



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة ديالى - كلية العلوم
قسم الفيزياء



تحضير ودراسة بعض الخصائص الفيزيائية
لأغشية $(\text{MgO})_{1-x}(\text{ZnS})_x$ نانوية التركيب
بطريقة التحلل الحراري الكيميائي

رسالة مقدّمة إلى

مجلس كلية العلوم - جامعة ديالى

وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء

من قبل

حسين صبحي عبدالرحمن

(بكالوريوس علوم فيزياء 2010 م)

بإشراف

أ.م.د. محمد حميد عبدالله

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا لَهَا مَا كَسَبَتْ
وَعَلَيْهَا مَا أَكْتَسَبَتْ رَبَّنَا لَا تُؤَاخِذْنَا إِنْ نَسِينَا
أَوْ أخطَانَا رَبَّنَا وَلَا تَحْمِلْ عَلَيْنَا إصْرًا كَمَا
حَمَلْتَهُ عَلَى الَّذِينَ مِنْ قَبْلِنَا رَبَّنَا وَلَا تُحَمِّلْنَا مَا
لَا طَاقَةَ لَنَا بِهِ ۗ وَاعْفُ عَنَّا وَارْحَمْنَا
أَنْتَ مَوْلَانَا فَانصُرْنَا عَلَى الْقَوْمِ الْكَافِرِينَ﴾

صَدَقَ اللَّهُ الْعَلِيُّ الْعَظِيمُ

البقرة: 286

البحوث المقبولة للنشر والمنشورة والمشاركات في المؤتمرات العلمية

- قبول نشر للبحث ضمن مستوعب سكوبس عن طريق دار النشر:

(Virtual Institute of Physics (VIP)) Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures.

Morphological and optical properties of $MgO_{1-x}ZnS_x$ thin films.

- قبول نشر للبحث ضمن مستوعب سكوبس عن طريق دار النشر:

(American Institute of Physics (AIP)) AIP Conference Proceedings.

A review of (MgO) Thin Films, Preparation and Applications.

- نشر بحث ضمن مستوعب سكوبس عن طريق دار النشر:

(Anka Publishers) NeuroQuantology.

Structural, morphological and electrical properties of (MgO) thin films doped with (ZnS) prepared by chemical spray pyrolysis method.

- قبول نشر للبحث في مجلة ديالى للعلوم الصرفة:

Surface Topography and Optical Properties for $(MgO_{x-1}ZnS_x)$ Thin Films Prepared by Chemical Spray Pyrolysis.

- المشاركة في المؤتمر العلمي الأول لبحوث الدراسات العليا المنعقد في كلية العلوم/جامعة ديالى، في يوم الثلاثاء المصادف (2022/4/13).

- المشاركة في المؤتمر العلمي الدولي الرابع للعلوم الهندسية والتقنيات المتقدمة المنعقد في النقابة الأكاديمية العراقية في يوم الجمعة المصادف (2022/6/3).

الإهداء

إلى كبيرة المقام ذات السيرة العطرة

"جدتي رحمها الله"

إلى القلب الذي أحاطني بحبه والشفاه التي أكثرت الدعاء لي درة حياتي

"أمي الحبيبة"

إلى خيمة الأمان والمحبة .. وينبوع الأبوة الحقة

"والدي العزيز"

إلى من تواررني وتقويني .. وعانت من أجلي الكثير .. فكانت كالظل في يوم الحرور

ومتكأني عند الشدائد .. رفيقة دربي وسندي في حياتي

"زوجتي الغالية"

إلى شموعي ونور عيني .. فلذات كبدي .. الذين من أرى الحياة أجمل بوجودهم

"بناتي العزيزات"

إلى من أرى التفاؤل بعينهم .. والسعادة في وجوههم .. شعلة الذكاء والنور

"إخوتي وأخواتي"

إلى أساتذتي الكرام

وإلى كل صديق وجدت فيه روح الأخوة الصادقة

إليكم جميعاً أهدي هذا الجهد المتواضع

حسين

شكر وتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله الذي جعل الحمد مفتاحاً لذكره، وخلق الأشياء ناطقة بحمده والصلاة والسلام على نبيه محمد وآله الطيبين الطاهرين وصحبه الغر الميامين.

بعد شكر الله تعالى يطيب لي أن أشكر عمادة كلية العلوم – جامعة ديالى ورئاسة قسم الفيزياء لأتاحتهم الفرصة لي لإكمال مسيرتي العلمية.

يسرني وأنا انجز هذا الجهد المتواضع من القاء نظرة تحمل كل تقدير وامتنان والشكر الجزيل إلى كل من أسهم في انجاز بحثي هذا بصيغته النهائية فتحية وفاء تعجز عنها ابلى عبارات الشكر والتقدير الى استاذي الفاضل أ. م. د. محمد حميد عبدالله، لأشرفه على مراحل اتمام هذا البحث من خلال توجيهاته العلمية السديدة ومقترحاته القيمة التي اغنت هذا البحث.

وأقدم بخالص الشكر والتقدير إلى جميع أساتذة الدراسات العليا في قسم الفيزياء لعطائهم المستمر طيلة مدة دراستي، كما أتقدم بجزيل الشكر إلى منتسبي مكتبة كلية العلوم.

ولا أنسى الشكر والعرفان إلى كل من كان عوناً لي في بحثي هذا وإلى زملائي وزميلاتي في الدراسات العليا وأخص بالذكر فراس حيدر، ونبيل خليل، ورافد محمود، ومثنى لطيف، وهالة منصور، وسارة مجبل. وأود أن أشكر جميع أصدقائي وأخص بالذكر احمد حامد عبد لما قدّمه من عون ومساعدة طيلة دراستي.

وأخيراً وليس آخراً، أسأل البارئ جلّت قدرته لكل من ذكرتهم، ولكل من فاتني أن اذكرهم، التوفيق والسداد منه (تعالى) انه ولي التوفيق.

حسين

الخلاصة

تم تحضير اغشية $(\text{MgO})_{1-x}(\text{ZnS})_x$ الرقيقة بنسب تشويب حجمية مختلفة $(x=0, 2, 4, 6, 8)\%$ وذلك بترسيبها على قواعد من الزجاج بدرجة حرارة $(350\text{ }^\circ\text{C})$ وبسبك $(260\pm 5\text{ nm})$ وباستعمال تقنية التخلل الحراري الكيميائي (CSP). تم دراسة الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية لجميع الأغشية المحضرة باستعمال تقنية حيود الأشعة السينية (XRD) ومجهر القوة الذرية (AFM) والمجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM) ومطياف الأشعة فوق البنفسجية-المرئية (UV-Visible Spectroscopy) وتأثير هول (Hall Effect).

أظهرت نتائج حيود الأشعة السينية (XRD) أن جميع الأغشية المحضرة لها بنية بلورية متعدد التبلور واتجاه نمو سائد (200)، وأن غشاء (MgO) الرقيق النقي ذو تركيب بلوري مكعب ومع إضافة الشائبة (ZnS) تظهر قمم جديدة ذات شدة قليلة؛ إذ يتم الحصول على تركيب سداسي. بينت نتائج مجهر القوة الذرية (AFM) أن قيم معدل الخشونة وقيم مربع متوسط الخشونة (RMS) تقل مع زيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS). بينت نتائج فحص المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM) أن تراكيب سطوح الأغشية المحضرة تتكون من مجاميع من الجسيمات النانوية شبه كروية كثيفة ومتكتلة للغاية وأن معدل الحجم الحبيبي يتناقص بزيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS).

وأظهرت نتائج الفحوصات البصرية بواسطة مطياف الأشعة فوق البنفسجية-المرئية (UV-Vis) ضمن نطاق من الأطوال الموجية $(350-1100)\text{nm}$ أن الأغشية المحضرة لها فجوة طاقة بصرية للانتقال الإلكتروني المباشر المسموح تتراوح بين $(2.54-2.77)\text{ eV}$ ، كما ان سلوك طاقة أورباخ معاكس لسلوك فجوة الطاقة البصرية؛ إذ تزداد قيم طاقة أورباخ بزيادة نسب التشويب، وأن قيم النفاذية انخفضت بينما زادت قيم الامتصاصية بزيادة تركيز الشائبة (ZnS)، كما تم حساب قيم الانعكاسية ومعامل الامتصاص ومعامل الانكسار ومعامل الخمود والجزء الحقيقي والخيالي من ثابت العزل البصري.

وأظهرت الفحوصات الكهربائية من خلال تأثير هول (Hall Effect) أن اغشية (MgO) الرقيقة النقية والمشوبة بنسبة $(2, 4)\%$ من كبريتيد الزنك (ZnS) لها توصيلة كهربائية من نوع (n - type) بينما اغشية (MgO) الرقيقة المشوبة بنسبة $(6, 8)\%$ من كبريتيد الزنك (ZnS) لها توصيلية كهربائية من نوع (p - type)، كما أن الأغشية المحضرة تمتلك مقاومة عالية وتوصيلية منخفضة.

المحتويات

الصفحة	المحتوى	الفقرة
I	قائمة المحتويات	
VI	قائمة الأشكال	
X	قائمة الجداول	
XII	قائمة الرموز	
XIV	قائمة المختصرات	
18-1	المقدمة والدراسات السابقة	الفصل الاول
1	المقدمة	(1-1)
1	طرائق تحضير الأغشية الرقيقة	(2-1)
2	تقنية التحلل الحراري الكيميائي	(3-1)
4	مراحل تكون الغشاء الرقيق	(4-1)
5	تأثير حجم القطرة	(5-1)
7	خصائص اوكسيد المغنيسيوم (MgO)	(6-1)
8	تطبيقات اغشية أوكسيد المغنيسيوم (MgO) الرقيقة	(7-1)
9	الخصائص الكيميائية والفيزيائية لكبريتيد الزنك (ZnS)	(8-1)
10	تطبيقات اغشية كبريتيد الزنك (ZnS) الرقيقة	(9-1)
11	الدراسات السابقة	(10-1)
18	هدف الدراسة	(11-1)

44-19	الجزء النظري	الفصل الثاني
19	المقدمة	(1-2)
19	اشباه الموصلات	(2-2)
20	التركيب البلوري لأشباه الموصلات	(3-2)
20	أشباه الموصلات البلورية	(1-3-2)
20	أشباه الموصلات أحادية التبلور	(1-1-3-2)
21	اشباه الموصلات متعددة التبلور	(2-1-3-2)
21	اشباه الموصلات غير البلورية (العشوائية)	(2-3-2)
22	العيوب في المواد البلورية	(4-2)
22	مركبات اشباه الموصلات	(5-2)
23	نظرية حزم الطاقة في اشباه الموصلات البلورية	(6-2)
24	تشويب أشباه الموصلات	(7-2)
25	طرائق تشويب اشباه الموصلات	(8-2)
26	الخصائص التركيبية	(9-2)
26	حيود الأشعة السينية	(1-9-2)
28	قانون براك	(2-9-2)
29	المعلمات التركيبية	(3-9-2)
29	ثوابت الشبكة	(1-3-9-2)
29	حجم البلوريات	(2-3-9-2)
29	عامل التشكيل	(3-3-9-2)

30	كثافة الانخلاعات وعدد البلوريات	(4-3-9-2)
30	مجهر القوة الذرية	(4-9-2)
32	المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال	(5-9-2)
33	الخصائص البصرية	(10-2)
34	تفاعل الضوء مع اشباه الموصلات	(1-10-2)
34	حافة الامتصاص الأساسية	(2-10-2)
35	منطقة الامتصاص العالي	(1-2-10-2)
35	منطقة الامتصاص الاسي	(2-2-10-2)
36	منطقة الامتصاص الواطئ	(3-2-10-2)
36	النفاذية	(3-10-2)
37	الامتصاصية	(4-10-2)
37	الانعكاسية	(5-10-2)
38	الثوابت البصرية	(6-10-2)
38	معامل الامتصاص	(1-6-10-2)
38	معامل الانكسار	(2-6-10-2)
39	معامل الخمود	(3-6-10-2)
39	ثابت العزل البصري	(4-6-10-2)
40	الانتقالات الإلكترونية	(11-2)
40	الانتقالات المباشرة	(1-11-2)
41	الانتقالات غير المباشرة	(2-11-2)

42	الخصائص الكهربائية	(12-2)
43	تأثير هول	(1-12-2)
61-45	الجزء العملي	الفصل الثالث
45	المقدمة	(1-3)
46	منظومة التحلل الحراري الكيميائي	(2-3)
49	تحضير الأغشية الرقيقة	(3-3)
49	تنظيف قواعد الترسيب	(1-3-3)
50	تحضير المحاليل	(2-3-3)
50	المواد الكيميائية الخام	(1-2-3-3)
50	تحضير المحلول المستعمل في تحضير اغشية الرقيقة (MgO)	(2-2-3-3)
51	تحضير محلول كبريتيد الزنك (ZnS)	(3-2-3-3)
53	العوامل المؤثرة في تحضير الأغشية الرقيقة	(4-3)
54	ترسيب الأغشية الرقيقة	(5-3)
55	قياس سمك الأغشية الرقيقة	(6-3)
57	القياسات التركيبية	(7-3)
57	قياسات حيود الأشعة السينية	(1-7-3)
57	قياسات مجهر القوة الذرية	(2-7-3)
58	قياسات المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال	(3-7-3)
59	القياسات البصرية	(8-3)

60	القياسات الكهربائية	(9-3)
61	قياس تأثير هول	(1-9-3)
102-62	النتائج والمناقشة	الفصل الرابع
62	المقدمة	(1-4)
62	سمك الأغشية الرقيقة	(2-4)
63	القياسات التركيبية	(3-4)
63	حيود الأشعة السينية	(1-3-4)
66	ثوابت الشبكة وحجم خلية الوحدة	(1-1-3-4)
66	حجم البلوريات	(2-1-3-4)
66	عامل التشكيل	(3-1-3-4)
67	كثافة الانخلاعات وعدد البلوريات لوحدة المساحة	(4-1-3-4)
68	نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية	(2-3-4)
73	نتائج فحوصات المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال	(3-3-4)
79	نتائج فحوصات مطياف تشتت الطاقة	(4-3-4)
83	نتائج القياسات البصرية	(4-4)
84	النفذية	(1-4-4)
84	الامتصاصية	(2-4-4)
86	الانعكاسية	(3-4-4)
87	معامل الامتصاص	(4-4-4)

88	فجوة الطاقة البصرية	(5-4-4)
91	طاقة اورباخ	(6-4-4)
93	معامل الانكسار	(7-4-4)
94	معامل الخمود	(8-4-4)
95	ثابت العزل البصري	(9-4-4)
97	نتائج القياسات الكهربائية	(5-4)
101	الاستنتاجات	(6-4)
102	المشاريع المستقبلية	(7-4)
116-103	المصادر	

قائمة الاشكال

الصفحة	عنوان الشكل	الرقم
3	مخطط طرائق ترسيب الأغشية الرقيقة	(1-1)
5	مراحل تكون الغشاء الرقيق	(2-1)
6	حالات الترسيب اعتماداً على حجم القطرة المتكونة	(3-1)
7	التركيب البلوري لأوكسيد المغنيسيوم (MgO)	(4-1)
20	مخطط حزم الطاقة في المواد الصلبة	(1-2)
21	التركيب البلوري للمواد	(2-2)
24	انشطار حزم الطاقة إلى حزم طاقة مسموحة وممنوعة	(3-2)

27	التشخيص بالأشعة السينية	(4-2)
27	حيود الأشعة السينية (XRD) في المواد	(5-2)
28	المستويات البلورية وحيود براك	(6-2)
31	عملية المسح المجهرى لمجهر القوة الذرية	(7-2)
33	مخطط عمل المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال	(8-2)
36	مناطق الامتصاص	(9-2)
42	أنواع الانتقالات الإلكترونية	(10-2)
44	تأثير هول في اشباه الموصلات	(11-2)
45	مخطط الخطوات العملية المتبعة في الجزء العملي	(1-3)
46	منظومة التحلل الحراري الكيميائي (CSP)	(3-2)
47	جهاز الرش	(3-3)
52	الخطوات العملية لتحضير المحاليل	(4-3)
58	جهاز مجهر القوة الذرية	(5-3)
59	جهاز المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال	(6-3)
60	جهاز مطياف (UV-Visible 1800)	(7-3)
61	القناع الخاص بالقياسات الكهربائية (تأثير هول)	(8-3)
61	مخطط توضيحي لدائرة قياس تأثير هول الكهربائية	(9-3)
62	صور المقطع العرضي لعشاء (MgO) الرقيق	(1-4)

	النقي وغشاء $(\text{MgO})_{0.92}(\text{ZnS})_{0.08}$ الرقيق	
64	أنماط حيود الأشعة السينية لأغشية (MgO) الرقيقة النقية والمشوبة بنسب حجمية مختلفة من كبريتيد الزنك	(2-4)
69	صور (AFM) لغشاء (MgO) الرقيق	(3-4)
69	صور (AFM) لغشاء $(\text{MgO})_{0.98}(\text{ZnS})_{0.02}$ الرقيق	(4-4)
70	صور (AFM) لغشاء $(\text{MgO})_{0.96}(\text{ZnS})_{0.04}$ الرقيق	(5-4)
70	صور (AFM) لغشاء $(\text{MgO})_{0.94}(\text{ZnS})_{0.06}$ الرقيق	(6-4)
71	صور (AFM) لغشاء $(\text{MgO})_{0.92}(\text{ZnS})_{0.08}$ الرقيق	(7-4)
71	معدل الخشونة كدالة لنسب التشويب بـ (ZnS) لجميع الأغشية المحضرة	(8-4)
72	معدل الحجم الحبيبي كدالة لنسب التشويب بـ (ZnS) لجميع الأغشية المحضرة	(9-4)
74	صور (FE-SEM) ومخطط توزيع حجم الجسيمات لغشاء (MgO) الرقيق	(10-4)
75	صور (FE-SEM) ومخطط توزيع حجم الجسيمات لغشاء $(\text{MgO})_{0.98}(\text{ZnS})_{0.02}$ الرقيق	(11-4)
76	صور (FE-SEM) ومخطط توزيع حجم الجسيمات لغشاء $(\text{MgO})_{0.96}(\text{ZnS})_{0.04}$ الرقيق	(12-4)

77	صور (FE-SEM) ومخطط توزيع حجم الجسيمات لغشاء $(\text{MgO})_{0.94}(\text{ZnS})_{0.06}$ الرقيق	(13-4)
78	صور (FE-SEM) ومخطط توزيع حجم الجسيمات لغشاء $(\text{MgO})_{0.92}(\text{ZnS})_{0.08}$ الرقيق	(14-4)
79	مخطط تحليل (EDS) لغشاء (MgO) الرقيق	(15-4)
80	مخطط تحليل (EDS) لغشاء $(\text{MgO})_{0.98}(\text{ZnS})_{0.02}$ الرقيق	(16-4)
81	مخطط تحليل (EDS) لغشاء $(\text{MgO})_{0.96}(\text{ZnS})_{0.04}$ الرقيق	(17-4)
82	مخطط تحليل (EDS) لغشاء $(\text{MgO})_{0.94}(\text{ZnS})_{0.06}$ الرقيق	(18-4)
83	مخطط تحليل (EDS) لغشاء $(\text{MgO})_{0.92}(\text{ZnS})_{0.08}$ الرقيق	(19-4)
85	النفاذية كدالة للطول الموجي للأغشية المحضرة والعلاقة بين نسب التشويب وأعلى قيمة للنفاذية	(20-4)
86	الامتصاصية كدالة للطول الموجي للأغشية المحضرة	(21-4)
87	الانعكاسية كدالة للطول الموجي للأغشية المحضرة	(22-4)
88	معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون الساقط للأغشية المحضرة	(23-4)
89	فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة	(24-4)
90	قيم فجوة الطاقة كدالة لنسب التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) للأغشية المحضرة	(25-4)

91	طاقة اورياخ كدالة لطاقة الفوتون الساقط لجميع الأغشية المحضرة	(26-4)
92	طاقة اورياخ كدالة لنسب التشويب	(27-4)
93	معامل الانكسار كدالة لطاقة الفوتون الساقط للأغشية المحضرة	(28-4)
94	معامل الخمود كدالة لطاقة الفوتون الساقط للأغشية المحضرة	(29-4)
96	ثابت العزل الحقيقي كدالة لطاقة الفوتون الساقط للأغشية المحضرة	(30-4)
96	ثابت العزل الخيالي كدالة لطاقة الفوتون الساقط للأغشية المحضرة	(31-4)
99	المقاومية كدالة لنسب التشويب للأغشية المحضرة	(32-4)
99	معامل هول كدالة لنسب التشويب للأغشية المحضرة	(33-4)
100	تركيز حاملات الشحنة كدالة لنسب التشويب للأغشية المحضرة	(34-4)

قائمة الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	الرقم
8	بعض خصائص أكسيد المغنيسيوم (MgO)	(1-1)
10	بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية لكبريتيد الزنك (ZnS)	(2-1)

23	بعض عناصر أشباه الموصلات المفردة والمركبة	(1-2)
50	الصيغة الكيميائية والوزن الجزيئي والنقاوة والشركة المجهزة للمواد المستعملة في تحضير اغشية $(MgO)_{1-x}(ZnS)_x$ الرقيقة	(1-3)
53	النسب الحجمية المستعملة لمحلول التشويب	(2-3)
57	مواصفات جهاز حيود الأشعة السينية	(3-3)
63	سمك الأغشية الرقيقة المحضرة	(1-4)
65	بعض المعلمات البلورية لأغشية اوكسيد المغنسيوم (MgO) قبل وبعد عملية التشويب بكبريتيد الزنك $(MgO)_{1-x}(ZnS)_x$	(2-4)
69	قيم المعلمات التركيبية عند الاتجاه السائد (200) لعشاء (MgO) الرقيق النقي والعشاء $(MgO)_{0.92}(ZnS)_{0.08}$ الرقيق	(3-4)
72	بعض المعلمات الطوبوغرافية لأغشية $(MgO)_{1-x}(ZnS)_x$ الرقيقة	(4-4)
79	النسب الوزنية والذرية للعناصر في غشاء (MgO) الرقيق لتحليل (EDS)	(5-4)
80	النسب الوزنية والذرية للعناصر في غشاء $(MgO)_{0.98}(ZnS)_{0.02}$ الرقيق لتحليل (EDS)	(6-4)
81	النسب الوزنية والذرية للعناصر في غشاء $(MgO)_{0.96}(ZnS)_{0.04}$ الرقيق لتحليل (EDS)	(7-4)
82	النسب الوزنية والذرية للعناصر في غشاء $(MgO)_{0.94}(ZnS)_{0.06}$ الرقيق لتحليل (EDS)	(8-4)

83	النسب الوزنية والذرية للعناصر في غشاء (MgO) _{0.92} (ZnS) _{0.08} الرقيق لتحليل (EDS)	(9-4)
90	قيم فجوة الطاقة للدراسة الحالية وبعض الدراسات السابقة	(10-4)
92	قيم طاقة اوريباخ وما يقابلها من قيم فجوة الطاقة للأغشية المحضرة	(11-4)
97	بعض الخصائص البصرية للأغشية الرقيقة المحضرة	(12-4)
98	قياسات تأثير هول للأغشية الرقيقة المحضرة	(13-4)

قائمة الرموز

الوحدة	المعنى	الرمز
Å	المسافة بين المستويات البلورية	d_{hkl}
-	عدد صحيح يمثل مرتبة الحيود	n
-	معاملات ميلر	hkl
Å	ثوابت الشبكة	a , c
nm	الطول الموجي	λ
nm	حجم البلوريات	D
Degree	زاوية حيود براك	θ_B
Å ³	حجم خلية الوحدة	V
Radian	عرض منحنى منتصف القمة (FWHM)	β

-	عامل التشكيل	T_c
cm^{-2}	كثافة الانخلاعات	δ
cm^{-2}	عدد البلوريات لوحدة المساحة	N_o
nm	سمك الغشاء	t
cm^{-1}	معامل الامتصاص	α
$eV/m^2.s$	شدة الشعاع الساقط	I_o
$eV/m^2.s$	شدة الشعاع النافذ	I_t
$eV/m^2.s$	شدة الشعاع الممتص	I_A
-	النفاذية	T
-	الامتصاصية	A
eV	طاقة الفوتون	$h\nu$
J.s	ثابت بلانك	h
eV	فجوة الطاقة البصرية	E_g^{opt}
-	معامل اسي يحدد نوع الانتقال	r
cm^{-1}	متجه الموجة	k
-	معامل الخمود	k_o
mol/L	المولارية	M
g/cm^3	كثافة مادة الغشاء	ρ
m^2/C	معامل هول	R_H

قائمة المختصرات

المعنى	الاختصار
Chemical Spray Pyrolysis	CSP
X-Ray Diffraction	XRD
Joint Committee on Powder Diffraction Standards	JCPDS
Atomic Force Microscopy	AFM
Full Width at Half Maximum	FWHM
Root Mean Square	RMS
Field Emission Scanning Electron Microscopy	FE-SEM
Ultra Violet	UV

الفصل الأول

المقدمة والدراسات السابقة

(1-1) المقدمة

(Introduction)

أن تقنية الأغشية الرقيقة إحدى أهم التقنيات التي أسهمت في دراسة وتطور أشباه الموصلات، ويطلق على طبقة أو عدة طبقات لذرات مادة ما ذات سمك أقل من (1000 nm) بالغشاء الرقيق [1]. تكون الأغشية الرقيقة مختلفة في خصائصها الفيزيائية عن خصائص المواد المكونة لها في حالتها الحجمية، حيث إن الغشاء الرقيق من مادة معينة إذا قمنا بتقليل سمكه بشكل كبير جدا إلى درجة النانومتر فسوف يكون شبه ثنائي الأبعاد لذلك يحدث تغير لمعظم الخصائص الفيزيائية للمادة بسبب المسافة القصيرة جدا بين حدي السطحين، والاختلاف الأساسي بين المواد عندما تكون في حالتها الرقيقة و حالتها السمكية هي في الواقع مرتبطة بحقيقة تأثير السمك في الخصائص الفيزيائية؛ إذ يكون مهملًا في الحالة السمكية ويأخذ الغشاء خصائص الطبقة السمكية عندما يتجاوز السمك عتبة معينة [2]. ودائمًا ما تحتاج الأغشية الرقيقة في تحضيرها إلى قاعدة مهما كانت الطريقة المعتمدة في تصنيع الغشاء أو الطبقة الرقيقة رغم أن في بعض الأحيان يمكننا فصل الغشاء الرقيق عن القاعدة؛ إذ إن هذه القاعدة تؤثر في الخصائص الفيزيائية للطبقة المترسبة فمثلا لو وضعنا طبقتين رقيقتين مُصنعتين من المادة على قاعدتين مختلفتين احدهما من الزجاج والأخرى من السليكون سنلاحظ اختلافاً كبيراً في خصائصهما الفيزيائية [3]. توجد تطبيقات عديدة للأغشية الرقيقة منها بصرية في صناعة المرايا والطلاءات العاكسة وغير العاكسة فضلاً عن التصوير وأجهزة الاستنساخ الضوئي وليزر أشباه الموصلات، ومنها الإلكترونية في صناعة وزيادة كفاءة الخلايا الشمسية والدوائر المتكاملة والحاسبات الرقمية [4].

شهدت الأغشية الرقيقة تقدماً هائلاً للعديد من العلماء منذ أكثر من قرن من الزمان، فعلى سبيل المثال أن العالمين (Benson and Grove) في عام (1852) تمكنوا من تحضير أغشية معدنية رقيقة باستعمال تقنية التفاعل الكيميائي، بينما استعمل العالم (Faraday) في عام (1857) طريقة التبخير الحراري (Thermal Evaporation) لتحضير غشاء رقيق، وقام العالم (Adams) بإعداد غشاء رقيق من السيلينيوم المرتبط بالبلاطينيوم في عام (1876) [5, 6].

(2-1) طرائق تحضير الأغشية الرقيقة

(Thin Films Preparation Methods)

مع تقدم العلم والتكنولوجيا أصبح هناك الكثير من طرائق تحضير الأغشية الرقيقة ولكل طريقة تحضير لها مزاياها الخاصة في تحديد دقة سمك وتجانس الغشاء لتحقيق الغرض المطلوب [7]. تُعد طريقة تحضير الغشاء مهمة للغاية لما لها من تأثير كبير على الخصائص الفيزيائية

للغشاء ويعتمد اختيار طريقة التحضير المناسبة على عدة عوامل منها نوع المادة المستعملة وطبيعة ونوع التطبيق وتكلفة التحضير حيث تتجه الانظار للطريقة التي تعطي نتائج عالية الدقة وفي الوقت نفسه تكون بسيطة وقليلة التكلفة مقارنة بالطرائق المعقدة الأخرى ذات المعدات الحديثة وغالية الثمن [8]. يوضح الشكل (1-1) مخطط لطرائق ترسيب الأغشية الرقيقة الشائعة [9].

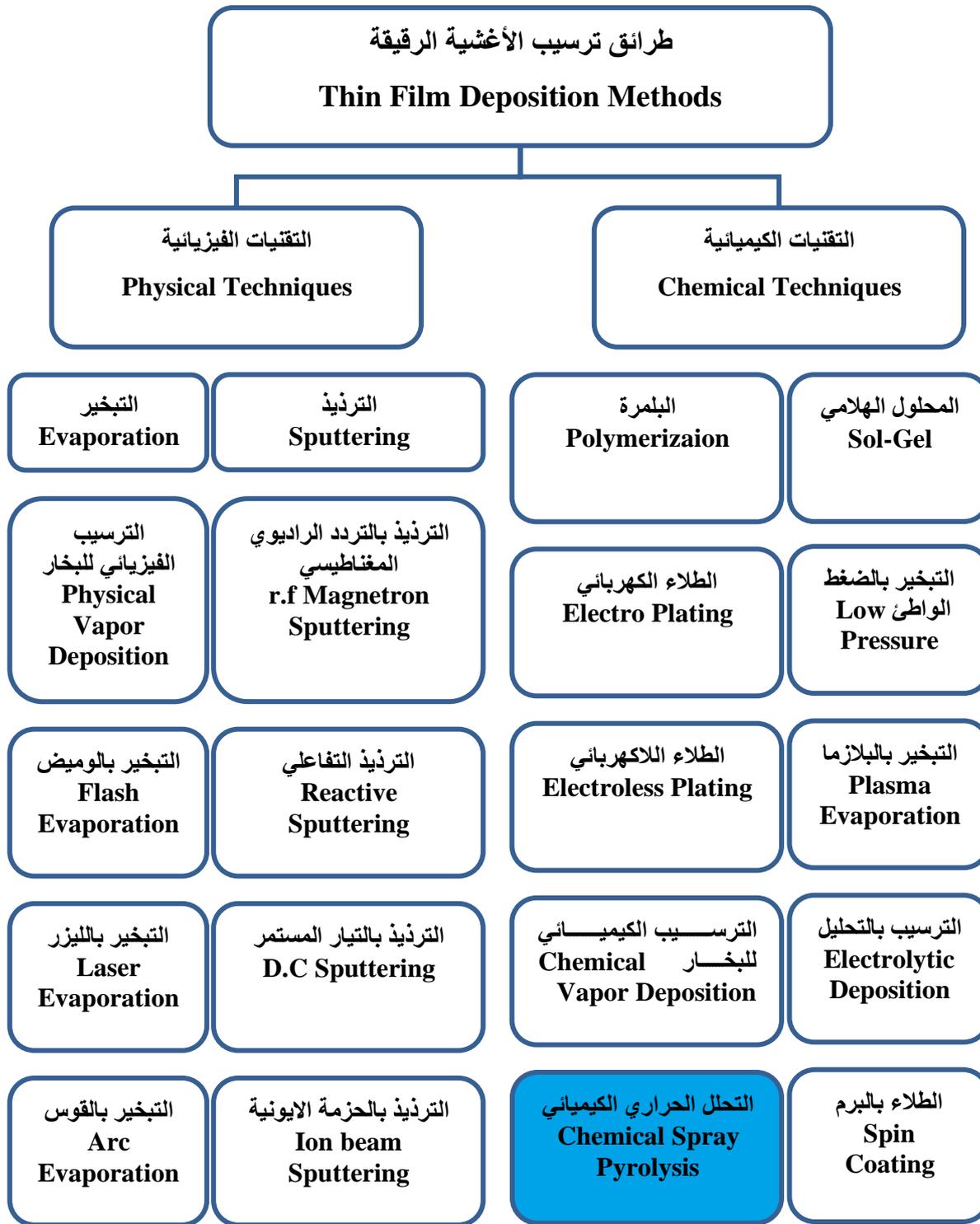
(3-1) تقنية التحلل الحراري الكيميائي

(Chemical Spray Pyrolysis) (CSP)

نظرًا لتطور العلوم والتكنولوجيا والتطبيقات الواسع والمهمة في مجال الأغشية الرقيقة، فقد تم تطوير طرائق لإعداد الأغشية الرقيقة لذلك فإن اختيار الطريقة المناسبة للعمل تعتمد على عدة عوامل، من أهمها نوع المادة المستعملة، ومجال الاستعمال، وتكلفة التحضير. وأن أكثر الطرائق الكيميائية شيوعًا لتحضير الأغشية الرقيقة هي تقنية التحلل الحراري الكيميائي. وتتمثل هذه الطريقة في رش محلول من مادة الغشاء على قواعد ساخنة من الزجاج أو الكوارتز عند درجة حرارة معينة اعتمادًا على نوع المادة المستعملة. ونتيجة التفاعل الكيميائي الحراري بين ذرات المادة والقواعد الساخنة يتكون الغشاء الرقيق [10, 11].

من مزايا تقنية (CSP) [8, 12]:

- 1- طريقة اقتصادية في تجهيز الغشاء لقلة تكلفة الأجهزة المستعملة في تجهيز الغشاء.
- 2- تستعمل في تحضير الأغشية بمساحة أكبر مما توفره الطرائق الأخرى.
- 3- يمكن تحضير الغشاء من خليط مكون من مادتين أو أكثر بدرجات انصهار مختلفة.
- 4- تصلح لتحضير أكاسيد وكبريتات المواد.
- 5- ما يميز الأغشية المجهزة أن لها التصاق قوي بالقاعدة عند توفر الظروف المناسبة.
- 6- يمكن تحضير أغشية ذات خصائص فيزيائية عالية الثبات مع تغير درجة الحرارة.
- 7- لا حاجة لدرجات حرارة عالية أثناء الرش.
- 8- عملية الترسيب تكون ذات جودة عالية وموحدة نسبيًا.



الشكل (1-1): مخطط طرائق ترسيب الأغشية الرقيقة [9].

(4-1) مراحل تكون الغشاء الرقيق

(The Stages of Thin Film Formation)

أن البنية التركيبية في الأغشية الرقيقة لها صفات مميزة إذ إنها تتسم بدرجة كبيرة من التعقيد مقارنة مع المواد الكتلية سواء كانت أحادية التبلور أو متعددة التبلور، وذلك لأن الأغشية بشكل عام متكونة من تراكيب ذات حجوم حبيبية صغيرة جداً مما يؤدي إلى امتلاكها مناطق عدم انتظام وكثافة عيوب أكبر بكثير عند مقارنتها بالمواد الأخرى، وهناك عوامل أخرى تضيفها عملية التحلل الحراري الكيميائي تؤثر في البنية التركيبية وبداية نمو الغشاء للأغشية المحضرة منها مثلاً حجم القطرة وقطر فتحة جهاز الرش وكثافة توزيع القطرات على وحدة المساحة، أن هذه العوامل لها تأثير مباشر في البنية التركيبية وتجانس الغشاء وهذا ينعكس على الخصائص البصرية والكهربائية [13]. عملية ترسيب الأغشية الرقيقة تخضع إلى ثلاث خطوات رئيسية [13]:

1- إنتاج الأنواع الأيونية أو الجزيئية أو الذرية المناسبة.

2- نقل هذه الأنواع إلى القاعدة.

3- يتم التكتيف على القاعدة نفسها إما بشكل مباشر أو عن طريق تفاعل كيميائي أو كهروكيميائي من أجل تكوين الرواسب الصلبة، وهذه المرحلة الأخيرة غالباً ما تمر على أربع مراحل كما يلي [13]:

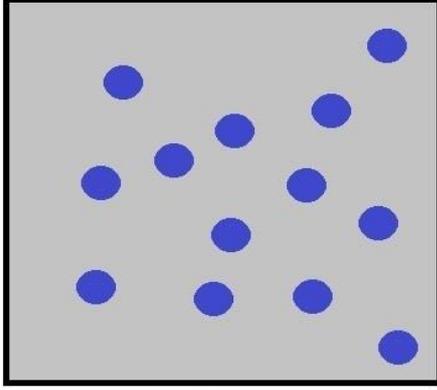
المرحلة الأولى: مرحلة تكوين النويات التي تعد الأساس التي يبنى الغشاء الرقيق عليها وتدعى مرحلة التنوية والتي تتكون من انتقال الأيونات أو الجزيئات أو الذرات من مصدرها إلى قاعدة الترسيب وتتصف النويات الملتصقة بالقاعدة بصغر حجمها.

المرحلة الثانية: تبدأ نمو النويات التي يكون نموها بالأبعاد الثلاثة وبمحاذاة القاعدة وبسبب عملية الانتشار السطحي للذرات يكون النمو أفقياً أكثر من كونه عمودياً أن هذه الصفة مميزة لنمو الأغشية الرقيقة.

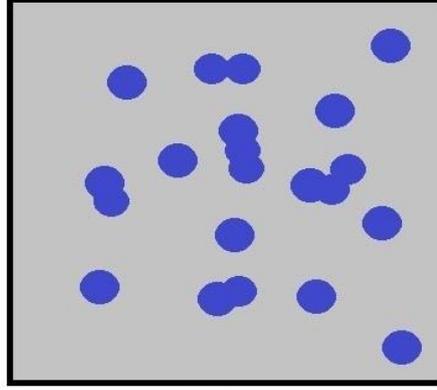
المرحلة الثالثة: تتصل النويات الواحدة بالأخرى مكونة جزر، أن عملية تكوين الجزر تتأثر بعدة عوامل منها (معدل الترسيب ودرجة حرارة قاعدة الترسيب وتوافر مواقع التنوية على سطح القاعدة).

المرحلة الرابعة: مرحلة التحام الجزر مع بعضها لتكوين الحدود الحبيبية الثابتة، وبالتالي تكوين بلورة أحادية التبلور إذا كانت الاتجاهات البلورية للجزر الملتحمة باتجاه واحد وباستمرار الجزر

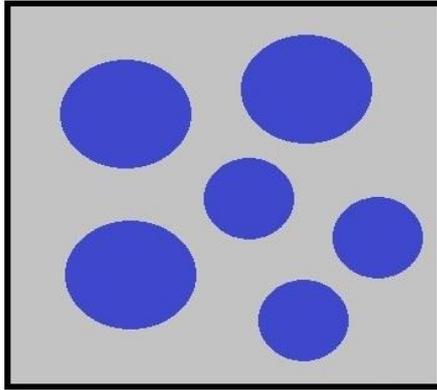
الملتحمة بالالتحام مع بعضها البعض يبدأ شكلها بالتغيير مكونة مناطق ضيقة تعرف بالقنوات، وبالاستمرار بعملية الترسيب تتلاشى هذه القنوات في النهاية وتختفي مكونة الغشاء، والشكل (2-1) يبين مراحل تكون الغشاء الرقيق [14].



1. عملية التتوية



2. عملية النمو



3. تكون الجزر



4. اتحاد الجزر وتكون الغشاء

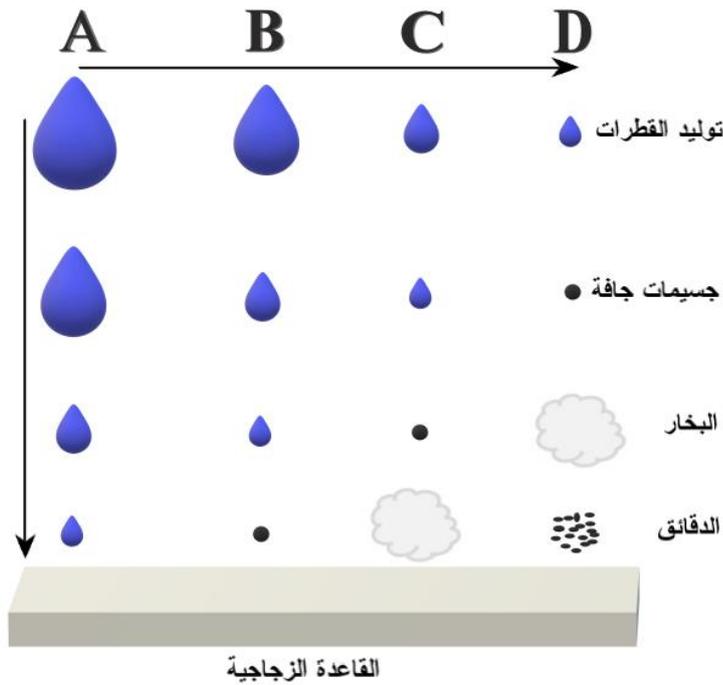
الشكل (2-1): مراحل تكون الغشاء الرقيق [14].

(The Droplet Size Effect)

(5-1) تأثير حجم القطرة

إن من العوامل المهمة في عملية تكوين الأغشية الرقيقة بتقنية التحلل الحراري الكيميائي هو حجم القطرات لمحلول المادة التي تنطلق من جهاز الرش (Nozzle) بسرعة معينة بشكل رذاذ وتصطدم بالقاعدة المسخنة بدرجة حرارة يحددها نوع المادة المستعملة، بعد ذلك تتم عملية التحلل الحراري الكيميائي بتبخر المحلول على سطح القاعدة وبالتالي يتم الحصول على الغشاء الرقيق [15]، وتوجد أربع حالات للتحلل اعتماداً على حجم القطرات المتكونة كما يأتي [16]:

1. **الحالة الأولى (A):** عندما يكون حجم القطرة كبيراً فإن الحرارة الممتصة تكون غير كافية لتبخير المحلول، وعندما تصطم القطرة بالقاعدة يتكون راسب صلب بعد تبخر المذيب وانخفاض كبير ومفاجئ في درجة حرارة القاعدة وبالتالي الحصول على غشاء غير متجانس.
2. **الحالة الثانية (B):** في هذه الحالة يتحلل المحلول بصورة جزئية اذ تجف القطرات قبل وصولها إلى قاعدة الترسيب وبذلك تتكون مادة بشكل راسب.
3. **الحالة الثالثة (C):** هي الحالة الأمثل لعملية التحلل الحراري الكيميائي حيث يكون حجم القطرة بين المتوسط إلى الصغير وهذا يؤدي إلى تبخر المذيب قبل الوصول إلى القاعدة بقليل فتصل إليها الدقائق على شكل بخار للمادة، وبعدها يحدث التفاعل على سطح القاعدة ليتم الحصول على الغشاء المطلوب.
4. **الحالة الرابعة (D):** عندما يكون حجم القطرة صغيراً جداً سوف يحصل تبخر كامل للمحلول بعيداً عن قاعدة الترسيب، ونتيجة لذلك تتكون بلورات صغيرة ضعيفة الالتصاق بالقاعدة وتكون بشكل راسب يشبه المسحوق يعكر الغشاء، الشكل (1-3) يوضح حالات الترسيب اعتماداً على حجم القطرة المتكونة [17].

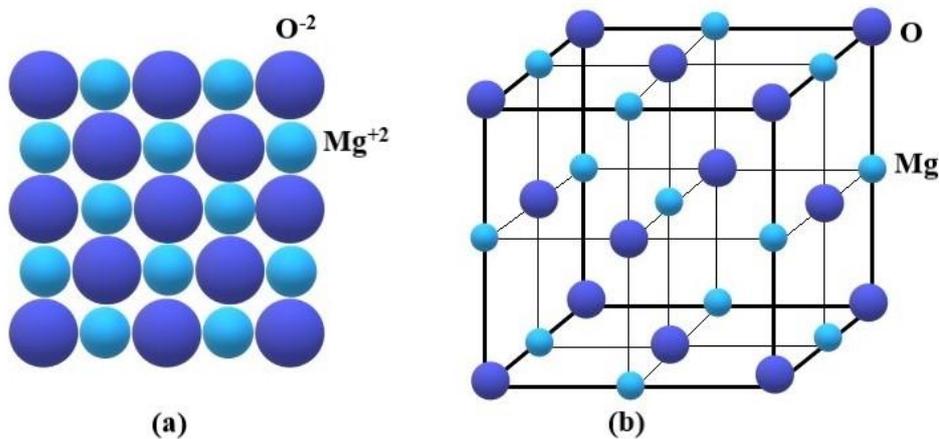


الشكل (1-3): حالات الترسيب اعتماداً على حجم القطرة المتكونة [17].

(6-1) خصائص اوكسيد المغنيسيوم (MgO)

(Magnesium Oxide Properties) (MgO)

المغنيسيوم عنصر كيميائي رمزه (Mg) وعدده الذري (12) وهو فلز قلوي ترابي ويقع في المجموعة الثانية من الجدول الدوري ثنائي التأكسد (Mg^{+2}). ويأتي هذا العنصر بشكل مادة صلبة رمادية لامعة بالمعايير القياسية. يحتل المغنيسيوم المرتبة الثامنة من حيث الوفرة الطبيعية للعناصر في القشرة الارضية [18, 19]. في عام (1831) نجح الكيميائي الفرنسي (Antoine Bussy) في الحصول على المغنيسيوم النقي بأسلوب مخبري لكن بكميات كانت قليلة، بتسخين كلوريد المغنيسيوم بوجود الكالسيوم للاختزال. أن أوكسيد المغنيسيوم (MgO) يكون على شكل مسحوق ابيض اللون من مادة صلبة ايونية عالية التبلور ذات تركيب مكعب من نوع (FCC)، الشكل (4-1) يوضح التركيب البلوري لأوكسيد المغنيسيوم [20]، حيث يظهر في الشكل ايونات المغنيسيوم (12) في مركز الحواف للمكعب ويوجد ايون المغنيسيوم في مركز المكعب. يمتاز اوكسيد المغنيسيوم في الحالة المستقرة بثابت عزل ومعامل انكسار منخفضين، وينتمي إلى المجموعة الثانية من حالة التأكسد، وتزداد قابلية عناصر الدورة الواحدة على الاتحاد الاوكسجين من اجل تكوين الاوكسيدات في حالة التأكسد (1^{+}) للعنصر الذي ينتمي إلى المجموعة الاولى وينتهي بحالة التأكسد (7^{+}) للعنصر الذي ينتمي إلى المجموعة السابعة [21]. يوضح الجدول (1-1) بعض خصائص أوكسيد المغنيسيوم [21].



الشكل (4-1): التركيب البلوري لأوكسيد المغنيسيوم (MgO) [20]،
(a) 2D, (b) 3D.

الجدول (1-1): بعض خصائص أكسيد المغنيسيوم (MgO) [21].

Property	Parameters	Values
Physical	Crystal type	Cubic
	Lattice energy (kJ/mole)	-3938
	Lattice constant (Å)	4.213
	Density Thin film (g/cm ³)	3.585
	Boiling point (°C)	3600
	Melting point (°C)	2800
Chemical	Chemical formula	MgO
	Molecular weight (g/mol)	40.304
	Color	White
Dielectric	Dielectric constant	9.8
	Refractive index (550nm)	1.739
Optical	Optical band gap (eV)	7.2
	Transmission range (µm)	0.3–6
	Extinction coefficient	1.16×10 ⁻⁴
	Absorption coefficient/cm (2µm)	0.05
	Reflection loss % (2µm)	12.8

(7-1) تطبيقات اغشية أكسيد المغنيسيوم (MgO) الرقيقة

(Application of Magnesium Oxide Thin Films)

تستعمل اغشية أكسيد المغنيسيوم الرقيقة في كثير من التطبيقات الكهروضوئية، مثل الشاشات السائلة (Liquid Crystal) والطلاءات النافذة (Window Coating) ومتحسسات الغاز (Gas Sensors) ومحولات الطاقة (Ultra-Sonic Transducers) والمرابا الحرارية (Thermal Mirrors)، كما تستعمل في صناعة الترانزستورات [22].

(8-1) الخصائص الكيميائية والفيزيائية لكبريتيد الزنك (ZnS)

(Chemical and Physical Properties of Zinc Sulfide)(ZnS)

الكبريت عنصر كيميائي لا فلزي عدده الذري (16) ويرمز له بالرمز (S) ويقع ضمن عناصر الدورة الثالثة وفي المجموعة السادسة من الجدول الدوري، إذ يقع في المرتبة الثانية في نفس مجموعة الأوكسجين، بالتالي فهو من الكالكوجينات [23]، يمكن الحصول عليه من عدة مصادر مثل [24]:

1. **الثيوريا (Thiourea):** الصيغة الكيميائية $(SC(NH_2)_2)$ وهي أكثر المصادر شيوعاً واستعمالاً ويستعمل في الأوساط القاعدية.

2. **ثيوسيتاميد (Thioacetamide):** الصيغة الكيميائية $(CH_3(CSNH_2))$ ويستعمل في الأوساط القاعدية والحامضية القوية.

3. **ثنائي مثيل الثيوريا (Dimethyl Thiourea):** الصيغة الكيميائية $(C_3H_8N_2S)$ ويكون أقل استعمالاً من الثيوريا.

4. **ثيوسلفات (Thiosulphate):** الصيغة الكيميائية (S_2O_3) وعادة يستعمل في الأوساط الحامضية الضعيفة.

الزنك هو عنصر كيميائي من الفلزات الانتقالية رمزه (Zn)، وعدده الذري (30)، ثنائي التأكسد (Zn^{+2}) ، وهو العنصر الأول من المجموعة الثانية في الجدول الدوري، ويكون بشكل معدن لامع ابيض مزرق ويكون هش في درجات الحرارة المنخفضة ولكن عند $100 - 150$ °C يصبح مرناً، ويشبه المغنيسيوم (Mg) في بعض خصائصه [25].

كبريتيد الزنك (ZnS) هو مسحوق أصفر اللون ويكون شفافاً او نصف شفاف ويتشكل بتركيبتين بلوريتين (α Wurtzite and β Zincblende)، ويصنف ضمن أشباه الموصلات الثنائية، ويتكون من اتحاد الزنك من المجموعة الثانية مع الكبريت من المجموعة السادسة في الجدول الدوري بأصرة تساهمية [26, 27]، وكبريتيد الزنك أهمية كبيرة في مجال الأغشية الرقيقة لما له دور كبير في التكنولوجيا الكهروضوئية والاجهزة الإلكترونية [28]. الجدول (2-1) يوضح بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية لكبريتيد الزنك [29].

الجدول (2-1): بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية لكبريتيد الزنك (ZnS) [29].

Symbol	Color	Crystal Structure	Density (g/cm ³)	M.Wight (g/mol)	Melting Point (°C)
ZnS	Yellow	Cubic Hexagonal	4.090	97.474	1850

(9-1) تطبيقات اغشية كبريتيد الزنك (ZnS) الرقيقة

(Applications of Zinc Sulfide Thin Films)

كبريتيد الزنك هو من اشباه الموصلات المركبة ذات فجوة طاقة (3.72 eV) عند درجة حرارة الغرفة، وتحظى اغشية كبريتيد الزنك (ZnS) باهتمام كبير بسبب تطبيقاتها التكنولوجية المختلفة، اذ تستعمل في الخلايا الشمسية (Solar Cell) وأجهزة الإضاءة الإلكترونية (Electroluminescent) والثنائيات الباعثة للضوء (Light Emitting Diodes) وأجهزة الاستشعار البصرية (Optical Sensors) والليزر، كما يستعمل في مجسات الفلورسنت (Fluorescent Probes) والتطبيقات الطبية الحيوية (Biomedical) [28, 30].

(Literature Review)

(10-1) الدراسات السابقة

• حضر الباحث (Bazhan) وجماعته سنة (2013) اغشية (MgO) الرقيقة ودرسوا الخصائص التركيبية بإضافة مثبتات مختلفة من إيثانول أمين (Monoethanolamine) وأسيثيل أسيتون (Acetylacetone) بطريقة المحلول-هلام (Sol-Gel)، تم فحص الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، وأظهرت نتائج حيود الأشعة السينية (XRD) قمم ضعيفة باتجاه (200)، وبينت صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن الأغشية متجانسة وخالية من الشقوق، في حين أظهرت نتائج فحوصات أطياف (UV-vis) أن إضافة المثبتات يقلل من نفاذية الأغشية المحضرة [31].

• درس الباحث (Valanarasu) وجماعته سنة (2014) تحضير اغشية (MgO) الرقيقة بتقنية الطلاء الدوراني (Spin Coating) بزمن تليدين مختلف (6,12,18)h، تم فحص الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، أظهرت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) أن الأغشية المحضرة متعدد التبلور وذات تركيب مكعب واتجاه سائد (200) وأن حجم البلوريات يزداد بزيادة زمن التليدين، وبينت صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن الغشاء الملدن عند (18 h) ذو سطح متجانس مع حبيبات بيضوية وكروية الشكل وأن الحجم الحبيبي للأغشية المحضرة يزداد بزيادة زمن التليدين ويكون ضمن المدى (200-250)nm، أما نتائج قياسات أطياف (UV-vis) ضمن الطول الموجي (400-800)nm فقد أظهرت أن قيم فجوة الطاقة كانت بحدود (3.81-3.93)eV إذ تزداد قيمتها بزيادة زمن التليدين [32].

• حضر الباحث (Frag) وجماعته سنة (2014) اغشية (MgO) الرقيقة على قواعد من الزجاج بتقنية التحلل الحراري الكيميائي وبدرجات حرارة مختلفة، وتم دراسة الخصائص التركيبية من خلال فحص حيود الأشعة السينية (XRD) إذ أظهرت النتائج زيادة طفيفة في حجم البلوريات مع زيادة درجة الحرارة وأن شدة القمم تزداد أيضا بزيادة درجة الحرارة، في حين بينت نتائج الفحوصات البصرية من خلال أطياف (UV-vis) أن نفاذية اغشية (MgO) الرقيقة تزداد بزيادة درجة الحرارة [33].

• درس الباحث (Płóciennik) وجماعته سنة (2016) اغشية (MgO) الرقيقة المرسبة بتقنية الاجتثاث بالليزر (Laser Ablation Technique) على قواعد من الكوارتز وبدرجات حرارة مختلفة (من درجة حرارة الغرفة إلى 600 °C)، تم فحص الخصائص

التركيبية من خلال استعمال حيود الأشعة السينية (XRD) بينت النتائج أن بزيادة درجة حرارة القاعدة زاد حجم البلوريات وانخفض أقصى عرض لمنتصف القمة (FWHM) بشكل طفيف مع اتجاه سائد (111)، كما أظهرت نتائج الفحوصات البصرية من خلال اطياف (UV-vis) أن اغشية (MgO) الرقيقة المحضرة لها نفاذية (87%) ومع التلدين زادت النفاذية بشكل طفيف واصبحت (91%) [34].

• حضر الباحث (Diachenko) وجماعته سنة (2016) اغشية (MgO) الرقيقة على قواعد من الزجاج بدرجات حرارة مختلفة $^{\circ}\text{C}$ (370-420) بتقنية التحلل الحراري الكيميائي، تم دراسة الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، اظهرت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) أن الأغشية المحضرة ذات تركيب مكعب واتجاه سائد (111) و (200)، وبينت نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية (AFM) أن خشونة سطح الأغشية المحضرة تقل بزيادة درجة الحرارة، وأظهرت نتائج صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن الأغشية المحضرة ذات تراكيب نانوية، في حين اظهرت نتائج فحوصات اطياف (UV-vis) أن قيمة فجوة الطاقة تزداد بزيادة درجة الحرارة وتكون ضمن المدى $(3.64 - 3.70)\text{eV}$ [35].

• درس الباحث (Mousa) وجماعته سنة (2016) تحضير اغشية (MgO) الرقيقة على قواعد من الزجاج بدرجات حرارة مختلفة $^{\circ}\text{C}$ (400, 450, 500) بتقنية التحلل الحراري الكيميائي، تم فحص الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، اظهرت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) أن الأغشية المحضرة ذات تركيب مكعب وبالمستويين (111) و (200) عند درجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ (400)، في حين عند درجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ (450) تظهر القمم للمستويات (111) و (220) و (311)، وعند درجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ (500) تظهر القمم للمستويين (220) و (311)، بينت نتائج مجهر القوة الذرية (AFM) أن خشونة السطح للأغشية الرقيقة تقل بزيادة درجة الحرارة القاعدة، من خلال قياسات اطياف (UV-vis) وجد أن الأغشية المحضرة عند درجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ (500) تمتلك أعلى نفاذية (>96%) وأن قيم فجوة الطاقة تزداد بزيادة درجة الحرارة وكانت $(4.25, 4.38, 4.57)\text{eV}$ عند $^{\circ}\text{C}$ (400, 450, 500) على التوالي [36].

• حضر الباحث (Maiti) وجماعته سنة (2017) اغشية (MgO) الرقيقة والمشوبة بـ (Al^{+3}) على قواعد من الكوارتز بطريقة (Sol-Gel)، تم فحص الخصائص التركيبية

والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، بينت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) أن الأغشية المحضرة ذات اتجاهين (200) و (220) وأن حجم البلوريات انخفض بعد التشويب بـ (Al^{+3})، وأظهرت صور نتائج المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للضوء (FE-SEM) أن الأغشية المشوبة لها بنية بلورية كثيفة بحجم بلوري يبلغ (20 nm)، ومن خلال فحوصات أطياف (UV-vis) وجد أن فجوة الطاقة تزداد بعد التشويب وكانت بحدود (2.3 eV) للأغشية (MgO) الرقيقة النقية أما الأغشية المشوبة كانت فجوة الطاقة تقترب من (3.55 eV) [37].

• تمكن الباحث (Saritaş) وجماعته سنة (2017) من ترسيب أغشية (MgO:Co) و (MgO:Cu) و (MgO) الرقيقة على قواعد من الزجاج بتقنية التحلل الحراري الكيميائي (CSP) بدرجة حرارة (450 °C)، تم دراسة الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، توضح قياسات حيود الأشعة السينية (XRD) أن أغشية (MgO) ذات تركيب مكعب وأن جميع الأغشية المحضرة متعددة التبلور وأظهرت صور المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM) أنها ذات تراكيب نانوية. بينت نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية (AFM) أن الأغشية المحضرة تمتلك حبيبات كثيفة ومتجانسة نسبياً، من خلال فحوصات أطياف (UV-vis) وجد أن أغشية (MgO) و (MgO:CO) و (MgO:Cu) الرقيقة تمتلك فجوة طاقة (3.53 eV)، (2.50 eV)، (2.75 eV) على التوالي [38].

• تمكن الباحثان (Güney and Demet) سنة (2018) من تحضير أغشية (MgO) الرقيقة المشوبة بالكاديوم (Cd) على قواعد من الزجاج بطريقة التفاعل والامتزاز الطبقي الأيوني (SILAR)، تم فحص الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، أظهرت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) أن الأغشية الرقيقة المحضرة لها تركيب مكعب وأن قيم حجم البلوريات كانت متباينة بعد عملية التشويب، بينت صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن هناك تغير ملحوظ في تجانس سطح الأغشية بعد عملية التشويب، في حين بينت نتائج قياسات أطياف (UV-vis) أن فجوة الطاقة تساوي (4.36, 4.17, 4.24, 4.28)eV بنسب تشويب (0%, 1%, 2%, 3%) من (Cd) على التوالي، إذ انخفضت فجوة الطاقة عند التشويب بنسبة (1% Cd) ومن ثم ازدادت مع زيادة نسبة التشويب بالكاديوم (Cd) [39].

• تمكن الباحث (El Sayed) سنة (2018) من ترسيب اغشية (MgO) الرقيقة والمشوبة بـ (Pb) على قواعد من الزجاج بطريقة الطلاء الدوراني (Spin Coating)، تم دراسة الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية، أظهرت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) أن جميع الأغشية المحضرة متعددة التبلور وأن حجم البلوريات انخفض بزيادة نسبة التشويب بـ (Pb)، وبينت نتائج صور مجهر القوة الذرية (AFM) أن سطح الأغشية المحضرة يتكون من جسيمات كروية وأن خشونة السطح تزداد بزيادة نسبة التشويب بـ (Pb)، أظهرت نتائج أطياف (UV-vis) أن فجوة الطاقة للأغشية المحضرة كانت ضمن المدى $(3.65 - 4.10)eV$ أي أنها انخفضت مع زيادة نسبة التشويب بـ (Pb) [40].

• حضر الباحثان (Güney and Demet) سنة (2018) اغشية (MgO) الرقيقة بسماكات مختلفة على قواعد من الزجاج بطريقة التفاعل والامتزاز الطبقي الأيوني (SILAR)، تم فحص الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، توضح قياسات حيود الأشعة السينية (XRD) أن الأغشية المحضرة لها تراكيب مكعبة باتجاه (200) و (220)، بينت صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن جميع الأغشية تحتوي على تراكيب نانوية، ومن خلال نتائج قياسات أطياف (UV-Vis) وجد أنه عند زيادة سمك الأغشية المحضرة تقل قيم النفاذية وقيم فجوة الطاقة $(4.65 - 4.31)eV$ [41].

• درس الباحثان (Cui and Wang) سنة (2019) تحضير اغشية (MgO) الرقيقة النقية والمشوبة بـ (Ti) بطريقة ترديد الماغنترون (Magnetron Sputtering) والملدنة بدرجة حرارة $(650\text{ }^{\circ}\text{C})$ ، تمت دراسة الخصائص التركيبية والمورفولوجية للأغشية المحضرة، أظهرت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) أن اغشية (MgO) الرقيقة متعددة التبلور وقم الحيود تشير الى أن الاتجاهات البلورية السائدة تكون للمستويين (200) و (220)، وقد أظهرت نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية (AFM) أن خشونة سطح الأغشية المحضرة تقل بعد عملية التلدين، بينت صور فحوصات مجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن تراكيب سطوح الأغشية المحضرة تكون مسطحة وملساء [42].

• قام الباحث (Visweswaran) وجماعته سنة (2020) بتحضير اغشية (MgO) الرقيقة على قواعد من الزجاج بتقنية التلحل الحراري الكيميائي بدرجات حرارة مختلفة $(300, 350, 400, 450\text{ }^{\circ}\text{C})$ ، تم فحص الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، أكدت نتائج حيود الأشعة السينية (XRD) أن الأغشية المحضرة ذات تركيب

مكعب واتجاه سائد (200)، بينت نتائج مجهر القوة الذرية (AFM) أن خشونة سطح الأغشية تزداد بزيادة درجة الحرارة، أظهرت صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن الأغشية المحضرة تحتوي على حبيبات كروية، في حين أظهرت نتائج (UV-vis) أن أغشية (MgO) الرقيقة تمتلك قيمتين من فجوة الطاقة الأولى في مدى (3.5-3.8)eV والثانية في مدى (4.4-4)eV [43].

• تمكن الباحث (Taşer) وجماعته سنة (2021) من تحضير أغشية (MgO) الرقيقة والمشوبة بـ (Fe) على قواعد من الزجاج بطريقة التفاعل والامتزاز الطبقي الأيوني (SILAR)، تم إجراء الفحوصات التركيبية والمورفولوجية والبصرية، أظهرت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) أن أغشية (MgO) الرقيقة ذات تراكيب مكعبة تترتب بمستوى (200) و (220)، بينت نتائج قياسات المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن الأغشية الرقيقة كانت ذات بنية نانوية، ومن خلال فحوصات أطيف (UV-vis) تم حساب فجوة الطاقة للأغشية الرقيقة المحضرة النقية (MgO) والأغشية المشوبة بـ (Fe) وكانت بحدود (3.57eV) و (4eV) على التوالي [44].

• حضر الباحثان (Idris and Shanmugan) سنة (2021) أغشية (MgO) و (MgO/ZnO) الرقيقة على قواعد من النحاس بتقنية الطلاء الدوراني (Spin Coating)، تم دراسة الخصائص التركيبية والمورفولوجية للأغشية المحضرة، من خلال فحص حيود الأشعة السينية (XRD) أظهرت النتائج أن أغشية (MgO) ذات تركيب مكعب متعدد التبلور وأن حجم البلوريات يزداد بزيادة عدد طبقات (ZnS) في أغشية (MgO/ZnO) الرقيقة، بينت نتائج قياسات مجهر القوة الذرية (AFM) أن خشونة السطح للأغشية المحضرة كانت متباينة [45].

• درس الباحث (Taşer) وجماعته سنة (2021) تأثير تشويب أغشية (MgO) الرقيقة بالكروم (Cr) والمحضرة على قواعد من الزجاج بطريقة التفاعل والامتزاز الطبقي الأيوني (SILAR)، تم فحص الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، أظهرت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) أن جميع الأغشية المحضرة لها تراكيب مكعبة ومستويات (200) و (220)، وتشير نتائج فحوصات المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن جميع الأغشية المحضرة لها تراكيب نانوية، وبينت نتائج فحوصات

أطياف (UV-vis) أن فجوة الطاقة انخفضت مع زيادة نسبة التشويب بـ (Cr) من (4 eV) إلى (3.45 eV) [46].

• قام الباحث (Nion) وجماعته سنة (2021) بتحضير أغشية (MgO) الرقيقة المشوبة بـ (Al) بتقنية التحلل الحراري الكيميائي بدرجة حرارة (350 °C) على قواعد من الزجاج، تم إجراء الفحوصات التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، أظهرت نتائج حيود الأشعة السينية (XRD) التحضير الناجح للأغشية (MgO) الرقيقة، وتشير نتائج قياسات المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن مورفولوجيا سطح أغشية (MgO) الرقيقة تتغير بشكل كبير وتكون أكثر تجانس مع تراكيز التشويب بـ (Al)، ومن خلال فحوصات أطياف (UV-vis) وجد أن النفاذية للأغشية المحضرة تتناقص مع زيادة نسبة التشويب كما أن فجوة الطاقة تساوي (2 eV) لغشاء (MgO) الرقيق ومع زيادة نسبة التشويب تنخفض إلى (1.75 eV) [47].

• تمكن الباحث (Aouati) وجماعته سنة (2021) من تحضير أغشية (MgO) الرقيقة بسماكات مختلفة على قواعد من الزجاج بتقنية المحلول-هلام (Sol-Gel)، تم دراسة الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، أظهرت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) أن الأغشية المحضرة متعدد التبلور وذات تركيب مكعب بالاتجاهين (200) و (220)، وبينت نتائج صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن سطح الأغشية المحضرة يكون أكثر تجانسا بزيادة السمك كما أن الحجم الحبيبي يزداد بزيادة سمك الأغشية، أظهرت نتائج قياسات أطياف (UV-vis) أن قيم النفاذية تقل وفجوة الطاقة تزداد من (3.88 eV) إلى (3.98 eV) للأغشية المحضرة بزيادة السمك [48].

• حضر الباحث (Taşer) وجماعته سنة (2021) أغشية (MgO) الرقيقة المشوبة بالنيكل (Ni) على قواعد من الزجاج بطريقة التفاعل والامتزاز الطبقي الأيوني (SILAR)، تم فحص الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، بينت فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) أن الأغشية المحضرة تمتلك تراكيب مكعبة وبالاتجاهين (200) و (220) وأن حجم البلوريات تغير بعد إضافة شوائب (Ni)، أظهرت نتائج المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن الأغشية المحضرة متجانسة وذات تركيب الجدران النانوية (Nanowall)، أوضحت نتائج قياسات أطياف (UV-vis) أن قيم النفاذية تناقصت وفجوة الطاقة انخفضت من (4eV) إلى (3.5eV) مع زيادة تراكيز مادة التشويب (Ni) [49].

• تمكن الباحث (ŞENASLAN) وجماعته سنة (2022) من ترسيب أغشية (MgO) الرقيقة على قواعد من السليكون والزجاج بتقنية التريذ بالتردد الراديوي (RF) وتم تلدين الأغشية عند درجة حرارة (400 °C) لمدة (4 h)، تمت دراسة الخصائص التركيبية والمورفولوجية والبصرية للأغشية المحضرة، وأظهرت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) قمم سائدة عند الاتجاهين (200) و (220)، بينت صور فحوصات المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن تراكيب الأغشية المحضرة نانوية وبشكل كروي ثم تتحول إلى شكل هرمي بعد عملية التلدين، ومن خلال الفحوصات أطياف (UV-vis) نلاحظ أن أغشية (MgO) المحضرة ذات فجوة طاقة تتراوح بين (4.07 eV) و (4.14 eV) [50].

(Aim of The Study)**(11-1) هدف الدراسة**

تهدف الدراسة الحالية إلى تحضير أغشية نانوية من مادة اوكسيد المغنيسيوم (MgO) النقي والمشوب بكبريتيد الزنك (ZnS) على قواعد من الزجاج بدرجة حرارة (350 °C) بتقنية التحلل الحراري الكيميائي (CSP) لغرض دراسة تأثير التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) على الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية للأغشية المحضرة، وذلك سعياً للحصول على أغشية رقيقة متجانسة وامكانية تحسين صفاتها الفيزيائية في منطقة الطيف المرئي والمنطقة تحت الحمراء القريبة لما تمتاز به هاتان المنطقتان من تطبيقات عملية في مجال تصنيع الخلايا الشمسية والكواشف.

الفصل الثاني

الجزء النظري

(Introduction)

(1-2) المقدمة

في هذا الفصل سيتم التطرق إلى الجانب النظري للدراسة الحالية من خلال بعض المفاهيم النظرية، والقوانين والمعادلات الرياضية؛ لتفسير ما تم التوصل إليه في هذا البحث.

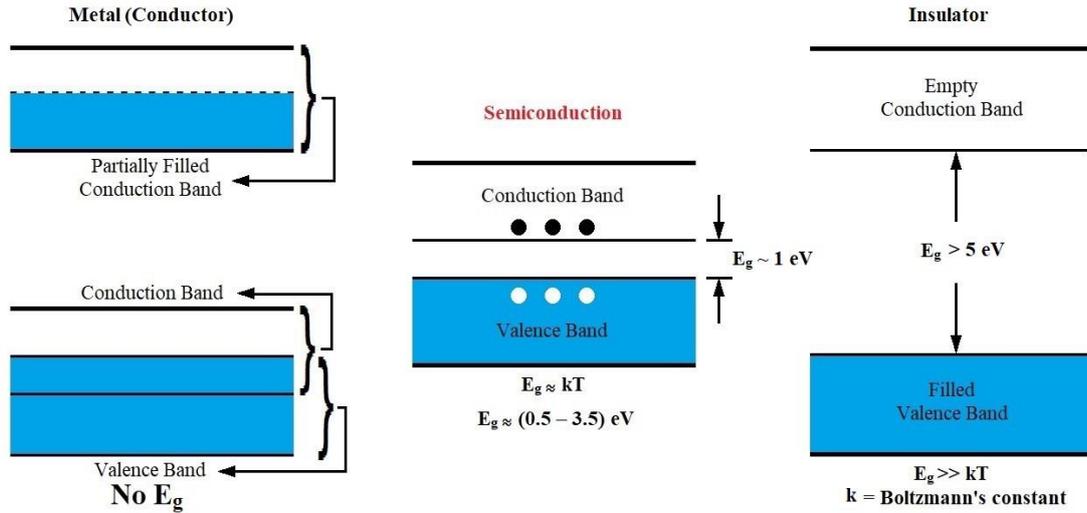
(Semiconductors)

(2-2) أشباه الموصلات

أن المواد الصلبة الموجودة في الطبيعة تصنف إلى ثلاث مجموعات بالاعتماد على قابليتها في التوصيل الكهربائي وهي المواد الموصلة (Conducting Materials) وتكون ذات توصيلية عالية في حدود $(\Omega.cm)^{-1}$ (10^3-10^8) والمواد العازلة (Insulating Material) تمتلك توصيلية كهربائية ضعيفة جدا تتراوح بين $(\Omega.cm)^{-1}$ ($10^{-18}-10^{-8}$) والمواد شبه الموصلة التي تقع توصيليتها الكهربائية بين المواد الموصلة والعازلة أي بحدود $(\Omega.cm)^{-1}$ ($10^{-8}-10^3$). أن اشباه الموصلات غالبا ما تكون مواد عازلة عند درجة حرارة الصفر المطلق وعند رفع درجة حرارتها أو عند إضاءتها أو اضافة كميات قليلة من الذرات الشائبة أو إحداث عيوب في تركيبها تتحول إلى مواد موصلة [51, 52]، الشكل (1-2) يبين مخطط حزم الطاقة للمواد الصلبة [53].

أن الصفات التي تتميز بها المواد شبه الموصلة جعلتها ذات أهمية كبيرة في كثير من التطبيقات العلمية ومنها [54, 55]:

1. تعد اشباه الموصلات مواد حساس للضوء لذلك يؤدي تعرضها لضوء ذي طول موجي مؤثر إلى تغير في مقاومتها.
2. أن المقاومة النوعية لأشباه الموصلات في درجة حرارة الغرفة تتراوح بين $(\Omega.cm)$ ($10^{-3}-10^8$).
3. التوصيلية الكهربائية لأشباه الموصلات تتأثر عند تسليط مجال مغناطيسي وكهربائي عليها.
4. تتميز مواد اشباه الموصلات بأن مقاومتها تمتلك معامل حراري سالب حيث تقل مقاومتها بزيادة درجة الحرارة على عكس ما تتصف به المعادن.
5. يظهر شبه الموصل النقي توصيلية كهربائية ذاتية عندما يكون مستوى فيرمي في منتصف فجوة الطاقة.
6. تحتوي اشباه الموصلات على نوعين من حاملات الشحنة (الفجوات والالكترونات) وعند احداث بعض العيوب في تركيبها أو إضافة الشوائب تزداد توصيليتها الكهربائية ويظهر نوع واحد من حاملات الشحنة ويختفي النوع الاخر.



الشكل (1-2): مخطط حزم الطاقة في المواد الصلبة [53].

(3-2) التركيب البلوري لأشباه الموصلات

(Crystal Structure of Semiconductors)

تقسم أشباه الموصلات حسب بنيتها البلورية على قسمين رئيسيين هما:

(1-3-2) أشباه الموصلات البلورية (Crystalline Semiconductor)

هي مواد يكون ترتيب الذرات فيها بشكل منتظم ويتكرر دوريا في الفضاء (الابعاد الثلاثة) ضمن مدى طويل وتقسّم على قسمين هما:

(1-1-3-2) أشباه الموصلات أحادية التبلور

(Single Crystalline Semiconductors)

هي المواد التي تترتب ذراتها أو جزيئاتها بشكل هندسي منتظم بحيث تعيد نفسها دوريا بصورة متكررة في الابعاد الثلاثة، ويدعى هذا الترتيب في البلورة بترتيب المدى الطويل (Long Range Order) أي تمثل نوعا من التماثل (Symmetry) كما في الشكل (a-2-2)، ويسمى الترتيب الدوري للذرات في البلورة بالشبيكة (Lattice) التي تتكون من وحدات متكررة على امتداد البلورة، وتسمى كل وحدة من هذه الوحدات بخلية الوحدة (Unit Cell) [56].

(2-1-3-2) اشباه الموصلات متعددة التبلور

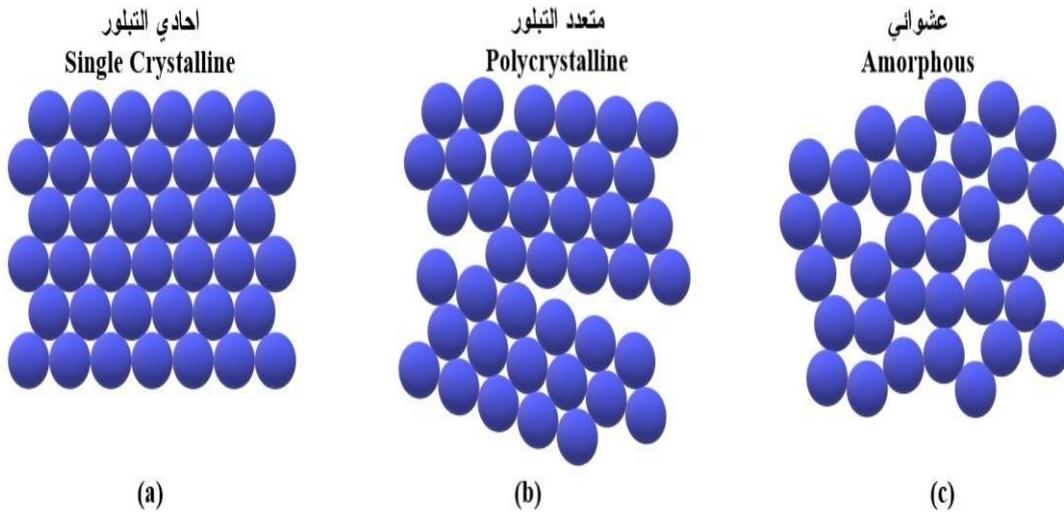
(Polycrystalline Semiconductors)

هي عبارة عن مواد تترتب فيها الذرات بشكل هندسي غير ممتد على جميع أجزاء المادة بل ينقطع عند حدود معينة داخل البلورة وتعرف هذه الحدود بالحدود الحبيبية (Grain Boundary)، وتتكون المادة من العديد من البلورات الأحادية الصغيرة تسمى الحبيبات والتي تمتلك كل منها على حدى نظام المدى الطويل بينما تمتلك الحبيبات البلورية مجتمعة نظام المدى القصير وأن كل حبيبة بلورية تتكون من آلاف من وحدات الخلايا المنتظمة كما في الشكل (b-2-2) [29].

(2-3-2) اشباه الموصلات غير البلورية (العشوائية)

(Amorphous Semiconductors)

وهي مواد يكون فيها الترتيب الذري في أي مقطع من المادة لا يشبه المقطع الذي يليه، وبالتالي تنتوزع ذراتها بشكل عشوائي غير منتظم وتمتلك ذراتها نظام المدى القصير وينعدم فيها نظام المدى الطويل، وتكون اشباه الموصلات العشوائية في حالة غير مستقرة ثرموديناميكيا بسبب تحولها إلى مادة متبلورة عند زوال العوامل التي تجعل تركيبها عشوائيا او عندما تعود الذرات إلى حالة الاسترخاء أو عند فقدان الطاقة الزائدة التي تمتلكها كما في الشكل (c-2-2) [57, 58].



الشكل (2-2): التركيب البلوري للمواد [59]، (a) احادي التبلور، (b) متعدد التبلور، (c) عشوائي.

(4-2) العيوب في المواد البلورية (Defects in Crystalline Materials)

إنّ الذرات في معظم المواد الصلبة منتظمة بشكل متناسق بحيث تكون المادة وكأنها مكونة من وحدات بناء متشابهة وذات أشكال هندسية منتظمة، ويؤدي هذا الترتيب المنتظم إلى بناء بلورة كاملة برص متكرر للوحدة البنائية وتدعى هذه الوحدة بالخلية الابتدائية، وهذه الوحدات تحتوي على جميع المعلومات المطلوبة من أجل إعادة بناء مواقع الذرات في البلورة، و تتخذ هذه الخلايا في الغالب أشكالاً هندسية تختلف عادة من مادة إلى أخرى إلا أنها تحافظ على التماثل نفسه في خلية الوحدة للمادة الواحدة، وعندما تتكرر في الاتجاهات الثلاث فإنها تشكل بلورة كبيرة من المادة الصلبة [60].

هناك اشكال مختلفة من العيوب البلورية يمكن تلخيصها كما يأتي [60]:

1. احتلال الذرة موقع غير مخصص لها بين الذرات.
2. غياب الذرة من موقعها تاركة خلفها فراغا في البلورة.
3. وجود ذرات شائبة في البلورة.
4. من المحتمل غياب سلسلة طويلة من الذرات بفعل ظروف معينة ونتيجة لذلك تعيد الذرات ترتيب نفسها بالأسلوب الذي يكون قادراً على أن يقلل من خصائصها البلورية.

(5-2) مركبات اشباه الموصلات (Semiconductors Compounds)

للمواد شبه الموصلة أهمية بالغة وذلك لاستعمالها في تصنيع العديد من الأجهزة الإلكترونية الحديثة، أن المواد شبه الموصلة لديها تاريخ طويل من الاكتشافات منذ أن اكتشف العالم هول (E.H.Hall) عام (1879) الفعل الذي طور طرائق معاينة المواد شبه الموصلة وأصبح يمكن تحديد كثافة حاملات الشحنة ونوعها والذي سمي فيما بعد بتأثير هول (Hall Effect)، وتم صناعة اول ترانزستور باستعمال مادة الجرمانيوم (Ge) عام (1947) بعد دراسات واكتشافات عديدة من قبل كل من برادن (J.Bardeen) وبراتان (W.H.Brattain) وشوكلي (W.B.Shchly) الامر الذي مهد لتطور صناعة الأجهزة باستعمال أشباه الموصلات.

إن المواد شبه الموصلة تقسم على نوعين مفردة ومركبة، والمفردة تتمثل بعناصر العمود الرابع من الجدول الدوري، أما المركبة فتتكون من دمج عنصرين عنصر من العمود الحادي عشر أو الثاني عشر مع عنصر من العمود السادس عشر من الجدول الدوري لينتج عن ذلك مركب ثنائي حيث ترتبط ذرات هذه المركبات بأصرة تساهمية ويكون التركيب البلوري لها من نوع تركيب

الخاصين المكعب (Zinc blende) والمعيني القائم (Orthorhombic) والسداسي (Hexagonal)، وهناك أيضا مركبات ثلاثية ورباعية [61]. الجدول (1-2) يبين بعض عناصر أشباه الموصلات المفردة والمركبة [62].

الجدول (1-2): بعض عناصر أشباه الموصلات المفردة والمركبة [62].

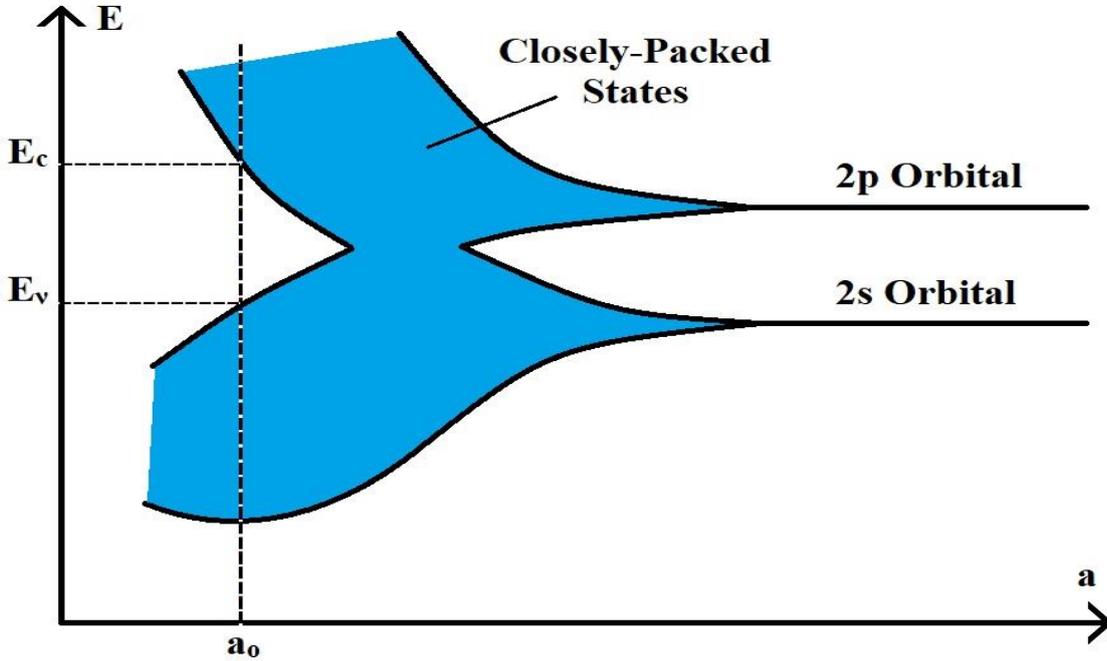
Element	IV-IV Compounds	III-V Compounds	II-VI Compounds	IV-VI Compounds	I-VI Compounds
Si	SiC	AlA ₃	CdS	PbS	CuS
Ge	GeSi	AlSb	CdSe	PbTe	AgS
		BN	CdTe		
		GaAs	ZnS		
		GaP	ZnSe		
		GaSb	ZnTe		
		InAs			
		InP			
		InSb			

(6-2) نظرية حزم الطاقة في أشباه الموصلات البلورية

(Energy Band Theory in Crystalline Semiconductors)

إن حزم الطاقة في المواد الصلبة يمكن تفسير بنيتها باستعمال ميكانيك الكم، إذ أفترض وجود ذرات مرتبة دوريا بشكل منتظم وكل ذرة تحتوي على أكثر من إلكترون، فإذا كانت الذرات بعيدة فإن الإلكترونات في الذرات المتجاورة لا تتفاعل وسوف تشغل مستويات طاقة منفصلة، فعند تقريب الذرات معا فإن الإلكترونات الأبعد تتفاعل أولاً، لذا فإن مستوى الطاقة المنفصل سينشطر إلى حزمة من الطاقات المسموحة، وباستمرارية اقتراب الذرات مع بعضها فإن الإلكترونات المتجاورة ستتفاعل وتنشطر أيضا إلى حزمة من الطاقات المسموحة، وعندما تصبح الذرات قريبة بشكل كاف فإن الإلكترونات الأعمق سوف تتفاعل مما يؤدي إلى أن ينشطر مستوى الطاقة ليكون حزمة من الطاقات المسموحة، وبوصول الذرات إلى مسافات الاتزان الذري سوف تتكون حزم من الطاقة المسموحة التي تشغلها الإلكترونات وتكون مفصولة بواسطة حزم من الطاقات الممنوعة، أن

انشطار حزمة الطاقة وتكوين حزم مسموحة وممنوعة يعرف بنظرية حزم الطاقة [63]. والشكل (3-2) يبين انشطار حزم الطاقة إلى حزم طاقة مسموحة وممنوعة [57].



الشكل (3-2): انشطار حزم الطاقة إلى حزم طاقة مسموحة وممنوعة [57].

(Semiconductors Doping)

(7-2) تشويب أشباه الموصلات

في الكثير من التطبيقات العملية يعد التحكم في التوصيلية لأشباه الموصلات النقية برفع درجة حرارتها أمراً غير مرغوب به من الناحية العملية، لذا يتم اللجوء إلى طريقة الأشابة المتعمدة (Intentional Doping) والتي تكون ذات فاعلية أكبر في تحسين خاصية التوصيل في أشباه الموصلات، وبالإضافة على عمل هذه الشوائب على زيادة توصيلية شبه الموصل فهي تكون السبب في ظهور نوع واحد من حاملات الشحنة وتضائل أو اختفاء النوع الآخر [64].

تقسم الشوائب على نوعين اعتماداً على كيفية احتلالها لموقعها في البلورة وهما [64]:

1. شوائب خلالية أو بيئية (Interstitial Impurities): تقوم هذه الشوائب بإقحام نفسها في موقع بين الذرات الاصلية للبلورة المستضيفة لها يساعدها في ذلك امتلاكها أنصاف أقطار ذرية صغيرة مقارنة بالمسافات البينية الفاصلة بين المستويات الذرية للبلورة المستضيفة.

2. شوائب استبداليه (Substitutional Impurities): تقوم هذه الشوائب بطرد ذرات البلورة المستضيفة لها من موقعها الأصلي لتحل محلها نظرا لما يمتاز به هذا النوع من الشوائب من حجم مقارب لحجم ذرات البلورة المستضيفة أو أكبر منها بقليل.

(8-2) طرائق تشويب اشباه الموصلات

(Semiconductors Doping Methods)

1. التشويب بالغرس الأيوني (Ion Implantation Doping): في هذه الطريقة يوضع شبه الموصل المراد تشويبه في جو مفرغ مع وضع المادة الشائبة بالقرب منه، وبتسليط فرق جهد معين تنتقل الايونات الشائبة وتتأين ذراتها، وتحصل عملية الإشابة عند اصطدام تلك الذرات بسطح المادة شبه الموصلة، وتعتمد هذه الطريقة على طبيعة المادة المشابه، والمادة الشائبة، وطاقة التعجيل [65].

2. التشويب بالتبخير الثنائي (Co-Evaporation Doping): في هذه الطريقة يتم استعمال حوضين للتبخير إذ توضع مادة الغشاء الرقيق المراد تشويبهما في أحدهما وتوضع مادة التشويب في الآخر، وعملية التحكم في مقدار التيار المار في كل منهما تتم عن طريق محولة للتيار المتناوب مع تغيير فولطيتها بصورة تدريجية إلى أن تتم عملية الترسيب لكل من مادة الغشاء الرقيق ومادة التشويب [65].

3. التشويب بالليزر (Laser Doping): في هذه الطريقة يتم صهر المادة المراد الإشابة بها باستعمال حزمة من الليزر ولعمق معين تعمل هذه الشوائب على الانتشار خلال مادة شبه الموصل، أن ما يميز هذه الطريقة عن الطرائق الأخرى هو إمكانية السيطرة على عمق الشوائب من خلال الطول الموجي المستعمل وقدرة الليزر وعدد النبضات والزمن [65].

4. التشويب بالانتشار الحراري (Thermal Diffusion Doping): تتلخص عملية إضافة الشوائب في هذه الطريقة بترسيب طبقة من المادة الشائبة على سطح المادة شبه الموصلة المراد تشويبهما، بعدها يتم وضع المادة في فرن مفرغ من الهواء عندها تنتشر ذرات المادة الشائبة في ذرات المادة المشوبة وتعتمد هذه الطريقة على درجة الحرارة وزمن الانتشار [65].

5. التشويب بالخلط (Mixture Doping): في هذه الطريقة تتم عملية الإشابة بمزج المادة المراد تشويبهما مع المادة المشوبة وبنسب وزنية محددة شرط تقارب درجتي حرارة انصهار المادتين؛ إذ يتم صهرهما معا [65].

6. التشويب بإذابة المحاليل (Solubility in Solution Doping): في هذه الطريقة تكون المادة المستعملة في تحضير الغشاء والمادة المشوبة بهيئة محاليل، وباستعمال النسب الحجمية تتم عملية مزج المحاليل والسيطرة على نسبة الاشابة في المادة شبه الموصلة، مع الاخذ بنظر الاعتبار الوزن الجزيئي للمادة الشائبة والمادة المشوبة، وهي الطريقة المتبعة في دراستنا الحالية [65].

(9-2) الخصائص التركيبية (Structural Properties)

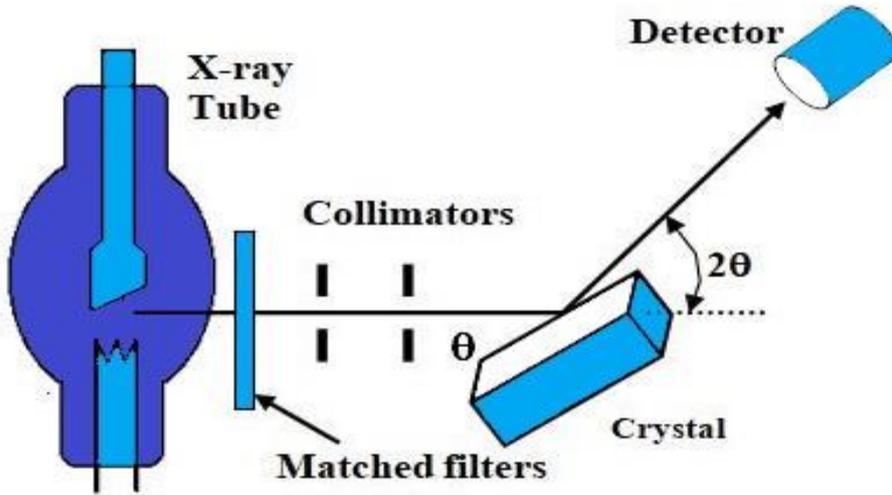
(1-9-2) حيود الأشعة السينية (XRD) (X-ray Diffraction)

الأشعة السينية هي موجات كهرومغناطيسية ذات أطوال موجية محددة وتقع بين الأشعة فوق البنفسجية وأشعة كاما، إذ أن أطوالها الموجية تتراوح بين $(0.1-10) \text{ \AA}$ لذلك يفضل استعمالها في معظم تجارب حيود البلوري وبشكل عام فإن الحيود يعتمد على التركيب البلوري والطول الموجي للأشعة المستعملة أي أن الطول الموجي يجب أن يكون مساويا أو مقاربا لثابت الشبكة [66]، إذ عند تسليط أشعة سينية ذات طول موجي احادي لمدى من الزوايا على سطح الغشاء ستظهر قمم نتيجة لأنعكاسات براك عند السطوح البلورية المتوازية، والشكل (2-4) يوضح آلية التشخيص بالأشعة السينية [67]. أن تقنية حيود الأشعة السينية تحدد أن كانت المادة تحت الاختبار متبلورة او عشوائية كالآتي [66]:

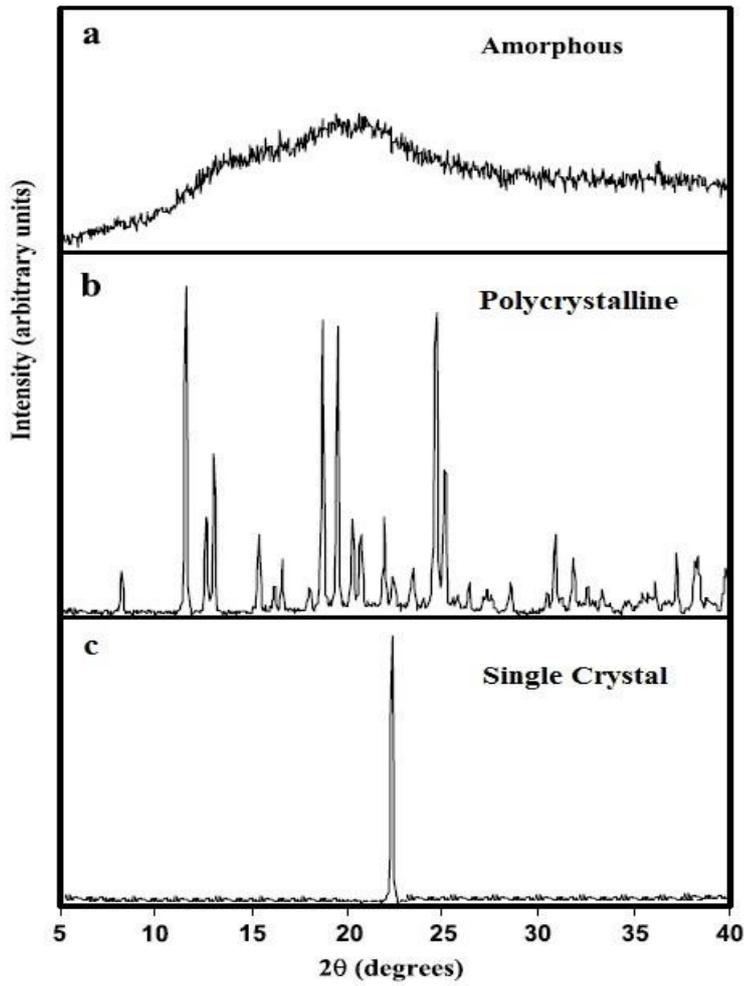
1. الحيود في المواد غير المتبلورة او العشوائية (Amorphous) لا يظهر الانعكاس المتعلق بتبلور واحد وانما يظهر عدد من القمم الواسعة (Broad Peaks)، كما موضح في الشكل (a-5-2).

2. حيود الأشعة السينية للمواد متعددة التبلورة (Polycrystalline) يظهر قمم متنوعة بزوايا حيود مختلفة، كما في الشكل (b-5-2).

3. حيود الأشعة السينية للمواد احادية التبلور (Single Crystal) يظهر انعكاس لقمة حادة واحدة كما في الشكل (c-5-2).



الشكل (4-2): التشخيص بالأشعة السينية [67].



الشكل (5-2): حيود الأشعة السينية (XRD) في المواد [68]،
(a) عشوائي، (b) متعدد التبلور، (c) احادي التبلور.

(2-9-2) قانون براك

(Bragg's Law)

عند سقوط الأشعة السينية تتأثر الشبيكة البلورية التي تكون فيها الذرات أو الجزيئات متباعدة بانتظام، ونتيجة لتفاعل الأشعة الساقطة مع المادة فإنها ستعاني حيود أو انحراف عن مسارها فإذا فقد الجسم أو الفوتون المشتمت قسما من طاقته الحركية يدعى بالتشتت غير المرن (Inelastic Dispersion) وأن لم يحدث تغيير في الطاقة عندها يدعى بالتشتت المرن (Elastic Dispersion) [69].

قد تمكن العالم براك من استنتاج قانونه المبني على أساس أن فرق المسار للأشعة الساقطة والمنعكسة مساو لطول موجة واحدة أو عدد كامل من الأطوال الموجية، والشكل (6-2) يمثل المستويات البلورية وحيود براك [70]، وأن الشرط الأساسي لحدوث انعكاس براك هو تحقيق المتباينة $(\lambda \leq 2d)$ ، وقانون براك يصف هذا الحيود بالمعادلة الآتية [71]:

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad \dots\dots\dots (1-2)$$

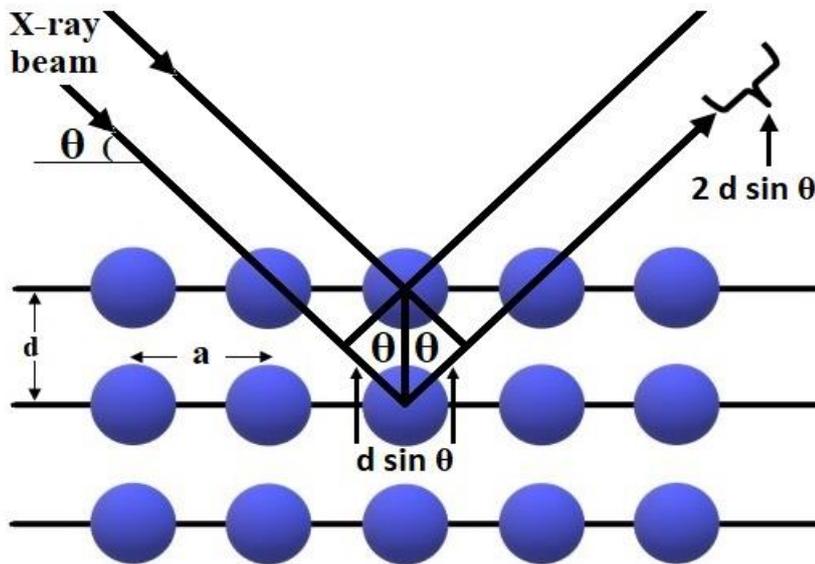
إذ إن:

n: عدد صحيح يمثل مرتبة الحيود.

λ : الطول الموجي للأشعة الساقطة بوحدة (nm).

θ : زاوية حيود براك بوحدة (degree).

d_{hkl} : المسافة بين مستويين متعاقبين في البلورة.



الشكل (6-2): المستويات البلورية وحيود براك [70].

(Structure Parameters)

(3-9-2) المعلمات التركيبية

(Lattice Parameters)

(1-3-9-2) ثوابت الشبكة

يتم حساب ثوابت الشبكة (a, b, c) للبنية المكعبة والتي يكون فيها (a = b = c) باستعمال

المعادلة الآتية [72]:

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

إذ إن:

hkl: معاملات ميلر

أما البنية السداسية التي يكون فيها (a = b) فإن ثوابت الشبكة يتم حسابها من المعادلة الآتية [73]:

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

(Crystallite Size)

(2-3-9-2) حجم البلوريات (D)

لحساب حجم البلوريات نستعمل معادلة شيرر (Scherrer's Formula) [74]:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \dots\dots\dots (4-2)$$

إذ إن:

K: عامل الشكل (Shape Factor) وقيمه ضمن المدى (0.9-1) ويعتمد على شكل الحبيبات.

β: عرض المنحني عند منتصف القمة (FWHM) يقاس بالوحدات النصف قطرية.

θ: زاوية حيود براك.

λ: الطول الموجي للأشعة السينية.

(Texture Coefficient)

(3-3-9-2) عامل التشكيل (T)

يستعمل مصطلح عامل التشكيل لوصف الاتجاه السائد للأغشية الرقيقة، فإذا كانت قيمته

أكبر من واحد (T_C > 1) فإن النمو البلوري للمستويات المفضلة تكون ضمن هذا الاتجاه، ولكن إذا

كانت اقل من واحد ($T_C < 1$) فهي متعددة التبلور وباتجاهات غير موحدة، ويتم حساب عامل التشكيل وفق العلاقة الآتية [75, 76]:

$$T_C = \frac{I_{(hkl)}/I_{o(hkl)}}{N^{-1} \sum_N I_{(hkl)}/I_{o(hkl)}} \dots\dots\dots (5-2)$$

إذ إنَّ:

$I_{(hkl)}$ الشدة النسبية المقاسة للمستوي (hkl) باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD)، و (N) عدد قمم الحيود، و $I_{o(hkl)}$ الشدة النسبية القياسية للمستوي (hkl) المعتمدة في بيانات البطاقة الدولية (JCPDS Data)

(4-3-9-2) كثافة الانخلاعات (δ) وعدد البلوريات (N_o)

(Dislocation Density and Number of Crystallites)

عدد خطوط الانخلاع التي تقطع وحدة المساحة في البلورة تمثل كثافة الانخلاعات، وهي تمثل النسبة بين الطول الكلي لخطوط الانخلاع جميعها وحجم البلورة، وبمعرفة قيمة حجم البلوريات يمكن حساب كثافة الانخلاع الناتجة عن حجم البلوريات من العلاقة الآتية [77]:

$$\delta = \frac{1}{D^2} \dots\dots\dots (6-2)$$

ويتم حساب عدد البلوريات (N_o) لوحدة المساحة من العلاقة [78]:

$$N_o = \frac{t}{D^3} \dots\dots\dots (7-2)$$

إذ إنَّ:

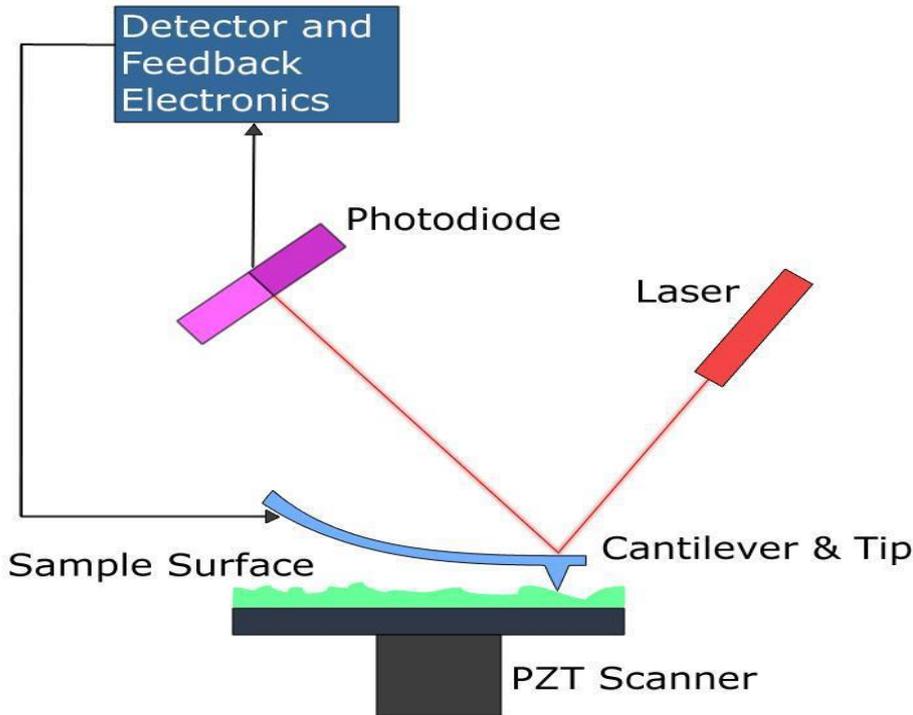
D: حجم البلوريات

t: السمك

(4-9-2) مجهر القوة الذرية (AFM) (Atomic Force Microscope)

لمعرفة ورسم طبوغرافية السطوح (Surface Topography) ذات الأبعاد النانوية والميكروية يستعمل جهاز مجهر القوة الذرية (Atomic Force Microscope (AFM))، حيث يفوق قدرة تكبير المجهر الإلكتروني بأكثر من (1000) مرة؛ إذ يمتلك قدرة تحليل تصل إلى أجزاء من النانومتر، وقد تم اختراع هذا المجهر من قبل العالمين (Gerber and Quate) في

عام (1968)، إذ يتألف هذا الجهاز من ذراع (Cantilever) الذي يمتاز بمرونته العالية وفي نهايته المجس (Probe) ويمثل الجزء المتصل بطرف الذراع والمكون من رأس حاد (Tip) والذي يمثل الجزء الالاق في المجس والمسؤول عن فحص أسطح العينات، وأيضا يحتوي الجهاز على وحدة المسح ثلاثية الاتجاهات (Piezo - Electric xyz Scan Driver) المسؤولة عن تحريك سطح العينة تحت المجس في جميع الاتجاهات ليقوم المجس بعدها بمسح سطح العينة في جميع الاتجاهات، فمجرد اقتراب رأس المجس من سطح العينة تتولد قوة متبادلة قد تكون قوة فاندرفالز أو قوة ميكانيكية أو غيرها من أنواع القوى وهذه القوة تؤدي إلى انحراف الذراع، أن هذا الانحراف يخضع إلى قانون هوك وتبعاً إلى نوعية مكونات سطح العينة وتضاريس سطحها تتغير قوة التفاعل المتولدة بين سطح العينة ورأس المجس والتي تسبب تغيير في انحراف الذراع، إن هذا التغيير يتم رصده بواسطة شعاع ليزر دقيق وهذا الشعاع ينعكس من قمة الذراع لتسجيل التغيير في حركة الشعاع باستعمال كاشف ضوئي حساس جداً (Sensitive Photo - Detector)، يتم معالجة الاشارات المرسله من الكاشف الضوئي في وحدة المعالجة المركزية ليتم بعدها إنتاج صورة ثلاثية الأبعاد لسطح العينة ويزودنا مجهر القوة الذرية بمعلومات في غاية الدقة عن خشونة سطح العينة ومعدلها (RMS) (Root Mean Square) [9, 78]. الشكل (7-2) يوضح عملية المسح المجهرية باستعمال مجهر القوة الذرية [78].



الشكل (7-2): عملية المسح المجهرية لمجهر القوة الذرية [78].

(5-9-2) المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM)

(Field Emission Scanning Electron Microscopy)

لمعرفة الخصائص المورفولوجية للسطح (Surface Morphological) يتم استعمال تقنية قياسات المجهر الإلكتروني الماسح الباعث المجال (FE-SEM)، وكما يتم الكشف عن مواقع العيوب، ومعرفة شكل وكثافة الجسيمات، فعند تحرير الإلكترونات من المصدر وتعجيلها بمجال كهربائي بالتدريج داخل انبوبة تفريغ ذات ضغط عال يتراوح بين 10^{-10} – 10^{-4} Torr، وتمتلك هذه الحزمة المعجلة من الإلكترونات مجموعة طاقات من بضع مئات من الإلكترون فولت إلى عشرات من الكيلو إلكترون فولت، يطلق عليها بالإلكترونات الأولية، وترتكز على مساعدة العدسة الكهرومغناطيسية لإنتاج شعاع المسح الضوئي الضيق الذي يقصف الجسم، إذ يتم مسح سطح العينة على كامل مساحتها وتنبعث الإلكترونات الثانوية من كل النقاط على الجسم، ومن ثم يتم الكشف عنها لإصدار إشارة إلكترونية، والإشارات التي يتم الحصول عليها تنقل معلومات عن مورفولوجيا سطح العينة، وبعض من هذه الإلكترونات تعاني من استطارة مرئية مع مجال النواة في حين أن بعض الإلكترونات تعاني من استطارة غير مرنة مع الكتلونات ذرات الهدف لتعطي الكتلونات ثانوية أو الكتلونات لولبية.

تستعمل الإلكترونات الثانوية التي يتم الكشف عنها بواسطة الكاشف كل موقع من حزمة الإلكترون الساقط لتكوين صورة، وتضخم الإشارة التي يتم جمعها ويتم تحليلها لتشكيل صورة متزامنة على أنبوب أشعة الكاثود، وأخيرا تستعمل كاميرا لالتقاط الصورة التي تحدد دقتها حسب حجم البقعة النهائي أما عمق تلك الصورة فيتم التحكم به من خلال تيار الحزمة.

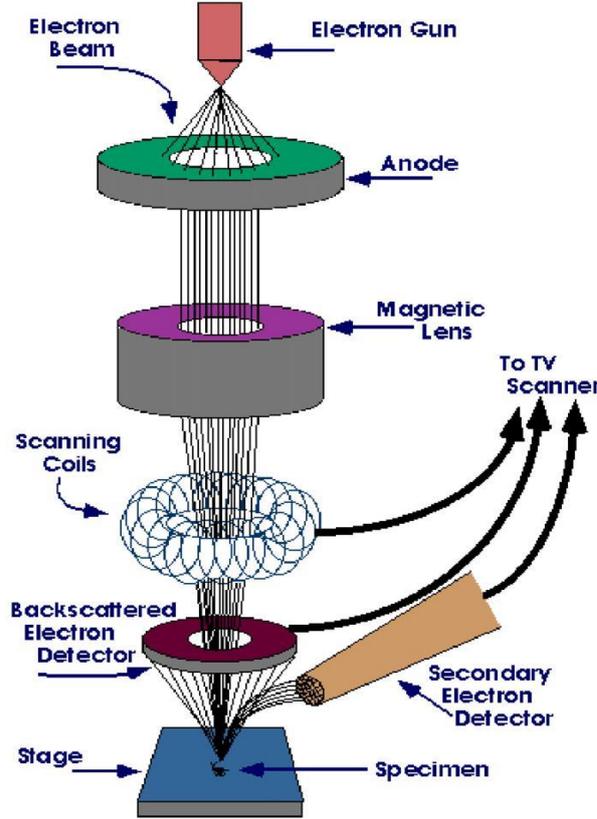
ويحدد كل من تيار الحزمة وحجم البقعة النهائي عمق الصورة ودقتها على التوالي، وبالاعتماد على معاملات الحزمة ونوعها يتم تفاعل الإلكترونات مع العينة من بضع نانومترات إلى عدة مايكرونات من سطح العينة [79-81].

ويتميز جهاز (FE-SEM) بالمزايا الآتية [79]:

1. يمكن الحصول على صور تمتلك جودة عالية باستعمال جهد منخفض مع شحن كهربائي ضئيل للنماذج أو العينات.

2. مقارنة مع (SEM) فإنه يعطي صوراً أكثر وضوحاً وأقل تشوهاً وذات دقة عالية تصل إلى أجزاء من النانومتر؛ إذ إنه يفوق قدرة تكبير المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) بأكثر من (3-6) مرة.

3. يقلل من اختراق الإلكترونات التي تمتلك طاقة حركية واطئة لتقتصر على اختراق سطح المادة.
الشكل (8-2) مخطط لعمل جهاز المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM) [82].



الشكل (8-2): مخطط عمل المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال [82].

(Optical Properties)

(10-2) الخصائص البصرية

تعد دراسة الخصائص البصرية مهمة جداً لأشباه الموصلات، إذ تزودنا بالعديد من المعلومات عن أنواع الانتقالات الإلكترونية، وعن تركيب حزم الطاقة كما تصف الخصائص المميزة التي تحدث تفاعل الضوء مع المادة [83].

(1-10-2) تفاعل الضوء مع اشباه الموصلات

(The Interaction of Light with Semiconductor)

عندما يسقط شعاع أحادي اللون عمودياً على سطح شبه موصل فإن جزءاً من هذا الشعاع سينعكس وينفذ الجزء الآخر، والضوء النافذ يمتص جزء منه داخل شبه الموصل لأن طاقته كافية لإثارة الإلكترونات وتحويلها إلى مناطق ذات طاقة عالية غير مشغولة [84]، إذ يوجد عدد كبير من المستويات غير المشغولة في حزمة التوصيل وعدد كبير من المستويات المشغولة بالإلكترونات في حزمة التكافؤ وتفصل بينهما الفجوة المحظورة، لذلك عندما تكون طاقة الضوء الساقط أكبر من طاقة الفجوة المحظورة (E_g) لشبه الموصل تكون احتمالية الامتصاص كبيرة جداً [53].

أن شدة الضوء عند طول موجي معين تتناسب طردياً مع نسبة امتصاص الضوء داخل شبه الموصل، وهذا يؤدي إلى اضمحلال شدة الضوء أحادي اللون اسياً عند مروره خلال البلورة ويعبر عن ذلك بعلاقة لامبرت الآتية [85]:

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

إذ إن:

I_t : شدة الضوء بعد انتقاله داخل شبه الموصل مسافة (t).

I_0 : شدة الضوء الساقط.

α : دالة للطول الموجي الساقط وتعرف بمعامل الامتصاص.

(2-10-2) حافة الامتصاص الأساسية (Fundamental Absorption Edge)

عندما تكون طاقة الشعاع الممتص تساوي تقريباً قيمة فجوة الطاقة تحصل زيادة سريعة في الامتصاص يعبر عنها بحافة الامتصاص الأساسية، وهي صفة مشتركة لجميع المواد شبه الموصلة، تمثل حافة الامتصاص في المواد البلورية أقل فرق في الطاقة بين أعلى نقطة موجودة في حزمة التكافؤ وأوطأ نقطة موجودة في حزمة التوصيل، فتكون حادة في أشباه الموصلات أحادية التبلور وأقل حدة في أشباه الموصلات متعددة التبلور [86]، تقسم مناطق الامتصاص على ثلاث مناطق وهي موضحة في الشكل (2-9) الذي يبين العلاقة بين طاقة الفوتون ($h\nu$) ومعامل الامتصاص (α) [86].

(High Absorption Region) منطقة الامتصاص العالي (1-2-10-2)

عند حدوث الانتقالات بين المستويات الممتدة في حزمة التكافؤ إلى المستويات الممتدة في حزمة التوصيل تنتج عندها منطقة الامتصاص العالي، وقيمة معامل الامتصاص (α) في هذه المنطقة ($\alpha \geq 10^4 \text{ cm}^{-1}$) والشكل (a-9-2) يبين منطقة الامتصاص العالي [57]، في هذه المنطقة يمكن التعبير عن معامل الامتصاص (α) وفق المعادلة الآتية [87]:

$$\alpha h\nu = P(h\nu - E_g)^r \quad \dots\dots\dots (9-2)$$

إذ إنَّ:

$h\nu$: طاقة الفوتون بوحدات (eV).

P : ثابت يعتمد على طبيعة المادة.

E_g : فجوة الطاقة البصرية.

r : معامل اسي يعتمد على طبيعة الانتقال.

(2-2-10-2) منطقة الامتصاص الاسي

(Exponential Absorption Region)

إن الانتقالات الإلكترونية تحدث في هذه المنطقة من المستويات الموضعية في قمة حزمة التكافؤ إلى المستويات الممتدة في حزمة التوصيل، وقيمة معامل الامتصاص (α) في هذه المنطقة تكون ضمن القيم ($1 < \alpha < 10^4 \text{ cm}^{-1}$)، والشكل (b-9-2) يبين هذه المنطقة، حيث تزداد حافة الامتصاص أسياً في هذه المنطقة بسبب حدوث زيادة تدريجية في الامتصاص تمتد لبضعة الكتلون فولت، والمعادلة أدناه معتمدة في هذه المنطقة لحساب قيمة معامل الامتصاص (α) والمعروفة بعلاقة أورباخ (Urbach) [88].

$$\alpha = \alpha_0 e^{h\nu/E_u} \quad \dots\dots\dots (10-2)$$

إذ إنَّ:

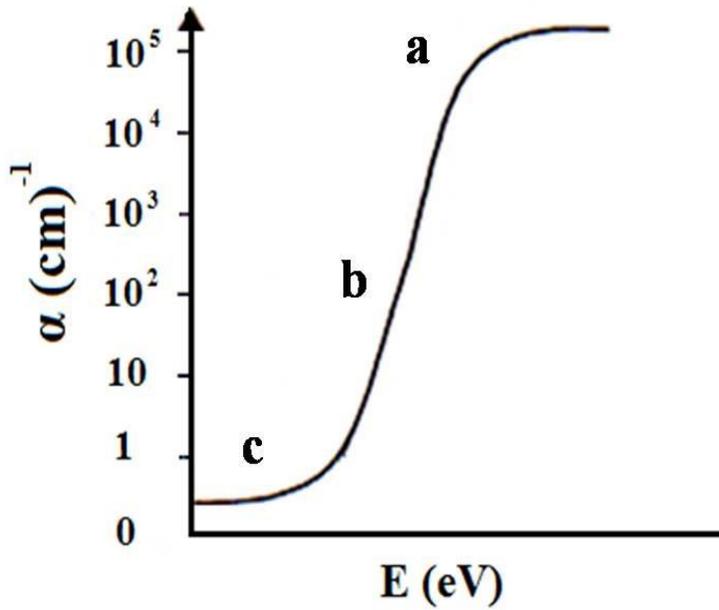
α_0 : معامل الامتصاص عند الطاقات الصفرية.

E_u : (طاقة نيبول اورباخ) وتمثل عرض الذبول للمستويات الموضعية في منطقة فجوة الطاقة

البصرية وتكون مساوية إلى مقلوب الميل الناتج من رسم العلاقة البيانية ($h\nu$) و ($\ln \alpha$).

(3-2-10-2) منطقة الامتصاص الواطئ (Low Absorption Region)

تحدث الانتقالات الإلكترونية في هذه المنطقة بين الذبول (المستويات الموضعية) داخل فجوة الطاقة، أما معامل الامتصاص (α) في هذه المنطقة يكون صغيراً جداً ($\alpha < 10^4 \text{ cm}^{-1}$) إذ يكون الامتصاص ضعيفاً، وإن منطقة الامتصاص الواطئ تعتمد على طبيعة تركيب المادة، والشكل (c-9-2) يبين منطقة الامتصاص الواطئ [86].



الشكل (9-2): مناطق الامتصاص [86]،
(a) منطقة الامتصاص العالي، (b) منطقة الامتصاص الاسي، (c) منطقة الامتصاص الواطئ.

(3-10-2) النفاذية (T) (Transmittance)

تعرف النفاذية على انها النسبة بين شدة الاشعاع النافذ عبر الغشاء (I_t) إلى شدة الإشعاع الساقط عليه (I_o) وهي كمية خالية من الوحدات وتحسب من العلاقة الآتية [89]:

$$T = I_t / I_o \quad \dots\dots\dots (11-2)$$

ويمكن حساب النفاذية بدلالة الامتصاصية (A) من العلاقة الآتية [64]:

$$T = e^{-2.303 A} \quad \dots\dots\dots (12-2)$$

(Absorbance)

(A) (4-10-2) الامتصاصية

تعرف الامتصاصية على انها النسبة بين شدة الاشعاع الممتص من قبل الغشاء (I_A) إلى شدة الإشعاع الساقط عليه (I_0) وتكون خالية من الوحدات وتحسب من العلاقة الآتية [89]:

$$A = I_A/I_0 \quad \dots\dots\dots (13-2)$$

ويمكن حساب الامتصاصية بدلالة النفاذية من العلاقة الآتية [90]:

$$A = \log(1/T) \quad \dots\dots\dots (14-2)$$

(Reflectance)

(R) (5-10-2) الانعكاسية

تعرف الانعكاسية على انها النسبة بين شدة الاشعاع المنعكس باتجاه معين أثناء سقوط حزمة ضوئية ذات طول موجي معين (λ) على سطح ما (I_R) إلى شدة الاشعاع الساقط (I_0)، ويمكن حساب الانعكاسية حسب العلاقة الآتية [90]:

$$R = \frac{I_R}{I_0} \quad \dots\dots\dots (15-2)$$

وترتبط الانعكاسية مع معامل الانكسار بالعلاقة الآتية [90]:

$$R = \frac{(n_o-1)^2+k_o^2}{(n_o+1)^2+k_o^2} \quad \dots\dots\dots (16-2)$$

إذ إن:

n_o : معامل الانكسار الحقيقي.

k_o : معامل الخمود.

عند $k \cong 0$ فان:

$$R = \frac{(n_o-1)^2}{(n_o+1)^2} \quad \dots\dots\dots (17-2)$$

وترتبط كل من النفاذية والامتصاصية والانعكاسية بقانون حفظ الطاقة المتمثل بالعلاقة [90]:

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

(Optical Constants)

(6-10-2) الثوابت البصرية

(Absorption Coefficient)

(1-6-10-2) معامل الامتصاص (α)

معامل الامتصاص (α) هو نسبة النقص في فيض طاقات الاشعاع الساقط بالنسبة إلى وحدة المسافة باتجاه انتشار الموجة داخل الوسط، ويعتمد معامل الامتصاص على طاقة الفوتونات الساقطة وخصائص شبه الموصل، ومن خلال قيم معامل الامتصاص يمكن تحديد طبيعة الانتقالات الإلكترونية فيما إذا كانت مباشرة أو غير مباشرة، يقاس معامل الامتصاص بوحدة (cm^{-1}) [91, 92]، ويمكن إيجاد قيمته من العلاقة (2-8) التي يمكن كتابتها بالصيغة الآتية [93]:

$$\ln \frac{I_t}{I_o} = -\alpha t \quad \dots\dots\dots (19-2)$$

$$\alpha t = 2.303 \log \frac{I_o}{I_t} \quad \dots\dots\dots (20-2)$$

وبما أن المقدار $\log \frac{I_o}{I_t}$ يمثل الامتصاصية (A) فيمكن كتابة المعادلة (20-2) بالصيغة الآتية:

$$\alpha = 2.303 \frac{A}{t} \quad \dots\dots\dots (21-2)$$

(Refractive Index)

(2-6-10-2) معامل الانكسار (n_o)

يعرف معامل الانكسار على انه النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في الوسط، وهو يمثل الجزء الحقيقي من معامل الانكسار المعقد (N)، ويعبر عن معامل الانكسار بالعلاقة [94]:

$$n_o = \left[\left(\frac{1+R}{1-R} \right)^2 - (k_o^2 + 1) \right]^{1/2} + \frac{1+R}{1-R} \quad \dots\dots\dots (22-2)$$

اما معامل الانكسار المعقد فيتم إيجاد قيمته من العلاقة الآتية [95]:

$$N = \sqrt{\epsilon} \quad \dots\dots\dots (23-2)$$

إذ إن:

ϵ : ثابت العزل المعقد.

يعتمد معامل الانكسار المعقد على العديد من العوامل أهمها التركيب البلوري ونوع المادة.

(3-6-10-2) معامل الخمود (k_o) (Extinction Coefficient)

يمثل معامل الخمود (k_o) مقدار التوهين الحاصل في شدة الأشعة الكهرومغناطيسية الذي ينتج عن تفاعل الأشعة الكهرومغناطيسية مع جسيمات مادة الغشاء الرقيق ويمثل معامل الخمود الجزء الخيالي من معامل الانكسار ويمكن إيجاد قيمة معامل الخمود من العلاقة الآتية [96, 90]:

$$k_o = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \dots\dots\dots (24-2)$$

إذ إنَّ: الطول (λ) الموجي للأشعة الساقطة مقاس بوحدات (cm).

(4-6-10-2) ثابت العزل البصري (ϵ) (Optical Dielectric Constant)

عند حدوث تفاعل بين الضوء وشحنات الوسط ناتج عن عملية امتصاص الطاقة في المادة عندها تكون نتيجة هذا التفاعل استقطاب في ذلك الوسط، وعادة يوصف هذا الاستقطاب بثابت العزل المعقد (ϵ) الذي يمثل استجابة المادة لترددات مختلفة وبسلوك معقد، والترددات البصرية المتمثلة بالموجات الضوئية مثال على ذلك؛ إذ تكون الاستقطابية الإلكترونية هي السائدة على أنواع الاستقطاب الأخرى، وإن درجة الاستقطاب للمادة تعتمد على كل من المجال الكهربائي والخصائص الجزيئية للمادة، ويمكن حساب قيمة ثابت العزل المعقد من العلاقة الآتية [69, 29]:

$$\epsilon = \epsilon_1 - i\epsilon_2 \dots\dots\dots (25-2)$$

إذ إنَّ:

ϵ : ثابت العزل المعقد، ϵ_1 : الجزء الحقيقي لثابت العزل، ϵ_2 : الجزء الخيالي لثابت العزل.

ويرتبط كل من (ϵ) و (N) بالعلاقة الآتية [90]:

$$\epsilon = N^2 \dots\dots\dots (26-2)$$

وعند التعويض عن قيمة كل من (ϵ) و (N) نحصل على:

$$\epsilon_1 - i\epsilon_2 = (n_o - ik_o)^2 \dots\dots\dots (27-2)$$

تم حساب ثابت العزل الحقيقي وثابت العزل الخيالي على التوالي لجميع الأغشية الرقيقة المحضرة باستعمال العلاقتين الآتيتين [69]:

$$\varepsilon_1 = n_o^2 - k_o^2 \quad \dots\dots\dots (28-2)$$

$$\varepsilon_2 = 2n_o k_o \quad \dots\dots\dots (29-2)$$

(11-2) الإنتقالات الإلكترونية (Electronic Transitions)

هناك نوعان من الانتقالات بين حزم الطاقة في أشباه الموصلات وهي الانتقالات المباشرة والانتقالات غير المباشرة، وأن احتمالية حدوث أحدهما يعتمد على وجود حالات كمية مشغولة الكترونياً في قمة حزمة التكافؤ ووجود حالات كمية فارغة مسموحة في قعر حزمة التوصيل [90].

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

يوجد نوعان من الانتقالات الإلكترونية في أشباه الموصلات التي تمتلك فجوة طاقة مباشرة، و بانتقال الإلكترون من قمة حزمة التكافؤ إلى قعر حزمة التوصيل عند النقطة ذاتها في فضاء (K-Space) بشرط $(\Delta K = 0)$ سيصاحب هذا الانتقال تفاعل يحدث بين الفوتون الساقط والإلكترون حزمة التكافؤ فقط، وعندها يكون كل من الطاقة والزخم محفوظين كما في العلاقة الآتية [90]:

$$E_f - E_i = hv \quad \dots\dots\dots (30-2)$$

$$K_f - K_i = q \quad \dots\dots\dots (31-2)$$

إذ إن:

hv: طاقة الفوتون الممتص.

E_f, E_i : الطاقة الابتدائية والنهائية للإلكترون في كل من حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل.

K_f, K_i : متجه الموجة الابتدائي والنهائي للإلكترون في كل من حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل.

q: متجه الموجة للفوتون الممتص.

وأن مقدار متجه الموجة للفوتون الممتص صغيرا جدا مقارنة بمقدار متجه الموجة للإلكترون؛ لذا يمكن اهماله وبذلك تصبح العلاقة الأخيرة بالصيغة الآتية:

$$K_f = K_i \quad \dots\dots\dots (32-2)$$

ويسمى هذا النوع من الانتقالات بالانتقال المباشر المسموح (Transition Direct Allowed)، أما عندما يكون انتقال الإلكترون من المناطق المجاورة لمناطق الانتقال المباشر المسموح بشرط عدم تغير قيمة متجه الموجة (K) فيدعى عندها بالانتقال المباشر الممنوع (Transition Direct Forbidden) والذي تعطى معادلة الامتصاص له بالعلاقة الآتية [90, 97]:

$$\alpha h\nu = B_0 (h\nu - E_g^{opt})^r \quad \dots\dots\dots (33-2)$$

إذ إن:

B_0 : ثابت يعتمد على طبيعة المادة.

E_g : فجوة الطاقة بوحدة (eV).

r : معامل اسي يحدد نوع الانتقال.

ومن المعادلة الأخيرة نستطيع تحديد نوعية الانتقال المباشر في المواد شبه الموصلة فعند القيمة $(r = \frac{1}{2})$ يكون الانتقال مباشر مسموح أما عند $(r = \frac{3}{2})$ يكون الانتقال مباشر ممنوع [90].

(Indirect Transitions)

(2-11-2) الإنتقالات غير المباشرة

تحدث الإنتقالات غير المباشرة عند عدم تطابق طاقتي كل من قمة حزمة التكافؤ وقعر حزمة التوصيل في فضاء متجه الموجة (K)، أي أن $(\Delta K \neq 0)$ ، ويحدث هذا النوع من الانتقالات من خلال مساعدة الفونون وذلك لحفظ الزخم الذي يكون ناتج عن تغير متجه الموجة للإلكترون، وتقسم الانتقالات غير المباشرة على نوعين فعندما تكون الانتقالات بين أعلى نقطة في حزمة التكافؤ وأوطأ نقطة من حزمة التوصيل والموجودة في مناطق مختلفة لفضاء متجه الموجة (k) يدعى الانتقال بالانتقال غير المباشر المسموح، أما في حالة الانتقالات بين النقاط المجاورة لأعلى نقطة وأوطأ نقطة في حزمتي التكافؤ والتوصيل عندها يدعى الانتقال بالانتقال غير المباشر الممنوع [85]، ويمكن إيجاد قيمة فجوة الطاقة لهذا النوع من الانتقالات من المعادلة الآتية [85]:

$$\alpha h\nu = B_1 (h\nu - E_g^{opt} \pm E_{ph})^r \quad \dots\dots\dots (34-2)$$

إذ إن:

E_g^{opt} : فجوة الطاقة البصرية للانتقال غير المباشر المسموح بوحدة (eV).

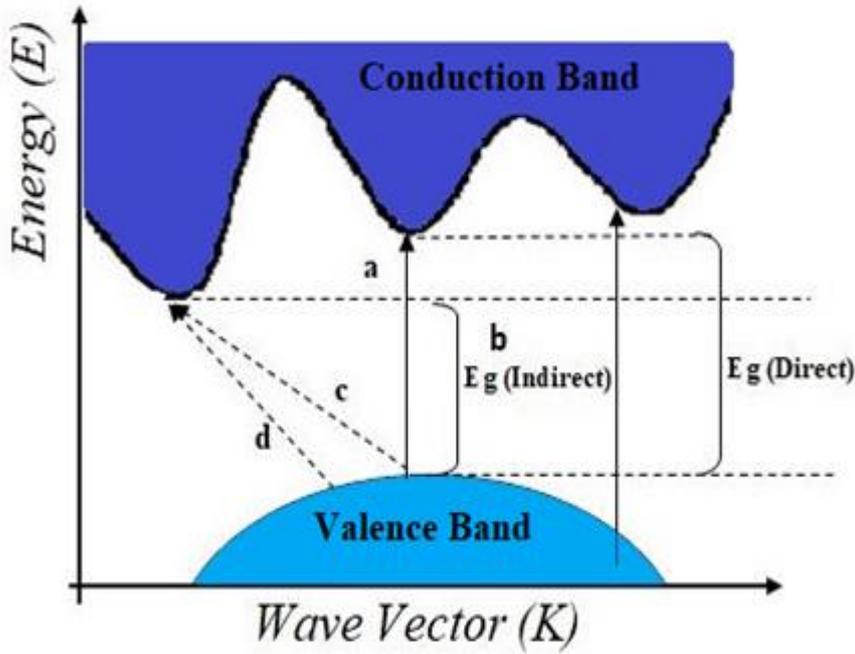
B_1 : ثابت يعتمد على نوع المادة.

E_{ph} : طاقة الفونون المساعد بوحدة (eV).

r : معامل اسي يحدد نوع الانتقالات.

الإشارة (-) تعني امتصاص فونون والإشارة (+) تعني انبعاث فونون.

في هذا النوع من الانتقالات اذا كان ($r = 2$) عندها يكون الانتقال غير مباشر مسموح واذا كان ($r = 3$) عندها يكون الانتقال غير مباشر ممنوع [93]، والشكل (10-2) يوضح أنواع الانتقالات الإلكترونية المختلفة [98].



الشكل (10-2): أنواع الانتقالات الإلكترونية [98]،
 (a) انتقال مباشر مسموح، (b) انتقال مباشر ممنوع
 (c) انتقال غير مباشر مسموح، (d) انتقال غير مباشر ممنوع.

(Electrical Properties)

(12-2) الخصائص الكهربائية

إن الخصائص الكهربائية لأشباه الموصلات متعددة التبلور تعتمد على العديد من العوامل، مثل الضوء، كثافة الذرات الشائبة في المادة، الحرارة، والمجال المغناطيسي (Magnetic Field) وأن دراسة الخصائص الكهربائية مهمة كونها تزودنا بمعلومات عن نوعية حاملات الشحنة وتركيزها وميكانيكية التوصيل الكهربائي [99].

(1-12-2) تأثير هول

(Hall Effect)

تأثير هول من الوسائل المعتمدة لدراسة الخصائص الكهربائية في أشباه الموصلات ويرجع الفضل في اكتشاف هذه الظاهرة إلى العالم الأمريكي هول (E.H.Hall) عام (1879) [100]، يمكن تعريف تأثير هول على أنه اختلاف توزيع التيار في شريحة شبه موصلة أو موصلة بفعل المجال المغناطيسي [101]، تطبيقات هذه الظاهرة كثيرة وأهمها بالنسبة لأشباه الموصلات هو حساب تركيز حاملات الشحنة والتحركية لها وتعيين نوعية شبه الموصل سالباً كان أو موجباً، وحساب قيمة التوصيلية.

عند تسليط مجال مغناطيسي (B_z) باتجاه عمودي على تيار كهربائي (I_x) مار خلال شبه موصل بالاتجاه السيني فإن حاملات الشحنة من الإلكترونات تنحرف نحو الجانب الأيسر من الشكل (11-2)، فيكون هذا الجانب سالباً بالنسبة للجانب الأيمن عندها يظهر بينهما فرق جهد هول (Hall Voltage) (V_H) يحصل هذا بالنسبة لشبه موصل من النوع السالب والعكس صحيح في النوع الموجب، هذا الانحراف يحصل بسبب نشوء قوة عمودية على كل من المجال المغناطيسي واتجاه التيار تدعى بقوة لورنتز (Lorentz Force) ويمكن تحديد اتجاهها باستعمال قاعدة اليد اليمنى، وباستمرار تراكم الشحنات الموجبة أو السالبة على الجانبين عند ذلك يتلاشى التيار نهائياً بوجود قوة معاكسة لقوة لورنتز ناتجة من نشوء مجال كهربائي بين الجانبين يسمى مجال هول (Hall Electric Field) (E_H) [102]، ونصل إلى حالة الاتزان الذي يمكن التعبير عنه بالعلاقة الآتية [101, 102]:

$$E_H = - \left(\frac{1}{ne} \right) J_x B_z \dots\dots\dots (35-2)$$

المعادلة (36-2) تبين أن كثافة التيار (J_x) وشدة المجال المغناطيسي (B_z) يتناسبان مع مجال هول في شبه الموصل من النوع السالب، وثابت التناسب يدعى بمعامل هول (Hall Coefficient) (R_H) والذي يمكن التعبير عنه كما يلي [102]:

$$R_H = - \left(\frac{1}{ne} \right) = \left(\frac{V_H \cdot t}{I_x \cdot B_z} \right) \dots\dots\dots (36-2)$$

إذ إنَّ:

R_H : معامل هول.

n : تركيز الإلكترونات.

e: شحنة الالكترن

t: سمك شريحة شبه الموصل.

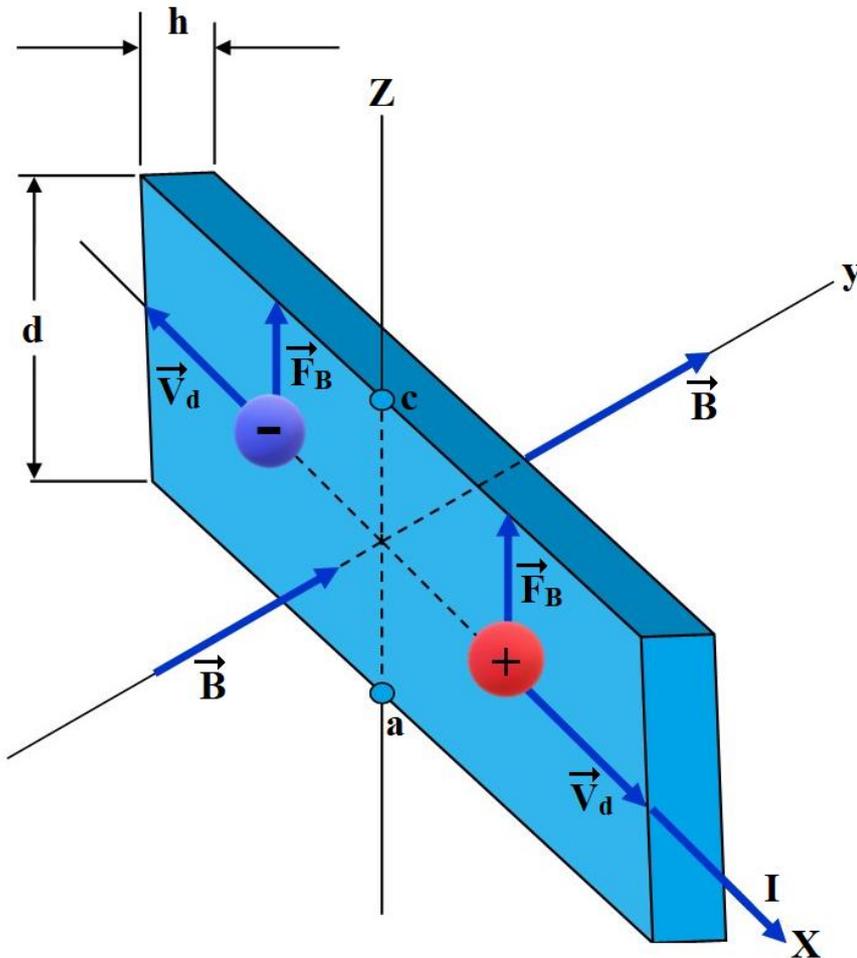
V_H : جهد هول.

B_z : شدة المجال المغناطيسي.

I_x : التيار الخارج.

قيمة (R_H) وإشارته تمكننا من تعيين كثافة ونوع الشحنة المساهمة في التوصيل، حيث تكون موجبة لنوع (p - type) وسالبة للنوع (n - type) من أشباه الموصلات، والشكل (11-2) يوضح تأثير هول في أشباه الموصلات [103]، بعد حساب قيمة التوصيلية الكهربائية (σ) يمكن تعيين قيمة تحركية هول (μ_H) (Hall Mobility) التي تمثل تحركية الشحنة الغالبة من العلاقة الآتية [104]:

$$\mu_H = |R_H|\sigma \dots\dots\dots (37-2)$$



الشكل (11-2): تأثير هول في اشباه الموصلات [103].

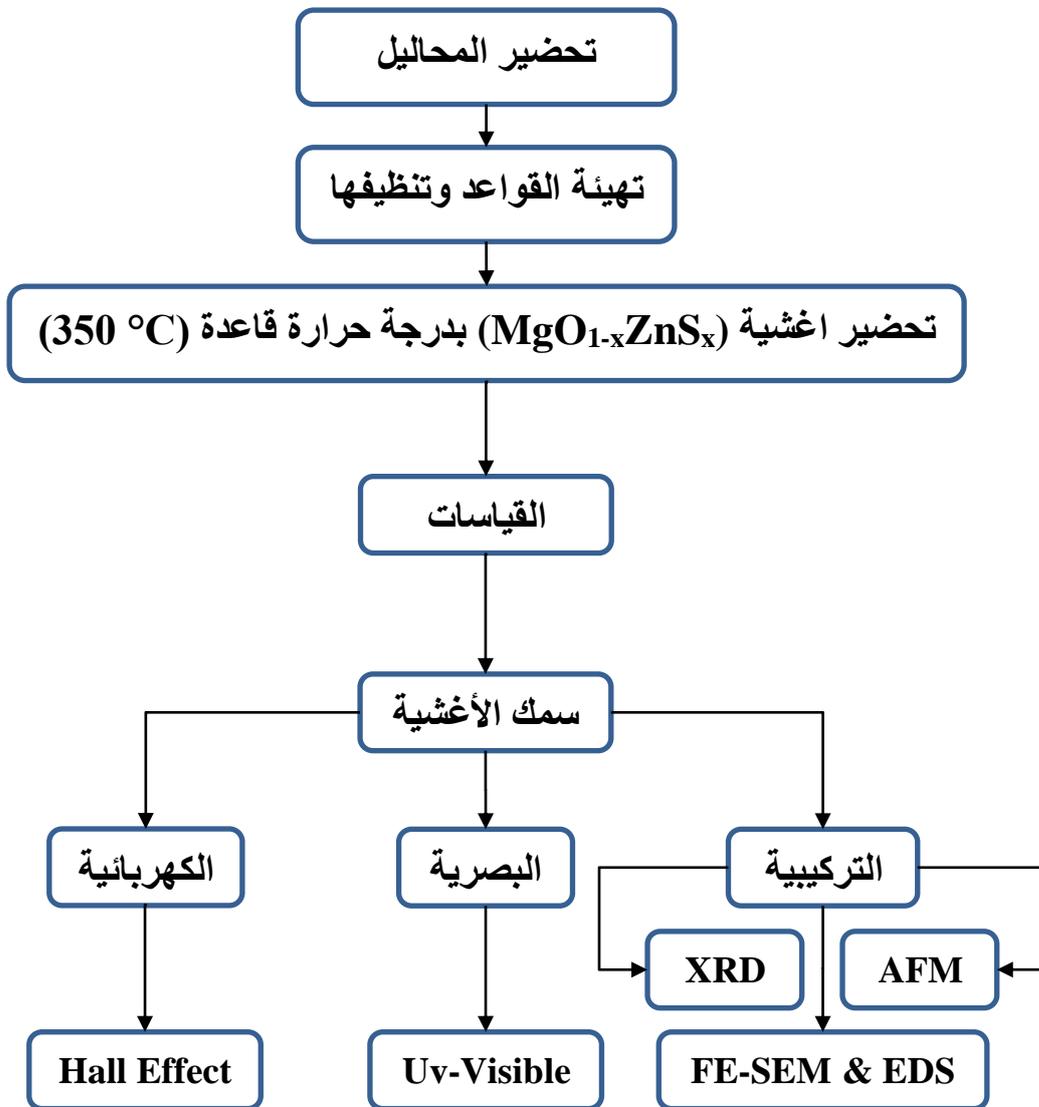
الفصل الثالث

الجزء العملي

(Introduction)

(1-3) المقدمة

يتضمن هذا الفصل شرحاً مفصلاً للخطوات العملية التي تم اتباعها في الدراسة الحالية، والتي تتضمن وصف المواد المستعملة وتقنية التحلل الحراري الكيميائي (CSP) المستعملة في تحضير أغشية أكسيد المغنيسيوم (MgO) الرقيقة النقية والمشوبة بنسب حجمية مختلفة من كبريتيد الزنك (ZnS)، وكذلك وصف الأجهزة المستعملة في دراسة الخصائص التركيبية والبصرية والكهربائية للأغشية المحضرة، والشكل (1-3) يبين مخططاً للخطوات العملية المتبعة لتحضير وفحص الأغشية في الدراسة الحالية.

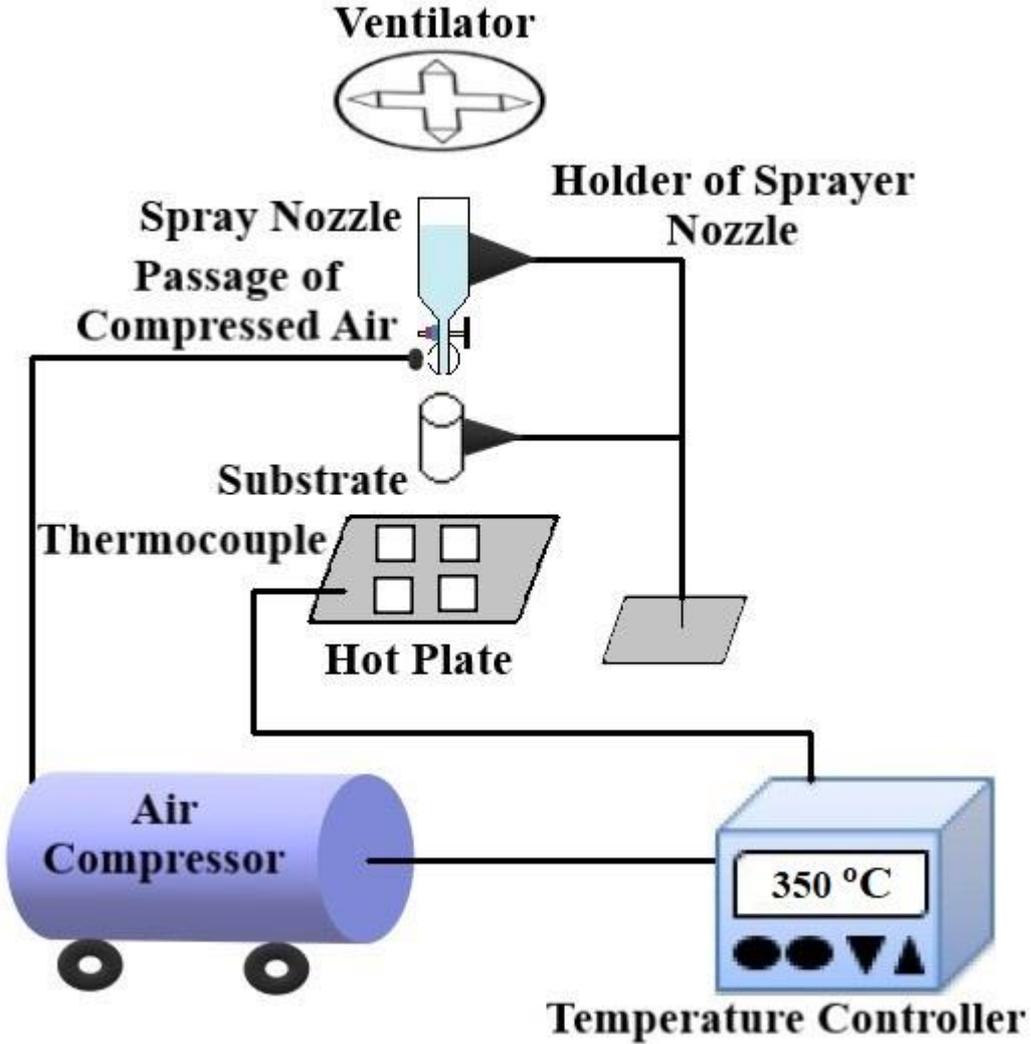


الشكل (1-3): مخطط الخطوات العملية المتبعة في الجزء العملي.

(2-3) منظومة التحلل الحراري الكيميائي

(Chemical Spray Pyrolysis System)

استعملت تقنية التحلل الحراري الكيميائي (CSP) لترسيب الأغشية الرقيقة في الدراسة الحالية، وتتكون منظومة التحلل الحراري الكيميائي (CSP) كما في الشكل (2-3).

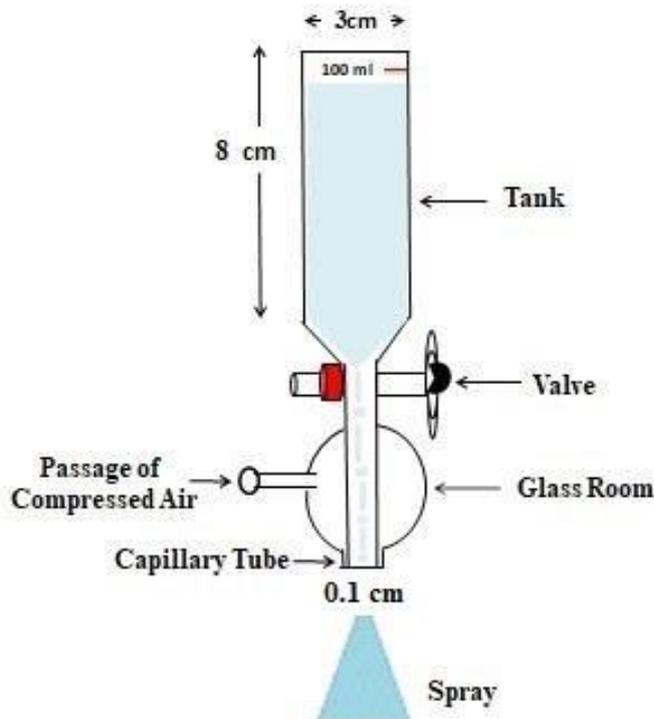


الشكل (2-3): منظومة التحلل الحراري الكيميائي (CSP).

1- جهاز الرش

(The Spray Nozzle)

يعد من أهم أجزاء منظومة التحلل الحراري الكيميائي (CSP)؛ إذ يتم تصنيعه محلياً من الزجاج الاعتيادي، ويحتوي على خزان يوضع فيه المحلول ويستوعب حوالي (100 ml)، ويكون مفتوح من الأعلى بفتحة نصف قطرها (1.5 cm) وارتفاعه (8 cm)، وله صمام الغرض منه التحكم بمقدار المحلول النازل إلى أنبوبة شعرية قطرها (0.1 cm) وطولها (6 cm)، وتحاط هذه الأنبوبة بغرفة زجاجية منتفخة ذات شكل مخروطي مغلقة من الأعلى لاتصالها بالأنبوبة الشعرية ومفتوحة من الأسفل، وأن فتحة هذه الغرفة من الأعلى تحيط بفتحة الأنبوبة الشعرية بالمستوى نفسه وتزود هذه الغرفة الهوائية بفتحة جانبية وذلك لدخول الهواء المضغوط؛ إذ يخرج من الفتحة السفلى لها محيطية بكافة جوانب فتحة الأنبوبة الشعرية فيمتزج المحلول الخارج مع الهواء المضغوط ويكون بشكل رذاذ وعلى هيئة مخروط رأسه عند الأنبوبة الشعرية وقاعدته إلى الأسفل باتجاه المسخن المراد ترسيب الأغشية عليه، ويبلغ طول الزجاج ككل حوالي (20 cm) والشكل (3-3) يوضح جهاز الرش.



الشكل (3-3): جهاز الرش.

(Holder of Sprayer Nozzle)**2- حامل جهاز الرش**

لغرض تثبيت جهاز الرش يستعمل حامل معدني يقوم بتثبيت جهاز الرش بواسطة ماسك قابل للحركة في جميع الاتجاهات لغرض التحكم بارتفاع جهاز الرش عن سطح المسخن الكهربائي الموجود اسفله ويمكن التحكم في وضع جهاز الرش؛ إذ تكون نهايته السفلى التي يخرج منها المحلول بوضع عمودي على القاعدة الزجاجية المراد ترسيب الغشاء عليها ويتم تثبيت دورق زجاجي على الحامل وأسفل جهاز الرش يستعمل لجمع السائل المناسب من جهاز الرش في أثناء مدة الانتظار.

(Electrical Heater)**3- المسخن الكهربائي**

لغرض التحكم بدرجة حرارة القاعدة التي يترسب عليها الغشاء الرقيق إلى درجة الحرارة المطلوبة يستعمل المسخن الكهربائي (المصنوع محليا) ويتم ربط المسخن الكهربائي بمجزي الجهد ويقوم المجزي بالسيطرة على درجة حرارة القاعدة التي يتم ترسيب الغشاء الرقيق عليها وذلك من خلال التحكم بمقدار الجهد الواصل إلى المسخن الكهربائي.

(Thermocouple)**4- المزودج الحراري**

يستعمل المزودج الحراري لمعرفة مقدار درجة حرارة القاعدة المستعملة لتحضير الأغشية الرقيقة قيد الدراسة، وهو عبارة عن مجس حراري حساس يوضع على سطح القاعدة ومتصل بعدد رقمي (Digital) يقوم بعرض درجة حرارة القاعدة المستعملة لتحضير الأغشية الرقيقة، وإن المزودج الحراري الذي تم استعماله في هذا العمل مجهز من شركة (Leybold) الألمانية من نوع ((NiCr-Ni) Temp-Mebgerat).

(Air Pump)**5- المضخة الهوائية**

تستعمل المضخة الهوائية للقيام بدفع الهواء المضغوط إلى داخل الغرفة الزجاجية في جهاز الرش، ويتم ذلك من خلال الفتحة الجانبية بحيث يخرج تيار الهواء بضغط معين ومسبب لنزول المحلول من خزان جهاز الرش وذلك عن طريق الأنبوبة الشعرية إلى سطح القاعدة الساخنة، إن نزول المحلول على سطح القاعدة يتم بسرعة بحيث لا يسبب للقاعدة انخفاض مفاجئة في درجة الحرارة وذلك لتلافي حدوث تشوه للغشاء المحضر ويكون نزول المحلول على شكل رذاذ دقيق جداً.

6- مقياس التدفق

(Flow Meter)

هو عبارة عن جهاز أمريكي الصنع مجهز من شركة (Dwyer) يستعمل لقياس نسبة تدفق الهواء المتدفق إلى داخل الغرفة الهوائية الزجاجية عن طريق الفتحة الجانبية الموجودة في جهاز الرش، ويتكون مقياس التدفق من ثلاثة أجزاء أساسية هي أنبوب مدبب وكرة عائمة في داخل الأنبوب ترتفع عند دخول الهواء، وعندما ترتفع الكرة سوف يسمح للهواء بالدخول بين الكرة وجدار الأنبوب وتبقى في موضعها وذلك بسبب تأثير وزن المائع أو الهواء على وزنها.

(3-3) تحضير الأغشية الرقيقة

(Preparation of Thin Films)

(1-3-3) تنظيف قواعد الترسيب

(Cleaning Substrates Deposition)

تم في هذا البحث استعمال قواعد من الزجاج الاعتيادي (Soda Lime glass) ذات سمك (0.1 cm)، وتتضمن عملية تنظيف القواعد الزجاجية مراحل متعددة لكي تضمن نظافتها بشكل جيد لما لها من أثر بالغ الأهمية في تركيب مادة الغشاء الرقيق المحضر، وذلك لأن وجود الشوائب على سطح القواعد الزجاجية يؤثر على خصائص الأغشية المحضرة، وهناك عدة مراحل تمر بها القواعد في مرحلة التنظيف وهي:

1. تقطيع الشرائح الزجاجية إلى مربعات صغيرة ذات مساحة تقارب $(2.5 \times 2.5) \text{ cm}^2$.
2. غسل القواعد الزجاجية بالماء المقطر بصورة جيدة للتخلص من العوالق الناتجة عن عملية القطع والغبار.
3. وضع القواعد الزجاجية في دورق زجاجي (Beaker) يحتوي على الأسيتون ذي نقاوة (% 99.99) وبعدها يوضع الدورق الزجاجي في حمام الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Bath) المجهز من شركة (Wise Clean) الإنكليزية لمدة (10 min) لضمان إزالة أي عوالق متبقية أو آثار دهنية على سطح القواعد الزجاجية.
4. باستعمال ملقط خاص تمسك القواعد الزجاجية وتغمر في دورق زجاجي (Beaker) يحتوي على ماء مقطر ومن ثم يوضع الدورق في حمام الموجات فوق الصوتية وذلك للتخلص من بقايا الاستون.
5. تجفف وتنظف القواعد باستعمال قطعة نسيج خاصة التي لا تترك أي شوائب على سطح القواعد.

6. باستعمال ميزان الكتروني حساس من نوع (Mettler AE-160) وحساسيته (10^{-4} g) يتم وزن كل قاعدة وتوضع في الحافظة الخاصة بها.

(2-3-3) تحضير المحاليل (Preparation of Solutions)

(1-2-3-3) المواد الكيميائية الخام (Raw Chemical Materials)

تم استعمال المواد الكيميائية الخام في تحضير اغشية $(\text{MgO})_{1-x}(\text{ZnS})_x$ الرقيقة، والجدول (1-3) يوضح الصيغ الكيميائية والوزن الجزيئي والنقاوة والشركة المجهزة للمواد المستعملة في تحضير اغشية $(\text{MgO})_{1-x}(\text{ZnS})_x$ الرقيقة.

الجدول (1-3): الصيغة الكيميائية والوزن الجزيئي والنقاوة والشركة المجهزة للمواد المستعملة في تحضير اغشية $(\text{MgO})_{1-x}(\text{ZnS})_x$ الرقيقة.

Materials	Chemical Formula	Molecular Weight (g. mol ⁻¹)	Purity %	Supplier
Magnesium Chloride Hexahydrate	MgCl ₂ .6H ₂ O	203.30	98	Thomas Baker
Zinc Nitrate	Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	297.47	98	Thomas Baker
Thiourea	CH ₄ N ₂ S	76.11	99.9	Scharlau

(2-2-3-3) تحضير المحلول المستعمل في تحضير اغشية (MgO) الرقيقة

(Preparation of the Solution Used in the Preparation of (MgO)Thin Films)

تم تحضير المحلول المستعمل في عملية تحضير أغشية (MgO) الرقيقة بدرجة حرارة الغرفة وذلك بإذابة (2.033 g) بتركيز (0.1 M) من املاح كلوريد المغنيسيوم المائية السداسية ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) في (100 ml) الماء المقطر، تم تطبيق العلاقة (1-3) للحصول على الوزن المراد اذابته [105].

$$M_o = \frac{W_t}{M_{wt}} \cdot \frac{1000}{V} \dots\dots\dots (1-3)$$

إذ إن:

M_o : التركيز المولاري (mol/l).

W_t : الوزن المطلوب اذابته (g).

M_{wt} : الوزن الجزيئي للمادة (g/mol).

V: حجم الماء المقطر الذي تمت فيه الاذابة (100 ml).

ولضمان الذوبان التام للمحلول يستعمل خلاطاً مغناطيسياً (Magnetic Stirrer) ويترك المحلول لمدة (10 min) على الخلاط المغناطيسي إلى أن يتم الحصول على محلول متجانس، بعدها نستعمل ورق الترشيح للحصول على محلول خال من أي عوالق أو شوائب وبعد رش المحلول على القواعد الزجاجية يتم الحصول على أغشية (MgO) الرقيقة وفق المعادلة الكيميائية الآتية [106]:



(3-2-3-3) تحضير محلول كبريتيد الزنك (ZnS)

(Preparation of Zinc Sulfide Solution) (ZnS)

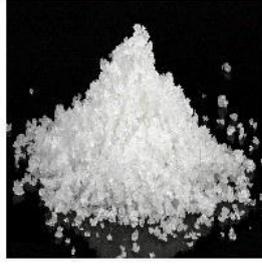
لتحضير أغشية (MgO) المشوبة بكبريتيد الزنك (ZnS) تم استعمال نترات الزنك المائية $(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ ومادة الثيوريا $(\text{CH}_4\text{N}_2\text{S})$ ، تم تحضير محلول نترات الزنك المائية السداسية بدرجة حرارة الغرفة وبتركيز (0.1M) وذلك بإذابة (2.9747g) في (100ml) من الماء المقطر، وكذلك محلول مادة الثيوريا تم تحضيره بدرجة حرارة الغرفة وبتركيز (0.1M) وذلك بإذابة (0.7611g) في (100ml) من الماء المقطر أيضاً، تم استعمال المعادلة (1-3) للحصول على الوزن المراد اذابته.

وتمّ تخط المحاليل للحصول على محاليل متجانسة، وبعدها يتم أخذ نسبة حجمية متساوية (1:1) من كلا المحلولين المحضرين ومزجهما ولضمان الذوبان التام للمحلول الناتج يوضع هذا المحلول على خلاط مغناطيسي لمدة (10 min) إلى أن يتم الحصول على محلول متجانس.

بعد ذلك يتم تشويب محلول املاح كلوريد المغنيسيوم المائية السداسية بمحلول نترات الزنك المائية ومادة الثيوريا بنسب حجمية مختلفة وبطريقة الخلط السابقة نفسها، والجدول (2-3) يوضح نسب التشويب الحجمية المختلفة المستعملة في الأغشية الرقيقة المحضرة، والشكل (3-4) يوضح الخطوات العملية لتحضير المحاليل المستعملة في تحضير أغشية $(\text{MgO})_{1-x}(\text{ZnS})_x$ الرقيقة.



كلوريد المغنيسيوم



نترات الزنك



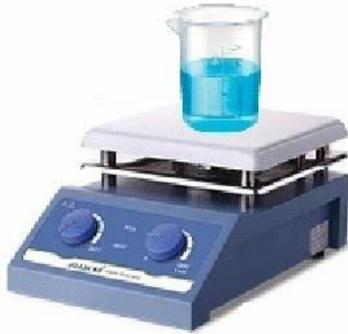
الثاوريا



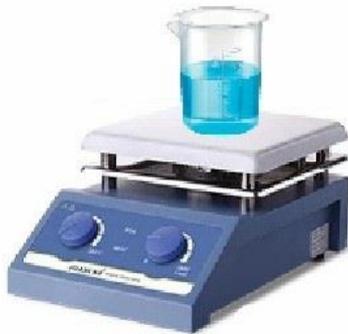
وزن نسب المواد



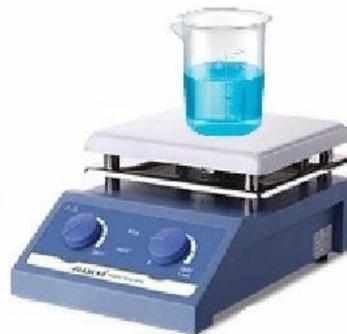
إذابة كل مادة على حدة في الماء المقطر



محلول مادة كلوريد المغنيسيوم



محلول مادة نترات الزنك



محلول مادة الثاوريا

الشكل (3-4): الخطوات العملية لتحضير المحاليل.

الجدول (2-3): النسب الحجمية المستعملة لمحلول التشويب.

محلول كلوريد المغنيسيوم	محلول نترات الزنك ومادة الثوربا
100 %	0 %
98 %	2 %
96 %	4 %
94 %	6%
92 %	8 %

(4-3) العوامل المؤثرة في تحضير الأغشية الرقيقة

(Factors Affecting on the Preparation of Thin Films)

هناك العديد من العوامل التي تؤثر في تحضير الأغشية الرقيقة ومن أهمها:

1- درجة الحرارة القاعدة (Substrate Temperature)

تعد من أهم العوامل المؤثرة في تحضير الأغشية الرقيقة لما لها من أثر كبير في تجانس الأغشية الرقيقة المحضرة وتؤثر في تماسكها أيضا، إذ وجد أن انخفاض أو ارتفاع درجة حرارة القاعدة التي يتم ترسيب الغشاء الرقيق عليها يؤثر كثيرا في طبيعة التفاعل الكيميائي للمادة والذي يستمد حرارته منها وبالنتيجة فإنه يؤثر كثيرا في طبيعة المادة المكونة لها، تم في هذا البحث ترسيب الأغشية الرقيقة بدرجة حرارة (350 °C) وتم الحصول على أغشية رقيقة متجانسة وذات تلاصق جيد مع سطح القاعدة.

2- موقع القاعدة (Substrate Position)

عندما يتم الاختيار لموضع القواعد الزجاجية التي يرسب عليها الغشاء الرقيق على سطح المسخن يجب مراعاة أن تكون درجة حرارة المساحة المخصصة لوضع القواعد الزجاجية متساوية في جميع أجزائها.

3- المسافة العمودية (Vertical Distance)

نقصد بالمسافة العمودية المسافة من نهاية الأنبوبة الشعرية لجهاز الرش إلى سطح القاعدة الزجاجية التي يتم ترسيب الأغشية الرقيقة عليها، وعند ارتفاع مسافة (30±1) cm أمكننا

الحصول على أفضل أغشية رقيقة متجانسة حيث أن تقليل هذه المسافة يؤدي إلى تجمع رذاذ المحلول في بقعة واحدة على سطح القاعدة الزجاجية والذي يؤثر على تجانس الغشاء الناتج من عملية الترسيب، أما زيادة هذه المسافة يؤدي إلى تطاير محلول الرش بعيداً عن سطح القاعدة الزجاجية.

4- ضغط الهواء

(Air Pressure)

تم تثبيت ضغط الهواء في جهاز الرش في دراستنا الحالية عند قيمة (1.5 bar) والذي أدى إلى خروج المحلول من الأنبوبة الشعرية على هيئة رذاذ دقيق حتى لا يتسبب في برودة القاعدة الزجاجية وتكسرهما وبالتالي الحصول على غشاء رقيق متجانس للمادة المحضرة.

5- معدل الرش

(Rate of Spray)

وهو معدل الرش لحجم معين في محلول المادة في الدقيقة الواحدة حيث إنه يؤثر في تجانس الغشاء، ويمكن التحكم في معدل الرش من خلال صمام موجود في الجهاز ولقد وجد بأن أفضل معدل للرش في الدقيقة هو (5 ml/min).

6- زمن الرش

(Time of Spray)

لتحضير الأغشية الرقيقة المطلوبة في هذه الدراسة تم تحديد مدة الرش بـ (10 s) ثم يتم التوقف عن الرش لمدة (2 min) ثم تكرر العملية بعد ذلك، إذ لا يمكن الرش على القواعد الزجاجية دفعة واحدة وذلك لتجنب برودتها لأن برودتها تؤدي إلى انكسارها. ويعاد الرش بعد (2 min) حتى تستعيد القواعد الزجاجية حرارتها المطلوبة ومن ثم نضمن حصول الانماء البلوري للمادة المترسبة على القواعد، وتكرر هذه العملية لمرات متعددة للحصول على الأغشية الرقيقة المطلوبة.

(5-3) ترسيب الأغشية الرقيقة

(Thin Films Deposition)

تمر عملية ترسيب الأغشية الرقيقة بعدة مراحل اولها وضع القواعد الزجاجية على سطح المسخن الكهربائي وأسفل جهاز الرش ثم يتم التأكد من أن المحلول يسقط بصورة عمودية على جميع أجزاء القواعد الزجاجية، ثم نضع ورقاً زجاجياً مقاوم للحرارة أسفل جهاز الرش لجمع المحلول النازل بعد انتهاء عملية الرش ومنع سقوطه على القواعد الزجاجية على شكل قطرات كبيرة مما يؤدي إلى تكسر القواعد الزجاجية أو تشوه الغشاء، ثم يتم فتح المضخة الهوائية وتحريك

الدورق الزجاجي الموجود اسفل جهاز الرش جانبا وعندها تبدأ عملية الترسيب والتي يتم ضبط زمن الرش باستعمال ساعة توقيت، اذ يتم فتح صمام نزول المحلول في جهاز الرش والتحكم بكمية المحلول المناسب منه إذ يرش المحلول لمدة (10 s) يتبعها فترة توقف لمدة (2 min) إلى أن تصل درجة حرارة القاعدة إلى الدرجة الحرارة المطلوبة ثم تستأنف عملية الرش مرات عديدة إلى أن يتم الحصول على السمك المطلوب وأيضا يتم تدوير القواعد الزجاجية أثناء عملية الرش للحصول على أفضل تجانس للغشاء المحضر وبعد اكمال عملية الرش نقوم بإطفاء المسخن الكهربائي مع ترك القواعد الزجاجية على المسخن الكهربائي لكي يتم اكمال عملية النمو البلوري للأغشية المحضرة ولا يتم رفع القواعد عن المسخن إلى أن يتم التأكد من برودتها ووصول درجة حرارتها إلى درجة حرارة الغرفة وذلك لأن تحريك القواعد بشكل مفاجئ او تبريدها له اثر سلبي على عملية نمو الأغشية المحضرة وللحفاظ عليها من الكسر بسبب اختلاف درجات الحرارة.

(6-3) قياس سمك الأغشية الرقيقة

(Thin Films Thickness Measurement)

من العوامل الرئيسية التي تؤثر في تحديد الخصائص الفيزيائية للغشاء الرقيق المحضر هو سمك ذلك الغشاء، وهناك طرائق عديدة لقياس السمك وفي دراستنا الحالية تم استعمال ثلاث طرائق لقياس سمك الأغشية الرقيقة المحضرة كما يأتي: -

(Gravimetric Method)

1- الطريقة الوزنية

يتم وزن القواعد الزجاجية قبل وبعد عملية تحضير الأغشية الرقيقة، و باستعمال ميزان الكتروني حساس من نوع (Mettler AE-160) وحساسيته (g 10^{-4})، تم حساب سمك الأغشية من العلاقة الآتية [102]:

$$t = \frac{\Delta W}{\rho A} \dots\dots\dots (2-3)$$

إذ إن:

t: سمك الغشاء.

ΔW : التغير بالوزن وهو يمثل كتلة مادة الغشاء المترسبة ويساوي $(W_2 - W_1)$ وأن W_2, W_1 قيم وزن القواعد الزجاجية قبل وبعد عملية تحضير الغشاء الرقيق.

ρ : كثافة مادة الغشاء (g/cm^3).

A: مساحة الغشاء (cm²).

أما في حالة الأغشية الرقيقة المشوبة والمحضرة بنسب خلط مختلفة فإن (ρ_{total}) تمثل كثافة المواد الداخلة في تركيب الغشاء الرقيق المحضر، والعلاقة الآتية تبين طريقة حساب الكثافة الكلية:

الكثافة الكلية (ρ_{total}) = كثافة مادة (MgO) × نسبتها في المحلول + كثافة مادة (ZnS) × نسبتها في المحلول.

2- تصوير المقطع العرضي (Cross Section Imaging)

إن عملية تصوير مقطع عرضي للغشاء الرقيق تتم من خلال فحص المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM)، وتكون أكثر دقة من الطريقة الوزنية، إذ تعتبر طريقة مباشرة لقياس سمك الأغشية الرقيقة.

3- طريقة التداخل الضوئي (Optical Interference Method)

تعتمد هذه الطريقة على تداخل الشعاع الضوئي المنعكس من سطح الغشاء الرقيق والشعاع المنعكس من أسفل الغشاء الرقيق، إذ يستعمل ليزر الهيليوم نيون (He-Ne) ذي طول موجي (632 nm) ويتم إيجاد السمك باستعمال العلاقة الآتية [107, 108]: -

$$t = \frac{4x}{x} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

إذ إن:

$4x$: المسافة بين هذين متتاليين.

x : عرض الاهداب.

في دراستنا الحالية تم الاعتماد في قياس السمك على طريقة التداخل الضوئي بعد مقارنتها بطريقة تصوير المقطع العرضي.

(7-3) القياسات التركيبية (Structural Measurements)

لأجل معرفة طبيعة التركيب البلوري للأغشية المحضرة تصنف القياسات التركيبية على ما يأتي:

(1-7-3) قياسات حيود الأشعة السينية (XRD)

(X-Ray Diffraction Measurements)

تم تحديد طبيعة التركيب البلوري للأغشية الرقيقة المحضرة من خلال استعمال جهاز حيود الأشعة السينية (XRD) نوع (Shimadzu XRD-6000 Powder) مع اشعة سينية نوع (Cu K α) بطول موجي ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) وضمن المدى ($2\theta = 20^\circ - 80^\circ$) المتوفر في الجامعة التكنولوجية، لأجل دراسة تأثير التشويب بمادة كبريتيد الزنك (ZnS) في الأغشية المحضرة ومقارنة النتائج مع القيم المثبتة في البطاقات القياسية (JCPDS 01-074-1225) و (JCPDS 00-002-1310) للتأكد من دقة الأغشية الناتجة، الجدول (3-3) يبين مواصفات جهاز حيود الأشعة السينية (XRD) والمستعمل في الدراسة الحالية.

جدول (3-3): مواصفات جهاز حيود الأشعة السينية.

TYPE	Target	Wavelength (\AA)	Speed (deg/min)	Sampling Pitch (deg)	Preset Time (min)
Bruker D8 Advance, Germany	CuK α Line	1.54056	8	0.02	0.155

(2-7-3) قياسات مجهر القوة الذرية (AFM)

(Atomic Force Microscope Measurements)

تم دراسة طوبوغرافية السطح للأغشية المحضرة باستعمال مجهر القوة الذرية (AFM) نوع (SPM-AA3000, Angstrom, Advanced Inc, USA) الموجود في جامعة طهران- الجمهورية الإسلامية الإيرانية، والذي يعطي صور ثنائية وثلاثية الأبعاد وبمعلومات في غاية الدقة عن معدل خشونة السطح (Average Roughness) وقيم الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة (RMS)، الشكل (5-3) يوضح جهاز مجهر القوة الذرية (AFM).



الشكل (3-5): جهاز مجهر القوة الذرية.

(3-7-3) قياسات المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM)

(Field Emission Scanning Electron Microscopy Measurements)

تم دراسة مورفولوجية السطح للأغشية المحضرة باستعمال جهاز المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM) من النوع (MIRA3, Model-TE-SCAN) الموجود في جامعة طهران-الجمهورية الإسلامية الإيرانية، إذ يمكن من خلال جهاز (FE-SEM) معرفة شكل الجسيمات وتجانسها وكذلك الكشف عن مواقع العيوب في التركيب البلوري.

تم أخذ تحليلات مطياف تشتت الطاقة (EDS) للكشف عن التركيب الكيميائي للأغشية المحضرة، الشكل (3-6) يوضح جهاز المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM).



الشكل (6-3): جهاز المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال.

(Optical Measurements)

(8-3) القياسات البصرية

باستعمال مطياف (UV-Visible1800 Spectrophotometer) والمجهز من شركة (Shimadzu) والموجود في مختبر البحوث بكلية العلوم-جامعة ديالى تم قياس طيفي الامتصاصية والنفاذية للأغشية المحضرة، وإجراء القياسات البصرية لجميع الأغشية المحضرة وبمدى من الأطوال الموجية nm (300-1100)، وتم استعمال برنامج (Origin) (9.5) في رسم وحساب قيم فجوات الطاقة وطاقة أورباخ ومعامل الامتصاص ومعامل الانكسار ومعامل الخمود وثابت العزل البصري بجزئية الحقيقي والخيالي للأغشية المحضرة، الشكل (7-3) يبين جهاز مطياف (UV-Visible1800).



الشكل (7-3): جهاز مطياف (UV-Visible 1800).

(Electrical Measurements)

(9-3) القياسات الكهربائية

تضمنت القياسات الكهربائية في دراستنا الحالية قياس تأثير هول (Hall Effect) لجميع الأغشية المحضرة عن طريق استعمال جهاز متطور من نوع (HMS-3000 VER3.5) والمجهز من قبل شركة (ECOPIA) الأمريكية والموجود بقسم الطاقات المتجددة في وزارة العلوم والتكنولوجيا، وقبل إجراء عملية القياس المطلوبة أجريت المراحل الآتية:

1- تصميم الأقنعة:

تم تصميم الأقنعة (Masks) الخاصة بقياسات التوصيلية المستمرة وقياسات تأثير هول باستعمال مادة الألمنيوم الرقيق وبأشكال مناسبة، والشكل (8-3) يبين القناع الخاص بالقياسات الكهربائية (تأثير هول)، والغرض العلمي من هذه الأقنعة هو تحديد الشكل الهندسي للقطب الكهربائي، وترفع هذه الأقنعة بعد إتمام عملية الترسيب.

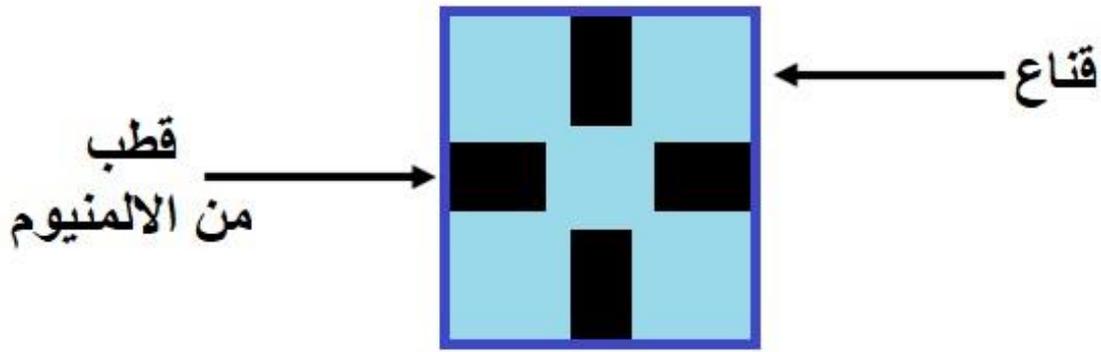
2- ترسيب الاقطاب:

تم تهيئة الأقنعة الخاصة بالقياسات الكهربائية (تأثير هول) من خلال تصنيع أقطاب من مادة الألمنيوم بطريقة التبخير الحراري باستعمال سلك الألمنيوم، إذ تتبخر مادة الألمنيوم تدريجياً ثم تنرسب على المكان المخصص للقطب.

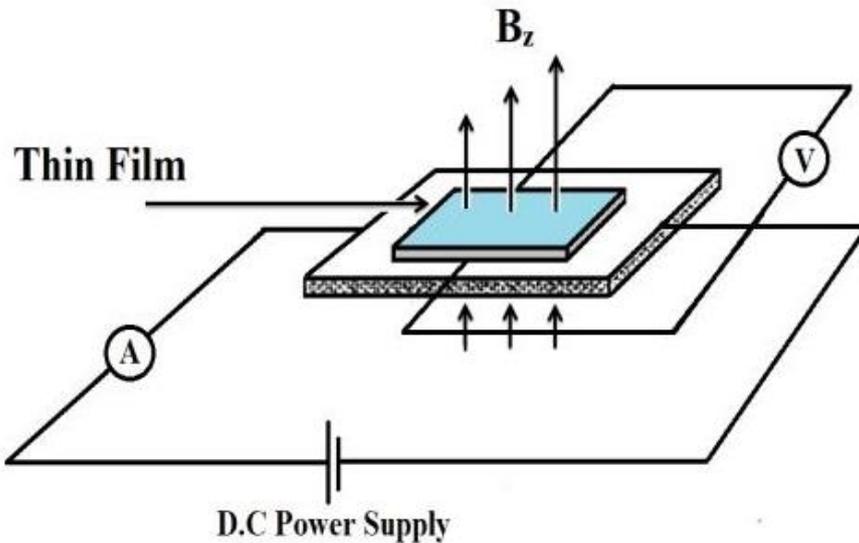
(Hall Effect Measurements)

(1-9-3) قياس تأثير هول

أجريت قياسات تأثير هول اعتماداً على الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (9-3)، وفي درجة حرارة الغرفة، إذ تم وضع الغشاء بشكل عمودي أمام مجال مغناطيسي ثابت (B_z) شدته ($2.5 \times 10^{-5} \text{ Web/cm}^2$)، وربط قطبين من أقطاب الغشاء بمجهز قدرة مستمرة (D.C. Power Supply) وربط معهما مقياس للتيار (Ammeter) على التوالي، أما القطبان الآخران فربطتا مع طرفي مقياس للفرق الجهد (Voltmeter)، فعند تغيير الفولتية المستمرة بزيادة ثابتة نقرأ التيار المار بالغشاء (I_x) والذي يرافقه تغيير في الفولتية (V_H) وهذه بدورها تحدد نوعية حاملات الشحنة، وفي هذه الدراسة كان السمك المستعمل لجميع الأغشية هو $(260 \pm 5) \text{ nm}$.



الشكل (8-3): القناع الخاص بالقياسات الكهربائية (تأثير هول).



الشكل (9-3): مخطط توضيحي لدائرة قياس تأثير هول الكهربائية.

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

(1-4) المقدمة

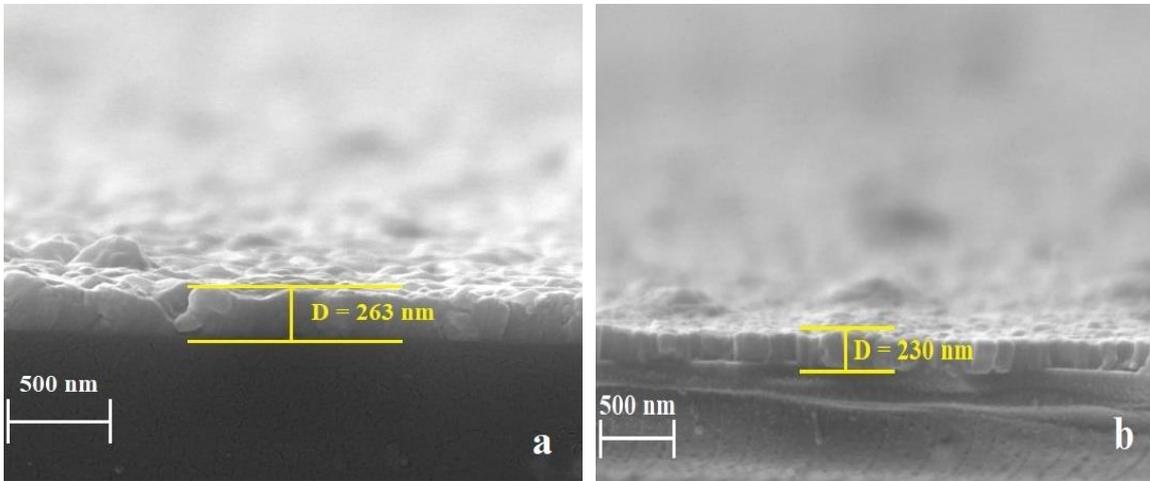
(Introduction)

يتضمن هذا الفصل نتائج الفحوصات التركيبية والبصرية والكهربائية فضلاً عن قياسات السمك لأغشية (MgO) الرقيقة المحضرة والمشوبة بنسب حجمية مختلفة (0, 2, 4, 6 and 8%) من كبريتيد الزنك (ZnS) والمرسبة على قواعد من الزجاج باستعمال تقنية التحلل الحراري الكيميائي (CSP) عند درجة حرارة قاعدة (350 °C)، فضلاً عن دراسة تأثير تغيير نسب التشويب على كل من الخصائص البصرية والتركيبية والكهربائية للأغشية المحضرة.

(2-4) سمك الأغشية الرقيقة

(Thin Films Thickness)

تم قياس سمك الأغشية الرقيقة المحضرة بثلاث طرائق (الوزنية، تصوير المقطع العرضي، التداخل الضوئي)، الشكل (1-4) يوضح صور المقطع العرضي (Cross Section) للغشاء (MgO) الرقيق النقي وغشاء (MgO) الرقيق المشوب بنسبة (8%) من كبريتيد الزنك، الجدول (1-4) مقارنة بين سمك الأغشية الرقيقة بالطرائق الثلاث المذكورة سابقاً، في الدراسة الحالية تم الاعتماد نتائج طريقة التداخل الضوئي (Optical Interference) لقياس سمك الأغشية الرقيقة المحضرة.



الشكل (1-4): صور المقطع العرضي (Cross Section)،
(a) غشاء (MgO) الرقيق النقي، (b) غشاء $(MgO)_{0.92}(ZnS)_{0.08}$ الرقيق.

جدول (1-4): سمك الأغشية الرقيقة المحضرة.

Sample	Gravimetric (nm)	Cross Section (nm)	Optical Interference (nm)
MgO	358	263	260
(MgO) _{0.98} (ZnS) _{0.02}	357	—	258
(MgO) _{0.96} (ZnS) _{0.04}	370	—	265
(MgO) _{0.94} (ZnS) _{0.06}	368	—	262
(MgO) _{0.92} (ZnS) _{0.08}	354	230	255

(Structural Measurements)

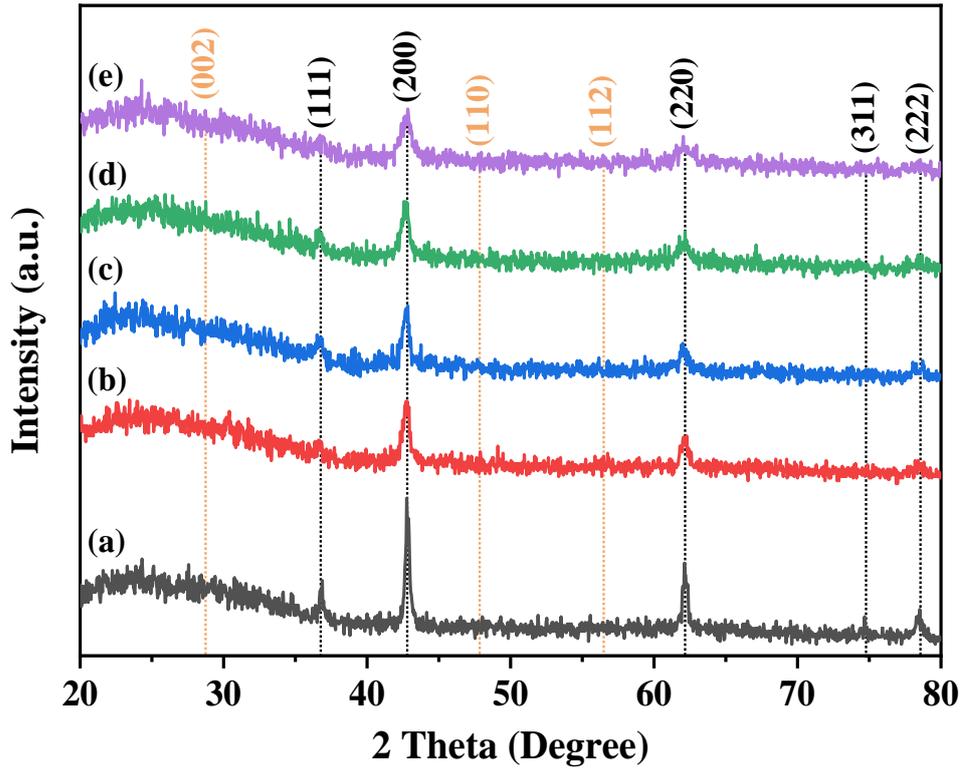
(3-4) القياسات التركيبية

إن دراسة الخصائص التركيبية لأغشية ($MgO_{1-x}ZnS_x$) الرقيقة والمحضرة بدرجة حرارة قاعدة ($350\text{ }^{\circ}C$) وبنسب تشويب مختلفة من كبريتيد الزنك (ZnS) تمت باستعمال تقنية حيود الأشعة السينية (X - Ray Diffraction)، ودراسة طوبوغرافية الأغشية المحضرة كافة باستعمال مجهر القوة الذرية (AEM)، والجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM).

(X-Ray Diffraction) (XRD)

(1-3-4) حيود الأشعة السينية (XRD)

تم إجراء فحص حيود الأشعة السينية (XRD) من أجل تحديد نوع التركيب البلوري (Crystalline Structure Type) وحجم البلوريات (Crystallite Size) للنماذج المحضرة بتقنية التحلل الحراري الكيميائي (Chemical Spray Pyrolysis). الشكل (2-4) يستعرض أنماط حيود الأشعة السينية (XRD Patterns) لأوكسيد المغنيسيوم (MgO) النقي والمشوب بنسب تشويب مختلفة (0, 2, 4, 6 and 8%) من كبريتيد الزنك (ZnS). أظهرت القمم التشخيصية (Characteristic Peaks) الحصول على أوكسيد المغنيسيوم (MgO) النقي ذو التركيب البلوري المكعب (Cubic Crystal Structure) (F23 no.196) بأبعاد بلورية ($a = b = c = 4.22\text{ \AA}$) وزوايا ($\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$) وكما موضح بالشكل (2-4)، والذي يتطابق مع النمط القياسي (Standard Pattern) (JCPDS 01-074-1225).



الشكل (2-4): أنماط حيود الأشعة السينية لأغشية (MgO) الرقيقة النقية والمشوبة بنسب حجمية مختلفة من كبريتيد الزنك $(\text{MgO})_{1-x}(\text{ZnS})_x$: (a) أكسيد المغنيسيوم (MgO) النقي (b) : 2% (c) : 4% (d) : 6% (e) : 8%

من الشكل (2-4) نلاحظ أن عملية التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) أدت إلى انخفاض الشدة (Low Intensity) وزيادة عرض القمم التشخيصية مع زيادة نسبة التشويب، وهذا يرجع إلى استبدال أيونات المغنيسيوم (Substitution of Mg Ions) بأيونات الكبريت والزنك (Zn^{+2} and S^{-2} Ions) وانتشار الأيونات ضمن الشبكة البلورية لأوكسيد المغنيسيوم (MgO)، وظهور قمم جديدة بعد عملية التشويب (Doping Process) ذات شدة قليلة عند الزوايا $(2\theta = 28.7^\circ, 47.56^\circ, 56.38^\circ)$ للمستويات البلورية (110) (112) (002) والتي تشير إلى تشكيل كبريتيد الزنك السداسي (Hexagonal ZnS Crystal Structure) (P63mc no.186) بأبعاد بلورية $(a=b = 3.82 \text{ \AA}, c = 6.25 \text{ \AA})$ وزوايا $(\alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ)$ ، والذي يتطابق مع النمط القياسي (JCPDS 00-002-1310).

أظهرت النتائج أن النمو البلوري (Crystalline Growth) لأوكسيد المغنيسيوم (MgO) في نفس النظام البلوري المكعب (Cubic System) بعد عملية التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS). من جانب

اخر، اظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن هناك ازاحة ضئيلة جدا (Negligible Shift) نحو الزوايا الاقل في القمم التشخيصية لأوكسيد المغنسيوم (MgO) بعد عملية التشويب والذي يرجع إلى استبدال وانتشار أيونات الكبريت والزنك (Zn^{+2} , S^{-2}) في الشبيكة البلورية لأوكسيد المغنسيوم (MgO) وتشكيل طور كبريتيد الزنك السداسي [110, 109]. تم حساب حجم البلوريات (Crystallite Size) باستعمال معادلة شيرر (Scherrer) لأغشية اوكسيد المغنسيوم (MgO) الرقيقة قبل وبعد عملية التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) الموضحة في الجدول (2-4)، اظهرت النتائج انخفاض طفيف في حجم البلوريات (Crystallite Size) لأغشية اوكسيد المغنسيوم النانوية (MgO) المحضرة مع زيادة نسبة التشويب، والتي يمكن تفسيرها على أساس توزيع الايونات الموجبة (Cations)، نتيجة لاستبدال ايون المغنسيوم (Mg^{+2}) ذات النصف قطر الايوني الاصغر ($Mg^{+2} = 0.66 \text{ \AA}$) بأيونات الزنك (Zn^{+2}) ذات النصف قطر الايوني الأكبر (0.74 \AA) والذي يؤدي إلى زيادة الاجهاد الحقيقي (Intrinsic Stress) وزيادة قيم الانفعال المايكروي (Micro Strain) وبذلك فان الصفات البلورية تتدهور وبالتالي يتناقص حجم البلوريات [112, 111, 109]. الجدول (2-4) يبين قيم حجم البلوريات وبعض المعلمات البلورية (Crystalline Parameters) التي تم حسابها من خلال فحص حيود الأشعة السينية (XRD) قبل وبعد عملية التشويب لأغشية اوكسيد المغنسيوم (MgO) الرقيقة النانوية.

الجدول (2-4): بعض المعلمات البلورية لأغشية اوكسيد المغنسيوم (MgO) قبل وبعد عملية التشويب بكبريتيد الزنك $(MgO)_{1-x}(ZnS)_x$.

Sample	2 θ (deg) Experimental	2 θ (deg) Standard	FWHM (deg)	Crystallite Size (nm)	d _{hkl} (Å) Experimental	d _{hkl} (Å) Standard	(hkl)
MgO	42.82	42.82	0.3694	20.02	2.110	2.11	(200)
(MgO) _{0.98} (ZnS) _{0.02}	42.72	42.82	0.5713	12.95	2.114	2.11	(200)
(MgO) _{0.96} (ZnS) _{0.04}	42.69	42.82	0.5627	13.14	2.116	2.11	(200)
(MgO) _{0.94} (ZnS) _{0.06}	42.65	42.82	0.7068	10.47	2.118	2.11	(200)
(MgO) _{0.92} (ZnS) _{0.08}	42.65	42.82	0.9472	7.81	2.114	2.11	(200)

(1-1-3-4) ثوابت الشبكة وحجم خلية الوحدة

(Lattice Constants and Unit Cell Volume)

تم حساب ثابت الشبكة (a) لأغشية (MgO) الرقيقة النقية ذات التركيب المكعب (Cubic) من خلال المعادلة (2-2) وباستعمال المسافة البينية للمستويات البلورية المحسوبة من العلاقة (1-2)، إذ أن قيمة ثابت الشبكة المحسوبة تتفق مع قيم البطاقة القياسية (JCPDS 008-8058). ومن خلال حساب حجم خلية الوحدة (Unit Cell Volume) لغشاء (MgO) الرقيق وجد أن قيمته أكبر من القيمة القياسية وهذا ما يؤكد أن خلية الوحدة عانت إجهاد شد، في حين تم حساب قيم ثوابت الشبكة (a,c) للغشاء (MgO) الرقيق والمشوب بكبريتيد الزنك (ZnS) باستخدام المعادلة (3-2) والتي تتفق مع القيم القياسية للبطاقة (JCPDS 003-7393) إذ كان حجم خلية الوحدة (Unit Cell Volume) للغشاء المشوب بنسبة (8%) من كبريتيد الزنك (ZnS) أصغر من القيمة القياسية مما يعني أن خلية الوحدة عانت من إجهاد ضغط وهذا يتفق مع الدراسة [46].

(Crystallite Size)

(2-1-3-4) حجم البلوريات

تم حساب حجم البلوريات (D) لأغشية (MgO) الرقيقة النقية والمشوبة بكبريتيد الزنك (ZnS) وللاتجاه السائد (200) باستخدام المعادلة (4-2) وفق معادلة شرر (Scherrer's Formula)، أوضحت النتائج أن حجم البلوريات يقل بعد عملية التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) مع زيادة في قيمة عرض منتصف القمة، إذ كانت قيمة حجم البلوريات (20.02 nm) لغشاء (MgO) الرقيق النقي وتناقصت القيمة بعد عملية التشويب إلى (7.81 nm) للغشاء المشوب بنسبة (8%) من كبريتيد الزنك (ZnS).

(Texture Coefficient)

(3-1-3-4) عامل التشكيل (Tc)

باستعمال المعادلة (5-2) تم حساب عامل التشكيل لأغشية (MgO) الرقيقة النقية والمشوبة بكبريتيد الزنك (ZnS) لوصف الاتجاه السائد لمستوي البلورة (hkl)، نلاحظ أن قيم عامل التشكيل لجميع الأغشية عند الاتجاه السائد (200) أقل من واحد وهذا يؤكد أن جميع الأغشية متعددة التبلور، والجدول (3-4) يوضح قيم المعلمات التركيبية عند الاتجاه السائد (200) لغشاء (MgO) الرقيق النقي وغشاء (MgO)_{0.92}(ZnS)_{0.08} الرقيق.

(4-1-3-4) كثافة الانخلاعات (δ) وعدد البلوريات لوحدة المساحة (N_o)

(Dislocation Density (δ) and Number of Crystallites Per Unit Area) (N_o)

باستعمال المعادلتين (6-2) (7-2) تم حساب قيمة كثافة الانخلاعات (δ) وعدد البلوريات لوحدة المساحة (N_o) على التوالي لأغشية (MgO) الرقيقة النقية والمشوبة بكبريتيد الزنك (ZnS) عند الاتجاه السائد (200)، يتمثل مقياس كمية العيوب في البلورة بكثافة الانخلاعات أن الزيادة في كثافة الانخلاعات (δ) وعدد البلوريات لوحدة المساحة (N_o) بعد عملية التشويب تدل على الزيادة في العيوب البلورية، ونلاحظ أن قيمة كثافة الأنخلاعات (δ) تبدأ بالزيادة مع نقصان قيمة حجم البلوريات (D) وذلك لان التناسب بينهما عكسي وهذا يتفق مع الدراسة [111]، كما موضح في الجدول (3-4).

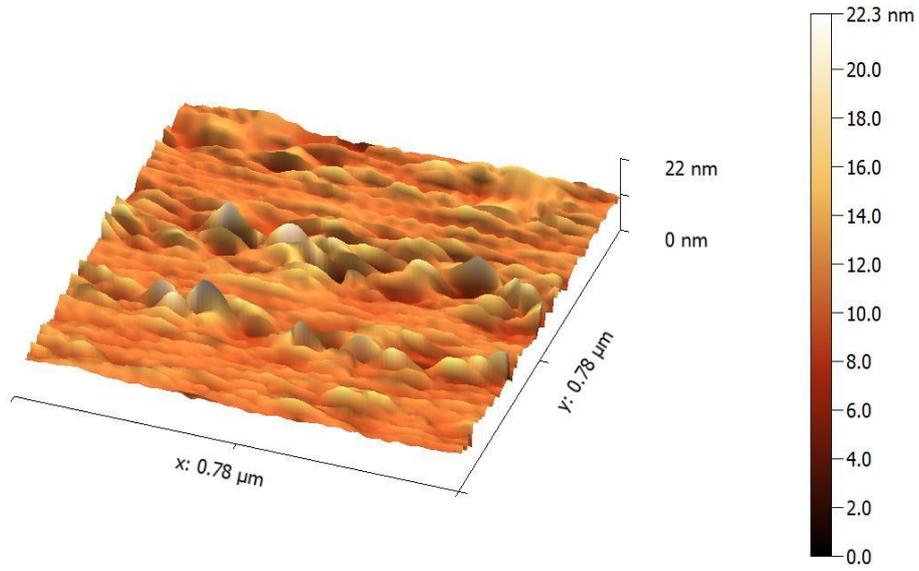
الجدول (3-4): قيم المعلمات التركيبية عند الاتجاه السائد (200) لغشاء (MgO) الرقيق النقي والغشاء ($MgO_{0.92}ZnS_{0.08}$) الرقيق.

Thin Film	MgO	(MgO) _{0.92} (ZnS) _{0.08}
(hkl)	(200)	(200)
2 θ (deg)	42.82	42.65
d _{hkl} (Å)	2.1101	2.1182
FWHM (deg)	0.3694	0.9472
Lattice constant (a _o) (Å)	4.2203	4.2364
Lattice constant (c _o) (Å)	4.2203	6.0622
Unit Cell Volume (Å ³)	75.1710	76.0310
D (nm)	20.02	7.81
δ ($\times 10^{14}$) (cm ⁻²)	0.00249	0.01639
N_o ($\times 10^{14}$) (cm ⁻²)	0.03738	0.62974
T _C (hkl)	0.5511	0.6428

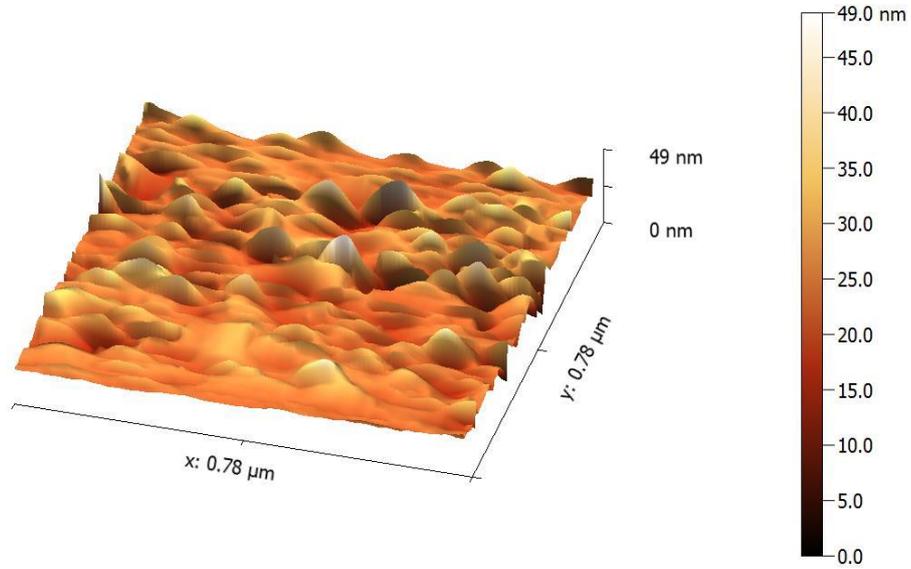
(2-3-4) نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية (AFM)

(Results of Atomic Force Microscopy Tests) (AFM)

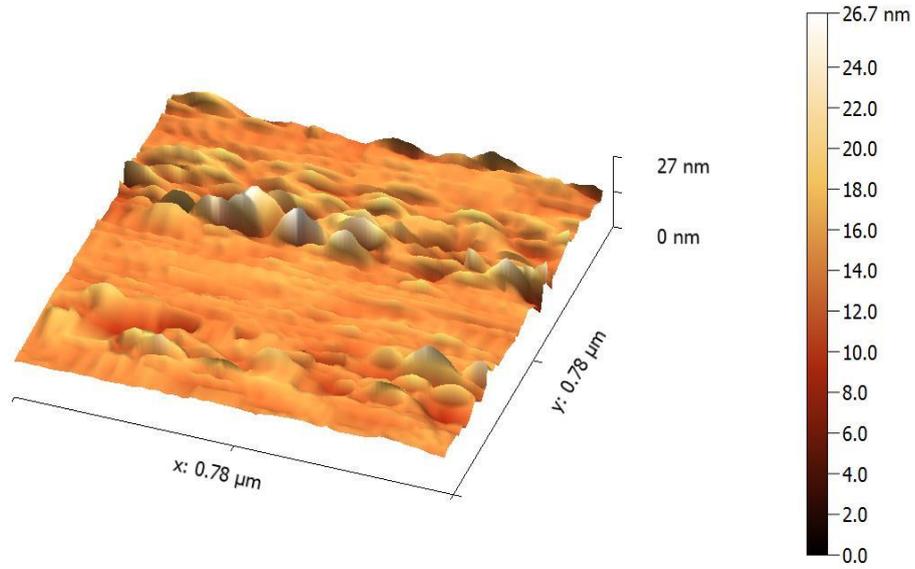
الاشكال (3-4) و(4-4) و(5-4) و(6-4) و(7-4) توضح صور نتائج (AFM) لجميع الأغشية المحضرة، تم دراسة طوبوغرافية اغشية $(\text{MgO})_{1-x}(\text{ZnS})_x$ الرقيقة والمحضرة بنسب تشويب مختلفة باستعمال مجهر القوة الذرية (AFM) ذي القدرة العالية على تصوير وتحليل سطوح الأغشية وإعطاء قيم دقيقة جدا عن معدل حجم الحبيبات (Average Grain Size) وتوزيعها وعن قيم خشونة السطح، اما الشكلين (8-4) و(9-4) فيوضحان علاقة كل من معدل الخشونة ومعدل الحجم الحبيبي، نلاحظ من الجدول (4-4) تقل قيم معدل الخشونة (Roughness Average) وقيم الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة (RMS) لجميع الأغشية المحضرة باستثناء الغشاء $(\text{MgO})_{0.98}(\text{ZnS})_{0.02}$ اذ لوحظ زيادة قيم الخشونة وقيم (RMS)، أن قيم معدل الحجم الحبيبي تقل مع زيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) لجميع الأغشية المحضرة وهذا يتفق مع الدراسة [40]، باستثناء الغشاء $(\text{MgO})_{0.92}(\text{ZnS})_{0.08}$ اذ لوحظ زيادة في معدل الحجم الحبيبي، ربما تعزى الزيادة إلى اشغال ذرات التشويب (ZnS) مواقع بينية داخل الشبكة البلورية (Interstitial Lattice Positions) ومواقع حبيبية بينية (Inter Grain Regions) [72]، كما أن القيم الموجبة لالتواء السطح (Surface Skewness) الذي يستعمل لقياس مقدار التناسق الخارجي للسطح تدل على أن توزيع الارتفاعات اعلى من توزيع الانخفاضات اما اذا كانت سالبة فهذا يعني أن الانخفاضات تكون اعلى من الارتفاعات وفي الحالتين يكون التوزيع غير متماثل، ولكي يكون التوزيع متماثل يجب أن تكون قيمة التواء السطح تساوي صفر، اما قيم حدة السطح (Surface Kurtosis) عندما تكون قيمتها اكبر من (3) يمتلك السطح قمم اكثر من الانخفاضات، ويكون السطح مسطحا ويدعى (Plat Kurtic) للقيم الأقل من (3)، في حين يكون المنحني على شكل قوس ويدعى السطح (Meso Kurtic) للقيم التي تساوي (3) [113]، من الواضح أن نقصان خشونة السطح ناتج عن انخفاض في حجم البلوريات (Crystallite Size) للأغشية المحضرة [114-116]، وهذا يعني أن قيم الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة (RMS) و خشونة السطح تتناسب طرديا مع حجم البلوريات (Crystallite Size) وهذا يتفق مع نتائج حيود الأشعة السينية (XRD) اذ يقل حجم البلوريات بزيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS).



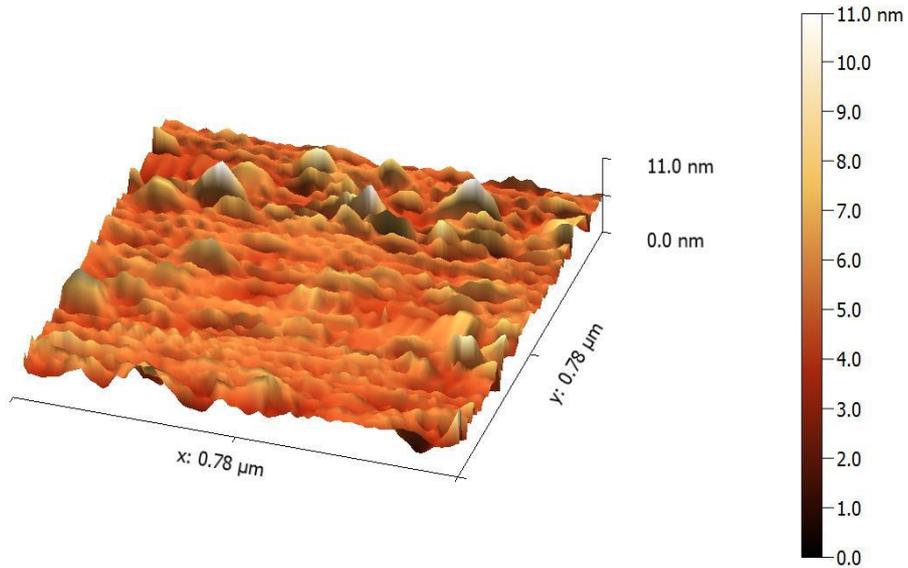
الشكل (3-4): صورة (AFM) لغشاء (MgO) الرقيق.



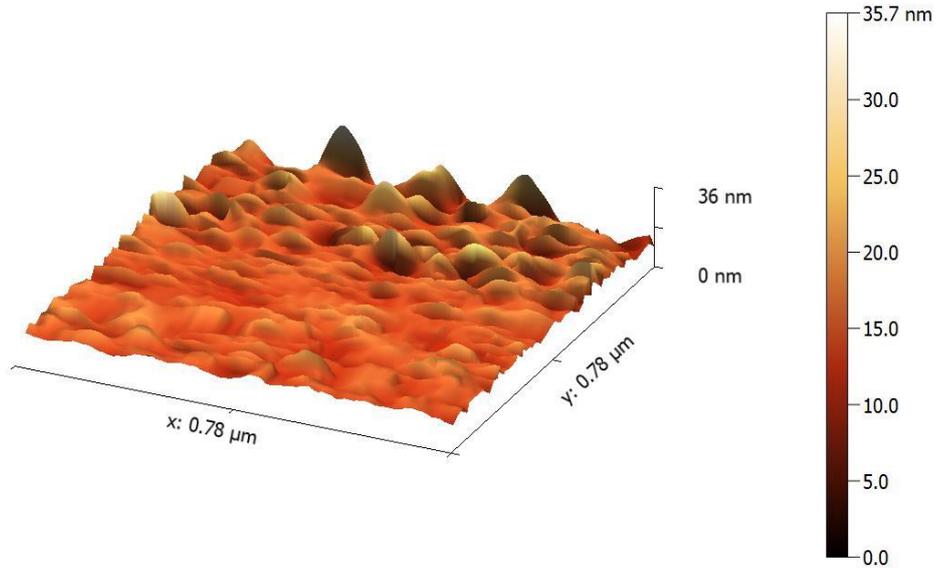
الشكل (4-4): صورة (AFM) لغشاء $(\text{MgO})_{0.98}(\text{ZnS})_{0.02}$ الرقيق.



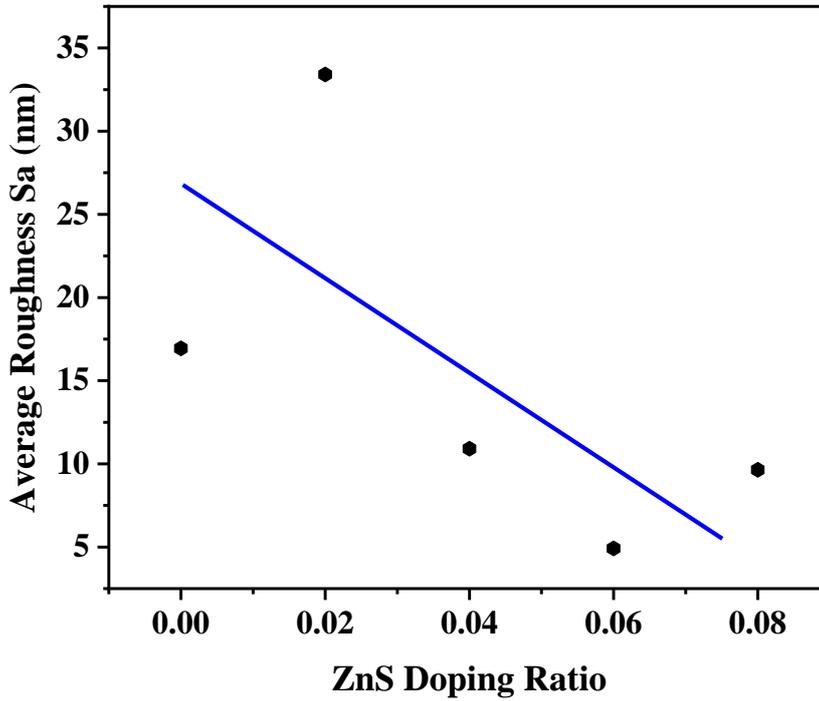
الشكل (5-4): صورة (AFM) لغشاء $(\text{MgO})_{0.96}(\text{ZnS})_{0.04}$ الرقيق.



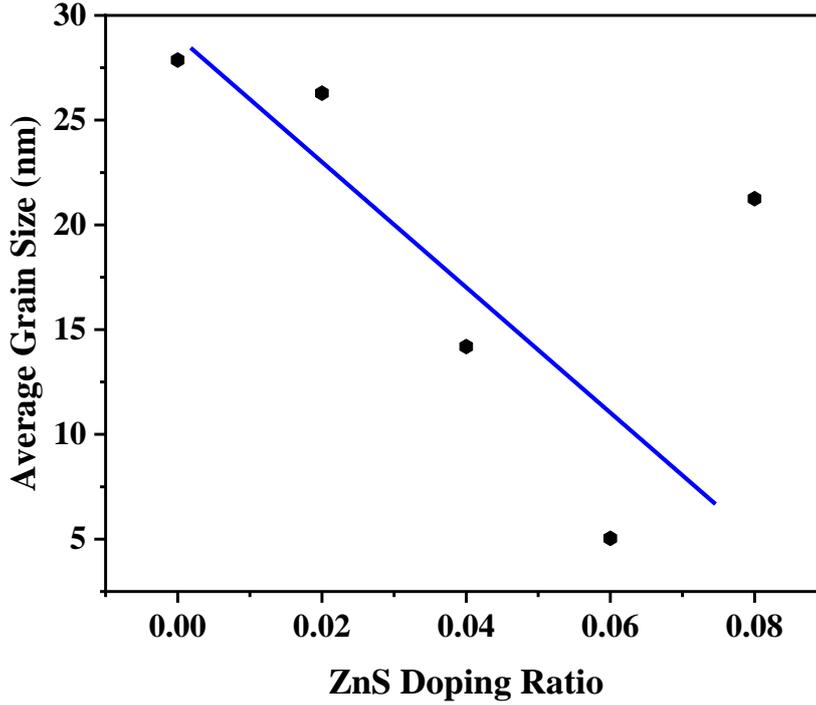
الشكل (6-4): صورة (AFM) لغشاء $(\text{MgO})_{0.94}(\text{ZnS})_{0.06}$ الرقيق.



الشكل (7-4): صورة (AFM) لغشاء $(\text{MgO})_{0.92}(\text{ZnS})_{0.08}$ الرقيق.



الشكل (8-4): معدل الخشونة كدالة لنسب التشويب بـ (ZnS) لجميع الأغشية المحضرة.



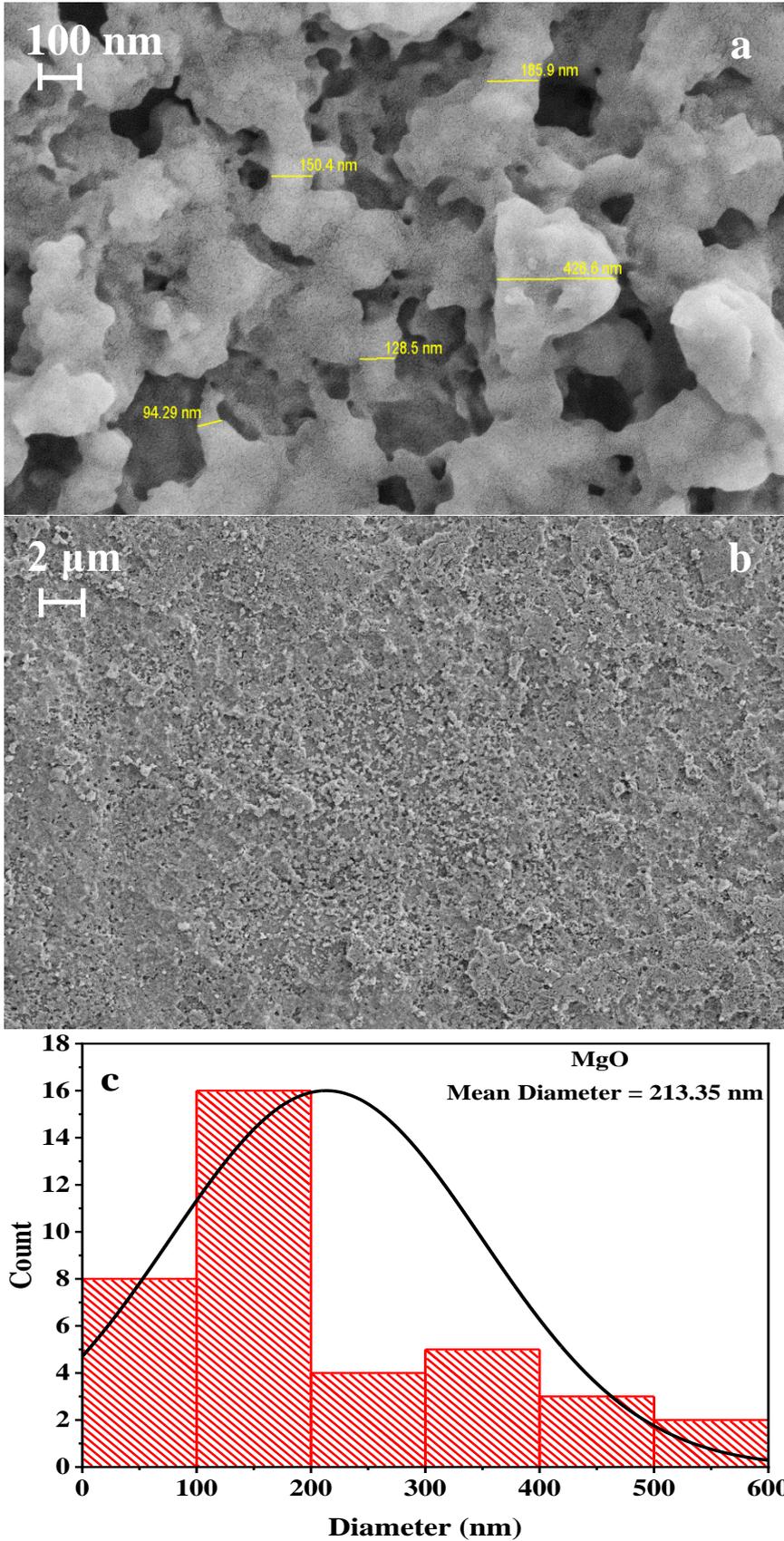
الشكل (9-4): معدل الحجم الحبيبي كدالة لنسب التشويب بـ (ZnS) لجميع الأغشية المحضرة.

الجدول (4-4): بعض المعلمات الطبوغرافية لأغشية $(\text{MgO})_{1-x}(\text{ZnS})_x$ الرقيقة.

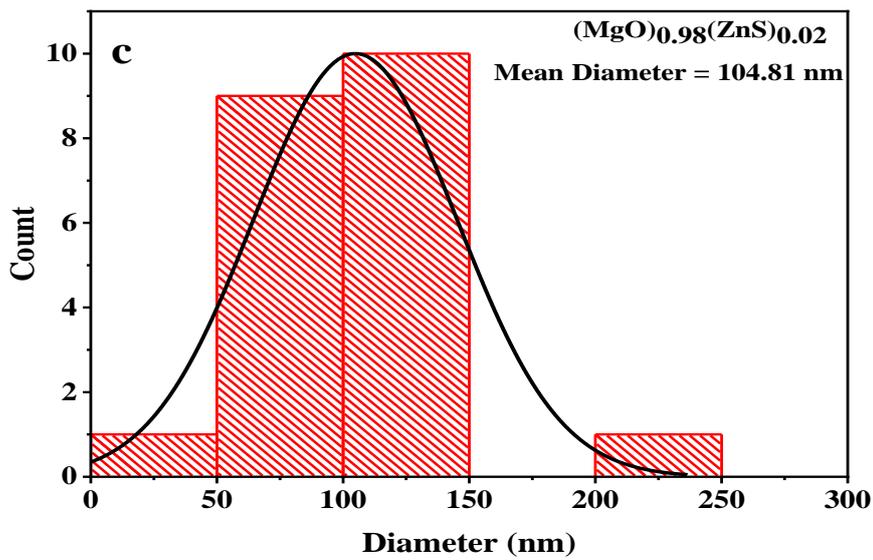
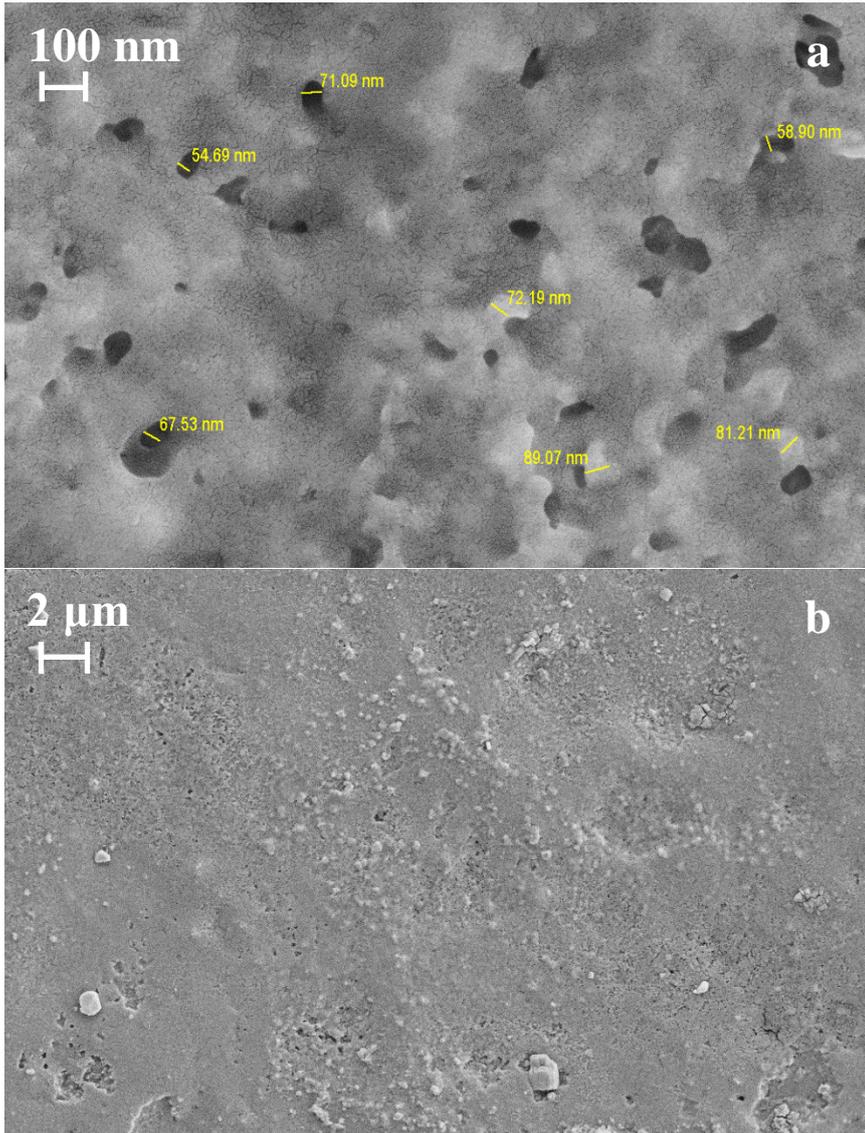
Samples	Average Roughness Sa (nm)	RMS (nm)	Average Grain Size (nm)	Surface Skewness (Ssk) (nm)	Surface Kurtosis (Sku) (nm)	Maximum Height Sz(nm)
MgO	16.94	25.02	27.87	-0.8114	5.018	16.31
$(\text{MgO})_{0.98}(\text{ZnS})_{0.02}$	33.41	42.71	26.29	-1.1110	3.596	20.27
$(\text{MgO})_{0.96}(\text{ZnS})_{0.04}$	10.91	12.69	14.19	-0.5094	2.237	69.61
$(\text{MgO})_{0.94}(\text{ZnS})_{0.06}$	4.922	6.037	5.04	-0.4426	3.314	35.15
$(\text{MgO})_{0.92}(\text{ZnS})_{0.08}$	9.641	12.59	21.25	-0.0018	3.245	80.98

(3-3-4) نتائج فحوصات المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM)**(Results of Field Emission Scanning Electron Microscopy****Tests) (FE-SEM)**

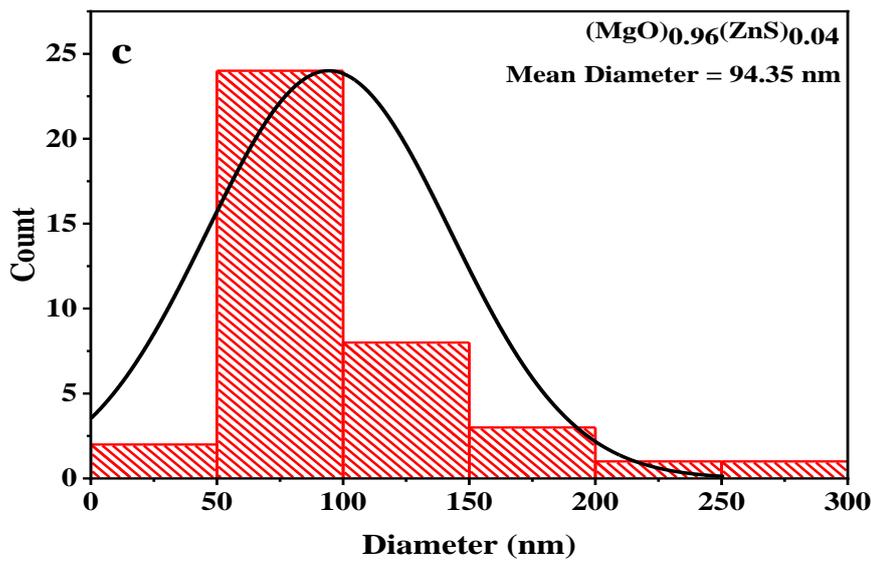
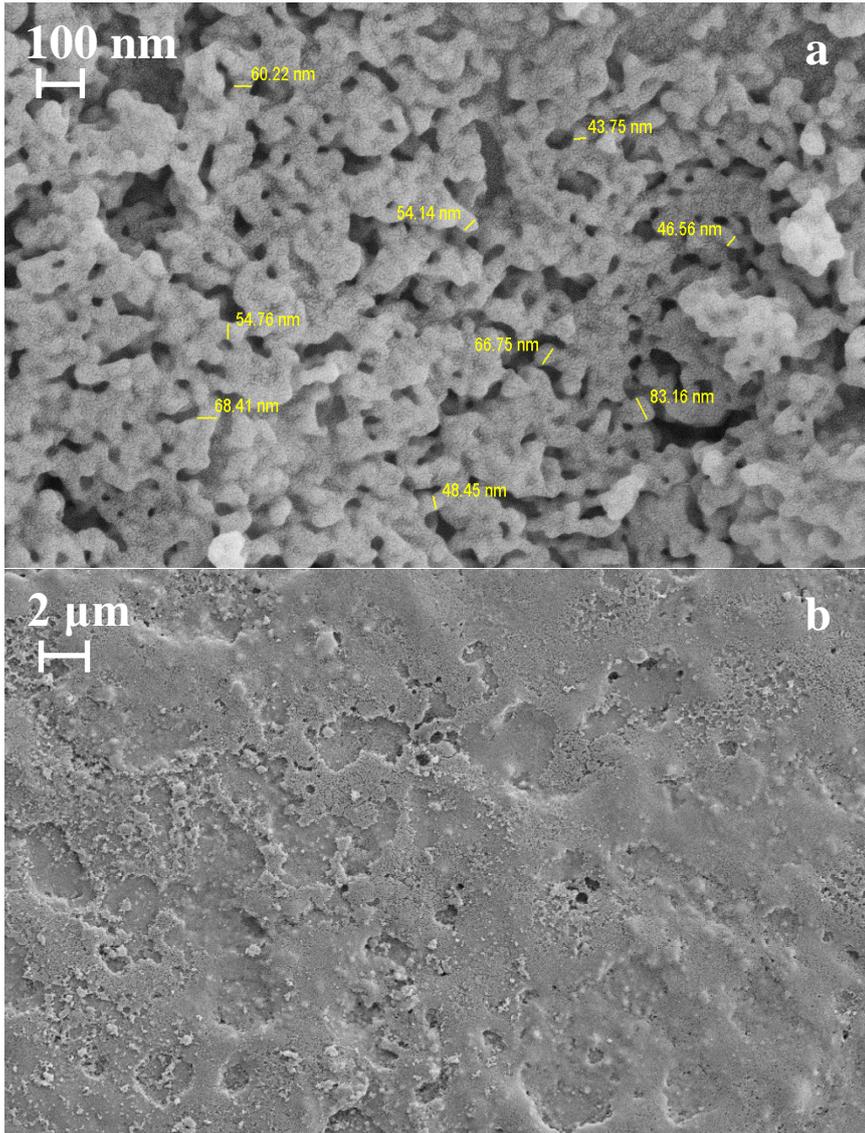
تم دراسة مورفولوجيا سطوح جميع الأغشية المحضرة باستعمال جهاز المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM) والذي يزودنا بصور للسطوح بدقة وتكبير عالين، فالأشكال (10-4)، (11-4)، (12-4)، (13-4)، (14-4) توضح صور (FE-SEM) مع مخطط التوزيع الحجمي للجسيمات لجميع الأغشية المحضرة، نلاحظ أن تراكيب سطوح الأغشية المحضرة تتكون من مجاميع من الجسيمات النانوية (Nanoparticles) شبه كروية كثيفة ومتكتلة للغاية وهذا يتفق مع الدراسات [117, 118]، وأن معدل حجم الجسيمات يتناقص بزيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) وهذا يتفق مع الدراسة [119]، مما يؤكد انتشار ايونات الكبريت والزنك ضمن الشبكة البلورية لأوكسيد المغنيسيوم (MgO) [120]. أن أكبر قيمة لمعدل حجم الجسيمات كانت للغشاء (MgO) النقي بينما اقل قيمة كانت للغشاء المشوب بنسبة (8%) من كبريتيد الزنك (ZnS).



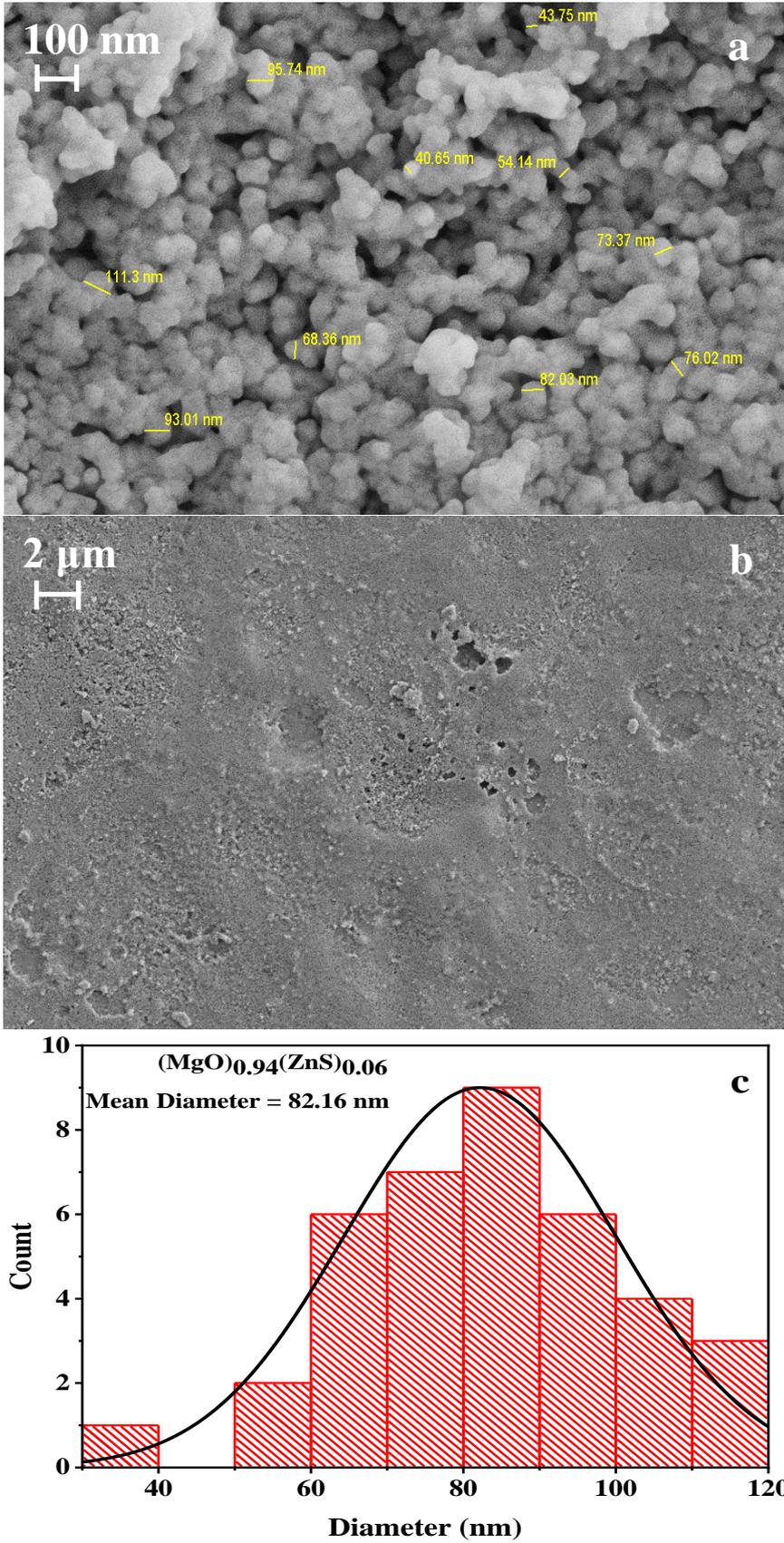
الشكل (10-4): صور (a,b) (FE-SEM)، مخطط توزيع حجم الجسيمات لغشاء (MgO) الرقيق.



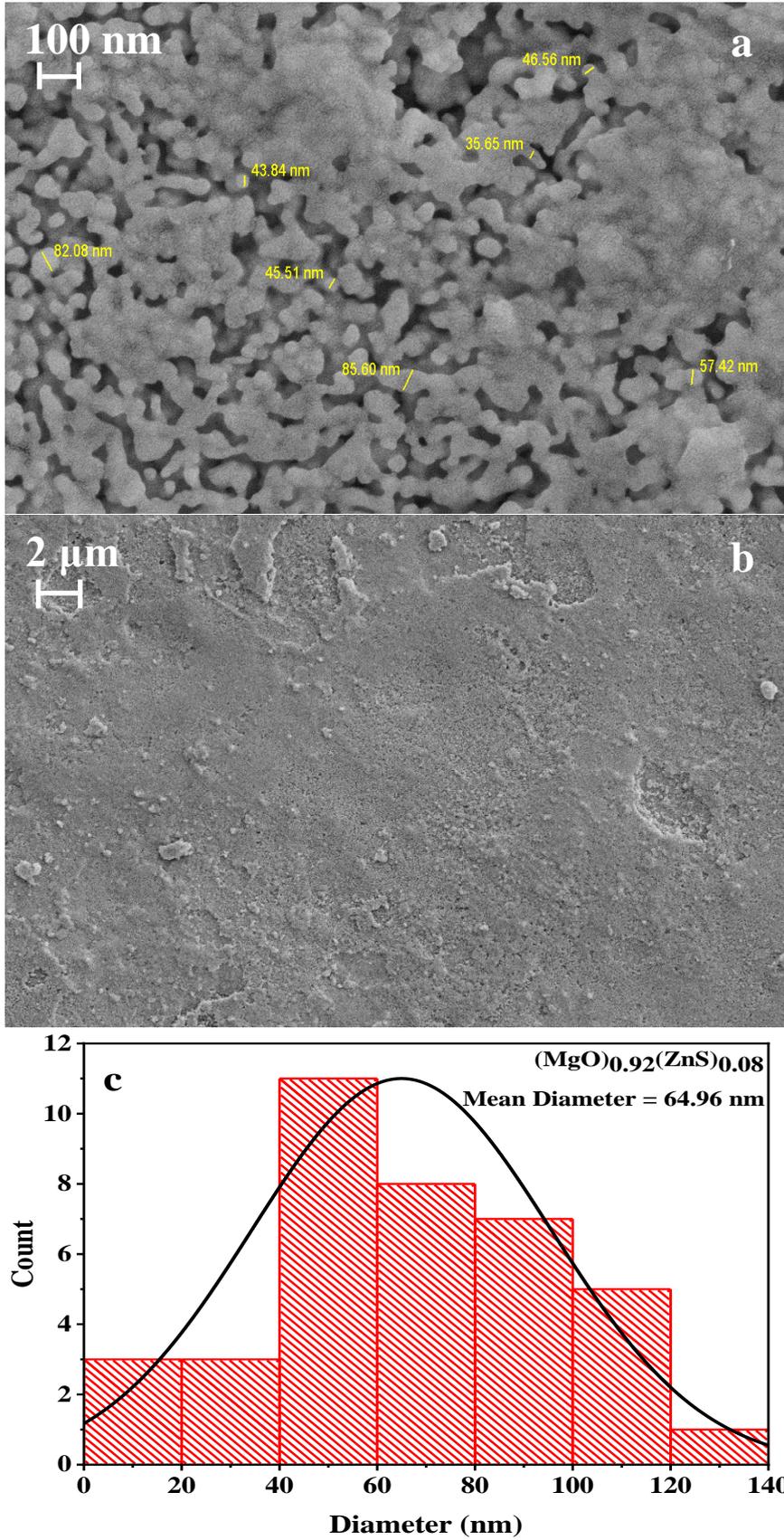
الشكل (11-4): (a,b) صور (FE-SEM)، (c) مخطط توزيع حجم الجسيمات لغشاء $(\text{MgO})_{0.98}(\text{ZnS})_{0.02}$ الرقيق.



الشكل (12-4): صور (a,b) (FE-SEM)، مخطط توزيع حجم الجسيمات لغشاء $(\text{MgO})_{0.96}(\text{ZnS})_{0.04}$ الرقيق.



الشكل (13-4): (a,b) صور (FE-SEM)، (c) مخطط توزيع حجم الجسيمات لغشاء $(MgO)_{0.94}(ZnS)_{0.06}$ الرقيق.

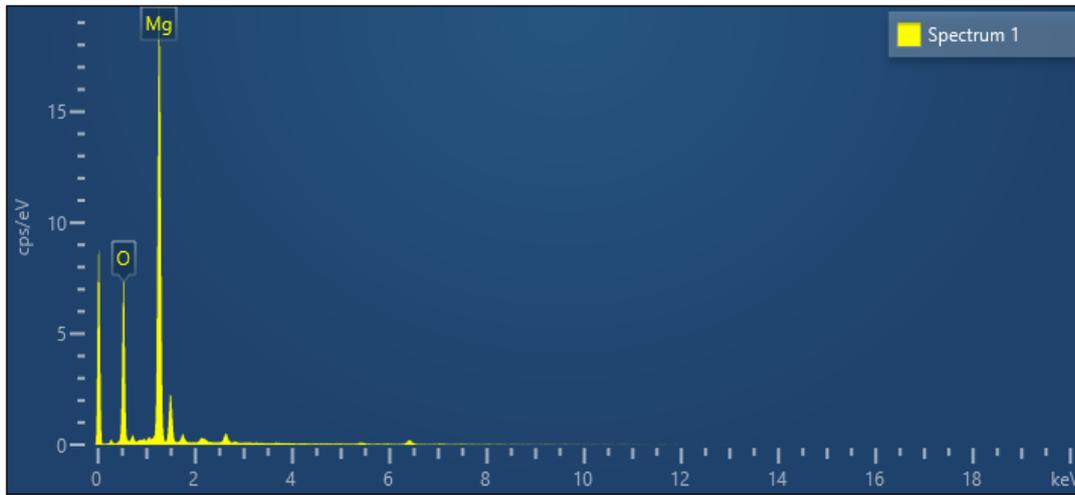


الشكل (14-4): (a,b) صور (FE-SEM)، (c) مخطط توزيع حجم الجسيمات لغشاء $(\text{MgO})_{0.92}(\text{ZnS})_{0.08}$ الرقيق.

(4-3-4) نتائج فحوصات مطياف تشتت الطاقة (EDS)

(Results of Energy Dispersive Spectrometer Test) (EDS)

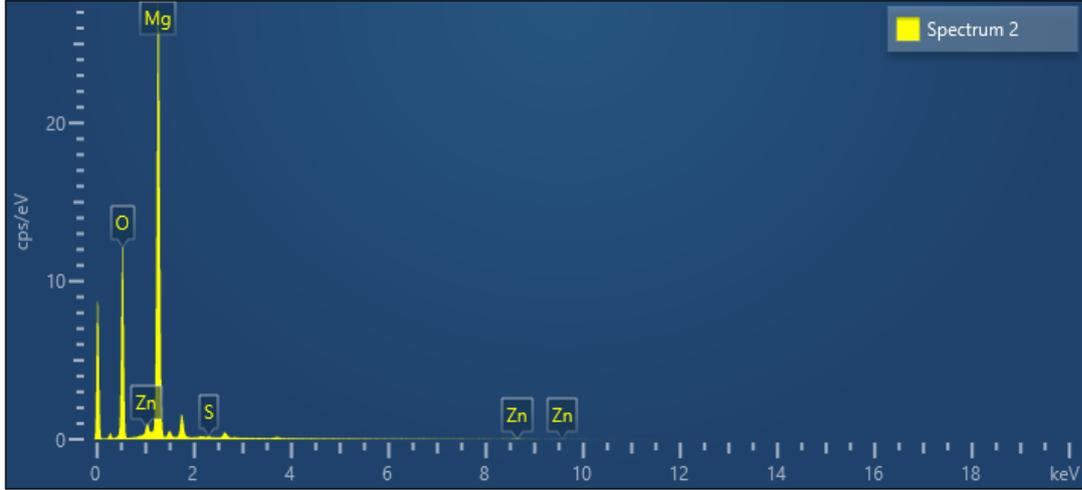
تم إجراء تحليل مطياف تشتت الطاقة (EDS) للتأكد من تركيب مكونات الأغشية الرقيقة المحضرة؛ إذ إنَّ هذا النوع من التحاليل ضروريٌّ لمعرفة النسب الذرية والوزنية للعناصر الموجودة في تركيب الأغشية الرقيقة المحضرة والتي يتعذر توفرها في فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD)، الأشكال (15-4)، (16-4)، (17-4)، (18-4)، (19-4) تبين مخططات تحليل (EDS) لجميع الأغشية المحضرة، والجداول (5-4)، (6-4)، (7-4)، (8-4)، (9-4) توضح نسب العناصر الوزنية والذرية لتحليل (EDS) لجميع الأغشية المحضرة.



الشكل (15-4): مخطط تحليل (EDS) لغشاء (MgO) الرقيق.

الجدول (5-4): النسب الوزنية والذرية للعناصر في غشاء (MgO) الرقيق لتحليل (EDS)

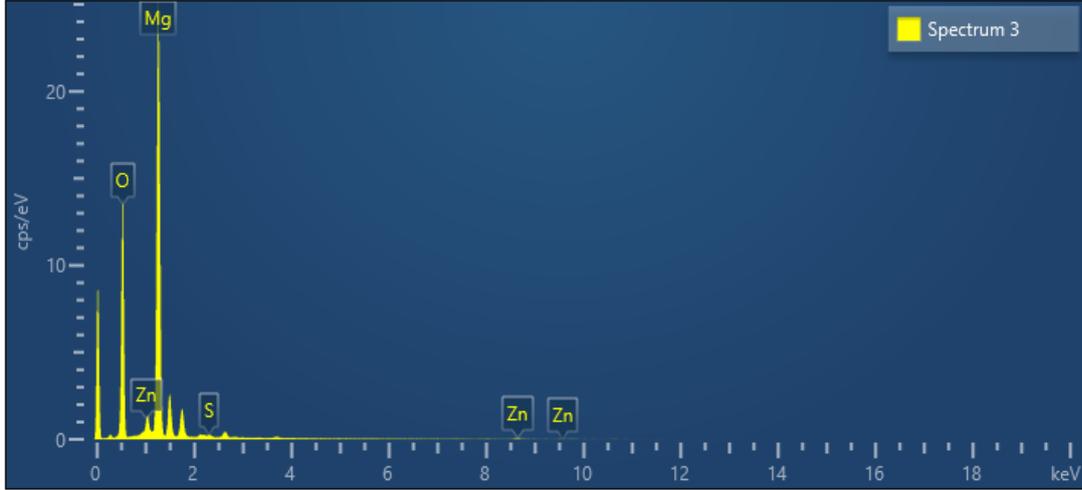
Element	Weight (%)	Atomic (%)
O	46.16	56.57
Mg	53.84	43.43
Total	100	100



الشكل (4-16): مخطط تحليل (EDS) لغشاء $(\text{MgO})_{0.98}(\text{ZnS})_{0.02}$ الرقيق.

الجدول (4-6): النسب الوزنية والذرية للعناصر في غشاء $(\text{MgO})_{0.98}(\text{ZnS})_{0.02}$ الرقيق لتحليل (EDS)

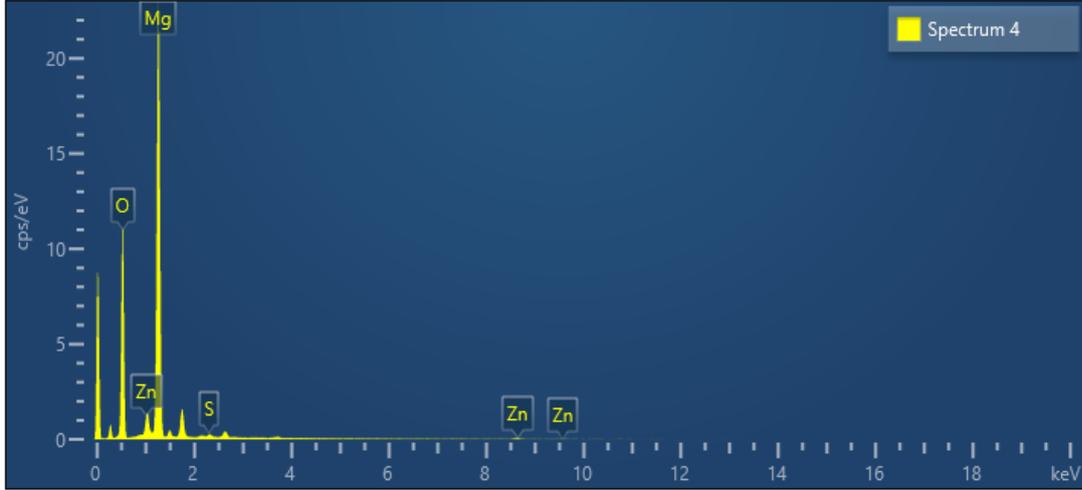
Element	Weight (%)	Atomic (%)
O	47.84	58.89
Mg	49.81	40.35
Zn	2.17	0.65
S	0.18	0.11
Total	100	100



الشكل (4-17): مخطط تحليل (EDS) لغشاء $(\text{MgO})_{0.96}(\text{ZnS})_{0.04}$ الرقيق.

الجدول (4-7): النسب الوزنية والذرية للعناصر في غشاء $(\text{MgO})_{0.96}(\text{ZnS})_{0.04}$ الرقيق لتحليل (EDS)

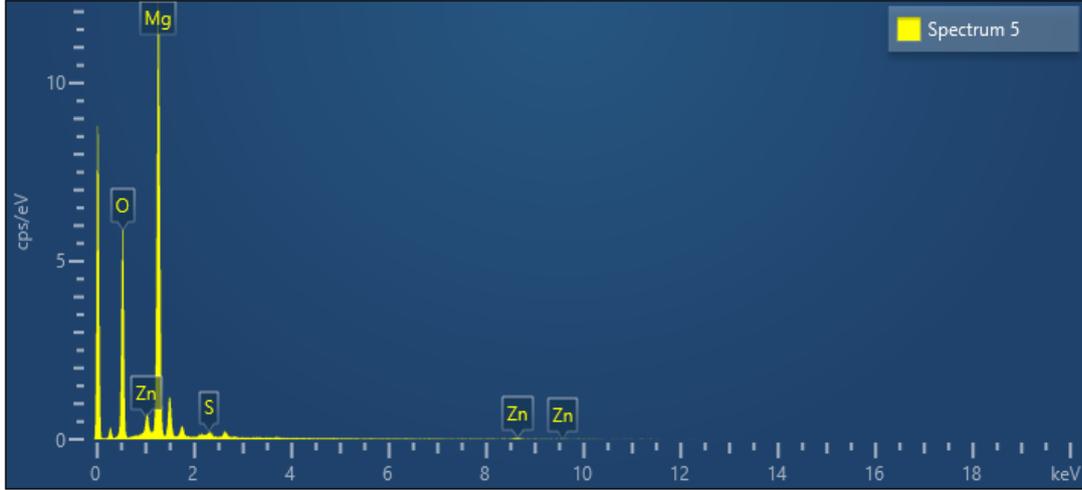
Element	Weight (%)	Atomic (%)
O	50.57	61.82
Mg	46.08	37.07
Zn	3.00	0.90
S	0.35	0.21
Total	100	100



الشكل (4-18): مخطط تحليل (EDS) لغشاء $(\text{MgO})_{0.94}(\text{ZnS})_{0.06}$ الرقيق.

الجدول (4-8): النسب الوزنية والذرية للعناصر في غشاء $(\text{MgO})_{0.94}(\text{ZnS})_{0.06}$ الرقيق لتحليل (EDS)

Element	Weight (%)	Atomic (%)
O	47.96	59.75
Mg	47.07	38.59
Zn	4.51	1.38
S	0.46	0.28
Total	100	100



الشكل (4-19): مخطط تحليل (EDS) لغشاء $(\text{MgO})_{0.92}(\text{ZnS})_{0.08}$ الرقيق.

الجدول (4-9): النسب الوزنية والذرية للعناصر في غشاء $(\text{MgO})_{0.92}(\text{ZnS})_{0.08}$ الرقيق لتحليل (EDS)

Element	Weight (%)	Atomic (%)
O	47.66	59.39
Mg	47.37	38.84
Zn	4.16	1.27
S	0.81	0.50
Total	100	100

(4-4) نتائج القياسات البصرية (Results of Optical Measurements)

تم دراسة الخصائص البصرية لأغشية أكسيد المغنيسيوم الرقيقة (MgO) النقية والمشوبة بنسب تشويب مختلفة % (0, 2, 4, 6, 8) من كبريتيد الزنك (ZnS) والمحضرة بدرجة حرارة قاعدة (350 °C) وسمك (260 ± 5 nm)؛ وذلك من خلال تسجيل طيفي للنفاذية والامتصاصية للأغشية المحضرة ضمن مدى من الأطوال الموجية (350-1100)nm، إذ تم حساب فجوة الطاقة البصرية للانتقالات الإلكترونية المباشرة المسموحة وطاقة أورباخ، فضلاً عن الانعكاسية كدالة

للطول الموجي ومعامل الامتصاص ومعامل الانكسار ومعامل الخمود وثابت العزل بجزيئه الحقيقي والخيالي كدالة لطاقة الفوتون الساقط.

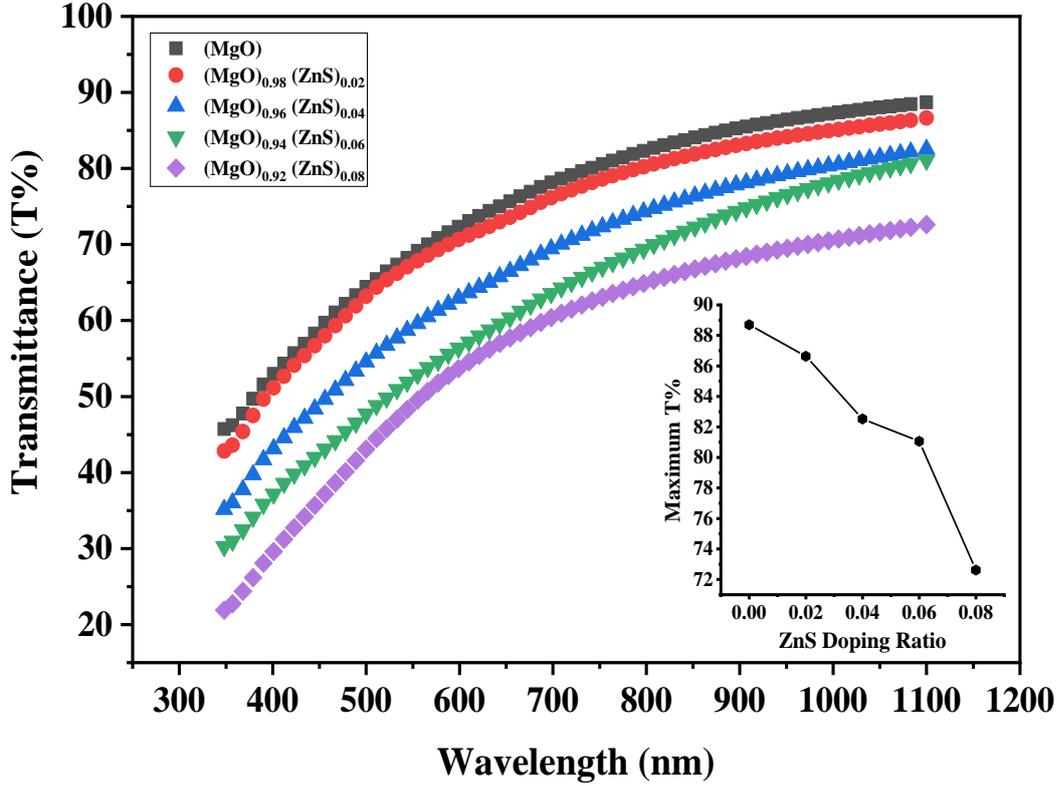
(1-4-4) النفاذية (T) (Transmittance)

نلاحظ أن نفاذية الأغشية المحضرة تزداد مع زيادة الطول الموجي، تبدأ بالزيادة البطيئة مع زيادة الطول الموجي حتى تصل إلى اعظم قيمة لها وهي (89%~) بالنسبة لغشاء (MgO)، وعند تشويب اغشية (MgO) بنسب مختلفة (2%, 4%, 6%, 8%) من كبريتيد الزنك (ZnS) تتناقصت قيم النفاذية بزيادة نسبة التشويب وهذا يتفق مع الدراسات [39, 121]، إذ بلغت اقل نفاذية للغشاء المشوب بنسبة (8%) من كبريتيد الزنك (ZnS)، الشكل (4-20) يوضح طيف النفاذية ضمن المدى (350-1100) nm والعلاقة بين نسب التشويب واعلى قيمة للنفاذية لجميع الأغشية المحضرة، ويُعزى هذا الانخفاض في النفاذية إلى زيادة الامتصاص الناتجة عن زيادة تركيز (ZnS) في الغشاء الرقيق، أن زيادة محتوى (ZnS) يؤدي إلى زيادة كثافة الحالات الموضعية وبالتالي أصبحت العينة اكثر تعتيمًا بالنسبة للضوء الساقط، وهذا يؤدي إلى تحول حافة الامتصاص نحو الطاقات المنخفضة (الاطوال الموجية العالية)، في هذه المنطقة تمتلك الفوتونات طاقة كافية لإثارة الإلكترونات من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل وبذلك يتم امتصاص الفوتونات داخل مادة الغشاء الرقيق [121, 122]. كما أن استحداث مستويات طاقة جديدة بالقرب وأسفل حزمة التوصيل يؤدي إلى زيادة عدد الالكترونات التي تصل إلى حزمة التوصيل وبذلك تقل فجوة الطاقة مع زيادة الامتصاصية ونقصان قيم النفاذية [47, 123].

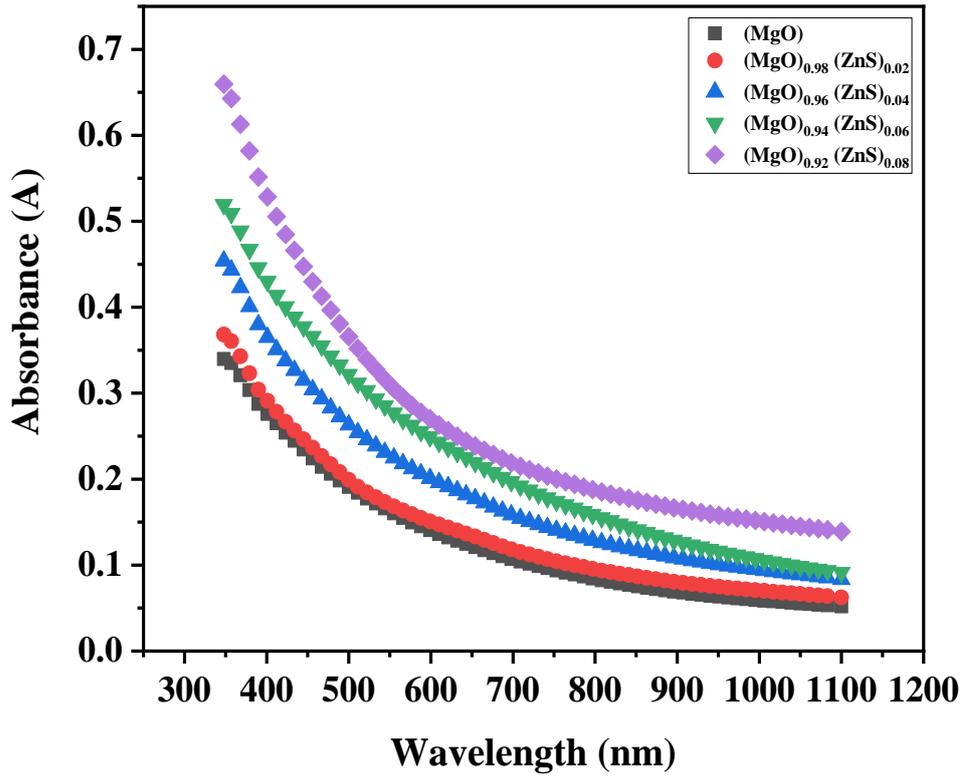
(2-4-4) الامتصاصية (A) (Absorbance)

من الواضح أن امتصاصية الأغشية المحضرة تتناسب عكسيا مع الطول الموجي إذ تقل الامتصاصية بزيادة الطول الموجي لتصل إلى أقل قيمة لها عند الطوال الموجي (1100 nm) لجميع الأغشية المحضرة، وهذا يعني أن طاقة الفوتون الساقط اقل من قيمة فجوة الطاقة لشبه الموصل وبذلك لا يتهيج الالكتران ولا ينتقل من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل ولهذا تقل الامتصاصية بزيادة الطول الموجي [124]، ونلاحظ عند تشويب الأغشية المحضرة بنسب مختلفة (0%, 2%, 4%, 6%, 8%) من كبريتيد الزنك (ZnS) فان قيم الامتصاصية تزداد مع زيادة نسبة التشويب، وهذا يعزى إلى دخول ذرات المادة الشائبة ضمن التركيب البلوري للأغشية المحضرة.

وينتج عن ذلك تكوين مستويات موضعية بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل والتي بدورها تؤدي إلى امتصاص الفوتونات ذات الطاقات الواطئة وهذا ما قبله اعلى امتصاصية وأوطأ نفاذية [123]، الشكل (4-21) يوضح قيم الامتصاصية مع الطول الموجي وعلاقتها الطردية مع نسبة التشويب.



الشكل (4-20): النفاذية كدالة للطول الموجي للأغشية المحضرة والعلاقة بين نسب التشويب واعلى قيمة للنفاذية.

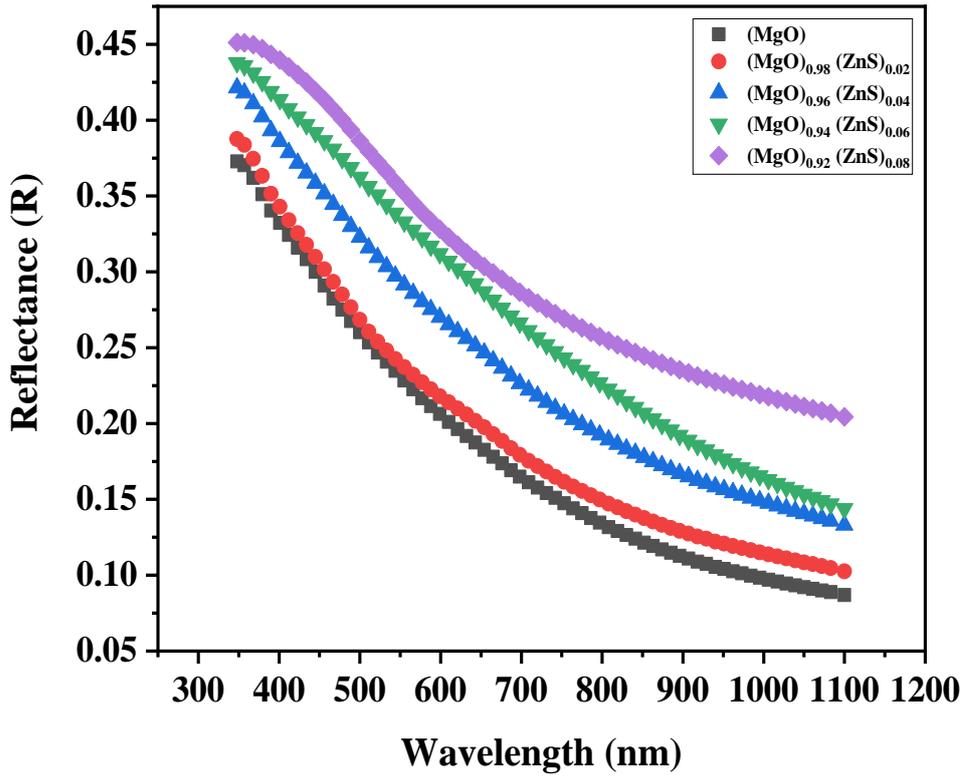


الشكل (4-21): الامتصاصية كدالة للطول الموجي للأغشية المحضرة.

(Reflectance)

(3-4-4) الانعكاسية (R)

الشكل (4-22) يوضح تغير قيم الانعكاسية لجميع الأغشية المحضرة كدالة للطول الموجي، نلاحظ أن قيم الانعكاسية تقل مع زيادة الطول الموجي، وسبب ذلك هو ان معامل الانكسار يقل مع زيادة الطول الموجي وبذلك تقل الانعكاسية حسب العلاقة (2-17)، كما أن قيم الانعكاسية تتأثر بنسب التشويب حيث تزداد قيم الانعكاسية مع زيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك ويكون الغشاء (MgO) الرقيق النقي يمتلك اقل قيمة للانعكاسية في حين تكون اعلى قيمة للانعكاسية للغشاء المشوب بنسبة (8%) من كبريتيد الزنك (ZnS).

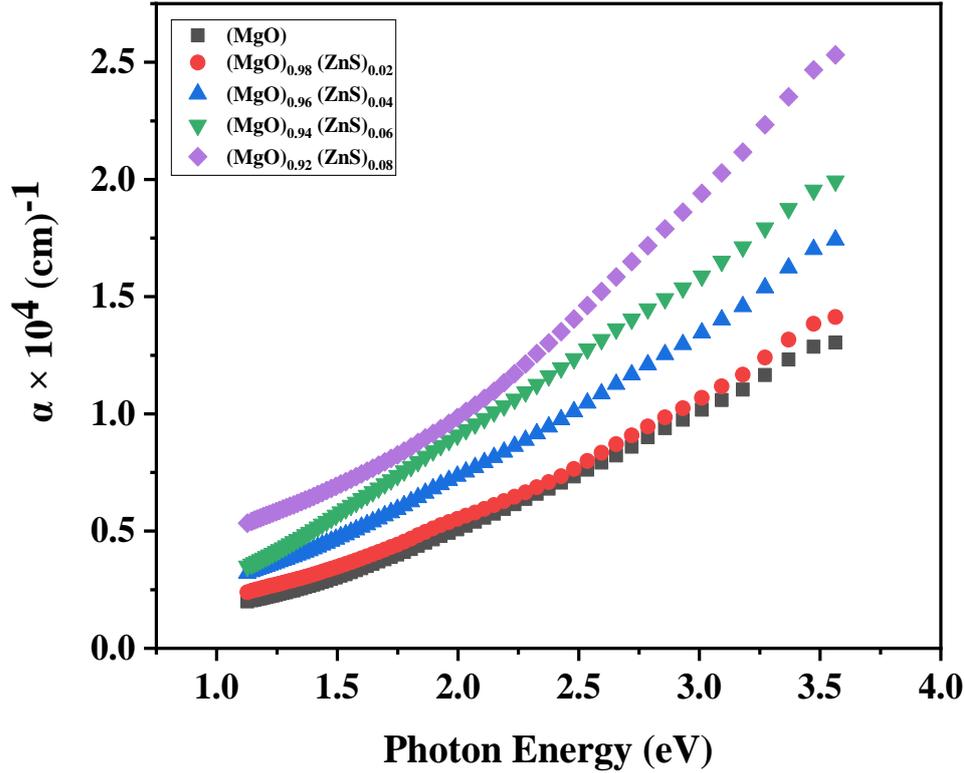


الشكل (4-22): الانعكاسية كدالة للطول الموجي للأغشية المحضرة.

(Absorption Coefficient)

(4-4-4) معامل الامتصاص (α)

الشكل (4-23) يوضح تغير معامل الامتصاص لجميع الأغشية المحضرة كدالة لطاقة الفوتون الساقط، إذ تم حساب معامل الامتصاص لجميع الأغشية المحضرة بدرجة حرارة قاعدة (350 °C) من خلال العلاقة (2-21)، ونلاحظ أن قيمة معامل الامتصاص لجميع الأغشية ($\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$) وهذا ما يؤكد حدوث انتقالات الكترونية مباشرة [125]، ويبين الشكل (4-23) أن قيم معامل الامتصاص لجميع الأغشية المحضرة تزداد مع زيادة طاقة الفوتون وتكون أعظم قيمة لمعامل الامتصاص عند الطاقات الفوتونية (3.0 – 3.56) eV، بالإضافة إلى أن معامل الامتصاص للأغشية المحضرة يزداد مع زيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) ويعود سبب هذه الزيادة إلى أن عملية التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) استحدثت مستويات ثانوية داخل فجوة الطاقة مما زاد من عملية الانتقالات الإلكترونية ذات الطاقات الواطئة بين حزمة التكافؤ ومستوى الشوائب بالإضافة إلى الانتقالات الاعتيادية بين حزم الطاقة، وهذا يؤدي إلى زيادة عملية الامتصاص للفوتونات الساقطة وبالتالي زيادة سريعة في قيمة معامل الامتصاص [123].

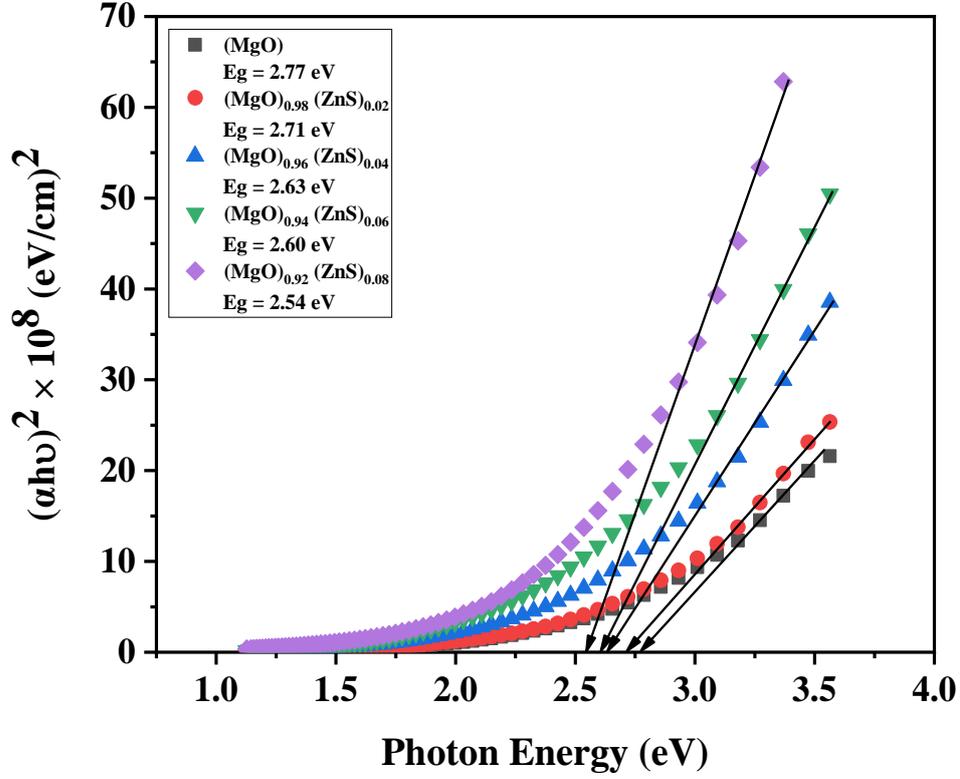


الشكل (4-23): معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون الساقط للأغشية المحضرة.

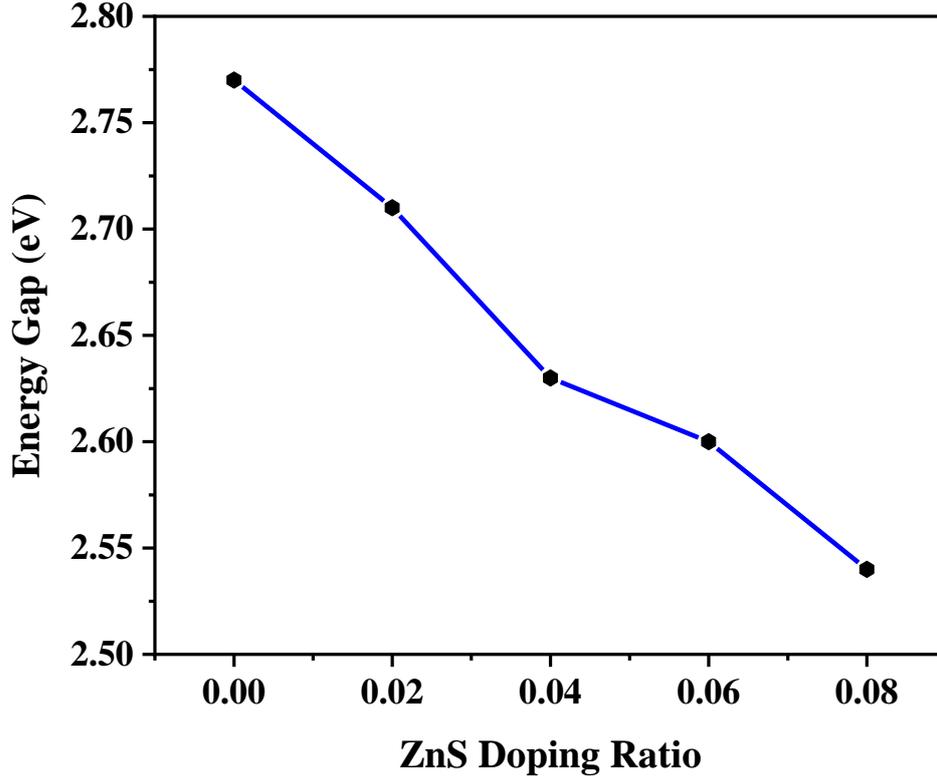
(5-4-4) فجوة الطاقة البصرية (E_g) (Optical Energy Gap)

أن العامل الأساس الذي تعتمد عليه قيم فجوة الطاقة البصرية هو التركيب البلوري للأغشية؛ إذ تم حساب قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقالات الإلكترونية المباشرة المسموحة لجميع الأغشية المحضرة باستعمال العلاقة (2-33) عند قيمة الثابت ($r = 1/2$)، ومن خلال العلاقة البيانية بين $(\alpha h\nu)^2$ وطاقة الفوتون الساقط ($h\nu$) يتم رسم خط مستقيم بعد حافة الامتصاص الأساسية ليقطع محور طاقة الفوتون الساقط عند النقطة $(\alpha h\nu)^2 = 0$ ، وبذلك تمثل نقطة التقاطع قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة، الشكل (4-24) يوضح قيم فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة كدالة لطاقة الفوتون الساقط، ونلاحظ أن عملية التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) أدت إلى تناقص قيم فجوة الطاقة والتي تكون ضمن المدى (2.54 – 2.77) eV وهذا يتفق مع الدراسات [49, 126]، ويعود هذا التناقص في قيم فجوة الطاقة إلى تكون مستويات جديدة مانحة نتيجة التشويب وتكون هذه المستويات داخل فجوة الطاقة وبالقرب من حزمة التوصيل والتي بدورها تؤدي إلى إنشاء جسور لانتقال الإلكترونات ذات الطاقة الواطئة الأقل من قيمة فجوة الطاقة للغشاء النقي إلى حزمة التوصيل، ومن ثم يحدث تغير في موقع مستوى فيرمي وإزاحته نحو حزمة التوصيل نتيجة الزيادة في عدد الانتقالات الإلكترونية [44]. الشكل (4-25) يبين قيم فجوة الطاقة

كدالة لنسب التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) لجميع الأغشية المحضرة، والجدول (4-10) يوضح نوع الغشاء وفجوة الطاقة وطريقة التحضير للدراسة الحالية وبعض الدراسات السابقة.



الشكل (4-24): فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة.



الشكل (4-25): قيم فجوة الطاقة كدالة لنسب التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) للأغشية المحضرة.

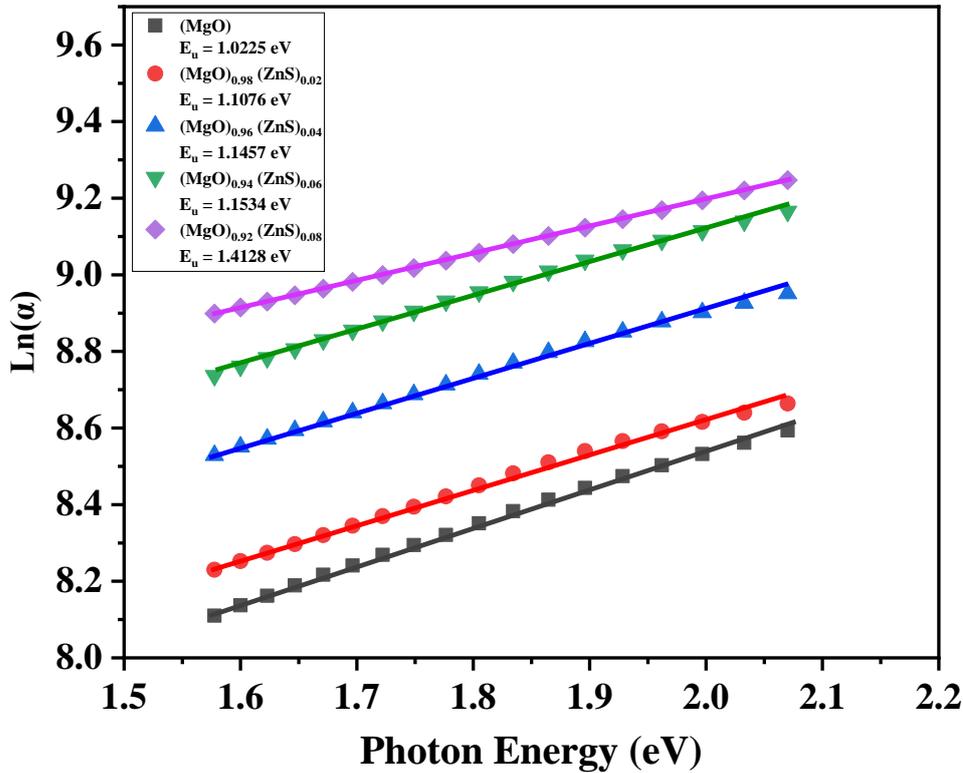
الجدول (4-10): قيم فجوة الطاقة للدراسة الحالية وبعض الدراسات السابقة.

نوع الغشاء	طريقة التحضير	E_g (eV)	المصدر
MgO	التحلل الحراري الكيميائي	(4.25-4.57)	[36]
Al ³⁺ doped MgO	المحلول - هلام	(2.30-3.55)	[37]
MgO doped Pb	الطلاء الدوراني	(4.10-3.65)	[40]
Al doped MgO	التحلل الحراري الكيميائي	(2.00-1.75)	[47]
MgO _{1-x} CuO _x	الترسيب بالليزر النبضي	(3.25-2.90)	[121]
MgO _{1-x} ZnS _x	التحلل الحراري الكيميائي	(2.77-2.54)	الدراسة الحالية

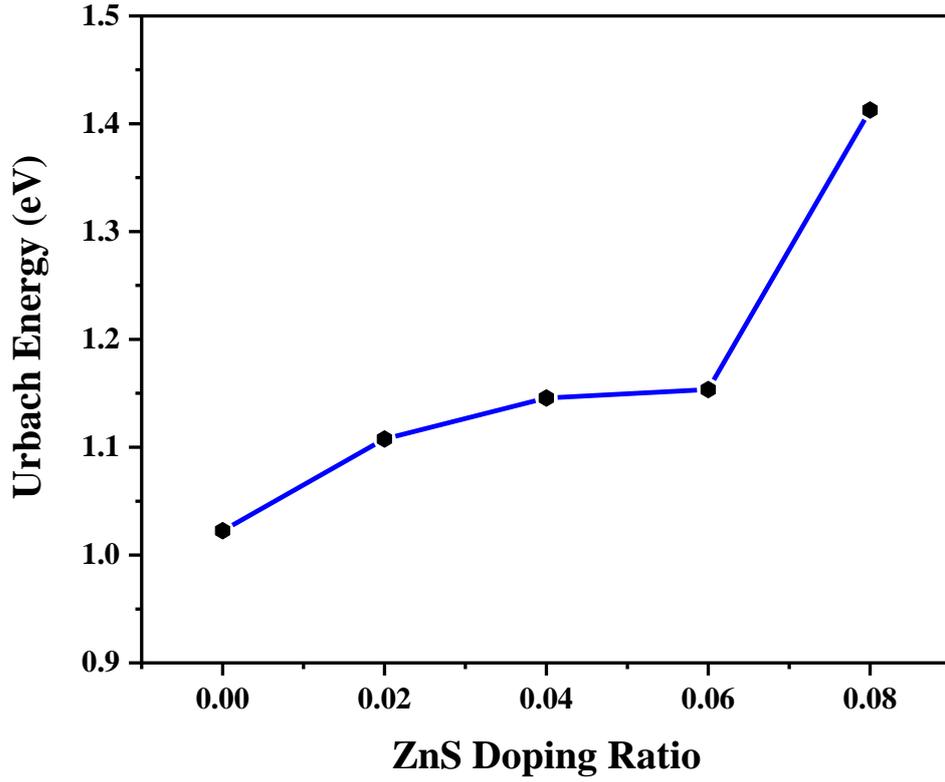
(Urbach Energy)

(6-4-4) طاقة اورباخ (E_u)

يوضح الشكل (26-4) العلاقة البيانية بين طاقة الفوتون الساقط ($h\nu$) ولوغاريتم معامل الامتصاص ($\ln(\alpha)$) لجميع الأغشية المحضرة، يمثل مقلوب ميل الخط المستقيم قيم الطاقة لذبول اورباخ للأغشية المحضرة، فالشكل (27-4) يبين قيم طاقة اورباخ كدالة لنسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS)، إذ نلاحظ أن سلوك طاقة ذبول اورباخ معاكس لسلوك فجوة الطاقة البصرية حيث تزداد قيمتها بزيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) وهذا يتفق مع الدراسة [121]، تُعزى الزيادة في قيم طاقة ذبول اورباخ إلى الزيادة في عدد المستويات الموضعية مما يسبب نقصان في فجوة الطاقة البصرية وبالتالي تزداد طاقة ذبول اورباخ [47]. الجدول (4-11) يبين قيم طاقة اورباخ وما يقابلها من قيم فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة.



الشكل (26-4): طاقة اورباخ كدالة لطاقة الفوتون الساقط لجميع الأغشية المحضرة.



الشكل (4-27): طاقة اورباخ كدالة لنسب التشويب.

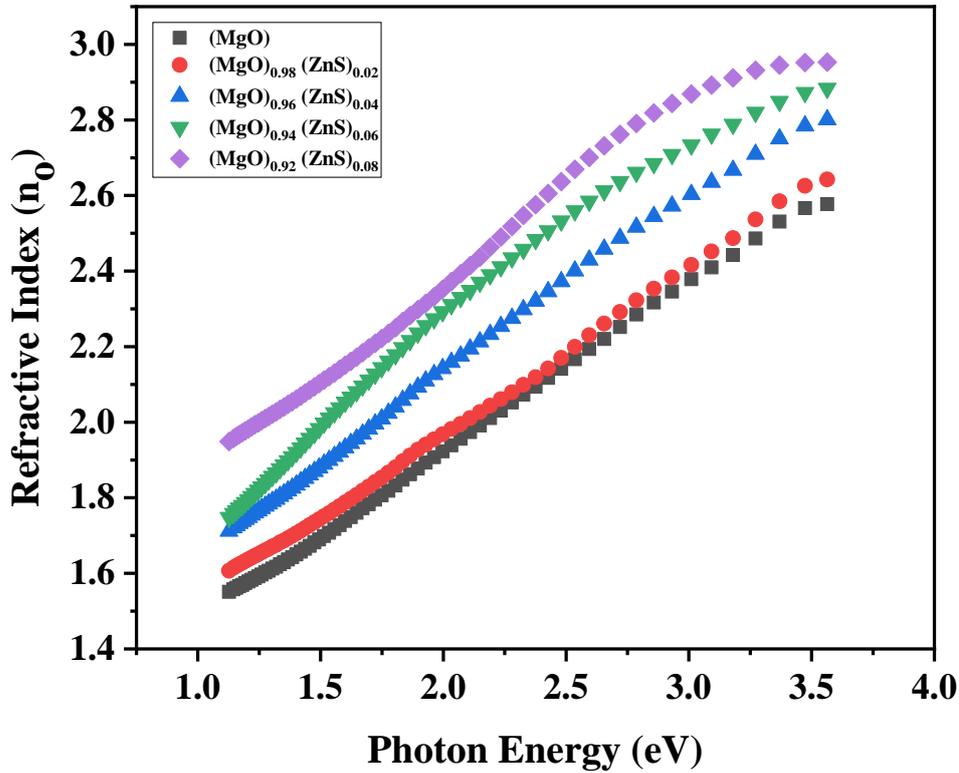
الجدول (4-11): قيم طاقة اورباخ وما يقابلها من قيم فجوة الطاقة للأغشية المحضرة.

E_u (eV)	E_g (eV)
1.0225	2.771
1.1076	2.714
1.1457	2.638
1.1534	2.602
1.4128	2.549

(Refractive Index)

(7-4-4) معامل الانكسار (n_0)

يوضح الشكل (28-4) قيم معامل الانكسار كدالة لطاقة الفوتون الساقط لجميع الأغشية المحضرة، تم حساب قيم معامل الانكسار بالاعتماد على العلاقة (22-2) لجميع الأغشية المحضرة، نلاحظ أن قيم معامل الانكسار تزداد تدريجياً مع زيادة طاقة الفوتون الساقط وسبب ذلك أن الانعكاسية تزداد بزيادة طاقة الفوتون الساقط؛ إذ إن معامل الانكسار يرتبط مع الانعكاسية بالعلاقة (22-2)، كما نلاحظ زيادة قيم معامل الانكسار بزيادة نسب التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS)، وأن هذه الزيادة ناتجة من عملية التشويب التي تؤدي إلى إضافة ذرات الشائبة ضمن التركيب البلوري لأغشية (MgO) الرقيقة، مما يؤدي إلى إضافة مستويات جديدة تزيد من شدة الأشعة المنعكسة وبالتالي زيادة معامل الانكسار [127].

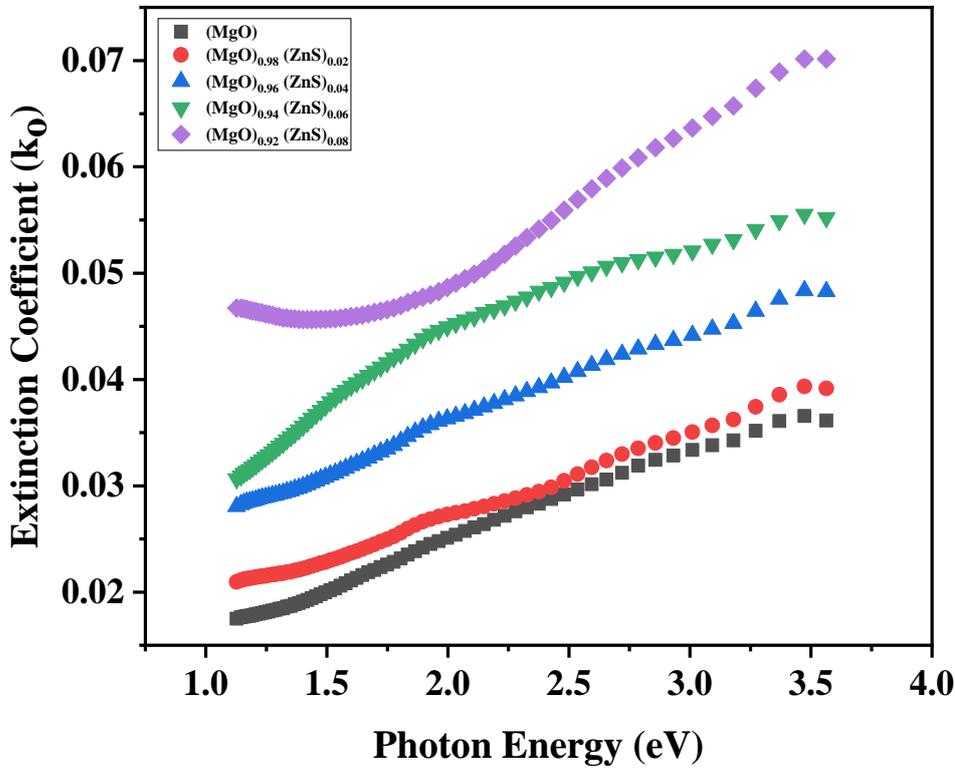


الشكل (28-4): معامل الإنكسار كدالة لطاقة الفوتون الساقط للأغشية المحضرة.

(Extinction Coefficient)

(8-4-4) معامل الخمود (k_0)

يوضح الشكل (29-4) معامل الخمود كدالة لطاقة الفوتون الساقط لجميع الأغشية المحضرة، من العلاقة (24-2) تم حساب معامل الخمود، ونلاحظ أن هناك زيادة في معامل الخمود مع زيادة طاقة الفوتون الساقط لجميع الأغشية المحضرة، كما نلاحظ التشابه بين منحنيات معامل الخمود مع منحنيات معامل الامتصاص حيث يزداد معامل الخمود مع زيادة نسب التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) وهذا السلوك مشابه لسلوك معامل الامتصاص، وسبب هذه الزيادة هو كثافة المستويات المانحة التي كونتها المادة الشائبة داخل فجوة الطاقة والتي تؤدي إلى زيادة معامل الامتصاص وبالتالي يزداد معامل الخمود حسب العلاقة السابقة [127].



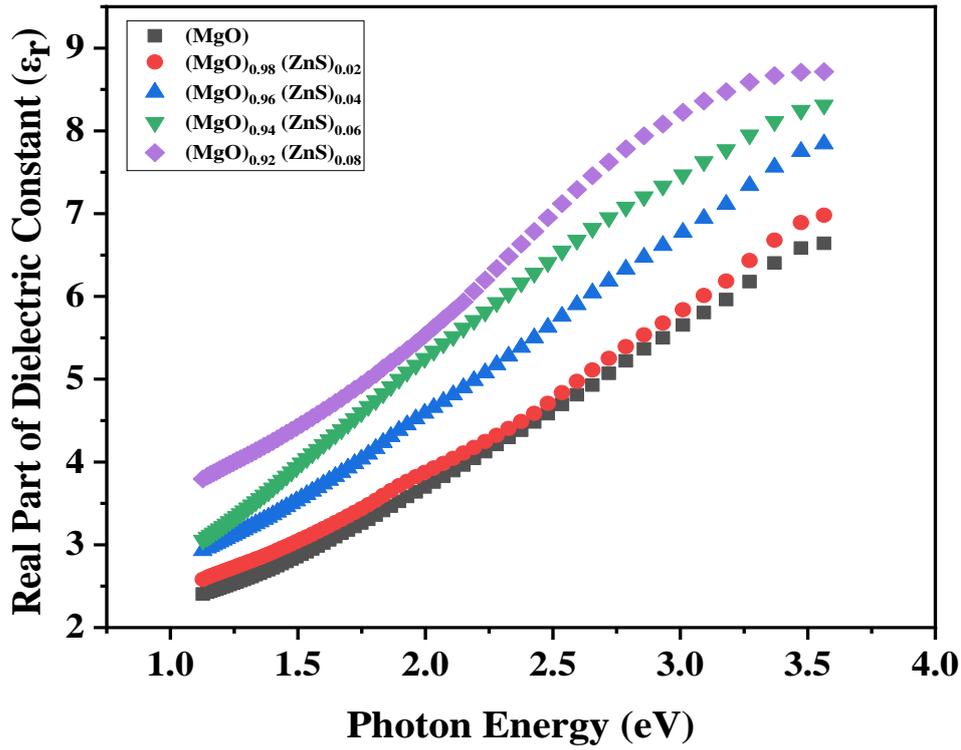
الشكل (29-4): معامل الخمود كدالة لطاقة الفوتون الساقط للأغشية المحضرة.

(9-4-4) ثابت العزل البصري (ϵ) (Optical Dielectric Constant)

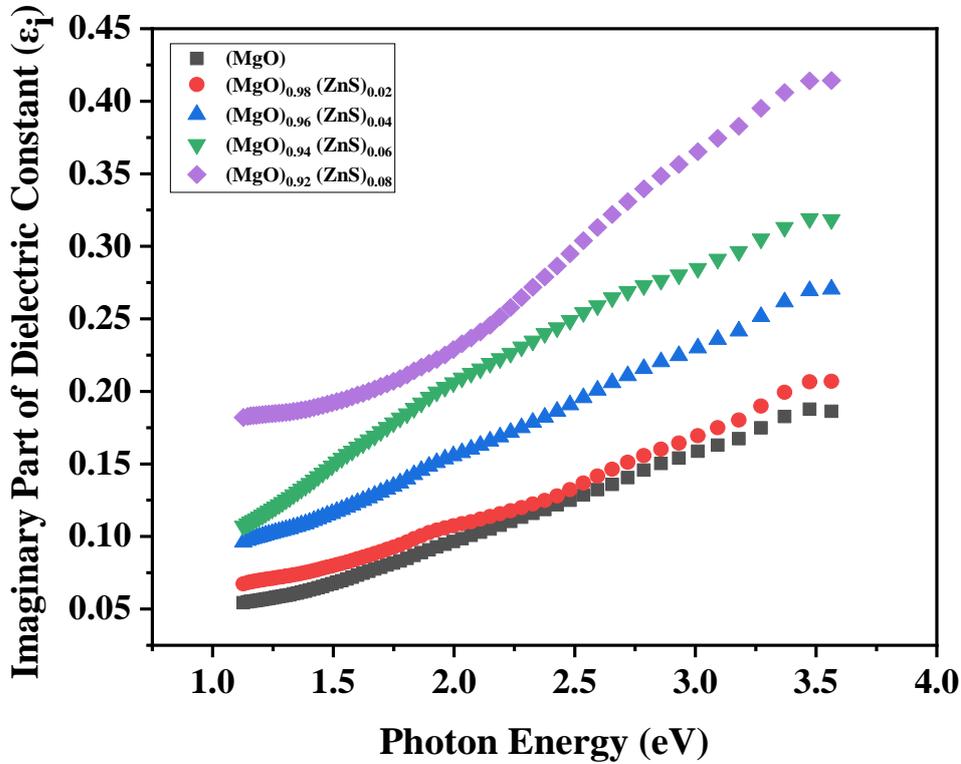
يوضح الشكل (4-30) ثابت العزل الحقيقي (Real part of Dielectric Constant) كدالة لطاقة الفوتون الساقط لجميع الأغشية المحضرة، تم حساب ثابت العزل الحقيقي من خلال العلاقة (2-28)، اذ نلاحظ من الشكل (4-30) إن قيمة ثابت العزل الحقيقي تزداد مع زيادة طاقة الفوتون الساقط لجميع الأغشية المحضرة كما أن سلوك منحني ثابت العزل الحقيقي مشابه لسلوك منحني معامل الانكسار وأن تأثير معامل الخمود تم اهماله لكونه قليلاً جداً عند مقارنته بتأثير معامل الانكسار، كما أن قيمة ثابت العزل الحقيقي تزداد مع زيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS)، وتعزى هذه الزيادة إلى الكثافة العالية المتولدة للثنائيات القطبية الناتجة من زيادة نسبة التشويب والتي تؤدي إلى زيادة في قيم الاستقطاب الضوئي ومعامل الانكسار، وبالتالي زيادة في قيمة ثابت العزل الحقيقي.

من العلاقة (2-29) تم حساب ثابت العزل الخيالي (Imaginary Part of Dielectric Constant) ويوضح الشكل (4-31) ثابت العزل الخيالي كدالة لطاقة الفوتون الساقط لجميع الأغشية المحضرة، من الشكل نلاحظ أن سلوك منحني ثابت العزل الخيالي مشابه إلى حد ما لسلوك منحني معامل الخمود، اذ تزداد قيمته مع زيادة طاقة الفوتون الساقط ولجميع الأغشية المحضرة، كما أن الزيادة في نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) تؤدي إلى زيادة في قيمة ثابت العزل الخيالي، وسبب ذلك هو دخول ذرات كبريتيد الزنك (ZnS) في التركيب البلوري للغشاء النقي (MgO) مما يؤدي إلى تكوين مستويات جديدة داخل فجوة الطاقة والتي بدورها تؤدي إلى زيادة نسبة الاستقطاب للثنائيات وكذلك زيادة في نسبة الطاقة الممتصة من الاشعاع الساقط، وبالتالي يزداد ثابت العزل الخيالي.

إن قيمة ثابت العزل الخيالي تكون قليلة مقارنة مع قيمة ثابت العزل الحقيقي ولجميع الأغشية المحضرة وتشير هذه القيمة المنخفضة إلى أن تبديد الطاقة لجميع الأغشية المحضرة يكون منخفض، في حين القيمة المتزايدة في ثابت العزل الحقيقي تمثل زيادة كثافة التدفق الكهربائي للأغشية الرقيقة المحضرة [47, 128]، يوضح الجدول (4-12) قيم فجوة الطاقة وأعلى قيمة لمعامل الامتصاص ومعامل الخمود ومعامل الانكسار لجميع الأغشية المحضرة.



الشكل (4-30): ثابت العزل الحقيقي كدالة لطاقة الفوتون الساقط للأغشية المحضرة.



الشكل (4-31): ثابت العزل الخيالي كدالة لطاقة الفوتون الساقط للأغشية المحضرة.

الجدول (4-12): بعض الخصائص البصرية للأغشية الرقيقة المحضرة.

Sample	Energy Gap (eV)	$(\alpha \times 10^4 \text{ cm}^{-1})$ Maximum	(n_0) Maximum	(k_0) Maximum
MgO	2.771	1.304	2.577	0.036
MgO _{0.98} ZnS _{0.02}	2.714	1.413	2.642	0.039
MgO _{0.96} ZnS _{0.04}	2.638	1.742	2.801	0.048
MgO _{0.94} ZnS _{0.06}	2.602	1.993	2.883	0.055
MgO _{0.92} ZnS _{0.08}	2.549	2.531	2.952	0.070

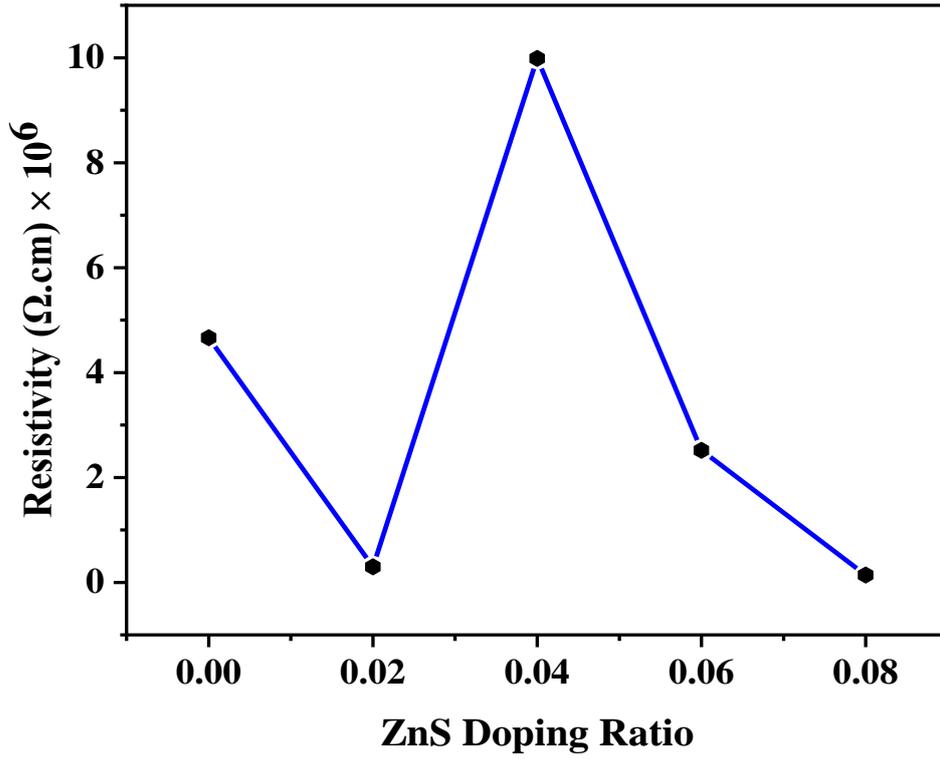
(5-4) نتائج القياسات الكهربائية (Results of Electrical Measurement)

تم دراسة قياسات تأثير هول (Effect Effect) لأغشية (MgO) النقية والمشوبة بكبريتيد الزنك (ZnS) وبنسب حجمية مختلفة (0, 2, 4, 6 and 8%) لغرض التعرف على نوع حاملات الشحنة وتركيزها وقيم معامل هول (Hall Coefficient) والتوصيلية الكهربائية (Conductivity) والمقاومية (Resistivity) والتحركية (Mobility) عند درجة حرارة الغرفة، حيث وجد أن نوع حاملات الشحنة لأغشية أكسيد المغنيسيوم (MgO) النقية والمشوبة بنسب (2%, 4%) من كبريتيد الزنك (ZnS) هي من النوع السالب (n - type) من قيمة معامل هول (R_H) السالبة وهذا يتفق مع الدراسة [129]، بينما نوع حاملات الشحنة لأغشية (MgO) المشوبة بنسب (6%, 8%) من كبريتيد الزنك (ZnS) هي من النوع الموجب (p - type) من قيمة معامل هول (R_H) الموجبة بسبب النسبة العالية من حاملات الشحنة الموجبة نسبة إلى حاملات الشحنة السالبة والمتولدة من وجود معدن كبريتيد الزنك (ZnS) في جميع الأغشية المشوبة وهذا يتفق مع الدراسة [130]، والجدول (4-13) يبين نتائج قياسات تأثير هول (Hall Effect)، إذ نلاحظ زيادة قيم معامل هول (Hall Coefficient) بزيادة نسب التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) حتى يصل إلى أعلى قيمة له عند الغشاء (MgO)_{0.94}(ZnS)_{0.06}، وبينت النتائج أن قيم المقاومة (Resistivity) لجميع الأغشية عالية وأعلى قيمة كانت للغشاء المشوب بنسبة (4%) من كبريتيد الزنك (ZnS) في حين قيم التوصيلية (Conductivity) كانت منخفضة ولجميع الأغشية المحضرة كما أنها ازدادت بعد عملية التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) وأن أعلى قيمة لها كانت للغشاء المشوب بنسبة (8%) من كبريتيد الزنك (ZnS)، أن القيم العالية للمقاومية

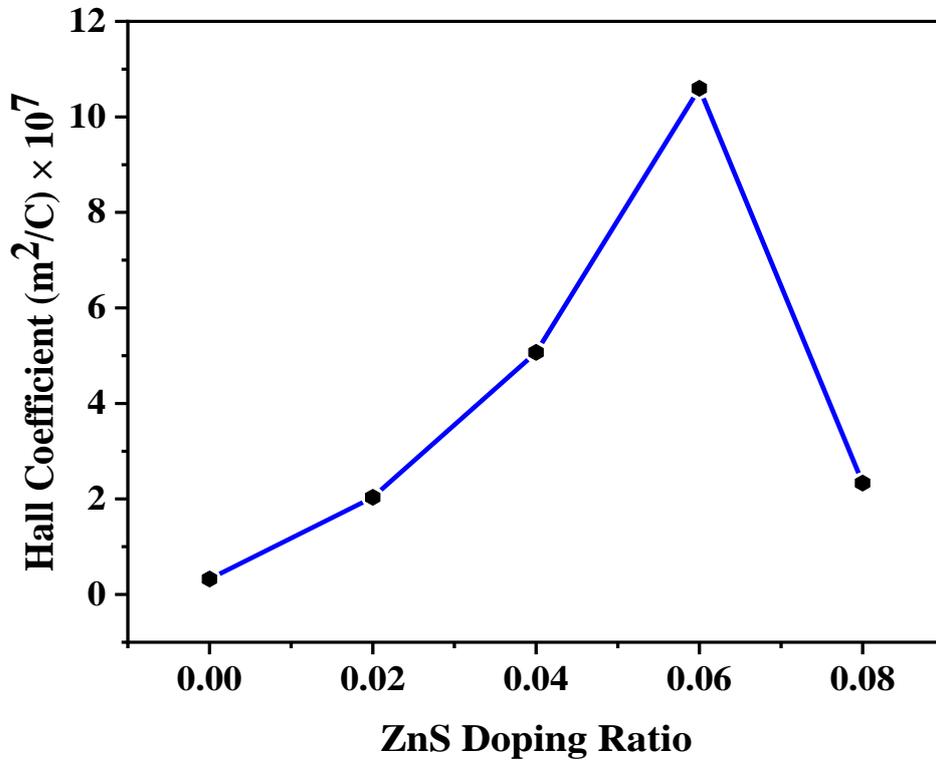
(Resistivity) سببها العيوب في التركيب البلوري للغشاء والتي تعمل على تقييد حركة حاملات الشحنة [132, 131, 75]، اما التحركية (Mobility) فإن قيمها انخفضت مع زيادة نسب التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) وأن أقل قيمة لها كانت للغشاء المشوب بنسبة (6%) من كبريتيد الزنك (ZnS)، توضح الاشكال (32-4)، (33-4)، (34-4) قيم كل من المقاومة (Resistivity) ومعامل هول (Hall Coefficient) وتركيز حاملات الشحنة (Charge Carrier Concentration) كدالة لنسب التشويب على التوالي لجميع الأغشية المحضرة.

الجدول (13-4): قياسات تأثير هول للأغشية الرقيقة المحضرة.

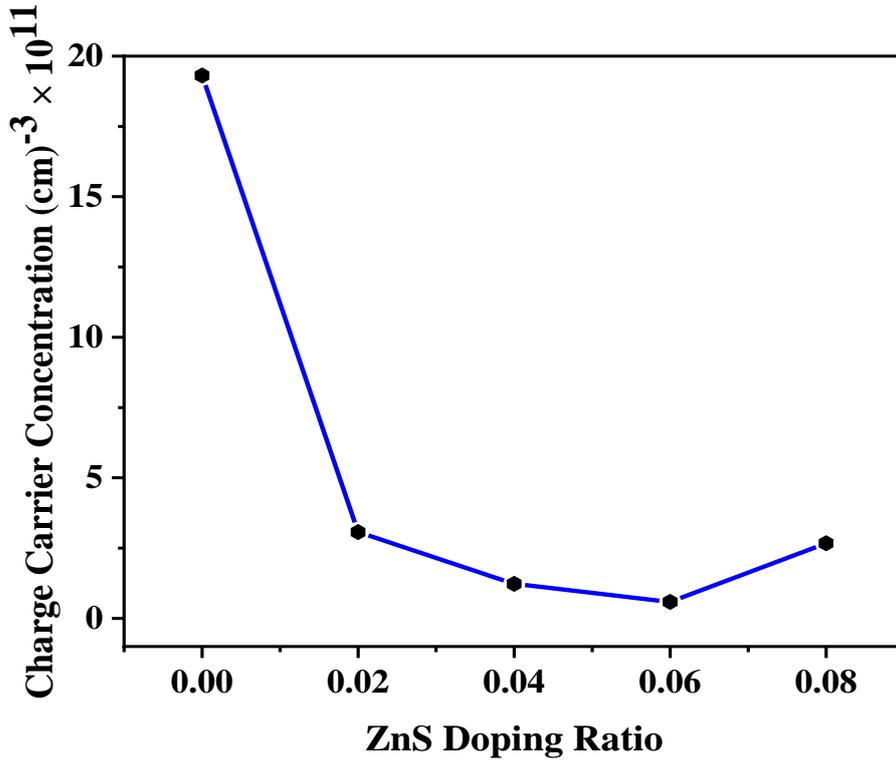
Sample	Concentration (cm) ⁻³	Hall Coefficient R _H (m ² /C)	Conductivity (Ω.cm) ⁻¹	Resistivity (Ω.cm)	Mobility (cm ² /v.s)
MgO	-19.31×10 ¹¹	-0.323×10 ⁷	0.214×10 ⁻⁶	4.663×10 ⁶	0.693×10 ²
MgO _{0.98} ZnS _{0.02}	-3.069×10 ¹¹	-2.034×10 ⁷	3.369×10 ⁻⁶	0.296×10 ⁶	0.685×10 ²
MgO _{0.96} ZnS _{0.04}	-1.231×10 ¹¹	-5.071×10 ⁷	1.001×10 ⁻⁶	9.987×10 ⁶	0.507×10 ²
MgO _{0.94} ZnS _{0.06}	0.588×10 ¹¹	10.60×10 ⁷	0.397×10 ⁻⁶	2.517×10 ⁶	0.421×10 ²
MgO _{0.92} ZnS _{0.08}	2.675×10 ¹¹	2.333×10 ⁷	7.016×10 ⁻⁶	0.142×10 ⁶	1.637×10 ²



الشكل (4-32): المقاومة كدالة لنسب التشويب للأغشية المحضرة.



الشكل (4-33): معامل هول كدالة لنسب التشويب للأغشية المحضرة.



الشكل (4-34): تركيز حاملات الشحنة كدالة لنسب التشويب للأغشية المحضرة.

(6-4) الاستنتاجات

(Conclusions)

1. بينت نتائج فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) أن أغشية (MgO) الرقيقة النقية والمشوبة بكبريتيد الزنك (ZnS) تمتلك تركيب متعدد التبلور مع اتجاه مفضل للنمو (200). وأظهرت تحليلات مجهر القوة الذرية (AFM) أن زيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) تؤدي إلى نقصان في الحجم الحبيبي (Grain Size) ونقصان في معدل خشونة السطح للأغشية المحضرة. وأوضحت نتائج فحوصات المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM) أن الأغشية المحضرة ذات تركيب نانوي؛ إذ يتكون سطحها من حبيبات شبه كروية كثيفة، وأن قيم معدل حجم الجسيمات (Particle Size) تقل مع زيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS).
2. أظهرت نتائج الفحوصات البصرية (UV-vis) أن قيم النفاذية تقل مع زيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS)، وأن نوع الانتقالات الإلكترونية هو مباشر ومسموح لجميع الأغشية المحضرة، في حين يمكن التحكم في قيم فجوة الطاقة من خلال نسب التشويب؛ إذ تقل قيمتها مع زيادة نسبة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS) ولجميع الأغشية المحضرة.
3. بينت نتائج القياسات الكهربائية (تأثير هول) (Hall Effect) أن حاملات الشحنة لأغشية (MgO) الرقيقة النقية والمشوبة بنسبة (4%، 2%) من كبريتيد الزنك (ZnS) من النوع (n-type)، فضلاً عن الأغشية المشوبة بنسبة (8%، 6%) من كبريتيد الزنك (ZnS) أصبحت فيها حاملات الشحنة من النوع (p-type).
4. من خلال نتائج الفحوصات التركيبية والبصرية والكهربائية تبين أن أغشية (MgO) يمكن التحكم في خصائصها بواسطة التشويب بكبريتيد الزنك (ZnS)، كما يمكن أن تستعمل الأغشية المحضرة في الكواشف.

(Future Works)

(7-4) المشاريع المستقبلية

1. تحضير أغشية $(\text{MgO})_{1-x}(\text{ZnS})_x$ الرقيقة ودراسة تأثير السمك والتلدين بدرجات حرارة مختلفة بتقنية التحلل الحراري الكيميائي ودراسة خصائصها الفيزيائية.
2. تحضير ودراسة بعض الخصائص الفيزيائية لأغشية $(\text{MgO})_{1-x}(\text{ZnS})_x$ الرقيقة نانوية التركيب باستعمال طريقة الطلاء البرمي.
3. تحضير ودراسة بعض الخصائص الفيزيائية لأغشية (MgO) الرقيقة المشوبة بكبريتيد النحاس (CuS) لتطبيقات الخلايا الشمسية (Solar Cells).
4. دراسة بعض الخصائص الفيزيائية لأغشية (ZnS) الرقيقة والمشوبة بـ (Mg) بتقنية التحلل الحراري الكيميائي.

المصادر

References

References

- [1] K. L. Chopra, "Thin Film Phenomena", R. E. Krieger Publishing Company, 1979.
- [2] G. Hammond, "Concise Dictionary of Physics and Related Subjects (2nd ed)", *Physics Bulletin*, Vol. 30, No. 12, p. 532, 1979.
- [3] G. Haas and R. Thun, "Physics of Thin Films, Vol. 3", *Academic Press, New York*, Vol. 11964, p. 337, 1966.
- [4] S. Shanthi, C. Subramanian, and P. Ramasamy, "Investigations on the optical properties of undoped, fluorine doped and antimony doped tin oxide films", *Crystal Research and Technology: Journal of Experimental and Industrial Crystallography*, Vol. 34, No. 8, pp. 1037-1046, 1999.
- [5] N. J. Ghdeeb, E. K. Jabur, N. H. Harb, and N. K. Abdalameer, "Studying Structural, Morphological And Optical Properties of Cadmium Oxide", *Advances in Natural and Applied Sciences*, Vol. 12, No. 2, pp. 21-26, 2018.
- [6] D. Makarov, R. Pallesche, M. Maret, T. Ulbrich, G. Schatz, and M. Albrecht, "Growth of Pt thin films on WSe₂", *Surface science*, Vol. 601, No. 9, pp. 2032-2037, 2007.
- [7] S. A. Abdulridha, "High sensitivity Photoconductive for ZnO: MgO Nanoparticles", *Energy Procedia*, Vol. 157, pp. 355-361, 2019.
- [8] K. Chopra, "Thin film device applications", Springer Science & Business Media, 2012.
- [9] I. Giouroudi, J. Kosel, and C. Scheffer, "Recent Developments and Patents on Thin Film Technology", *Recent Patents on Materials Science*, Vol. 1, No. 3, pp. 200-208, 2008.
- [10] P. S. Patil, "Versatility of chemical spray pyrolysis technique", *Materials Chemistry and physics*, Vol. 59, No. 3, pp. 185-198, 1999.

-
- [11] S. Jeong, J. Lee, S. Lee, and J. Boo, "Deposition of aluminum-doped zinc oxide films by RF magnetron sputtering and study of their structural, electrical and optical properties", *Thin solid films*, Vol. 435, No. 1-2, pp. 78-82, 2003.
- [12] S. Major ,A. Banerjee, and K. Chopra, "Highly transparent and conducting indium-doped zinc oxide films by spray pyrolysis", *Thin solid films*, Vol. 108, No. 3, pp. 333-340, 1983.
- [13] D. L. Smith and D. W. Hoffman, "Thin-film deposition: principles and practice", *Physics Today*, Vol. 49, No. 4, p. 60, 1996.
- [14] Z. Zhang and M. G. Lagally, "Atomistic processes in the early stages of thin-film growth", *Science*, Vol. 276, No. 5311, pp. 377-383, 1997.
- [15] C. Falcony, M. A. Aguilar-Frutis, and M. García-Hipólito, "Spray pyrolysis technique; high-K dielectric films and luminescent materials: a review", *Micromachines*, Vol. 9, No. 8, p. 414, 2018.
- [16] K. Chopra, S. Major, and D. Pandya, "Transparent conductors—a status review", *Thin solid films*, Vol. 102, No. 1, pp. 1-46, 1983.
- [17] L. Filipovic, S. Selberherr, G. C. Mutinati, E. Brunet, S. Steinhauer, A. Köck, and F. Schrank, "Modeling spray pyrolysis deposition", in *Proceedings of the world congress on engineering*, Vol. 2, Published, pp. 987-992, 2013.
- [18] M. Ferrante, G. O. Conti, Z .Rasic-Milutinovic, and D. Jovanovic, "Health effects of metals and related substances in drinking water", IWA Publishing, 2013.
- [19] R. Ash, "The Top 10 of Everything 2006: The Ultimate Book of Lists. Dk Pub", *Archived from the original on*, pp. 10-05, 2006.
- [20] H. Davy, "XXIII. Electro-chemical researches, on the decomposition of the earths; with observations on the metals obtained from the alkaline earths, and on the amalgam procured from ammonia", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, No. 98, pp. 333-370, 1808.

-
- [21] A. M. E. Raj, M. Jayachandran, and C. Sanjeeviraja, "Fabrication techniques and material properties of dielectric MgO thin films—A status review", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 2, No. 2 ,pp. 92-113, 2010.
- [22] S. Pearton, C. Abernathy, M. Overberg, G. Thaler, D. Norton, N. Theodoropoulou, A. Hebard, Y. Park, F. Ren, and J. Kim, "Wide band gap ferromagnetic semiconductors and oxides", *Journal of Applied Physics*, Vol. 93, No. 1, pp. 1-13, 2003.
- [23] Z. Yunming, "Ancient chinese sulfur manufacturing processes", *Isis*, Vol. 77, No. 3, pp. 487-497, 1986.
- [24] G. Hodes, "Chemical solution deposition of semiconductor films", CRC press, 2002.
- [25] P. Barak and P. A. Helmke, "The chemistry of zinc", in *Zinc in soils and plants*: Springer, pp. 1-13, 1993.
- [26] S. M. Sze, "Semiconductor devices: pioneering papers", World Scientific, 1991.
- [27] G. Grosso and G. P. Parravicini, "Solid state physics", Academic press, 2013.
- [28] M. Ashokkumar and A .Boopathyraja, "Structural and optical properties of Mg doped ZnS quantum dots and biological applications", *Superlattices and Microstructures*, Vol. 113, pp. 236-243, 2018.
- [29] I. Ndukwe, "Solution growth, characterization and applications of zinc sulphide thin films", *Solar energy materials and solar cells*, Vol. 40, No. 2, pp. 123-131, 1996.
- [30] M. B. Mohamed, "Effect of doping and changing of the annealing temperature on the structural and optical properties of ZnS", *International Journal of Applied Ceramic Technology*, Vol. 17, No. 2, pp. 823-831, 2020.
- [31] Z. Bazhan, F. Ghodsi, and J. Mazloom, "Effect of stabilizer on optical and structural properties of MgO thin films prepared by sol–

- gel method", *Bulletin of Materials Science*, Vol. 36, No. 5, pp. 899-905, 2013.
- [32] S. Valanarasu, V. Dhanasekaran, M. Karunakaran, T. Vijayan, R. Chandramohan, and T. Mahalingam, "Microstructural, optical and electrical properties of various time annealed spin coated MgO thin films", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 25, No. 9, pp. 3846-3853, 2014.
- [33] M. FaragI, M. El-OkrI, R. MahaniII, G. TurkeyII, and H. AfifyIII, "Investigation of dielectric and optical properties of MgO thin films", *Int. J. Adv. Eng., Technol. Comput. Sci*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-9, 2014.
- [34] P. Płóciennik, D. Guichaoua, A. Zawadzka, A. Korcala, J. Strzelecki, P. Trzaska, and B. Sahraoui, "Optical properties of MgO thin films grown by laser ablation technique", *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 48, No. 5, pp. 1-12, 2016.
- [35] O. V. Diachenko, A. S. Opanasiuk, D. I. Kurbatov, N. M. Opanasiuk, O. Kononov, H. Cheong, and D. Nam, "Surface morphology, structural and optical properties of MgO films obtained by spray pyrolysis technique", 2016.
- [36] A. O. Mousa, N. A. Nema ,and S. H. Trier, "Study of structural and optical properties for MgO films prepared by using chemical spray pyrolysis technique", *Materials Science: An Indian Journal*, Vol. 14, pp. 426-434, 2016.
- [37] P. Maiti, P. S. Das, M. Bhattacharya, S. Mukherjee, B .Saha, A. K. Mullick, and A. K. Mukhopadhyay, "Transparent Al⁺ 3 doped MgO thin films for functional applications", *Materials Research Express*, Vol. 4, No. 8, p. 086405, 2017.
- [38] S. Sarıtaş, T. Çakıcı, G. M. Muğlu, M. Kundakçı, and M. Yıldırım, "A comparison study of Co and Cu doped MgO diluted magnetic thin films", in *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1815, No. 1: AIP Publishing LLC, Published, p. 050013, 2017.

- [39] H. Güney and D. İskenderoğlu, "Characterization of MgO: Cd thin films grown by SILAR method", *Canadian Journal of Physics*, Vol. 96, No. 7, pp. 804-809, 2018.
- [40] A. M. El Sayed, "Modification of the micro-structural and optical properties of nanoparticulate Pb-doped magnesia thin films", *Materials Research Express*, Vol. 5, No. 11, p. 116403, 2018.
- [41] H. Güney and D. İskenderoğlu, "Synthesis of MgO thin films grown by SILAR technique", *Ceramics International*, Vol. 44, No. 7, pp. 7788-7793, 2018.
- [42] N. Cui, F. Wang, and L. Guo, "Ti-doped MgO thin film by magnetron sputtering for cesium frequency standard", *International Journal of Modern Physics B*, Vol. 33, No. 19, p. 1950202, 2019.
- [43] S. Visweswaran, R. Venkatachalapathy, M. Haris, and R. Murugesan, "Characterization of MgO thin film prepared by spray pyrolysis technique using perfume atomizer", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 31, No. 17, pp. 14838-14850, 2020.
- [44] A. Taşer, M. E. Güldüren, and H. Güney, "Fe doping effects in MgO thin films grown with SILAR technique", *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 272, p. 124993, 2021.
- [45] M. S. Idris and S. Subramani, "Nanostructures multilayer MgO/ZnO thin film thermal interface material for LED applications: Thermal, optical, and surface temperature performance", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 32, No. 12, pp. 16008-16023, 2021.
- [46] A. Taşer, M. Güldüren, and H. Güney, "Cr Dopant Effect on MgO Thin Film Structural, Optical and Morphology Properties", *Erzincan University Journal of Science and Technology*, Vol. 14, No. 1, pp. 284-291, 2021.
- [47] M. G. M. Nion, M. H. Kabir, M. A. Mona, M. J. Haque, N. Shahariar, M. Hafiz, and M. Rahman, "Effect of Al doping on morphology and optical properties of spray pyrolyzed MgO thin films", *Results in Materials*, Vol. 12, p. 100235, 2021.

-
- [48] R .Aouati, H. Djaaboube, A. Bouabelloul, A. Taabouche, Y. Bouachiba, W. Daranfad, A. Oudina, and F. Kharfi, "Structural and Optical Properties of MgO Thin Films Prepared by Dip-Coating Process: Effect of Thickness", *Semiconductors*, Vol. 55, No. 7, pp. 583-590, 2021.
- [49] A. Taşer, M. E. Güldüren, and H. Güney, "Tuning PL emission energy and bandgap with Ni dopant of MgO thin films", *Ceramics International*, Vol. 47, No. 11, pp. 15792-15800, 2021.
- [50] F. Şenaslan, A. Çelik, and M. Taşdemir, "Production of high-transparent MgO films by radio-frequency sputtering method", *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Vol. 12, No. 1, pp. 320-326, 2022.
- [51] M. A. Omar, "Elementary solid state physics: principles and applications", Pearson Education India, 1975.
- [52] K. V. Ravi, "Imperfections and impurities in semiconductor silicon", John Wiley & Sons, 1981.
- [53] B. G. Streetman and S. Banerjee, "Solid state electronic devices", Pearson/Prentice Hall Upper Saddle River, 2006.
- [54] R. Henríquez, P. Grez, E .Munoz, H. Gómez, J. Badán, R. Marotti, and E. Dalchiale, "Optical properties of CdSe and CdO thin films electrochemically prepared", *Thin Solid Films*, Vol. 518, No. 7, pp. 1774-1778, 2010.
- [55] M. E. Levinshtein, S. L. Rumyantsev, and M. S. Shur, "Properties of Advanced Semiconductor Materials: GaN, AlN, InN, BN, SiC, SiGe", John Wiley & Sons, 2001.
- [56] G. S. Ben and S. K. Banerjee, "Solid state electronic devices", *Hall International, Inc, USA*, 1990.
- [57] B. Sapoval and C. Hermann, "Physics of semiconductors", Springer Science & Business Media, 2003.

-
- [58] S. Kashyap, "Giant Magnetoresistance in Electrodesposited Nanogranular Thin Films", in *Physics And Technology Of Thin Films: IWTF 2003*: World Scientific, pp. 228-248, 2004.
- [59] S. K. Patel, B. K. Swain, A. Behera, and S. S. Mohapatra, "Metallic glasses: a revolution in material science", *Metallic Glasses*, 2020.
- [60] W. Bollmann, "Crystal defects and crystalline interfaces", Springer Science & Business Media, 2012.
- [61] H. T. Grahn, "Introduction to semiconductor physics", World Scientific Publishing Company, 1999.
- [62] M. Grundmann, "Physics of semiconductors", Springer, 2010.
- [63] J. Singleton, "Band theory and electronic properties of solids", Oxford University Press, 2001.
- [64] A. G. Milnes, "Deep impurities in semiconductors", Wiley-Interscience, 1973.
- [65] N. Stojadinovic, "Understanding Semiconductor Devices; Sima Dimitrijevic. Oxford University Press, New York. 2000. ISBN: 0-19-513186-X", *Microelectronics Reliability*, Vol. 1, No. 41 .pp. 142-143, 2001.
- [66] M. Xin, K. Li, and H. Wang, "Synthesis of CuS thin films by microwave assisted chemical bath deposition", *Applied Surface Science*, Vol. 256, No. 5, pp. 1436-1442, 2009.
- [67] J. Schors, K.-W. Harbich, M. P. Hentschel, and A. Lange, "Non-destructive micro crack detection in modern materials", *Proceedings of the ECNDT, Berlin, Germany*, 2006.
- [68] C. Nunes, A. Mahendrasingam, and R. Suryanarayanan, "Quantification of crystallinity in substantially amorphous materials by synchrotron X-ray powder diffractometry", *Pharmaceutical research*, Vol. 22, No. 11, pp.1953-1942, 2005.
- [69] C. Kittel and P. McEuen, "Introduction to solid state physics", John Wiley & Sons, 2018.

-
- [70] S. J. Ling, J. Sanny, W. Moebs, G. Friedman, S. D. Druger, A. Kolakowska, D. Anderson, D. Bowman, D. Demaree, and E. Ginsberg, "University Physics Volume 2", 2016.
- [71] M. P. Stevens, "Polymer chemistry", Oxford university press New York, 1990.
- [72] G. Turgut, "An investigation of Pb-contribution effect on the characteristic features of CdO films coated with a sol-gel spin coating technique", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 28, No. 22, pp. 16992-17001, 2017.
- [73] F. Zakerian and H. Kafashan, "Investigation the effect of annealing parameters on the physical properties of electrodeposited ZnS thin films", *Superlattices and Microstructures*, Vol. 124, pp. 92-106, 2018.
- [74] M. Anitha, K. Saravanakumar, N. Anitha, and L. Amalraj, "Influence of a novel co-doping (Zn+ F) on the physical properties of nano structured (1 1 1) oriented CdO thin films applicable for window layer of solar cell", *Applied surface science*, Vol. 443, pp. 55-67, 2018.
- [75] T. Noorunnisha, M. Suganya, M. Karthika, C. Kayathiri, K. Usharani, S. Balamurugan, V. Nagarethinam, and A. Balu, "(Zn+ Co) co-doped CdO thin films with improved figure of merit values and ferromagnetic orderings with low squareness ratio well suited for optoelectronic devices and soft magnetic materials applications", *Applied Physics A*, Vol. 126, No. 10, pp. 1-9, 2020.
- [76] I. B. Miled, M. Jlassi, I. Sta, M. Dhaouadi, M .Hajji, G. Mousdis, M. Kompitsas, and H. Ezzaouia, "Structural, optical, and electrical properties of cadmium oxide thin films prepared by sol-gel spin-coating method", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, Vol. 83, No. 2, pp. 259-267, 2017.
- [77] M. Thirumoorthi and J. T. J. Prakash, "A study of Tin doping effects on physical properties of CdO thin films prepared by sol-gel spin coating method", *Journal of Asian Ceramic Societies*, Vol. 4, No. 1, pp. 39-45, 2016.

-
- [78] K. Lang, D. Hite, R. Simmonds, R. McDermott, D. P. Pappas, and J. M. Martinis, "Conducting atomic force microscopy for nanoscale tunnel barrier characterization", *Review of scientific instruments*, Vol. 75, No. 8, pp. 2726-2731, 2004.
- [79] J. Goldstein, "Practical scanning electron microscopy: electron and ion microprobe analysis", Springer Science & Business Media, 2012.
- [80] D. Brabazon and A. Raffer, "Advanced characterization techniques for nanostructures", in *Emerging nanotechnologies for manufacturing*: Elsevier, pp. 53-85, 2015.
- [81] G. McMahon, "Analytical instrumentation: a guide to laboratory, portable and miniaturized instruments", John Wiley & Sons, 2008.
- [82] H. Schatten, "biology: SEM basics, past accomplishments, and new frontiers", *Scanning Electron Microscopy for the Life Sciences*, p. 1, 2012.
- [83] S. AL-Ani, "Studies of optical and related properties of thin amorphous films", Ph. D. Thesis Brunel University, 1984.
- [84] A. Al-Jabiry, "Studying the effect of molarity on the physical and sensing properties of zinc oxid thin films prepared by spray pyrolysis technique", Ph. D. thesis, University of Technology, 2007.
- [85] N. F. Mott and E. A. Davis, "Electronic processes in non-crystalline materials", Oxford university press, 2012.
- [86] J. Mullerova and P. Sutta, "On some ambiguities of the absorption edge and optical band gaps of amorphous and polycrystalline semiconductors", *Communications-Scientific letters of the University of Zilina*, Vol. 19, No. 3, pp. 9-15, 2017.
- [87] V. Mote, Y. Purushotham, R. Shinde, S. Salunke ,and B. Dole, "Structural, optical and antibacterial properties of yttriumdoped ZnO nanoparticles", *Cerâmica*, Vol. 61, pp. 457-461, 2015.
- [88] H. Fujiwara and R. W. Collins, "Spectroscopic Ellipsometry for Photovoltaics: Volume 2: Applications and Optical Data of Solar Cell Materials", Springer, 2019.

-
- [89] O. Stenzel, "The Physics of Thin Film Optical Spectra, Surface Sciences", ed: Springer, Berlin, 2005.
- [90] S. O. Kasap, "Principles of electronic materials and devices", McGraw-Hill New York, 2006.
- [91] S. M. Sze and M.-K. Lee, "Semiconductor Devices: Physics and Technology", Wiley Global Education, 2012.
- [92] J. Kvietkova, L. Siozade, P. Disseix, A. Vasson, J. Leymarie, B. Damilano, N. Grandjean, and J. Massies, "Optical investigations and absorption coefficient determination of InGaN/GaN quantum wells", *physica status solidi (a)*, Vol. 190, No. 1, pp. 135-140, 2002.
- [93] J. I. Pankove, "Optical processes in semiconductors Prentice-Hall", *New Jersey*, Vol. 92, p. 36, 1971.
- [94] N. A. Bakr, A. Funde, V. Waman, M. Kamble, R. Hawaldar, D. Amalnerkar, S. Gosavi, and S. Jadkar, "Determination of the optical parameters of a-Si: H thin films deposited by hot wire–chemical vapour deposition technique using transmission spectrum only ," *Pramana*, Vol. 76, No. 3, pp. 519-531, 2011.
- [95] I. U. r. I. Sirotin and M. P. Shaskol'skaia, "Fundamentals of crystal physics", MIR publishers, 1982.
- [96] S. Suresh, "The Growth and the Optical, Mechanical, Dielectric and Photoconductivity Properties of a New Nonlinear Optical Crystal L-Phenylalanine-4-nitrophenol NLO Single Crystal", *Journal of Crystallization Process and Technology*, Vol. 03, No. 3, p. 5, 2013.
- [97] H. Ahmed, B. H. Rabee, A. H. Hussein Hakim, and S. R. Salman, "Preparation and Study of Optical Properties of (Polymer-Nickel Nitrate) Composite", 2013.
- [98] A. Li, "Interaction of nanoparticles with radiation", *arXiv preprint astro-ph/0311066*, 2003.
- [99] S. Sze and K. K. Ng, "Physics of Semiconductor Devices. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons", *Inc.–2007*, 2006.

-
- [100] C. Feng, Z. Chen, J. Jing, M. Sun, H. Tong, and J. Hou, "Band structure and enhanced photocatalytic degradation performance of Mg-doped CdS nanorods", *Physica B: Condensed Matter*, Vol. 594, p. 412363, 2020.
- [101] A. Tribble, "Electrical Engineering Materials and Devices", *University of Iowa*, 2002.
- [102] L. Eckertova, "Physics of thin films", Springer Science & Business Media, 2012.
- [103] F. F. Wang, "Introduction to solid state electronics", Elsevier, 2012.
- [104] R. Glang and L. I. Maissel, "Handbook of thin film technology", McGraw-Hill Book Company, 1970.
- [105] G. Busch and H. Schade, "Lectures on Solid State Physics: International Series in Natural Philosophy", Elsevier, 2013.
- [106] B. J. Luo, D. Wu, L. C. Wang, and X. P. Huang, "Progress of high purity magnesium oxide preparation," in *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publ, Vol. 525, pp. 62-65, 2014.
- [107] M. Hernández, A. Juárez, and R. Hernandez, "Interferometric thickness determination of thin metallic films", *Superficies y vacío*, No. 9, pp. 283-285, 1999.
- [108] J. Kongsakul, N. Witit-anun, S. Chaiyakun, and P. KaewTrakulPong, "Measurement of Aluminum Thin Film Thickness by Fizeau Interferometer Technique", Published, 2005.
- [109] S. Gowrishankar, L. Balakrishnan, and N. Gopalakrishnan, "Band gap engineering in $Zn_{(1-x)}Cd_xO$ and $Zn_{(1-x)}Mg_xO$ thin films by RF sputtering", *Ceramics International*, Vol. 40, No. 1, pp. 2135-2142, 2014.
- [110] R. Kim, Y. Kim, Y.-U. Lee, H.-J. Kim, and J.-W. Park, "Effect of ZrO_2 addition on the structural, optical and electrical properties of MgO protective films", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 161, No. 1, pp. 52-57, 2002.

-
- [111] A. M. E. Raj, V. B. Jothy, C. Ravidhas, T. Som, M. Jayachandran, and C. Sanjeeviraja, "Effect of embedded lithium nanoclusters on structural, optical and electrical characteristics of MgO thin films", *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 78, No. 11, pp. 914-921, 2009.
- [112] K. S. Babu, A. R. Reddy, and K. V. Reddy, "Green emission from ZnO–MgO nanocomposite due to Mg diffusion at the interface", *Journal of Luminescence*, Vol. 158, pp. 306-312, 2015.
- [113] B. Bhushan, "Surface roughness analysis and measurement techniques", in *Modern tribology handbook, two volume set*: CRC press, pp. 79-150, 2000.
- [114] C.-Y. Tsay, H.-C. Cheng, Y.-T. Tung, W.-H. Tuan, and C.-K. Lin, "Effect of Sn-doped on microstructural and optical properties of ZnO thin films deposited by sol–gel method", *Thin Solid Films*, Vol. 517, No. 3, pp. 1032-1036, 2008.
- [115] T. Saidani, M. Zaabat, M. Aida, and B. Boudine, "Effect of copper doping on the photocatalytic activity of ZnO thin films prepared by sol–gel method", *Superlattices and Microstructures*, Vol. 88, pp. 315-322, 2015.
- [116] M. Ajili, M. Castagné, and N. K. Turki, "Study on the doping effect of Sn-doped ZnO thin films", *Superlattices and Microstructures*, Vol. 53, pp. 213-222, 2013.
- [117] A. A. Abdullah-Hamead, "Advanced Structured of MgO Thin Film for Bio Applications", in *Materials Science Forum*, Vol. 1002: Trans Tech Publ, Published, pp. 319-330, 2020.
- [118] S. Suresh, "Investigations on synthesis, structural and electrical properties of MgO nanoparticles by sol–gel method", *Ovonic Res*, Vol. 10, p. 205, 2014.
- [119] V. Rajendran, B. Deepa, and R. Mekala, "Studies on structural, morphological, optical and antibacterial activity of Pure and Cu-doped MgO nanoparticles synthesized by co-precipitation method", *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 2, pp. 8796-8803, 2018.

- [120] U. D. Lad, N. Kokode, M. B. Deore, and U. J. Tupe, "MgO Incorporated ZnO Nanostructured Binary Oxide Thin Film Ethanol Gas Sensor", 2021.
- [121] F. T. Ibrahim, "Characterization of Pulsed-Laser Deposited CuO-Doped MgO Thin Films for Gas Sensing Applications", *Iraqi Journal of Applied Physics*, Vol. 13, No. 3, 2017.
- [122] A. T. Abood, O. A. A. Hussein, M. H. Al-Timimi, M. Z. Abdullah, H. M. S. Al Aani, and W. H. Albanda, "Structural and optical properties of nanocrystalline SnO₂ thin films growth by electron beam evaporation", in *AIP Conference Proceedings*, Vol. 2213, No. 1: AIP Publishing LLC, Published, p. 020036, 2020.
- [123] X. Liu, S. Chen, M. Li, and X. Wang, "Synthesis and characterization of ferromagnetic cobalt-doped tin dioxide thin films", *Thin Solid Films*, Vol. 515, No. 17, pp. 6744-6748, 2007.
- [124] E. Parvizi, R. Tayebee, and E. Koushki, "Mg-doped ZnO and Zn-doped MgO semiconductor nanoparticles; synthesis and catalytic, optical and electro-optical characterization", *Semiconductors*, Vol. 53, No. 13, pp. 1769-1783, 2019.
- [125] I. R. Agool, K. J. Kadhim, and A. Hashim, "Fabrication of new nanocomposites:(PVA-PEG-PVP) blend-zirconium oxide nanoparticles) for humidity sensors", *International Journal of Plastics Technology*, Vol. 21, No. 2, pp. 397-403, 2017.
- [126] S. Aksay, "Effects of Al dopant on XRD, FT-IR and UV-vis properties of MgO films", *Physica B: Condensed Matter*, Vol. 570, pp. 280-284, 2019.
- [127] O. N. Ogada, "Effect of concentration of reactants and deposition temperature on the optical properties of iron-doped cadmium stannate thin films deposited on glass substrates by spray pyrolysis", Maseno University, 2019.
- [128] M. H. Kabir, M. Rahman, and M. Khan, "Influence of Al doping on microstructure, morphology, optical and photoluminescence properties of pyrolytic ZnO thin films prepared in an ambient

- atmosphere", *Chinese Journal of Physics*, Vol. 56, No. 5, pp. 2275-2284, 2018.
- [129] Y. Wan, C. Samundsett, J. Bullock, M. Hettick, T. Allen, D. Yan, J. Peng, Y. Wu, J. Cui, and A. Javey, "Conductive and stable magnesium oxide electron-selective contacts for efficient silicon solar cells", *Advanced Energy Materials*, Vol. 7, No. 5, p. 1601863, 2017.
- [130] J. Mares, C. Boutwell, A. Scheurer, M. Falanga, and W. Schoenfeld, "Cubic $Zn_xMg_{1-x}O$ and $Ni_xMg_{1-x}O$ thin films grown by molecular beam epitaxy for deep-UV optoelectronic applications", in *Oxide-based Materials and Devices*, Vol. 7603: SPIE, Published, pp. 253-264, 2010.
- [131] N. Manjula, A. Balu, K. Usharani, N. Raja, and V. Nagarethinam, "Enhancement in some physical properties of spray deposited CdO: Mn thin films through Zn doping towards optoelectronic applications", *Optik*, Vol. 127, No. 16, pp. 6400-6406, 2016.
- [132] R. Kumaravel, K. Ramamurthi, and V. Krishnakumar, "Effect of indium doping in CdO thin films prepared by spray pyrolysis technique", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, Vol. 71, No. 11, pp. 1545-1549, 2010.

Abstract

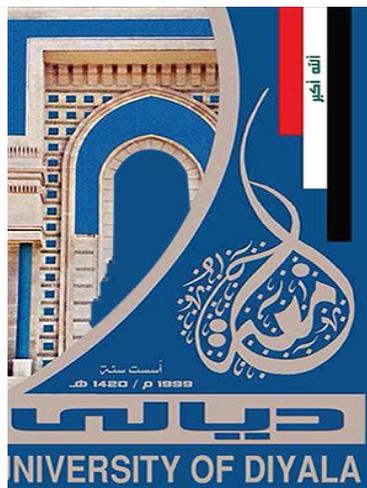
(MgO_{1-x}ZnS_x) thin films have been prepared at a concentration of (0.1M) and with different doping percentages of zinc sulfide (ZnS) (0, 2, 4, 6, 8)% by depositing them on glass substrates at a temperature of (350 °C) and a thickness of (260±5 nm) using chemical spray pyrolysis technology (CSP). The structural, optical, and electrical properties of all the prepared films were studied using X-ray diffraction (XRD), atomic force microscopy (AFM), field emission scanning electron microscopy (FE-SEM), UV-Visible spectroscopy, and hall effect.

The X-ray diffraction (XRD) results showed that all the prepared films have a polycrystalline crystal structure and a dominant growth direction (200), and that the pure thin (MgO) film has a cubic crystal structure. With (ZnS) doping, new peaks of low intensity appear as they are obtained on a hexagonal structure. The results of atomic force microscopy (AFM) showed that the roughness rate and roughness mean square (RMS) values decreased with the increase in the percentage of doped with zinc sulfide (ZnS). The results of the field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) showed that the surface structures of the prepared films consist of aggregates of dense and highly agglomerated quasi-spherical nanoparticles, and that the rate of granule size decreases with the increase in the percentage of doping with zinc sulfide (ZnS).

The results of the optical examinations through the UV-Vis spectrum within a range of wavelengths (350-1100)nm showed that the prepared films have an optical energy gap for the permissible direct electronic transmission ranging between (2.771-2.549)eV, Also, the behavior of urbach energy is opposite to that of the optical energy gap; As the urbach energy values increase with the increase in the rate of doping, and that the transmittance values decreased while the absorbance values increased by increasing the concentration of doping (ZnS). Moreover, the values of

reflectivity, absorption coefficient, refractive index, extinction coefficient, and real and imaginary part of the optical dielectric constant were calculated .

Electrical tests through the Hall Effect showed that the thin films of pure (MgO) doped with (2, 4)% of zinc sulfide (ZnS) have an electrical conductivity of (n-type), while the thin films (MgO) doped with a percentage of (6,8)% of zinc sulfide (ZnS) have a p-type electrical conductivity, and the prepared films have high resistivity and low conductivity.



Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
and Scientific Research
University of Diyala
College of Science
Department of Physics



Preparation and Study of Some Physical Properties of $(\text{MgO})_{1-x}(\text{ZnS})_x$ Nanostructure Films by Chemical Spray Pyrolysis Method

A Thesis

Submitted to the Council of the College of Science-University
of Diyala in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Physics

By

Hussein Subhi Abdulrahman

B. Sc. in Physics (2010)

Supervised by

Asst. Prof. Dr. Muhammad Hameed Abdul-Allah

2022 A.D.

1444 A.H.