



جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بغداد

كلية التربية للعلوم الصرفة / ابن الهيثم

# تحضير ودراسة الخواص التركيبية والبصرية

## لأغشية CdTe:Cu

رسالة مقدمة إلى

كلية التربية للعلوم الصرفة / ابن الهيثم - جامعة بغداد

وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير

في علوم الفيزياء

من قبل

سلام حميد فياض

بإشراف

أ.د. سمير عطا مكي أ.م.د. بشرى كاظم حسون

1436هـ-2015م



فَاسْأَلُوا أَهْلَ  
الذِّكْرِ إِنْ كُنْتُمْ  
لَا تَعْلَمُونَ

صدق الله العظيم

سورة  
الانبياء ( الآية  
(7)

الإهداء

إلى كل من تحمل

أعباء الدراسة

معي .....

سلام 

## شكر وتقدير

الحمد لله اعلم الاولين والآخرين والصلاة والسلام على سيد المرسلين محمد وعلى آله وصحبه ومن سار على هداه الى يوم الدين .

اقدم اولاً حمدي وشكري لله على إتمام بحثي ومن ثم الشكر والتقدير والعرفان بالجميل الى الأستاذين المشرفين (( الاستاذ الدكتور سمير عطا مكي والاستاذ المساعد الدكتورة بشرى كاظم حسون )) لما لهما من الفضل الكبير والاثر الطيب لرعايتهما وتوجيههما المستمر داعياً لهم بدوام العافية والزيادة بالعلم والموفقية .

واقدم وافر شكري وتقديري الى عمادة كلية التربية للعلوم الصرفة- ابن الهيثم وفي مقدمتها السيد (( العميد المحترم الدكتور خالد فهد )) وقسم الدراسات العليا و بمقدمتهم السيد (( الدكتور كريم علي )) والى رئاسة قسم الفيزياء و بمقدمتهم السيد (( الدكتور محمد عبد النبي )) والى اساتذة القسم والعاملين بالمختبرات والموظفين في كليتنا الذين أسهموا من قريب او بعيد في بحثي هذا ، ولما لهم من الفضل في رفدي بالمساعدة بالجهد والخبرة القيمة متمنيا لهم الصحة والسلامة والزيادة في كل خير .

واقدم شكري الموصول بالحب والامتنان الى جميع زملائي من طلبة الدراسات العليا واخص منهم الاستاذ عادل ابراهيم والى جميع افراد عائلتي واهلي واقربائي الذين تحملوا معي اعباء الدراسة وصعوبة المواصلة لاتمام المشوار بنجاح داعياً الله (سبحانه وتعالى) ان يديم عليهم الصحة والسعادة والعافية ،انه نعم المولى ونعم المجيب .

سلام

## اقرار المشرفين

نقر بأن اعداد هذه الرسالة الموسومة بـ ( تحضير ودراسة الخواص التركيبية والبصرية لأغشية (CdTe:Cu) التي قدمها الطالب (سلام حميد فياض) كان بإشرافنا في جامعة بغداد/ كلية التربية للعلوم الصرفة/ ابن الهيثم / قسم الفيزياء وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير في علوم الفيزياء.

التوقيع:

اسم المشرف: د. سمير عطا مكي

المرتبة العلمية: استاذ

العنوان: كلية التربية للعلوم الصرفة /

ابن الهيثم/ جامعة بغداد

التاريخ: / / 2015

التوقيع:

اسم المشرف: د. بشرى كاظم حسون

المرتبة العلمية: استاذ مساعد

العنوان: كلية التربية للعلوم الصرفة /

ابن الهيثم/ جامعة بغداد

التاريخ: / / 2015

## توصية رئيس قسم الفيزياء

اشارة الى التوصية المقدمة من المشرفين احيل هذه الرسالة على لجنة المناقشة لبيان الرأي فيها.

التوقيع:

الاسم : د. محمد عبد النبي ثجيل

المرتبة العلمية: استاذ مساعد

التاريخ: / / 2015

# إقرار لجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة المناقشة أننا اطلعنا على الرسالة الموسومة  
(تحضير ودراسة الخواص التركيبية والبصرية لأغشية CdTe:Cu) المقدمة من قبل  
سلام حميد فياض وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها وفيما له علاقة بها وأنها جديرة  
بالقبول لنيل درجة ماجستير علوم في اختصاص الفيزياء وبتقدير (امتياز).

التوقيع:

الاسم: د. زياد طارق الدهان

المرتبة العلمية: أستاذ (رئيس اللجنة)

العنوان: جامعة النهريين / كلية الهندسة

التاريخ: / / 2015

التوقيع:

الاسم: د. حسين خزعل رشيد

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد (عضواً)

العنوان: جامعة بغداد/ كلية العلوم

التاريخ: / / 2015

التوقيع:

الاسم: د. أيمن حميد خضير

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد (عضواً)

العنوان: جامعة بغداد/ كلية التربية للعلوم

الصفحة- ابن الهيثم

التاريخ: / / 2015

التوقيع:

الاسم: د. سمير عطا مكي

المرتبة العلمية: أستاذ (عضواً ومشرفاً)

العنوان: جامعة بغداد/ كلية التربية للعلوم

الصفحة - ابن الهيثم

التاريخ: / / 2015

التوقيع:

الاسم: د. بشرى كاظم حسون

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد (عضواً ومشرفاً)

العنوان: جامعة بغداد/ كلية التربية للعلوم

الصفحة - ابن الهيثم

التاريخ: / / 2015

صدق من قبل مجلس كلية التربية للعلوم الصفرة - ابن الهيثم / جامعة بغداد

التوقيع:

الاسم: د. خالد فهد علي

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

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

التاريخ: / / 2015

(عميد الكلية)

تناول هذا البحث دراسة الخواص التركيبية والبصرية لأغشية تيلورايد الكاديوم (CdTe) الرقيقة المحضرة بطريقة التبخير الحراري بالفراغ ، بسمك  $(450 \pm 25)$  nm (المرسبة على قواعد من الزجاج بدرجة حرارة الغرفة (R.T) بمعدل ترسيب  $(2.5 \text{ nm/sec})$  ، إذ تم دراسة تأثير تغير نسب التشويب بعنصر النحاس (Cu) بالقيم % (1,2,3,4,5) في الخواص التركيبية والبصرية للأغشية المشوبة.

واظهرت نتائج الفحوصات التركيبية بحيود الأشعة السينية (X-ray) ان تركيب الأغشية المحضرة هو من النوع متعدد التبلور بالاتجاه السائد [111] ، وتزايد ملحوظ في شدة القمة بهذا الاتجاه بعد التشويب بالنحاس وتزايد بمعدل الحجم الحبيبي بزيادة نسبة التشويب عدا النسبة % (5).

اما القياسات البصرية لأغشية تيلورايد الكاديوم المحضرة النقية والمشوبة بالنحاس فقد بينت ان لهذه الأغشية فجوة طاقة مباشرة تبلغ للأغشية النقية  $(1.56) \text{ eV}$  تقل قيمتها بزيادة نسب التشويب ماعدا النسبة (5%)، إذ تزداد لتبلغ  $(1.55) \text{ eV}$  وان الانتقالات الالكترونية المباشرة المسموحة هي السائدة.

وتم حساب الثوابت البصرية مثل معامل الامتصاص  $(\alpha)$  ، ومعامل الانكسار  $(n)$  ، ومعامل الخمود  $(k)$  ، وثابت العزل الكهربائي  $(\epsilon)$  بجزئية الحقيقي والخيالي ضمن الطول الموجي  $(300-1100) \text{ nm}$  قبل عملية التشويب وبعدها ، وتبين ان جميع الأغشية المحضرة تمتلك معامل امتصاص قدره  $(\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1})$

## الفهرست

رقم الصفحة	الموضوع	التسلسل
<b>1-16</b>	<b>الفصل الأول ( مقدمة عامة )</b>	
1	مقدمة	1-1
2	خصائص مادة الغشاء	1-2
2	تيليرايد الكادميوم	1-2-1
4	خصائص عنصر النحاس	1-3
5	طرائق تحضير الأغشية الرقيقة	1-4
5	الطريقة الفيزيائية	1-4-1
6	الطريقة الكيميائية	1-4-2
7	الدراسات السابقة لأغشية تيليرايد الكادميوم	1-5
12	الهدف من البحث	1-6
<b>13-30</b>	<b>الفصل الثاني ( الجانب النظري )</b>	
13	مقدمة	2-1
13	اشباه الموصلات	2-2
13	انواع أشباه الموصلات	2-3
13	انواع تراكيب أشباه الموصلات	2-3-1
13	المواد شبيه الموصلة البلورية	2-3-1-1
14	اشباه الموصلات العشوائية	2-3-1-2
15	أشباه الموصلات النقية والمطعمة	2-3-2
15	المواد شبه الموصلة النقية	2-3-2-1
16	المواد شبه الموصلة المطعمة	2-3-2-2
17	طرائق تشويب المواد شبه الموصلة	2-4
17	التطعيم بالخلط	2-4-1
17	التطعيم بالتبخير الثنائي	2-4-2
17	التطعيم بالإذابة بالمحلول	2-4-3



18	التطعيم بالانتشار الحراري	2-4-4
18	التطعيم بالزرع الايوني	2-4-5
18	التطعيم بالليزر	2-4-6
18	انواع الانتشار	2-5
20	العوامل المؤثرة في جودة الأغشية الرقيقة	2-6
20	العيوب البلورية	2-7
20	العيوب النقطية	2-7-1
21	العيوب الخطية	2-7-2
21	العيوب السطحية	2-7-3
22	العيوب الحجمية	2-7-4
22	الخواص الفيزيائية للأغشية الرقيقة	2-8
22	الخواص التركيبية	2-8-1
22	حيود الأشعة السينية	2-8-1-1
23	الفسحة البينية للسطوح	2-8-1-2
24	البعد الحبيبي	2-8-1-3
24	كثافة الانخلاعات	2-8-1-4
24	عدد الطبقات البلورية	2-8-1-5
25	ثابت الشبكة	2-8-1-6
25	الخواص البصرية	2-8-2
25	الامتصاص البصري	2-8-2-1
26	معامل الامتصاص البصري	2-8-2-2
27	حافة الامتصاص	2-8-2-3
28	قيم الثوابت البصرية	2-8-2-4
28	فجوة الطاقة البصرية	2-8-2-4-1
39	معامل الانكسار	2-8-2-4-2
39	النفاذية	2-8-2-4-3
39	الانعكاسية	2-8-2-4-4

39	معامل الخمود	2-8-2-4-5
30	ثابت العزل الكهربائي	2-8-2-4-6
30	الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي	2-8-2-4-6-1
30	الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي	2-8-2-4-6-2
<b>31-42</b>	<b>الفصل الثالث ( الجزء العملي )</b>	
31	مقدمة	3-1
31	تحضير سبيكة تيلورايد الكادميوم	3-2
33	اعداد الارضيات الزجاجية	3-3
34	منظومة التبخير واجزاؤها	3-4
35	الاجزاء الاساسية لمنظومة التبخير	3-5
36	تحضير أغشية (CdTe) النقية والمشوبة	3-6
38	القياسات	3-7
38	قياس سمك الغشاء	3-7-1
38	الطريقة الوزنية لقياس سمك الغشاء	3-7-1-1
39	قياس سمك الغشاء بطريقة الموجات فوق السمعية	3-7-1-2
40	تحديد الخواص التركيبية	3-8
40	فحوصات الأغشية بالمجاهر المكبرة	3-8-1
40	فحص مجهر القوة الذرية	3-8-1-1
40	الفحص بحيود الأشعة السينية	3-8-2
41	تحديد الخواص البصرية	3-9
41	تحديد قيم الثوابت البصرية	3-9-1
<b>41-65</b>	<b>الفصل الرابع (النتائج والمناقشة )</b>	
41	مقدمة	4-1
41	الخواص التركيبية	4-2
41	فحوصات الأشعة السينية	4-2-1
43	حساب قيم فسخ السطوح	4-2-1-1
45	حساب معدل الحجم الحبيبي	4-2-1-2

46	الفحص بمجهر القوة الذرية	4-2-3
49	الخواص البصرية	4-3
49	طيف الامتصاصية	4-3-1
50	طيف الانعكاسية	4-3-2
50	معامل الامتصاص	4-3-3
51	حساب فجوة الطاقة	4-4
51	حساب فجوة الطاقة المباشرة المسموحة	4-4-1
55	حساب فجوة الطاقة المباشرة الممنوعة	4-4-2
57	فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح	4-4-3
57	فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر الممنوع	4-4-4
58	الثوابت البصرية	4-5
58	معامل الانكسار	4-5-1
60	معامل الخمود	4-5-2
61	ثابت العزل الكهربائي	4-5-3
61	الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي	4-5-3-1
62	الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي	4-5-3-2
64	الاستنتاجات	4-6
65	المقترحات	4-7
66-72	المصادر	

## Samples and Units

## الرموز والوحدات

الوحدة	الرمز	المصطلح
eV	$E_g^{opt}$	طاقة الفجوة البصرية
eV	$E_f$	مستوى فيرمي
$cm^{-3}$	n	عدد حاملات الشحنة (الالكترونات)
$cm^{-3}$	p	عدد الفجوات
nm	G.S	الحجم الحبيبي
nm	$\beta_{FWHM}$	عرض المنتصف للحد الاعلى للقيمة
deg	$\theta$	قيمة زاوية براك
$cm^{-2}$	$\delta$	كثافة الانخلاعات
$cm^{-3}$	$N_o$	عدد الطبقات البلورية
nm	a	ثابت الشبكة
$eV/m^2.s$	$I_o, I$	شدة الشعاع النافذ والساقط
nm	t	سمك الغشاء
$cm^2$	S	مساحة سطح الغشاء
gm	m	كتلة مادة الغشاء
eV	$h\nu(E)$	طاقة الفوتون
eV	$E_v$	طاقة حزمة التكافؤ
eV	$E_c$	طاقة حزمة التوصيل
-	A	الامتصاصية
-	R	الانعكاسية
$cm^{-1}$	$\alpha$	معامل الامتصاص
-	$n_o$	الجزء الحقيقي من معامل الانكسار
-	$k_o$	معامل الخمود
-	$\epsilon$	ثابت العزل الكهربائي المعقد
-	$\epsilon_i, \epsilon_r$	ثابت العزل الكهربائي الحقيقي والخيالي
$\text{Å}$	$d_{hkl}$	المسافة بين المستويات البلورية
-	hkl	معاملات ميلر
nm	$\lambda$	الطول الموجي للأشعة الساقطة

الفصل الأول

مقدمة عامة

Chapter One

تعتبر مادة تيليرايد الكاديوم (CdTe) من المواد التي تستقطب اهتمام الكثير من الباحثين والفيزيائيين في المجالات المتخصصة بمحولات الطاقة البصرية (Photovoltaic) لما لها من تطبيقات واسعة في بحوث وتطبيقات تكنولوجيا تصنيع الأغشية الرقيقة من مادة تيليرايد الكاديوم سواء كانت هذه البحوث والدراسات ترتبط بالمعاملة الحرارية او بالطرق والتقانات الخاصة بطرائق الترسيب او التبخير لهذه الأغشية التي يمكن وببساطة استعمال حيود الأشعة السينية X-ray لمعرفة تركيبها البلوري [1].

ان هذه المادة اصبحت من المصادر الرئيسية والمعتمدة للطاقة المستحصلة من الخلايا الشمسية لما لها من خصائص بصرية وكهربائية وكيميائية وتركيبية لتقفز لتصبح المادة المرشحة الاولى لإنتاجها بكفاءة عالية وكلفة واطئة لإنتاج اكبر قدر من الطاقة باستعمال الخلايا الشمسية [2].

مادة تيليرايد الكاديوم المشوبة ذات النوع القابل والتي تمتلك فجوة مقدارها  $eV (1.45)$  ومعامل امتصاص  $(\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1})$  في المدى البصري تكون فعالة جداً في تحويل الطاقة الضوئية الى كهربائية لما تمتلكه من معامل تحويل بصري يصل الى  $16.5\%$  الامر الذي رفع انتاج هذه المادة في الاسواق العالمية لتحتل المرتبة الاولى بكلف واطئة لا تتجاوز  $1\$/w$  [3].

ان مادة بحثنا هذا من بين المواد المنتمية الى الزمرة الثانية والسادسة VI – II المسماة بالجالكوجينات وهي من المواد شبه الموصلية التي تبقى المادة الاكثر عملية في كونها المادة المستعملة في انشاء طبقات الخلية الشمسية الممتصة لأغلب الطاقة الضوئية الساقطة عليها حيث ان النوع الغير المشوب للغشاء المصنوع من مادة تيليرايد الكاديوم يظهر مقاوميه عالية لمرور الاشعة الضوئية من خلاله اذا ما تم استحداث بعض العيوب البلورية داخل التركيب البلوري له وبالتالي تغيير الحدود البلورية ومراكز اصطياد حاملات الشحنات التي تحدد مقدار الممتص من الشعاع الساقط وبالتالي تحديد التوصيلية الكهربائية لمادة الغشاء .

ان المعاملة الحرارية لأغشية تيليرايد الكاديوم تغير بشكل اساسي العيوب البلورية داخل التركيب البلوري لهذه المادة لتجعل انتشار المواد الشائبة تتغلغل الى مستويات اعماق داخل التركيب البلوري وصولاً الى اكفاً نسب تشويب لنحصل على التطبيق الامثل لمادة الغشاء [4,5].

لذلك فقد اختيرت مادة تيليرايد الكاديوم لبحثنا هذا لما سبق ذكره واختير التشويب بعنصر النحاس لإيجاد مادة جديدة لتشويبها بالنسب  $(1,2,3,4,5)\%$  ودراسة الخواص التركيبية والبصرية من خلال ما سيرد .

## (1-2) خصائص مادة الغشاء The Properties of Thin Film Material

### (1-2-1) تيلورايد الكاديوم Cadmium Telluride ( CdTe )

مركب تيلورايد الكاديوم (CdTe) أحد المركبات شبه الموصلة للمجموعة (الثانية-السادسة) (II-VI) الشكل (1-1) الذي ينتمي إلى مجموعة مركبات العمود السادس المسماة الجالكوجينيدات (Chalcogenides) [6].

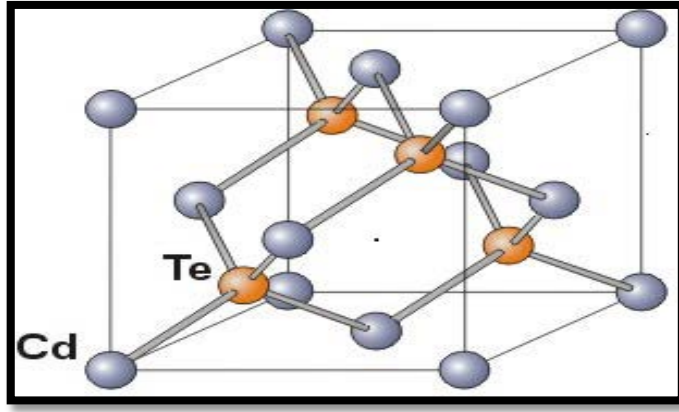
يقع كل من (Cd) و (Te) في الصف الرابع من الجدول الدوري كما هو مبين بالجدول (1-1). ويمتلك أكبر عدد ذري (52,48) على التوالي من بين مجموعته [6,7].

ويتميز مركب (CdTe) أيضاً بامتلاكه أعلى ثابت شبكية (Lattice Constant) من بين مركبات المجموعة ذاتها يبلغ (6.48)nm ، كما يمتلك هذا المركب فجوة طاقة مباشرة (Direct Band Gap) تبلغ قيمتها (1.56)eV ومعامل امتصاص (Absorption Coefficient) عالياً في مدى الطيف المرئي يبلغ ( $\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ) [8,9].

يعد مركب (CdTe) المركب الوحيد من بين مركبات المجموعة (II-VI) الذي يمتلك نوعي التوصيلية الكهربائية (Electrical Conductivity) القابلة والمانحة إذ يمكن الحصول على أغشية رقيقة من كلا النوعين بحسب نوع الشائبة المضافة وتركيزها [10] لذلك تدخل أغشية (CdTe) الرقيقة في صناعة المفارق المتجانسة (Homojunction) وغير المتجانسة (Hetrojunction) [6].

ان الصفات الفريدة لتيلورايد الكاديوم جعلت منه المادة المناسبة لصناعة الخلايا الشمسية إذ ان (2µm) منه كافية لامتناس (99%) من اشعة الشمس الساقطة عليه ، في حين نحتاج الى طبقة سمكها (20µm) من السليكون لكي تمتص القدر نفسه من الاشعاع ، وهذا ما جعله المادة المرشحة لإنتاج محولات الطاقة البصرية (photovoltaic conversion) بكفاءة تحويل نظرية تصل الى نحو (31%) [11].

كما تستعمل أغشية (CdTe) الرقيقة في صناعة كواشف الأشعة تحت الحمراء (IR Detectors) المستعملة في مجالات التصوير والاستدلال وكذلك يستعمل كخوفاذ بصرية في المنطقة ذاتها (IR Optical Windows). وقد تم تصنيع كواشف متطورة من اغشية تيلورايد الكاديوم مثل كواشف الأشعة السينية وأشعة كاما (X-Ray and γ-Ray Detectors) الجدول (1-2). ويمثل الصفات الفيزيائية لمركب تيلورايد الكاديوم (CdTe) [13,12].



الشكل (1-1) مركب تيلورايد الكاديوم (CdTe) [6]

الجدول (1-1) جانب من الجدول الدوري [6]

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

الجدول (1-2) بعض الخصائص الفيزيائية لمركب CdTe [6]

Molecular Weight	240.02
Density	5.85(g/cm <sup>3</sup> )
Lattice Constant at (300K)	6.48Å
Direct Band Gap at (300K)	1.56 eV
Electron Effective Mass	0.11 m <sub>o</sub>
Hole Effective Mass	0.4 m <sub>o</sub>
Melting Point	1314K
Thermal Conductivity at (293K)	6.2 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Refractive Index at (580nm)	2.84
Solubility	Very Low in Water



النحاس (Cu) عنصر يستعمل في تشويب المجموعة (II-VI) الجالوجينات ، إذ ان قابلية انتشاره بالمادة تزداد بظهور التأثير الحراري المؤدي لزيادة المقاومة للمادة. ويبلغ طول انتشار (Cu) في مادة تيلورايد الكاديوم (CdTe) بمقدار (22µm) عند درجة حرارة (773 K) الجدول (1-3) .  
واوضحت الدراسات السابقة ان النحاس يتأين بطاقة (0.5- 0.8± 0.04eV) ضمن مستويات مركب [16,17]( CdTe)

والنحاس احد العناصر التي يمكن ان يكون شائبة واهبة (donor) او ان يكون شائبة متقبلة (acceptor) وذلك يعتمد على الموقع الذي يشغله ، فأما ان تكون مواقع بينية او ان تكون مواقع تعويضية داخل التركيب البلوري للمادة التي اضيف اليها اعتماداً على تباين الاقطار بين النحاس والمادة المضيفة. فللنحاس دور بالغ الأهمية في عمل الظاهرة الكهروضوئية لذلك يُعد مادة التطعيم الأساسية في تصنيع الموصلات الضوئية.

ان استعمال النحاس في تطعيم الأغشية المستعملة في صناعة الخلايا الشمسية ادى الى تحسن الخواص التركيبية لهذه الأغشية ، إذ اثبتت التجارب والدراسات المنشورة ان الحجم الحبيبي لهذه المواد يزداد بزيادة تركيز شوائب النحاس ، وهذا يقلل من الحدود الحبيبية الفاصلة بين الذرات الذي يؤدي الى تحسين التركيب البلوري لهذه المواد [17].

جدول (1-3) الصفات الفيزيائية لعنصر النحاس (Cu) . [16]

الرمز الكيميائي	الوزن الجزيئي gm/mol	التركيب البلوري واللون	معامل الانكسار	الكثافة gm/cm <sup>3</sup>	درجة الانصهار K
Cu	63.55	f.c.c / Red	1.08	8.92	1356.4

**Thin films deposition methods (1-4) طرائق تحضير الأغشية الرقيقة**

تحضر الأغشية بطرائق فيزيائية وكيميائية نذكر منها بشيء من الإيجاز :

Physical methods (1-4-1) الطرائق الفيزيائية

ويمكن تقسيم هذه الطرائق تبعاً للآلية المعتمدة للحصول على ذرات او الجزيئات المتحررة من المادة، وهي بعدة أنواع ، منها: [18,19]

أولاً : التبخير بالفراغ: وتقسم تبعاً للكيفية التي يتم فيها الحصول فيها على بخار المادة على :

( Physical Vapor Deposition ) (PVD) طريقة الترسيب الفيزيائي للبخار :

وتسمى أيضاً بالتبخير الحراري في الفراغ (Thermal Evaporation Vacuum)، يتم تبخير المادة المراد تحضير الغشاء منها بواسطة التسخين الكهربائي للمقاومة ( Resistive Heating ) ، إذ نضع المادة في حويض من الموليبيديوم او التنكستن وذلك لعدم تفاعل هاتين المادتين او انصهارهما ضمن مدى الدرجات المعمول به في هذه العملية. تتم عملية التبخير للمادة المراد تحضير الغشاء منها تحت ضغط واطئ يصل احياناً الى ( $10^{-10}$ Torr)، يختلف هذا الضغط باختلاف المضخات المستعملة للتفريغ وكذلك نوع المادة المراد تبخيرها ، وتعد هذه الطريقة من اكثر الطرائق شيوعاً في تحضير الأغشية وهي الطريقة المعتمدة في بحثنا هذا [18,19] .

( Arc Evaporation) ( b ) التبخير بالقوس

(Laser Evaporation) ( c ) التبخير بالليزر

( Electron Beam Evaporation) ( d ) التبخير بالحزمة الالكترونية

( Sputtering Method) ثانياً : طريقة التريذ:

وهذه الطريقة بعدة أنواع نذكر منها : [20] .

(a) تقانة التريذ بالتيار المستمر (D.C. Sputtering Technique).

(b) تقانة التريذ بالترددات الراديوية (R.F Technique Sputtering).

(c) تقانة التريذ المغناطيسي (Magnetron Sputtering Technique).

(d) تقانة التريذ بالحزمة الأيونية (Ion Beam Sputtering Technique).

(e) تقانة التريذ بالانحياز (Biasing Sputtering Technique).

وسنكتفي بذكر تقسيماتها وانواعها: [19]

Electrical Deposition: أولاً : الترسيب الكهربائي:

وأنواعه:-

Electrolytic Deposition	(a) الترسيب الالكتروليتي
Anodic Oxidation	(b) اكسدة الانود

Electro less Deposition ثانياً : الترسيب اللاكهربائي

(CVD)Chemical Vapor Deposition ثالثاً : الترسيب الكيميائي للبخار:

تتضمن عدة طرائق:

Chemical Spray pyrolysis	(a) الترسيب الحراري
Transfer Reaction	(b) الترسيب بالتفاعلات المتحولة
Polymerization	(c) الترسيب بالبلمرية

**Literatur Survey of (CdTe) Films (1-5) الدراسات السابقة لأغشية تيليرايد الكاديوم**

تعدّ مادة تيليرايد الكاديوم من المواد المعروفة جيداً لأكثر من قرن مضى ولفوائدها المتعددة وخواصها الفريدة وتطبيقاتها الصناعية الكثيرة فإنها كانت محط اهتمام الباحثين والدارسين والمهندسين ، لذلك فان هنالك العديد من البحوث والدراسات تختص بأغشية تيليرايد الكاديوم (CdTe) وخواصها التركيبية والبصرية والكهربائية نذكر من هذه الدراسات والبحوث [21].

❖ (Shehab 1985) حضرت هذه الباحثة سبيكة تيليرايد الكاديوم (CdTe) ودرست الخواص التركيبية والبصرية لأغشية تيليرايد الكاديوم (CdTe) النقية والمشوبة بالفسفور (P) بنسبة (1.5%) المحضرة بسمك  $(500 \pm 15) \text{nm}$  وبتقانة (PVD) ، فبينت الخواص التركيبية ان الاغشية ذات تركيب متعدد البلورات (Polycrystalline) ومتجانس ومن النوع الماسي (Diamond) وان المعاملة الحرارية ادت الى زيادة في الحجم الحبيبي (Grain Size). وان فجوة الطاقة ( $E_g^{\text{opt}}$ ) كانت بحدود  $1.5 \text{eV}$  عند درجة اساس  $303 \text{K}$  ، وتزداد بحدود  $1.56 \text{eV}$  عند التلدين بدرجة  $373 \text{K}$ ، اما التشويب فقد أدى إلى نقصان في قيمة فجوة الطاقة [22] .

❖ (Merewan 1993) حضر الباحث سبيكة (CdTe) ، ومنها رسب أغشيته الرقيقة بتقانة (PVD) (بسمك ومعدل ترسيب ودرجة حرارة اساس ودرجة حرارة تلدين) مختلفات. تبين من نتائج (XRD) ان السبيكة والاغشية المحضرة كانت من النوع الخارصيني المكعب (Cubic Zinc Blend) وان زيادة معدل الترسيب والتلدين أدى الى ارتفاع قمم الحيود. وفي ذلك دليل على حدوث زيادة في التبلور والحجم الحبيبي. وكذلك اوضحت الدراسة ان فجوة الطاقة تزداد بزيادة درجة حرارة الاساس ( $T_s$ ) وتناقص معدل الترسيب. وان الاغشية ذات السمك  $(400,500) \text{nm}$  كانت ذات فجوة طاقة ( $E_g^{\text{opt}}$ ) تبلغ  $(1.42, 1.44) \text{eV}$  ، وازدادت الى  $(1.52, 1.55) \text{eV}$  على التوالي عند التلدين [23].

❖ (Bakr 2000) درس الباحث تأثير اختلاف درجة حرارة التلدين وزمن التلدين في انتشار طبقة من (Zn) بسمك  $(100 \text{nm})$  المرسبة على اغشية (CdTe) بسمك  $(1500 \text{nm})$  وبتقانة التبخير الحراري تحت ضغط  $(10^{-5} \text{Torr})$  ، واستنتج الباحث انه عند درجة تلدين  $(373 \text{K})$  وزمن تلدين بلغ  $(30 \text{min})$  تكوّن المركب (CdZnTe) في الاغشية المحضرة فضلاً عن زيادة في فجوة الطاقة من  $(1.74 \text{eV})$  الى  $(2.05 \text{eV})$  [24].

- ❖ (Enriquez *et al.* 2003) درس هو وجماعته تأثير زمن ودرجة المعاملة الحرارية بالهواء على الخواص التركيبية لأغشية (CdTe) المرسبة على أرضيات من الفولاذ باعتماد تقانة (ED) (Electric Deposition). أظهر طيف الحيود للأشعة السينية للأغشية المعاملة حرارياً عند الدرجات (623, 673, 723)K للمدة الزمنية التي تبلغ (5-60)min أن جميع الأغشية المحضرة كانت ذات تركيب متعدد التبلور (Polycrystalline) من النوع المكعب (Cubic) وباللاتجاه السائد [111] [25].
- ❖ (Chandra *et al.* 2003) توصل وجماعته إلى أن الحجم الحبيبي (Grain Size) لأغشية (CdTe) المحضرة بتقانة (Carrier Gas Evaporation) وباستعمال غاز الأركون Ar يقل بصورة نظامية من (18-13.7) nm مع زيادة الضغط الجزئي لغاز (Ar) من ( $10^{-6}$ - $10^{-2}$ Torr) مما أدى إلى زيادة قيمة فجوة الطاقة إذ زادت من (1.54-1.7) eV وبالتالي نقصان قيمة التوصيلية الكهربائية لتلك الأغشية [26].
- ❖ (Lalitha *et al.* 2004) درس الباحث وجماعته تأثير سمك أغشية (CdTe) المرسبة على قواعد زجاجية باعتماد تقانة (PVD) تحت ضغط ( $10^{-6}$ Torr) في الخواص التركيبية والبصرية لتلك الأغشية، وأظهرت نتائج فحوصات (XRD) أن طيف الحيود للأغشية المحضرة بسمك (200nm) عند ( $T_s=303$ K) (درجة حرارة الأساس) يحتوي قماً غير واضحة وذات شدة واطئة، أما طيف الحيود للأغشية المحضرة بسمك (550nm) وعند ( $T_s=303$ K) فإنه يحوي قماً واضحة وذات شدة أعلى، أما نتائج الفحوصات البصرية فقد أظهرت أن قيمة فجوة الطاقة البصرية ( $E_g^{opt}$ ) تقل مع زيادة السمك [27]
- ❖ (Ubale *et al.* 2005) قام الباحث وجماعته بتحضير أغشية (CdTe) بتقانة الترسيب الكيميائي من تفاعل خلاص الكادميوم ( $(CH_3COO)_2Cd$ ) مع تيلورايد الصوديوم ( $Na_2TeO_3$ ). وأظهرت نتائج فحوصات (XRD) بأن الأغشية المحضرة ذات تركيب متعدد التبلور (Polycrystalline) من النوع السداسي (Hexagonal). وأن الأغشية ذات السمك (272 nm) كان تمتلك قمم حيود عند الزوايا ( $2\theta$ ) ( $87^\circ, 65^\circ, 38^\circ, 24^\circ$ ) وعند التوجه [002], [110], [211], [220]، أما فجوة الطاقة البصرية فأخذت عند مدى طول موجي (1200-450) nm، فكانت بحدود (1.41 eV) [28].
- ❖ (Pandey *et al.* 2005) توصل هو وجماعته إلى أن سمك أغشية (CdTe) المرسبة على أرضيات من الزجاج وأخرى من الزجاج المغطى بـ ( $SnO_2$ ) ( $SnO_2/glass$ ) باعتماد تقانة التبخير باستعمال الليزر (Pulsed Laser Deposition) وبطاقات مختلفة يعتمد على درجة حرارة الأرضية، وطاقة الليزر المستعمل، وزمن الترسيب. كما أظهرت نتائج (XRD) أن جميع الأغشية المحضرة كانت ذات تركيب متعدد التبلور (Polycrystalline) ومن النوع المكعب (Cubic) باستثناء الأغشية المحضرة عند الطاقة

(200mJ) فقد كانت ذات تركيب متعدد التبلور (Polycrystalline) من النوع السداسي (Hexagonal)، كما أظهرت نتائج الفحوصات البصرية أن أغشية (CdTe) من النوع المكعب تمتلك فجوة طاقة بحدود (1.6eV) أما أغشية (CdTe) من النوع السداسي فتمتلك فجوة طاقة بحدود (1.54eV) [29]

❖ (Ebeid *et al.* 2005) درس هو وجماعته تأثير سمك أغشية (CdTe) المرسبة على أرضيات زجاجية عند ( $T_s=423K$ ) وبمعدل ترسيب ( $0.5nm.s^{-1}$ ) باعتماد تقانة (PVD) في تركيب واتجاهية تلك الأغشية إذ أظهرت نتائج فحوصات (XRD) أن جميع الأغشية المحضرة بسمك يتراوح بين (126-1115)nm كانت ذات تركيب متعدد التبلور (Polycrystalline) من النوع المكعب (Cubic) بالاتجاه [111]. كذلك بين أن الحجم الحبيبي (Grain Size) يزداد مع زيادة سمك الأغشية المحضرة [30].

❖ (R.A. Abdulah 2006) درست الباحثة تأثير درجة حرارة التلدين في الخواص الكهربائية لأغشية (CdTe) المحضرة بسمك (1000nm) عند ( $T_s=423K$ ) باعتماد تقانة (PVD)، وأظهرت نتائج الدراسة أن الأغشية المحضرة كانت من النوع الموجب (p-type)، كما أن زيادة درجة التلدين أدت إلى زيادة التوصيلية الكهربائية للأغشية المحضرة [31].

❖ (Zengir *et al.* 2006) درس هذا الباحث وجماعته الخواص البصرية لأغشية (CdTe) متعددة التبلور في منطقة الامتصاص العالي المتمثلة بطيفي الانعكاسية والنفذية وفجوة الطاقة البصرية [32]

❖ (Rusu 2006) درس الباحث التركيب البلوري باستعمال حيود الاشعة السينية (XRD) لأغشية (CdTe) النقية والمطعمة بالخارصين (Zn) المرسبة على قواعد من الزجاج عند درجة (R.T) بتقانة (PVD)، إذ استعمل الباحث مصدرين احدهما لتسخين (Zn) عند درجة (670-770) K والآخر لتسخين مادة (CdTe) ، إذ سخنها الى درجة (925 K)، ولاحظ الباحث ان الاغشية النقية كانت متعددة التبلور من النوع المكعبي (Cubic) عند التوجه [111]. في حين كانت الاغشية (CdTe:Zn) شبه عشوائية (Quasi-Amorphouse)، ودرس تأثير التلدين عند (800K) في الخواص البصرية للأغشية النقية والمشوبة، إذ زادت فجوة الطاقة من (1.49 eV) الى (1.67eV) للأغشية النقية وكذلك زادت فجوة الطاقة للأغشية المشوبة بالتلدين [33].

❖ (Hanaa 2008) قامت الباحثة بتحضير اغشية تيلرايد الكادميوم النقية والمطعمة بالخارصين (Zn) بنسب وزنية مختلفة مرسبة على ارضيات زجاجية عند ( $T_s= 423$ ) K بسمك (300 nm) بمعدل

ترسيب (0.5 nm/sec) ، بتقانة التبخير الحراري بالفراغ تحت ضغط ( $2 \times 10^{-5}$  Torr) ، فظهرت النتائج أن الاغشية المحضرة ذات تركيب متعددة التبلور من النوع المكعبي بالاتجاه السائد [111] ، إذ حسن التشويب التركيب البلوري. كذلك فإن الاغشية النقية ذات نفاذية واطئة عند الطاقات العالية من الطيف المرئي والمنطقة (IR) القريبة ، وان لها معامل امتصاص عالياً ( $\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ) بفجوة طاقة مباشرة تراح نحو الطاقات الواطئة عند التشويب. إذ تقل من (1.61 eV) الى (1.48 eV) لأغشية (CdTe:Zn) المشوبة بنسبة (1.5% Zn) [34] .

❖ (Li Jin et. al 2008) قام الباحث وجماعته بتريسيب اغشية (CdTe) المشوبة بـ (Sn) على ارضيات من (ITO) زجاجية بتقانة (Close Space Sublimation) (CSS) ودراسة تأثير الشوائب (Sn) في الخواص التركيبية والبصرية، فظهرت نتائج (XRD) والمجهر الالكتروني الماسح (SEM) (Surface Electron microscopy) شدة حيود عالية عند الوجه [111] وزيادة بالحجم الحبيبي عند النسبة المولارية الواطئة (Sn:CdTe =0.06:1). اما عند زيادة النسبة المولارية لـ (Sn) في الاغشية المشوبة فقد هبطت شدة الحيود عند الوجه [111]، وتناقص الحجم الحبيبي أيضاً. ووضحت الدراسة ان زيادة المحتوى (Sn) ادت الى زيادة الامتصاصية البصرية عند مدى الضوء المرئي من دون تأثير واضح في فجوة الطاقة إذ بقيت عند حدود (1.52) eV [35] .

❖ (Dwivedi et. al 2010) درس هو وجماعته تأثير تغيير درجة حرارة الاساس ( $T_s$ ) في تركيب الاغشية (CdTe/ZnTe) المرسبة بسمك (250 nm) على قواعد زجاجية بتقانة التبخير بالحزمة الالكترونية (Molecular Beam Aevpration) تحت ضغط ( $5 \times 10^{-6}$  Torr). وبينت نتائج (XRD) ان الاغشية ذات تركيب عشوائي (Amorphous) عند قيمتي درجة حرارة للأساس  $T_s$  بلغت (300,350)K، اما عند (400 K) فان التركيب صار متعدد التبلور، بعد ذلك قام الباحثون بمعاملة النماذج حرارياً لمدة ساعة واحدة بالفراغ، فلاحظ من نماذج الحيود ان النمو في القمم هو دالة لدرجة حرارة التلدين [36] .

❖ (Babkair 2010) حضر الباحث اغشية (CdTe) الرقيقة بسمك (50 nm) بتقانة (PVD) ، لتصنيع خلية شمسية (CdTe/CdS) (المفرق الهجين) ودرس الخواص البصرية باستعمال مطياف (UV-VIS) ، إذ رسم العلاقة بين معامل الامتصاص  $(\alpha h\nu)^{1/r}$  وطاقة الفوتون ( $h\nu$ ) وحصل منها على فجوة الطاقة (1.45)eV [37] .

❖ (2011 S.A.Mahdy) درس الباحث الخواص التركيبية والبصرية لأغشية (CdTe) النقية والمشوبة بالخارصين (Zn) بالنسب % (1,2,3,4,5) والمحضرة بتقانة (PVD) بسمك nm (400±25) ومعدل ترسيب nm.Sec (2±0.1) على ارضيات من الزجاج بدرجة (R.T) وقام بتلدين الأغشية بالدرجات K (523,573,623,673) وأظهرت نتائج الحيود للأشعة السينية ان الأغشية ذات تركيب متعدد التبلور polycrystalline عند الاتجاه السائد [111] للأغشية النقية والمشوبة، إذ وجد ان التشويب قد حسن التركيب البلوري، وادى الى زيادة في الحجم الحبيبي بالمقارنة مع الأغشية غير المشوبة ودرس الخواص البصرية، ووجد ان التشويب يقلل من قيم الثوابت البصرية عدا النسبة % (5)، وكذلك الحال مع فجوة الطاقة البصرية، إذ قلت من (1.62 eV) للأغشية النقية الى (1.58eV) للمشوبة منها، اما التلدين فقد ادى الى زيادة فجوة الطاقة [38].

❖ (2012 Nam –Hoon Kim) درس الباحث وجماعته الخواص الكهربائية لأغشية (CdTe) النقية والمشوبة بالألمنيوم بنسب مختلفة المحضرة بطريقة التريذ باستعمال ليزر الهليوم – نيون (He-Ne) ذي الطول الموجي (632.8 nm)، إذ لدن الأغشية في ما بعد بدرجة (673 K) لمدة ساعة واحدة ان الفحص (AES) (Auger electron spectroscopy) للأغشية اظهر ان ترسيب الأغشية قد تم بصورة منتظمة. ان عملية التشويب ادت الى تغيير نوع الأغشية من النوع p-type الى النوع n-type، كذلك ادت الى تناقص فجوة الطاقة البصرية ( $E_g^{opt}$ ) من (1.451 eV) الى (1.418 eV)، كذلك فان معدل قيمة الامتصاصية قد زادت من (1.58) الى (1.72) وان المقاومة قد قلت بصورة ملحوظة من ( $10^4 \Omega\text{-cm}^{-1}$ ) الى ( $10^{-6} \Omega\text{-cm}^{-1}$ ) وان تركيز حاملات الشحنة ازداد الى اعظم قيمة له ( $1.2 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ )، إذ بين ان استعمال الليزر في عملية التشويب فعال جداً للوصول لعدة طبقات من الغشاء المستعمل في الخلايا الشمسية في وقت قصير نسبياً بعملية دقيقة يمكن التحكم فيها بنوع الغشاء وقيمة التوصيلية وفجوة الطاقة البصرية والامتصاصية وتوزيع حاملات الشحنة والمقامية [39].

❖ (2013 A.B.Phillips) درس هو وجماعته عملية ترسيب النحاس والفضة كطبقة للتوصيل الخلفي لخلايا (CdTe) الشمسية، فوجد ان النحاس والفضة النقية المرسبة تحت الطبقة النانوية من الكربون المفردة تعمل على توصيل الاشارة الكهربائية بصورة جيدة من دون تعديلات على سطح غشاء (CdTe) المرسب على طبقة التوصيل الخلفي، إذ عمل ذلك على زيادة كفاءة الخلية الشمسية بصورة كبيرة فضلاً عن جعل طبقة الكربون اكثر استقرارية حرارياً وعدم تحللها في اثناء زمن الاختبار التجريبي [40].



**Aim of Research****( 1 – 6 ) الهدف من البحث:**

يهدف البحث الى تحضير اغشية رقيقة من مادة تيليرايد الكاديوم ( CdTe ) بطريقة التبخير الحراري بالفراغ ( PVD ) بسلك ( 450 ) nm بعد تحضير سبيكة من هذه المادة، ودراسة تأثير التشويب بمادة النحاس ( Cu ) بالنسب الوزنية % ( 1,2,3,4 ,5 ) على الخواص التركيبية والبصرية للأغشية المحضرة نظراً لأهمية هذه المادة في الكثير من التطبيقات العملية و تأثير التشويب على قيم الثوابت التركيبية والبصرية .

الفصل الثاني

الجانب النظري

Chapter Two

يتضمن هذا الفصل عرض المعلومات النظرية ذات الصلة ببحثنا هذا مع كل العلاقات والمعادلات الرياضية المتعلقة بذلك .

**Semiconductors**

**( 2 - 2 ) أشباه الموصلات**

يشير مصطلح أشباه الموصلات الى مواد تتصف بصفات تقع ما بين العوازل والعوازل من حيث خواصها الفيزيائية الكهربائية، فعند الدرجات الحرارية القريبة من درجة حرارة الصفر المطلق تكون صفاتها تشابه العوازل ، وعند رفع درجة حرارتها قريباً من درجة حرارة الغرفة أو اكثر بقليل تبدأ صفاتها تقترب من صفات المواد الموصلة، فيتزايد توصيلها للتيار الكهربائي ، ويرتفع مقدار التيار المار من خلالها . ويمكن ان يحصل ذلك أيضاً اذا ما تم تسليط مجال كهربائي خارجي عليها [41] .

**Semiconductors Types**

**( 2 - 3 ) انواع اشباه الموصلات**

يمكن ان نصنف اشباه الموصلات بعدة طرائق سنتطرق الى ما هو في صلب بحثنا هذا :-

a- التركيب البلوري.

b- عدد عناصرها.

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

يمكن ان نصنف المواد شبه الموصلة اعتماداً على التركيب البلوري الذي يختلف باختلاف قيمة فجوة الطاقة المحظورة التي يتحكم بها كل من ظروف وطرائق التحضير . لذا نجدها تصنف الى :- [42,43].

أولاً: المواد شبه الموصلة البلورية ( Crystalline Semiconductors ) .

ثانياً: المواد شبه الموصلة العشوائية (Amorphous Semiconductors) .

**Crystalline Semiconductors ( 2 - 3 - 1 - 1 ) المواد شبه الموصلة البلورية**

ونصنفها تبعاً لخواصها الفيزيائية الى صنفين :-

**a . أشباه الموصلات أحادية التبلور Single Crystal Semiconductors**

تتصف ذرات هذه المواد بتجمعها بصفوف دورية الترتيب بتشكيلة ثلاثية الأبعاد وبتماثل متكرر ، فيكون تركيبها البلوري ناتجاً من تكرار وحدة الخلية بأبعادها الثلاثية ، اي ان تركيبها يكون بنظام المدى الطويل ( Long Range Structure Order ) فيكون تشكيلها باقل طاقة داخلية ممكنة لنظام تركيبها البلوري [44,43] .

ان الصفة المميزة لذرات هذه المواد هي تركيبها بهيئة بلورات متعددة (Polycrystalline)، فلا تكون بهيئة بلورة منفردة (Single Crystal). وهذه تؤلف تركيباً يدعى بالحبيبية (Grain)، فتكون على أساس ذلك متماثلة الخواص في جميع الاتجاهات (Isotropic)، فتمثل الحبيبية بلورة مفردة صغيرة بذاتها، فنظام المدى الطويل يتواجد في ترتيب ذراتها الداخلية وليس في الأنموذج البلوري للمادة جميعها والذي يتكون من مجموعة هذه الحبيبات بنظام المدى القصير (Structure Short Range Order) في تركيبه لذرات مادته، فيستهلك بذلك طاقة اكبر من النظام ذي التركيب الاحادي التبلور [43].

ان الحد الفاصل بين حبيبية وحبيبية اخرى يسمى الحدود البلورية التي تعد عيباً سطحياً غير متزن لانقطاع الترتيب الدوري للذرات عندها، لذلك تمتلك طاقة كبيرة يتراوح مقدارها بين (1.25- 6.25) eV/nm، لهذا تعد بلورات هذه المواد للتقليل من مساحة الحدود الحبيبية لكي تقلل من الطاقة الحرة الداخلية [41,45].

### Amorphous Semiconductor (2-3-1) أشباه الموصلات العشوائية

ان الذرات في هذه المواد تتجمع وتتقارب بعضها من بعض بصورة عشوائية وبنحو لا يمتلك اي صفة من الدورية، إذ ان تركيبها لا يكون ناتجاً من تكرار أي أنموذج لخلية الوحدة مكونة بذلك تشكيلة معقدة لا يمكن عدّه تبلوراً منتظماً، لذا سميت أيضاً بالمواد غير المتبلورة (Non Crystalline Material) والزجاج الاعتيادي خير مثال لها [46].

وإذا اردنا ان نعرفها بصورة ادق يمكن أن نعدّ الترتيب الذري بشكله العام غير مفقود بصورة مطلقة، وإنما يظهر ضمن عدد محدود من مناطق التركيب البلوري للمادة او في مجموعة محدودة من الذرات ولاسيما تلك الذرات التي تحيط بذرة في مكان ما من التركيب للمادة لو عدنا تلك الذرة مركز تترتب الذرات حولها، وكلما ابتعدنا عن هذه الذرة يظهر التوزيع العشوائي للذرات بصورة اوضح، اذن هي تمتلك النظام قصير المدى في ترتيب ذراتها لمدى قصير ضمن حيز محدود من المادة، الا انها تكون متماثلة الصفات في الاتجاهات بثلاثة ابعاد (Isotropic) مماثلة بذلك أشباه الموصلات متعددة التبلور ومختلفة عن أحادية التبلور ذات الخواص المتباينة (Anisotropic) [47].

، ويطلق عليها أيضاً تسمية السوائل فائقة التبريد (Super Cooled Liquid) لامتلاكها عشوائية تركيب ذرات السوائل [41,44].

ان لطرائق تحضير المواد شبه الموصلة الاثر البالغ في تحديد تركيب هذه المواد، فعندما تحضر المادة بطريقة تتيح للذرات ان تترتب باقل طاقة ممكنة تتبلور المادة فتصبح ذات تركيب بلوري (احادي او متعدد). وعندما تكون طريقة التحضير بسرعة او بوقت لا يتيح للذرات ان تنتظم متبلورة فينتج التركيب العشوائي الذي يستهلك طاقة اكثر مقارنة بالتركيب البلوري. لذلك تعد الحالة العشوائية من الحالات غير المستقرة ثرموديناميكياً، اي تتبلور عندما يتاح لها الفرصة لفقدان الطاقة الزائدة، وعندها تسترخي الذرات بحالة

اقل طاقة ، لذلك هناك صورتان لبعض اشباه الموصلات مثلا الجرمانيوم والسليكون وفلوريد البريليوم وأكاسيد البورون توجد اما بصورتها المتبلورة او غير المتبلورة [48] .

ان فحص المواد الاحادية التبلور باستعمال حيود الأشعة السينية للأنموذج المحضّر من المادة يظهر على هيئة نقاط مضيئة والمتعددة التبلور على هيئة حلقات متداخلة مع بعضها ومتمحدة المركز ، اما العشوائية فتظهر على شكل هالات عريضة وضعيفة الإضاءة عندها يمكن التكهن بتركيب المادة إذا كانت بلورية أحادية التبلور أو متعددة أو عشوائية التركيب [49] .

## Pure and Doping Semiconductors (2-3-2) اشباه الموصلات النقية والمطعمة

يمكن ان نصنف المواد شبه الموصلة اعتماداً على وجود او عدم وجود الشوائب الغريبة (ذرات او جزيئات من عناصر او مركبات تختلف عن المادة الاصلية ) في التركيب البلوري لهذه المواد لذلك يمكن ان تصنف الى :- [46,50] .

### Pure Semiconductors materials (2-3-2-1) المواد شبه الموصلة النقية

يخلو التركيب البلوري لأشباه الموصلات النقية من الذرات او الجزيئات الغريبة التي لم يتم ادخالها في اثناء عملية النماء البلوري خلال تحضيرها ، وتدعى كذلك بالمواد شبه الموصلة ذات التوصيلية الذاتية (Semiconductor Intrinsic) ، إذ إن التوصيل في هذه المواد ينتج من اصطياح فجوة لإلكترونات او ظهور فجوة نتيجة لانتقال الكترونات من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل أي ان التوصيل الكهربائي ناتج من تولد زوج ( إلكترون – فجوة ) الذي يسبب ظهور تيار منتقل متولد من هذه العملية ، وهذا يحدث عادةً بتسليط طاقة تسبب هذا الانتقال ، ويحدث بعدة طرائق اما برفع درجة حرارة المادة ذاتية التوصيل ، وإما بتسليط مجال كهربائي خارجي ، أو تعرضها لإشعاع كهرومغناطيسي بتردد مناسب [46,50] .

ان مستوى فيرمي ( $E_F$ ) في أشباه الموصلات الذاتية يقع في منتصف فجوة الطاقة المحظورة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل ، هذا يعني ان عدد الالكترونات المنقلة من حزمة التكافؤ نحو حزمة التوصيل تساوي عدد الفجوات الباقية فيها المتولدة نتيجة عملية الانتقال هذه ، أي [43] :-

$$n = p = n_i \dots\dots\dots (2-1)$$

إذ ( $n_i$ ) عدد الحاملات للشحنة في المواد النقية . ( $n$ ) عدد الالكترونات . ( $P$ ) عدد الفجوات .  
 إن عملية تولد زوج ( إلكترون – فجوة ) الناتجة بزيادة درجة الحرارة التي بسببها يظهر تيار التوصيلية الذاتية الناشئ من تحطم الأواصر التساهمية بين الالكترونات والذرات ، تسمى بعملية التأين الحراري Thermal ionization [51] .

ولحساب عدد الإلكترونات المنتقلة من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل عند رفع درجة حرارة بمقدار  $(T) K$  في المواد ذات التوصيلية الذاتية ، نعتمد العلاقة الآتية [41] :

$$n_c = ne^{-(E_g/2K_B T)} \dots\dots\dots(2- 2)$$

إذ  $(n_c)$  عدد الإلكترونات في حزمة التوصيل عند الدرجة الحرارية  $(T)K$ ، و  $(n)$  عدد الإلكترونات في حزمة التكافؤ عند درجة حرارة الصفر المطلق ، و  $(k_B)$  ثابت بولتزمان  $(1.38 \times 10^{-23} J/K)$  أنفة الذكر تبين أن عدد الإلكترونات في حزمة التوصيل يتناسب بمقدار  $(e^{-(E_g / 2K_B T)})$ ، إذن فإن عدد حاملات الشحنة سوف يزداد بزيادة درجة حرارة ، ويتناقص بزيادة عرض فجوة الطاقة المحظورة  $(E_g)$  لأشباه الموصلات النقية عند درجة الحرارة  $(T)K$  ، وهذا هو السبب الذي يجعل عدد الإلكترونات في حزمة التوصيل للمواد العازلة أقل من عدد الإلكترونات في حزمة التكافؤ للمواد شبه الموصلة [41].

**Doping Semiconductors materials (2-3-2-2) المواد شبه الموصلة المطعمة**

ان اكثر الطرائق فاعلية في عملية التحكم في توصيلية المواد شبه الموصلة وأكفأها في تحسين الخواص هي طريقة التطعيم بالشوائب ( Doping ) التي تتكون من اضافة ذرات عناصر او جزيئات مركبات تعمل على زيادة توصيلية المادة شبه الموصلة بالاعتماد على نوع واحد من حاملات الشحنة ذات الوفرة الاغلبية ، وهذا بسبب أن التحكم بتوصيلية شبه الموصل عن طريق رفع درجة الحرارة امر في غاية التعقيد وغير ممكن عملياً وكثيراً من التطبيقات العلمية [41,46,52,53] .

ان اضافة نسب محددة من شائبة ( Impurity ) الى المادة شبه الموصلة النقية ، تخلق مستويات طاقة موضعية وسطية داخل فجوة الطاقة تجعل من قمة حزمة التكافؤ اقرب الى قعر حزمة التوصيل، وهذه العملية تتم باستعمال نوعين من الذرات فإما ان تكون بذرات ثلاثية التكافؤ او خماسية التكافؤ.

ان التطعيم بذرات ثلاثية التكافؤ يعمل على تكوين المستوى القابل ( Acceptor level ) الاقرب الى حزمة التوصيل ليزيح مستوى فيرمي باتجاه حزمة التكافؤ مكوناً بذلك شبه موصل من النوع الموجب ( p-type ) الذي يعتمد في توصيلته على الفجوات ( holes ).

اما التطعيم بالذرات الخماسية فيكون المستوى المانح ( Donor level ) بالقرب من حزمة التكافؤ ليجعل مستوى فيرمي اقرب الى حزمة التوصيل جاعلاً المادة شبه الموصلة من النوع السالب ( n-type ) التي تعتمد على الإلكترونات ( electrons ) في التوصيل الكهربائي لها [41,46,52,53] .

## Semiconductor Doping Methods (2-4) طرق تشويب المواد شبه الموصلة

ان اضافة العناصر الغريبة الى المواد شبه الموصلة في عملية الغاية منها الحصول على خواص للمادة شبه الموصلة لكي توافق الاستعمال في التطبيقات العملية ، تسمى بالتشويب او التطعيم للمادة شبه الموصلة . هذه العملية الغاية منها التأثير بشدة في خواص هذه المواد ومنها اغشية المواد شبه الموصلة. ان هذا التأثير دائماً ما يسيطر عليه باتجاه تحسين الخواص ، فمثلاً ان اضافة الشوائب الى المادة شبه الموصلة يعمل على زيادة توصيلية هذه المادة بزيادة نوع واحد من حاملات الشحنة على حساب النوع الاخر بحيث تتغلب نوع شحنة الاغلبية [54] .

ان طرائق الإشابة والتطعيم للمواد شبه الموصلة تنوعت بتنوع الاليات المعتمدة لتحقيقها ، وهي :-

### Mixture Doping (2-4-1) التطعيم بالخلط

تتم عملية التطعيم بطريقة الخلط عن طريق مزج المادة المراد تطعيمها مع المادة المطعمة بنسب وزنية محددة في حالة تقارب درجتي الحرارة لانصهارهما ، ثم يعمد الى صهرهما معا لتتم عملية التطعيم [55].

### Co-evaporation Doping (2-4-2) التطعيم بالتبخير الثنائي

في حالة وجود فارق بين درجتي الحرارة لانصهار المادة المراد تطعيمها والمادة المطعمة نلجأ إلى التطعيم بطريقة التبخير الثنائي (Co – evaporation Method). ونستعمل عند ذلك حويضين للتبخير أحدهما للمادة المراد تطعيمها والاخر للمادة المطعمة ، إذ يتم التحكم بدرجة الحرارة لكل حويض بواسطة محدد فولتية ( varices ) يعمل على التحكم بقيمة الفولتية والتيار المار بكل حويض للوصول الى درجة حرارة الانصهار لكلتا المادتين في الوقت نفسه لكي يتم التطعيم [50,56] . وهذه هي الطريقة التي اتبعت في التطعيم في بحثنا هذا .

### Solubility In Solution Doping (2-4-3) التطعيم بالإذابة بالمحلول

تصنف هذه الطريقة من ضمن الطرائق الكيميائية ، إذ تكون مادة الغشاء المراد تحضيره وكذلك مادة التطعيم على هيئة محلول ذائب مخلوط بنسب حجمية محددة اعتماداً على الوزن الجزيئي لكل منهما للسيطرة على سمك الغشاء المراد تحضيره وكمية التطعيم المراد تطعيمها له [57,58] .

Thermal Diffusion Doping (2-4-4) التطعيم بالانتشار الحراري

تُعد هذه الطريقة من الطرائق الفعالة للسيطرة على نوع المادة شبه الموصلة (p-type) او (n-type) ، إذ ترسب المادة المراد تطعيمها على سطح الغشاء المراد تطعيمه بالنسبة الوزنية المحددة للتطعيم . وبالتحكم بدرجة الحرارة ( التي غالباً ما تكون مرتفعة) وبالزمن المحدد لانتشار المادة المطعمة نحصل على النسبة المحددة للتطعيم [50,56] .

Ion Implantation Doping (2- 4-5) التطعيم بالزرع الأيوني

بهذه الطريقة يمكن التحكم بتوزيع المادة المطعمة عند درجات الحرارة الواطئة ، فهي أكثر دقة من عملية بالانتشار الحراري ، إذ تتم عملية التحكم بالتطعيم أولاً بزرع الايونات ذات الكتلة المحددة للمادة المطعمة وثنائياً بواسطة تسليط حزمة ايونية بطاقة عالية بالفراغ بطاقة تعجيل محددة . وهذان العاملان هما المحددان لقيمة التركيز الاكبر داخل المادة المراد تطعيمها [50,56].

Laser Doping (2-4- 6) التطعيم بالليزر

تتحكم هذه الطريقة بنسبة التطعيم عن طريق تحديد قدرة الحزمة الليزرية المستعملة لصهر المادة المطعمة ذات القطر الذري المحدد لإدخالها ضمن المادة المراد تطعيمها ذات القطر الذري المحدد أيضاً والمعروف طبيعة تركيبها البلوري . ان التحكم بالطول الموجي للحزمة الليزرية المستعملة يمكننا من التحكم بالعمق الذي تصله الذرات المطعمة [59,60] .

Diffusion types (2-5) انواع الانتشار

تتم عملية التشويب بانتشار المادة الشائبة في المادة المشوبة باليتين ،

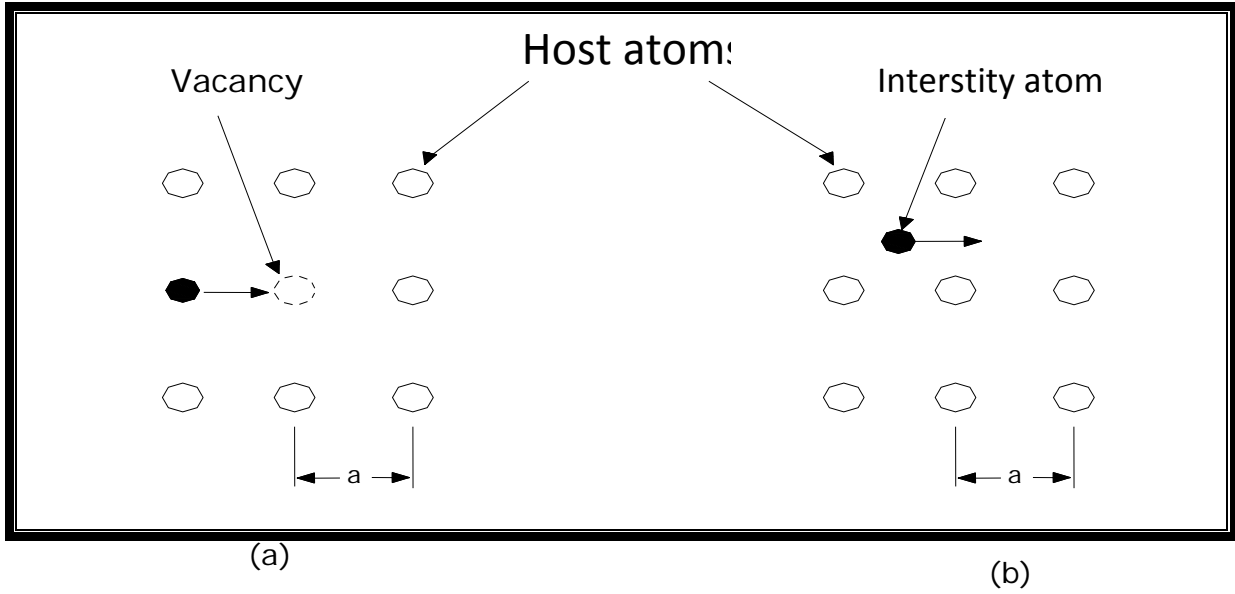
(a) بعملية ملء الفجوات التركيبية ( Vacancies Filling ) ،

(b) بعملية الإقحام الذري البيني ( Interstitial atoms )

ان الشكل (1-2) ادناه يبين كلا النوعين :

ان مواقع ذرات المادة المشوبة (الدوائر البيضاء) التي تكون مستقرة في مواقعها ومنتزعة داخل لتكوين البلوري تترك (عند وجود عيوب بلورية) ذرات المادة الشائبة (الدوائر السوداء) تشغل فجوات هي بالأصل لذرات المادة المشوبة بعملية انتشار تعويضية تسمى ملء الفجوات ( Filling Vacancies ) . ومرة تدخل في اماكن بين المستويات البلورية للمادة المشوبة كذرات بمستويات بينية بعملية الانتشار بالإقحام البيني ( Interstitial atoms ) [ 61,62,63 ]





الشكل (2-1) اليتي الانتشار (a): الية مليء الفجوات (b): الية الانتشار البيني [61]

ان عدد الذرات المنتشرة خلال مساحة المادة المشوبة في زمن محدد يعرف بانه فيض الانتشار  $\Phi$  (Diffusion Flux) ويمكن ان تصفه المعادلة المسماة معادلة فيك التالية [61].

$$\Phi = - B(\delta c / \delta x) \dots \dots \dots (1-1)$$

حيث يمثل B ثابت التناسب (معامل الانتشار) ووحدته (m<sup>2</sup>/sec) ، و (  $\delta c / \delta x$  ) تدرج تركيز ذرات المادة الشائبة بوحدة المسافة (atoms/m<sup>3</sup>)/m

تتناسب عملية الانتشار مع درجة الحرارة ومقدار العيوب البلورية طرديا وعكسيا مع معدل التركيز للمادة الشائبة وان التباين الكبير لأنصاف اقطار المادة الشائبة والمشوبة يرفع نسبة الانتشار لبيني والعكس يرفع نسبة مليء الفجوات [61,64,65].

### The influence parameters of quality thin films

ان الأغشية المحضرة بطريقة التبخير الحراري بالفراغ (PVD) تتأثر بالعديد من العوامل التي تخص منظومة التبخير نذكر منها :- [66] .

- i. مقدار الضغط الذي يمكن ان تصله مضخات التفريغ المربوطة مع المنظومة ، إذ تكون الأغشية ذات جودة اعلى كلما كان الضغط بقيمة اوطأ داخل حجرة الترسيب.
  - ii. نقاوة غرفة الترسيب من المواد الملوثة للأغشية المرسبة ونظافة الأرضيات المرسب عليها من المواد الملوثة ايضاً.
  - iii. درجة الحرارة الأرضية التي يتم ترسيب الأغشية عليها والمدة الزمنية التي يتم فيها تبريدها بعد الانتهاء من عملية الترسيب.
  - iv. معدل البعد بين حويض التبخير والأرضيات التي يتم ترسيب الأغشية عليها .
  - v. المادة التي يصنع منها حويض التبخير وشكله .
- مقدار المادة المرسبة خلال الزمن المستغرق لعملية الترسيب (معدل الترسيب )

### Crystal defects

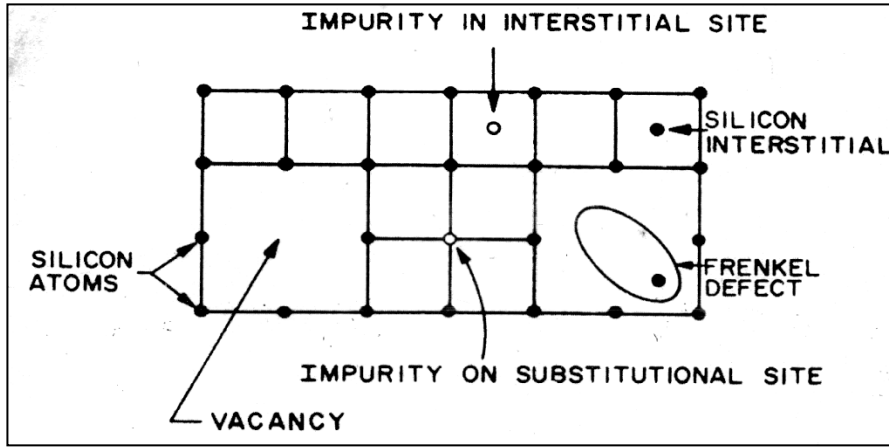
### (2-7)العيوب البلورية

يقصد بالعيوب البلوري الانقطاع (Discontinuity) في ترتيب الذرات او الايونات المنتظم في نظام الشبكة البلورية الذي يشمل جميع الانواع وهي : [67]:

#### Points Defects (2-7-1) العيوب النقطية

وهي على نوعين :

- a- عيب شوتكي (Schottky Defect) الفراغ المتولد من ازاحة احد ذرات البلورة الايونية عن موضعها نحو سطح في موضع تعويضي (Substitution Site)
  - b- عيب فرنكل (Frenkel Defect) الفراغ المتولد من ازاحة احد الذرات لبلورة الفلز او الشبه موصل الى موقع بيني (Interstitial Site) داخل بين الذرات كما في الشكل (2-1) . ان دخول ذرة مختلفة عن ذرات البلورة ليس بالضرورة ان يكون غير مرغوب حيث ان اغلب التحكم بالخواص لأشباه الموصلات هو نتيجة لإدخال ذرات غريبة الى التركيب البلوري اذ يجعلها ذلك اما مانحة Donors او مستقبلة Acceptor ، ومعظم البلورات تعاني من عدم اكتمال تركيبها البلوري .
- [67,43,68].

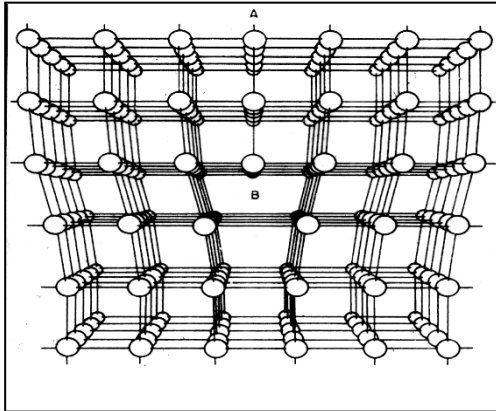


الشكل (2-2) العيوب النقطية [68].

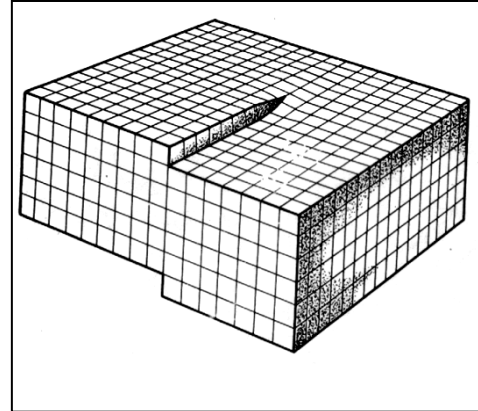
Linear Defects

(2-7-2) العيوب الخطية

تمتد على شكل صفوف من العيوب وقد تسمى انخلاعات (Dislocations) وهي بنوعين [46]:  
 a – الانخلاع الحافي (Edge Dislocations) وهو حافة جزء من مستوي ممتد خارج حدود البلورة.  
 b – الانخلاع البريمي (Screw Dislocations) وهو صف من الذرات حول محور معين تتجمع بشكل لولبي . كما في الشكل (2-2) .



(a)



(b)

الشكل (2-3) العيوب الخطية

(a) الانخلاع الحافي [68] (b) الانخلاع اللولبي [46]

Surface Defects

(2-7-3) العيوب السطحية

وهو تجمع العديد من العيوب النقطية او الخطية بشكل مستوي ينشا على سطح البلورة او داخل العمق مثل الحدود الحبيبية (Grain Boundaries) للحبيبات المكونة للبلورات وكذلك الحال بالنسبة الى

عيوب المليء (الرص) (Stacking Fault) وكذلك العيوب الناتجة من عدم دورية الشبكة المسمى بالتوائم (Twins) [69].

### Volume Defects (2-7-4) العيوب الحجمية

وهي العيوب التي تملأ حجماً داخل التركيب البلوري للمادة والتي تعد عدم انتظام أو عشوائية محدودة داخل النظام البلوري التي قد تنتج من عدم إعطاء البلورة الوقت الكافي لتصل إلى حالة الانتظام أو ناتجة من دخول شوائب بكمية كبيرة داخل النظام البلوري [69].

### (2-8) الخواص الفيزيائية للأغشية الرقيقة (physical properties of thin

### films)

تتنوع الخواص الفيزيائية للأغشية الرقيقة بتنوع الغاية التي حضر من أجلها الغشاء وتنوع البحوث التي تُعنى بهذا المجال ، لذا سنقتصر في بحثنا هذا على دراسة الخواص التركيبية والبصرية للأغشية الرقيقة .

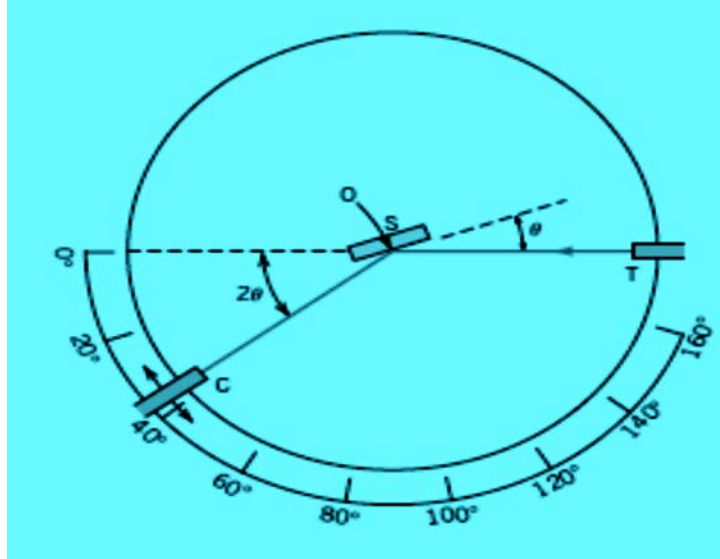
### Structural properties (2-8-1) الخواص التركيبية

تدرس الخواص التركيبية للأغشية بعدة تقانات وحيود الأشعة السينية (XRD) ، هي إحدى أكثر الطرائق اعتماداً والتي اعتمدت في بحثنا هذا لذلك سنأتي على شرحها بشيء من التفصيل [70].

### X-Ray Diffraction(XRD) (2-8-1-1) : حيود الأشعة السينية

الأشعة السينية (X-Ray) موجات كهرومغناطيسية تنتج من اصطدام الكترونات معجلة بطاقة عالية بمادة الهدف ذات الوزن الذري الكبير، فهي اشعة ذات طاقة عالية نسبياً يتراوح مدى أطوالها الموجية بين  $(0.01 - 100) \text{ \AA}$  وهذا المدى من الطول الموجي يعني أنها تحقق الشرط الواجب توفره لنفاذية الاشعاع من المادة  $(\lambda \leq 2d_{hkl})$  ، ولذلك يمكن استعمالها في تقانة الحيود البلوري [71].

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



الشكل (2-4) الشكل التخطيطي لجهاز XRD [72].

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

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

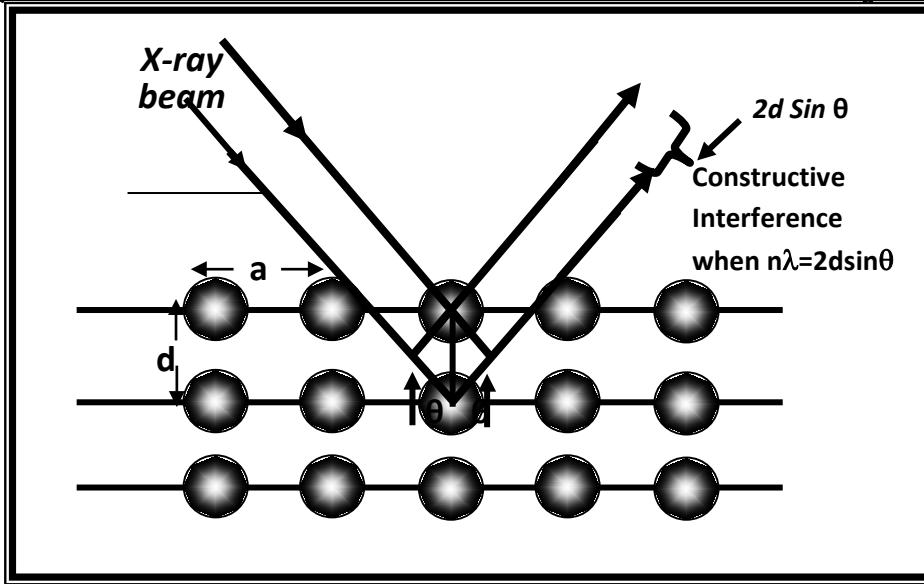
تزودنا هذه التقانة بمعلومات عن مواقع القمم المميزة التي تمثل اتجاه النمو البلوري السائد داخل الشبكة البلورية وعرض المنتصف لأعظم مستوى شدة التي يمكن عن طريقه التوصل الى معلومات عن الحدود الحبيبية ، وبالتالي معرفة النمو بالحجم الحبيبي لعينة الاختبار [73] .

(2-8-1-2) الفسحة البينية للسطوح  $(d_{hkl})$ .

ان الجهاز الذي تم شرحه يمثل الآلية التي استطاع عن طريقها العالم (W.Bragg) ان يضع قانونه المعروف الممثل بالمعادلة (2-3) التالية ، وهو نفسه القانون الذي يمكننا من حساب قيمة الفسحة البينية للسطوح  $(d_{hkl})$  المبين بالشكل (2-3) من المعادلة : [72]

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

إذ  $(n)$  يمثل رتبة الحيود ، و  $(\theta)$  تمثل زاوية السقوط للأشعة السينية بالطول الموجي  $(\lambda)$  ، و  $hkl$  هي معاملات ملر ( Miller index ) .



الشكل (2-5) يمثل نمط الحيود وفسحة السطوح  $d_{hkl}$  وثابت الشبكة  $a$  [74].

Grain Size (2-8-1-3) البعد الحبيبي (G.S)

ان المعلومات التي يزودنا بها نمط الحيود المستحصل يمكن ان نجد منه المعدل الذي نمت به البلورات داخل الشبكة البلورية ، فنجد معدل الحجم الحبيبي باعتماد معادلة شيرر (Scherer's Formula) ، إذ يمكننا ان نجد مقدار التعريض للقمم المميزة ( $\beta$ ) بالاعتماد على مقدار عرض منتصف القمة (FWHM) (Full Width at Half Maximum) مقاساً بالوحدة نصف القطرية (rad) فيكون الحجم الحبيبي مقاساً بوحدة (nm) على وفق المعادلة : [74,75].

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

فيكون ( $\beta_{FWHM}$ ) عرض المنحني عند منتصف القمة (FWHM) ، و ( $\theta$ ) زاوية براك

Dislocation Density (2-8-1-4) كثافة الانخلاعات ( $\delta$ )

ويطلق هذا المصطلح على عدد الخطوط التي يظهر بها الانخلاع داخل التركيب البلوري للمادة ضمن وحدة المساحة المقاسة بوحدة ( $m^2$ ) ، وهو مؤشر لجودة التركيب البلوري ، ويمكن ان نجده من العلاقة : [43].

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

Crystals layers number (2-8-1-5) عدد الطبقات البلورية ( $N_0$ )

وهو عدد الحبيبات ضمن وحدة الحجم المقاسة بوحدة  $m^3$  التي يمكن ان نجدها بالعلاقة : [78].

$$N_0 = t / (G.S)^3 \dots \dots \dots (2-6)$$

Lattice constant (a) ثابت الشبكة (2-8-1-6)

يمكننا ان نجد ثابت الشبكة (a) الشكل (2-3) باشتقاقه من قانون براك ، ونستنتج العلاقة : [73]

$$a = d_{hkl}(h^2+k^2+l^2)^{1/2} \dots\dots\dots(2-7)$$

Optical Properties (2-8-2) الخواص البصرية

ان لدراسة الخواص البصرية للأغشية اهمية بالغة في ايجاد الثوابت البصرية التي يمكن عن طريقها التعرف على مقدار قيمة فجوة الطاقة البصرية على وفق ظروف التحضير المحددة ( الضغط ، ودرجة الحرارة ، وسمك الغشاء ، ..... الخ ) وكذلك يمكننا معرفة الثوابت الاخرى من امتصاصية ونفاذية ومعاملاتها وكذلك معامل الخمود ومعاملات العزل الكهربائي الحقيقي والخيالي . [76] .

واستعملنا في بحثنا هذا المطياف البصري ( UV-VIS Spectrophotometer-1800 ,UK ) الذي يسجل الامتصاصية كدالة للطول الموجي ضمن المدى ( 300-1100 ) nm

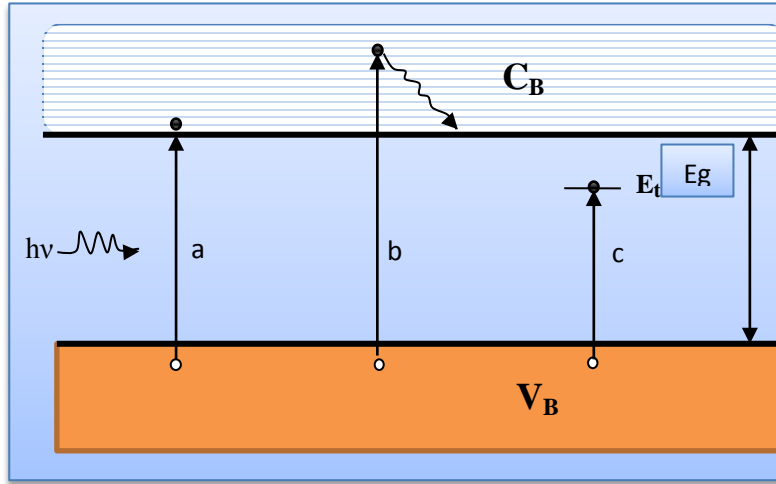
Optical Absorption (2-8-2-1) الامتصاص البصري

ويعدّ من الدراسات المهمة وذات الفعالية الكبيرة في مجال فيزياء اشباه الموصلات والأغشية . ان سقوط الأشعة الكهرومغناطيسية بطاقة مقدارها (hv) اكبر من قيمة فجوة الطاقة وبشدة مقدارها (I<sub>0</sub>) على المادة التي سمكها (t) التي ستمتص جزءاً منها لينفذ منها شدة مقدارها (I<sub>T</sub>) ، هذا يمكننا من ان نجد العلاقة التي نحسب بها معامل الامتصاص (α) وذلك على وفق المعادلة: [78, 77]

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

إذ α معامل الامتصاص (Absorption Coefficient) ويقاس بوحدة cm<sup>-1</sup>. الذي هو نسبة النقص في الطاقة الاشعاعية الساقطة ويتغير تبعاً لتغير الطول الموجي للأشعة الساقطة وطبيعة المادة التي تسقط عليها ، هذه العملية تعمل على تهيج الكترولون في حزمة التكافؤ منتقلاً الى حزمة التوصيل محرراً طاقة مقدارها (hv-E<sub>g</sub>) ، كما يبينه الشكل (2-4a) . اما اذا كانت طاقة هذه الأشعة مساوية لقيمة فجوة الطاقة (E<sub>g</sub>) فان هذه الطاقة ستمتصها المادة التي سقطت عليها مولدة زوج الكترولون- فجوة كما مبين بالشكل (2-4b) ويمثل هذان الانتقالات صنف الانتقال الذاتي (Intrinsic) من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل ( Band to Band ) .

اما في حالة أن طاقة هذه الأشعة اقل من قيمة فجوة الطاقة فان المستويات الموضعية الموجودة ضمن الفجوة المحظورة التي يمكن ان توجد العيوب الفيزيائية البلورية سوف تكون المستويات الموضعية التي يمكن ان ينتقل إليها الإلكترونون في هذه الحالة ، وهذا ما يمثله الانتقال اللاذاتي (Extrinsic) الذي يبينه الشكل (2-4c) [79] .



الشكل (2-6) الانتقالات الذاتية واللاذاتية في المواد شبه الموصلة [79] .

Optical absorption coefficient (2-8-2-2) معامل الامتصاص البصري ( $\alpha$ )

ويعرف بأنه النسبة التي تنقص من الطاقة الإشعاعية الساقطة على المادة نسبة الى المسافة التي قطعها باتجاه انتشار هذه الموجة داخل المادة شبه الموصلة ، ويعتمد حساب هذه النسبة على طاقة الأشعة الساقطة بها ( $h\nu$ ) وعلى الخواص البصرية للمادة شبه الموصلة كمقدار عرض فجوة الطاقة للمادة شبه الموصلة ونوع الانتقال الالكتروني الذي يحدث بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل [79] .  
ولحساب معامل الامتصاص نبدأ بحساب طاقة الفوتون للأشعة الساقطة من المعادلة : [80] .

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

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

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

ولحساب مقدار ما تمتصه المادة (A) من هذه الأشعة تعتمد المعادلة: [80] .

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

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

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



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

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

ومنها يمكن ان نجد قيمة معامل الامتصاص ( $\alpha$ ) من المعادلة :

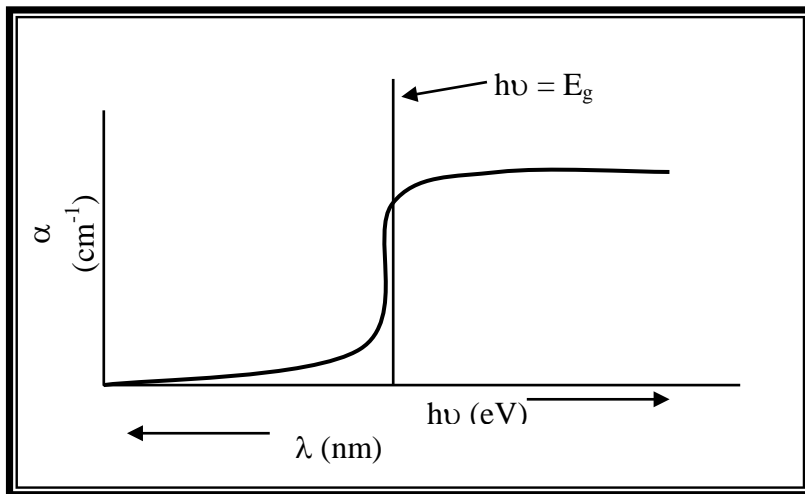
$$\alpha = 2.303 (A/t) \dots\dots\dots (2-14)$$

Absorption edge (2-8-2-3) حافة الامتصاص

يختلف مقدار الطاقة الإشعاعية التي تسقط بها الفوتونات على المادة ، ففي الحالة التي يصل فيها هذا المقدار بقيمة مساوية لمقدار عرض فجوة الطاقة المحظورة للمادة شبه الموصلة فان مقدار ما ستمتصه المادة سيزداد بصورة كبيرة ، وهذه الصفة تشترك بها تقريباً جميع المواد شبه الموصلة .[81]

هذا المقدار الذي تبدأ عنده الزيادة السريعة للامتصاص يسمى بحافة الامتصاص البصري ( absorption edge ) . اما الطول الموجي الذي تكون عنده حافة الامتصاص فهو يسمى الطول الموجي للقطع (Cut off wavelength) .

ويبين الشكل (2-5) ان مقدار الامتصاص عند الطول الموجي الاقل والاكثر من الطول الموجي القاطع يكون قليلاً ، إذ تميز حافة الامتصاص عند رسم طيف معامل الامتصاص كدالة لطاقة الأشعة الساقطة او للطول الموجي لهذه الأشعة بصورة حافة قطع خطي مميز تبدو عريضة نسبياً في حالة اشباه الموصلات متعددة التبلور وحادة في اشباه الموصلات الاحادية التبلور . [81] .



الشكل (2-7) مقدار معامل الامتصاص قبل حافة الامتصاص وبعدها و عندها [82] .

Optical Constants values (2-8-2-4) قيم الثوابت البصرية:

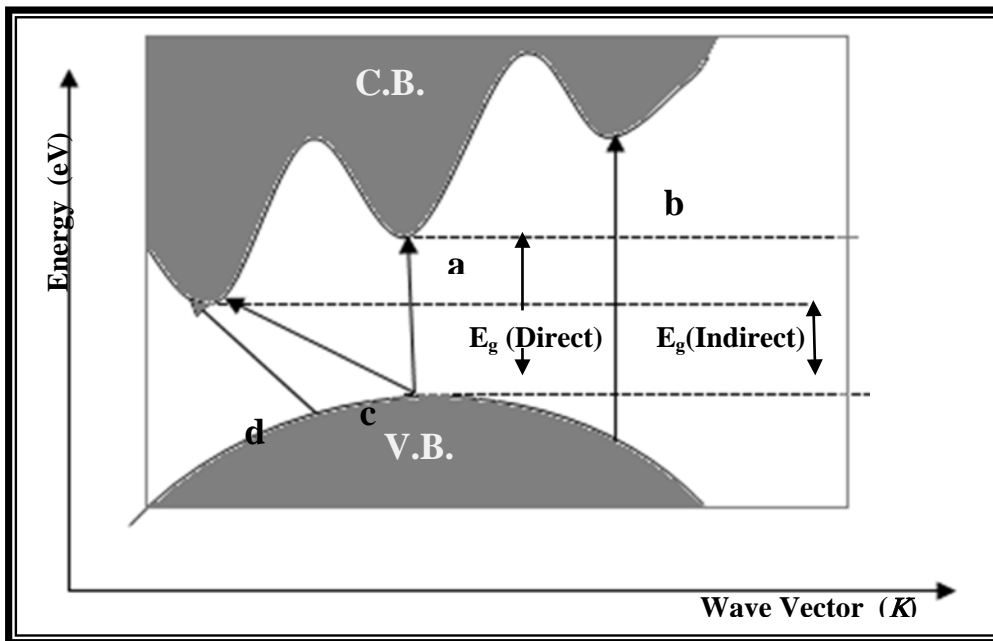
الثوابت البصرية من الدوال المهمة هي التي عن طريق معرفة قيمها يمكن ان تحدد تطبيقات المواد شبه الموصلة او الاستعمال الامثل للغشاء الرقيق ، وهذه الثوابت هي : -

Optical Energy Gap: (2-8-2-4-1) فجوة الطاقة البصرية:

فجوة الطاقة للمواد شبه الموصلة هي مقدار الطاقة التي يحتاج إليها الانتقال الالكتروني من قمة حزمة التكافؤ الى قعر حزمة التوصيل او المستوى الموضعي الاقرب للانتقال ، ويتأثر عرض هذه الفجوة بنسب الشوائب المضافة للمادة شبه الموصلة (مادة الغشاء) ، وبدرجة الحرارة ، وهذا التأثير يظهر زيادةً او نقصاناً تبعاً لنوع المادة شبه الموصلة ، فتزداد في بعضها وتقل في بعضها الاخر [83].  
وتحسب قيمة فجوة الطاقة للانتقال المباشر المسموح والممنوع والانتقال غير المباشر المسموح والممنوع من معادلة تاوس التجريبية كالآتي: [83] .

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

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



الشكل ( 2-8 ) الانتقالات الالكترونية [84]

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

فيتم رسم علاقة بيانية بين مقدار طاقة الفوتونات الساقطة ( $h\nu$ ) للمحور السيني ومقدار  $(\alpha h\nu)^{1/r}$  للمحور الصادي، فيحدد مقدار فجوة الطاقة بإسقاط خط تماس للمنحني الناتج باتجاه المحور السيني فيقطع عند النقطة  $(\alpha h\nu)^{1/r} = 0$  وهذه النقطة تمثل قيمة فجوة الطاقة [84].

Refractive Index (2-8-2-4-2) معامل الانكسار ( $n_0$ )

يستخدم على تسمية النسبة بين سرعة الضوء بالفراغ الى سرعته في اي وسط مادي اخر بمعامل الانكسار الذي يمكن ايجاده اعتماداً على معرفة قيمة ثابت الخمود ( $K$ ) ومقدار قيمة الانعكاسية للغشاء ( $R$ ) فتكون قيمته على وفق المعادلة : [85]

$$n_0 = [ \{ (1+R) / (1-R) \}^2 - (K^2 + 1) ]^{1/2} + \{ (1+R) / (1-R) \} \dots \dots \dots (2-16)$$

Transition (2-8-2-4-3) النفاذية ( $T$ )

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

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

Reflectance (2-8-2-4-4) الانعكاسية ( $R$ )

تمثل الانعكاسية مقدار ما يرتد من الطاقة الاشعاعية الساقطة على الغشاء الى الوسط الذي قدم منه، ويمكن ايجاد مقدارها على وفق المعادلة : [85].

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

Extinction coefficient (2-8-2-4-5) معامل الخمود ( $K$ )

ويعرف بانه كمية الطاقة التي تمتصها الكترونات حزمة التكافؤ عند سقوط الاشعة الكهرومغناطيسية على المادة، اي مقدار الطاقة التي أخذتها هذه الالكترونات من الأشعة الساقطة او مقدار التوهين في طاقة الاشعة الساقطة، ويعتمد على مقدار الطول الموجي للأشعة الساقطة وعلى قيمة معامل الامتصاص ( $\alpha$ ) لكل مادة، ويحسب من العلاقة : [85].

$$K = \alpha \lambda / 4\pi \dots \dots \dots (2-19)$$

Dielectric Constant (2-8-2-4-6) ثابت العزل الكهربائي ( $\epsilon$ )

يؤدي سقوط الأشعة الكهرومغناطيسية على المادة الى تفاعل هذه الأشعة مع شحنات المادة الساقطة عليها التي تستقطب ممتصة قدرًا من الطاقة الساقطة الذي عادة ما يسمى بثابت العزل الكهربائي للمادة ( $\epsilon$ ) الذي يعطى بالعلاقة : [85] .

$$\epsilon = \epsilon_r - \epsilon_i \dots\dots\dots (2-20)$$

إذ ( $\epsilon_r$ ) الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي ، و ( $\epsilon_i$ ) الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي .

Real part of dielectric constant ( $\epsilon_r$ ) (2-8-2-4-6-1) الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي

ويرتبط الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي ( $\epsilon_r$ ) الذي يعبر عن استقطاب الوسط بغض النظر عن قيمة الطاقة المفقودة نتيجة سقوط الضوء عليه بقيمة معامل الانكسار ( $n_o$ ) ومعامل الخمود ( $K$ ) على وفق العلاقة الآتية : [85] .

$$\epsilon_r = n_o^2 - K^2 \dots\dots\dots(2-21)$$

Imaginary part of dielectric con. ( $\epsilon_i$ ) (2-8-2-4-6-2) الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي

يمثل الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي مقياساً لامتناس طاقة الإشعاع الساقط من ذرات المادة، ويرتبط أيضاً بقيمة معامل الانكسار، وقيمة معامل الخمود على وفق المعادلة : [85] .

$$\epsilon_i = 2n_oK \dots\dots\dots (2-22)$$

# الفصل الثالث

## الجانب العملي

Chapter Three

**Introduction****(3-1) مقدمة**

سوف نستعرض في هذا الفصل الخطوات العملية لبحثنا هذا، إذ نبدأ من تحضير سبيكة مادة تيلورايد الكاديوم (CdTe) من عناصرها ثم خطوات اعداد الارضيات الزجاجية للأغشية، ووصف لأجزاء منظومة التبخير وأجزائها ثم شرح لعملية ترسيب الأغشية النقية والمشوبة بالنحاس والعوامل المؤثرة في نوعية الأغشية ، ثم وصف للأجهزة والمعدات التي استعملت للفحوصات والقياسات التركيبية والبصرية .

**(3-2) تحضير سبيكة تيلورايد الكاديوم Cadmium Telluride alloy preparation**

تيلورايد الكاديوم (CdTe) مركب ذو لون رصاصي غامق لماع لا يوجد بصورة حرة في الطبيعة لذلك يحضر صناعياً [6] .

حضرت سبيكة تيلورايد الكاديوم بخلط عنصر التيريليوم ذي النقاوة % (99.95) المجهز من شركة (HIMEDIA) بنسبة وزنية بلغت % (53.17) مع عنصر الكاديوم ذي النقاوة % (99.99) ألماني المنشأ من شركة (METCO) بنسبة وزنية بلغت % (46.83) ، وذلك على وفق المخطط الطوري لمادة تيلورايد الكاديوم ، الشكل (3-3) [86]

إذ وضع الخليط في انبوبة من مادة الكوارتز الصناعي بقطر (1.12)cm بطول (16)cm مغلقة من احد طرفيها ، ثم فرغت هذه الانبوبة بواسطة المضخة الزيتية الدوارة وصولاً الى الضغط ( $10^{-2}$  torr) واغلق الطرف الاخر بواسطة الشعلة الاوكسي استيلينية لتصبح الانبوبة كبسولة مفرغة ، الشكل (3-1)



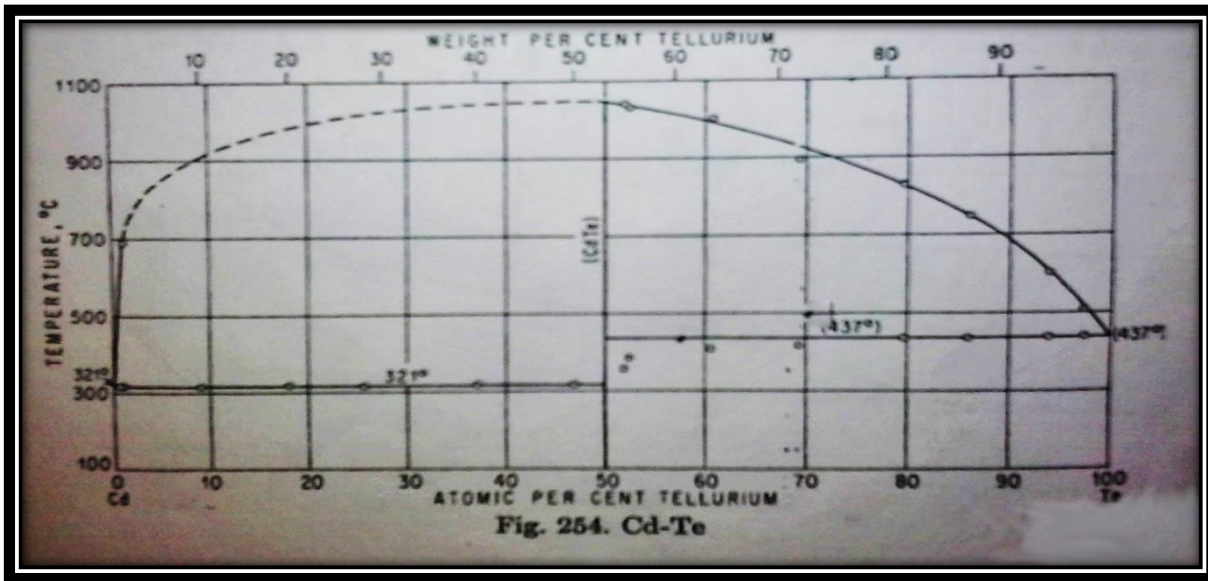
الشكل (3-1) الكبسولة المفرغة لخليط الكاديوم والتيريليوم بالنسب الوزنية المحددة

وضعت هذه الكبسولة بعد ذلك في فرن من النوع ( YOKA GAWA UT 350 ) الشكل (3-2)



الشكل (3-2) فرن نوع ( YOKA GAWA UT 350 )

ليتم تسخينها تدريجاً ( أربع درجات لكل دقيقة ) بزمن تدرج قدره خمس ساعات وصولاً الى الدرجة الحرارية  $1373\text{ K}$ . اعتماداً على المخطط الطوري لمادة تيلورايد الكاديوم الشكل (3-3) [86] لتثبت هذه الدرجة لمدة ساعة واحدة ، بعد ذلك اخرجت الكبسولة لتخمد بالماء البارد (Quenched) .



الشكل (3-3) المخطط الطوري لمادة تيلورايد الكاديوم (CdTe) [86]

فتحت الكبسولة من احد طرفيها واستخرجت مادة تيليرايد الكاديوم (CdTe) وطحن جزء منها لغرض فحصها بواسطة جهاز الحيود للأشعة السينية (X-ray diffraction) من النوع ( SHIMADZU Japan XRD 6000 ) الذي يستعمل فيه مصدر النحاس ( CuK $\alpha$  ) بالمواصفات الآتية :-

- Source CuK $\alpha$  radiation of wavelength ( $\lambda = 1.54062 \text{ \AA}$ )
- Current = 20 mA
- Voltage = 40 KV
- Scanning Speed = 5 deg /min

### Preparation glass substrates

### (3-3) اعداد الأرضيات الزجاجية

بدأت عملية اعداد الارضيات الزجاجية بتقطيع شرائح الزجاج ألمانية المنشأ المصنوعة من زجاج البوروسليكات بسمك 0.1 cm الى ثلاثة اجزاء بقياسات 2 cm<sup>2</sup> ، ثم نظفت بواسطة الماء والصابون السائل بصورة جيدة وتركها تحت الماء الجاري لمدة ربع ساعة . وضعت بعد ذلك في حاوية جهاز الموجات فوق السمعية (Ultra sound) من النوع ( APPASAMY ASSOCIATES ULTRA HYGIENIC EQUIPMENT ) ، الشكل (3-5)، لتنظف باستعمال الماء المقطر لمدة ربع ساعة . افرغ الماء المقطر واستبدل بالكحول الايثيلي بنسبة نقاوة % (99.99) لتنظف الأرضيات بواسطته من الشوائب التي يمكن ان تكون عالقة بها لمدة ربع ساعة .



الشكل (3-4) جهاز الموجات فوق الصوتية المستعمل لتنظيف الأرضيات الزجاجية



بعدها اخرجت الأرضيات الزجاجية لتنشف بواسطة ورق التنشيف الخاص ووضعت في الحاوية المخصصة للشرائح ، ثم غلفت هذه الشرائح بورق الألمنيوم من جهة الخلف ووضع القناع الذي يمثل شكل الغشاء من الأمام، ثم ثبتت بعد ذلك على حامل الأرضيات لتوضع داخل حجرة التبخير لتجهز لعملية ترسيب الأغشية عليها في منظومة التبخير.

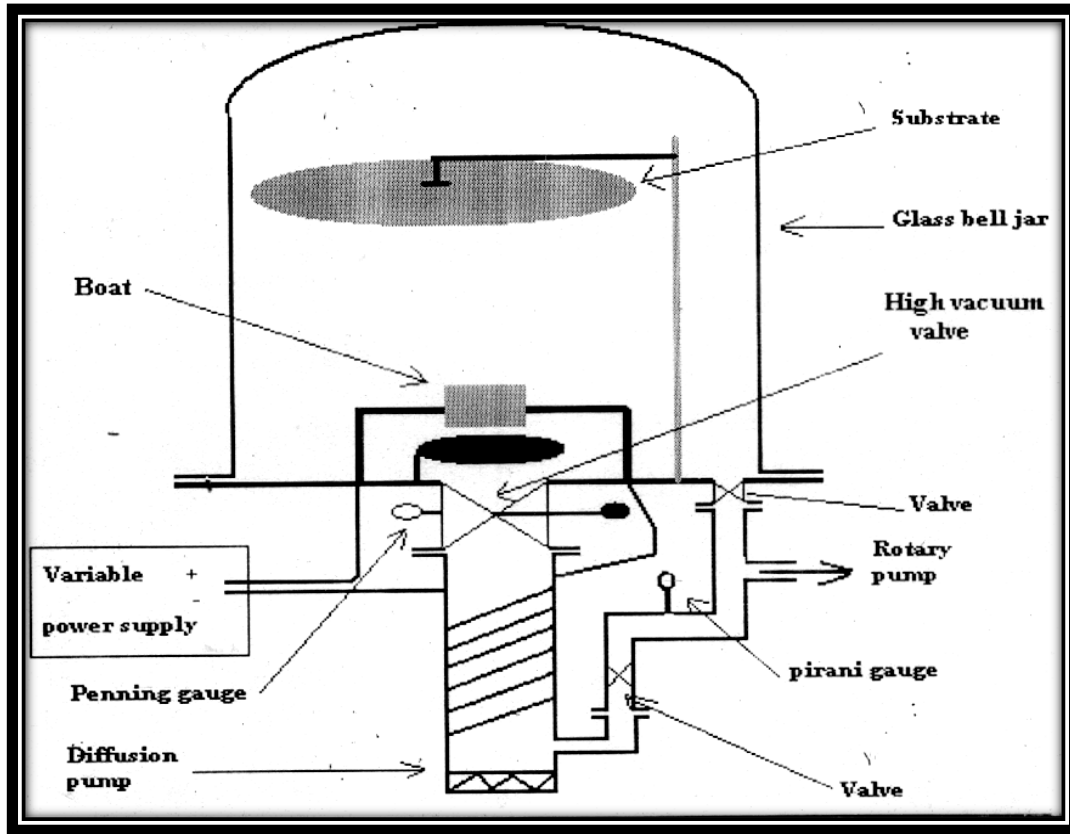
### Evaporation System Parts

### (3-4) منظومة التبخير واجزاءها

حضرت اغشية تيليرايد الكادميوم (CdTe) النقية والمشوبة بواسطة منظومة التغطية والتبخير (Edwards Coting Unit 306) المبينة اجزاؤها بالشكل (3-5) والمخطط التوضيحي الشكل (3-6).



الشكل (3-5) منظومة التبخير المستعملة لترسيب الأغشية واجزائها



الشكل (3-6) رسم توضيحي لمنظومة التبخير (Edwards Coting Unit 306) [87]

**Evaporation system fundamental parts** (3-5) الأجزاء الأساسية لمنظومة التبخير

تتكون منظومة التبخير (Edwards coting unit 306) من الأجزاء الأساسية الآتية :-

Vacuum evaporation chamber (a) حجرة التبخير المفرغة

تتكون من اسطوانة معدنية من مادة الحديد والكروم (الستيل) السميك مغلقة بإحكام من احد طرفيها وفيها نافذة زجاجية سميكة لرؤية الأغشية ، وتحوي بداخلها القاعدة نصف الكروية (substrate) التي تحمل الارضيات الزجاجية مع حاملها اللولبي والتي تبعد 16 cm) عن حويض التبخير ، والاقطاب الكهربائية المعدة لحمل حويض التبخير (boat) المصنوع من الموليبيديوم (Mo) ، والمتحسس الحراري (Thermocouple K) ، والمسخن للقاعدة الحاملة للأرضيات الزجاجية. [87]

Rotary oil pump (b) المضخة الزيتية الدوارة

ترتبط هذه المضخة عبر الصمام (1) و (2) لخفض قيمة الضغط داخل الغرفة بمقدار  $(10^{-3})$  mbar لتهيئة المنظومة لعمل المضخة الانتشارية [88].

(c) المضخة الانتشارية Diffusion pump

ترتبط هذه المضخة عبر الصمام (3) ويبدأ تشغيلها بعد وصول الضغط عن طريق المضخة الزيتية لغاية  $10^{-3}$  mbar حيث يبدأ عملها عند ذلك لإيصال الضغط داخل المنظومة الى  $10^{-6}$  mbar ، وعند ذلك تبدأ عملية التبخير [88] .

(d) مقياس بيراني Pirani gauge

يستعمل لقياس قيمة الضغط بدءاً من الضغط الجوي وصولاً الى الضغط  $10^{-3}$  mbar [88].

(e) مقياس بينينك Penning gauge

يستعمل لقياس قيمة الضغط من  $10^{-2}$  mbar وصولاً الى قيمة الضغط  $10^{-8}$  mbar [88].

(f) منظومة التبريد Cooling system

ان دور منظومة التبريد هو تبريد السائل المستعمل (الماء) في تبريد المضخة الانتشارية للحصول على المدى المطلوب لقيمة الضغط ، لذلك تستعمل مع المضخة المربوطة معها لتجعل عملية تكاثف بخار الزيت المستعمل في المضخة الانتشارية اسرع للوصول الى قيمة الضغط المطلوب بأسرع وقت ممكن ، واستعمل الماء في المنظومة المستعملة في ترسيب الأغشية في بحثنا هذا لغرض التبريد .

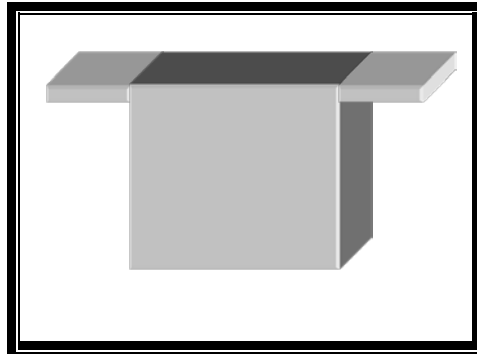
**(3-6) تحضير الأغشية (CdTe) النقية والمشوبة** Preparation pure and doping thin films

تم تحضير نماذج اغشية تيليرايد الكاديوم النقية والمشوبة بطريقة التبخير الحراري بالفراغ باستعمال منظومة التغطية والتبخير (Edward coting 306) ، وهذه العملية تمت بمراحل :-

أولاً :- ترسيب الأغشية النقية Deposition of pure thin films

حضرت نماذج أغشية تيليرايد الكاديوم النقية بوضع كتلة مقدارها 0.302 gm من مادة تيليرايد الكاديوم التي تم وزنها بواسطة ميزان حساس من النوع (Precisa)، الشكل (10-3) ، ذي مدى حساسية لغاية ( $10^{-4}$  gm.) لتحقيق السمك المطلوب (450±25) nm في حويض الموليبيدوم (Mo) الذي تم تصنيعه مسبقاً، الشكل (7-3) الذي يبعد بمسافة 16 cm عن الوجه المقابل لسطح الارضيات الزجاجية ، ولأن مادة تيليرايد الكاديوم مادة متطايرة ، تم وضع غطاء مثقب مصنع لهذا الغرض من مادة الحويض نفسها لضمان بقاء المادة داخل الحويض في اثناء عملية التبخير . ثم نظف كل من سطح

المنظومة الملامس لاطار حجرة التفريغ واطار الحجرة نفسه بمادة الكحول الايثيلي لضمان الغلق المحكم للغرفة التي تم تغليفها بمادة الالمنيوم الورقي لبقائها خالية من التلوث الذي يمكن ان يحصل ثم تركيب اجزاء المنظومة كما في الشكل (3-6) ، وعندها بدأت عملية التفريغ بالمضخة الزيتية الدوارة للوصول الى قيمة الضغط  $10^{-3}$  mbar ، بعد ذلك بدأت عملية التفريغ بالمضخة الانتشارية للوصول الى قيمة الضغط  $10^{-6}$  mbar عندها بدأت عملية التبخير بتزويد الاقطاب الكهربائية بالجهد الكهربائي للوصول الى درجة حرارة الانصهار لمادة تيليرايد الكاديوم  $1073$  K ، إذ بدأت عملية الترسيب للأغشية بمعدل ترسيب  $2.5$  nm/sec .



الشكل (3-7) حويض الموليبيديوم (Mo) المستعمل للتبخير

ثانياً :- ترسيب الأغشية المشوبة بالتبخير المزوج Co. evaporation doping thin films deposition.

تم تحضير الأغشية المشوبة بالنحاس بنسبة % 1 بطريقة التبخير المزوج (Co. evaporation) ، إذ وضعت كتلة مقدارها  $0.302$  gm من مادة تيليرايد الكاديوم في حويض التبخير الاول المصنوع من الموليبيديوم (Mo) . ووضعت كتلة مقدارها % 1 نسبة الى الكتلة السابقة من مادة النحاس الحبيبي النقي (Cu) بنسبة % (99.9) ، الشكل (3-8) في حويض التبخير الثاني ، وتمت اعادة الخطوات في عملية التبخير للأغشية النقية السابقة ، ثم بدأت عملية التبخير المزوج بتسليط فولتية على الحويضين في الوقت نفسه بمقدار مختلف للوصول الى نقط التبخر لكلا المادتين ليتم تبخير مادة تيليرايد الكاديوم والنحاس في الوقت نفسه للحصول على الأغشية المشوبة بالنسبة المذكورة ، وهكذا العملية بالنسب % (2,3,4,5) باختلاف نسبة كتلة مادة النحاس .

**Measurements**

**(3-7) القياسات**

ان عملية القياسات تمت بمراحل متعددة نذكرها بالتفصيل :-

**Film thickness measurement (3-7-1) قياس سمك الغشاء**

تبدأ عملية قياس سمك الغشاء من تحديد كتلة المادة المعدة للتبخير داخل حويض التبخير، وهذا التحديد يتم باعتماد المعادلة الآتية: [87].

$$m = 4\pi\rho(R^2) t \dots\dots\dots(3-1)$$

إذ (m) كتلة المادة المعدة للتبخير ، (ρ) كثافة مادة الغشاء (gm/cm<sup>3</sup>) ، (R) نصف المسافة بين حويض التبخير والارضية المعدة لحمل الشرائح التي يتم ترسيب الغشاء عليها مقدره بـ (cm) ، (t) سمك الغشاء المرسب مقدراً بـ (cm) .

فتحدد من هذه المعادلة كتلة المادة التي توضع في حويض التبخير للحصول على السمك المحدد للغشاء. وفي بحثنا هذا كان سمك الغشاء nm (450±25) مضافاً إليها نسبة زيادة مقدارها % (20) لكتلة المادة الضائعة في اثناء عملية التبخير، لذلك كانت الكتلة الموضوعه في حويض التبخير هي (0.302) gm.

**Weight method to measure film thickness (3-7-1-1) الطريقة الوزنية لقياس سمك الغشاء**

تمثل الطريقة الوزنية احدى الطرائق الشائعة لتحديد سمك الغشاء المحضر بدقة محدودة، إذ نبدأ بوزن الشرائح الزجاجية باستعمال ميزان حساس من نوع (Precisa) الشكل (3-9)، ذي حساسية مقدارها gm (10<sup>-4</sup>)، وتثبيت وزن هذه الشرائح قبل عملية الترسيب ، ثم وزن هذه الشرائح مرة اخرى بعد عملية الترسيب للأغشية ومقارنة الوزنين للحصول على وزن الغشاء المرسب ، فيكون سمك الغشاء على وفق المعادلة الآتية: [87]

$$t = (\delta m / S \cdot \rho) \dots\dots\dots(3-2)$$

إذ (t) سمك الغشاء المحضر مقدراً بالـ (cm) ، و (δm) مقدار فرق الكتلة قبل الترسيب وبعده مقدراً بالـ (gm) ، و (S) مساحة الغشاء مقدره بالـ (cm<sup>2</sup>) ، و (ρ) كثافة مادة الغشاء مقدره بالـ (gm/cm<sup>3</sup>) . إن هذه الطريقة تحتوي على نسبة من الخطأ في تحديد سمك الغشاء، لذلك نلجأ الى طرائق اخرى للوصول الى ادق قياس يمكن ان نحصل عليه، منها طريقة قياس سمك الغشاء بجهاز الموجات فوق السمعية .



الشكل (3-8) الميزان الحساس نوع (Precisa)

Ultrasonic waves method (3-7-1-2) قياس سمك الغشاء بطريقة الموجات فوق السمعية

يستعمل في هذه الطريقة جهاز الموجات فوق السمعية من النوع ( Digital coating thickness TT 260 ) ، الشكل (3-10) ، إذ يوضع مجس هذا الجهاز على الشرائح الزجاجية في عدة نقاط قبل عملية الترسيب لتحديد سمكها وتسجيله لكل عينة على حدة ، ثم يقاس سمك هذه الشرائح مرة ثانية بعد ترسيب الأغشية عليها، فيمثل الفرق بين القياسين قبل عملية الترسيب وبعدها سمك الغشاء . ان حساسية هذا الجهاز تكون ضمن المدى المحدد البالغ nm (350-500) .



الشكل (3-9) جهاز الموجات فوق السمعية لتحديد سمك الأغشية

**(3-8) تحديد الخواص التركيبية** **Structural properties investigation**

**(3-8-1) فحوصات الأغشية بالمجاهر المكبرة** **Microscopy films investigations**

ان الفحوصات المجهرية للأغشية تحدد افضل النوعيات من الأغشية المحضرة من حيث خلوها من العيوب التركيبية كانتظام سمكها وتجانس تركيبها وخلوها من التشققات والتقوب وجودة التصاقها بالأرضيات المرسبة عليها ، لذلك قمنا بفحص الأغشية المحضرة بواسطة مجهر القوة الذرية ( AFM ).

**(3-8-1-1) فحص مجهر القوة الذرية** **Atomic force microscopy investigation**

يُعد مجهر القوة الذرية (AFM) من التقانات القياسية شائعة الاستعمال لدراسة طوبوغرافية سطوح الأغشية المحضرة ، إذ يحدد مدى نعومة وخشونة سطح هذه الأغشية . وفضلاً عن ذلك فان نوعية هذه الصور تكون بثلاثة ابعاد وبعدين محددة بذلك جودة الغشاء المحضر ومعطية امكانية تحديد سمك هذا الغشاء ودرجة تجانسه . [89] .

ان عملية الفحص تمت بواسطة مجهر القوة الذرية من النوع ( SPM-AA5000 contact mode ) ( Augestrom Advanced Inc.,2008 ,USA ) .

**(3-8-2) الفحص بحيود الأشعة السينية** **X-ray Diffraction Investigation**

يُعدّ تحديد تركيب الغشاء المحضر من المعلومات ذات الأهمية البالغة في مجال البحوث والدراسات الخاصة بالأغشية الرقيقة ، لذلك تنوعت التقانات المستعملة للوصول لهذه الغاية ، واستعمال تقانة حيود الأشعة السينية (X-ray diffraction) ( XRD ) احدى اكثر الطرائق شيوعاً للحصول على التركيب البلوري للأغشية المحضرة فيما اذا كانت متبلورة او عشوائية ( amorphous ) التركيب وكذلك تحديد نوع هذا التبلور احادي ( single crystalline ) او متعدد التبلور ( polycrystalline ) [49] . واستعملنا جهاز حيود الأشعة بالموصفات المذكورة في الفقرة (3-2). الذي يسجل الشدة كدالة لتغير قيمة الزاوية  $(2\theta)$  ، ومنها تم حساب المعاملات  $(a, d_{hkl}, hkl)$  من المعادلة (2-3) ، وايجاد ثابت الشبيكة  $(a)$  من المعادلة (2-7) ، وتم حساب الحجم الحبيبي (G.S) من المعادلة (2-4) ، وايجاد كثافة الانخلاعات من المعادلة (2-5) ، وكذلك حساب عدد الطبقات الحبيبية من المعادلة (2-6) . وهذه القياسات شملت الأغشية المحضرة النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب % (1,2,3,4,5) وبسمك (450) nm .

**(3-9) تحديد الخواص البصرية** **Optical properties investigation**

لتحديد الخواص البصرية للأغشية المحضرة النقية والمشوبة استعملنا جهاز المطياف من النوع (UV-Spectrophotometer -1800 ,made UK) ، إذ تم قياس الامتصاصية (A) كدالة للطول الموجي ( $\lambda$ ) ضمن المدى (300-1100) nm .

هذه العملية تمت بمقارنة امتصاصية شريحة زجاجية من نوع الشرائح الزجاجية نفسها التي رسبت عليها الأغشية بوصفها مرجعاً للمقارنة مع امتصاصية الشرائح التي رسبت عليها الأغشية النقية والمشوبة لمعرفة امتصاصية الأغشية المحضرة بمفردها .

**(3-9-1) تحديد قيم الثوابت البصرية** **Optical Constant Value Investigation**

لإيجاد قيم الثوابت البصرية تم الاعتماد على مقدار الامتصاصية المسجلة بجهاز المطياف المبينة تفصيلاته سابقاً لإيجاد طاقة الفوتونات الساقطة على وفق المعادلة (2-9) ، ولإيجاد معامل الامتصاص اعتمدنا المعادلة (2-14) وإيجاد قيمة فجوة الطاقة البصرية على وفق المعادلة (2-15) ، وعن طريقهما تم إيجاد نوع الانتقالات البصرية ، أما مقدار معامل الانكسار فقد وجدناه من المعادلة (2-16) ، ولإيجاد مقدار النفاذية للأغشية اعتمدنا المعادلة (2-17) ، أما مقدار الانعكاسية للأغشية فقد تم إيجادها من المعادلة (2-18) ، ومعامل الخمود وجدناه من المعادلة (2-19) ، أما ثابت العزل الكهربائي بجزأيه الحقيقي والخيالي فتم حسابه من المعادلتين (2-21) و (2-22) .



الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

Chapter Four

سنستعرض في هذا الفصل النتائج المستحصلة من دراسة الخواص التركيبية والبصرية لأغشية تيلورايد الكاديوم (CdTe) النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب (1,2,3,4,5)% المحضرة بطريقة التبخير الحراري بالفراغ (PVD) بسلك (450) nm بمعدل ترسيب (2.5 nm/sec) ومناقشتها ومقارنتها في ضوء البحوث والدراسات المتوفرة في هذا المجال مع عرض لاستنتاجاتنا ومقترحاتنا التي توصلنا إليها بعد الانتهاء من البحث .

## Structural Properties

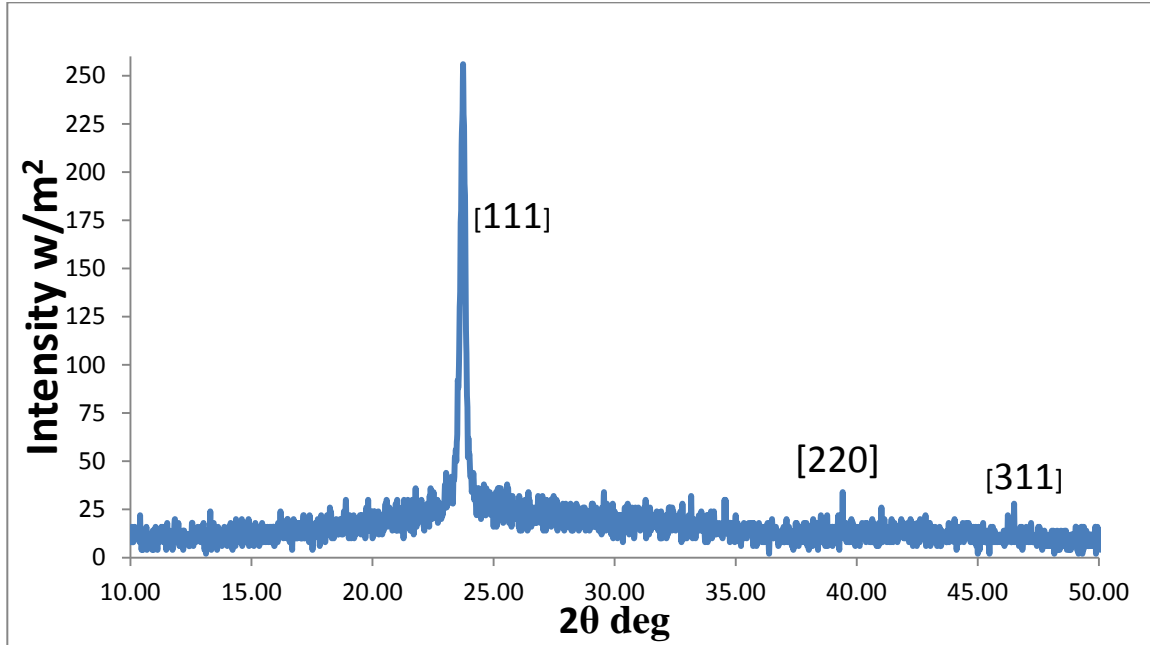
## (4-2) الخواص التركيبية

تتم دراسة الخواص التركيبية لأغشية تيلورايد الكاديوم (CdTe) في بحثنا هذا باعتماد تقانة حيود الأشعة السينية (X-ray Diffraction). وباستعمال مجهر القوة الذرية (Atomic Force Microscopy).

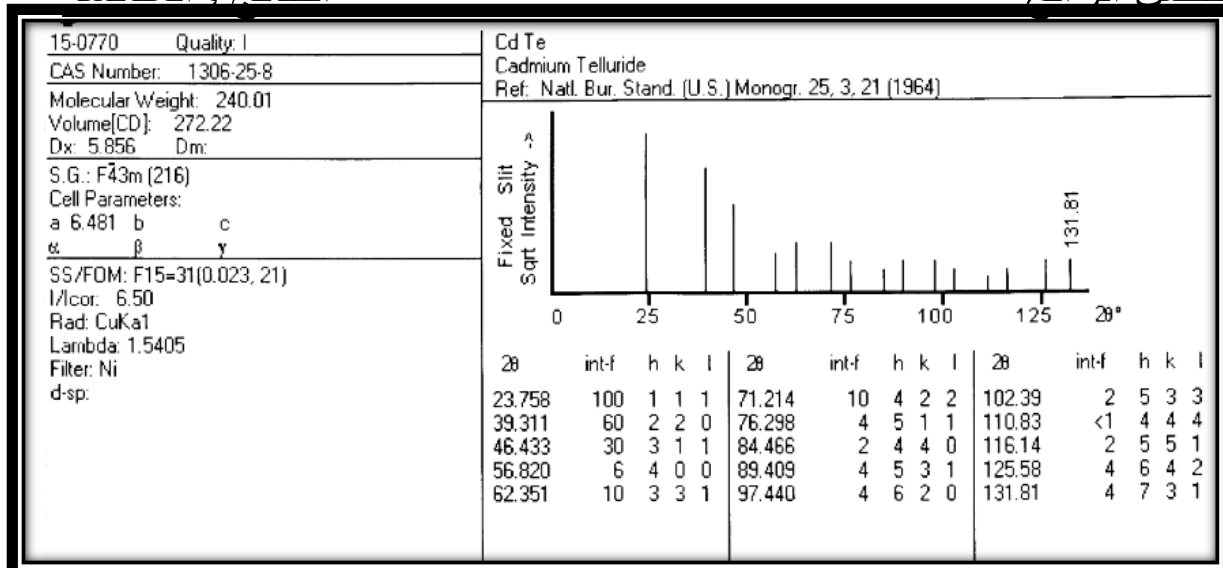
## X-ray Diffraction investigations

## (4-2-1) فحوصات الأشعة السينية

تكمن أهمية هذا القياس في معرفة التركيب البلوري للمواد وبيان أطوار المواد المرسبة وطبيعة ترتيب الذرات فيها واتجاهيتها، واطهرت نتائج الفحص بحيود الأشعة السينية لسبيكة تيلورايد الكاديوم المحضرة، شكل (4-1)، انها ذات تركيب متعدد البلورات من النوع المكعب (Cubic) وان الاتجاه السائد هو الاتجاه [111] وكان هناك تطابق جيد مع بطاقة المعلومات (ASTM American Standard Testing Materials) المرقمة 15-0770 الشكل (4-2)، كما هو موضح بالجدول (4-1)



الشكل (4-1) أنموذج حيود الأشعة السينية لسبيكة CdTe

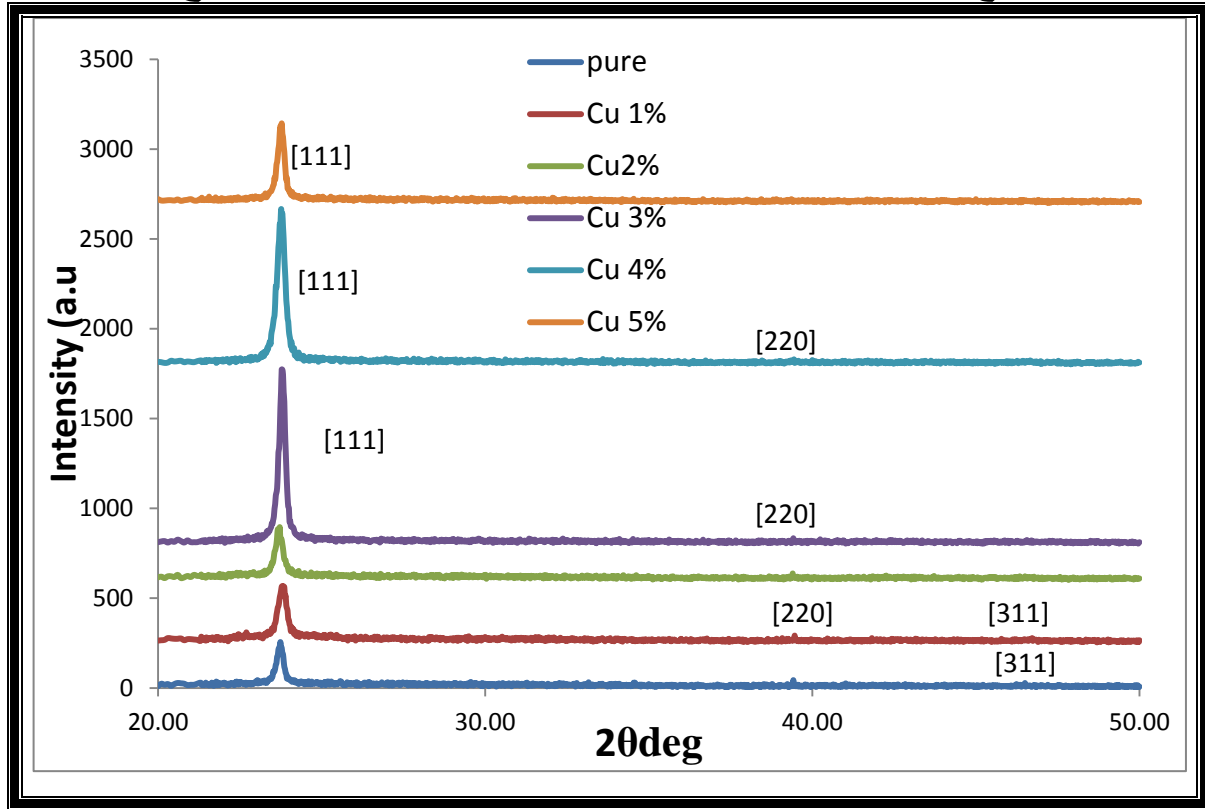


الشكل (4-2) بطاقة المعلومات المرقمة 15-0770 [90].

الجدول (4-1) قيم فسخ السطوح والزوايا المقابلة مقارنة مع ما ورد في بطاقة (ASTM) لسبيكة CdTe

Sample	2θ (ASTM)	2θ Observed	d(Å) (ASTM)	d(Å) Observed	a(Å) (ASTM)	a(Å) Observed	hkl
CdTe	23.758	23.749	3.741	3.734	6.481	6.4789	111
	39.311	39.304	2.291	2.283		6.4716	220
	46.433	46.427	1.954	1.949		6.4790	311

واظهرت أغشية تيلورايد الكاديوم (CdTe) المحضرة النقية منها والمشوبة بالنحاس بالنسب % (1,2,3,4,5) في أثناء الفحص بالأشعة السينية أنها تمتلك تركيباً بلورياً متعدد التبلور Polycrystalline من النوع المكعب (Cubic) مع ظهور النمو الذري بالاتجاهات البلورية السائدة والمميزة [111] ، [220] ، [311] ، وكان الاتجاه الأكثر تميزاً هو الاتجاه [111] لجميع الأغشية المحضرة النقية منها والمشوبة بالنحاس بالنسب المذكورة التي يبينها الشكل (4-3) ، وهذا يتفق مع البحوث [32,37].



الشكل (3-4) نماذج حيود الأشعة السينية للأغشية النقية والمشوبة بالنحاس % (1,2,3,4,5) .

وبينت نتائج حيود الأشعة السينية للأغشية النقية والمشوبة التأثير الواضح لنسب التشويب المستعملة في طبيعة التركيب البلوري لمادة الأغشية النقية (CdTe) ، ويتجلى ذلك بوضوح عند مقارنة نماذج حيود الأشعة السينية للأغشية المشوبة بالنحاس بالنسب % ( 1,2,3,4,5 ) مع نماذج الحيود للأغشية النقية ، الشكل (3-4) ، إذ يلاحظ حدوث تغير ملحوظ في شدة قمم الحيود لبعض المستويات بعد التشويب ، فقلت شدة القمم عند التوجه [111] ، وازدادت شدة القمة عند التوجه [220] ، وهذا يؤكد أن إضافة الشوائب بنسب محددة أدت إلى زيادة تبلور مادة الغشاء، أي أدى إلى تحسين التركيب البلوري، أي أن هناك بعض المستويات مفضلة لنمو البلورات ، وهذا يدل على أن عملية التبلور تتحسن بإضافة عنصر النحاس لأغشية CdTe ، وأفضل مستوى لنمو البلورات هو (111) الذي شدته ( $I/I_1=100$ ) في جداول ASTM. ما عدا النسبة % (5) ، إذ يتبين أن وصول نسبة التشويب عند هذا المعدل أدى إلى تأثير عكسي للتشويب في تحسين التركيب البلوري وهذا يتوافق مع [34]

### Calculation $d_{hkl}$ Values

### (4-2-1-1) حساب قيم فسخ السطوح

إن مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها لقيم فسخ السطوح ( $d_{hkl}$ ) وقيم زوايا الحيود البلوري المقابلة لها للأغشية المحضرة مع قيم فسخ السطوح ومواقع هذه القمم التي وردت في بطاقة المعلومات ذات الرقم ( 15-0770 ) للمؤسسة الأميركية لفحص المواد " American Testing Materials " (ASTM) Standard For الشكل (2-4) ؛ توضح أن النتائج كانت ذات تطابق جيد ، كما مبين في الجدول (2-4) .

الجدول (4-2) قيم فسخ السطوح والزوايا المقابلة مقارنة مع القيم والزوايا الواردة في بطاقة (ASTM) للأغشية النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب الميمنة لمادة تيلورايد الكاديوم (CdTe).

Sample	2θ (ASTM)	2θ Observed	d(Å) (ASTM)	d(Å) Observed	a(Å) (ASTM)	a(Å) Observed
pure	23.758	23.756	3.741	3.740	6.481	6.4795
	39.311	39.309	2.291	2.288		6.4721
	46.433	46.431	1.954	1.953		6.4794
1% Cu	23.758	23.760	3.741	3.741	6.481	6.4804
	39.311	39.313	2.291	2.288		6.4721
	46.433	46.438	1.954	1.953		6.4794
2% Cu	23.758	23.765	3.741	3.741	6.481	6.4755
	39.311	39.320	2.291	2.290		6.4788
	46.433	46.441	1.954	1.951		6.4778
3% Cu	23.758	23.770	3.741	3.735	6.481	6.4697
	39.311	39.323	2.291	2.292		6.4848
	46.433	46.448	1.954	1.952		6.4741
4% Cu	23.758	23.774	3.741	3.734	6.481	6.4701
	39.311	39.330	2.291	2.290		6.4722
	46.433	46.452	1.954	1.942		6.4743
5% Cu	23.758	23.761	3.741	3.741	6.481	6.4804
	39.311	39.319	2.291	2.288		6.4721
	46.433	46.440	1.954	1.953		6.4794

أما مواقع القمم المميزة فقد كان لنسب التشويب المستعملة تأثير ظاهر في ذلك ، إذ يتبين من ملاحظة الجدول (4-2) أن هناك إزاحة قليلة جداً في مواقع القمم (2θ) لمادة الأغشية المحضرة بعد عملية التشويب عنها قبل التشويب لمرتبة عشرية بعد الفاصلة ، ويمكن تفسير هذه الإزاحة القليلة بالاعتماد على فكرة حصول إجهاد داخل التركيب البلوري ناشئ عن دخول ذرات الشائبة في المادة المشابة واحتلالها مواقع في التركيب البلوري لها ، الأمر الذي أدى إلى تغير في قيمة الفسخ بين السطوح ( $d_{hkl}$ ) وبالتالي إزاحة زوايا الحيود (2θ) ، وهذا يعني أن التشويب أدى إلى تحسين التركيب البلوري حيث عند ملاحظة الشكل (4-3) يتبين أن شدة القمة الأولى ذات الاتجاهية المميزة [111] بدأت بالتزايد التدريجي بزيادة نسب التشويب المذكورة وقلت شدة القمم ذات الاتجاهية المميزة [220],[311] وهذا يناقض [35].

ويُعزى السبب في ذلك إلى أن درجة تبلور مادة الغشاء قد زادت بزيادة نسب التشويب ، وإلى أن ذرات المادة الشائبة عملت على خلق مستويات ذرية خاصة بها داخل الشبيكة البلورية للمادة المشابة ، وبالتالي فإن المستويات الذرية لكل من ذرات المادة الشائبة والمادة المشابة سوف تعمل على عكس الأشعة السينية الساقطة عليها بشدة أكثر ، وهذا يسبب ارتفاعاً في شدة القمم الظاهرة في الطيف ، ما عدا نسبة التشويب % (5) التي أدت إلى إقحام ذرات بين هذه المستويات بنسبة كبيرة الأمر الذي أدى إلى تقليل الشدة المنعكسة

من المادة نتيجة ارتفاع نسبة التداخل الهدام ، وهذا ما يلاحظ من قيمة الشدة المنعكسة للنسبة % (5) الشكل (4-3) .

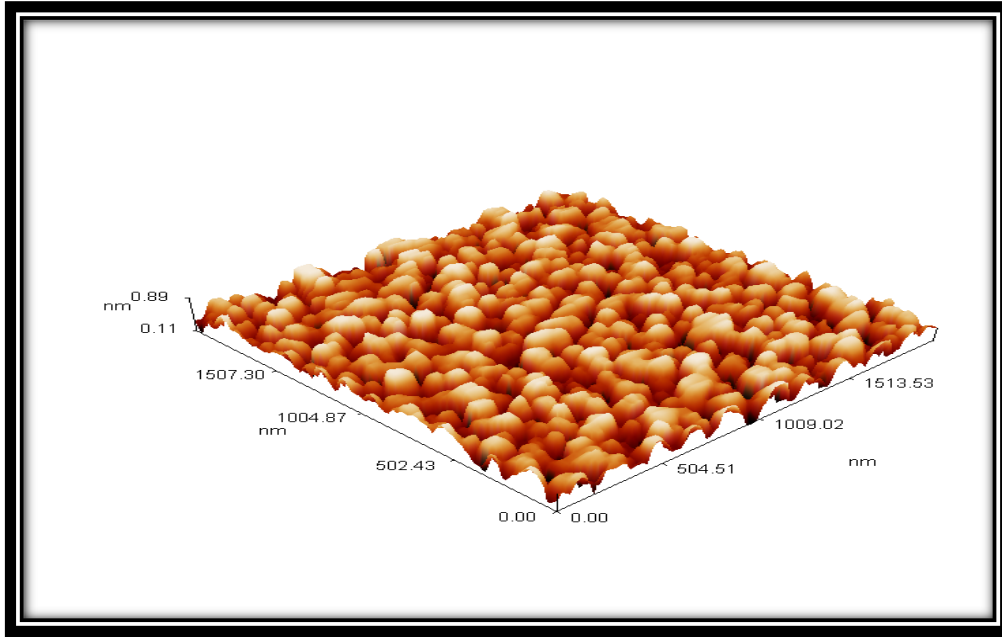
#### (4-2-1-2) حساب معدل الحجم الحبيبي Grain size calculation

تم حساب معدل الحجم الحبيبي (Grain Size) للنماذج المحضرة من الأغشية وذلك باستعمال معادلة شيرر (2-4) ، ثم حساب كثافة الانخلاعات ( $\delta$ ) وعدد الطبقات البلورية المتكونة ( $N_0$ ) في الأغشية المحضرة وذلك بالاستعانة بنتائج حيود الأشعة السينية للنماذج المحضرة بالاعتماد على المعادلتين (2-5) ، (2-6) على التوالي ، ووجد بأن الحجم الحبيبي يتزايد عند زيادة نسب التشويب؛ إذ تعمل ذرات النحاس على زيادة الحجم الحبيبي للغشاء وتقليل حاجز الجهد للحبيبات الداخلية ما عدا نسبة التشويب % (5) حيث ان الحجم الحبيبي عند هذه النسبة يبدأ بالنقصان كما مبين ذلك في الجدول (4-3)، وهذا يتفق مع [38] ويتناقض مع نتائج البحث [35] . السبب في ذلك يعود الى أن عملية التشويب ادت الى اضافة ذرات الى التركيب البلوري مما سبب تقليل الحدود الحبيبية داخل التركيب البلوري الذي ادى إلى حجم حبيبي نهائي اكبر، وهذا ما تم ملاحظته عند حساب معدل الحجم الحبيبي لنماذج أغشية تيليرايد الكاديوم المشوبة بالنحاس بنسبة تشويب % (1,2,3,4)، ويلاحظ من الجدول (4-3) أن كثافة الانخلاعات ( $\delta$ ) وقيم عرض المنحني عند منتصف الشدة (FWHM) في الأغشية المحضرة في تناقص مستمر بزيادة نسب التشويب ، ثم تبدأ بالتزايد عند النسبة (5%) الأمر الذي يبين تحسن الخصائص التركيبية للغشاء المشوب بالنحاس ، إذ يعد ( $\delta$ ) مقياساً لمستوى التبلور، فالقيم القليلة ( $\delta$ ) تعني مستوى ذي تبلور عالي ، اما عند زيادة التشويب الى (5%) فيتوقف تحسن الخصائص التركيبية عند هذه النسبة، وهذا يتوافق مع [34]، ويمكن ان يعزى إلى حدوث عيوب تركيبية في غشاء (CdTe) عند زيادة التشويب .

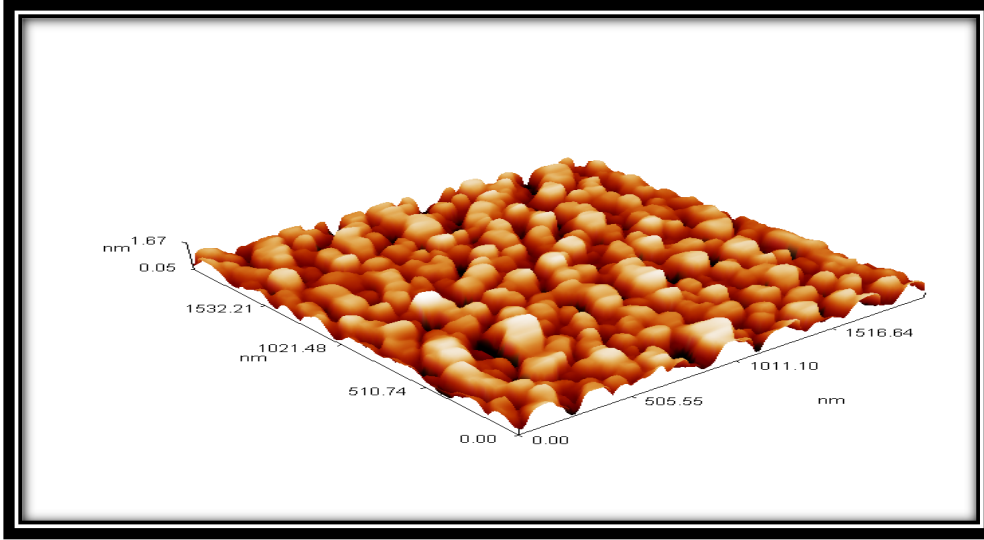
الجدول (4-3) النتائج المستحصلة من حيود الأشعة السينية لأغشية (CdTe) النقية والمشوبة بالنحاس والمحضرة بسلك 450 nm

	sample	G.S (nm)	$\delta * 10^{15}$ ( $m^{-2}$ )	$N_0 * 10^{15}$ ( $m^{-3}$ )	FWHM (deg)
1	pure	38.322	0.611	12.764	0.2687
2	1%Cu	45.113	0.491	10.900	0.2654
3	2%Cu	58.645	0.341	5.543	0.2632
4	3%Cu	64.877	0.238	3.660	0.2597
5	4%Cu	66.522	0.226	3.400	0.2588
6	5%Cu	49.096	0.415	8.450	0.2599

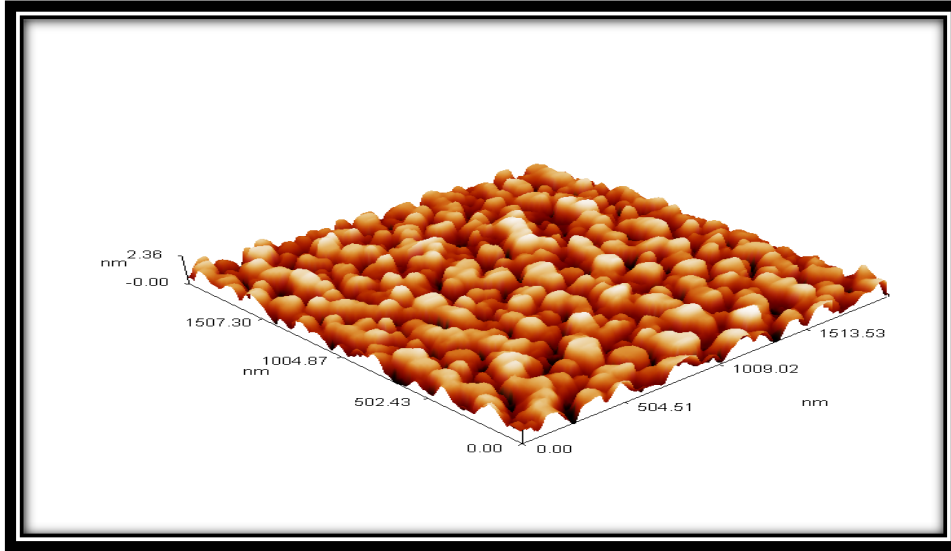
ان تصوير الأغشية المحضرة باستعمال مجهر القوة الذرية (AFM) ذي القدرة على تصوير وتحليل السطوح المرسبة كان لإعطاء قياسات لقيم خشونة السطح (Roughness) اعتماداً على الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة (Root Mean Square -RMS) مبين طوبوغرافية سطوح الأغشية النقية والمشوبة ومدى انتشار مادة النحاس المشوبة خلال وحدة المساحة ومدى تجانسها ، مستدلين على ذلك من معدل حجم الحبيبات وتوزيعها الظاهر في الاشكال المرفقة من (4-4) الى (4-9) شكل غشاء مادة تيليرايد الكاديوم النقية والمشوبة بالنحاس بسمك ( 450 ) nm ذات ثلاثة الأبعاد ، وتبين الصور تأثير التشويب في تركيب السطح ، اذ يظهر زيادة في حجم الحبيبات ، وهذا ما تبينه نتائج قيم معدل الخشونة (RMS) في الجدول (4-4) ويلاحظ من الجدول ان زيادة نسبة التشويب بالنحاس تزيد من معدل خشونة السطح مما يدل على زيادة حجم الحبيبات ونقصان الحدود الحبيبية، وتتوافق هذا مع النتائج المستحصلة من الفحص بحيود الأشعة السينية.



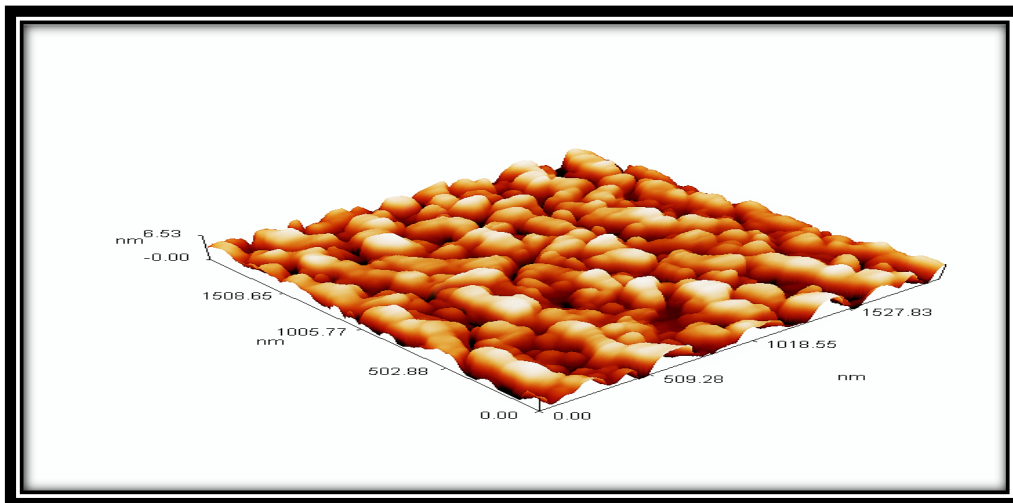
الشكل (4-4) صور مجهر القوة الذرية لأغشية تيليرايد الكاديوم النقية



الشكل (4-5) صور مجهر القوة الذرية لأغشية تيلورايد الكادميوم المشوبة بالنحاس بنسبة % (1) .

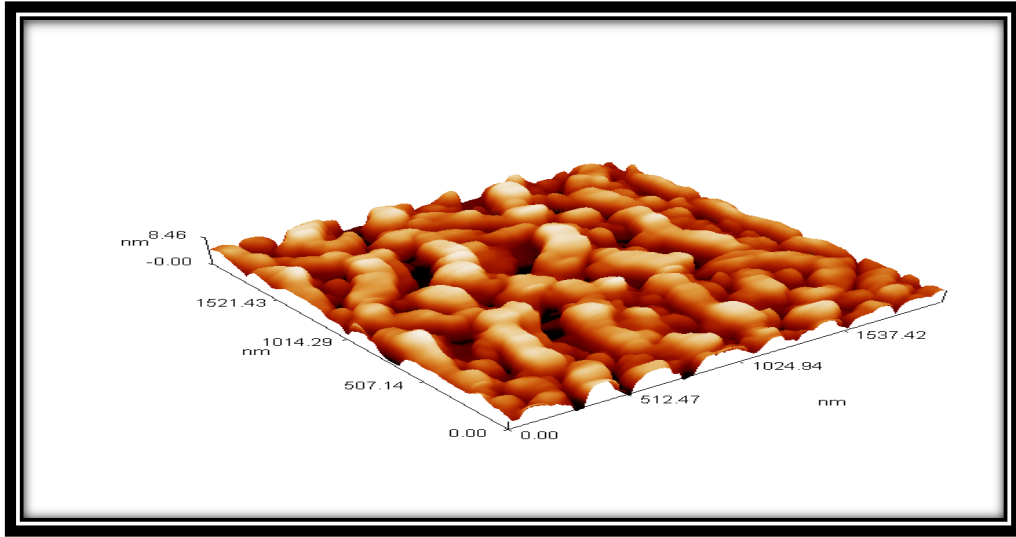


الشكل (4-6) صور مجهر القوة الذرية لأغشية تيلورايد الكادميوم المشوبة بالنحاس بنسبة % (2) .

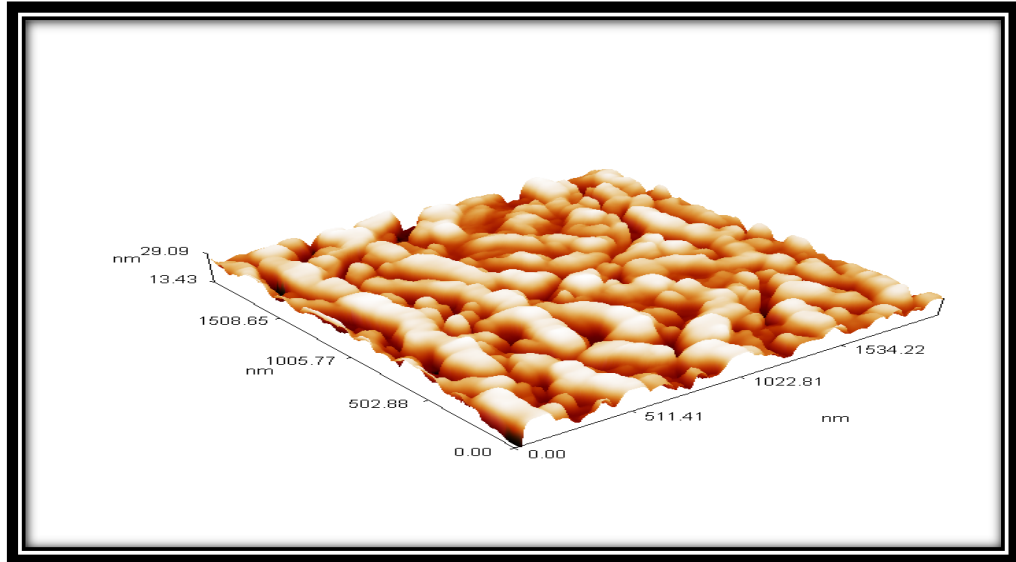


الشكل (4-7) صور مجهر القوة الذرية لأغشية تيلورايد الكادميوم المشوبة بالنحاس بنسبة % (3) .





الشكل (4-8) صور مجهر القوة الذرية لأغشية تيلورايد الكاديوم المشوبة بالنحاس بنسبة % (4) .



الشكل (4-9) صور مجهر القوة الذرية لأغشية تيلورايد الكاديوم المشوبة بالنحاس بنسبة % (5) .

الجدول ( 4-4 ) النتائج المستحصلة من فحص AFM لأغشية (CdTe) النقية والمشوبة

Sample	G.S (nm)	R.M.S (nm)	Rughnes avr.(nm)
pure	72.45	0.164	0.137
1%	72.82	0.497	0.416
2%	80.43	0.626	0.67
3%	88.33	1.39	1.17
4%	92.40	1.74	1.44
5%	84.16	3.16	2.59

عند دراسة طيفي الامتصاصية والنفاذية نتوصل الى التحقق من الفائدة العملية التطبيقية التي تمكننا من استعمال مادة الغشاء المحضّر للتطبيقات المعد لها .

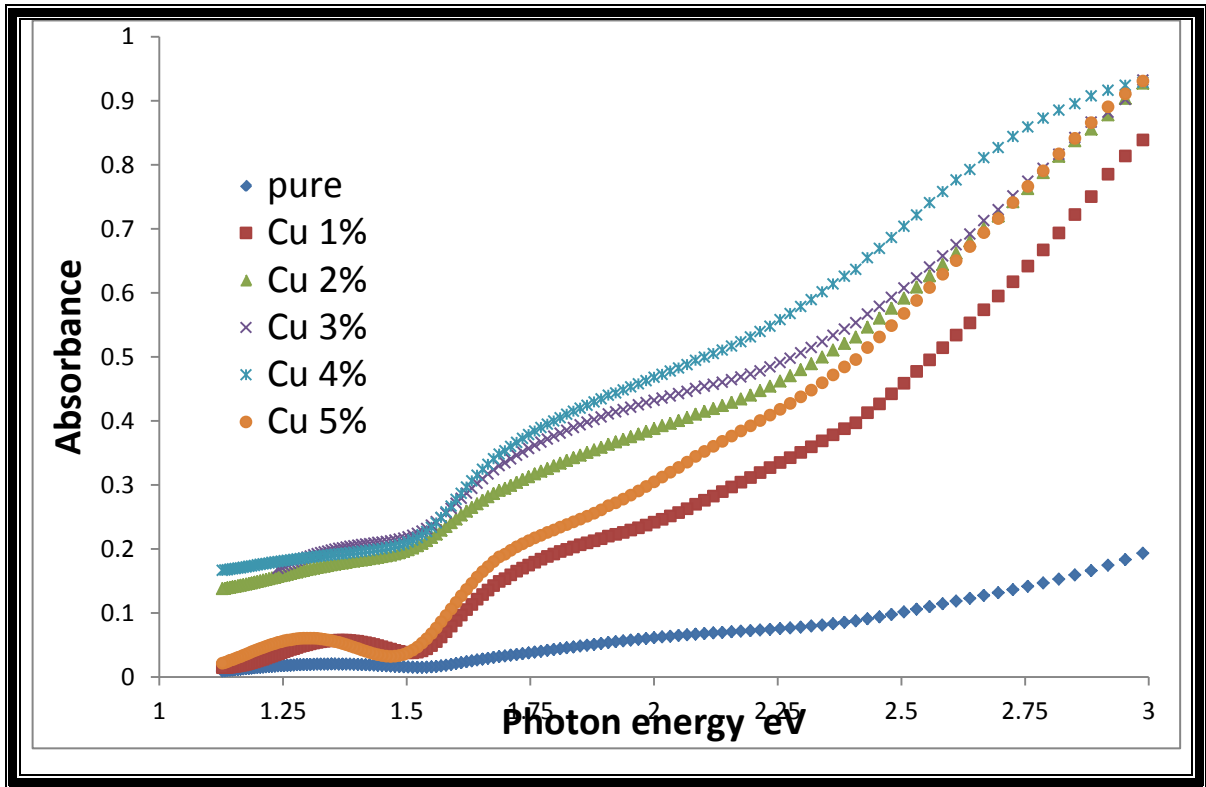
تعتمد الامتصاصية لمادة الغشاء على طاقة الفوتونات الساقطة على المادة وعلى نوع المادة وطبيعة تركيبها البلوري [32] .

وقمنا بإجراء جميع القياسات لطيفي الامتصاصية والنفاذية ضمن مدى الأطوال الموجية (nm) 300 (-1100) لجميع الأغشية المحضّرة بنوعها النقي والمشوب .

Absorbance Spectrum

(4-3-1) طيف الامتصاصية

يوضح الشكل (4-10) طيف الامتصاصية كدالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية تيليرايد الكادميوم النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب % (1,2,3,4,5) .



الشكل (4-10) تغير الامتصاصية مع طاقة الفوتون لأغشية CdTe كدالة لتغير نسب التشويب

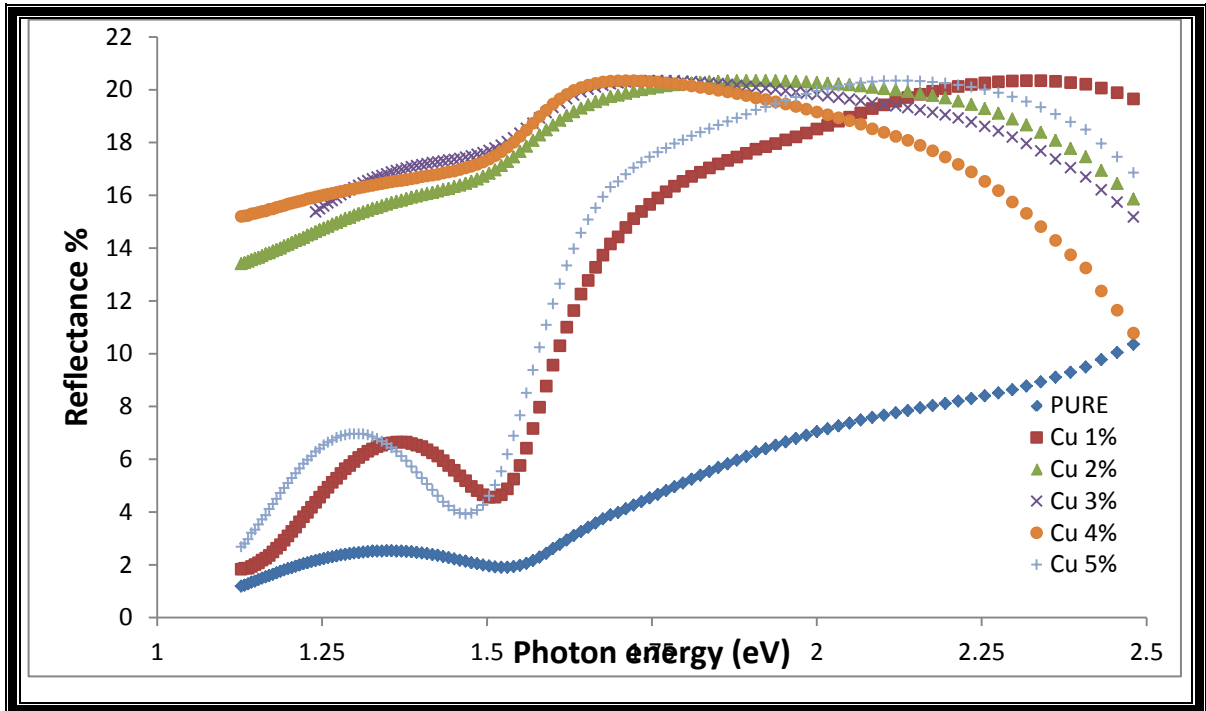
إذ يتبين من الشكل (4-10) أن امتصاصية الأغشية المحضّرة بنوعها النقي والمشوب تبدأ بنحوٍ عام بالزيادة التدريجية مع زيادة طاقة الفوتونات الضوئية الساقطة (نقصان في الطول الموجي) وهذه الزيادة تكون بسرعة عندما تكون طاقة الفوتونات الضوئية الساقطة مساوية بقيمتها أو أكبر من قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضّرة كافة مما يدل على حدوث الانتقالات الالكترونية المباشرة ، ويكون ذلك عادةً عند الطول الموجي المقابل لحافة الامتصاص الأساسية أو ما يسمى بطول موجة القطع الذي يكون لغشاء تيليرايد الكادميوم النقي مساوياً إلى (800 nm) ويأخذ بالزيادة التدريجية بنقصان قيمة فجوة الطاقة البصرية – بزيادة نسب التشويب - يتبين من الشكل (4-10) أن الامتصاصية تتزايد بنحوٍ

ملحوظ بزيادة نسب التشويب المستعملة % (1,2,3,4) ، لكنها تتناقص عند النسبة % (5) ولاسيما في منطقة الأشعة تحت الحمراء والقريبة منها (800 - 1100) nm ، وهذا يتوافق مع [33] .

ويُعزى السبب في ذلك إلى زيادة كثافة المستويات التي كونتها ذرات المادة الشائبة في المادة المشابة ما بين حزمتي التكافؤ والتوصيل التي تعمل كسلم لانقزالالكترونونات الماصة للفوتونات ذات الطاقات الأقل من قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة ، وبالتالي حدوث الانتقال مما يدل على ان التشويب ادى الى تحسين التركيب البلوري وتقليل فجوة الطاقة البصرية فقلت بذلك النفاذية البصرية وزادت الامتصاصية. ان أغشية تيليرايد الكاديوم المشوبة بالنحاس بنسبة تشويب (4%) المحضرة في بحثنا هذا ؛ حققت أعلى امتصاصية مقارنة مع امتصاصية بقية الأغشية المحضرة النسب % (1.2.3) إذ بلغت الامتصاصية لهذه النسبة اكثر من % (80) للمديات الخاصة بالأطوال الموجية الواقعة ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي (400 - 800) nm . وهذا ما يقابله أوطاً نفاذية مسجلة للنسبة ذاتها من التشويب

#### 2-3-4) طيف الانعكاسية Reflectance spectrum

تمثل الانعكاسية مقدار الاشعاع الكهرومغناطيسي الذي يترد الى الوسط الذي قدم منه بفعل اصطدامه بمادة الغشاء، إذ يمثل مقدار الجزء الباقي من الاشعاع بعد ان ينفذ جزء منه ويمتص جزء اخر، لذلك يمكن ان نجد هذا المقدار عن طريق تطبيق قانون حفظ الطاقة الذي يمكن ان نمثله بالمعادلة (18-2) . وعند رسم مقدار التغير في الانعكاسية مع مقدار التغير في طاقة الفوتونات الساقطة نجد من هذه العلاقة تغير طيف الانعكاسية على طول مدى الطول الموجي للأشعة الساقطة ، هذا ما يوضحه الشكل (11-4) الذي يمثل تغير الانعكاسية مع تغير طاقة الفوتونات الساقطة كدالة لتغير نسب التشويب بالنحاس بالنسب % (1,2,3,4,5) .



الشكل (11-4) تغير الانعكاسية مع طاقة الفوتون الساقطة كدالة لتغير نسب التشويب .

ويلاحظ من الشكل (4-11) ان الانعكاسية تبدأ بالزيادة التدريجية البطيئة عند الطاقات الاقل من قيمة فجوة الطاقة وتنخفض قيمة هذه الزيادة عند الوصول الى قيمة فجوة الطاقة المقابلة لكل نسبة تشويب ، ومن ثم تبدأ بالزيادة السريعة المضطردة عند تجاوز هذه القيمة ولاسيما لجميع الأغشية النقي والمشوب بدرجة تزايد اقل بالنسبة إلى الأغشية المشوبة عند النسب % (2,3,4) .

ان السبب يعود في ذلك إلى ان الامتصاص البصري عند الطاقات الاقل من فجوة الطاقة يكون قليلاً لذلك يزداد مقدار الانعكاسية، وعند وصول طاقة الفوتونات بقدر قيمة فجوة الطاقة فان مقدار الامتصاص البصري سيزداد نتيجة لحدوث الانتقالات الالكترونية المباشرة ،وبذلك يقل مقدار الانعكاس ثم يبدأ بالزيادة السريعة لزيادة مقدار الطاقة الساقطة بها وانخفاض مقدار الامتصاص عند تجاوز طاقة الفوتونات الساقطة لمقدار فجوة الطاقة، وهذا ما يبدو واضحاً من الطيف بالشكل اعلاه من ان زيادة مقدار الانعكاسية يزداد بصورة عامة بزيادة نسب التشويب عدا النسبة % (5) ؛ إذ قلت نسبة الانعكاسية بنحو ملحوظ كما في الشكل (4-11) .

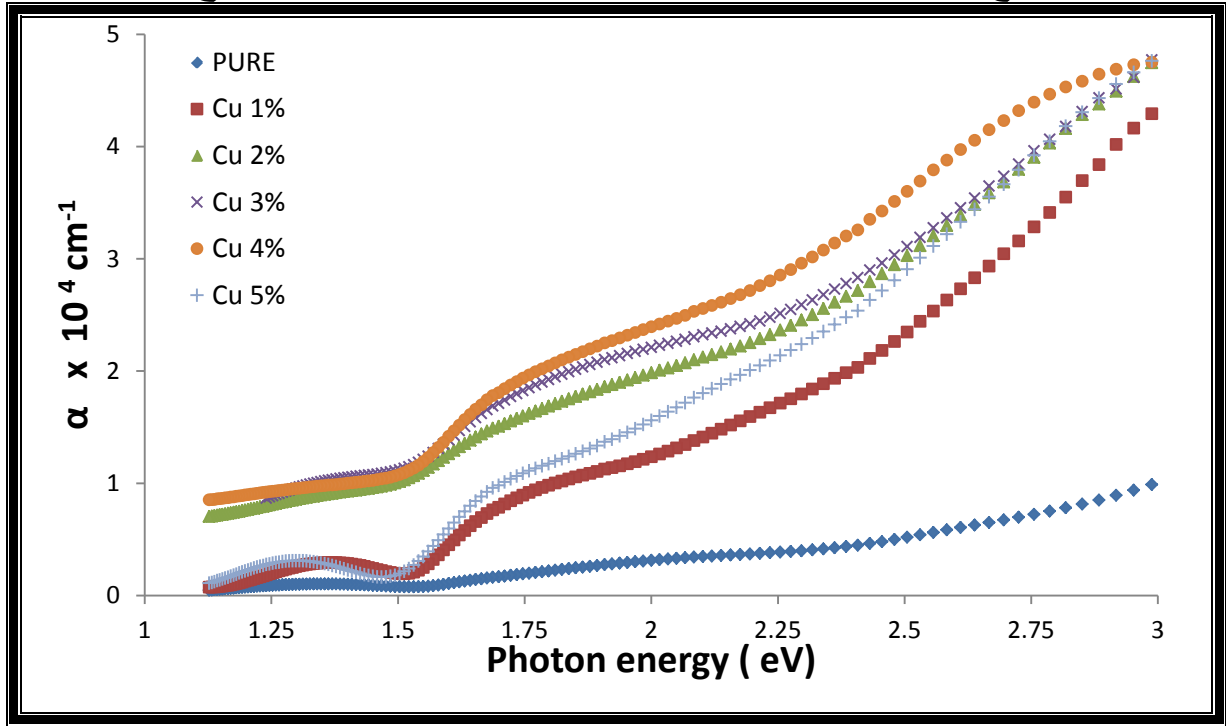
ان اعلى مقدار انعكاسية سجل عند نسبة التشويب % (3) في منطقة الطاقات الاقل من قيمة فجوة الطاقة والاكثر منها القريبة ، اما في منطقة الطاقات الكبرى من قيمة فجوة الطاقة فان النسبة % (4) قد سجلت اعلى انعكاسية ، لذلك يمكن استعمال مادة الغشاء في صناعة الخلايا الشمسية ذات الكفاءة وكواشف الأشعة المرئية عند المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي والقريبة منها .

### Absorbance coefficient

### (4-3-3) معامل الامتصاص

يكمن السبب في أن مقدار الامتصاص البصري يبدأ بالزيادة عند تجاوز الطول الموجي لمقدار طول موجة القطع في أن الفوتونات الساقطة بطاقة اكبر من قيمة فجوة الطاقة تزيد من القيمة العملية لمعامل الامتصاص الذي يزداد مع زيادة نسبة التشويب ، كما هو واضح من الشكل (4-12) الذي يبين ان جميع الاغشية المحضرة لمادة (CdTe) بنوعها النقي والمشوب بالنحاس بالنسب % (1,2,3,4,5) تمتلك قيم معامل امتصاص  $(\alpha > 10^4)$  ، وهذا يحقق شرط حدوث الانتقالات المباشرة وهذا ما يتفق مع الدراستين [37,34] .

ان مقدار معامل الامتصاص يبدأ بالزيادة بصورة تدريجية قليلة في منطقة الطاقة الاقل من قيمة فجوة الطاقة البصرية ، ثم ينخفض بصورة ملحوظة عند الوصول الى قيمة فجوة الطاقة ، ثم يبدأ بالزيادة السريعة المضطردة ولاسيما عند نسب التشويب % (3,4) .



الشكل (4-12) تغير معامل الامتصاص مع طاقة الفوتونات الساقطة كدالة لتغير نسب التشويب .

ان السبب في ذلك يعزى الى ان التشويب قد اوجد مستويات ثانوية داخل فجوة الطاقة الامر الذي زاد من عملية الانتقالات الالكترونية ذات الطاقات الاقل بين حزمة التكافؤ ومستوى الشوائب فضلاً عن الانتقالات الاعتيادية بين حزم الطاقة ، وبالتالي زيادة عملية الامتصاص البصري للأشعة الساقطة الذي سبب زيادة سريعة في قيمة معامل الامتصاص .

ويمكن الإفادة من خصائص الغشاء المشوب بالنحاس ولاسيما عند النسب % (3,4) في صناعة الخلايا الشمسية المجهزة للقدرة ذات الكفاءة العالية .

#### Energy Gap Calculation حساب فجوة الطاقة (4-4)

يتم حساب فجوة الطاقة البصرية ( $Eg^{opt}$ ) باعتماد المعادلة (2-15) المسماة معادلة تاوس وذلك حسب نوعية الانتقالات البصرية الحاصلة ، وهي كالآتي :-

##### Allow directed energy gap calculation حساب فجوة الطاقة المباشرة المسموحة (4-4-1)

تحسب قيمة فجوة الطاقة للانتقال المباشر المسموح بأخذ قيمة الثابت (r) مساوٍ الى (1/2) في معادلة تاوس ، المعادلة (2-15)، وبذلك يكون شكل المعادلة كالآتي :-

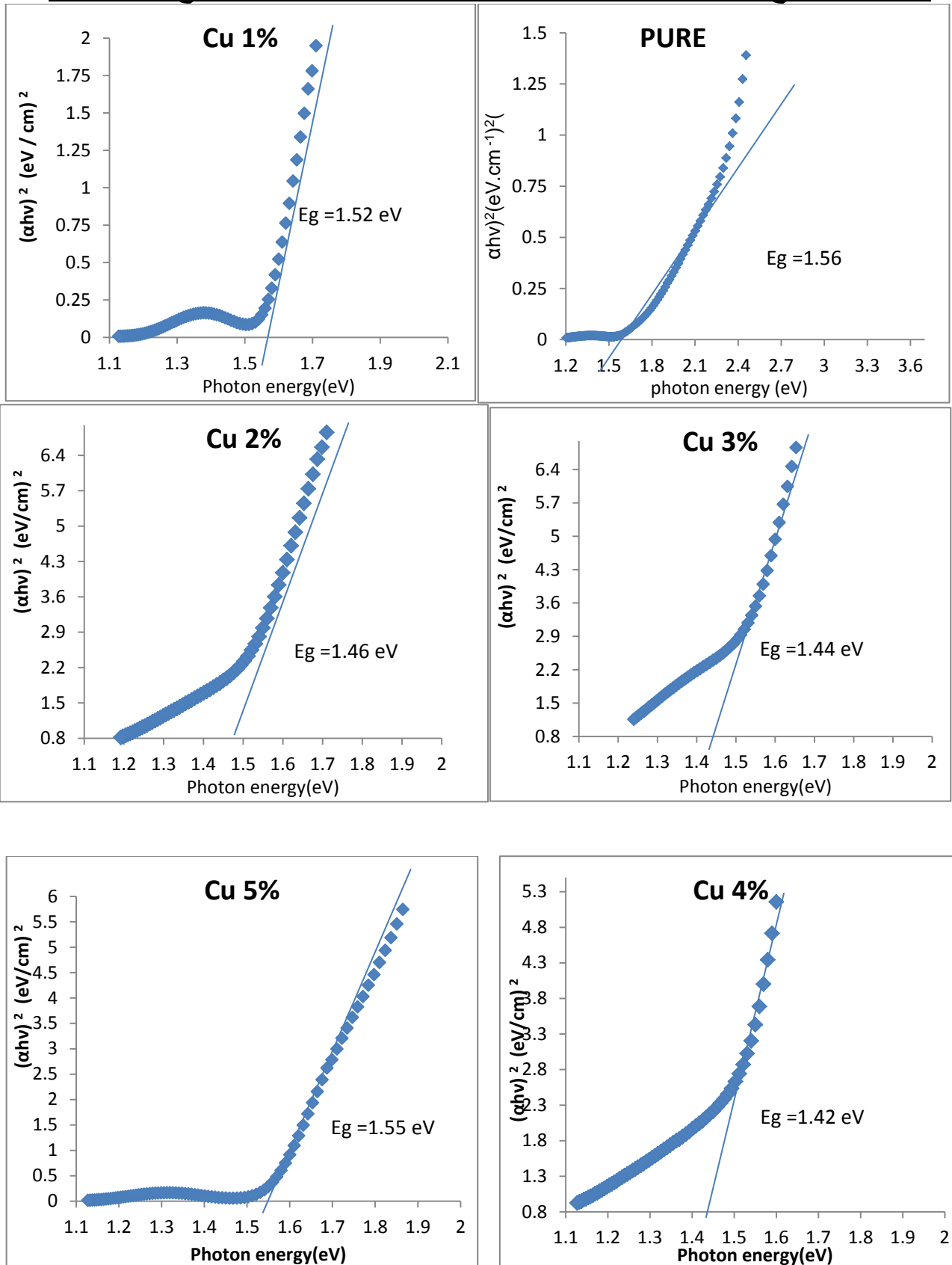
$$\alpha h\nu = B (h\nu - Eg^{opt})^{1/2} \dots\dots\dots (4-1)$$

ثم نرسم العلاقة بين  $(\alpha h\nu)^2$  مقابل طاقة الفوتون (hv) واختيار الجزء المستقيم من المنحني ورسم مستقيم مماسٍ له يقطع محور السينات عند النقطة التي تكون فيها  $(\alpha h\nu)^2 = 0$  ، إذ يتم منها تحديد قيمة فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح المقابلة ( $Eg^{opt}$ ) ، يبين الشكل (4-13) قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح للأغشية النقية والمشوبة بالنسب % (1,2,3,4,5) لمادة تيلورايد الكادميوم (CdTe) عند درجة حرارة الغرفة (R.T) وبالقيم المؤشرة لكل منها ، وهذا ما يتفق مع نتائج البحوث [22, 34]

ان عملية التشويب بمادة النحاس بالنسب % (1,2,3,4) ادت الى تقليل قيمة فجوة الطاقة ، والسبب في ذلك يعود الى ان عملية التشويب ادت الى اضافة مستويات جديدة قابلة قرب حزمة التكافؤ داخل فجوة الطاقة الامر الذي ادى الى خلق جسور لعبور الالكترونات ( ذات الطاقات الواطئة الاقل من قيمة فجوة الطاقة للمادة النقية ) المنتقلة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل ، فازداد عدد الانتقالات الالكترونية ، اي حدث تغير في موقع مستوى فيرمي وتحركه نحو حزمة التكافؤ في المادة شبه الموصلة، فبذلك ادت عملية التشويب الى تحسين الخواص التركيبية لأغشية تيليرايد الكادميوم (CdTe) المشوبة بالنحاس بالنسب آنفة الذكر .

اما عملية التشويب بالنسبة % (5) فقد كان تأثيرها معكوساً ؛ إذ ادت الى ارتفاع قيمة فجوة الطاقة ، الامر الذي يعزى الى ان ازدياد كثافة التشويب الى هذا المستوى ادى الى تقليل منطقة الاواصر المتدلية من حزمة التوصيل ، وان زيادة ذرات مادة النحاس داخل التركيب البلوري ادت الى تكوين عيوب في التركيب البلوري الامر الذي ادى الى صعوبة انتقال الالكترونات بين الحزمتين مؤدياً بذلك الى زيادة في قيمة فجوة الطاقة .

يبين الشكل (4-13) ان قيم فجوة الطاقة البصرية المسموحة انخفضت من  $1.56\text{eV}$  الى  $1.42\text{eV}$  بتغير نسب التشويب بالنحاس % (1,2,3,4) . اما بالنسبة الى نسبة التشويب % (5) فقد اختلف الانخفاض في قيمة فجوة الطاقة البصرية المباشرة الى الارتفاع لتبلغ قيمتها الى  $1.55\text{eV}$  في دلالة على توقف عملية تحسين الخواص التركيبية للغشاء للأسباب آنفة الذكر . وهذا يتفق مع [38]



الشكل (4-14) تغير  $(\alpha h\nu)^2$  مع طاقة الفوتونات الساقطة لأغشية (CdTe) النقية والمشوبة بالنحاس

بالنسب % (1,2,3,4,5)

4-4-2) حساب فجوة الطاقة المباشرة الممنوعة Forbidden directed energy gap calculation

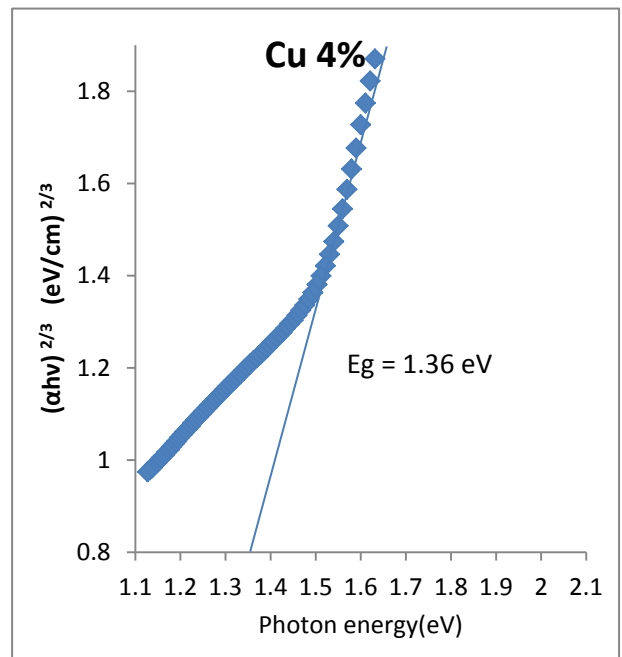
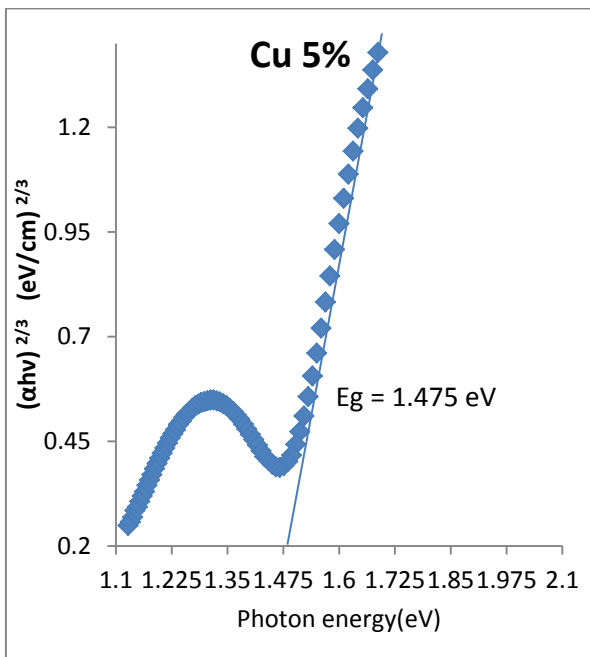
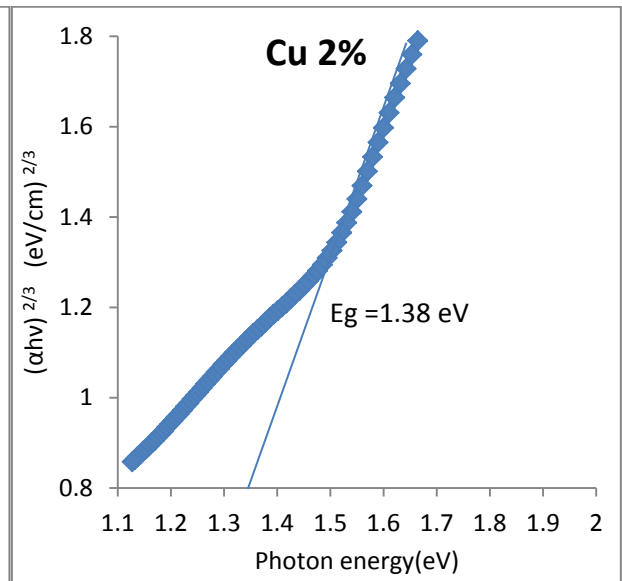
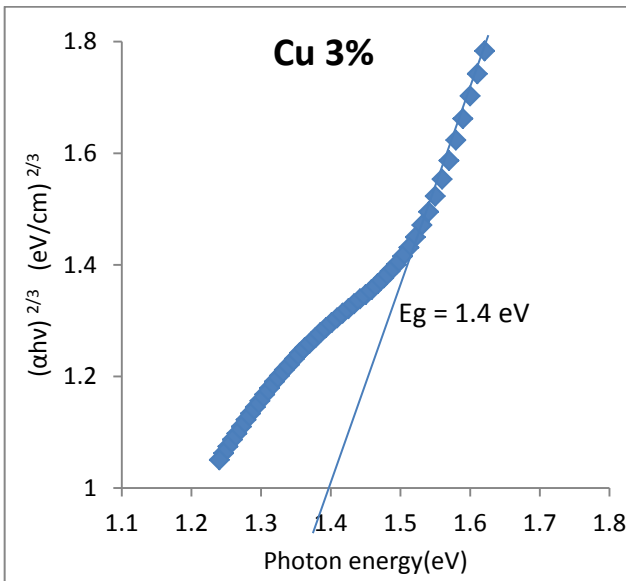
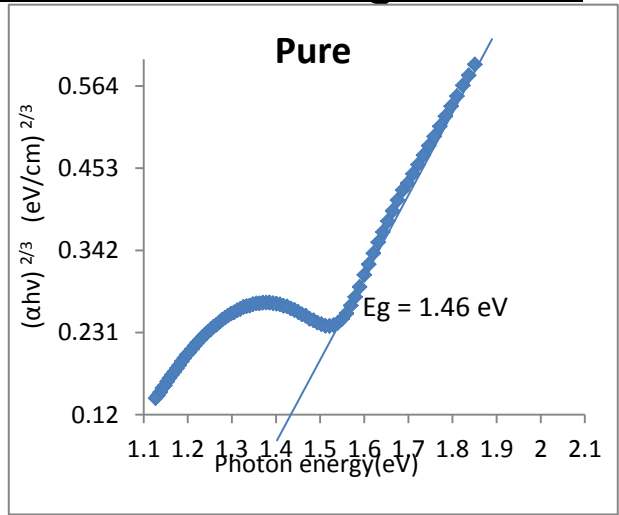
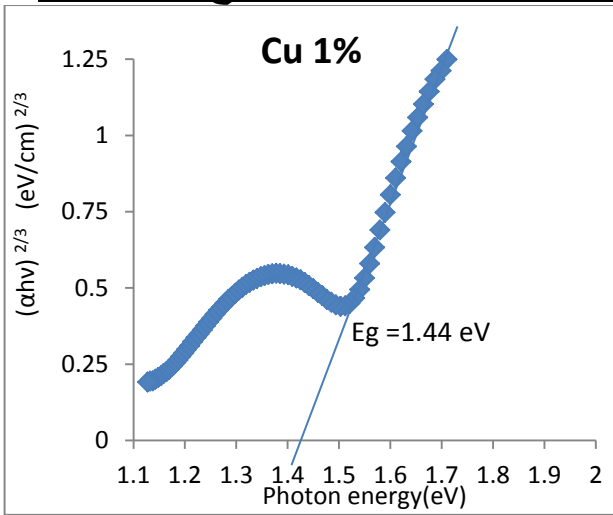
تم حساب قيم فجوة الطاقة البصرية المباشرة الممنوعة ( $E_g^{opt}$ ) من المعادلة (15-2) (معادلة تاوس) التي اعتمدت لإيجاد نوع الانتقال البصري المباشر الممنوع لأغشية تيلورايد الكاديوم (CdTe) ، ولكن بأخذ قيمة الثابت (r) هنا يساوي (3/2) ، وذلك عن طريق رسم العلاقة بين  $(\alpha h \nu)^{2/3}$  مقابل طاقة الفوتون (hv) واختيار الجزء المستقيم من المنحني ورسم مستقيم مماسٍ يقطع محور السينات عند النقطة التي تكون فيها  $((\alpha h \nu)^{2/3}=0)$  ، إذ يتم منها تحديد قيمة فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر الممنوع المقابلة ( $E_g^{opt}$ ).

حيث يبين الجدول (4-5) ان مقدار فجوة الطاقة للانتقال المباشر المسموح والممنوع تنخفض عند النسب المشوبة بالنحاس % (1,2,3,4) للأسباب آنفة الذكر أنفسها، ولكنها ترتفع عند نسبة التشويب % (5) للأسباب آنفة الذكر أنفسها أيضاً .

وظهر من النتائج آنفة الذكر لدراسة الانتقالات الإلكترونية المباشرة بنوعيتها المسموح والممنوع لأغشية (CdTe) النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب % (1,2,3,4) أن فجوة الطاقة للانتقال المباشر المسموح كانت الأفضل من بين الانتقالات. وهذه النتيجة تتفق مع ما توصلت إليه الدراسات [24,28,29,31,32] بالنسبة لأغشية (CdTe). وتبين من قيم معامل الامتصاص التي سجلت قيم  $\alpha > 10^4$  cm ان الانتقالات الإلكترونية المباشرة هي الانتقالات السائدة في الأغشية المحضرة النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب المذكورة [91].

وهذه هي التي عملت على زيادة الانتقالات الإلكترونية بنوعيتها المسموح والممنوع عن طريق تكوين المستويات الموضعية القابلة قرب حزمة التكافؤ التي ادت الى زيادة في قيمة الامتصاصية بنحو عام وبالتالي اتساع منطقة الامتصاص البصري للطاقات الفوتونية ذات الطاقات الواطئة . وهذه النتيجة تتفق مع ما توصل إليه كل من [28,29,32].





الشكل (15-4) تغير  $(\alpha h\nu)^{2/3}$  مع طاقة الفوتونات الساقطة لأغشية (CdTe) النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب (1,2,3,4,5)%

فقد تم تضمين جميع القيم المستحصلة لقيم فجوة الطاقة للانتقال المباشر المسموحة والممنوعة في الجدول (4-5) للمقارنة بين النتائج

الجدول (4-5) قيم فجوة الطاقة للانتقال المباشر المسموح والممنوع لأغشية تيلورايد الكاديوم (CdTe) النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب المبينة .

Impurity Percentage	Allow directed Transition Eg(eV)	Forbidden directed Transition Eg(eV)
PURE	1.56	1.46
Cu (1) %	1.52	1.44
Cu (2) %	1.46	1.4
Cu (3) %	1.44	1.38
Cu (4) %	1.42	1.36
Cu (5) %	1.55	1.475

Allow indirect energy gap (4-4-3) فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح

تم حساب قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقال غير المباشر المسموح ( $Eg^{opt}$ ) لأغشية تيلورايد الكاديوم (CdTe) النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب (1,2,3,4,5)% من المعادلة (2-15) (معادلة تاوس) ، ولكن بأخذ قيمة الثابت (r) هنا يساوي (2) ، وذلك عن طريق رسم العلاقة بين  $(\alpha h \nu)^{1/2}$  مقابل طاقة الفوتون (hv) واختيار الجزء المستقيم من المنحني ورسم مستقيم مماسٍ يقطع محور السينات عند النقطة التي تكون فيها  $((\alpha h \nu)^{1/2}=0)$ ، إذ يتم منها تحديد قيمة فجوة الطاقة البصرية للانتقال غير المباشر المسموح المقابلة ( $Eg^{opt}$ ) .

Forbidden indirect energy gap (4-4-4) فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر الممنوع

تم حساب قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقال غير المباشر الممنوع ( $Eg^{opt}$ ) لأغشية تيلورايد الكاديوم (CdTe) النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب (1,2,3,4,5)% من المعادلة (2-15) (معادلة تاوس)، ولكن بأخذ قيمة الثابت (r) هنا يساوي (3) ، وذلك عن طريق رسم العلاقة بين  $(\alpha h \nu)^{1/3}$  مقابل طاقة الفوتون (hv) واختيار الجزء المستقيم من المنحني ورسم مستقيم مماسٍ له يقطع محور السينات عند النقطة التي تكون فيها  $((\alpha h \nu)^{1/3}=0)$  ، إذ يتم منها تحديد قيمة فجوة الطاقة البصرية للانتقال غير المباشر الممنوع المقابلة ( $Eg^{opt}$ ) من ملاحظة قيم فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح والممنوع المعروضة في

الجدول (4-6) نلاحظ ان قيمها تبدأ بالانخفاض مع تزايد نسب التشويب لكلا الحالتين وهذا يشير الى ان التشويب بالنحاس قد حسن التركيب البلوري عدا النسبة 5% حيث عمل التشويب بصورة عكسية  
الجدول (4-6) قيم فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح والممنوع لأغشية تيلورايد الكاديوم (CdTe) النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب المبينة .

Impurity Percentage	Allow Indirect Transition Eg(eV)	Forbidden Indirect Transition Eg(eV)
PURE	1.46	1.46
Cu (1) %	1.49	1.5
Cu (2) %	1.38	1.37
Cu (3) %	1.45	1.45
Cu (4) %	1.43	1.44
Cu (5) %	1.49	1.49

#### (4-5) الثوابت البصرية

#### Optical Constants

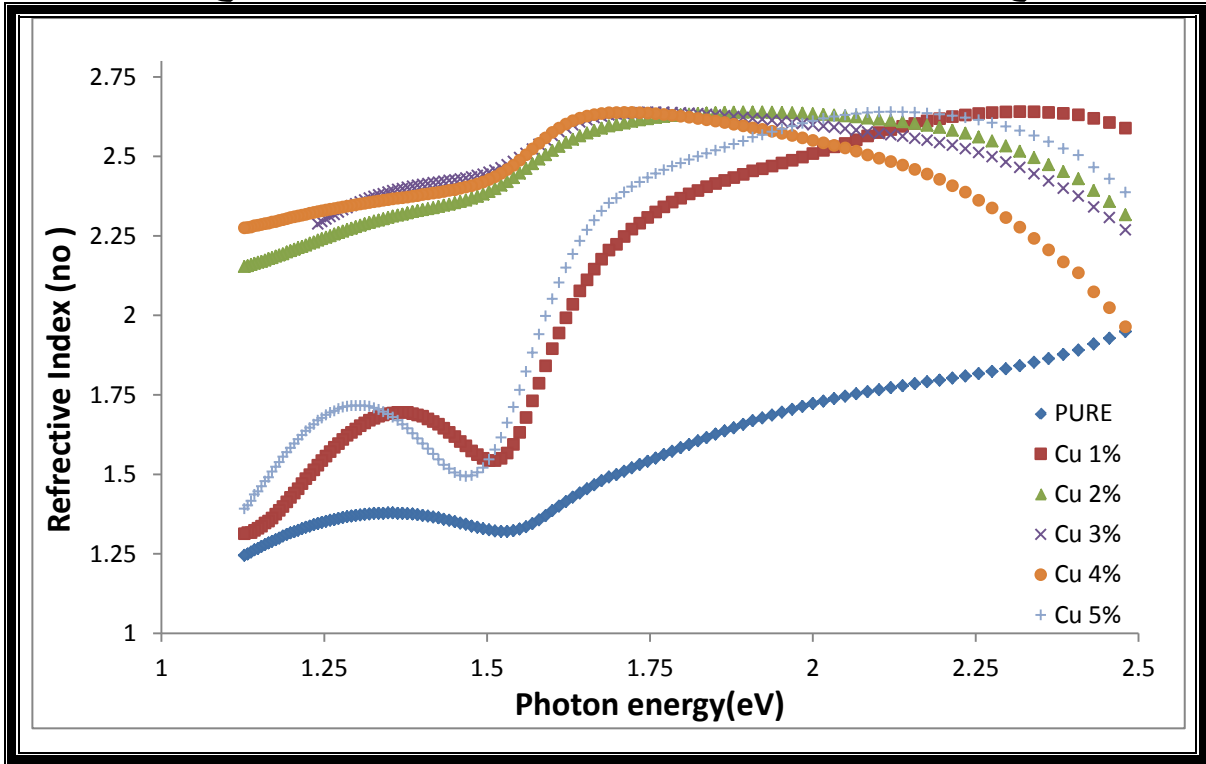
تتمثل اهمية الثوابت البصرية بأنها المقياس العملي للتطبيقات التي تمكننا من استعمال الغشاء في المجالات المختلفة ، إذ يحسب معامل الانكسار للغشاء ومعامل الخمود وثابت العزل الكهربائي بجزأيه الحقيقي والخيالي

#### (4-5-1) معامل الانكسار

#### Refractive Index( $n_o$ )

يمثل معامل الانكسار النسبة بين سرعة الأشعة الكهرومغناطيسية في الاوساط المادية (الأغشية المحضرة في بحثنا ) الى سرعتها في الفراغ [82] .

تم حساب معامل الانكسار من المعادلة (2-16) للأغشية النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب (1,2,3,4,5)% ، إذ يوضح الشكل (4-15) تغير قيم معامل الانكسار مقابل تغير طاقة الفوتونات الساقطة ضمن مدى الاطوال الموجية nm (400-1100) كدالة لتغير نسب التشويب بالنحاس المبينة .

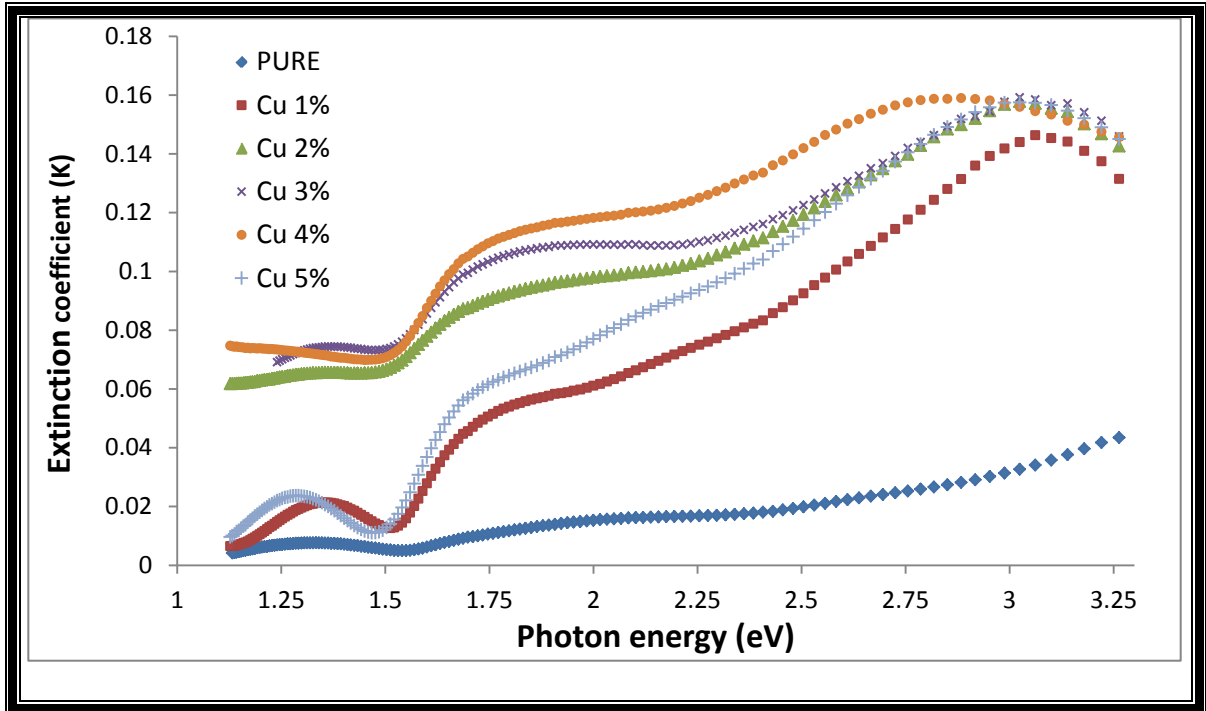


الشكل (4-15) تغير معامل الانكسار مع طاقة الفوتونات الساقطة كدالة لنسب التشويب بالنحاس .

فمن هذا الشكل يمكن ملاحظة ان معامل الانكسار يزداد بزيادة نسبة التشويب ، وهذا يتوافق مع [38] ، ويعزى السبب في ذلك الى ان عملية التشويب ادت الى اضافة ذرات الشائبة ضمن التركيب البلوري لأغشية (CdTe) ، مما ادى الى اضافة مستويات جديدة تقوم على عكس الأشعة الساقطة بكمية اكثر مما يزيد من شدة الأشعة المنعكسة ، وبالتالي زيادة معامل الانكسار. و تعزى الزيادة في معامل الانكسار الى زيادة كثافة الرص نتيجة تحسن التركيب البلوري للأغشية المحضرة بعد التشويب بالنحاس. ويلاحظ من شكل منحنيات معامل انكسار التشابه الواضح بينه وبين منحنيات الانعكاسية للصلة الوثيقة بينهما عن طريق المعادلة (2-16) ، فيزداد معامل الانكسار بصورة عامة (ولجميع الأغشية النقية والمشوبة منها) تدريجياً شيئاً فشيئاً في مدى الطاقات الاقل من قيمة فجوة الطاقة ، والسبب ان انعكاسية الأغشية تزداد في هذا المدى من الطاقة على حساب الامتصاصية والنفاذية للأغشية ، ومن ثم تبدأ بالهبوط في مدى الطاقات القريب من قيمة فجوة الطاقة البصرية لارتفاع قيمة الامتصاص البصري (ارتفاع الامتصاصية على حساب النفاذية والانعكاسية) بسبب حدوث الانتقالات الالكترونية المباشرة ، اي هبوط قيمة معامل الانكسار ، ومن ثم تبدأ قيم معامل الانكسار بالارتفاع الحاد ولاسيما عند نسبة التشويب % (1,2) ، ومن ثم الارتفاع التدريجي لجميع الاغشية المحضرة ، والسبب ان قيمة الامتصاصية للأغشية تقل عند تجاوز قيم فجوة الطاقة البصرية فيزداد الانعكاس على حساب الامتصاص والنفاذ للأشعة الساقطة على الأغشية ، إذ يمكن إفادة من هذه الميزة باستعمال الأغشية كطلاءات عاكسة للأشعة في هذا المدى من الطاقات .

يعرف معامل الخمود بأنه مقدار الطاقة التي اخمدت بواسطة الكترونات مادة الغشاء او مقدار التوهين في طاقة الاشعة الساقطة ، ويعتمد على مقدار الطول الموجي للأشعة الساقطة ، وعلى قيمة معامل الامتصاص  $(\alpha)$  لكل مادة [80] .

حُسب معامل الخمود للأغشية النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب % (1,2,3,4,5) من المعادلة (2-19) ، إذ يوضح الشكل (4-16) تغير قيم معامل الخمود مع طاقة الفوتونات الساقطة كدالة لنسب التشويب بالنحاس المذكورة سابقاً . إن شكل المنحنيات لمعامل الخمود (K) تتشابه مع منحنيات معامل الامتصاص  $(\alpha)$  ، إذ يلاحظ من الشكل (4-16) ان قيم معامل الخمود تزداد بصورة عامة مع زيادة نسبة التشويب بسبب كثافة المستويات التي كونتها الشوائب داخل فجوة الطاقة التي تزيد من امتصاصية الأغشية المحضرة للطاقات الفوتونية الواطئة بزيادة نسبة التشويب (عدا النسبة % (5) التي تشذ عن هذا السلوك) مشابهاً بذلك لسلوك معامل الامتصاص ، إذ يبدأ معامل الخمود بالزيادة المحدودة جداً وشيئاً فشيئاً لجميع الأغشية المحضرة في مدى الطاقات الاقل من قيمة فجوة الطاقة ، والسبب في ذلك ارتفاع نسبة الامتصاصية عند الاقتراب من قيمة فجوة الطاقة ، ثم ينخفض عند الوصول الى قيمة فجوة الطاقة مسجلاً اوطأ قيمة لمعامل الخمود حينئذ والسبب هو انخفاض قيمة معامل الامتصاص البصري عندها ، ثم يبدأ بالارتفاع مرة اخرى تدريجاً مع ارتفاع طاقة الفوتونات الساقطة ، والسبب هو ارتفاع نسبة الامتصاص البصري الذي يرفع بدوره قيمة معامل الامتصاص البصري ، وبالتالي ارتفاع قيمة معامل الخمود للأسباب آنفة الذكر متوافقاً بذلك مع البحثين [92,15] .

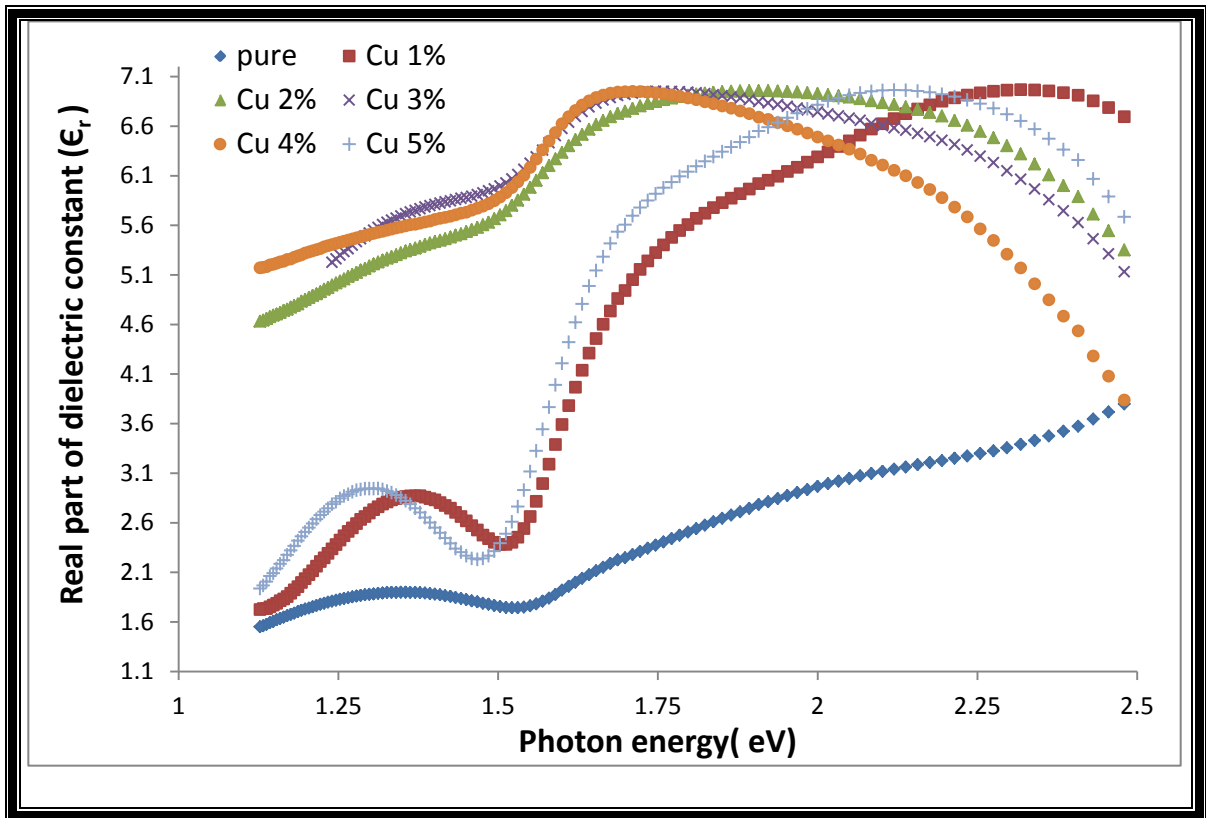


الشكل (4-16) تغير معامل الخمود مع طاقة الفوتونات الساقطة كدالة لنسب التشويب بالنحاس المبينة .

ويعرف بأنه مقدار الامتصاص في طاقة الفوتونات الساقطة بسبب الاستقطاب الحاصل لشحنات مادة الأغشية بسبب مركبة المجال الكهربائي للإشعاع الكهرومغناطيسي نتيجة لمروته من خلالها ، وهو نوعان ثابت العزل الكهربائي الجزء الحقيقي ( $\epsilon_r$ ) ، وثابت العزل الكهربائي الجزء الخيالي ( $\epsilon_i$ ) ويعطى بالعلاقة (2-20) . [80] .

Real Part of Dielectric Constant ( $\epsilon_r$ ) الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي (4-5-3-1)

حُسب الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي من المعادلة (2-21) ، إذ يبين الشكل (4-42) تغير قيمة الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي مع طاقة الفوتونات الساقطة لأغشية تيلورايد الكاديوم النقية والمشوبة بالنحاس بالنسب (1,2,3,4,5)% ، إذ يظهر جلياً تشابه المنحنيات مع منحنيات معامل الانكسار لاعتماد قيم الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي على قيم معامل الانكسار بحسب المعادلة (2-21) مقارنة بقيم معامل الخمود. ويلاحظ من الشكل (4-17) ان قيم الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي ( $\epsilon_r$ ) تزداد بزيادة نسب التشويب بالنحاس بالنسب (1,2,3,4)% مشابهة بذلك لسلوك معامل الانكسار ومتأثرة به عدا النسبة (5) . والسبب في ذلك هو الكثافة العالية المتولدة للثنائيات القطبية الناتجة من زيادة نسبة التشويب التي تزيد قيم الاستقطاب الضوئي ومعامل الانكسار للطاقات الفوتونية الواطئة على التوالي ، وتنتج زيادة في قيمة ثابت العزل الكهربائي بجزئه الحقيقي . وهذا يتوافق مع البحثين [93,38] .



الشكل (4-17) تغير الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي مع طاقة الفوتونات الساقطة كدالة لنسب

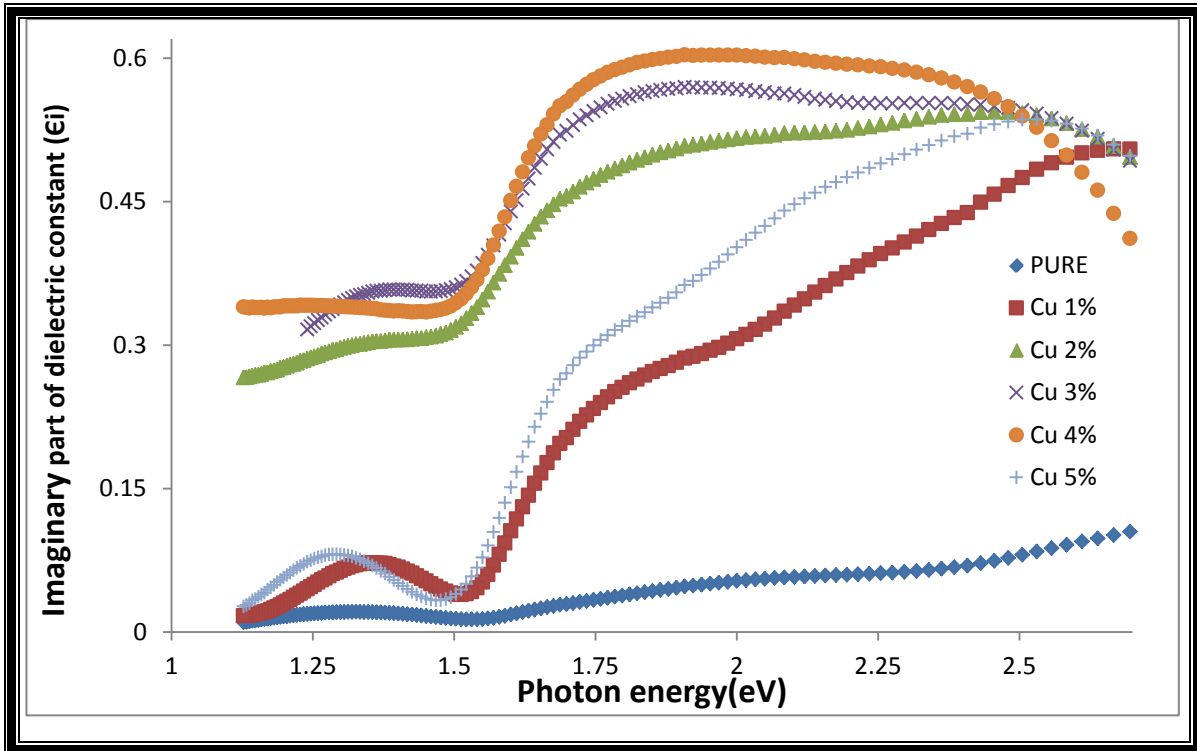
التشويب

(2-3-4-5) الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي Imaginary part of dielectric constant

وهو العلاقة الخطية بين معامل الانكسار ومعامل الخمود الذي يمثل مقدار ما تمتصه المادة من الأشعاع الكهرومغناطيسي الساقط عليها نتيجة تفاعل المركبة الكهربائية للإشعاع مع شحنات المادة والاستقطاب الحاصل لها [80] ، الذي تم حسابه من المعادلة (2-22) .

ويلاحظ من الشكل (4-18) ان الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي يزداد بزيادة نسب التشويب % (1,2,3,4) ، ولكنه يرجع الى الانخفاض عند النسبة % (5) مع زحف قمم المنحنيات نحو الطاقات الفوتونية الواطئة (الاطوال الموجية الطويلة) ، وهذا يتوافق مع البحثين [92,38] ، والسبب في ذلك يعود إلى دخول ذرات النحاس في التركيب البلوري لمادة الغشاء النقي التي قد احدثت مستويات جديدة داخل فجوة الطاقة المحظورة مما أدى الى زيادة نسبة الاستقطاب للثنائيات وزيادة نسبة الطاقة الممتصة من الأشعاع الساقط ، وبالتالي زيادة الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي.

إذ يتبين من التشابه الواضح للشكل اعلاه وشكل منحنيات معامل الخمود العلاقة بين معامل الخمود والجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي بالمعادلة (2-22) .



الشكل (4-18) تغير الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي مع طاقة الفوتونات الساقطة كدالة لتغير نسب التشويب بالنحاس .

ويوضح الجدول (4-7) قيم الثوابت البصرية لأغشية (CdTe) النقية والمشوبة بالنحاس .

الجدول (4-7) قيم الثوابت البصرية لأغشية (CdTe) قبل عملية التشويب وبعدها بالنسب آفة الذكر وعند الطول الموجي nm (600).

Sample	$\alpha \times 10^4$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$n_o$	K	Er	Ei
Pure	2.234	2.344	0.099	6.761	0.293
Cu 1%	2.362	2.509	0.108	6.768	0.469
Cu 2%	2.473	2.624	0.133	6.876	0.519
Cu 3%	2.801	2.704	0.153	6.882	0.539
Cu 4%	2.896	2.788	0.160	6.896	0.600
Cu 5%	1.225	2.513	0.113	6.794	0.493

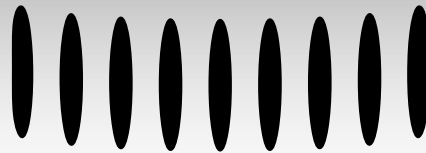


- نوجز الاستنتاجات التي حصلنا عليها بعد دراسة أغشية تيلورايد الكادميوم (CdTe) المشوبة بالنحاس بالنسب % (1,2,3,4,5) واستحصالننا النتائج ومناقشتها في ضوء البحوث والدراسات في هذا المجال .
- 1 - اضافة شائبة النحاس لم تغير التركيب البلوري لأغشية ( CdTe ) متعدد التبلور ( Polycrystalline ) ، بل قللت شدة القمم بالاتجاهين [220],[311] وزادت شدة القمة بالاتجاه السائد [111] ، وظهر تأثيره ايضاً في مواقع القمم بنسب مختلفة بنحو محدود ، وهذا ادى الى تحسن التركيب البلوري عدا النسبة % (5) التي ادت الى تأثير عكسي ، وهذا يدل على ان هنالك قيمة عظمى (Optimum) لنسبة التطعيم بالنحاس وان تجاوزها يسبب تردي خواص أغشية (CdTe) المشوبة.
  - 2 - ازداد معدل الحجم الحبيبي بزيادة نسبة التشويب وقلت فجوة الطاقة، وبلغ اكبـر حجم حبيبي عند نسبة التشويب % (4) ، إذ بلغ (66.522) nm واقل قيمة لفجوة الطاقة إذ بلغت (1.42 eV)، اما نسبة التشويب % (5) فقد ادت الى تقليل الحجم الحبيبي وزيادة في فجوة الطاقة، بتأثير عكسي في تحسن الخواص التركيبية .
  - 3 - اعلى امتصاصية سجلتها الأغشية المشوبة المحضرة بنسبة % 4 ، إذ بلغت اكثر من % (80) للأطوال الموجية الواقعة في المنطقة المرئية (400-800)nm لذلك يستعمل الغشاء المحضر بمثل هذه الطريقة بنسب التشويب أنفسها من النحاس في صناعة الخلايا الشمسية ذات الكفاءة المجهزة للقدرة، وكذلك لتصنيع كاشف للإشارة البصرية يعمل في المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي.
  - 4 - نفاذية أغشية ( CdTe ) تقل بزيادة نسب التشويب عدا النسبة % (5) لذا يمكن استعمال الأغشية المحضرة في مثل هذه الظروف كنوافذ عاكسة للأشعة وكنوافذ للأشعة تحت الحمراء والكواشف ضمن المنطقة القريبة من الطيف المرئي .

- 1 - دراسة الخواص الكهربائية والبصرية لأغشية CdTe المشوبة بالنحاس او الأنديموم او الفضة بطرائق اخرى مثل طريقة التريذ الايوني ومقارنة النتائج مع هذا البحث .
- 2- دراسة امكانية تصنيع خلية شمسية او كاشف بصري من اغشية (CdTe) المشوبة بالنحاس مثلاً بطريقة (PVD) ضمن مدى الضوء المرئي ومقارنة نتائجه مع هذا البحث.
- 3 - دراسة تأثير استعمال ارضيات مثل السليكون والمايكا وزجاج الكوارتز بدل الزجاج الاعتيادي في الخواص التركيبية والبصرية لأغشية (CdTe) المشوبة بالنحاس المحضرة بطريقة (PVD).

References

المصادر



- [1] M.Okudo ,T . Matsushito and A.Suzuki " physics of Selenium and Tellurium Springer ", Berlin 1979
- [2] D.Bonnet ,P.Mevers "Cadmium Telluride-material for thin film solar cell" J.Mater.Res Vol.13 ,No.2740,1998
- [3] G.H.Tariq and M.Anis-ur-Rehman "Effects on structural Electronic Transport &Optical properties of doped & undoped ZnTe thin films for CdTe/CdS Solar Cells" Key Engineering Materials Vol.510, pp89-97,2012
- [4] Juan Hou ,Hai Bin Cao ,Xu chu Huang ,Chun Yan Song "EDS , XRD and Raman Scattering study of Dy ion implanted CdTe polycrystalline thin films " Advanced Material Research Vol 213, pp157-160, 2011
- [5] L.R.Cruz ,V.D.Falcao,C.L.Ferreira,W.A.Pinheiro, I,G Matoso ,R.M,P.Alves "Manufacturing procedures of CdS/CdTe thin film Solar cell" Revista Brasileira de Aplicações de Vacuo Vol.25,No 1, pp15-19,2006
- [6] B. Ray "II-VI Compounds" 1<sup>st</sup> ed. Printed in GB, (1969).
- [7] C. Kittel, "Introduction to Solid State Physics", John Wiley and Sons, Inc., 7<sup>th</sup> edition, (1997).
- [8] J. Heo, H. Thn, R. Lee, Y. Han and D. Kim, "Solar Energy Materials and Solar Cells", Vol 75, pp193-203 , (2003)
- [9] S. Franssila , " Introduction To Micro fabrication" , John Wiley and Sons , England ,(2004) .
- [10] M. Bayhan , "Structural and Optical Characterization of Vacuum Deposited CdTe Thin Films" Tr. J. of Physics, No 22, Vol. 929, (1998)
- [11] Nam-hoon Kim,Chan II park "A pilot investigation on laser Annealing for thin film solar cell crystallinity and optical properties of laser-annealed CdTe thin films by using an 808 nm diode laser" Journal of Korean Physical Society Volume 62 ,No 3,pp502-507,February (2013)
- [12]Ye. O. Bilevych, A. I. Boka, L. O. Darchuk, J. V. G. Sichevska, F. F. Sizov, O. Boelling and B. S. Cleff "Properties of CdTe Thin Films Prepared by Hot Wall Epitaxy" Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics. Vol.7,No. 2,pp 129-132, (2004).
- [13] k.D.Lever " Thin Films " London(1971)

- [14] M.Popescu, F. Sava, Al orizczi, R. Savatru, D. Savastru, R. Radvan, I. N. Mihailescu, G.Socol "Chalcojenide Letters" Vol. 1,No.9,Septemper(2004).
- [15] D. W. Palmer "Properties of II-VI Compound Semiconductors" Semiconductors-Inf. , (2008).
- [16] W. D. Callister " Materials Science and Engineering" 4th Edition , (1997).
- [17] J. T. Moon and H.B.IM "Effects of Copper doping on the Electronic Properties of CdS Films Sintered with CdCl<sub>2</sub>" Journal of Materials Science, Vol.23, No.10,pp 34-45. (1988)
- [18] J.L. Vossen "Materials Science of Thin Films "2<sup>nd</sup> ed., (1991).
- [19] K. Wetzig , C.M. Schneider "Metal Based Thin Films for Electronics" WILEY-VCH 1<sup>st</sup> ed., (2003).
- [20] L. B. Freund , S. Suresh "Thin Film Materials" Brown University (2003).
- [21] Shahzad Naseem "Preparation and properties of evaporated CdTe and All thin film CdTe/CdS solar cells Chinese physicals lett. ,vol.8 ,No.5 (1991)
- [22] A. A. M. Shehab " CdTe Solar Cells " M. Sc. Thesis , College of Science , University of Baghdad , (1985).
- [23] مريوان احمد رشيد ، "دراسة تأثير عوامل التحضير والسمك على الصفات الكهربائية والضوئية لمركب CdTe" رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة بغداد، 1993.
- [24] N. A. Baker "Effect of Thermal Annealing on Zinc Diffused- CdTe Thin Film" Egypt. J. Sol., Vol. (23), No. (2), (2000).
- [25] J. P. Enriquez and X. Mathew "The effect of annealing on the structure of CdTe films electro-deposited on metallic substrate" J. of Crystal Growth No. 259, pp215-222, (2003).
- [26] S. Chandra, S. T.Sundari, G. Raghavan and A. K. Tyagi "Optical properties of CdTe nanoparticle thin films studied by spectroscopic ellipsometry" J. Phys. D: Appl. Phys . No. 36,pp 1212-2129, (2003).
- [27] S. Lalitha, R. Sathyamoorthy, S. Senthilarasu, A. Subbarayan and K. Natarajan "Characterization of CdTe thin film – dependence of structural and optical properties on temperature and thickness" Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 82,No. 187, (2004).

- [28] A. U. Ubale, R. J. Dhokne, P. S. Chikhlikar, V. S. Sangawar and D. K. Kulkarni "Characterization of nanocrystalline cadmium telluride thin films grown by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method" Indian Academy of Sciences, Bull. Mater. Sci., Vol.29, No.21, pp165–168 ( 2006).
- [29] S. K. Pandey, U. Tiwari, R. Raman, C. Prakash, V. Krishna, V. Dutt and K. Zimik "Growth of cubic and hexagonal CdTe thin films by pulsed laser deposition" Thin Solid Films, No.473, pp54-57 (2005).
- [30] M. R. Ebeid, M. F. Ahmed, A. A. Ramadan and K. Abdel-Hady, "Thickness and Deposition Rate-Dependence of Structural Characteristics of Evaporated CdTe Films" Egypt, J. Solids, Vol.28, No2, pp 231 (2005).
- [31] R. A. Abdulah "Study of Photovoltaic Characteristic of CdS/CdTe Heterojunction" M. Sc. Thesis, College of Science, Univ. of Baghdad, (2006).
- [32] B. Zengir, M. Bayhan and S. Kavasoglu "Optical Absorption in Polycrystalline CdTe Thin Films" Journal of Arts and Science Sayi: No.5, Mayis (2006).
- [33] G.G. RUSU "Structural, electronic transport and optical properties of Zn-doped CdTe thin films" Journal Of Opt. And Advanced Materials Vol. 8, No. 3 , pp 931 – 935 ( 2006).
- [34] "هناة ابراهيم محمد" الخواص الالكترو بصرية لاغشية CdTe الرقيقة المشوبة بـ Zn رسالة ماجستير - كلية التربية / ابن الهيثم ، جامعة بغداد (2008).
- [35] Li Jin , Yang Linyu , Jian Jikang , Zou Hua , and Sun Yanfei ” Effects of Sn-doping on morphology and optical properties Of CdTe polycrystalline films” Journal of Semiconductors, Vol. 30, No. 11 , (2008).
- [36] D.K. Dwivedi, Dayashankar, Maheshwar Dubey “Effect Of Annealing On The Structural And Electrical Properties Of Cdte/Znte Heterojunction Thin Films” Rom. Journal. Phys., Vol. 55, No. 34, pp 352–359, (2010).
- [37] S.S. Babkair “Charge Transport Mechanisms and Device Parameters of CdS/CdTe Solar Cells Fabricated by Thermal Evaporation” Sci. ,Vol. 22 ,No. 1, pp 21-33 , (2010).
- [38] S.M.Ali "Studies Structure and optical properties of CdTe thin films dopant of Zn " Baghdad University , 2011

- [39] Nam-Hoon Kim, Kuk Do Myung, Geum-Bae Cho, Woo-Sun Lee "Laser-induced doping of aluminum into a cadmium telluride thin film: Electrical and optical properties" Journal of the Korean Physical Society, Vol.60, Issue3, pp 425-429 February(2012)
- [40] A. B. Phillips, R. R. Khanal, Z. Song , R. M. Zartman , J. L. DeWitt , J. M. Stone , Paul J. Roland , V. V. Plotnikov , C. W. Carter , J. M. Stayancho, R. J. Ellingson , A. D. Compaan, and M. J. Heben "Wiring-up Carbon Single Wall Nanotubes to Polycrystalline Inorganic Semiconductor Thin Films: Low-Barrier, Copper-Free Back Contact to CdTe Solar Cells " American Chemical Society, Vol. 13, No 11, pp 5224–5232, (2013)
- [41] S. S. Al- Rawi , J. S. Jaber, Y. M. Hassan "Solid State Physics " Al-Mousul University , Arabic Version , (1988) .
- [42] متي ناصر ، " علم المواد " جامعة بغداد، 1990 .
- [43] M. G. Yousif " Solid State Physics " Vol.1 ,Baghdad University Arabic Version , (1989)
- [44] محمد أمين سليمان ، أحمد فؤاد باشا وشريف أحمد خيرى " فيزياء الجوامد " مطبعة الفكر العربي (2000)
- [45] J.S.Blakmore " Solid State Physics " Cambridge Press, 2nd Edition (1986) .
- [46] Y.N.Al-Jammal" Solid State Physics "Al- Mousul University ,Arabic Version , (1990)
- [47] A. Kinbara , S. Baba , and N. Matuta " Mechanical Properties of Metal and Component Films " Journal of Thin Solid Films , Vol. 141 , P. 222 , (1986)
- [48] M. N. Makadsi " Materials Science " High Education Publishing Baghdad , Arabic Version , (1990) .
- [49] K. Alexander " X-Ray Diffraction Procedures For Poly Crystalline Material " John Wiley and Sons , (1974) .
- [50] S.M. Sze " Semiconductors Devices Physics and Technology " Translated to Arabic by F. G. Hayaty and H. A. Ahmed, Baghdad , (1990).
- [51] S.K.Tewksbury"Semiconductors Materials" West Virginia University, (1995).

[52] Tribble " Electrical Engineering Materials and Devices " University of Iowa , (2002) .

[53] عامر عباس إبراهيم وهناء مكي عبد الأحد " الكترونييات أشباه الموصلات " الجزء الأول،  
مطبعة الجامعة المستنصرية . 1990

[54] A. G. Nilens "Deep Impurity in Semiconductors " Wiley-Inter Science Publication , (1973) .

[55] علية عبد المحسن شهاب ، " اعتماد الخواص الكهربائية والبصرية لأغشية ( a-As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> )  
المطعمة بالفضة على درجات الحرارة ونسب التطعيم " ، أطروحة دكتوراه ، جامعة بغداد 1998

[56] S. Dimitriev " Under Standing Semiconductor Devices " Griffth University , New York , Oxford , (2000) .

[57] رشا عزيز جبار ، " دراسة تأثير الإشابة في بعض الخصائص الفيزيائية لأغشية ZnO  
الرقيقة والمحصّرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري " ، رسالة ماجستير ، قسم العلوم التطبيقية ،  
الجامعة التكنولوجية ، 2005.

[58] عدنان مرموص منصور ، " دراسة تأثير الإشابة في الخصائص التركيبية والبصرية  
والكهربائية لأغشية (ZnO) المحصورة بطريقة الرش الكيميائي الحراري " رسالة ماجستير، الجامعة  
التكنولوجية 2002 .

[59] K. V. Ravi " Imperfection and Impurities in Semiconductor Silicon " John Wiley and Sons , Ins , (1981) .

[60] K.V.Ravi "Imperfections and Impurities in semiconductor Silicon " John Wiley & Sons , Ins. ,(1981)

[61] S. M. Sze " Semiconductors Devices Physics and Technology " Translated to Arabic by F. G. Hayaty and H. A. Ahmed, Baghdad, (1990).

[62] J. C. C. Tsai " Diffusion " Mc Graw – Hill , New York , (1983) .

[63] H. C. Casey and G. L. Pearson" Diffusion in Semiconductors " Plenum, New York , (1975) .

[64] J. Crank " Mathematics of Diffusion " 2 nd Edition ,Oxford University, (1975) .

[65] H. Mehrer " Diffusion in Solid Metals and Alloys " Springer Verlag , Berlin , (1990) .



- [66] صبحي سعيد الراوي "فيزياء الالكترونيات" مطبعة جامعة الموصل 1980
- [67] K. L. Chopra , " Thin Film Phenomena " , Mc Graw – Hill , New York , (1969) .
- [68] F. H. Ibraheem "Study of Some Structural and Electrical Properties of Doped with In of ZnSe Thin Films Prepared by Thermal Evaporation" M. Sc. Thesis, College of Science, University of Baghdad, (2007).
- [69] N. F. Mott and E. A. Davis "Electronic Processes in Non-Crystalline Materials" Clarendon Press, Oxford, (1979).
- [70] عبد الهادي يحيى الصائغ، وفيصل عبد المجيد، وزكي عبد الجبار " علم البلورات " مطبعة جامعة الموصل ، 1981 .
- [71] W. D. Callister “ Materials Science and Engineering” 4th Edition , (1997).
- [72] C. Kittel "Introduction to solid state physics" John Wiley and sons ,5th edition, (1986).
- [73] A. Beiser " Concepts of Modern Physics " Mc Graw – Hill Kogakusha , Ltd , 2nd Edition , (1980) .
- [74] L. Pawlowski “The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings", John Wiley and sons , 2nd. Edition, France , book, (2007)
- [75] Y.N.AL-Jammal " Soild state physics" AL- Mousul University ,Arabic version , (1990).
- [76] J. Pattar , S. N. Sawant , M. Nagaraja , N. Shashank , K. M. Balakrishna , G. Sanjeev & H. M. Mahesh ” Structural Optical and Electrical Properties of Vacuum Evaporated Indium Doped Zinc Telluride Thin Films” Int. J. Electrochem. Sci., Vol. 4,pp 369-376 , (2009).
- [77] M. Dhanam, R.R. prabhu & P.K. Manoj "Investigations on chemical bath deposited Cadmium Selenide thin films" Materials Ch & Phy, Vol.107, pp289-296, (2008).
- [78] F. Scholz “Compound Semiconductors” book, (2009).
- [79] أس .أم. زي، "نبائط أشباه الموصلات فيزياء وتقنية" دار الحكمة للطباعة والنشر (الموصل)، ترجمة د. فهد غالب حيالي ود. حسين علي أحمد (1990).

- [80] K.L.Chopra " Thin Film Phenomena " Mc Graw – Hill , New York (1969).
- [81] J. I. Pankove "Optical Processes in Semiconductors" Prentice-Hall, New Jersey, (1971) .
- [82] A. H. Clark "Optical properties of polycrystalline and amorphous thin films and devices " edited by Laurece. L. Kazemerki, Academic press, (1960).
- [83] S. Ben “Solid State Electronic Devices” Hall International , Inc ,U. S. A. ,(1990).
- [84] Y. Sirotin ,Y. M. Shaskolskaya "Fundamentals of crystal physics ", Mir Publishers , Moscow, (1982).
- [85] S. A. Tawfiq " A study of optical and electrical properties of the cadmium stannate material using the Co - Evaporation method " PH.D. Thesis , Al –Mustansiriya University, (1996) .
- [86] M.Kobayashi,Z.anerg.Chem, "Alloy with 52-97.3 at Te % were analyzed"Vol,69,No.1911,pp1-6 , (1960)
- [87] K. S.Sree Harsha “Principles of Physical Vapor Deposition of Thin Films” , Science Direct , 1st.Edition , (2006).
- [88] P. Joseph ,C. Charles and J. Igor "Pump Handbook" 3rd Edition , Mc Graw – Hill , New York ,(2001) .
- [89] S. Franssila “Introduction to Microfabrication” , West Sussex , England , John Wiley & Sons Ltd , (2004).
- [90] ASTM –Card,(15-0770).
- [91] زياد طارق خضير المجمعى، "دراسة الخواص البصرية وبعض الخواص الكهربائية لأغشية  
اوكسيد الكاديوم المشوب بأوكسيد الفضة والمحضرة بطريقة الترسيب الكيميائي الحراري"، رسالة  
ماجستير، كلية التربية، الجامعة المستنصرية، (2003)
- [92] M. Funaki, Y. Ando, R . Jinnai, A. Tachibana and R. Ohno, “Development of CdTe detectors in Acrorad”,Acrorad Co. Ltd ,(2006).
- [93] F.Y. Mohammed “ Characterization Of CdTe/GaAs Heterojunction” Ph.D. ,Thesis, College of Science , University of Baghdad , (2009).

**Abstract**

In this research we studied the structural and optical properties of Cadmium Telluride (CdTe) thin films which have been prepared by thermal evaporation deposition method on the glass substrate at R.T with thickness  $(450 \pm 25)$  nm with value deposition (2.5 nm/sec), the effect variation of doping ratio with copper element by (1,2,3,4,5) % ratio. on the structural and optical properties of films dopant are studied.

The structure measurement by X-ray diffraction (XRD) analyses show that the single phase of (CdTe) with polycrystalline structure with a preferred orientation [111] with increase in intensity at these orientation after doping by copper, and increase in grain size with increasing doping ratio expect the ratio (5)%.

The optical measurement shows that the (CdTe) films have a direct energy gap equal (1.56) eV for pure films, and they decrease with the increasing doping ratio reaching to 5% that increase to equal (1.55) eV and allow direct transition is general.

The optical constant are investigated and calculated, such as absorption coefficient ( $\alpha$ ), refractive index (n), extinction coefficient (K) and the dielectric constants ( $\epsilon$ ) with both part real and imaginary for the wavelengths in the range (300-1100) nm, before and after doping processes and found all the films prepared have value absorption coefficient ( $\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ).

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



# Preparation and Study The Structural and Optical Properties

## of CdTe : Cu

*A thesis*

*Submitted to the College of Education For Pure Science/Ibn Al-Haitham Baghdad University in Partial Fulfillment of The Requirements for the Degree of Master In Physics*

*By*

*Salam H. Fayyad*

*Supervised by:*

*Prof. Dr. Sameer A. Maki Ass Prof. Dr. Bushra K. Hasson*

**2015 A.H.**

**1436 A.D.**