------مجلة علوم الرافدين، المجلد 24، العدد 4، ص85-98، 2013------

دراسة تأثير أشعة كاما والنيترونات على الخواص الفيزياوية لأغشية اوكسيد الزنك

زياد عطية داود **ليث احمد نجم** **نوفل يوسف جميل**

قسم الفيزياء

كلية العلوم

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 20 / 11 /2012 ؛ تاريخ القبول 28 /1 / 2013)

الملخص

في هذا البحث تم تحضير أغشية رقيقة من اوكسيد الزنك (ZnO) بدرجة حرارة $400^{o}C$ على أرضيات زجاجية باستخدام تقنية الترسيب البخاري الكيميائي (CVD) عند الضغط الجوي الاعتيادي. لقد تمت دراسة الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية لأغشية (ZnO) قبل وبعد تشعيعها بأشعة كاما المنبعثة من المصدر المشع Cs^{137}، بجرع إشعاعية مختلفة Gy (0, 0.5, 1, 2)، كذلك تم تعريض النماذج الى الحزمة النيترونية لفترات زمنية مختلفة هي hours (2, 4, 8, 10). كذلك تمت دراسة طيف النفاذية كدالة للطول الموجي باستخدام جهاز المطياف ضمن المدى nm (320-1000) وكانت اعلى نفاذية للأغشية المحضرة هي 85% لكنها انخفضت بعد التشعيع بأشعة كاما الى 63.4% عند الجرعة 0.5 Gy والطول الموجي nm 1000 اما عند التشعيع بالحزمة النيترونية فقد انخفضت الى 46.79% عند زمن التشعيع 4h والطول الموجي 990 nm، اما فجوة الطاقة للأغشية المحضرة فهي متقاربة جداً ومتذبذبة حتى مع زيادة الجرعة الإشعاعية اذ بلغت eV (2.5 ,2.6 ,2.51) للأغشية المشععة بأشعة كاما وكانت eV (1.92, 2.3, 1.5, 1.7) للأغشية المشععة بالحزمة النيترونية، لكنها قلت عما كانت عليه قبل التشعيع اذ كانت 3.25 eV والسبب يعود الى احتمالية تغير طبيعة المادة بعد التشعيع، ومن القياسات الكهربائية للأغشية المشععة بلغت المقاومية الكهربائية بحدود $(8.79\text{-}12.56)\ x10^{3}\ \Omega.cm$ إذ كانت قبل التشعيع بحدود $0.236\ x10^{-3}\ \Omega.cm$.

الكلمات الدالة: أغشية اوكسيد الزنك الرقيقة، أشعة كاما، الفيض النيتروني.

The Study of the Effect of Gamma Rays and Neutrons on the Physical Properties of Zinc Oxide Thin Film

Ziad A. Dawud Laith A. Najim Nawfal Y. Jamil
Department of Physics
College of Science
University of Mosul

ABSTRACT

In this paper, Zinc Oxide (ZnO) thin films were prepared by Chemical Vapor Deposition technique (CVD), at a normal atmospheric pressure on a glass substrate at temperature 400°C. The structural, optical and electrical properties of the films were studied before and after gamma-ray irradiation, with different radiation doses (0, 0.5, 1, 2) Gy. Also, other samples were exposed to neutrons beam for exposure periods (2,4, 8, 10) hours. The transmittance spectrum was measured as a function of wavelength in the range (320-1000) nm. The highest transmittance of the prepared films was 85%, thus decreased after gamma-ray irradiation to 63.4% at dose 0.5Gy and wavelength 1000 nm, but when irradiated by neutrons beam has decreased to 46.79% at time of radiation 4h and wavelength 990 nm. The energy gap of the prepared films was (3.25) eV where those radiated, were (2.51, 2.6, 2.5) eV for given gamma-ray dose and (1.92, 2.3,1.5,1.7) eV for neutron beam, for given exposure time respectively. The expected Change due to the change in the nature of material after radiation. The measured electrical resistivity of irradiated films was found to be (8.79-12.56) X 10^3 Ω.cm where it was 0.236 X 10^{-3} Ω.cm before the irradiation.

Keywords: ZnO thin film, gamma-rays, neutron flux.

المقدمة

ان اوكسيد الزنك ZnO من الأكاسيد الموصلة الشفافة ويعد احد المواد المهمة في اشـباه الموصـلات نتيجة لخواصه الجيدة مثل طاقة الربط العالية 60 meV ويمتلك فجـوة طاقـة واسـعة بحـدود (3.2 eV) (Gür *et al.*, 2008). إن اوكسيد الزنك هو احد مركبات المجموعة II-VI وان تركيبـه البلـوري سداسـي (Bin Mahmud, 2008). واوكسيد الزنك من المواد التي تكون مقاومة للإشعاع مما جعله مادة مفضلة فـي المحيط الإشعاعي خاصة عندما تكون مدارات الأقمار الصناعية قريبة من الأرض فـي حـزام فـان ألـين (Gür *et al.*, 2008). لاوكسيد الزنك استخدامات كثيرة فهو يستخدم في اجهزة الالكترونيات البصرية والتي تشمل الثنائيات الباعثة للضوء والثنائيات الليزرية والكواشف الضوئية (Ian steward, 2010).

وتعتبر أغشية ZnO من المواد المهمة لصناعة ترانزستورات الأغشية الرقيقة على أرضيات زجاجيـة وكذلك في الخلايا الشمسية لأنها تمتلك نفاذية بصرية عالية فـي المنطقـة المرئيـة (yun *et al.*, 2012) و (ILican *et al.*, 2008). كذلك يعتبر اوكسيد الزنك من المواد الملائمة التي تـستخدم كطبقـات متحسـسة

لإشعاع كاما نتيجة لحساسية خواصه البصرية والكهربائية والتركيبية العالية للإشعاع المؤين (Arshak *et al*., 2005). هناك طرق عديدة لتحضير اغشية اوكسيد الزنك (ZnO) منها طريقة التبخير الحراري (Hu *et al*., 2001)، وطريقة الترسيب بالليزر النبضي (Myoung *et al*., 2002)، وطريقة المحلول الجلاتيني (sol–gel method) (Yang *et al*., 2010)، وطريقة الترسيب بالحمام الكيميائي (Kathirvel *et al*., 2009)، وطريقة الترسيب البخاري الكيميائي (Purica *et al*., 2002).

في هذا البحث سنركز على دراسة تأثير اشعة كاما والنيترونات على الخواص التركيبية والبصرية والكهربائية لأغشية ZnO.

الجزء العملي:

تم في هذا البحث تحضير أغشية اوكسيد الزنك (ZnO) باستخدام تقنية الترسيب البخاري الكيميائي (CVD) عند الضغط الجوي الاعتيادي على أرضيات زجاجية بعد تنظيفها بمادة الأسيتون والميثانول الساخن عند درجة حرارة $400^{o}C$ واستخدمت مادة خلات الخارصين المائية ($Zn(CH_3CO_2)_2.2H_2O$) لتحضير هذه الاغشية ذات نقاوة 98%. تم تشعيع النماذج في (sumy state university/ اوكرانيا) بأشعة كاما باستخدام المصدر المشع Cs^{137} الذي يبعث اشعة كاما بطاقة 662 keV وفعاليته الإشعاعية 0.132 Ci وبمعدل تعرض (6Gy/h) وبجرع إشعاعية مختلفة Gy (0, 0.5, 1, 2) في درجة حرارة الغرفة وزمن تشعيع min (5,10,20) وكانت النماذج على بعد 8mm عن المصدر المشع، كذلك تم تشعيع النماذج بالحزمة النيترونية (Model 88-1H) وبتدفق نيتروني (1×10^{14}neutrons/cm^2) وكان معدل الفيض النيتروني (1.966×10^{8} neutrons/cm^2.s)، ولفترات زمنية مختلفة هي h (2, 4, 8, 10) وكانت النماذج على بعد 5mm عن المصدر النيتروني، وتم دراسة التركيب البلوري لأغشية ZnO باستخدام جهاز حيود الاشعة السينية (XRD) كذلك تم فحص النماذج بتقنية المجهر الالكتروني الماسح (Scanning Electron Microscopy) اما الخواص البصرية فقد تمت دراستها باستخدام جهاز المطياف (Spectrophotometer) ضمن مدى الأطوال الموجية nm (1000 - 320) بينما استخدمت طريقة المجسات الأربعة لقياس المقاومية الكهربائية لأغشية ZnO.

النتائج و المناقشة

الفحص بتقنية الأشعة السينية (XRD)

يوضح الشكل (1) نتائج فحوصات الأشعة السينية للنماذج المشععة بأشعة كاما وبجرعات مختلفة Gy (0, 0.5, 1, 2) نلاحظ من الشكل (1a) لنموذج غير مشعع ظهور عدة قمم في طيف الحيود عند المستويات (100) و(002) و(101) و(102) و(110) و(103) و(200) و(112) و(201) وهذا يبين بأن الغشاء متعدد

البلورات وان هناك قمم مفضلة لنمو الحبيبات البلوريـة فـي الاتجاهـات (100) و(002) و(101)، اذ تـم مقارنتها مع البطاقة القياسية لـ ZnO (Jcpds) المرقمة 5-0664، وأظهرت النتائج تطابق جيد.

الأشكال (1, b, c, d) تمثل طيف حيود الإشعاع السيني لغشاء ZnO بعد تشعيعه بأشعة كاما لجرعـات مختلفة كما ذكرنا اعلاه، نلاحظ من الأشكال (b, c, d) ان الشدة لكل ذروة من الذروات تقل بزيادة الجرعـة الإشعاعية، مما يؤدي الى تحول المادة من متعددة البلورات الى غير متبلورة (Amorphous) عنـد اعلـى جرعة تشعيع كما موضح في الشكل (1d).

ان الحجم الحبيبي (D) تم حسابه باستخدام معادلة شرر(Zahug,1996)

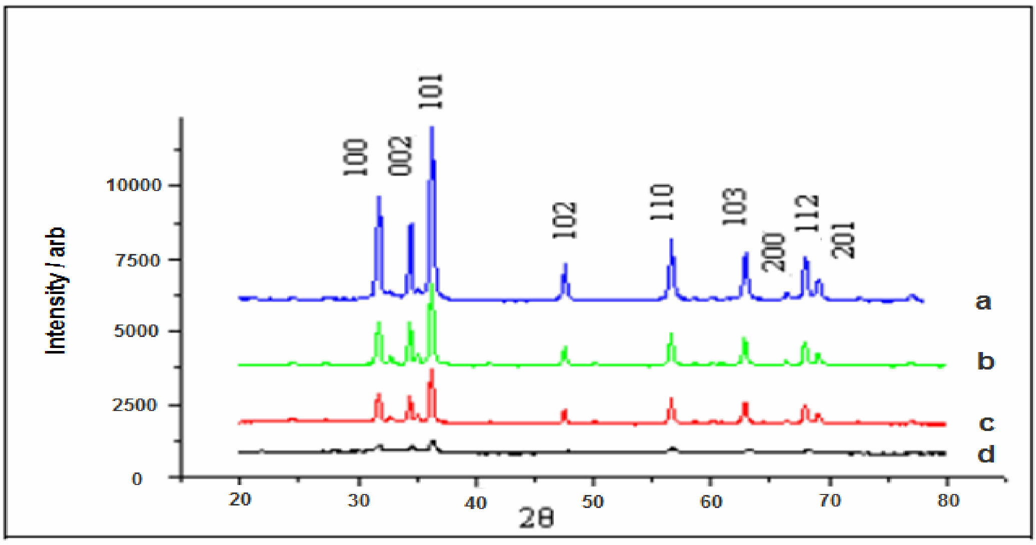
$$D = \frac{0.9\lambda}{B\cos\theta_B} \qquad (1)$$

حيث ان :

λ: الطول الموجي للأشعة السينية الساقط.

B: عرض الذروة عند منتصف ارتفاعها (FWHM).

θ_B : زاوية حيود براك.



الشكل 1: مخطط حيود الأشعة السينية لأغشية ZnO المشععه بأشعة كاما وغير المشععه (a) نموذج غير مشعع (b) نموذج مشعع بـ 0.5 Gy (c) نموذج مشعع بـ 1 Gy(d) نموذج مشعع بـ 2 Gy.

والجدول (1) يوضح نتائج الأشعة السينية (XRD) لأغشية ZnO المشععة باشـعة كامـا وغيـر المـشععة والثوابت البصرية المسجلة في البطاقة القياسية.

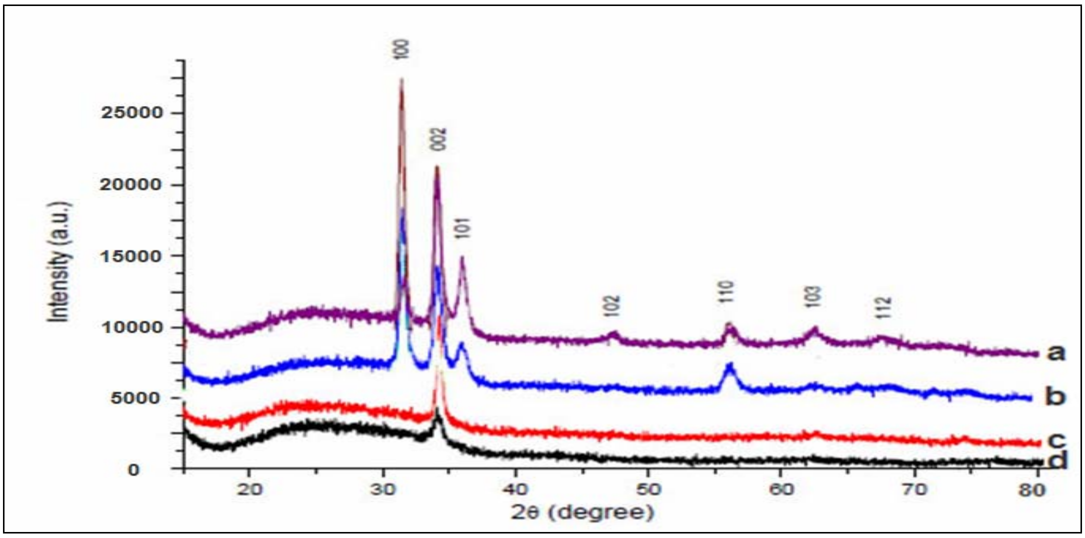
الجدول 1: نتائج XRD لأغشية ZnO المشععة بأشعة كاما والثوابت المسجلة في البطاقة القياسية

Data from fig (4-1) a=3.26 Å c=5.26 Å								Data from Jcpds card a=3.249 Å c=5.205 Å
Peak No.	hkl	d (Å)	2θ (deg)	D(nm) 0 rad	D(nm) 50 rad	D(nm) 100 rad	D(nm) 200 rad	d (Å)
1	100	2.84	31.5	92.4	99.78	100.14	-	2.816
2	002	2.63	34	95.62	96.92	101.9	-	2.602
3	101	2.46	36.5	97.6	99.85	101.16	98.29	2.476
4	102	1.92	47.5	100.07	107.44	109.13	-	1.911
5	110	1.64	56.3	100.4	108.28	114.5	-	1.626
6	103	1.47	63	99	103.82	104.21	-	1.477
8	112	1.37	68	105	110.88	116.47	-	1.379

نلاحظ من الجدول (1) بأن هناك تغيراً في حجم الحبيبات تحت تأثير التشعيع بحيث أظهرت الحـسابات أن هناك زيادة في حجم الحبيبات العائدة لكل اتجاه نمو وهذا جاء متطابقاً مع فحوصات المجهر الالكترونـي الماسح مع عدم وجود حسابات عند الجرعة rad 200 وذلك لاختفاء معظم القمم عدا القمـة عنـد الاتجـاه (101).

الشكل (2) يبين طيف حيود الإشعاع السيني لغشاء ZnO بعد تشعيعه بالحزمة النيترونية فـي فتـرات زمنية مختلفة h (2, 4, 8,10)، حيث يوضح ان الأغشية المرسبة تمتلك أيضا قمم متميزة عنـد المـستويات (100) و(002) و(101).

نلاحظ من الشكل عند زيادة فترة التشعيع بالنيترونات إلى عشر ساعات اختفاء كل القمم مـا عـدا قمـة واحدة وهي الاتجاه المفضل لنمو الحبيبات (002)، ويعتقد أن المادة تحولت من مادة متعددة البلـورات إلـى مادة أحادية البلورة وبشدة قليلة مما يوحي احتمال تحول المادة إلى غير متبلورة.



الشكل 2: مخطط حيود الأشعة السينية لأغشية ZnO المشععة بالحزمة النيترونية (a) نموذج مشعع بالنيترونات لمدة 2h (b) نموذج مشعع بالنيترونات لمدة 4h (c) نموذج مشعع بالنيترونات لمدة 8h (d) نموذج مشعع بالنيترونات لمدة 10h.

والجدول (2) يوضح نتائج الأشعة السينية (XRD) لأغشية ZnO المشععة بالحزمة النيترونية والثوابت البصرية المسجلة في البطاقة القياسية حيث نلاحظ ان حجم الحبيبات يتذبذب مع زمن التشعيع.

الجدول 2: نتائج XRD لأغشية ZnO المشععة بالحزمة النيترونية والثوابت المسجلة في البطاقة القياسية

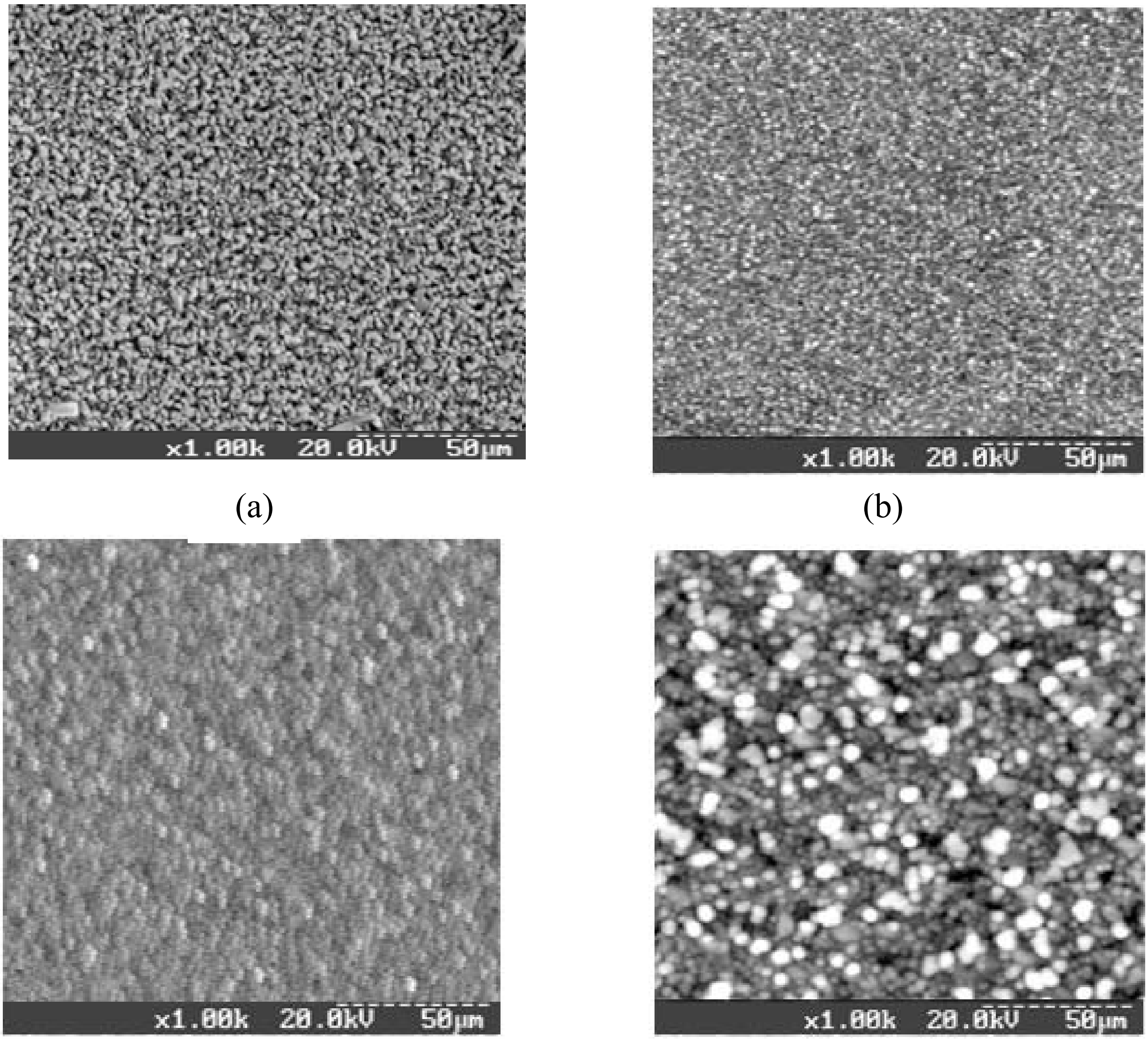
	Data from fig (2) a=3.26 Å c=5.26 Å								Data from Jcpds card a=3.249 Å c=5.205 Å
Peak No.	**hkl**	**d (Å)**	**2θ (deg)**	D(nm) 0 hours	D(nm) 2 hours	D(nm) 4 hours	D(nm) 8 hours	D(nm) 10 hours	**d (Å)**
1	**100**	**2.83**	**31.6**	91.97	91.95	103.51	-	-	**2.816**
2	**002**	**2.62**	**34.1**	95.13	88.84	98.29	103.66	87.16	**2.602**
3	**101**	**2.46**	**36.5**	89.22	70	72.56	-	-	**2.476**
4	**102**	**1.90**	**47.6**	87.02	87.16	-	-	-	**1.911**
5	**110**	**1.63**	**56.3**	98.19	90.17	69.64	-	-	**1.626**
6	**103**	**1.47**	**63**	74.74	77.86	-	-	-	**1.477**

من الجدول (2) نلاحظ ان هناك زيادة في قيمة حجم الحبيبات إلى حد أربع ساعات تشعيع عند الاتجاهات (100) و(002) ثم يكون هناك اما ثبوت في حجم الحبيبات مثل الاتجاه (102) أو انخفاض ثم

زيادة كما في حالة الاتجاه (002) أو انخفاض بعد زيادة كما في الاتجاه (110) او اختفاء القمم عند التشعيع h (8,10) عدا الاتجاه (002).

الفحص بالمجهر الالكتروني الماسح: Scanning Electron Microscopy

الشكل (3) فيه صور النماذج غير المشععه والمشععه بأشعة كاما حيث نلاحظ من الشكل (3a) لنموذج غير مشعع وجود حبيبات كثيفة ومختلفة الأشكال، لكن عند تشعيع النماذج بأشعة كاما بجرعات مختلفة Gy (0.5, 1, 2) نلاحظ زيادة في تجانس الغشاء وانتظام السطح مع زيادة في الحجم الحبيبي وهذا يتفق مع نتائج الأشعة السينية، كما في الأشكال (3 b, c, d).

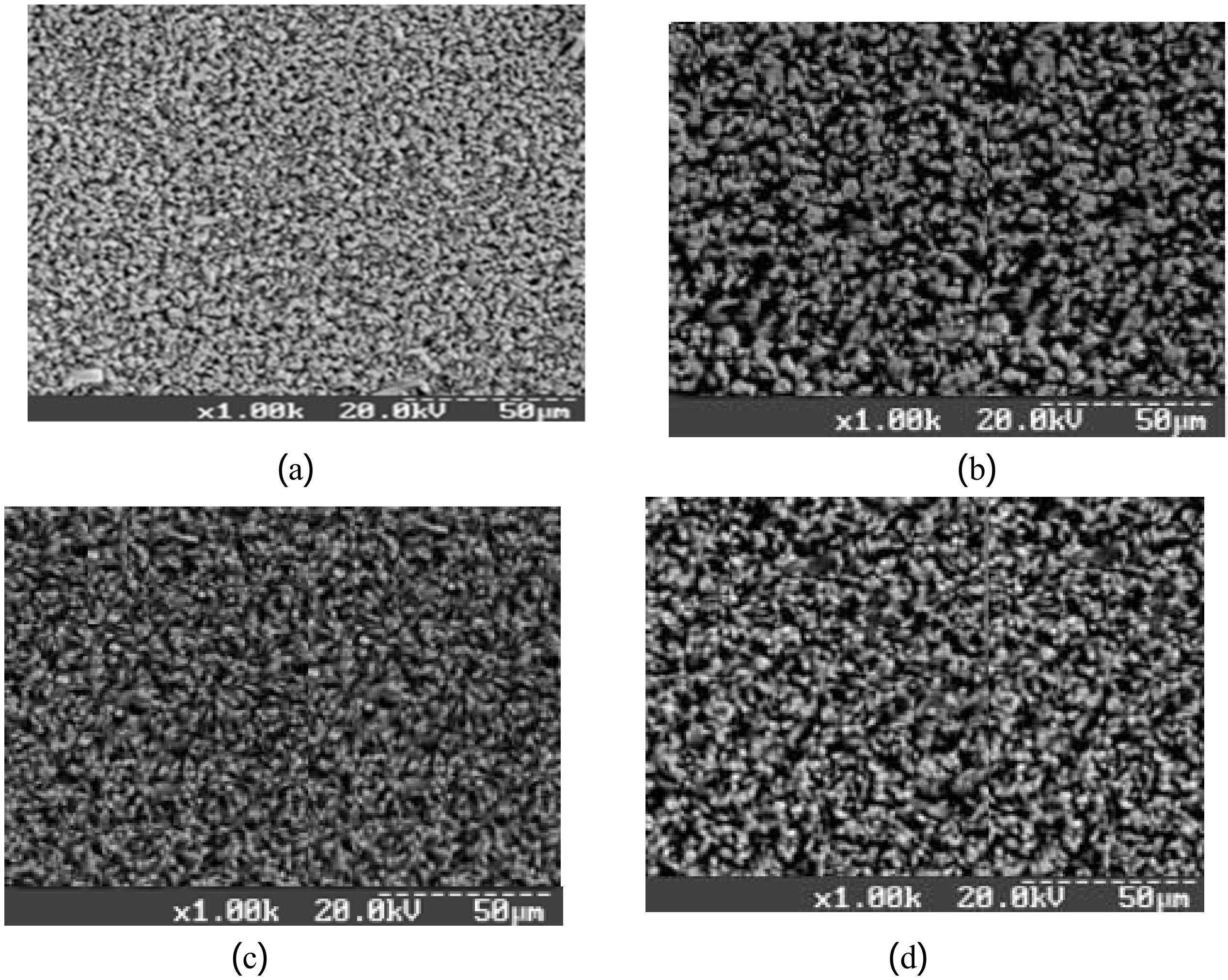


(a) (b) (c) (d)

الشكل 3: صور النماذج المشععة بأشعة كاما وغير المشععة بتقنية SEM

(a) أنموذج غير مشعع (b) أنموذج مشعع بأشعة كاما 0.5 Gy (c) أنموذج مشعع بأشعة كاما 1 Gy (d) أنموذج مشعع بأشعة كاما 2 Gy.

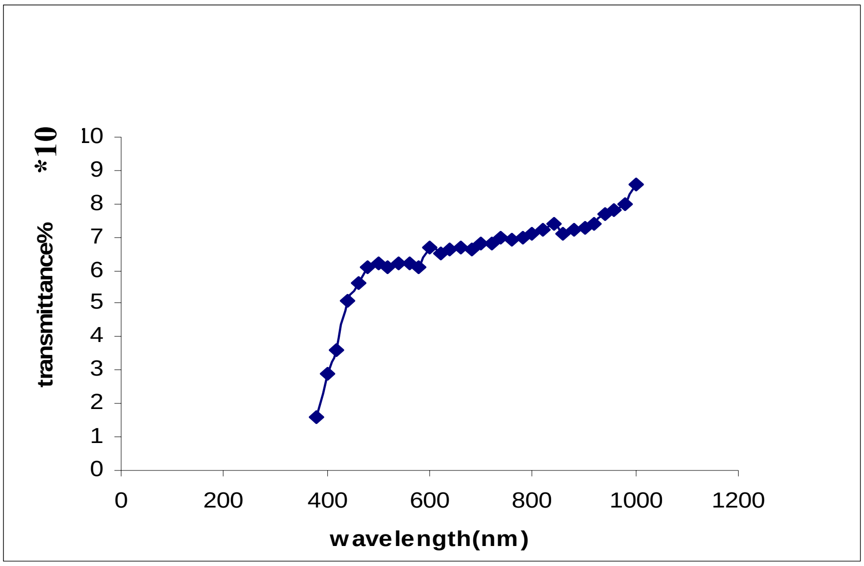
الشكل (4) صور للنماذج المشععة بالحزمة النيترونية ولفترات زمنية مختلفة (2, 4, 8, 10) ساعة، كما هو واضح من الشكل ان هناك زيادة واضحة في الحجم الحبيبي عند التشعيع للفترات (2, 4, 8) ساعة عـن تلك التي بدون تشعيع وظهر ان هناك اما ثبوتية في الحجم الحبيبي كما ظهر في حسابات الأشعة السينية لقسم من القمم او يبدو انخفاض في الحجم الحبيبي وايضا ظهر ذلك في حسابات الاشعة السينية لقمم أخرى.



الشكل 4: صور النماذج المشععة بالحزمة النيترونية بتقنية SEM (a) أنموذج مشعع بالحزمة النيترونيـة لمدة 2h (b) أنموذج مشعع بالحزمة النيترونية لمدة 4h (c) أنموذج مشعع بالحزمة النيترونيـة لمدة 8h (d) أنموذج مشعع بالحزمة النيترونية لمدة 10h.

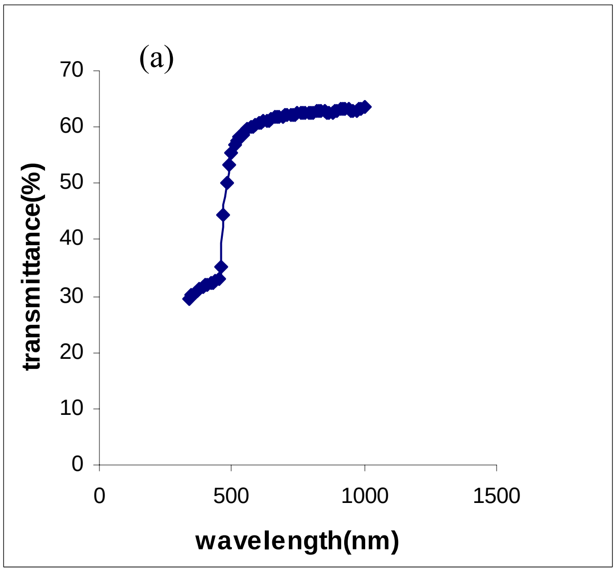
الخواص البصرية: Optical Properties

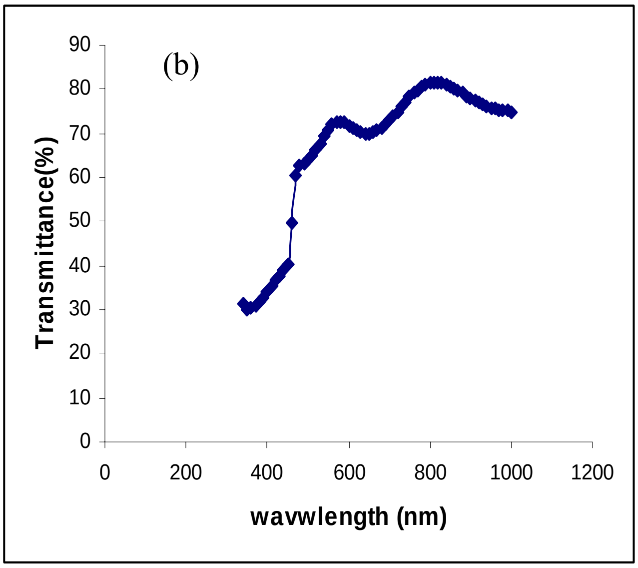
الشكل (5) يوضح طيف النفاذية كدالة للطول الموجي لغشاء ZnO غير المشعع، إذ نلاحظ من الـشكل بأن أغشية ZnO تمتلك نفاذية عالية في المنطقة المرئية وتحت الحمراء لكن تقل هذه النفاذيـة فـي منطقـة الأشعة فوق البنفسجية، وهذا يدل على ان أغشية ZnO تمتلك فجوة طاقة كبيرة تسمح لمعظم الضوء المرئي بالنفاذ، وتصل النفاذية لهذه الأغشية 85%.



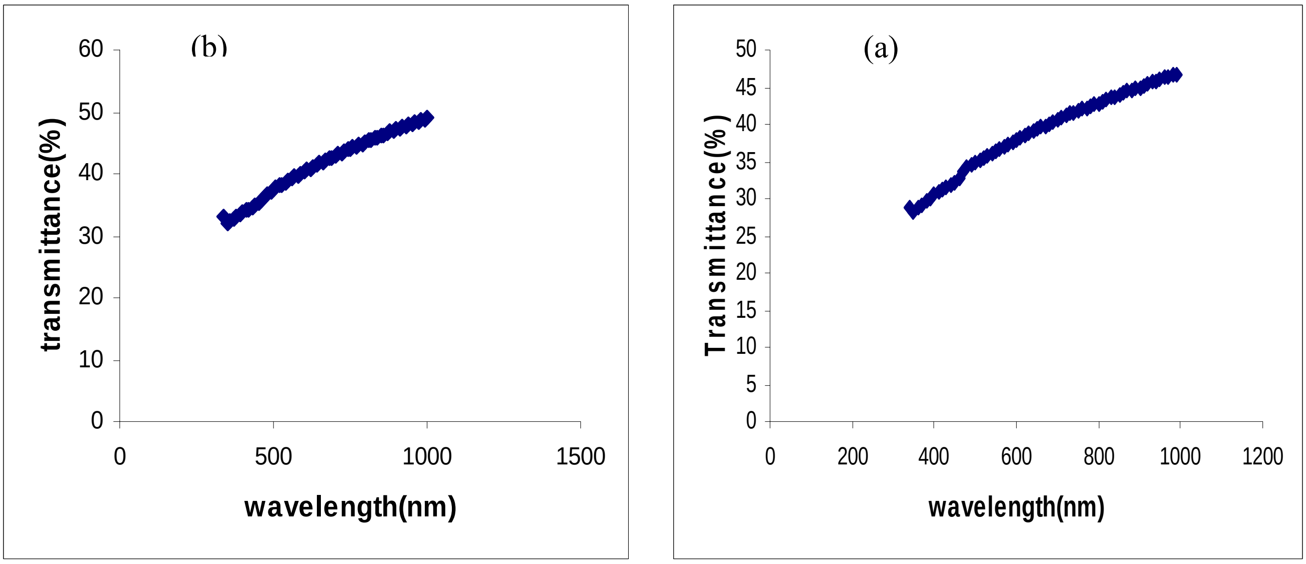
الشكل 5: طيف النفاذية لأغشية ZnO المرسبة بطريقة (CVD) بدون تشعيع.

بعد تشعيع النماذج بأشعة كاما نلاحظ بان طيف النفاذية لم يتغير تقريباً عند الجرع rad (50,100) لكن انخفضت النفاذية الى حدود 63.4% عند هاتين الجرعتين، اما طيف النفاذية عند الجرعة rad 200 تغيـرت تماماً مما يوحي الى احتمالية تغير في طور المادة وربما تحول إلى طور أخر وهذا يؤيده التغيير في طاقـة الفجوة. كذلك عند تشعيع النماذج بالحزمة النيترونية نلاحظ بان طيف النفاذية يتغير تماماً مما يـوحي إلـى تغيير طور المادة وكذلك تنخفض النفاذية عن تلك التي بدون تشعيع إذ كانت اقل نفاذية للنمـاذج المـشععة بالحزمة النيترونية 46.79% عند الطول الموجي 990 nm، كما في الأشكال (6 a, b) و(7 a, b).





الشكل 6: طيف النفاذية للنماذج المشععة بأشعة كاما (a) أنموذج مشعع بجرعـة Gy 0.5 (b) أنمـوذج مشعع بجرعة 1 Gy



الشكل 7: طيف النفاذية للنماذج المشععة بالحزمة النيترونية (a) أنموذج مشعع لمدة 4h (b) أنموذج مشعع لمدة 10h.

اما فجوة الطاقة البصرية بعد تشعيع النماذج بأشعة كاما والحزمة النيترونية كانـت متقاربـة جـداً ومتذبذبة ولكنها قلت عما كانت عليه قبل التشعيع بشكل واضح والسبب يعود الى احتمالية تغير طور المـادة بعد التشعيع، كما في الأشكال (8 a, b) و(9 a, b)، ومن اجل حساب فجوة الطاقة لأغشية اوكـسيد الزنـك (ZnO) تم استخدام المعادلات الآتية (Heavens, 1965):

α= 2.303 (A-A')/t ……………………………(4.3)

إذ أن :

(A-A'): الامتصاصية بعد طرح الانعكاسية

t : سمك الغشاء

α: معامل الامتصاص

$$\alpha h\nu = \mathrm{A}(h\nu - \mathrm{E}_g)^r \text{..........................(4.4)}$$

إذ أن:

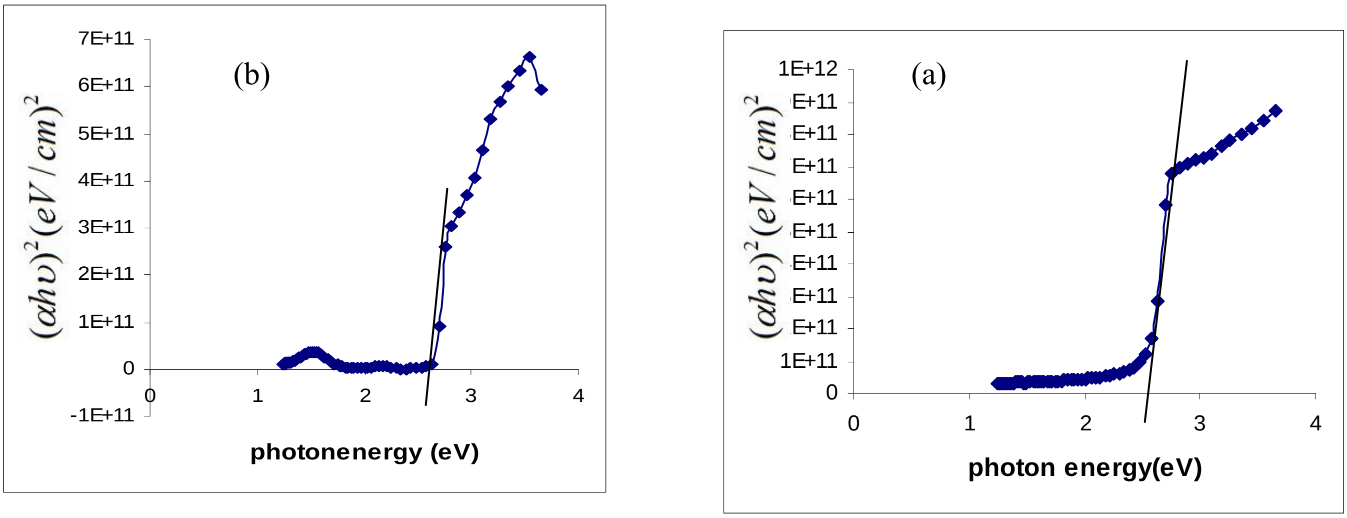
A : ثابت يعتمد على طبيعة المادة

hυ : طاقة الفوتون بوحدات (eV)

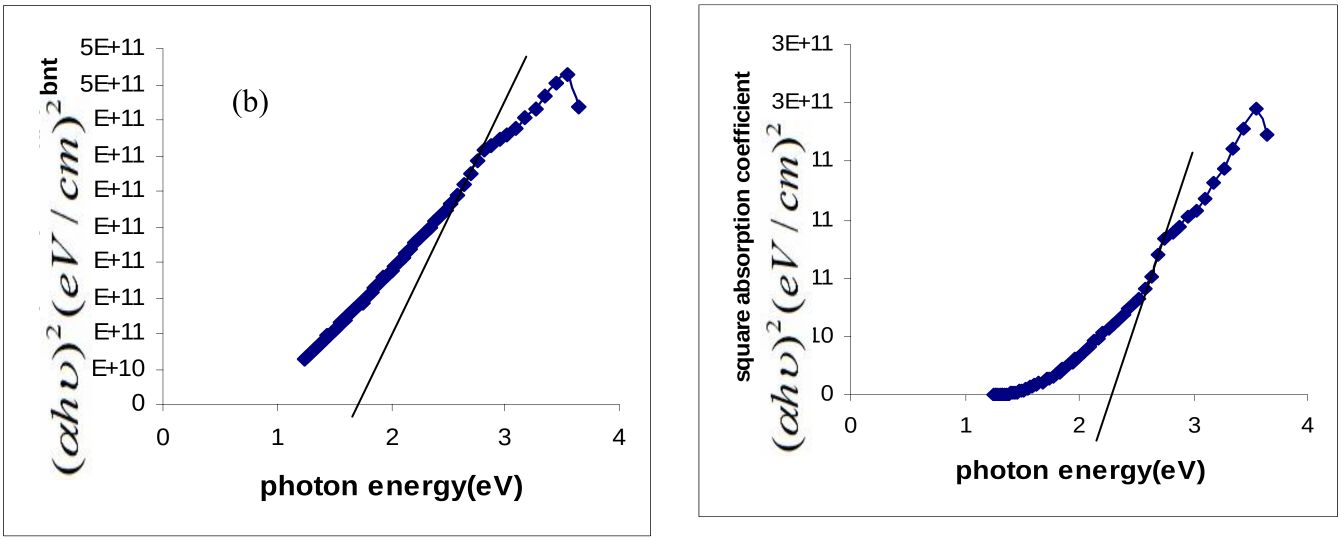
E_g : فجوة الطاقة البصرية بوحدات (eV).

r : معامل اسي يميز نوع الانتقال ويساوي (1/2) للانتقالات المباشرة و(1/3) للانتقالات غير المباشرة.

ولغرض تعيين فجوة الطاقة البصرية للأغشية المرسبة، رسمت العلاقة بـين مربـع معامـل الامتـصاص $(\alpha h\upsilon)^2$ وطاقة الإشعاع الساقط ويرسم مماس من أفضل خط مستقيم تمر به النقـاط، اذ ان تقـاطع هـذا المماس مع المحور السيني يعطي قيمة فجوة الطاقة المحظورة.



الشكل 8: علاقة $(\alpha h\upsilon)^2$ مع طاقة الفوتون الساقط لأغشية ZnO بعد تشعيع بأشعة كاما (a) أنمـوذج مشعع بجرعة 0.5 Gy (b) أنموذج مشعع بجرعة 1Gy



الشكل 9: علاقة $(\alpha h\upsilon)^2$ مع طاقة الفوتون الساقط لأغشية ZnO بعد التشعيع بالحزمة النيترونية (a) أنموذج مشعع لمدة 4h (b) أنموذج مشعع لمدة 10h

الجدول 3: قيم فجوة الطاقة البصرية لأغشية ZnO المشععة بأشعة كاما وغير المشععة

Dose (Gy)	Band gap energy Eg (eV)
0	3.25
0.5	2.51
1	2.6
2	2.5

الجدول 4: قيم فجوة الطاقة البصرية لأغشية ZnO المشععة بالحزمة النيترونية

Neutrons (hours)	Band gap energy Eg (eV)
2	**1.92**
4	**2.3**
8	**1.5**
10	**1.7**

نلاحظ من الجدول (3) والجدول (4) بان فجوة الطاقة تكون متقاربة جداً ومتذبذبة وانها قلت بشكل واضح عن فجوة الطاقة قبل التشعيع والسبب هو احتمالية تغير طور المادة بعد عملية التشعيع.

الخواص الكهربائية Electrical Properties

تم إجراء القياسات الكهربائية لأغشية اوكسيد الزنك (ZnO) بطريقة المجسات الأربعة حيث أوضحت نتائج القياسات الكهربائية ان تأثير التشعيع بأشعة كاما والحزمة النيترونية يؤدي الى زيادة كبيرة في المقاومية الكهربائية والتي تكون بحدود $(8.79\text{-}12.56) \times 10^{3}\ \Omega.cm$ ويعتقد السبب في زيادة المقاومية الكهربائية هو احتمالية زيادة كبيرة في عدد العيوب داخل البلورة الواحدة ثم زيادة حجم الحبيبات البلورية واختلاف اتجاهاتها تعمل كعائق إضافي لحركة الالكترونات، إذ كانت قيمتها قبل التشعيع بحدود $\Omega.cm$ 0.236×10^{-3}.

الاستنتاجات

في هذا البحث تم التوصل من خلال قياسات الاشعة السينية ان اغشية اوكسيد الزنك (ZnO) المحضرة تمتلك اتجاهات مفضلة لنمو الحبيبات وهي (100) و(002) و(101)، كذلك اظهرت قياسات الأشعة السينية

ان الأغشية المحضرة تتحول من متعددة البلورات إلى غير متبلورة بزيادة الجرعة الإشعاعية لأشـعة كامـا ويتضح هذا عند الجرعة 2 Gy، بينما عند التشعيع بالحزمة النيترونية تتحول هـذه الأغـشية مـن متعـددة البلورات الى احادية البلورة بزيادة مدة التشعيع وهذا واضح عند مدة التشعيع 10 h. في حين ان فجوة الطاقة تكون متقاربة ومتذبذبة ولكنها تقل عما كانت عليه قبل التشعيع اذ تكون أعلى قيم لها 2.6 eV بعد التـشعيع بأشعة كاما عند الجرعة 1 Gy، كذلك تكون أعلى قيمة لها 2.3 eV عند التشعيع بالحزمة النيترونية عند مدة تشعيع 4 h والسبب يعود إلى احتمالية تغير طور المادة بعد التشعيع. وان تأثير التـشعيع بأشـعة كامـا او الحزمة النيترونية أدى الى زيادة كبيرة في المقاومية الكهربائية والتي كانـت بحـدود $(8.79 - 12.56) \times 10^{3}$ Ω.cm) إذ كانت قبل التشعيع 0.236×10^{-3} Ω.cm.

المصادر

Arshak, K.; Corcoren, J.; Korostynska, O. (2005). Gamma radiation sensing properties of TiO2, ZnO, CuO and CdO thick film pn-junctions. *Science Direct*, *Sensors and Actuators* **A 123-124**, 194-198.

Bin Mahmud, S. (2008). Synthesis and characterisation of zinc oxide nanostructures. Ph.D. dissertation, University Sains Malaysia, Department of Physics.

Gür, E.; Asil, H.; Coşkun, C.; Tüzemen, S.; Meral, K.; Onganer, Y. (2008). Optical and structural properties of ZnO thin film; effects of high energy electron irradiation and annealing. *Science Direct*, *Nuclear Instruments and Method in Physics*, **B 226,** 2021-2026.

Heavens, O.S. (1965). "Optical Properties of Thin Solid Films". Dover Publication, Lnc., New York.

Hu, J.Q.; Ma, X. L.; Xie, Z.Y.; Wong, N.B.; Lee, C.S.; Lee, S.T. (2001). Characterization of Zinc Oxide Crystal wiskers grown by thermal evaporation. *Elsevier Sci. B.V., Chem. Phys. Letters***. 344**, 97-100.

Ian Steward (2010). Photoconductivity spectroscopy of deep level defects of ZnO thin films grown by thermal evaporation. M.Sc. dissertation Department of Physics, Miami University.

Ilican, S.; Caglar, Y.; Caglar, M. (2008). Preparation and characterization of ZnO thin films deposited by sol-gel spin coating method. *J. Optoelectronics Advanced Materials*, **10**(10), 2578 – 2583.

Kathirvel, P.; Manoharan, D.; Mohan, S.M.; Kumar, S. (2009). Spectral investigations of chemical bath deposited Zinc Oxide thin films-ammonia gas sensor. *J. Optoelectronic and Biomedical Materials*, **1**(1), 25-33.

Myoung, Jae-Min; Yoon, Wook-Hi; Lee, Dong-Hi; Yun, Ilgu; Bae, Sang-Hyuck; Lee, Sang-Yeol (2002). Effects of thickness variation on properties of ZnO thin films grown by pulsed laser deposition. *Jpn. J. Appl. Phys*., **41**, 28-31.

Purica, M.; Budianu, E.; Rusu, E.; Danila, M.; Gavrila, R. (2002). Optical and structural investigation of ZnO thin film prepared by chemical vapor deposition (CVD). *Thin Solid Film*, 485-488.

Yang, S.; Liu, Y.; Zhang, Y.; Mo, D. (2010). Investigation of annealing-treatment on structural and optical properties of sol-gel-derived zinc oxide thin films. *Bull. Mater. Sci.*, **33**(3), 209-214.

Yun, Eui-Jung; Moon, Hye Ji.; Bae, Byung Seong (2012). Development of ZnO-based Thin-film Transistors with Top Gate Structures. *J. Korean Phys. Soci.*, **60**(1), 55-58.

Zahug, H. Ma. (1996). Scattering mechanisms of charge carriers in transparent conducting oxide films. *J. Appl. Phys.*, **62**, 487.