



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة القادسية
كلية العلوم
قسم البيئة

دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأوكسيد الزنك ZnO

بحث مقدم الى قسم البيئة كلية العلوم جامعة القادسية كجزء من
متطلبات نيل درجة بكالوريوس في العلوم البيئية

من قبل

سلطان فهد شاهر

أشرف

م.د سليم حمزة الطويل

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَيَسْأَلُونَكَ عَنِ الرُّوحِ ^{طُفُؤُ} قُلِ الرُّوحُ مِنْ أَمْرِ
رَبِّي وَمَا أُوتِيتُمْ مِنَ الْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا

صدق الله العلي العظيم

سورة الاسراء - الآية (٨٥)

إقرار المشرف

أقر أن إعداد البحث الموسوم " دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأوكسيد الزنك ZnO " تمت تحت إشرافي في كلية العلوم/ جامعة القادسية، وهي جزء من متطلبات نيل درجة بكالوريوس علوم في البيئة.

أسم المشرف: د. سليم حمزة الطويل

المرتبة العلمية: مدرس

التوقيع:

التاريخ: / / 2018 .

توصية رئيس قسم البيئة

بناءً على التوصية المقدمة من قبل د. سليم حمزة الطويل أحيل هذا البحث إلى لجنة المناقشة لبيان الرأي فيه.

الاسم: د. خديجة عبيس الخالدي

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التوقيع:

التاريخ: / / 2018 .

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على نبينا الأمين محمد وآله الطيبين
الطاهرين وعلى اصحابه الغر الميامين ومن اتبعهم بإحسان الى يوم الدين.

يسعدني وانا أضع اللمسات الاخيرة لبحثي هذا ان اقدم جزيل الشكر
والتقدير الى المشرف الفاضل د. سليم حمزة الطويل لاقتراحه مشروع بحثي
هذا ولصبره الجميل معي ولتوجيهاته ومتابعته المخلصة التي كان لها الفضل
في انجاز هذا البحث داعياً الله له بدوام الصحة والموفقة.

واقدم شكري وتقديري الى عمادة كلية العلوم - جامعة القادسية للتسهيلات
المقدمة في اثناء البحث. وشكري لأساتذتي الكرام في قسم البيئية لما بذلوه من
عون بسخاء كبير، ولزملائي في القسم اقدم امتناني.

وجزيل الشكر والتقدير الى د. خديجة عبيس الخالدي (رئيسة قسم البيئية)

و م . ثائر عبد (مقرر قسم البيئية).

وأيضاً أوجه شكري وتقديري الى د. عبد الكريم السامرائي في جامعة بغداد
/ كلية العلوم / قسم الكيمياء ، والى ا.م.د شيماء عواد كاظم في جامعة الكوفة
/ كلية العلوم / قسم الفيزياء والى السيد رافع طعمة احمد في جامعة بابل /
كلية العلوم بنات / قسم الفيزياء على جميع الجهود التي بذلوها لإخراج هذا
العمل بهذه الصورة. والى زملائي وزميلاتي.

واخيراً اشكر كل من ساعدني ونصحتني ولو بكلمة طيبة ... والله الموفق.

سلطان

الاهداء

الى من عانى سنين طويلة لأجل تلك اللحظات المثمرة والدي
الى منبع الحنان الذي لا ينضب والدتي
الى من اشد بهم ازري مثال التعاون والعطاء اخوتي واخواتي
الى كل من افادني ولو بلفظة اساتذتي
الى من طالت بهم اشواق الانتظار اصدقائي
الى كل من ودني ولو للحظة احبائي

المحتويات

رقم الصفحة	العنوان	الفقرة
7-1	مقدمة	الفصل الأول
1	المقدمة	1-1
1	منظومة الليزر	2-1
3	الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمادة ZnO	3-1
5	الدراسات السابقة	4-1
7	هدف الدراسة	5-1
21-8	الجزء نظري	الفصل الثاني
8	مقدمة	1-2
8	التركيب البلوري لأشباه الموصلات	2-2
8	أشباه الموصلات البلورية	1-2-2
8	أشباه الموصلات البلورية احادية التبلور	2-2-2
8	أشباه الموصلات متعددة التبلور	3-2-2
9	الخصائص التركيبية والمورفولوجية	3-2
9	النظرية الأساسية لحيود الأشعة السينية	1-3-2
11	تقنيات الخصائص البصرية	4-2
11	الامتصاص البصري	1-4-2
12	الخصائص البصرية	5-2
12	الامتصاصية	1-5-2
13	معامل الامتصاص وحافة الامتصاص الأساسية	2-5-2
15	الانتقالات الإلكترونية	6-2
15	الانتقال المباشر	1-6-2
17	الانتقال غير المباشر	2-6-2
18	الثوابت البصرية	7-2
18	فجوة الطاقة البصرية	1-7-2
18	معامل الانكسار	2-7-2
19	معامل الخمود	3-7-2
19	ثابت العزل الكهربائي	4-7-2
20	التوصيلية البصرية	5-7-2
20	التلدين	8-2
28-22	الجزء العملي	الفصل الثالث
22	المقدمة	1-3
23	تحضير أقراص المادة	2-3
23	تحضير القواعد الزجاجية	3-3
23	منظومة التبخير	4-3
24	عملية الترسيب	5-3
24	التلدين الحراري	6-3

24	قياس السمك	7-3
25	القياسات التركيبية	8-3
26	قياس حيود الأشعة السينية	1-8-3
26	طبوغرافية السطح	2-8-3
26	القياسات البصرية	9-3
26	حساب معامل الامتصاص	1-9-3
26	حساب فجوة الطاقة	2-9-3
27	الثوابت البصرية	10-3
27	معامل الانكسار	1-10-3
27	معامل الخمود	2-10-3
27	ثابت العزل الكهربائي	3-11-3
44-28	النتائج والمناقشة	الفصل الرابع
28	المقدمة	1-4
28	الخصائص التركيبية	2-4
28	نتائج قياسات حيود الأشعة السينية	1-2-4
30	الحجم البلوري	2-2-4
30	ثوابت الشبيكة	3-2-4
30	المطاوعة المايكروية	4-2-4
30	كثافة الانخلاعات	5-2-4
30	عدد البلورات	6-2-4
30	قياسات المجهر الالكتروني الماسح	3-4
32	قياسات مجهر القوة الذرية	4-4
33	نتائج قياسات الخصائص البصرية لأغشية (ZnO)	5-4
33	طيف الامتصاصية	1-5-4
34	طيف النفاذية	2-5-4
35	طيف الانعكاسية	3-5-4
36	معامل الامتصاص	4-5-4
36	فجوة الطاقة (Eg) للانتقالات المباشرة وغير المباشرة	5-5-4
38	معامل الانكسار	6-5-4
39	معامل الخمود	7-5-4
39	ثابت العزل الكهربائي	8-5-4
41	التوصيلية البصرية	9-5-4
42	الاستنتاجات	4-4
42	المشاريع المستقبلية	5-4
43	المصادر	

قائمة الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
	مقدمة	الفصل الأول
4	الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمسحوق (ZnO)	1-1
	النتائج والمناقشة	الفصل الرابع
29	نتائج حيود الأشعة السينية لأغشية ZnO المحضرة بتقنية الليزر النبضي	1-4
29	خصائص اوكسيد الزنك حسب تقنية (XRD) ZnO	2-4
32	نسب خلط غشاء ZnO الرقيق	3-4
33	الخصائص التركيبية والطوبوغرافية لأغشية ZnO المحضرة بتقنية الليزر النبضي (PLD)	4-4
38	قياسات فجوة الطاقة البصرية المباشرة وغير المباشرة لأغشية ZnO	5-4

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل	الرقم
	مقدمة عامة	الفصل الأول
2	منظومة الليزر النبضي لترسيب غشاء ZnO	1-1
2	ميكانيكية ترسيب الأغشية بالليزر	2-1
4	التراكيب البلورية المختلفة لأوكسيد الزنك ZnO	3-1
5	التركيب البلوري لأوكسيد الزنك ZnO السداسي المحكم الاكثر استقرارا	4-1
	الجزء النظري	الفصل الثاني
9	تركيب المواد الصلبة تبعاً لترتيب ذراتها a- أحادية التبلور، b- متعددة التبلور	1-2
11	التقنيات البصرية	2-2
12	عملية الامتصاص لأشياء الموصلات	3-2
13	ظاهرة الامتصاص البصري	4-2
14	اعتماد معامل الامتصاص على (hv) وتحديد حافة الامتصاص	5-2
16	الانتقالات الالكترونية a- مباشر مسموح b- مباشر ممنوع c- غير مباشر مسموح d- غير مباشر ممنوع	6-2
27-22	الجزء العملي	الفصل الثالث
22	المخطط العملي لتحضير غشاء اوكسيد الزنك ZnO الرقيق	1-3
24	فرن كهربائي يستخدم في عملية تلدين غشاء ZnO	2-3
25	طريقة قياس سمك الأغشية الرقيقة المحضرة	4-3
42-28	النتائج والمناقشة	الفصل الرابع
28	حيود الأشعة السينية لأغشية ZnO النقية المحضرة باستخدام تقنية الليزر	1-4
31	صورة SEM لغشاء ZnO الرقيق	2-4

31	طيف EDX لغشاء ZnO الرقيق	3-4
32	صور AFM لغشاء ZnO المحضرة بتقنية الليزر النبضي (PLD)	4-4
34	طيف الامتصاصية لأغشية ZnO	5-4
35	طيف النفاذية لأغشية ZnO	6-4
35	طيف الانعكاسية لأغشية ZnO	7-4
36	معامل الامتصاص كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO	8-4
37	العلاقة بين $(\alpha h\nu)^2$ وطاقة الفوتون $(h\nu)$ لأغشية ZnO	9-4
37	العلاقة بين $(\alpha h\nu)^{1/2}$ وطاقة الفوتون $(h\nu)$ لأغشية ZnO	10-4
38	معامل الانكسار كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO	11-4
39	معامل الخمود كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO	12-4
40	ثابت العزل الحقيقي كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO	13-4
40	ثابت العزل الخيالي كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO	14-4
41	التوصيلية البصرية كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO	15-4

الخلاصة

تم تحضير غشاء اوكسيد الزنك ZnO بواسطة تقنية الترسيب بالليزر النبضي باستخدام ليزر نيدميوم ياك النبضي ذي الطول الموجي (532 nm) ، والمرسبة على قواعد زجاجية بظروف تحضير اشتملت على درجة حرارة الأساس 250 °C ، ضغط اوكسجين 10^{-5} mbar وكثافة طاقة ليزر 0.14 J/cm^2 وعدد نبضات ليزر (25 ، 50 ، 75) . وقد درست الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية ZnO المحضرة تحت هذه الظروف .

حددت طبيعة التبلور لغشاء ZnO بواسطة حيود الأشعة السينية ، فتبين أنها ذات تركيب متعدد التبلور بالاعتماد على ظروف التحضير ، حيث إن تركيب الغشاء يعتمد بشدة على درجة حرارة الأساس، فقد لاحظنا عند درجة حرارة 250 °C يكون التركيب سداسي محكم .

وتمت دراسة مورفولوجية السطح لمواد الترسيب باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) ومجهر القوة الذرية (AFM) وكان معدل الحجم الحبيبي حسب قياسات (SEM) هو (59 - 83) nm وبينت نسب الخلط (EDX) احتواء الغشاء على عناصر الكربون ، الاوكسجين والزنك وبالنسب (7.59 ، 12.92 ، 79.49) وعلى التوالي، اما بالنسبة لقياسات (AFM) كان معدل الحجم الحبيبي 50.78 nm وخشونة السطح 7.63nm وجذر متوسط مربع الخشونة هو 8.96nm .

كما درست الخصائص البصرية من خلال قياس طيف الامتصاصية والنفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO وكانت نتائج النفاذية البصرية أعلى من (84 %) عند ظروف تحضير معينة مما يجعلها ملائمة لتطبيقات الخلايا الشمسية . بلغت قيمة فجوة الطاقة البصرية المباشرة (3.48) eV وغير المباشرة (3.23) eV وتزداد بزيادة عدد نبضات الليزر عند نفس ظروف التحضير المذكورة .

وكذلك حسبت الثوابت البصرية مثل معامل الانكسار ومعامل الخمود وثابت العزل الكهربائي بجزئية الحقيقي والخيالي للغشاء المحضر .

الفصل الأول

مقدمة

Chapter One

1-1 المقدمة

Introduction

بدأ العمل في مجال تحضير الأغشية الرقيقة منذ القدم إذ قام الكثير من العلماء بتحضير الأغشية الرقيقة بسبب مكانة البارزة في البحوث التطبيقية لفيزياء الحالة الصلبة [1]. يستعمل مصطلح الغشاء الرقيق (Thin film) لوصف طبقة أو عدة طبقات من ذرات مادة معينة لا يتعدى سمكها مايكروناً واحداً [2,3]، ترسب الأغشية على مواد صلبة تعرف بالقواعد (Substrates) والتي تعتمد على طبيعة الدراسة، ومن هذه المواد الزجاج، الكوارتز وغيرها. تعتبر تقنية الأغشية الرقيقة من أهم التقنيات التي ساهمت في تطور دراسة أشباه الموصلات وأعطت فكرة واضحة عن العديد من خصائصها الفيزيائية والكيميائية التي تختلف عن خصائص المادة المكونة لها وهي في حالتها الحجمية [2,4]. وتم استخدام الأغشية الرقيقة في المجالات العلمية والتقنية وقد أسهمت في مجال الحاسبات الإلكترونية الرقمية بسبب صغر حجمها وخفة وزنها [5]، وكذلك تم استخدامها في الكواشف (Detectors)، الشمسية والخلايا (Solar Cells) التي استخدمت في المجالات البصرية.

استخدمنا في بحثنا هذا تقنية الليزر النبضي (PLD) لتحضير أغشية ZnO الرقيقة وتحت ظروف معينة حيث كانت درجة حرارة التحضير 250°C وضغط اوكسجين 10⁻⁵ mbar وكثافة طاقة ليزر 0.14 J/cm² وعدد نبضات ليزر (25, 50, 75) وتتخلص هذه التقنية بالتفاعل الكيميائي بين القاعدة الساخنة مع ذرات المادة المترسبة على القاعدة الزجاجية، تكون الأغشية المحضرة بهذه الطريقة ذات التصاق وتجانس جيد بالقاعدة فيما لو قورنت هذه الأغشية بالأغشية المحضرة بطرق أخرى.

2-1 منظومة الليزر

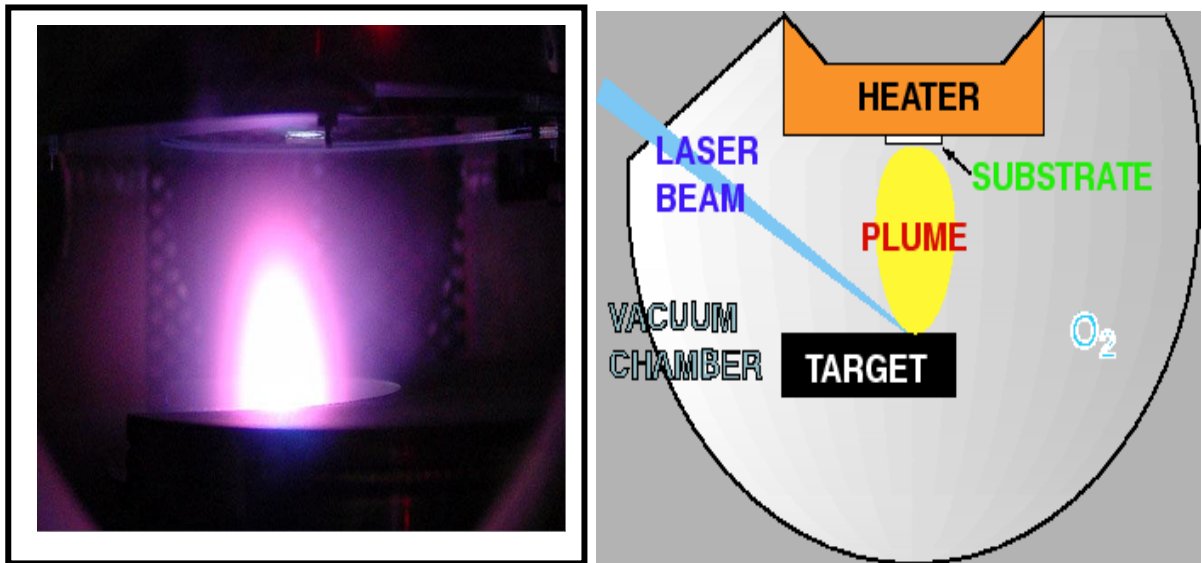
Laser System

استخدم في عملية التبخير ليزر نبضي من نوع Nd: YAG بزم نبيضة (10 ns) وبطول موجي (532 nm) وبطاقة قدرها (0.14 J/cm²) موديل (Diamond 288 pattern EPLS). ولقد استعملت عدسة ذات بعد بؤري (5 cm) موضوعة خارج حجرة التبخير وذلك لتبؤر (focusing) شعاع الليزر ضمن بقعة صغيرة جداً. والشكل (1-1) يمثل صورة فوتوغرافية لمكونات منظومة ترسيب الأغشية الرقيقة المستعملة في البحث.



شكل (1-1) يوضح منظومة الليزر النبضي لترسيب غشاء ZnO.

ويوضح المخطط في الشكل (2-1) تقنية التبخير الحراري بالليزر، حيث توضع مادة الهدف في حجرة تفريغ عالية بزاوية 45° مع الليزر النبضي الساقط. ان الذرات وايونات التذرية من الهدف سوف تنترسب على القاعدة، حيث يكون سطح القاعدة دائماً بصورة موازية لسطح الهدف وبينهما مسافة معينة [6].



الشكل (2-1) يوضح ميكانيكية ترسيب الأغشية بالليزر [6].

عند تصميم حجرة لتبخير الأغشية الرقيقة بطريقة PLD يؤخذ بنظر الاعتبار النقاط الآتية [6]:

1. شعاع الليزر يسقط بصورة مباشرة على سطح الهدف، وتستعمل عدسة ذات بعد بؤري مناسب لتبشير شعاع الليزر ليمر من خلال نافذة بصرية تسمح بمرور شعاع الليزر إلى داخل حجرة الترسيب أو استخدام ناقوس زجاجي يسمح بمرور شعاع الليزر.
2. تدور مادة الهدف بمستويين x ، y نسبة لشعاع الليزر، وذلك لضمان بقاء بؤرة شعاع الليزر منتظمة مع كل نبضة .
3. تسخن قواعد الترسيب تسخيناً أولياً قبل عملية الترسيب للحصول على التصاقه عالية للغشاء .
4. في بعض الأحيان قد تجهز حجرة الفراغ لمنظومة الترسيب بالليزر بغازات مختلفة مثل (N_2 , O_2 أو غيرهما) عندما يتطلب حدوث تفاعل ما بين الغاز ومادة الغشاء أثناء عملية نمو الغشاء .

3-1 الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمادة **Physical and chemical properties of the substance (ZnO)**

أوكسيد الخارصين النقي (ZnO) أحد مركبات الخارصين الكيميائية ومادة شبه موصلة، ينتمي إلى مجموعة الأكاسيد الموصلة الشفافة (Transparent Conducting Oxides) والتي تمتاز بنفاذية عالية في المنطقة المرئية للطيف وانعكاسية في المنطقة تحت الحمراء.

(ZnO) مركب صلب أبيض يصفر عند التسخين بسبب تشوهات الشبكة، كما إنه مادة غير سامة ولا يذوب في الماء والكحول بل يذوب في حامض الخليك الثلجي والحوامض المعدنية و الأمونيا.

ويستعمل أوكسيد الخارصين في نطاق واسع فهو يستخدم كريما لتجميل البشرة أو الشعر ويستخدم مرهما طبيا في تعجيل التئام الجروح [7].

ينقسم التركيب البلوري لأوكسيد الزنك الى ثلاثة انواع هي- :

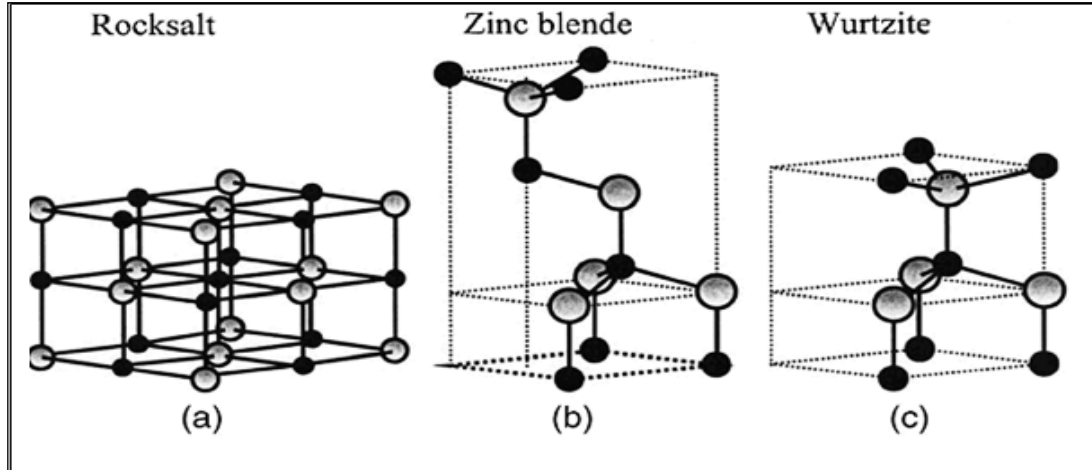
1- تركيب الملح الصخري المكعبي (Rock salt) كما في الشكل (a)

2- - تركيب ركائز (Zinc blende) الزنك كما في الشكل (b)

3- التركيب السداسي المحكم (Wurtzite) كما في الشكل (c)

إن تركيب السداسي المحكم يكون اكثر استقرارا وهو يشبه التركيب البلوري للمجموعة (الثانية- السادسة) (II-VI) لأشباه الموصلات [8].

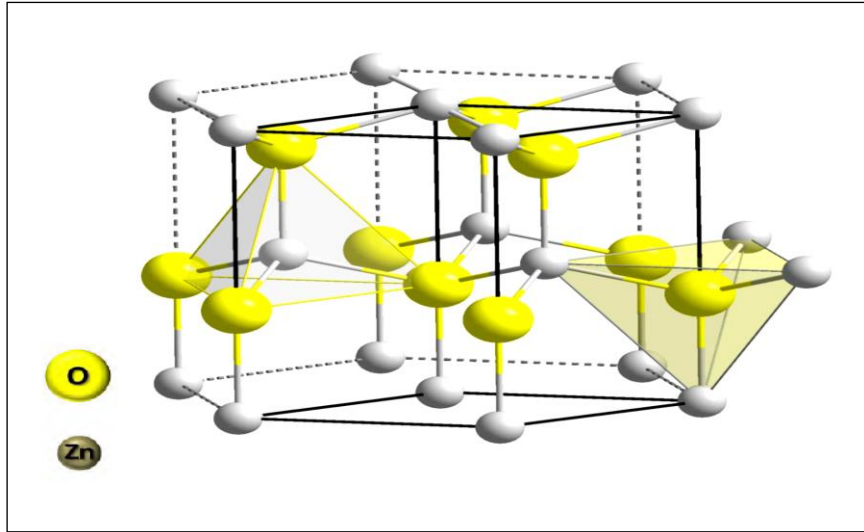
ويمتلك التركيب البلوري المحكم لأوكسيد الزنك ZnO وحدة خلية ذات ثوابت هي :-
[9] $c=5.19 \text{ \AA}$ ، $a=3.24 \text{ \AA}$



الشكل (3-1) يوضح التراكيب البلورية المختلفة لأوكسيد الزنك ZnO [8]

جدول (1-1) يبين بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمسحوق ZnO [10]

ZnO	الخاصية
مسحوق	الحالة
$(81.38) \text{ g. mol}^{-1}$	الوزن الجزيئي
$(1975) \text{ }^\circ\text{C}$	درجة الانصهار
$(2360) \text{ }^\circ\text{C}$	درجة الغليان
$(5.606) \text{ g. cm}^{-3}$	الكثافة
ابيض صلب	المظهر
سداسي محكم	التركيب البلوري
$(3.4) \text{ eV}$	$(300) \text{ K}$ فجوة الطاقة المباشرة
عديم الرائحة	رائحته
قليل الذوبان	الذوبان في الماء
$a = (3.240) \text{ \AA}, c = (5.190) \text{ \AA}$	ثوابت الشبكة
1.65	الكهرو سلبية
(2.0041)	معامل الانكسار
$(365) \text{ nm}$	الطول الموجي (λ)
$(60) \text{ meV}$	طاقة ربط الكزايتون
(9.0)	ثابت العزل الكهربائي
(0.24)	كتلة الإلكترون الفعالة
(0.59)	كتلة هول الفعالة
n-type	نوع التوصيلية



الشكل (4-1) يوضح التركيب البلوري لأوكسيد الزنك ZnO السداسي المحكم الاكثر استقرارا [11]

Literature Survey

4-1 الدراسات السابقة

- درس الباحثان Lee and Park عام (2003) الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية ZnO المحضرة بطريقة المحلول الغروي على قواعد من زجاج السيليكا، وقد تبين من نتائج الفحوصات التركيبية أن الأغشية متعددة التبلور وتظهر بالاتجاه البلوري (002) ، ووجدوا من الفحوصات البصرية أن نفاذية الأغشية عالية ضمن منطقة الطيف المرئي [12].
- درس الباحث وجماعته Caglar et al. عام (2006) تأثير درجة حرارة القاعدة على الخصائص التركيبية لأغشية أوكسيد الزنك ZnO والمرسبة على قواعد زجاجية بتقنية التحلل الكيميائي الحراري بدرجة حرارة 300 °C ، ووجدوا أن الأغشية ذات طبيعة متعددة التبلور وذات تركيب سداسي متراس وتظهر بالاتجاه البلوري (002) عند درجة حرارة 300 °C ومعدل الحجم الحبيبي يزداد بزيادة درجة حرارة القاعدة، وكانت فجوة الطاقة البصرية بحدود 3.2 eV [13].
- درس الباحث وجماعته Gümüs et al عام (2006) الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية أوكسيد الخارصين ZnO وبدرجة حرارة 400°C والمرسبة على قواعد زجاجية بتقنية التحلل الكيميائي الحراري ، وقد لوحظ من نتائج حيود الاشعة السينية ان الغشاء متعدد التبلور وبالاتجاه السائد (002) ، وبمعدل حجم حبيبي يقدر 40 nm ، ووجدوا ان معدل النفاذية للغشاء عالية اكبر من 90% في المنطقة المرئية ، وان قيمة فجوة الطاقة البصرية المباشرة هي 3.27 eV [14].

- حضر الباحث وجماعته Caglar et al. عام (2006) اغشية اوكسيد الزنك ZnO بسمك 635 nm والمرسب على قواعد زجاجية بدرجة حرارة 350 °C باستخدام طريقة التحلل الكيميائي الحراري ، فوجدوا من النتائج التركيبية ان هذه الاغشية متعددة التبلور ومن النوع السداسي المحكم وبالالاتجاه السائد (002) وبمعدل حجم حبيبي 46 nm ، وتبين من الفحوصات البصرية ان نفاذية الاغشية عالية جدا بحدود 95% في المنطقة المرئية وقيمة فجوة الطاقة البصرية eV (3.283) [15] .
- درس الباحث وجماعته Ilican et al. عام (2007) الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية اوكسيد الزنك ZnO المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري وبسمك مختلف (261، 337، 551، 368، 619) ومن قياسات حيود الاشعة السينية تبين ان الغشاء متعدد التبلور ومن النوع السداسي المحكم وبالالاتجاه السائد (002) وبمعدل حجم حبيبي 31 nm اما النفاذية تكون ما بين % (91 - 93) وفي المنطقة المرئية والمنطقة تحت الحمراء ، وقد وجدوا ان قيمة فجوة الطاقة تزداد من eV (3.31 - 3.3) بزيادة سمك الغشاء [16].
- درست الباحثة وجماعتها Sali et al. عام (2008) اغشية اوكسيد الزنك ZnO والمحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري على قواعد زجاجية بدرجة حرارة 480 °C وقد اظهر الفحص التركيبي ان جميع الاغشية المحضرة متعددة التبلور وبتركيب سداسي محكم ، وان النفاذية عالية بحدود % (85) وقيمة فجوة الطاقة البصرية eV (3.4) [17].
- حضر الباحث وجماعته Tasy et al. عام (2008) اغشية اوكسيد الزنك ZnO بطريقة المحلول الغروي على قواعد زجاجية بدرجة حرارة 500 °C ، ووجدوا ان الاغشية ذات تركيب متعدد التبلور وبتركيب سداسي محكم وبالالاتجاهات (100) ، (002) ، (101) وان قيم الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة للسطح يقدر nm (1.92) وكذلك تبين ان معدل النفاذية 90% في المنطقة المرئية ، وان قيمة فجوة الطاقة تزداد من eV (3.27 - 3.23) [18] .
- درس الباحث وجماعته Periasamy et al. عام (2009) تأثير التلدين على الخصائص التركيبية والبصرية لاغشية اوكسيد الزنك ZnO والمحضرة على قواعد من الزجاج بدرجة حرارة تلدين °C (400- 600) بتقنية الطلاء بالفراغ ، وتبين من نتائج حيود الاشعة السينية ان الاغشية متعددة التبلور وذات تركيب سداسي محكم وبالالاتجاه السائد (002) ، ومعدل حجم حبيبي يزداد من nm (40 - 90) عند درجة حرارة تلدين من °C (400 - 600) ، اما نتائج قياس مجهر القوة الذرية بين خشونة السطح تزداد من nm (6 - 16) ، وقد وجدوا ان قيم فجوة الطاقة البصرية تزداد من eV (3.26 -) [19] .

Aims of the Work

5-1 الهدف من البحث

ان الدراسة الحالية تهدف إلى ما يأتي :

- 1- تحضير أغشية رقيقة من مادة ZnO باستخدام تقنية الترسيب بالليزر النبضي Nd: YAG في فراغ يصل إلى 10^{-5} mbar ، تحت ظروف مختلفة شملت درجة حرارة الأساس وضغط الأوكسجين وكثافة طاقة الليزر .
- 2- استخدام تقنية حيود الأشعة السينية (XRD) والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) ومجهر القوى الذرية (AFM) لمعرفة التركيب البلوري للغشاء المرسب وحجم الحبيبات البلورية وتشخيص طبيعة سطح الغشاء .
- 3- دراسة الخصائص البصرية لأغشية ZnO المحضرة باستخدام تقنية الترسيب بالليزر النبضي ومن خلالها تم حساب معامل الامتصاص وفجوة الطاقة البصرية ، وكذلك حساب الثوابت البصرية لأغشية ZnO في المنطقة المرئية وتحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي مثل معامل الانكسار ومعامل الخمود وثابت العزل الكهربائي بجزئية الحقيقي والخيالي.

الفصل الثاني

الجزء نظري

Chapter Two

Introduction**1-2-2 مقدمة**

يشمل هذا الفصل الجانب النظري لموضوع البحث ، إذ ان المفاهيم والنظريات الواردة فيه سواء أكانت علاقات رياضية أم إيضاحات علمية أم مخططات بيانية تسهم بصورة أو بأخرى في توضيح الجانب العملي من البحث.

Crystal structure of semiconductors**2-2 التركيب البلوري لأشباه الموصلات**

يمكن تصنيف المواد شبه الموصلة تبعاً لتركيبها البلوري أو طبيعة ترتيب ذراتها الى صنفين رئيسين هما:

Crystalline Semiconductors**1-2-2 اشباه الموصلات البلورية**

يكون ترتيب الذرات في أشباه الموصلات البلورية بنحوٍ هندسي دوري يتكرر دورياً في الاتجاهات الثلاثة ، تقسم المواد شبه الموصلة البلورية الى قسمين هما:

Single Crystalline Semiconductors**2-2-2 أشباه الموصلات أحادية التبلور**

تمتاز هذه المواد في الحالة المثالية بأن ذراتها أو جزيئاتها مرتبة بنحوٍ تعيد نفسها دورياً وبصورة متكررة غير نهائية في الأبعاد الثلاثة لتكون هيكلًا هندسياً منتظماً، لذا فهي تمتلك نوعاً من التماثل (Symmetry).

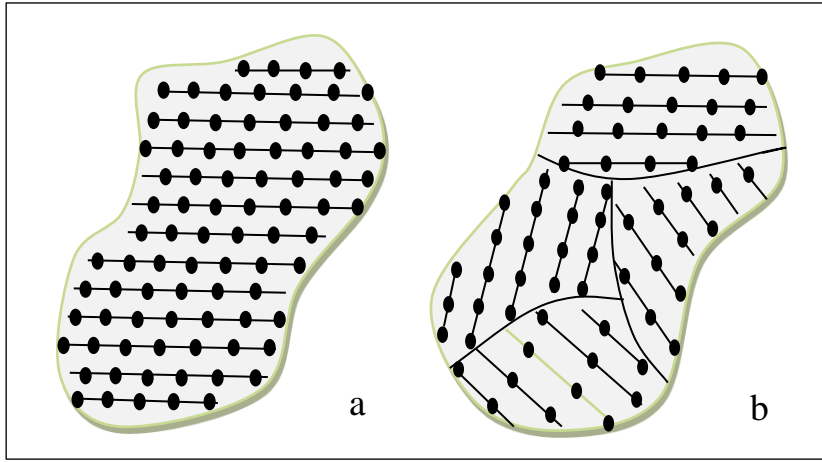
ويدعى ترتيب الذرات هذا في البلورة بترتيب المدى الطويل ((Long Rang Order (LRO)) [21,20].

كما في الشكل a(1-2) إذ ان ذرات المادة مرتبة في جميع الاتجاهات بأسلوب منتظم ودوري . ويشار الى الترتيب الدوري للذرات في البلورة بالشبيكة (Lattice) التي تتكون من وحدات مكررة على امتداد البلورة، وتسمى كل وحدة من هذه الوحدات بوحدة الخلية (Unit Cell)[22].

Polycrystalline Semiconductors**3-2-2 أشباه الموصلات متعددة التبلور**

هي عبارة عن مجموعة من البلورات التي تحتوي على عدد كبير نسبياً من الذرات تُدعى بالحبيبات (Grains) التي تمتلك كل منها على حدة ترتيب المدى الطويل، لكن الحبيبات ككل تمتلك ترتيب المدى القصير ((Short Range Order (SRO)) ، لان الحبيبات تتجه بنحوٍ شبه عشوائي نسبة إلى بعضها

البعض مما يجعل خواص اشباه الموصلات متعددة التبلور متكافئة الاتجاهات (Isotropic) خلافاً لأحادية التبلور التي غالباً ما تكون خواصها غير متكافئة الاتجاهات (Anisotropic)، وتدعى سطوح التقاء الحبيبات البلورية بعضها مع بعض والتي عندها ينقطع الترتيب الدوري لكل حبيبة بحدود الحبيبات (Grains Boundaries)، كما موضح بالشكل b (1-2) وتكون اشباه الموصلات متعددة التبلور اقل استقراراً ثرموديناميكياً من احادية التبلور؛ لان الطاقة الداخلية الحرة الدنيا تتحدد بطاقة حدود الحبيبات [23].



الشكل (1-2) تركيب المواد الصلبة تبعاً لترتيب ذراتها a- أحادية التبلور، b- متعددة التبلور [24].

Structural and Morphological Characterization

3-2 الخصائص التركيبية والمورفولوجية

تم استخدام مجموعة واسعة من تقنيات التوصيف لتقييم جودة المواد من الأغشية الرقيقة قبل استخدام الأغشية في التطبيقات. حيث تم دراسة الخصائص التركيبية للأغشية بواسطة تقنية حيود الأشعة السينية (XRD) و دراسة مورفولوجيا الأغشية الرقيقة السطحية بواسطة مجهر القوة الذرية (AFM) والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM).

1- 3-2 النظرية الأساسية لحيود الأشعة السينية (XRD)

حيود الأشعة السينية (XRD) هي تقنية قوية لتحديد التركيب البلوري ومعلومات الشبكة. المبادئ الأساسية لحيود الأشعة السينية موجودة في بطون الكتب [25]. الأداة الأساسية لهذه الدراسة هي مطياف

براغ [26]. العلاقة التي تصف الزاوية التي تم فيها اكتشاف شعاع أشعة سينية ذات طول موجي معين من سطح بلوري من قبل لورانس براغ ويعرف باسم قانون براغ [27].

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

حيث (λ) هو الطول الموجي للأشعة السينية، (θ) هي زاوية حيود براغ للذروة (XRD) بالدرجة (زاوية الاستطارة)، (n) هي عدد صحيح يمثل ترتيب قمة الحيود، و (d_{hkl}) تمثل المسافة البينية بين المستويات (أي الذرات أو الأيونات أو الجزيئات). ويحسب الحجم البلوري من العرض الكامل لمنتصف أقصى قمة (FWHM) من خط الحيود الأكثر كثافة من صيغة ديبياي شرر (Debye Scherrer's formula) على النحو التالي [28].

$$D_S = \frac{0.94 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2-2)$$

حيث ان D_S هو الحجم بلوري، و β هو (FWHM) في وحدة راديان. ويمكن أيضا استخدام بيانات حيود الأشعة السينية لتحديد بعد خلية الوحدة. ويمكن حساب الثوابت الشبكية (a) و (c) من التركيب المحكم لأغشية ZnO الرقيقة على النحو المبين أدناه [29].

$$a = \frac{2}{\sqrt{3}} d_{(hkl)} \quad (3-2)$$

$$c = 2d_{(hkl)} \quad (4-2)$$

وتتسبب قيمة المطاوعة الميكروية (S) من خلال نمو الأغشية الرقيقة، وسوف تثار من التمدد أو الانضغاط في الشبكية وبالتالي ينحرف ثابت الشبكية c من التركيب السداسي لأغشية ZnO [30]. ويمكن حساب المطاوعة الميكروية من العلاقة [31].

$$S = \frac{\beta \cos \theta}{4} \quad (5-2)$$

اما كثافة الانخلاع (δ_D) فهي مقياس لعدد الاختلالات في حجم وحدة الخلية للمادة البلورية، وتحسب من العلاقة التالية [32]:

$$\delta_D = \frac{1}{D_S^2} \quad (6-2)$$

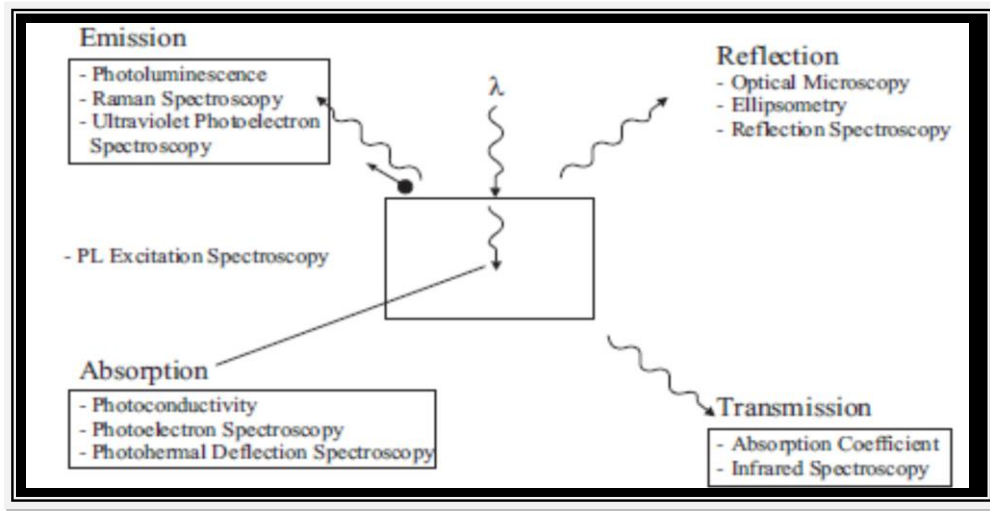
بالنسبة للأغشية الرقيقة يمكن اعتبار العامل المجهري وسيلة قوية للتحكم في الخصائص الكهربائية للمواد متعددة التبلور [33]. عدد الطبقات البلورية N_p يمكن حسابها بالاعتماد على سمك الغشاء (t) حسب العلاقة [34].

$$N_p = \frac{t}{D_s} \quad (7-2)$$

The Optical Properties Techniques

4-2 تقنيات الخصائص البصرية

يمكن عن طريق دراسة الخصائص البصرية للأغشية الرقيقة التعرف على تركيب حزم الطاقة للأغشية الرقيقة، وكذلك معرفة قيمة فجوة الطاقة وفيما إذا كانت مباشرة أم غير مباشرة. لذلك تنتوع التقنيات المستعملة لدراسة الخواص البصرية تبعاً لاختلاف تعامل المادة مع الموجة الضوئية الساقطة، فالشكل (2-2) يصنف التقنيات البصرية الطيفية لأربع مجاميع رئيسية [35]. وقد استعمل في هذا البحث مطياف (UV-VIS)، وهي تقنية تعتمد على الامتصاصية.



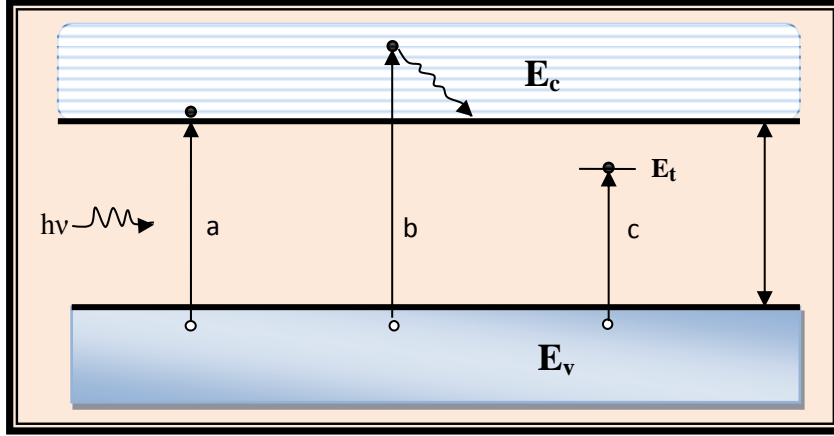
الشكل (2-2) يبين التقنيات البصرية المختلفة [35].

Optical Absorption

1-4-2 الامتصاص البصري

يعد احد الوسائل المهمة في دراسة الحالة الصلبة للمادة ، وتعتمد عمليات الامتصاص لشبه الموصل على طاقة الفوتونات الساقط وفجوة الطاقة البصرية، فإذا كانت طاقة الفوتونات ($h\nu$) مساوية لفجوة الطاقة (E_g) ، فيتم امتصاص الفوتونات لتوليد أزواج من (الكترن- فجوة) ، كما مبين في الشكل a (2-3)، اما إذا كانت طاقة الفوتونات ($h\nu$) اكبر من فجوة الطاقة (E_g)، فيمكن ان تحدث عملية انتقال في شبه الموصل وينتج تهيج للإلكترون من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل، في حين تتبدد الطاقة الإضافية

($h\nu - E_g$) على شكل حرارة ، كما في الشكل b (10-2). وأن كلاً من (a) و (b) يشار إليهما بالانتقال الذاتي (intrinsic transitions) أو انتقال من حزمة إلى حزمة (band-to-band).



شكل (3-2) يوضح عملية الامتصاص لأشباه الموصلات [22]

أما إذا كانت طاقة الفوتونات ($h\nu$) أقل من فجوة الطاقة (E_g) فلن يتم الامتصاص إلا بوجود مستويات طاقة في الفجوة المحظورة ناجمة عن الشوائب الكيماوية والعيوب الفيزيائية، كما موضح في الشكل c (3-2). وتدعى هذه العملية بالانتقال غير الذاتي (extrinsic) [22].

Optical Properties

5-2 الخصائص البصرية

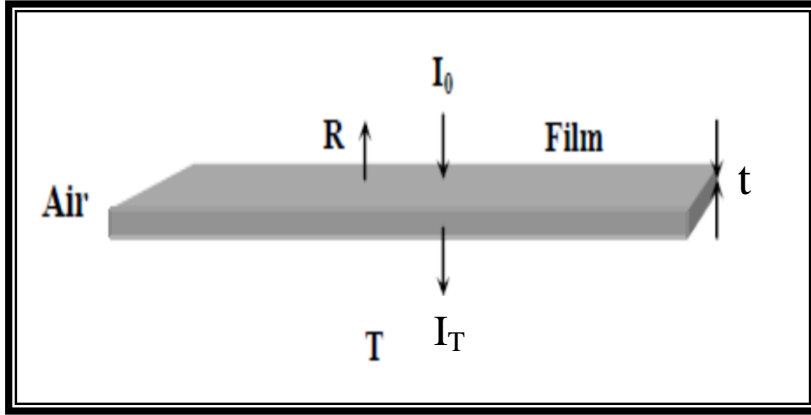
Absorption

1-5-2 الامتصاصية

عند سقوط حزمة ضوئية بطاقة $E_g < h\nu$ على مادة شبه موصلة بسُمك (t) ، كما مبين في الشكل (4-2) بشدة ابتدائية I_0 ، سوف يمتص جزء من هذه الحزمة ويعتمد معدل الامتصاص على الطول الموجي للضوء الساقط وسمك الأنموذج. ويمكن حساب شدة الضوء النافذ I_T خلال الأنموذج من العلاقة الآتية: [35,22]

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

إذ إن معامل الامتصاص Absorption Coefficient ويقاس بوحدات cm^{-1} . وهذا المعامل يتغير طبقاً للطول الموجي للضوء الساقط وطبيعة المادة.



الشكل (4-2) يوضح ظاهرة الامتصاص البصري

2-5-2 معامل الامتصاص وحافة الامتصاص الأساسية

Absorption Coefficient and Fundamental Absorption Edge

يُعرف معامل الامتصاص (α) بأنه نسبة النقصان في فيض طاقة الإشعاع بالنسبة إلى وحدة المسافة باتجاه انتشار الموجة داخل الوسط، ويعتمد معامل الامتصاص على طاقة الفوتونات الساقطة ($h\nu$) وعلى خواص شبه الموصل من حيث فجوة الطاقة له ونوع الانتقالات الالكترونية التي تحدث بين حزم طاقاته في حساب معامل الامتصاص للأغشية [2]. وتعطى طاقة الفوتون بالمعادلة الآتية [36]:

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

عندما تكون طاقة الفوتون الساقط أقل من فجوة الطاقة فإن الفوتون سوف ينفذ وتعطى النفاذية للغشاء بالعلاقة الآتية [37].

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

إذ إن :

T : النفاذية R : الانعكاسية

ويمكن كتابة علاقة النفاذية مع الامتصاصية (A) كالآتي :

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

وبالتعويض عن قيمة T في المعادلة (7-2) نحصل على:

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

وفي حالة (R) صغيره جداً يمكن كتابة المعادلة بالنحو الآتي:

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

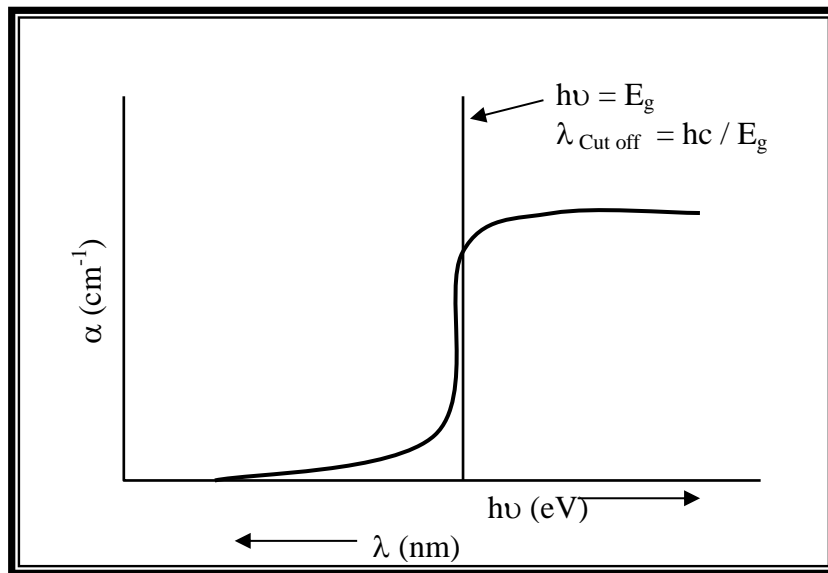
ومنها نحصل على :

$$\alpha = 2.303 \frac{A}{t} \quad (14 - 2)$$

ويمتاز طيف الامتصاص البصري لجميع أشباه الموصلات، بأنه مشترك في صفة الزيادة السريعة في الامتصاص الذي يحدث عندما تكون طاقة الإشعاع الممتص مساوية تقريباً لعرض فجوة الطاقة المحظورة بين حزمتي التكافؤ والتوصيل [38].

اذ تُعرف منطقة طيف الأشعة الساقطة والتي تبدأ فيها الالكترونات بالانتقال بحافة الامتصاص (Absorption Edge) وتساوي في المقدار الفرق بين موقع أدنى نقطة في حزمة التوصيل (C.B) وأعلى نقطة في حزمة التكافؤ (V.B) [18].

ومن الشكل (5-2) يلاحظ عند الطول الموجي العالي الذي يزيد على قيمة حافة الامتصاص، فإن الامتصاص يكون قليلاً وكذلك الطول الموجي الذي يحدث عنده الامتصاص يدعى بالطول الموجي القاطع (cut off wavelength)، إذ إن اقل طاقة يمكن للإلكترون ان يكتسبها للانتقال من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل. وتكون حافة الامتصاص حادة (sharp) في أشباه الموصلات أحادية التبلور. أما في أشباه الموصلات متعددة التبلور فتكون حافة الامتصاص أقل حدة [38].



الشكل (5-2) يوضح اعتماد معامل الامتصاص على (hv) وتحديد حافة الامتصاص [39]

Electronic Transitions

6-2 الانتقالات الالكترونية

Direct Transition

1-6-2 الانتقال المباشر

عندما ينتقل الإلكترون من قمة حزمة التكافؤ الى قعر حزمة التوصيل عند النقطة نفسها في فضاء الموجة (K-Space) ضمن الشرط ($\Delta K = 0$) [40] ، سيصاحب هذا الانتقال تفاعل بين الفوتون الساقط وإلكترون حزمة التكافؤ فقط (Photon-Electron Interaction)، إذ يكون كل من الزخم والطاقة محفوظين، كما في الصيغة الآتية [40].

$$E_f - E_i = h\nu \quad (15 - 2)$$

$$K_f - K_i = q \quad (16 - 2)$$

إذ إن :

E_f و E_i : الطاقة الابتدائية والنهائية للإلكترون في كل من حزمة التكافؤ والتوصيل على التوالي .
 K_f و K_i : متجه الموجة الابتدائي والنهائي للإلكترون في كل من حزمتي التكافؤ والتوصيل وعلى التوالي.

q : متجه الموجة للفوتون الممتص.

ويكون متجه الموجة للفوتون الممتص صغيراً جداً مقارنة بقيمة الإلكترون، لذلك يهمل، وبذلك تكون العلاقة في أعلاه على النحو الآتي:

$$E_f = E_i \quad (17 - 2)$$

ويسمى هذا النوع من الانتقال بالانتقال المباشر المسموح (Allowed Direct Transition)، أو يدعى بالانتقال العمودي ، وعندما يكون انتقال الإلكترون من المناطق المجاورة لمناطق الانتقال المباشر المسموح مع بقاء شرط عدم تغير قيمة متجه الموجة (K) عندها يسمى هذا الانتقال بالانتقال المباشر الممنوع (Forbidden Direct Transition) ، وكما موضح بالشكل (2-6)، وفي هذا النوع من أشباه الموصلات تعطى معادلة الامتصاص بالعلاقة (2-15) لتأوس [24,40].

$$\alpha h\nu = \beta(h\nu - E_g^{Opt})^r \quad (18 - 2)$$

إذ إن :

α : معامل الامتصاص البصري (cm^{-1})

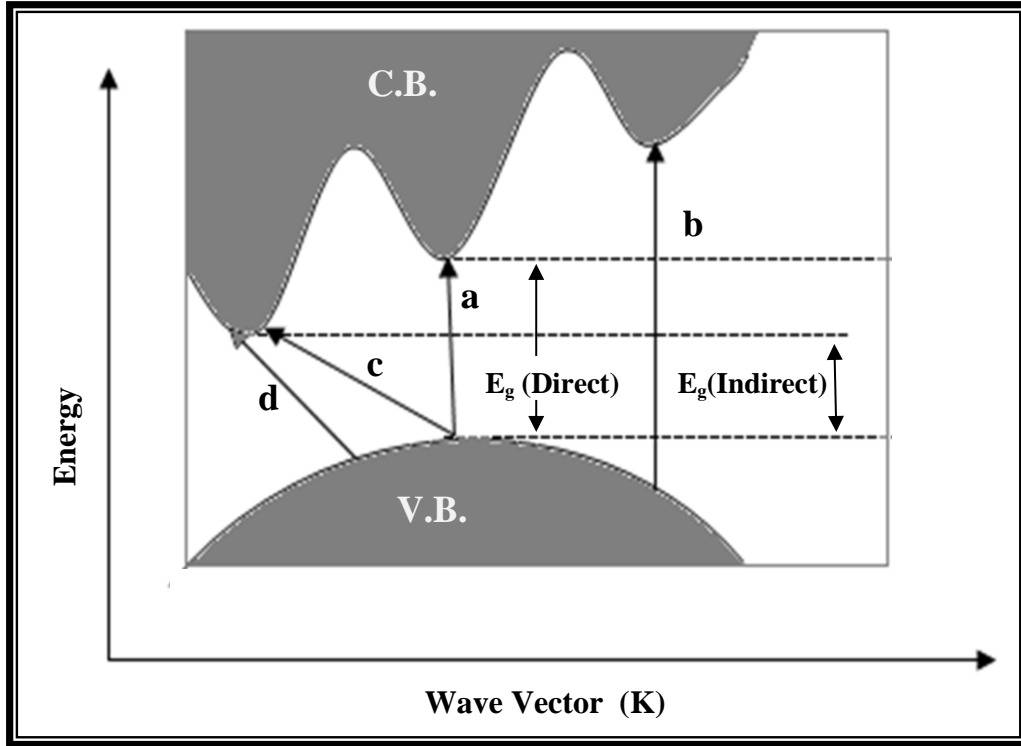
β : ثابت يساوي $\frac{4\pi\sigma_0}{n_0 c \Delta E_e}$ إذ: σ_0 (التوصيلية المعدنية الصغرى)، c (سرعة الضوء)،

ΔE_e (عرض الذبول للحالات الموضعية)، n_0 (معامل الانكسار)

$h\nu$: طاقة الفوتون الساقط (eV)

E_g^{Opt} : فجوة الطاقة البصرية (eV)

r : مرتبة الانتقال البصري، ويعتمد على طبيعة الانتقال الإلكتروني.
ومن هنا تحدد المعادلة (2-15) نوعية الانتقال في أشباه الموصلات ذات الفجوة المباشرة ، فعندما تكون قيمة r مساوية الى (1/2) يكون الانتقال انتقالاً مباشراً مسموحاً، وعندما تكون (3/2) يكون الانتقال مباشراً ممنوعاً [40].



الشكل (2-6) الانتقالات الإلكترونية a- مباشر مسموح b- مباشر ممنوع c- غير مباشر مسموح d- غير مباشر ممنوع [40]

2-6-2 الانتقال غير المباشر

Indirect Transition

يحصل الانتقال غير المباشر للإلكترونات عند عدم تطابق طاقتي قمة حزمة التكافؤ وقعر حزمة التوصيل في فضاء متجه الموجة (K) ، إذ يكون الانتقال بين نقطة في حزمة التكافؤ وأية نقطة في حزمة التوصيل بصورة غير عمودية، وبذلك ستكون قيمة متجه الموجة ($\Delta K \neq 0$) [40] .

ويصاحب هذا الانتقال تغير في زخم البلورة بسبب تغير زخم الإلكترون المنتقل ، ويعوض هذا التغير في زخم البلورة من الشبكة، اما عن طريق امتصاص فونون (Phonon) زخمه $[-\hbar(K_c - K_v)]$ أو عن طريق انبعاث فونون زخمه $[\hbar(K_c - K_v)]$

إذ إن:

K_v : متجه حزمة التكافؤ

K_c K_p : متجه حزمة التوصيل

وهذا بدوره يعد ضرورياً لتحقيق قانون حفظ الزخم.

أي إنه:

$$K_i + q = K_f \mp K_p \quad (19 - 2)$$

إذ إن:

$\mp K_p$: متجه موجة الفونون المنبعث أو الممتص.

وبإهمال متجه موجة الفوتون لصغره تكون المعادلة (16-2) على النحو الآتي:

$$K_i = K_f \mp K_p \quad (20 - 2)$$

وتدعى أشباه الموصلات التي تمتلك هذه الانتقالات بأشباه الموصلات ذات الفجوة غير المباشرة (Indirect - Band Gap) وفيها تُعطى معادلة الامتصاص بالعلاقة الآتية [40].

$$ah\nu = \beta_1(E_g \mp E_q)^r \quad (21 - 2)$$

إذ تمثل:

$(+E_p)$: عملية امتصاص فونون.

$(-E_p)$: عملية انبعاث فونون.

وهذه الانتقالات على نوعين أيضاً، فعندما ينتقل الإلكترون بين أعلى نقطة في حزمة التكافؤ وأوطأ نقطة في حزمة التوصيل يكون الانتقال من النوع غير المباشر المسموح (Indirect Allow Transition)

الذي عنده تكون قيمة (r) في المعادلة (2-18) مساوية الى (2) . وعندما يكون الانتقال من المناطق المجاورة لأعلى نقطة في حزمة التكافؤ الى أوطأ نقطة في حزمة التوصيل يسمى حينها بالانتقال غير المباشر الممنوع (Indirect Forbidden Transition)، وقيمة (r) عنده مساوية الى (3) في المعادلة أعلاه، كما موضح في الشكل (2-6) وتكون عملية الانبعاث أو الامتصاص في هذه الانتقالات معتمدة على درجة الحرارة بخلاف ما هو عليه في الانتقالات المباشرة [40].

Optical Constants

7-2 الثوابت البصرية

Optical Energy Gap

1-7-2 فجوة الطاقة البصرية

تعد فجوة الطاقة من الثوابت البصرية المهمة، وتعد دالة لدرجة الحرارة، إذ تتغير قيمتها تغيراً طفيفاً مع تغير درجة الحرارة (T)، إذ تزداد قيمة فجوة الطاقة في بعض اشباه الموصلات، في حين تقل في بعضها الاخر. كما ان فجوة الطاقة لشبه الموصل النقي لا تكون خالية تماماً، إذ توجد فيها مستويات موضعية ناتجة من العيوب التركيبية [41].

ويمكن حساب فجوة الطاقة من المعادلة التجريبية التي وضعها تاوس بالصيغة الآتية [43,42]:

$$(\alpha h\nu)^2 = \beta^2 (h\nu - E_g^{Opt}) \quad (22 - 2)$$

إذ يتم رسم العلاقة البيانية بين $(\alpha h\nu)^2$ و $(h\nu)$ بواسطة مد خط مستقيم يكون امتداده قاطعاً لمحور طاقة الفوتون $(h\nu)$. إذ يتم تحديد قيمة فجوة الطاقة من نقطة التقاطع التي يكون عندها $(\alpha h\nu)^2 = 0$ حيث اعتمد هذه الطريقة اغلب الباحثين في تعيين فجوة الطاقة امثال الباحث (Gordillo) [44]. والباحث (Rusu) [45]، والباحث (Marfai) وجماعته [46]، كذلك الباحث (Shixing) [47].

Refractive Index

2-7-2 معامل الانكسار

يعرف بأنه النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ الى سرعته في الوسط ويعطى بالعلاقة الآتية

$$: [41,35]$$

$$N = n_0 - iK_0 \quad (23 - 2)$$

N : معامل الانكسار المعقد

n_0 : معامل الانكسار الحقيقي

K_0 : معامل الخمود

ويرتبط معامل الانكسار مع انعكاسية الغشاء وفقاً للعلاقة الآتية [40]:

$$R = \frac{(n_o - 1)^2 + K_o^2}{(n_o + 1)^2 + K_o^2} \quad (24 - 2)$$

ومن هذه المعادلة يمكن حساب معامل الانكسار على وفق الصيغة الآتية:

$$n_o = \left[\left(\frac{1 + R}{1 - R} \right)^2 - (K_o^2 + 1) \right]^{1/2} \quad (25 - 2)$$

$$R = 1 - T - A \quad (26 - 2)$$

Extinction Coefficient

3-7-2 معامل الخمود

يمثل معامل الخمود كمية الطاقة الممتصة في الغشاء الرقيق، أو بتعبير أدق كمية ما تمتصه إلكترونات المادة من طاقة الفوتونات الساقطة، أي إنه يمثل الخمود أو التوهين الحاصل للموجة الكهرومغناطيسية داخل المادة. ويعطى معامل الخمود بالعلاقة الآتية [40,35] :

$$K_o = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \quad (27 - 2)$$

ويلاحظ ان معامل الخمود يعتمد بصورة أساسية على الطول الموجي الساقط ومعامل الامتصاص (α) الذي يعتمد على نوعية المادة.

Dielectric Constant

4-7-2 ثابت العزل الكهربائي

يحدث التفاعل بين الضوء وشحنات الوسط بسبب عملية امتصاص الطاقة في المادة، وينتج من هذا التفاعل استقطاب لشحنات ذلك الوسط.

ويوصف هذا الاستقطاب عادة بثابت العزل الكهربائي المعقد للوسط (ϵ) الذي يعرف بالعلاقة الآتية: [40].

$$\epsilon = \epsilon_r - i\epsilon_i \quad (28 - 2)$$

إذ إن :

ϵ : ثابت العزل الكهربائي المعقد

ϵ_r : الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي

ϵ_i : الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي

والعلاقة بين ثابت العزل ومعامل الانكسار بصيغتها العقدية:

$$\epsilon = N^2 \quad (29 - 2)$$

وبالتعويض عن قيمة (N) في المعادلة (2-25) نحصل على:

$$(n_o - iK_o)^2 = \epsilon_r - i\epsilon_i \quad (30 - 2)$$

وبحل المعادلة (2-27) نجد ان :

$$\epsilon_r = n_o^2 - K_o^2 \quad (31 - 2)$$

$$\epsilon_i = 2n_o k_o \quad (32 - 2)$$

Optical Conductivity

5-7-2 التوصيلية البصرية

ترتبط التوصيلية البصرية بمعامل الانكسار ومعامل الخمود حسب المعادلة التالية [48].

$$\sigma = 2n_o n k_o \omega \epsilon_o \quad (33 - 2)$$

حيث ان

ω : التردد الزاوي

ϵ_o : سماحية الفراغ

بعد التعويض في المعادلة (2-32) يمكن كتابة المعادلة (2-33) بالصيغة التالية :

$$\sigma = \epsilon_i \omega \epsilon_o \quad (34 - 2)$$

Annealing

8-2 التلدين

اذا تم تعريض الأنموذج أو الغشاء الرقيق الى درجة حرارة معينة لمدة محدودة تدعى هذه العملية بالتلدين، وتجرى عادة إما بالفراغ وإما بوجود غاز معين أو بالهواء على وفق الحاجة . ان عملية التلدين قد تساعد على التقليل من العيوب التركيبية، إذ تعطي طاقة حركية لذرات المادة، وبهذا ستحاول ان تعيد ترتيبها وتأخذ مكانها ضمن التركيب البلوري [49]، أو تؤدي الى تفاعل مادة الغشاء مع الأوكسجين عند اجراء التلدين في حيز من الهواء. لذا فان عملية التلدين تختلف تأثيراتها في المادة على وفق نوع المادة المدنة وظروف التلدين من درجة حرارة ونوع الغاز المحيط. وتعد عملية التلدين إحدى الطرائق الناجحة في تحضير بعض اكاسيد المواد مثل ZnO كما ان الغاية من هذه العملية هي تقليل العيوب عن طريق إزالة الاجهادات المتولدة في المادة وإعادة الذرات والمادة وإحداث عملية انتشار للشوائب لزيادة الفعالية الكهربائية لها. كذلك تُستعمل لتحويل غشاء رقيق مكون من عدة مواد أو مادة واحدة من الحالة العشوائية الى متعدد التبلور أو من متعدد التبلور الى أحادي التبلور، كذلك يتم القضاء على معظم العيوب مثل عيوب الرص والانخلاعات بواسطة عملية التلدين [50].

وتقسم بنحوٍ عام عمليات التلدين الحراري على نوعين أحدهما: التلدين الحراري التقليدي باستعمال الفرن ، والآخر: التلدين الحراري السريع ولا سيما تلك التي توظف المصابيح الهالوجينية [49].

الفصل الثالث

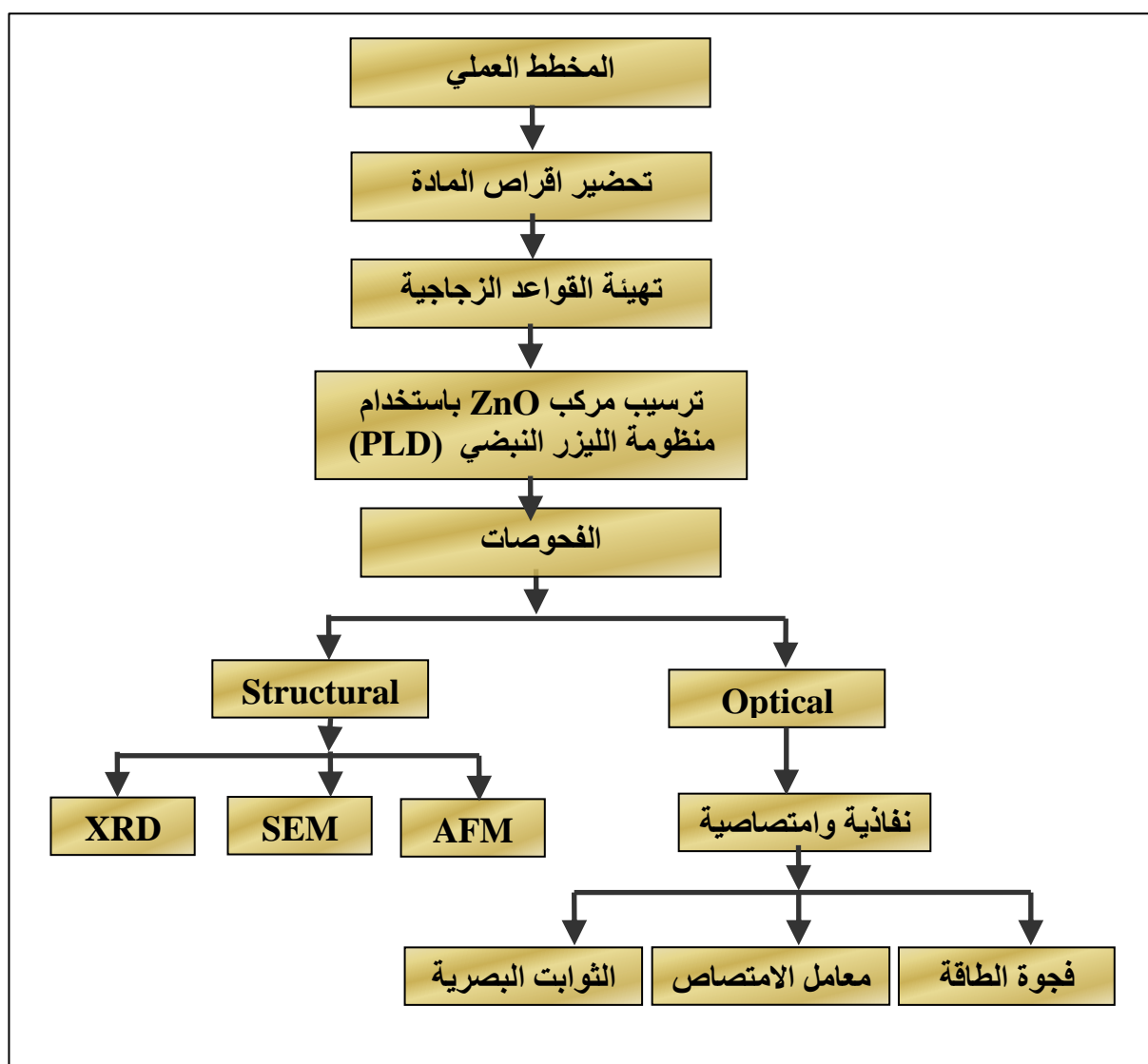
الجزء العملي

Chapter Three

Introduction

1-3 مقدمة

يتضمن هذا الفصل وصف منظومة التبخير بالليزر وعملية تحضير الاغشية حيث يتم ادراج الخطوات العملية التي أجريت في هذا البحث ابتداء من عملية تحضير العينات وإجراء عملية الترسيب باستعمال منظومة التبخير بالليزر وكما موضح بالمخطط شكل (1-3) ، وبعدها اجراء عملية تلدين الاغشية المحضرة في الهواء وتحت زمن و درجة الحرارة ثابتة ومن ثم اجراء القياسات التركيبية والبصرية .



شكل (1-3) يبين المخطط العملي لتحضير غشاء اوكسيد الزنك ZnO الرقيق

Prepare of Material Tablets**2-3 تحضير أقراص المادة**

في هذا البحث اجري تبخير مادة اوكسيد التيتانيوم ZnO ذي النقاوة العالية 99.99 % على شكل مسحوق ولا يمكن استعماله على حالته لأغراض التبخير للأسباب الآتية :-

- لا يمكن تثبيت المسحوق بزاوية مائلة وتشعيه بالليزر .
 - ان عملية الكبس توفر كمية من المادة اكبر لوحدة الحجم مما يفيد في عملية التبخير.
- لذلك تم التبخير على سطوح اقراص (pellets) من مادة ZnO . ان استعمال المسحوق بعد كبسه يعد افضل من الناحية العملية لإمكانية تقليص حجم الفجوات الهوائية التي تتواجد ضمن القرص الواحد . للقرص الواحد تم وزن (5g) ثم وضعت داخل اسطوانة مصنعة من الفولاذ المقاوم للصدأ بقطر داخلي قدره 30mm وتم الكبس بوساطة مكبس بقوة كبس قدرها 5 طن بحيث كان سمك القرص 3mm كما يتيح فرصة استعمال كلا السطحين في عمليات التبخير.

Preparation of Glass Bases**3-3 تحضير القواعد الزجاجية**

لدراسة الخصائص البصرية والتركيبية للأغشية المبخرة استعملت شرائح زجاجية مستعمله في المجاهر الطبية (Slides glass) بالأبعاد (22*35 mm) تثبت على القاعدة العليا للمنظومة . نظفت الشرائح الزجاجية على مرحلتين، في المرحلة الأولى استعمل كحول الايثانول لغرض اذابة الدهون التي قد تكون متواجدة على سطح الزجاج، وفي المرحلة الثانية غمرت الشرائح الزجاجية في ماء مقطر مغلي فترة عشر دقائق، بعد ذلك اجري تنشيفها وتجفيفها داخل فرن حراري .

Evaporation System**4-3 منظومة التبخير**

تتكون منظومة التبخير التي اعتمدت في هذا البحث من جزئين رئيسيين هما:-

1 - حجرة التبخير

2 - منظومة التفريغ

اشتملت حجرة التبخير على ناقوس زجاجي (Bell jar) مصنع من زجاج البايروكس وكانت ابعاده بسمك 5mm وقطر 220mm وارتفاع 450mm يستند على القاعدة العليا المصنعة من الفولاذ المقاوم للصدأ (stainless steel) مربعة الشكل بسمك (14 mm).

تم تزويد حجرة التبخير بمحرك كهربائي بسرعة دورانية قدرها دورتان في الدقيقة . يستفاد منها لتحريك القرص الحامل لمادة الهدف (Targets).

يعتمد سمك الغشاء المبخر على عدة معاملات من اهمها المسافة بين المادة والشريحة الزجاجية اذ تم وضع المادة المراد تبخيرها مسافة 5cm عن الشريحة الزجاجية.

كان التبخير في كل مراحل البحث في اجواء مفرغة. تم الحصول عليها بواسطة منظومة تفريغ حيث تتكون منظومة التفريغ من وحدة تفريغ ميكانيكية باستخدام مضخة ميكانيكية دوارة ،أوطأ ضغط ممكن الحصول عليه من هذه المضخة 10^{-3} torr. وهي من نوع (Pfeiffer typ.AD 71MZ4) و مقياس للفراغ نوع (Pirani gauge) متصل بالحجرة للتعرف على مقدار الفراغ داخل الناقوس الزجاجي .

Deposition Process

5-3 عملية الترسيب

بعد تحضير العينات المكبوسة لمادة ZnO ، وثبيت الشرائح الزجاجية جرى تشييع مادة اوكسيد الزنك بشعاع ليزر الـ Nd:YAG بطاقة 140 mJ/cm^2 وعدد نبضات مختلفة (25 , 50 , 75) نبضة حيث تم الحصول على سمك مقداره $(200)\text{nm}$.

Thermal Annealing

6-3 التلدين الحراري

جرت عملية التلدين الحراري لغشاء ZnO المحضر بطريقة الترسيب بواسطة الليزر النبضي بدرجات حرارة 400°C لغشاء ZnO وزمن تلدين مقدارها 30 min اذ تم استعمال فرن كهربائي لأجراء عملية التلدين في الهواء الجوي كما في الشكل (2-3).



شكل (2-3) يوضح فرن حرق يستخدم في عملية تلدين غشاء ZnO تحت درجة حرارة 400°C وزمن 30min.

Thickness Measurement

7-3 قياس السمك

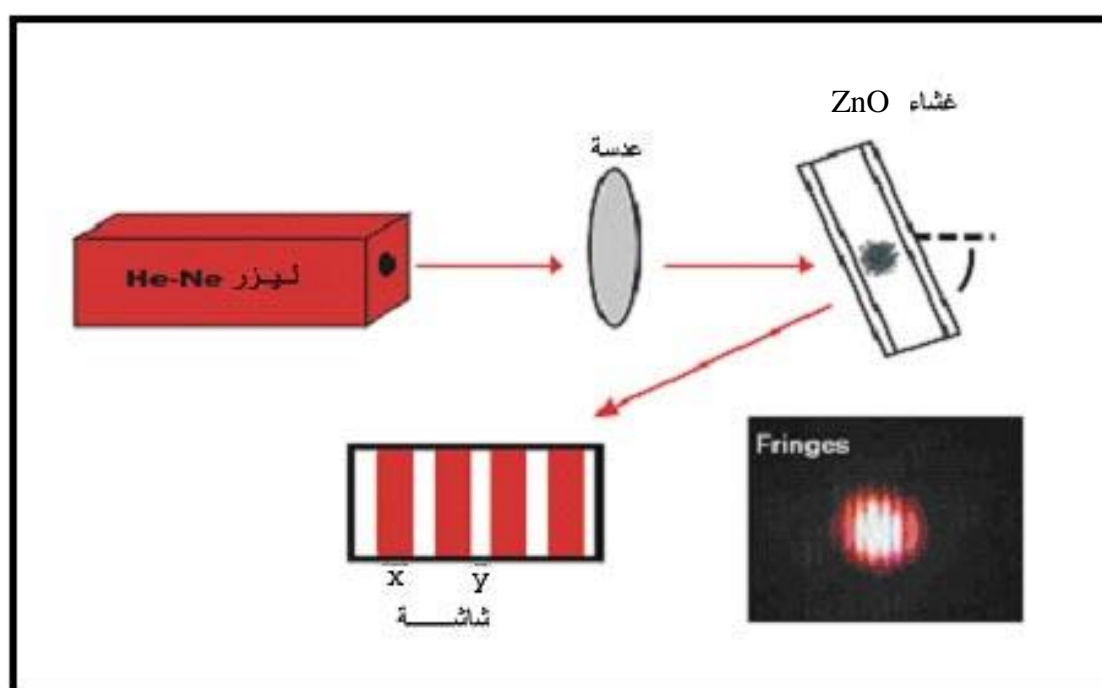
ان الاغشية المحضرة بتقنية الليزر النبضي كانت رقيقة جدا لهذا السبب استخدمنا الطريقة البصرية لقياس سمك الغشاء لأنها اكثر دقة من الطرائق الاخرى ،اذ تم استعمال ليزر الهليوم – نيون (He –Ne)

بطول موجي 632 nm حيث يكون سقوط شعاع الليزر بزاوية 45° على الغشاء والشعاع المنعكس يمرر من خلال عدسة لامة ليسقط على شاشة لرؤية الاهداب المضيئة والمظلمة كما مبين في الشكل (3-3) ومن قياس عرض الهدب المضيء X وعرض الهدب المظلم Y وتطبيق العلاقة الآتية يحسب سمك الغشاء

$$t = \frac{Y}{X} \times \frac{\lambda}{2} \quad (1 - 3)$$

حيث إن λ : الطول الموجي لليزر المستخدم

t : سمك الغشاء المحضر



شكل (3-3) يبين طريقة قياس سمك غشاء ZnO الرقيق المحضرة .

Structural Measurements

8-3 القياسات التركيبية

بعد اتمام عملية الترسيب يتم اختيار عدد من الاغشية تمتاز بتجانسها وخلوها من الفجوات والعيوب الظاهرية لأجراء القياسات تضمنت القياسات التركيبية معرفة التركيب البلوري وطبوغرافية السطح للأغشية المحضرة باتباع تقنية حيود الاشعة السينية (XRD) والمجهر الالكتروني الماسح (SEM) ومجهر القوة الذرية (AFM).

X-ray Diffraction Measurement**1-8-3 قياس حيود الاشعة السينية**

لأجل التعرف على الطبيعة البلورية وطبيعة التركيب للأغشية الرقيقة وتأثير التلدين الحراري في الأغشية تم استعمال جهاز حيود الاشعة السينية XRD نوع (SHIMADZU) الذي يعمل مع اشعة سينية بطول موجي (1.54 \AA) من مصدر (CuK_α) ولقد اجري القياس بسرعة مسح 5 deg./min ولمدى زاوي $(2\theta = 10 - 80)^\circ$.

Surface Topography**2-8-3 طبوغرافية السطح**

لغرض فحص سطوح الاغشية الرقيقة تم التصوير باستخدام مجهر القوى الذرية (AFM) للحصول على تصوير ثلاثي الابعاد (3- dimension) و بقدرة تكبير مليون مرة حيث تم التعرف على تجانسية الغشاء وتركيبه النانوي. وايضا استعمل المجهر الالكتروني الماسح (SEM) بقدرات تكبير مختلفة. تم تصوير الاغشية بعد التلدين بدرجة حرارة 400°C .

Optical Measurements**9-3 القياسات البصرية**

تعد دراسة الخصائص البصرية بدءاً من الثوابت البصرية وحساب فجوة الطاقة من الدراسات المهمة لعلاقتها بسلوكية المواد شبه الموصلة ولتحديد مدى ملائمتها للتطبيقات المختلفة ، تضمنت القياسات البصرية اجراء قياس الامتصاصية و النفاذية الطيفية والتي تستعمل لاحقاً في حساب معامل الامتصاص والذي بدوره يمكننا من حساب قيمة فجوة الطاقة ، تم استعمال مطياف من نوع UV-VIS- NIR-Double Beam Spectrometer ذي حزمتين للضوء يوضع في طريق احدهما اللوح الزجاجي المرسب عليه الغشاء والمراد اجراء القياسات له. بينما يوضع في طريق الحزمة الثانية المرجع وهو لوح زجاجي غير مرسب عليه. وقد اجريت القياسات لغشاء ZnO ضمن مدى من الأطوال الموجية $(350-900)\text{nm}$.

Calculation of Absorption Coefficient**1-9-3 حساب معامل الامتصاص**

يعد معامل الامتصاص واحد من المعلمات الفيزيائية المهمة التي يمكن من خلالها التعرف على حافة الامتصاص الأساسية وفجوة الطاقة ، يحسب معامل الامتصاص من العلاقة (2-14) .

Energy Gap Calculation**2-9-3 حساب فجوة الطاقة**

لقد تم حساب قيمة فجوة الطاقة المباشرة المسموحة لأغشية اوكسيد الزنك ZnO باستخدام العلاقة (2-22) تم رسم منحنى بياني ما بين $(\alpha v h)^2$ وطاقة الفوتون $h\nu$ يمكن ايجاد قيمة فجوة الطاقة بمد الجزء المستقيم من منحنى العلاقة ليقطع المحور السيني عند قيم طاقة الفوتون ، اذ تمثل نقطة التقاطع قيمة فجوة الطاقة المباشرة المسموحة.

Optical Constants**10-3 الثوابت البصرية**

توصف الخصائص البصرية للمواد عادة بالثوابت البصرية التي تضم معامل الانكسار ومعامل الخمود وثابت العزل الكهربائي التي يمكن من خلالها التعرف على نوع التطبيقات البصرية الملائمة لهذه المواد.

Refractive Index**1-10-3 معامل الانكسار (n_0)**

يعرف معامل الانكسار بأنه النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ الى سرعته في الوسط . وقد تم حسابه من العلاقة (23-2) بعد اعتمادها على الانعكاسية ومعامل الخمود.

Extinction Coefficient**2-10-3 معامل الخمود (k_0)**

يعرف معامل الخمود على انه مقدار الفقدان في الطاقة الذي تعانيه الموجة الكهرومغناطيسية عند مرورها خلال المادة ويمكن حساب معامل الخمود بدلالة الطول الموجي ومعامل الامتصاص حسب العلاقة (27-2) .

Dielectric Constant**3-10-3 ثابت العزل الكهربائي (ϵ)**

تم حساب ثابت العزل الكهربائي بجزئية الحقيقي والخيالي من العلاقتين الرياضيتين (31-2)(32-2).

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

Chapter Four

Introduction

1-4 المقدمة

نستعرض في هذا الفصل النتائج والفحوصات التركيبية والبصرية لأغشية ZnO المحضرة بتقنية الليزر النبضي (PLD) ومناقشتها.

Structural Properties

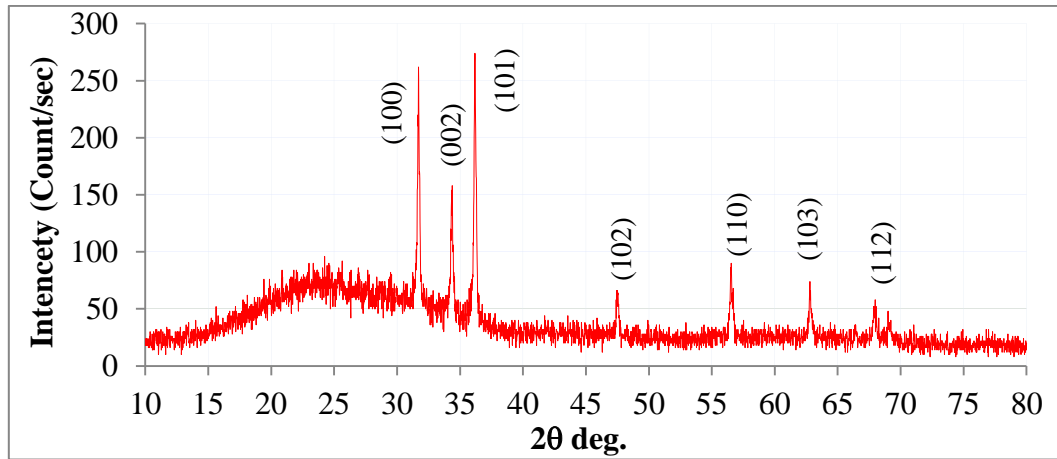
2-4 الخصائص التركيبية

Results of XRD

1-2-4 نتائج قياسات حيود الأشعة السينية

بينت نتائج قياسات الأشعة السينية أن أغشية ZnO التي تم الحصول عليها وبعد مقارنتها مع بطاقة المؤسسة الأمريكية لفحص المواد (ASTM) هي ذات تركيب متعدد التبلور Polycrystalline ومن النوع السداسي Hexagonal ، وفي الاتجاه السائد (101) كما موضح في الشكل (1-4).

وأظهرت نتائج حيود الأشعة السينية (XRD) وجود سبعة قمم بالاتجاهات والزوايا المدرجة في الجدول (1-4) .



شكل (1-4) حيود الأشعة السينية لأغشية ZnO النقية المحضرة باستخدام تقنية الليزر النبضي (PLD)

جدول (1-4) يبين نتائج حيود الأشعة السينية لأغشية ZnO المحضرة بتقنية الليزر النبضي

2θ (deg.)	d_{hkl} (nm)	(hkl)	FWHM (deg.)	Crystallite Size (nm)	Micro strain ($\text{lin}^{-2}\text{m}^{-4}$)	dislocation density $\times 10^{-3}$ (lin m^{-2})
31.722	2.818	(100)	0.181	45.607	0.043	0.481
34.364	2.608	(002)	0.186	44.710	0.044	0.500
36.202	2.479	(101)	0.178	46.983	0.047	0.453
47.514	1.912	(102)	0.190	45.682	0.043	0.479
56.535	1.627	(110)	0.178	50.584	0.039	0.391
62.815	1.478	(103)	0.183	50.956	0.039	0.385
67.902	1.379	(112)	0.200	47.958	0.041	0.435

جدول (2-4) يبين خصائص اوكسيد الزنك حسب تقنية ZnO (XRD).

ZnO	الخاصية
81.3800	الوزن الجزيئي
سداسي محكم	التركيب البلوري
وحدة الخلية	
3.2498	a (Å)
3.2498	b (Å)
5.2066	c (Å)
47.620	الحجم (Å ³)
5.6750	الكثافة g/cm ³

Size Crystallite**2-2-4 الحجم البلوري**

تم حساب الحجم البلوري (Ds) لأغشية ZnO ولجميع القمم باستخدام العلاقة (2-2) ووجد بأن قيمة (Ds) تقل بازدياد عرض منتصف القمة (FWHM) كما في الجدول (1-4).

Lattice Constants**3-2-4 ثوابت الشبكة**

تم حساب ثابتي الشبكة (a,c) لأغشية ZnO ذات التركيب البلوري السداسي باستخدام العلاقتين (3-2 ، 4-2) ووجد أن قيم هذه الثوابت متطابقة وتتفق مع القيم في البطاقة (ASTM) وكما موضح في الجدول (3-4) .

Microstrains**4-2-4 المطاوعة المايكروية**

تم حساب المطاوعة المايكروية (S) لغشاء ZnO ولجميع القمم والحجوم البلورية باستخدام العلاقة (5-2) وكما موضح في الجدول (1-4).

Dislocation Density**5-2-4 كثافة الانخلاعات**

تم حساب كثافة الانخلاعات (δ_D) ولجميع الحجوم البلورية ووجد بأن كثافة الانخلاعات تقل بزيادة الحجم البلوري لأن كثافة الانخلاعات تتناسب عكسياً مع مربع الحجم الحبيبي وحسب العلاقة (6-2) وكما موضح في الجدول (1-4).

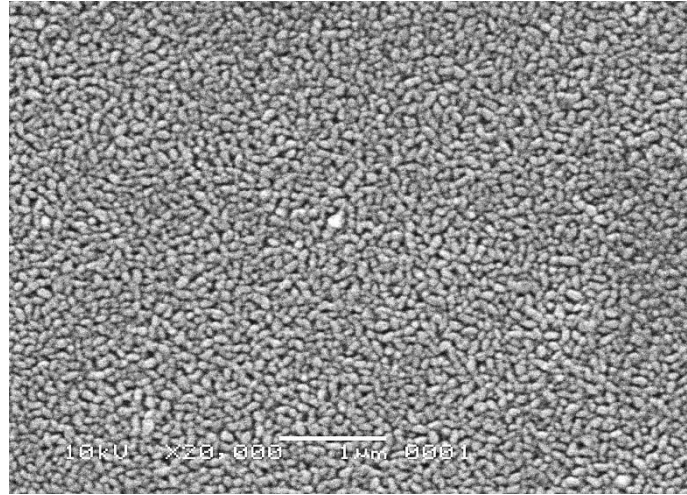
Number of Crystals**6-2-4 عدد البلورات**

تم حساب عدد البلورات بالاعتماد على سمك غشاء ZnO من المعادلة (7-2) ولجميع قمم حيود الأشعة السينية (XRD) وكما موضح في الجدول (1-4) .

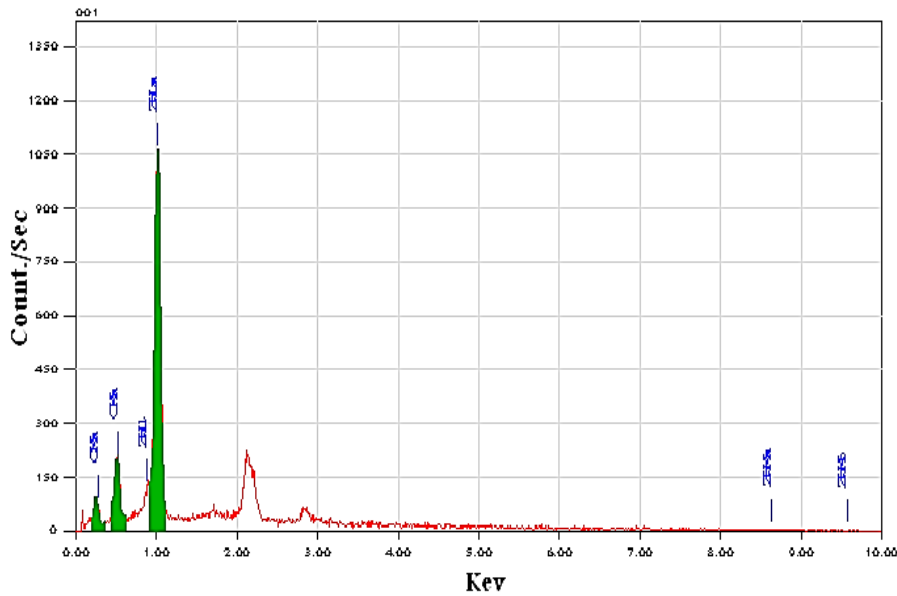
3-4 قياسات المجهر الإلكتروني الماسح**Scanning Electronic Microscope Measurement (SEM)**

يوضح الشكل (2-4) صوراً لأغشية ZnO باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح المرسبة تحت درجة حرارة 250 °C وضغط أوكسجين 10⁻⁵ mbar وكثافة طاقة ليزر 0.14 J/cm² . إن المجهر الإلكتروني يستخدم في دراسة طوبوغرافية سطوح الأغشية أو البلورات ومن خلاله يمكن دراسة التشققات والانخلاعات التي ترافق نمو الأغشية والتي تمثل عيوباً تركيبية ولها تأثير في خصائص الأغشية ، كما ان مقدار التأثير يتناسب مع كثافة العيوب. يتم دراسة هذه العيوب من خلال صور المجهر الإلكتروني في تحديد الأشكال والاتجاهات لتلك العيوب الظاهرة على سطح العينة.

كذلك تعطي طوبوغرافية السطح معلومات عن وجود فراغات (ثقوب) في الاغشية المحضرة بتقنية الليزر النبضي حيث يبين الشكل المذكور تجانس توزيع الحبيبات وكان معدل الحجم الحبيبي (83 - 59). وقد بينت نسب الخلط (EDX) احتواء الغشاء المحضر على عناصر (Zn, O,C) كما موضح في الشكل (3-4) وكانت نسب الخلط مبينة في الجدول (3-4).



شكل (2-4) صورة SEM لغشاء ZnO الرقيق



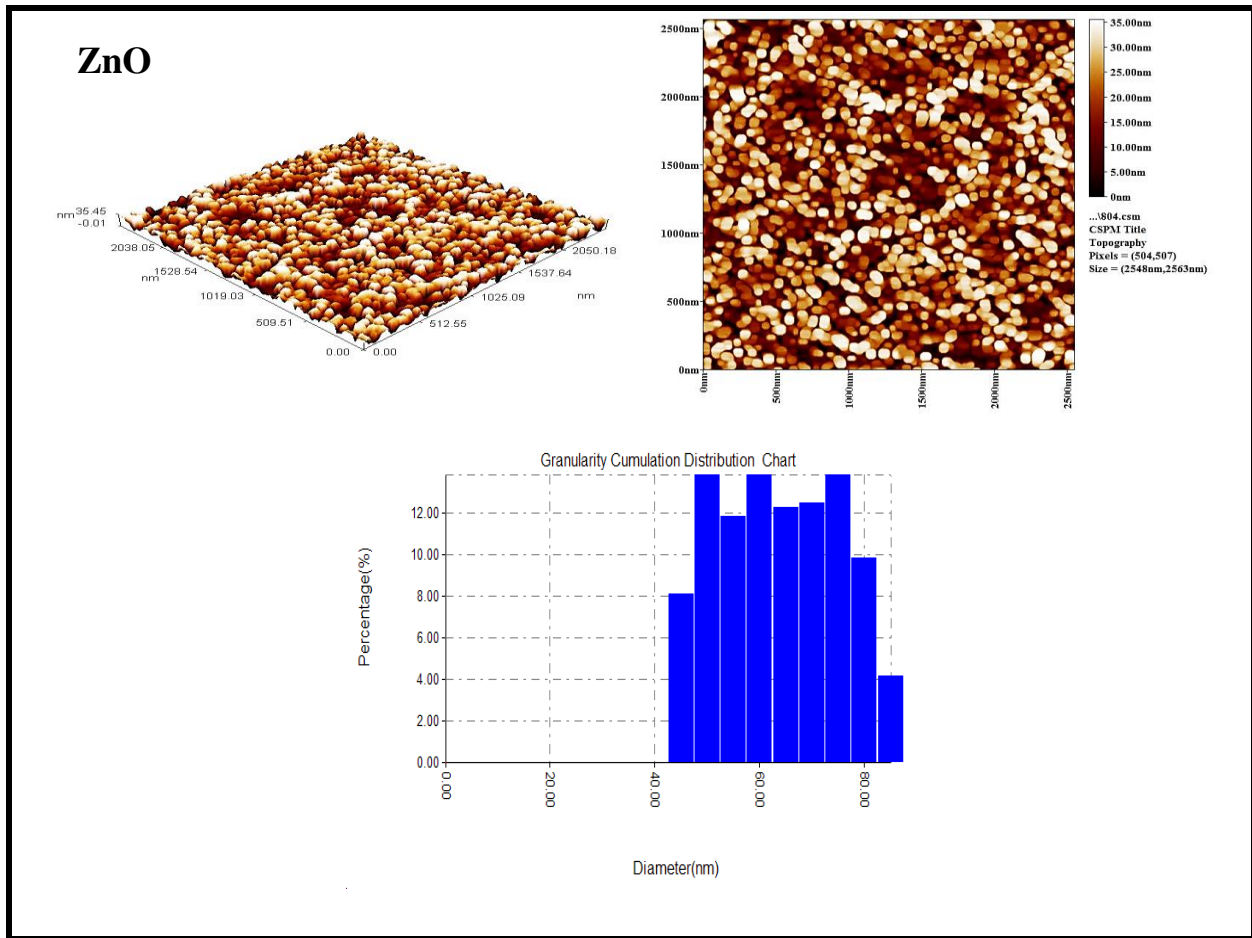
شكل (3-4) طيف EDX لغشاء ZnO الرقيق

جدول (3-4) نسب خلط غشاء ZnO الرقيق

ZnO Pure	Compound percentage (%)			Total
	C	O	Zn	
	7.59	12.92	79.49	100.00

4-4 قياسات مجهر القوة الذرية (AFM) Atomic Force Microscope Measurements

يوضح الشكل (4-4) صورة ثنائية الأبعاد وأخرى ثلاثية الأبعاد والمدرج التكراري لمجهر القوة الذرية (AFM) حيث تبين الصور كيفية توزيع الحبيبات على سطح الغشاء ومن خلال هذا التوزيع يمكن حساب معدل الحجم الحبيبي فكان 50.78 nm وكانت خشونة السطح 7.63nm وكما موضح في الجدول (4-4) وهذه النتائج بالاعتماد على المدرج التكراري .



شكل (4-4) صور AFM لغشاء ZnO المحضرة بتقنية الليزر النبضي (PLD)

جدول (4-4) يبين الخصائص التركيبية والطبوغرافية لأغشية ZnO المحضرة بتقنية الليزر النبضي (PLD)

العينة	خشونة السطح RA(nm)	الحجم الحبيبي حسب قياسات AFM (nm)	الحجم الحبيبي حسب قياسات SEM (nm)	الحجم البلوري حسب قياسات XRD (nm)	RMS(nm)
ZnO	7.63	50.78	59-83	47.5	8.96

5-4 نتائج قياسات الخصائص البصرية لأغشية (ZnO) بمطياف (UV-VIS)

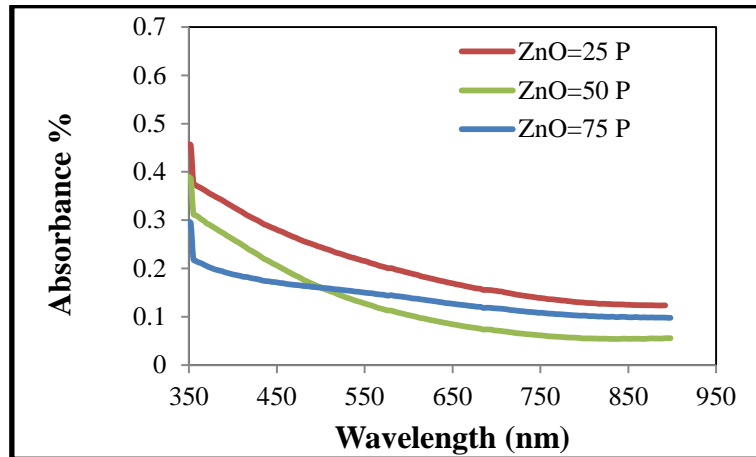
Result of Optical Properties Measurements by (UV-VIS)

تضمنت الخصائص البصرية قياس الامتصاصية والنفذية وعلاقتها بالطول الموجي وحساب قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقالات الالكترونية المباشرة وغير المباشرة لأغشية ZnO، وحساب معامل الامتصاص والانعكاسية، معامل الخمود ومعامل الانكسار وثابت العزل الكهربائي بجزئيه الحقيقي والخيالي والتوصيلية البصرية كدالة للطول الموجي، اذ تم إجراء جميع هذه الحسابات بالاعتماد على طيفي الامتصاصية والطول الموجي للأغشية المحضرة ومناقشة وتحليل النتائج.

Absorption

1-5-4 طيف الامتصاصية

يمكن أيجاد العديد من الثوابت البصرية من خلال دراسة طيف الامتصاصية حيث أُجريت القياسات ضمن مدى من الاطوال الموجية (350-1000) nm للأغشية المحضرة وفي درجة حرارة الغرفة. والشكل (4-5) يمثل تغير طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي حيث أوضح الشكل أن الامتصاصية تقل بزيادة الطول الموجي للغشاء. وهذا يعني فيزيائياً أن الفوتون الساقط لم يستطع أن يهيج الالكترون وينقله من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل لأن طاقة الفوتون الساقط أقل من فجوة الطاقة لشبه الموصل ولهذا فإن الامتصاصية تقل بزيادة الطول الموجي.



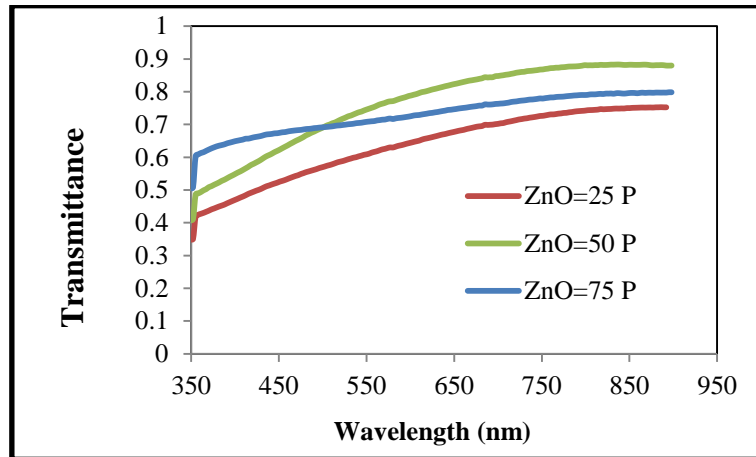
شكل (5-4) طيف الامتصاصية لأغشية ZnO المحضرة باختلاف عدد نبضات الليزر وبضغط اوكسجين 10^{-5} mbar ودرجة حرارة 250°C وكثافة طاقة الليزر $0.14\text{J}/\text{cm}^2$ وباستخدام تقنية الليزر النبضي (PLD)

Transmittance

2-5-4 طيف النفاذية

تعتمد النفاذية للأغشية بصورة عامة على سمك الغشاء وطبيعة السطح ونوع المادة والتركيب البلوري لها ودرجة حرارة القاعدة.

تم قياس نفاذية الاغشية في درجة حرارة الغرفة لمدى الاطوال الموجية (350-1000) nm، وأن التباين في نفاذية أغشية ZnO يعتمد على عدد نبضات الليزر. حيث انه بزيادة عدد نبضات الليزر تقل النفاذية كما موضح في الشكل (6-4) ويمثل تغير النفاذية كدالة للطول الموجي للأغشية المحضرة حيث أظهرت النتائج بأن نفاذية الأغشية تزداد مع زيادة الطول الموجي وأن معدل النفاذية في المنطقة المرئية للأغشية هو (84%) لذا فإن الأغشية تصلح بوصفها نافذة بصرية للخلايا الشمسية، لأن المنطقة الطيفية الفعالة في الخلايا الشمسية تقع في المنطقة المرئية وهذا يبرر الاهتمام المتزايد للباحثين في استخدام أغشية ZnO بوصفها نوافذ بصرية في الخلايا الشمسية.

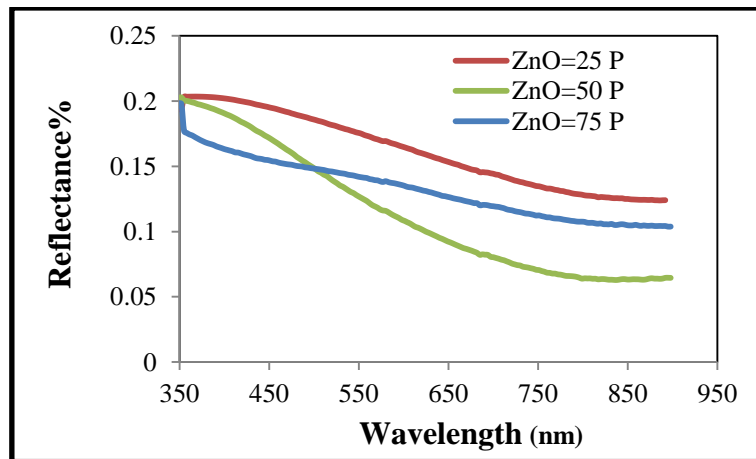


شكل (6-4) طيف النفاذية لأغشية ZnO المحضرة باختلاف عدد نبضات الليزر وبضغط اوكسجين 10^5 mbar ودرجة حرارة 250°C وكثافة طاقة الليزر $0.14\text{J}/\text{cm}^2$ وباستخدام تقنية الليزر النبضي (PLD)

Reflectance

3-5-4 طيف الانعكاسية

تم حساب الانعكاسية من طيفي الامتصاصية والنفاذية بموجب قانون حفظ الطاقة من المعادلة (2-12). اذ يبين الشكل (4-7) تغير الانعكاسية كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO ، إذ نلاحظ أن قيم الانعكاسية تنخفض بزيادة الطول الموجي أي عند الطاقات الفوتونية الأقل من قيمة فجوة الطاقة $h\nu < E_g$ فعند زيادة عدد نبضات الليزر تنخفض الانعكاسية لأنه يؤثر في التركيب البلوري لمادة الغشاء ويغير في طبيعة سطوح الأغشية .

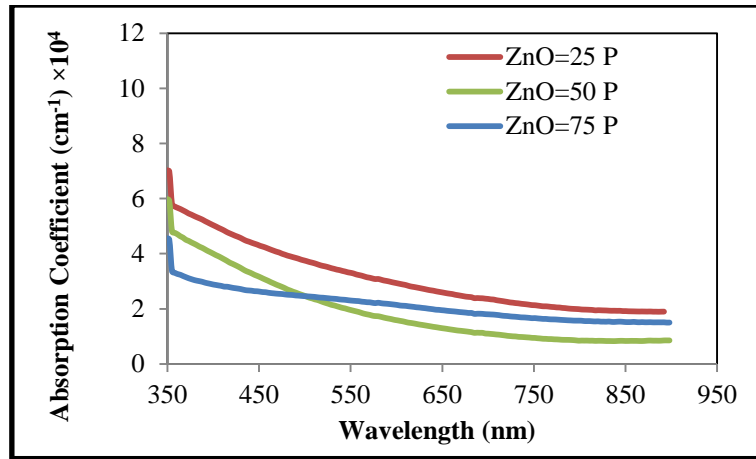


شكل (7-4) طيف الانعكاسية لأغشية ZnO المحضرة باختلاف عدد نبضات الليزر وبضغط اوكسجين 10^5 mbar ودرجة حرارة 250°C وكثافة طاقة الليزر $0.14\text{J}/\text{cm}^2$ وباستخدام تقنية الليزر النبضي (PLD)

Absorption Coefficient

4-5-4 معامل الامتصاص

تم حساب معامل الامتصاص من المعادلة (2-14) كدالة لتغير الطول الموجي (λ) ويبين الشكل (4-8) تغير معامل الامتصاص كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO إذ أن قيم معامل الامتصاص تزداد بالقرب من حافة الامتصاص الاساسية (قرب فجوة الطاقة) بسبب تكوين مستويات موضعية فيؤدي الى زيادة في عرض الذبول وهذا يعمل على انخفاض في قيم فجوة الطاقة وأزدياد في الامتصاصية .

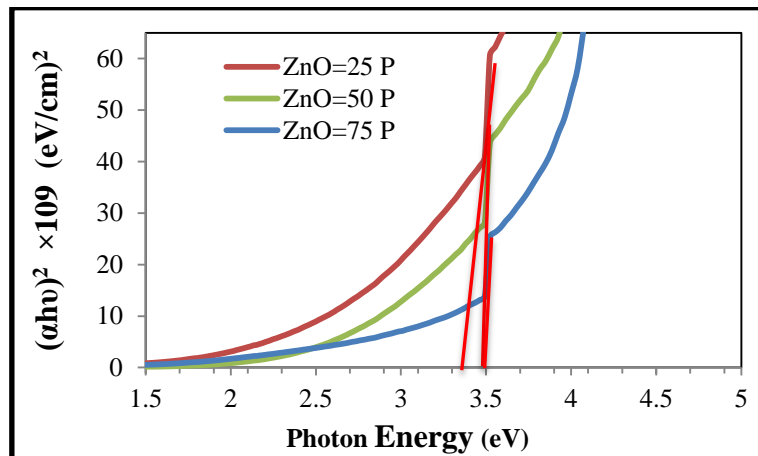


شكل (4-8) معامل الامتصاص كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO المحضرة باختلاف عدد نبضات الليزر وبضغط اوكسجين 10^{-5} mbar ودرجة حرارة 250°C وكثافة طاقة الليزر $0.14\text{J}/\text{cm}^2$ وباستخدام تقنية الليزر النبضي (PLD)

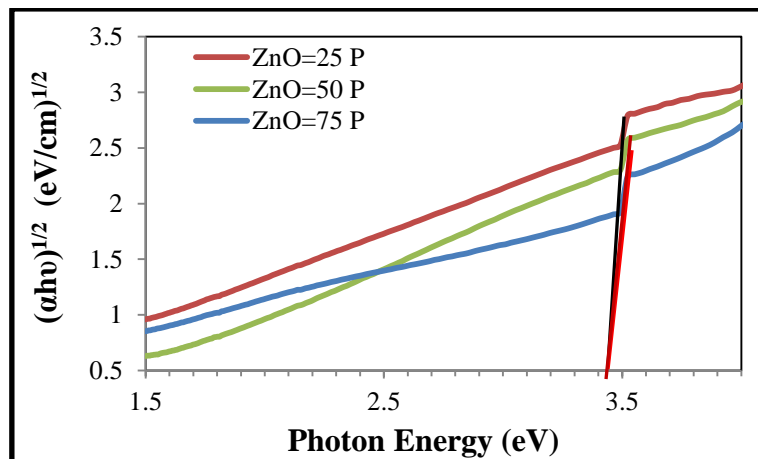
5-5-4 فجوة الطاقة (E_g) للانتقالات المباشرة وغير المباشرة

تم رسم العلاقة الخطية بين $(\alpha h\nu)^2$ وطاقة الفوتون الساقط ($h\nu$)، ورسم مماس للجزء المستقيم من المنحني ليقطع محور طاقة الفوتون عند النقطة $(\alpha h\nu)^2=0$ الذي يمثل قيمة فجوة الطاقة البصرية للانتقالات المباشرة المسموحة (E_g). وكما موضح بالشكل (4-9).
إذ تبين أن قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقالات المباشرة المسموحة للأغشية المحضرة لـ ZnO لا تتغير بزيادة عدد نبضات الليزر.

ويعزى سبب ذلك الى تكوين مستويات موضعية جديدة أسفل حزمة التوصيل وهذه المستويات مهيأة لاستقبال الالكترونات وتوليد ذبول في فجوة الطاقة البصرية وهذه الذبول تعمل باتجاه التقليل من فجوة الطاقة . اما بالنسبة لفجوة الطاقة البصرية للانتقال غير المباشر فتكون قيمتها اكبر من فجوة الطاقة المباشرة و تتغير عند زيادة عدد نبضات الليزر وكما في الشكل (4-10) وهذا واضح من خلال الجدول (4-4).



شكل (9-4) العلاقة بين $(\alpha hv)^2$ وطاقة الفوتون (hv) لأغشية ZnO المحضرة باختلاف عدد نبضات الليزر وبضغط اوكسجين 10^{-5} mbar ودرجة حرارة 250°C وكثافة طاقة الليزر $0.14\text{J}/\text{cm}^2$ باستخدام تقنية الليزر النبضي (PLD)



شكل (10-4) العلاقة بين $(\alpha hv)^{1/2}$ وطاقة الفوتون (hv) لأغشية ZnO المحضرة باختلاف عدد نبضات الليزر وبضغط اوكسجين 10^{-5} mbar ودرجة حرارة 250°C وكثافة طاقة الليزر $0.14\text{J}/\text{cm}^2$ باستخدام تقنية الليزر النبضي (PLD)

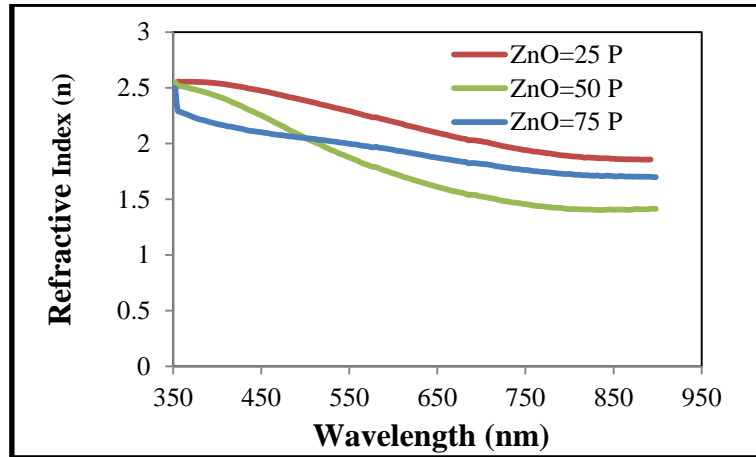
جدول (5-4) قياسات فجوة الطاقة البصرية المباشرة وغير المباشرة لأغشية اوكسيد الزنك ZnO

العينة	فجوة الطاقة البصرية المباشرة (eV)	فجوة الطاقة البصرية غير المباشرة (eV)
ZnO – 25P	3.48	3.23
ZnO – 50P	3.50	3.30
ZnO – 75P	3.50	3.38

Refractive Index

6-5-4 معامل الانكسار

يرتبط معامل الانكسار مع الانعكاسية وفقاً للمعادلة (2-23) والتي من خلالها تم حساب قيم معامل الانكسار. الشكل (4-11) يمثل تغيير معامل الانكسار كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO، إذ نلاحظ أن طبيعة منحنى معامل الانكسار مشابهة لطبيعة سلوك منحنى الانعكاسية وذلك لارتباط الانعكاسية مع معامل الانكسار.

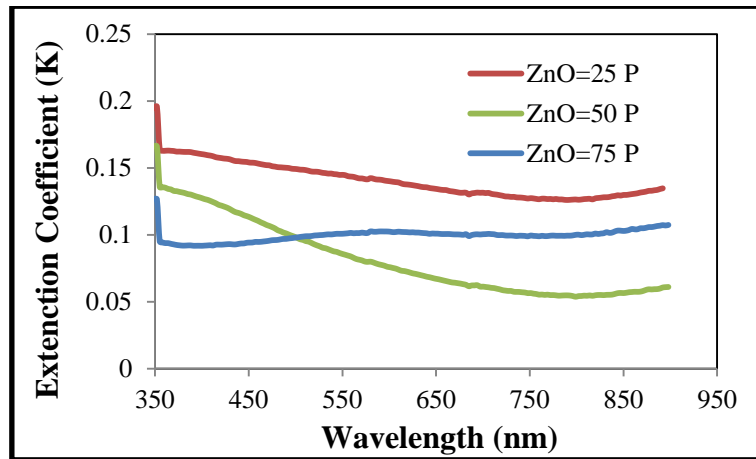


شكل (4-11) معامل الانكسار كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO المحضرة باختلاف عدد نبضات الليزر وبضغط اوكسجين 10^{-5} mbar ودرجة حرارة 250°C وكثافة طاقة الليزر $0.14\text{J}/\text{cm}^2$ وباستخدام تقنية الليزر النبضي (PLD)

Extinction Coefficient

7-5-4 معامل الخمود

تم حساب معامل الخمود لأغشية ZnO المحضرة بموجب العلاقة (27-2) ويبين الشكل (4-12) تغير معامل الخمود كدالة للطول الموجي لغشاء ZnO ، إذ نلاحظ أن هناك انخفاض قليل لقيم معامل الخمود عند قيم الطاقات الفوتونية القليلة ثم يعقبها زيادة واضحة في الطاقات العالية القريبة من فجوة الطاقة ويعزى سبب هذه الزيادة إلى المستويات المانحة المتكونة داخل فجوة الطاقة والتي أدت إلى زيادة معامل الخمود .

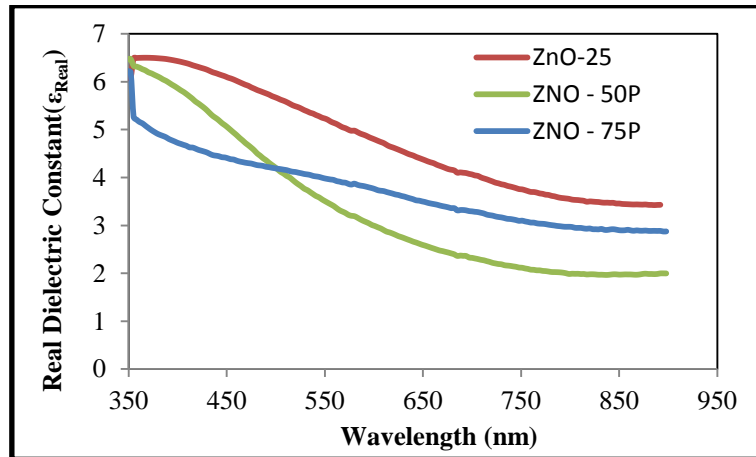


شكل (4-12) معامل الخمود كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO المحضرة باختلاف عدد نبضات الليزر وبضغط اوكسجين 10^{-5} mbar ودرجة حرارة 250°C وكثافة طاقة الليزر $0.14\text{J}/\text{cm}^2$ وباستخدام تقنية الليزر النبضي (PLD)

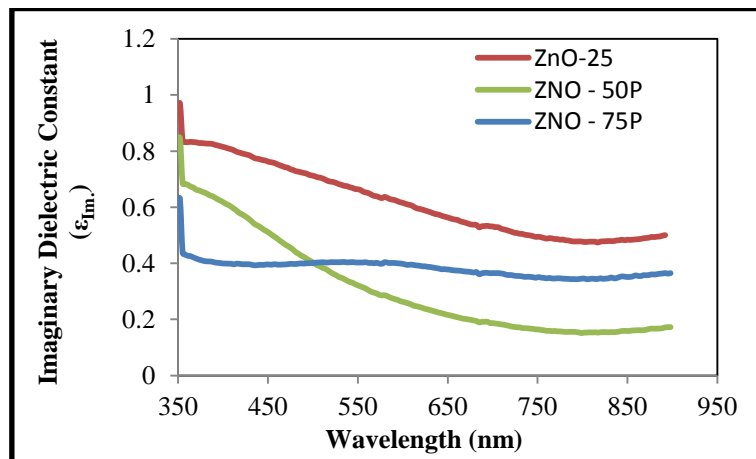
The Dielectric Constant

8-5-4 ثابت العزل الكهربائي

تم حساب ثابت العزل الكهربائي الجزء الحقيقي (ϵ_r) من المعادلة (2-31) لغشاء ZnO. يبين الشكل (4-13) تغير الجزء الحقيقي (ϵ_i) لثابت العزل الكهربائي كدالة للطول الموجي لأغشية أكسيد الزنك . إذ نلاحظ أن سلوك منحنى ثابت العزل الكهربائي الحقيقي يشبه إلى حد ما سلوك منحنى معامل الانكسار ، فنلاحظ أن المنحنى يبدأ بالارتفاع السريع عند قيم الطاقات الفوتونية العالية.



شكل (4-13) ثابت العزل الحقيقي كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO المحضرة باختلاف عدد نبضات الليزر وبضغط اوكسجين 10^{-5} mbar ودرجة حرارة 250°C وكثافة طاقة الليزر $0.14\text{J}/\text{cm}^2$ وباستخدام تقنية الليزر النبضي (PLD)



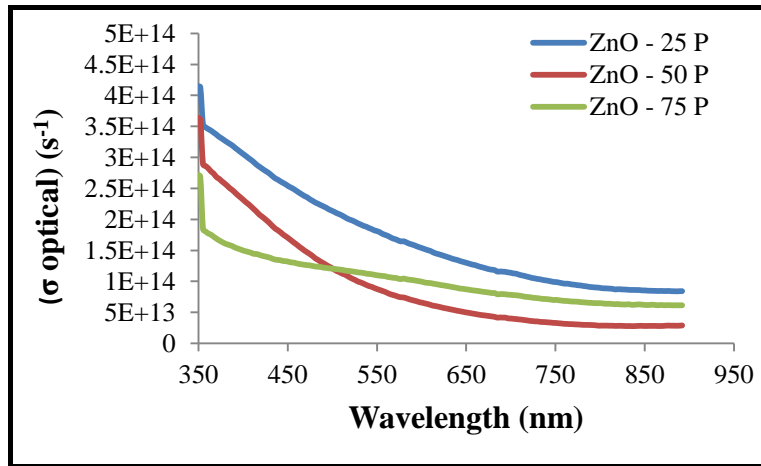
شكل (4-14) ثابت العزل الخيالي كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO المحضرة باختلاف عدد نبضات الليزر وبضغط اوكسجين 10^{-5} mbar ودرجة حرارة 250°C وكثافة طاقة الليزر $0.14\text{J}/\text{cm}^2$ وباستخدام تقنية الليزر النبضي (PLD)

أما بالنسبة لثابت العزل الكهربائي الخيالي (ϵ_i) فيوضحه الشكل (4-14) إذ نلاحظ أن المنحني يسلك سلوكاً "مشابهاً" لمنحني معامل الخمود وتم حساب ثابت العزل الكهربائي الخيالي من العلاقة (2-32). غشاء ZnO فنلاحظ أن قيمته تنخفض مع زيادة عدد نبضات الليزر.

9-5-4 التوصيلية البصرية

The Conductivity Optical

حسبت التوصيلية البصرية لأغشية ZnO من العلاقة (2-33) والشكل (4-15) يمثل تغير التوصيلية الضوئية كدالة للطول الموجي إذ يلاحظ أن قيم التوصيلية البصرية تزداد بزيادة طاقة الفوتون الساقط عليها ثم تزداد بشكل كبير عند الطاقات الفوتونية الأكبر من قيمة فجوة الطاقة وأما في حالة زيادة عدد نبضات الليزر نلاحظ ان التوصيلية تتخفض بشكل كبير وهذا يدل على انخفاض توصيلية الغشاء بزيادة عدد نبضات الليزر.



شكل (4-15) التوصيلية البصرية كدالة للطول الموجي لأغشية ZnO المحضرة باختلاف عدد نبضات الليزر وبضغط اوكسجين 10^{-5} mbar ودرجة حرارة 250°C وكثافة طاقة الليزر $0.14\text{J}/\text{cm}^2$ وباستخدام تقنية الليزر النبضي (PLD)

Conclusions**4-4 الاستنتاجات**

بعد ان تم استعراض النتائج ومناقشتها تم التوصل إلى الاستنتاجات الآتية:

- 1- نفاذية غشاء ZnO تصل الى 85% للضوء المرئي وعند الطول الموجي 700 nm والقريبة من الأشعة تحت الحمراء عند ظروف تحضير معينة ، ولهذا السبب تستخدم أغشية ZnO كنوافذ جيدة للخلايا الشمسية .
- 2- يمتلك غشاء ZnO فجوة طاقة مباشرة مقدارها 3.5 eV عند عدد نبضات الليزر 50 وفجوة طاقة غير مباشرة تزداد بزيادة عدد نبضات الليزر عند درجة حرارة أساس $^{\circ}\text{C}$ (250) وضغط أوكسجين 10^{-5} mbar وكثافة طاقة ليزر 0.14 J/cm^2 .

Future Projects**4-5 المشاريع المستقبلية**

- 1- دراسة الخصائص الكهربائية لأغشية اوكسيد الزنك ZnO .
- 2- تحضير أغشية اوكسيد الزنك ZnO كمتحسسات للغازات السامة مثل CO، NO و NO₂ .
- 3- تحضير أغشية اوكسيد الزنك ZnO كخلايا شمسية .

References

المصادر

References

-
- [1] A. Lopez Otero, "Hol wall epitayg thin solid films", Vol.49 ,No.(3),(1978).
- [2] K. D. Loaver, "Thin Films", Wykoham Publications, London,(1971).
- [3] احمد امين سلمان ، احمد فؤاد باشا وشريف احمد خيرى ، "فيزياء الجوامد" ، مطبعة دار الفكر العربي، (2000).
- [4] H.A. Macleod, "Thin Film Optical Fillers", 3rd Ed. , (2001).
- [5] J. R. Son, "Thin Film Technologies", 2nd Ed. , (1986).
- [6] هبة سلام طارق ، " تحضير أغشية اكاسيد النحاس CuO و Cu₂O بواسطة الليزر ودراسة خصائصها التركيبية والبصرية" ، قسم العلوم التطبيقية في الجامعة التكنولوجية ، أطروحة ماجستير، (2009).
- [7] J. Aranovich , "J. Vac. Sec. Technol.", Vol. 16, No. 4, p.994 ,(1979).
- [8] ا ب جي هايت "التكنولوجيا وفيزياء اجهزة اشباه الموصلات" ، ترجمة جامعة الموصل ، (1990).
- [9] Ü. Özgür, Ya. I. Alivov, C. Liu, A. Teke, M. A. Reshchikov, S. Doğan, V. Avrutin, S. J. Cho, and H. Morkoc, "A Comprehensive Review of ZnO Materials and Devices", J Appl.Phys, Vol.98, p.103, (2005).
- [10] ZnO -Wikipedia, the free encyclopedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Zinc_Oxide, (2016).
- [11] R. M. Balabai, and P. V. Merzlikin, " Electronic properties of doped ZnO films: AB initio calculations", Journal of Physics, Vol. 55, (2010).
- [12] Jin-Hong Lee, Byung-Ok Park , "Transparent conducting ZnO :Al, In and Sn thin films deposited by the sol-gel method", Thin Solid Films , Vol.426, p.94 , (2003).
- [13] Müjdat Caglar, Saliha Ilcan ,Yasemin Caglar, "Influence of Substrate Temperatur on Structural and Electrical Properties of ZnO Films", Trakya Univ. J Sci , Vol. 7 , No. 2:, p. 153 ,(2006).
- [14] C.Gümüs, O.M. Ozkendir, H.Kavak, Y.Ufuktepe, "Structural and optical properties of Zinc oxide thin films prepared by spray pyrolysis method", Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol. 8, No.1, p. 299 , (2009).

- [15] M. Caglar, Y. Caglar, S. Ilican , "The determination of the thickness and optical constants of the ZnO crystalline thin film by using envelope method", Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol.8, No.4, p. 1410 ,(2006).
- [16] S. Ilican, M. Caglar, Y. Caglar, "Determination of the thickness and optical constants of transparent indium-doped ZnO thin films by the envelope method "Materials Science-Poland, Vol. 25,No. 3, p. 710 , (2007) .
- [17] S. Sali, M. Boumaour and R.Tala-Ighil,"Preparation and characteristic of low resistive zinc oxide thin films using chemical spray technique for solar cells application",Revue des Energies Renouvelables Cicme, 8 Sousse, p. 201 ,(2008).
- [18] Chien-Yie Tsay, Hua-ChiCheng, Yen-Ting Tung, Wei-Hsing Tuan, Chung-Kwei Lin, "Effect of Sn-doped on microstructural and optical properties of ZnO thin films deposited by Sol- gel method" Thin Solid Films, Vol. 517, p. 1032 ,(2008).
- [19] C. Periasamy, Rajiv Prakash, P. Chakrabarti, "Effect of post annealing on structural and optical properties of ZnO thin films deposited by vacuum coating technique", J Mater Sci. , Mater Electron,(2009).
- [20] C. Kittel , "Introduction to solid state physics" ,6th. Ed. , Wiley,(1986).
- [21] P. J. Brown and j. B. Forsyth, "The crystal structure of solid", Arnold,(1973).
- [22] أس. أم. زي، "نباائط أشباه الموصلات فيزياء وتقنية" ، دار الحكمة للطباعة والنشر (الموصل)، ترجمة د. فخر غالب حيالي و د. حسين علي أحمد (1990).
- [23] B.L. Mattes, "Polycrystalline and Amorphous thin films and devices", Academic Press, (1980).
- [24] D. A. Neamen , " Semiconductor Physics and Devices", University of New Mexico , (1992).
- [25] M. Fox, "Quantum optics; an introduction", Oxford University, Press, (2006).

- [26] A. Guinier, "X-ray diffraction in crystals, imperfect crystals, and amorphous bodies", Freeman, San Francisco, (1963).
- [27] J. Als-Nielsen and D. McMorrow, "Elements of modern X-ray physics", John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, (2001).
- [28] C. S. Barrett and T.B. Massalski, "Structure of metals", Mc Graw-Hill, New York (1966).
- [29] A. Singh, D. Khanna, P. K. Khanna, B. C. Joshi , and M. Kumar, " Effect of post annealing temperature on structural and optical properties of ZnCdO thin films deposited by sol–gel method", Appl. Surf. Sci. , Vol. 258, No. 5, pp. (1881-1887), (2011).
- [30] A. A. Yousif, "Structural, "Morphological, photo-properties of heterojunction ZnO nanostructure films deposited on n-Si(100)by PLD", IJAIEM, Vol. 3, pp. (44-55), (2014).
- [31] A. H. Moharram, S. A. Mansour, M. A. Hussein, and M. Rashad, " Direct precipitation and characterization of ZnO nanoparticles", J. of Nanomaterials, Vol. 1014, p. 5, (2014).
- [32] A. Singh and P. Kumar, " Structural, morphological and optical properties of sol- gel processed CdZnO nanostructured films: effect of precursor solvents", International Nano Letters, Vol. 3, p. 57, (2013).
- [33] A. L. Efros and B. I. Shklovskii, "Critical behaviour of conductivity and dielectric constant near the metal-non-metal transition threshold", Physical Status Solid (b), Vol. 76, No. 2, pp. (475-485), (1976).
- [34] A. Ivashchenko and I. Kerner , "Physical approaches to improvement of semiconductor Gas sensor based on SnO₂ thin films", Moldavian J. of the Physical Sciences, Vol. 2, No.1, pp.(95-102), (2003).
- [35] F. Scholz , "Compound Semiconductors", book, (2009).
- [36] M. G. Yousif, "Solid state physics" ,Vol.1, University of Baghdad book, (1989).

- [37] J. I. Pankove, "Optical Processes in Semiconductors", Prentice-Hall, New Jersey, (1971).
- [38] A. H. Clark, "Optical properties of polycrystalline and amorphous thin films and devices ", Edited by Laurence L. Kazemerki, Academic press, (1960).
- [39] S. Ben , "Solid State Electronic Devices" , Hall International , Inc , U. S. A. ,(1990).
- [40] M. S. Dresselhaus , "Optical Properties of Solids", Part II , (1998).
- [41] Y. Sirotni ,Y. M. Shaskolskaya , "Fundamentals of crystal physics " , Mir Publishers , Moscow, (1982).
- [42] V. Kumar, G. S. Sandhu, T. P. Sharma, and M. Hussain , "Growth and Characterization of $Cd_{1-x}Zn_xTe$ -Sintered Films", Research Letters in Materials Science , (2007).
- [43] Li Jin , Yang Linyu , Jian Jikang , Zou Hua , and Sun Yanfei , " Effects of Sn-doping on morphology and optical properties of CdTe polycrystalline films", Journal of Semiconductors, Vol. 30, No. 11 , (2008).
- [44] G. Gordillo, F. Rojas and C. Calderón , " Optical characterization of $Cd(S_xTe_{1-x})$ thin films deposited by evaporation", Superficies y Vacío , Vol. 16, No. 3 , pp.(30-33), (2003).
- [45] G. G. Rusu , M. Rusu , "Optical Behavior of Multilayered Cdte/Cu Thin Films Deposited By Stacked Layer Method" , J. of Opt. and Advanced Materials, Vol. 7, No. 2 , pp.(885 – 889) , (2005).
- [46] M. Marafi, F. El Akkad, B. Pradeep , "Properties of R.F. Sputtered Cadmium Telluride Thin Films " , Journal of Materials Science, Vol.14, pp.(21 – 26) , (2003).
- [47] S. Weng , M. Cocivera , "Preparation and Properties of Cadmium Telluride Prepared by a Three-Step Process", Chem. Mater. ,Vol. 5, pp.(1577-1580),(1993).

References

[48] د. رائد عبد الوهاب ، أ.د وليد خلف حمودي ، " تحسين الخصائص الكهربائية لكاشف سيليكوني ثنائي الوصلة" ، مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 23 ، العدد 5 ، رقم الصفحة (246 – 250) ، (2004).

[49] J. D. Kraus, "Electromagnetic " , 3rd Ed. , Mc Graw-Hill, (1984).

[50] د. رائد عبد الوهاب ، د وليد خلف حمودي ، " تصنيع وتحسين خصائص كاشف سيليكوني نوع ثنائي الوصلة " ، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 20، العدد 4، رقم الصفحة (169 – 179) ، (2001).

Summary

The ZnO film have been prepared by pulsed laser deposition using a Nd:YAG laser beam ($\lambda=532$) nm , preparation on glass substrate with determine conditions including substrate temperature (250) °C , oxygen pressure 10^{-5} mbar, laser energy density 0.14 J/cm^2 , and number of laser pulses (25 , 50, and 75) then studying structural and optical properties of ZnO film preparing in this conditions.

The crystallization of the ZnO film was determined by X-ray diffraction. It was found to have a multi-crystalline structure depending on the preparation conditions. The structure of the film depends heavily on the base temperature. We observed that at 250 ° C, the structure is wurtzite hexagonal.

The surface morphology of the sedimentation materials was studied using SEM microscopy and AFM. The average grain size at the SEM measurements was (59 - 83) nm. The mixing ratios (EDX) showed that the film contained the elements of carbon, oxygen, and zinc and the by proportions (7.59, 12.92, 79.49) respectively. As for the AFM measurements, the average grain size was 30.55 nm and the roughness of the surface was 11.8 nm and the root mean square of the roughness was 14.3 nm.

Optical properties were studied by measuring the absorbance and transmittance spectrum as a function of the wavelength of ZnO film and the visual transmittance results were higher than 84% at certain preparation conditions, making them suitable for solar cell applications. The direct optical energy gap (3.48) eV and indirect (3.23) eV , and increase by the increased the number of laser pulses at a basis temperature of 250 °C, oxygen pressure of 10^{-5} mbar, laser energy density of 0.14 J/cm^2 , number of laser pulses (25, 50, 75).

Also the optical constants such as refractive index, extinction coefficient and dielectric constant have been calculated for film preparing.

Ministry of Higher Education
and Scientific Research
University of Al - Qadisiyah
College of Science
Department of Environment



Study of Structural And Optical Properties of Zinc Oxide

**Research Submitted to the Department of Environment ,
College of Science , University of Al - Qadisiyah as Part of
the Requirements Obtain a Degree Bachelor in
Environmental Sciences**

By

Sultan Fahad Shaher

Supervision

Dr. Saleem Hamza Al -Taweel

2018 A.D

1 439A.H