

تحضير أغشية رقيقة من ZnO كوسط فعال لليزرات العشوائية ودراسة خواصها البنيوية والضوئية

أ. م. د. إبراهيم الغريبي**

خالد الدرياس*

د. محمد سعيد معروف***

الملخص

حُضِرَتْ وبنجاح أغشية رقيقة من أكسيد الزنك ZnO بسماكات مختلفة على ركائز زجاجية بطريقة السول - جل، وباستخدام خلاص الزنك المائية كمصدر رئيسي لشوارد الزنك Zn^{+2} . شُخِصَتْ مورفولوجيا السطح بواسطة مجهر القوة الذرية (AFM)، ووصفت الأغشية المحضرة بنيوياً بواسطة طيف انعراج الأشعة السينية (XRD)، أما التحليل العنصري فقد تم بواسطة مطيافية تشتت الطاقة للأشعة السينية (EDX). دُرِست الخواص الضوئية للأغشية المحضرة بواسطة المطيافية الضوئية في منطقة تحت الأحمر والمرئي وفوق البنفسجية UV - VIS - IR والتألق الضوئي (PL). أظهرت صور الـ AFM أن الأغشية المحضرة ناعمة ومتجانسة، وخصوصاً من أجل السماكات العالية، وأن الحبيبات الناتجة على السطح تأخذ شكل قضبان متقطعة، متوسط قطرها يساوي 240nm. بيّن طيف الـ XRD أن التوجه

*طالب ماجستير، المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته، جامعة دمشق، سورية.

**أستاذ مساعد، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

***مدرس، المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته، جامعة دمشق، سورية.

البلوري السائد للغشاء المحضر هو (112)، وأن أبعاد بلوراته الوسطي يساوي 19nm، في حين أظهرت طيف الـ EDX أن التركيب العنصري لتلك الأغشية هو من أكسيد الزنك. بينت الأطياف الضوئية للأغشية المحضرة أنه بالإمكان الحصول على أفلام شفافة من ZnO تتراوح نفاذيتها بين 77% و 92% في منطقة المرئي وتحت الأحمر. حُسبت قيمة الفجوة الطاقية المباشرة للأغشية المحضرة بدلالة السماكة، والتي تراوحت بين (3.256 eV – 3.273 eV). لوحظ من خلال مطيافية التآلق الضوئي وجود قمة إصدار عند الطول الموجي 616nm في العينة E، وقمة إصدار عند الطول الموجي 648nm في العينة F، وهذا ما يرشحها لأن تكون وسطاً فعالاً لليزر العشوائي.

كلمات مفتاحية: السول - جل. أغشية رقيقة. أكسيد الزنك. أنصاف نواقل. ليزر عشوائي. مجهر القوة الذرية. انعراج الأشعة السينية. تشتت الطاقة للأشعة السينية. المطيافية الضوئية. التآلق الضوئي. الفجوة الطاقية.

Preparation of ZnO thin films as an effective medium for random lasers and study of their structural and optical properties

Kh. Alderbas*

Dr. I. Alghoraibi**

Dr. M. S. Marouf***

Abstract

Thin films of ZnO were successfully prepared on glass substrates with different thicknesses by sol-gel method by using zinc acetate dehydrate as precursor. The surface of thin films morphology from were studied by AFM micrographs, the structural properties of the obtained ZnO thin film are studied using X-ray diffraction spectra and their elemental analysis by X-ray energy dispersion spectroscopy (EDX). Moreover, optical properties and emission of ZnO nano thin film were studied using spectrophotometer and photoluminescence spectra. The AFM investigations have revealed that the morphology of the films is smooth and homogeneous specially for the high thickness and the grains produced on the surface take the form of nano rods with an average diameter of 240nm. Structural analysis by X-ray diffraction showed that the deposited films have a preferred orientation along the direction (112) and are relatively uniform with

* Master Student, Higher Institute for Laser Research and Applications (HILAR), Damascus University, Syria.

** Associate Professor., Department of Physics, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria.

*** Assistant Professor, Higher Institute for Laser Research and Applications (HILAR), Damascus University, Syria.

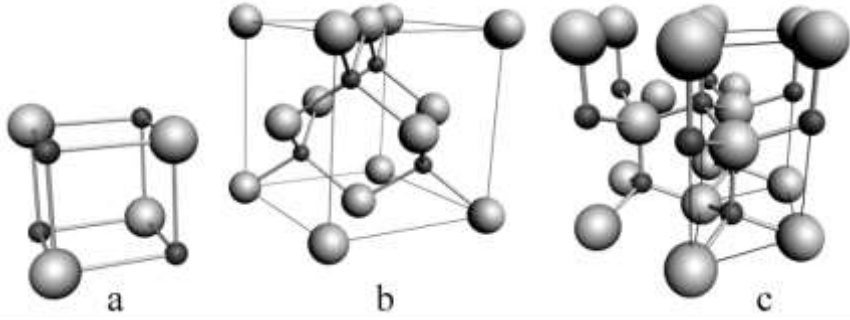
average crystal size 19nm, while the EDX spectrum showed that the elemental composition of these films is zinc oxide. The optical spectra of prepared films confirm that it is possible to get good transparent ZnO films with a transmission of 77 to 92% in the visible and infrared. The values of optical gaps E_g vary between 3.273 - 3.256 eV. The peak of photoluminescence exhibited a visible emission peaks at 616nm and 648nm that refers to possibility of using thin films as an effective medium of random laser.

Keywords: Sol – Gel. Thin Films. ZnO. Semiconductor. Random Laser. Atomic Force Microscope. X-Ray Diffraction. Energy Dispersive X – ray. Optical spectroscopy. Photoluminescence. Energy Gap.

1. مقدمة

حظيت مادة أكسيد الزنك ZnO باهتمام كبير في السنوات الأخيرة نظراً لفجوتها الطاقية العريضة والتي تمتد بين (3.2 – 3.4eV)، وطاقة انتزاع الأكسيتون العالية بحدود 60meV بدرجة حرارة الغرفة [1,2,3]. ويعد أكسيد الزنك ZnO من أنصاف النواقل من النوع n، ويتشكل نتيجة اتحاد عنصر من المجموعة II مع عنصر من المجموعة VI من الجدول الدوري. يمكن أن يتواجد بشكل بلوري، أو متعدد التبلور، أو غير متبلور.

يمكن أن يتبلور بعدة أشكال، منها: السداسي المتراس (Hexagonal wurtzite)، والملح الصخري (rock salt)، وبنية سفاليريت Zincblende. والشكل (1) يوضح الفرق بين تلك البنى البلورية آنفة الذكر [4].

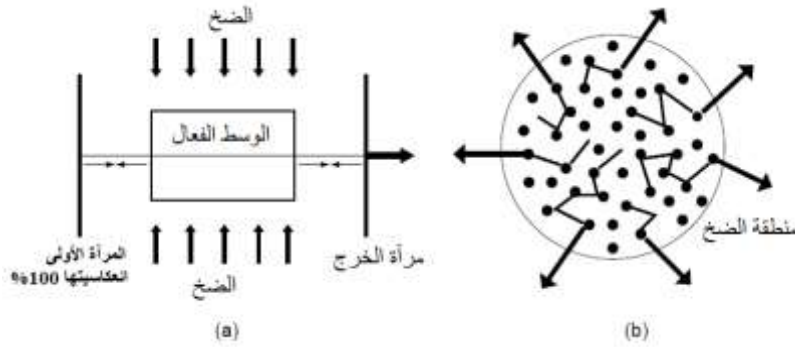


الشكل (1) البنى البلورية لـ ZnO. (a) بنية الملح الصخري، (b) بنية سفاليريت،

(c) بنية السداسية المتراسة.

الكرات الصغيرة تمثل ذرات الزنك، والكرات الكبيرة تمثل ذرات الأوكسجين. تُعدُّ الأغشية الرقيقة المحضرة من ZnO بمثابة مواد مثالية التي تدخل في العديد من التطبيقات الصناعية كتصنيع الأجهزة الإلكترونية الضوئية ذات الأطوال الموجية

القصيرة مثل ليزر الأشعة فوق البنفسجية [5]، والثنائيات الضوئية (Light-Emitting Diodes (LED) [6]، والكواشف الضوئية للأشعة فوق البنفسجية [7]، وأقطاب كهربائية ناقلة شفافة للخلايا الشمسية [8]، وترانزستورات الأغشية الرقيقة [2]، وموجهات الأمواج الضوئية (Optical Waveguides) [9]، والحساسات الغازية [10,11,12] وأجهزة أشباه الموصلات المغناطيسية المخففة [13]، وأجهزة الموجات الصوتية السطحية [14]. ومن بين تلك التطبيقات الواعدة لأكسيد الزنك استخدامه كوسط فعال لتوليد الليزر العشوائي [15]، الذي يعدّ مجالاً من مجالات البحث الحديثة التي لها تطبيقات عديدة في المجال الطبي، وعمليات البحث، والإنقاذ، ومراقبة تدفق السوائل، والحساسات الحرارية [16]. وتختلف الليزر العشوائية عن الليزر التقليدية كونها لا تحتاج إلى مجاوبة ضوئية، حيث يقوم الوسط الفعال بتضخيم الضوء عن طريق التبعثرات المتعددة على الذرات، وهذه العملية تدعى بالتغذية الراجعة (Feedback) [17]. يوضح الشكل (2) الفرق بين الليزر التقليدي والليزر العشوائي [18].



الشكل (2) الفرق بين الليزر التقليدي والعشوائي. (a) - مخطط لليزر التقليدي.

(b) - الليزر العشوائي.

ظهرت إمكانية استخدام الأغشية الرقيقة كوسط فعال لليزر العشوائي مع بداية القرن الحالي:

- في عام 2000 تمكن كلٌّ من R. K. Thareja و A. Mitra من توليد ليزر عشوائي من مسحوق ZnO عالي النقاوة (99.99%)، حيث كانت العينة على شكل قرص مضغوط بقطر 2cm وسماكة 0.8mm. تم ضخها بالمدرج الثالث لليزر الـ Nd – Yag، طول موجته 355nm، ومعدل التكرار 10Hz، وزمن النبضة 5nsec، بعنبة إصدار ليزري (1500 KW/cm^2) [19].
 - في عام 2004 قام كلٌّ من Clement Yuen وآخرون برصد عملية الليزر من أغشية ZnO المحضرة بطريقة التفريغ الكهربي (Filtered Cathodic Vacuum Arc) على شرائح من السيلكون (100). تمت عملية الضخ بالمدرج الثالث لليزر الـ Nd – Yag، طول موجته 355nm، ومعدل التكرار 10Hz، وزمن النبضة 6nsec [20].
 - في عام 2019 قام كلٌّ من Fatima I. Sultan وآخرون بدراسة الخواص البنيوية والطيفية لكريات ZnO النانوية المحضرة بالطريقة الحرارية المائية (hydrothermal)، حيث تعمل هذه الكريات كوسط لليزر العشوائي. استُخدمت جزيئات الـ ZnO النانوية كمراكز تبعثر بعد مزجها بالرودامين 6G (R6G) بتركيز من 4 – 10 mol/L وبوليمير (Poly methyl methacrylate) (PMMA) مشكلاً غشاءً، وبيّنوا من خلال دراسة التآلق للأغشية المحضرة وجود قمة إصدار عند الطول الموجي 568nm، ومن ثمّ يمكن أن يستخدم الغشاء كوسط لإصدار الليزر [21].
- تُحضّر أغشية أكسيد الزنك بطرائق مختلفة غالباً، وأكثرها شيوعاً طريقة السول – جل، حيث تعتمد هذه الطريقة على البلمرة اللاعضوية، والتي تبدأ بتحضير محلول غروي بعملية الهدرجة (Hydrolysis)، يدعى السول الذي يخضع لعملية التكتيف

(Condensation) للحصول على المادة الهلامية. وبعد التجفيف والمعالجة الحرارية يمكن الحصول على مكونات صلبة. وهي الطريقة المتبعة في هذا البحث.

2. مواد البحث

1.2 الأجهزة ، والأدوات المستخدمة:

- بياشر، وأنايب اختبار .
- شرائح زجاجية أبعادها (1.2، 76.2، 25.4) mm، وقرينة انكسارها $n_s = 1.52$.
- جهاز تنظيف بالأمواج فوق الصوتية مع مثبت لدرجة الحرارة طراز DSA100-GL-4.0L.
- خلاطات مغناطيسية (Magnetic stirrer).
- منظومة التوضيع بالغمس Dip coating، موديل HO-TH-01.
- مجففة ($0-250\text{ }^\circ\text{C}$) من شركة MEMMERT.
- ميزان إلكتروني حساس بدقة تصل إلى 0.00001g، من نوع (SHIMADZU).
- فرن من طراز Carbolite™ CWF1223-230SN + & 02-3216P1.
- مجهر القوة الذرية AFM صنع شركة Nanosurf السويسرية، طراز easyScan2.
- جهاز المطيافية الضوئية UV – VIS – IR طراز Varian carry 5000.
- إن الأجهزة والأدوات المذكورة أعلاه متوفرة في قسم الفيزياء. أما الأجهزة المستخدمة المتوفرة في هيئة الطاقة الذرية فهي:
- جهاز قياس الـ X – Ray Diffraction.
- جهاز EDX من شركة TESCAN موديل VEGA II XMU.
- جهاز قياس التآلق الضوئي (Photoluminescent).

2.2 المواد المستخدمة:

خلات الزنك المائية ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) كمصدر لشوارد الزنك Zn^{+2} ومحلل الإيثانول (C_2H_5OH) كمادة محلّة، وأحادي إيثانول أمين (MEA) (C_2H_7NO) كعامل محفّز. إنّ المواد المستخدمة جميعاً من صنع شركة Sigma Aldrich وبنقاوة عالية %99.9.

3.2 تنظيف الشرائح:

تعدُّ مرحلة تنظيف الشرائح من أهم المراحل التي تؤدي دوراً أساسياً في الحصول على أغشية رقيقة متجانسة وذات التصاقية عالية، كما أنّ نظافة الشرائح تؤثر في نوعية الأغشية الرقيقة المحضرة ومواصفاتها، مع الإشارة إلى أنّ اختيار طريقة التنظيف ومستوى التنظيف المطلوب يعتمد على نوع الشرائح المستخدمة وطبيعتها . جرى تنظيف الشرائح المستخدمة باتباع الخطوات الآتية:

1- وُضِعَت الشرائح في مزيج من الماء المقطر وحمض الازوت HNO_3 مدة عشر دقائق.

2- نُقِلَت الشرائح إلى وعاء يحوي محلول الإيثانول الذي وضع في جهاز الأمواج فوق الصوتية (Ultrasonic) مدة 10 دقائق.

3- بعد ذلك وُضِعَت الشرائح في وعاء يحوي ماءً مقطراً. ووُضِعَ الوعاء في جهاز الأمواج فوق الصوتية (Ultrasonic) مدة 10 دقائق.

4- أخيراً وُضِعَت الشرائح في المُجَفِّفَة عند درجة حرارة $115^\circ C$ ، مدة عشر دقائق لتستخدم لاحقاً.

4.2 تحضير العينات:

جرى تحضير سول الـ ZnO باستخدام خلات الزنك المائية كمصدر لشوارد الزنك، والإيثانول كمذيب، وأحادي إيثانول أمين (Monoethanolamine (MEA)) كمثبّث ومحفّز [22].

في البداية تم وضع كمية الإيثانول في حمام مائي درجة حرارته 70°C ، ثم أُضيفت خللات الزنك المائية بتركيز 0.25mol/L مع تحريك المزيج بواسطة الخلاط المغناطيسي (Magnetic stirrer). وبعد ذلك أُضيف MEA بشكل قطرات إلى المحلول بحيث تصبح النسبة المولية لخللات الزنك المائية إلى الـ MEA 1:1. مع الاستمرار بعملية تحريك المزيج مدة ساعتين [22].

لتوضيح المحلول المحضر على الركائز الزجاجية النظيفة استُخدم جهاز التوضيع بالغمس (Deep Coating)، حيث كانت سرعة الغمس 3mm/s ، ومدته 30sec . بعد ذلك جُففت الأغشية بدرجة حرارة 100°C مدة عشر دقائق للتخلص من المذيب، ثم أُدنت الشرائح في فرن درجة حرارته 500°C مدة ساعة واحدة. كررنا العملية أكثر من مرة للحصول على أغشية بسماكات مختلفة.

استُخدمت الطريقة الوزنية لقياس سماكة الأغشية المحضرة، في البداية جرى قياس كتلة الغشاء m المترسب على الركيزة باستخدام المعادلة الآتية:

$$m = M_2 - M_1 \quad (1)$$

حيث إن:

M_1 : كتلة الركيزة قبل وضع الغشاء، M_2 : كتلة الركيزة بعد وضع الغشاء.
بعد ذلك حُسبت سماكة الغشاء باستخدام العلاقة:

$$d = \frac{m}{\rho \cdot X \cdot Y} \quad (2)$$

حيث إن: ρ كثافة المادة المتموضعة على الشريحة، وقيمتها بالنسبة لأكسيد الزنك (5.606 g/cm^3) [4]. و X, Y أبعاد الغشاء بوحدة الـ cm .

جرى في هذا البحث تحضير ست عينات موزع عليها مادة أكسيد الزنك بسماكات مختلفة. يبين الجدول (1) العينات المحضرة، وعدد الطبقات، وكتلة الغشاء، وأبعاده في كل عينة.

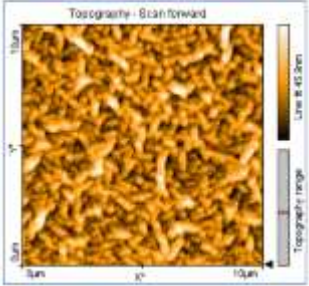

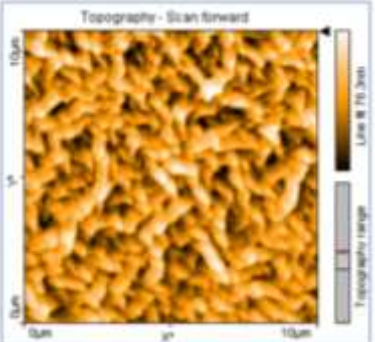
الجدول (1) أبعاد أغشية الـ ZnO المحضرة، وكتلة الغشاء، وعدد الطبقات

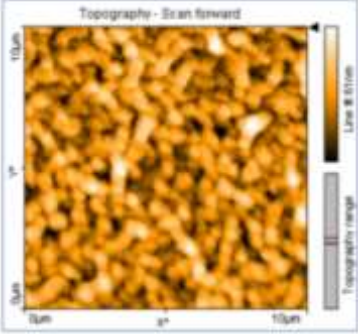
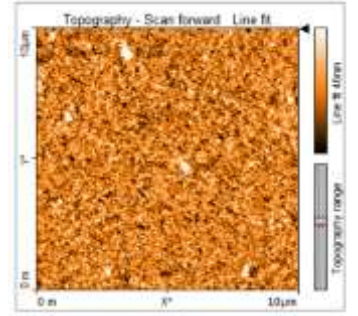
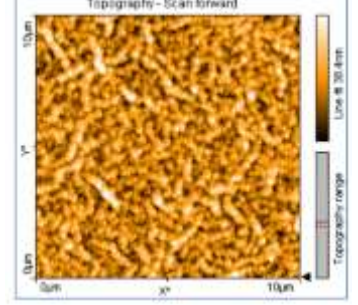
اسم الشريحة	عدد الطبقات	m (g)	Y (cm)	X (cm)	d (nm)
A	3	0.00047	4.30	2.54	76.7
B	4	0.00076	4.31	2.54	123.8
C	6	0.00107	4.22	2.54	178.1
D	9	0.00160	4.77	2.54	235.6
E	11	0.00170	4.21	2.54	283.6
F	12	0.00212	4.20	2.54	354.4

3. النتائج والمناقشة

1.3 توصيف عينات الـ ZnO مورفولوجياً بجهاز الـ AFM.

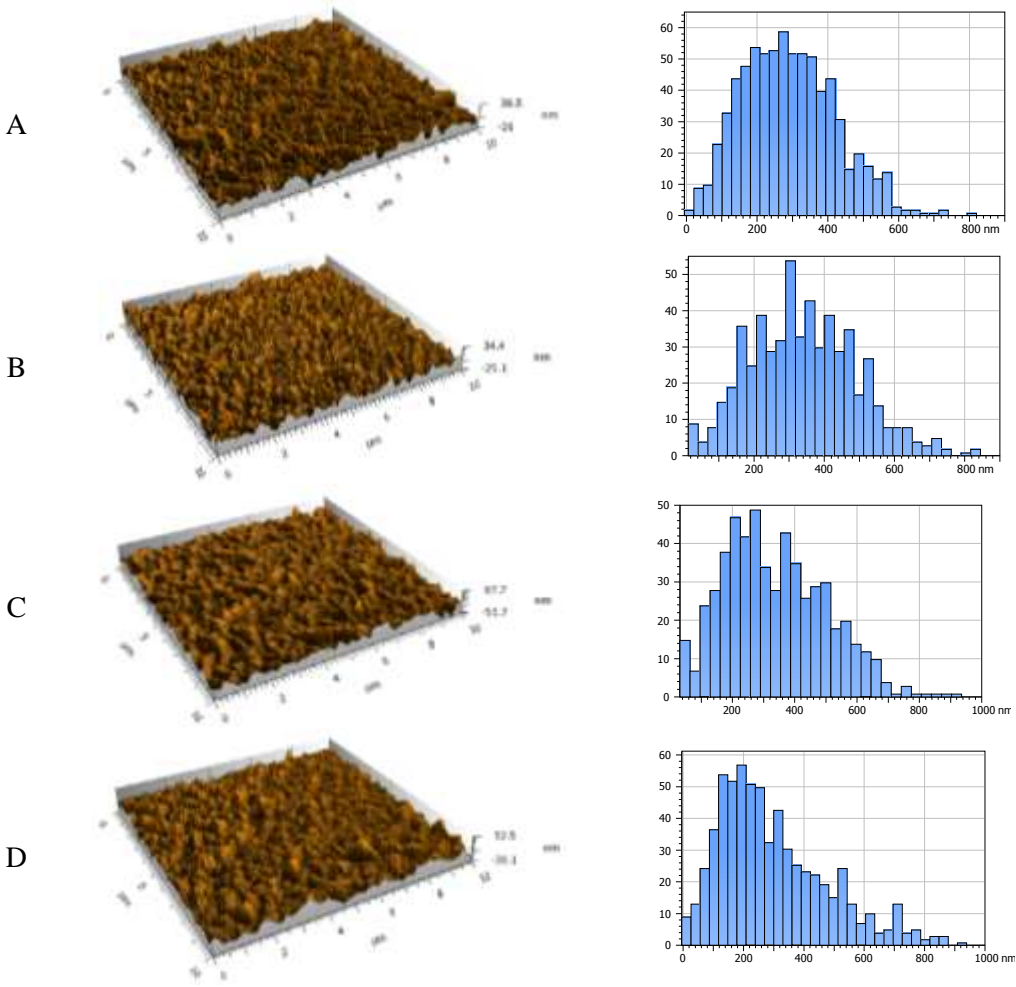
يعرض الشكل (3) صور AFM ثنائية البعد ($10\mu m \times 10\mu m$) للأغشية المحضرة من ZnO، حيث تأخذ الحبيبات شكلاً متطاولاً أشبه بالقضبان النانوية وزيادة في كثافة الحبيبات مع زيادة سماكة الغشاء. كما تم حساب قيمة معامل الخشونة الخطي، ومعامل الخشونة السطحي لكل غشاء. كما يحوي الشكل القيمة الوسطية لمعامل الخشونة الخطي R_q ، والقيمة الوسطية للجذر التربيعي لمعامل الخشونة الخطي R_a ، والقيمة الوسطية لمعامل الخشونة السطحي S_a ، والقيمة الوسطية للجذر التربيعي لمعامل الخشونة السطحي S_q . حيث نلاحظ تناقصاً في قيمة هذه المعاملات مع زيادة سماكة الغشاء باستثناء العينتين A و B.

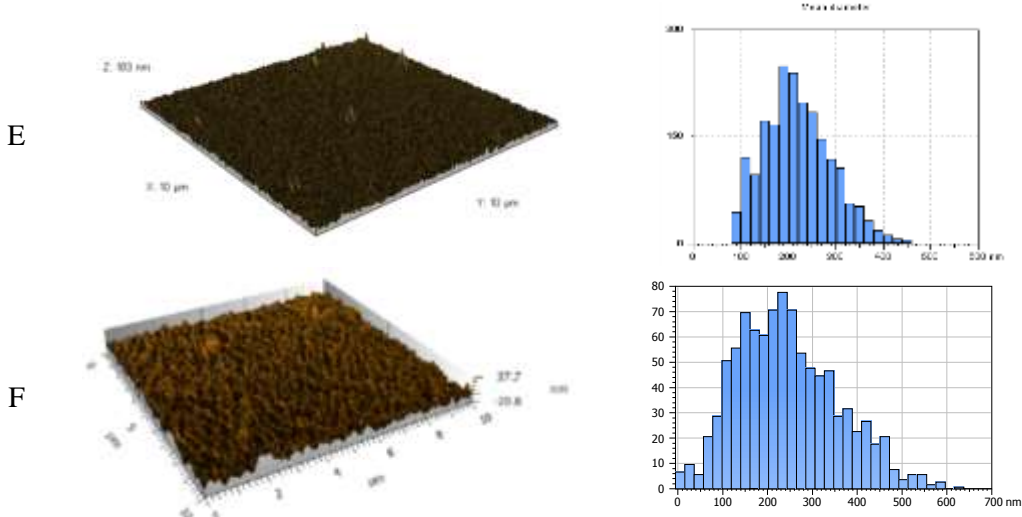
		R_a (nm)	R_q (nm)	S_a (nm)	S_q (nm)
A		8.054	9.853	6.614	7.0238
B		4.949	6.139	5.952	7.375
C		13.48	16.13	12.58	15.52

D		9.610	11.89	8.952	11.14
E		7.973	10.168	7.426	9.95
F		5.705	7.255	5.595	7.024

الشكل (3) صور ثنائية البعد للأغشية المحضرة مع قيم معامل الخشونة الخطي والسطحي لكل غشاء

يبين الشكل (4) صوراً ثلاثية البعد (10µm × 10µm) لأسطح الأغشية الـ ZnO مقاسة بطريقة AFM، ومنحنيات التوزيع الإحصائي للأقطار الوسطية عند سماكات مختلفة للأغشية. يلحظ انزياح في قيمة القطر الوسطي للحبيبات من القيمة 300nm نحو القيم الدنيا التي هي بحدود 180nm، مع ازدياد سماكة الغشاء.

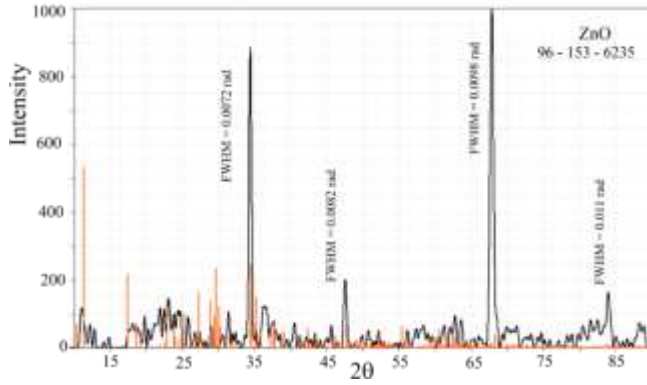




الشكل (4) صور AFM ثلاثية البعد للأغشية المحضرة مع منحنيات التوزيع الإحصائي لأقطار الحبيبات

2.3 توصيف عينات ZnO بنيويًا بمقياس الـ (X-Ray Diffraction).

يبين الشكل (5) طيف انعراج الأشعة السينية للعينة F في المجال $2\theta = 10^\circ$ إلى $2\theta = 90^\circ$ باستخدام XRY الذي يعمل عند كمون 40KV وتيار 30mA، يظهر في الشكل أربع قمم عند الزوايا ($2\theta = 34.42^\circ, 47.58^\circ, 67.88^\circ, 84.00^\circ$)، تتوافق التوجهات البلورية (002, 102, 112, 220) على الترتيب. هذا يدل على أن الغشاء المحضر متبلور ويتوجه بلوري سائد 112 عند الزاوية 67.88° .



الشكل (5) طيف الـ X – Ray للعينة F

حسبنا قطر التبلور للبلورات D_p من طيف الـ X – Ray لكل قمة باستخدام علاقة شيرر الآتية [23]:

$$D_p = \frac{0.94 \lambda}{FWHM * \cos(\theta)} \quad (3)$$

حيث إن: $\lambda = 0.15418 \text{ nm}$ طول موجة منبع الأشعة السينية المستخدم، وهو النحاس Cu و $FWHM$: عرض القمة عند منتصف القيمة العظمى بوحدة الراديان. : θ زاوية الانعراج بوحدة الدرجة. يبين الجدول (2) قطر التبلور للعينة F.

الجدول (2) قيمة قطر التبلور D_p للعينة F.

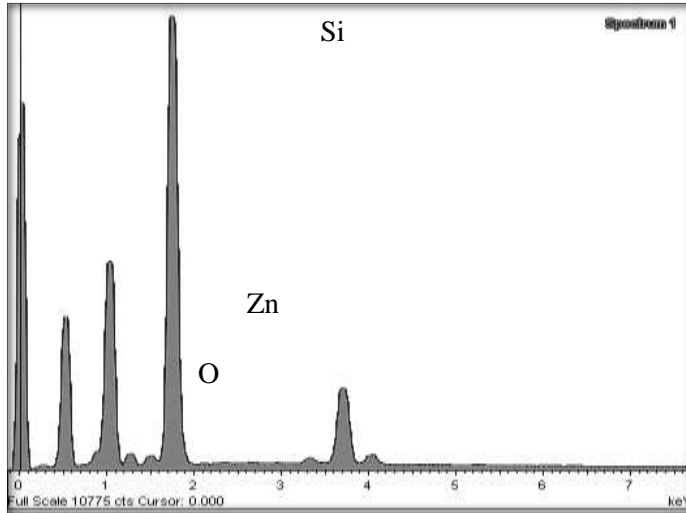
2θ (deg)	θ (deg)	FWHM (rad)	D_p (nm)
34.41	17.21	0.0072	21.07
47.58	23.79	0.0082	19.32
67.88	33.94	0.0098	17.83
84.00	42.00	0.011	17.73
$\overline{FWHM} = 0.0091$			$\overline{D_p} = 19.00$

3.3 دراسة التركيب العنصري باستخدام الـ EDX.

يبين الشكل (6) التركيب العنصري للعينة F، حيث تظهر قمة تدل على وجود الزنك (Zn)، وقمة أخرى تدل على وجود الأوكسجين (O) في الغشاء المحضر بنسب وزنية وذرية لكل من الأوكسجين والزنك، وبينها الجدول (3)، لقد جرى استبعاد نسبة الكربون الناتج عن الحامل المستخدم في أثناء تحضير العينة للقياس بمقياس الـ EDX، والسيلكون العائد للشريحة الزجاجية المستخدمة. تقدم هذه النتائج دليلاً واضحاً على تشكل أكسيد الزنك في الغشاء المحضر.

الجدول (3) النسبة الوزنية والذرية لغشاء أكسيد الزنك في العينة F

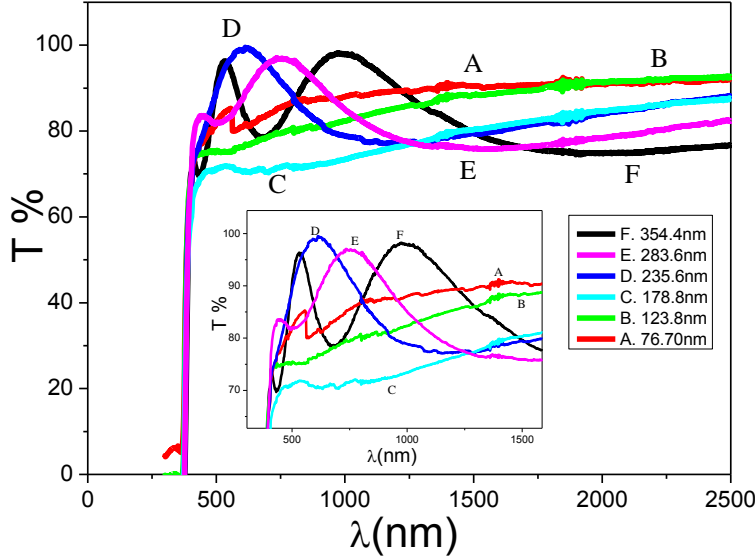
المادة	النسبة الوزنية	النسبة الذرية
O	64.26%	88.02%
Zn	35.74%	11.98%



الشكل (6) التركيب العنصري للعينة F

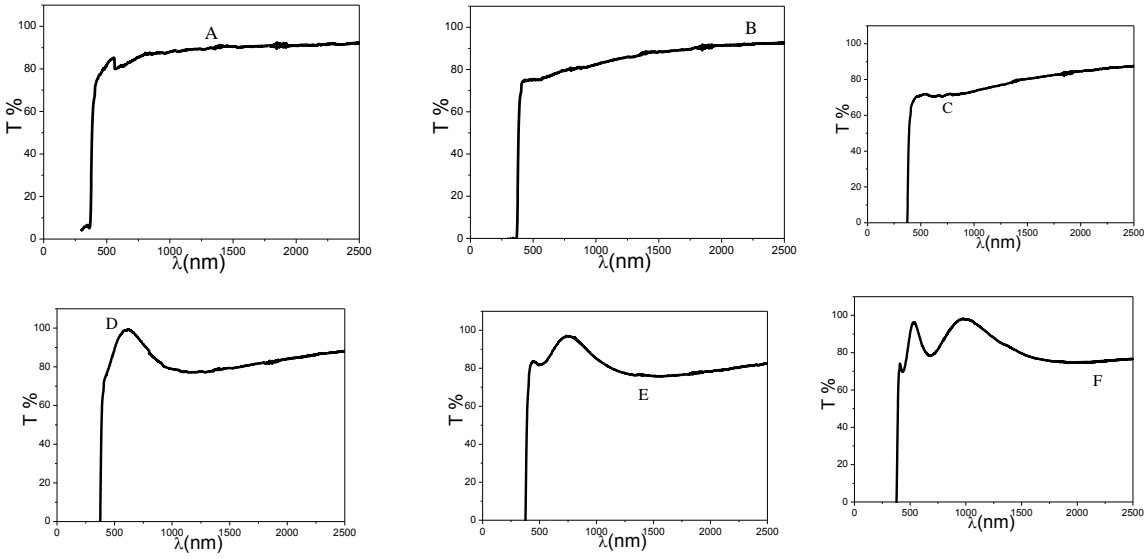
4.3 طيف النفوذية (T)

يبين الشكل (7) طيف النفوذية في مجال الأطوال الموجية 300 إلى 2500 nm لجميع الأغشية المحضرة (A و B و C و D و E و F) ذات السماكات 76.7 nm و 123.8 و 178.1 و 235.6 و 283.6 و 354.4 على الترتيب.



الشكل (7) طيف النفوذية لجميع أغشية الـ ZnO المحضرة

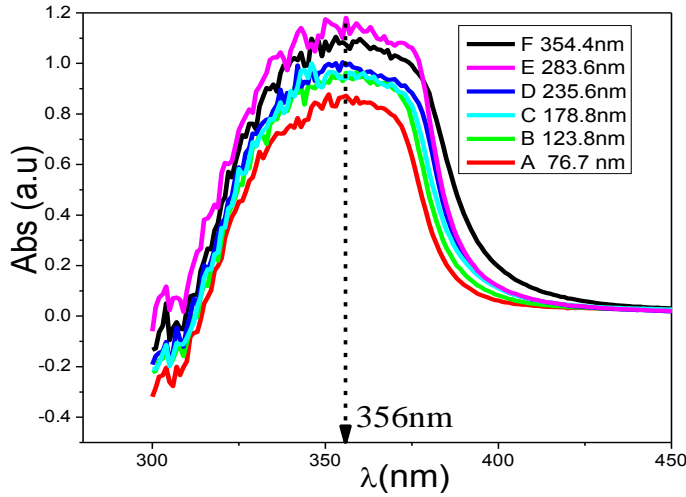
يبين الشكل (7) تغير طيف النفوذية باختلاف سماكة الغشاء، وتظهر أهداب التداخل عند السماكات العالية في العينات D و E و F. تتخفص قيمة النفوذية تدريجياً من 92.06% إلى 76.78%، مع زيادة سماكة الغشاء من 76.6nm إلى 354.4nm على الترتيب عند الطول الموجي 2500nm. كما نلاحظ زيادةً في عدد أهداب التداخل مع زيادة سماكة الغشاء لتكون أوضح ما يمكن من أجل العينة F الذي تكون فيها سماكة الغشاء من مرتبة الطول الموجية كما هو مبين في الشكل (8).



الشكل (8) طيف النفوذية لكل غشاء من أغشية الـ ZnO على حدا

5.3 طيف الامتصاصية (ABS):

يبين الشكل (9) طيف الامتصاصية الممتد من مجال الأشعة فوق البنفسجية UV إلى مجال الأشعة المرئية VIS، ضمن الأطول الموجية (300 – 450 nm) لجميع الأغشية المحضرة المرقمة (A و B و C و D و E و F) بدلالة سماكتها (123.8 و 178.1 و 235.6 و 283.6 و 354.4) على الترتيب. حيث نلاحظ وجود قمة امتصاص في جميع الأغشية المحضرة عند الطول الموجي 356nm [24] كما نجد أن شدة الامتصاص تزداد من القيمة 0.87 إلى القيمة 1.08 مع زيادة سماكة الغشاء من القيمة 76.7nm إلى 354.4nm عند الطول الموجي 356nm.



الشكل (9) جزء من طيف الامتصاص لجميع أغشية الـ ZnO المحضرة

6.3 حساب الفجوة الطاقية (E_g).

في البداية حُسبت قيم معامل الامتصاص (a) بالاعتماد على طيف النفوذية لكل غشاء من الأغشية المحضرة عند كل طول موجة باستخدام المعادلة الآتية [25]:

$$a = -\frac{1}{d} \ln(T) \quad (4)$$

حيث d : سماكة الغشاء المحضر. T : قيمة نفوذية الغشاء عند كل طول موجي. بعد ذلك استُخدمت علاقة Tauc الآتية [25]:

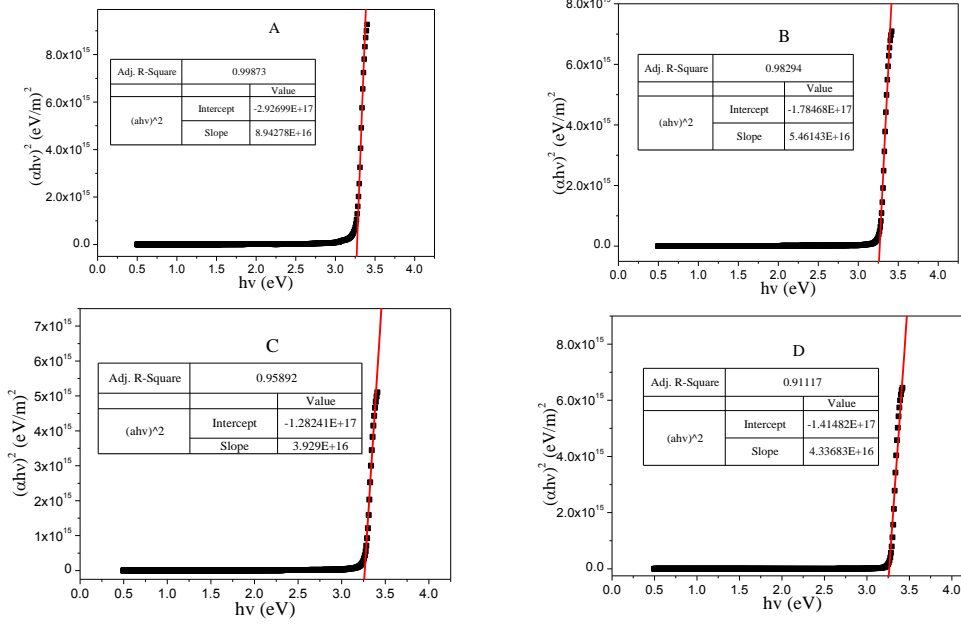
$$ahv = A (hv - E_g)^n \quad (5)$$

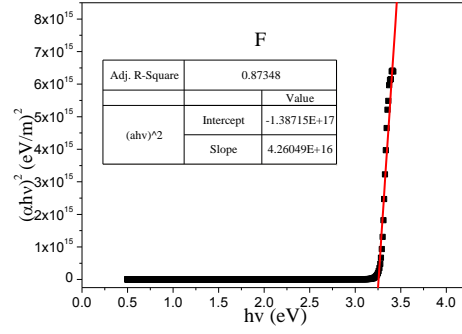
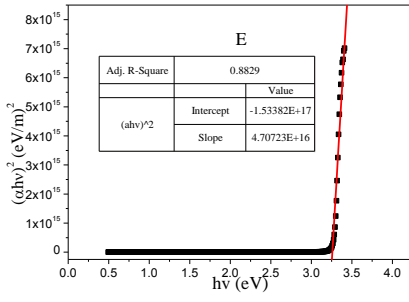
حيث A : ثابت. n : مقدار يأخذ قيمة $\frac{1}{2}$ من أجل الانتقالات المسموحة المباشرة، ويأخذ قيمة 2 من أجل الانتقالات المسموحة غير المباشرة. لما كانت الانتقالات في

ZnO هي انتقالات مسموحة مباشرة، لهذا رُسم الخط البياني لتغيرات $(ahv)^2$ بدلالة (hv) لكل غشاء من الأغشية المحضرة.

بعد ذلك رُسم أفضل خط مستقيم للجزء الخطي من الخط البياني، جرى تعيين قيمة الفجوة الطاقية من تحديد نقطة تقاطع أفضل خط مستقيم مع المحور الأفقي (hv) [25] كما هو مبين في الشكل (10).

يبين الجدول (4) قيمة الفجوة الطاقية لكل غشاء من الأغشية المحضرة بدلالة سماكته.



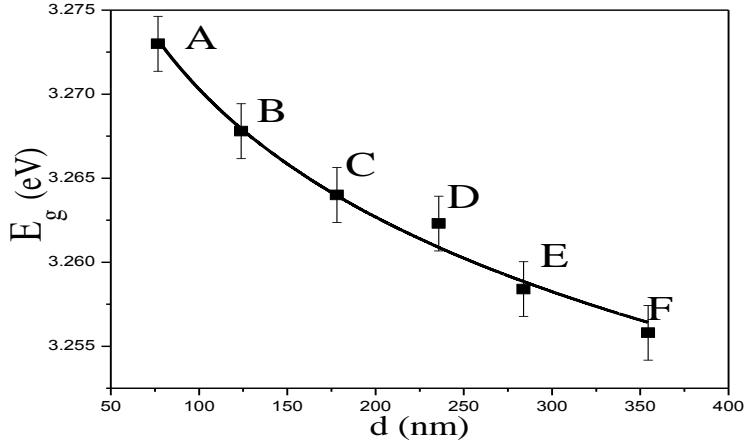


الشكل (10) حساب الـ E_g لكل غشاء من أغشية أكسيد الزنك المحضرة بسماكات مختلفة

الجدول (4) سماكات الأغشية المحضرة مع قيمة الـ E_g لكل غشاء.

اسم الشريحة	E_g (eV)	d (nm)
A	3.273	76.7
B	3.268	123.8
C	3.264	178.1
D	3.262	235.6
E	3.258	283.6
F	3.256	354.4

يبين الشكل (11) تغير قيمة الفجوة الطاقية بدلالة سماكة الغشاء، حيث نلاحظ تناقص قيمة الفجوة الطاقية مع زيادة السماكة.



الشكل (11) تغير الـ E_g مع سماكة الغشاء المحضر

7.3 حساب قرينة الانكسار (n).

يبين الجدول (5) قيمة قرينة الانكسار لكل غشاء من الأغشية المحضرة المحسوبة باستخدام طريقة المغلف (envelope) [26] وذلك بتحديد قيمة Tmax وقيمة Tmin في طيف النفوذية لكل غشاء من الأغشية المحضرة ضمن مجال الأشعة تحت الأحمر والمرئي وفق العلاقات الآتية [26].

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}} \quad (6)$$

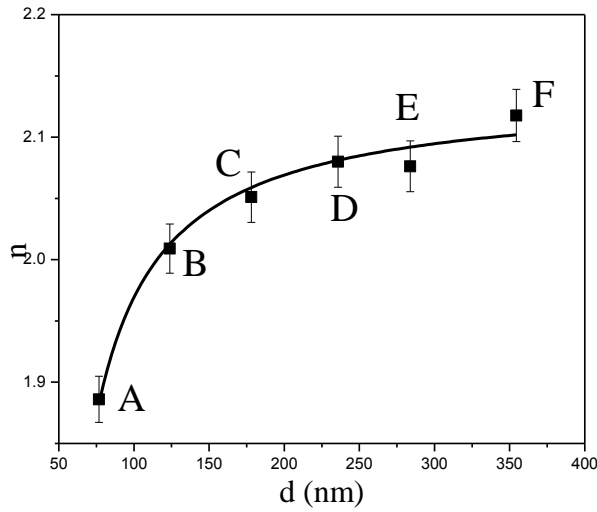
$$N = \frac{n_s^2 + n_0^2}{2} + 2n_s \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max} \times T_{min}} \quad (7)$$

حيث إن: $n_s = 1.52$ قرينة انكسار الزجاج. $n_0 = 1$ قرينة انكسار الهواء.

الجدول (5) سماكات الأغشية المحضرة مع قيمة قرينة الانكسار لكل غشاء

اسم الشريحة	T_{max}	T_{min}	N	n	d (nm)
A	0.9450	0.8292	2.1045	1.886	76.7
B	0.9450	0.7864	2.3040	2.009	123.8
C	0.8935	0.7370	2.3777	2.051	178.1
D	0.9800	0.7840	2.4307	2.080	235.6
E	0.9903	0.7921	2.4233	2.0762	283.6
F	0.9900	0.7764	2.5000	2.1177	354.4

يبين الشكل (12) تغير قرينة الانكسار بشكل غير خطي مع زيادة سماكة الغشاء، وذلك بسبب تناقص الفجوة الطاقية مع زيادة سماكة الغشاء المحضر.

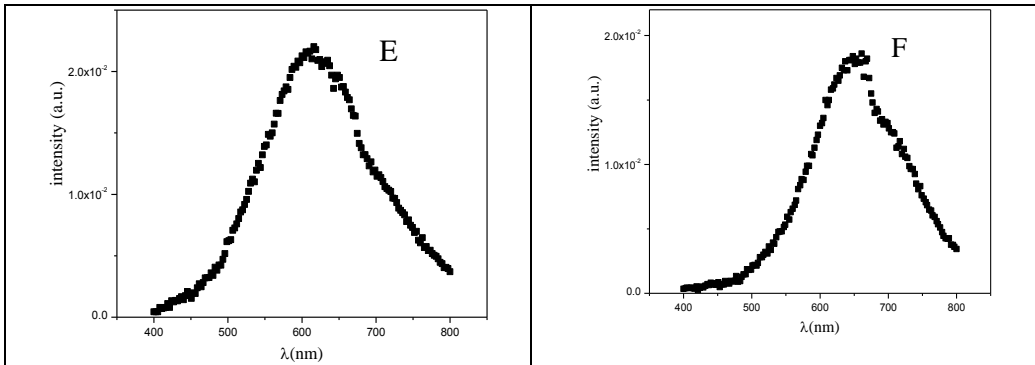


الشكل (12) علاقة بين الـ n وسماكة الغشاء المحضر

8.3 دراسة التألق الضوئي PL.

استكمالاً للدراسة الضوئية لأغشية أكسيد الزنك، وللتأكد من مدى قدرة هذه الأغشية على الإصدار الضوئي، دُرِس طيف التألق الضوئي للعينتين E و F بسماكتين مختلفتين 283.6nm و 354.4nm على الترتيب، كما هو مبين في الشكل (13).

حيث يوضح الشكل طيف التآلق الضوئي للعينتين باستخدام ليزر هليوم كادميوم بطول موجة 325nm، وموحد طول موجي طوله 1000mm، وشبكة انعراج تحوي 1200 حز في الملي متر الواحد ومزود بمضاعفين فوتونين للمجالين المرئي وتحت الأحمر القريب. يظهر في طيف التآلق قمة إصدار عند الطول الموجي 616nm للأحمر القريب. لعينة E، وقمة إصدار عند الطول الموجي 648nm للعينة F. وتعدُّ هذه الأطياف بمثابة بصمة لإصدار الليزر العشوائي من العينات المحضرة، ومن ثمَّ يمكن استخدامها كوسط فعال لليزر العشوائي.



الشكل (13) طيف التآلق للعينتين E وF بسماكتين مختلفتين

4. الخلاصة:

حُضِرَت أغشية رقيقة من أكسيد الزنك ZnO ذات بني على شكل قضبان نانوية متقطعة بطريقة Sol - Gel والتغطية بالغمس على شرائح زجاجية. حيث تتناقص أبعادها من 300nm إلى 200nm، مع تغير عدد الطبقات المتوضعة (سماكة الأغشية)، وأن البنى المحضرة كانت متبلورة بتوجه بلوري سائد 12 ومتوسط قطر تبلور 19nm.

لوحظ من خلال دراسة المطيافية الضوئية أن قيمة النفوذية للأغشية تتغير مع تغير سماكة الأغشية، حيث تبين تناقصاً في قيمة النفوذية عند الطول الموجي 2500nm. كما لوحظ أن قيمة الفجوة الطاقية للأغشية المحضرة تتغير بشكل طفيف مع تغير سماكة الأغشية، ويعزى ذلك إلى تجانس الأغشية، وهذا ما يؤكد ثبات قمة الامتصاص الأعظمية عند الطول الموجي 356nm للأغشية جميعها. مع تغير طفيف في حافة الامتصاص لتلك الأغشية.

كما تبين لنا قابلية الأغشية المحضرة للتألق الضوئي، وذلك بدراسة طيف التألق الضوئي للعينتين E و F، وقد لوحظ وجود قمة إصدار عند الطول الموجي 616nm في العينة E وعند الطول الموجي 648nm في العينة F، مما يرشح تلك الأغشية بأن تكون كوسط فعال لليزر العشوائي.

5. المراجع References

1. S. Noothongkaew and O. Thumthan, 2018 "High-performance Ultraviolet Photodetectors Based on ZnO Nanostructures". International Journal of Electronics and Electrical Engineering Vol. 6, No. 1.
2. A. Alhadhrami, Abdulraheem S.A. Almalki1, Abdel Majid A. Adam, and Moamen S. Refat, 2018 "Preparation of Semiconductor Zinc Oxide Nanoparticles as a Photocatalyst to Get Rid of Organic Dyes Existing Factories in Exchange for Reuse in Suitable Purpose". Int. J. Electrochem. Sci., 13 6503 – 6521.
3. Jung-Soo Kang, 2016, "Photophysical and Optoelectronic Properties of Pristine, Doped and Surface-Functionalized Two-Dimensional Zinc Oxide Nanostructures". thesis requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Chemistry. University of Waterloo, Canada.
4. V. A. Coleman and C. Jagadish. 2006, "Basic Properties and Applications of ZnO", The Australian National University, page 2,3.
5. X. Ma, P. Chen, D. Li, Y. Zhang, D. Yang, 2007, "Electrically pumped ZnO film ultraviolet random lasers on silicon substrate" Applied Physics. Lett. 91 251109.
6. W.S. Han, Y.Y. Kim, B.H. Kong, H.K. Cho, 2009, "Ultraviolet light emitting diode with n-ZnO: Ga/i-ZnO/p-GaN: Mg heterojunction" Thin Solid Films 517. 5106-5109.
7. Ali A A Mohammed1, AB Suriani and Akram R Jabur, 2018 "The Enhancement Of UV Sensor Response By Zinc Oxide Nanorods /Reduced Graphene Oxide Bilayer Nanocomposites Film" IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1003 012070.
8. Hanaa Selim1, Amr A Nada, Mona El-Sayed, Hegazey RM, Eglal R Souaya and Kotkata MF, 2018," The Effect of ZnO and its Nanocomposite on the Performance of Dye-Sensitized Solar Cell". Nano Science & Nano Technology: An Indian Journal Vol 12 Iss 1.
9. C.L. Jia, K.M.Wang, X.L. Wang, X.J. Zhang, F. Lu, 2005, "Formation of c-axis oriented ZnO optical waveguides by radio-

- frequency magnetron sputtering” Vol. 13, No. 13 OPTICS EXPRESS 5093.
10. Gabriele Magna, Alexandro Catini, Raj Kumar, Massimo Palmacci Eugenio Martinelli Roberto Paolesse and Corrado di Natale,2017,” Conductive Photo-Activated Porphyrin-ZnO Nanostructured Gas Sensor Array”. Sensors, 17, 747.
 11. Boshra Ghanbari Shohany Leili Motevalizadeh Majid Ebrahimizadeh Abrishami,2018” Investigation of ZnO thin-film sensing properties for CO₂ detection:effect of Mn doping”. Journal of Theoretical and Applied Physics doi.org/10.1007/s40094-018-0302-3(0123456789)., -vol V. (0123456789()., -vo
 12. H. Shokry Hassan a, A.B. Kashyout a, I. Morsi b, A.A.A. Nasser b, A. Raafat, 2014."Fabrication and characterization of gas sensor micro-arrays. Sensing and BioSensing" Research 1 34–40.
 13. X.C. Liu, E.W. Shi, Z.Z. Chen, H.W. Zhang, L.X. Song, H. Wang, S.D. Yao, 2006, “Structural, optical and magnetic properties of Co-doped ZnO films” Journal of Crystal Growth 296. 135- 140.
 14. S. Krishnamoorthy, A.A. Iliadis, 2008, “Properties of high sensitivity ZnO surface acoustic wave sensor on SiO₂ / (100) Si substrate” Solid State Electron. 52 (11) 1710 - 1716.
 15. D.Hui Cao, “Lasing in Random Media”, 2003, Department of Physics and Astronomy, Northwestern University, Institute of Physics Publishing.
 16. Mikhail A. Noginov 2005, “Solid – State Random Laser” Springer Series in Optical Sciences, ISBN 13: 9780387239132. Page: 222-225.
 17. Md Abu Taher Khan, 2016, “Spatial Coherence Measurement of Random Laser” Master’s thesis, Institute of Photonics University of Eastern Finland.
 18. D Sharma, 2006, “An Introduction to Random Amplifying Media and L’evy statistics” Raman Research Institute India Bangalore 560 080.
 19. R.K. Thareja, A. Mitra, 2000, “Random Laser Action in ZnO”, Department of Physics, Indian of Technology, Applied Physics B Laser and Optics, Published online.

20. S. F. Yu, Clement Yuen, S. P. Lau, and H. W. Lee, 2004, "Zinc oxide thin-film random lasers on silicon substrate", Applied Physics Letters 10.1063/1.1719279.
21. Adawiya J. Haider· Fatima I. Sultan· Mohammed J. Haider· Naseer M. Hadi, 2019, "Spectroscopic and structural properties of zinc oxide nanosphere as random laser medium", Applied Physics A.
22. Linhua Xua, Xiangyin Li, Yulin Chen, Fei Xu, 2011, "Structural and optical properties of ZnO thin films prepared by sol-gel method with different thickness" Applied Surface Science, Elsevier, 257 4031-4037.
23. Nanda Shakti, P.S.Gupta, 2010 "Structural and Optical Properties of Sol-gel Prepared ZnO Thin Film" Applied Physics Research, Vol. 2, No. 1, ISSN: 1916-9639.
24. Huiling Tai, Xian Li, Yadong Jiang, Guangzhong Xie , Xiaosong Du, 2015 "The Enhanced Formaldehyde-Sensing Properties of P3HT-ZnO Hybrid Thin Film OTFT Sensor and Further Insight into Its Stability" Sensors, 15, 2086-2103. ISSN 1424-8220.
25. R. Amari, A. Mahroug, A. Boukhari, B. Deghfe, N. Selmi 2017 "Structural, Optical and Luminescence Properties of ZnO Thin Films Prepared by Sol-Gel Spin-Coating Method: Effect of Precursor Concentration" Chin. phys. lett, Vol. 35, No.1 (2018) 016801.
26. S. ILICAN, M. CAGLAR, Y. CAGLAR, 2007, "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.