

تأثير المولارية و زمن التلدين على طاقات اورياخ لاغشية $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ المرسبة بطريقه الرش الكيميائي الحراري

عاد نجم صالح

قسم الفيزياء ، كلية التربية ، جامعة تكريت ، تكريت ، العراق

(تاريخ الاستلام: 25 / 3 / 2013 --- تاريخ القبول: 28 / 4 / 2013)

الملخص

حضرت أغشية ZnO على قواعد زجاجية بطريقه الرش الكيميائي الحراري بتراكيز مختلفة من نترات الخارصين ($0.1-0.5$) مولاريه. تم تعليم الاغشية ذات التركيز المولاري $M=0.1$ بنسبة تعليم ($X=0.1$). جرى تلدين الاغشية المقية والمطعمة عند درجة حرارة 400°C وبأزمان $0.5-2.5$ h. حسب طاقات اورياخ لجميع الاغشية باستخدام الخواص البصرية. وجد ان طاقة اورياخ تتراوح بين $83-160$ meV لاغشية المقية بينما اعلى قيمة 357 meV لاغشية $\text{Co}_{0.1}\text{Zn}_{0.9}\text{O}$. ووجد بان فجوة الطاقة تتناسب عكسيًا مع طاقات اورياخ تقريبا.

الكلمات المفتاحية: اوكسيد الخارصين ، الرش الكيميائي الحراري ، طاقة اورياخ.

1- المقدمة

القواعد باستخدام فرن كهربائي لعدة دقائق لتكون جاهزة للاستخدام. لتحضير محلول أغشية (ZnO) المقية تم استخدام مادة نترات الخارصين المائية $[\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ حضر محلول اوكسيد الخارصين في التركيز (M) (الخارصين في التركيز مولاري (M)) (0.1,0.2,0.3,0.4,0.5 mol/L). حيث تم إذابة كميات محددة من مادة نترات الخارصين المائية حسب التركيز المطلوب في (50ml) من الماء المقطر وإضافة (قطرات) من حامض التترريك (HNO_3) لمنع ترسب محلول ثم يخلط محلول باستخدام خلاط مغناطيسي لمدة $5-10$ min لإتمام عملية الإذابة، وبعد ذلك يتم ترك محلول لمدة ساعة للحصول على محلول متجانس، ومن ثم يوضع محلول في خزان جهاز الرش ويتم رش محلول على قواعد مسخنة بدرجة حرارة 375°C . يحضر محلول الإشباع بالكوبالت لغشاء من استخدام مادة نترات الكوبالت المائية $[\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ وقد تم التشويب بحسب حجميه مختلفة عند تركيز مولاري ($x=0$, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1) (DMS). وأجريت المعاملة الحرارية لاغشية المقية بتراكيز (0.3M) والمشوية بنسبة (4%) فقط عند درجة حرارة (400°C) وبזמן مختلف (0.5 h, 1h, 1.5h, 2.5h).

3- النتائج والمناقشة

يعرف معامل الامتصاص (α) بأنه نسبة التناقص في فيض طاقة الأشعة الساقطة بالنسبة لوحدة المسافة باتجاه انتشار الموجة داخل الوسط ويعتمد معامل الامتصاص على طاقة الفوتونات الساقطة وعلى خواص شبه الموصى [11]. أن شدة الأشعة الساقطة تتناقص بشكل أسي (e^{-at}) خلال المادة، ومعامل الامتصاص يمثل نسبة التناقص في طاقة الإشعاع خلال المادة ، ويتم حساب معامل الامتصاص من المعادلة التالية [12] :

$$\alpha = 2.303 \left(\frac{A}{t} \right) \quad (1)$$

حيث A تمثل الامتصاصية و t سمك الغشاء.

الشكل (1-4) توضح تغير لوغاريتmic معامل الامتصاص (α) مع طاقة الفوتونات $h\nu$ الساقطة على أغشية ZnO . ففي الشكل (1)

إن أكسيد التوصيل الشفافة هي من أشباه الموصلات المهمة وذلك لارتفاع توصيليتها الكهربائية ونفاذيتها البصرية (شفافة) فيمتد طيف النافذة فيها ما بين (400-1500 nm) [1]. وهي عبارة عن أشباه موصلات مركبة مكونة من معدن متعدد مع الأوكسجين أي إنها أشباه موصلات اوكسيدية مثل SnO_2 ، In_2O_3 ، ZnO .

أوكسيد الخارصين ZnO هو شبه موصل ذو فجوة طاقة مباشرة (3.22-3.32 eV) ويمتلك تركيب سداسي متراص. وقد استعمل بشكل واسع في صناعة الكثير من الأجهزة الألكتروبصرية [1] ، الخلايا الشمسية (طلاء مضاد للانعكاس) [2] ، متحسسات غاز [3] ، أجهزة الموجة السمعية السطحية [2-4] .

ان عملية تعليم اوكسيد الخارصين هي من العمليات المهمة وذلك لأنّه شبه موصل من النوع السالب تقائياً. وحديثاً استخدمت عناصر المعادن الانتقالية (TM) في تعليم ZnO مثل $(\text{Sc}, \text{Ti}, \text{V}, \text{Cr})$ ، Mn ، Fe ، Co ، Ni للحصول على شبه موصل مغناطيسي مخفف(DMS). هناك تقنيات مختلفة وعديدة والتي يمكن الحصول من خلالها على أغشية ZnO المطعمة بالكوبالت Co ومن هذه التقنيات الترذيز المغناطيسي [6] ، ترسيب نبضة ليزر [7] ، طريقة sol-gel [8] ، التعميم الفوقية لحزمة ليزر جزيئية LMBE [9] وطريقة الرش الكيميائي الحراري [10] .

إن تقنية الرش الكيميائي الحراري هي التقنية التي استخدمت بشكل واسع لأكثر من عقدين، بسبب سهولتها ولأنّها تقنية رخيصة ولإمكانية إنتاج أغشية على مساحة كبيرة.

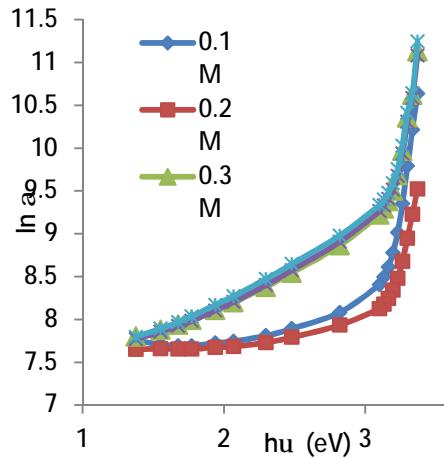
في دراستنا الحالية فإن أغشية $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ الواقية قد رسبت بواسطة تقنية الرش الكيميائي الحراري على قواعد زجاجية ودراسة خواصها البصرية.

2- الجانب العملي

تم استخدام قواعد زجاجية بسمك 0.17mm ومساحة $2.5 \times 2.5\text{mm}^2$. تم غسلها جيداً بالماء المقطر مع سائل تنظيف الزجاج بعد ذلك يتم وضعها في الأسيتون ثم بالماء. بعد ذلك تجفف هذه

لا يتغير مع $h\nu$ ضمن مدى الطاقات الاقل من 3 eV . أما عند زيادة المولارية ($M > 0.3$) فأن معامل الامتصاص يزداد بشكل واضح مع زيادة الطاقة.

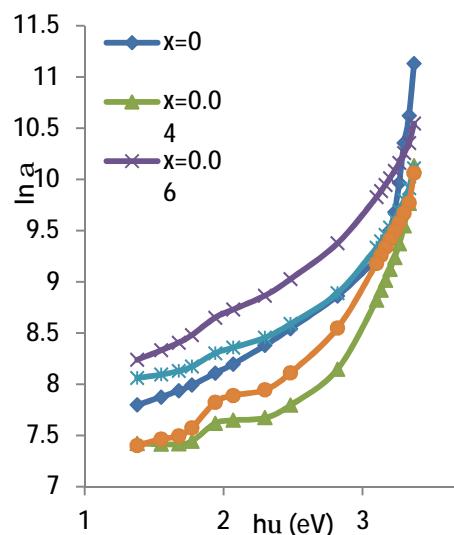
يوضح تأثير التركيز المولاري لاغشية ZnO النقيه ($x=0$) على معامل الامتصاص. حيث نلاحظ ان α لاغشية ذات المولارية $M=0.1$, 0.2 , 0.3 لا تعتمد بشكل كبير على طاقة الفوتونات ، أي أن معامل الامتصاص



شكل (1) يمثل $\ln\alpha$ مع طاقة الفوتون لتركيزات مolare مختلفة.

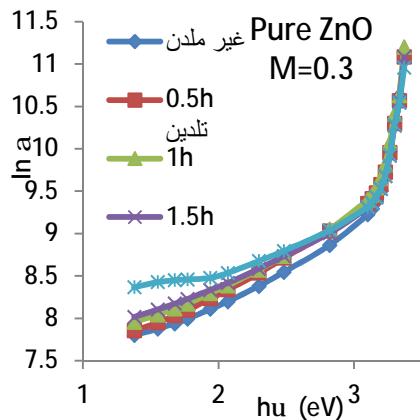
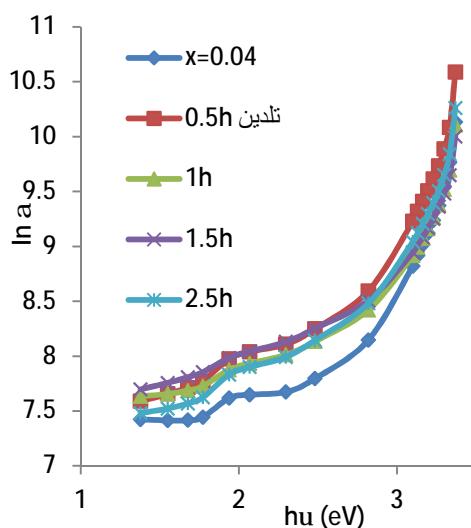
أما الشكل (2) فيوضح اعتماد $\ln\alpha$ على $h\nu$ لاغشية ZnO مقارنة مع أغشية ZnO النقيه.

أما الشكل (2) فيوضح اعتماد $\ln\alpha$ على $h\nu$ لاغشية ZnO المطعمة بالكوبالت Co . إذ نلاحظ أن تأثير التعطيم يكون واضحاً ويوثر بشكل كبير على قيمة α حيث كانت اقل قيمة له في أغشية



شكل (2) يمثل $\ln\alpha$ مع طاقة الفوتون لتركيزات تعطيم مختلفة.

أما الشكلان (3) و(4) فيبيبان تأثير زمن التلدين على معامل الامتصاص لغشاء ZnO النقي وغشاء $Co_{0.04}Zn_{0.96}O$ على التوالي. حيث يلاحظ أن زمن التلدين يكون تأثيره طفيفاً على α .

شكل (3) يمثل $\ln\alpha$ مع طاقة الفوتون لغشاء ZnO النقي الملن .شكل (4) يمثل $\ln\alpha$ مع طاقة الفوتون لغشاء $\text{Co}_{0.04}\text{Zn}_{0.96}\text{O}$ الملن.

حيث A ثابت ، E_g : فجوة الطاقة البصرية: r: معامل أسي يحدد نوع الانتقال، فإذا كانت: $r=1/2$ يمثل الانتقال المباشر المسموح (يحدث عند انتقال الإلكترون من أعلى نقطة في حزمة التكافؤ إلى أوطأ نقطة في حزمة التوصيل). أما $r=3/2$ فإنها للانتقال المباشر المنوع (يحدث عند انتقال الإلكترون من النقاط المجاورة لأعلى نقطة في حزمة التكافؤ إلى النقاط المجاورة لأوطأ نقطة في حزمة التوصيل). أما $r=2$ للانتقال غير المباشر المسموح (ويحدث عندما يكون الانتقال غير عمودي من أعلى نقطة في حزمة التكافؤ إلى أوطأ نقطة في حزمة التوصيل). في حين $r=3$ هي للانتقال غير المباشر المنوع (يحدث عند حصول الانتقال غير العمودي أيضاً، ولكن من النقاط المجاورة لأعلى وأوطأ نقطة في حزمتي التكافؤ والتوصيل على التوالي). ولغرض حساب فجوة الطاقة البصرية E_g وفق المعادلة أعلاه فقد تم رسم العلاقة $\alpha(h\nu)^2$ (دالة لطاقة الفوتون $(h\nu)$) لجميع الأغشية المحسنة إذ أن تقاطع امتداد المستقيم من المنحنى مع محور طاقة الفوتون $[0 = \alpha(h\nu)^2]$ يمثل قيمة فجوة الطاقة البصرية . الإشكال (9)

إن تغير معامل امتصاص هذه الأغشية جاء نتيجة لتغير امتصاصيتها A إذا فرضنا أن سمكها ثابت تقريباً. لذلك فإن زيادة A يأتي من امتصاص الفوتونات التي تمتلك طاقة أقل من حافة الامتصاص الأساسية لهذا فإنه يتوقع نشوء مستويات طاقة متمركزة داخل فجوة الطاقة ناتجة عن طريقة تحضير الأغشية[13]. إذا لابد من عرض هذه المستويات ومدى تأثيرها بعوامل التحضير. بالرجوع مرة أخرى إلى الأشكال الأربع السابقة ، نلاحظ وجود منطقتين لامتصاص:

المنطقة الأولى : والتي تقع $h\nu > 3 \text{ eV}$ ويكون معامل الامتصاص عالي في هذه المنطقة وتسمى بمنطقة الامتصاص العالي. وتكون الانقلالات الإلكترونيية السائدة في هذه المنطقة هي الانتقال من المستويات الممتدة في حزمة التكافؤ إلى المستويات الممتدة في حزمة التوصيل وتكون العلاقة بين معامل الامتصاص والطاقة لهذه المنطقة تخضع لعلاقة تاوك (Tauc) والتي تعطى بالمعادلة التالية[14] :

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

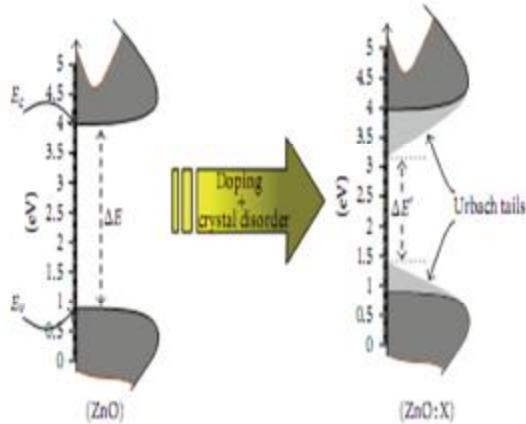
الممتدة (Extended) في حزمة التوصيل، أو من الحالات الممتدة في حزمة التكافؤ إلى حالات الذيل أسفل حزمة التوصيل. وتدعى هذه المنطقة بمنطقة أورياخ (Urbach) وتعطى العلاقة بين طاقة الفوتونات ومعامل الامتصاص وفق المعادلة التالية [16]:

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{hv}{E_U}\right) \quad (3)$$

حيث α_0 مقدار ثابت، E_U طاقة أورياخ (Urbach energy) والتي تمثل عرض الذيل المتمركزة وكذلك هي مؤشر لوجود أنواع مختلفة من الحالات العشوائية والعيوب التي تنشأ حسب الطريقة المستخدمة في التحضير والتي تؤدي إلى تمدد القطع المكافئ لكثافة الحالات عند حافة الحزمة وكما موضحة في المخطط (5) [16].

(6) تمثل قيم E_U كدالة للتراكيز المولاري ونسبة التطعيم وتتأثر زمن التدرين على الأغشية.

المنطقة الثانية والتي تقع عند $h\nu \leq 3 \text{ eV}$ حيث تنتص هذه الأغشية الفوتونات التي طاقتها أقل من قيمة حافة الامتصاص ، أي أقل من فجوة الطاقة. إذا كانت المادة نقية وخالية من العيوب وكانت طاقة الفوتونات الساقطة أقل من E_U فإن المادة تصبح شفافة وتتفذ هذه الفوتونات من خلال الغشاء. أما عندما تكون طاقة الفوتونات أكبر من فجوة الطاقة فإنها سوف تنتص. بالرجوع إلى الإشكال السابقة، نرى في المنطقة الثانية أنه تم امتصاص الفوتونات ، لذا يتوقع وجود مستويات طاقة متمركزة تتمتد من أعلى حزمة التكافؤ إلى أسفل حزمة التوصيل [15]. أن الامتصاص البصري لهذه المنطقة يرتبط بالانتقالات من حالات الذيل (Tails) التي تقع فوق حزمة التكافؤ إلى الحالات



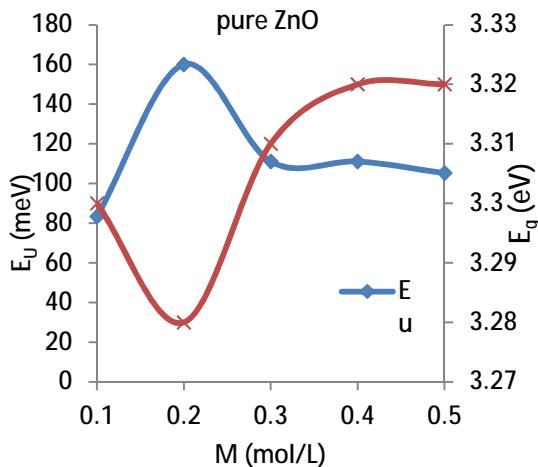
مخطط (5) يوضح ذيول طاقات أورياخ داخل فجوة الطاقة [16]

ناتجة من نشوء عيوب بلورية داخل الغشاء . إن وجود هذه المستويات يؤدي إلى انتقال الاكترونات من المستويات الذيلية إلى المستويات الممتدة و بالعكس وبالتالي فإن الاكترون لكي ينتقل من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل سوف يحتاج إلى طاقة قليلة ولهذا فإن فجوة الطاقة سوف تقل وهذا يتافق مع تغير E_U مع التراكيز المولاري حيث أقل قيمة لها عندما $M=0.2$ والموضحة في الشكل (6). أما الشكل (7) فيوضح العلاقة بين فجوة الطاقة E_U وطاقة أورياخ لlagashia النقية ، حيث نلاحظ أن زيادة E_U يؤدي إلى تقليل فجوة الطاقة.

ويمكن أيجاد E_U من أحد مقلوب ميل الإشكال (4-1) ضمن مدى الطاقة الأقل من حافة الامتصاص لذا فأن:

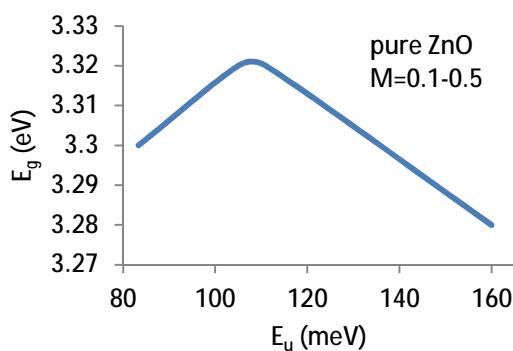
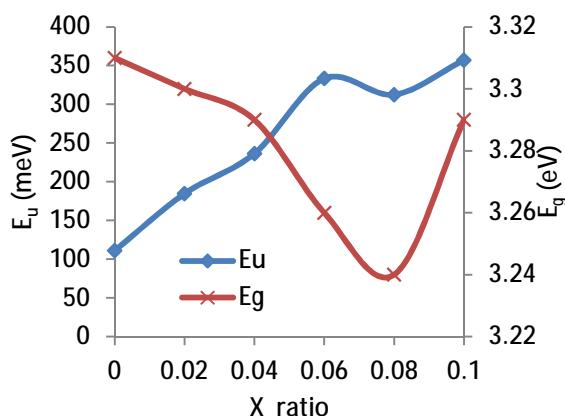
$$E_U = \left[\frac{d(\ln \alpha)}{d(hv)} \right]^{-1} \quad (4)$$

أن قيم E_U موضحة بالإشكال (9-6) كدالة للتراكيز المولاري والتطعيم وزمن التدرين. حيث الشكل (6) يبين تغير طاقة أورياخ مع التراكيز المولاري. نلاحظ أن أعلى قيمة E_U هي عند $M=0.2$ وتبلغ 160 meV أما أقل قيمة فهي 83.3 meV عندما $M=0.1$ ثم تأخذ قيمتها بالثبوت مع التراكيز عند 110 meV تقريباً. إن زيادة E_U يدل على وجود كثافة عالية من المستويات المتمركزة داخل فجوة الطاقة

شكل (6) تغير E_U و E_g مع التركيز المولاري.

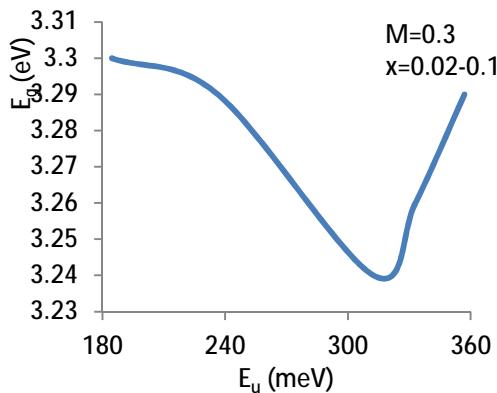
تعويض ايونات الكوبالت (Co^{2+}) عن ايونات الخارصين (Zn^{2+}) في تركيب شبكة السادساني المتراص لأوكسيد الخارصين [17]. وهذه النتائج تتفق مع نتائج البحوث المنشورة [18,19]. الشكل (9) الذي يوضح ان العلاقة بين طاقة اورياخ وجدة الطاقة هي علاقة عكسيه ما عدا الزيادة في E_g مع زيادة طاقة اورياخ ، أي عندما $X=0.1$ أن الزيادة في وجدة الطاقة تتضايق بسبب تأثير Burstein-Moss الذي يصف الإزاحة الزرقاء لحافة الامتصاص للأغشية [20].

اما الشكل (8) فيوضح تغير طاقة اورياخ مع نسبة التعويض X . يتبع من الشكل ان زيادة التعويض أدت الى زيادة طاقة اورياخ، أي زيادة في عرض المستويات المتمركزة وتكوين مستويات للشوائب داخل فجوة الطاقة. كذلك يلاحظ ان زيادة التعويض بالكوبالت أدى إلى تناقص وجدة الطاقة، أي إزاحة حافة الامتصاص إزاحة حمراء (red shift)، عندما $X \leq 0.08$ وهذه نسبة تُنسب إلى تبادل التفاعلات (d-d)، أي تفاعل الكترونات المستوى (d) الموضعية لأيونات الكوبالت والكترونات الحزمة لأوكسيد الخارصين، وهذا يدل على

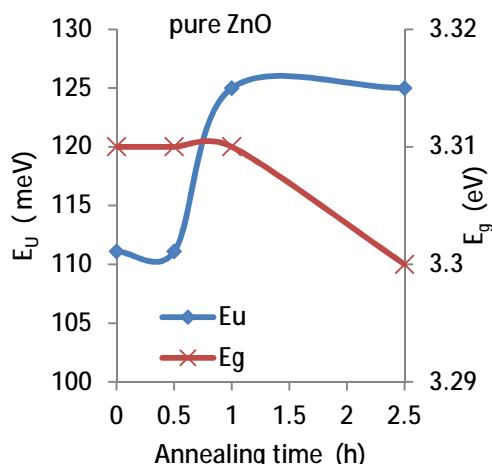
شكل(7) يمثل تغير E_g مع Eu لتركيزات مolare مختلفة.شكل (8) يمثل تغير E_U و E_g مع تركيز التعويض.

اقل قيمة لطاقة اورياخ تم الحصول عليها عند زمن التلدين $h = 0.5$ وهذه الحالة مشابه للغشاء النقي والموضحة بالشكل السابق. ويرجع السبب في ذلك الى ان ذرات المادة قد اعطيت الفرصة الكافية لنرتيب نفسها واخذها لمواقعها الاصلية[21] ، أما زيادة زمن التلدين على هذه القيمة ادى الى نتائج عكسية من زيادة طاقة اورياخ.

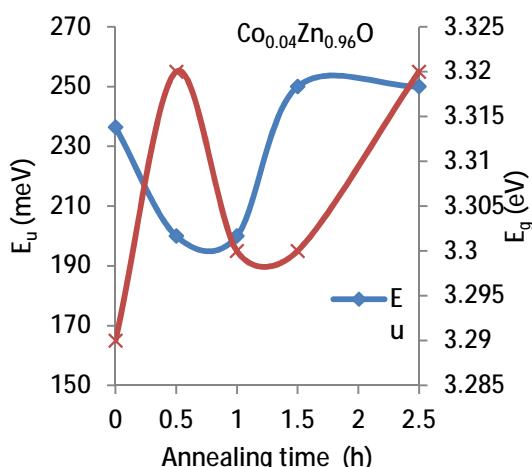
اما الشكل (10) فيوضح طاقة اورياخ وطاقة الفجوة لغشاء اوكسيد الخارصين النقي كدالة لزمن التلدين.حيث يلاحظ ان زمن التلدين يزيد من طاقة اورياخ وبالتالي يقلل من فجوة الطاقة. كذلك يوضح الشكل(11) تغير E_U مع زمن التلدين لغشاء $\text{Co}_{0.04}\text{Zn}_{0.96}\text{O}$. حيث يلاحظ ان E_U و E_g مع زمن التلدين.



شكل(9) يمثل تغير E_U مع E_g لترانزistor مختلف.



شكل(10) يمثل تغير E_U و E_g مع زمن التلدين لغشاء ZnO النقي.



شكل(11) يمثل تغير E_U و E_g مع زمن التلدين لغشاء $\text{Co}_{0.04}\text{Zn}_{0.96}\text{O}$.

العلاقة اورياخ وقد تم حساب طاقة اورياخ لهذه الاغشية كدالة للتركيز المولاري ونسبة النطعيم وزمن التدین. كذلك وجد بان تغير فجوة الطاقة لهذه الاغشية جاء نتيجة لتغير طاقة اورياخ والتي نتجة من تكون المستويات المتمركزة داخل فجوة الطاقة.

4- الاستنتاجات

ان معامل الامتصاص يتأثر مع زيادة تركيز الخارجيين وخاصة في المolarية الافضل من 0.3 mol/L ، كذلك يتأثر مع زيادة تركيز الكوبالت X ، اما تأثيره مع زمن التدین فيكون قليلا. وجد بان الاغشية في منطقة الامتصاص الاقل من حافة الامتصاص الاساسية تخضع المصادر

- [1] D. Chaltopadhyay, P. Rakshit, B. Saha and N. Purkait, " Foundations of electronics"Second Edition, New Age International (2003).
- [2] L. Solymar and D. Walsh, " Electrical Properties of Materials", Seven Edition, Oxford (2004).
- [3] K. P. Sze "Process Development for ZnO-Based Devices"Ph.D. Dissertation, University of Florida, (2005).
- [4] T. Teiner, "Semiconductor nanostructures for Optoelectronic Applications", Artech House, Inc. (2004).
- [5] Z. S. feng, Y. C. hong, L. Qi, S. F.qi , W. J.guo, W. G.hou. " Cluster-assembled cobalt doped ZnO nanostructured film prepared by low energy cluster beam deposition". Trans. Nonferrous Met. Soc. China Vol.19,1450 (2009) .
- [6] M. Fonin, G. Mayer, E. Biegger, N. Janßen, M. Beyer, T. Thomay, R. Bratschitsch, Y.S. Dedkov and U. Udiger." Defect induced ferromagnetism in Co-doped ZnO thin films", Journal of physics / conference series, Vol.100, 42034(2008)
- [7] A.A. Yousif , N.F. Habubil , A.A. Haidar," Nanostructure Zinc Oxide with Cobalt Dopant by PLD for Gas Sensor Applications". J. Nano- Electron. Phys. Vol 4, 02007 (2012).
- [8] N. Murugesan and A. Achuthanunni. " Structural and Optical Properties Of Undoped and CoDoped ZnO Nanostructured Thin Films ". Suranaree J. Sci. Technol. Vol. 18 No.(1),81 (2011).
- [9] H. Morkoc and U. Ozgur, "Zinc Oxide" Fundamentals, Materials and Device Technology, Wiley- Vch Verlag, (2009).
- [10] S. Gautam , P. Thakur, , K. H. Chae, G. S. Chang, K. Asokan." Electronic Structure of Co-doped ZnO Thin Films by X-ray Absorption and Emission Spectroscopy" J. Korean Phys. Society, Vol. 55, No. 1, 167(2009).
- [11] J. Singh, "Optical Properties of Condensed Matter and Applications", John Wiley & Sons Ltd (2006).
- [12] M.Caglar, S.Ilican, Y.Caglar," Determination and Analysis of the Dispersive Optical Constants of

the Non-Crystalline ZnO Thin Films",Physica Macedonica Vol.56, 49 (2006).

- [13] F. Urbach" The Long-wavelength Edge of Photographic Sensitivity and of the Electronic Absorption of Solids" Phys.Rev.Vol.92.1324(1953).
- [14] S. Tanunchai, S. Towta, N. Mangkorntong, P. Mangkorntong and S. Choopun "Urbach Energy of Hexagonal ZnO and $Mg_{0.05}Zn_{0.95}O$ Thin Film Grown by RF Sputtering"Chiang Mai J. Sci. Vol.32(3) 453(2005).
- [15] J. Singh and K. Shimakawa "Advances in Amorphous Semiconductors" Taylor & Francis (2003).
- [16] A. Boukhachem, B. Ouni, A. Bouzidi, A. Amlouk, K. Boubaker, M. Bouhafs, and M. Amlouk."Quantum Effects of Indium /Ytterbium Doping on ZnO-Like Nano-Condensed Matter in terms of Urbach-Martienssen and Wemple-Di Domenico Single- Oscillator Models Parameters" Condensed Matter Physics. Vol.1 (2012),
- [17] S. Kumar, R. Kumar, D.P. Singh, "Shift heavy ion induced modifications in cobalt doped ZnO thin films: Structural and optical studies", Applied Surface Science, Vol. 255, 8014 (2009).
- [18] C.B. Fitzgerald, M. Venkatesan, J.G. Lunney, L.S. Dorneles, and J.M.D. Coey, "Cobalt-doped ZnO – a room temperature dilute magnetic semiconductor", Applied Surface Science, Vol. 247, 493 (2005).
- [19] L. Wei, Z. Li, and W.F. Zhang, "Influence of Co doping content on its valence state in $Zn_{1-x}Co_xO$ ($0 \leq x \leq 0.15$) thin films", Applied Surface Science, Vol. 255, 4992 (2009).
- [20] Shou-Yi Kuo, Wei-Chun Chen, Fang-I Lai, Chin-Pao Cheng, Hao-Chung Kuo, Shing-Chung Wang, Wen-Feng Hsieh," Effects of doping concentration and annealing temperature on properties of highly-oriented Al-doped ZnO films" , Journal of Crystal Growth Vol. 287,78 (2006).
- [21] J. Mathew, G Varghese, and J Mathew"Effect of post-thermal annealing on the structural and optical properties of ZnO thin films prepared from a polymer precursor" Chin. Phys. B Vol. 21(7) ,078104 (2012).

Effect of Molarity and Annealing Time on Urbach Energy for $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ Thin Films Prepared by spray Pyrolysis method

Ayed N. Saleh

Department of Physics , Collage of Education, Tikrit University , Tikrit , Iraq

(Received: 25 / 3 / 2013 ---- Accepted: 28 / 4 / 2013)

Abstract

ZnO thin films have been deposited onto glass substrates by the spray Pyrolysis method. Different concentrations of Zinc nitrite (0.1-0.5 mol/L) was used. These films doped with different x ratio ($x=0-0.1$) and annealed at 400C° for annealing time about (0.5-2.5 h).Urbach energies have been calculated by optical properties. It has been found that Urbach energy for pure films is nearly (83-160 meV) while the maximum value of $\text{Co}_{0.1}\text{Zn}_{0.9}\text{O}$ thin film is 357 meV. It has also been found that energy gap is in inverse proportion with urbach energy.

Keywords: ZnO, Spray pyrolysis, Urbach energy.