



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

دراسة الخواص التركيبية والبصرية لاغشية CdSe:Al الرقيقة كدالة لنسب التشويب ودرجة حرارة التلدين

رسالة مقدمة إلى
مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة - ابن الهيثم - جامعة بغداد
وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء
من قبل

عباس حيدر حسين
(بكالوريوس علوم فيزياء 1998)

بإشراف
أ.د. علية عبد المحسن شهاب

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(وَمِنْ ذُرِّيَّتِهِ مَفَاتِحُ الْغَيْبِ لَا يُعَلِّمَهَا إِلَّا مَن يُرِيدُ وَيُعَلِّمُ مَا فِي الْبُرِّ
وَالْبَحْرِ وَمَا تَسْقُطُ مِنَ وَرَقَةٍ إِلَّا يُعَلِّمَهَا وَلَا حَبَّةٍ فِي سُلَامَةٍ
الْأَرْضِ وَلَا رَطْبٍ وَلَا يَابِسٍ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُّبِينٍ)

الأنعام (59)

الإهداء

إلى مصدر قوتي والهامي ... زودني .

إلى من يرحمني الله بسبب رضاها والدي ووالدتي
حفظهما الله تعالى.

إلى زهرة الحياة وريحانة فؤادي ... محمد وحيدر وفاطمة.

إلى روح أخي ... علي .

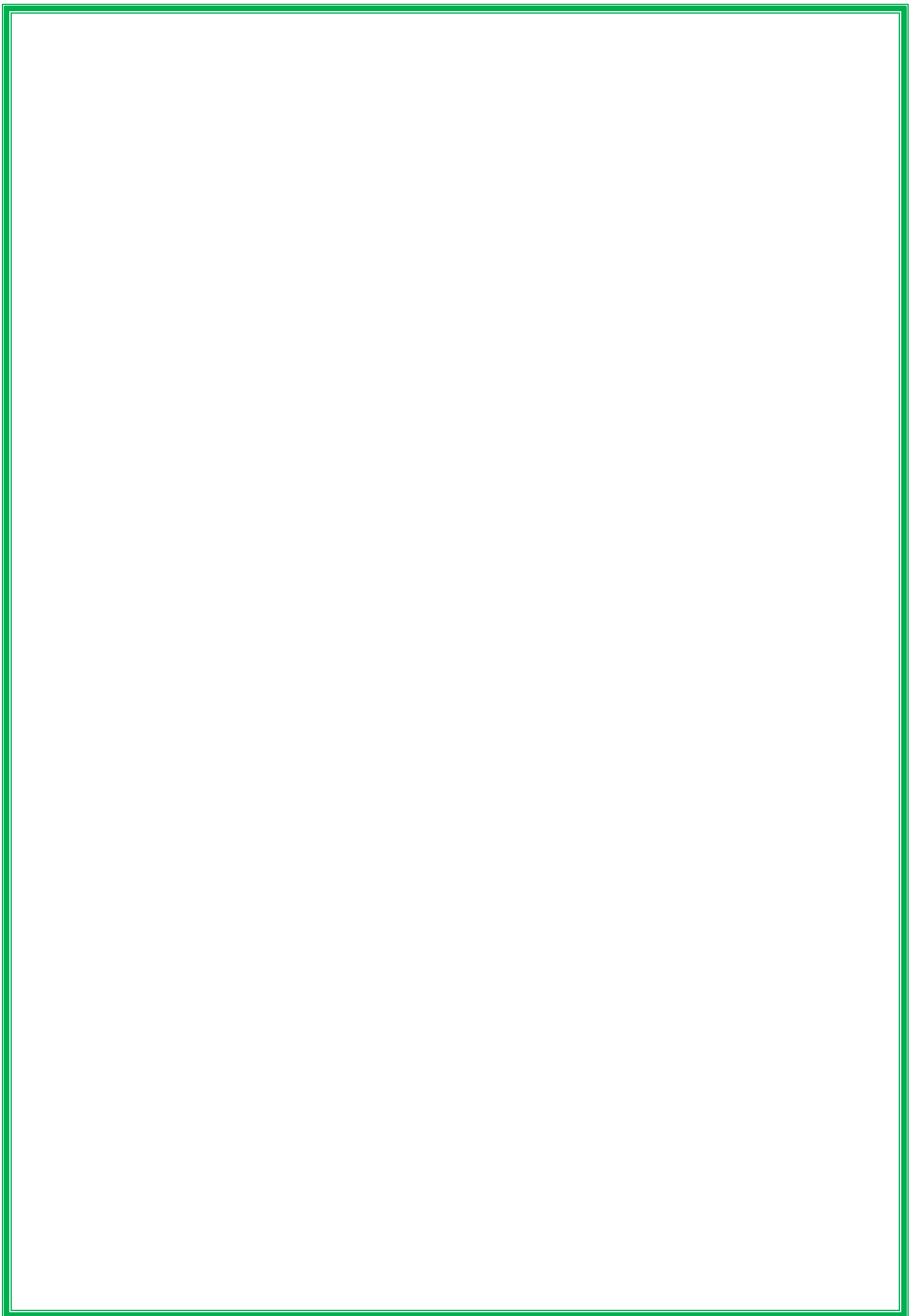
إلى من شد الله بهم أزرني ... أخي وأخواتي.

إلى كل من ودني ولو للحظة.

إلى كل من أفادني ولو بلفظة .

أهدي لهم ثمرة هذا البحث

عباس



إقرار المشرف على الرسالة

أقر أن إعداد هذه الرسالة تم بإشرافي في كلية التربية للعلوم الصرفة / ابن الهيثم/ جامعة بغداد، وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء

اسم المشرف : د. عليّة عبد المحسن شهاب

المرتبة العلمية : أستاذ

التوقيع :

التاريخ : / / 2015

توصية رئيس قسم الفيزياء

براءً على التوصية المقدمة من قبل د. عليّة عبد المحسن شهاب أحيل هذه الرسالة إلى لجنة المناقشة لبيان الرأي فيها .

الاسم : د . محمد عبد النبي ثجيل

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

التوقيع :

التاريخ : / / 2015

إقرار لجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة المناقشة أننا اطلعنا على الرسالة الموسومة

(دراسة الخواص التركيبية والبصرية لأغشية CdSe:Al الرقيقة كدالة

نسب التشويب ودرجة حرارة التلدين (المقدمة من قبل

عباس حيدر حسين وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها وفيما له علاقة بها وأنه جدير

بالقبول لنيل درجة ماجستير علوم في اختصاص الفيزياء وبتقدير (أمتياز) .

التوقيع:

الاسم: د. هيفاء غازي رشيد

المرتبة العلمية: أ.د.

(رئيس اللجنة)

العنوان: الجامعة المستنصرية / كلية التربية / قسم الفيزياء

التاريخ: / / 2015

التوقيع:

الاسم: د. طالب سلوم حمادي

المرتبة العلمية: أ.م.د.

(عضواً)

العنوان: جامعة النهرين/كلية العلوم /قسم الفيزياء

التاريخ: / / 2015

التوقيع:

الاسم: د. أخلص هميم شلال

المرتبة العلمية: م.د.

(عضواً)

العنوان: جامعة بغداد / كلية التربية للعلوم الصرفة

/ ابن الهيثم

التاريخ: / / 2015

التوقيع:

الاسم: د. علي عبد المحسن شهاب

المرتبة العلمية: أستاذ

(عضواً ومشرفاً)

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

التاريخ: / / 2015

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

التوقيع:

الاسم: د. خالد فهد علي

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

(عميد الكلية)

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

التاريخ: / / 2015

إقرار المقوم اللغوي

أشهد أنني راجعت رسالة الطالب (عباس حيدر حسين) الموسومة بـ (دراسة

الخواص التركيبية والبصرية لاغشية CdSe:Al الرقيقة كدالة لنسب التشويب و درجة

حرارة التلدين) من الناحية اللغوية وصحت ما ورد فيها من أخطاء لغوية وتعبيرية،

وبذلك أصبحت الرسالة مؤهلة للمناقشة قدر تعلق الأمر بسلامة الأسلوب وصحة التعبير

ولأجله وقعت.

التوقيع:

الاسم: حسين عبد المهدي هاشم

الدرجة العلمية: مدرس

التاريخ: / / 2015 م

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين والصلوة والسلام على سيدنا محمد وعلى آله
الطيبين الطاهرين وصحبه الغر الميامين.

وبعد..

فلا يسعني بعد شكر الله تعالى على إتمام هذا البحث إلا أن أقدم
جزيل شكري وامتناني إلى المشرفة الفاضلة الدكتورة عليّة عبد
المحسن شهاب لأقتراحها موضوع البحث ونصائحها القيمة وتوجيهاتها
المستمرة في سبيل انجاح هذا البحث طوال مدة العمل وإعداد الرسالة .
داعياً الله لها دوام الصحة والموفقية.

كما أشكر عمادة كلية التربية للعلوم الصرفة و رةمسة قسم الفيزياء
وجميع أساتذة قسم الفيزياء الفاضلين ، لتعاونهم الدائم ط وال مدة
البحث.

كما أشكر الأستاذ محمد حامد والأستاذ سرمد مهدي لتعاونهم
في انجاز البحث كما أشكر طلبة ا لدراسات العليا في قسم الفيزياء
لتعاونهم ومساندتهم لي.

واقدم شكري الى منتسبي مكتبة كلية التربية ابن الهيثم
ومكتبة الجامعة التكنولوجية ، ومكتبة جامعة بغداد لتعاونهم معي في
إعارة مصادر البحث.

وأخيراً وليس أخراً أتقدم بشكري واعتزازي لكل من أعانني ممن
فاتني ذكره مع الاعتزاز.

عباس

الخلاصة

تم في هذا البحث وبنجاح تحضير سبيكة CdSe داخل أنبوبة من الكوارتز مفرغة من الهواء عند ضغط (10^{-2} mbar) ، و تم فحص تركيب هذه السبيكة بواسطة حيود الأشعة السينية (XRD) ، ووجد أن تركيبها متعدد التبلور ويمتلك شكلاً سداسياً .

دُرست الخواص التركيبية والبصرية لأغشية سيلينايد الكاديوم النقية (CdSe) المحضرة بطريقة التبخير الحراري في الفراغ ، المرسبة على قواعد من الزجاج بدرجة حرارية (300K) وبسمك (300 ± 25) nm (وبمعدل ترسيب 2 ± 0.1 nm.sec⁻¹) .

كذلك أجريت دراسة تأثير التشويب بالالمنيوم (Al) بالنسب (1,2,3) % وبدرجة حرارة أساس (300K) على الخواص التركيبية والبصرية لأغشية سيلينايد الكاديوم ، فضلاً عن ذلك دراسة أثر التلدين بدرجات الحرارة K (373,473,573) على الخواص التركيبيية والبصرية لأغشية سيلينايد الكاديوم المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) ، باعتبارها كانت أفضل نسبة تشويب من حيث قيمة فجوة الطاقة البصرية .

أظهرت نتائج قياسات حيود الأشعة السينية للأغشية أن جميع الأغشية المحضرة (بنوعيتها النقي والمشوب) كانت ذات تركيب بلوري متعدد التبلور ومن النوع السداسي مع هيمنة النمو بالاتجاه [002] للأغشية المحضرة كافة وحدث نقصان في شدة القمة المميزة بالاتجاه السائد [002] أن هناك تناقصاً واضحاً يظهر في معدل الحجم الحبيبي بزيادة نسب التشويب لغاية (22.7nm) عند النسبة (3%) التي عند تلدينها بدرجات الحرارة K (373,473,573) وجد أن معدل الحجم الحبيبي يزداد على نحو واضح لغاية (24.10 nm) عند درجة حرارة تلدين (573K) .

كذلك تضمن هذا البحث دراسة الخواص البصرية للأغشية المحضرة كافة (بنوعيتها النقي والمشوب) كإيجاد قيمة فجوة الطاقة البصرية للانتقالات الالكترونية المباشرة المسموحة ، وكذلك حساب معامل الامتصاص والانعكاسية ودراستهما من خلال تسجيل طيفي الامتصاصية والنفاذية للأغشية المحضرة ضمن مدى الأطوال الموجية nm (300-1100) ، وأظهرت النتائج ان قيم فجوة الطاقة البصرية تقل من $1.78eV$ الى $1.66eV$ مع زيادة نسبة التشويب .

شملت نتائج القياسات البصرية أيضاً حساب الثوابت البصرية المتمثلة بـ (معامل الانكسار، ومعامل الخمود ، وثابت العزل الكهربائي بجزأيه الحقيقي والخيالي) ، ووجد ان هناك زيادة في قيم معامل الخمود ومعامل الانكسار عند زيادة نسب التشويب .

المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
1-14	الفصل الأول : مقدمة عامة	
1	المقدمة	1-1
2	طرائق ترسيب الاغشية الرقيقة	2-1
3	طرائق التبخير الحراري	1-2-1
3	طرائق التريز	2-2-1
3	الطرائق الكيميائية	3-2-1
4	خواص سيلينايد الكادميوم CdSe	3-1
7	تطبيقات أغشية سيلينايد الكادميوم CdSe الرقيقة	4-1
7	خواص الالمنيوم	5-1
9	الدراسات السابقة	6-1
14	هدف البحث	7-1
15-36	الفصل الثاني : المفاهيم النظرية	
15	المقدمة	1-2
15	أشباه الموصلات	2-2
16	البنية البلورية لأشباه الموصلات	3-2
16	اشباه الموصلات البلورية	1-3-2
16	اشباه الموصلات العشوائية	2-3-2
17	حزام الطاقة في المواد الصلبة	4-2
20	العيوب في المواد البلورية	5-2
21	تشويب اشباه الموصلات	6-2
22	طرائق أشباه اشباه الموصلات	7-2
22	الأشابة بالانتشار الحراري	1-7-2
23	الأشابة بالغرس الأيوني	2-7-2
23	الأشابة بالليزر	3-7-2
23	الأشابة بطريقة (الأذابة بالمحلول)	4-7-2

23	الأشابة بالتبخير الثنائي	5-7-2
23	معادلة الانتشار	8-2
25	الامتصاص البصري	9-2
26	الخواص البصرية لأشباه الموصلات	10-2
28	الانتقالات الألكترونية	11-2
28	الانتقالات المباشرة	1-11-2
28	الانتقالات غير المباشرة	2-11-2
29	الامتصاصية والنفادية والانعكاسية	12-2
30	الثوابت البصرية	13-2
32	التركيب البلوري وقانون براك	14-2
35	مجهز القوة الذرية	15-2
36	المعاملة الحرارية (التلدين)	16-2
37-49	الفصل الثالث : الجانب العملي	
37	المقدمة	1-3
38	تحضير سبيكة CdSe	2-3
40	تهيئة القواعد الزجاجية	3-3
41	تحضير الاقنعة	4-3
41	منظومة ترسيب الاغشية	5-3
43	تحضير أغشية CdSe النقية والمشوبة	6-3
45	قياس سمك الاغشية	7-3
46	تشخيص تركيب الاغشية المحضرة عن طريق حيود الاشعة السينية	8-3
47	فحص طبيعة سطح الاغشية	9-3
48	القياسات البصرية	10-3
49	تلدين الاغشية الرقيقة	11-3
50-89	الفصل الرابع : النتائج والمناقشة	
50	المقدمة	1-4
50	الخواص التركيبية لمادة سيلينايد الكاديوم CdSe	2-4
52	الخصائص التركيبية لاغشية سيلينايد الكاديوم CdSe الرقيقة	3-4

52	حيود الأشعة السينية	1-3-4
61	الفحص بمجهر القوة الذرية (AFM)	2-3-4
64	نتائج القياسات البصرية	4-4
64	الامتصاصية	1-4-4
67	النفذية	2-4-4
69	الانعكاسية	3-4-4
71	معامل الامتصاص	4-4-4
72	حساب فجوة الطاقة البصرية	5-4-4
79	معامل الخمود	6-4-4
82	معامل الانكسار	7-4-4
84	ثابت العزل	8-4-4
88	الاستنتاجات	5-4
89	المشاريع المستقبلية	6-4
	المصادر	

قائمة الرموز والوحدات

الوحدة	الرمز	المصطلح
eV	E_g^{opt}	طاقة الفجوة البصرية
$eV/m^2.s$	I_o	شدة الشعاع الساقط
$eV/m^2.s$	I_T	شدة الشعاع النافذ
$eV/m^2.s$	I_A	شدة الشعاع الممتص
$eV/m^2.s$	I_R	شدة الشعاع المنعكس
nm	t	سمك الغشاء
cm^2	S	مساحة سطح الغشاء
g	m	كتلة مادة الغشاء
eV	hv	طاقة الفوتون
eV	E_{ph}	طاقة الفونون
eV	E_v	طاقة حزمة التكافؤ
eV	E_C	طاقة حزمة التوصيل
-	A	الامتصاصية
-	T	النفذية
-	R	الانعكاسية
cm^{-1}	α	معامل الامتصاص
-	N	معامل الانكسار المعقد
-	n_o	الجزء الحقيقي من معامل الانكسار
-	k_o	معامل الخمود
-	ϵ	ثابت العزل المعقد
-	ϵ_r	ثابت العزل الحقيقي
-	ϵ_i	ثابت العزل الخيالي
Å	d_{hkl}	المسافة بين المستويات البلورية
Å	a,b,c	ثوابت الشبكة البلورية
-	hkl	معاملات ميلر
K	T_a	درجة حرارة التلدين

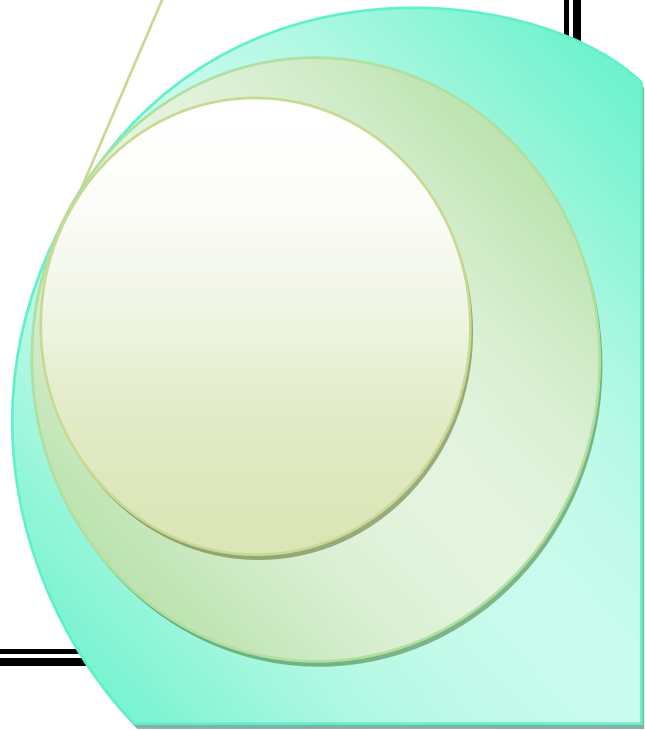
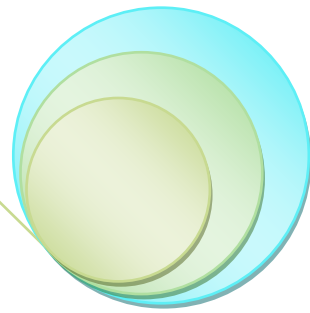
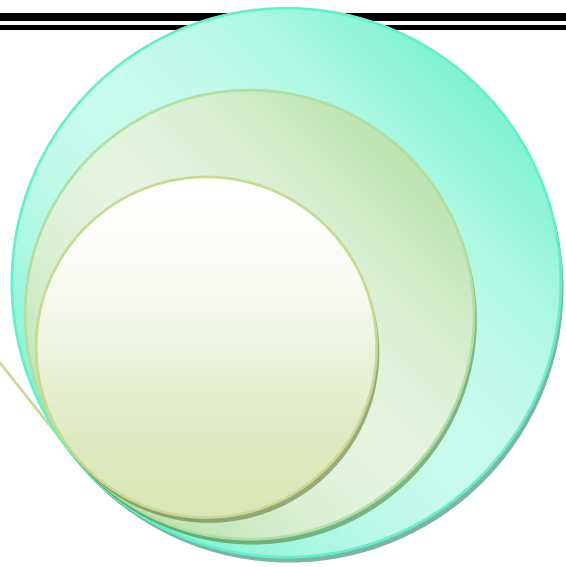
nm	λ	الطول الموجي للأشعة الساقطة
J.s	h	ثابت بلانك
m/s	c	سرعة الضوء في الفراغ
g/cm ³	ρ	كثافة مادة الغشاء
degree	2 θ	زاوية الحيود
degree	θ	زاوية براك
-	n	عدد صحيح يسمى رتبة التداخل
nm	G.S	معدل الحجم الحبيبي
Rad	β	عرض المنحني عند منتصف القمة
Dislocation Line / nm ²	δ	كثافة الانخلاعات
Crystal / nm ²	N _o	عدد البلورات
-	r	معامل أسّي يحدد نوع الانتقال
cm	r _o	المسافة من الحويض الى القاعدة
-	B _o	ثابت يعتمد على نوع المادة في الانتقالات الالكترونية المباشرة
cm ⁻² . s ⁻¹	D	المعدل الزمني للانتشار
-	α_0	ثابت يعتمد على نوع المادة
cm ⁻² . s ⁻¹	D ₀	ثابت الانتشار
eV	E _a	طاقة التنشيط للانتشار
eV. k ⁻¹	k _B	ثابت بولتزمان
k	T	درجة الحرارة المطلقة
eV	E _t	عرض الذبول

قائمة المصطلحات

المصطلح	الرمز
عرض منتصف الشدة	FWHM
الترسيب بالحمام الكيميائي	CBD
مجهر القوة الذرية	AFM
جذر مربع المعدل	RMS
البطاقة القياسية الامريكية لفحص المواد	ASTM
الترذيد بالتيار المستمر	D.C Sputtering
الترذيد بالترددات الراديوية	R.F Sputtering
حيود الاشعة السينية	XRD
اكاسيد الانديوم القصدير	ITO
اكاسيد الانديوم الفلورين	IFO
المكعب البسيط	SC
المكعب المتمركز الجسم	BCC
المكعب المتمركز الوجوه	FCC

الفصل الاول

مقدمة عامة



Introduction المقدمة (1-1)

تعد فيزياء الاغشية الرقيقة من الفروع المهمة لفيزياء الحالة الصلبة و التي تبلورت عنها وأصبحت فرعاً قائماً بحد ذاته ، حيث أسهمت تقنية الأغشية الرقيقة اسهاماً كبيراً في دراسة اشباه الموصلات التي بدأ الاهتمام فيها منذ أوائل القرن التاسع عشر ، واعطت فكرة واضحة عن العديد من خواصها الفيزيائية والكيميائية التي تختلف عن خواص المواد المكونة لها وهي في حالتها الحجمية (Bulk) [1]. فالأغشية تُعرف على انها مواد تحضر على شكل طبقة أو عدة طبقات رقيقة بالترسيب المسيطر عليه للجزيئات أو الذرات أو الأيونات على ركيزة صلبة (Substrate) ويشترط ألا يتجاوز السمك المايكرون الواحد [2]O

وعادة ترسب الاغشية على ركيزة من الزجاج أو السيلكون أو الالمنيوم أو الكوارتز وغيرها اعتماداً على طبيعة الدراسة أو الحاجة العلمية [3]، وقد استخدمت الأغشية الرقيقة في المجالات العلمية والتقنية و كانت للتطبيقات العملية المختلفة أثراً واضحاً ، ومن هذه التطبيقات [4] :

1 - التطبيقات الالكترونية: (Electronic Applications)

تم استثمار الأغشية الرقيقة في صناعة المتسعات و الثنائيات و الدوائر المتكاملة و المقاومات و أقطاب التوصيل . كما استخدمت الأغشية في صناعة الثنائيات الباعثة للضوء و لوحات العرض البلازمية.

2 - التطبيقات البصرية: (Optical Applications)

تم استعمال الأغشية الرقيقة في صناعة الخلايا الشمسية و صناعة الألياف البصرية المستخدمة في نقل المعلومات و الاتصالات، و صناعة المرشحات البصرية والطلاءات المضادة للانعكاس لتقليل الخسائر المصاحبة لانعكاس الضوء من سطوح هذ ه الخلايا . كما تم استعمالها في صناعة الكواشف الضوئية، فضلاً عن ذلك استعمالها في بصريات الليزر كطلاءات فلزية عاكسة لها القابلية على تحمل شدات عالية من الإشعاع.

3- التطبيقات المغناطيسية: (Magnetic Applications)

تم توظيف الأغشية الرقيقة في صناعة نبائط خزن البيانات في الحاسبات الالكترونية ، من المعروف إن أوساط الخزن هذه قد بلغت سعاتها الخزنية قيماً كبيرة من المعلومات ضمن أحجام صغيرة للنبائط المصنعة. كما تم استعمال الأغشية في صناعة الأقراص الليزرية المدمجة .

(2-1) طرائق ترسيب الأغشية الرقيقة:

Thin Film Deposition Methods

نتيجة للتطبيقات الواسعة للأغشية الرقيقة وعلى اختلاف أنواع المواد و مواصفاتها، وجدت الحاجة الماسة إلى ظهور تقنيات تحضير جديدة تلائم الأغشية ومجالات تطبيقاتها، لذا تطورت تقنيات تحضير الأغشية الرقيقة و تعددت مع زيادة التقدم العلمي والتقني والتكنولوجي المعاصر، فاستُحدثت العديد من الطرائق للتحضير، إذ أصبحت لكل طريقة خصوصيتها لتتنجز العمل الذي أنشأت من أجله .

ان اي عملية ترسيب تنضمن ثلاث خطوات اساسية هي [5]:-

- ❖ توليد النوع المناسب من الذرات او الجزيئات او الأيونات .
- ❖ نقل هذه الانواع الى الركيزة خلال الوسط .
- ❖ تكتيفها على الركيزة اما مباشر ة واما كيميائيا واما بعملية كهروكيميائية لتشكيل المادة الصلبة.

وقد تم التأكد بالتجربة أن اختلاف الطرائق المستخدمة في التحضير تسبب اختلاف أ في بعض خواص الأغشية [6]. ومن الطرائق المستخدمة في تحضير الأغشية الرقيقة [2] :

(1-2-1) طرائق التبخير الحراري:**Thermal Evaporation Methods**

وفيها يتم تسخين الحويض (Boat) الحاوي على المادة تحت الفراغ حتى تتحول المادة إلى بخار ساخن فيصطدم بالركيزة فتترسب المادة عليها، ويمكن تحديد طرائق التبخير الحراري هذه وبحسب أسلوب التبخير كما يأتي :

- a- التسخين بالمقاومة Resistive Heating
- b- التبخير بالوميض Flash Evaporation
- c- التبخير بالقوس Arc Evaporation
- d- التبخير بالليزر Laser Evaporation

(2-2-1) طرائق التريذ: Sputtering Methods

وفيها يحدث انطلاق ذرات من سطح المادة إلى سطح الركيزة المراد الترسيب عليها بواسطة قصف سطح المادة بجسيمات سريعة ومن هذه الطرائق [5]:

- a- طريقة التريذ بالتيار المستمر D.C Sputtering
- b- طريقة التريذ بالترددات الراديوية R.F sputtering
- c- طريقة التريذ المكنتروني Magnetron Sputtering

(3-2-1) الطرائق الكيميائية: Chemical Methods

تعتمد هذه الطرائق على تحضير الأغشية للمواد من محاليلها أو محاليل مركباتها ومن هذه الطرائق [7]:

- a- الرش الكيميائي الحراري Chemical Spray pyrolysis
- b- الترسيب بالحمام الكيميائي Chemical Bath Deposition
- c- الترسيب الكيميائي الكهربائي Electrochemical Deposition
- d- ترسيب المحاليل الغروية Sol-Gel Deposition
- e- الإنماء من الأملاح المذابة Growth from Melted Salts

وقد استخدمت في الدراسة الحالية طريقة التبخير الحراري في الفراغ لتحضير اغشية (CdSe) النقية و المشوبة بالالمنيوم . إذ تمتاز هذه الطريقة عن طرائق التحضير الاخرى بما يأتي [8-10]:

- ❖ امكانية الحصول على اغشية رقيقة ذات نقاوة عالية.
- ❖ يقلل الفراغ من تأكسد سطح المادة المتبخرة والمترسبة.
- ❖ وجود المادة تحت ضغط واطىء يجعلها تنصهر بدرجة حرارة اوطأ مما لو كانت تحت الضغط الاعتيادي.
- ❖ امكانية الحصول على اغشية رقيقة وبدرجات حرارة مختلفة للقاعدة الاساس وكذلك امكانية السيطرة على درجة حرارة الاساس بوساطة المسخن الكهربائي.
- ❖ ان احتمالية تصادم الذرات المتبخرة مع ذرات الغازات المتبقية (Residual gas) داخل الفراغ ستكون قليلة ، وذلك لان معدل المسار الحر لذرات هذه الغازات سيكون طويلاً مما يعطي غشاء متجانساً ذا عيوب تصنيعية قليلة.

(3-1) خواص سيلينيد الكاديوم CdSe

يعد مركب سيلينيد الكاديوم (CdSe) أحد المركبات شبه الموصلة للمجموعة (الثانية- السادسة) (II-VI) فهو ينتمي إلى مجموعة مركبات الجالكوجينيدات (Chalcogenides) [11] كما مبين في الجدول (1-1).

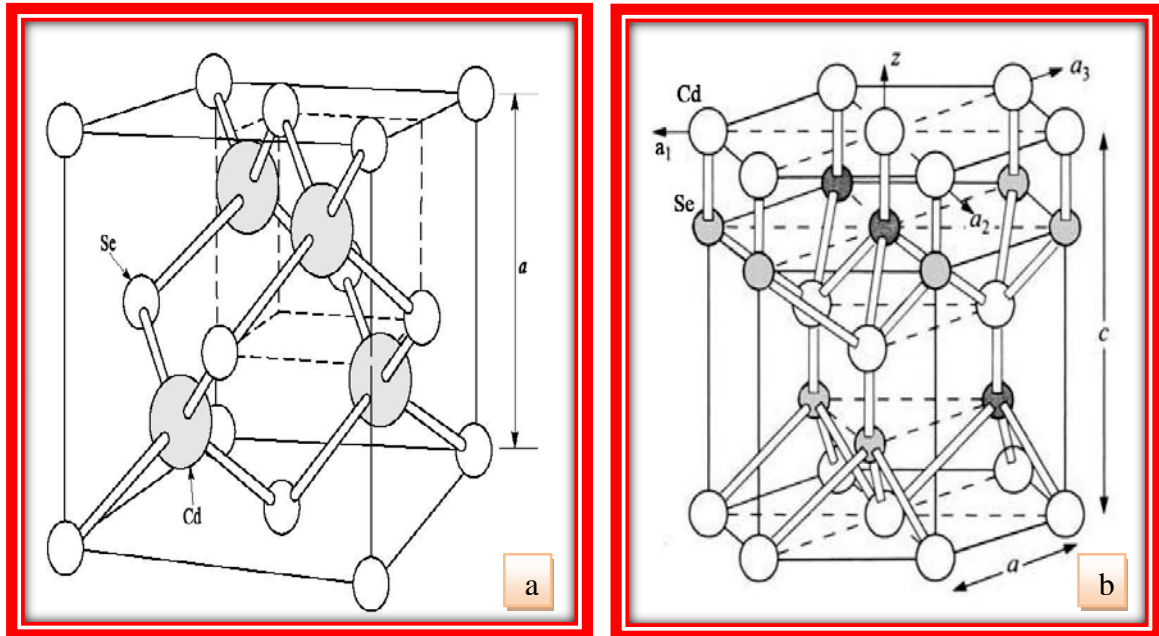
الجدول (1-1) جزء من الجدول الدوري [12]

		IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA
		B	C	N	O	F
IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At

معظم مركبات اشباه الموصلات تمتلك تركيباً بلوريّاً من النوع (zincblende) لكن القليل من مركبات المجموعة (II-VI) تتبلور على نحو مختلف يعرف (wurtzite) [13].

يتشكل سيلينييد الكاديوم بطورين اثنين احدهما (Cubic) و يسمى (Sphalerite) اما الطور الاخر فهو من النوع السداسي (Hexagonal) يسمى (Wurtzite) يكون التركيب الاول غير مستقر (Metastable phase) ويتشكل بصورة خاصة من العمليات الكهروكيميائية ، اما الاخر فانه يمتلك تركيباً مستقراً ثرموديناميكياً ويتشكل بصورة غير مباشرة بوساطة عملية تلدين الطور المكعب (Cubic) او بصورة مباشرة بوساطة طرائق التحضير الاخرى [14] .

يبين الشكل (2-1) ان هناك اربع ذرات كاديوم (Cd) ترتبط بذرة واحدة من السيلينيوم (Se) بأواصر متساوية بالطول وان طول الاصرة لا قرب جوار بين Cd و Se تكون متساوية لكلى من التركيبين المكعب و السداسي [15] 0



الشكل (2-1) التركيب البلوري للمادة سيلينييد الكاديوم [16]

a- التركيب المكعب (Cubic) b- التركيب السداسي (Hexagonal)

يعد سيلينييد الكاديوم شبه موصل من النوع المانح (n-type) [17]، كما يمتلك كل من (w.CdSe) و (c.CdSe) فجوة طاقة مباشرة وان اقل قيمة لها هي (1.75 eV) و (1.9eV) على التوالي وان معامل الانكسار ومعامل الخمود وكذلك معامل الامتصاص تكون دالة للطول الموجي في مناطق الامتصاص العالي .

ان اول المحاولات الناجحة لتنمية بلورات (CdSe) جاءت على يد (Frerichs) حيث استخدم تفاعل الطور الغازي بين عنصر الكاديوم (Cd) مع هاليدات السيلينيوم وان افضل طريقة استخدمت للحصول على بلورة احادية من سيلينيد الكاديوم ذات نوعية جيدة كانت باستخدام تقنية (Bridgman-Stockbarger) من قبل (Rais Enterprises) [14] ، ويمكن ترسيب اغشية (CdSe) الرقيقة بأكثر من طريقة ، منها طريقة التبخير الفراغي (Vacuum Evaporation) والتبخير الوميضي ذي الجدار الحار (Hot-Wall Flash Evaporation) ، والترسيب بالحزمة الجزيئية (Molecular Beam Deposition) والترسيب الكهربائي (Electrodeposition) ، والترسيب بالحمام الكيميائي (CBD) (chemical bath deposition) ، والترذيذ (Sputtering) [18] ، يبين الجدول (2-1) بعض الخواص الفيزيائية للمادة (CdSe)

الجدول (2 - 1) بعض الخصائص الفيزيائية للمادة CdSe [19]

Properties	value
Group	II-VI
Crystal structure	Z,W
Lattice constant at 300K	6.050 (Å)
Band gap at 300 K.	1.75 (eV)
Band gap at 0K	1.85 (eV)
Mobility Electron	800 (cm ² / V.s)
Band	Direct
Effective mass m*/m ₀ Electron	0.13
Effective mass m*/m ₀ Holes	0.45
Dielectric constant (relative)	9.3-10.6
Temperature coefficient of expansion at 300K	4.8 (x 10 ⁻⁶ / °C)
Electron affinity	(3.93- 4.95) (eV)
Resistivity	10 ⁵ (Ω.cm)
Density	5.81 (g/cm ³)
Melting point	1258 (°C)

(4-1) تطبيقات اغشية سيلينايد الكاديوم CdSe الرقيقة:

بسبب امتلاك (CdSe) معامل امتصاص عالي وامتلاكه خواص بصرية مناسبة فان اغشيته لها تطبيقات كثيرة منها [20]:-

High efficiency solar cells	❖ الخلايا الشمسية عالية الكفاءة.
Photo detectors	❖ الكواشف الضوئية .
Thin Film Transistors (TFT)	❖ ترانستور الاغشية الرقيقة .
Light Emitting Diodes	❖ الدايمود الباعث للضوء
Gases Sensor	❖ متحسس الغازات.
Laser	❖ الليزر.
Gamma-ray detectors	❖ كواشف اشعة كاما.

(5-1) خواص الالمنيوم:

يعد عنصر الالمنيوم ثالث اكثر العناصر وفرة على الارض بعد الاوكسجين والسيلكون يمتلك خواص فريدة فهو خفيف الوزن وقوي وكذلك مقاوم للتآكل . يرمز له بالرمز (Al) ويقع في المجموعة الثالثة في الجدول الدوري . وأن العدد الذري له (13) ، وهو ذو لون (فضي- أبيض) اعتمادا على نسب الشوائب يمكن تصنيف الالمنيوم الى نوعين هما فائق النقاوة والآخر يسمى الالمنيوم التجاري، حيث يمكن تحويل النوع الثاني الى الاول عن طريق تكرار التنقية حتى تصل النقاوة الى نحو (99.99995 %) . كثافة الالمنيوم قليلة تقدر بنحو (2.7 g/cm³) ذات انعكاسية وتوصيلة كهربائية وحرارية عالية . وهو مقاوم جدا للتآكل يتبلور الالمنيوم بصيغة (FCC) وان كل ذرة تمتلك العدد نفسه من ذرات الجوار الاول ، وان طول الاصرة بين ذرتين متجاورتين مقدارها (2.863 Å) و معامل الرص يساوي (0.74) .

والالمنيوم هو عنصر ثلاثي التكافؤ وعند درجة حرارة الغرفة فأن الالمنيوم ذو النقاوة (99.995 %) يمتلك مقاومتي كهربائية مقدارها (2.65 X10⁻⁸ Ω.m) ، ان التوصيلة الكهربائية تعتمد بقوة على طبيعة الشوائب داخل المادة وتركيزها ، كما أن انعكاسية سطح الالمنيوم الصقيل للضوء أكثر من (95%) للاطوال الموجية من (0.9 - 12) μm وانها تقل الى (70%) للاطوال الموجية الاقل من (0.2 μm) .

أعلى انعكاسية يمكن الحصول عليها باستخدام الترسيب الحراري في الفراغ عندما يكون سمك غشاء الألمنيوم مساويا الى $(0.1 \mu\text{m})$ [21]. ويبين الجدول (3-1) بعض الخصائص الفيزيائية لعنصر الألمنيوم 0

يستعمل الألمنيوم في تقنية الاغشية الرقيقة كمادة شائبة للاغشية المحضرة ، و كذلك لصنع الاقطاب الكهربائية لغرض التوصيل الاومي مع الدائرة الخارجية .

الجدول (3-1) بعض الخصائص الفيزيائية لعنصر الألمنيوم [21]

Properties	Value
Name ,symbol	Aluminium , Al
Group, period	Group 13, period 3
Atomic weight	26.981 (g/mol)
Phase	Solid
Melting point	933.47 K (660.32 °C)
Boiling point	2743 K (2470 °C)
Density (solid)	2.70 g·cm ⁻³ (at 0 °C, 101.325 kPa)
Density (Liquid)	2357 kg m ⁻³ at 973 K
Molar heat capacity	24.20 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
Crystal structure	FCC
Electrical resistivity	2.655×10 ⁻⁸ Ω.m

(6-1) الدراسات السابقة:

❖ قام الباحث (Masumdar et al. 2002)^[22] بتحضير اغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالانتيمون (Sb) بطريقة (CBD). وظهرت الدراسة ان تلك الأغشية متعددة التبلور (polycrystalline) ذات تركيب خليط من (W/ZB) وأن الحجم الحبيبي يزداد عند نسب التشويب الواطئة ويقل عند نسب التشويب العالية كما أن دراسة الخواص البصرية أظهرت امتلاك تلك الاغشية معامل امتصاص عالى ، لذا تظهر انتقالات الكترونية مباشرة وأن فجوة الطاقة البصرية تقل بزيادة نسب التشويب من (1.79 eV) الى (1.6 eV) .

❖ اما الباحث (Velumani et al. 2003)^[23] فقام بترسيب الأغشية بطريقة الجدار الحار (Hot wall) على قواعد زجاجية وقواعد من (ITO) بسلك ودرجات حرارية مختلفة. اذ أظهرت الدراسة الطبيعة المتعددة التبلور (polycrystalline) لتلك الأغشية عند سمك قليل ودرجات حرارة واطئة وانها تتحول الى احادي التبلور ذى اتجاه [002] عند زيادة السمك ودرجة الحرارة مع زيادة في الحجم الحبيبي ، اما دراسة الخواص البصرية فقد أظهرت انخفاض قيمة فجوة الطاقة البصرية مع زيادة سمك الغشاء ودرجة حرارة الأساس، يرافق ذلك ارتفاع قيمة معامل الانكسار (n) ومعامل الخمود (k) عند الطول الموجي (900 nm) 0

❖ قام الباحثان (Kale and Lokhande . 2004)^[24] بدراسة تأثير درجة حرارة التلدين لزم (4h) في الهواء على الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية على اغشية (CdSe) النانوية المرسبة بطريقة (CBD) على قواعد زجاجية 0 وقد اظهرت الفحوصات قبل التلدين ان الاغشية ذات تركيب مكعب مع فجوة طاقة مقدارها (2.3 eV) يتحول بعد ذلك الطور غير المستقر (Metastable) الى الطور المستقر على هي متعدد التبلور ذى تركيب سداسي مع انخفاض في قيمة فجوة الطاقة البصرية بمقدار (0.6 eV) مع انخفاض في قيمة التوصيلة الكهربائية يرافق ذلك زيادة في الحجم الحبيبي 0

❖ درست الباحثة (AL- Fawadi 2005)^[25] الخواص البصرية لاغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالنحاس والمحضرة بطريقة التبخير الح راري في الفراغ على قواعد زجاجية وبسلك (1 µm) وبنسب % (0.5 , 1.5 , 2.5 , 4) وأظهرت النتائج أن

الأغشية تمتلك فجوة طاقة مباشرة وأن حافة الامتصاص تتراح نحو الأطوال الموجية العالية مع زيادة نسبة التشويب وكذلك تقل فجوة الطاقة البصرية من (1.79- 1.88 eV) للأغشية النقية والمشوبة بالنحاس بالنسبة (4%) على التوالي ، كذلك أظهرت الدراسة زيادة في انتظام التركيب البلوري مع زيادة في معامل الامتصاص و انخفاض قيمة معامل الانكسار والجزء الحقيقي والخيالي لثابت العزل مع زيادة نسبة التشويب .

❖ حضر الباحث (Suthan et al. 2007) [26] أغشية (CdSe) الرقيقة بطريقة التبخير الحراري في الفراغ تحت ضغط (5×10^{-5} mbar) تمت دراسة الخصائص التركيبية بتقنية (XRD) حيث اظهرت التركيب السداسي (Hexagonal) مع اتجاه سائد [002] أما القياسات البصرية فقد أظهرت انتقالات الكترونية مباشرة مع فجوة طاقة بصرية مقدارها (1.92 eV) .

❖ درس الباحث (Sarmah et al. 2008) [27] الخواص التركيبية لتلك الأغشية والمرسبة بطريقة التبخير الحراري في الفراغ وبسبك ودرجات أساس مختلفة حيث أظهرت فحوصات الاشعة السينية (XRD) أن الأغشية متعددة التبلور ذات تركيب سداسي (Hexagonal) وذات اتجاه سائد [002] مع اتجاهات أقل شدة [102]، [112] و [110] ، كذلك زيادة في الحجم الحبيبي بزيادة درجة حرارة الاساس والسبك .

❖ قام الباحث (Ciupina et al . 2008) [28] بدراسة الخواص التركيبية والبصرية للأغشية المرسبة نفسها بطريقة التبخير الحراري في الفراغ على قواعد زجاجية وبسبك ($0.21-1.24$) μm ، وأظهرت الدراسة أنها ذات تركيب متعدد التبلور سداسي (Hexagonal , Wurtzite) وذات اتجاه سائد [002] وأن فجوة الطاقة البصرية تقع بين (1.69-1.75) eV والانتقالات الالكترونية من النوع المباشر.

❖ قامت الباحثة (Mohamed et al. 2010) [29] بدراسة تأثير درجة حرارة التلدين ومعدل الترسيب على فجوة الطاقة لأغشية (CdSe) الرقيقة بسبك (360F10) nm على أرضيات زجاجية باستخدام تقنية التبخير الحراري في الفراغ . اذ كان معدل الترسيب للأغشية في المدى 0.8 , 1.0 , 1.2 nm.s^{-1} وأن درجات حرارة التلدين كانت (303 , 373 , 423 , 473) K أظهرت القياسات البصرية للأغشية

المعدنة بدرجات حرارة مختلفة وبمعدلات ترسيب مختلفة بان الأغشية تمتلك فجوة طاقة مباشرة مقدارها eV (1.71 - 1.98) كما أن التلدين عند (423 K) قد سبب زيادة في فجوة الطاقة بينما التلدين عند (473,373)K قد قلل فجوة الطاقة البصرية ، ولقد تبين ان معدل الترسيب عند (1.0 nm.s^{-1}) ادى الى زيادة في فجوة الطاقة البصرية لكل درجات حرارة التلدين .

❖ درس الباحث (Ahamed et al. 2010)^[30] تأثير درجة حرارة الاساس على الخواص البصرية والتركيبية والكهربائية لأغشية (CdSe) النقية المرسبة بطريقة التبخير الحراري بالحزمة الالكترونية . وقد أظهرت الفحوصات التركيبية أن الأغشية المرسبة ذات تركيب سداسي (Hexagonal) مع اتجاه سائد [002] مع حدوث تحسن في التبلور مع زيادة في الحجم الحبيبي بزيادة درجة حرارة الاساس ، كما أن فجوة الطاقة البصرية قلت بدورها من (1.92 eV) الى (1.77 eV) ورافق ذلك نقصان في المقاومة الكهربائية مع زيادة درجة حرارة الاساس .

❖ درس الباحث (Mahalingam et al. 2010)^[31] تأثير التشويب بالانديوم (In) على أغشية (CdSe) المرسبة بطريقة الحمام الكهربائي (CBD) على قواعد من (ITO) بدرجة حرارة (55 °C) وبنسب تشويب مختلفة . وأظهرت فحوصات XRD تركيباً سداسياً ذا اتجاه [001] سائد مع اتجاه [002] , [102] , [103] أقل شدة ، كما أن اضافة أيون (In^{+3}) يؤدي الى زيادة شدة القمم مع ظهور قمم جديدة كذلك حصول ازاحة في مواقع القمم مع زيادة التركيز . ومن المفيد الإشارة الى انه لوحظ زيادة في الحجم الحبيبي حتى تصل اعلى قيمة عندما يصبح التركيز (0.02) mM و ينخفض بعد ذلك قليلا عندما يصل التركيز الى (0.03) mM ولوحظ أن قياسات النفاذية البصرية أظهرت فجوة طاقة بصرية مباشرة مقدارها (1.78 eV) كما أن التشويب فيها ادى الى تقليل فجوة الطاقة البصرية الى (1.63 eV) 0

❖ قام الباحث (Contreras et al. 2011)^[32] بتحضير أغشية (CdSe) النقية والمشوبة بـ (الكبريت S^{2-}) بطريقة (CBD) على قواعد زجاجية بدرجة (80 °C) ، وأظهرت الدراسة أن اغشية (CdSe) متعددة التبلور (polycrystalline) ذات تركيب خليط من (W/ZB) وانه ذو حجم حبيبي يتراوح بين (15-21) nm مع

حدوث ازاحة حمراء (Red Shift) في طيف الامتصاص البصرية مع زيادة في فجوة الطاقة البصرية من eV (1.8 - 2.3) بزيادة نسبة التشويب .

❖ حضّر الباحث (Jamil et al. 2011)^[33] أغشية (CdSe) النقية بطريقة الترسيب بللحمام الكيميائي (CBD) عند درجات حرارة K (298 , 318 , 328) ودراسة تأثير تلك الدرجات على الخواص البصرية كما درس الباحث تأثير التلدين بدرجات حرارة K (373 , 473 , 573 , 673) ولهدة ساعة واحدة على فجوة الطاقة ووجد انها تقل من eV (1.7 - 2) بعد التلدين مع حصول زيادة في معامل الامتصاص . كما ان زيادة درجة حرارة الترسيب تعمل على زيادة قيمة فجوة الطاقة من eV (2- 2.2) .

❖ قام الباحث (Gawali et al. 2011)^[34] بترسيب اغشية (CdSe) النانوية المشوبة بالالمنيوم (Al) على قواعد زجاجية وقواعد من (FTO) بطريقة الرش الحراري و اظهرت فحوص (XRD) ان الاغشية متعددة التبلور (Polycrystalline) ذات تركيب سداسي (Hexagonal) كما ان فحوصات (AFM) اظهرت سطح الغشاء متجانساً وموحداً وناعماً ، اما الفحوصات البصرية فقد بينت ان الانتقالات الالكترونية من النوع المباشر وفجوة الطاقة البصرية تكون محصورة بين eV (1.673 - 1.87) 0

❖ قام الباحث (Betkar et al . 2012)^[35] بدراسة الخواص التركيبية والبصرية للأغشية المرسبة نفسها بطريقة الرش الكيميائي لدرجات أساس مختلفة ، ولقد بينت فحوصات (XRD) تركيباً سداسياً وأن الحجم الحبيبي يزداد بزيادة درجة حرارة الأساس، أما الفحوصات البصرية فقد أشارت الى حدوث فجوة بصرية مقدارها eV (2.22) مع انتقالات الكترونية مباشرة .

❖ تمكن الباحث (Ibrahim 2012)^[36] بتصنيع كاشف ضوئي من المفروق الهجيني (n-CdSe/p-Si) بتقنية التبخير الحراري في الفراغ المنمأة على قواعد من السيليكون أحادي التبلور . وقد لوحظ انه حددت قيمة فجوة الطاقة للأغشية المحضرة من خلال دراسة طيف النفاذية للأغشية التي بلغت eV (1.89) ، ومن خلال دراسة تغير معامل سيباك مع تغير درجة الحرارة تبين ان توصيلية الأغشية هي من النوع المانح (n-type) 0

❖ قام الباحث (Ali et al. 2013) [37] بدراسة الخواص البصرية والتركيبية لأغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالانتيومون (Sb) المرسبة بطريقة التبخير الحراري في الفراغ على قواعد زجاجية وبنسب تشويب % (0.5 , 1 , 2.5) . أظهرت الخواص التركيبية أملاك الأغشية النقية والمشوبة تركيباً متعدد التبلور من النوع السداسي (Hexagonal) وهو ذو اتجاه سائد [002] يزاوح باتجاه الزوايا الصغيرة لـ (2θ) عند زيادة نسبة التشويب . أما الحجم الحبيبي فإنه يقل بزيادة نسبة التشويب من (28.37 - 42) nm للأغشية النقية والمشوبة بنسبة (2.5%) على التوالي ، أما تأثير التشويب على حافة الامتصاص الأساسية فقد ظهر على هيئة ازاحة نحو الأطوال الموجية القصيرة مع زيادة نسبة التشويب .

❖ حضر الباحث (Deshpande et al. 2013) [38] أغشية (CdSe) بطريقة الحمام الكيميائي (CBD) بدرجات حرارية مختلفة حيث ، أظهرت فحوصات (XRD) أن تركيب الأغشية نوعان هما: أحادي والآخر متعدد التبلور ومن النوع المكعب (Cubic) ، أما دراسة الخواص البصرية فقد أظهرت أنها ذات انتقالات الكترونية مباشرة ، وأما فجوة الطاقة البصرية فأنها تزداد بزيادة درجة حرارة الترسيب .

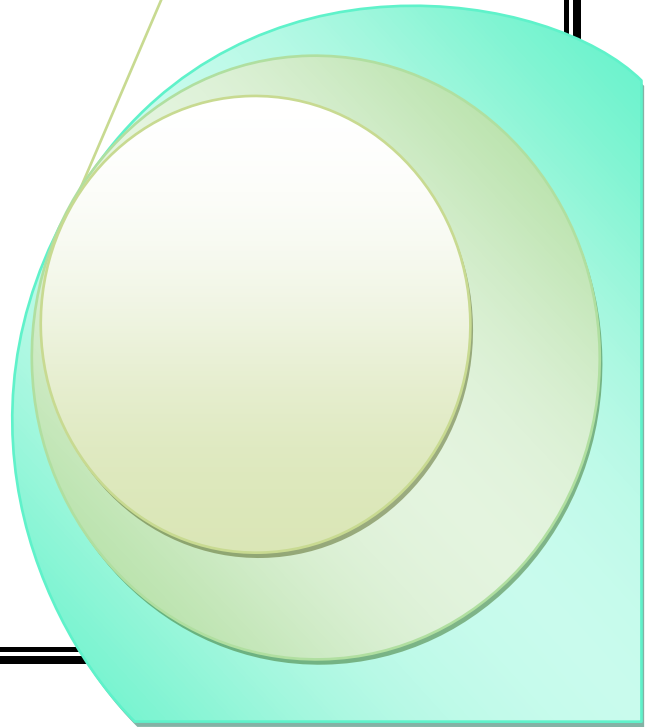
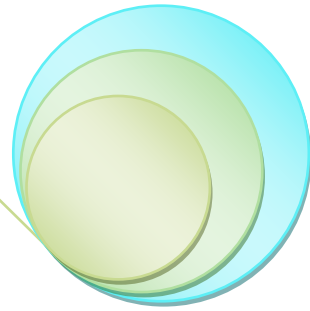
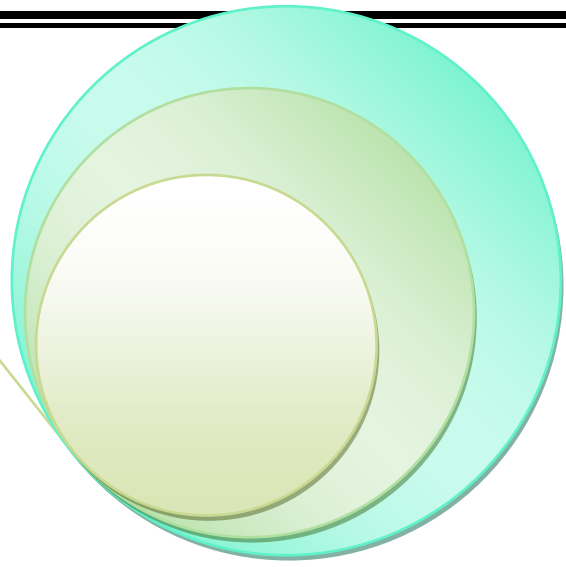
❖ قام الباحث (Rani et al. 2013) [39] بدراسة تأثير التلدين بدرجات حرارية مختلفة على الخواص البصرية لأغشية (CdSe) النقية المرسبة بطريقة التبخير الحراري في الفراغ باستخدام الشعاع الالكتروني على قواعد زجاجية بدرجات حرارية مختلفة، وأظهرت الدراسة أملاك الأغشية فجوة طاقة مباشرة كما ان التلدين يعمل على تقليلها بمقدار (1.76 , 1.89 , 1.87 , 1.93) eV وبدرجات C (R.T , 100 , 200 , 300) على التوالي مع زيادة الحجم الحبيبي بزيادة درجة حرارة التلدين .

(7-1) هدف البحث:

- ❖ تحضير سبيكة (CdSe) من مركباتها الأولية وبنسب وزنية معينة واستخدام طريقة الاخمام السريع للمنصهر 0
- ❖ تحضير اغشية رقيقة من المادة بطريقة التبخير الحراري في الفراغ .
- ❖ تشويب الاغشية النقية بمادة الالمنيوم بنسب % (1,2,3) بطريقة الانتشار الحراري في الفراغ .
- ❖ تليدين الاغشية بدرجات حرارية K (373,473,573).
- ❖ دراسة تأثير التشويب والتليدين على الخصائص التركيبية والبصرية للحصول على غشاء رقيق بمواصفات جيدة وتحسين صفاتها في منطقة الطيف المرئي والمنطقة تحت الحمراء القريبة لما تتمتع به هاتان المنطقتان من تطبيقات عملية في تصنيع الخلايا الشمسية والكواشف وغيرها .

الفصل الثاني

مفاهيم نظرية



(1-2) المقدمة Introduction

يتضمن هذا الفصل وصفاً عاماً للجانب النظري لموضوع الدراسة الحالية، من حيث الأفكار والمفاهيم الفيزيائية النظرية، والإيضاحات العلمية، والعلاقات والقوانين الرياضية التي من خلالها يمكن تفسير النتائج التي يتم الحصول عليها عملياً.

(2 - 2) أشباه الموصلات Semiconductors

تصنف المواد في الطبيعة من حيث توصيليتها الكهربائية (Electrical Conductivity) عند درجة حرارة الغرفة إلى مواد موصلة (Conductor) وهي ذات توصيلية كهربائية عالية بحدود $(10^3-10^8) (\Omega.cm)^{-1}$ ، ومواد عازلة (Insulator) ذات توصيلية واطئة جداً بحدود $(10^{-18}-10^{-8}) (\Omega.cm)^{-1}$ ، ومواد شبه موصلة (Semiconductor) توصيلتها بحدود $(10^{-8}-10^3) (\Omega.cm)^{-1}$ ، أي أن توصيلتها تقع بين المواد الموصلة والعازلة [40].

ان شبه الموصل النقي يصبح موصلاً عند رفع درجة الحرارة إذ تحفز الكترونات حرارياً لعبور فجوة الطاقة الممنوعة، بينما يصبح شبه الموصل عازلاً عند اقتراب درجة حرارته من الصفر المطلق إذ يتعذر تحفز الكترونات حرارياً [41].

و يمكن تلخيص أهم خصائص المواد شبه الموصلة بما يأتي [42]:

- ❖ تمتلك اشباه الموصلات مقاومة ذات معامل حراري سالب (Negative Thermal Coefficient) ، اي ان اعتماد توصيليتها الكهربائية على درجة الحرارة معاكس لما هو عليه للمعادن إذ تقل مقاومة شبه الموصل مع زيادة درجة الحرارة.
- ❖ تمتلك أشباه الموصلات نوعين من حاملات الشحنة هما الإلكترونات والفجوات خلافاً لما هو عليه في المواد الموصلة.
- ❖ الشوائب قد تغير التوصيلية السالبة لشبه الموصل إلى توصيلية موجبة او بالعكس.
- ❖ يظهر شبه الموصل ذو النقاوة العالية جداً توصيلية ذاتية ويكون فيها مستوى فيرمي في منتصف فجوة الطاقة.
- ❖ القدرة الكهروحرارية التي تولدها هذه المواد عالية بالمقارنة مع تلك التي تنتج من المعادن.
- ❖ تؤدي الشوائب دوراً كبيراً في تقليل المقاومة الكهربائية لشبه الموصل.
- ❖ لا تسلك في مقاومتها سلوكاً اومياً (Non- Ohmic Behaviour).
- ❖ تتأثر توصيليتها بالمجال المغناطيسي .
- ❖ تكون المواد شبه الموصلة حساسة للضوء، اي ان مقاومة شبه الموصل تتغير عند التعرض لضوء ذي طول موجي مؤثر.

(3-2) البنية البلورية لأشباه الموصلات

يمكن تصنيف أشباه الموصلات كما هو الحال في المواد الصلبة وتبعاً لتركيبها البلوري الى:

(1-3-2) اشباه الموصلات البلورية (Crystalline Semiconductors)

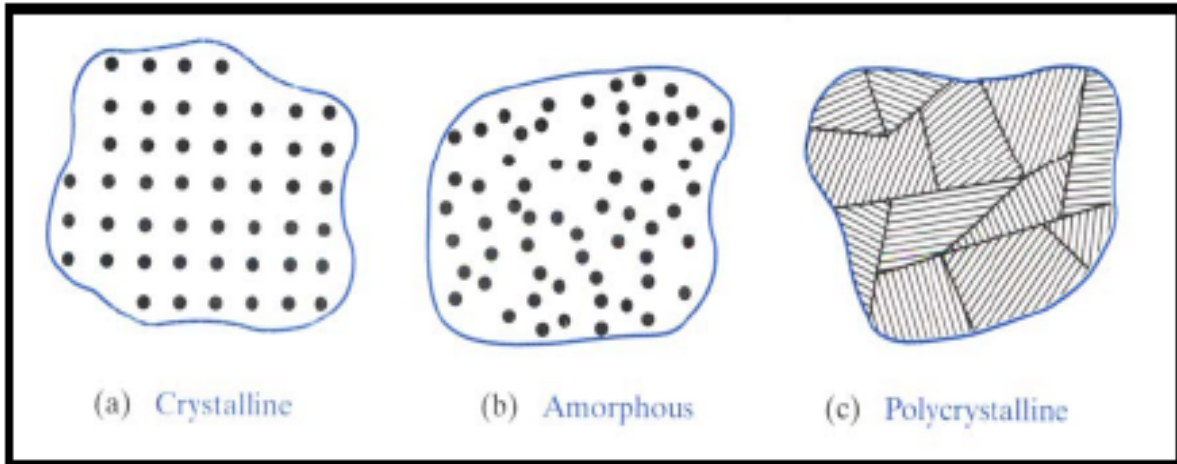
تكون ذراتها مرتبة بشكل منتظم في الشبكة البلورية أي تكون ذراتها مرتبة بشكل دوري مكونة تشكياً ثلاثي الأبعاد ويسمى هذا الترتيب بالترتيب طويل المدى (Long range order) ولهذا فهي تمتلك نوعاً من التماثل ويمكن عدّها نموذجاً هندسياً معيناً . هناك نوعان من التبلور، أحادي التبلور (Single Crystal) وتمتد فيها دورية الانموذج البلوري بالأبعاد الثلاثة خلال البلورة بأكملها كما في الشكل (1-2a)، ومتعدد البلورات (Polycrystalline) وفيه لا تمتد دورية الانموذج البلوري خلال البلورة، بل تنتهي عند حدود داخل البلورة تدعى حدود الحبيبات (Grain-Boundaries)، كما في الشكل (1-2c) [44].

تمتاز جميع المواد البلورية ب أنها متباينة الخواص الاتجاهية (Anisotropic) أي ان بعض صفاتها المميزة تعتمد على اتجاه محاور البلورة (Crystal axis)، كما انها تنصهر فجأة عند درجة حرارة معينة [43].

(2-3-2) أشباه الموصلات العشوائية Amorphous Semiconductors

هي المواد التي يمتاز تركيبها بترتيب دوري قصير المدى (Short-range order) إذ تترتب ذراتها بشكل عشوائي مكونة تشكيلة معقدة . ولا يمكن ان تعيد الذرات ترتيب نفسها دورياً بالأبعاد الثلاثة، كما هو الحال في المواد البلورية، بسبب فقدان الترتيب الدوري على بعد مسافات اكبر من اثنين أو ثلاثة أنصاف أقطار ذرية مع احتمالية تحقق الانتظام ضمن مديات قصيرة فقط، كما في الشكل (1-2b) [42].

تمتاز المواد العشوائية بأنها متماثلة الخواص الاتجاهية (Isotropic) أي لا يظهر للاتجاه اي تأثير على خواصها بالاضافة إلى ذلك انها تنصهر من خلال مدى معين لدرجات الحرارة [43]. وتعد الحالة العشوائية حالة غير مستقرة ثرموديناميكياً، ولهذا فانها تتبلور عند زوال اسباب تكوينها العشوائي، عندما تكون لها حرية فقدان الطاقة الزائدة وعندئذٍ ترجع إلى حالة الاسترخاء أو الطاقة الصغرى [45].



الشكل (1-2) التركيب البلوري للمواد [46]
 a - احادية التبلور b - عشوائية c - متعددة التبلور

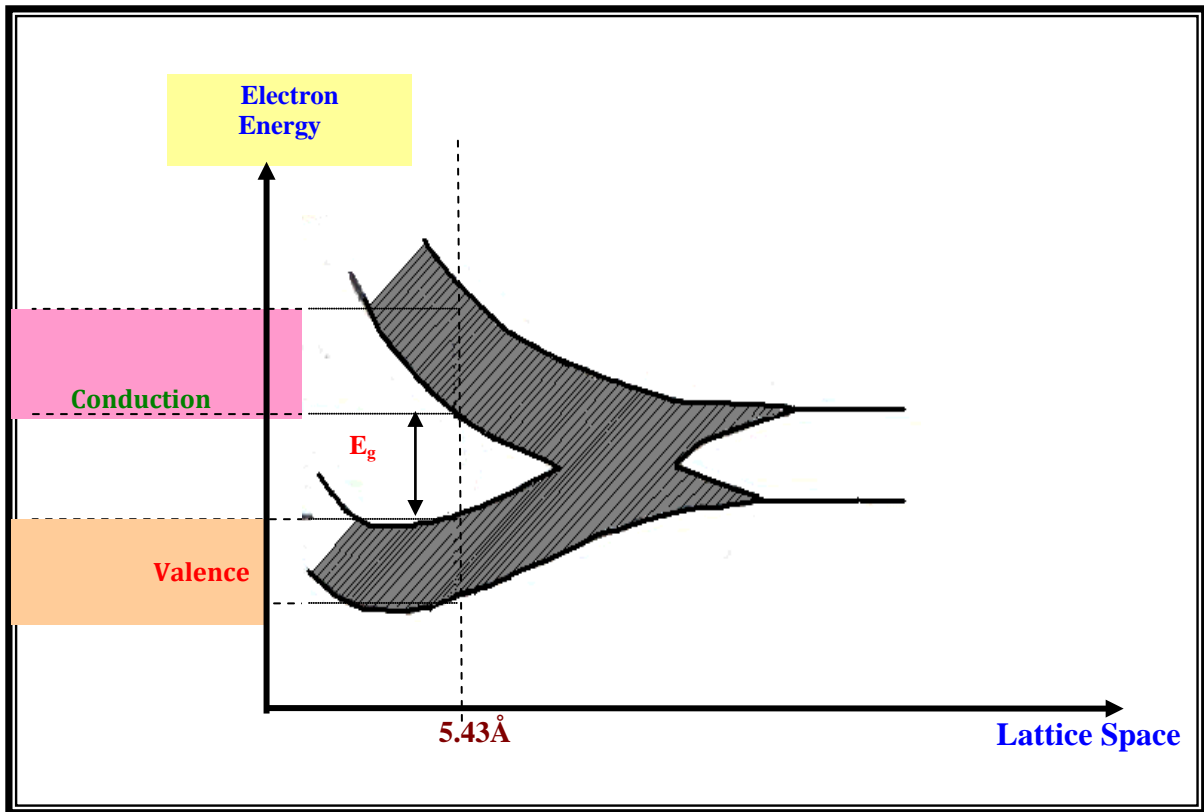
(4-2) حزم الطاقة في المواد الصلبة Energy Bands in Solid Materials

ان الخواص البصرية والكهربائية لأي مادة صلبة تحدد في ضوء تركيب حزم طاقاتها ومدى انشغالها بالإلكترونات واستناداً الى نظرية الحزم في المواد الصلبة، وباستخدام ميكانيك الكم امكن حساب بنية حزم الطاقة للمواد البلورية، ان لالإلكترونات في الذرة المنفردة مستويات طاقة محدودة يحددها عدد الكم الاساسي (n) وان كل مستوى يمكن ان يبيتو عب إلكترونين فقط ذات برمين متعاكسين بحسب قاعدة باولي للاستثناء [47].

وعندما تقترب الذرات من بعضها ينشطر كل مستوى متحلاً ليكوّن حزمًا، وبازدياد التقارب بين الذرات تفقد كل حزمة ناتجة من مستوى منفصل هويتها نتيجة التداخل والالتحام فتتكون حزمة واحدة، وفي الحالة التي تقترب فيها الذرات من المسافة المساوية لثابت الشبكة (Lattice Constant) فان الحزمة الواحدة المتصلة ستنشطر مرة ثانية إلى حزمتين يفصلهما فاصل لا يمكن للإلكترونات ان تمتلك طاقة تقع ضمنه، وتدعى هذه المنطقة بالفجوة المحصورة (Forbidden Gap) أو فجوة الحزمة (Band Gap) التي لا تحتوي على حالات لمستويات طاقة مسموح بها، وتسمى الحزمة التي تعلو الفجوة بحزمة التوصيل (Ec) (Conduction band) والحزمة التي اسفلها تسمى بحزمة التكافؤ (Ev) (Valance band) [48] ، ويبين الشكل (2-2) تكون الحزمتين لمادة الماس (Diamond) الصلبة، ولا تكون للإلكترونات في حزمة التكافؤ مستعدة للحركة من ذرة إلى اخرى ، بينما تستطيع

الالكترونات في حزمة التوصيل الحركة بحرية، ولذلك فهي حرة ، لانها تكوّن (حاملات التيار
0 (Current Carriers

ومن الجدير بالذكر أن مقدار الانشطار للمستويات يعتمد على بعد المستوي عن النواة فكلما كان
اقرب إلى النواة كان نصف قطر المدار اصغر والالكترونات متأثرة بفعل النواة اكبر مما يقلل من تأثير
النويات الأخر ومن ثم يقلل من مقدار الانشطار والعكس صحيح فيما يتعلق بالالكترونات الواقعة في
المدارات الاكثر بعداً عن النواة ويلاحظ ان اعلى حزمة اكبر عرض [49] [50] 0

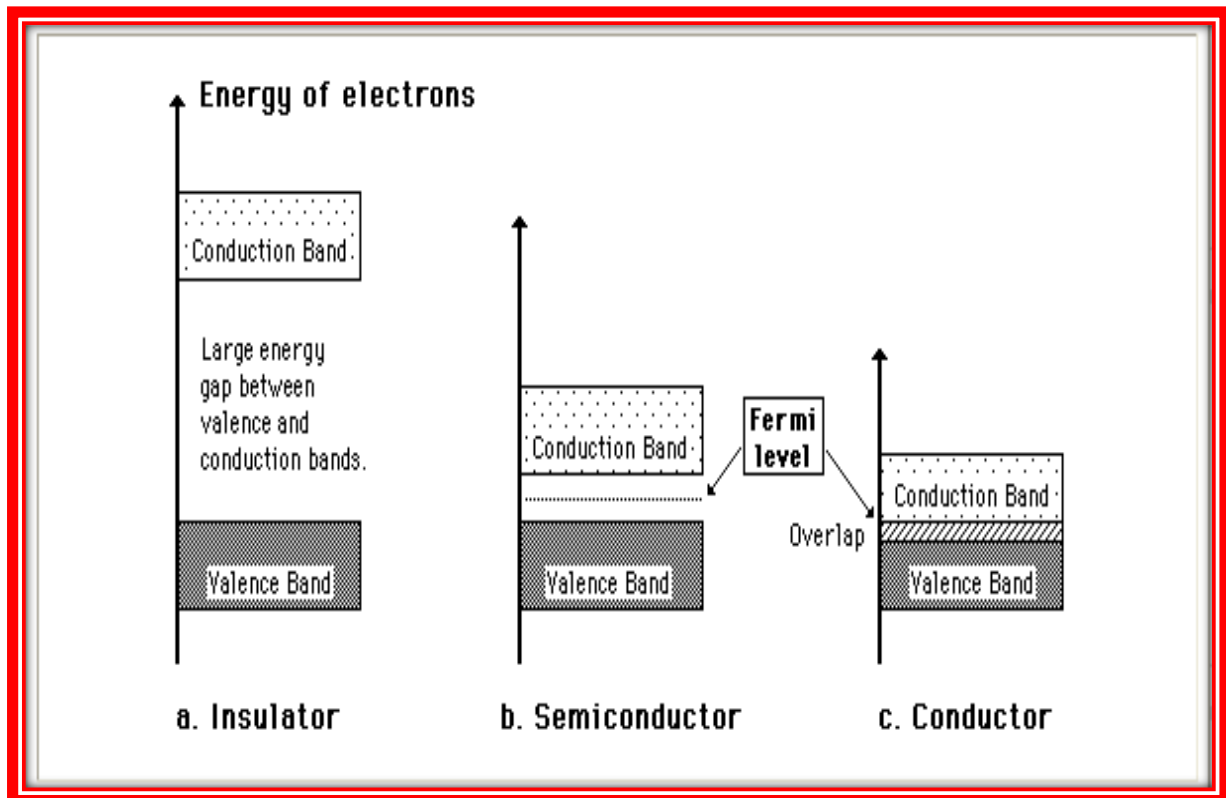


الشكل (2-2) : تكون حزم الطاقة في الماس [8]

يبين الشكل (3-2) مخططات حزم الطاقة لثلاثة اصناف من المواد الصلبة، الهوصلة والشبه
موصلة و العازلة، في المواد العازلة (Insulator) تكون فجوة الطاقة الممنوعة كبيرة اي بحدود
eV (5-10)^[50]، كما موضح في الشكل (3-2-a) ، وتكون مستويات الطاقة جميعاً في حزمة التكافؤ
مشغولة بالالكترونات في حين تكون جميع مستويات الطاقة في حزمة التوصيل شاغرة ولا يمكن للطاقة
الحرارية أو المجال الكهربائي ان يرفع الالكترونات التي في اعلى حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل ،
لذلك فان مثل هذه المواد لا تستطيع نقل التيار الكهربائي .

والمواد شبه الموصلة (Semiconductor) التي تكون فيها فجوة الطاقة متغيرة نسبياً بين قمة حزمة التكافؤ وقعر حزمة التوصيل إذ تتراوح ما بين $0 < E_g < 3.5 \text{ eV}$ كما في الشكل (3-2-b)، وتمتاز هذه المواد بكونها عازلة عند درجة الصفر المطلق (0K) حيث تكون حزمة التكافؤ مملوءة تماماً بينما تكون حزمة التوصيل فارغة تماماً، وان أي مقدار قليل من الطاقة (حرارة، مجال كهربائي) الذي تكتسبه الإلكترونات الواقعة في حزمة التكافؤ يمكن ان ينقل بعضها عبر فجوة الطاقة الممنوعة إلى حزمة التوصيل تاركة خلفها فجوات في حزمة التكافؤ.

كما يتضح من الشكل (3-2-c) ان حزمة التوصيل متداخلة مع حزمة التكافؤ في المواد الموصلة (Conductors) ويمكن للإلكترونات في قمة حزمة التكافؤ ان تنتقل إلى مستويات الطاقة الأعلى عند اكتسابها طاقة حركية (من المجال الكهربائي المسلط) وعليه يمكن للتيار ان يسري بسهولة^[51].



شكل (3-2) فجوة الطاقة [52]

a- العوازل b- أشباه الموصلات c- الموصلات

(5-2) العيوب في المواد البلورية

تنتظم الذرات في معظم المواد الصلبة بشكل متناسق بحيث تظهر المادة وكأنها مشيدة من وحدات بناء متشابهة ذات أشكال هندسية منتظمة، وفي مثل هذا الترتيب المنتظم من الممكن أن تُبنى بلورة كاملة برص متكرر للوحدة البنائية وتُعرف هذه الوحدة بالخلية البدائية (Primitive Cell)، وهذه الوحدات تتضمن جميع المعلومات المطلوبة لإعادة بناء مواقع الذرات في البلورة، ولكن غالباً ما تتخذ هذه الخلايا أشكالاً هندسية تختلف من مادة إلى أخرى في حين تحافظ على تماثل نفسه في وحدة الخلية للمادة الواحدة، وتكرارها في الاتجاهات الثلاثة ينتج منها بلورة كبيرة من المادة الصلبة [53].

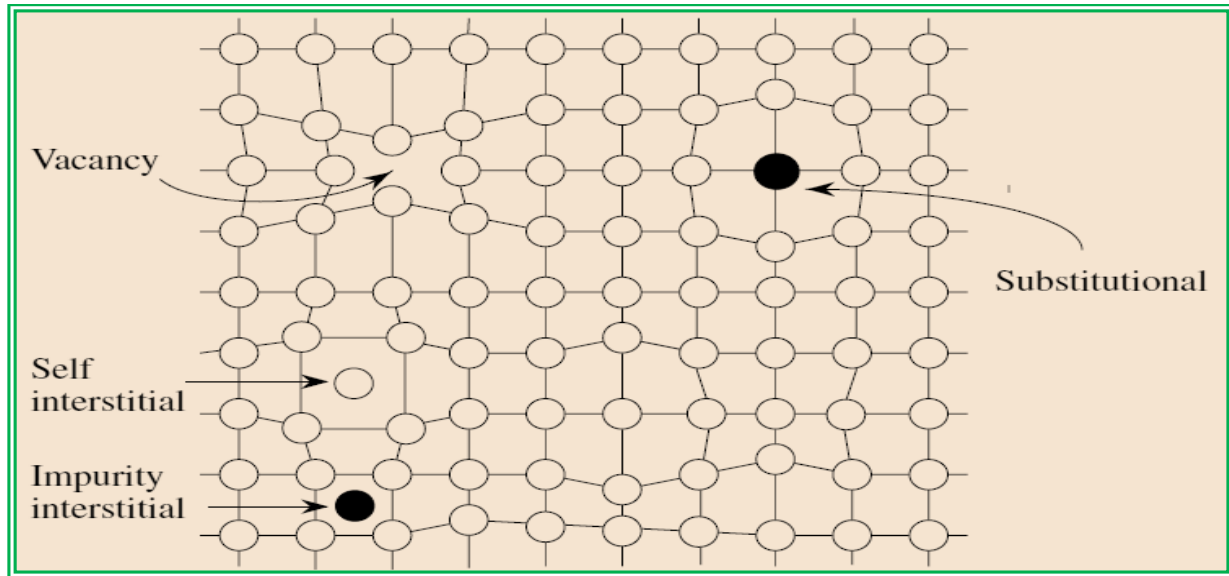
الا انه لا توجد بلورة خالية من العيوب، لذلك يعد أي انحراف أو اختلال في بلورة ما عن شبكتها الدورية المثالية أو تركيبها المثالي عيباً أو خللاً (Defect or Imperfection) لتلك البلورة أو عدم الاستمرار أو الانقطاع (Discontinuity) في تشكيله (Pattern) ذرات أو أيونات البلورة، ولذلك تدل كلمة عيب أو خلل في بلورة ما على كسر أو عدم انتظام (Irregularity) في التركيب البلوري.

ومهما يكن من الأمر فإن عيوب البلورة في بعض الحالات تكون مرغوباً فيها جداً كما هو الحال عند التطعيم (Doping) بذرات غريبة أو شائبة (Impurities).

ويمكن اجمال العيوب البلورية في عدة أشكال من أهمها [54]:

- ❖ غياب ذرة من موقعها، وبذلك تترك فراغاً في البلورة.
- ❖ احتلال ذرة لموقع غير مخصص لها بين الذرات.
- ❖ من الممكن غياب سلسلة طويلة من الذرات وفي هذه الحالة تعيد بالاسلوب الذي يقلل تشويه البلورة .
- ❖ وجود ذرات شائبة في البلورة.

يوضح الشكل (2-4) بعض انواع العيوب البلورية .

الشكل (2-4) بعض أنواع العيوب البلورية^[55]

(2 - 6) تشويب أشباه الموصلات

نظراً لكون التحكم في توصيلية أشباه الموصلات النقية عن طريق رفع درجة حرارتها يعد أمرٌ غير مرغوب فيه من الناحية العملية ولكثير من التطبيقات العلمية ، لما فيه من صعوبة التحكم في مثل هذه الخواص في مواد كهذه وبهذه الطريقة ، لذا يتم اللجوء إلى طريقة الأَشَابَةِ المتعمدة (Intentional Doping) والتي تُعد ذات فاعلية أكثر في تحسين خاصية التوصيل في أشباه الموصلات النقية وذلك بإضافة نسب قليلة ومحدودة من الشوائب إليها (Impurities) ، إذ تعمل هذه الشوائب على خلق مستويات طاقة موضعية جديدة في الفجوة المحظورة لشبه الموصل النقي^[56] ^[57] 0

إذ إن مثل هذه الشوائب تعمل على زيادة توصيلية شبه الموصل وإلى ظهور نوع واحد من حاملات الشحنة وتضائل أو اختفاء النوع الآخر^[58] 0

يمكن تقسيم الشوائب اعتماداً على كيفية احتلالها لمواقعها داخل البلورة إلى نوعين هما :

أولاً : شوائب استبدالية Substitutional Impurities

تعمل هذه الشوائب على طرد ذرات البلورة المستضيفة لها من مواقعها الاعتيادية (مواقع نقاط الشبكة الدورية للبلورة المستضيفة) ، لتحل محل تلك المواقع نفسها ، وهذا يكون ممكناً عندما يكون حجم الذرة الشائبة مقارباً لحجم ذرات البلورة المستضيفة أو أكبر منها قليلاً .

ثانياً : شوائب خلالية أو بينية Interstitial Impurities

تعمل هذه الشوائب على إقحام أنفسها في مواقع بين مواقع الشبكة الاعتيادية ، أي بين مواقع الذرات الأصلية للبلورة المستضيفة لها ، نظراً لما تمتاز به ذرات مثل هذا النوع من الشوائب من امتلاكها أنصاف أقطار ذرية صغيرة عند مقارنتها بالمسافات البينية الفاصلة بين المستويات الذرية للبلورة المستضيفة .

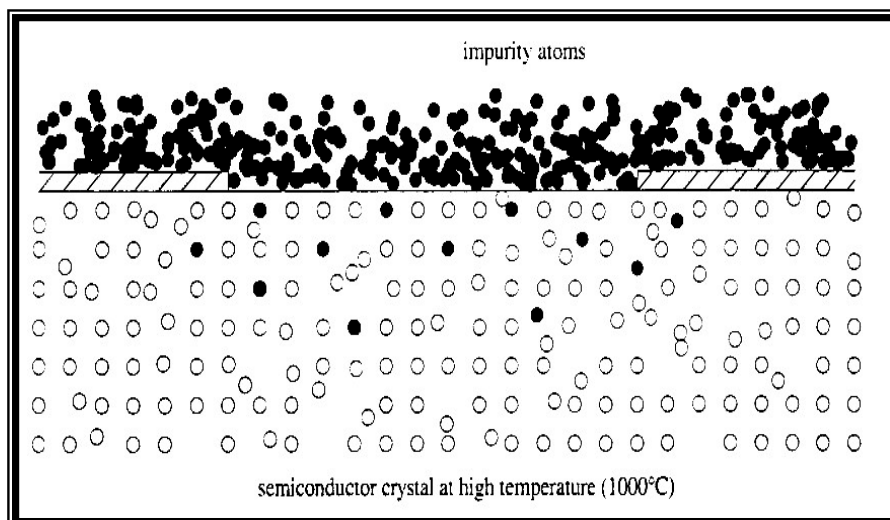
ومن الجدير بالذكر أنه فضلاً عن كون فارق أنصاف الأقطار الذرية لكل من ذرات المادة الشائبة والمادة المشابة ذات علاقة في تحديد طبيعة استجابة المادة المشابة لذرات المادة الشائبة من حيث الموقع والسلوك إلا أن نسبة الملء أو الرص (Packing Fraction) لطبيعة التركيب البلوري للمادة المشوبة فيما إذا كانت ذات تركيب بلوري مكعب نوع (SC) أو نوع (BCC) أو نوع (FCC) ، ذات تأثير إضافي في تحديد طبيعة هذه الاستجابة [56].

(7-2) طرائق اشابة أشباه الموصلات :-

تنقسم طرائق الاشابة إلى ما يأتي:

(1-7-2) الاشابة بالانتشار الحراري

تتم اضافة الشوائب في هذه الطريقة، وذلك بترسيب طبقة من المادة الشائبة على سطح مادة شبه الموصلة المراد تشويبها، ومن ثم توضع المادة في فرن مفرغ من الهواء، فتنتشر ذرات المادة الشائبة، في ذرات المادة المشوبة (الأصلية)، وتعتمد هذه الطريقة على كل من درجة الحرارة، و زمن الانتشار [60] ، كما في الشكل (5-2) ، وقد اعتمدت هذه الطريقة في عملية إشابة مادة الغشاء قيد الدراسة .



الشكل (5-2) اشابة أشباه الموصلات بطريقة الانتشار الحراري [61]

(2-7-2) الأشابة بالغرس الأيوني

في هذه الطريقة يتم وضع مادة شبة الموصل المراد تشويبها في جو مفرغ، و ثم بعد ذلك توضع المادة الشائبة على قرب منها، وعند تسليط فرق جهد معين سوف تنتقل الايونات الشائبة وتتاين ذراتها، وعند اصطدامها بسطح المادة شبة الموصل تحصل عملية الاشابة، وتعتمد هذه الطريقة على كل من طبيعة المادة الشائبة، وطبيعة المادة المشابك و طاقة التعجيل ^[62] 0

(3-7-2) الاشابة بالليزر

تتلخص هذه الطريقة بصهر المادة المراد الاشابه بها، باستخدام حزمة من الليزر ، إذ تعمل هذه الشوائب على الانتشار خلال مادة شبة الموصل ولعمق محدد، ويتم السيطرة على عمق الشوائب من خلال الطول الموجي المستخدم وقدرة الليزر، وكذلك الزمن، وعدد النبضات وهي الميزة التي تمتاز بها عن الطرائق الأخرى ^[62] .

(4-7-2) الاشابة بطريقة (الاذابة بالمحلول)

في هذه الطريقة تكون المادة المستخدمة في عملية تحضير الغشاء بهي ؤ محاليل وكذلك المادة المشوبة فيتم مزج المحاليل باستخدام النسبة الحجمي للسيطرة على نسبة الاشابة في مادة شبة الموصل مع الأخذ بنظر الاعتبار الوزن الجزيئي للمادة الشائبة و المشابة.

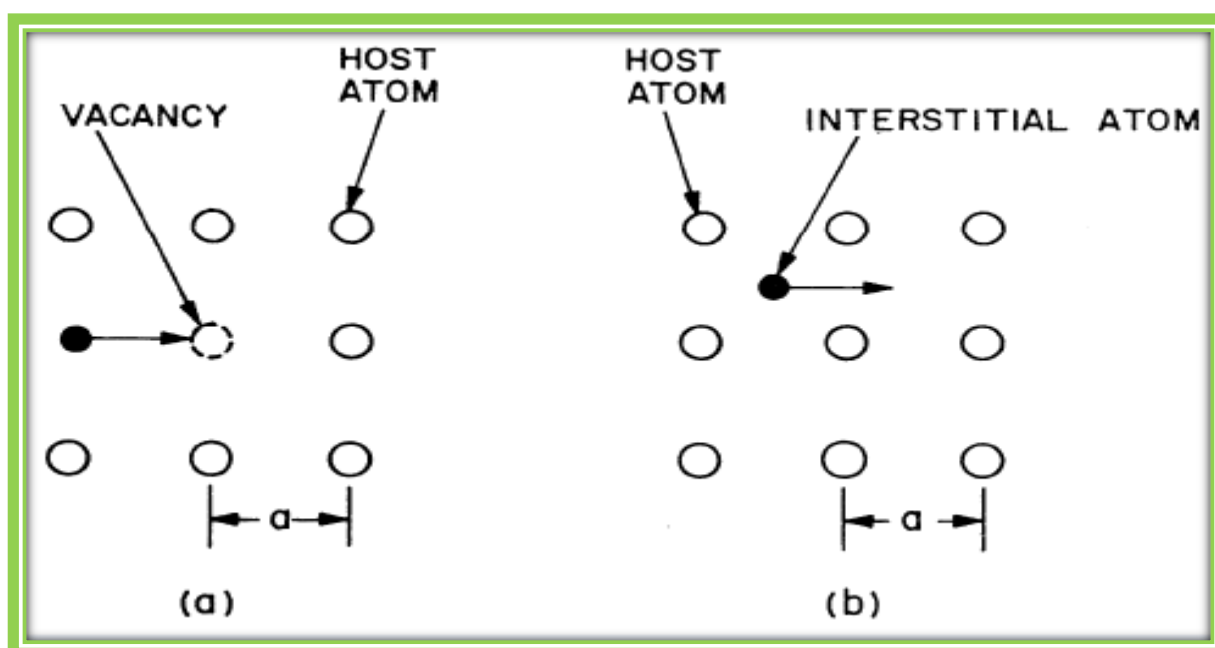
(5-7-2) الاشابة بالتبخير الثاني

يتم في هذه الطريقة استعمال حويضين للتبخير ، إذ توضع مادة الغشاء الرقيق في أحدهما وتوضع مادة التشويب في الأخرى ، ويتم التحكم بمقدار التيار المار في كل منهما بوس اطة محولة للتيار المتناوب لكل منهما ، ويتم تغيير مقدار فولتيتها بصورة تدريجية إلى أن تتم عملية الترسيب لكل من مادة الغشاء ومادة التشويب .

(8-2) معادلة الانتشار Diffusion Equation

في عملية التشويب بالانتشار الحراري ، تنتشر ذرات المادة الشائبة في المادة شبة الموصل بإحدى آليتين ، إما بعملية ملء الفراغات (Vacancies Filling) ، أو بعملية الإقحام الذري (Interstitial Atoms) ، كما مبين في الشكل (6-2) ، حيث تمثل الدوائر الفارغة ذرات

المادة المضيفة وهي شاغله مواقع متزنة في شبكة البلورة في حين تمثل الدوائر المملوءة ذرات المادة الشائبة ، فعند درجات الحرارة العالية تهتز ذرات الشبكة البلورية حول مواقع اتزانها بفعل الطاقة الحرارية التي اكتسبتها مؤهلةً إياها لتترك موقعها في شبكة البلورة ولتصبح كذرة مقحمة نفسها في مواقع بينية بين ذرات الشبكة (Interstitial Atom) منتجةً بذلك فراغاً شبيكياً سرعان ما يهتلى بوساطة ذرة شائبة مجاورة ، كما هو مبين بالشكل (6-2a) ، وعندئذٍ تدعى ميكانيكية الانتشار في هذه الحالة بالانتشار الفراغي (Vacancy Diffusion) ، أما إذا تحركت الشوائب بين ذرات شبكة المادة المشابهة من دون أن تشغل موقعاً من نقاط شبكة البلورة ، كما في الشكل (6- 2 b) ، عندئذٍ تدعى ميكانيكية الانتشار في هذه الحالة بالانتشار المقحم أو الانتشار البيني (Interstitial Diffusion) وغالباً ما تكون حركة الذرة الشائبة حركة مقحمة إذا كانت أصغر من ذرة المادة المشابهة [8] [63] 0



الشكل (6-2) يوضح ميكانيكيات الانتشار [8]

(a): ميكانيكية الفراغ (b): ميكانيكية الإقحام

أما معدل الانتشار (Diffusion Rate) وعلاقته بطاقة التنشيط فيعطى في المعادلة

الآتية [63] :-

$$D = D_0 \exp \left[\frac{-E_a}{k_B T} \right] \text{-----(1-2)}$$

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

(D₀) : ثابت الانتشار

(E_a) : طاقة التنشيط للانتشار

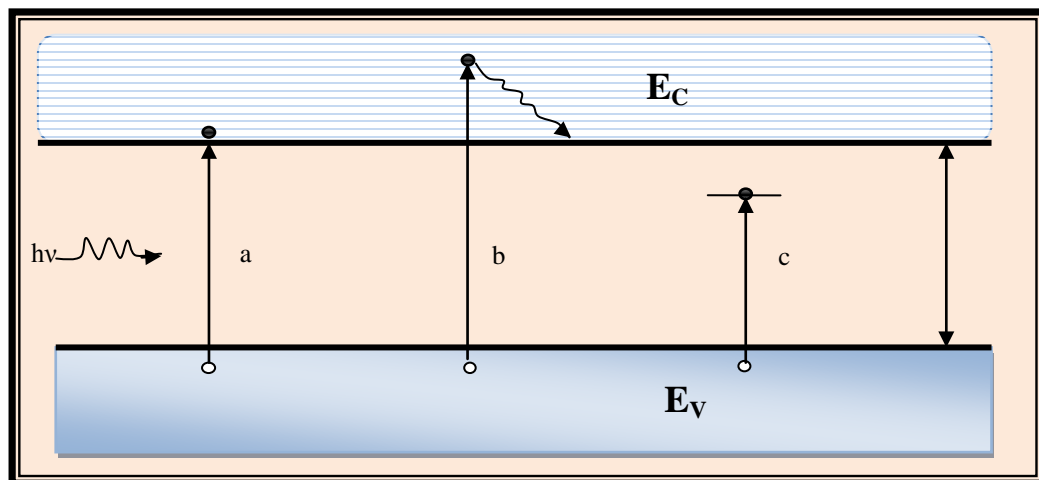
(k_B) : ثابت بولتزمان

(T) : درجة الحرارة المطلقة

Optical Absorption

(9-2) الامتصاص البصري :

يعد احدى الوسائل المهمة في دراسة فيزياء الحالة الصلبة، وتعتمد عمليات الامتصاص لشبه الموصل على طاقة الفوتونات الساقطة وفجوة الطاقة البصرية، فإذا كانت طاقة الفوتونات (hv) مساوية لفجوة الطاقة (E_g)، فإنه يتم امتصاص الفوتونات لتوليد أزواج من (الالكترون- فجوة) ، كما مبين في الشكل (7-2 a)، أما إذا كانت طاقة الفوتونات (hv) اكبر من فجوة الطاقة (E_g)، فإنه يمكن ان تحدث عملية انتقال في شبه الموصل، وينتج تهيج للإلكترون من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل، في حين تتبدد الطاقة الإضافية (hv - E_g) لتكون بصورة حرارة ، كما في الشكل (7-2 b). وأن كلاً من (a) و (b) يشار اليهما بالانتقال الذاتي (Intrinsic transitions) أو انتقال من حزمة إلى حزمة (band-to-band).



شكل (7-2) عملية الامتصاص لأشباه الموصلات^[8]
 -a انتقال ذاتي -b انتقال ذاتي -c انتقال غير ذاتي

اما اذا كانت طاقة الفوتونات ($h\nu$) اقل من فجوة الطاقة (E_g) فلن يتم الامتصاص الا بوجود مستويات طاقة في الفجوة المحظورة التي تكون ناجمة عن الشوائب الكيميائية والعيوب الفيزيائية، كما موضح في الشكل (7-2c) وتدعى هذه العملية بالانتقال غير الذاتي (Extrinsic transitions) [8].

(10-2) الخواص البصرية لأشباه الموصلات

Optical properties of semiconductor

دراسة الخواص البصرية لأشباه الموصلات تعطى إشارة واضحة في تحديد طبيعة استخدام مادة شبه الموصل، ولفهم آلية الانتقالات الالكترونية بين حزم الطاقة من خلال قياس امتصاص الأشعة للمادة شبه الموصلة ونفاذيتها ، وأن جميع المواد شبه ه الموصلة تشترك بصفة مهمة ومميزة في مخطط الامتصاصية ، وهي الزيادة الحاصلة في الامتصاصية عندما تصبح طاقة الإشعاع الممتصة مس اوية تقريباً إلى طاقة الفجوة ، التي تفصل بين حزمتي التكافؤ والتوصيل و التي تدعى بحافة الامتصاص الأساسية (Fundamental Absorption Edge) [55].

تمتاز حافة الامتصاص في اشباه الموصلات بثلاث مناطق كما موضحة بالشكل (8-2) .

A – منطقة الامتصاص العالي High Absorption Region

يكون معامل الامتصاص في هذه المنطقة أكبر او يساوي ($\alpha \geq 10^4 \text{cm}^{-1}$) ويعزو هذا الامتصاص العالي إلى الانتقالات الإلكترونية من المستويات الممتدة في حزمة التكافؤ إلى المستويات الممتدة في حزمة التوصيل كما موضح في الجزء A من الشكل (8-2) ويمكن من خلال هذه المنطقة التعرف على فجوة الطاقة الممنوعة (E_g) ويعطي معامل الامتصاص (α) في هذه المنطقة بالعلاقة الاتية [45]

$$\alpha h\nu = B_0 (h\nu - E_g^{\text{opt}})^r \text{-----(2-2)}$$

حيث :

B_0 : ثابت يعتمد على طبيعة المادة .

$h\nu$: طاقة الفوتون بوحدات (eV).

E_g^{opt} : فجوة الطاقة البصرية بوحدات (eV).

r : معامل اسي يأخذ القيم (2 , 3 , 1/2 , 3/2) اعتماداً على نوع المادة ونوع الانتقال الالكتروني.

B: المنطقة الاسية Exponential Region

تتراوح قيمة معامل الامتصاص في هذه المنطقة ($1 < \alpha < 10^4 \text{ cm}^{-1}$) ويتم الانتقالات الإلكترونية في هذه المنطقة من المستويات الممتدة في حزمة التكافؤ إلى المستويات الموضعية في حزمة التوصيل وبلعكس من المستويات الموضعية في حزمة التكافؤ إلى المستويات الممتدة في حزمة التوصيل.

ويمكن التعبير عن معامل الامتصاص في هذه المنطقة على وفق علاقة أورباخ (Urbach) ومنها يمكن إيجاد عرض ذبول المستويات الموضعية داخل فجوة الطاقة الممنوعة وكما يلي:

$$\alpha = \alpha_0 \exp (h\nu / E_t) \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

حيث إن:

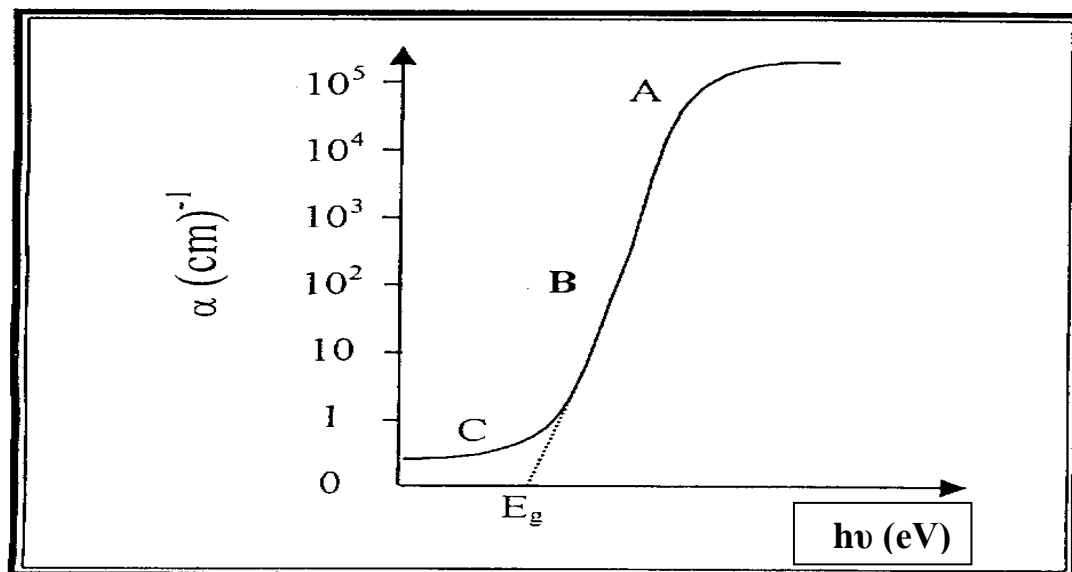
α_0 : ثابت يعتمد على نوع المادة.

E_t : تمثل عرض الذيل (Tail Width) للحالات الموضعية [45] وتتمثل هذه المنطقة في

الجزء B من الشكل (8-2) .

C – منطقة الامتصاص الضعيف Low Absorption Region

يكون معامل الامتصاص في هذه المنطقة قليل جداً ($\alpha < 1 \text{ cm}^{-1}$) ، وتعزى الانتقالات بين الأنطقة هنا إلى كثافة الحالات داخل الفسحة الحركية الناتجة من العيوب التركيبية كما يوضحها الجزء (C) من الشكل (8 -2) [64].



شكل (8-2) المناطق الرئيسية لحافة الامتصاص البصري [65]

Electronic Transitions (11-2) الانتقالات الإلكترونية

تقسم الانتقالات الإلكترونية إلى نوعين [63][66].-

(1-11-2) الانتقالات المباشرة (Direct Transitions)

ويكون فيها قعر حزمة التوصيل وقمة حزمة التكافؤ في فضاء الموجة عند النقطة نفسها $k\text{-space}$ ($\Delta k=0$)، وفي هذه الحالة سوف يظهر الامتصاص عند $(h\nu=E_g)$ وهذا النوع يحدث دون تغيير ملحوظ في الزخم، وهناك نوعان من الانتقالات المباشرة، فعند حدوث الانتقال بين أعلى نقطة وأوطأها لحزمتي التكافؤ والتوصيل فإنه يسمى الانتقال المباشر المسموح (Allowed Direct Transition)، أما عند حدوث الانتقالات بين النقاط المجاورة لأعلى نقطة وأوطأها فإنه يسمى الانتقال المباشر الممنوع (Forbidden Direct Transition). ومعامل الامتصاص لهذا النوع من الانتقالات يمكن حسابه من المعادلة (2-2).

فإذا كان $(r=1/2)$ يكون الانتقال المباشر مسموحاً (Allowed Direct Transition)، أما إذا كان $(r=3/2)$ فإن الانتقال يكون مباشراً ممنوعاً (Forbidden Direct Transition)، كما في الشكل (9-2).

(2-11-2) الانتقالات غير المباشرة (Indirect Transitions)

في الانتقالات البصرية الإلكترونية غير المباشرة يكون قعر حزمة التوصيل وقمة حزمة التكافؤ في مناطق مختلفة لفضاء (k) ، وهذا النوع من الانتقالات يحدث بمساعدة الفونون من أجل حفظ الزخم (Conservation of Momentum) الناتج من تغيير متجه الموجة (Wavevector) للإلكترون. وهناك نوعان من الانتقالات غير المباشرة، فعندما تكون الانتقالات بين أعلى نقطة في حزمة التكافؤ وأوطأ نقطة من حزمة التوصيل الموجودة في مناطق مختلفة لفضاء (k) فإنه يسمى الانتقال غير المباشر المسموح.

أما إذا كان الانتقال بين نقاط مجاورة لأعلى نقطة وأوطأها في حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل فإنه يسمى الانتقال غير المباشر الممنوع، كما في الشكل (9-2).

معامل امتصاص هذا النوع من الانتقالات يمكن الحصول عليه من المعادلة الآتية :

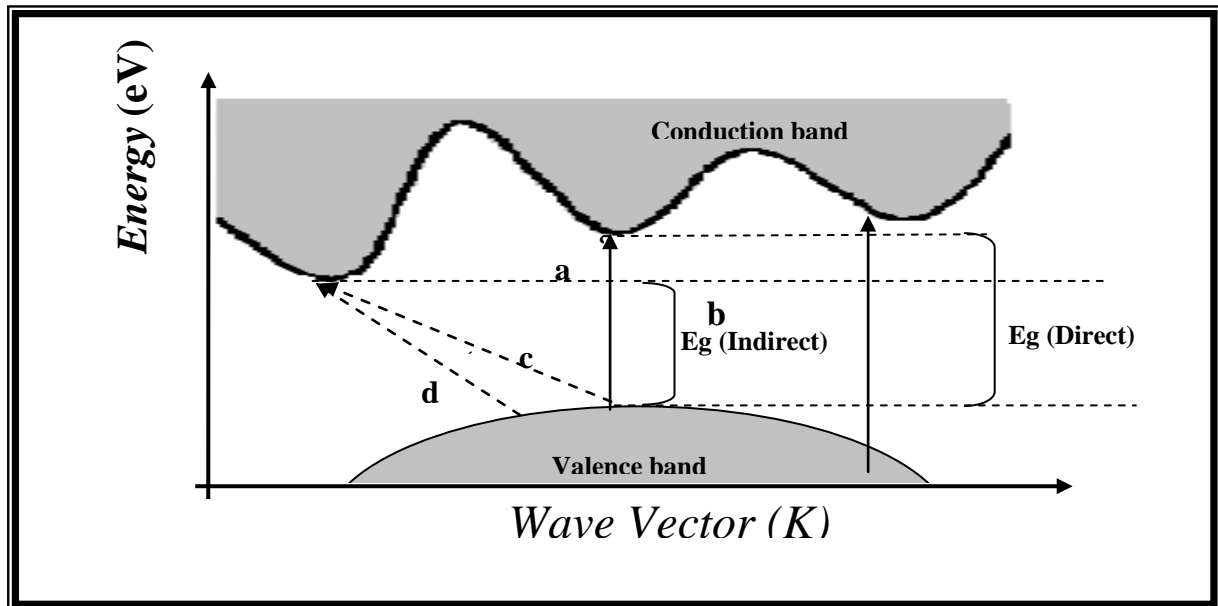
$$(\alpha h\nu) = B (h\nu - E_g \pm E_{ph})^r \dots\dots\dots (4-2)$$

حيث ان

r: تساوي (2) في الانتقالات غير المباشرة المسموحة، و r تساوي (3) في الانتقالات غير المباشرة الممنوعة.

E_{ph}: طاقة الفونون المساعد.

(+): امتصاص الفونون، (-): انبعاث الفونون.



الشكل (2-9) أنواع الانتقالات الإلكترونية [66]

- (a) انتقال مباشر مسموح
 (b) انتقال مباشر ممنوع
 (c) انتقال غير مباشر مسموح
 (d) انتقال غير مباشر ممنوع

(12-2) الامتصاصية والنفاذية والانعكاسية

1- الامتصاصية Absorbance

تعرف الامتصاصية (A) بأنها النسبة بين شدة الإشعاع الممتص الذي يمتصه الغشاء (I_A) إلى الشدة الأصلية للإشعاع الساقط عليه (I₀)، وتكون الامتصاصية كمية خالية من الوحدات، وتعطى بالعلاقة الآتية [50]:

$$A = I_A / I_0 \dots\dots\dots (5-2)$$

2- النفاذية Transmittance

تعرف النفاذية (T) بأنها النسبة بين شدة الإشعاع النافذ عبر الغشاء (I_T) إلى الشدة الأصلية للإشعاع الساقط عليه (I_0)، وهي أيضاً كمية خالية من الوحدات^[67]، وتعطى بالعلاقة الآتية^[68]:

$$T = I_T / I_0 \dots\dots\dots (6-2)$$

3- الانعكاسية Reflection

تعرف الانعكاسية (R) بأنها النسبة بين شدة الإشعاع المنعكس عن الغشاء باتجاه معين إلى الشدة الأصلية للإشعاع الساقط عليهِ، وتعطى في المعادلة الآتية^[69]:

$$R = \frac{I_R}{I_0} \dots\dots\dots (7-2)$$

وترتبط الامتصاصية (A) بالانعكاسية (R) والنفاذية (T) كما في العلاقة الآتية^[70] 0

$$A + R + T = 1 \dots\dots\dots (8-2)$$

(13-2) الثوابت البصرية:

1- معامل الامتصاص (α) Absorption Coefficient

يعرف معامل الامتصاص (α) بأنه نسبة النقصان في فيض طاقات الإشعاع الساقط بالنسبة إلى وحدة المسافة باتجاه انتشار الموجة داخل الوسط، ويعتمد معامل الامتصاص على طاقة الفوتونات الساقطة وعلى خواص شبه الموصل، ويمكن معرفة طبيعة الانتقالات الالكترونية إن كانت مباشرة أو غير مباشرة من خلال قيم معامل الامتصاص^[71]، ويمكن إيجاده من المعادلة الآتية^[59] 0

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (9-2)$$

إذ إن:

(I)، (I_0): شد الإشعاع الساقط والنافذ من الغشاء على التوالي.

α: معامل الامتصاص.

t: سمك الغشاء.

وبعد إعادة صياغة المعادلة (9-2) أعلاه نحصل على:

$$\alpha = 2.303 A/t \dots \dots \dots (10-2)$$

2- معامل الخمود (K₀) Extinction Coefficient

يُعرف معامل الخمود (K₀) بأنه مقدار التوهين الحاصل في شدة الأشعة الكهرومغناطيسية، نتيجة تفاعل الأشعة الكهرومغناطيسية وجسيمات مادة الغشاء الرقيق، ويمكن حساب معامل الخمود باعتماد المعادلة التالية التي يرتبط فيها بمعامل الامتصاص [67]:

$$k_0 = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \dots \dots \dots (11-2)$$

إذ إن:

λ: الطول الموجي (cm).

α: معامل الامتصاص (cm⁻¹)

ومن معادلة معامل الانكسار المعقد نجد أن معامل الخمود يمثل الجزء الخيالي لهذه المعادلة، بحسب العلاقة الآتية:

$$N = n_0 - ik_0 \dots \dots \dots (12-2)$$

إذ إن:

N: معامل الانكسار المعقد.

n₀: الجزء الحقيقي لمعامل الانكسار المعقد.

3- معامل الانكسار (n₀) Refractive Index

يُعرف معامل الانكسار بأنه النسبة بين سرعة الضوء في الفضاء الحر وسرع نقافي المادة، ويرتبط مع انعكاسية الغشاء على وفق المعادلة الآتية [72]:

$$R = \left[\frac{(n_0 - 1)^2 + k_0^2}{(n_0 + 1)^2 + k_0^2} \right] \dots \dots \dots (13-2)$$

إذ إن: k₀ يمثل معامل الخمود

ويمكن إيجاد معامل انكسار مادة الأغشية المحضرة عن طريق طيفي النفاذية والامتصاصية وذلك بإيجاد طيف الانعكاسية من المعادلة (8-2) السابقة، ومن ثم تطبيق العلاقة الآتية [73]:

$$n_o = \left[\left(\frac{1+R}{1-R} \right)^2 - (k_o^2 + 1) \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1+R}{1-R} \dots \dots \dots (14-2)$$

4- ثابت العزل (ε) Dielectric Constant

عندما يحدث التفاعل بين الضوء وشحنات الوسط بسبب عم لتي امتصاص الطاقة في المادة، ينتج من هذا التفاعل استقطاب ذلك الوسط، ويوصف هذا الاستقطاب عادة بثابت العزل المعقد للوسط (ε) الذي يعرف بالعلاقة الآتية [74]:

$$\epsilon = \epsilon_r - i\epsilon_i \dots \dots \dots (15-2)$$

إذ إن:

ε: ثابت العزل المعقد.

ε_r: الجزء الحقيقي لثابت العزل.

ε_i: الجزء الخيالي لثابت العزل.

ومن العلاقة التي تربط ثابت العزل بمعامل الانكسار [75]:

$$\epsilon = N^2 \dots \dots \dots (16-2)$$

نستطيع أن نجد قيمتي العزل الحقيقي والخيالي بعد التعويض عن قيمة (N) في المعادلة (15-2) لنحصل على المعادلة الآتية:

$$(n_o - ik_o)^2 = \epsilon_r - i\epsilon_i \dots \dots \dots (17-2)$$

وبحل هذه المعادلة نحصل على:

$$\epsilon_r = n_o^2 - k_o^2 \dots \dots \dots (18-2)$$

$$\epsilon_i = 2n_o k_o \dots \dots \dots (19-2)$$

14-2 التركيب البلوري وقانون براك Crystal Structure and Bragg's Law

جرت العادة على استخدام الأشعة السينية (X-ray) للتعرف على طبيعة التركيب البلوري لمادة ما ودراسة الترتيب الذري أو حتى تصويره باستخدام أشعة ذات طول موجي يقع في حدود المسافة البينية بين الذرات.

وقد تمكن العالم الإنكليزي (W. L. Bragg) من استنتاج قانونه المبني على أساس أن الفرق في المسار بين شعاعين يساوي مضاعفات الطول الموجي، ويكتب قانون براك في الصورة الآتية [86]:

$$n\lambda = 2 d_{hkl} \sin \theta \dots\dots\dots (20-2)$$

حيث إن :

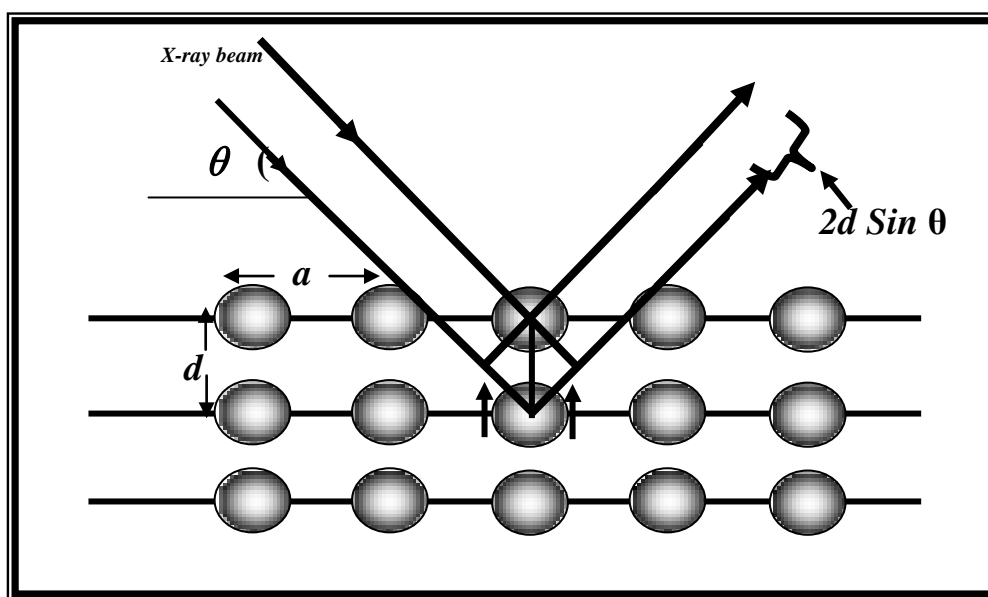
θ : زاوية براك.

λ : الطول الموجي.

n : عدد صحيح يسمى رتبة الانعكاس ($n = 1, 2, 3, \dots$).

d_{hkl} : المسافة البينية لمجموعة المستويات (hkl).

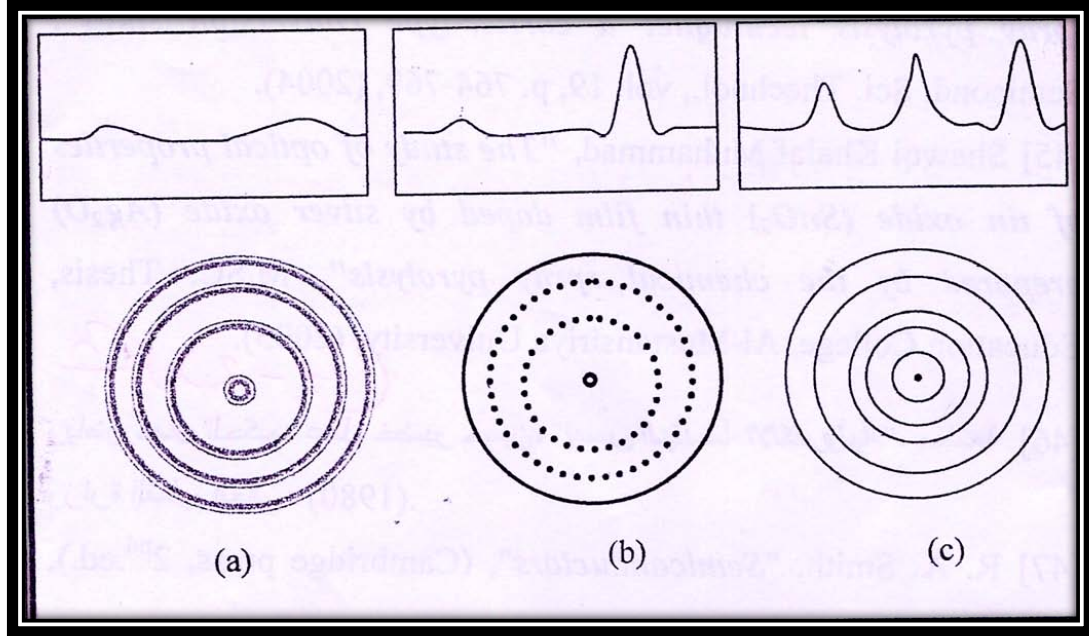
أن شرط الانعكاس الأساسي لحدوث انعكاس براك (Bragg's Reflections) هو تحقيق المتباينة ($\lambda \leq 2d_{hkl}$). ويعد استخدام الأشعة السينية لدراسة البنية البلورية من أسهل الطرق كما في الشكل (10-2).



الشكل (10-2) حيود براك [76]

وتتم معرفة التركيب البلوري الداخلي للمادة من خلال دراسة نمط الحيود الناتج من تشتت الأشعة السينية (x-ray) ومن ثم فإن نمط الحيود يظهر بشكل بقع مضيئة (Spots) متميزة ومنفصلة عن بعض بالنسبة للمواد أحادية التبلور (Single Crystal) وبشكل حلقات مضيئة حادة (Sharp rings) متركزة فيما يتعلق بالمواد متعددة البلورات (Polycrystalline)، أما المواد العشوائية

(Amorphous) فان نم ط الحيود لها يظهر بشكل حلقات عريضة (Broad Hallows) متداخلة ومتحدة المركز كما في الشكل (2-11)، وان شدة اضاءتها تخفت سريعاً مع زيادة زاوية الحيود^[77].



الشكل (2-11) حيود الأشعة السينية

a- بلورات عشوائية b - احاديه c - متعدد البلورات^[77]

وبالإمكان الإفادة من طيف الحيود للحصول على بعض الثوابت والمعادلات منها :

1- ثوابت الشبكة Lattice Constant

في حالة التركيب السداسي (Hexagonal) الذي يمثل النمط السائد لتركيب (CdSe)، تتمثل أبعاد الشبكة بـ (a,b,c)، إذ إن (a=b) الموضح في الشكل (1-2) ، لذلك يمكن حساب ثوابت الشبكة (a) و (c) باستعمال طيف (XRD) عن طريق الصيغة الآتية^[71]:

$$\frac{1}{d^2_{hkl}} = \frac{4}{3} \left[\frac{h^2+hk+k^2}{a^2} \right] + \frac{l^2}{c^2} \dots\dots\dots(21-2)$$

حيث hkl معاملات ميلير

2- معدل الحجم الحبيبي Average Grain Size

يمكن إيجاد معدل الحجم الحبيبي باعتماد علاقة شيرر (Scherer's formula) قبل التصحيح^[78]:

$$G.S = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta} \dots \dots \dots (22-2)$$

إذ إن:

G.S: معدل الحجم الحبيبي بـ (nm)

β : عرض منتصف الشدة (FWHM) مقاس بالزاوية نصف القطرية.

3- كثافة الانخلاعات وعدد البلورات

Dislocation Density and Number of Crystals

كثافة الانخلاعات هي عدد خطوط الانخلاعات التي تقطع وحدة مساحة في البلورة، وتتمثل بالنسبة بين الطول الكلي لجميع خطوط الانخلاعات وحجم البلورة، وتحسب قيمتها باستخدام العلاقة الآتية [78]:

$$\delta = \frac{1}{(G.S)^2} \dots \dots \dots (23-2)$$

δ : كثافة الانخلاعات

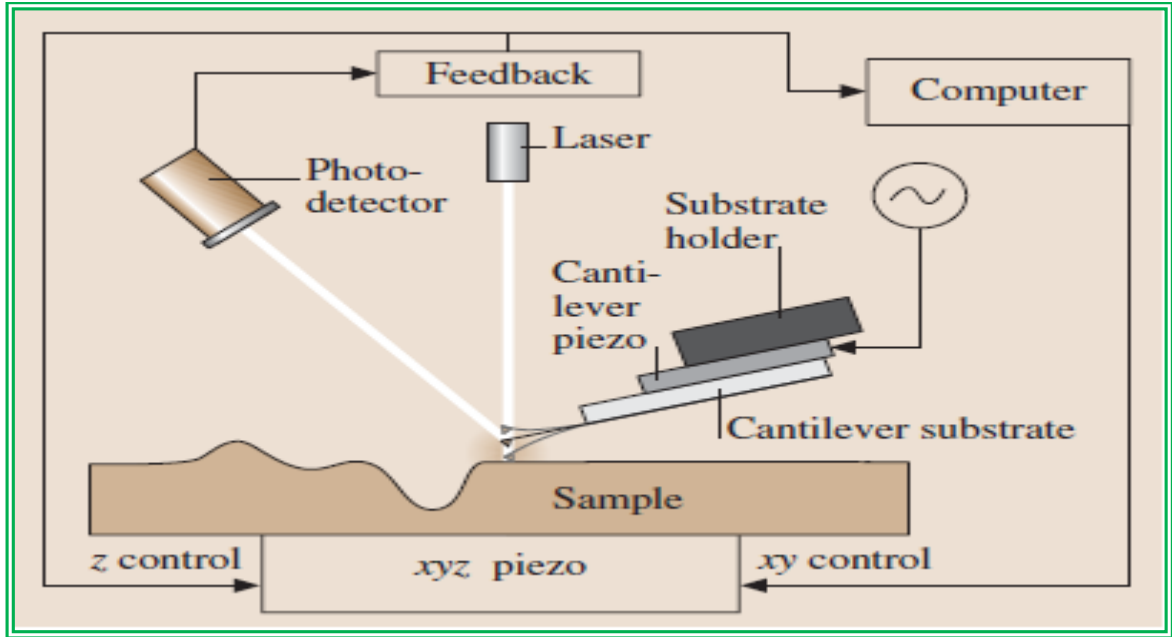
G.S: معدل الحجم الحبيبي (nm)

اما عدد البلورات (N_o) لوحدة المساحة فيتم ايجادها على وفق العلاقة الآتية [93]:

$$N_o = \frac{t}{(G.S)^3} \dots \dots \dots (24-2)$$

(15-2) مجهر القوة الذرية Atomic force microscopy (AFM)

يستخدم جهاز مجهر القوة الذرية في مجال تقنية النانو لمعرفة طوبوغرافية السطوح ذات الابعاد النانوية والميكروية ورسمها ، ويتكون مجهر القوة الذرية من ذراع (Cantilever) في نهايته مجس (probe) مكون من راس حاد (Tip) يستخدم لمسح سطح العينة ، وهذا الذراع مصنوع من مادة زيريد السيليكون (Si_3N_4) بنصف قطر في حدود بضع نانومترات ، ويوضح الشكل (2 - 12) رسم تخطيطي لمجهر القوة الذرية [80]



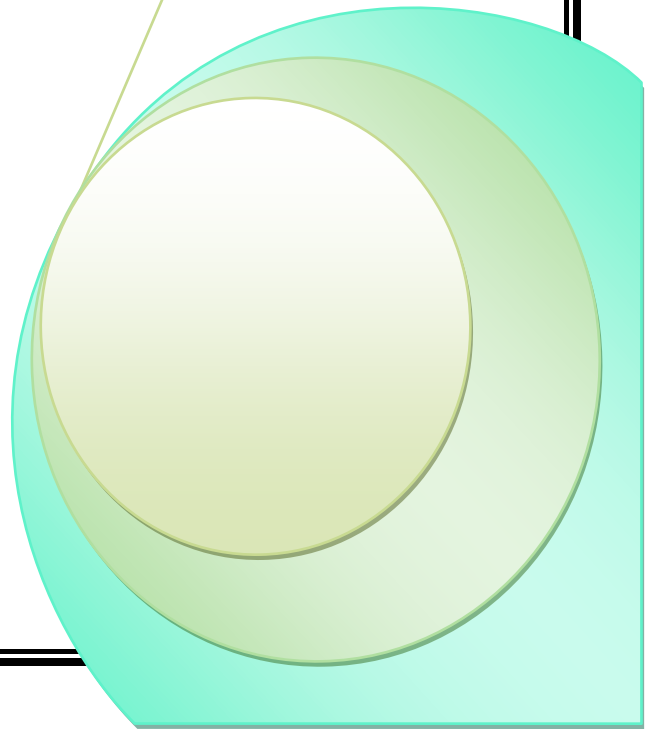
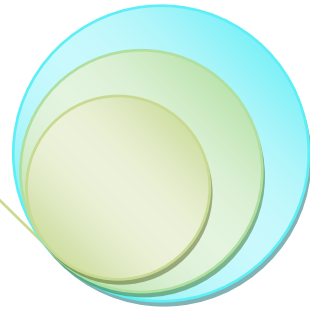
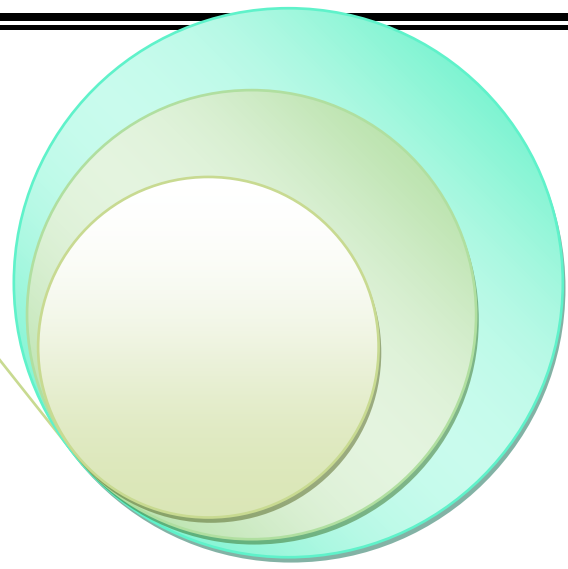
الشكل (2-12) رسم تخطيطي يمثل مجهر القوة الذرية [81]

(16-2) المعاملة الحرارية (التلدين) Annealing

إن عملية تعريض الغشاء لدرجة حرارية معينة في مدة زمنية محددة تدعى بالمعاملة الحرارية، وقد تجرى المعاملة الحرارية بالفراغ أو بوجود غاز معين أو بالهواء، ويتم إجراء المعاملة الحرارية باستخدام افران حرارية عندها تدعى هذه العملية بالتلدين الحراري التقليدي أو باستخدام تقنية الليزر ويسمى بالتلدين الحراري السريع، ويختلفت أثيرها بحسب نوع المادة وظروف التلدين من درجة الحرارة ونوع الغاز المحيط.

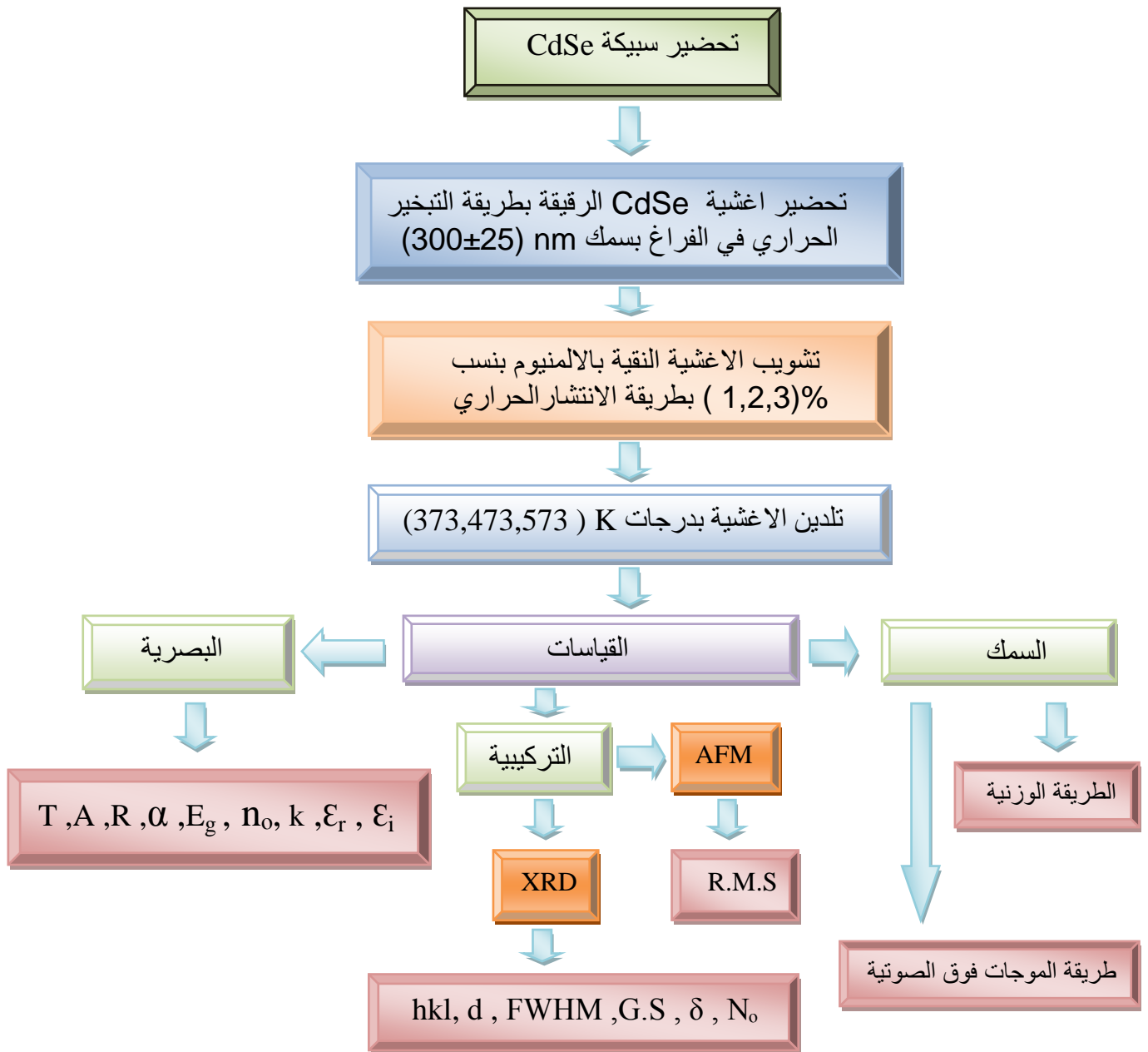
إن المعاملة الحرارية تمنح الذرات الطاقة الحركية اللازمة لاعادة ترتيب نفسها في الشبكة البلورية ومن ثم تؤدي إلى تنظيم التركيب البلوري للمادة و التقليل من العيوب البلورية الموجودة فيها، لذلك تستعمل المعاملة الحرارية في بعض الاحيان للحصول على الحالة المتبلورة للمواد في حالة كون الاغشية المحضرة من الاغشية العشوائية، كما ان عملية تلدين الاغشية الرقيقة قد تسبب احياناً تقليل مقاومة الغشاء نتيجة لتكوين مستويات موضعية داخل فجوة الطاقة ومن ثم زيادة التوصيلية، أو تسبب زيادة في مقاومة الغشاء ومن ثم نقصان في التوصيلية نتيجة لازالة المستويات الموضعية داخل فجوة الطاقة أو نتيجة لتفاعل مادة الغشاء مع الاوكسجين عند اجراء التلدين في حيز من الهواء [82].

الفصل الثالث الجانب العملي



Introduction المقدمة (1-3)

يتضمن هذا الفصل استعراض الجانب العملي من البحث الذي يشمل مراحل تحضير سبيكة CdSe وتحضير الاغشية النقية والمشوبة بالالمنيوم (Al) بنسب (1,2,3) % باستخدام طريقة التبخير الحراري الفراغي وقياس سمك هذه الاغشية وتلدينها بدرجات حرارية (373,473,573) K وفحص تركيبها باستخدام جهاز حيود الاشعة السينية وكيفية اجراء القياسات البصرية والتعرف على الاجهزة المستخدمة فيها . ويوضح الشكل (1-3) مخططا للخطوات المتبعة في العمل.



الشكل (1-3) مخطط الجزء العملي

(2-3) تحضير سبيكة CdSe :

تم تحضير سبيكة CdSe بنجاح وقد تضمنت العملية ثلاث مراحل هي :

1 - مزج عنصر السيلينيوم (Se) والكادميوم (Cd) ذات النقاوه العالية البالغة % (99.99)

المجهزه من شركة (FLUKA) بنسب ذرية متساوية وذلك باستخدام ميزان الكتروني حساس من نوع (Precisa) ذي اربع مراتب عشرية.

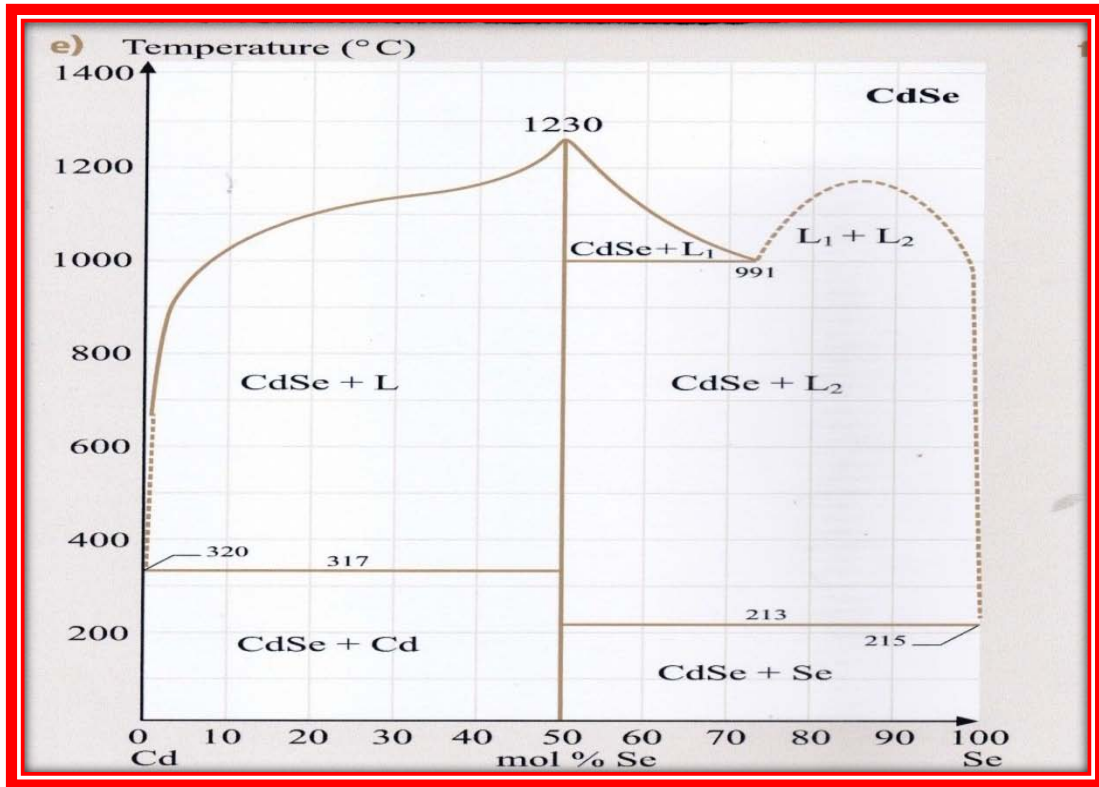
2 - استخدام انبوبة من زجاج الكوارتز طولها (20 cm) وقطرها الداخلي (1.1 cm) تغسل

جيدا بالماء والصابون السائل ثم توضع اسفل الماء الجاري لمدة عشر دقائق وذلك للتخلص من المواد العالقة والدهون العضوية ، بعد ذلك يغسل الانبوب بوس اطة الكحول جيدا ثم يمسح بوس اطة قماش خاص . يغلق احد طرفي الانبوب بوس اطة الشعلة (الاوكسي استيلين) ثم يوضع المزيج داخل الانبوب بوس اطة قمع بعد ذلك يربط الطرف المفتوح للانبوبة الى مضخة التفريغ الدوارة كما في الشكل (2-3) كي تقوم بتفريغ الهواء من داخل الانبوب ، وعندما يصل ضغط الهواء الى (10^{-2} mbar) يتم قطع الانبوبة بوس اطة الشعلة الاوكسي استيليني 0

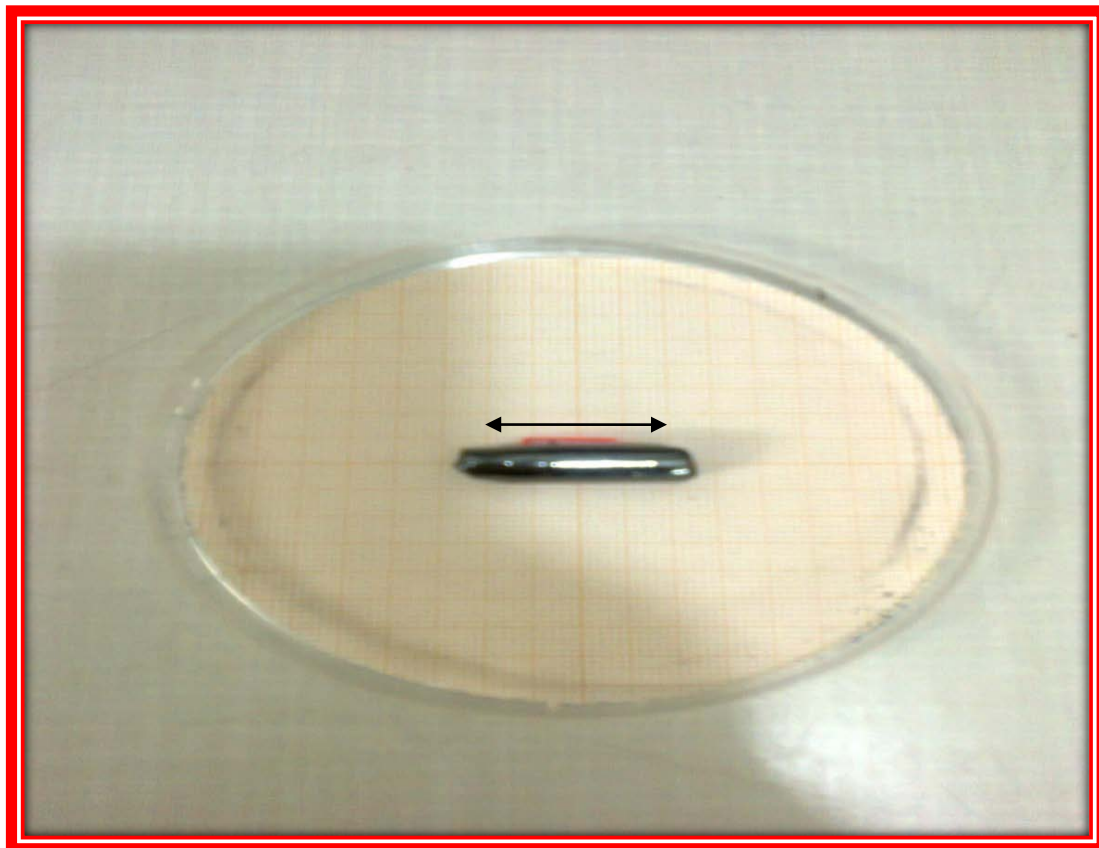
3 - توضع الانبوبة داخل الفرن بصورة عامودية بعد ذلك ترفع درجة حرارة الفرن بصورة تدريجية الى ان تصل الى (1550 K) وبلاعتماد على المخطط الطوري للمادة كما في الشكل (3-3) وتترك عند تلك الدرجة لمدة اربع ساعات، مع تحريكها بين مدة واخرى وذلك لضمان تجانس الخليط. ثم بعدها تخرج الانبوبة من الفرن ونقوم بعملية اخماد سريع للمنصهر بالماء البارد ثم تكسر الانبوبة بحذر وتستخرج السبيكة الموضحة في الشكل (4-3) و تطحن في جفنة خزفية ثم توضع في انبوبة نظيفة لاستعمالها في عملية تحضير الغشاء الرقيق.



الشكل (2-3) منظومة تحضير السبائك



الشكل (3-3) المخطط الطوري للمركب سيلينيد الكاديوم [19]



الشكل (4-3) سبيكة CdSe طولها 4cm

(3-3) تهيئة القواعد الزجاجية

تم تحضير الأغشية الرقيقة على قواعد زجاجية مصنوعة من الزجاج البورسليكات (ذات المنشأ الألماني) وبالأبعاد $(2.5 \times 1.9 \times 0.1 \text{ cm}^3)$ ، ومن المعروف ان للشوائب تأثيراً كبيراً في دقة القياسات الناتجة ، لذلك اجريت عملية تنظيف القواعد الزجاجية للحصول على قواعد خالية من الشوائب بعدة مراحل هي:

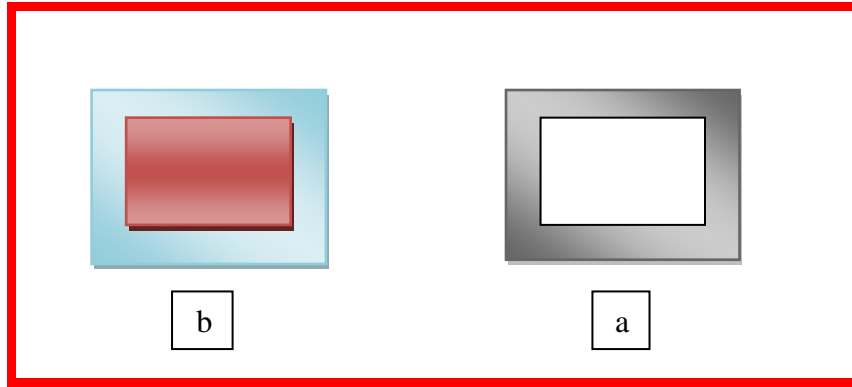
- A. تغسل بالماء الجاري وأحد مساحيق التنظيف ، للتخلص من البقع أو بقايا مواد أو أتربة عالقة بها.
- B. توضع تحت الماء الجاري لمدة (15) دقيقة لضمان زوال مسحوق التنظيف.
- C. تُغمر بحوض من الماء المقطر (Distill Water) لتُغسل ألياً بوس اطة جهاز (Ultrasonic) لمدة (15) دقيقة ، ويوضح الشكل (3-5) صورة لجهاز التنظيف بالموجات فوق الصوتية (Ultrasonic) المستخدم.
- D. تُغمر بالحوض ذاته بحول الايثانول النقي لتُغسل ألياً بوسرطة الجهاز السابق نفسه و بالمدة نفسها .
- E. تجفف بعد ذلك بوسرطة قماش خاص و توضع بحافظة خاصة بالقواعد الزجاجية (Petri dish) لحين استعمالها.



الشكل (3-5) جهاز التنظيف بالموجات فوق الصوتية

(4-3) تحضير الأقنعة Preparation of Masks

تستعمل الأقنعة لتحديد الشكل الهندسي المطلوب لغشاء المادة المبخرة والخاصة لكل قياس ، وهي عبارة عن قطع من الألمنيوم أو النحاس ذات مساحة مساوية لمساحة الأرضية الزجاجية أو الغرض الذي صممت من أجله . يحفر بداخلها أشكال هندسية ب استعمال مثقاب خاص وتكون هذه الأشكال بأبعاد مختلفة بحسب نوع الاستخدام وتوضع هذه الأقنعة على سطح الأرضية بعد تنظيفها ، ويبين الشكل (3-6) نوع القناع المستخدم .



الشكل (3-6) القناع المستخدم والشكل النهائي للأنموذج
a - قبل الترسيب b - بعد الترسيب

(5-3) منظومة ترسيب الأغشية: Coating Unit System

تمت في هذه الدراسة استخدام منظومة الترسيب من نوع (Edward)، كما في

الشكل (3-7) التي تتكون من الأجزاء الآتية:-

1- حاوية الفراغ (Vacuum Chamber) :

وتسمى حجرة الترسيب وهي عبارة عن اسطوانة مصنوعة من مادة (Stainless

Steel) كي تقاوم الصدأ، وتتحمل الضغط الواطئ و درجات الحرارة العالية ، وتتضمن

حجرة الترسيب الأجزاء الآتية:-

a. حوض التسخين (Boat): يصنع بأشكال مختلفة حسب نوع المادة المراد تبخيرها

وحسب درجة انصهارها والحوض الذي تم استخدامه مصنوع من مادة

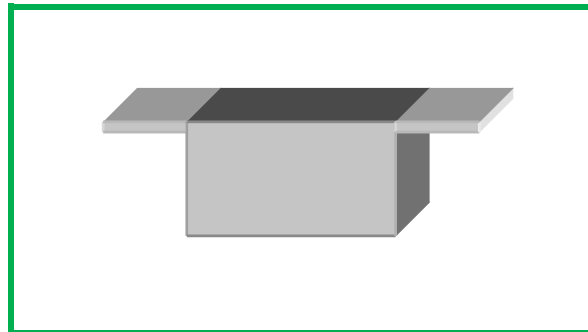
الموليبيدنيوم (Mo) لتبخير سبيكة (CdSe)، ويوضح الشكل (3-8) حوض

التسخين المستخدم.

b. حاملة العينات (Substrate Holder) : يتم فيها تثبيت العينات ، وبوساطتها يتم التحكم بالمسافة العمودية الفاصلة بين العينات ومصدر التبخير عن طريق حركتها شاقولياً وتكون على عامود مثبت على أرضية الحجر .



الشكل (3-7): صورة فوتوغرافية لمنظومة (Edward)



الشكل (3-8) حويض التسخين

2- وحدات التفريغ وتشمل:-

a. مضخة ميكانيكية (Rotary Pump) (R.P.) .

b. مضخة انتشارية (Diffusion Pump) (D.P.) .

يتم سحب الغازات من داخل حجرة التفريغ بوساطة المضخة الميكانيكية (الدوارة) (Mechanical Rotary Pumps) حتى يصل الضغط إلى 10^{-2} mbar بعد ذلك يستكمل التفريغ بواسطة المضخة الانتشارية (Diffusion Oil Pump) حتى يصل الضغط إلى 5×10^{-5} mbar .

3 - متحسسات لقياس الضغط داخل حجرة الترسيب وتشمل على :-

1- مقياس بيراني Perini gauge

2- مقياس بيننك Benning gauge

4 - مجموعة صمامات تعمل يدوياً للسيطرة على مداخل حجرة الترسيب.

5 - منظومة التبريد Cooling System

ان لمنظومة التبريد المستعملة الدور الكبير في الحصول على درجات التفريغ المطلوبة بأوقات زمنية قصيرة ، ويكون ذلك اعتماداً على نوع السائل المستعمل في عملية التبريد ، وهو إما أن يكون غاز النيتروجين السائل أو الماء المبرّد (والذي استعمل في تبريد المنظومة المستعملة) .

(6-3) تحضير أغشية CdSe النقية والمشوبة

Preparation of Pure and Doping CdSe Thin Films

يتم تحضير أغشية CdSe النقية بوضع كمية من مسحوق المادة التي تحقق السمك المطلوب (300 ± 25) nm في حويض مصنوع من مادة المولبدينوم (Mo) وللحويض غطاء مثقب من المادة نفسها لمنع تطاير مادة الغشاء خلال عملية الترسيب وبجسب القانون الاتي [8].

$$t = \frac{m}{4\pi\rho r_0^2} \quad (1-3)$$

حيث ان:

m : وزن المادة اللازم وضعها في الحويض (g)

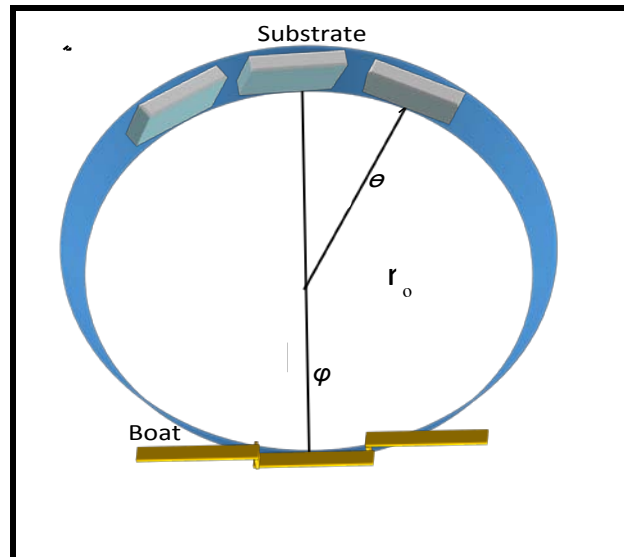
t : سمك الغشاء (cm)

r_0 : المسافة من الحويض الى القاعدة (cm)

ρ : كثافة المادة (g/cm^3)

فعند بلوغ الضغط القيمة القصوى (5×10^{-5}) mbar تبدأ عملية الترسيب وذلك بامرار التيار الكهربائي خلال الحويض مع العلم ان زيادة التيار تكون بصورة تدريجية وبطيئة لكي يحصل التوازن الحراري داخل الناقد مع مراقبة مقياس الضغط لان الارتفاع السريع لدرجة الحرارة يؤدي الى زيادة كبيرة في الضغط داخل حجرة الفراغ ، يتم ترسيب المادة على سطح الأرضية عند درجة $T_s=300K$ والمثبتة على بعد (15cm) من الحويض كما هو موضح بالشكل (9-3) وبمعدل ترسيب (2 nm.s^{-1}) وبذلك نحصل على أغشية CdSe النقية .

تترك العينات بعد الانتهاء من عملية الترسيب في حجرة التبخير إلى أن تصل درجة حرارتها إلى درجة حرارة الغرفة وذلك لضمان اكتمال عملية التبلور وللحيلولة دون تأكسد النماذج المحضرة أو حدوث تشققات فيها (Cracks) ، بعد ذلك قمنا بتشويب الاغشية بالالمنيوم باستخ دام حويض اخر من المولبدنيوم (Mo) حيث توضع مادة الالمنيوم التي تحقق احدى النسب الوزنية المطلوبة للتشويب (1,2,3)% من وزن مادة (CdSe) ، تترك العينات بعد الانتهاء من عملية التشويب في حجرة التبخير الى ان تصل درجة حرارتها الى درجة حرارة الغرفة . استخدمت طريقة الانتشار الحراري في عملية التشويب وذلك بوضع النماذج المشوبة بالالمنيوم في فرن كهربائي مفرغ عند درجة حرارة (473 K) ولمدة ساعتين لضمان نجاح عملية الانتشار وبعدها تخرج العينات من الفرن وتوضع في حاوية مفرغة من الهواء 0



الشكل (9-3) يبين بعد الحويض عن القواعد الزجاجية [83]

(7-3) قياس سمك الأغشية Thickness Measurement of Films

يعد سمك الغشاء المحضر واحداً من أهم العوامل المؤثرة في تحديد الخصائص

الفيزيائية للغشاء فهناك عدة طرائق لقياس سمك الأغشية الرقيقة ومن هذه الطرائق :

A. الطريقة الوزنية (Gravimetric Method) :-

في هذه الطريقة يتم استعمال ميزان ذي حساسية أربع مراتب عشرية ، إذ يتم وزن القواعد الزجاجية قبل عملية ترسيب المادة عليها وبعدها، ومن معرفة الفرق في الوزن، الذي يمثل وزن مادة الغشاء، و من خلال معرفة أبعاد الغشاء يتم الحصول على سمك الغشاء (t) على وفق العلاقة الآتية [84] :-

$$t = \frac{m_2 - m_1}{s\rho} \quad (2-3)$$

حيث ان :-

m_2 :- وزن الارضية بعد الترسيب بـ (g).

m_1 :- وزن الارضية قبل الترسيب بـ (g).

s :- مساحة الغشاء بـ (cm^2).

B. طريقة الموجات فوق الصوتية Ultrasonic Method

يتكون هذا الجهاز من مجس يوضع على العينة المرسب عليها لقياس سمك الغشاء ثم

يقاس سمك الأرضية قبل عملية الترسيب ثم يستخرج السمك من الفرق بين السمكين،

ومواصفات هذا الجهاز:

DIGITAL COATING THICKNESS GAUGE TT 260

(3 - 8) تشخيص تركيب الأغشية المحضرة عن طريق حيود الأشعة السينية

Investigation the Structural of Prepared Films by XRD

من بيانات حيود الأشعة السينية تم تحديد طبيعة التركيب البلوري لأغشية CdSe الرقيقة فيما إذا كانت ذات تركيب بلوري أحادي التبلور (Single Crystalline) أو متعدد التبلور (Polycrystalline) أو عشوائية (Amorphous) ، ولأجل دراسة مدى تأثري التشويب بمادة الألمنيوم (Al) في الأغشية المحضرة وتأثير التلدين فيها ولتشخيص نوع التركيب البلوري للأغشية المرسبة من خلال حساب $d, hkl, 2\theta$ ومقارنتها بالقيم المثبتة بالجدول القياسية لبطاقات (American Standard For Testing Materials) (ASTM) لمادة الأغشية المحضرة ، و تم حساب ثوابت الشبكة a, c وكذلك معدل الحجم الحبيبي G.S باستخدام المعادلات (21-2) و (22-2) على التوالي 0

يبين الشكل (10-3) جهاز حيود الأشعة السينية المستخدم من نوع (XRD 600 SHIMADZU Japan) ذو المواصفات المذكورة في أدناه :-

Target: Cu, $k\alpha$
Wave length: (1.5406 A°)
Voltage: (40 Kv)
Current: (30 mA)
Speed: (5 deg/min)
Step: (0.05 deg)
Axis: Theta – 2 Theta



الشكل (10-3) جهاز XRD المستخدم

(9-3) فحص طبيعة سطح الاغشية

تم استعمال مجهر القوة الذرية (Atomic force microscopy) المبين في الشكل (11- 3) نوع (AA3000) المجهر من شركة (Angstrom Advanced Inc) ويمتاز بقدرة تحليلية عالية مقدارها (0.1-1.0)nm وقوة تكبير تقدر $(5 \times 10^2 - 10^8)$ لفحص طبيعة سطح الاغشية المحضرة ومدى صلاحها لدراسة خواصها وليزودنا بصور ثنائية وثلاثية الابعاد و بمعلومات في غاية الدقة عن خشونة السطح ومعدلها (RMS) وكذلك عدد الحبيبات ضمن المساحة المحددة وكذلك احجام الحبيبات (Grain Size) .



الشكل (11-3) مجهر القوة الذرية AFM

(10-3) القياسات البصرية

تم رسم طيفي النفاذية (T) والامتصاصية (A) لمدى الأطوال الموجية (300-1100)nm ولجميع الأغشية المحضرة باستعمال مطياف نوع (UV - Visible Spectrophotometer) 1800 انجليزي الصنع كما موضح بالشكل (3-12) ، ويتم ذلك عن طريق وضع شريحة زجاجية داخل الجهاز غير مرسب عليها منظفة بصورة جيدة لوضعها مرجعاً للعينة ، ومن ثم يوضع الغشاء المرسب على شريحة زجاجية مصنوعة من مادة شريحة المرجع نفسه ويوضع أيضاً داخل الجهاز، وبعدها يتم إسقاط الشعاع عمودياً مرة على الشريحة الزجاجية ومرة أخرى على الشريحة المرسب عليها، وبذلك يقوم الجهاز بإلغاء تأثير الزجاج، وتكون جميع النتائج للغشاء المحضر.

ومن طيف الامتصاصية تم حساب معامل الامتصاص، ودراسة نوع الانتقالات الالكترونية الحاصلة فيها، وحساب فجوة الطاقة بالاعتماد على المعادلات (2-10) ، (2-2) على التوالي وكذلك تم حساب الثوابت البصرية المتمثلة بـ (معامل الانكسار ومعامل الخمود وثابت العزل الحقيقي والخيالي) وذلك باعتماد المعادلات (2-14) ، (2-11) ، (2-18) ، (2-19) على التوالي والخاصة بكل ثابت والتي ذكرت في الفصل الثاني.



الشكل (3-12) جهاز الـ UV-VIS المستخدم

(11-3) تليين الأغشية الرقيقة

Annealing Process of Thin Films

في عملية التشويب بالانتشار الحراري تكون بعض ذرات الشوائب المزروعة غير مستقرة في مواقع إبدالية في الشبكة البلورية للمادة المشوبة ، كما أن بعضها لم ينتشر في المادة المشوبة بشكل جيد ، ولتحقيق ذلك يجب تليين النماذج المختارة عند مزدوج ملائم من الزمن ودرجة الحرارة .

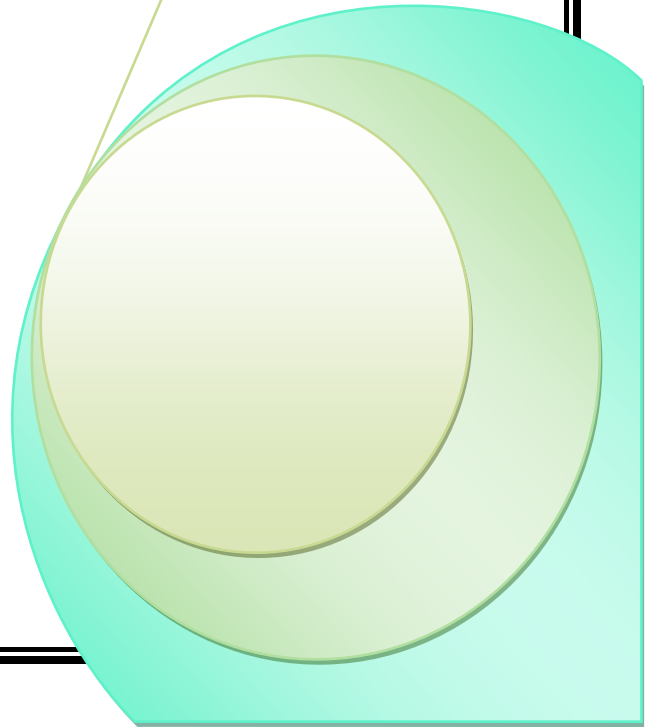
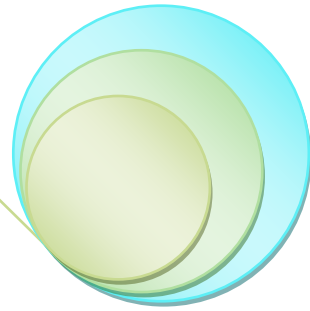
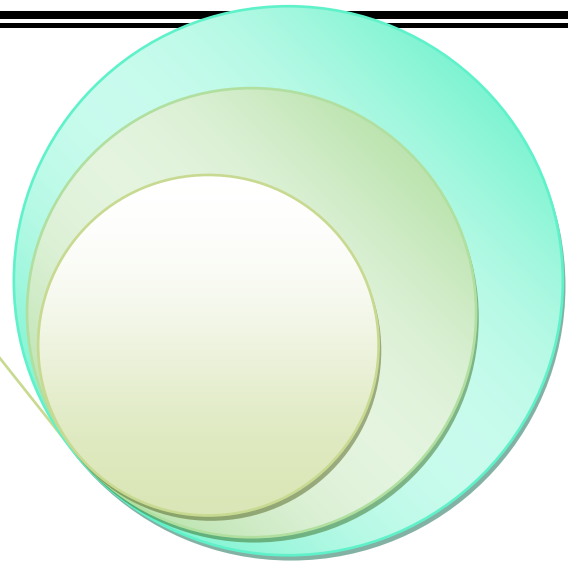
تمت عملية تليين نماذج الأغشية المشوبة بالالمنيوم بنسبة تشويب (3%) باستعمال فرن كهربائي نوع (Victoreen) ذي مدى حراري K (273 - 773) ، إذ لدنت العينات ضمن مدى من درجات الحرارة K (373 - 573) بوجود الهواء الاعتيادي ولمدة ساعة كاملة ، يبين الشكل (13-3) صورة الفرن الكهربائي المستخدم .



الشكل (13-3) صورة الفرن الكهربائي المستخدم

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

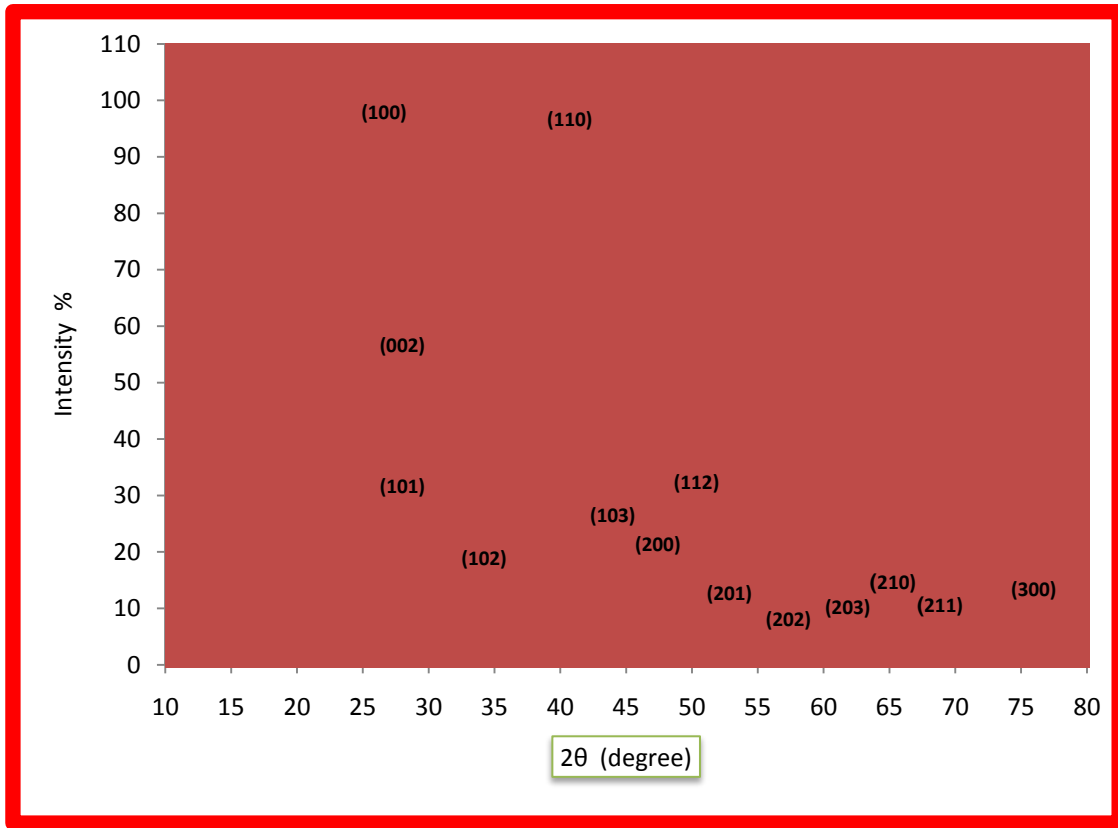


(1- 4) المقدمة Introduction

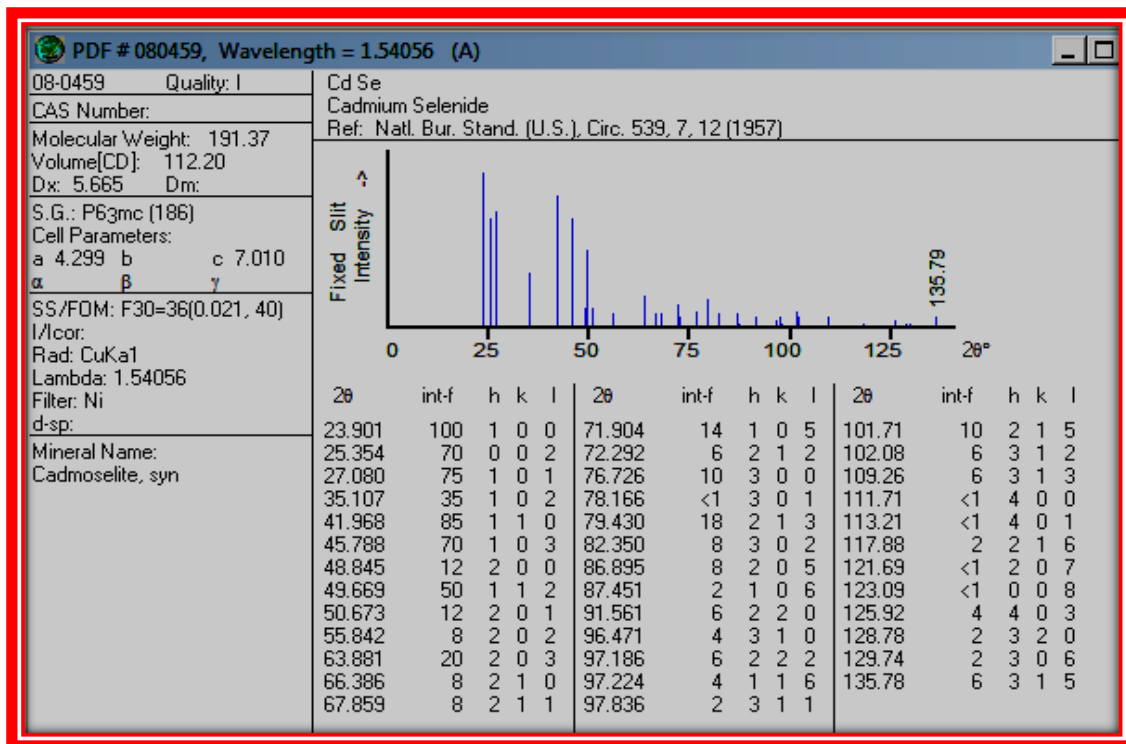
يبضمن هذا الفصل عرض النتائج ومناقشتها التي تم الحصول عليها من فحص اغشية سيليكا الكادميوم (CdSe) الرقيقة النقية والمشوبة بالالمنيوم بنسب % (1,2,3) والمرسبة على قواعد من الزجاج بطريقة التبخير الحراري في الفراغ عند درجة حرارة (300±5)K وبسمك (300±25) nm ، وبمعدل ترسيب 1 nm.s^{-1} (2±0.1) وللأغشية الملدنة عند درجات حرارة (373,473,573) K ، التي تشمل الخصائص التركيبية من خلال دراسة نمط حيود الأشعة السينية لها لمعرفة بنيتها البلورية من جهة ، و دراسة خصائصها البصرية من جهة اخرى خلال قياس طيف النفاذية ، وحساب معامل الامتصاص وفجوة الطاقة البصرية ، وحساب الثوابت البصرية لها التي تشمل على معامل الانكسار ومعامل الخمود وثابت العزل الكهربائي جزئي الحقيقي والخيالي، ومقارنة النتائج المستحصلة مع نتائج الدراسات والبحوث المنشورة بهذا ال صدد مع استعراض لأهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها من الدراسة الحالية 0

(2- 4) الخواص التركيبية لمادة سيلينايد الكادميوم CdSe

تم استخدام تقنية الأشعة السينية لدراسة التركيب البلوري لمسحوق المادة المحضرة ومن خلالها تم التأكيد من نوع تركيب المادة عن طريق مقارنة نموذج الحيود الناتج من فحص المسحوق الشكل (1-4) مع بطاقة (ASTM) القياسية الخاصة بمادة سيليكا الكادميوم الشكل (2-4) ، اوضحت النتائج وجود تطابق مع البطاقة القياسية وان المادة ذات تركيب متعدد التبلور (polycrystalline) على هيأة تركيب سداسي (Hexagonally) من النوع (Wurtzite) ، وقد اظهرت النتائج ايضا تطابق قيم مساحة السطوح $(d_{(hkl)})$ للمادة المحضرة مع مثيلاتها في بطاقة (ASTM) القياسية المرقمة (08-0459) ، كما هو مبين في الجدول (1-4)، وان تلك النتائج تتوافق مع البحوث [23 , 85] 0



الشكل (4-1) مخطط حيود الاشعة السينية للمادة مسحوق سيلينيد الكاديوم المحضرة



الشكل (4-2) بطاقة (ASTM) القياسية الخاصة بمادة سيلينيد الكاديوم

الجدول (1-4) مقارنة النتائج المستحصلة من نماذج حيود الأشعة السينية للمادة سيلينيد الكاديوم المحضرة مع بطاقة (ASTM) لـ (CdSe) المرقمة (08-0459)

(hkl) (ASTM)	2θ (ASTM)	2θ Observed	d(Å) (ASTM)	d(Å) Observed
(100)	23.901	23.929	3.720	3.715
(002)	25.354	25.427	3.510	3.500
(101)	27.080	27.117	3.290	3.285
(102)	35.107	35.165	2.554	2.549
(110)	41.968	42.022	2.151	2.148
(103)	45.788	45.844	1.980	1.977
(200)	48.845	48.917	1.863	1.860
(122)	49.669	49.739	1.834	1.831
(201)	50.673	50.752	1.800	1.797

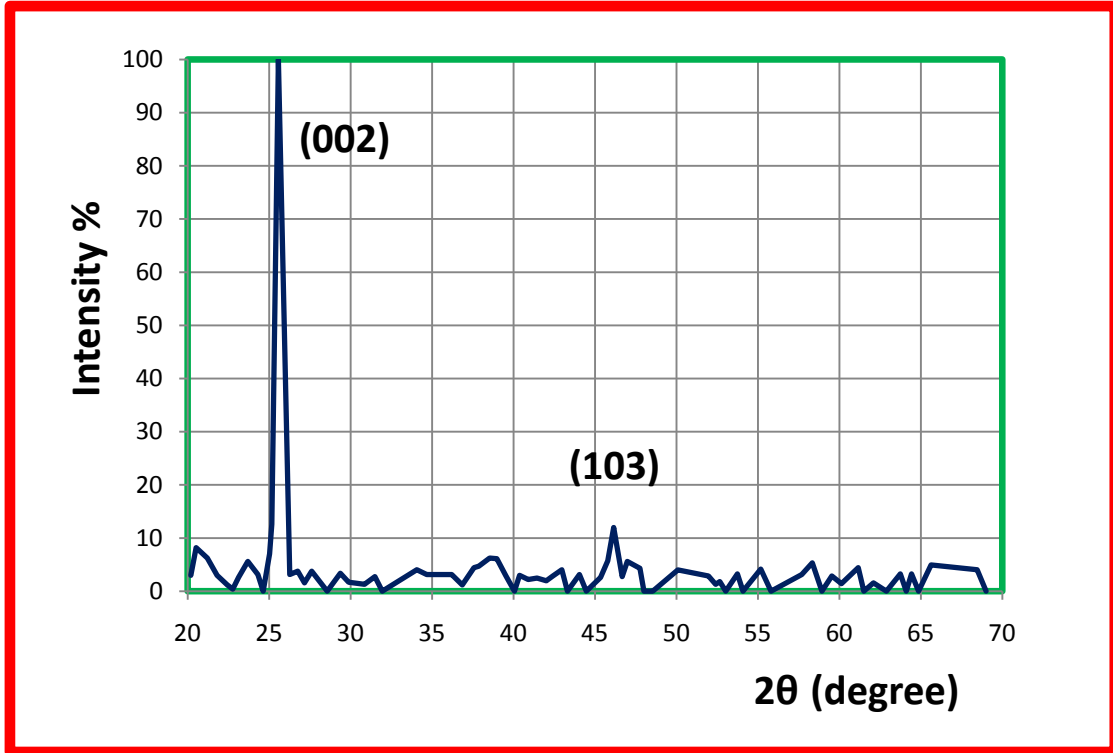
(3-4) الخصائص التركيبية لأغشية سيلينيد الكاديوم CdSe الرقيقة (1-3-4) حيود الأشعة السينية :

أظهرت نتائج الفحص بتقنية حيود الأشعة السينية أن جميع أغشية سيلينيد الكاديوم (CdSe) المحضرة النقية والمشوبة بالالمنيوم بنسب % (1,2,3) كانت ذات تركيب بلوري متعدد (polycrystalline)، حيث تظهر الأشكال من (3-4) - (6-4) وجود عدة قيم لجميعها تخص تركيب أغشية (CdSe) ذات تركيب سداسي (Hexagonally) من النوع (Wurtzite) مع نمو ذري سائد باتجاه [002] وهذا يتفق مع ما جاء في البحوث المنشورة [26 ، 28 ، 37] وعند مقارنة النتائج التي تم التوصل إليها من فسحة السطوح $d_{(hkl)}$ و زوايا الحيود (2θ) المقابلة لمواقع القيم المميزة لنماذج الأغشية المحضرة مع القيم الواردة في البطاقة القياسية للمؤسسة الأمريكية لفحص المواد نجد أن النتائج كانت مطابقة إلى حد ما وكما مبين في الجدول (2-4).

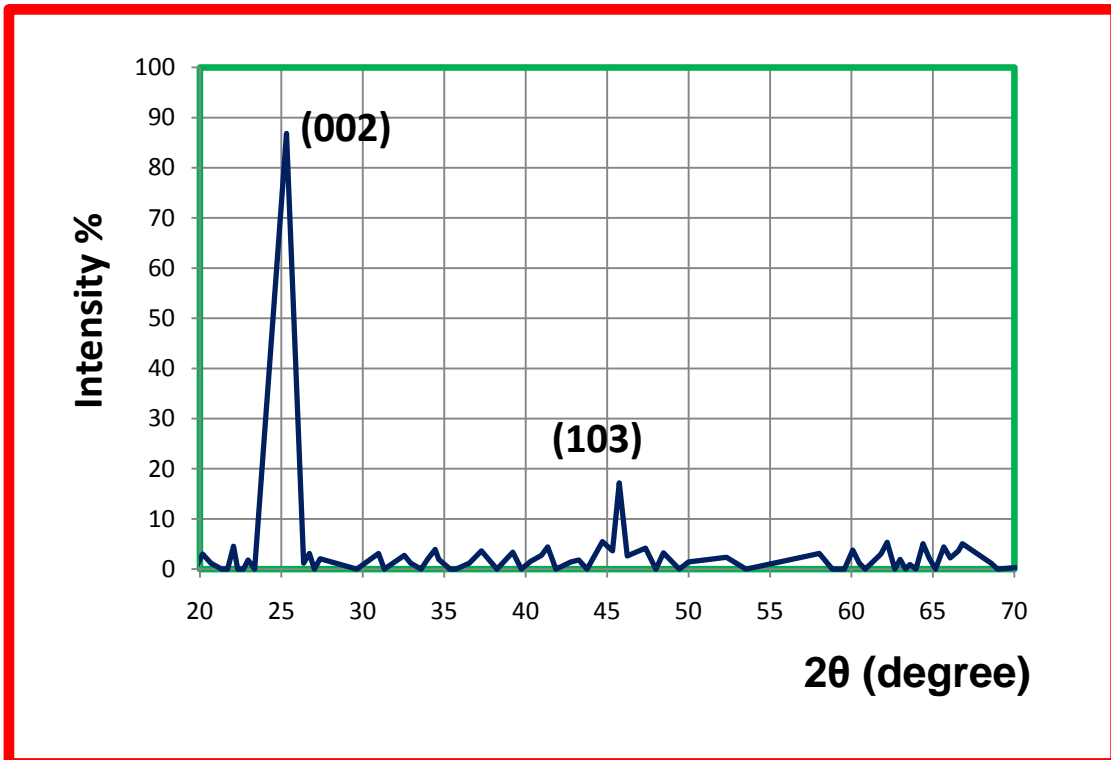
و نلاحظ ان هناك ازاحة ملحوظة في موقع القمة المميزة (002) للاغشية المحضرة بعد عملية التشويب عما عليها قبل التشويب وان هذه الإزاحة تتجه نحو قيمة اكبر لـ (2θ) مع زيادة نسبة التشويب وان تفسير تلك الازاحة هي بسبب صغر نصف القطر الايوني لمادة التشويب لالمنيوم (0.50Å) مقارنة مع نصف القطر الايوني لعنصر الكاديوم (Cd) الذي يساوي (0.97Å) وبذلك فان امكانية ان يحل ايون الالمنيوم (Al³⁺) محل ايون الكاديوم (Cd²⁺) وارد جدا مما يؤدي الى نقصان حجم بلورة (CdSe) بسبب نقصان المسافة بين المستويات البلورية (d) ومن ثم زيادة في زاوية الحيود اي إزاحة القمة المميزة نحو اليمين في مخطط الحيود لارتباطه بعلاقة عكسية بحسب قانون براك (2 - 20). وهذا يتوافق مع ما توصل اليه الباحث (الجعفري) [87] ، حيث استخدم عنصر الانديوم كماده شائبة وه ذا العنصر ثلاثي التكافؤ ايضا و يمتلك خواص قريبا جدا من خواص مادة الالمنيوم .

كذلك نلاحظ تاثير نسب التشويب بالالمنيوم على شدة الاتجاه السائد [002] ، حيث يتبين ان الشدة بدأت بالتناقص التدريجي بزيادة نسبة التشويب كسلوك عام وصولا الى النسبة (3%) ماعدا النسبة (2%) حيث الشدة عند الاتجاه السائد كانت اعلى بقليل من الاغشية المشوبة بالالمنيوم بنسبة (1%) كما في الشكل (4- 3) 0

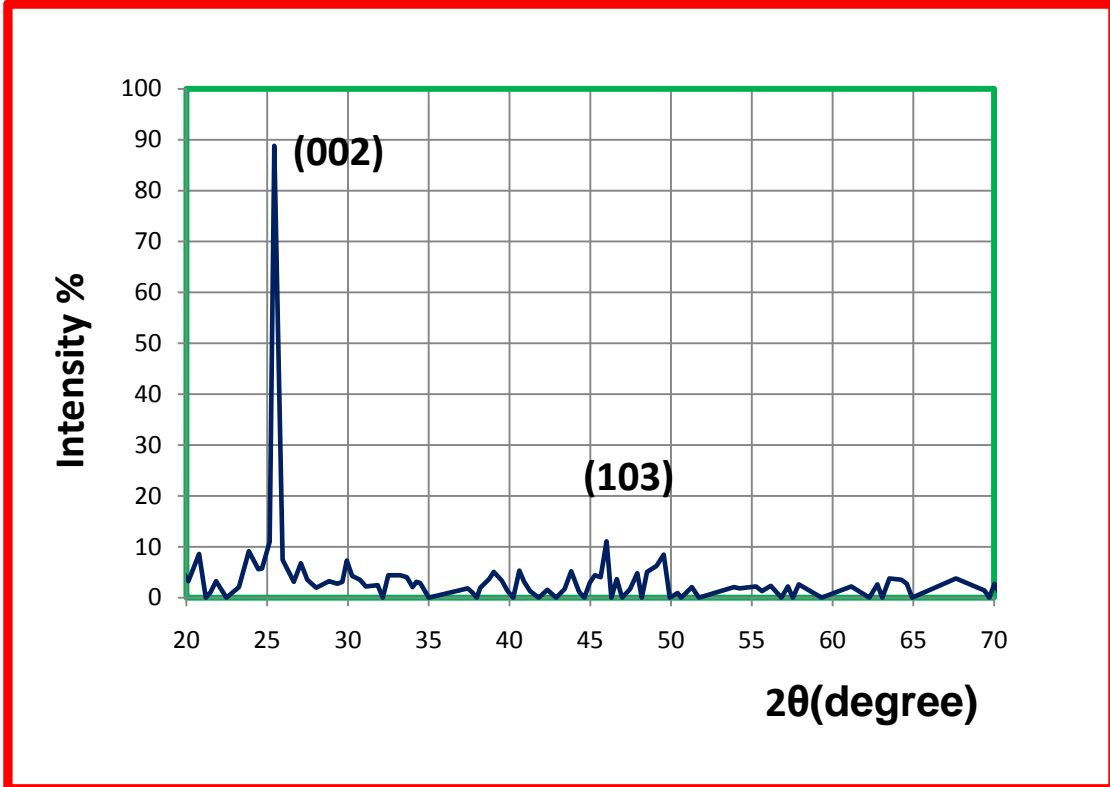
اما سبب التناقص في شدة الاتجاه السائد مع زيادة نسبة التشويب فقه يعود الى ان ذرات المادة الشائبة عملت على خلق مستويات ذرية خاصة بها داخل شبكية البلورة للمادة المشابة وعليه فان المستويات الذرية لكل من ذرات المادة الشائبة والمادة سوف لاتعمل على تشتيت الاشعة السينية الساقطة عليها بالطور نفسه، وهذا الامر يسبب تداخلا اتلافيا جزئيا وليس كليا ، ولذا ستكون سعة الموجة المشتتة الناتجة اقل مما لو كانت جميع ذرات المادة الناتجة من عملية التشويب مشتتة للاشعة السينية الساقطة عليها بالطور نفسه [43] 0



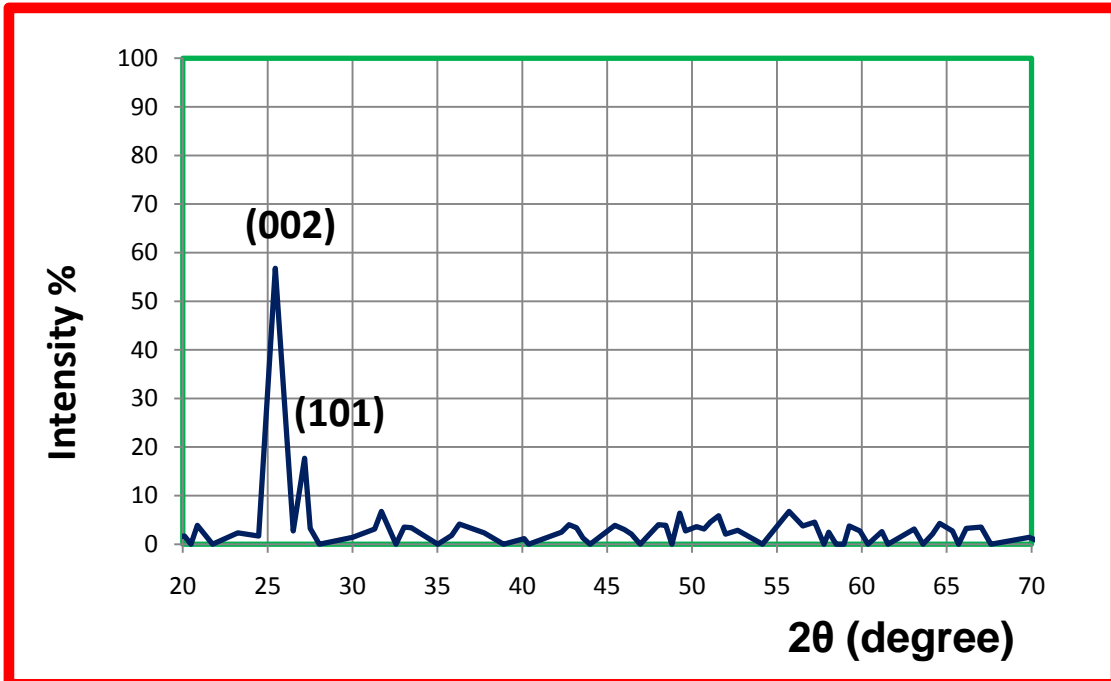
الشكل (4- 3) مخطط حيود الاشعة السينية لاغشية (CdSe) النقية



الشكل (4- 4) مخطط حيود الاشعة السينية لاغشية (CdSe) المشوبة بالالمنيوم بنسبة (1%)



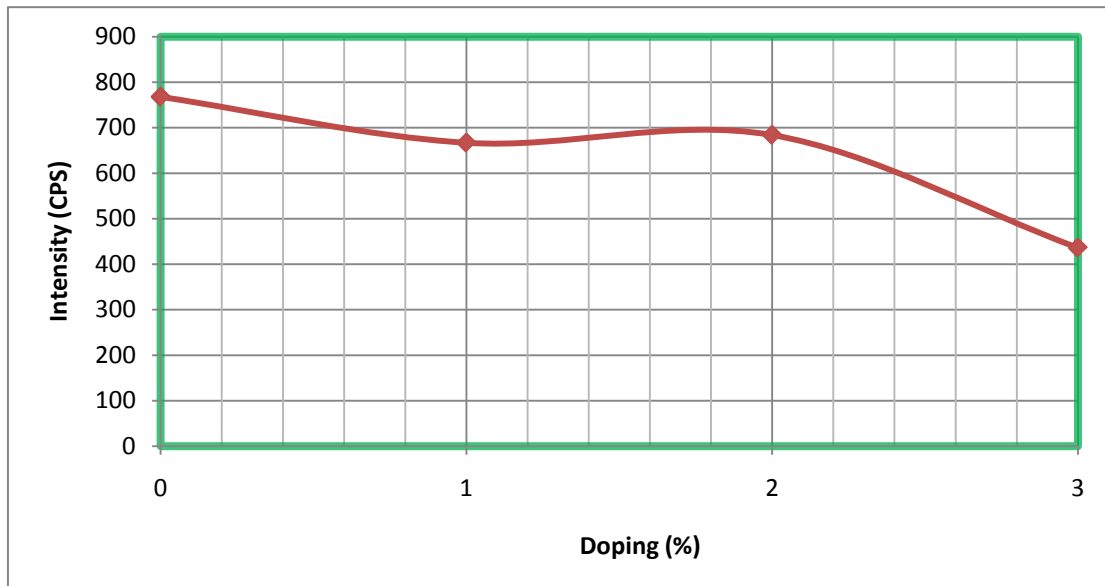
الشكل (4- 5) مخطط حيود الاشعة السينية لاغشية (CdSe) المشوبة بالالمنيوم بنسبة (2%)



الشكل (4- 6) مخطط حيود الاشعة السينية لاغشية (CdSe) المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%)

الجدول (2-4) مقارنة النتائج المستحصلة من نماذج حيود الأشعة السينية لأغشية سيلينيد الكاديوم النقية والمشوبة بالالمنيوم بنسب % (1,2,3) بنتائج بطاقة (ASTM)

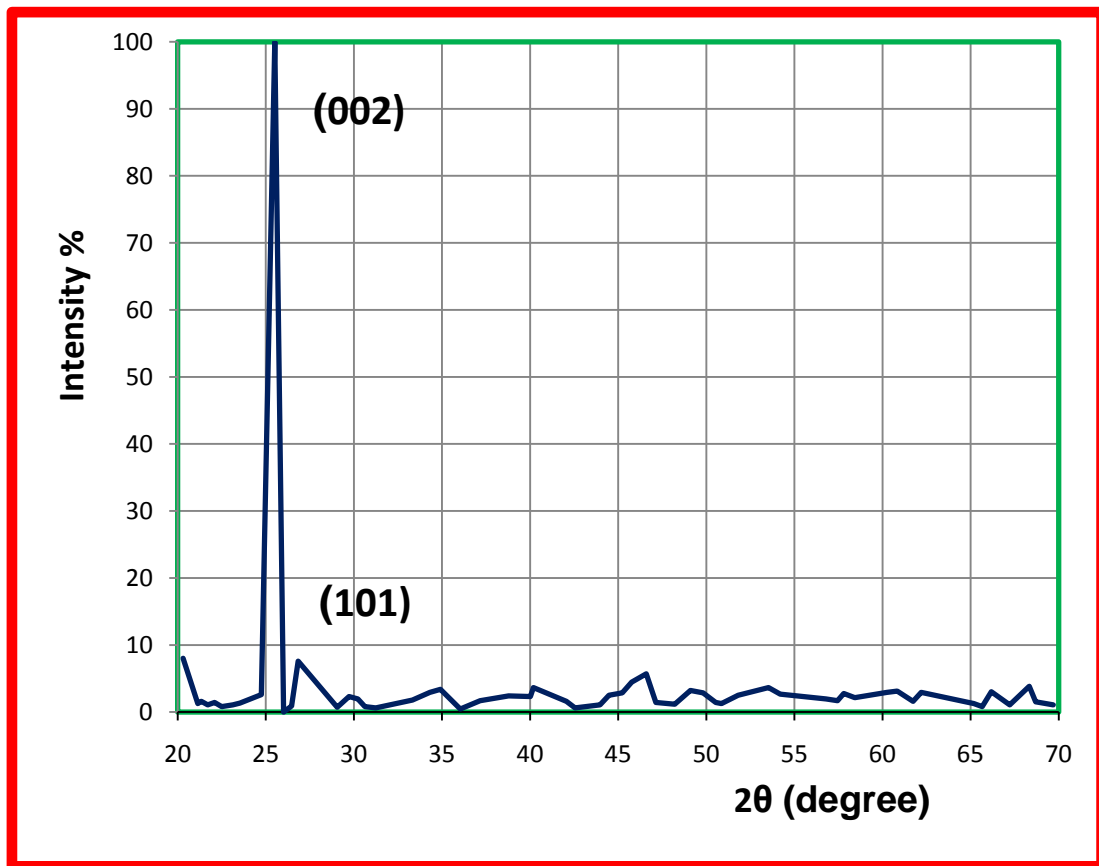
Sample	(hkl) (ASTM)	2θ (ASTM)	2θ Observed	d(Å) (ASTM)	d (Å) Observed	a(Å) (ASTM)	c(Å) (ASTEM)	a (Å) Observed	c(Å) Observed
CdSe (Pure)	(002)	25.354	25.3487	3.510	3.5107	4.299	7.010	4.306	7.0214
	(103)	45.788	45.4105	1.980	1.9956				
CdSe:Al (1%)	(002)	25.354	25.3171	3.510	3.5151	4.299	7.010	4.311	7.0302
	(103)	45.788	45.7403	1.980	1.9820				
CdSe:Al (2%)	(002)	25.354	25.4435	3.510	3.4979	4.299	7.010	4.291	6.9958
	(103)	45.788	46.0192	1.980	1.9710				
CdSe:Al (3%)	(002)	25.354	25.4552	3.510	3.4963	4.299	7.010	4.288	6.9926
	(101)	27.060	27.1773	3.290	3.2785				



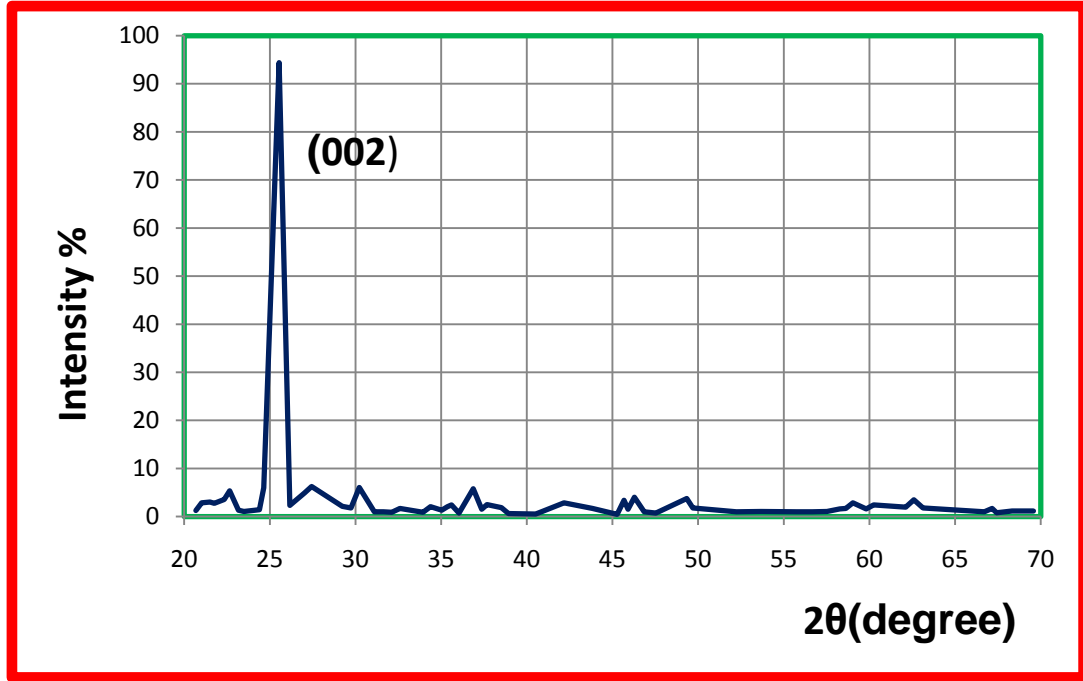
الشكل (7-4) تأثير نسبة التشويب بالالمنيوم على شدة الاتجاه السائد [002] في أغشية الرقيقة (CdSe)

يبين الشكل من (4-8) الى (4-10) نمط حيود الاشعة السينية للاغشية المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) الملدنة بدرجات حرارية $(373,473,573)K$ وعند مقارنة تلك النماذج بلمودج الحيود لذات نسبة التشويب من دون تلدين في الشكل (4-6) يتبين بقاء الاتجاه السائد [002] للاغشية الملدنة ذاتها، مع زيادة شدتها لكل درجات حرارة التلدين على حساب قمم الاتجاهات البلورية الأخرى، وهذا يشير الى وجود بعض المستويات التي تكون مفضلة لنمو البلورات فتزداد تبعاً لذلك شدة هذه القمة، مما يؤكد ان تركيب الغشاء ذو تبلور أفضل. اي ان التلدين عند تلك الدرجة قد ادى الى زيادة درجة تبلور مادة الغشاء ونقصان العيوب البلورية المتكونة في الغشاء عند التحضير.

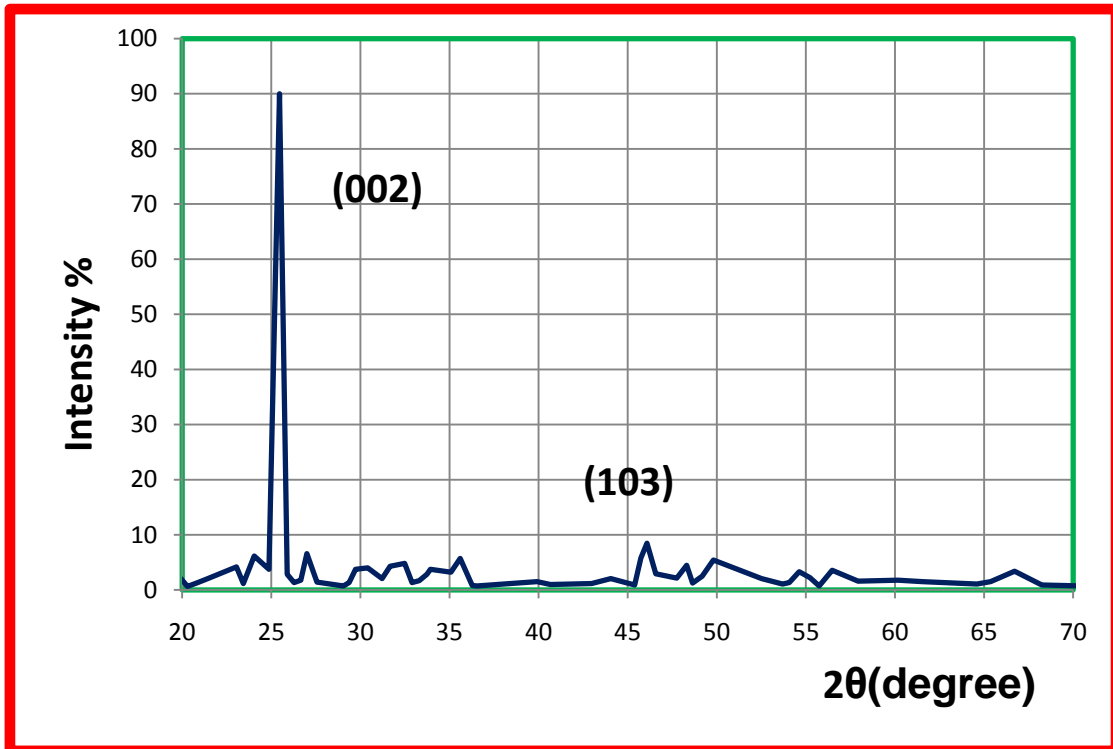
ان اعلى زيادة للشدة تحدث للاغشية الملدنة بدرجة حرارة $(373K)$ ، كما يلاحظ ان تأثير التشويب على شدة القمة السائدة يظهر على نحو اكبر بعد اجراء عملية التلدين كما موضح في الشكل (4-11). و ذلك يدل على ان التشويب بالالمنيوم والمعاملة الحرارية يؤديان الى زيادة الانتظام البلوري.



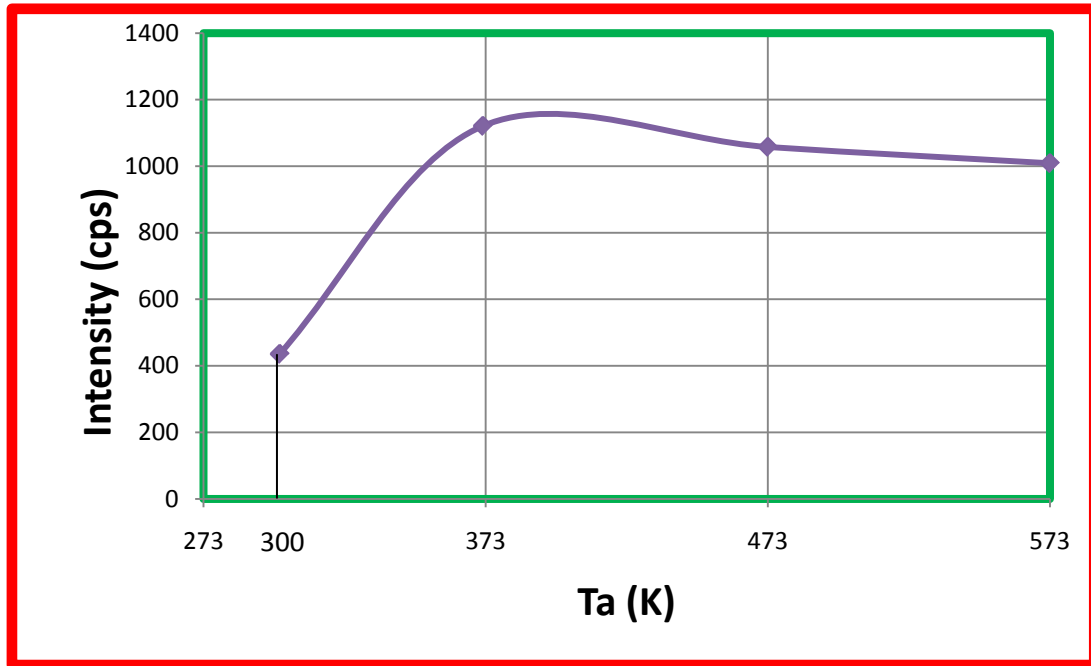
الشكل (4-8) مخطط حيود الاشعة السينية لاغشية $(CdSe)$ المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) والملدن بدرجة $(373K)$



الشكل (9-4) مخطط حيود الأشعة السينية لاغشية CdSe المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) والملدن بدرجة 0(473K)



الشكل (10-4) مخطط حيود الأشعة السينية لاغشية CdSe المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) والملدن بدرجة 0(573K)

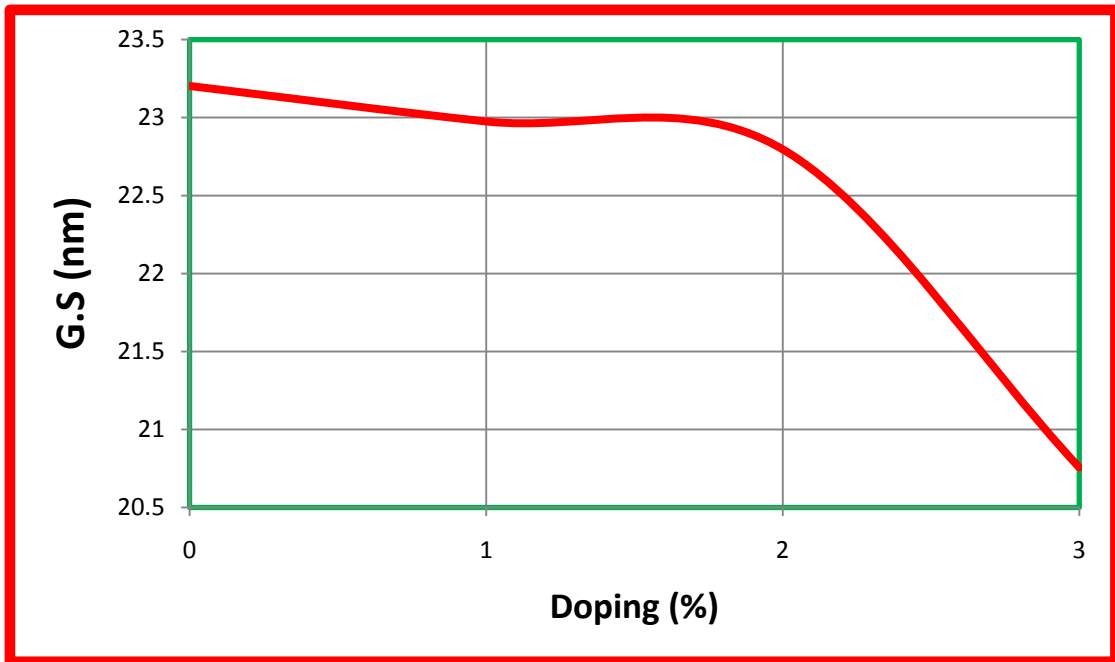


الشكل (4-11) تأثير درجة حرارة التلدين على شدة الاتجاه السائد [002] للاغشية المشوبة بنسبة 0(3%)

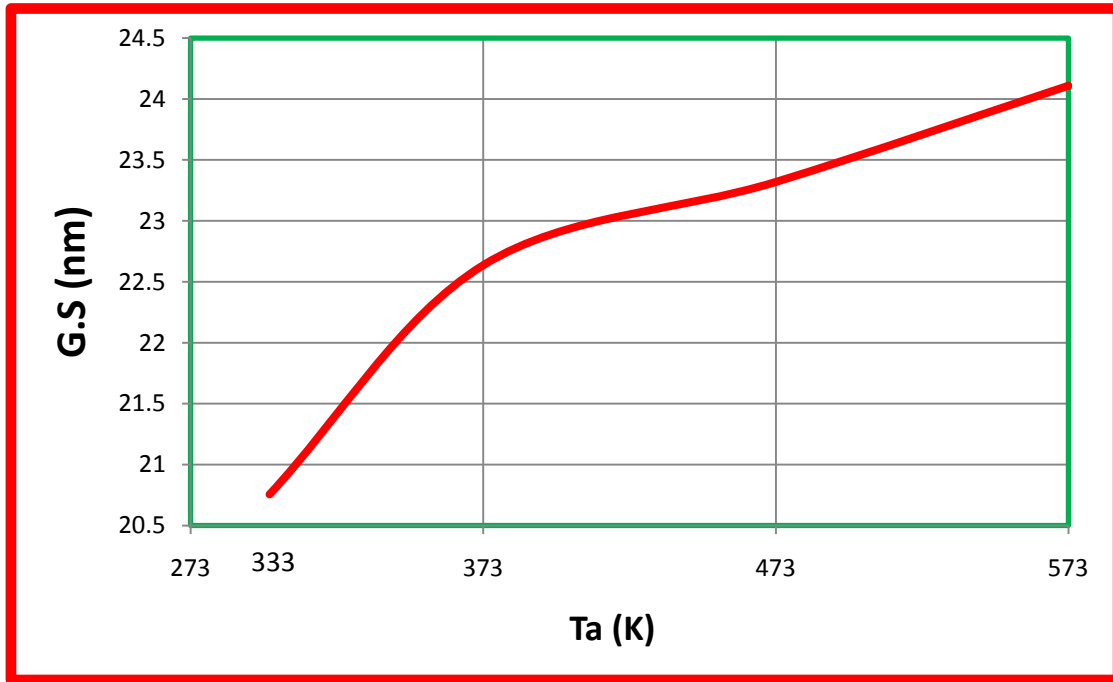
تم حساب معدل الحجم الحبيبي (G.S) باستخدام معادلة شرر (2-23)، وقد وجد أنه يقل بزيادة التشويب بالالمنيوم (Al) كما موضح في الجدول (4-3)، ويمكن تفسير ذلك بسرب صغرنصف قطر ايون المادة المضافة (Al^{+3}) والذي يساوي (0.50 \AA) مقارنة بنصف قطر ايون الكاديوم (Cd^{+3}) الذي يساوي (0.97 \AA) فان ذلك يؤدي الى دخول شائبة الالمنيوم في بلورة (CdSe) على شكل شائبة استبدالية (Substitutional Impurity)، مما يؤدي الى تناقص الحجم الحبيبي وهذا بدوره يسبب زيادة زاوية الحيود (2θ) وعرض القمة عند منتصف الشدة (FWHM)، يبين ذلك الشكل (4-12). كما ان درجات حرارة التلدين (373, 473, 573)K، تؤدي الى زيادة معدل الحجم الحبيبي للاغشية المشوبة بنسبة 0(3%) كما في الشكل (4-13) وان اثر التلدين على معدل الحجم الحبيبي يعزو الى ان التلدين ادى الى الغاء بعض الحدود الحبيبية عند التحام الحبيبات لتكوين بلورات ذات حجم اكبر وكذلك الغاء العيوب الموجودة بعد حصول عملية نمو واعادة ترتيب للحبيبات البلورية، اذ تاخذ الحبيبات طاقة كافية للنمو والترتيب داخل الشبكة 0 وتم كذلك حساب كثافة الانخلاعات (δ) وعدد الطبقات البلورية (N_0) باعتماد المعادلتين (2-23) و (2-24) على التوالي وهذا ما يبينه الجدول (4-3) 0

الجدول (3-4) قيم معدل الحجم الحبيبي لكافة أغشية (CdSe) المحضرة بتغير نسب التشويب والتلدين 0

Sample	t (nm)	T (K)	G.S(nm)	$\delta \cdot 10^{15} (m^{-2})$	$N_o \cdot 10^{15} (m^{-2})$	FWHM(deg)
CdSe (Pure)	300	R.T	23.202	1.85	24.01	0.3667
CdSe :Al(1%)	300	R.T	22.97	1.89	24.73	0.3703
CdSe :Al(2%)	300	R.T	22.79	1.92	25.32	0.3733
CdSe :Al(3%)	300	R.T	20.756	2.32	33.54	0.4100
		373	22.63	1.95	25.88	0.3760
		473	23.31	1.83	23.65	0.3650
		573	24.10	1.72	21.41	0.3530



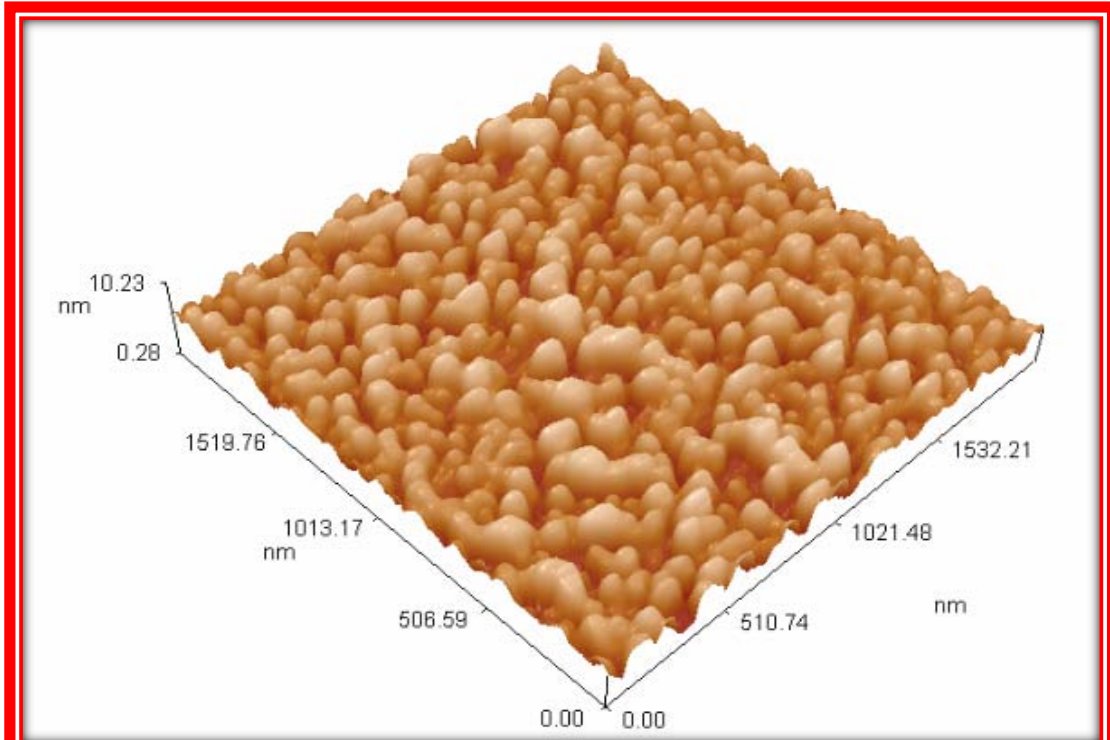
الشكل (4 - 12) معدل الحجم الحبيبي دالة لنسب التشويب بالالمنيوم لاغشية (CdSe) 0



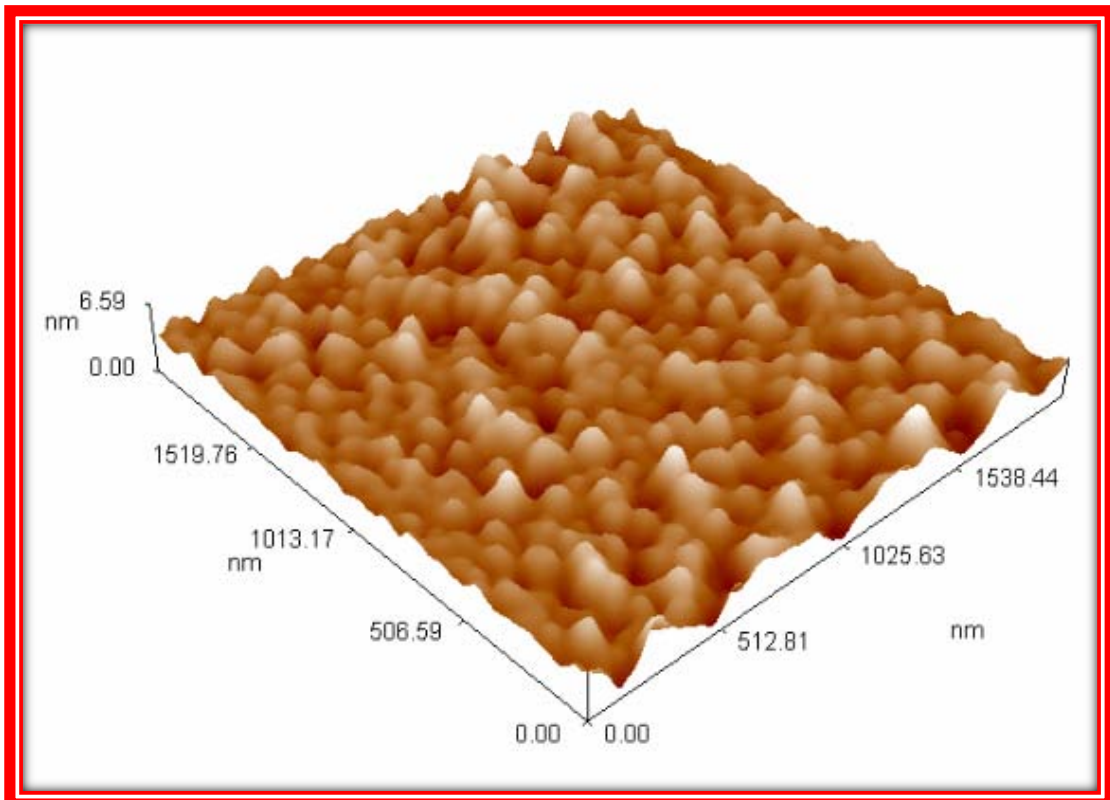
الشكل (4- 13) معدل الحجم الحبيبي دالة لدرجة حرارة التلدين لاغشية (CdSe) المشوبة بنسبة 0(3%)

(4- 3- 2) الفحص بمجهر القوة الذرية (AFM)

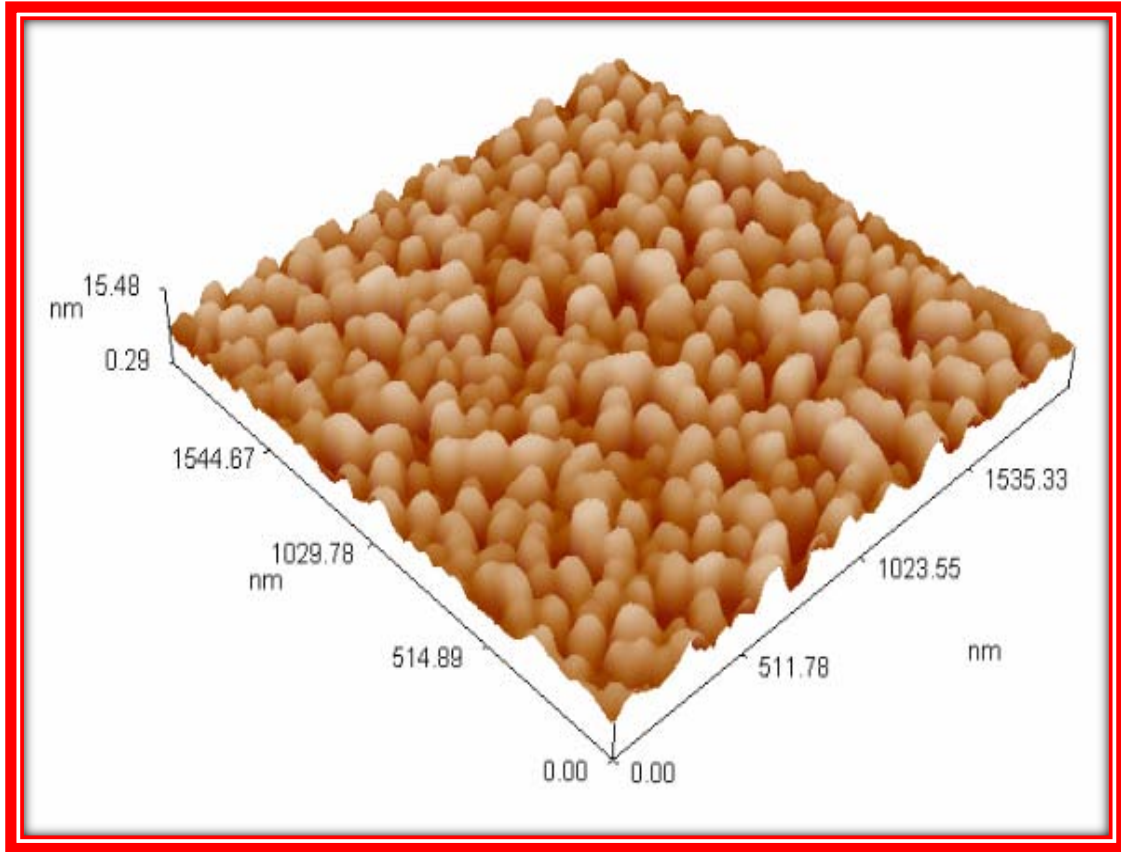
تمت دراسة تضاريس سطوح الاغشية المحضرة ومدى تاثير نسبة التشويب بالالمنيوم (Al) والتلدين فيها، باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) وما يمتلكه من قدرة تصوير وتحليل هذه السطوح واعطاء قيم احصائية في غاية الدقة عن قيم خشونة السطح (Roughness) اعتمادا على الجذر التربيعي لمتوسط الخشونة (RMS) وبينت صور ونتائج قياسات (AFM) تاثير التشويب على سطح الاغشية المحضرة النقية والمشوبة بنسبة 0(3%)، اذ تقل قيمة الجذر التربيعي لمتوسط الخشونة (RMS) من (1.19) للاغشية النقية الى (0.77) للاغشية المشوبة بنسبة 0(3%) كما في الشكل (4-14) والشكل (4-15) على التوالي ، كما يبين الشكل (4- 16) تاثير التلدين على الاغشية المشوبة بنسبة 0(3%) و بدرجة حرارية (573K)، اذ تزداد قيمة الجذر التربيعي لمتوسط الخشونة (RMS) لتلك الاغشية لتصل الى 0(2.32)



الشكل (4- 14) صورة ثلاثية الابعاد لسطح اغشية (CdSe) النقية 0



الشكل (4- 15) صورة ثلاثية الابعاد لسطح اغشية (CdSe) المشوبة بلالمنيوم بنسبة (3%)



الشكل (4-16) صورة ثلاثية الابعاد لسطح اغشية (CdSe) المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) والمعدنة بدرجة (573K) 0

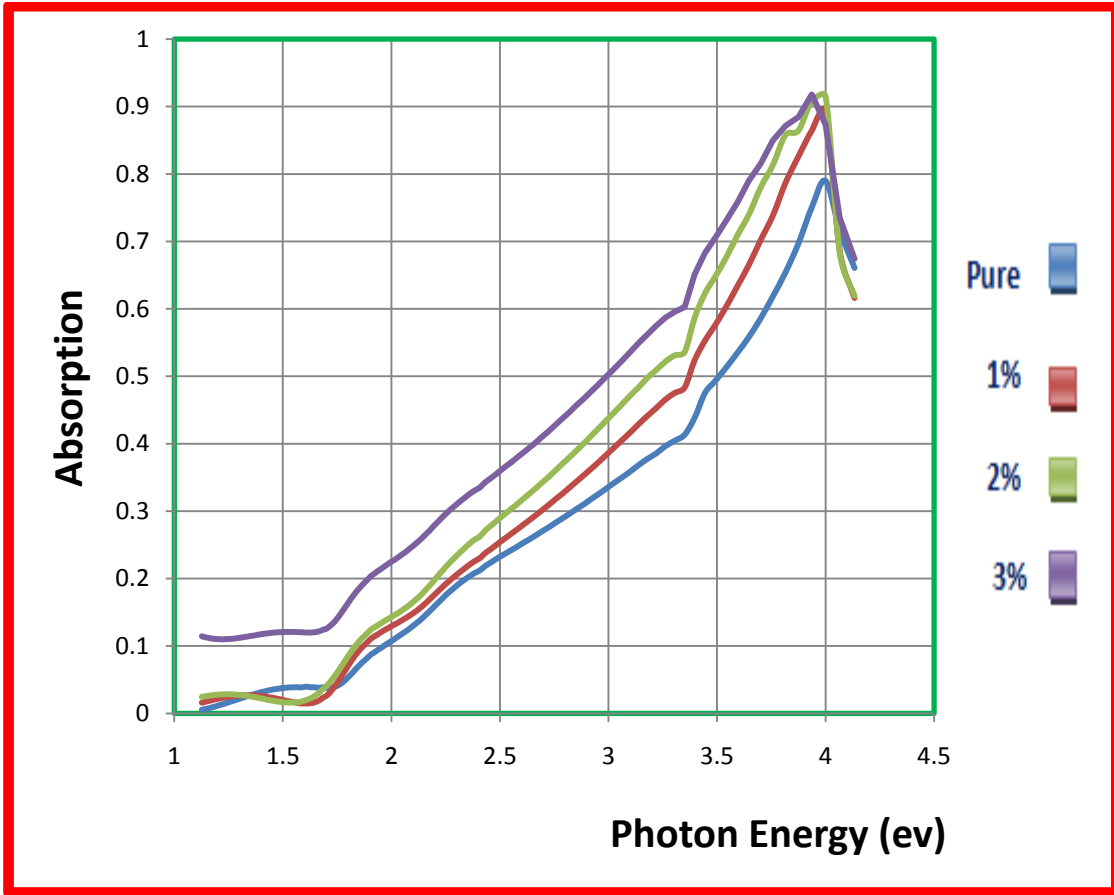
(4 - 4) نتائج القياسات البصرية Optical Measurements Results

اعطت دراسة الخصائص البصرية معلومات مهمة عن المواد شبه الموصلة وامكانية استعمالها في التطبيقات العملية المختلفة ، ويرتبط السلوك البصري للمواد شبه الموصلة بشكل وثيق مع تركيب مستويات الطاقة التي ترتبط بدورها بالتركيب البلوري للمادة .

(1 - 4 - 4) الامتصاصية Absorbance

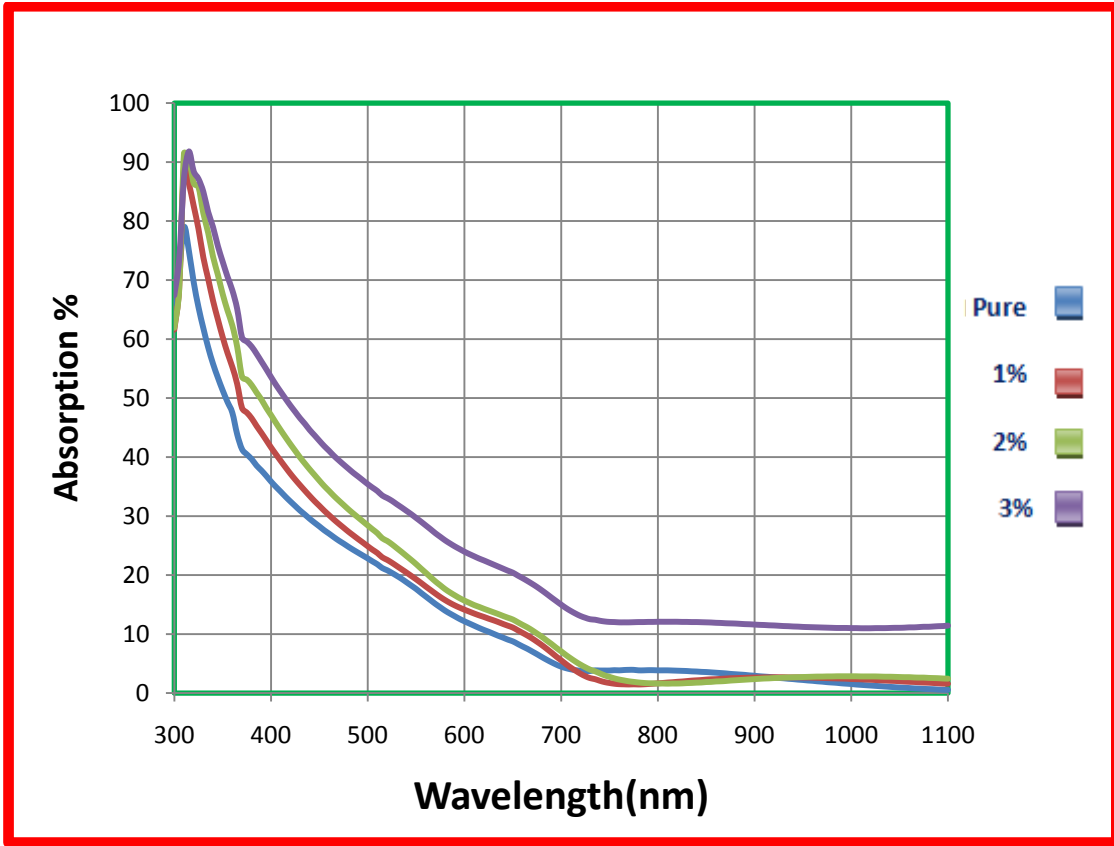
يبين الشكل (4-17) تغير الامتصاصية (A) كدالة لطاقة الفوتون الساقط لاغشية سيلينيوم الكادميوم النقية والمشوبة بالالمنيوم بنسبة % (1,2,3) عند درجة حرارة (300K) حيث يلاحظ ان قيم الامتصاصية تكون قليلة جدا اقل من (A=0.1) للطاقات الاقل من فجوة الطاقة البصرية الممنوعة البالغ مقدارها ($E_g = 1.74\text{eV}$) للاغشية النقية . مما يدل ان الفوتونات الساقطة لم تتوغل ان تهيج الالكترونات وتقلها من حزم التكافؤ الى حزمة التوصيل، لان طاقة الفوتون اقل من قيمة فجوة الطاقة البصرية لشبه الموصل ، بعد ذلك نلاحظ من الشكل ايضا ان امتصاصية الاغشية المحضرة بنوعها النقية والمشوبة تبدأ بالزيادة التدريجية مع زيادة طاقة الفوتونات الضوئية الساقطة الى ان تبلغ ذروتها وتصبح شبه حادة عندما تصبح طاقة الفوتونات الضوئية الساقطة مساوية بقيمتها او اكبر من قيمة فجوة الطاقة البصرية للاغشية المحضرة كافة 0

يبين الشكل (4-17) ايضا ان طيف الامتصاصية للاغشية CdSe المشوبة يزداد بزيادة نسبة الاشابة بالالمنيوم ، وذلك بسبب حصول عمليات الامتصاص بوساطة مستويات التطعيم الناتجة من الالمنيوم مما يزيد الامتصاصية ، يرافق ذلك ازاحة الحافات الحادة (حافة الامتصاص) نحو الطاقات الواطئة مع زيادة نسبة التشويب و من المفيد الاشارة الى ان اكبر ازاحة تحدث للاغشية المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%).



الشكل (4 - 17) الامتصاصية دالة لطاقة الفوتون لأغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالألومنيوم بنسبة 0(1,2,3)%

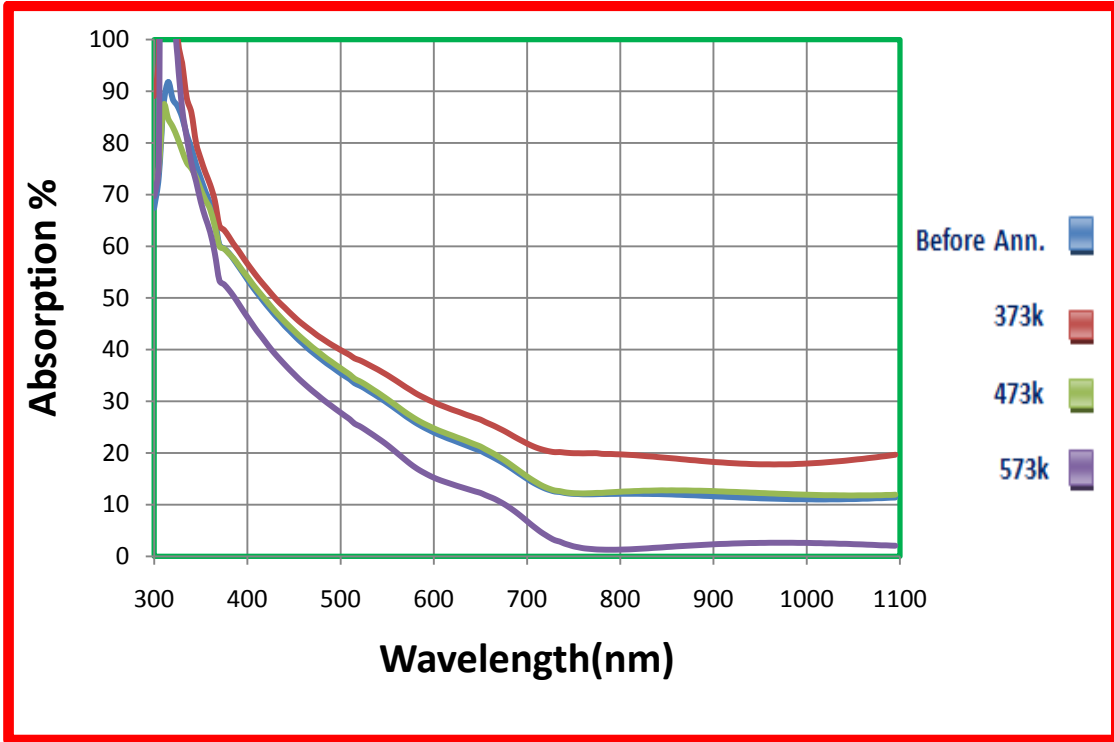
كما يوضح الشكل (4 - 18) التزايد الحاصل في قيم الامتصاصية بدلالة الأطوال الموجية المرافقة للفوتونات الساقطة لجميع الأغشية النقية والمشوبة، إذ يلاحظ ان الامتصاصية تزداد بزيادة نسبة التشويب ولاسيما في مديات الأطوال الموجية الواقعة ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي (400-800)nm . وهذا يعز و الى كثافة المستويات الموضعية التي كونتها ذرات المادة الشائبة في المادة المشابة ما بين حزمتي التكافؤ والتوصيل ، اذ تعمل هذه المستويات كمستويات مساعدة لانتقال الالكترونات الماصة للفوتونات ذات الطاقات الاقل من قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة ومن ثم حدوث امتصاص 0 يلاحظ من الشكل (4-18) ايضا ان حافة الامتصاص الاساسية (الحد الفاصل بين منطقة الامتصاص العالي للضوء والمنطقة الشفافة) لأغشية CdSe النقية والمشوبة تتراوح بين (700-750)nm كما يلاحظ ان امتصاصية الأغشية المشوبة بنسبة 3% تزداد بنحو 12% في منطقة الأشعة تحت الحمراء والقريبة منها (800-1100) nm .



الشكل (4- 18) الامتصاصية دالة للطول الموجي لأغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالألمنيوم بنسبة % (0,1,2,3)

يبين الشكل (4- 19) طيف الامتصاص لأغشية سيلين ايد الكاديوم المشوبة بالألمنيوم بنسبة (3%) والمعدن بدرجات حرارية (373,473,573)K حيث يلاحظ زيادة الامتصاصية للأغشية المعدنة بدرجة (373K) مع ازاحة حافة الامتصاص نحو الاطوال الموجية العالية (الطاقات الواطئة)، وان ذلك يعود الى ان التلدين عند تلك الدرجة الحرارية قد ادى الى تكوين مستويات موضعية بين حزمي التكافؤ والتوصيل تعمل كمستويات مساعدة لانتقال الالكترونات الماصة للفوتونات ذات الطاقات الاقل من قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة . كما يلاحظ نقصان الامتصاصية للأغشية المعدنة بدرجة (573K) مع ازاحة حافة الامتصاص نحو الاطوال الموجية الواطئة (الطاقات العالية) بمعنى ان التلدين عند تلك الدرجة قد ادى الى ازالة مستويات العيوب التركيبية المرافقة لعملية التحضير والتقليل من المستويات الموضعية

المتسببة بتكوين ذبول للحزمة . ويلاحظ ان التلدين بدرجة (473K) لم يحدث تغيراً كبيراً في طيف الامتصاص .

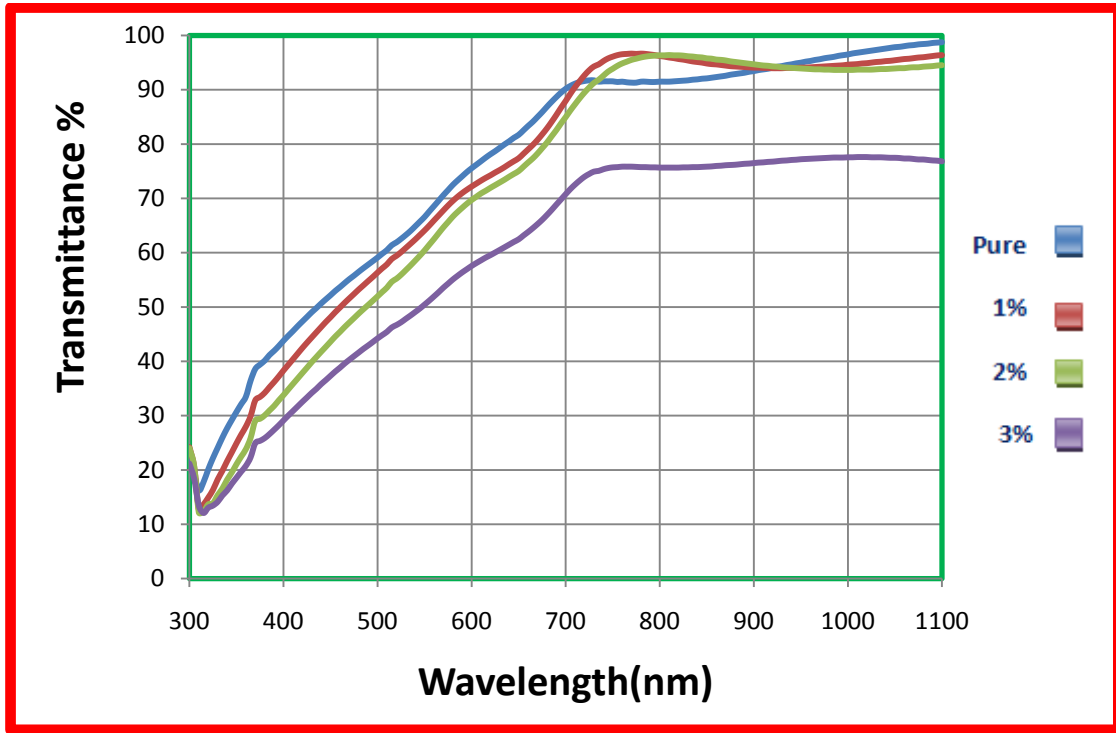


الشكل (4- 19) الامتصاصية دالة للطول الموجي لأغشية (CdSe) المشوبة بالألمنيوم بنسبة (3%) والمعدنة بدرجة (373,473,573) K

Transmittance النفاذية (2- 4- 4)

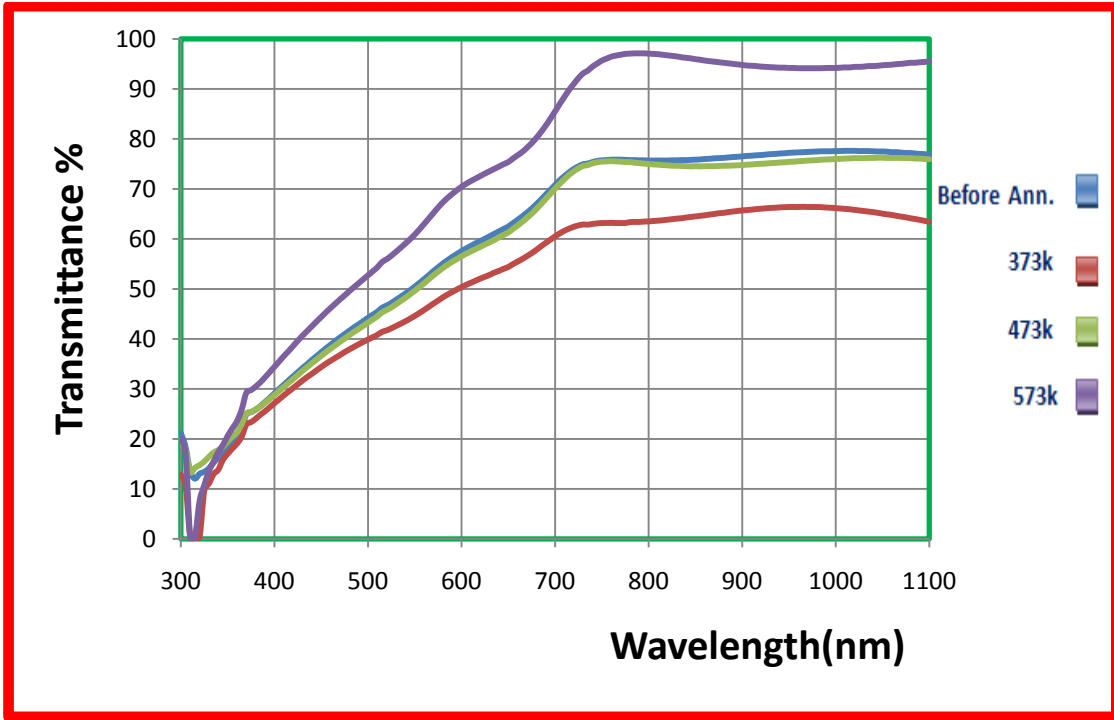
يمتاز طيف النفاذية بأنه معاكس لسلوكه لطيف الامتصاصية ، حيث يوضح الشكل (20-4) طيف النفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية سيلينيد الكاديوم النقية والمشوبة بالألمنيوم، إذ يتبين من الشكل أن النفاذية تبدأ على نحو عام بالظهور عند الطول الموجي الذي يمثل الحد الفاصل بين امتصاصية مادة الغشاء ونفاذيتها أو ما يسمى بطول موجة القطع ($\lambda_{cut\ off}$) ، ومن ثم تزداد النفاذية بصورة عامة بزيادة الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط على مادة الغشاء، أي عند الأطوال الموجية ذات الطاقات الواطئة.

أن طيف النفاذية لأغشية CdSe النقية الشكل (4 - 20) سرعان ما تبدأ بالتناقص التدريجي بزيادة نسب التشويب المأخوذة ، بسبب ذرات الشوائب وما يرافقها من تكوين مستويات موضعية ضمن فجوة الطاقة المحظورة ما بين حزمي التكافؤ والتوصيل وبالتالي زيادة الامتصاصية ونقصان في النفاذية .



الشكل (4- 20) النفاذية دالة للطول الموجي لأغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالألومنيوم بنسبة % (0,1,2,3)

يبين الشكل (4- 21) طيف النفاذية لأغشية سيلينايد الكاديوم المشوبة بالألومنيوم بنسبة (3%) والمعدنة بدرجات حرارية (373,473,573)K إذ يلاحظ ان النفاذية تزداد بزيادة الطول الموجي في ضمن المنطقة المرئية للطيف الكهرومغناطيسي (400-800)nm لدرجات حرارة التلدين كافة لتصل ذروتها واستقرارها عند المنطقة تحت الحمراء القريبة (800-1100)nm كما ان الاغشية المعدنة بدرجة حرارة (573K) تمتلك اكبر نفاذية للأشعة عند تلك المنطقة وباستقرارية عالية على هذا الأساس يمكن الاستفادة من خصائص الغشاء المحضّر بتلك الظروف وفي ضمن المديات الموجية المذكورة في أعلاه كمادة شفافة حرارياً وكنوافذ للأشعة تحت الحمراء (IR window) في كواشف (IR)

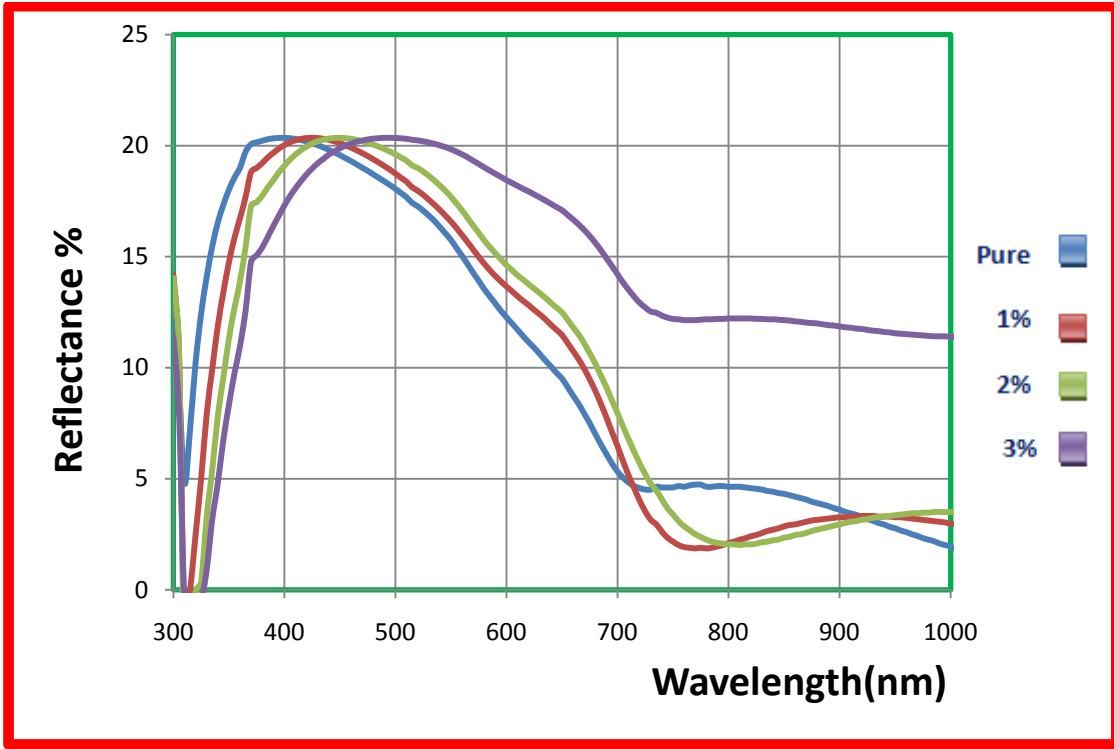


الشكل (4- 21) طيف النفاذية لأغشية (CdSe) المشوبة بالألمنيوم بنسبة (3%) والمعدنة بدرجات (373,473,573)K

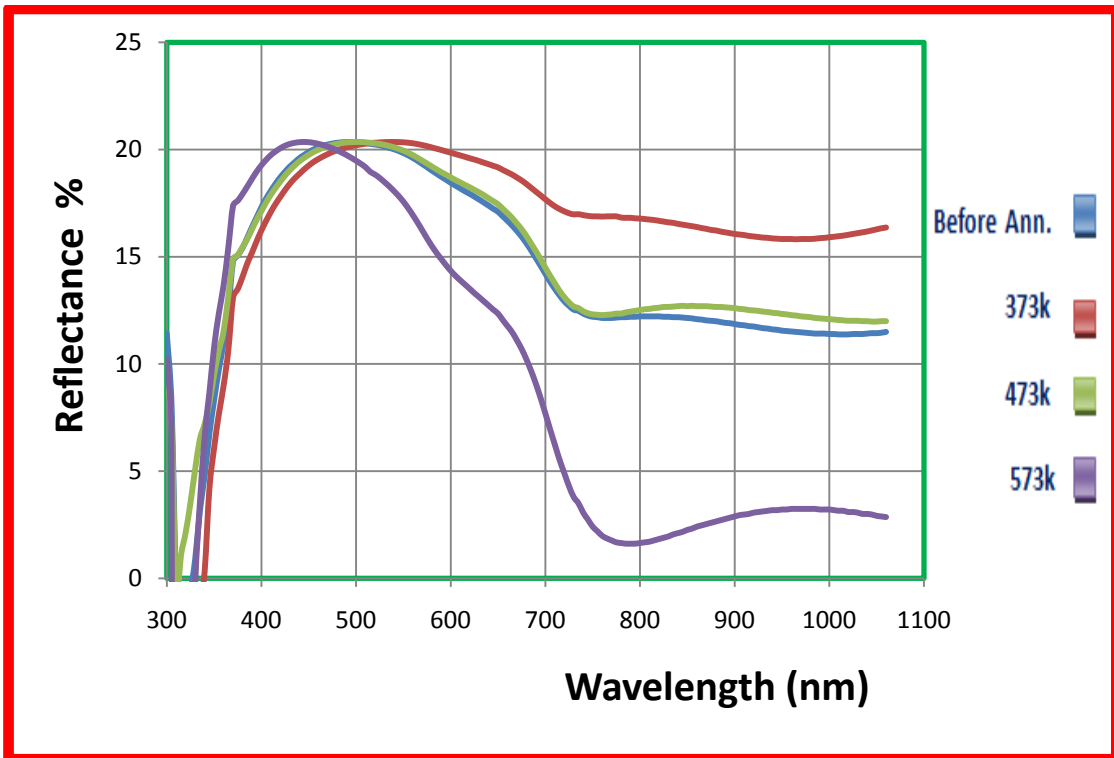
4 - 4 - 3) الانعكاسية Reflectance

تم حساب الانعكاسية (R) من طيف الامتصاصية والنفاذية بموجب قانون حفظ الطاقة وبحسب العلاقة (2- 8) وبين الشكل (4- 22) الانعكاسية كدالة للطول الموجي لأغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالألمنيوم، ونلاحظ من الشكل ان الانعكاسية تزداد مع زيادة الطول الموجي للطول الموجية القصيرة، اما بالنسبة للاطوال الموجية الطويلة فان الانعكاسية تقل مع زيادة الطول الموجي. وبزيادة التشويب عند الاطوال الموجية القصيرة تقل الانعكاسية وعند الاطوال الموجية الطويلة تزداد الانعكاسية.

اما تأثير التلدين على الانعكاسية للأغشية المشوبة بالألمنيوم بنسبة (3%) وللدرجات الحرارية (373,473,573)K فانها تسلك السلوك السابق نفسه من حيث الزيادة والنقصان كما ان الاغشية المعدنة بدرجة (373K) تمتلك اعلى انعكاسية ضمن الطول الموجي المحصور بين (500-1000)nm في الشكل (4 - 23). مع ملاحظة ان الانعكاسية تعتمد كثيرا على طبيعة سطح الغشاء الرقيق.



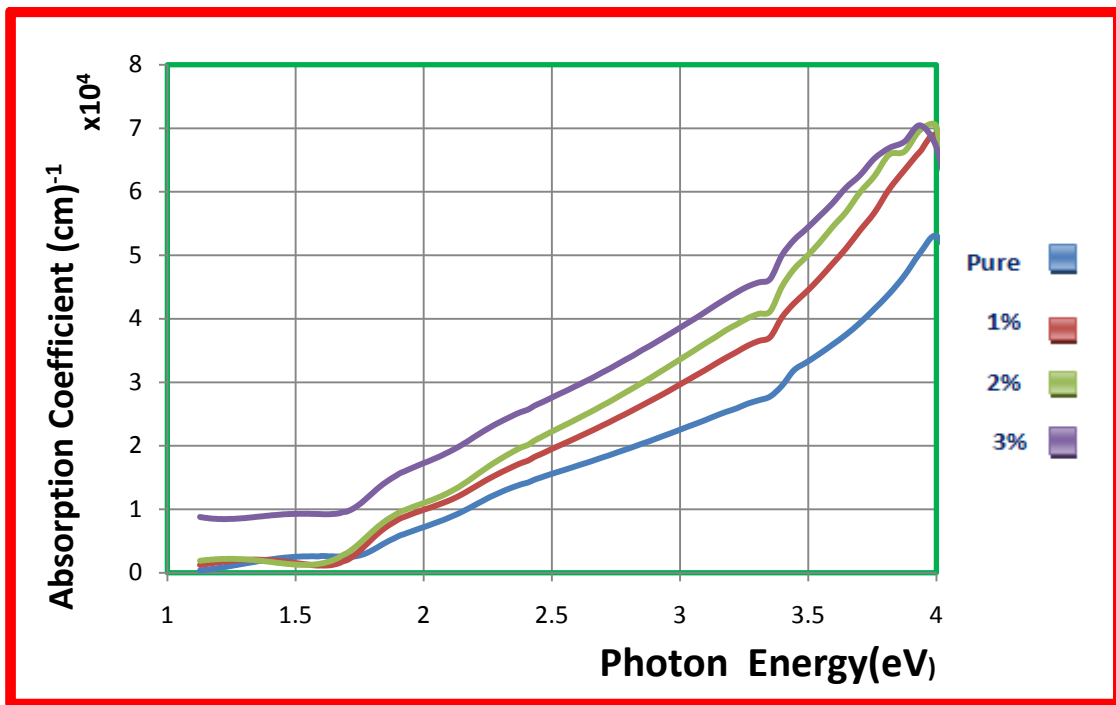
الشكل (4- 22) الانعكاسية دالة للطول الموجي لأغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالألمنيوم بنسبة 0 (1,2,3) %



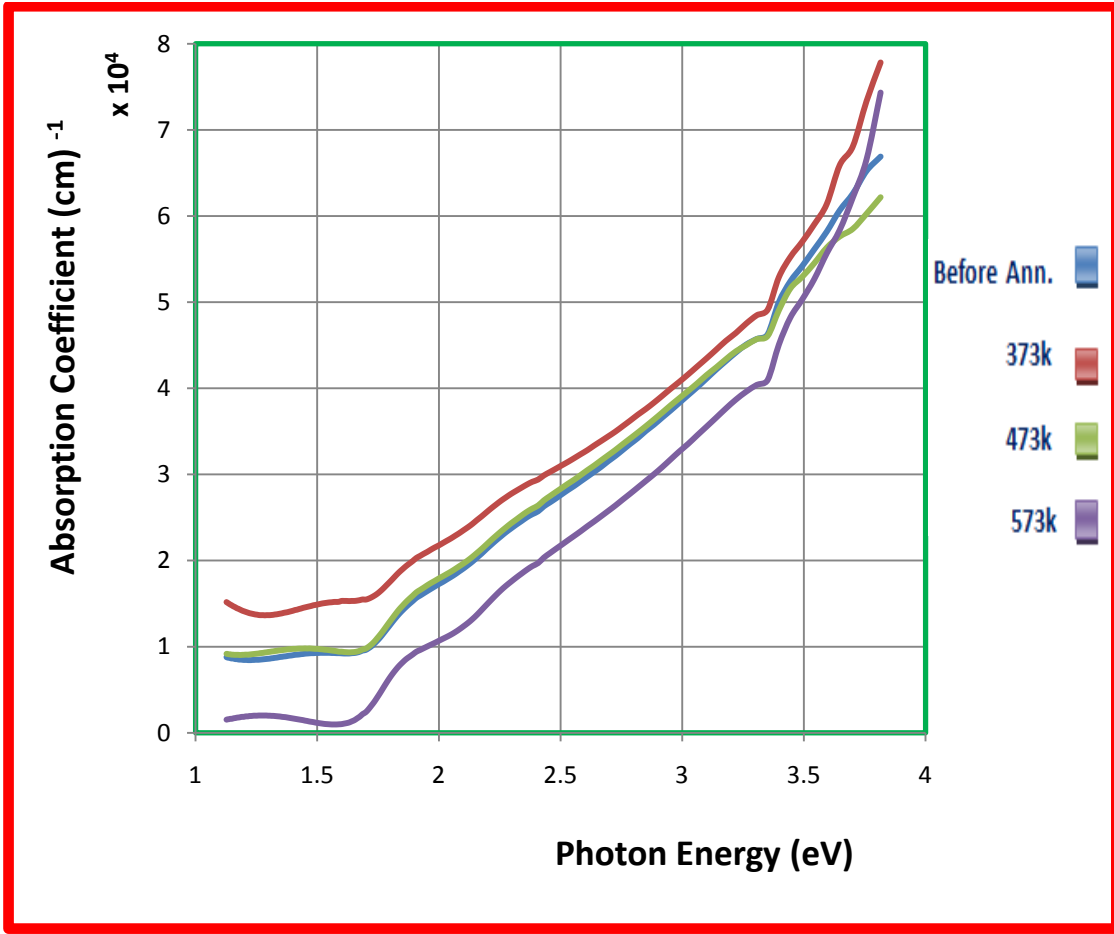
الشكل (4 - 23) الانعكاسية دالة للطول الموجي لأغشية (CdSe) المشوبة بالألمنيوم بنسبة 0(373,473,573) K والمعدنة بدرجات (3%)

(4 - 4 - 4) معامل الامتصاص Absorption Coefficient

يوضح الشكل (24-4) تغير معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالالمنيوم ، إذ يتضح من الشكل أن معامل الامتصاص يتصرف بسلوك مشابه لسلوك طيف الامتصاصية وهذا يرجع إلى طبيعة العلاقة القائمة بينهما في المعادلة (2-10) ، وكما يتضح أن معامل الامتصاص يبدأ على نحو عام بالزيادة التدريجية مع زيادة طاقة الفوتونات الضوئية الساقطة حتى تصبح قيمته أكبر من (10^4cm^{-1}) لمديات الطاقة التي تبدأ من (1.75eV) بالنسبة للأغشية النقية ، وهذا يتفق مع النتائج التي توصلت إليها الدراسات [54,65, 12] . وان القيم العالية لمعامل الامتصاص تشير إلى احتمالية حدوث انتقالات الكترونية مباشرة ما بين حزمتي التكافؤ والتوصيل عند تلك الطاقات . كذلك يلاحظ أن معامل الامتصاص يتزايد على نحو ملحوظ بزيادة نسب التشويب و يبلغ أقصى قيم له عند نسبة التشويب (3%) . كما يلاحظ من الشكل (4 - 25) ان اغشية (CdSe) المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) والمعدنة بدرجة حرارة (373K) تمتلك اعلى معامل امتصاص مع احتمالية عالية لحدوث انتقالات الكترونية مباشرة 0



الشكل (4 - 24) معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالالمنيوم بنسبة (1,2,3) % .



الشكل (4- 25) معامل الامتصاص دالة لطاقة الفوتون الساقط لاغشية (CdSe) المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) والملدنة .

(4 - 4 - 5) حساب فجوة الطاقة البصرية

تعد قيمة فجوة الطاقة البصرية الممنوعة واحدة من أهم القيم البصرية التي يعتمد عليها في فيزياء أشباه الموصلات لتصنيع كثير من النبائط الإلكترونية مثل الخلايا الشمسية، والكواشف والثنائيات الضوئية وغيرها . تم حساب فجوة الطاقة البصرية للاغشية النقية والمشوبة بالالمنيوم للانتقالات الإلكترونية المباشرة المسموحة باستخدام المعادلة (2- 2) حيث $(r=1/2)$ ، وتوسم العلاقة بين $(ah\nu)^2$ وطاقة الفوتون $(h\nu)$ ، ويحدد الجزء المستقيم من المنحني ليقطع محور طاقة الفوتون عند النقطة $[(ah\nu)^2=0]$ فنحصل على قيمة فجوة الطاقة

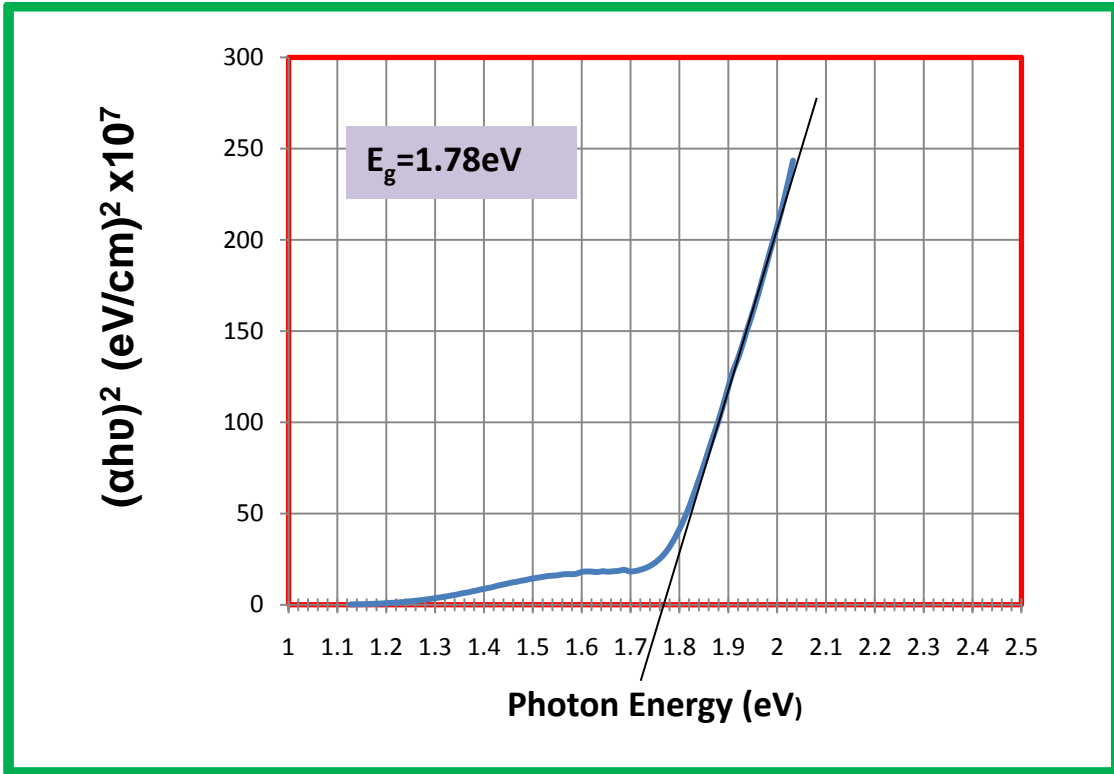
الممنوعة للانتقال المباشر المسموح، إذ بلغت (1.78eV) لسيلينايد الكاديوم النقي كما يبين ذلك الشكل (4-26)، هذه القيمة مقارنة لنتائج البحوث المنشورة كما مبين في الجدول (4-4) .

الجدول (4-4) قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح لاغشية CdSe غير المشوبة لبعض الدراسات المنشورة 0

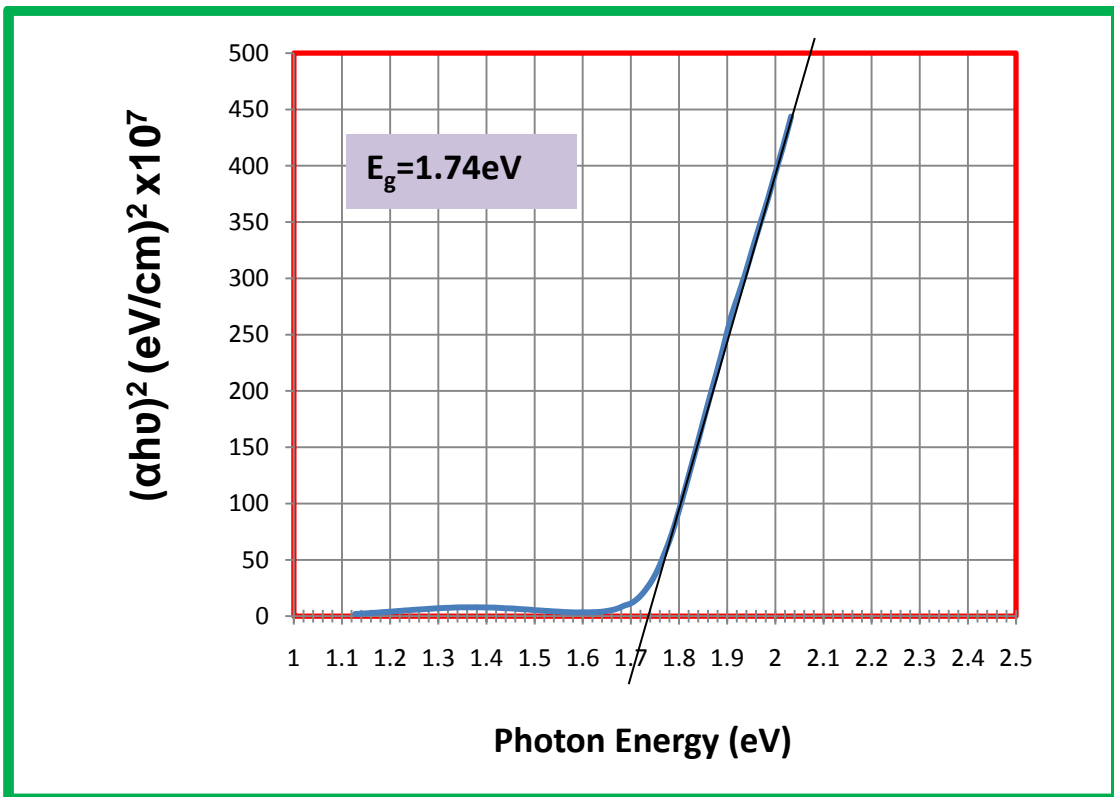
رقم المصدر	الانتقال المباشر المسموح E_g^{opt} eV	السنة	الباحث
88	1.76	1999	Al-Fawad
22	1.79	2002	Masumdar
19	1.75	2006	Kasap
26	1.92	2007	Suthan
36	1.89	2012	Ibrahim
39	1.93	2013	Rani
86	1.76	2012	Alaa

أما بالنسبة إلى تأثير نسب التشويب فنلاحظ من الأشكال (4-27) و(4-28) و(4-29) أن فجوة الطاقة كانت ذات قيم (1.66, 1.72, 1.74) eV ، لنسب التشويب (1,2,3)% على التوالي مما يدل على حصول نقصان في فجوة الطاقة بزيادة تركيز الشوائب . أما السبب في هذا التناقص فيمكن أن يعزى و إلى كثافة المستويات الموضعية التي كونتها ذرات شوائب الألمنيوم بين حزم تي التكافؤ و التوصيل والتي عملت عملها على امتصاص الفوتونات ذات الطاقات الأقل من (1.78 eV) ولغاية (1.66 eV) لنسبة التشويب (3%)

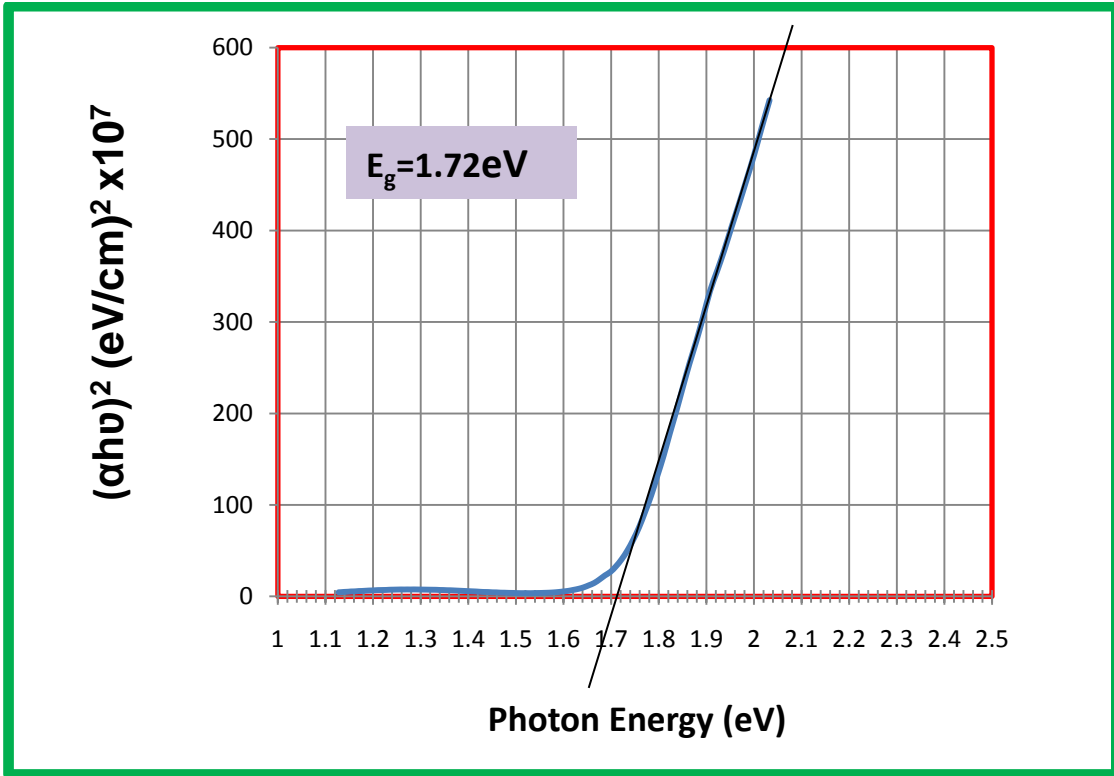
وان النقصان في فجوة الطاقة البصرية لاغشية CdSe مع زيادة نسب التشويب يتوافق مع الباحث (Mahalingam) [31] ، وقد استخدم عنصر الانديوم كمادة شائبة، وكذلك يتوافق مع الباحث (Al-Fawadi) [25] ، حيث استخدم عنصر النحاس كمادة شائبة .



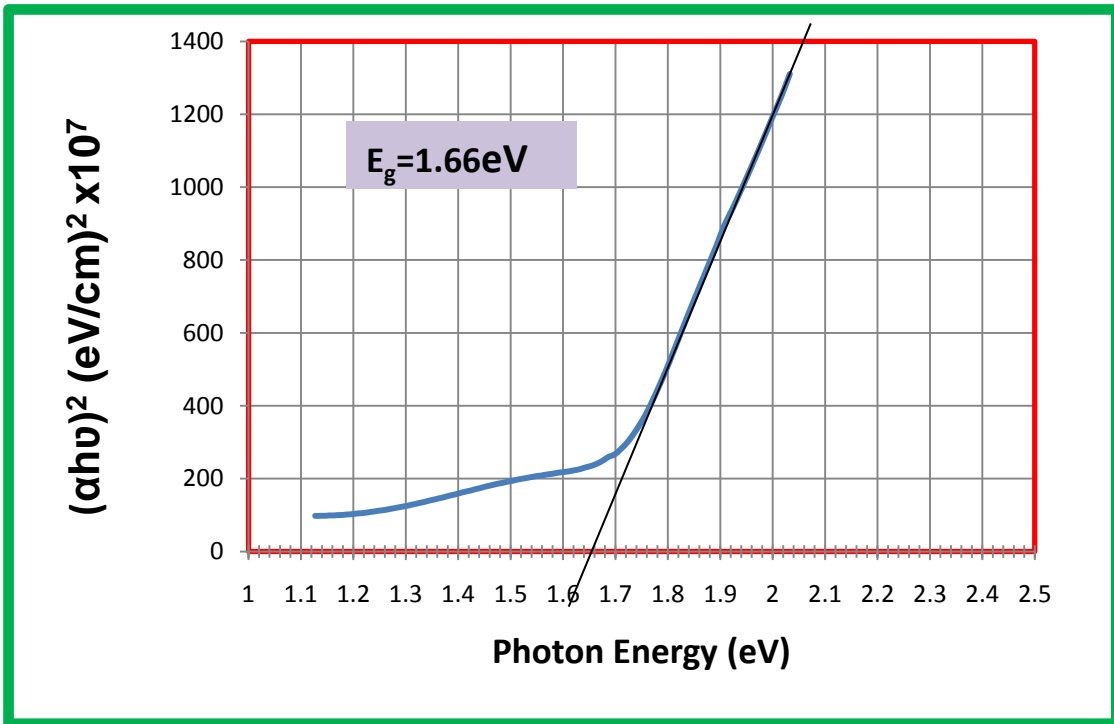
الشكل (4 - 26) فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح لغشاء (CdSe) النقي 0



الشكل (4 - 27) فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح لغشاء (CdSe) المشوب بالالمنيوم بنسبة 0(1%)

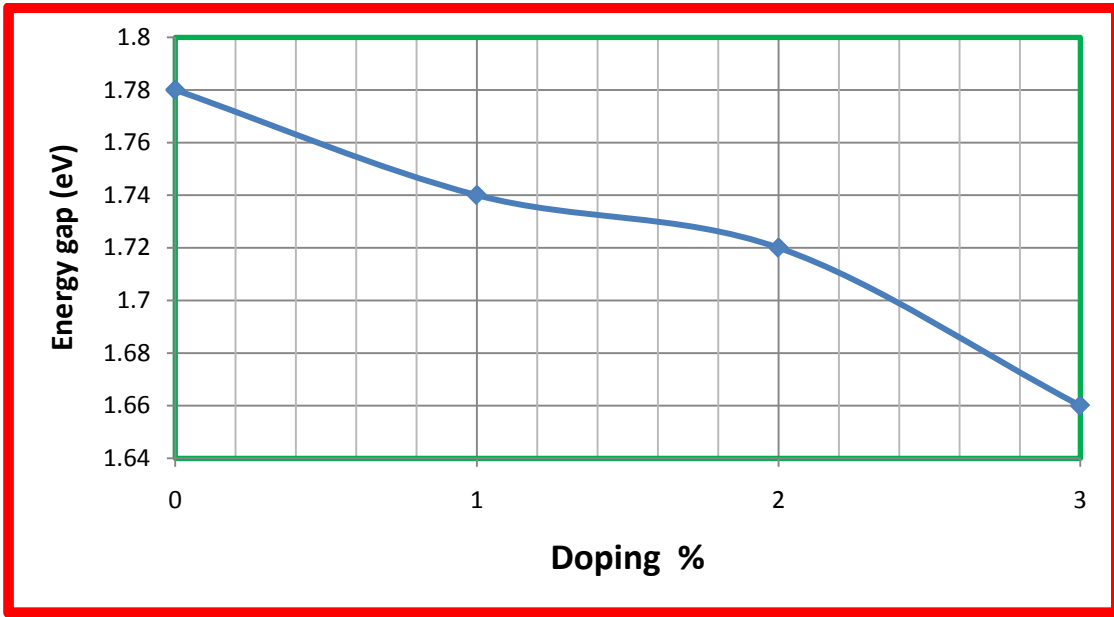


الشكل (4 - 28) فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح لغشاء (CdSe) المشوب بالالمنيوم بنسبة 0(2%)



الشكل (4 - 29) فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح لغشاء (CdSe) المشوب بالالمنيوم بنسبة 0(3%)

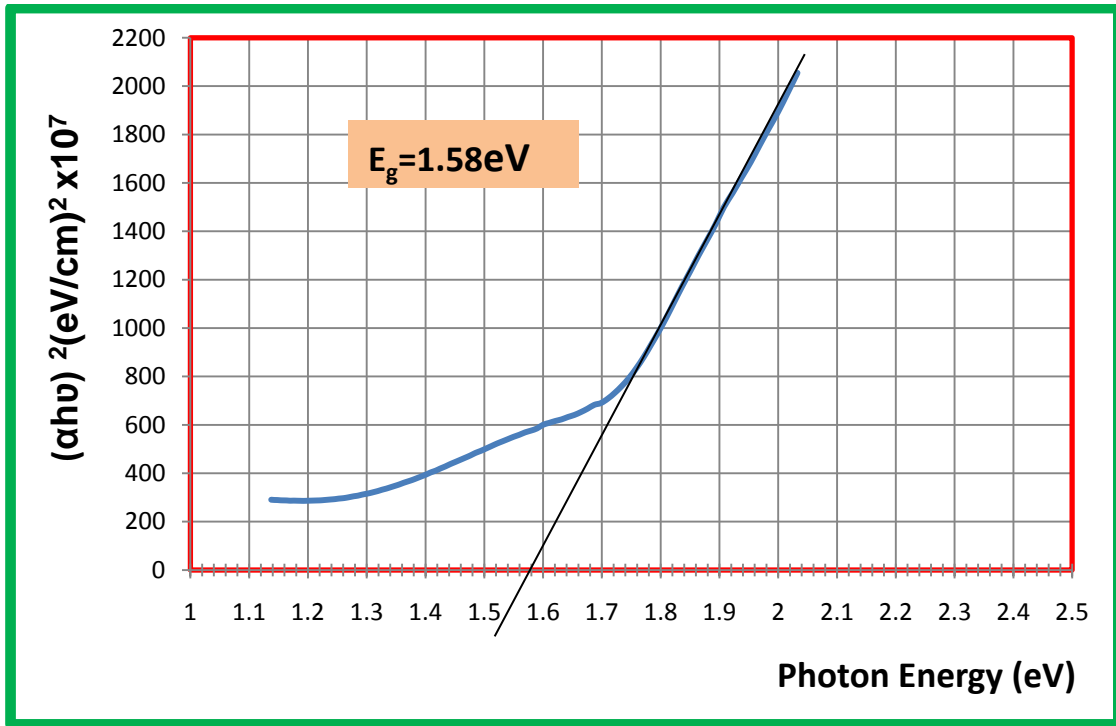
يبين الشكل (4- 30) تغير فجوة الطاقة البصرية (E_g^{opt}) كدالة لتغير نسب التشويب بالالمنيوم ويلاحظ ان العلاقة بينهما عكسية غير خطية ،اذ تقل (E_g^{opt}) بنحو كبير مع زيادة نسب التطعيم ، يعزو ذلك الى ان التطعيم العالي ينتج منه مستويات في الفجوة بسبب اندماج الشوائب بمستويات طاقة قريبة الى حافة الحزمة والتي تسبب نقصان في ميل العلاقة $(ah\nu)^2$ مع $(h\nu)$ وهذه قد تسهم في جعل فجوة الحزمة ضيقة 0



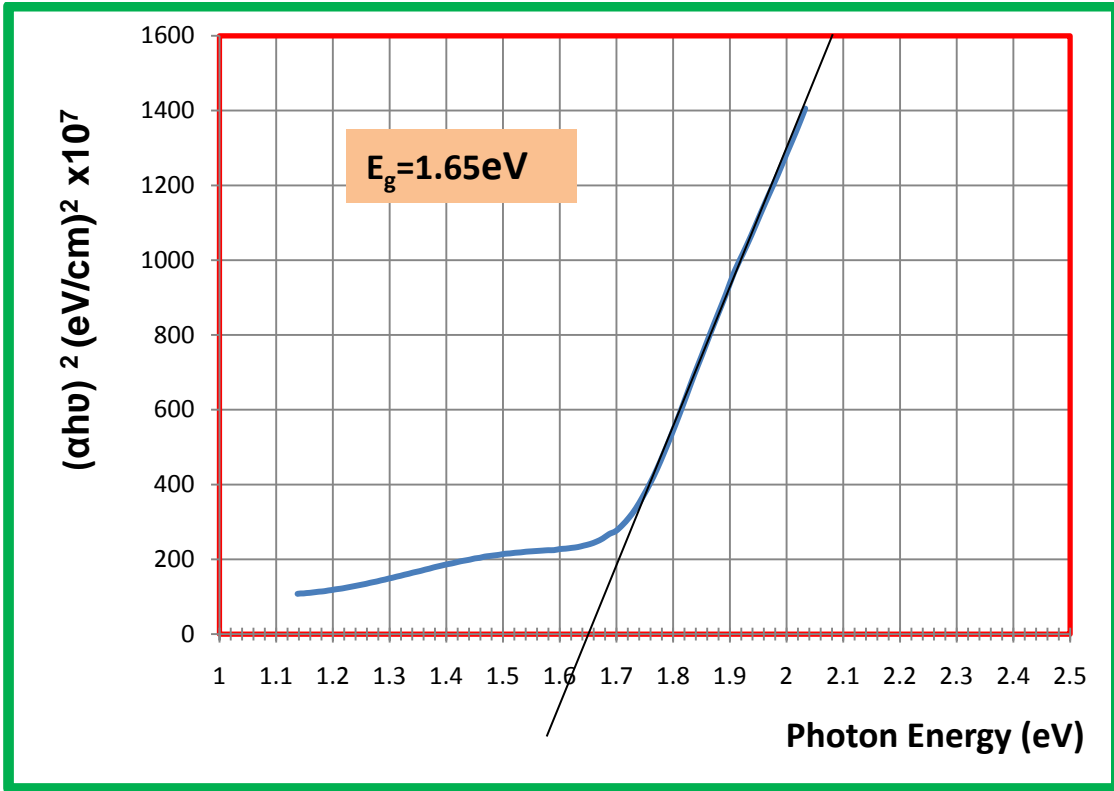
الشكل (4-30) فجوة الطاقة البصرية المباشرة لاغشية CdSe دالة لنسب التشويب بالالمنيوم

أما فيما يتعلق بتأثير التلدين فنلاحظ من الأشكال (4-31) و(4-32) و(4-33) أن قيمة فجوة الطاقة للانتقالات الالكترونية المباشرة لاغشية CdSe المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) قد اتخذت القيم الاتية (1.58 , 1.65 , 1.72) eV لدرجات التلدين (373,473,573)K على التوالي وعند مقارنة النتائج تلك مع فجوة الطاقة لاغشية CdSe لذات نسبة التشويب غير المملنة البالغة (1.66eV) ، كما في الشكل (4-34) ، نلاحظ ان فجوة الطاقة البصرية قد قلت عند درجة حرارة تلدين (373K)، وان سبب ذلك قد يعود الى زيادة استبدال ايون Al^{+3} محل ايون Cd^{+2} عند تلك الدرجة الحرارية ، ولذا يؤدي هذا الى زيادة عرض الحالات الموضعية مما يدفع الى حدوث نقصان في فجوة الطاقة البصرية . كما يلاحظ عدم حدوث تغير في فجوة الطاقة البصرية للاغشية المملنة بدرجة (473K) .

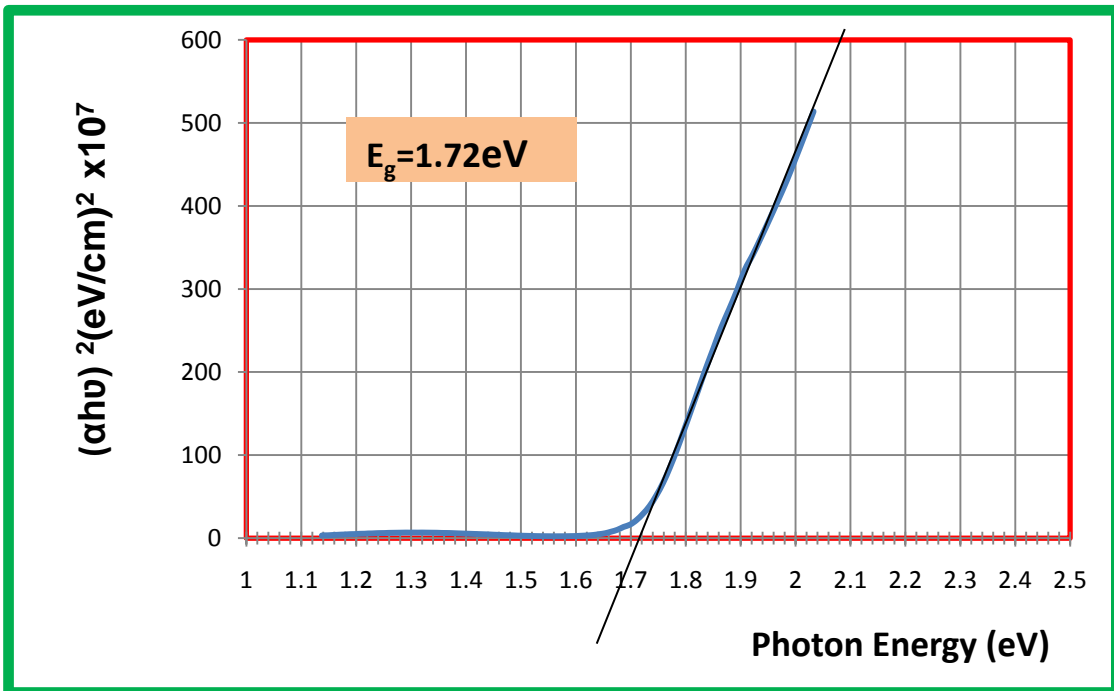
اما الاغشية المملنة بدرجة حرارة (573K) فقد اظهرت قياسات قيم فجوة الطاقة البصرية حدوث زيادة في قيمتها لتصل الى (1.72eV) ، وسبب ذلك يعود الى ان المعاملة الحرارية عند تلك الدرجة ادت الى التخلص من بعض المستويات الموضعية وكذلك تشبع الاواصر المتدلية ، مما يؤدي ذلك الى زيادة فجوة الطاقة البصرية كما في الشكل (34-4)



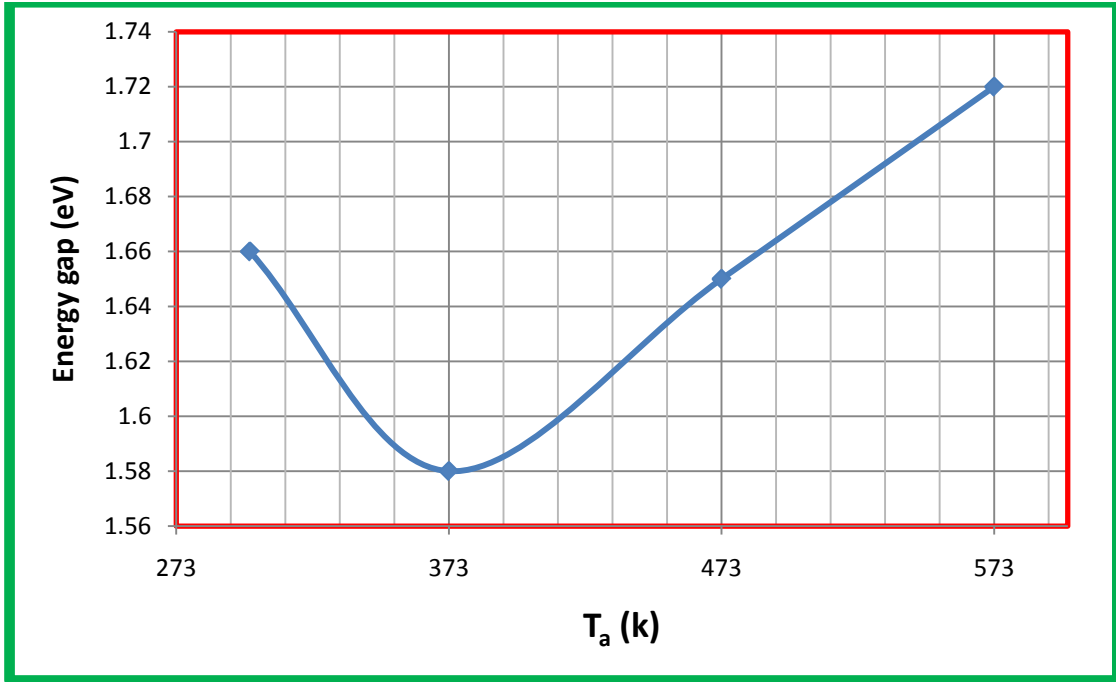
الشكل (4 - 31) فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح لغشاء (CdSe) المشوب بالالمنيوم بنسبة (3%) والمملن عند (373K) 0



الشكل (4 - 32) فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح لغشاء (CdSe) المشوب بالالمنيوم بنسبة (3%) والملدن عند $0(473\text{K})$



الشكل (4 - 33) فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح لغشاء (CdSe) المشوب بالالمنيوم بنسبة (3%) والملدن عند $0(573\text{K})$



الشكل (4-34) فجوة الطاقة البصرية لاغشية CdSe المشوبة بالالمنيوم بنسبة 3% لكثافة درجة حرارة التلدين 0

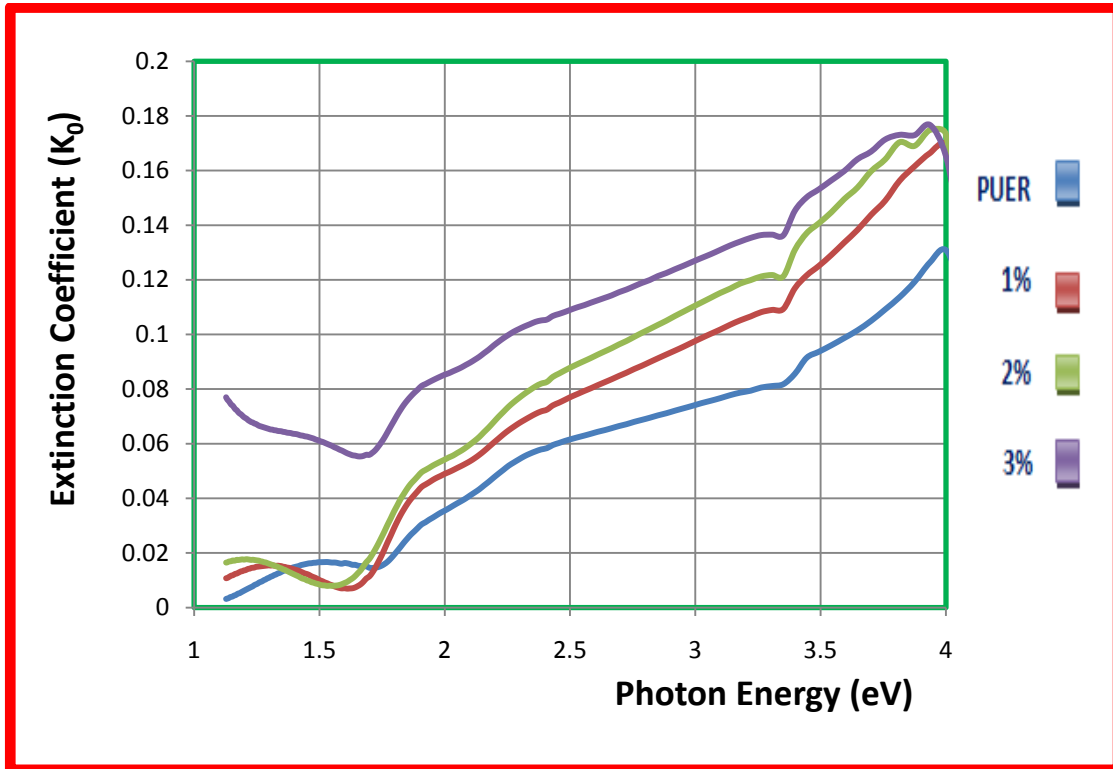
(4 - 4 - 6) معامل الخمود Extinction Coefficient

يشير معامل الخمود الى مقدار التوهين الحاصل للموجة الكهرومغناطيسية عند مرورها خلال الوسط المادي ، وعلى هذا الاساس تحدد قيمتها عن طريق تفاعلات الموجة الكهرومغناطيسية مع الوسط 0

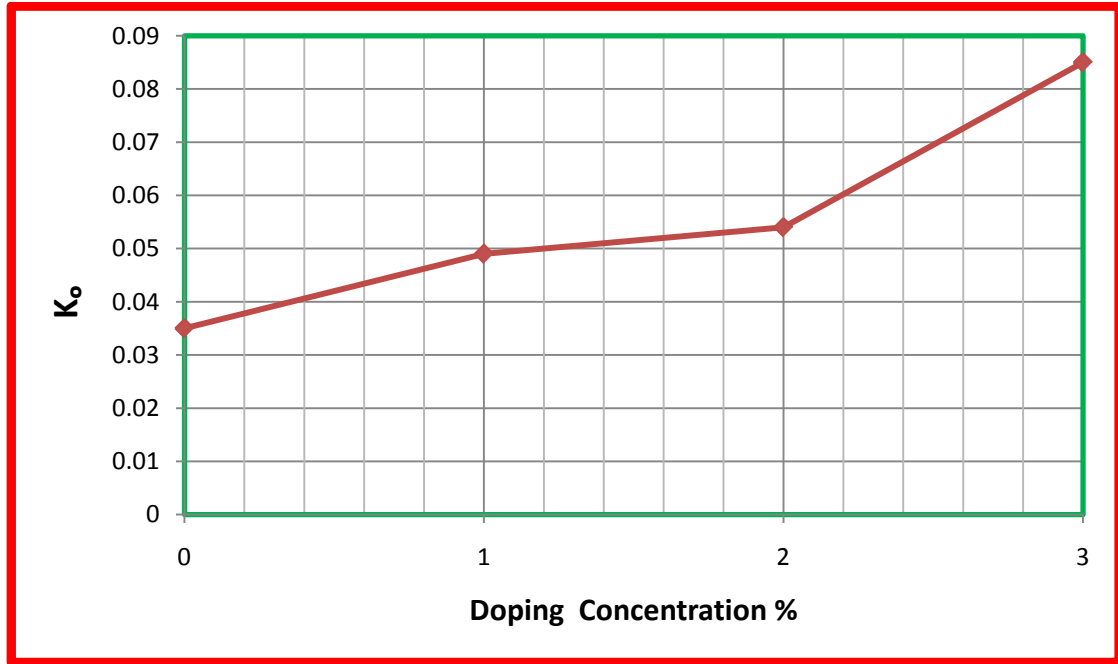
تم حساب معامل الخمود للأغشية المحضرة النقية والمشوبة وكذلك المدنة كافة وذلك باعتماد المعادلة (2- 11) ، ويوضح الشكل (4 - 35) تغير معامل الخمود كدالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية سيلينييد الكاديوم النقية والمشوبة بالالمنيوم ، اذ يتبين من الشكل أن طبيعة منحنيات معامل الخمود مشابهة تقريبا لسلوك منحنيات الامتصاص (α) بسبب طبيعة الارتباط بينهما بالعلاقة السابقة . كما يلاحظ ايضا ان الموجات الكهرومغناطيسية لاتعاني توهينا كبيرا عند الطاقات الواطئة المحصورة بين (1.6- 1) eV ، بعد ذلك يزداد التوهين عند حافة الامتصاص الاساسية 0

يلاحظ ايضا ان معامل الخمود يزداد طرديا بزيادة نسبة التشويب بالالمنيوم عند الطول الموجي (λ=600nm) كما في الشكل (4-36) 0

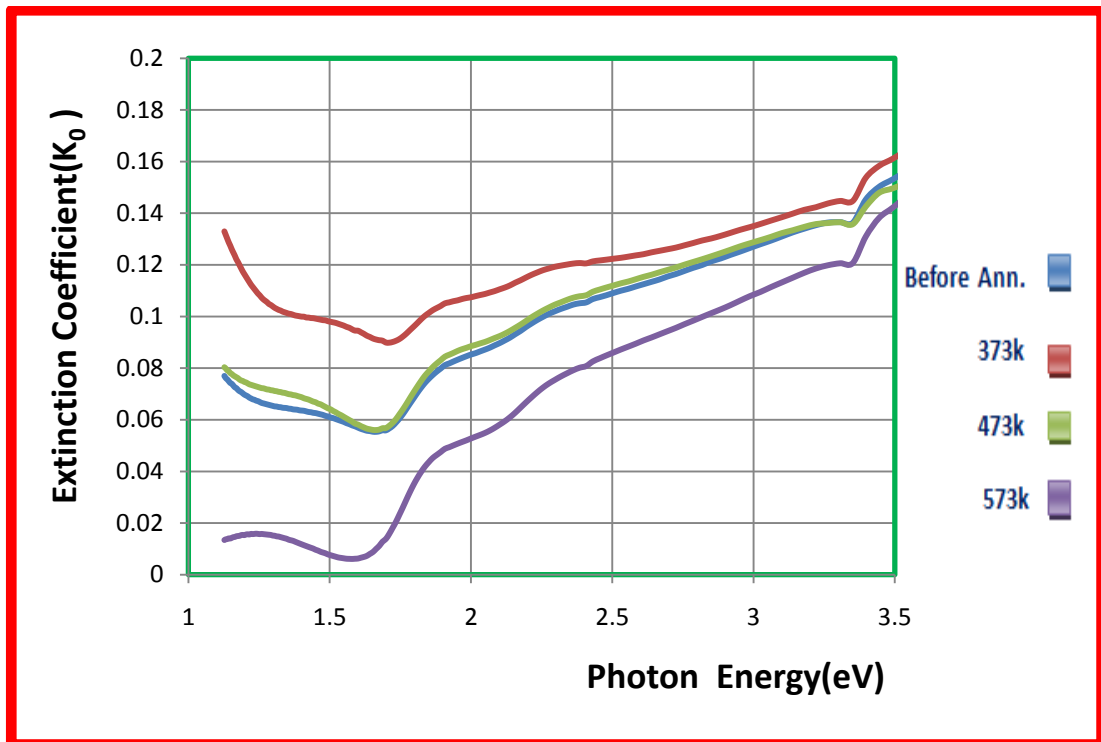
كما يبين الشكل (4 - 37) معامل الخمود لاغشية سيلينييد الكادميوم المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) والملدنة بدرجات حرارية (373,473,573)K، اذ نلاحظ ان هناك تغيراً تدريجياً لقيم معامل الخمود بمقدار صغير عند الطاقات الفوتونية الواطئة، ومن ثم حصول زيادة سريعة ضمن مدى الطاقات eV (4 - 1.8) وهذه الزيادة تدل على حدوث انتقالات الكترونية بين حزمي التكافؤ والتوصيل والتي ادت الى زيادة واضحة في معامل الخمود ليصل الى أعلى قيمة للاغشية المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) و للاغشية الملدنة نفسها عند درجة حرارة 0(373K) ويبين الشكل (4 - 38) تغير معامل الخمود كدالة لدرجة حرارة التلدين عند الطول الموجي ($\lambda=600nm$)



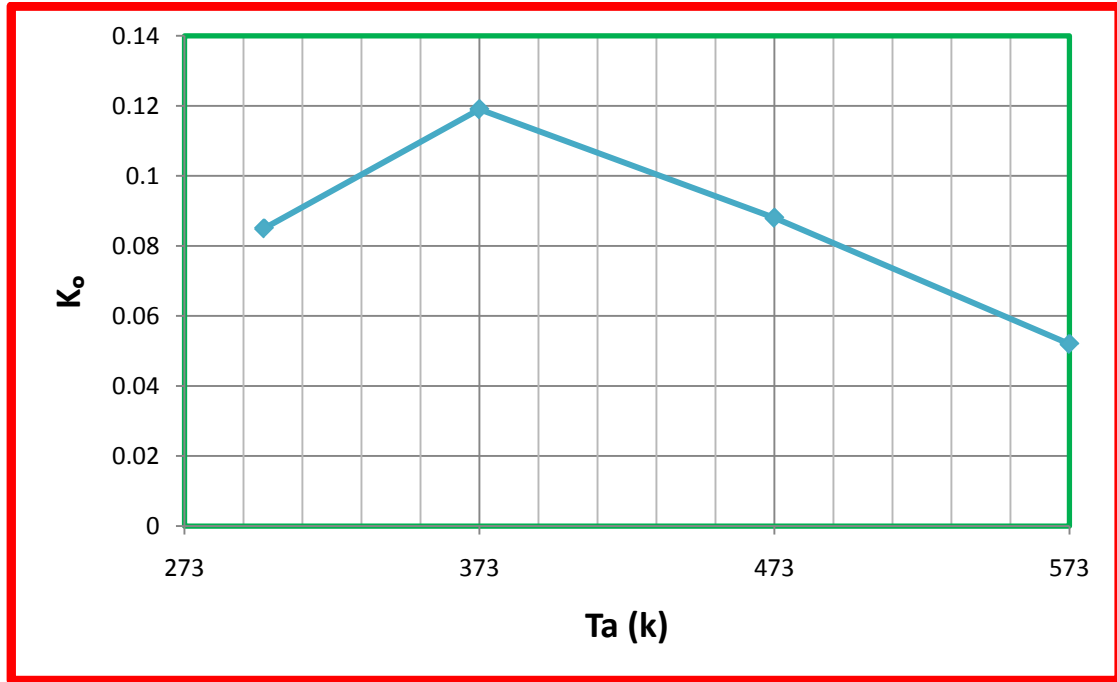
الشكل (4-35) معامل الخمود دالة لطاقة الفوتون لاغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالالمنيوم بنسبة (1,2,3)% 0



الشكل (4-36) معامل الخمود دالة لنسب التشويب بالالمنيوم عند الطول الموجي $(\lambda = 600\text{nm})$



الشكل (4-37) معامل الخمود دالة لطاقة الفوتون لاغشية (CdSe) المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) والمعدنة بدرجات حرارية K (373,473,573) 0



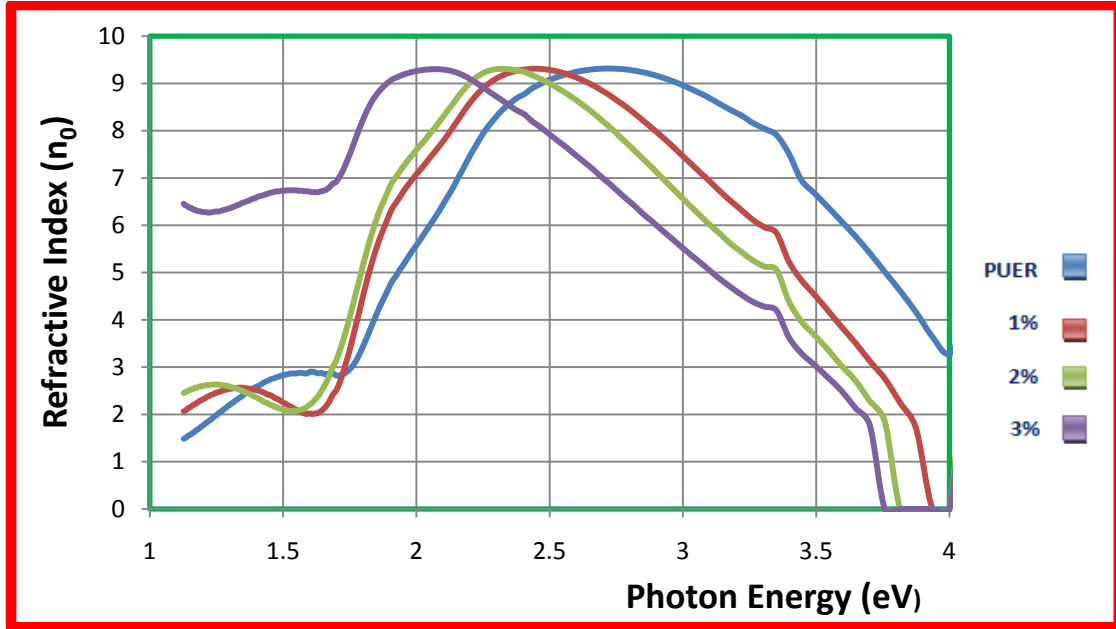
الشكل (4 - 38) معامل الخمود دالة لدرجة حرارة التلدين لاغشية CdSe المشوبة بنسبة 3% عند الطول الموجي ($\lambda=600\text{nm}$)

(4 - 4 - 7) معامل الانكسار Refractive Index

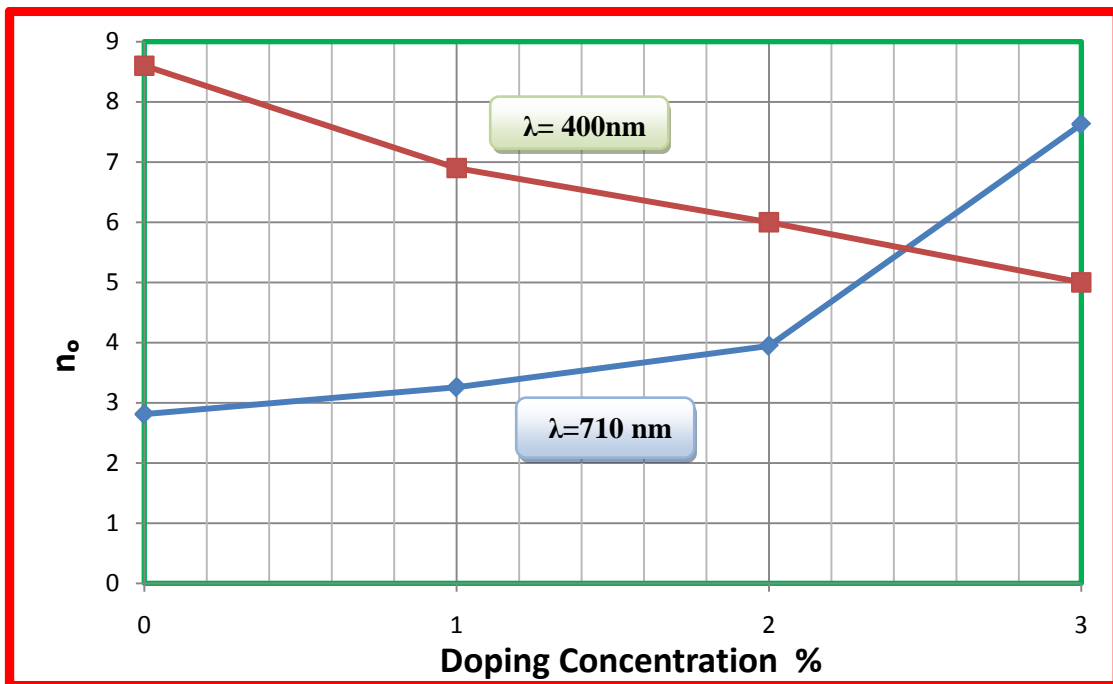
تم حساب معامل الانكسار لأغشية سيلينيد الكاديوم المحضرة قبل وبعد التشويب بالالمنيوم من المعادلة (2-14) إذ يبين الشكل (4-39) تغير معامل الانكسار كدالة لطاقة الفوتون الساقط . ونلاحظ أن طبيعة منحنى معامل الانكسار مشابهة تقريباً لطبيعة منحنى الانعكاسية وذلك لارتباط الانعكاسية مع معامل الانكسار كما في المعادلة السابقة ، حيث يلاحظ ان سلوك معامل الانكسار يختلف مع تغير طاقة الفوتون ففي منطقة الطاقات الواطئ القريبة من فجوة الطاقة المقاسة للاغشية النقية والمشوبة اي ضمن المدى (1.58 - 1.78) eV نجد ان قيم معامل الانكسار تزداد طردياً مع طاقة الفوتونات الساقطة اذ تتراوح هذه القيم بحدود (2.9-7.8) للاغشية النقية والمشوبة بنسبة 3% على التوالي 0

وقد يعزى السبب في ذلك الى ان التشويب يعمل على زيادة المستويات الطاقية في الفجوة المحضرة التي تعمل بدورها كمراكز تشتيت للاشعة الساقطة فتزداد بذلك الانعكاسية و لهذا نرى أن معامل الانكسار يزداد (n_o) ، و يبين الشكل (4-40) زيادة معامل الانكسار مع زيادة نسبة التشويب عند الطول الموجي ($\lambda = 710\text{nm}$) .

أما في منطقة الطاقات العالية فأن الشكل (4-39) يبين أن قيم معامل الانكسار تتناسب تناسبا عكسيا غير خطي مع طاقة الفوتونات الساقطة . كما أن الأغشية المشوبة بنسبة 3% تمتلك أقل معامل انكسار في تلك المنطقة . ويبين الشكل (4-40) نقصان معامل الانكسار مع زيادة نسبة التشويب عند الطول الموجي ($\lambda=400\text{nm}$)

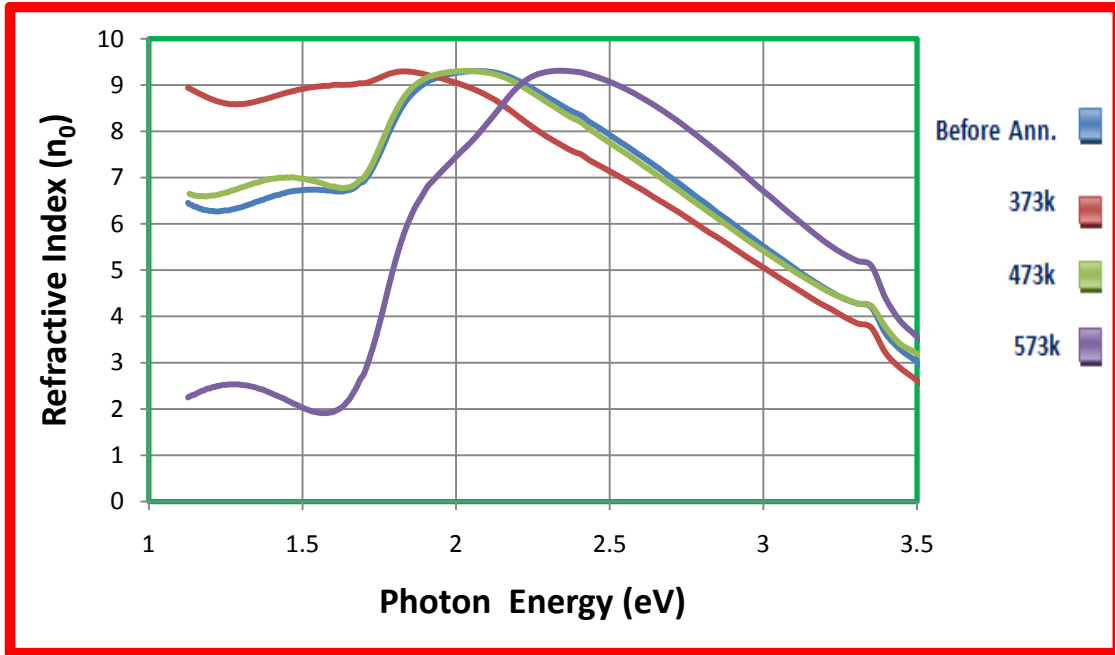


الشكل (4-39) معامل الانكسار دالة لطاقة الفوتون لاغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالالمنيوم بنسبة 0(1,2,3)%



الشكل (4-40) معامل الانكسار دالة لنسب التشويب بالالمنيوم

كذلك يبين الشكل (4 - 41) تأثير درجات حرارة التلدين (373,473,573) K على اغشية (CdSe) المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) حيث نلاحظ ان الاغشية المملنة بدرجة (373K) تمتلك اعلى معامل انكسار عند الطاقات الواطئة للفوتونات الساقطة مقارنة مع الاغشية المملنة بدرجة (473,573)K، وان سبب ذلك يعود الى ان المعاملة الحرارية عند تلك الدرجة تعمل على تحسين كثافة الرص للاغشية ذات التشويب العالي 0

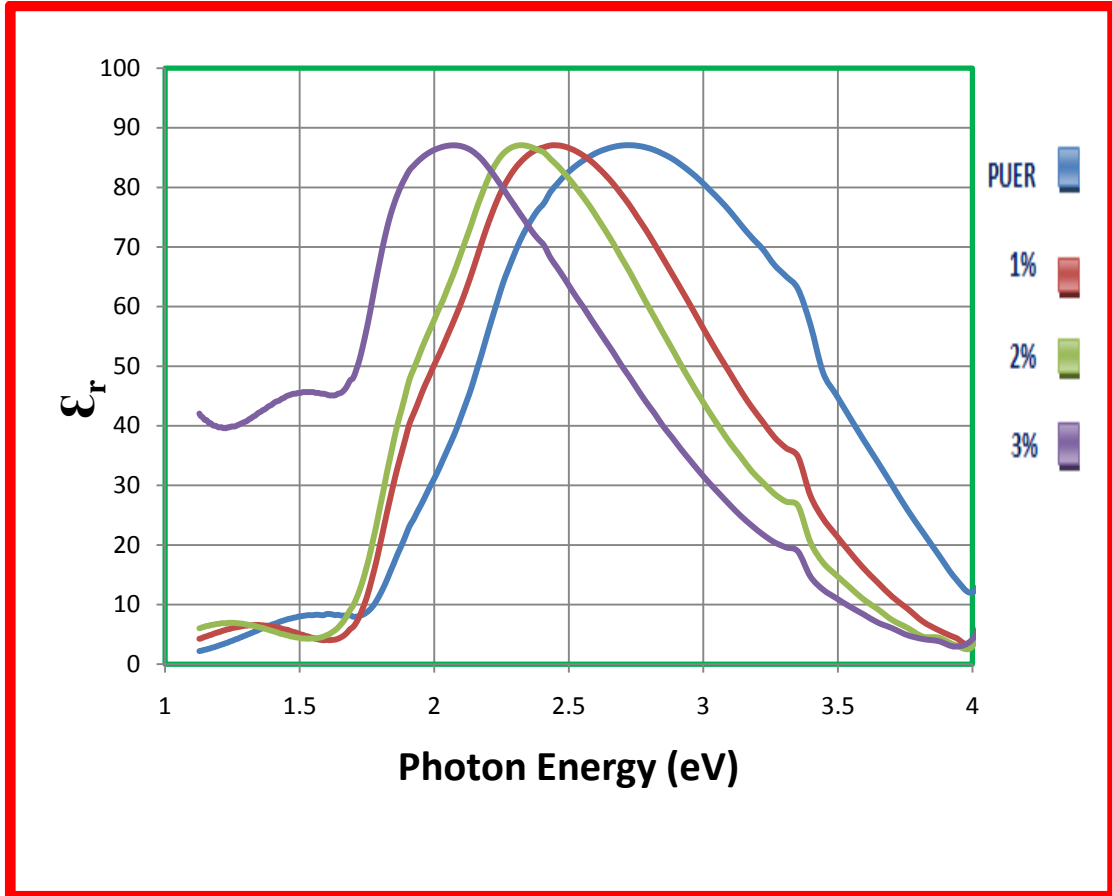


الشكل (4 - 41) معامل الانكسار دالة لطاقة الفوتون لاغشية (CdSe) المملنة بدرجة (373,473,573) K 0

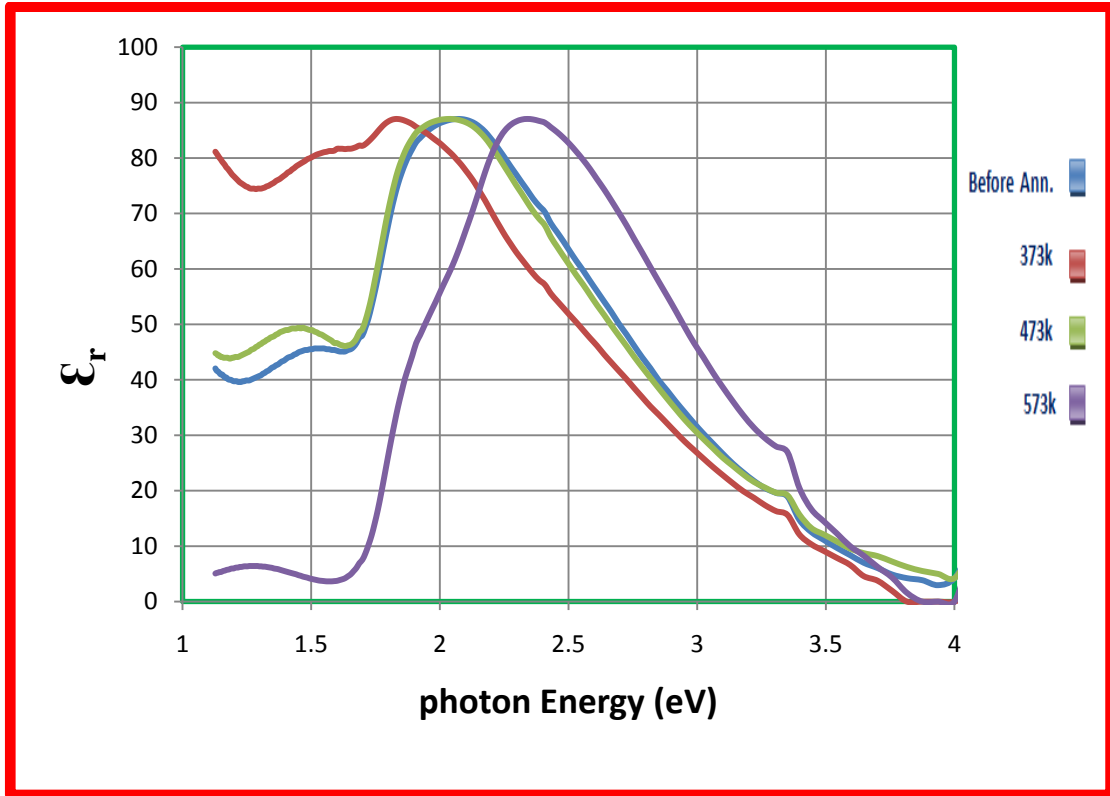
(4 - 4 - 8) ثابت العزل Dielectric Constant

تم حساب ثابت العزل الكهربائي بجزأيه الحقيقي (ϵ_r) والخيالي (ϵ_i) للأغشية المحضرة كافة وذلك باعتماد المعادلتين (2-18) و(2-19) على التوالي . ويوضح الشكل (4-42) تغير الجزء الحقيقي لثابت العزل (ϵ_r) كدالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية سيلينيدي الكاديوم النقية و المشوبة بالالمنيوم بالنسب % (1,2,3) ، حيث يتبين من الشكل أن منحنيات الجزء الحقيقي من ثابت العزل ذات طبيعة مشابهة تقريباً لمنحنيات معامل الانكسار ، بسبب طبيعة الارتباط بينهما بالعلاقة (2-18) وهذا التشابه ناتج عن اعتماد حساب قيم الجزء الحقيقي من ثابت العزل على قيم (n_o^2) اكثر من قيم (k_o^2) ، وذلك لان قيم (k_o) قليلة جدا مقارنة بقيم (n_o) حيث يكون فيها تأثير معامل الخمود ضعيفاً ولاسيما بعد التبريد .

يبين الشكل (4-43) تغير الجزء الحقيقي لثابت العزل (ϵ_r) كدالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية سيلينايي الكادميوم المشوبة بنسبة (3%) والملدنة ، يلاحظ ان المنحنيات تخضع في تغييرها الى السلوك السابق نفسه حيث انها تعتمد على معامل الانكسار 0

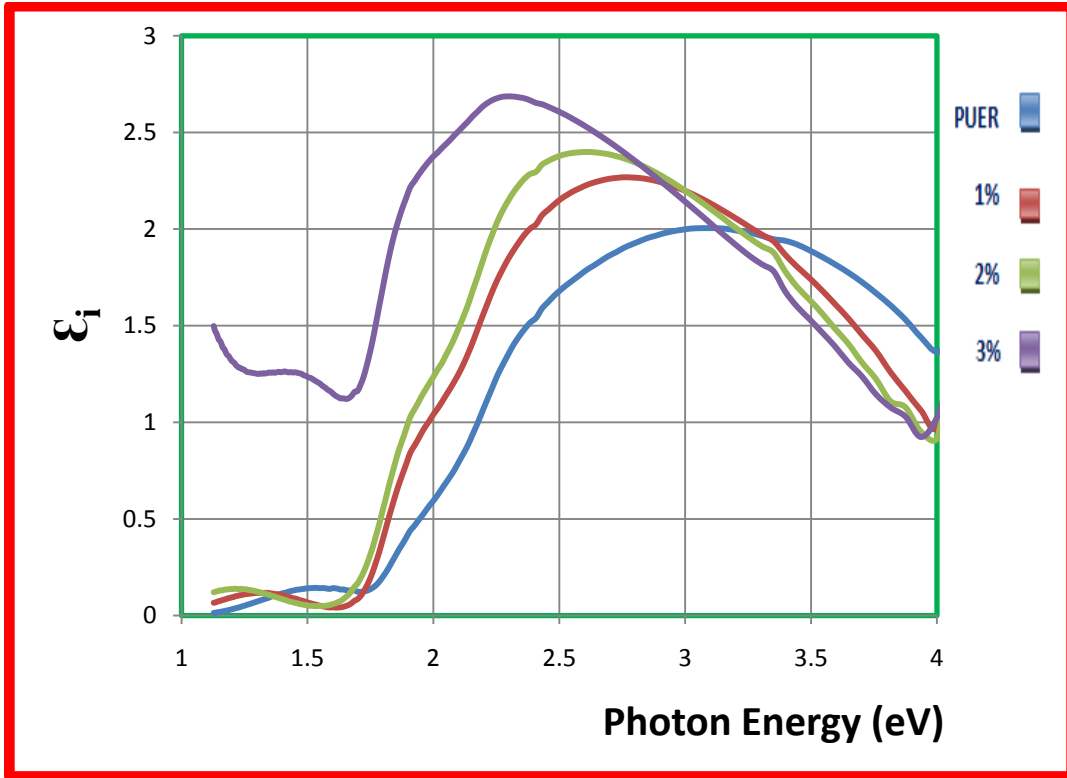


الشكل (4 - 42) الجزء الحقيقي لثابت العزل دالة الطاقة الفوتون لاغشية (CdSe) المشوبة بالالمنيوم بنسبة (1,2,3)% 0

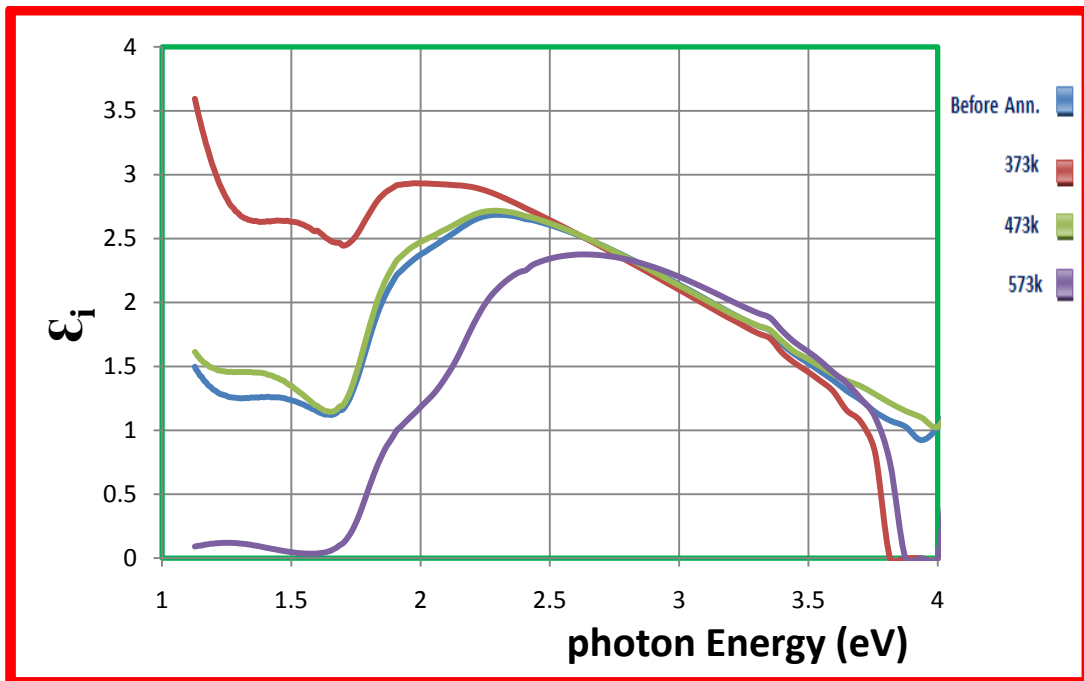


الشكل (4 - 43) الجزء الحقيقي لثابت العزل دالة لطاقة الفوتون لاغشية (CdSe) النقية و المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) و المملدنة بدرجات K (373,473,573) 0

كما يوضح الشكل (4 - 44) الجزء الخيالي لثابت العزل للاغشية النقية والمشوبة بنسب (1,2,3%) ويلاحظ ان طبيعة تغيره مع طاقة الفوتون مشابهة لطبيعة تغير معامل الانكسار مع طاقة الفوتون، لأن تغير معامل الخمود هنا قليل جداً بخلاف تغير معامل الانكسار كذلك نلاحظ زيادة في قيم الجزء الخيالي لثابت العزل و ازاحة حافة المحني نحو الطاقة الواطئة مع زيادة نسبة التشويب بالالمنيوم ، أما الشكل (4 - 45) فيمثل تغير الجزء الخيالي كدالة لطاقة الفوتون لاغشية (CdSe:Al) بنسبة (3%) لمختلف درجات التلدين 0



الشكل (4 - 44) الجزء الخيالي لثابت العزل دالة لطاقة الفوتون لاغشية (CdSe) النقية والمشوبة بالالمنيوم بنسبة % (0,1,2,3)



الشكل (4 - 45) الجزء الخيالي لثابت العزل دالة لطاقة الفوتون لاغشية (CdSe) المشوبة بالالمنيوم بنسبة (3%) الملدنة بدرجات حرارية (373,473,573)K

Conclusion الاستنتاجات (5- 4)

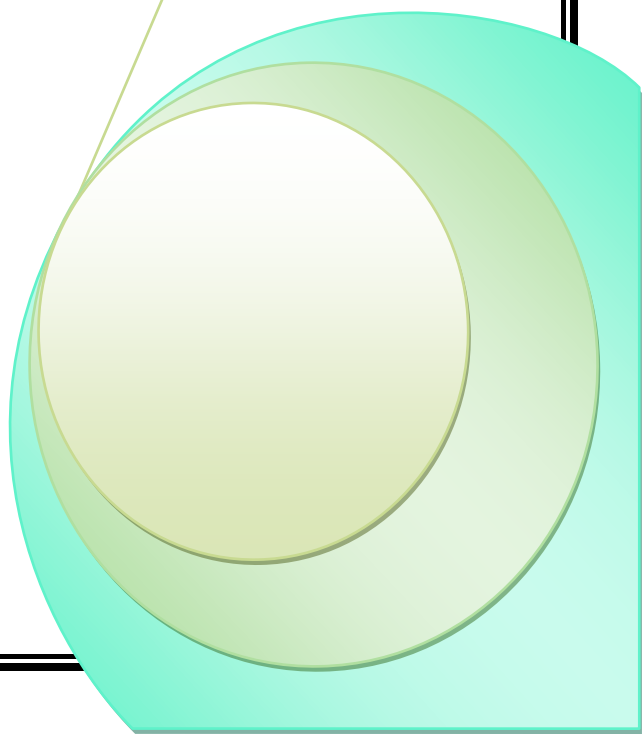
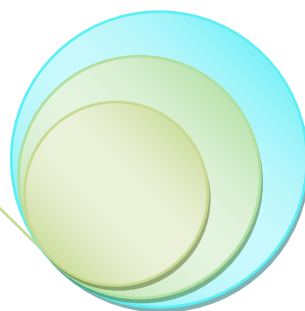
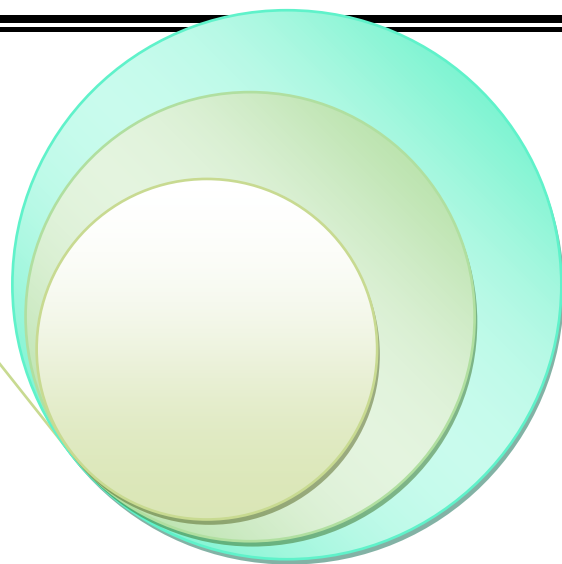
بعد الدراسة التي أجريت ومناقشة النتائج تمكنا استنتاج مايلي:-

- ❖ إمكانية تشويب أغشية CdSe بالالمنيوم (Al) باستخدام طريقة الانتشار الحراري و بنجاح 0
- ❖ أظهرت نتائج فحوصات الأشعة السينية لأغشية سيلينايد الكاديوم النقية والمشوبة بالالمنيوم بالنسب % (1,2,3) والمحضرة بتقنية التبخير الحراري في الفراغ ، بأنها ذات تركيب بلوري متعدد (Polycrystalline) ومن النوع السداسي (Hexagonally Wurtzite) .
- ❖ أدت عملية الإشابة بالالمنيوم إلى تناقص في شدة القمة المميزة بالاتجاه السائد [002] ، مع تناقص واضح يظهر في معدل الحجم الحبيبي بزيادة نسب التشويب المستعملة ولا سيما عند نسبة التشويب (%3) إذ يبلغ أقل قيمة له عند هذه النسبة وهي (20.756 nm) .
- ❖ أظهرت نماذج حيود الأشعة السينية لأغشية سيلينايد الكاديوم المشوبة بالالمنيوم بالنسبة (%3) والمعدنة بدرجات حرارة تليدين (373,473,573)K ، إذ أدت عملية التليدين إلى زيادة في شدة القمم المميزة بالاتجاهات الذرية [002] مع زيادة في معدل الحجم الحبيبي لذات النسبة من التشويب من (20.756 nm) لحالة ما قبل التليدين ، ليبلغ أكبر قيمة له (24.10nm) عند التليدين بدرجة حرارة (573K) ، وهذا يُعد مؤشراً على تحسن الخواص التركيبية 0
- ❖ أدى التشويب بالالمنيوم الى تناقص واضح في قيم فجوة الطاقة البصرية لأغشية سيلينايد الكاديوم مع ظهور تناقص مميز عند نسبة التشويب (%3) لتبلغ قيمة فجوة الطاقة عندها (1.66 eV) الأمر الذي يشير إلى اتساع منطقة الامتصاص البصري لأغشية سيلينايد الكاديوم عند إشابتها بالالمنيوم لتمتص بذلك معظم الطاقات الفوتونية الواقعة في ضمن المنطقة المرئية وجزء من تلك الطاقات الواقعة في منطقة الأشعة تحت الحمراء والقريبة منها
- ❖ أظهرت نتائج الفحوصات البصرية ان الاغشية المشوبة بنسبة (%3) والمعدنة عند درجة حرارة (573K) تمتلك اعلى نفاذية في المنطقة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي لذلك يمكن استخدامها كمادة شفافة حراريا وكنوافذ للأشعة تحت الحمراء (IR window) في كواشف (IR) 0

Future Works (6 - 4) المشاريع المستقبلية

- ❖ دراسة الخواص الكهربائية لاغشية CdSe:Al المحضرة بتقنية التبخير الحراري في الفراغ 0
- ❖ تحضير متحسس للغازات من غشاء سيلينايد الكاديوم النقي والمشوبة بالالمنيوم المحضرة بتقنية التبخير الحراري في الفراغ 0
- ❖ تحضير اغشية CdSe:Al بطريقة الحمام الكيميائي ودراسة خواصها التركيبية والبصرية ومقارنتها بنتائج الدراسة الحالية 0
- ❖ دراسة تأثير سمك الغشاء ودرجة حرارة الاساس على الخواص الفيزيائية لاغشية CdSe:Al المحضرة بتقنية التبخير الحراري في الفراغ 0
- ❖ تصنيع كاشف IR او خلية شمسية من اغشية CdSe:Al 0

المصادر



- [1] G. Hass and R. E. Thun, "Physics of thin Films", Academic Press, New York (1966).
- [2] K.L.Chopra and I.Kaur, "Thin Film Devices Applications", Plenum Press New York, (1983).
- [3] J.R.Son, "Thin Film Technology", 2nd Ed., (1986).
- [4] A. S. Jabbar, "A Study of Some Physical Properties of (Cd) Films deposited by locally fabricated D.C. Sputtering" University of Technology, thesis, (2006).
- [5] K.Wasa, M.Kitabatake and H. Adachi, "Thin Film Materials Technology ", Springer, William Andrew, Inc. (2004).
- [6] D. Leaver and B. N.Chapman, "Thin Film", pp.2-9, (1971).
- [7] M. Krunk, "Thin Films for Photovoltaics by Chemical Methods", Tallinn University of Technology, Estonia, (2004).
- [8] S. M. Sze, " Semiconductors Devices Physics and Technology ", Translated to Arabic by F. G. Hayaty and H. A. Ahmed, Baghdad, (1990).
- [9] J.A.Venaables, " Introduction to Surface and Thin Film Processes" , Cambridge University Press ,(2003).
- [10] P.Prashanth , " Presentation of Thermal Evaporator " , Indian Institute of Science Publication, (2010) .
- [11] R. S. Singh, S. Bhushan, A. K. Singh, S. R. Deo "Characterization and Optical Properties of CdSe Nano-Crystalline Thin Films" Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures ,Vol.6, No 2, pp. 403- 412, (2011) .
- [12] K.W.Whitten, R.E.Davis , R.E.Davis, " Chemistry", Tenth Edition M. Larry Peck, George G. Stanley, (2014)
- [13] D. Wood, "Optoelectronic Semiconductor Devices", Prentice Hall, New York, (1994).
- [14] L. I. Berger , " Semiconductor Materials" CRC press Inc,
- [15] A. M. Kadim "White Light Generation from the CdSe/ZnS Core-Shell" , Thesis, University of Baghdad, College of Science, (2011).
- [16] M. Gundmann "The physics of Semiconductors", Second Edition, Springer, (2003).
- [17] R. Tenne, R.J.Waldau, Phys. Rev. B, 42(3), 1763 , (1990).
- [18] M.N.Borah, S.Chaliha, P.C.Sarmah and A.Rahman "Electrical properties of thermally evaporated doped and undoped of CdSe" Indian journal of pure & Applied physics , films Vol.45 , pp.687- 691, (2007).
- [19] S. Kasap, P. Capper , " Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials", (2006).

- [20] Yu.P.Gnatenko , P.M.Bukivskij, I.O.Faryna, A.S.Opanasyuk, M.M.Ivashchenko " Photoluminescence of high optical quality CdSe thin films deposited by close-spaced vacuum sublimation" Journal of Luminescence 146,pp.174–177, (2014).
- [21] J.E.Hatch" Aluminum Properties and Physical Metallurgy", April(2005).
- [22] E.U.Masumdar,S.H.Mane,V.B.Pujari and L.P.Deshmukh, "Effect of antimony dopant on structural and optical properties of CdSe thin films",Indian Journal of Pure & Applied Physics ,Vol.40,pp 624-632,(2002).
- [23] S.Velumani,X.Mathewa, P.J. Sebastiana, Sa.K. Narayandass, D.Mangalaraj " Structural and optical properties of hot wall Solar deposited CdSe thin films" Solar Energy Materials & Cells76 ,PP.347–358,(2003).
- [24] Kale, R.B. ,Lokhande, C.D. " Influence of air annealing on the structural, optical and electrical properties of chemically deposited CdSe nano - crystallites", Applied Surface Science, Vol. 223, Issue: 4 ,PP. 343-351, Elsevier Publisher, (2004) .
- [25] E.Al-Fawadi "The effect of doping ratio on the optical properties of CdSe film" Um-Salama Science Journal, Vol.3(1), pp.(180-186) ,(2006).
- [26] N. J. Suthan Kissinger ,M. Jayachandran , K. Perumal , C. S Raja "Structural and optical properties of electron beam evaporated CdSe thin films", Bulletin of Materials Science, Vol. 30, Issue: 6, PP. 547- 551, Springer Publisher, (2007) .
- [27] K. Sarmah, R. Sarma, H. L. Das "Structural Characterization of Thermally Evaporated CdSe Thin Films" Chalcogenide Letters ,Vol. 5, No. 8, pp. 153 –163,(2008).
- [28] V. Ciupina, A. Petcu, P. Rambu, C. Baban, L.C. Petcu, G. Prodan, G.I. Rusu, V. Pomazan, "Study of Structure and Optical Properties of CdSe Thin Films "Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol.10, No. 11, pp. 2993 - 2995, November (2008)
- [29] S.A.Mohamed,"Influence of annealing temperature and deposition rate on the energy gap of CdSe thin films" Journal of College of Education ,No.5,(2010)0

- [30] S. B. Ahamed, M. G. , Balu, A. R. , Nagarethinam, V. S. , Thayumanavan, A. , " Structural, optical, and electrical properties of electron beam evaporated CdSe thin films" Crystal Research and Technology, Volume: 45, Issue: 4, pp. 387-392 ,Wiley ,(2010).
- [31] T. Mahalingam ,R.Mariappan, V.Dhanasekaran,S.M.Mohan, G.Ravi,J.P.Chu, "Characterization of electrodeposited indium doped CdSe thin film"Chalcogenidel Letters , Vol.7,No.12,pp.669-677,(2010)
- [32] J. I. Contreras Rascón, O. P. Moreno, G. A. Ávila, J. R. Cerna, J. Tecorralco, J. M. Juárez, R. L. Morales and O. Z. Ángel" Characterization of Chemical Bath Deposited CdSe Thin Films Doped with S⁻²" Journal of Materials Science and Engineering, Issue: 1934-8959, pp. 1657-666, (2011).
- [33] N.Y.Jamil ,M.T.Mahmood,N.A.Mustafa" The optical and electrical properties of CdSe thin film prepared by CBD technique" Raf.J.SCI, Vol:23,No:1,pp.116-125,(2012).
- [34] Gawali ,S.A.Bhosale,C.H"Structural and optical properties of nanocrystalline CdSe and Al:CdSe thin film for photo electrochemical application" Materials Chemistry and Physics ,Volume:129,pp.751-755,(2011).
- [35] M.M.Betkar,G.D.Bagde," Structural and optical properties of spray deposited CdSe thin films" Materials physics and mechanics 14, pp.74 -77,(2012).
- [36] W.N.Ibrahim, "Opticelectronic Properties Of CdSe/Si Heterojunction" Eng.&Tech.Journal,Vol.30,No.12,(2012)
- [37] M.Ali ,W.A.A.Syed,M.Zubair,N. A.Shah,A.Mehmood" Physical properties of Sb-doped CdSe thin films by thermal evaporation method" Applied surface science 284,pp. 482- 488,(2013)0
- [38] M. P. Deshpande, N, Garg, S. V. Bhatt, P. Sakariya, S. H. Chaki "Spectroscopy and structural study on CdSe thin films deposited by chemical bath deposition" Advanced Materials Letters, Vbri Press, (2013)0
- [39] S. Rani and J.Shanthi " Effect of annealing on the optical transmittance behavior of electron beam evaporated CdSe thin films" International Journal of Recent Scientific Research,Vol.5,pp.118-119,(2014)0
- [40] S. S Al-Rawi, S. J. Shakir and Y. N. Husan, "Solid State Physics", Publishing of Mousal University Arabic Version (1990).

- [41] رياض كمال الحكيم، عادل خضير حسين، "أسس الهندسة الالكترونية"، مطبعة وزارة التعليم العالي، (1980).
- [42] R. A. Smith, "Semiconductors", Cambridge press, 2nd.ed., (1987).
- [43] M. G. Yousif, "Solid state physics", published by Baghdad University, vol.1and 2, Arabic version, (1989).
- [44] وكاع فرحان الجبوري وفهرغالب حياتي، "الخواص الكهربائية والمغناطيسية للمواد"، مطبعة جامعة الموصل، (1985).
- [45] J. Tauc, "Amorphous and liquid Semiconductors", Plenum press, London, N.Y., (1974).
- [46] B.G.Streeman, "Solid state electronic devices", 4th edition Prentice-Hall, Inc, New Delhi, (1997).
- [47] سلوان كمال جميل، بتول درعم بلاده، "مبادئ الالكترونيات"، جامعة بغداد، (1991).
- [48] معن محمد شاكر ومحمود شكر مجيد، "اساسيات الالكترونيات"،المعهد الفني، قسم الكهرباء، الموصل، (1987).
- [49] صبحي سعيد الراوي، "فيزياء الالكترونيات"، مطبعة جامعة الموصل، 129-148، (1987).
- [50] M.A.Omar, "Elementary Solid State Physics Principle and Applications", P.35-578, (1985).
- [51] P.S.Kireev "Semiconductor Physics", 2nd edition, Translated From The Russian by M. Samokhvalov, Mir Publishers Moscow, pp. 16-331, (1978).
- [52] B. G. Streetman and S. Banerjee, "Solid State Electronic Devices", 5th Ed., Prentice Hall, Inc., New Jersey, (2000).
- [53] مارتن.أ.كرين، " الخلايا الشمسية"، ترجمة الدكتور يوسف مولود، مطبعة جامعة الموصل(1989).
- [54] Y. N. Al-Jammal, "Solid state physics", published by Al-Mousul University, Arabic Version, (1990).
- [55] J.Singh"Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures",Cambridge University,(2003).
- [56] S. S. Al- Rawi , J. S. Jaber,Y. M. Hassan, "Solid State Physics ", Al- Mousul University , Arabic Version ,(1988) .
- [57] P.S.Kireev, "Semiconductor Physics", 2nd edition, Translated From The Russian by M. Samokhvalov, Mir Publishers Moscow, PP. 16-331, (1978).
- [58] A.G.Nilens,"Deep Impurity in Semiconductors ", Wiley InterScience Publication ,(1973).

- [59] D. A. Neamen, " Semiconductor Physics and Devices ", University of New Mexico ,(1992) .
- [60] Sima Dimitrer" Under Standing Semiconductors Devices" , Griffth University , New York, Oxford ,(2000).
- [61] D. A. Fraser, " the Physics Of Semiconductors Devics " , (1986).
- [62] K. V. Ravi , " Imprecation and Impurities in Semiconductor Silicon" , John Wiley and Sons, Inc, (1981).
- [63] C.Kittel, " Introduction to Solid State Physics " , 6th Edition ,Wiley (1986) .
- [64] J. Tauce, J. of "Non-Crystalline Solid", V. 8, No. 10, pp.5 (1972).
- [65] K.W.Whitten,R.E.Davis ,R.E.Davis," Chemistry", Tenth Edition M. Larry Peck, George G. Stanley,(2014)
- [66] S.O.Kasap, "Principles of Electronic Materials and Devices", McGraw – Hill, New York, (2002).
- [67] K.L.Chopra , “ Thin Film Phenomena” , McGraw - Hill, New York, (1969).
- [68] J.I. Pankove, “Optical Processes in Semiconductors” , by Prentice Hall, Inc., (1971).
- [69] B. Saporal and C. Herman, “Physics of Semiconductors” Springer Verlag, New York, Inc., (1995).
- [70] W.D. Callister" Fundamentals of Materials Science and Engineering" Book ,(2001).
- [71] Sirotin and M.Shaskolskays, “Fundamental of Crystal Physics” ,Mir Publishers, Moscow, (1982).
- [72] K. L. Chopra, "Thin Film Devices Application", Plenum Press, New York, (1983).
- [73] N.A. Subrahamanyam, "Atextbook of Optics", 9rd edition, Delhi India, (1977).
- [74] M. S. Dresselhaus ,“Optical Properties of Solids”, Part II , (1998).
- [75] J.C. Fillips, “Bonds and Bonds in Semiconductors” , Academic Press, New York and London, (1973).
- [76] J. S. Blakmore, "Solid state physics", Cambridge press, 2nd Ed., (1986).
- [77] B.L.Theraja, "Modern Physics", S.Chand and Company (PVY), New Delhi, PP.170, (1987).
- [78] B.D.Cullity, S.R.Stock, “Elements of X- Ray Diffraction” , 3rd Ed, Prentice Hall, New York, (2001).

- [79] M. Dhanam , R. R. Prabhuand P. K. Manoj , "Investigations on Chemical Path Deposited Cadmium Selenide Thin Films " Materials Chemistry and Physics ,Vol. 107 , pp. 289-296 , (2008).
- [80] Y. Z.Wang and N. Yao, " Handbook of Microscopy for Nanotechnology" ,(2005).
- [81] B. Bhushan, " Springer Handbook of Nanotechnology", Springer Publisher , (2004)
- [82] فراس هاشم احمد، "دراسة تأثير المعاملة الحرارية على بعض الخواص البصرية والكهربائية لأغشية تيتانيوم الباريوم الرقيقة"، رسالة ماجستير، الجامعة المستنصرية، (2003).
- [83] سرمد مهدي علي، "دراسة الخواص التركيبية والبصرية لأغشية CdTe المشوبة بـ Zn " رسالة ماجستير، جامعة بغداد، (2011)
- [84] G.S. May & C. J. Spanos "Fundamentals of Semiconductor Manufacturing And Process Control" John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey ,(2006).
- [85] وفاء عبد المعين حمودي مكية ، " تحضير ودراسة بعض خواص اشابة الموصلات لأغشية CdSe الرقيقة" ، رسالة ماجستير ،الجامعة المستنصرية ، (1998)
- [86] الاء عبد الحميد عبد المجيد "تأثير تركيز السيلينيوم على الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $CdSe_xS_{1-x}$ الرقيقة " ، رسالة ماجستير ، جامعة بغداد ،(2012).
- [87] ناهد بخيت حسن الجعفري ، "الخواص التركيبية والكهربائية لأغشية سيليكايد الكاديوم CdSe النقية والمطعمة بالانديوم"، رسالة ماجستير، جامعة بابل (1998).
- [88] ايمان مزهر الفوادي، "تصنيع كاشف التوصيل الضوئي سيلينايد الكاديوم المطعم بالنحاس (CdSe: Cu) بطريقة التبخير الحراري في الفراغ ودراسة خصائصه الكهرو بصرية "، رسالة ماجستير، جامعة بغداد، (1999)

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education and Scientific Research
University of Baghdad
College of Education for Pure Sciences
Ibn Al-Haitham



***Study Structural and Optical Properties of CdSe:Al
Thin Films as a Function of Doping Ratio
and Annealing Temperature***

A thesis

**Submitted to the College of Education Pure Science -Ibn Al-Haytham -
University of Baghdad as Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree Master's of Science in Physics**

**Presented by
Abbas Hiader Hussein
(*B. Sc. in Physics 1998*)**

**Supervised by
*Prof. Dr. Alia Abdul Muhsen Shehab***

1436 A.H

2015 A.D

Abstract

In this work, CdSe alloy have been prepared successfully in an evacuated quartz tubes at pressure (10^{-2} mbar) . The structure of the ingots was examined by X-ray diffraction (XRD) and found to be polycrystalline of Hexagonal structure .

we studying the structural and optical properties of pure Cadmium Selenide (CdSe) thin films , which prepared by thermal evaporation under vacuum method , where deposited on glass substrate in room temperature (300K) at thickness (300 ± 25) nm with deposition rate (2.0 ± 0.1) nm.sec⁻¹.

Also we studying the influence of doping by Aluminum (Al) with different ratios(1,2,3)% at substrate temperature (300K) on the structural and optical properties of Cadmium Selenide (CdSe) thin films , furthermore we study the influence of annealing process with different temperature (373 , 473 , 573)K on the structural properties of (3%) Al doped , because it was the best doping ratios in the value of optical energy gap.

X - Ray diffraction pattern showed that all prepared films (undoped and Al-doped) are polycrystalline structure and have Hexagonal kind with preferred orientation along [002] plane for all doped and undoped films and involved that , decreasing in Intensity of peak at prevalent orientation [002] , and decreasing with apparent Shape in the average grain size when increases the ratio of (Al) in the films dopant until (22.7nm) at ratio (3%) which when annealing it at different temperature (373,473,573) K we found the average grain size will be increasing With apparent shape until (24.10 nm) at annealing temperature (573K).

This research involved also , the studying of optical properties for all films Prepared such as calculate the value of optical energy gap for allowed direct transition, the absorption coefficient and reflectance for spectra ,during recorded the absorptance and transmittance plectra for all prepared films in the range of (300 - 1100) nm , and result showed that the value of optical energy gap decreases from 1.78 eV to 1.66 eV with increasing doping percentage .

The optical constants which represented by (refractive index , extinction coefficient and dielectric constant in its two parts) are also calculated in this research. and found increase in extinction coefficient and refractive index value with the increase in the doping percentage.