



جمهورية العراق  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة ديالى  
كلية العلوم

دراسة تأثير التطعيم والتلدين على بعض الخصائص الفيزيائية لأغشية أكسيد  
الكادميوم الرقيقة ذات التراكيب النانوية

رسالة مقدمة الى  
مجلس كلية العلوم/ جامعة ديالى  
وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء

من قبل  
كرار سعد محمد  
(بكالوريوس علوم فيزياء 2014)

بإشراف  
أ.م.د. جاسم محمد منصور

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُ لَا إِلَهَ إِلَّا هُوَ الْحَيُّ الْقَيُّومُ لَا تَأْخُذُهُ سِنَّةٌ وَلَا نَوْمٌ لَّهُ مَا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي

الْأَرْضِ مَنْ ذَا الَّذِي يَشْفَعُ عِنْدَهُ إِلَّا بِإِذْنِهِ يَعْلَمُ مَا بَيْنَ أَيْدِيهِمْ وَمَا

خَلْفَهُمْ وَلَا يُحِيطُونَ بِشَيْءٍ مِّنْ عِلْمِهِ إِلَّا بِمَا شَاءَ وَسِعَ كُرْسِيُّهُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ وَلَا يَئُودُهُ حِفْظُهُمَا وَهُوَ

الْعَلِيُّ الْعَظِيمُ

صَدَقَ اللَّهُ الْعَلِيُّ الْعَظِيمُ

## الإهداء

الى من ارسله الله رحمة للعالمين والحجة على الخلائق اجمعين السراج المنير

رسول الله سيدنا محمد (صلى الله عليه واله الطيبين الطاهرين واصحابه المنتجبين الابرار)

الى سندي وقوتي وملاذي صاحب القلب الكبير (أبي العزيز) اطال الله في عمره بالصحة والعافية

الى من وضع الله تعالى الجنة تحت قدميها الى من كان دعائها سر توفيقى (أمي الغالية) أمد الله في عمرها بالصحة والعافية

الى خالدة الذكر شقيقتي العزيزة (أم مصطفى) رحمها الله تعالى واسكنها فسيح جناته

الى من صبرت معي وخففت عني أعباء الحياة وساندتني في السراء والضراء (زوجتي الغالية)

الى أصحاب المكانة الكبيرة في قلبي (أخي وأخواتي) حفظهم الله

الى زينة الحياة وبهجتي ومن اشد بهم أزري وحبهم نور دربي وفرحتي من الدنيا (أولادي)

الى أصدقائي الاعزاء

الى اساتذتي الكرام

الى كل من وقف بجاني

الى كل من تمني لي الخير

كرار

## شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين حمدا كثيرا طيبا مباركا تطيب به الحياة، والحمد لله حتى يبلغ الحمد منتهاه، الحمد لله حمدا تستديم به النعم، الحمد لله الذي فتح لي أبواب العلم ورزقني الصبر والإرادة والصلاة والسلام على سيدنا ومعلمنا محمد واله الطيبين الطاهرين واصحابه المنتجبين.

الفضل ينسب لله رب العالمين أولا واخرا وهو من جعل الفضل متداولاً بين عباده.

أقدم شكري وتقديري الى عمادة كلية العلوم/ جامعة ديالى ورئاسة قسم الفيزياء لأتاحتهم الفرصة لي لإكمال مسيرتي العلمية.

وبعد فضل الله سبحانه وتعالى وتوفيقه لي في إتمام هذا البحث أتقدم بخالص شكري وامتناني الى استاذي المشرف أ.م.د. جاسم محمد منصور لاقتراحه موضوع البحث وللجهود الكبيرة وتوجيهاته القيمة والمستمرة التي كان لها الأثر الكبير في إتمام البحث داعياً الله له بدوام الصحة والعافية.

وشكري وامتناني لأساتذتي الكرام في قسم الفيزياء وخصوصاً (أ.د. تحسين حسين مبارك و أ.د. نبيل علي بكر و أ.د. زياد طارق خضير و أ.د. صباح أنور سلمان و أ.م.د. عمار عايش حبيب و أ.د. أسعد أحمد كامل) لما بذلوه من جهد وعطاء مستمرين بهما طوال دراستي داعياً الله لهم دوام الصحة والعافية.

كما وأقدم شكري الى كل من كان عوناً لي في بحثي هذا والى زملائي وزميلاتي في الدراسات العليا وأخص بالذكر الأخوة: فيصل ليث احمد، إسماعيل صالح محمد، علي منهل حميد، محمد محمود عبد الرحمن، محمد علوان كاظم.

في الختام أقدم شكري وعرفاني بالجميل لزوجتي وأبنائي كافة اللذين كابدوا الكثير أثناء دراستي، وأقف عاجزاً عن شكرهم لما منحوني إياه من رعاية وتشجيع طيلة فترة الدراسة والبحث داعياً الله لهم دوام الصحة والعافية والشكر موصول الى كل من ساهم من الأصدقاء والزملاء، في إتمام هذه الدراسة ولو بكلمة طيبة

كرار

## الخلاصة

تم في هذه الدراسة، ترسيب أغشية أكسيد الكاديوم (CdO) الرقيقة غير المطعمة الملدنة بدرجات حرارة (350, 450, 550, and 650 °C) والمطعمة ثنائياً بالخارصين (Zn) والكوبلت (Co) بالنسب الوزنية [(1 + 1), (3 + 3), (5 + 5), (7 + 7), (1 + 9), (3 + 7), (7 + 3), and (9 + 1) (Zn + Co) wt.%] والمحضرة بتقنية الطلاء البرمي (Spin Coating) للمحلول الهلامي (Sol-Gel) على قواعد زجاجية مصنوعة من الكوارتز (SiO<sub>2</sub>). يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير التلدين والتطعيم الثنائي على الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية (تأثير هول) لأغشية أكسيد الكاديوم الرقيقة المحضرة.

أظهرت نتائج أنماط حيود الأشعة السينية (XRD) أنّ جميع الأغشية المحضرة متعددة التبلور (Polycrystalline) بطبيعتها وبتكوين من النوع المكعب (Cubic) وبالالاتجاه السائد والمفضل للنمو (111) ولا يوجد تغيير للاتجاه السائد بارتفاع درجة حرارة التلدين أو تغيير نسب التطعيم الثنائي، إذ أنّ ارتفاع درجة حرارة التلدين وكذلك التطعيم الثنائي بالخارصين والكوبلت أديا إلى زيادة في شدة القمة لنمط حيود الأشعة السينية مع زيادة قيمة حجم البلوريات يرافقه نقص في قيم كل من الانفعال المايكروي وكثافة الانخلاعات وعدد البلوريات مقارنة بأغشية CdO غير المطعمة والملدنة بدرجة حرارة واطئة. ووفقاً لأطياف FTIR فقد أكدت بوضوح ظهور قمم اهتزاز المط للأصرة Cd-O وانخفاض هذه القمم مع زيادة نسب التطعيم كما أظهرت اختفاء قمم الاهتزازات العريضة (O-H) بسبب التلدين العالي.

تم التأكد من وجود التراكيب النانوية للأغشية الرقيقة المحضرة من خلال التقنيات (XRD, AFM, FE-SEM)، إذ أظهرت نتائج قياسات مجهر القوة الذرية (AFM) تأثير واضح في قيم كل من حجم الحبيبات وخشونة السطح والجزر التربيعي لمربع متوسط الخشونة بتغيير درجة حرارة التلدين ونسب التطعيم للأغشية المحضرة. أما صور FE-SEM فأظهرت النمو الجيد وشبه المنتظم لأغشية CdO غير المطعمة، إذ تمتلك تركيباً شبه كروياً عند درجة حرارة التلدين (350 and 450 °C) وتتغير إلى أشكال تشبه الأزهار النانوية (Nano-Flower) عند درجة (550, and 650 °C)، يصاحبها ظهور فراغات مع زيادة في قيم الحجم الحبيبي، واتخاذ الحبيبات اشكالاً تشبه الأحجار الصخرية الصغيرة (Rock Stones) والقرنابيط النانوي (Cauli-Flower) للأغشية المطعمة ثنائياً مع اختلاف في قيم حجم الحبيبات، كما بينت صور المقطع العرضي (Cross Sectional FE-SEM) تأثير سمك الأغشية

بعمليتي التلدين والتطعيم. تم التحقق من العناصر المكونة للأغشية (Cd, Co, Zn, and O) بواسطة  
.EDS

تم دراسة الخصائص البصرية من خلال تسجيل طيفي الامتصاصية والنفذية ضمن مدى  
الاطوال الموجية (200-1100 nm)، إذ بينت النتائج نقصان امتصاصية الأغشية للضوء الساقط مع  
زيادة في قيم النفذية بزيادة الطول الموجي. وكذلك أظهرت النتائج زيادة في قيم كل من الانعكاسية  
ومعامل الامتصاص والثوابت البصرية (معامل الانكسار والخمود وثابت العزل البصري المعقد جزأيه  
الحقيقي والخيالي) بارتفاع درجة حرارة التلدين وعند التطعيم. وأنَّ قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقالات  
المباشرة المسموحة أظهرت تناقصاً بارتفاع درجة حرارة التلدين وبعض نسب التطعيم وتتراوح قيمها  
بين (2.20 - 2.77 eV)، كما سجلت زيادة في قيم ( $E_g$ ) لبعض نسب التطعيم الثنائي ضمن المدى  
(2.58-2.70 eV)، إذ تم حسابها باستخدام علاقة  $Tauc$  ضمن مناطق الامتصاص العالية. أما قيم فجوة  
الطاقة غير المباشرة وطاقة اوريباخ فقد تأثرا بشكل كبير بارتفاع درجة حرارة التلدين وتغير نسب  
التطعيم الثنائي للأغشية الرقيقة المحضرة.

تم دراسة الخصائص الكهربائية المتمثلة بقياسات تأثير هول والتي بينت بأن نوع حاملات  
الشحنة الأغلبية هو من النوع السالب (n-type) لجميع أغشية CdO غير المطعمة حيث لم تتأثر نوعية  
الحاملات بارتفاع درجة حرارة التلدين، لكنها أظهرت تأثراً لبعض نسب التطعيم الثنائي، إذ تغيرت  
نوعية الحاملات الى النوع الموجب (p-type). كما أظهرت نتائج تأثير هول أنَّ التطعيم الثنائي  
بالخارصين والكوبلت يساهم بصورة عامة في تحسين الخصائص الكهربائية لأغشية أكسيد الكاديوم  
وأنَّ أعلى توصيلية كهربائية كانت للغشاء المطعم ثنائياً بنسبة [(Zn + Co) wt.% (9 + 1)]، إذ بلغت  
 $[2.45 \times 10^2 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}]$  يقابلها أعلى تركيز لناقلات الشحنة ( $5.02 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) وأقل مقاومة  
كهربائية ( $4.09 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$ ).

## المحتويات

رقم الصفحة	المحتوى	رقم الفقرة
I	المحتويات	
V	قائمة الاشكال	
XV	قائمة الجداول	
XVI	قائمة الرموز	
XIX	قائمة المختصرات	
<b>المقدمة والدراسات السابقة</b>		<b>الفصل الأول</b>
1	المقدمة	(1-1)
1	تصنيف مواد الحالة الصلبة	(2-1)
3	الأغشية الرقيقة	(3-1)
3	تقنيات تحضير الأغشية الرقيقة	(4-1)
5	طريقة السائل الهلامي	(5-1)
6	تقنية الطلاء البرمي	(6-1)
8	أكاسيد التوصيل الشفافة	(7-1)
8	أكسيد الكاديوم	(1-7-1)
11	أكسيد الخارصين	(2-7-1)
12	أكسيد الكوبلت	(3-7-1)
13	الدراسات السابقة	(8-1)
22	هدف الدراسة	(9-1)

الجزء النظري		الفصل الثاني
23	المقدمة	(1-2)
23	أشباه الموصلات	(2-2)
24	التركيب البلوري لأشباه الموصلات	(3-2)
24	أشباه الموصلات البلورية	(1-3-2)
24	أشباه الموصلات أحادية التبلور	(1-1-3-2)
24	أشباه الموصلات متعددة التبلور	(2-1-3-2)
25	أشباه الموصلات العشوائية	(2-3-2)
25	الأواصر	(4-2)
26	حزم الطاقة في المواد الصلبة	(5-2)
28	تصنيفات أشباه الموصلات	(6-2)
28	أشباه الموصلات النقية (الذاتية)	(1-6-2)
29	أشباه الموصلات غير النقية (غير الذاتية)	(2-6-2)
30	تقنيات تطعيم أشباه الموصلات	(7-2)
31	تشخيص الأغشية المحضرة	(8-2)
31	الخصائص التركيبية	(1-8-2)
31	نمط حيود الأشعة السينية	(1-1-8-2)
33	المعلومات التركيبية	(2-1-8-2)
35	مجهر القوة الذرية	(3-1-8-2)
36	المجهر الإلكتروني الماسح-الباعث للمجال	(4-1-8-2)

38	الخصائص البصرية	(2-8-2)
38	الامتصاصية	(1-2-8-2)
39	النفاذية	(2-2-8-2)
39	الانعكاسية	(3-2-8-2)
40	حافة الامتصاص الاساسية	(1-1-2-8-2)
42	الانتقالات الالكترونية	(4-2-8-2)
45	الثوابت البصرية	(5-2-8-2)
48	الخصائص الكهربائية	(3-8-2)
48	تأثير هول	(1-3-8-2)
<b>الجزء العملي</b>		<b>الفصل الثالث</b>
51	المقدمة	(1-3)
51	منظومة الطلاء البرمي	(2-3)
52	تحضير الأغشية الرقيقة	(3-3)
52	تهيئة قواعد الترسيب	(1-3-3)
53	تحضير المحاليل	(2-3-3)
56	العوامل المؤثرة في تحضير الأغشية الرقيقة	(3-3-3)
56	ترسيب الأغشية	(4-3-3)
59	قياس سمك الأغشية	(4-3)
60	القياسات التركيبية	(5-3)
60	تقنية حيود الأشعة السينية (XRD)	(1-5-3)

61	قياسات مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR)	(2-5-3)
61	قياسات مجهر القوة الذرية (AFM)	(3-5-3)
61	قياسات المجهر الإلكتروني الماسح-الباعث للمجال (FE-SEM)	(4-5-3)
62	القياسات البصرية	(6-3)
63	القياسات الكهربائية (تأثير هول)	(7-3)
<b>النتائج والمناقشة</b>		<b>الفصل الرابع</b>
65	المقدمة	(1-4)
65	القياسات التركيبية والبنية الدقيقة	(2-4)
65	نتائج حيود الأشعة السينية (XRD)	(1-2-4)
85	مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR)	(2-2-4)
87	نتائج مجهر القوة الذرية (AFM)	(3-2-4)
95	نتائج المجهر الإلكتروني الماسح-الباعث للمجال (FE-SEM)	(4-2-4)
111	القياسات البصرية	(3-4)
111	الامتصاصية	(1-3-4)
114	النفذية	(2-3-4)
116	الانعكاسية	(3-3-4)
118	معامل الامتصاص	(4-3-4)
120	فجوة الطاقة البصرية	(5-3-4)
121	فجوة الطاقة البصرية للانتقالات الإلكترونية المباشرة المسموحة	(1-5-3-4)
123	فجوة الطاقة البصرية للانتقالات غير المباشرة المسموحة	(2-5-3-4)

126	طاقة اورباخ	(6-3-4)
129	الثوابت البصرية	(7-3-4)
129	معامل الانكسار	(1-7-3-4)
131	معامل الخمود	(2-7-3-4)
134	ثابت العزل البصري المعقد	(3-7-3-4)
138	نتائج القياسات الكهربائية	(4-4)
142	الاستنتاجات	(5-4)
143	المشاريع المستقبلية	(6-4)
144	المصادر	

### قائمة الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
<b>الفصل الأول</b>		
2	التوصيلية الكهربائية لبعض المواد الصلبة	(1-1)
4	مخطط تقنيات تحضير الأغشية الرقيقة	(2-1)
7	مراحل عملية الطلاء البرمي	(3-1)
9	التركيب البلوري لأوكسيد الكاديوم	(4-1)
11	التركيب البلوري لأوكسيد الخارصين	(5-1)

12	التركيب البلوري لأوكسيد الكوبلت	(6-1)
<b>الفصل الثاني</b>		
25	التركيب البلوري لأشباه الموصلات	(1-2)
26	أنواع الأواصر	(2-2)
27	حزم الطاقة في المواد الصلبة	(3-2)
28	فجوة الطاقة للمواد الصلبة	(4-2)
30	التطعيم في أشباه الموصلات	(5-2)
32	مخطط للمستويات البلورية وحيود براغ	(6-2)
33	نمط حيود الأشعة السينية للمواد	(7-2)
36	ألية عمل مجهر القوة الذرية	(8-2)
37	مخطط لجهاز المجهر الالكتروني الماسح-الباعث للمجال	(9-2)
41	مخطط مناطق الامتصاص لأشباه الموصلات	(10-2)
42	مخطط ذبول اورباخ	(11-2)
45	أنواع الانتقالات الالكترونية	(12-2)
50	ظاهرة تأثير هول	(13-2)
<b>الفصل الثالث</b>		
51	جهاز الطلاء البرمي	(1-3)
55	المحاليل النهائية لأغشية أوكسيد الكادميوم غير المطعمة والمطعمة ثنائيا قبل الترسيب	(2-3)

58	مخطط تفصيلي لخطوات تحضير أغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بالخارصين والكوبلت	(3-3)
60	مخطط للتشخيص بالأشعة السينية	(4-3)
63	مخطط أجزاء المطياف البصري	(5-3)
64	قاعدة النماذج التي توضع عليها العينات مع صورة للعينات المحضرة بعد فحصها	(6-3)
<b>الفصل الرابع</b>		
67	أنماط حيود الأشعة السينية لأغشية CdO غير المطعمة	(1-4)
67	أنماط حيود الأشعة السينية لأغشية CdO غير المطعمة للاتجاه السائد (111)	(2-4)
68	أنماط حيود الأشعة السينية لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب متساوية بعنصري الخارصين والكوبلت	(3-4)
68	أنماط حيود الأشعة السينية لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب متساوية بعنصري الخارصين والكوبلت للاتجاه السائد (111)	(4-4)
69	أنماط حيود الأشعة السينية لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب مختلفة بعنصري الخارصين والكوبلت	(5-4)
69	أنماط حيود الأشعة السينية لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب مختلفة بعنصري الخارصين والكوبلت للاتجاه السائد (111)	(6-4)
70	البطاقة الدولية القياسية (ICSD) ذات الرقم التسلسلي (75-0592)	(7-4)

73	ثابت الشبكة كدالة لدرجة حرارة التلدين لأغشية CdO غير المطعمة	(a 8-4)
74	ثابت الشبكة كدالة لنسب التطعيم المتساوية لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة	(b 8-4)
74	ثابت الشبكة كدالة لنسب التطعيم المختلفة لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة	(c 8-4)
75	حجم البلوريات كدالة لدرجة حرارة التلدين لأغشية CdO غير المطعمة	(a 9-4)
76	حجم البلوريات كدالة لنسب التطعيم المتساوية لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بالخارصين والكوبلت	(b 9-4)
76	حجم البلوريات كدالة لنسب التطعيم المختلفة لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بالخارصين والكوبلت	(c 9-4)
77	العلاقة بين حجم البلوريات وعرض منتصف القمة العظمى للاتجاه السائد (111) كدالة لدرجة حرارة التلدين لأغشية CdO غير المطعمة	(d 9-4)
78	العلاقة بين حجم البلوريات وعرض منتصف القمة العظمى للاتجاه السائد (111) كدالة لنسب التطعيم لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(e 9-4)
78	العلاقة بين حجم البلوريات وعرض منتصف القمة العظمى للاتجاه السائد (111) كدالة لنسب التطعيم لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(f 9-4)
79	عامل التشكيل كدالة لدرجة حرارة التلدين لأغشية CdO غير المطعمة	(a 10-4)

80	عامل التشكيل كدالة لنسب التطعيم لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 10-4)
80	عامل التشكيل كدالة لنسب التطعيم لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 10-4)
82	الانفعال المايكروي وكثافة الانفعالات وعدد البلوريات كدالة لدرجة حرارة التلدين لأغشية CdO غير المطعمة	(a 11-4)
82	الانفعال المايكروي وكثافة الانفعالات وعدد البلوريات كدالة لنسب التطعيم لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 11-4)
83	الانفعال المايكروي وكثافة الانفعالات وعدد البلوريات كدالة لنسب التطعيم لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 11-4)
83	العلاقة بين حجم البلوريات والانفعال المايكروي وكثافة الانفعالات وعدد البلوريات كدالة لدرجة حرارة التلدين لأغشية CdO غير المطعمة	(d 11-4)
84	العلاقة بين حجم البلوريات والانفعال المايكروي وكثافة الانفعالات وعدد البلوريات كدالة لنسب التطعيم لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(e 11-4)
84	العلاقة بين حجم البلوريات والانفعال المايكروي وكثافة الانفعالات وعدد البلوريات كدالة لنسب التطعيم لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(f 11-4)
86	أطياف الأشعة تحت الحمراء لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بالخارصين والكوبلت	(12-4)

92	صور AFM ثنائية وثلاثية الابعاد لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بالخارصين والكوبلت	(13-4)
94	مخطط توزيع وتراكيز الحجم الحبيبي لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بالخارصين والكوبلت	(14-4)
97	صور FE-SEM مع صور للمقطع العرضي ومخطط التوزيع الحجمي الحبيبي للغشاء (Cd-1)	(a 15-4)
98	صور FE-SEM مع صور للمقطع العرضي ومخطط التوزيع الحجمي الحبيبي للغشاء (Cd-2)	(b 15-4)
99	صور FE-SEM مع صور للمقطع العرضي ومخطط التوزيع الحجمي الحبيبي للغشاء (Cd-3)	(c 15-4)
100	صور FE-SEM مع صور للمقطع العرضي ومخطط التوزيع الحجمي الحبيبي للغشاء (Cd-4)	(d 15-4)
101	صور FE-SEM مع صور للمقطع العرضي ومخطط التوزيع الحجمي الحبيبي للغشاء (Cd-5)	(e 15-4)
102	صور FE-SEM مع صور للمقطع العرضي ومخطط التوزيع الحجمي الحبيبي للغشاء (Cd-6)	(f 15-4)
103	صور FE-SEM مع صور للمقطع العرضي ومخطط التوزيع الحجمي الحبيبي للغشاء (Cd-7)	(g 15-4)
104	صور FE-SEM مع صور للمقطع العرضي ومخطط التوزيع الحجمي الحبيبي للغشاء (Cd-8)	(h 15-4)
105	صور FE-SEM مع صور للمقطع العرضي ومخطط التوزيع الحجمي الحبيبي للغشاء (Cd-9)	(i 15-4)

106	صور FE-SEM مع صور للمقطع العرضي ومخطط التوزيع الحجمي الحبيبي للغشاء (Cd-10)	(j 15-4)
107	صور FE-SEM مع صور للمقطع العرضي ومخطط التوزيع الحجمي الحبيبي للغشاء (Cd-11)	(k 15-4)
108	صور FE-SEM مع صور للمقطع العرضي ومخطط التوزيع الحجمي الحبيبي للغشاء (Cd-12)	(l 15-4)
109	سمك الغشاء كدالة لدرجة حرارة التلدين لأغشية CdO غير المطعمة	(a 16-4)
109	سمك الغشاء كدالة لنسب التطعيم الثنائي لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بالخارصين والكوبلت	(b 16-4)
110	تحليلات (EDS) مع صور (Electron Image) لبعض الأغشية المحضرة	(17-4)
112	طيف الامتصاصية لأغشية CdO غير المطعمة	(a 18-4)
113	طيف الامتصاصية لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 18-4)
113	طيف الامتصاصية لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 18-4)
114	طيف النفاذية لأغشية CdO غير المطعمة	(a 19-4)
115	طيف النفاذية لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 19-4)
115	طيف النفاذية لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 19-4)
116	طيف الانعكاسية لأغشية CdO غير المطعمة	(a 20-4)

117	طيف الانعكاسية لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 20-4)
117	طيف الانعكاسية لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 20-4)
119	معامل الامتصاص لأغشية CdO غير المطعمة	(a 21-4)
119	معامل الامتصاص لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 21-4)
120	معامل الامتصاص لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 21-4)
122	قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح الناتجة من العلاقة البيانية بين طاقة الفوتون و $(\alpha hv)^2$ لأغشية CdO غير المطعمة	(a 22-4)
122	قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح الناتجة من العلاقة البيانية بين طاقة الفوتون و $(\alpha hv)^2$ لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 22-4)
123	قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح الناتجة من العلاقة البيانية بين طاقة الفوتون و $(\alpha hv)^2$ لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 22-4)
124	قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقال غير المباشر المسموح الناتجة من العلاقة البيانية بين طاقة الفوتون و $(\alpha hv)^{1/2}$ لأغشية CdO غير المطعمة	(a 23-4)
125	قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقال غير المباشر المسموح الناتجة من العلاقة البيانية بين طاقة الفوتون و $(\alpha hv)^{1/2}$ لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 23-4)

125	قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقال غير المباشر المسموح الناتجة من العلاقة البيانية بين طاقة الفوتون و $(\alpha h\nu)^{1/2}$ لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 23-4)
127	العلاقة بين طاقة الفوتون و $[Ln(\alpha)]$ لأغشية CdO غير المطعمة	(a 24-4)
128	العلاقة بين طاقة الفوتون و $[Ln(\alpha)]$ لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 24-4)
128	العلاقة بين طاقة الفوتون و $[Ln(\alpha)]$ لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 24-4)
130	معامل الانكسار كدالة لطاقة الفوتون لأغشية CdO غير المطعمة	(a 25-4)
130	معامل الانكسار كدالة لطاقة الفوتون لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 25-4)
131	معامل الانكسار كدالة لطاقة الفوتون لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 25-4)
132	معامل الخمود كدالة لطاقة الفوتون لأغشية CdO غير المطعمة	(a 26-4)
133	معامل الخمود كدالة لطاقة الفوتون لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 26-4)
133	معامل الخمود كدالة لطاقة الفوتون لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 26-4)
135	ثابت العزل الحقيقي كدالة لطاقة الفوتون لأغشية CdO غير المطعمة	(a 27-4)
135	ثابت العزل الحقيقي كدالة لطاقة الفوتون لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 27-4)

136	ثابت العزل الحقيقي كدالة لطاقة الفوتون لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 27-4)
136	ثابت العزل الخيالي كدالة لطاقة الفوتون لأغشية CdO غير المطعمة	(a 28-4)
137	ثابت العزل الخيالي كدالة لطاقة الفوتون لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب متساوية بالخارصين والكوبلت	(b 28-4)
137	ثابت العزل الخيالي كدالة لطاقة الفوتون لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب مختلفة بالخارصين والكوبلت	(c 28-4)
139	تركيز الحاملات والتحركية والتوصيلية الكهربائية كدوال لدرجة حرارة التلدين لأغشية CdO غير المطعمة	(a 29-4)
140	تركيز الحاملات والتحركية والتوصيلية الكهربائية كدوال لنسب التطعيم الثنائي لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب متساوية بعنصري الخارصين والكوبلت	(b 29-4)
140	تركيز الحاملات والتحركية والتوصيلية الكهربائية كدوال لنسب التطعيم الثنائي لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة بنسب مختلفة بعنصري الخارصين والكوبلت	(c 29-4)

## قائمة الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
<b>الفصل الأول</b>		
2	التوصيلية الكهربائية النموذجية لبعض المعادن وأشباه المعادن وأشباه الموصلات والعوازل عند درجة حرارة الغرفة	(1-1)
10	بعض خصائص أكسيد الكاديوم	(2-1)
<b>الفصل الثالث</b>		
54	الكميات والنسب المستعملة في تحضير أغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بالخارصين والكوبلت	(1-3)
<b>الفصل الرابع</b>		
71-72	زوايا الحيود ومعاملات ميلر وعرض منتصف القمة العظمى والمسافات البينية والحجم البلوري للأغشية المحضرة	(1-4)
85	المعلومات التركيبية التي تم الحصول عليها من فحص الأشعة السينية للأغشية المحضرة	(2-4)
88	قيم خشونة السطح والجزر التربيعي لمربع متوسط الخشونة والحجم الحبيبي للأغشية المحضرة	(3-4)
96	قيم أكبر وأصغر حبيبية ووسيط ومعدل الحجم الحبيبي والانحراف المعياري للأغشية المحضرة	(4-4)
126	قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقالات الإلكترونية المباشرة وغير المباشرة المسموحة	(5-4)
141	نتائج قياسات تأثير هول لأغشية CdO غير المطعمة والمطعمة ثنائياً بالخارصين والكوبلت	(6-4)

## قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الوحدة
$\lambda$	الطول الموجي	nm
$\theta$	زاوية حيود براك	degree ( $^{\circ}$ )
(hkl)	معاملات ميلر	---
$d_{hkl}$	المسافة بين المستويات البلورية	$\text{\AA}$
n	مرتبة الحيود	---
$a_0$	ثابت الشبكة	$\text{\AA}$
$I_0$	شدة الشعاع الساقط	eV/m <sup>2</sup> .s
$I_t$	شدة الشعاع النافذ	eV/m <sup>2</sup> .s
$I_A$	شدة الشعاع الممتص	eV/m <sup>2</sup> .s
$\beta$	عرض منحنى منتصف القمة (FWHM)	radian
$D_{ave}$	معدل الحجم البلوري	nm
$D_{hkl}$	حجم البلوريات للمستوي (hkl)	nm
$I_{(hkl)}$	الشدة النسبية المقاسة للمستوي (hkl) باستخدام XRD	---
$I_{o(hkl)}$	الشدة القياسية للمستوي (hkl) المعتمدة في البطاقة الدولية	---
N	عدد القمم الظاهرة في حيود الاشعة السينية	---
$\epsilon$	الانفعال المايكروني	---
$\delta$	كثافة الانخلاعات	cm <sup>-2</sup>

cm <sup>-2</sup>	عدد البلوريات	N <sub>o</sub>
---	الانعكاسية	R
---	الامتصاصية	A
---	النفاذية	T
nm	سمك الغشاء	t
cm <sup>-1</sup>	معامل الامتصاص	$\alpha$
---	ثابت التناسب	$\alpha_0$
eV	فجوة الطاقة البصرية	E <sub>g</sub>
eV	طاقة الفوتون	h $\nu$
---	معامل أسي يعتمد على نوع الانتقال	r
---	ثابت يعتمد على طبيعة المادة	P
eV	طاقة أورباخ	E <sub>u</sub>
eV	طاقة الفونون	E <sub>ph</sub>
---	معامل الانكسار المعقد	N*
m/s	سرعة الضوء في الوسط	v
m/s	سرعة الضوء في الفراغ	c
---	معامل الانكسار الحقيقي	n <sub>o</sub>
---	معامل الخمود	k <sub>o</sub>
---	ثابت العزل البصري المعقد	$\epsilon_0$
---	الجزء الحقيقي لثابت العزل البصري	$\epsilon_1$

---	الجزء الخيالي لثابت العزل البصري	$\epsilon_2$
V	فولتية هول	$V_H$
(cm <sup>3</sup> /C)	معامل هول	$R_H$
(cm <sup>2</sup> /Vs)	تحركية هول (الشحنة)	$\mu_H$
(cm) <sup>-3</sup>	تركيز حاملات الشحنة	$n_H$
Tesla	شدة المجال المغناطيسي	$B_Z$
m/s	سرعة الانجراف	$V_d$
( $\Omega$ cm) <sup>-1</sup>	التوصيلية الكهربائية	$\sigma$
mol/L	المولارية	$M$
g/mol	الوزن الجزيئي	$M_{wt}$
g/cm <sup>3</sup>	كثافة مادة الغشاء	$\rho$
rotation/min	rotation per minute	rpm

## قائمة المختصرات

المختصر	المصطلح العلمي	المعنى
XRD	X-Ray Diffraction	حيود الأشعة السينية
ICSD	Inorganic Crystal Structure Database	قاعدة بيانات التركيب البلوري للمركبات اللاعضوية
FWHM	Full Width at Half Maximum	عرض المنحني لمنتصف القمة
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy	مطيافية الأشعة تحت الحمراء
AFM	Atomic Force Microscopy	مجهر القوة الذرية
FE-SEM	Field-Emission Scanning Electron Microscopy	المجهر الإلكتروني الماسح-الباعث للمجال
UV	Ultra Violet	الأشعة فوق البنفسجية
V.B.	Valence Band	حزمة التكافؤ
C.B.	Conduction Band	حزمة التوصيل

# الفصل الأول

## المقدمة

## والدراسات السابقة

## (1-1) المقدمة

## Introduction

يُعدُّ اكتشاف أشباه الموصلات أحد أهم الإنجازات العلمية والتكنولوجية الرئيسية في القرن العشرين وقد تسببت في تغييرات اقتصادية كبيرة وربما غيرت الحضارة نفسها [1]، إذ استلزم التنوع الواسع في تطبيقات أشباه الموصلات مؤخراً الحاجة إلى مادة عالية الحساسية ويسهل تصنيعها في الوقت نفسه [2]. ويرجع العدد الهائل من التطبيقات الناجحة للأغشية الرقيقة لمجموعة متنوعة من الأغراض العلمية والهندسية والصناعية إلى حد كبير إلى الفهم العلمي المتزايد بسرعة لطبيعة العمليات المستخدمة في ترسيب الأغشية الرقيقة [3]، وخلال العقود المنصرمين كان هناك زيادة في الاهتمام بتطوير أغشية رقيقة من مواد أشباه موصلات مختلفة لتطبيقها في تضخيم الضوء والطلاء الانتقائي الشمسي والخلايا الشمسية وأجهزة الاستشعار وذاكرة الكتلة البصرية وكاشفات أشعة كاما وما إلى ذلك [4]. وتلعب الأغشية الرقيقة دوراً مهماً في التكنولوجيا الحديثة ولها تطبيقات واسعة النطاق في مختلف قطاعات الصناعة الحديثة [5]، وأنَّ الاستخدام الأكثر نجاحاً وأهمية يظهر في التكنولوجيا الواسعة الانتشار للدوائر المتكاملة. ويظهر أيضاً كعناصر حيوية في مجالات متنوعة مثل أجهزة تحويل الطاقة الشمسية وعناصر فائقة التوصيل [6]، ومؤخراً الأغشية الرقيقة من كالكوجينيدات الكاديوم (Cadmium Chalcogenides) ومزجها مع عناصر من المجموعات III-VI تم تحديدها على أنها مرشحة واعدة خاصة للتطبيقات الكهروكيميائية الضوئية [7]، إذ تنتمي أشباه الموصلات المركبة إلى المجموعة الثانية السادسة (II – VI)، وبسبب فجوة الطاقة المباشرة والكبيرة نوعاً ما، فهي تُعدُّ مواد مهمة جداً لوجهة النظر العلمية والتكنولوجية [8].

## (2-1) تصنيف مواد الحالة الصلبة Classification of Solid State Materials

تُعدُّ الحالة الصلبة إحدى حالات المادة وتتميز بجسيمات مرتبة بحيث يكون شكلها وحجمها مستقرين، إذ تنقسم المواد الصلبة حسب انتقال الشحنة الإلكترونية تقليدياً إلى: [9]

(أولاً) المعادن:

هي المواد التي تقع فيها حزمة الطاقة المملوءة بالإلكترونات بجوار مستوى الطاقة الحرة للإلكترونات أو حتى تتداخل معها، وهي مفيدة بشكل خاص بسبب خصائصها عالية التوصيل الكهربائي، إذ تحتوي على عدد كبير جداً من الإلكترونات الحرة التي يمكنها بسهولة تكوين تيار تحت تأثير المجال الكهربائي [10, 11].

## (ثانياً) أشباه الموصلات:

هي المواد التي تكون خواصها الإلكترونية وسيطة بين خواص المعادن والعوازل [12]. ويتم تحديد خواصها الوسيطة من خلال التركيب البلوري وخواص الاواصر وتركيب حزم الطاقة [9].

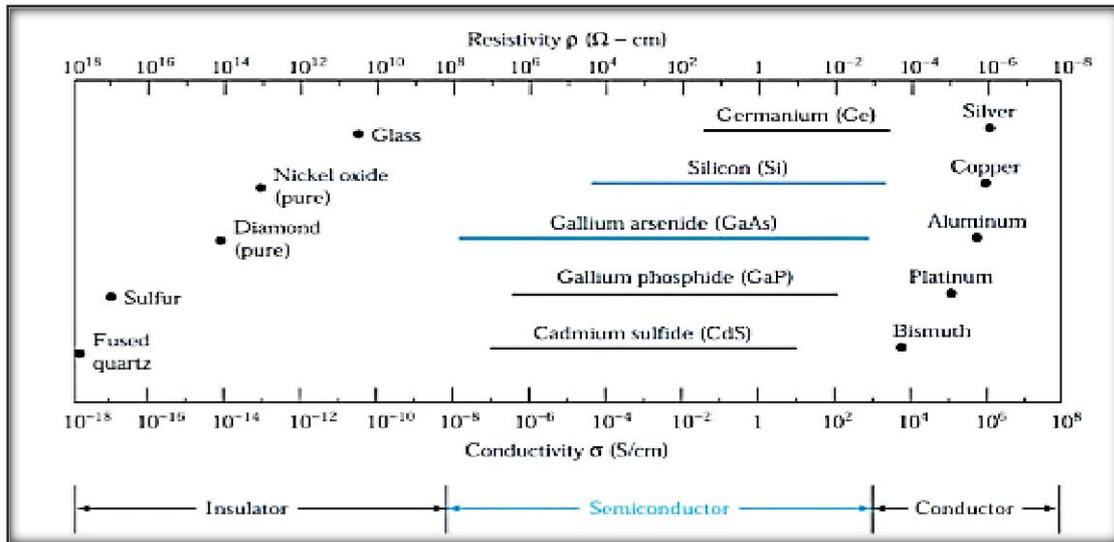
ثالثاً) العوازل:

هي مواد تكون فيها فجوة النطاق المحظورة واسعة جداً لدرجة أنها تقشل في إظهار التوصيل الإلكتروني في الظروف الاعتيادية [13]. تم جدولة التوصيلات النموذجية لبعض المعادن وأشباه المعادن وأشباه الموصلات والعوازل عند درجة حرارة الغرفة في الجدول (1-1)، ولا يقتصر سلوك أشباه الموصلات على المواد الصلبة فهناك أشباه موصلات سائلة. وتم العثور على بعض الهيدروكربونات العطرية لتكون من أشباه الموصلات. وتصبح أشباه الموصلات معدنية (موصلة) عند تطعيمها بشكل كبير [11].

الجدول (1-1) التوصيلية الكهربائية النموذجية لبعض المعادن وأشباه المعادن وأشباه الموصلات والعوازل عند درجة حرارة الغرفة [14].

نوع المادة الصلبة	$\sigma (\Omega.cm)^{-1}$	مثال
المعادن	$10^5 - 10^{10}$	Ag Pb Cu Au
أشباه المعادن	$10^2 - 10^5$	HgTe Graphite (G),
أشباه الموصلات	$10^{-9} - 10^2$	Si, Ge, GaAs, ZnSe
العوازل	$10^{-9}$	Quartz (SiO <sub>2</sub> ), CaF <sub>2</sub>

سنتناول دراسة المواد شبه الموصلة فقط في دراستنا الحالية، والشكل (1-1) يبين بعض أنواع المواد من حيث توصيليتها الكهربائية [15].



الشكل (1-1): التوصيلية الكهربائية لبعض المواد الصلبة [15].

### (3-1) الأغشية الرقيقة

### Thin Films

يستخدم مصطلح "الأغشية الرقيقة" لوصف طبقة أو عدة طبقات من ذرات مادة معينة يتراوح سمكها بين 10 نانومتر وأقل من مايكرومتر واحد (كونها رقيقة جداً). وترسب طبقة الغشاء الرقيق على قواعد أو ركائز معينة تم اختيارها وفقاً لطبيعة الدراسة أو الحاجة العلمية، إذ يمكن أن تكون هذه القواعد شرائح زجاجية أو رقائق سيليكون أو ألومنيوم أو كوارتز أو غيرها. وتختلف الخصائص الفيزيائية للأغشية الرقيقة عن تلك المتعلقة بخواص المواد الحجمية [16]، إذ تم تصنيع هذه الأغشية لأول مرة بواسطة Busen and Grove في عام 1852 باستخدام التفاعل الكيميائي. وفي عام 1857 تمكن العالم فاراداي من الحصول على غشاء معدني رقيق عن طريق التبخير الحراري. تم استخدام هذه الأغشية بشكل متنوع حيث يتم استعمالها في مجال تصنيع الوصلات p-n الترانزستور (Transistors) والنبائط ذات الطرفين كالمقومات (Rectifiers) والدوائر المتكاملة (Integrated Circuits) والاتصالات البصرية (Optical Communications) مثل الثنائيات الباعثة للضوء (Light Emitting Diodes) وأشعة الليزر لأشباه الموصلات (Laser of Semiconductors) والكواشف (Detectors) والخلايا الشمسية (Solar Cells) [17].

### (4-1) تقنيات تحضير الأغشية الرقيقة

### Thin Films Preparation Techniques

شهد مجال تحضير الأغشية الرقيقة تطوراً كبيراً مما أدى ذلك إلى ظهور التنوع في البحوث الخاصة بدراسة الخصائص الفيزيائية لهذه الأغشية. ولتحضير أغشية رقيقة ذات مواصفات على درجة عالية من النقاوة والدقة والسيطرة على سمك الغشاء وتجانسه يتطلب منظومات وأجهزة دقيقة ومعقدة ومكلفة جداً مما أدى كل ذلك إلى البحث عن طرق جديدة تكون فيها كلفة التحضير منخفضة وأجهزة التحضير أقل تعقيداً ومنها تقنية الطلاء البرمي (Spin Coating) للمحلول الهلامي (Sol-Gel) والتي باستخدامها يمكن الحصول على أغشية بمواصفات جيدة للدراسة والاستفادة منها في التطبيقات العملية وبشكل عام يمكن تقسيم تقنيات تحضير الأغشية الرقيقة إلى قسمين أساسيين هما: [18].

(أولاً) التقنيات الفيزيائية (Physical Techniques): مثل الترسيب الفيزيائي للبخار (PVD) والترسيب الطباقى للشعاع الجزيئي (Molecular Beam Epitaxy) والترنيد (Sputtering) وغيرها من التقنيات.

(ثانياً) التقنيات الكيميائية (Chemical Techniques): مثل الترسيب بالطور الغازي (Gas Phase Deposition) والترسيب بالمحلول (Solution Deposition) وكما موضح بالشكل (2-1) [19] وسيتم اعتماد تقنية الطلاء البرمي (Spin Coating) للمحلول الهلامي (Sol-Gel) لتكون التقنية المتبعة في هذا البحث.



الشكل (1-2): مخطط تقنيات تحضير الاغشية الرقيقة [20].

## Sol-Gel Method

## (5-1) طريقة السائل الهلامي

تُعدُّ طريقة السائل الهلامي (Sol-Gel) إحدى الطرائق الكيميائية الواعدة في علم المواد، إذ تسمح بتصميم المادة المطلوبة في درجات حرارة مختلفة، ويُعدُّ المسار الذي يوفره هذا النظام هو الأكثر ملائمة لصنع المواد التي تتمتع بخواص فريدة بشكل عام [21]، إذ يتيح الوصول إلى أشكال متعددة يصعب الحصول عليها بطرائق أخرى [22]، فهي تجمع بين التحكم في البنية المجهرية للتركيب على المستوى الذري والجزيئي والقدرة على تشكيل المواد وفق تكوينات مختلفة. وهي تعتبر طريقة مثالية لتحضير الألياف والمساحيق والمواد الخزفية والأنابيب النانوية والأغشية الرقيقة. ويستند مبدأ التوليف للسائل الهلامي على مادة كيميائية غروية تتمثل بمواد أولية ذات حالة صلبة لها قابلية على الذوبان في المذيبات لتنتج محاليل راتقة ومتجانسة تحت ظروف خاضعة للرقابة كالضغط ودرجة الحرارة وغيرها ثم يتم تحويل طورها المشتمل إلى مادة هلامية (Gel) لزجة نسبياً تحت تأثير الظروف ذاتها [23, 24]، إذ أنَّ تحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة اللزجة الهلامية تدعى بعملية السائل الهلامي (Sol-Gel) [25] وتمثل تقنية كيميائية رطبة تستخدم لتكوين أكاسيد غروية من المحاليل الكيميائية أو من الجسيمات ذات المقياس النانوي الغروية ويدعى Sol ومن ثم نظام متكامل هلامي يدعى Gel، وأنَّ الكوكسيدات المعدنية (Metal Alkoxides) هي أكثر العمليات تنوعاً لتحضير أكاسيد السائل الهلامي (Sol-Gel) حيث تخضع لأشكال متنوعة من تفاعل التحلل المائي والتكثيف المتعدد لتكوين المادة الهلامية، إذ يتكون النظام بصورة متجانسة داخل المذيب من جسيمات صلبة صغيرة يتراوح حجمها بين (1 نانومتر-1 مايكرومتر)، وأنَّ التفاعل الكيميائي بين الماء والمادة الأولية تدعى بعملية التحلل المائي، إذ تتطلب إزالة المراحل المتبقية من السوائل (المذيبات) عمليات تجفيف وتكون عادة مصحوبة بكميات كبيرة من الانكماش والتكثف لتكوين المادة المسامية ويتم زيادة عملية التكثيف وتعزيز الخواص الميكانيكية عن طريق المعالجة الحرارية [24, 26]. وهناك الكثير من المعلمات المؤثرة على عمليتي التكثيف والتحلل المائي في طريقة السائل الهلامي والتي تلعب دوراً مهماً في تحديد هيكلية وخصائص المواد المركبة وتشمل: الأس الهيدروجيني، النسبة المولارية، درجة الحرارة، نوع المادة، طبيعة المذيب، وظروف التعتيق (Ageing) والتجفيف (Baking or Drying) [27]. وهناك ميزات أخرى تتمتع بها طريقة Sol-Gel مقارنة مع الطرائق الأخرى ومنها: (i) إمكانية الحصول على النقاوة العالية والتجانس العالي المطلوب باستخدام المحفزات الكيميائية كالمثبتات (Stabilizers)، (ii) إمكانية التحضير بحرارة واطئة تؤدي إلى تقليل خطر التبلور وانفصال الأشكال والتفاعل (الاتحاد) بين المواد ذات الحرارة الواطئة مثل (البوليمرات، والمركبات العضوية، والسيراميك) [28].

ويمكن تقسيم عمليات الطلاء بطريقة السائل الهلامي (Sol-Gel) على النحو الآتي [29]:

▪ الطلاء بالغمر (Dip Coating).

- الطلاء بالترذيد (Spray Coating).
- الطلاء المسحوب (Drawdown Coating).
- الطلاء البرمي (Spin Coating).

## (6-1) تقنية الطلاء البرمي Spin Coating Technique

هي التقنية المستخدمة في دراستنا الحالية لتحضير الأغشية الرقيقة، إذ وصفت لأول مرة من قبل (Emslie) وجماعته عام (1958)، ومن ثم إجراء تبسيطات عديدة عليها بواسطة (Meyerhofer) في عام (1987) [30]، وتستخدم هذه التقنية على نطاق واسع لطلاء الأغشية بسلك محدد على قاعدة مستوية [31]. يتم في عملية الطلاء البرمي وضع قطرات من المحاليل المراد ترسيبها على الركيزة (القاعدة) وبعدها تبدأ القاعدة بالدوران إلى أن يتم الوصول للسرعة المطلوبة عن طريق الاستفاد من قوة الطرد المركزي والتي تعمل على انتشار المحلول على القاعدة وإخراج الفائض منه إلى حافة الركيزة المراد الطلاء عليها [32]. وأخيراً يترك الغشاء المرسب ليحفظ بعد الحصول على مقدار السمك المطلوب بعد تجفيفه وتلدينه (أي وضعه داخل فرن حراري لرفع صلابته وتماسكه وزيادة قوة تلاصقه مع القاعدة)، وأما الخصائص الأخرى فتعتمد على طبيعة كل من (لزوجة المحلول الهلامي ونسبة التجفيف وتركيز المواد الصلبة والشد السطحي وغيرها) [33]. ويمكن تقسيم عملية الطلاء الدوراني إلى مراحل أساسية عدة كما موضحة في الشكل (3-1) وهي [34, 35]:

### 1- مرحلة الترسيب أو الطلاء (Deposition or Coating).

يتم في هذه المرحلة توزيع المحلول على القاعدة ويمكن طلاءه بطرائق عدة نذكر منها:

- أن يتم وضع فقط قطرة صغيرة في منتصف قاعدة الترسيب.
- يتم غمر القاعدة بأكملها بالمحلول.
- أن يتم التدفق بصورة مستمرة على القاعدة إلى أن يغطي سطحها بأكملها، ويعتمد معدل القطرات على مساحة سطح القاعدة ولزوجة المحلول ليتم تغطية القاعدة بشكل كامل أثناء الدوران بسرعة عالية. وتستغرق هذه المرحلة بضع ثواني ليتم بعدها الانتقال إلى مرحلة بدء التدوير.

### 2- مرحلة بدء التدوير (Spin up).

يتم في هذه المرحلة بدء تدوير القاعدة والوصول إلى السرعة المطلوبة وعادة ما تؤخذ ضمن المدى بين (6000-1000 rpm) وبفعل تأثير قوى الطرد المركزي يتم نشر المحلول لتغطية القاعدة حتى حافات الخارجية، ويعتمد سمك طبقات الغشاء والذي يفضل أن يكون ضمن المدى

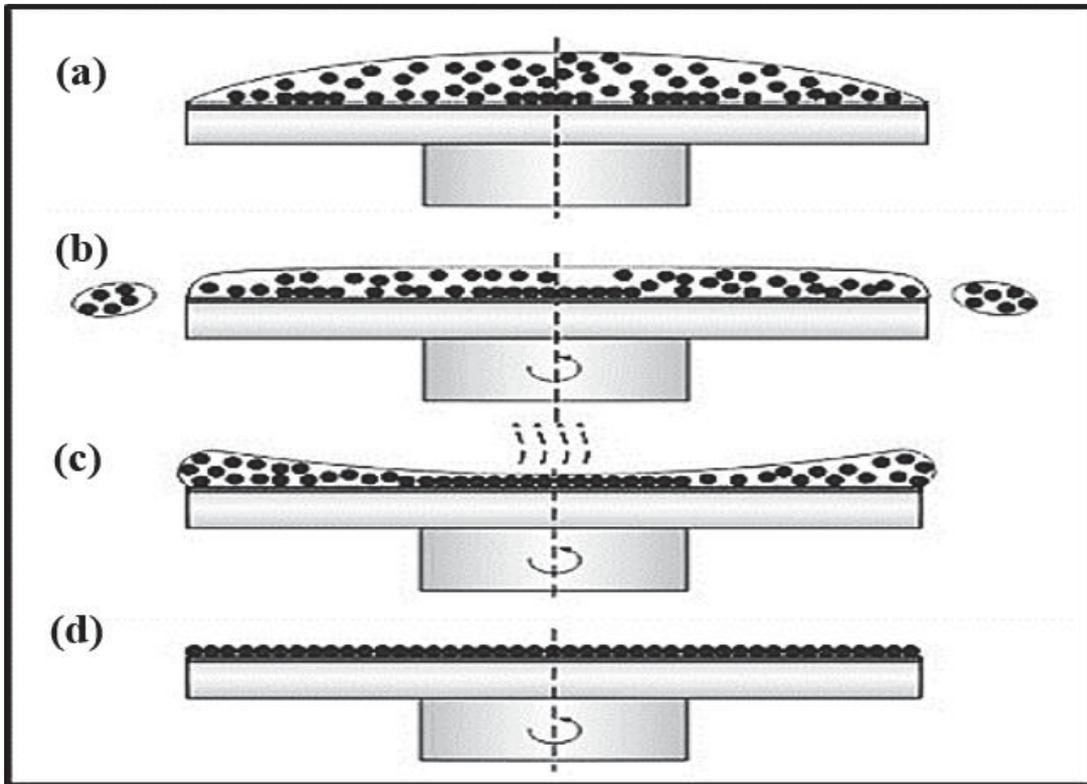
النانوي ( $< 1\mu\text{m}$ ) في هذه المرحلة على كل من سرعة وزمن الدوران. ومن ثم الانتقال مباشرة إلى مرحلة إنهاء التدوير.

3- مرحلة إنهاء التدوير (Spin off).

يتم في هذه المرحلة إزالة السوائل الفائضة من سطح القاعدة بتطايره على شكل قطرات بسبب النقص في السرعة الذي قد يكون عدة الاف الى بضعة عشرات دورة لكل دقيقة (Rotation per Minute).

4- مرحلة تبخر المذيب (Solvent Evaporation).

يتم في هذه المرحلة تبخر المذيب وبدء عمليات النمو والتنوي للمواد المذابة في المحلول الهلامي لإنتاج طبقة أو عدة طبقات منخفضة الانتشار تدعى بالغشاء الرقيق.



الشكل (3-1): مراحل عملية الطلاء البرمي (Spin Coating) [34].

(a) مرحلة الترسيب، (b) مرحلة بدء التدوير،

(c) مرحلة إنهاء التدوير، (d) مرحلة تبخر المذيب

وهناك عوامل عدة يتعين النظر إليها تؤثر على طبيعة تجانس الغشاء مثل: (تركيز المحلول ولزوجة المحلول، وزمن الدوران وسرعة الدوران، ونسبة تبخر المذيب). وتمتلك تقنية الطلاء البرمي للمحلول الهلامي (Sol-Gel Spin Coating Technique) إيجابيات عدة منها (سهولة الاستحصال

على المعدات اللازمة لعملية الطلاء، ويمكن ترسيب أكثر من طبقة ولمحاليل مختلفة على القاعدة نفسها، وكما يمكن وبكميات صغيرة من المحلول تغطية سطح العينة بالكامل من السائل المراد طلاءه). أما سلبيات هذه التقنية فتكمن في إشكالية السيطرة على سمك الأغشية وتجانسها عند القواعد الكبيرة، وصعوبة الحصول على نقاوة داخل الطبقات، وتشتت خواص محددة للمذيبات [36].

### (7-1) أكاسيد التوصيل الشفافة

#### Transparent Conducting Oxides (TCOs)

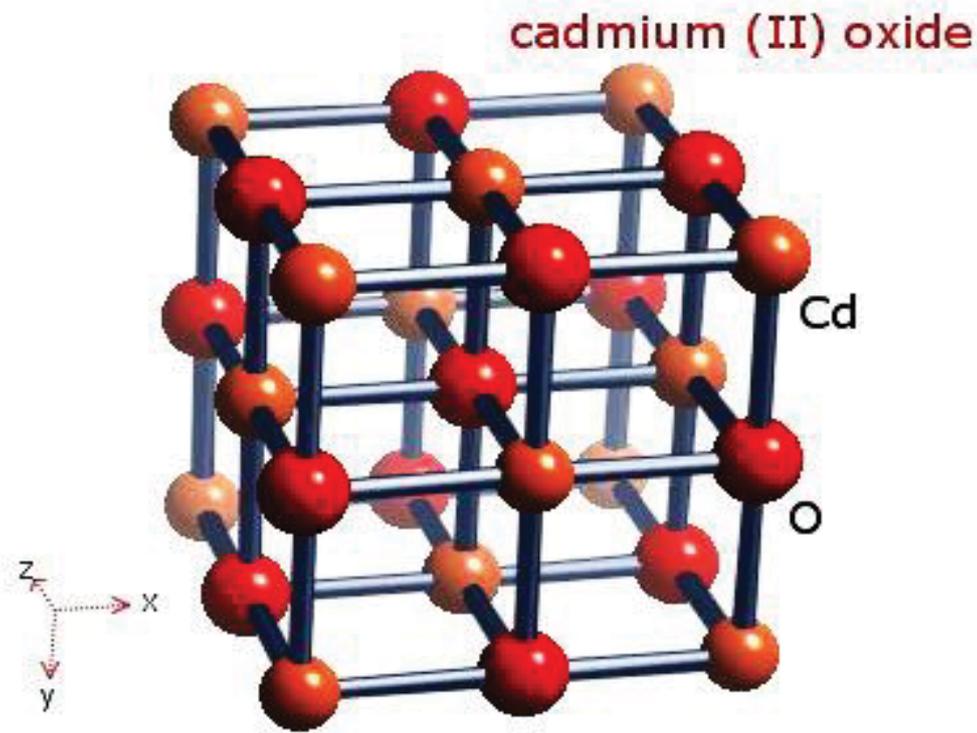
اتجهت البحوث الحديثة إلى الأكاسيد الموصلة الشفافة وذلك لأهميتها الكبيرة في التكنولوجيا، إذ استعملت بشكل واسع في العديد من التطبيقات منها المتحسسات الغازية ولوحات العرض المسطحة والنوافذ المعمارية وغيرها والمواد الالكترونية ذات أساس مؤلف من البوليمر [37]، ويمكن الحصول على الشفافية والتوصيلية العالية طبقة أو عدة طبقات رقيقة من أنواع مختلفة من المعادن المؤكسدة. وهذه الميزات يمكن الحصول عليها بشكل مناسب من أكاسيد الخارصين (ZnO) والاندنيوم ( $In_2O_3$ ) والقصدير ( $SnO_2$ ) والكاديوم (CdO) وسبائكها التي تكون على شكل طبقة رقيقة محضرة بإحدى تقنيات الترسيب. وفي عام (1907) ظهر أول بحث حول الأغشية الموصلة الشفافة من قبل الباحث (Badeker) تناول فيه تحضير أغشية أكسيد الكاديوم الرقيقة بتقنية التبريد بالأكسدة الحرارية للكاديوم [38]. وسنتناول بعض الأكاسيد الموصلة التي تخص دراستنا الحالية:

#### Cadmium Oxide (CdO)

#### (1-7-1) أكسيد الكاديوم

يُعرف أكسيد الكاديوم بأنه مركب كيميائي لا عضوي يمكن الحصول عليه (صناعياً) من التسخين الشديد لعنصر الكاديوم النقي في الهواء ودرجة حرارة معينة (دون درجة انصهاره) أما مختبرياً فيتم تحضيره بأكسدة بخار الكاديوم المترسب بوجود الهواء وفي أفران خاصة له قابلية على الذوبان في الحوامض وأملاح النشادر ولا يذوب في الماء أو القواعد [39, 40]. يمتلك أكسيد الكاديوم تواجداً في الطبيعة بهيئتين (صيغتين تركيبيتين) هما البلورية والعشوائية، وتمتاز هيئته التركيبية البلورية بأنها ذات لون بني في حين تمتاز هيئته التركيبية العشوائية بأنها عديمة اللون [41]. أما طبيعة تركيبه البلوري فإنه ذو تركيب بلوري مكعب متمركز الأوجه مشابه لتركيب بلورة كلوريد الصوديوم. وهذا يعني أنّ خلية الوحدة الاعتيادية الواحدة لبلورة المركب تحتوي على أربع نقاط شبكية يرافق كل نقطة من هذه النقاط أساس مكون من أيونين أحدهما أيون الكاديوم الموجب ( $Cd^{+2}$ ) والآخر أيون الأوكسجين السالب ( $O^{-2}$ )، وبذلك تضم خلية الوحدة الاعتيادية الواحدة أربعة

أيونات كاديوم موجبة، وأربعة أيونات أكسجين سالبة، أي أربع جزيئات من أكسيد الكاديوم، تحتل أيونات الكاديوم الموجبة رؤوس الخلية المكعبة الثمانية ومراكز أوجهها الستة بينما تحتل أيونات الأوكسجين السالبة مركز الخلية المكعبة ومنتصف كل ضلع من أضلاعها الاثني عشر، وعلى هذا الأساس فإن كل أيون يكون محاطاً بستة أيونات مخالفة له وتُعدُّ جاراَ أول لذلك الأيون. [42]. ينتمي أكسيد الكاديوم إلى المجموعة الثانية السادسة (II-VI) كما هو الحال بالنسب لمعظم المركبات الموصلية الشفافة التي تمتلك فجوة طاقة كبيرة نوعاً ما [8].



الشكل (4-1): التركيب البلوري لأوكسيد الكاديوم (CdO) [43].

هنالك حاجة كبيرة لأكاسيد موصلية شفافة جديدة (TCOs) على شكل أغشية رقيقة لاستخدامها في التطبيقات البصرية والكهربائية مثل شاشات العرض والشاشات التي تعمل باللمس والخلايا الشمسية والأقطاب الكهربائية الموصلية الشفافة. بشكل عام متطلبات معظم التطبيقات مقاومة صغيرة وحركية عالية ونفاذية بصرية أعلى من 80%. من بين أكاسيد المعادن العديدة جذبت أغشية أكسيد الكاديوم (CdO) الرقيقة الكثير من الاهتمام بسبب خصائصها البصرية والفيزيائية والإلكترونية بما في ذلك

انتقال ممتاز للضوء المرئي والتوصيلية الكهربائية الجيدة. من المعروف أنَّ أكسيد الكاديوم هو شبه موصل من نوع (n-type) ويمتلك فجوة طاقة مباشرة تتراوح بين 2.2eV الى 2.7eV. وهذه الخصائص تعتمد على التركيب المايكروبي والنانوبي وعلى التركيب البلوري لأوكسيد الكاديوم [44]. وفي الأجهزة ذات الحالة الصلبة يُعدُّ أكسيد الكاديوم (CdO) مادة شبه موصلة مهمة لتطوير التقنيات المختلفة، إذ أنَّ أغشية أكسيد الكاديوم الرقيقة تكون شفافة لطيف الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء، ويستعمل أكسيد الكاديوم في المنظومات الشمسية لزيادة كفاءتها بسبب امتلاكه لمعامل امتصاص عالٍ. فهو يستعمل في تصنيع الخلايا الشمسية كخلية (CdO/CdTe) كمفارق للخلايا الشمسية الهجينة (Heterostructure Solar Cells) التي تصل كفاءتها الى 9.1% وكأقطاب شفافة في تقنيات الخلايا الشمسية [45].

الجدول (2-1): بعض خصائص أكسيد الكاديوم [46].

المظهر	مادة صلبة	درجة الانصهار (°C)	1500
اللون	بني	ثابت الشبكة (Å)	4.695
الوزن الجزيئي (g/mol)	128.41	الكثافة (Kg/m <sup>3</sup> )	8.15

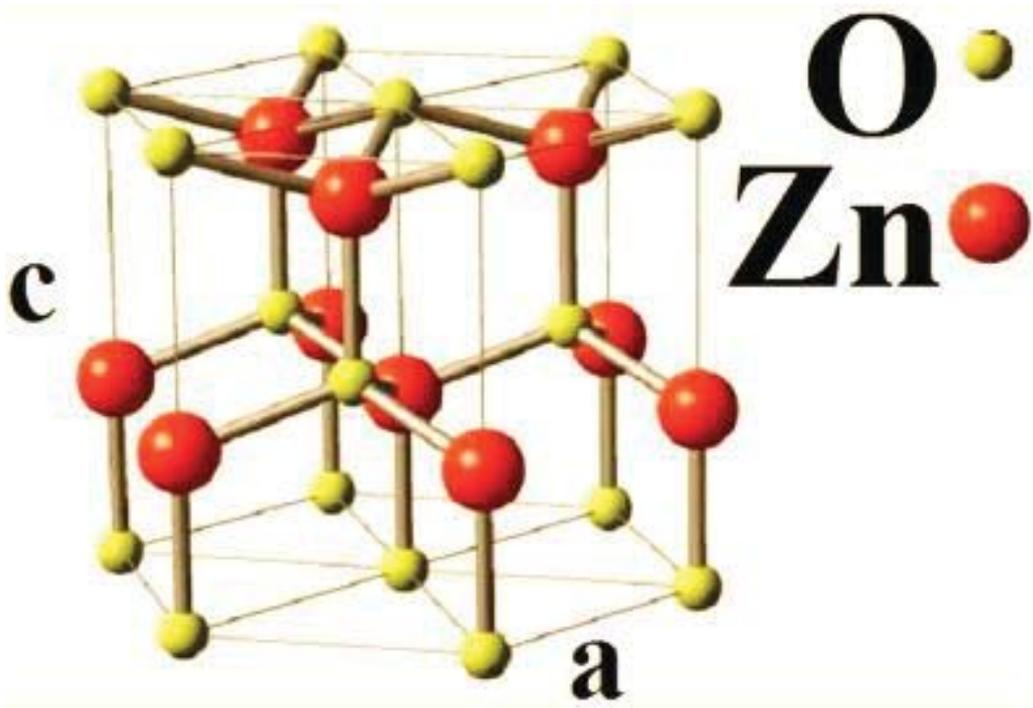
إنَّ أحد أكثر الطرق الفعالة هي بإضافة عنصر خارجي إلى تركيب أكسيد الكاديوم لزيادة كفاءة الاستخدام سواء بالخلايا الشمسية أو بالتناثيات الباعثة للضوء أو النوافذ الذكية أو الترانسزتورات أو المتحسسات الغازية وبهذا الخصوص فأنَّ خصائص التركيب البلوري والسطحي والبصري والكهربائي والميكانيكي يمكن تحسينها بالتطعيم بعنصر خارجي، إذ أنَّ تماسك الحجم الأيوني هو أحد أهم المؤثرات الواجب أخذها بنظر الاعتبار عند اختيار عنصر التطعيم. وجد أنَّ الخصائص الكهربائية لأوكسيد الكاديوم يمكن التحكم بها إذا كان نصف القطر الأيوني لعنصر التطعيم قريب أو أصغر من نصف القطر الأيوني للكاديوم ( $Cd^{2+} \text{ ions} = 0.95 \text{ \AA}$ ) [47].

## (2-7-1) أوكسيد الخارصين

## Zinc Oxide (ZnO)

يُعدُّ أوكسيد الخارصين مادة شبه موصلة شفافة ذات فجوة طاقة كبيرة (3.37 eV) وذو نفاذية عالية للضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية وهو ذو تركيب سداسي متعدد التبلور، إذ يمتلك ثابت شبكية مقداره ( $a=3.25 \text{ \AA}$ ,  $c = 5.12 \text{ \AA}$ )، وإنَّ كل ذرة خارصين (Zn) تكون مرتبطة بشكل رباعي السطوح (Tetrahedrally) مع أربع ذرات اوكسجين (O)، وينتمي (ZnO) إلى المجموعة الثانية-السادسة (II-VI) ذو نصف قطر أيوني ( $\text{Zn}^{2+} \text{ ions} = 0.74 \text{ \AA}$ ) وبذلك فهو يمتلك نصف قطر أيوني أصغر من نصف القطر الأيوني للكاديوم ( $\text{Cd}^{2+} \text{ ions} = 0.95 \text{ \AA}$ )، فيمكن استعماله في تطعيم أغشية أوكسيد الكاديوم الرقيقة [48].

إهتم المجتمع العلمي مؤخراً بشكل واسع بدراسة أوكسيد الخارصين (ZnO)، إذ تم دراسته بصورة كبيرة منذ عام (1935) وذلك لأهمية هذا المركب في الصناعات والتكنولوجيا الحديثة حيث ترجع هذه الأهمية لامتلاكه فجوة طاقة واسعة مقدارها (3.37 eV) وطاقة ترابط (الالكترون-فجوة) كبيرة مقدارها (60 meV) وبذلك فهو يستعمل في كثير من الأجهزة والنبائط المختلفة من ضمنها النبائط البصرية وفوق البنفسجية والنبائط الألكترونية والكهروضوئية والمتحسسات والنبائط ذات الأساس نانوي التركيب مثل أجهزة العرض (displays) [48].



الشكل (5-1): التركيب البلوري لأوكسيد الخارصين [49].

## (3-7-1) أوكسيد الكوبلت

Cobalt Oxide ( $\text{Co}_3\text{O}_4$ )

جذبت المواد ذات الأساس المكون من أوكسيد الكوبلت ( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ) إهتماماً كبيراً في مجال التطبيقات العلمية والتكنولوجية وخصوصاً معدن أوكسيد الكوبلت ذو التركيب ( $\text{Co}^{\text{II}}\text{Co}^{\text{III}}_2\text{O}_4$ ) وجذب أيضاً الإهتمام في إنتاج متحسسات الحالة الصلبة و كمرکبات لخرن الطاقة [50]، ويمتلك أوكسيد الكوبلت تركيب بلوري من النوع المكعب (Cubic)، إذ يتكون التركيب البلوري لأوكسيد الكوبلت من أيون الكوبلت ( $\text{Co}^{2+}$ ) بحالتي أكسدة ( $\text{Co}^{2+}$ ) و ( $\text{Co}^{3+}$ ) مختلفتين شاغلة بذلك مواقع رباعية الأسطح (8a) وثمانية الاسطح (16a) على التوالي وثابت شبكية مقداره (8.08 Å) ونصف قطر ايوني (0.72 Å) [51]، ويمتلك أوكسيد الكوبلت توصيلية من نوع p-type عند درجات الحرارة الواطنة وتوصيلية n-type عند درجات الحرارة العالية وهو ذو فجوة طاقة مقدارها (1.6 eV) [52, 53].



الشكل (6-1): التركيب البلوري لأوكسيد الكوبلت (II) [52].

## Litreture Survay

## (8-1) الدراسات السابقة

- قام الباحثون (Ghosh et al., 2005) [54] بدراسة تراكيب من أغشية أكسيد الكاديوم نانوية التركيب والمحضرة بتقنية الطلاء بالغس للمحلول الهلامي (Sol-Gel) على قواعد من السيليكون والزجاج. وأظهرت نتائج حيود الأشعة السينية (XRD) أنّ أغشية أكسيد الكاديوم (CdO) المحضرة هي من النوع المكعب وأنّ شدة قمم حيود الأشعة السينية (XRD) تزداد أيّ أنّ المادة قد تحسن تبلورها عند درجات الحرارة العالية وبيّنت صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) بأنّ تركيب أغشية أكسيد الكاديوم (CdO) متناهية الصغر هي بمعدل حجم حبيبي يقع بين (1.6- 9.3 nm). بين قياس طيف الأشعة فوق البنفسجية-المرئي (UV-Visible Spectroscopy) أنّ الأغشية المحضرة ذات نفاذية قيمتها تقريبا (75 %) ضمن مدى الأطوال الموجية (800 – 500 nm) وفجوة الطاقة المباشرة لها تقع ضمن المدى (2.86–3.69 eV).
- استخدم الباحثون (Leon – Gutierrez et al., 2006) [55] تقنية الترسيب بالحمام المائي (Chemical Bath Deposition) لتحضير أغشية أكسيد الكاديوم غير المطعمة والمطعمة بالقصدير (Sn) وكانت جميع الأغشية المحضرة متبلورة لمادة (CdO<sub>2</sub>) ومن خلال التلدين تتحول الى (CdO) بتركيب من النوع المكعب. وتمتلك الأغشية غير المطعمة فجوة طاقة بصرية تتراوح قيمتها بين (2.32-2.54 eV) ولها توصيلية كهربائية ( $8 \times 10^{-4} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ ) أما الأغشية المطعمة بالقصدير فكانت فجوة الطاقة البصرية لها (3.6 eV).
- قام الباحث (Ilican et al., 2009) وآخرون [56] بتحضير أغشية أكسيد الكاديوم غير المطعمة والمطعمة بالألمنيوم (Al) بالنسب الوزنية (x=1, and 3 wt%) على قواعد زجاجية بطريقة الإذابة بالمحلول الهلامي (Sol-Gel) وأظهرت نتائج حيود الأشعة السينية (XRD) أنّ جميع الأغشية المحضرة غير المطعمة منها والمطعمة بالألمنيوم كانت متعددة التبلور (Polycrystalline) من النوع المكعب وبالاجته السائد والمفضل للنمو (111). وبيّنت نتائج القياسات البصرية أنّ قيمة فجوة الطاقة البصرية (Optical Energy Gap) لأغشية أكسيد الكاديوم غير المطعمة تزداد بزيادة نسب التطعيم من (2.476 eV) للأغشية غير المطعمة الى (2.682 eV) للأغشية المطعمة بالنسبة (3wt.%)، وكذلك تم اعتماد طيف النفاذية وطيف الانعكاسية لحساب الثوابت البصرية للأغشية المحضرة من معامل انكسار ومعامل الخمود وثابت العزل البصري بجزأيه الحقيقي والخيالي.
- درس الباحث (Kumaravel et al., 2010) وآخرون [57] تأثير التطعيم بالانديوم (In) على أغشية أكسيد الكاديوم المحضرة بطريقة التحلل الحراري على قواعد مصنوعة من الزجاج

وبتراكيز تطعيم مختلفة ( $x = 2-8 \text{ wt}\%$ ) في محلول التريزيد، إذ بينت فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) بأن أغشية أكسيد الكاديوم غير المطعمة أنها متعددة التبلور وبالالاتجاه السائد (200). وأن زيادة تركيز التطعيم يؤدي إلى زيادة في شدة قمم الحيود للأغشية وإعادة التوجيه البلوري باتجاه المستوي البلوري (111). وبينت الفحوصات البصرية أن قيمة فجوة الطاقة البصرية تزداد بازدياد نسب التطعيم، إذ بلغت أعلى قيمة لها ( $2.72 \text{ eV}$ ) عند ( $x=6 \text{ wt. \%}$ ) لغشاء أكسيد الكاديوم المطعم و ( $2.36 \text{ eV}$ ) للغشاء غير المطعم.

• حضر الباحث (Khan et al., 2010) وآخرون [58] أغشية أكسيد الكاديوم النانوية بطريقة التحلل الكيميائي الحراري ودراسة تأثير تطعيم أغشية (CdO) بالألمنيوم (Al)، إذ بينت الدراسة أن تبلور الأغشية عالي وحجمها البلوري يبلغ ( $18.32 \text{ nm}$ ) وتركيبها البلوري من النوع المكعب وثابت شبكتها يساوي ( $4.6877 \text{ nm}$ ). ووجد أن فجوة الطاقة المباشرة لأغشية أكسيد الكاديوم غير المطعمة هي ( $2.46 \text{ eV}$ ) وتقل بزيادة نسب التطعيم بالألمنيوم وأن التطعيم يسبب نقص في النفاذية البصرية. وتبين أيضاً أن ثابت العزل ومعامل الانكسار يتغيران مع تغير تركيز Al وطاقة الفوتون. أظهرت نتائج القياسات الكهربائية أن الأغشية غير المطعمة تتصرف كمواد عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة جداً وسلوكها هذا يتغير مع التطعيم بالألمنيوم. وقد أظهرت أيضاً نتائج القياسات الكهربائية أن الأغشية المحضرة تمتلك حاملات شحنة من النوع السالب (n-type) وتركيز حاملات الشحنة يقرب من ( $10^{21} \text{ cm}^{-3}$ ).

• حضر الباحث (Auphanoglu., 2011) [59] أغشية أكسيد الكاديوم نانوية التركيب غير المطعمة والمطعمة بالنيكل (Ni) بطريقة الطلاء البرمي للمحلول الهلامي (Sol-Gel) وأظهرت نتائج مجهر القوة الذرية (AFM) أن أغشية أكسيد الكاديوم الرقيقة تشكلت من جسيمات نانوية التركيب وأن الحجم الحبيبي يتغير مع تغير تركيز النيكل. وبينت نتائج قياسات حيود الأشعة السينية أن أغشية أكسيد الكاديوم غير المطعمة والمطعمة بالنيكل (Ni) هي متعددة التبلور وذات تركيب مكعبي مشابه لتركيب بلورة كلوريد الصوديوم (NaCl) وأن قمم الحيود تشير إلى أن الاتجاهات البلورية السائدة هي باتجاه المستوي (111) والمستوي (200). وأظهرت النتائج البصرية أن قيم فجوة الطاقة لأغشية أكسيد الكاديوم غير المطعمة تقع ضمن المدى ( $2-26-2.60 \text{ eV}$ ) وتزداد قيمتها بزيادة نسب التطعيم ويمكن التحكم بقيمة فجوة الطاقة البصرية والحجم الحبيبي لأغشية أكسيد الكاديوم عن طريق تطعيمها بذرات النيكل (Ni).

• قام الباحث (Serbetci et al., 2011) وآخرون [60] بتحضير ودراسة أغشية أكسيد الكاديوم غير المطعمة والمطعمة بالأنتيمون (Sb) بطريقة الطلاء البرمي للمحلول الهلامي (Sol-Gel). تم فحص الخصائص التركيبية بواسطة مجهر القوة الذرية (AFM) وتبين أن تركيب أغشية (CdO)

الرقيقة تحول من حجم مايكروني إلى نانوي عند تطعيمها بالأنثيمون (Sb) وأظهرت نتائج قياسات الامتصاصية البصرية أن فجوة الطاقة تتغير بتغير نسب التطعيم، إذ أن قيم فجوة الطاقة البصرية لأغشية (CdO) المطعمة بالأنثيمون بالنسب (x= 0.1, 0.5, 1.0, and 2.0 wt%) كانت (2.28, 2.30, 2.56, and 2.42 eV) على التوالي. وأن الثوابت البصرية الأخرى مثل معامل الانكسار وثابت العزل تم حسابها من البيانات البصرية.

• درس الباحث (Gupta et al., 2011) وآخرون [61] تأثير التطعيم بالنحاس (Cu) على أغشية أكسيد الكاديوم الرقيقة نانوية التركيب والمحضرة بتقنية الطلاء البرمي (Spin Coating) للمحلول الهلامي (Sol-Gel). وتم استخدام مجهر القوة الذرية للكشف عن الحجم الحبيبي والتركيب السطحي وأظهرت قياسات (A $\square$ M) أن الحجم الحبيبي للغشاء هو نانوي التركيب ويتناقص بزيادة التطعيم بالنحاس (Cu) وبينت القياسات البصرية أن فجوة الطاقة تزداد بزيادة نسب التطعيم بالنحاس.

• قام الباحث (Sonmezoglu et al., 2013) وآخرون [62] بتأثير التطعيم بواسطة التيليريوم (□e) على خصائص أغشية أكسيد الكاديوم الرقيقة نانوية التركيب المحضرة بطريقة الطلاء البرمي للمحلول الهلامي (Sol-Gel) والمطعمة بتراكيز مختلفة من (□e) (x= 1, 3, 5, 7, and 10 wt.%). وأظهرت نتائج قياسات حيود الأشعة السينية أن جميع الأغشية المحضرة كانت متعددة التبلور وذات تركيب مكعبي وبتجاهات سائدة (111) و (200) و (311)، وأن تركيب أغشية (CdO) غير المطعمة والمطعمة بالتيليريوم (Cd□eO<sub>3</sub>) هو أحادي الميل (monoclinic) وبتجاه المستوي البلوري (211) وشدة قمم الحيود غير مستقرة، إذ تتناقص مع زيادة نسبة التطعيم. بينت صور (□E-SEM) أن الجسيمات موزعة بشكل متجانس على سطح القاعدة وأن الحجم الحبيبي يزداد من (27-121 nm) بزيادة نسبة التطعيم. وأظهرت نتائج القياسات البصرية أن أعلى قيمة للنفاذية (87 %) عند نسبة التطعيم (1 %) وتزداد قيمة فجوة الطاقة البصرية من (2.50 eV) إلى (2.60 eV) بزيادة نسبة التطعيم.

• درس الباحث (Al□hayat et al., 2014) [63] وآخرون تأثير التلدين على أغشية أكسيد الكاديوم الرقيقة ذات التراكيب النانوية والمحضرة بتقنية الطلاء البرمي للمحلول الهلامي (Sol-Gel) وبعد ترسيب أربعة طبقات على قواعد زجاجية وتجفيفها بدرجة حرارة مقدارها (100 °C) ومن ثم تلدين العينات عند درجات حرارة (300, 400, and 500 °C). بينت نتائج فحوصات نمط حيود الأشعة السينية (XRD) التركيب المتعدد التبلور للأغشية من النوع المكعب مشابه لبلورة (□aCl)، وأظهرت صور (SEM) أن الحجم الحبيبي لأغشية (CdO) يزداد مع زيادة درجة حرارة التلدين ضمن المدى (23.97-30.47 nm) وهذا يبين أن الأغشية المحضرة هي نانوية

التركيب. وأظهرت القياسات البصرية زيادة الامتصاصية ونقص النفاذية مع ارتفاع درجة حرارة التلدين يرافقتها نقص في قيم فجوة الطاقة من (2.556 eV) الى (2.081 eV) عند درجات حرارة التلدين (300-400 °C) على التوالي.

• درس الباحث (Ubale et al., 2014) وآخرون [64] الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية لأغشية (CdO) التي تم ترسيبها بتقنية الطلاء البرمي للمحلول الهلامي (Sol-Gel) وأظهرت قياسات نمط حيود الأشعة السينية وقياسات المقاومة الكهربائية والقياسات البصرية على التوالي أنّ الأغشية المحضرة ذات تراكيب نانوية متعددة التبلور من النوع المكعب، وأنّ التغير في قيم المقاومة الكهربائية مع تغير درجة الحرارة يؤكد بأنّ الأغشية ذات طبيعة شبه موصلة، وأنّ قيمة فجوة الطاقة البصرية لغشاء أكسيد الكاديوم هي (3.42 eV).

• قام الباحث (ymavathi et al., 2014) وآخرون [65] بدراسة تأثير درجة الحرارة على الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية أكسيد الكاديوم الرقيقة المطعمة بالكروم والمحضرة بتقنية التريز الممغنط التفاعلي المستمر (DC Reactive Magnetron Sputtering) والمرسبة على قواعد زجاجية عند درجات حرارة مختلفة. أظهرت نتائج (XRD) أنّ الأغشية متعددة التبلور من النوع المكعب بالاتجاه السائد والمفضل للنمو (200). تم دراسة التركيب السطحي النانوي وتركيز العناصر داخل مادة الغشاء بواسطة (E-SEM) وطيف (EDS) على التوالي. وأظهرت نتائج القياسات الكهربائية أنّ أقل مقاومة كهربائية للأغشية المطعمة كانت  $1.92 \times 10^{-4}$  [Ω. cm] عند درجة حرارة القاعدة (350°C). وبينت الفحوصات البصرية أنّ حافة الامتصاص البصرية اتجهت باتجاه أقل طول موجي مع ارتفاع درجة حرارة القاعدة. وأنّ فجوة الطاقة البصرية لغشاء (CdO) المطعم بالكروم ازدادت قيمتها مع ارتفاع درجة حرارة القاعدة وتعزى هذه الزيادة إلى تحسن تبلور الغشاء وإلى تأثير (Burstein-Moss).

• درس الباحث (El Sayed et al., 2014) وآخرون [66] الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية أكسيد الكاديوم النانوية المطعمة بالكوبلت (Co) بنسب وزنية (X= 0.0 – 8.0 wt.% Co) والمحضرة بتقنية الطلاء البرمي (Spin Coating) للمحلول الهلامي (Sol-Gel) على قواعد زجاجية. أظهرت قياسات (XRD) أنّ أغشية (CdO) النانوية ذات تراكيب متعددة التبلور من النوع المكعب وأنّ التبلور قد تدهور عند النسب المرتفعة للكوبلت (Co). وأظهرت صور (A<sub>2</sub>M) تناقص حجم الحبيبات لأغشية (CdO) بارتفاع نسب التطعيم بالكوبلت (Co). وبينت نتائج القياسات البصرية نقص قيم فجوة الطاقة البصرية من (2.580 eV) الى (2.378 eV) مع ارتفاع نسب التطعيم بالكوبلت (Co)، كما تحسنت خواص كل من معامل الانكسار والتوصيلية البصرية مع ارتفاع نسب التطعيم بالكوبلت.

- درس الباحث (Usharani et al., 2015) [67] وآخرون تأثير تركيز التطعيم بالمغنيسيوم على الخصائص التركيبية والسطحية والبصرية والكهربائية لأغشية أكسيد الكاديوم الرقيقة نانوية التركيب والمحضرة بتقنية الرش الحراري الكيميائي والمرسبة على قواعد زجاجية عند درجة حرارة (375 °C) وبنسب تطعيم (x= 0, 2, 4, 6, and 8 wt.%)، إذ بينت نتائج (XRD) أنَّ جميع الأغشية متعددة التبلور من النوع المكعب وباتجاه سائد ومفضل (111). وأظهرت فحوصات (SEM) تحول شكل السطح من حبيبات كروية الى شكل Cauliflower مقلد نانوي التركيب عند التطعيم بالمغنيسيوم (Mg) ماعدا الأغشية المطعمة بنسبة (2 %). أظهرت نتائج القياسات الكهربائية أنَّ الأغشية المطعمة (CdO/Mg) بنسبة (8 %) تمتلك أصغر مقاومة كهربائية قيمتها  $[0.0853 \times 10^1 (\Omega \cdot \text{cm})]$ .
- قام الباحث (Ibaier., 2015) [68] بدراسة تأثير التلدين على خصائص أغشية أكسيد الكاديوم (CdO) الرقيقة المحضرة بطريقة الرش الحراري الكيميائي والمرسبة على قواعد مصنوعة من الزجاج الاعتيادي. تم دراسة الخواص التركيبية والبصرية للأغشية المحضرة عند درجات حرارة تلدين مختلفة (100, 200, and 300 °C). وأظهرت نتائج فحوصات نمط حيود الاشعة السينية أنَّ الأغشية المحضرة متعددة التبلور ذات شبكية من النوع المكعب باتجاه سائد ومفضل للنمو للمستوي البلوري (111). وأظهرت نتائج القياسات البصرية باستعمال مطياف (UV-VIS Spectroscopy) أنَّ فجوة الطاقة المباشرة تناقصت من (3 eV) الى (2.75 eV) عند رفع درجة حرارة التلدين من (200-300 °C) وهذا الانخفاض في فجوة الطاقة يعزى إلى الزيادة في تموضع الحالات في فجوة الطاقة والمشار إليها بواسطة طاقة اورباخ وإلى الزيادة في حجم البلوريات.
- درس الباحث (Usharani et al., 2015) وآخرون [69] بدراسة تأثير التطعيم على الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية لأغشية أكسيد الكاديوم (CdO) غير المطعمة والمطعمة بالخاصين وبنسب ذرية مختلفة (n at.% 0, 2, 4, 6, and 8) والمحضرة بطريقة الرش الحراري الكيميائي على قواعد زجاجية بدرجة حرارة (375°C). وأظهرت نتائج (XRD) أنَّ الأغشية الرقيقة المحضرة ذات تراكيب متعددة التبلور من النوع المكعب بالاتجاه السائد للنمو (111)، وعند التطعيم بالخاصين (n) تتجه قمم الحيود نحو زوايا أعلى قيمة، ووجد أنَّ حجم البلوريات للأغشية المحضرة يقع ضمن المدى (28-37nm). وبينت نتائج القياسات البصرية أنَّ قيمة فجوة الطاقة لأغشية أكسيد الكاديوم تزداد عند التطعيم بالخاصين وتصل أعلى قيمة لها (2.65 eV) عند التطعيم بنسبة (6 at%) وتقل عند نسب التطعيم الأكبر. وأظهرت الخصائص الكهربائية أنَّ تطعيم أغشية (CdO) بالخاصين يسبب نقص في قيم المقاومة الكهربائية حتى تصل إلى اقل قيمة لها عند التطعيم بنسبة (6 at%).

- درس الباحث (Chirumoorthi et al., 2016) وآخرون [70] تأثير التطعيم بتركيز مختلفة من القصدير (Sn) على الخصائص الفيزيائية لأغشية أكسيد الكاديوم الرقيقة المحضرة بتقنية الطلاء البرمي للمحلول الهلامي (Sol-Gel). أظهرت قياسات (XRD) أنّ التركيب البلوري للأغشية المحضرة متعدد التبلور من النوع المكعب وذو اتجاه بلوري مفضل بالمستوي (111). وأكدت نتائج فحوصات مطيافية (EDX) وجود عناصر القصدير والكاديوم والأوكسجين في الغشاء. فسر تأثير (Burstein-Moss) الزيادة في قيمة فجوة الطاقة البصرية من (2.42 eV) الى (2.96 eV). بينت القياسات الكهربائية أنّ أصغر قيمة للمقاومية مقدارها ( $1.12 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ) مع أكبر عدد لحاملات الشحنة ( $9.94 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ ) عند تطعيم أغشية أكسيد الكاديوم بنسبة (5 wt.% Sn).
- قام الباحث (Ushrani et al., 2016) وآخرون [71] بدراسة تأثير التطعيم بعنصر الكلور على أغشية أكسيد الكاديوم المطعمة ثنائياً بعنصري الخارصين والمغنيسيوم والمحضرة بتقنية الرش الحراري الكيميائي، إذ وجد أنّ جميع الأغشية غير المطعمة والمطعمة ( $\text{Mg co doped}$ ) ( $\text{CdO}$ ) ( $\text{MCO}$ ) هي ذات تركيب متعدد التبلور بالاتجاه السائد (111) ويتغير إلى الاتجاه السائد (200) عند تطعيمها بالكلور (Cl) والذي يحسن النفاذية البصرية لأغشية ( $\text{MCO}$ ) ويسبب زيادة في قيمة فجوة الطاقة البصرية (Blue Shift) والتي يعزى سببها الى تأثير (Burstein-Moss) (BM). وأظهرت النتائج تحسن الخصائص الكهربائية بزيادة حاملات الشحنة لأغشية ( $\text{MCO}$ ) عند تطعيمها بالكلور كما يعزز الكلور (Cl) الخصائص الفيزيائية لأغشية ( $\text{MCO}$ ) ويجعلها أكثر ملائمة للتطبيقات الكهروضوئية.
- حضّر الباحث (Ben Miled et al., 2017) وآخرون [44] أغشية أكسيد الكاديوم بتركيز مختلفة بتقنية الطلاء البرمي (Spin Coating) للمحلول الهلامي (Sol-Gel) ودراسة تأثير التلدين وتركيز أيون الكاديوم ( $\text{Cd}^{2+}$ ) في المحاليل البدائية على الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية لأغشية (CdO). ووجد أنّ (450 °C) تُعدُّ أفضل درجة حرارة تلدين (درجة حرارة التلدين المثالية) للحصول على أغشية أكسيد الكاديوم ذات نفاذية عالية للضوء المرئي وطيف الأشعة تحت الحمراء القريب إضافة إلى توصيلية كهربائية عالية. ثم باستخدام درجة حرارة التلدين المثالية تم ترسيب أغشية أكسيد الكاديوم بتركيز مولية مختلفة تحت نفس ظروف التحضير. وأظهرت أنماط حيود الأشعة السينية أنّ جميع عينات الأغشية المحضرة ذات تركيب متعددة التبلور من النوع المكعب. أظهرت القياسات البصرية أنّ زيادة التركيز المولاري للكاديوم يؤدي إلى نقص في قيم النفاذية البصرية وبدوره يؤدي إلى زيادة الامتصاصية. حيث سجلت أعلى امتصاصية للضوء المرئي عند الطول الموجي الأقل من (600 nm) وتتأثر بشدة بسمك الغشاء. وفي الوقت نفسه

تناقصت قيم فجوة الطاقة البصرية من (2.15-2.35 eV) عند زيادة التركيز المولاري للمحاليل البدائية. وأظهرت نتائج الفحوصات الكهربائية تغيراً في المقاومة الكهربائية حيث ازدادت قيمتها من  $[2.7 \times 10^{-3} - 7.5 \times 10^{-3} (\Omega \cdot \text{cm})]$  مع زيادة التركيز المولاري، وأن أقل قيمة للمقاومة الكهربائية  $[2.7 \times 10^{-3} (\Omega \cdot \text{cm})]$  لأغشية أكسيد الكاديوم سجلت عند التركيز المولاري (0.1M) لأيون الكاديوم في المحاليل البدائية المعتمدة في تحضير أغشية (CdO) الرقيقة يقابلها قيم كل من حاملات الشحنة وتحركية الحاملات  $(1.6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3})$ ،  $(199 \text{ cm}^2 \text{Vs})$  على التوالي.

- درس الباحث (urgut., 2017) [47] تأثير التطعيم بأيون الرصاص (Pb) وبنسب وزنية مختلفة (0, 1, 2, 3, 4, and 5 wt%) على خصائص أغشية أكسيد الكاديوم المحضرة بتقنية الطلاء البرمي للمحلول الهلامي (Sol-Gel). بينت قياسات (XRD) الطبيعة المتعددة التبلور ذات شبكية مكعبة بالاتجاه السائد والمفضل للنمو (111) لجميع الأغشية المحضرة نانوية التركيب وأن حجم البلوريات يزداد مع زيادة نسبة التطعيم بالرصاص (Pb) وهذه الزيادة تؤدي إلى نقص في قيم كثافة الانخلاعات. وأظهرت فحوصات (A-M) و (SEM) الحجم الحبيبي الكروي نانوي التركيب. مع ازدياد خشونة السطح من (5.97, 8.28, 8.89, 17.9, 22.7, and 39.3 nm) على التوالي مع زيادة نسب تركيز الرصاص بغشاء (CdO)، كما أظهرت القياسات البصرية زيادة في قيم فجوة الطاقة البصرية وقيم طاقة أورباخ لغشاء (CdO) غير المطعم مع زيادة نسب التطعيم، إذ ازدادت قيمهما من (2.61eV)، (371meV) إلى (2.76eV)، (390meV) عند تركيز الرصاص بنسبة (3%) ومن ثم تبدأ القيمتان بالنقص بزيادة تركيز الرصاص (Pb).
- قام الباحث (Velusamy et al., 2018) وآخرون [72] بدراسة تأثير التطعيم بالكوبلت وبنسب وزنية مختلفة على أغشية أكسيد الكاديوم الرقيقة المحضرة بطريقة الرش الحراري الكيميائي ومعرفة مدى تأثيرها في تحسين خواص التحسس الغازي والخواص الكهروضوئية. أظهرت قياسات (XRD) انتقال قمم الحيود للاتجاه السائد والمفضل للنمو من المستوي (111) إلى المستوي (200) مع ارتفاع نسب تطعيم أغشية (CdO) بالكوبلت (Co). أظهرت صور (E-SEM) تغير شكل التركيب السطحي لأغشية (CdO) مع تغير نسب تركيز الكوبلت. نسبة استجابة غاز الفورمالديهايد (الميثانال) عند نسبة التطعيم (0.5wt% Co) لغشاء (CdO) كان (23%). وأظهرت نتائج الفحوصات الكهربائية أن أكبر قيمة لتحركية حاملات الشحنة  $(87 \text{ cm}^2 \text{Vs})$  لأغشية أكسيد الكاديوم المطعمة بنسبة (0.5wt% Co) يصاحبها أكبر قيمة للتيار الضوئي (Photocurrent) مقدارها (2.50 nA) عند (42 V). وأظهرت نتائج القياسات البصرية أن الأغشية المطعمة (Co-doped CdO) تمتلك نفاذية بصرية كبيرة مقدارها (84%) ضمن مدى

الاطوال الموجية (600-1100 nm) وأن قيمة فجوة الطاقة البصرية ازدادت من (2.38-2.50 eV).

• درس الباحث (Anitha et al., 2018) [73] وآخرون تأثير التطعيم الثنائي بأيوني الخارصين و الفلورين [wt.% co-doping] على أغشية أكسيد الكاديوم (CdO) الرقيقة والمترسبة علي قواعد زجاجية بطريقة الرش الحراري الكيميائي. أظهرت الفحوصات التركيبية أنّ الأغشية تمتلك سمك يتراوح بين (520-560 nm) وذات تراكيب متعددة التبلور بالاتجاه السائد والمفضل للنمو (111). واطهرت الفحوصات البصرية أنّ الأغشية المحضرة تمتلك نفاذية عالية قيمتها (70 %) عند منطقة الطيف المرئي، كما أظهرت صور (SEM) أنّ التطعيم يسبب تغييراً في التركيب السطحي. بينت الخواص الكهربائية نقص في قيمة المقاومة الكهربائية يصل إلى  $[1.43 \times 10^{-4} (\Omega \cdot \text{cm})]$  للأغشية المطعمة بالمقارنة مع أغشية (CdO) غير المطعمة. أنّ الزيادة في فجوة الطاقة البصرية والنفاذية البصرية وتحسن الخصائص الكهربائية ساهم في رفع كفاءة النبائط الكهروضوئية وخصوصاً النوافذ الشفافة للخلايا الشمسية.

• درس الباحث (Mohandas et al., 2018) وآخرون [74] الخواص البصرية لأغشية أكسيد الكاديوم المطعمة بالمنغنيز والمحضرة بتقنية الرش الكيميائي الحراري ووجد أنّ خصائص أغشية أكسيد الكاديوم غير المطعمة مشابهة لخواص أغشية أكسيد الكاديوم المطعمة بالمنغنيز من حيث خصائصها الميكانيكية والكيميائية. تم ترسيب الأغشية على قواعد زجاجية وبدرجات حرارة مختلفة من (400-600 °C). تم فحص الخصائص البصرية بجهاز الطيف الضوئي (Spectrophotometer) عن طريق قياس الامتصاصية للأغشية المحضرة بقيم مختلفة للطول الموجي من (300-1000 nm) إذ أظهر طيف الامتصاصية تناقصاً مع زيادة الطول الموجي هذا يعني أنّ الغشاء المطعم يمتلك امتصاصية للأشعة فوق البنفسجية أعلى من قيم الامتصاصية للضوء المرئي بالمقابل ووجد أنّ قيمة فجوة الطاقة البصرية (2.773eV) وهذه القيمة قد تتغير مع تغير طريقة الترسيب وظروف التحضير.

• درس الباحث (Kati., 2018) [75] التحكم بفجوة الطاقة البصرية لأغشية أكسيد الكاديوم بواسطة أكسيد الخارصين، إذ تم ترسيب أغشية (Cd $\square$ nO) على قواعد زجاجية بطريقة الطلاء البرمي للمحلول الهلامي وبنسب مختلفة للتطعيم (CdO $\square$ nO=5 $\square$ 5, CdO $\square$ nO=6 $\square$ 4, CdO $\square$ nO=8 $\square$ 2). أظهرت نتائج المجهر الإلكتروني الماسح التركيب السطحي لنسب كل من (CdO) و (nO) في الغشاء، إذ أنّ النسب الصغيرة من (CdO) في الغشاء كانت قريبة جداً من خواص غشاء (nO) النقي، أمّا النسب الكبيرة من (CdO) تؤدي إلى تغير التركيب الحبيبي للغشاء. وأنّ قيم فجوة الطاقة للغشاء (Cd $\square$ nO) تعتمد على نسب كل من (CdO) و (nO) في

- الغشاء، إذ كانت قيم فجوة الطاقة للأغشية ( $\text{CdO} \cdot \text{nO} = 5$ ) و ( $\text{CdO} \cdot \text{nO} = 6$ ) و ( $\text{CdO} \cdot \text{nO} = 8$ ) هي (2.5eV) و (2.49eV) و (2.4eV) على التوالي.
- قام الباحث (Guney et al., 2019) وآخرون [76] بدراسة تأثير التطعيم بالخاصين ( $\text{n}$ ) وبنسب مختلفة ( $x=0, 0.3, 1.7, \text{ and } 4.5 \text{ wt\%}$ ) من عنصر الخاصين ( $\text{n}$ ) على أغشية ( $\text{CdO}$ ) الرقيقة المحضرة بطريقة (SILAR) والمترسبة على قواعد (SLG). أظهرت قياسات (XRD) أنّ العينات تمتلك تركيب بلوري مكعب. وبينت القياسات البصرية أنّ فجوة الطاقة تزداد بازدياد نسبة تطعيم أغشية ( $\text{CdO}$ ) بالخاصين إذ ارتفعت قيمة فجوة الطاقة من (1.62 eV) إلى (2.66 eV) عند التطعيم بالخاصين. أظهرت صور (SEM) أنّ شكل السطح للعينات قد تأثر بالتطعيم بالخاصين ويزداد هذا التأثير بازدياد نسبة التطعيم. قيم مطيافية رامان لأغشية أكسيد الكاديوم غير المطعمة والمطعمة بالخاصين كانت ( $288\text{cm}^{-1}, 557\text{cm}^{-1}, 937\text{cm}^{-1}$ ). أظهر طيف التآلق الضوئي (PL) أنّ شدة التآلق الضوئي تزداد عند التطعيم كما أظهرت مطيافية (PL) مواقع أيونات الخاصين ( $\text{n ions}$ ) داخل تركيب أغشية ( $\text{CdO}$ ).
  - قام الباحث (Ropot et al., 2019) وآخرون [77] بدراسة تأثير نوع الركيزة (القاعدة) على الخواص التركيبية والسطحية والبصرية والكهربائية لأغشية أكسيد الكاديوم المحضرة بطريقة الطلاء البرمي للمحلول الهلامي (Sol-Gel) لتحسينها من أجل تطبيقات الكاشفات الضوئية. أظهرت نتائج التركيب البلوري أنّ أغشية أكسيد الكاديوم التي تشكلت على مختلف القواعد هي ذات تركيب بلوري مكعب بمعدل حجم بلوري ضمن المدى (28-45nm). أظهرت صور التركيب السطحي أنّ شكل الجسيمات النانوية لأغشية أكسيد الكاديوم تعتمد على نوع القاعدة، إذ أنّ جميع الأغشية كانت متشابهة ماعدا الأغشية المرسبة على زجاج أكسيد القصدير انديوم ( $\text{ITO}$ ). وبين نمط حيود الأشعة السينية والصور التخطيطية التوزيع المنتظم للكاديوم والاكسجين داخل الغشاء. أظهرت أغشية أكسيد الكاديوم المرسبة على زجاج السليكا المنصهر (SSG) نفاذية عالية مع فجوة طاقة بصرية مقدارها (2.05 eV) كما أظهرت أغشية أكسيد الكاديوم المرسبة على قاعدة زجاج الصودا الكلسي (SLG) توصيلية كهربائية جيدة. تم دراسة خواص الكشف الضوئي للأغشية المرسبة على ركيزة (SLG) مثل متحسس الضوء المرئي ووجد بأنّها تمتلك استقرار جيد مع زمن استجابة (225) و (475) ثانية على التوالي.
  - درس الباحث (Kannan et al., 2019) وآخرون [45] تأثير التطعيم والتلدين على الخواص التركيبية والبصرية لأغشية أكسيد الكاديوم المحضرة والمترسبة على قواعد زجاجية بتقنية الطلاء البرمي للمحلول الهلامي (Sol-Gel) بعنصر الكوبلت (Co). أظهر نمط (XRD) الطور الأحادي لأغشية ( $\text{CdO}$ )

مع تركيب متعدد التبلور من النوع المكعب لجميع العينات. أظهرت القياسات البصرية أنّ النفاذية البصرية لطبقات الغشاء إنخفضت وقيمة فجوة الطاقة أصبحت أقل بارتفاع نسبة تركيز الكوبلت داخل الغشاء ودرجة حرارة التلدين.

- حضر الباحث (oorunnisha et al., 2020) وآخرون [51] أغشية أكسيد الكاديوم غير المطعمة والمطعمة بالخاصين (n) بنسبة (2wt.%) ومن ثم تطعيمها ثنائياً بالخاصين والكوبلت بالنسب الوزنية (n2%Co)، (n4%Co) والمرسبة بتقنية الرش. وتم دراسة الخصائص التركيبية والبصرية للأغشية المحضرة، إذ أظهرت قياسات XRD أنّ جميع الأغشية المحضرة ذات تركيب متعدد التبلور من النوع المكعب وأنّ الحجم البلوري لغشاء CdO قد تناقص من (29-27 nm) عند التطعيم بالخاصين وأما التطعيم الثنائي فقد تسبب بزيادة حجم البلوريات إلى (35 nm). وأظهرت نتائج المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أشكالاً تشبه القرناييط النانوي (Cauliflower) للأغشية المحضرة. بينت الفحوصات البصرية أنّ التطعيم بالخاصين تسبب بزيادة فجوة الطاقة من (2.47-2.60 eV) ومن ثم تناقصت فجوة الطاقة بالتطعيم الثنائي. كما أكدت الفحوصات الكهربائية نقصان المقاومة وزيادة التوصيلية لأغشية CdO بعد تطعيمها ثنائياً بالنسب [(2% n □ 2,4%Co)].

### (9-1) هدف الدراسة

### Aim of The Study

تهدف الدراسة الحالية إلى تحضير أغشية أكسيد الكاديوم (CdO) الرقيقة بطريقة المحلول الهلامي (Sol-Gel) وترسيبها على قواعد مصنوعة من الكوارتز (SiO<sub>2</sub>) باستخدام تقنية الطلاء البرمي (Spin Coating) بثبوت السرعة عند (3000 rpm) والزمن (40 sec) وبدرجة الحرارة الاعتيادية ومن ثم دراسة تأثير تغير درجة حرارة التلدين والتطعيم الثنائي بالخاصين والكوبلت على الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية للأغشية المحضرة، ولأجل الحصول على غشاء رقيق متجانس بمواصفات جيدة ليكون مناسباً للاستعمال في التطبيقات الفوتوفولتائية (Photovoltaic Application)، خصوصاً كطبقة شفافة في نوافذ الخلايا الشمسية والتطبيقات المختلفة الأخرى.