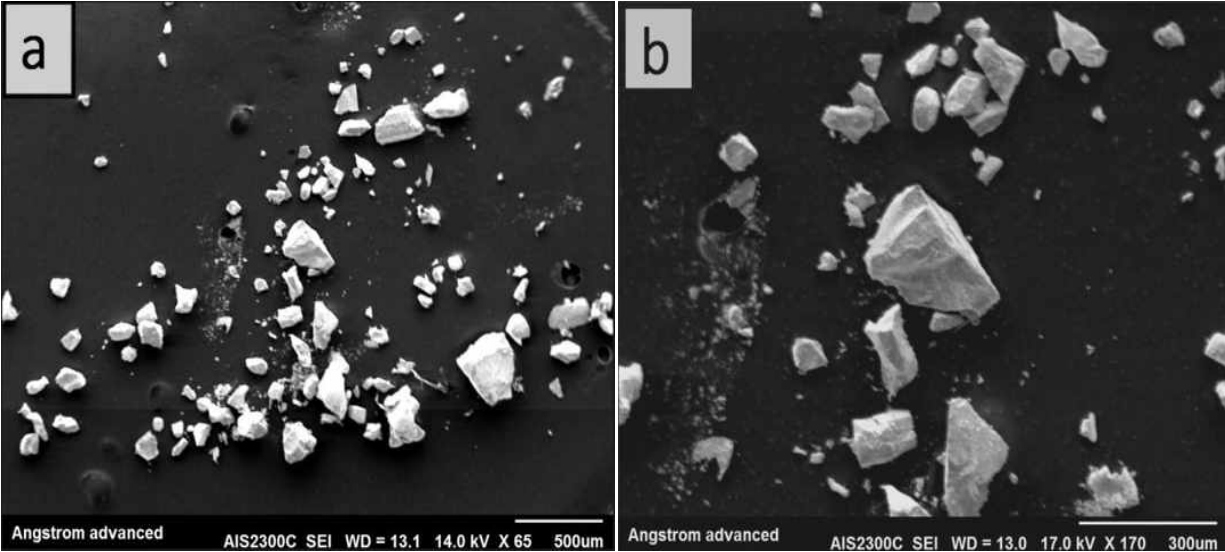
لأجل الحصول على صورة واضحة المعالم ودقيقة حول شكل وطبيعة توزيع الحبيبات أو البلورات ضمن سطح الغشاء المحضر ، تم اعتماد الفحص بالمجهر الالكتروني الماسح (SEM) ، نظراً لما يمتلكه من قدرة تحليل عالية ( تصل الى 2000 مرة) وقوة تكبير كبيرة تصل الى 2 مليون مرة مقارنة بالمجهر الضوئي

يبين الشكل (4-23) صور المجهر الالكتروني الماسح لمسحوق سبيكة المادة المحضرة بقدرة تحليل مقدارها (500  $\mu\text{m}$ ) و (300  $\mu\text{m}$ ) على التوالي ، حيث يتبين من الشكل كيف أن التركيب المايكروني لمسحوق المادة يظهر على شكل تجمعات عنقودية ذات أبعاد كبيرة جداً مقارنة بالأغشية المحضرة منها .

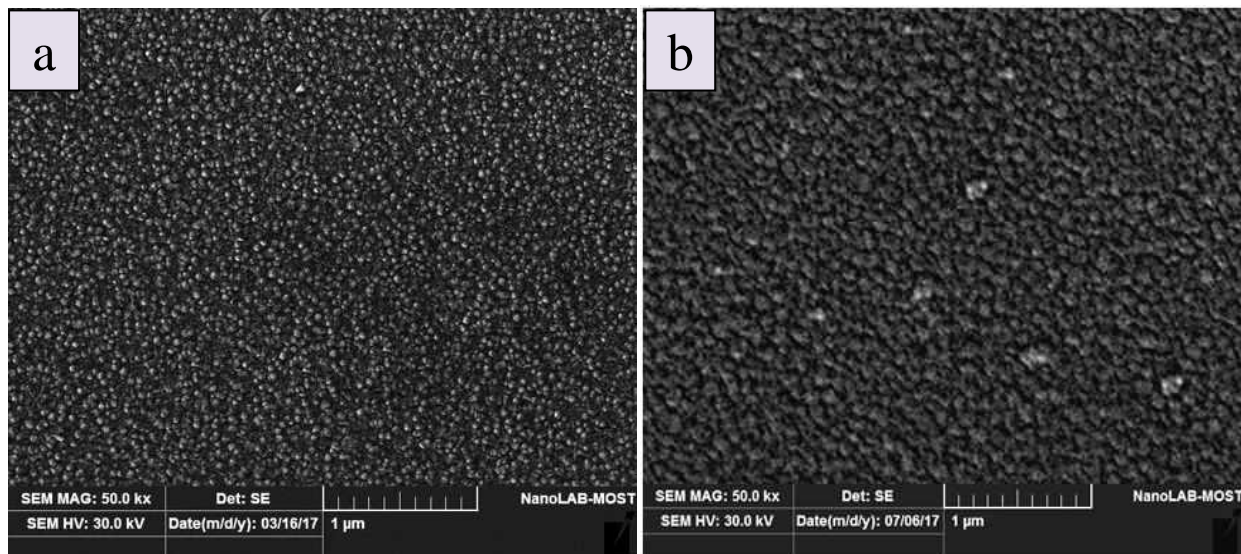
يوضح كل من الشكلين (4-24) و (4-25) صور المجهر الالكتروني الماسح بقوة تكبير مقدارها (50.000X) وبقدرة تحليل لغاية ( 1  $\mu\text{m}$  ) لأغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) ، المرسبة على قواعد من الزجاج والمحضرة بسمك مختلف (300nm) و (900nm) على التوالي ، فعند المقارنة بين الشكلين يلاحظ بأن الأغشية المحضرة النقية ( الجزء a - من كل شكل ) تمتاز بخلوها من العيوب المايكروية كالتصدعات (Cracks) أو الثقوب الابرية ( pin holes ) ، وكيف أن زيادة السمك قد أثرت على الحجم الحبيبي الناتج بزيادة واضحة في قيمته ، وهذا يعزى الى زيادة عمليات الالتحام الحاصلة بين الجسيمات النانوية للمادة المترسبة بزيادة السمك فتميل الحبيبات الصغيرة المتكونة من تلك الجسيمات للنمو معا لتصبح بذلك حبيبات أكبر ومنها الغشاء المتجانس ذو التركيب البلوري الافضل وهذا يتفق مع نتائج حيود الاشعة السينية ونتائج فحوصات مجهر القوة الذرية (AFM) والدراسات [31,35,38].

أما فيما يتعلق بالأغشية المشوبة بالقصدير (الجزء b- من الشكلين (4-24) و(4-25)) فيلاحظ بأنها (فضلاً عن خلوها مما ذكر من عيوب ) كانت ذات تجانس تنعدم فيه احتمالية حصول ما يسمى بعملية تقشر الغشاء (Thin film peeling) والناجمة من جراء اختلاف معاملات التمدد الحراري أثناء المعاملة الحرارية لانتشار الشوائب ، الأمر الذي يشير الى جودة الاغشية المحضرة وكفاءة المنظومة المستخدمة في عملية الترسيب فضلاً عن خاصية الالتصاق الجيد التي تمتعت بها الاغشية المحضرة بالقواعد الزجاجية .

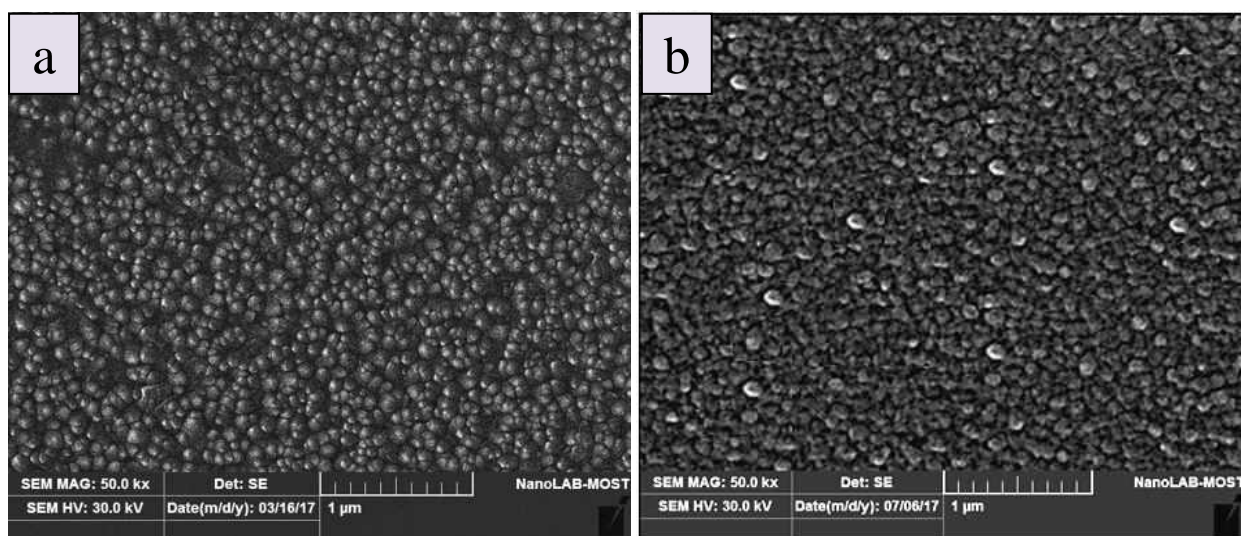
وبالعودة الى الشكل (4-24) والذي يمثل صور المجهر الماسح الالكتروني لأغشية (CdSe) المحضرة بسمك (300 nm) قبل التشويب وبعده ، يلاحظ - من الجزء (a) - فيه ان سطح الغشاء المحضر بحالته النقية ما هو إلا عبارة عن طبقة غزيرة من حبيبات نانوية صغيرة الحجم كروية الشكل موزعة بتجانس وانتظام كبير على مساحة سطح العينة ، أما ( الجزء -b- ) من الشكل فيوضح كيف أن عملية التشويب قد أثرت على الحجم الحبيبي الناتج ، حيث يتبين وبوضوح تام كيف أن الحبيبات النانوية بعد عملية التشويب ساعدت على تكوين غشاء رقيق ذي تجانس أفضل وبحجم حبيبي أكبر ، يعزى ذلك الى الزيادة الحاصلة في عدد بلورات المركب النانوية (CdSe) المتواجدة ضمن الحبيبة الواحدة بعد عملية التشويب عنها قبل التشويب خصوصا ضمن تلك الحبيبات ذات الاتجاه المميز (002) باعتبارها ذات أقل طاقة داخلية ممكنة ، مما ساعد على استقطاب بلورات المركب المشوبة للتجمع بداخلها ليزداد بذلك الحجم الحبيبي الناتج ، وهذا ما ينطبق أيضا على الشكل (4-25) بجزأيه (a) و (b) ، ليتفق ذلك مع نتائج الدراسات [26,29,35] ويتطابق تماما مع نتائج حيود الاشعة السينية ونتائج فحوصات مجهر القوة الذرية (AFM) .



الشكل (4-23) صور المجهر الماسح الالكتروني لمسحوق سبيكة المركب الثنائي (CdSe)  
(a) : قدرة تحليل (500μm) ، (b) : قدرة تحليل (300μm)



الشكل (4-24) صور المجهر الماسح الالكتروني لأغشية (CdSe) المحضرة بسمك (300 nm) : (a) الحالة النقية ، (b) : عند التشويب بالقصدير بنسبة (3%)



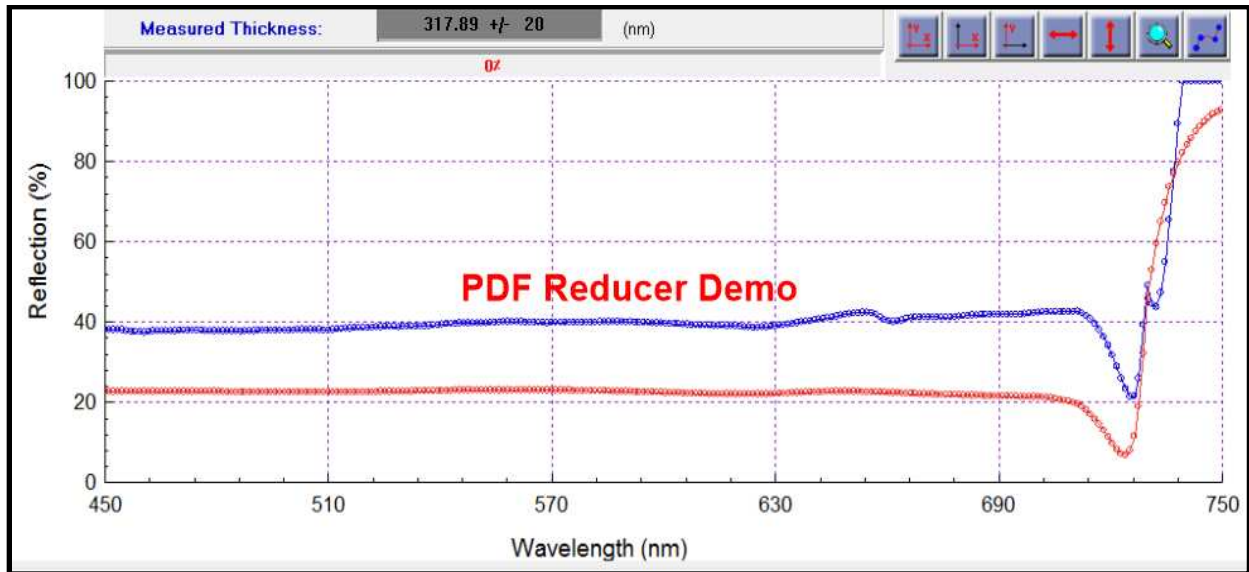
الشكل (4-25) صور المجهر الماسح الالكتروني لأغشية (CdSe) المحضرة بسمك (900 nm) : (a) الحالة النقية ، (b) : عند التشويب بالقصدير بنسبة (3%)



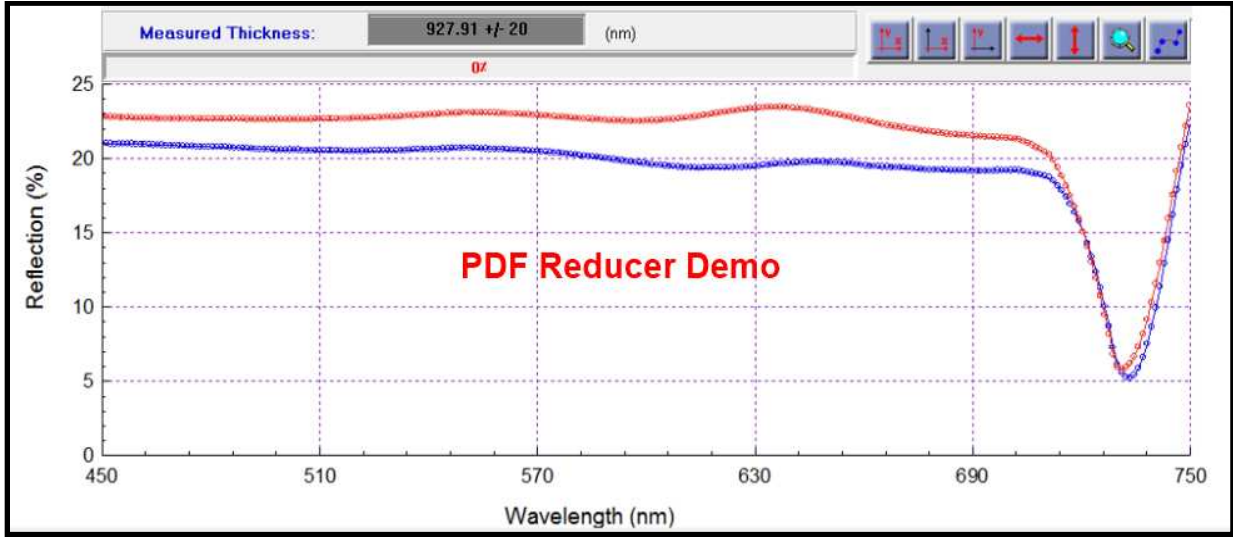
## (3- 4) نتائج قياس سمك الاغشية المحضرة

**Thickness Measurement of CdSe Thin Films**

تم قياس سمك الاغشية المحضرة في هذه الدراسة وذلك باعتماد المقياس الطيفي العاكس والمجهز من قبل شركة (Angstrom sun technologies Inc) ، ووجد بأن سمك الاغشية المحضرة كان مقاربا جدا لقيم السمك الواجب اعتمادها ضمن خطة الدراسة الحالية ، فقد وجد أن سمك الاغشية المحضرة كان مساويا الى  $20 \pm (300, 500, 700, 900)$  nm وكما موضح ذلك في الشكلين (4-26) و(4-27) على التوالي واللذين يمثلان الصور المعطاة من الجهاز المذكور انفا لأغشية سيلينايد الكاديوم (CdSe) عند اقل سمك (300 nm) وأعلى سمك (900 nm) تم تحضيره على التوالي ، إذ يمثل المنحني الازرق طيف الانعكاسية كدالة للطول الموجي لنموذج الغشاء قيد الفحص ، أما المنحني الاحمر فيمثل طيف الانعكاسية كدالة للطول الموجي لنموذج المادة القياسي ، أما الانحراف الحاصل بين المنحنيين المرسومين فهو ما يسمى بـ (Data regression) والذي من خلاله يتم قياس سمك الغشاء المحضر .



الشكل (4-26) نموذج طيف الانعكاسية المئوية كدالة للطول الموجي لأغشية سيلينايد الكاديوم (CdSe) النقية المحضرة بسمك (300 nm) واعتماد ذلك في إيجاد القيمة العملية للسمك



الشكل (4-27) نموذج طيف الانعكاسية المئوية كدالة للطول الموجي لأغشية سيلينايد الكاديوم (CdSe) النقية المحضرة بسلك (900 nm) واعتماد ذلك في إيجاد القيمة العملية للسلك

## Optical Properties

## (4-4) الخواص البصرية

## Absorptance Spectrum

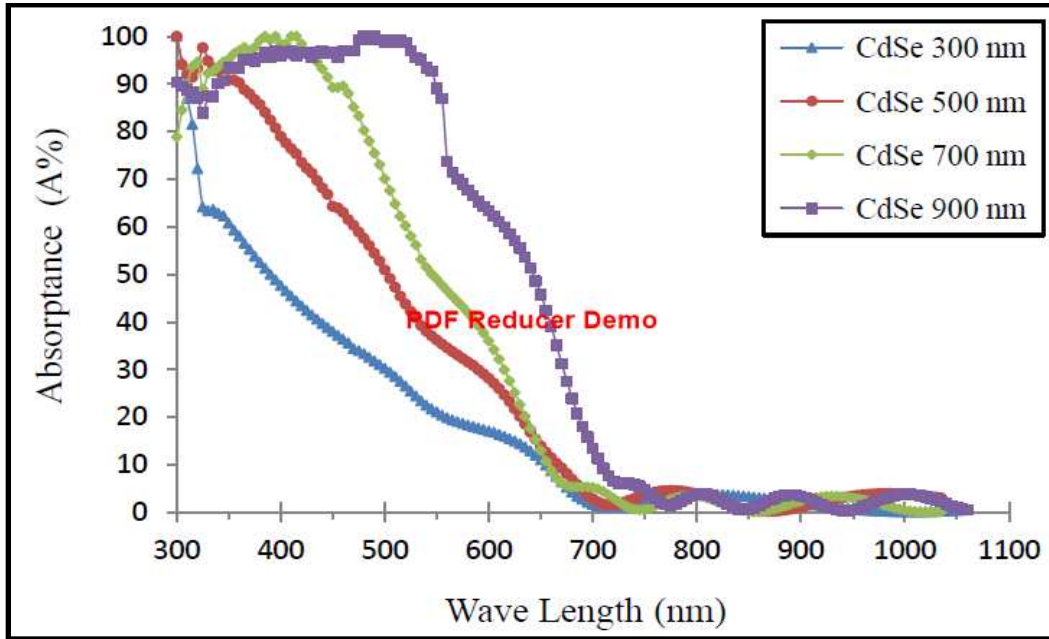
## (1-4-4) طيف الامتصاصية

إن لدراسة طيفي الامتصاصية والنفاذية فائدة مهمة في تحديد طبيعة التطبيق العلمي الذي يمكن تسخير مادة الغشاء المحضر في خدمته .

لقد أجريت قياسات طيف الامتصاصية للأغشية المحضرة كافة بنوعها النقي والمشوب ضمن مدى الأطوال الموجية (300-1100) nm ، يوضح الشكل (4-28) تغير طيف الامتصاصية المئوية كدالة للطول الموجي لأغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمحضرة بسلك مختلف (300, 500, 700, 900) ± 20nm على التوالي ، حيث يلاحظ من الشكل أن سلوك طيف الامتصاصية لأي سلك محضر يكون أعظم ما يمكن عند الأطوال الموجية القصيرة (الطاقات الفوتونية العالية) ومن ثم يأخذ بالتناقص عند الاقتراب من الأطوال الموجية الطويلة ، وهذا يعد أمراً منطقياً من الناحية الفيزيائية ، ذلك لأن الموجات الساقطة هي فوتونات ذات طاقات متفاوتة ولا يمتص منها إلا ما كانت طاقته مساوية أو أكبر من قيمة فجوة الطاقة الممنوعة ولأي سلك محضر .

كذلك يلاحظ من الشكل زيادة الامتصاصية بشكل عام بزيادة سمك الغشاء المحضر ، وهذا يعزى الى زيادة درجة تبلور الغشاء المحضر - بزيادة السمك - ومن ثم الزيادة في الحجم الحبيبي الناتج ، ذلك أن الفوتون الساقط على سطح الغشاء المحضر سوف يعاني من عمليات امتصاص متعاقبة من قبل البلوريات المتواجدة داخل الحبيبة الواحدة وبالتالي فإن احتمالية انعكاسه أو نفاذه دون أن يمتص من قبل الكترولونات ذرات المركب سوف تكون قليلة خصوصا بزيادة حجم الحبيبة الواحدة أي ( زيادة عدد البلوريات فيها بزيادة السمك ) ، إذ انه وبزيادة عدد تلك البلوريات سوف يعاني الفوتون الساقط لمحاولات امتصاص أكثر من قبل ذرات تلك البلوريات مما يؤدي بالتالي الى أمتصاصه بالكامل ومن ثم زيادة معامل الامتصاص ولاسيما عند الطاقات الفوتونية الواطنة ، وهذا ما يلاحظ بوضوح بالنسبة للأغشية المحضرة بمدى سمك عالي لا سيما تلك المحضرة بسمك (500,700,900) nm على التوالي .

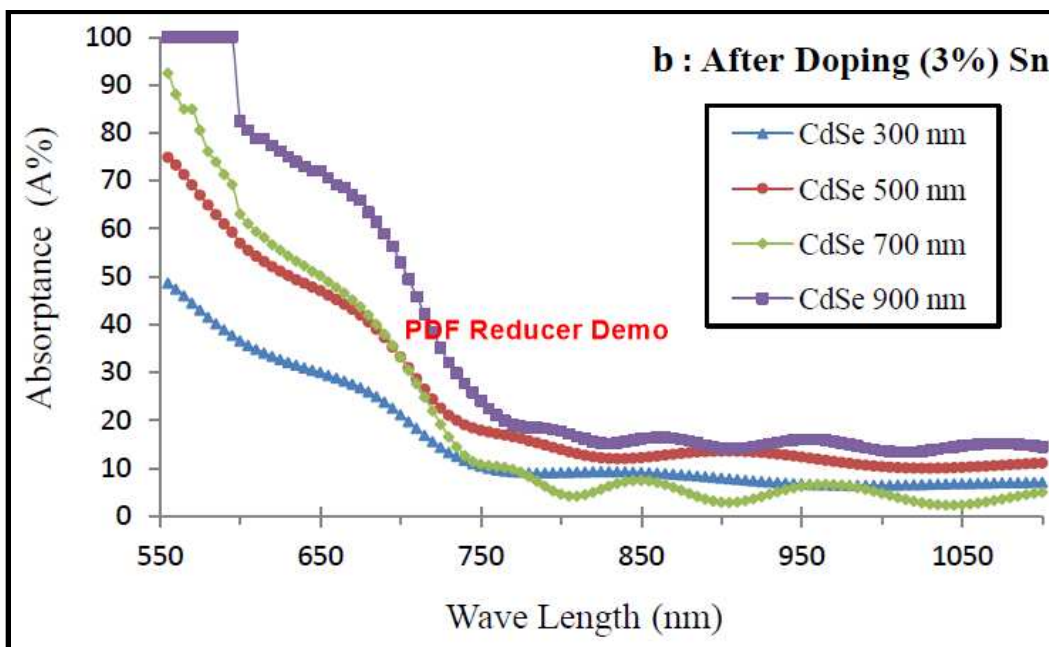
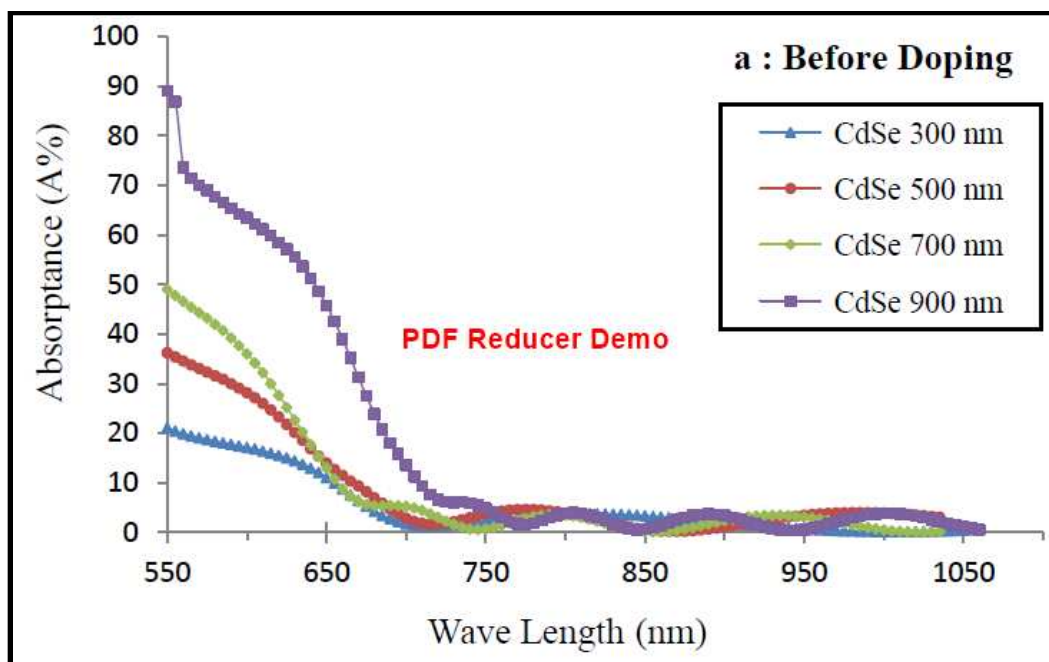
أن ما ذكر آنفا يتفق مع نتائج الدراسات [27,31,42] ، فضلا عن كونه يتفق وعلاقة سمك الغشاء المحضر بالامتصاصية ، إذ كلما زاد سمك الغشاء المحضر زادت الامتصاصية وهذا ما يطلق عليه بقانون لامبرت في الامتصاص .



الشكل (4-28) تغير طيف الامتصاصية المئوية كدالة للطول الموجي لأغشية (CdSe) النقية والمحضرة بسمك مختلف

يوضح الشكل (4-29) مقارنة بين سلوك طيف الامتصاصية المئوية لأغشية سيلينايد الكاديوم المحضرة بسمك مختلف قبل التشويب وبعده ، إذ يتبين من الشكل كيف أن الشائبة المضافة قد عملت على زيادة الامتصاصية - وبشكل ملحوظ - للموجات ذات الطاقات الفوتونية الواطئة لاسيما تلك الواقعة نهاية المنطقة المرئية وتحت الحمراء القريبة منها ، وهذا يعزى الى كثافة المستويات الموضعية التي كونتها ذرات المادة الشائبة في المادة المشوبة ما بين حزمتي التكافؤ والتوصيل ، إذ تعمل هذه المستويات كسلم لانتقال الالكترونات الماصة للفوتونات ذات الطاقات الاقل من قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة وبالتالي حدوث الامتصاص لها .

لقد سجلت أغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمحضرة بسمك (900nm) أعظم امتصاصية مئوية ، إذ بلغت الامتصاصية لهذه القيمة من السمك بين % (90 - 50) لمديات الاطوال الموجية الواقعة ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي nm (400-650) وهذا ما قابله أوطاً نفاذية مستحصلة لذات القيمة من السمك ، أما فيما يتعلق بالأغشية المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) فلا تختلف عن نظيرتها النقية من حيث حصول الاغشية ذات السمك الاعلى فيها على أعظم قيم للامتصاصية سوى بانحراف ملحوظ نحو الطاقات الفوتونية الواطئة ، مما يجعل من إمكانية الاستفادة من الغشاء المحضر بهذه الطريقة وبهذه القيمة من السمك (فضلا عن هذه النسبة من التشويب) أمراً ذا فائدة وأهمية في تصنيع النبايط الالكترونية الحديثة كتصنيع ثنائي ضوئي ( كاشف للإشارة البصرية في منظومة الاتصالات ) يعمل ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي ، وفي صناعة الخلايا الشمسية كونها مصدراً للطاقة في الاقمار الصناعية والحاسبات والساعات وغيرها .



الشكل (4-29) مقارنة بين سلوك طيف الامتصاصية المئوية لأغشية (CdSe) المحضرة بسماك مختلف قبل عملية التشويب وبعدها

**(2-4-4) طيف النفاذية****Transmittance spectrum**

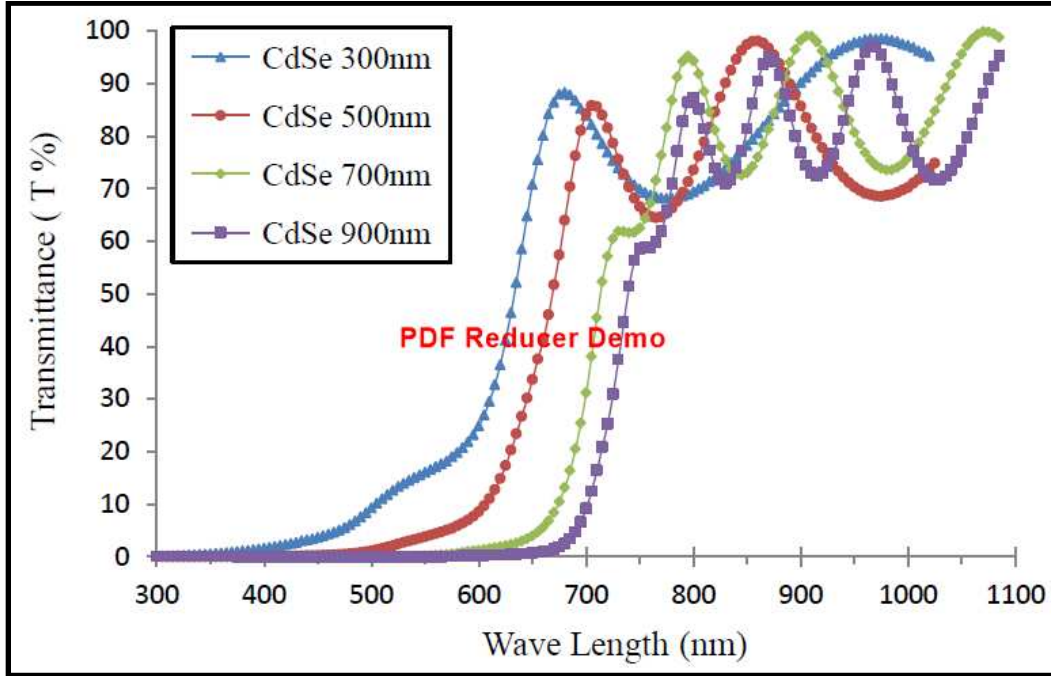
يوضح الشكل (4-30) تغير طيف النفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمحضرة بسماك مختلف  $20 \pm (300,500,700,900)$  nm وبمدى قياس (300- 1100) nm ، إذ يلاحظ من الشكل أنه يتميز بثلاث مناطق أساسية وهي :-

**المنطقة الاولى :-** وتتضمن مدى الأشعة فوق البنفسجية (300-400) nm ، حيث يلاحظ في هذه المنطقة بأن النفاذية ثابتة لا تتجاوز (3%) وللأغشية المحضرة كافة مما يشير الى إمكانية استعمال مادة الغشاء المحضر لتصنيع كاشف يعمل ضمن المدى المذكور من الطيف الكهرومغناطيسي .

**المنطقة الثانية :-** وتتضمن الأطوال الموجية القصيرة من الطيف المرئي (400- 620) nm ، إذ يلاحظ من هذه المنطقة أن النفاذية فيها لازالت ذات قيم واطنة جدا خصوصا للأغشية المصنعة بأعلى سمك محضر (900nm) ، إذ لم تتجاوز نفاذيتها (5%) في الوقت الذي سجلت فيه الأغشية المحضرة بأقل سمك (300nm) نفاذية مئوية لم تتجاوز (30%) ، الأمر الذي على أساسه يمكن تسخير ما تم تحضيره من أغشية رقيقة وبسمك مختلف في تصنيع منظومات الخلايا الشمسية ونجاح .

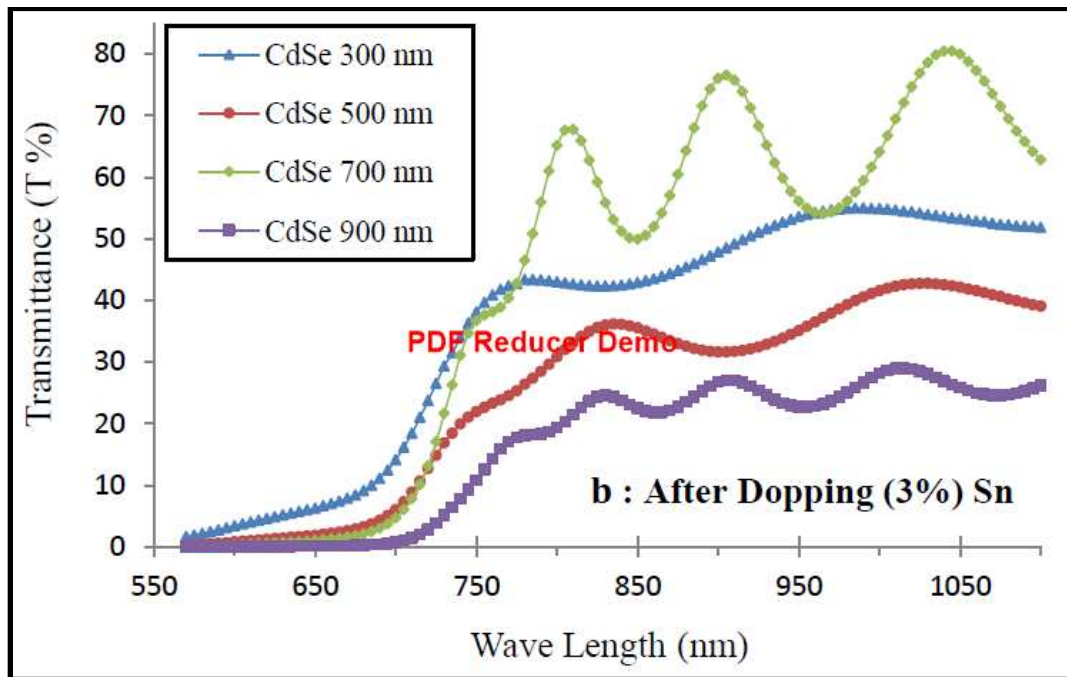
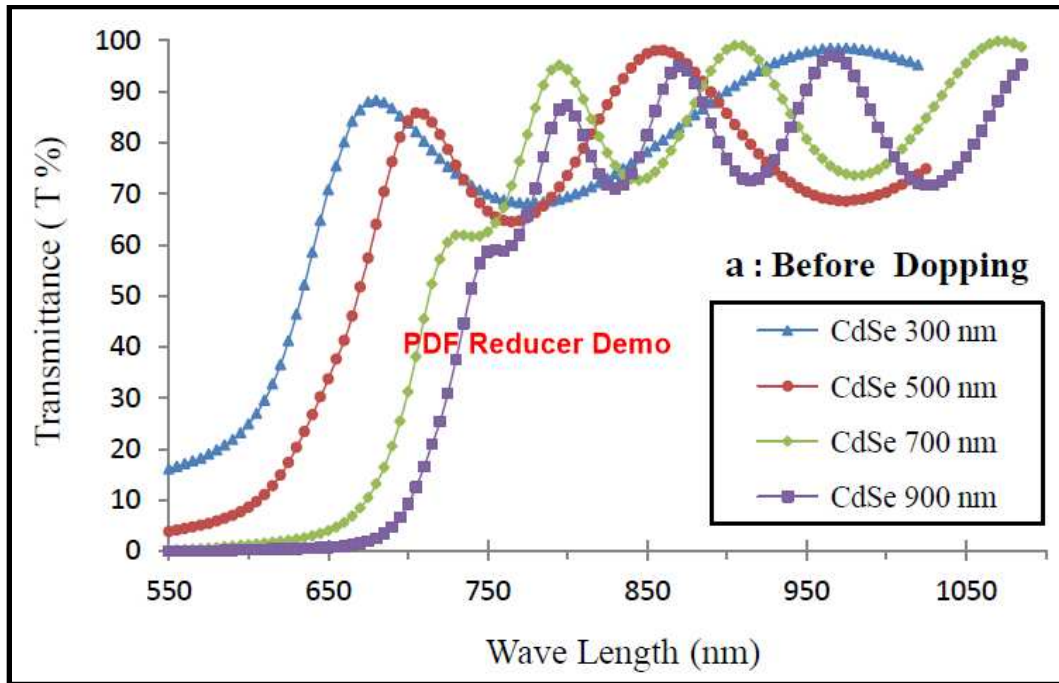
أما بخصوص ما تبقى من طيف المنطقة المرئية (620-780) nm فيلاحظ أن هنالك زيادة مفاجئة تظهر في نفاذية الأغشية المحضرة بشكل عام لتبلغ أقصى قيمة لها ( 90% ) تقريبا بالنسبة للأغشية ذات أقل سمك محضر (300 nm) ، وأقل من ذلك ( 60% ) تقريبا بالنسبة للأغشية ذات أعلى سمك محضر (900 nm) ، الأمر الذي يشير الى تغير سلوك المادة من كونها مادة معتمة ولتصبح مادة شفافة بصريا لتلك المديات ذات الطاقات الواطئة وليظهر تأثير المادة الشائبة لاحقا ( بعد عملية التشويب ) في تقليل نفاذية هذه المنطقة .

**المنطقة الثالثة :-** وتتضمن هذه المنطقة مديات الأشعة تحت الحمراء والقريبة منها ذات الأطوال الموجية الطولية (780-1100) nm ، إذ يلاحظ من خلال هذه المنطقة أن طيف النفاذية فيها ذو شكل أشبه بشكل الموجة الجيبية مع ظهور قمم متوالية ولكل سمك محضر ، إن سبب ذلك يعزى الى تذبذب الأواصر الحاصلة بين أيونات الكاديوم الموجبة وأيونات السلينيوم السالبة من جراء طاقة الأشعة تحت الحمراء ، كونها طاقة غير كافية (طاقة قليلة) لكسر ذلك التآصر الحاصل بين تلك الأيونات الأمر الذي يؤدي الى ظهور تلك الاهداب ( Fringes ) .



الشكل (30-4) تغير طيف النفاذية المئوية كدالة للطول الموجي لأغشية (CdSe) النقية والمحضرة بسمك مختلف

أما الشكل (31-4) فيوضح تغير سلوك طيف النفاذية المئوية كدالة للطول الموجي ضمن المدى (550-1100) nm لأغشية سيلينايد الكاديوم المحضرة بسمك مختلف قبل التشويب وبعده ، إذ يلاحظ من الشكل كيف أن الشائبة المضافة عملت على تقليل نفاذية الاغشية المحضرة للموجات ذات الطاقات الفوتونية الواطئة (نهاية المنطقة المرئية وتحت الحمراء القريبة منها ) لتبلغ النفاذية عند الطول الموجي (750 nm) قيمة لا يتجاوز مقدارها (12%) بعد أن كانت مساوية الى (60%) لحالة قبل التشويب بالنسبة للأغشية المحضرة بسمك (900nm) ، وكذلك الحال بالنسبة لبقية الاغشية خصوصاً تلك المحضرة بسمك (300nm) حيث تناقصت نفاذيتها بشكل واضح جداً بعد عملية التشويب لتصبح اقل من (10%) بعدما كانت مساوية الى (90%) عند الطول الموجي (670 nm) ، وذلك بسبب المستويات الموضعية التي كونتها ذرات المادة الشائبة - وكما تم شرح ذلك مفصلاً في فقرة تفسير نتائج الامتصاصية - وبالتالي إمكانية تعزيز ذلك في ما ذكر آنفاً من تطبيقات .



الشكل (4-31) مقارنة بين سلوك طيف النفاذية المئوية لأغشية (CdSe) المحضرة بسمك مختلف قبل عملية التشويب وبعدها



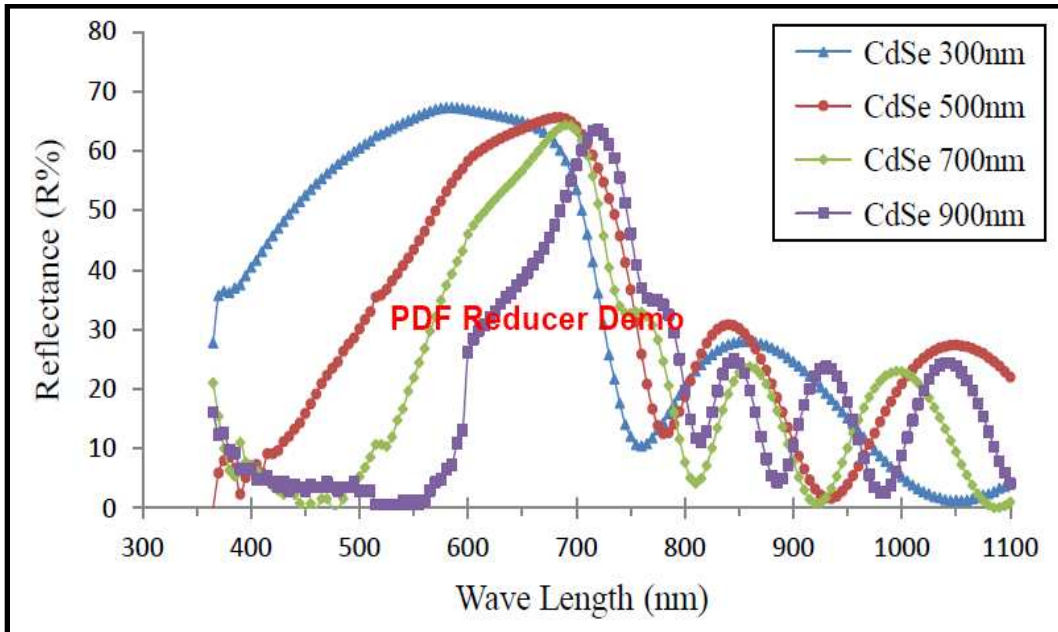
## Reflectance spectrum

## (3-4-4) طيف الانعكاسية

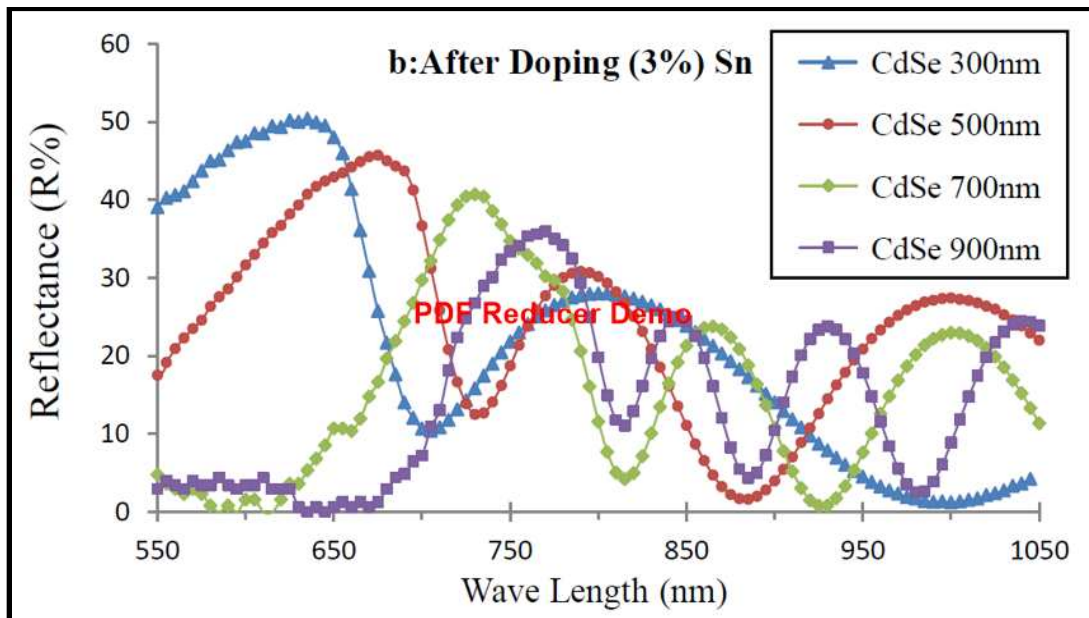
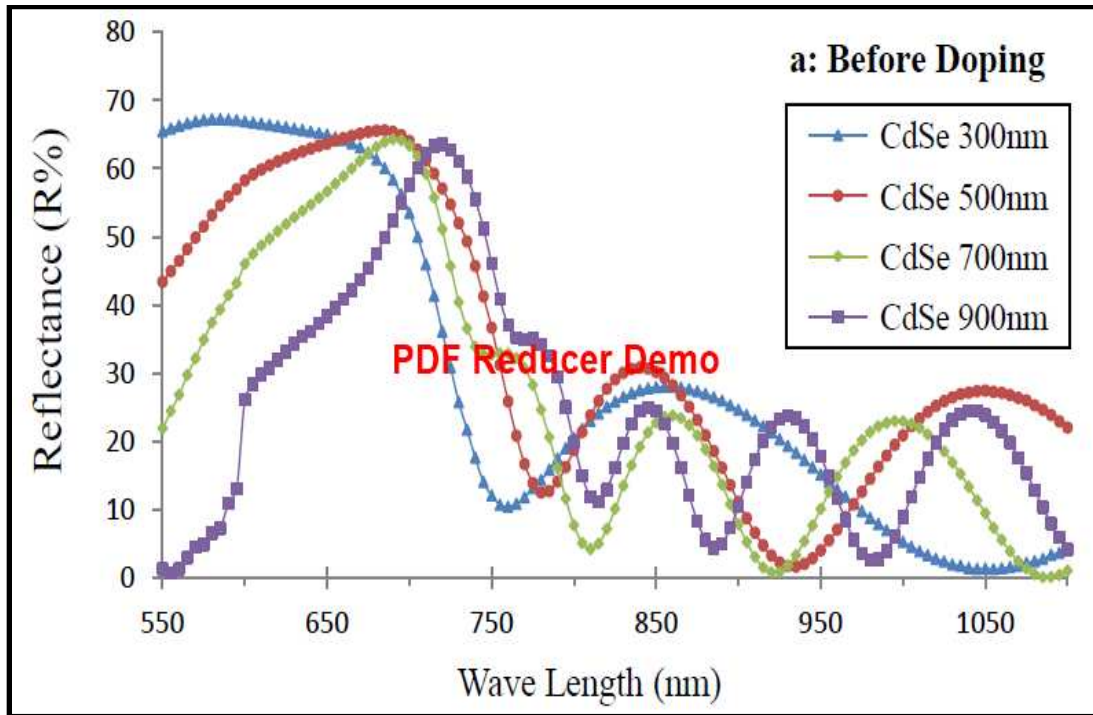
تم حساب طيف الانعكاسية للأغشية المحضرة النقية والمشوبة وذلك باعتماد قانون حفظ الطاقة والمعطى بالعلاقة (2-11) .

يوضح الشكل (4-32) طيف الانعكاسية المثوية كدالة للطول الموجي لأغشية (CdSe) النقية والمحضرة بسمك مختلف ، حيث يتبين من الشكل ان انعكاسية الاغشية تقل بزيادة السمك لمديات الاطوال الموجية الواقعة ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي ، وهذا يعد دليلاً آخر على ان خشونة الاغشية قد ازادت بزيادة السمك لينعكس تأثير ذلك بشكل ايجابي على كفاءة الخلايا المصنعة من جهة ، وليتفق ذلك ونتائج فحوصات مجهر القوة الذرية من جهة أخرى .

أما الشكل (4-33) فيمثل مقارنة بين انعكاسية الاغشية المحضرة قبل عملية التشويب وبعدها ، حيث يتبين من الشكل ان انعكاسية الاغشية النقية للأشعة المرئية من الطيف قد تناقصت بشكل واضح بعملية التشويب ، وهذا دليل واضح على تحسن الخصائص البصرية من جهة ، وزيادة خشونة سطوح الاغشية المشوبة من جهة أخرى ليتفق ذلك ايضاً مع نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية .



الشكل (4-32) تغير طيف الانعكاسية المثوية كدالة للطول الموجي لأغشية (CdSe) النقية والمحضرة بسمك مختلف

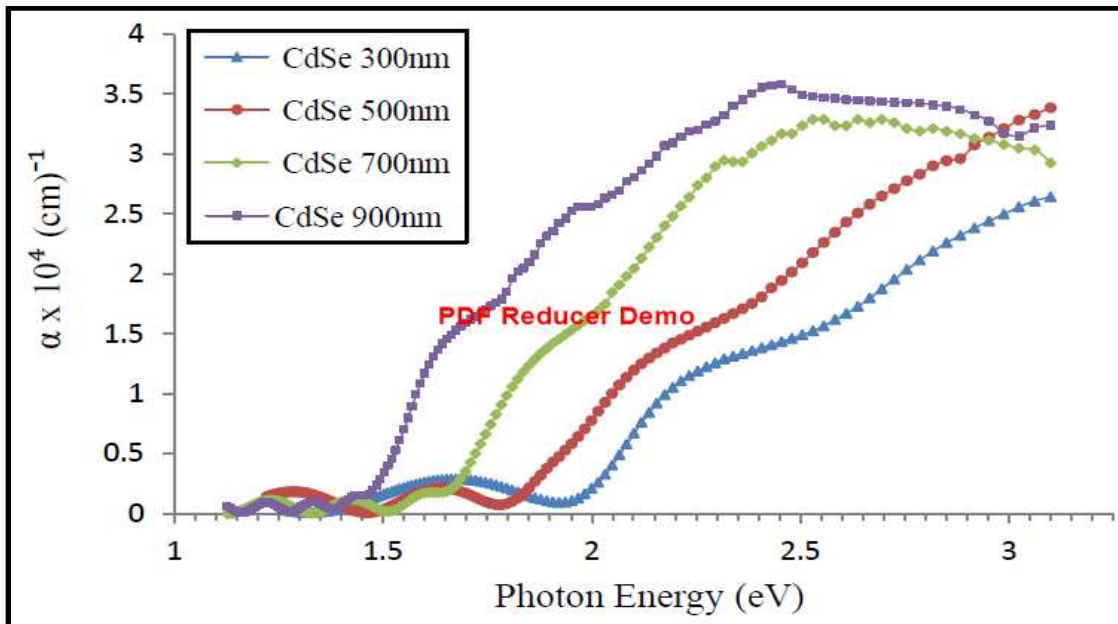


الشكل (4-33) مقارنة بين سلوك طيف الانعكاسية المئوية لأغشية (CdSe) المحضرة بسمك مختلف قبل عملية التشويب وبعدها

#### (4-4-4) حساب معامل الامتصاص Absorption coefficient calculation

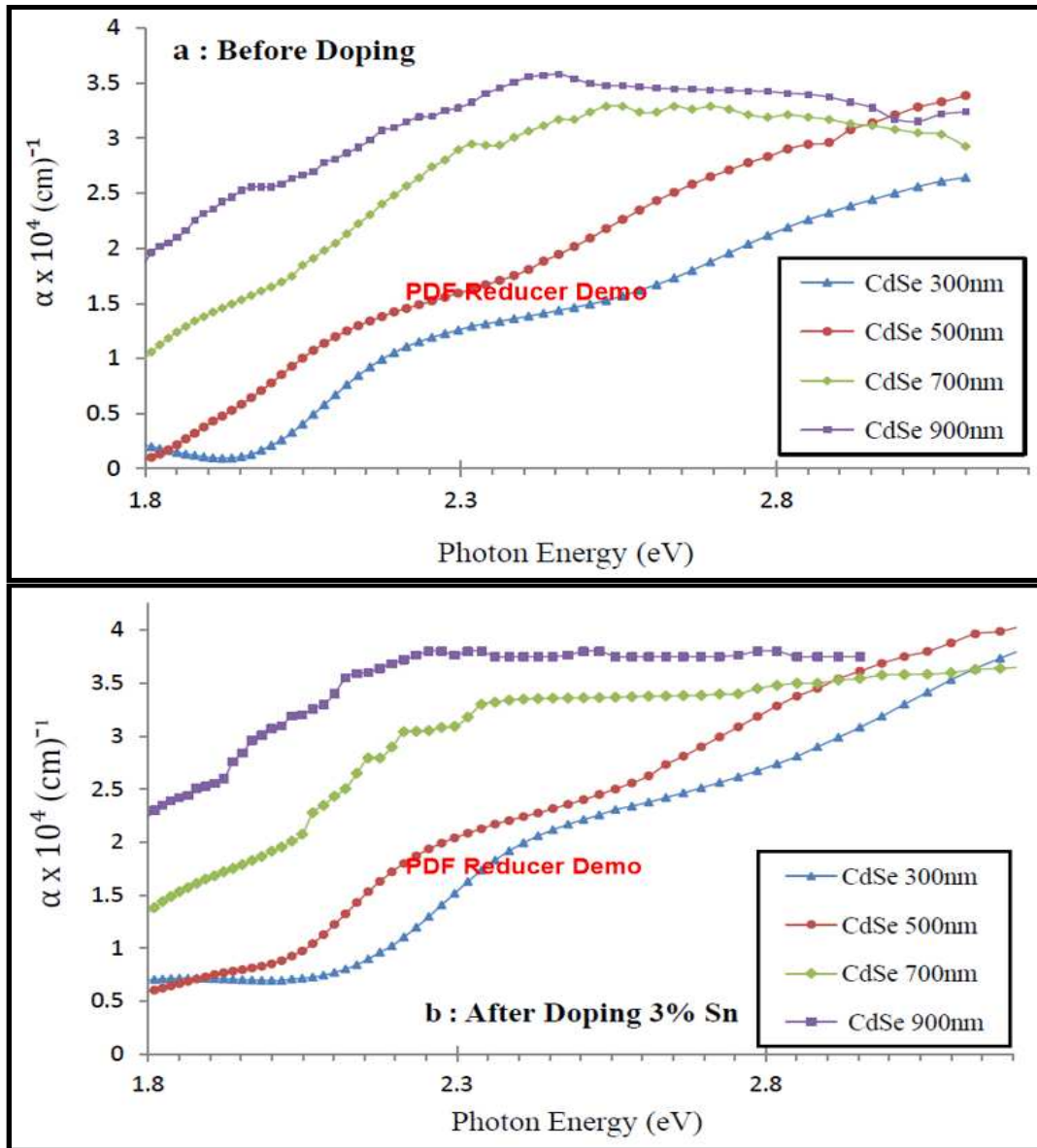
تم حساب معامل الامتصاص للأغشية المحضرة كافة النقية منها والمشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) وذلك باعتماد المعادلة (2-16) .

يوضح الشكل (4-34) تغير معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمحضرة بسلك مختلف  $20 \pm (300, 500, 700, 900) \text{ nm}$  ، إذ يتضح من الشكل كيف أن معامل الامتصاص يزداد بزيادة طردية مع طاقة الفوتون الساقط ولكل سلك محضر ، فضلا عن مقدار الزيادة الكبيرة الحاصلة في قيمة معامل الامتصاص بزيادة سلك الغشاء المحضر لتبلغ قيمته أكبر من  $(10^4 \text{ cm}^{-1})$  لمديات الطاقة الواقعة ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي للأغشية ذات سلك (900 nm) ، في الوقت الذي سجلت فيه الأغشية النقية والمحضرة بأقل سلك (300 nm) أقل قيم مستحصلة لمعامل الامتصاص ولذات المدى المذكور آنفاً ، أن سبب ذلك يعزى الى طبيعة العلاقة القائمة بين معامل الامتصاص والامتصاصية وفقا للمعادلة (2-16) ، يضاف الى ذلك التحسن الحاصل في درجة تبلور مادة الغشاء بزيادة السلك وما يترتب على ذلك من نتائج - نوقشت آنفاً في بند الامتصاصية - ذات الصلة بكل من طيفي الامتصاصية ومعامل الامتصاص على حدٍ سواء ، لينفق ذلك ونتائج الدراسات [37,42] .



الشكل (4-34) تغير معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون المسقط لأغشية (CdSe) النقية والمحضرة بسلك مختلف

أما الشكل (4-35) فيوضح مقارنة بين سلوك معامل الامتصاص لأغشية سيلينايد الكاديوم المحضرة بسمك مختلف قبل عملية التشويب وبعدها ، إذ يتبين من الشكل أن هنالك زيادة ملحوظة خصوصا للفوتونات ذات الطاقات الواطئة في المنطقة المرئية وتحت الحمراء القريبة منها ، مما يعني أن ذرات الشائبة المضافة قد ساعدت بتكوينها المستويات الموضعية على زيادة امتصاصية المادة للفوتونات ذات الطاقات الواطئة بشكل أكبر بعد عملية التشويب وبالتالي زيادة معامل الامتصاص وفقا للعلاقة (2-16) ، وهذا ما كان متوافقا مع نتائج الدراسات [29,36,40,45] .



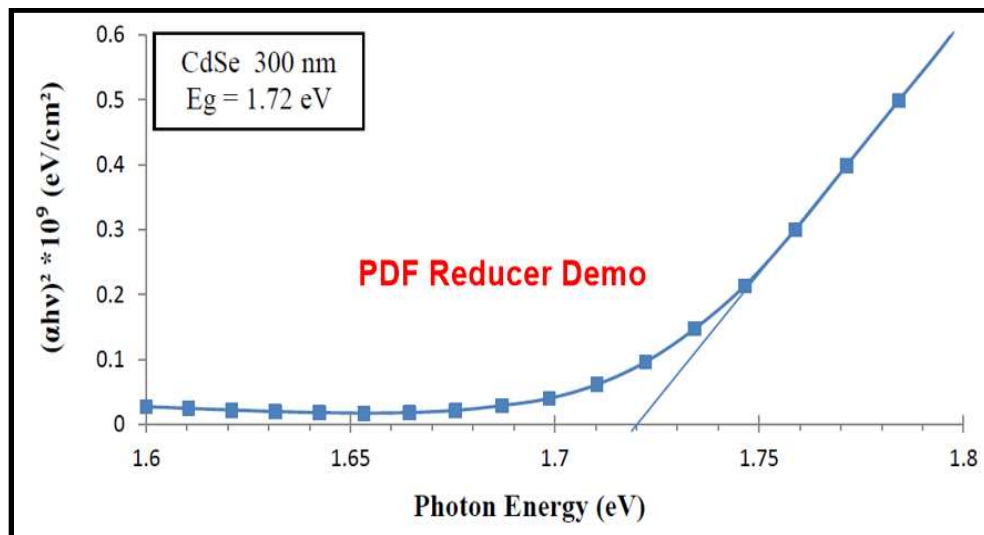
الشكل (4-35) مقارنة التغير الحاصل في سلوك معامل الامتصاص لاغشية (CdSe) المحضرة بسمك مختلف قبل عملية التشويب وبعدها .

## (5-4-4) حساب قيمة الفجوة البصرية لأغشية (CdSe)

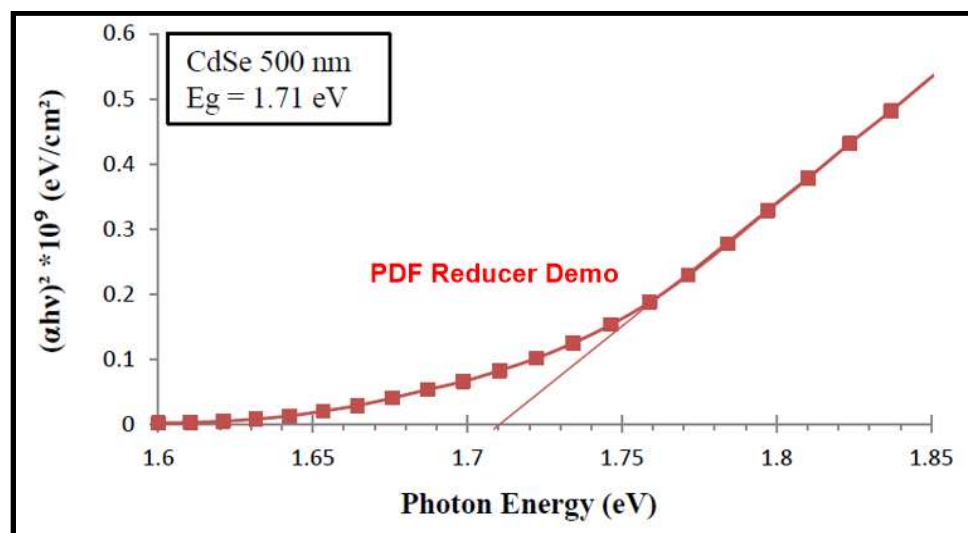
Optical Energy gap Calculation ( $E_g$ )

بعد التعرف على طبيعة الانتقالات الالكترونية الحاصلة في الاغشية المحضرة من خلال قيم معامل الامتصاص والموضحة من رسومات الفقرة السابقة ، حسبت قيمة فجوة الطاقة البصرية المباشرة لأغشية سيلينايد الكاديوم المحضرة بنوعها النقي والمشوب وذلك باعتماد علاقة تاوس بعد التعويض فيها عن قيمة المتغير ( $r$ ) بالمقدار ( $1/2$ ) للانتقال المباشر المسموح – المعادلة (20-2) - وذلك برسم العلاقة بيانيا بين  $(\alpha h\nu)^2$  وطاقة الفوتون المسلط ( $h\nu$ ) ، ومن امتداد الجزء المستقيم من المنحني الناتج ليتقاطع مع محور طاقة الفوتون عند النقطة  $[(\alpha h\nu)^2 = 0]$  ، نحصل عندئذ على قيمة فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح ولجميع الاغشية المحضرة ، فبالنسبة لأغشية (CdSe) النقية ذات أقل سمك محضر (300 nm) والمبينة في الشكل (36-4-a) وجد أن قيمة فجوة الطاقة لها كانت مساوية الى (1.72eV) وهذه القيمة مقاربة ( ان لم تكن أقل ) من القيم التي توصلت اليها الدراسات السابقة [32,34,39] ، كذلك يلاحظ من الشكل (36-4) أن هنالك تناقصاً واضحاً يظهر في قيمة فجوة الطاقة بزيادة سمك الغشاء المحضر لتبلغ الفجوة أدنى قيمة لها (1.69 eV) عند السمك (900 nm) . أن سبب هذا التناقص يعزى الى ما يسمى بـ (Quantum size effect) ، بمعنى إذا كان الحجم الحبيبي أكبر بكثير من نصف قطر بور والمساوي الى نصف أنكستروم ، فعندها سوف يظهر التأثير الكمي وستتغير قيمة فجوة الطاقة بتناسب عكسي مع مربع نصف القطر الحبيبي وفقا الى معادلة شرودينكر لأي مستوى طاقة ، ولما أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية المتعلقة بقياسات مجهر القوة الذرية أن هنالك تزيادا واضحا في معدل الحجم الحبيبي بزيادة السمك – كما في الجدول (11-4) - الأمر الذي أدى الى ظهور التناقص الملاحظ في قيمة فجوة الطاقة البصرية ليتفق ذلك مع ما توصلت اليه نتائج الدراسات [27,31,39,40] .

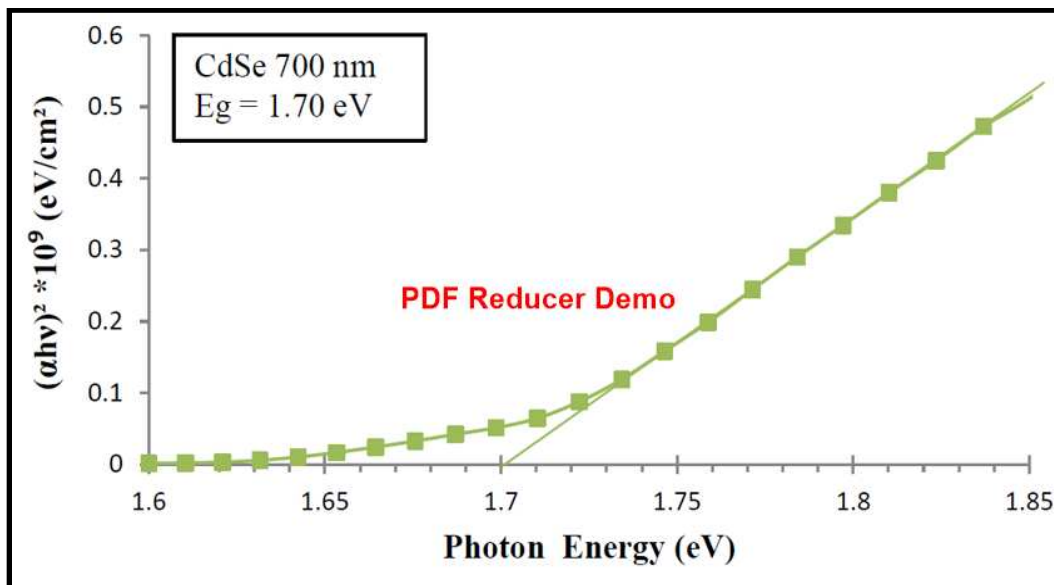
أما فيما يتعلق بخصوص الاغشية المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) فيلاحظ من الشكل (37-4) أن ذرات الشائبة المضافة قد أدت الى نشوء نقصان في قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة كافة وهذا يعزى الى كثافة المستويات المانحة التي كونتها ذرات الشوائب المضافة بالقرب من حزمة التوصيل وبالتالي ظهور النقصان الحاصل في قيمة فجوة الطاقة وأن لم يكن كبيرا في مقداره فهذا يعزى الى أن بعضاً من ذرات الشائبة المضافة قد عملت على معالجة العيوب النقطية ( ملئ الفراغات الفطرية ) المتواجدة في التركيب البلوري للمركب بشكل أفضل ، وبذلك فأن عملها قد اقتصر على تحسين التركيب البلوري وملء الفراغات الشبكية أكثر من مساهمتها في تغيير قيمة فجوة الطاقة بمقدار كبير وهذا يتفق مع النتائج التي توصلت اليها الدراسات [29,40,45,46] ، فضلا عن كونه يتفق ونتائج الفحوصات التركيبية كافة .



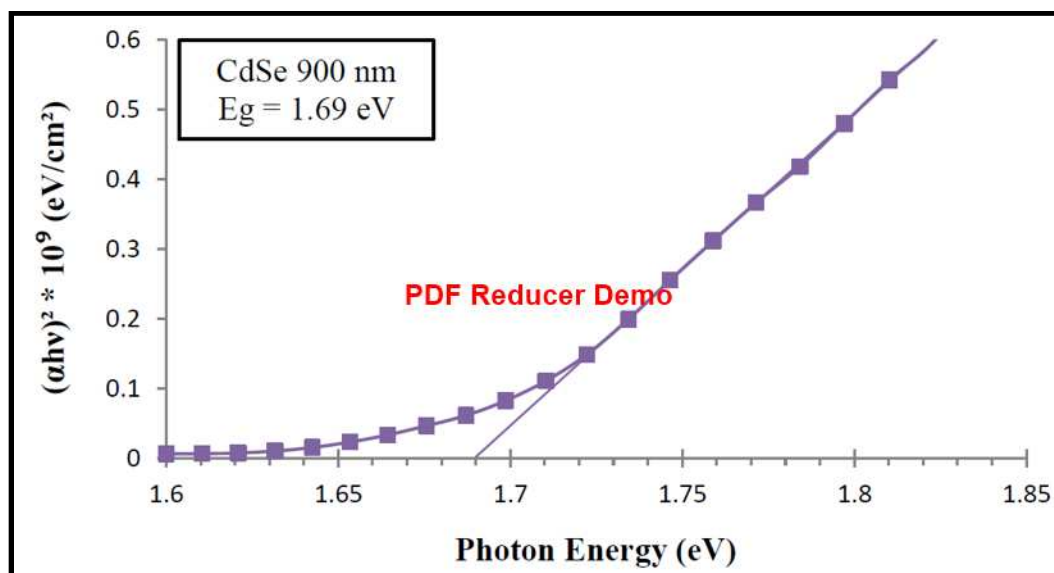
الشكل (36-4-a) فجوة الطاقة البصرية لأغشية (CdSe) النقية ذات سمك (300 nm)



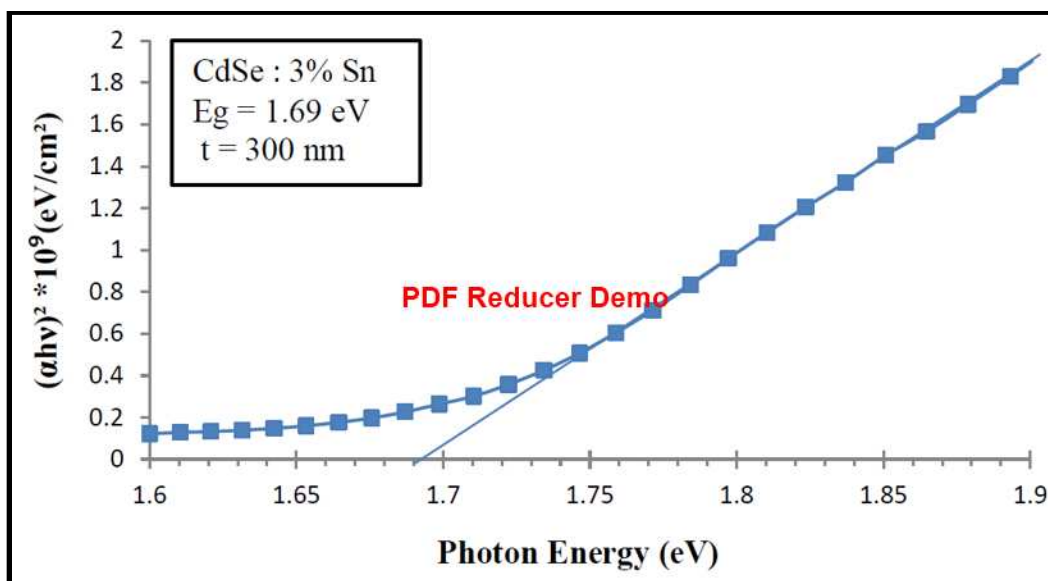
الشكل (36-4-b) فجوة الطاقة البصرية لأغشية (CdSe) النقية ذات سمك (500 nm)



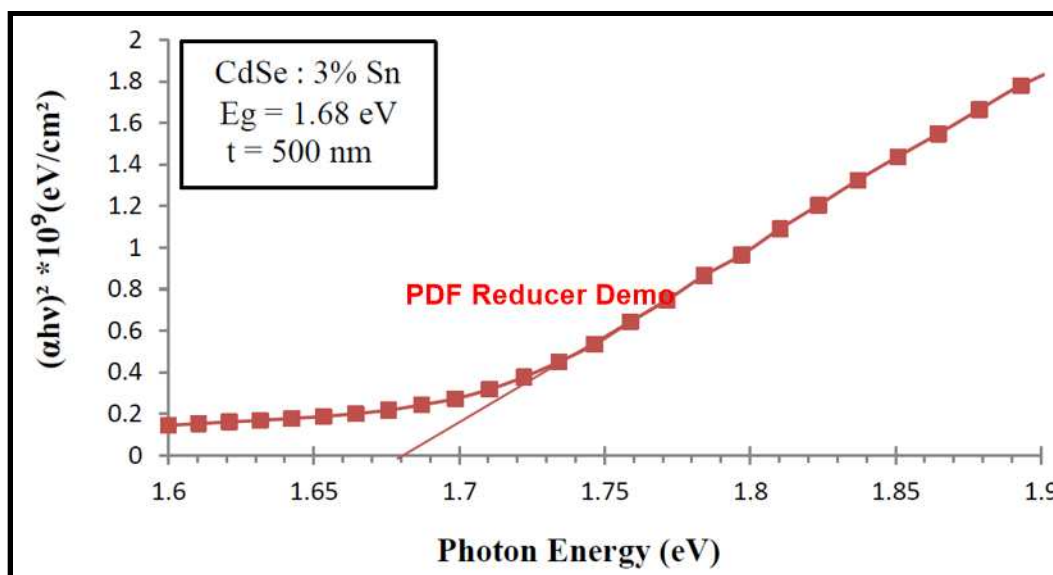
الشكل (36-4-c) فجوة الطاقة البصرية لأغشية (CdSe) النقية ذات سمك (700 nm)



الشكل (36-4-d) فجوة الطاقة البصرية لأغشية (CdSe) النقية ذات سمك (900 nm)

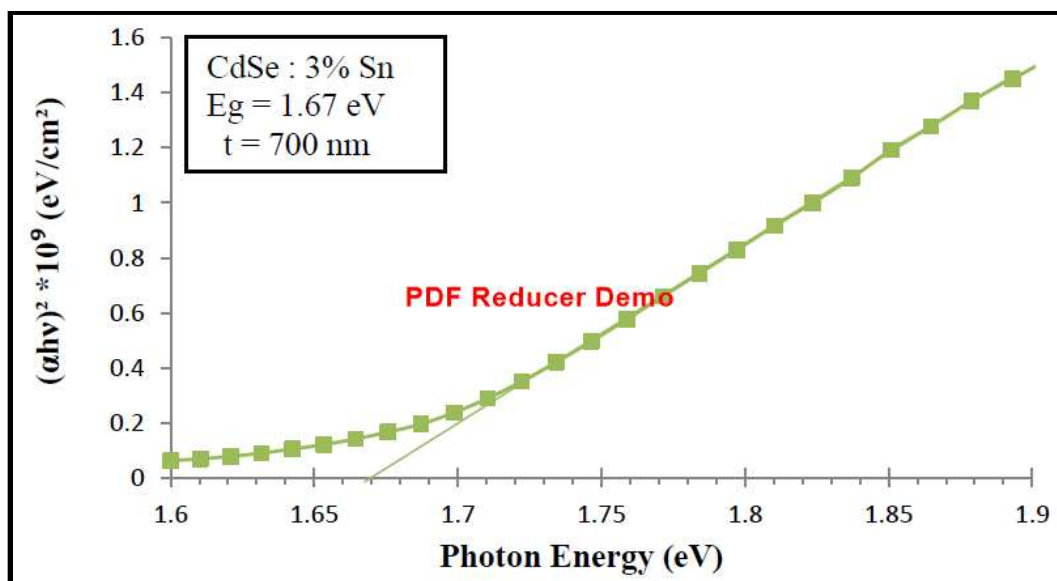


الشكل (37-4-a) فجوة الطاقة البصرية لأغشية (CdSe) المشوبة ذات السمك (300 nm)

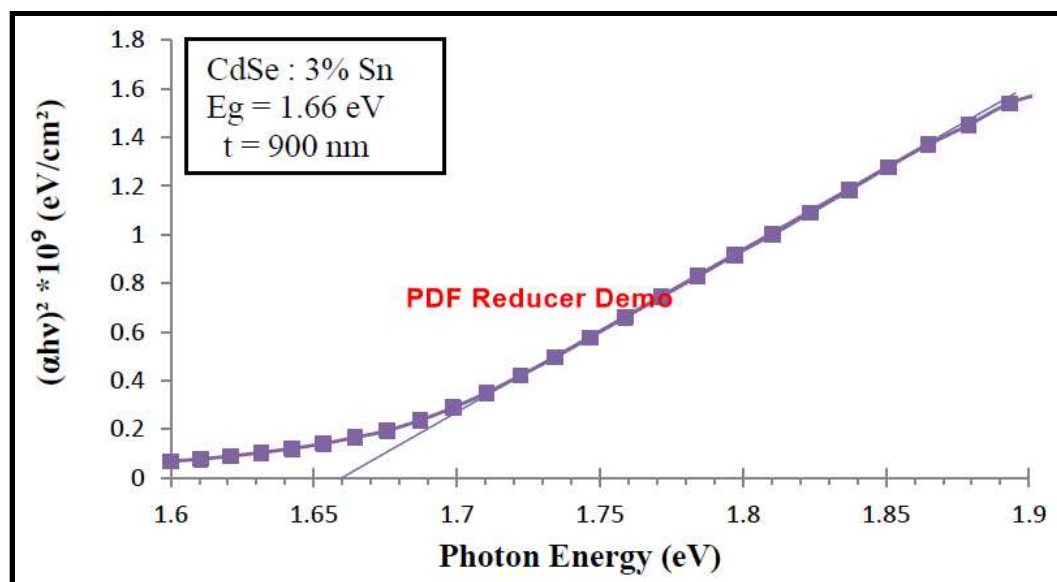


الشكل (37-4-b) فجوة الطاقة البصرية لأغشية (CdSe) المشوبة ذات السمك (500 nm)





الشكل (37-4-c) فجوة الطاقة البصرية لأغشية (CdSe) المشوبة ذات السمك (700 nm)

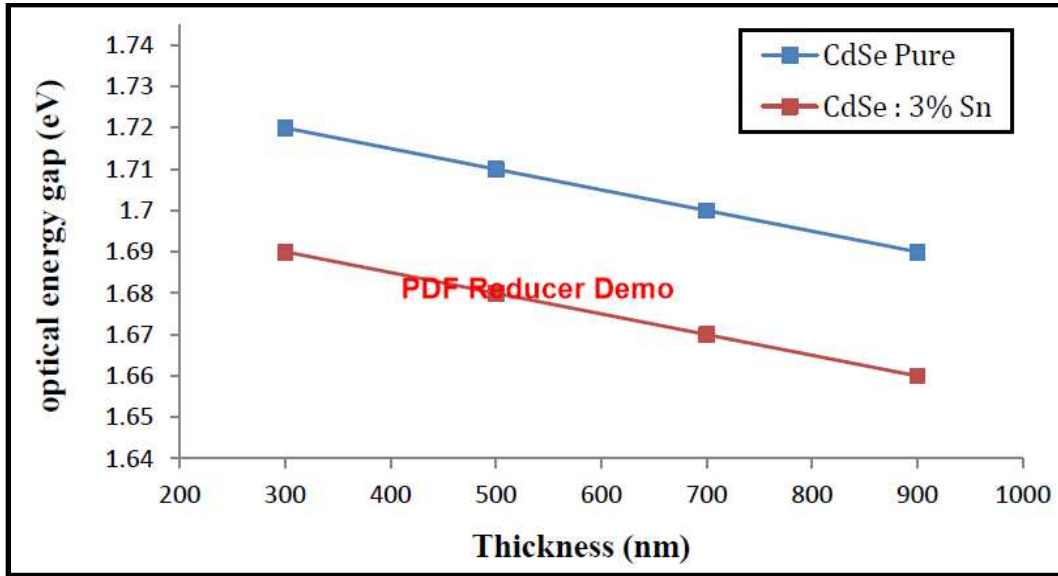


الشكل (37-4-d) فجوة الطاقة البصرية لأغشية (CdSe) المشوبة ذات السمك (900 nm)

يبين الجدول (4-13) قيم فجوة الطاقة البصرية لأغشية (CdSe) المحضرة بسلك مختلف قبل عملية التشويب وبعدها ، أما الشكل (4-38) فيوضح تغير فجوة الطاقة البصرية كدالة لتغير سمك الغشاء المحضر قبل عملية التشويب وبعدها أيضاً .

الجدول (4-13) قيم فجوة الطاقة البصرية لأغشية (CdSe) المحضرة بسلك مختلف قبل عملية التشويب وبعدها

Thickness(nm)	$E_g^{opt}$ (eV) Before Doping	$E_g^{opt}$ (eV) After Doping
300	1.72	1.69
500	1.71	1.68
700	1.70	1.67
900	1.69	1.66



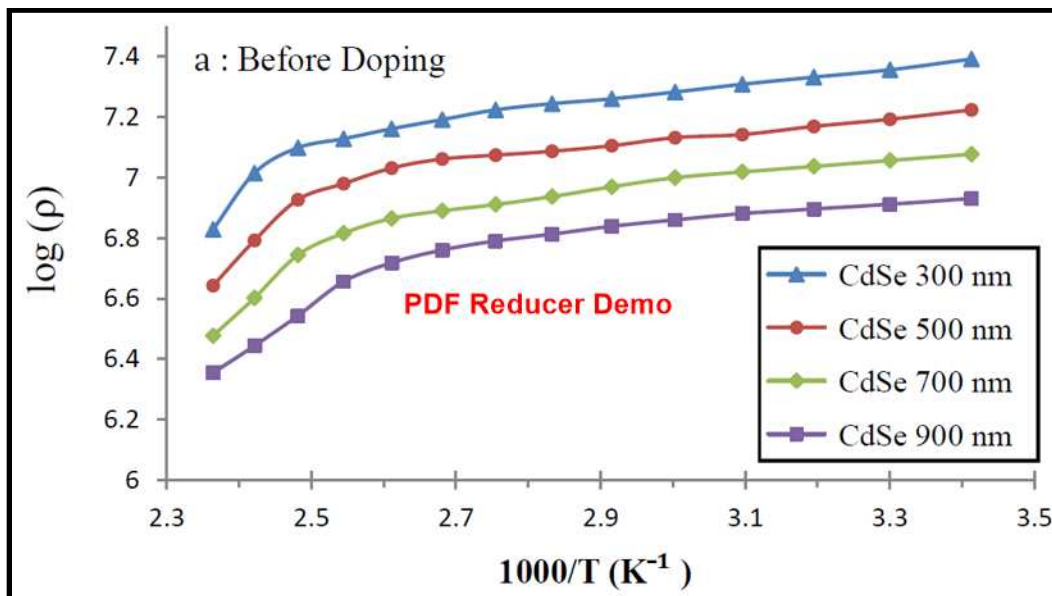
الشكل (4-38) تغير فجوة الطاقة البصرية ( $E_g^{opt}$ ) كدالة لتغير سمك الغشاء المحضر لأغشية (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها .

**Electrical Properties****(5-4) الخصائص الكهربائية****(1-5-4) التوصيلية الكهربائية المستمرة ( $\sigma_{d.c}$ ) Direction electrical conductivity**

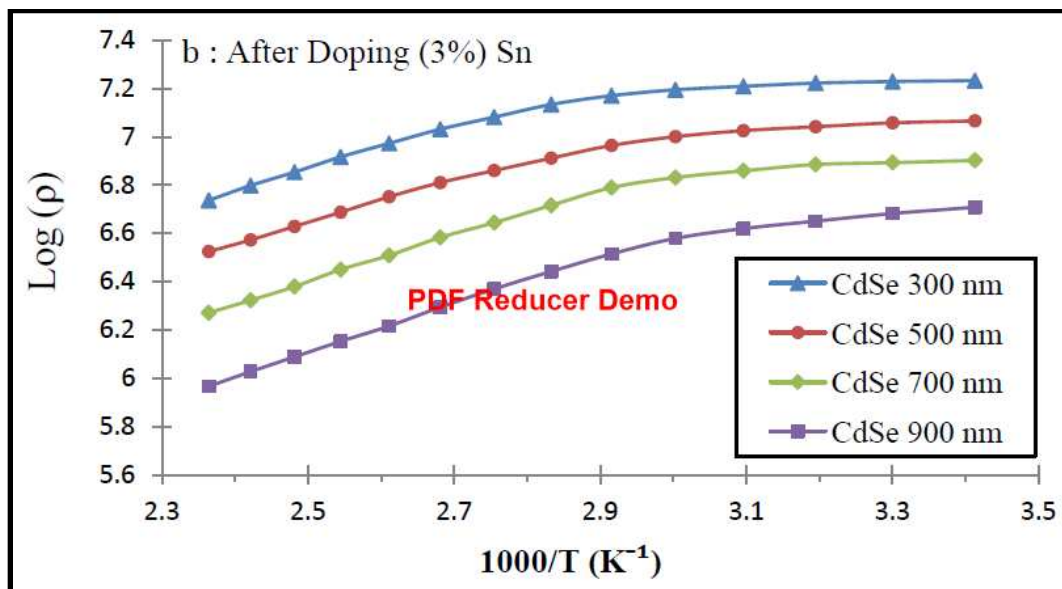
تم حساب التوصيلية الكهربائية المستمرة ( $\sigma_{d.c}$ ) لأغشية سيلينايد الكاديوم المحضرة كافة بنوعها النقي والمشوب بالقصدير بنسبة تشويب (3%) وذلك من خلال قياس المقاومة الكهربائية كدالة لتغير درجة الحرارة ضمن المدى الحراري °C (30-150) وبمعدل تدرج (ارتفاع) حراري مقداره 10 درجات سيليزية لكل قراءة ، ومن إيجاد قيم المقاومة من المعادلة (3-4) ومن ثم إيجاد مقلوب تلك القيم من المعادلة (3-3) تم الحصول على قيم التوصيلية الكهربائية ، حيث رسمت الاخيرة كدالة لمقلوب درجة الحرارة المطلقة ( $1000 / T$ ) ومن ميل الخط البياني الناتج بعد ضربه بثابت بولتزمان ، تم الحصول على قيم طاقات التنشيط وللأغشية المحضرة كافة .

يوضح الشكل (39-4-a) تغير المقاومة الكهربائية كدالة لمقلوب درجة الحرارة المطلقة لأغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمحضرة بسلك  $20 \pm (300, 500, 700, 900)$  nm على التوالي ، حيث يتضح من الشكل أن مقاومة الاغشية تقل بزيادة درجة الحرارة ولكل سمك محضر ، مما يشير الى سلوك أشباه الموصلات للأغشية المحضرة ، كذلك يلاحظ من الشكل أن الاغشية النقية قد سجلت قيماً عالية نسبياً للمقاومة الكهربائية والتي لا تختلف كثيراً عن القيم الناتجة من الدراسات [28,32,37] ، يعزى سبب ذلك الى اختلاف ظروف التحضير عن تلك القياسية فضلاً عن وجود العيوب والانخلاعات التي يكاد أن لا يخلو منها أي غشاء محضر بغض النظر عن الطريقة المتبعة في تحضيره ، كذلك يتبين من الشكل أيضاً وجود نقصان في قيم المقاومة الكهربائية بزيادة سمك الغشاء المحضر ، وهذا يعزى الى التناقص الحاصل في تركيز العيوب والمتمثلة بـ (كثافة الانخلاعات والاجهادات المايكروية المتكونة) بزيادة السمك – وكما في الشكلين (11-4) و(12-4) على التوالي – يضاف الى ذلك التحسن الحاصل في درجة تبلور الغشاء الرقيق بزيادة السمك أيضاً ليتفق ذلك ونتائج الدراسة [37] .

أما فيما يتعلق بأغشية المركب المشوبة ، فيلاحظ من الشكل (39-4-b) الانخفاض الواضح في مقاومة الاغشية بعد التشويب عنها قبل التشويب ، وذلك بفعل الزيادة الحاصلة في تركيز حاملات الشحنة والناتجة من تأين ذرات الشائبة المضافة ، ليتفق ذلك والنتائج التي توصلت اليها الدراسات [29,36,46] .



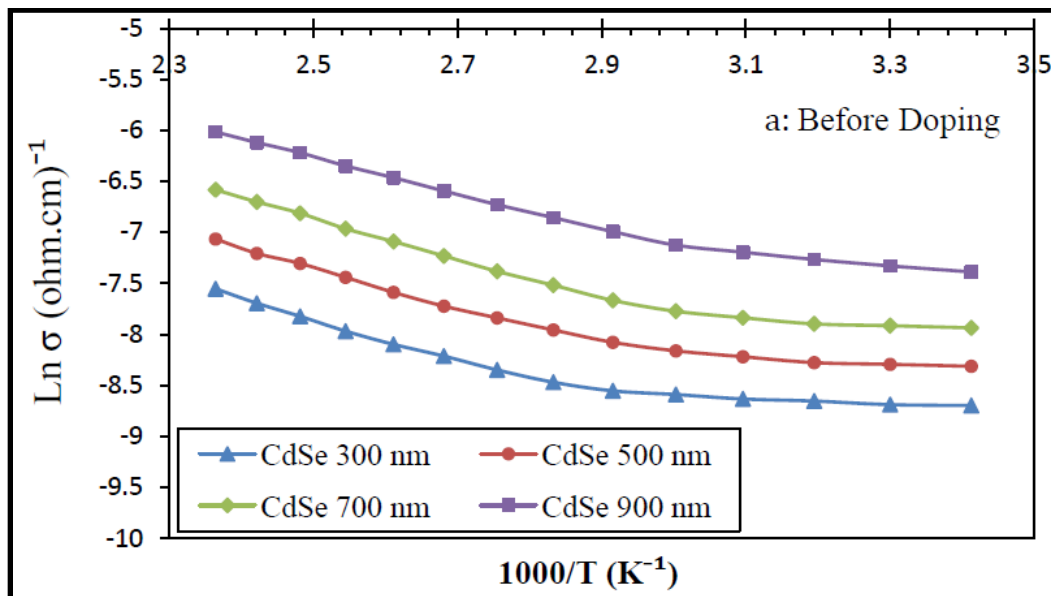
الشكل (39-4-a) تغير المقاومة الكهربائية كدالة لمقلوب درجة الحرارة المطلقة لأغشية (CdSe) المحضرة بسمك مختلف قبل عملية التشويب



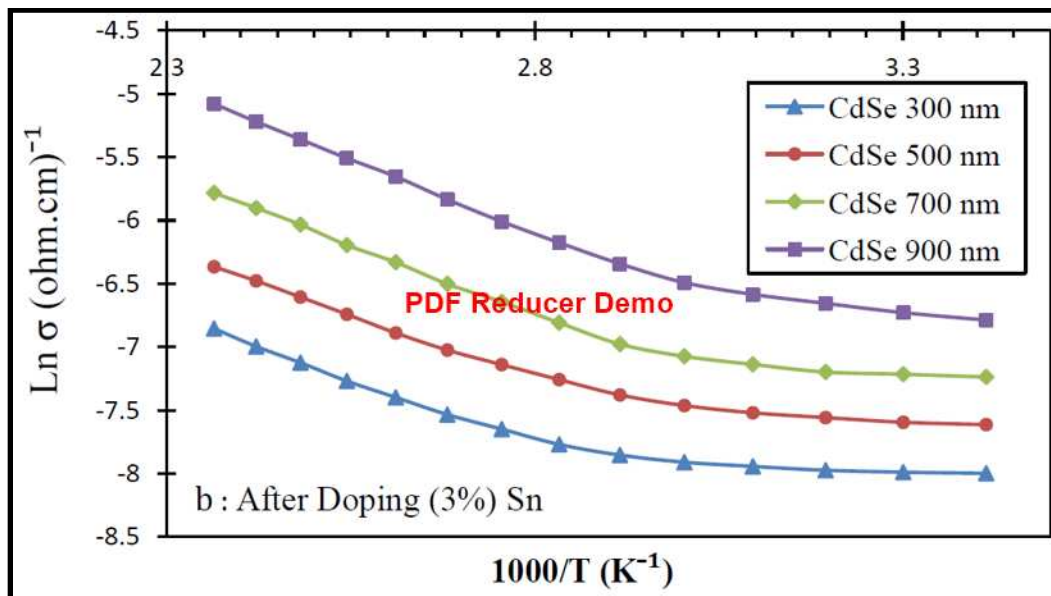
الشكل (39-4-b) تغير المقاومة الكهربائية كدالة لمقلوب درجة الحرارة المطلقة لأغشية (CdSe) المحضرة بسمك مختلف بعد عملية التشويب

يوضح الشكل (40-4-a) التوصيلية الكهربائية المستمرة كدالة لمقلوب درجة الحرارة المطلقة لأغشية (CdSe) النقية والمحضرة بسلك مختلف  $\pm 20 \text{ nm}$  (300, 500, 700, 900) حيث يلاحظ من الشكل وجود منطقتي انحناء في المنحني المرسوم لكل سمك محضر ضمن المدى الحراري  $^{\circ}\text{C}$  (30-150) مما يدل على وجود طاقتي تنشيط وبالتالي وجود آليتين للتوصيل ، إحداهما في درجات الحرارة الواطنة  $^{\circ}\text{C}$  (30-90) والأخرى في درجات الحرارة العالية  $^{\circ}\text{C}$  (90-150) وللأغشية المحضرة النقية كافة ويبين الجدول (14-4) قيم طاقات التنشيط لأغشية المركب النقية ، حيث يلاحظ من الجدول التناقص الحاصل في قيم طاقات التنشيط بزيادة السمك ، وهذا يعد منطقياً من الناحية الفيزيائية وفقاً الى التناقص الحاصل في قيمة فجوة الطاقة البصرية بزيادة السمك لينفق ذلك مع النتائج التي توصلت اليها الدراسات [37,44] .

أما الشكل (40-4-b) فيوضح التوصيلية الكهربائية المستمرة كدالة لمقلوب درجة الحرارة المطلقة لأغشية (CdSe) المحضرة بسلك مختلف بعد أشابتها بالقصدير بالنسبة (3%) ، حيث يلاحظ من القيم الواردة في الجدول (15-4) والمحسوبة من الشكل السابق ، أن قيم طاقات التنشيط قد تناقصت بعد التشويب عنها قبل التشويب ، وهذا يعزى الى زيادة تركيز حاملات الشحنة بعملية التشويب ، ذلك بسبب أن الطاقة الحرارية المجهزة للشوائب (بهدف أنتشارها حرارياً) قد عملت على تأيين ذرات الشائبة المضافة مما سبب تهيئاً حرارياً لحاملات الشحنة المتولدة من شوائب القصدير المتأينة ، لتنتقل بذلك من المستويات المانحة الخاصة بها ( donor levels ) داخل فجوة الطاقة الى المستويات الممتدة داخل حزمة التوصيل ، الأمر الذي أدى الى النقصان الواضح في قيمة طاقة التنشيط ، ليتفق ذلك ونتائج الدراسات [29,36,46] .



الشكل (40-4-a) التوصيلية الكهربائية كدالة لمقلوب درجة الحرارة المطلقة لأغشية المحضرة بسمك مختلف قبل عملية التشويب (CdSe)



الشكل (40-4-b) التوصيلية الكهربائية كدالة لمقلوب درجة الحرارة المطلقة لأغشية المحضرة بسمك مختلف بعد عملية التشويب (CdSe)

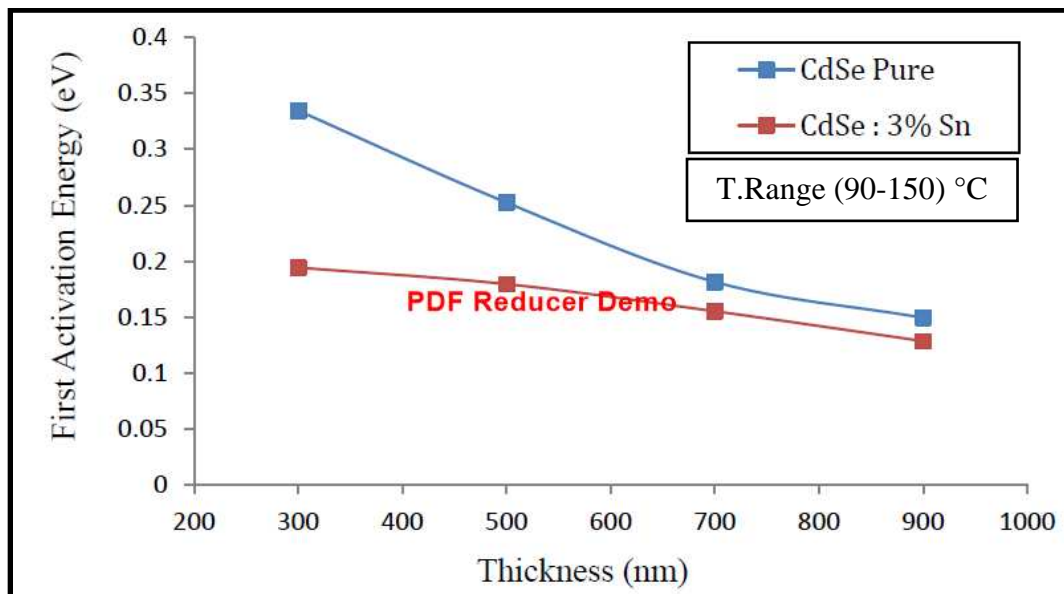
الجدول (14-4) قيم طاقتي التنشيط الاولى ( $E_{a1}$ ) والثانية ( $E_{a2}$ ) والكلية لأغشية (CdSe) النقية والمحضرة بسمك مختلف

Thickness (nm)	$E_{a1}$ (eV)	$E_{a2}$ (eV)	Total (eV)
300	0.3346	0.0645	0.3991
500	0.2524	0.0547	0.3071
700	0.1814	0.0440	0.2254
900	0.1493	0.0323	0.1816

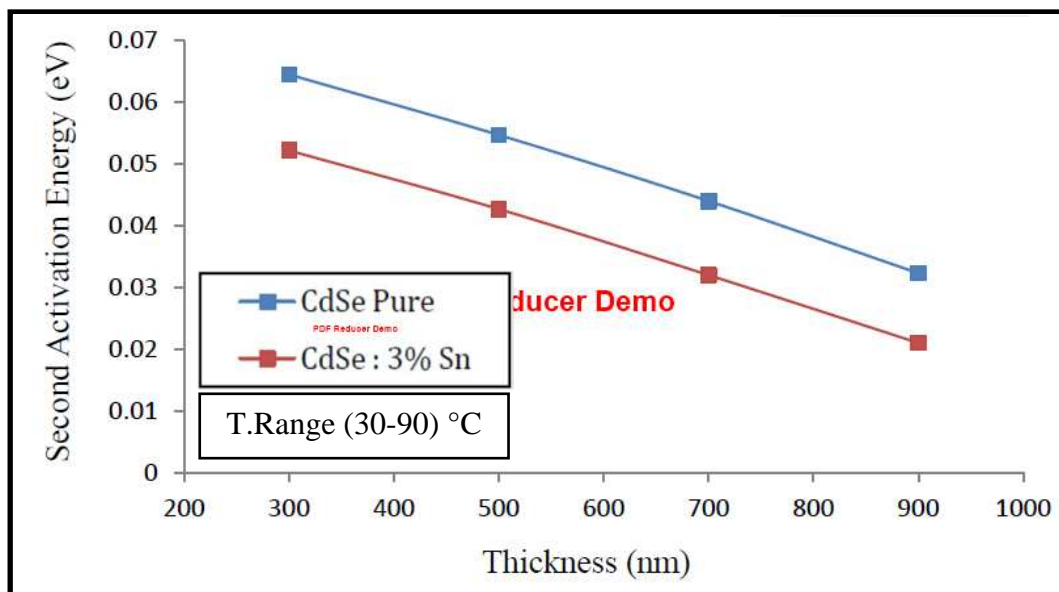
الجدول (15-4) قيم طاقتي التنشيط الاولى ( $E_{a1}$ ) والثانية ( $E_{a2}$ ) والكلية لأغشية (CdSe) المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) والمحضرة بسمك مختلف

Thickness (nm)	$E_{a1}$ (eV)	$E_{a2}$ (eV)	Total (eV)
300	0.1942	0.0522	0.2464
500	0.1794	0.0427	0.2221
700	0.1551	0.0320	0.1871
900	0.1284	0.0210	0.1494

ولأجل ملاحظة تأثير تغير سمك الغشاء المحضر ونسبة الشائبة المضافة على قيم طاقتي التنشيط الاولى ( $E_{a1}$ ) والثانية ( $E_{a2}$ ) ، تم تمثيل القيم الواردة في الجدولين أعلاه بيانياً ، وتم الحصول على الشكلين (41-4) و (42-4) على التوالي ، أما بالنسبة الى قيم طاقات التنشيط الكلية فلا يختلف تمثيلها البياني كثيراً عن الشكل (41-4) .



الشكل (4-41) تغير قيم طاقة التنشيط الاولى ( $E_{a1}$ ) كدالة لتغير سمك الغشاء المحضر لأغشية (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها .



الشكل (4-42) تغير قيم طاقة التنشيط الثانية ( $E_{a2}$ ) كدالة لتغير سمك الغشاء المحضر لأغشية (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها .



**Hall Effect****(2-5-4) تأثير هول**

أظهرت نتائج قياسات هول بأن أغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمحضرة عند درجة حرارة الغرفة ( $27^{\circ}\text{C}$ ) وبسمك مختلف  $20 \text{ nm} \pm (300,500,700,900)$  كانت ذات توصيلية كهربائية من النوع السالب (n-type) وأن الإلكترونات هي حاملات الشحنة الاغلبية فيها وهذا يتفق مع نتائج الدراسات [29,38,44] وكما مبين ذلك في الجدول (4-16) من خلال اشارة معامل هول .

فمن الجدول (4-16) يلاحظ ظهور تناقص في تركيز حاملات الشحنة الاغلبية (الإلكترونات) بزيادة سمك الغشاء المحضر النقي ، يعزى سبب ذلك الى ان أغشية المادة عند تحضيرها بسمك قليل (300 nm) فما دون ، يؤدي ذلك الى ظهور تأثير Anion Vacancies (فقد الايونات السالبة) ويقل ظهور هذا التأثير بزيادة سمك الغشاء المحضر ، بمعنى أنه بزيادة السمك سوف يقترب الغشاء الرقيق من حالة المركب المتكافئ التركيب (Stoichiometric Compound) - وهو ما تم الحصول عليه فعلاً من فحوصات طيف فلورة الأشعة السينية ومقياس طيف تشتت الطاقة لأغشية المركب النقية والمحضرة بسمك (900 nm) والموضحة آنفاً في الشكل (4-14) - الأمر الذي يؤثر على وفرة حاملات الشحنة الأغلبية وبالتالي ظهور التناقص الملحوظ في تركيزها بزيادة السمك ليتفق ذلك ونتائج الدراسات [29,32,37] .

كذلك يلاحظ من النتائج المبينة في الجدول (4-16) ان هنالك تناقصاً واضحاً يظهر في قيمة المقاومة الكهربائية بزيادة السمك وهذا ما يعززه الرسم البياني الموضح في الشكل (4-43) ، يعزى سبب هذا التناقص الى الزيادة الحاصلة في درجة تبلور الغشاء المحضر وما يرافق ذلك من الزيادة الحاصلة في الحجم الحبيبي الناتج ، ذلك أن زيادة الحجم الحبيبي تؤدي الى تناقص الحدود الحبيبية بين الحبيبات مما يسبب انخفاضاً في احتمالية حدوث عمليات الاستطارة الحاصلة بين الكترولونات التوصيل المتحركة وحدود تلك الحبيبات ، الامر الذي يؤثر على تحركية تلك الحاملات مسبباً الزيادة الواضحة في قيمتها - وكما في الشكل (4-44) - مما يؤدي بالتالي الى الزيادة في قيم التوصيلية والتناقص في قيم المقاومة الكهربائية بزيادة السمك وفقاً الى العلاقة (2-24) ، ليتفق ذلك ونتائج التوصيلية الكهربائية المستمرة (DC) ، وكذلك نتائج الدراسات السابقة [29,37,100] .

أما فيما يتعلق بالأغشية المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) فقد أظهرت نتائج قياسات هول بأن مقاومتها النوعية قد تناقصت بشكل واضح جداً بعد التشويب عنها قبل التشويب وكما مبين ذلك في الجدول (4-17) وموضحاً في الشكل (4-45) ، يعزى السبب في ذلك الى زيادة تركيز حاملات الشحنة المجهزة من قبل ذرات الشائبة المضافة ذات المواقع الابدالية فضلاً عن تلك التعويضية في شبكية البلورة ، ذلك أن ذرات الشائبة المضافة بمعالجتها لبعض العيوب الفطرية الحاصلة في التركيب البلوري للمركب (ملؤها الفراغات

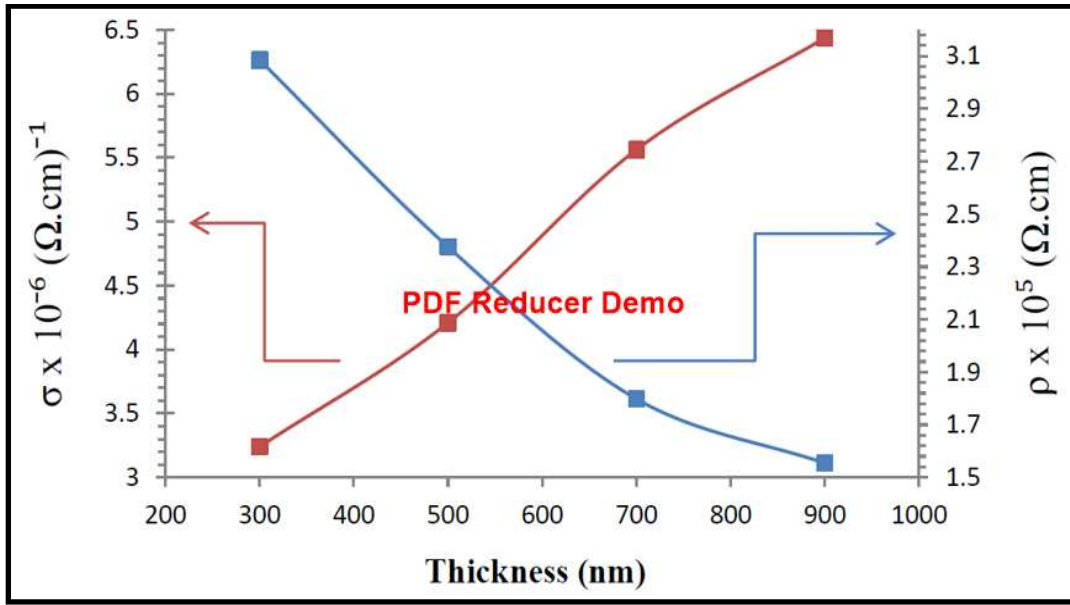
الناجمة عن النقص الحاصل في أيونات ذرات المركب ( تكون بذلك قد شاركت بزواج أو أكثر من الكترولونات تكافؤها في عملية التوصيل مما ساعد على زيادة تركيز حاملات الشحنة السالبة (الالكترولونات) فيها - خاصة الأغشية المحضرة بسمك (700,900) nm على التوالي - وبالتالي زيادة قيم التوصيلية ونقصان في قيمة المقاومة الكهربائية تبعاً لذلك ، وكما موضح ذلك في الشكلين (4-46) و (4-47) على التوالي ، لينتفق ذلك ونتائج الدراسات [29,36,46] .

الجدول (4-16) قيم كل من معامل هول ، التوصيلية ، التحركية ، المقاومة وتركيز حاملات الشحنة لأغشية (CdSe) النقية والمحضرة بسمك مختلف

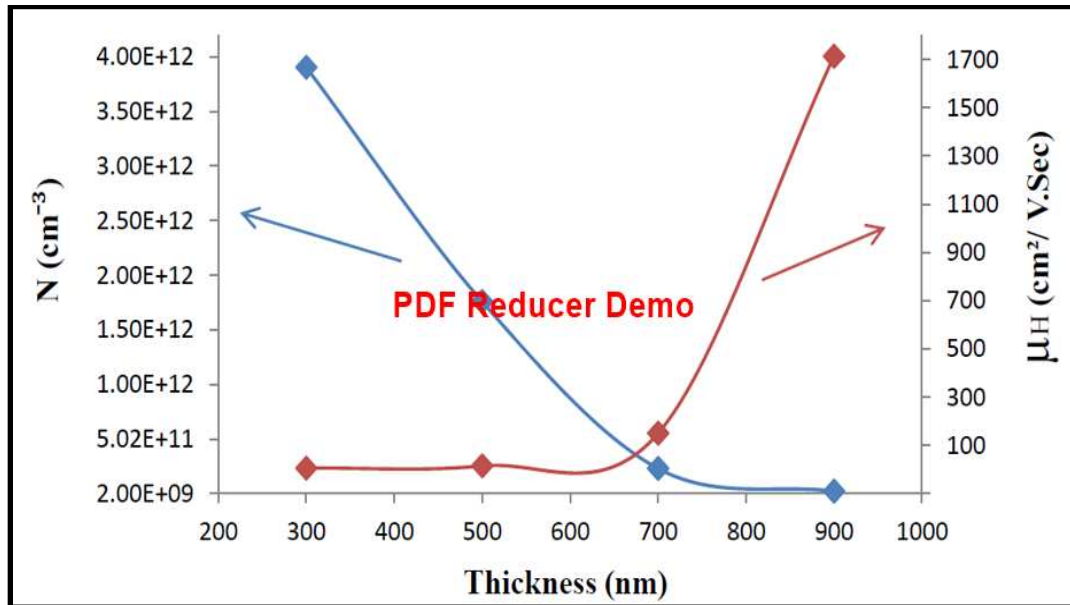
Thickness (nm)	N/cm <sup>3</sup>	$\mu_H$ (cm <sup>2</sup> / v.s)	$\rho$ ( $\Omega$ .cm)	$\sigma$ ( $\Omega$ .cm) <sup>-1</sup>	R <sub>H</sub> (cm <sup>3</sup> /c)
300	-3.907E+12	5.185E+0	30.85E+4	3.24125E-06	-1.599E+6
500	-1.761E+12	1.494E+1	23.76E+4	4.20949E-06	-3.549E+6
700	-2.319E+11	1.499E+2	17.98E+4	5.56189E-06	-2.695E+7
900	-2.348E+10	1.713E+3	15.54E+4	6.4354E-06	-2.6618E+8

الجدول (4-17) قيم كل من معامل هول ، التوصيلية ، التحركية ، المقاومة وتركيز حاملات الشحنة لأغشية (CdSe) المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) والمحضرة بسمك مختلف

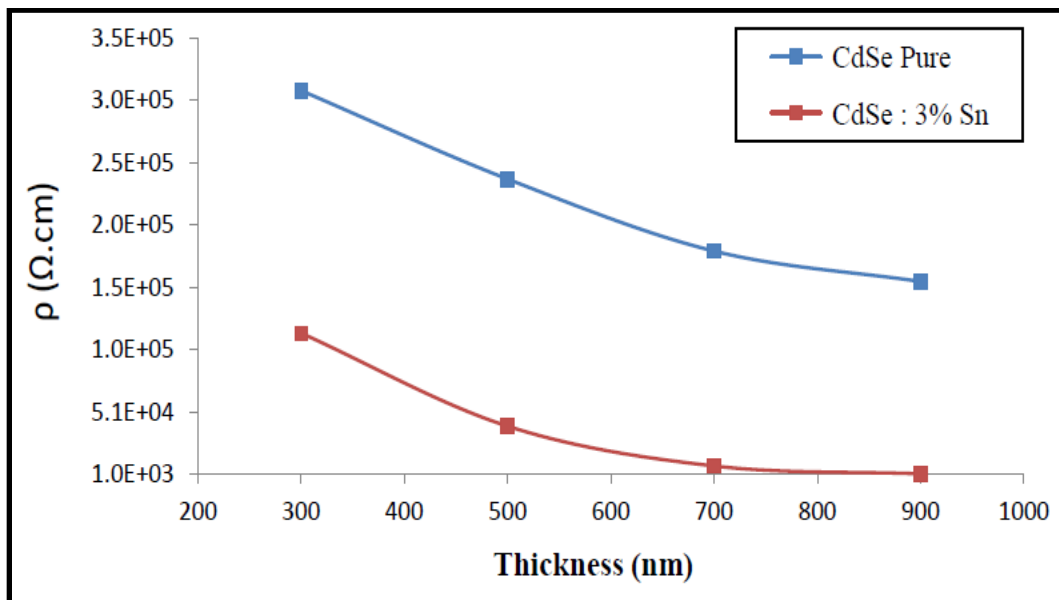
Thickness (nm)	N/cm <sup>3</sup>	$\mu_H$ (cm <sup>2</sup> / v.s)	$\rho$ ( $\Omega$ .cm)	$\sigma$ ( $\Omega$ .cm) <sup>-1</sup>	R <sub>H</sub> (cm <sup>3</sup> /c)
300	-1.830E+11	2.996E+2	11.40E+4	8.772E-6	-3.412E+7
500	-2.400E+12	2.753E+2	9.459E+3	1.057E-4	-2.604E+6
700	-2.420E+13	7.275E+1	3.550E+3	2.816E-4	-2.583E+5
900	-3.418E+15	1.450E+1	1.261E+2	7.929E-3	-1.828E+3



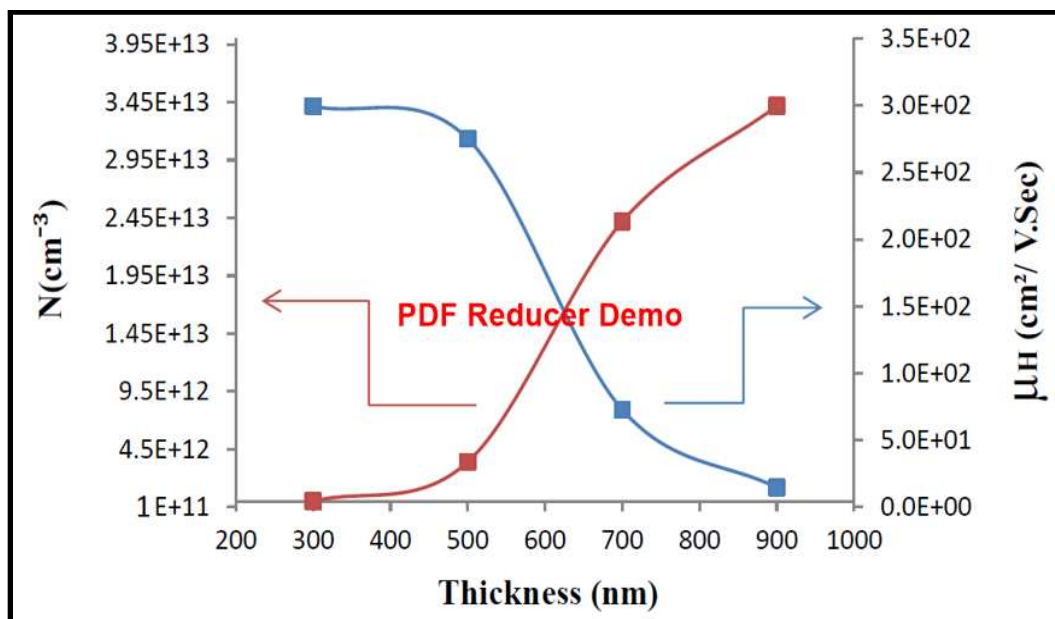
الشكل (4-4) تغير كلٍ من المقاومة والتوصيلية الكهربائية كدالة لتغير السمك لأغشية النقية والمحضرة بسمك مختلف (CdSe)



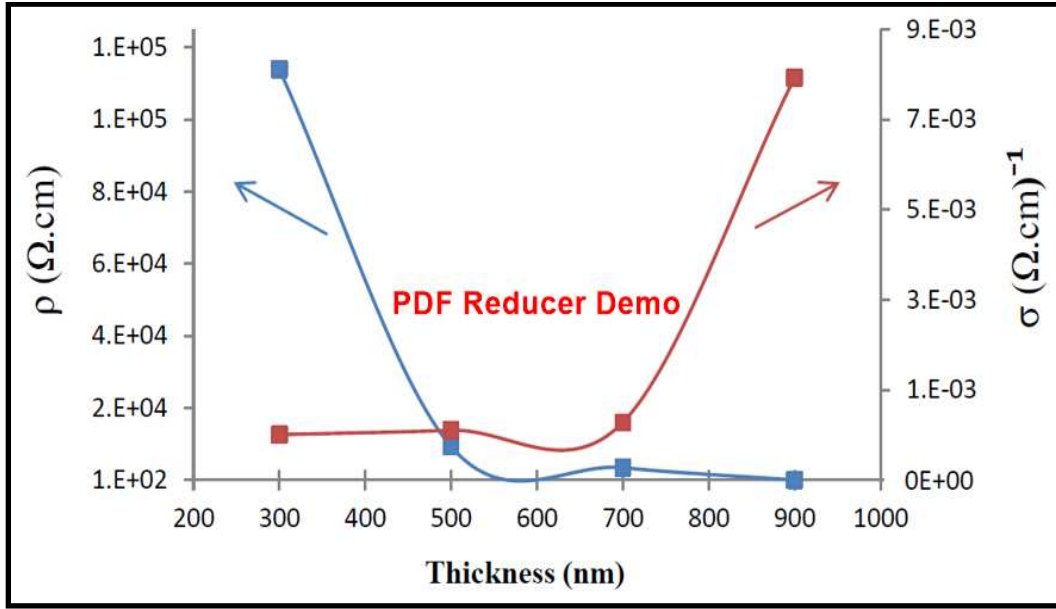
الشكل (4-4) تغير كلٍ من تركيز حاملات الشحنة كدالة لتغير السمك لأغشية النقية والمحضرة بسمك مختلف (CdSe)



الشكل (45-4) تغير المقاومة الكهربائية كدالة لتغير السمك لأغشية (CdSe) المحضرة بسمك مختلف قبل عملية التشويب وبعدها



الشكل (46-4) تغير كلٍ من تركيز حاملات الشحنة كدالة لتغير السمك لأغشية (CdSe) المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%)

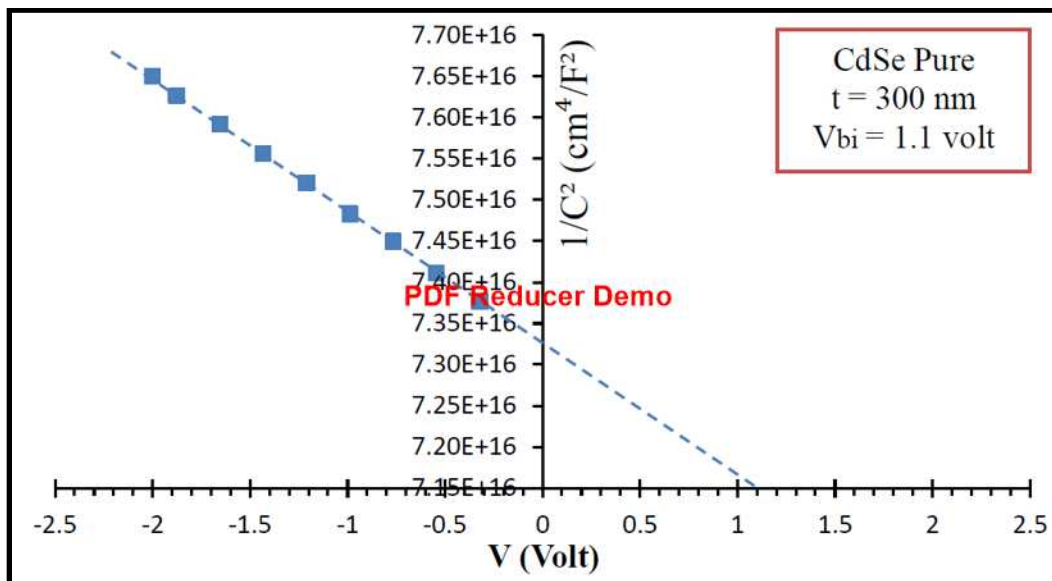


الشكل (4-47) تغير كلٍ من المقاومة والتوصيلية الكهربائية كدالة لتغير السمك لأغشية المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) (CdSe)

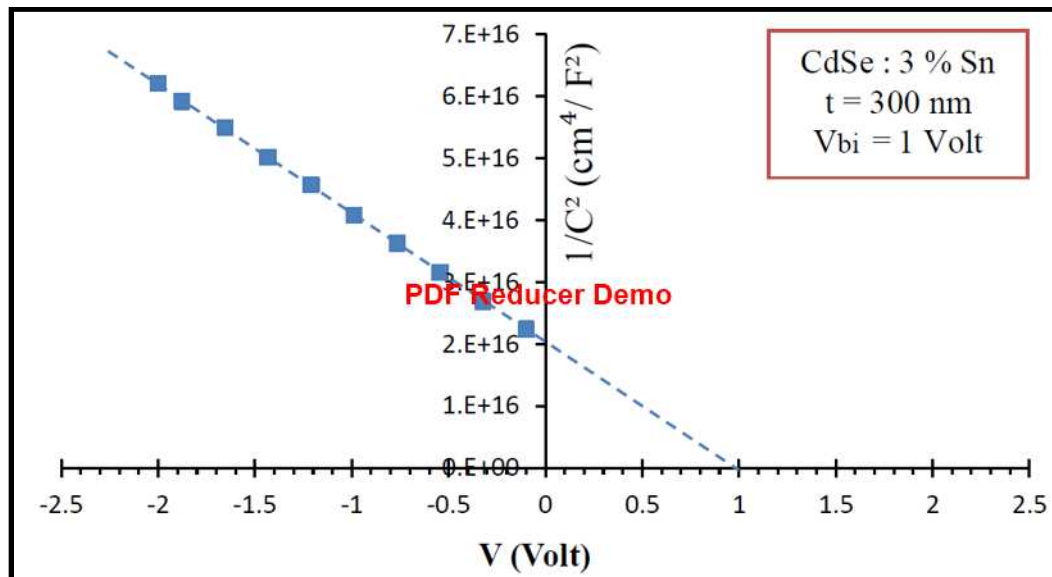
#### (6-4) الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية Solar Cells Electrical Properties

##### (1-6-4) خصائص (سعة - جهد) : (C-V) Characteristics

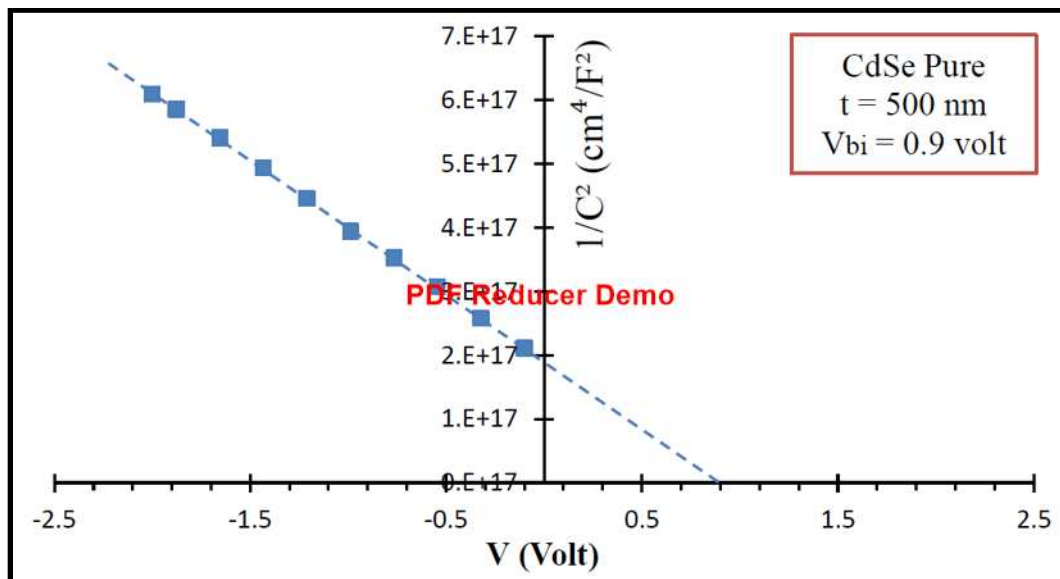
أجريت فحوصات (السعة - فولتية) لأغشية سيلينايد الكاديوم بنوعيتها النقية والمشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) وذلك باستخدام جهاز (LCR Meter) نوع (Gwinstek 8105 G) تحت تأثير فولتية انحياز عكسي ضمن المدى (0.01-2) volt وعند مدى ترددات تراوح بين (1KHZ-1MHZ) ومن خلال رسم العلاقة بيانياً بين قيم مقلوب مربع السعة ( $1/C^2$ ) كدالة لفولتية الانحياز العكسية تم الحصول على قيمة جهد البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ) للمفارق الهجينة المصنعة كافة بنوعيتها النقية والمشوبة وكما موضح ذلك في الاشكال (48-4) و(49-4) و(50-4) و(51-4) على التوالي ، والتي يلاحظ منها طبيعة العلاقة الخطية بين مقلوب مربع السعة وفولتية التحيز العكسية مما يشير الى ان المفارق المصنعة كانت من النوع الحاد (Abrupt) ليتفق ذلك والنتائج التي توصلت اليها الدراسات [45,101,102].



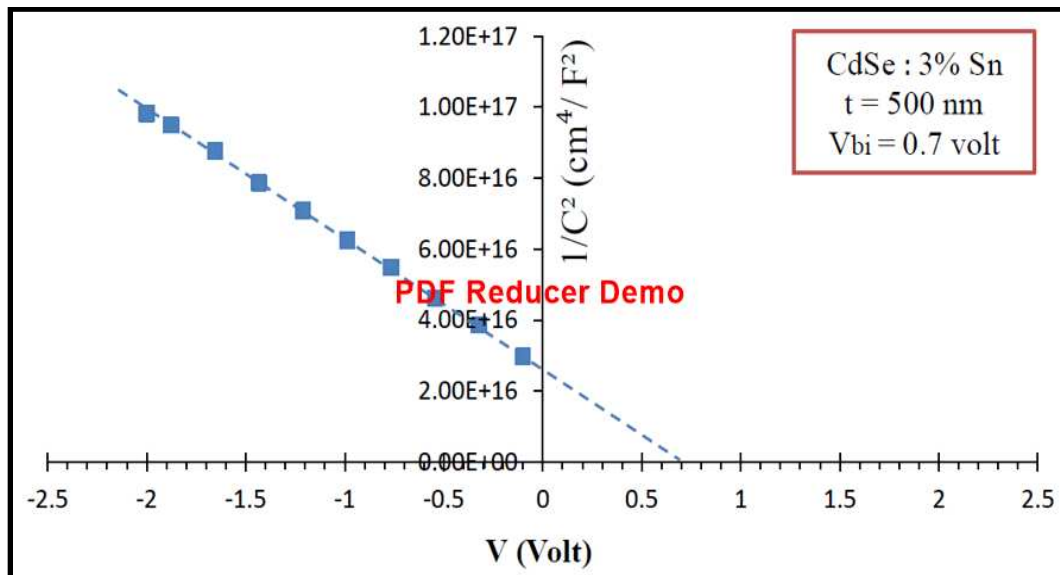
الشكل (48-4-a) تغير مقلوب مربع السعة كدالة لفولتية الانحياز العكسي للمفرق الهجين (CdSe/Si) المصنع من غشاء المادة بسلك (300 nm) قبل عملية التشويب



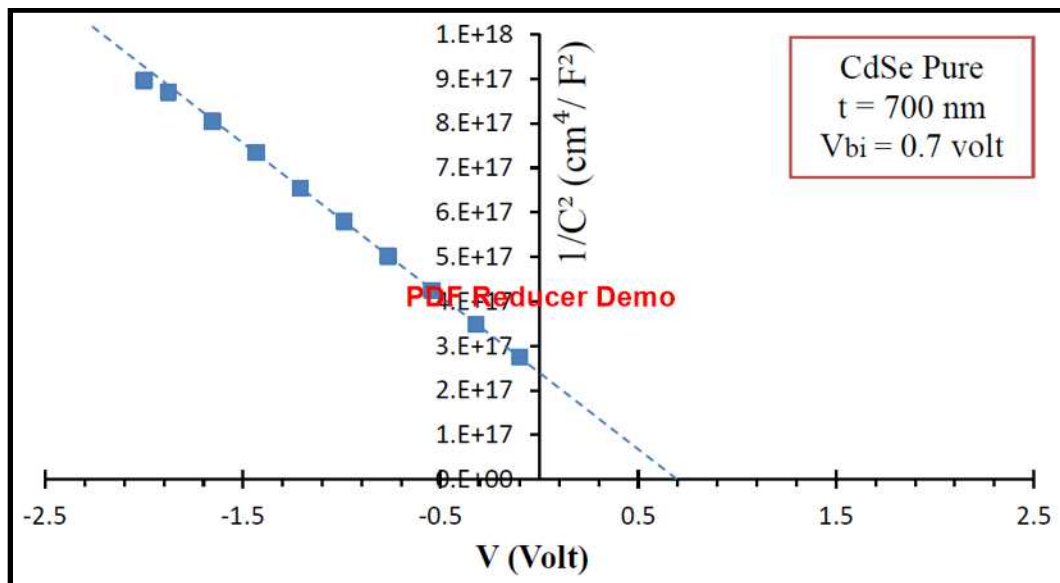
الشكل (48-4-b) تغير مقلوب مربع السعة كدالة لفولتية الانحياز العكسي للمفرق الهجين (CdSe:3%Sn/Si) المصنع من غشاء المادة بسلك (300 nm) بعد عملية التشويب



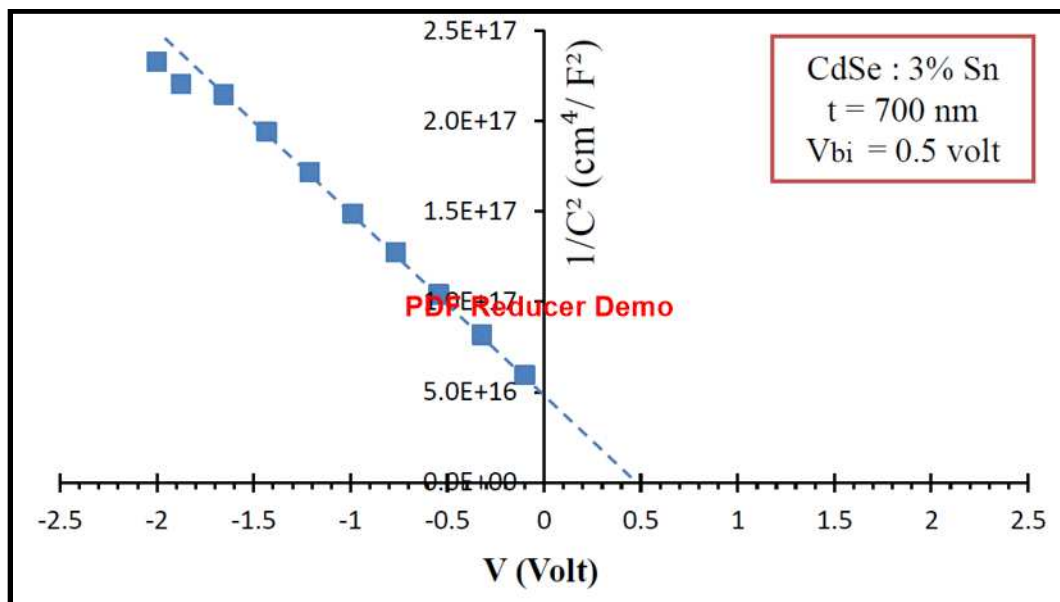
الشكل (49-4-a) تغير مقلوب مربع السعة كدالة لفولتية الانحياز العكسي للمفرق الهجين (CdSe/Si) المصنع من غشاء المادة بسلك (500 nm) قبل عملية التشويب



الشكل (49-4-b) تغير مقلوب مربع السعة كدالة لفولتية الانحياز العكسي للمفرق الهجين (CdSe:3%Sn/Si) المصنع من غشاء المادة بسلك (500 nm) بعد عملية التشويب

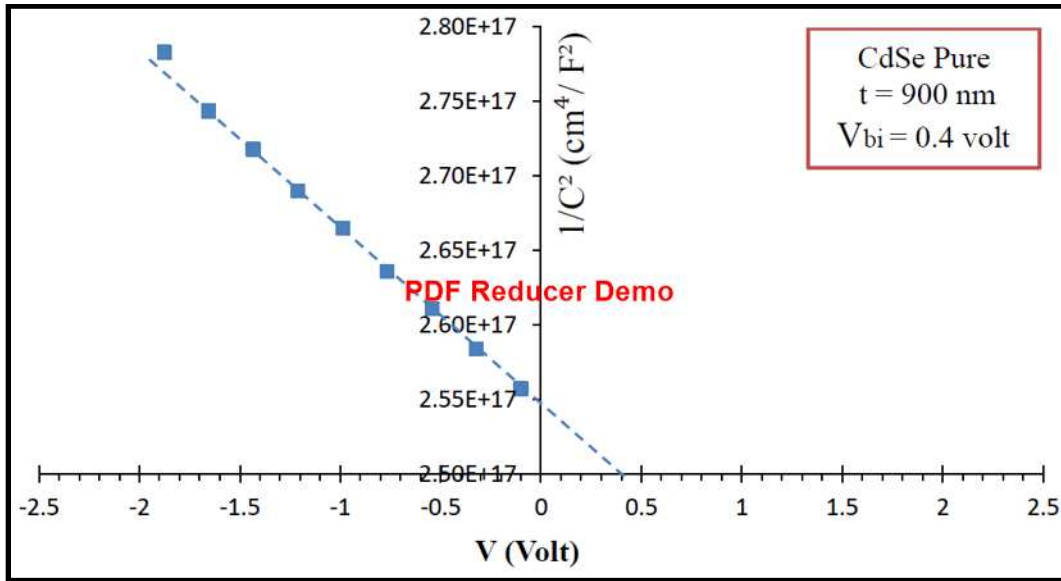


الشكل (50-4-a) تغير مقلوب مربع السعة كدالة لفولتية الانحياز العكسي للمفرق الهجين (CdSe/Si) المصنع من غشاء المادة بسمك (700 nm) قبل عملية التشويب

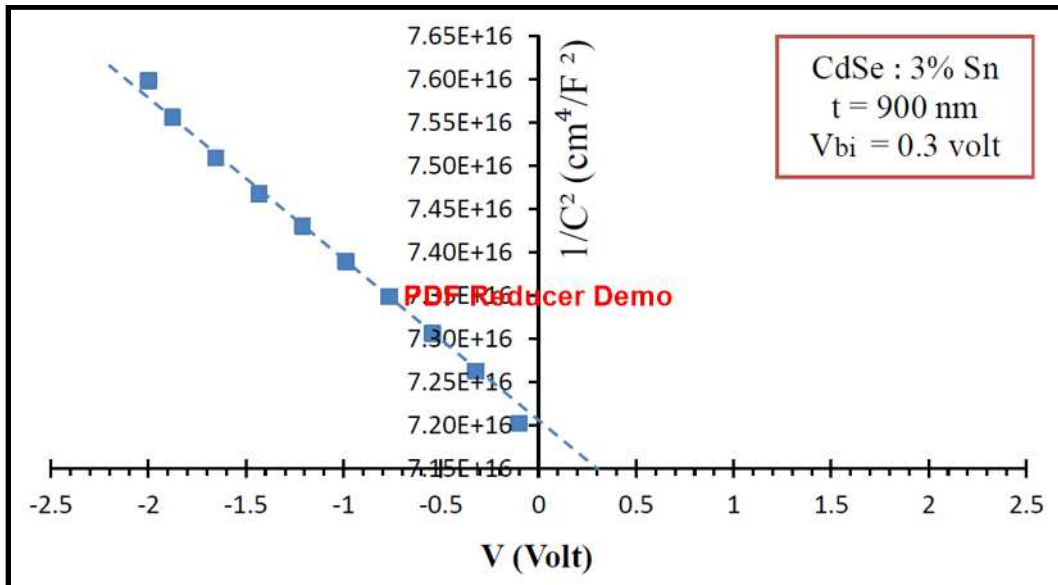


الشكل (50-4-b) تغير مقلوب مربع السعة كدالة لفولتية الانحياز العكسي للمفرق الهجين (CdSe:3%Sn/Si) المصنع من غشاء المادة بسمك (700 nm) بعد عملية التشويب





الشكل (51-4-a) تغير مقلوب مربع السعة كدالة لفولتية الانحياز العكسي للمفروق الهجين (CdSe/Si) المصنع من غشاء المادة بسلك (900 nm) قبل عملية التشويب



الشكل (51-4-b) تغير مقلوب مربع السعة كدالة لفولتية الانحياز العكسي للمفروق الهجين (CdSe:3%Sn/Si) المصنع من غشاء المادة بسلك (900 nm) بعد عملية التشويب

يوضح الجدول (4-18) تغير قيم كل من سعة المفرق الهجين ( $C_o$ ) وعرض منطقة الاستنزاف ( $W$ ) وفولتية البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ) وتركيز حاملات الشحنة السالبة ( $N$ ) للمفارق الهجينة المصنعة من أغشية المادة النقية ( $CdSe$ ) على قواعد من السليكون البلوري ذي اتجاهية (111) وذي توصيلية كهربائية موجبة ( $p$ -Type) وعند سمك غشاء مختلف  $(300, 500, 700, 900) \pm 20$  nm ، حيث يتضح من الجدول نقصان سعة المفرق المصنوع بزيادة سمك الغشاء المحضر يقابل ذلك زيادة واضحة في قيمة عرض طبقة الاستنزاف بزيادة السمك أيضا وفقا للعلاقة الرياضية (2-49) والموضحة مسبقا في الفصل الثاني .

ويعزى سبب ذلك الى طبيعة العيوب التركيبية الناتجة من جراء انعدام التوافق الشبكي بين مادة الغشاء المحضر وأرضيات السليكون عند السطح البيني الفاصل بينهما ، الامر الذي يجعل من هذه العيوب لأن تعمل كمراكز لإعادة اتحاد الزوج (الكترن - فجوة ) ومراكز لاقتناص الالكترونات ، مما يؤدي بالتالي الى تكون طبقة استنزاف داخلية تزيد من احتمالية عملية اعادة الاتحاد لحاملات الشحنة التي تمر عبر الوصلة وهذا يؤدي بدوره الى زيادة عرض طبقة الاستنزاف ليتفق ذلك ونتائج الدراسات [45,101,102] .

الجدول (4-18) قيم ( $C_o, W, N, V_{bi}$ ) لأغشية ( $CdSe$ ) النقية والمحضرة بسمك مختلف

CdSe(n)-(p)Si	Thickness (nm)	$1/C^2$ (cm <sup>4</sup> /F <sup>2</sup> )	$C_o$ (cm <sup>2</sup> /nF)	$W$ ( $\mu$ m)	$V_{bi}$ (Volt)	$N$ (cm <sup>-3</sup> )
	300	7.33E+16	3.70	1.33	1.1	3.176 E+11
	500	1.80E+17	2.36	2.08	0.9	4.234 E+11
	700	2.20E+17	2.13	2.30	0.7	2.822 E+10
	900	2.55E+17	1.98	2.48	0.4	1.270 E+10

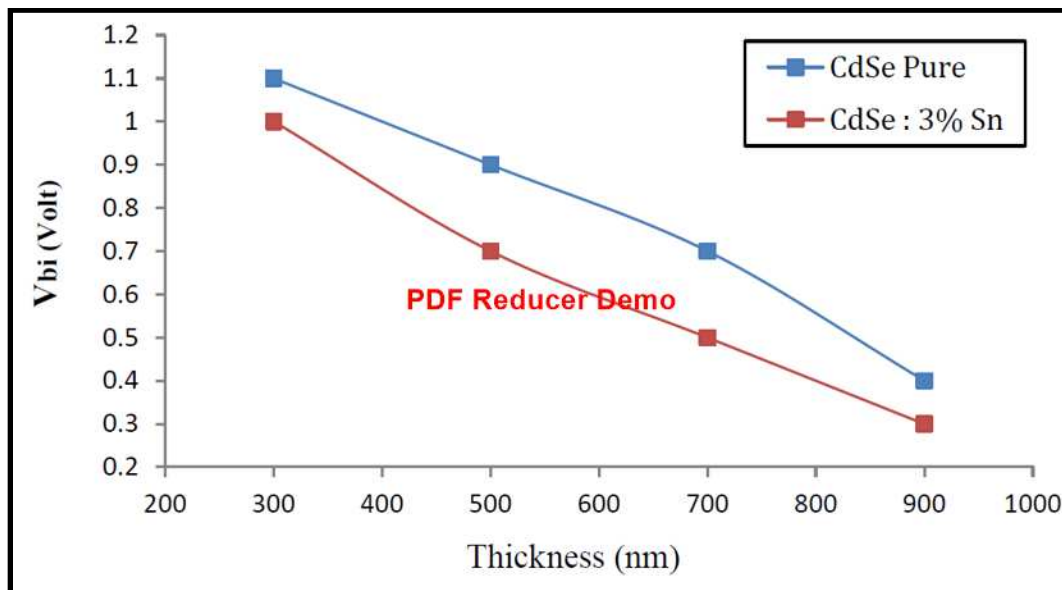
أما بالنسبة الى الاغشية المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) فيلاحظ من الجدول (4-19) أن سعة المفرق الهجين قد زادت بعد عملية التشويب عن قيمتها قبل التشويب ولكل سمك تم تحضيره ، يعزى سبب ذلك الى زيادة تركيز حاملات الشحنة بعملية التشويب الامر الذي يؤدي الى زيادة سعة المفرق وبالتالي التناقص الملاحظ في عرض طبقة الاستنزاف المتكونة تبعاً لذلك ليتفق ذلك ونتائج الدراسة [45].

الجدول (4-19) قيم ( $C_o, W, N, V_{bi}$ ) لأغشية (CdSe) المشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) والمحضرة بسمك مختلف

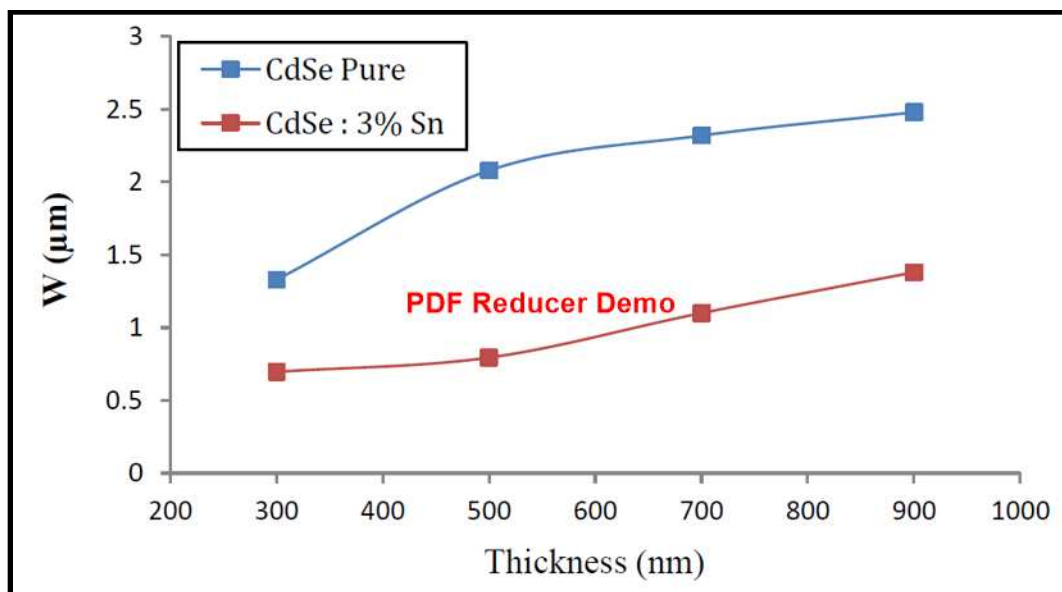
CdSe(n)-(p)Si	Thickness (nm)	$1/C^2$ (cm <sup>4</sup> /F <sup>2</sup> )	$C_o$ (cm <sup>2</sup> /nF)	W(μm)	$V_{bi}$ (Volt)	N (cm <sup>-3</sup> )
	300	2.00E+16	7.071	0.696	1.0	5.628 E+10
	500	2.60E+16	6.202	0.794	0.7	6.349 E+11
	700	5.00E+16	4.472	1.100	0.5	8.468 E+11
	900	7.20E+16	3.727	1.320	0.3	4.540 E+13

أما بالنسبة الى فولتية البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ) للمفارق الهجينة المصنعة ، فيلاحظ من الجدولين السابقين أن قيمتها قد انخفضت بعد عملية التشويب عن قيمتها قبل التشويب ، حيث يعزى سبب ذلك الى الزيادة الحاصلة في السعة ( سعة المفرق ) كنتيجة للزيادة الحاصلة لحاملات الشحنة بعملية التشويب ، الأمر الذي يؤدي الى التناقص الملاحظ في جهد البناء الداخلي وفقاً للعلاقة ( $C=q/V$ ) .

اخيراً ، ولأجل ملاحظة تأثير تغير سمك الغشاء المحضر ونسبة الشائبة المضافة على جهد البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ) وعرض طبقة الاستنزاف ( $W$ ) للمفارق الهجينة المصنعة ، تم تمثيل القيم الواردة في الجدولين أعلاه بيانياً ، وتم الحصول على الشكلين (4-52) و (4-53) على التوالي .



الشكل (4-52) تغير قيمة جهد البناء الداخلي كدالة لتغير السمك للمفارق الهجينة المصنعة من غشاء المادة (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها



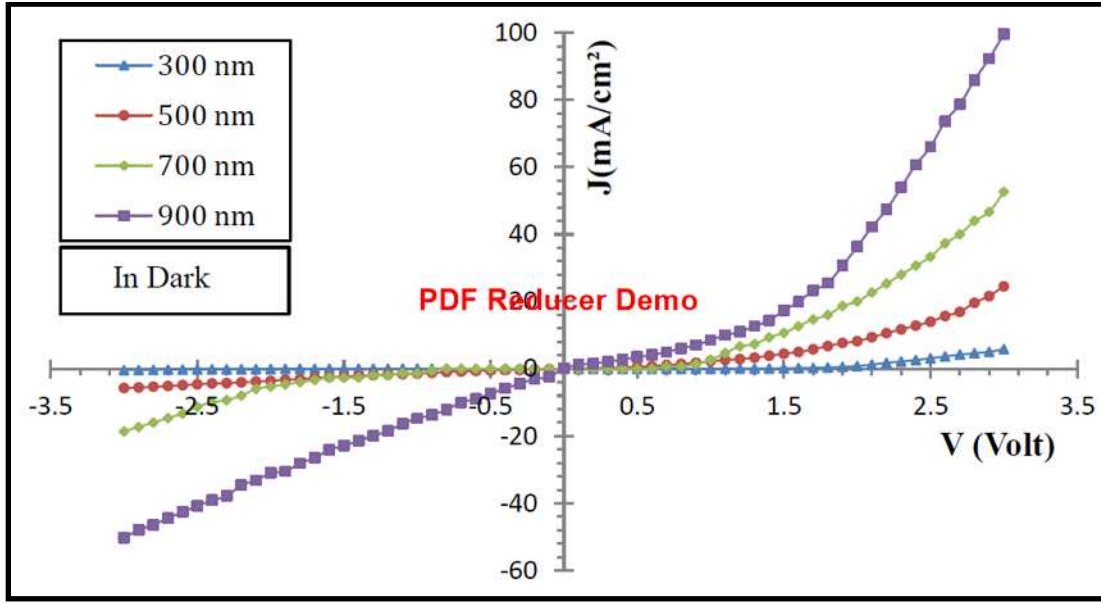
الشكل (4-53) تغير عرض طبقة الاستنزاف كدالة لتغير السمك للمفارق الهجينة المصنعة من غشاء المادة (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها

**(I-V) Characteristics****(2-6-4) خصائص (تيار- جهد)**

يوضح الشكلان (54-4) و(55-4) خصائص (التيار-الجهد) للمفارق الهجينة المصنعة من أغشية المادة النقية (CdSe) عند درجة حرارة الغرفة وبسبك مختلف  $(300, 500, 700, 900) \pm 20$  nm بالانحياز الامامي والعكسي وحالتي الظلام والإضاءة على التوالي .

فبالعودة الى الشكل (54-4) الخاص بقياسات (I-V) للمفارق الهجينة النقية في حالة الظلام ، يلاحظ نشوء تيار ضعيف عند الفولتيات الواطئة لحالة الانحياز الامامي وهو ما يسمى بتيار اعادة الاتحاد (Recombination Current) والذي يظهر بسبب وجود المصائد (Traps) أو ما تسمى (قوانص الشحنة) (Recombination Centers) والناجمة من جراء العيوب المتكونة عند السطح البيني الفاصل بين المادتين المكونتين للمفارق ، ومع الاستمرار بزيادة قيمة الجهد الخارجي المسلط ( $V_{applied}$ ) على جانبي المفارق والذي يعمل بدوره على تقليص عرض منطقة الاستنزاف والتقليل من قيمة جهد البناء الداخلي ( $V_{bi}$ ) ، الأمر الذي يؤدي الى زيادة عدد حاملات الشحنة المارة عبر الملتقى ومن ثم نشوء تيار متزايد بشكل أسي مع ارتفاع قيمة الفولتية المسلطة والمسمى بتيار الانتشار (Diffusion Current) حيث يتجلى ذلك بوضوح بالنسبة للمفارق المصنعة من أغشية المادة عند القيم العليا للسبك لاسيما (700,900) nm على التوالي ، اما في حالة الانحياز العكسي فيلاحظ نشوء تيار ضعيف جداً عند قيم البداية من تسليط الفولتية العكسية ، يسمى ب تيار التسريب (Leakage Current) ناتج من انتقال حاملات الشحنة الاقلية المتواجدة على جانبي المفارق في المنطقتين (N) و(P) على التوالي ذلك ان الفولتية العكسية المسلطة تعمل على زيادة عرض طبقة الاستنزاف من جراء انسحاب حاملات الشحنة الاغلبية الى اقطاب التوصيل والمخالفة لها بالإشارة ، الأمر الذي يزيد من جهد البناء الداخلي للوصلة ( $V_{bi}+V_{applied}$ ) ومن ثم الزيادة المماثلة في قيمة المقاومة الداخلية للمفارق كنتيجة لذلك ، مما يؤدي بالتالي الى انعدام نشوء التيار [51] .

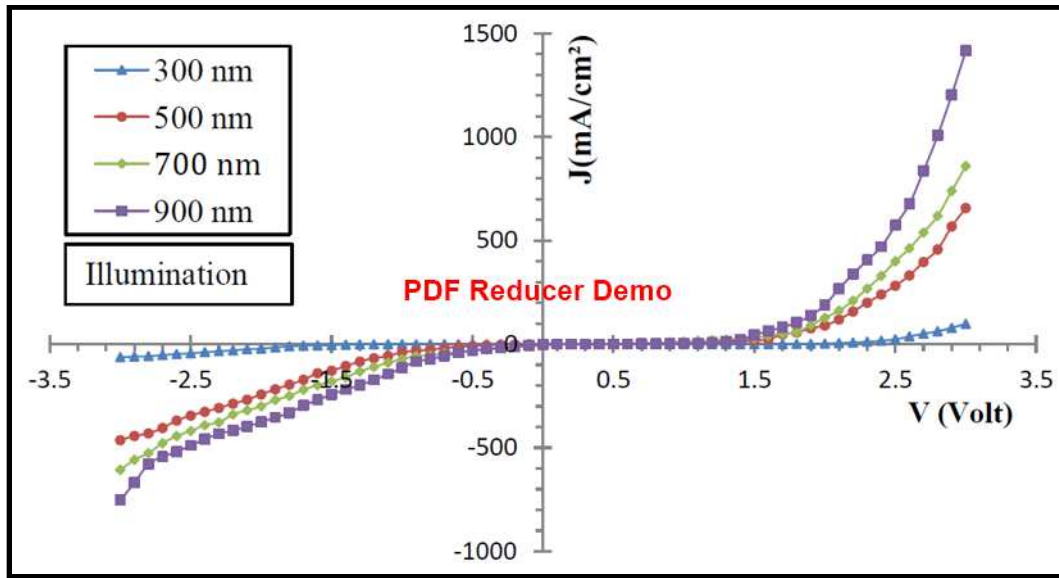
كذلك يلاحظ من الشكل (54-4) تزايد واضح في قيم التيار بزيادة الفولتية العكسية المسلطة على المفارق الهجينة المصنعة من اغشية المادة عند سمك (700,900) nm على التوالي ، يدعى مقدار التزايد هذا بتيار التولد الحراري (Thermal Generation Current) وينشأ من تولد أزواج (الكترن-فجوة) حرارياً من جراء الزيادة الحاصلة في مقاومة الوصلة بزيادة فولتية الانحياز العكسية ، ومن الاستمرار بزيادة الفولتية المسلطة فأننا نحصل على تيار الاشباع ولغاية ان نصل الى حالة انهيار الوصلة (Junction Breakdown) عند جهد الانهيار والذي عند قيمته سوف يمر تيار كبير جدا من خلال المفارق ذلك لأن مقاومته سوف تكون صغيرة جداً بعد الانهيار [51] .



الشكل (4-54) خصائص (تيار- جهد) في حالة الظلام للمفارق الهجينة (CdSe/Si) المحضرة من غشاء المادة النقي بسبك مختلف

أما خصائص (تيار- جهد) للمفارق الهجينة النقية في حالة الاضاءة فيوضحها الشكل (4-55) ، حيث يلاحظ من الشكل ظهور زيادة ملحوظة في كل من تيار الانتشار للانحياز الامامي وتيار التولد الحراري للانحياز العكسي ، وذلك بسبب زيادة ازواج (الكترن - فجوة) المتولدة ضوئياً بتأثير فوتونات الضوء المسلط على المفارق والمجهزة من قبل المصدر الضوئي (لاسيما إذا كان ذا شدة عالية ) ، حيث استخدم في اتمام هذه القياسات مصدر ضوئي ذو شدة عالية بحدود  $(100 \text{ mWatt /cm}^2)$  ، ويبين الجدول (4-20) القيم العظمى لكل من فولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{oc}$ ) وكثافة تيار الدائرة القصيرة ( $J_{sc}$ ) وكذلك القيم العظمى لكل من الفولتية وكثافة التيار ( $V_m , J_m$ ) ، فضلا عن قيم الكفاءة للخلايا الشمسية المصنعة من أغشية المادة النقية عند سمك مختلف ، حيث يتبين من الجدول (4-20) زيادة كل من كثافة التيار الاعظم ( $J_m$ ) والفولتية العظمى ( $V_m$ ) وكثافة تيار الدائرة القصيرة ( $J_{sc}$ ) وفولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{oc}$ ) وكفاءة الخلية الشمسية المصنعة بزيادة سمك طبقة المادة الاساس (CdSe) وكما موضح ذلك في الأشكال (4-b-56) الى (4-b-59) على التوالي .

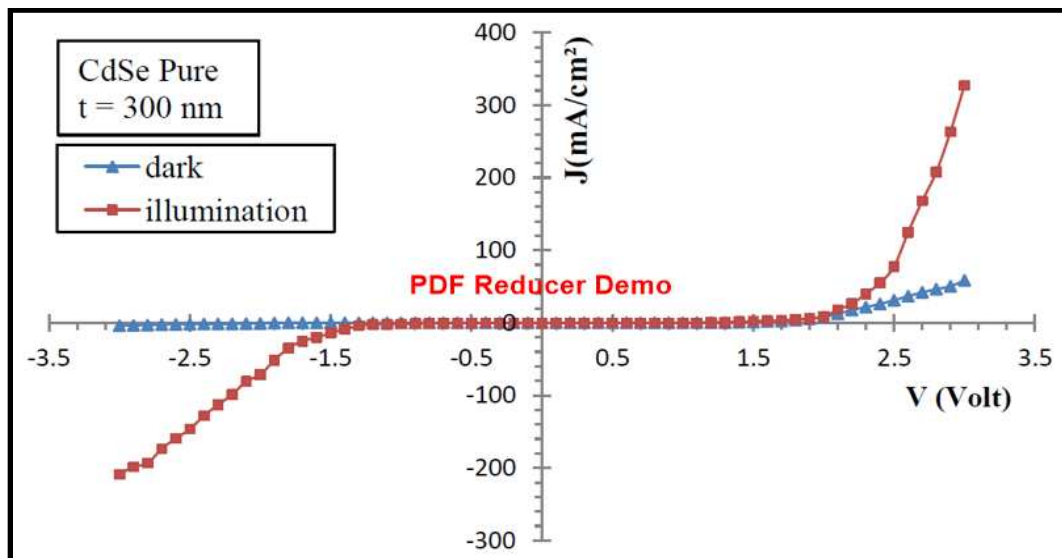
يعزى سبب ذلك الى زيادة معامل الامتصاص بزيادة سمك الغشاء المحضر وما لذلك من تأثير في كفاءة الخلايا الشمسية المصنعة من جهة ، والى تحسن التركيب البلوري وزيادة درجة تبلور الغشاء بزيادة السمك وما يترتب على ذلك من زيادة الحجم الحبيبي ونقصان الحدود الحبيبية (العيوب) من جهة أخرى ، الامر الذي يحسن كثيراً من خصائص المفروق الناتج .



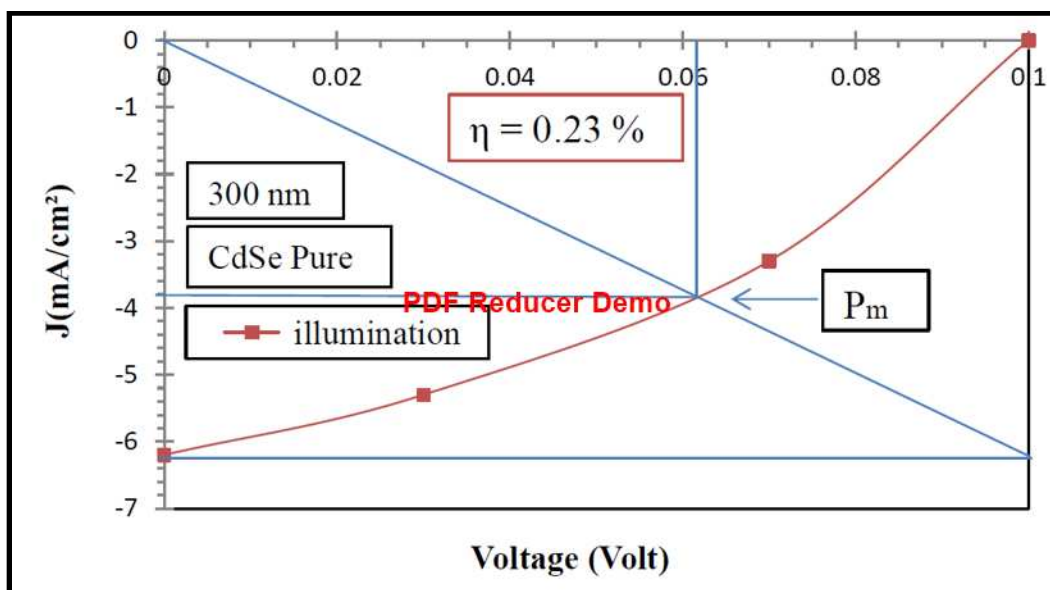
الشكل (4-55) خصائص (تيار- جهد) في حالة الإضاءة للمفارق الهجينة (CdSe/Si) المحضرة من غشاء المادة النقي بسمك مختلف

الجدول (4-20) قيم (  $J_{sc}$  ,  $V_{oc}$  ,  $J_m$  ,  $V_m$  , F.F% ,  $\eta$  % ) للمفارق الهجينة (CdSe/Si) المحضرة من غشاء المادة النقي بسمك مختلف

Thickness (nm)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ ( Volt )	$J_m$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_m$ ( Volt )	F.F %	$\eta$ %
300	6.20	0.10	3.6	0.065	37.74	0.23
500	8.00	0.14	5.2	0.100	46.43	0.52
700	12.2	0.16	9.2	0.120	56.56	1.10
900	18.0	0.20	14	0.155	60.28	2.17

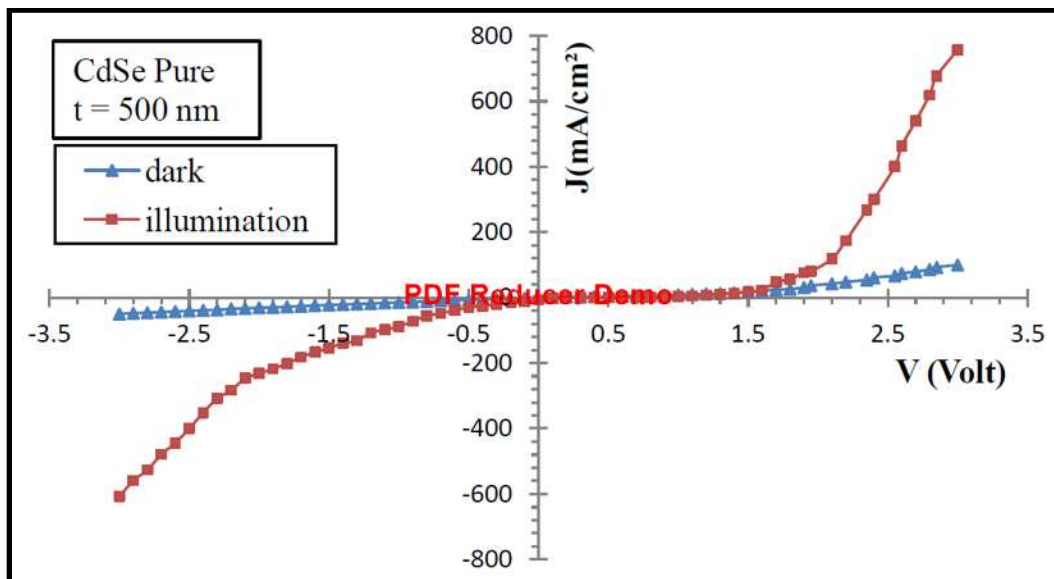


الشكل (56-4-a) خصائص (تيار- جهد) في حالتَي الظلام والإضاءة للمفروق الهجين (CdSe/Si) المحضر من غشاء المادة النقي بسُمك (300 nm)

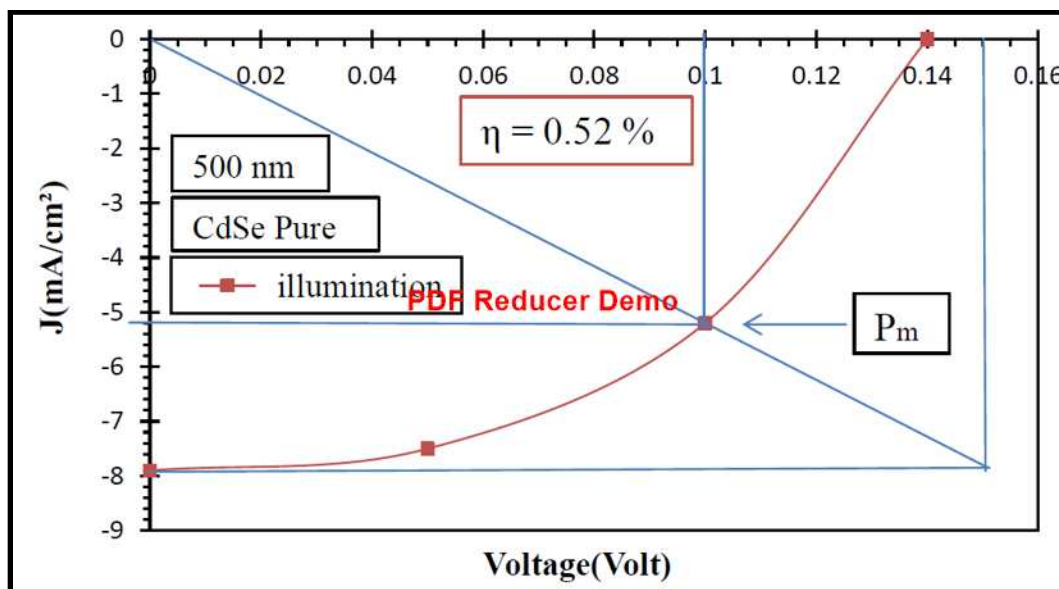


الشكل (56-4-b) منحنَي ( $J_{sc}$ ) و ( $V_{oc}$ ) للمفروق الهجين (CdSe/Si) المحضر من غشاء المادة النقي بسُمك (300 nm)

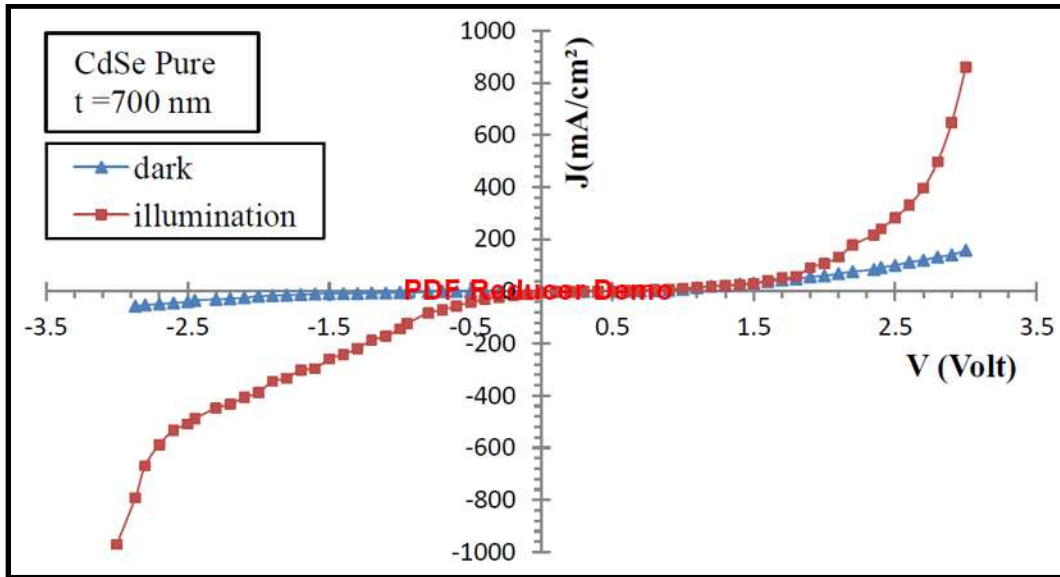




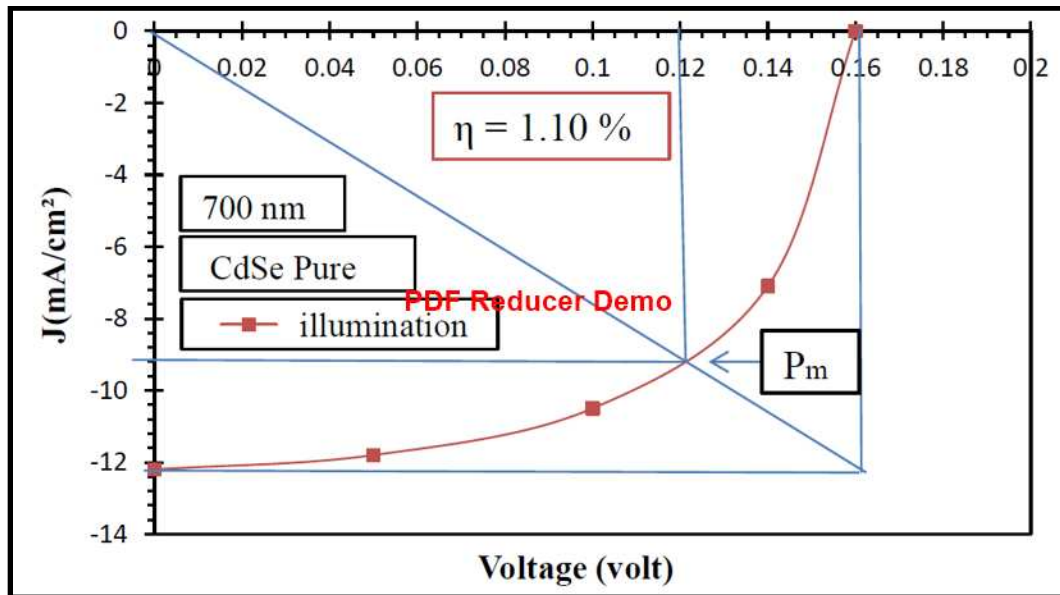
الشكل (57-4-a) خصائص (تيار- جهد) في حالي الظلام والإضاءة للمفروق الهجين (CdSe/Si) المحضر من غشاء المادة النقي بسلك (500 nm)



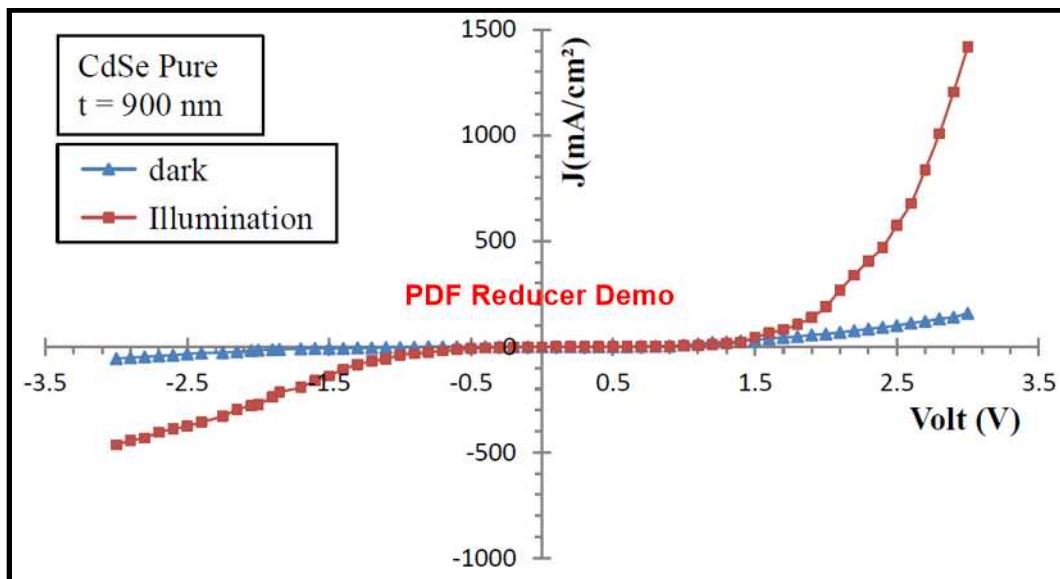
الشكل (57-4-b) منحنى ( $J_{sc}$ ) و ( $V_{oc}$ ) للمفروق الهجين (CdSe/Si) المحضر من غشاء المادة النقي بسلك (500 nm)



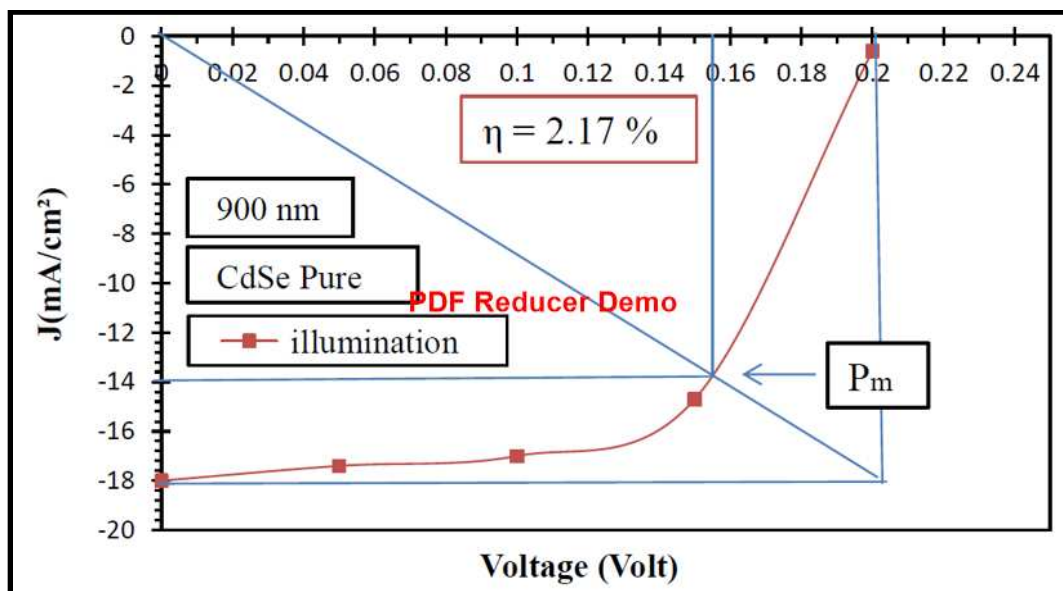
الشكل (58-4-a) خصائص (تيار- جهد) في حالتي الظلام والإضاءة للمفروق الهجين (CdSe/Si) المحضر من غشاء المادة النقي بسلك (700 nm)



الشكل (58-4-b) منحنى ( $J_{sc}$ ) و ( $V_{oc}$ ) للمفروق الهجين (CdSe/Si) المحضر من غشاء المادة النقي بسلك (700 nm)



الشكل (59-4-a) خصائص (تيار- جهد) في حالتي الظلام والإضاءة للمفروق الهجين (CdSe/Si) المحضر من غشاء المادة بسمك (900 nm)

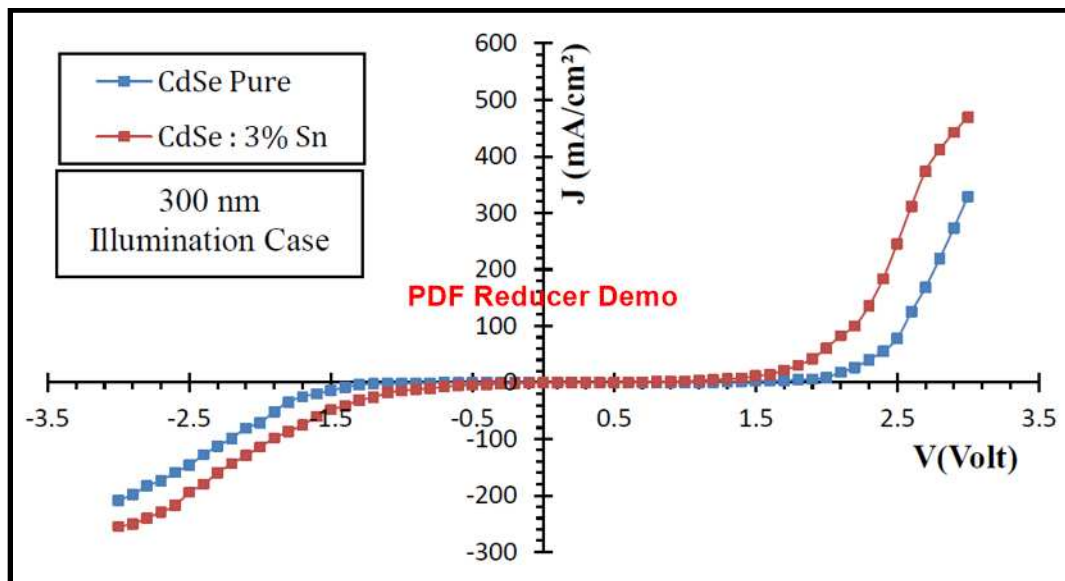


الشكل (59-4-b) منحنى ( $J_{sc}$ ) و ( $V_{oc}$ ) للمفروق الهجين (CdSe/Si) المحضر من غشاء المادة النقي بسمك (900 nm)

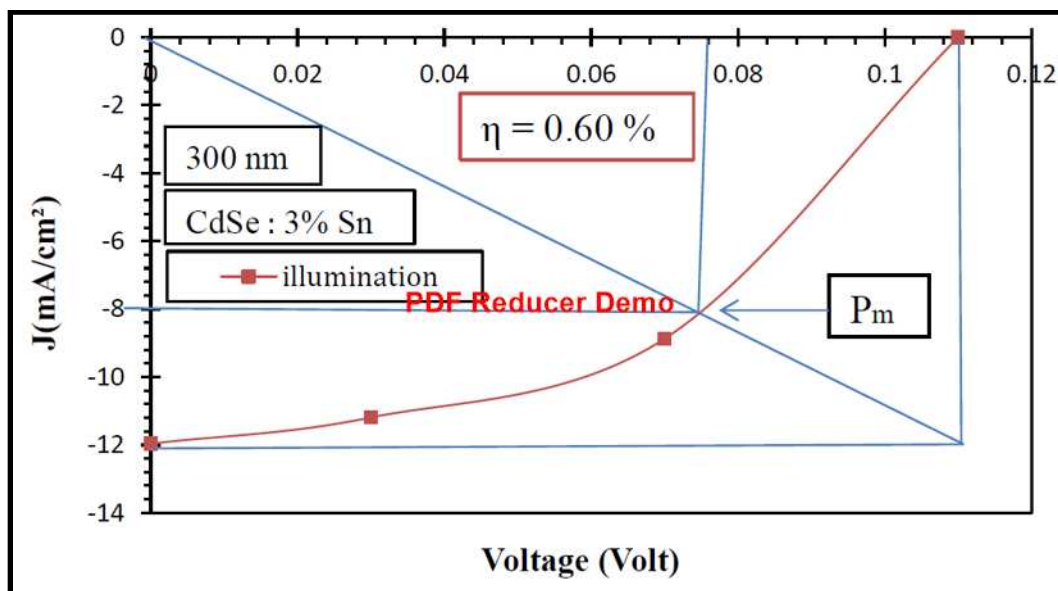
اما فيما يتعلق بالمفارق الهجينة المشوبة بالقصدير (Sn) فلقد كان لنسبة التشويب (3%) تأثيرها الواضح في تحسين خصائص المفارق التركيبية والبصرية والكهربائية وبالتالي في تحسين كفاءة الخلايا الشمسية المحضرة من خلال الزيادة الحاصلة في قيمة كل من فولتية الدائرة المفتوحة وكثافة تيار الدائرة القصيرة ، وكما موضح ذلك في الأشكال (60-4-b) الى (63-4-b) على التوالي ، ويعزى سبب ذلك الى تحسن التركيب البلوري بعملية التشويب وما يرافق ذلك من الزيادة الحاصلة في الحجم الحبيبي الناتج وبالتالي التناقص الملاحظ في العيوب التركيبية – والتي من شأنها اقتناص حاملات الشحنة – مما يزيد من احتمالية تولد ازواج (الكترن- فجوة) ، يضاف الى ذلك التحسن الحاصل في الخواص البصرية كزيادة الامتصاصية وبالتالي زيادة معامل الامتصاص بعملية التشويب ، فضلاً عن الزيادة الحاصلة في تركيز حاملات الشحنة بالعملية ذاتها ، كل ذلك ساعد على تحسين خصائص المفارق المصنعة مقارنة بتلك النقية وكما موضح ذلك في الأشكال (60-4-a) الى (63-4-a) على التوالي ، وبالتالي الزيادة الملاحظة في كل من كفاءة التحويل وعامل الملء وكما مبين ذلك في الجدول (21-4) . وهذا يتفق ونتائج الدراسات [29,36,45,46] ولأجل ملاحظة تأثير تغير سمك الغشاء المحضر ونسبة الشائبة المضافة على الكفاءة التحويلية وعامل الملء للمفارق الهجينة المصنعة تم تمثيل القيم الواردة في الجدولين (20-4) و(21-4) بيانياً وتم الحصول على الشكلين (64-4) و(65-4) على التوالي .

الجدول (21-4) قيم (  $J_{sc}$  ,  $V_{oc}$  ,  $J_m$  ,  $V_m$  , F.F% ,  $\eta$  % ) للمفارق الهجينة (CdSe:3% Sn /Si) والمحضرة من غشاء المادة بسمك مختلف

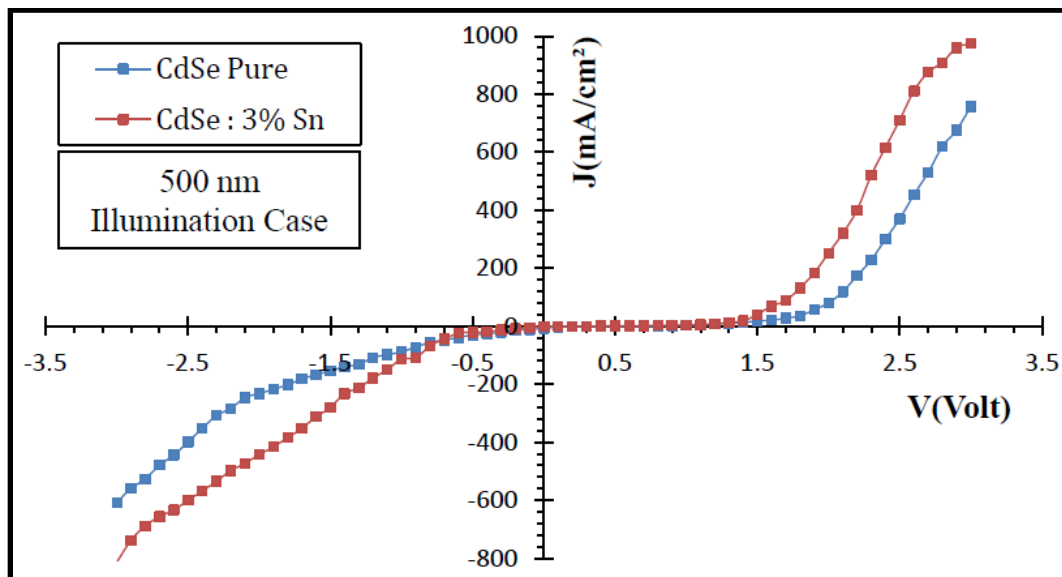
Thickness (nm)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ ( Volt )	$J_m$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_m$ ( Volt )	F.F %	$\eta$ %
300	12.00	0.11	8.00	0.076	46.06	0.60
500	15.24	0.15	10.6	0.110	51.18	1.17
700	23.53	0.17	18.0	0.130	58.50	2.34
900	30.67	0.20	24.0	0.160	62.60	3.84



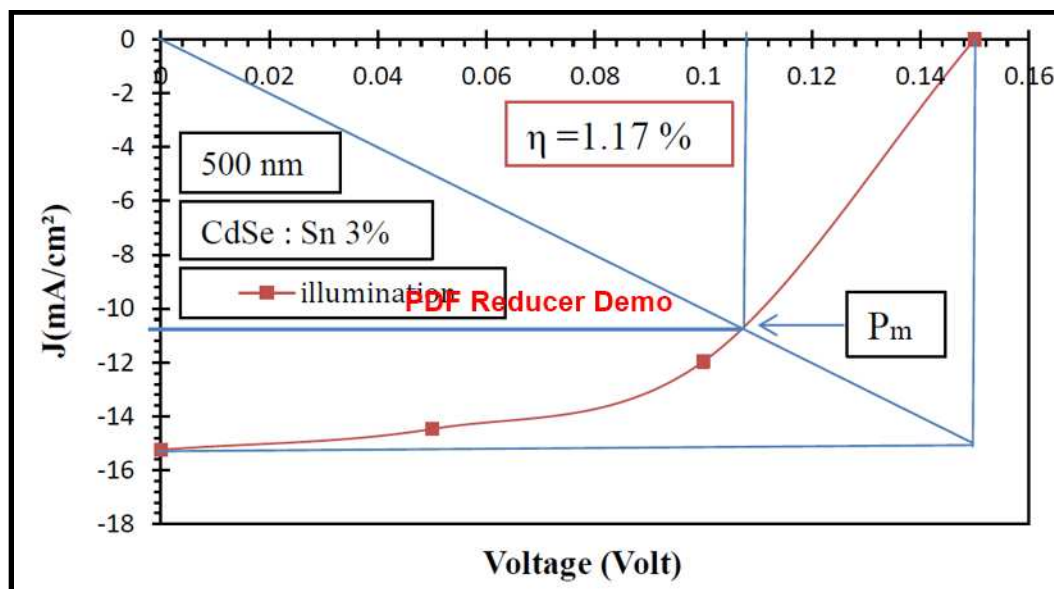
الشكل (60-4-a) مقارنة بين خصائص (تيار - جهد) في حالة الإضاءة للمفرق الهجين المحضر من غشاء المادة بسلك (300 nm) قبل عملية التشويب وبعدها



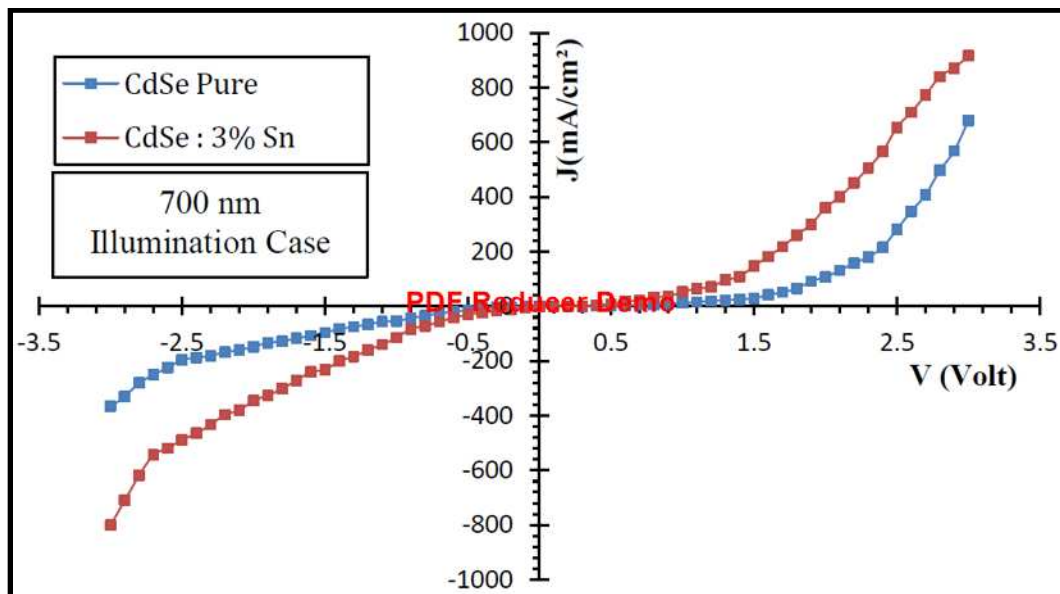
الشكل (60-4-b) منحنى ( $J_{sc}$ ) و ( $V_{oc}$ ) للمفرق الهجين (CdSe:3%Sn /Si) المشوب والمحضر من غشاء المادة بسلك (300 nm)



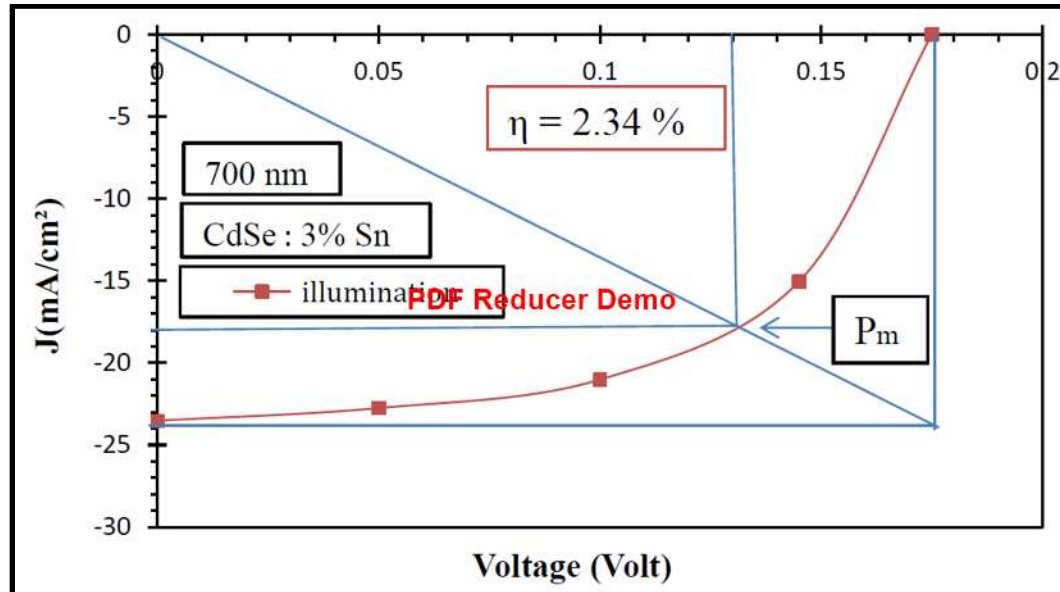
الشكل (61-4-a) مقارنة بين خصائص (تيار - جهد) في حالة الإضاءة للمفروق الهجين المحضر من غشاء المادة بسبك (500 nm) قبل عملية التشويب وبعدها



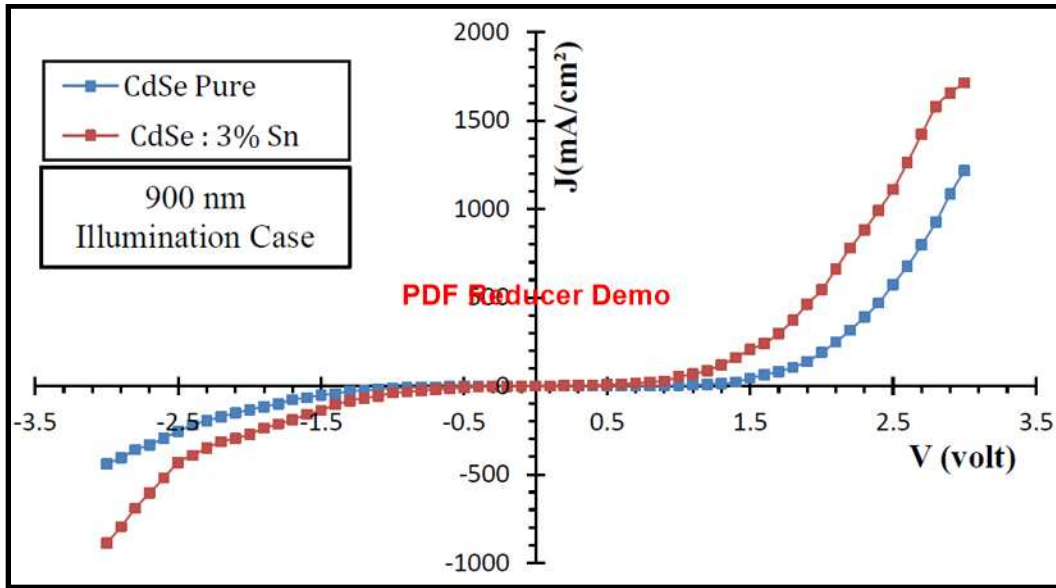
الشكل (61-4-b) منحنى ( $J_{sc}$ ) و ( $V_{oc}$ ) للمفروق الهجين (CdSe:3%Sn /Si) المشوب والمحضر من غشاء المادة بسبك (500 nm)



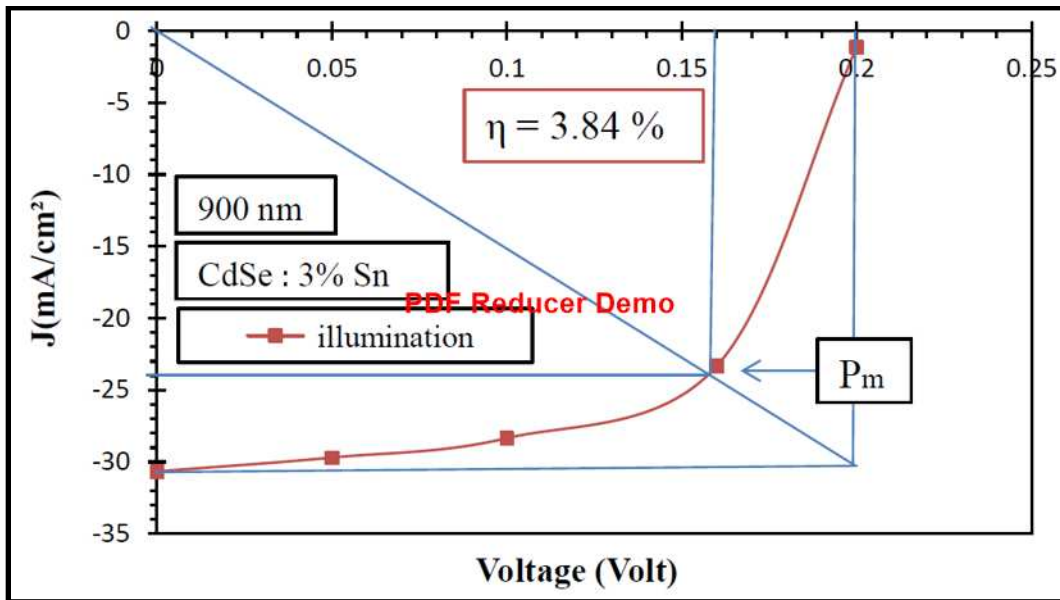
الشكل (62-4-a) مقارنة بين خصائص (تيار - جهد) في حالة الإضاءة للمفروق الهجين المحضر من غشاء المادة بسلك (700 nm) قبل عملية التشويب وبعدها



الشكل (62-4-b) منحنى ( $J_{sc}$ ) و ( $V_{oc}$ ) للمفروق الهجين (CdSe:3%Sn /Si) المشوب والمحضر من غشاء المادة بسلك (700 nm)

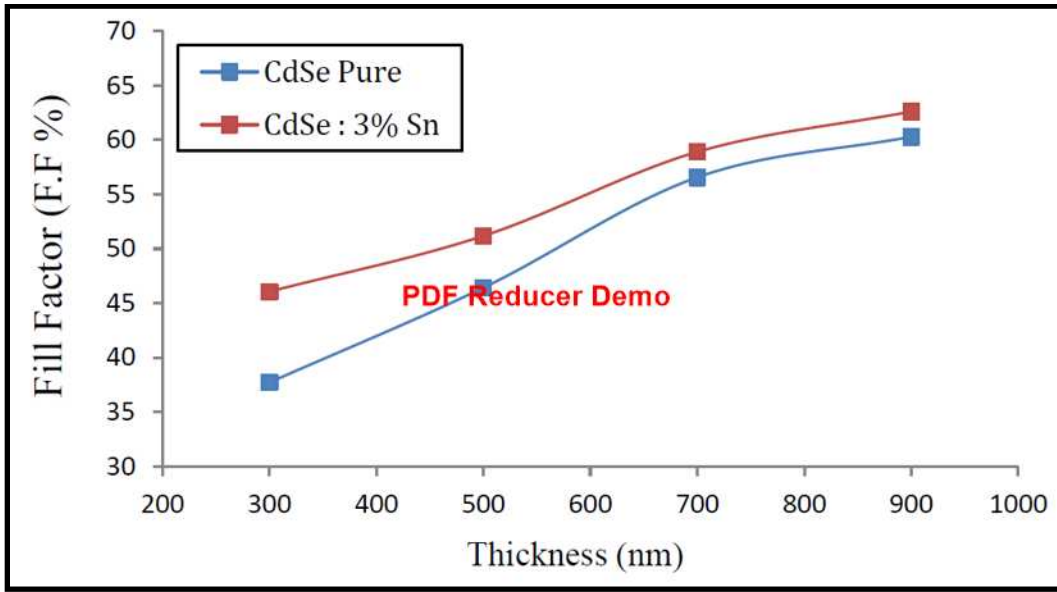


الشكل (63-4-a) مقارنة بين خصائص (تيار - جهد) في حالة الإضاءة للمفروق الهجين المحضر من غشاء المادة بسلك (900 nm) قبل عملية التشويب وبعدها

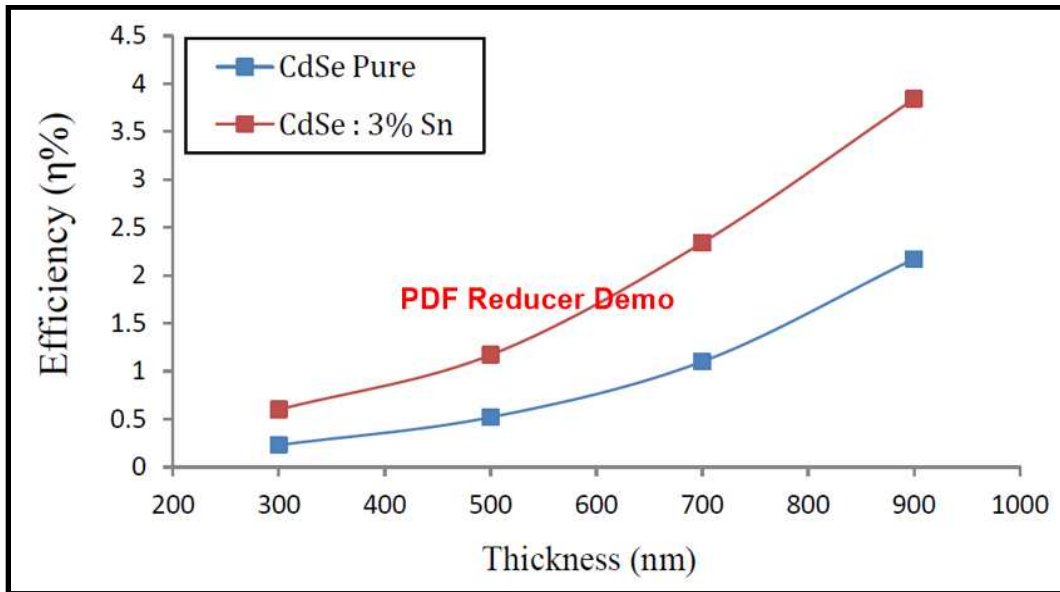


الشكل (63-4-b) منحنى ( $J_{sc}$ ) و ( $V_{oc}$ ) للمفروق الهجين (CdSe:3%Sn /Si) المشوب والمحضر من غشاء المادة بسلك (900 nm)





الشكل (4-64) تغير القيمة المئوية لعامل الملء كدالة لتغير السمك للمفارق الهجينة المصنعة من غشاء المادة (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها



الشكل (4-65) تغير قيمة الكفاءة التحويلية كدالة لتغير السمك للمفارق الهجينة المصنعة من غشاء المادة (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها

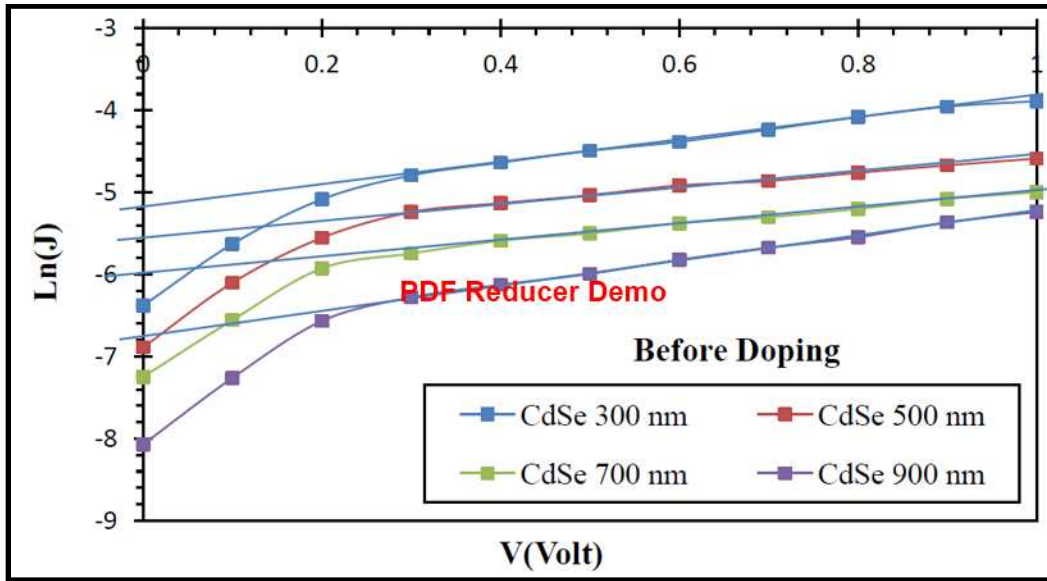
## (3-6-4) حساب كثافة تيار الاشباع وعامل المثالية للمفارق الهجينة

تم حساب قيمة كل من كثافة تيار الاشباع ( $J_S$ ) وعامل المثالية ( $\beta$ ) للمفارق الهجينة المحضرة كافة (النقي منها والمشوب) وذلك من خلال رسم العلاقة بيانياً بين اللوغاريتم الطبيعي لكثافة التيار الامامي على المحور الصادي كدالة لفولتية الانحياز الامامي على المحور السيني في حالة الظلام، وكما موضح ذلك في الشكلين (66-4) و(67-4) على التوالي، فمن خلال الشكلين السابقين وباستخدام المعادلة (2-46)، تم الحصول على النتائج المثبتة في الجدولين (22-4) و(23-4) على التوالي.

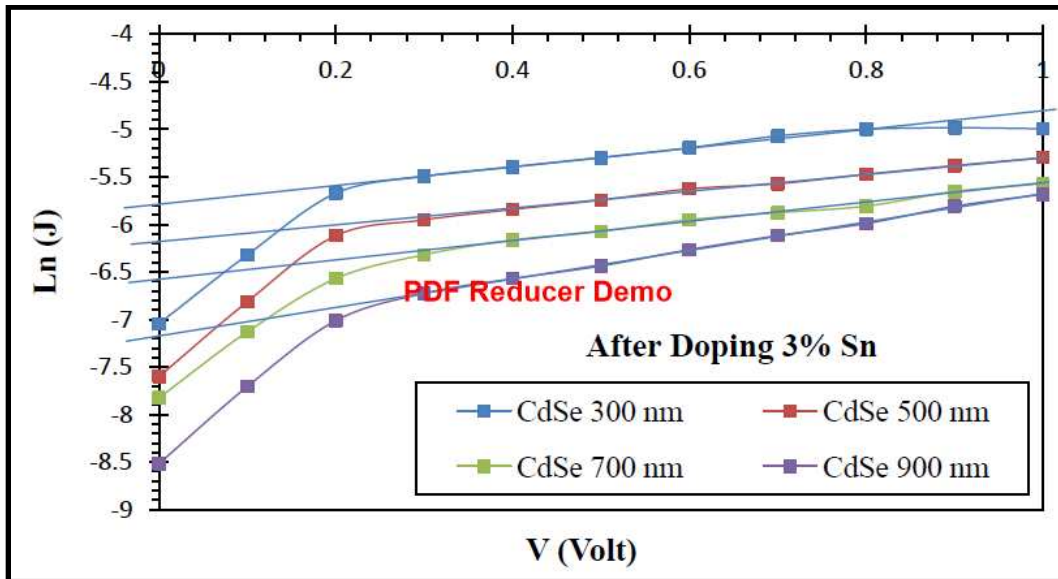
يبين الجدول (22-4) قيم عامل المثالية وكثافة تيار الاشباع للمفارق الهجينة النقية (CdSe/Si) والمحضرة بسلك مختلف، إذ يلاحظ من الجدول السابق ومن الشكل (66-4) أن مؤثر زيادة السمك (ضمن حدود الغشاء الرقيق) قد حسن كثيراً من أداء المفارق الهجين المصنع وذلك من خلال التناقص الملاحظ في قيمة عامل المثالية (اقتراب قيمة عامل المثالية من القيمة النموذجية للدايود المثالي والمساوية الى  $\beta = 1$ ) الامر الذي يشير الى انخفاض معدلات عمليات اعادة اتحاد الزوج (الكترن - فجوة) بسبب زيادة درجة تبلور المادة وتحسن طبيعة تركيبها البلوري ونقصان العيوب البلورية بزيادة السمك، الامر الذي أدى الى التناقص الملاحظ في قيمة تيار التشبع وبالتالي زيادة كفاءة المفارق الهجين المحضر بزيادة السمك.

أما الجدول (23-4) فيبين قيم عامل المثالية وكثافة تيار التشبع للمفارق الهجينة المشوبة بنسبة تشويب (3%) من عنصر القصدير، حيث يتبين من الجدول السابق ومن ملاحظة الشكل (67-4) ان هنالك انخفاضاً ملحوظاً في قيم تيار التشبع وعامل المثالية للمفارق الهجينة بعد عملية التشويب عنها قبل التشويب مما يشير الى تحسن أداء الخلية الشمسية بعملية التشويب لاسيما ان الشوائب المضافة قد عالجت كثيراً من العيوب المتواجدة في طبيعة المادة، الامر الذي انعكس إيجاباً على الكفاءة التحويلية للمفارق المشوبة.

أخيراً، ومما تجدر الإشارة اليه أن قيمة عامل المثالية ومدى اقترابها من القيمة النموذجية ( $\beta = 1$ ) لا تتأثر فقط بظروف تحضير المفارق أو طبيعة المواد الشبه الموصلة الداخلة في تكوينه أو العيوب التركيبية المرافقة لعملية التصنيع فحسب، وإنما تتأثر أيضاً بدرجة التوافق أو اللاتوافق الشبكي بين المادتين الأساس والمنمأة، الامر الذي يفسر لنا قيم عامل المثالية للمفارق الهجينة المحضرة النقية كونها اكبر من (1) بمقدار قليل وكيف ان عملية التشويب قد حسنت فعلياً من أداء هذه النبائط باقتراب قيمة عامل المثالية أكثر من القيمة النموذجية.



الشكل (4-66) تغير قيم لوغار يتم كثافة تيار الظلام كدالة لفولتية الانحياز الامامي للخلايا الشمسية المصنعة من المفروق الهجين النقي (CdSe/Si) وبسمك مختلف



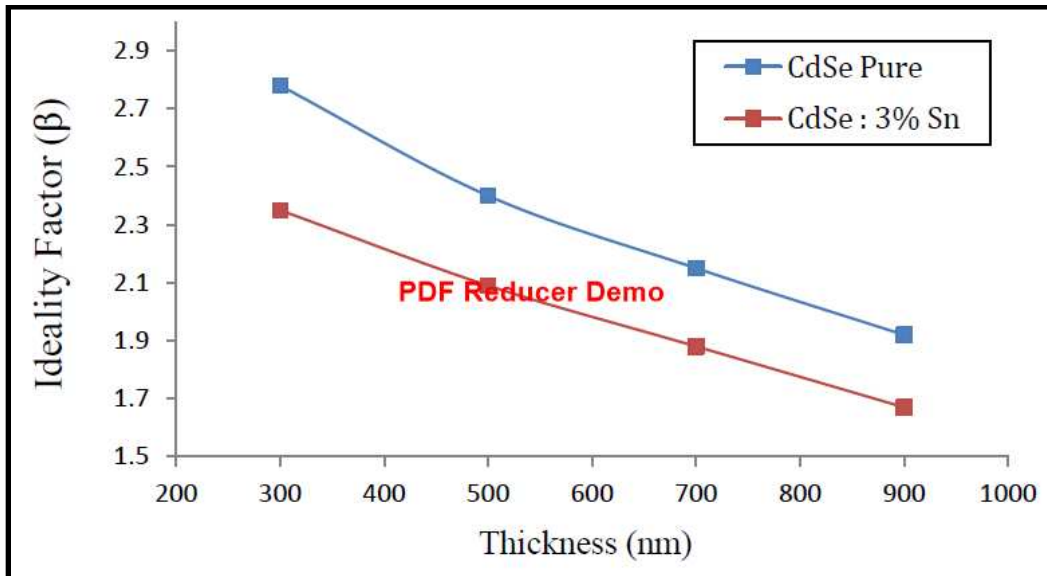
الشكل (4-67) تغير قيم لوغار يتم كثافة تيار الظلام كدالة لفولتية الانحياز الامامي للخلايا الشمسية المصنعة من المفروق الهجين المشوب (CdSe:3%Sn /Si) وبسمك مختلف

الجدول (4-22) قيم عامل المثالية وكثافة تيار الاشباع للخلايا الشمسية المصنعة من المفروق الهجين النقي (CdSe/Si) وبسمك مختلف

Thickness(nm)	Ln (J <sub>s</sub> )	J <sub>s</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	Ideality Factor (β)
300	-5.2	5.52 E-3	2.78
500	-5.6	3.70 E-3	2.40
700	-6.0	2.48 E-3	2.15
900	-6.8	1.11 E-3	1.92

الجدول (4-23) قيم عامل المثالية وكثافة تيار الاشباع للخلايا الشمسية المصنعة من المفروق الهجين المشوب (CdSe:3%Sn /Si) وبسمك مختلف

Thickness(nm)	Ln (J <sub>s</sub> )	J <sub>s</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	Ideality Factor (β)
300	-5.8	3.03 E-3	2.35
500	-6.2	2.03 E-3	2.09
700	-6.6	1.36 E-3	1.88
900	-7.2	0.75 E-3	1.67



الشكل (4-68) تغير قيم عامل المثالية كدالة لتغير السمك للمفروق الهجينة المصنعة من غشاء المادة (CdSe) قبل عملية التشويب وبعدها

## Conclusion

## (7-4) الاستنتاجات

بعد دراسة وتحليل النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة ، تم التوصل الى الاستنتاجات الاتية :-

1. اظهرت نتائج فحوصات حيود الاشعة السينية ان طبيعة التركيب البلوري لأغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمحضرة بتقنية التبخير الحراري في الفراغ يتحسن بزيادة السمك من متعدد التبلور (Polycrystalline) كما في الاغشية ذات السمك (300 nm) الى احادي التبلور ( Single Crystalline) وكما في الاغشية ذات السمك (500,700,900) nm مع تزايد واضح في شدة القمة المميزة بالاتجاه السائد ( 002 ) بزيادة السمك .

2. من نتائج حيود الاشعة السينية ، ظهور زيادة واضحة في درجة تبلور الاغشية المحضرة بعملية التشويب لاسيما إذا كانت المادة الشائبة ذات نصف قطر أيوني صغير مقارنة بنصف القطر الايوني لذرات المادة المشوبة .

3. اظهرت نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية ان هنالك تزايداً واضحاً يظهر في معدل الحجم الحبيبي بزيادة السمك ولاسيما عند السمك (900 nm) اذ يبلغ اقصى قيمة له (96.16 nm) مما يدل على الحصول على تراكيب نانوية للأغشية المحضرة ، ولتعزيز التزايد الحاصل في الحجم الحبيبي بعملية الاشابة بالقصدير لتكون الحصيلة حجم حبيبي نهائي اكبر بعد عملية التشويب ولينعكس تأثير ذلك بشكل ايجابي في تحسين كلاً من الخصائص البصرية والكهربائية للأغشية الناتجة .

4. من نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية ، ظهور تحسن في مواصفات سطح الغشاء المحضر من المادة لاسيما التزايد الحاصل في قيم خشونة السطح بتأثير زيادة سمك الغشاء المحضر ونسبة الشائبة المضافة الامر الذي حسن كثيراً من امتصاصية الاغشية المحضرة للأطوال الموجية المرئية وبالتالي التحسن الحاصل في كفاءة المفارق المصنعة .

5. إمكانية تصنيع كاشف من أغشية المادة النقية يعمل ضمن مدى الاشعة فوق البنفسجية من الطيف الكهرومغناطيسي ، ذلك أن نفاذية الاغشية المحضرة عند المدى المذكور من الطيف ولقيم السمك المنتخبة لم تتجاوز ( 10 % ) ، مما يؤهلها لأن تستعمل في تصنيع كاشف يعمل ضمن هذا المدى من الطيف وبنجاح .

6. امكانية الاستفادة من زيادة سمك الغشاء المحضر (ضمن حدود الغشاء الرقيق) فضلاً عن عملية التشويب ( اعتماداً بذلك على نوع الشائبة وطريقة أشابتها ) وتوظيف ذلك في تعريف منطقة الامتصاص البصري للأغشية قيد الدراسة لتمتص بذلك معظم الطاقات الفوتونية الواقعة ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي ولتزداد بذلك الكفاءة المستحصلة من الخلايا الشمسية المصنعة منها .

7. امكانية تصنيع خلايا شمسية من أغشية المادة تعمل بكفاءة تحويل جيدة لاسيما إذا كانت ذات سمك  $(700,900) \text{ nm}$  ، نظراً لامتلاك أغشية المادة النقية - عند هكذا سمك - قيمة عالية لمعامل الامتصاص  $(\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1})$  ضمن مدى الطاقات  $(1.8 - 4.13) \text{ eV}$  أي ضمن المدى المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي ، يضاف الى ذلك أن نفاذية الاغشية المحضرة ضمن المدى المذكور من الطيف وعند قيم سمك  $(700,900) \text{ nm}$  لم تتجاوز (40%) مع تناقص ملاحظ في هذه النسبة بعملية التشويب ، يقابل ذلك ظهور تزايد واضح في قيم معامل الامتصاص ، الأمر الذي حسن كثيراً من الكفاءة المستحصلة من المفارق المصنعة لاسيما بعد عملية الاشابة .

8. نظراً لكون نفاذية الاغشية المحضرة النقية ذات نسبة لا تقل بشكل عام عن (80%) لمديات منطقة الاشعة تحت الحمراء والقريبة منها ، مما يجعلها ملائمة لتصنيع نافذة للأشعة تعمل ضمن هذا المدى من الطيف .

9. أظهرت نتائج قياسات تأثير هول بأن الاغشية المحضرة كانت ذات توصيلية كهربائية من النوع السالب (n-Type) وأن مؤثر تزايد السمك ساعد على زيادة التوصيلية من خلال التزايد الواضح في قيم التحركية ، في حين ان الشائبة المضافة (Sn) قد حسنت كثيراً من توصيلية الاغشية من خلال التزايد الحاصل في تركيز حاملات الشحنة لينعكس ذلك بشكل ايجابي على كفاءة الخلايا الشمسية المصنعة .

10. أكدت نتائج قياسات التوصيلية الكهربائية المستمرة (D.C) سلوك أشباه الموصلات للأغشية المحضرة من خلال التناقص الحاصل في مقاومتها النوعية بزيادة درجة الحرارة ، وان هنالك طاقتي تنشيط للأغشية المحضرة كافة ، وان مقاومتها النوعية قد تناقصت بزيادة السمك وعملية التشويب .

11. أظهرت نتائج دراسة خصائص (I-V) للنبائط المصنعة ، ان اغشية المادة المحضرة بسمك عالٍ (ضمن حدود الغشاء الرقيق ) تكون ذات كفاءة تحويل اعلى من الاغشية نفسها عند تحضيرها بسمك أقل ، وان لنوع ونسبة الشائبة المضافة دوراً في تحسين مخرجات الخلايا الشمسية المصنعة .
12. أظهرت نتائج دراسة خصائص (C-V) ان المفارق الهجينة المصنعة بنوعها النقي والمشوب كانت من النوع الحاد ، وان عرض طبقة الاستنزاف المتكونة كانت متزايدة بزيادة السمك ، في حين انها تناقصت بعملية التشويب ولكل سمك تم تحضيره .
13. أفضل النماذج المحضرة والتي أعطت أفضل قيمة للكفاءة التحويلية كانت للخلايا الشمسية المحضرة على قواعد من السليكون بسمك (900 nm) والمشوبة بالقصدير بنسبة تشويب (3%) .
14. النسب الواطئة من شائبة القصدير المضافة % ( 2 , 1 ) لم تكن ذات تأثير يذكر في تغيير معظم خصائص الاغشية المحضرة .

## Suggestion and Future Work

## (8-4) المقترحات والمشاريع المستقبلية

1. تحضير أغشية المركب الثنائي (CdSe) بنسب وزنية غير متماثلة ومقارنة النتائج بالدراسة الحالية .
2. تحضير أغشية المركب باعتماد تقانات تحضير أخرى وطلاء المفارق المحضرة بطبقة مانعة للانعكاس ودراسة تأثير ذلك على الكفاءة الناتجة .
3. ترسيب أغشية المركب على قواعد من الجرمانيوم النقي (germanium Wafer) وقواعد أخرى من السليكون المسامي (Porous Silicon) ومقارنة الكفاءة الناتجة للحالتين من جهة و بالكفاءة المستحصلة من الدراسة الحالية من جهة أخرى .
4. دراسة تأثير التشويب بالعناصر ( Al , Ge , Ga ) على الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية لأغشية (CdSe) ومقارنة النتائج بالدراسة الحالية .
5. الاستفادة من نتائج الدراسة في تصنيع كاشف يعمل ضمن منطقة (UV) من الطيف الكهرومغناطيسي .
6. تصنيع مفارق هجينة (CdSe/CdTe) او (CdSe/ZnSe) على شكل طبقات (Multilayer's) ودراسة تأثير درجة حرارة التلدين أو التشويب على خصائصها الفيزيائية .

# References

PDF Reducer Demo



## References

- [1] A. Goetzberger and C. Hebling " Photovoltaic Materials , past , present , future.", Solar Energy Materials and Solar Cells ,V.62, No.1, P.P 1-9, (2000).
- [2] L.I.Berger , " Semiconductor Materials " , CRC Press , PP 202-2010 , (1996).
- [3] K. L. Chopra and S. Ranyan Das , " Thin Film Solar Cells " , Plenum Press , New York , (1993) .
- [4] S.Franssila , " Introduction To Micro Fabrication " , John Wiley and Sons , England , (2004) .
- [5] S.M.Sze , " Semiconductors Devices : Physics and Technology " , translated to Arabic by F.G.Hayaty and H.A.Ahmed , Baghdad , (1990) .
- [6] K. R. Murali , V. Swaminathan and D. C. Trivedi , " Characteristics Of Nanocrystalline CdSe Films " , Solar Energy Materials and Solar Cells , Vol.81, No.1, PP 113-118, (2004) .
- [7] K.Tanaka , " Structure Phase Transitions in Chalcogenide Glasses " , Physical Review B, Vol.39, PP 1270-1279, (1989) .
- [8] C.B.Murray , D.J.Norris and M.G.Bawendi , " Synthesis and Characterization Of CdS , CdSe , CdTe , Semiconductor Nanocrystallites " , Journal of The American Chemical Society, Vol.115, No.19, PP 8706-8710, (1993) .
- [9] P.P. Hankare , V.M. Bhuse, K.M. Garadkar and S.D. Delekar, " Chemical Deposition Of Cubic CdSe and HgSe Thin Films and Their Characterization" Semiconductor Science Technology , Vol.19, No.1, PP 70-75, (2004) .
- [10] S.M.Hus and M.Parlak , " Electrical, Photo-electrical, Optical and Structural Properties Of CdSe Thin Films Deposited By Thermal and Electron - Beam Techniques " , Journal Of Physics D: Applied Physics , Vol.41, No.3,(2008) .

- [11] M.K.Samy , S.A.Bahadur and K.R.Murali , " Photoconductive Studies on Electron Beam Evaporated CdSe Films " , Journal Of Physics B , Vol.404 PP. 2449-2454 , (2009) .
- [12] S.D.Kamat , V.P.Malekar , V.J.Fulari , S.D.Patil and M.B.Dongare , " Characterization Of Cadmium Selenide Thin Films By Electrodeposition and its Holographic Study " , Journal of optics , Vol.39, Issue .4, PP.167-174, (2010)
- [13] P.Mahawela , S.Jeedigunta , S.Vakkalanka , C.S.FereKides and D.L.Morel, " Transparent High-Performance CdSe Thin Film Solar Cells " , Thin Solid Films, Vol.480-481, PP.466 - 470, (2005) .
- [14] L.Tian, H.yang, J.Ding, Y.Mu and Y.Zhang, " Synthesis Of CdSe/CdTe Thin Film Heterojunction and their Photovoltaic Application " , Journal of Applied Physics , Vol.14, PP.881-887, (2014) .
- [15] W.Ching, Y.N.Xu, " Electronic , Optical, and Structural Properties Of Some Wurtzite Crystals " Physical Review B, Vol.48, No.7, PP.4335- 4351, (1993).
- [16] O. Madelung , " Semiconductors Data Hand book " , Berlin : Springer , PP.815-830, (2004) .
- [17] D. A. Neamen, "Semiconductor Physics and Devices", 3<sup>rd</sup> Edition , Mc Graw-Hill Com., Inc., University of New Mexico, U.S.A, (2003).
- [18] A. Yaroshevsky, "Abundances Of Chemical Elements in the Earth's crust". Geochemistry International, Vol.44, No.1, PP.48-55, (2006).
- [19] F.James and J.R.Carlin, " Minerrals Commodity Summary : Tin " , United States Geological Survey, (2008) .
- [20] J. C. Bailar and H. J. Emeleus , " Comprehensive Inorganic Chemistry " Pergamon Press, Oxford , (1973) .

- [21] M. Schwartz , " Tin and Alloys Properties " , Encyclopedia Of Materials , 2<sup>nd</sup> Edition , CRC Press , (2002) .
- [22] N. N. Greenwood and A. Earnshaw, " Chemistry Of The Elements " , 2<sup>nd</sup> Edition , Oxford , Butter Worth , (1997) .
- [23] M. Robert and MacIntosh , " Tin " , The Encyclopedia Of The Chemical Elements , P.P. 722-732 , New York , (1968) .
- [24] S.William , F.Geoffrey and H.Ralph , " General Chemistry : Principle and Modren Applications " Pearson Education , Inc , New Jersey , (2007) .
- [25] R.Palmieri , " Pipe Metal " , The Encyclopedia Of Keyboard Instruments , P.411 , New York , (2006) .
- [26] K.S. Ramaiah ,Y.Shiraki , K.Ohdaira and S.J.Chang " Characterization of cu doped CdSe thin films grown by vacuum evaporation " , Journal of Crystal Growth , Vol.224 , PP.74- 82 , (2001).
- [27] P. J. Sabastion , S. Velumani , Sa. K .Narayandass and D. Mangalaraj, " structural and optical properties of hot wall deposited CdSe thin films " , Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells , Vol .76 , PP. 347 – 358, (2003) .
- [28] C.D. Lokhande and R.B. Kale , " Influence of Air Annealing on the Structure Optical and Electrical Properties of Chemically Bath Deposited CdSe Nano-Crystallite " , Journal of Applied Surface Science ,Vol .223 , PP. 343-351, (2004) .
- [29] V.M. Bhuse , " Chemical Bath Deposition of Hg Doped CdSe thin films and Their Characterization " Journal of Materials chemistry and physics , Vol.91, PP.60-66 , (2005) .

- [30] R. P. Sharma , A. A. Sagade , Y. G. Gudage and S.M. Pawar , " photo Electrochemical (PEC) Studies On CdSe Thin Films Electrodeposited On a Different Substrates " , Journal of Materials Science , Vol .30 , Issue .4 , PP. 321 -327, (2007) .
- [31] S.C. Mohan , P.Sudhagar , U.Pal and M.H. Zaldivar , " Nanocrystalline CdSe Thin Films of Different Morphologies in Thermal Evaporation Process " , Journal of Nanoscience and Nanotechnology , Vol.8 , PP.1 -7 , (2008) .
- [32] A.A. Yadav , E.U. Masumdar and M.A. Barote , " Studies on Cadmium Selenide (CdSe) Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis " , Journal of Materials Chemistry and Physics , Vol.121 , Issues 1-2 , PP.53-57 , (2010).
- [33] S.K. J. Al-Ani , H.H. Mohammed and E. M. Nasir , " Influence of Doping concentration on the main parameters of CdSe : Cu photoconductor detector" , Iraqi Journal of physics, Vol.9 , No.16 , PP.61-65 , (2011) .
- [34] V.D. Karan , X.S. Shajan and S.T. Karasan , " X-Ray line Broadening and Photoelectrochemical Studies " , Journal of Materials Science , Vol.46 , Issue 11 ,PP. 4034 - 4045, (2011).
- [35] R.R. Pawar , R.A. Bhavasar and S.G. Sonawane , " Structural and Optical Properties of Chemical Bath Deposited Ni Doped CdSe Thin Films " , International Journal of physics , Vol .86 , No.10 , PP.871-876 , (2012) .
- [36] A.A. Syed , M. Ali , M. Zubair and N.A. Shah , " physical properties of Sb - doped CdSe thin films by thermal evaporation method " , Journal of applied surface science , Vol .284 , PP.482 -488 , (2013) .
- [37] P.P. Hankare , V.M. Bhuse and D.J. Sathe , " studies on hexagonal cadmium selenide thin film deposited by chemical bath deposition " Journal of Materials Science : Materials in Electronics , Vol.25 , Issue.2 , PP.811-816 , (2014).

- [38] S.D. Delekar , M.L. Gaur , P.P. Hankare ,V.M. Bhuse and K.M .Garadkar , " CdSe thin films : morphological , optoelectronic and photoelectrochemical studies " , Journal of materials Science : Materials in Electronics , Vol.25 , Issue.1 , PP.190 -195, (2014) .
- [39] S. Chander , S.P. Nehra and M.S. Dhaka , " thickness dependent physical properties of thermally evaporated nanocrystalline CdSe thin films " Journal of Materials Science , Vol.28 , Issue.10 , PP.1299 -1304 , (2015) .
- [40] B. S. Rao , M. Thaidun , B.R. Kumar , and G.V. Chalapathi , " synthesis and Characterization of Fe Doped CdSe Nanoparticles for Spintronic Devices " , chalcogenide letters ,Vol.12 , No.4 , PP.181 -190, (2015) .
- [41] I.A. Kariper , " Optical and Structural Properties Of CdSe Thin film Produced by Chemical Bath Deposition " , Journal of non-oxide glasses ,Vol. 8 , No.1 , PP.1-9 , (2016) .
- [42] A. I. Khudiar , A. M. Alhilli and A. Abd – alzahra , " Influence of Nano Crystalline Size On Optical Band Gap in CdSe Thin Films Prepared by DC Sputtering " , Journal of photonics and nanostructures , Vol.18 , PP.59 – 66 , (2016) .
- [43] X. Yang , P.Tang ,R. Luo and Z. Bao ," the study of CdSe thin film prepared by pulsed laser deposition for CdSe / CdTe solar cell " , Journal of Materials Science: Materials in Electronics , Vol.27 , Issue.7 , PP.7233 -7239 . (2016) .
- [44] V.S. Kumar and C.C. Bijumon ," Raman , photoluminescence and Hall Effect Studies of CdSe thin film Deposited by Chemical Bath Deposition " , international Journal of scientific and technology research ,Vol.5 , Issue.5 , PP.1-5 ,(2016) .

- [45] V.V. Killedar , V.S. Raut and C.D. Lokhande , " Photoelectrochemical Studies on Electrodeposited Indium Doped CdSe Thin Films " , Journal of Electro analytical chemistry , Vol .788 , PP.137 -143 , (2017) .
- [46] K.V. Bangera , G.K. Shivakumar and G.M. Santhosh , " Effect of Bi Doping on the properties of CdSe thin films for optoelectronic device applications " , Journal of Materials Science in Semiconductor Processing , Vol .68 , PP.114 -117 ,(2017) .
- [47] J.W.Edmund, E.M.Dale, R.N.Donald, B.E.Arthur, F.G.John and T.F.Kucch , " Detection Of Ammonia , Phosphine gases by modulation of Cadimum Selenide photoluminescence Intensity " , Journal of Crystal Growth , Vol.148, PP.63-69 , (1995) .
- [48] F.Y.Gan and I.Shih , " preparation of thin-film transistors with chemical bath Deposited CdSe and CdS thin films " , Journal of Electron Devices , Vol.49 , PP.15-18 , (2002) .
- [49] A.K.Kar and S.Mahato , " Structural , Optical and Electrical Properties Of Electrodeposited Cadimum Selenide Thin Films For Applications in Photodetector and Photoelectrochemical Cell " , Journal of Electronal Chemistry , Vol.742 , PP.23-29 , (2015) .
- [50] A.L.Efors , M.Rosen, " The Electronic Structure Of CdSe Semiconductor Nanocrystals " , Annual Review Of Material Science, Vol.30, PP. 475-521, (2000) .
- [51] M. G. Yousif , " Solid State Physics " , Vol.2 , Baghdad Univesity , Arabic Version , (1989) .
- [52] S. M. Sze , " Modern Semiconductor Device Physics " , John Wiley & Sons , New York , (1998) .

- [53] B.Ray , " II-VI Compound " , First Edition , Printed in Great Britain by Neill And Co Ltd of Edinburgh , (1969) .
- [54] N.K.Abrikov and V.F.Bankina , " Semiconducting II-VI , IV-VI , and V-VI Compound " , Plenum Press , New York , (1969) .
- [55] B. H. Hussein , " Study The Electrical Characteristic Of AgAlSe<sub>2</sub> / Si Heterojunction Solar Cell " , Ph.D.Thesis , Baghdad University , (2017) .
- [56] A. H. Abd Al - Razak , " Fabrication Heterojunction Of Compound CuIn<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> and used as Solar Cell " , Ph.D.Thesis , Baghdad University , (2015) .
- [57] Tribble , " Electrical Engineering Materials and Devices " , University of Iowa , (2002) .
- [58] A.A. Shehab , " Electrical and Optical Properties dependence on Temperature And Impurity percentage of  $\alpha$ -As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> doped with Silver " , Ph.D.Thesis , Baghdad University , (1998) .
- [59] R.A. Jabbar , " Studying the effect of doping in some physical properties of ZnO thin films prepared by chemical decomposition " , Ms . Thesis , Department of applied Sciences , Technology university , (2005) .
- [60] K. V. Ravi , " Imperfection and Impurities in Semiconductor Silicon " , John Wiley and Sons , Ins , (1981) .
- [61] H.C.Casey and G.L.Pearson , " Diffusion In Semiconductors " , Plenum Press New York , (1975) .
- [62] J. Crank , " Mathematics Of Diffusion " , 2<sup>nd</sup> Edition , Oxford University , (1975) .
- [63] H.Mehrer , " Diffusion in Soled Metal and Alloy " , Springer Verlag , Berlin, (1990) .

- [64] K.Alexander , " X-Ray Diffraction Procedures For Poly Crystalline Material"  
John Wiley and sons , (1974) .
- [65] M. G. Yousif , " Solid State Physics " , Vol.1 , Baghdad Univesity , Arabic  
Version , (1989) .
- [66] Y. N. Al – Jammal , " Solid State Physics " , Al - Mosul University , Arabic  
Version (1990) .
- [67] B.E.Warren , " X-Ray Diffraction " , Addison –Wesley Publishing Company  
Inc , U.S.A , (1990) .
- [68] K.L.Chopra , " Thin Films Phenomena " , MC Graw-Hall , New York (1969).
- [69] R.W.Berry , P.M.Hall and M.T.Harries , " Thin Films Technology " , Litton  
Educational Publishing , Inc , (1968) .
- [70] J.I.Pankove," Optical Process In Semiconductors " , Prentice-Hall Englewood  
Cliffs , New Jersey , (1971) .
- [71] B.Saporal and C.Herman , " Physics Of Semiconductors " , Springer Verlag ,  
New York , Inc , (1995) .
- [72] E.Bacaksiz , S.Aksu , B.M.Basol , M.Altunbas , M.parlak and E. Yanmaz ,  
" Structural , Optical and Magnetic Properties Of  $Zn_{1-x}Co_xO$  Thin Films  
Prepared by Spray Pyrolysis " Thin Films , Vol.516 , PP.7899-79029 ,(2008).
- [73] S.S.Al-Rawi , J.S.Jaber , Y.M.Hassan , " Solid State Physics " , Al-Mousul  
University , Arabic Version , (1988) .
- [74] C.Kittle , " Introduction to Solid State Physics " 6<sup>th</sup> Edition , Wiley , (1986) .
- [75] A.H.Clark , " Optical Properties Of Polycrystalline and Amorphous Thin  
Film and Devices " , Edited by L.L.Kazemerki , Academic Press , (1960) .
- [76] R.A.Smith , " Semiconductors " , 2<sup>nd</sup> Edition , Cambridge university press ,  
(1987) .



- [77] G.A.Connel " Optical Properties Of Amorphous Semiconductors " , Springer Berlin Heidelberg Publisher , USA , (1985) .
- [78] N.F.Mott and E.A.Davis , " Electronic Process In Non-Crystalline Materials " Clarendon Press , Oxford , (1979) .
- [79] W. R. Frensley and N. G. Einspruch , " Heterostructure and Quantum Well Physics", Academic Press - San Diego, (1994).
- [80] B. Van Zeghbroeck , " Principles of Semiconductor Devices " , Colorado University Press, (2004) .
- [81] R.K.Parohi and B.L.Sharma , " Semiconductor Heterojunctions " , (1974) .
- [82] J.K.Butter and H.Kressel , " Semiconductor Laser and Heterojunction Led's " Academic Press , New York , (1977) .
- [83] S.Banerjee and B.Streetman , " Solid State Electronic Devices " 5<sup>th</sup> Edition , New Jersey , (2000) .
- [84] A.Nussbaum and H.Unlu, " Heterojunctions , Some Knowns and Un knowns" Solid State Electronic , Vol.30 , No.11 , PP.1095-1099 , (1987) .
- [85] G. Margaritondo , " Electronic Structure of Semiconductor Heterojunction " London , (1988) .
- [86] K.N.Kwok , " Complete Guide Semiconductor Devices " Mc-Graw Hill ,Inc, 1<sup>st</sup> Edition , P.577 , (1995) .
- [87] S.M.Sze, " Physics of Semiconductor Devices " , 3<sup>rd</sup> Edition, John Wiley and Sons , Inc Publication , Canada , (2007) .
- [88] H.S.Nalwa , " Handbook of Surfaces and Interfaces of Materials", 5<sup>th</sup> Edition, Academic Press , Inc ,USA , (2001) .
- [89] M. A. Green , " Solar Cells , Principles of Technical Work and System Application " , Translation to Arabic by Dr.Y.M.hassan , University of Mosul (1989) .

- [90] O. S. Razzaq , " Fabrication and Study of The Electrical and Photovoltaic Characteristic of CdS/Si Heterojunction " , M. Sc. Thesis , College of Education , Al-mustanisiriyah University. (2000).
- [91] Q.A.Hanna , " Study and Development of New Solar Cells " , Ph.D.Thesis , Electrical Engineering Department , University of Technology , (2010) .
- [92] D.L.Feucht and A.G.Milnes , " Heterojunction and Metal – Semiconductor Junctions " , Academic Press , New York and London , (1972) .
- [93] W. Mark and H. Richard , " Heat and Thermodynamics " , 6<sup>th</sup> Edition , McGraw Hill , (1981) .
- [94] K.L.Chopra and I.Kaur , " Thin Film Device Applications " , Plenum Press New York , (1983) .
- [95] R. Yang and P. Miller , " Scanning Tunneling and Atomic Force Microscopy Combined " , Applied Physics Letters , Vol.52 , PP.2233-2235 , (1988) .
- [96] P. E. West , " Introduction to Atomic Force Microscopy Theory Practice Application " , (2007) .
- [97] S.O.Kasap , " Principle Of Electronic Materials and devices " , 2<sup>ed</sup> Edition , Mc- Graw Hill , (2002) .
- [98] CdSe : JCPDS Data Card No. 08-0459 .
- [99] Sn : JCPDS Data Card No. 18-1380 .
- [100] S. R. Vishwakarma , S. Prasad , A. Kumar and R. S. N.Tripathi , " Synthesis and Characterization Of n-CdSe Thin Films Deposited at Different Substrate Temperature " , Chalcogenide Letters , Vol.10 , No.10 , PP.393-402 , (2013) .
- [101] H.J.Ameer , " Electronic Transport Mechanism and Optical Properties Of CdSe Junction With Different Substrates " , Ph.D.Thesis , College of Science , Univesity Of Baghdad , (2009) .

- 
- [102] M.Ashry , S.Fares , " Electrical Characteristic Of The Fabricated CdSe/P-Si Heterojuntion Soler Cell Under Radiation Effect " , American Journal of Materials Science , Vol.2 , No.3 , PP.72-76 , (2012) .

## Abstract

In this study, binary compound Cadmium Selenide alloy was prepared from its primarily elements with the chemical formula ( $\text{Cd}_{50}\text{Se}_{50}$ ) by dissolving cadmium and selenium materials in a quartz tube of glass which is vacuumed from the air under pressure of ( $8 \times 10^{-3}$ ) mbar, and when the sample is cooled using the slow cooling method of the fuse, the X-ray diffraction analysis was done on both CdSe alloy and its powder, it was ascertained that the CdSe was obtained with a Polycrystalline structure and a hexagonal crystalline system

CdSe thin films were deposited on glass substrates to study the structure, optical and electrical properties of the synthetic compound and also on other substrates of pure silicon wafer with monocrystalline crystallization (111) and (P-Type) electrical conductivity, in order to manufacture the solar cells from the material thin films by using thermal evaporation under vacuum method in the room temperature ( $27^\circ \text{C}$ ) and with a deposition rate of  $0.7 \text{ nm/sec}$  and with a different thickness of the films ( $300, 500, 700, 900$ )  $\pm 20 \text{ nm}$ , The effect of doping by 3% tin was also investigated on the properties of CdSe thin films and (CdSe/Si) heterojunction solar cells and the results were compared between both pure and impured cases.

The X-ray diffraction pattern results showed that all prepared films (pure and 3% Sn doped) are polycrystalline structure and have hexagonal crystal system with preferred orientation along (002) plane for all doped and undoped films accompanied that by a clear increase in both crystallization and grain size when increasing a thickness of the films and by doping process. The average grains size of the films was measured by using the atomic force microscopy technique furthermore it was used also to determine the surface roughness of CdSe films. The results of the measurement showed an increase of the surface roughness by increasing the film thickness firstly, and by doping process Secondly

The optical measurements results showed that the absorption of CdSe films within visible region of the electromagnetic spectrum was increased by increasing the films thickness, and this result was enhanced by the titration of the tin element.

Also the value of the optical energy gap for all prepared films was calculated by using the transmittance spectrum as a function of wavelength within the range (300-1100) nm. The results showed that the CdSe films had a direct optical energy gap and its value had been decreased by increasing the film thickness and by doping process to become in the range between (1.72-1.68) eV

corresponding that a clear increase in the absorption coefficient values , especially in the visible region of the spectrum , which is reflected positively on the efficiency of the devices that which manufactured as a solar cells.

The direction conductivity measurements results (DC) showed a decrease in the value of electrical resistivity by increasing the temperature, which indicates the semiconductors behavior of the studied material , as well as the prepared film have two activation Energies which indicates the existence of two mechanisms for electronic transition , and the values of these activation energies has been decreased by the doping process , while the Hall effect measurement results showed that prepared CdSe thin films had (N-type) electrical conductivity and the doping process enhanced the concentration of the majority charge carriers especially in the largest prepared film (700,900 nm) Respectively .

The (I-V) characteristics measurements results under illumination condition Showed that the solar cells manufactured from the CdSe films at a thickness of (900 nm) has the highest value of conversion efficiency from the other pure models and the conversion efficiency of this thickness was equal to (2.17%) , the conversion efficiency and the fill factor of pure (CdSe/Si) heterojunction was improved by doping process and reached to the maximum value (3.84%) for the soler cells that which fabricated from CdSe films at thickness of (900 nm).

The (C-V) characteristics measurements results showed that all pure and doped heterojunction manufactured was an abrupt type , and the capacity of the depletion region was decreased with the increase of the film thickness, while it was increased by the doping process with a clear decrease in the value of both the internal build up voltage and depletion Region width by the doping process also .

**Republic of Iraq  
Ministry of Higher Education  
& Scientific Research  
University of Baghdad  
College of Education  
Ibn Al-Haitham**



# **Structural, optical and electrical properties of doped CdSe films and fabricated as device**

*A thesis*

*Submitted to the college of education for pure Science (Ibn  
Al-Haitham) / Baghdad University in partial fulfillment of  
the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in  
Physics*

**By**

***Tahir Hamad Mahmoud***

*(B.Sc. 2006)*

*(M.Sc. 2011)*

*Supervised by:*

**Prof. Dr.  
*Sameer. A. Maki***

**2018 A.D.**

**Assist. Prof. Dr.  
*Bushra.k.h.al-Maiyaly***

**1439 A.H.**