تأثير السمك والتلدين على الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية ZnO : Al

ميسم شهاب احمد

قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة الموصل

(أستلم 27/ 11/ 2013 ؛ قُبل 7/ 4/ 2014)

الملخص

حضرت أغشية الاكاسيد الموصلة الشفافة (ZnO) المطعمة بالألومنيوم (Al) عند درجة حرارة (500 °C) باستخدام منظومة الترسيب البخاري الكيميائي عند الضغط الجوي الاعتيادي (APCVD)، تم استعمال مادة خلات الخارصين المائية كمادة أساس و نترات الالمنيوم المائية كمادة تطعيم لتحضير أغشية (ZnO:Al) ولأسمك مختلفة 0.539µm, 0.369µm, 0.227µm, (0.057µm)، تم دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لهذه الأغشية. أظهرت قياسات الأشعة السينية (XRD) ان تركيب ZnO:Al متعدد التبلور ومن النوع السداسي وذو اتجاه مفضل للنمو (002). درست طوبوغرافية سطوح الأغشية المحضرة باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) وأظهرت نتائج الفحص تناقصاً في خشونة سطح الغشاء بعد التلدين من (2.93 nm- 1.6nm) لنفس السمك وكذلك تناقصاً في الحجم الحبيبي ضمن المدى النانومتري. وتمت دراسة تأثير السمك والتلدين عند أزمان مختلفة على الخصائص البصرية. بينت نتائج القياسات البصرية إن النفاذية تقل بزيادة سمك الغشاء وتزداد بزيادة زمن التلدين عند الأسمك القليلة بينما عند الأسمك الأكبر يكون تأثيرها قليلاً. اما بالنسبة الى فجوة الطاقة البصرية فذلك تزداد بزيادة زمن التلدين.

الكلمات الدالة: ZnO: Al، الخصائص التركيبية والبصرية لـ ZnO:Al .

The Effect of Thickness and Annealing on Structural and Optical Properties of ZnO: Al Thin Films

Maysam Sh. Ahmed

Department of Physics/ College of Education/ University of Mosul

ABSTRACT

ZnO: Al transparent conductive thin films was prepared by home-made chemical vapor deposition system at (500°C). Zinc acetate dehydrate precursor was used to obtain ZnO films and aluminum nitrate nonahydrate as a dopant source to prepare different thickness (0.539µm, 0.369µm, 0.227µm, 0.057µm) of ZnO: Al thin films. In this study the structural and optical properties of thin films were investigated. X-ray measurements revealed that films structure was polycrystalline of hexagonal quartzite type with preferential orientation along (002) direction. The surface morphology of the films was determined by atomic force microscope (AFM) and the measurements indicate an increase in the smoothness of the upper surfaces after annealing (2.93 nm-1.6nm), and the grain sizes of the sample was in the Nano metric scale. The effect of thickness and annealing time on optical properties of the films were investigated. From the measurements, it was found that the transmittance decrease with increasing thickness. On the other hand, the transmittance and the optical gap increase with increasing the annealing time for low thicknesses, while for the higher thicknesses, a little changes were observed.

Keywords: ZnO: Al, thicknesses of ZnO: Al, structural and optical properties

المقدمة

تحتل الأغشية الرقيقة مكانا بارزا في البحوث التطبيقية لفيزياء الحالة الصلبة حيث من الممكن معرفة الصفات الفيزيائية والكيميائية التي تتعذر دراستها في بعض الأحيان وهي في حالتها الصلدة (Bulk) (Mohamed *et al.*, 2010). ويعد اوكسيد الخارصين من المركبات الموصلة الشفافة (TCO) المهمة بسبب امتلاكه فجوة طاقة واسعة 3.3eV (Islam and Podder, 2009). وهو من النوع n-Type ذو التركيب سداسي الأضلاع، ويمتلك طاقة ربط اكسيتون كبيرة عند درجة حرارة الغرفة (Coskun *et al.*, 2008) (Seyed and Abdol Hamied, 2006). تأتي أهميه ZnO من كثرة تطبيقاته فهو يستخدم في النبائط الالكتروبصرية مثل باعث الضوء الأزرق، وثنائيات الليزر ذات الأطوال الموجية القصيرة (Manssor *et al.*, 2011) من المعروف ان من الصعب تصنيع ZnO من النوع P- وهذه الصعوبة متأتية من كونه مطعما ذاتيا كنوع n- إنشاء تحضيره (Seyed and Abdol Hamied, 2006; Shamala *et al.*, 2004)، وعند تطعيمه بذرات من عناصر المجموعة I أو V في الجدول الدوري يتوقع حصول تعويض Compensation للذرات "القابلة" من الالكترونات الموجودة أصلا في مستويات الذرات "المانحة". وفي هذه الحالة يتحول شبة الموصل ZnO إلى مركب ذي مقاومة كهربائية عالية بسبب وجود الايونات المانحة والقابلة في الوقت نفسه (Aoki *et al.*, 2000). استخدمت عدة تقنيات لتحضير أغشية اوكسيد الخارصين منها تقنية التريذ (Sputtering) التحلل الحراري بالرش (Spray Pyrolysis)، الترسيب بالحزمة الجزيئية (Molecular Beam Epitaxy)، الترسيب بالليزر النبضي (Pulsed Laser Deposition) وتقنية الترسيب البخاري الكيميائي عند الضغط الجوي الاعتيادي (Shindov, 2004; Mohamed, 2012; Islam and Podder, 2009; Shamala *et al.*, 2004). ومن تطبيقاتها استخدامها كأقطاب التوصيل الشفاف (Transparent Conductive electrodes) والشاشات البلورية السائلة (Liquid Crystal Display) وطلاء النوافذ والمرايا الحرارية والخلايا الشمسية (Al-sofy, 2009; Rozati and Akeste, 2008).

أجريت العديد من الدراسات حول موضوع التلدين لأغشية ZnO ومركباته باستخدام تقنيات مختلفة. أظهرت دراسة (Arfsten, 1984) أن تقنية تشويب ZnO تجعل منه اوكسيد موصل شفاف (TCOs) وبمواصفات فريدة اذ تتحسن خواصه البصرية والكهربائية ولاسيما عندما يطعم بعناصر المجموعة الثالثة. أما الباحثان (Santana and Acevedo, 1999) فقد قاما بدراسة الخصائص التركيبية والبصرية لـ $(\text{ZnO})_x(\text{CdO})_{1-x}$ بطريقة التريذ، حيث وجدوا تحسناً في الخصائص البلورية والنفاذية للمادة مع التلدين الحراري. وان فجوة الطاقة البصرية تتخفض مع التلدين الحراري ولأسماء مختلفة. وفي هذه الدراسة اجري مسح للعديد من الدراسات السابقة في هذا الموضوع حيث لوحظ تضارب في نتائج الخصائص البصرية للعديد من الدراسات. لذا يهدف هذا العمل الى دراسة تأثير الاسماء المختلفة لأغشية اوكسيد الخارصين المطعم بالألمنيوم قبل التلدين وبعده على الخصائص التركيبية والبصرية عند تحضير الاغشية بتقنية الترسيب البخاري الكيميائي CVD من خلال التعرف على الطبيعة البلورية وطبيعة التركيب للأغشية للحصول على اغشية ذات مواصفات جيدة يمكن تحسين صفاتها في منطقة الطيف المرئي وتحت الحمراء القريبة .

الجانب العملي

تم تحضير أغشية ZnO:Al باستخدام خلاات الخارصين المائية $(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})_{0.95}$ مضافا إليها نترات الألمنيوم المائية $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O})_{0.05}$ باستخدام منظومة الـ CVD. توضع المادة في بودقة التبخير لتبدأ عملية التسخين إلى درجة حرارة الذوبان ومن ثم التبخير، بعد ذلك يتم إمرار الأوكسجين من خلال مقياس التدفق (Flow Meter) بمعدل سريان (1L/min) بوصفه غازاً حاملاً لنقل الأبخرة إلى حجرة الترسيب. إن عملية طرد الأبخرة لمدة خمس دقائق قبل دخولها إلى حجرة

الترسيب بواسطة صمام التوجيه (Reversible Valve) يعد أمراً مهماً وذلك للتخلص من الضبابية التي تتكون على الغشاء الرقيق. رسبت أغشية اوكسيد الخارصين المطعمة بالألمنيوم (ZnO:Al) على أرضيات من الزجاج ذات إبعاد 2.54×2.54 cm (*). بعد تنظيفها باستخدام محلول الصابون و حامض الهيدروكلوريك (HCl) لمدة خمس دقائق وأخيراً استخدمت الأمواج فوق الصوتية بمحلول الايثانول لمدة خمس عشرة دقيقة وبعدها تترك لتجف (Shindov, 2004). تم ترسيب جميع الأغشية عند درجة حرارة 500°C (Seyed and Abdol hamied, 2006) باستخدام منظومة الترسيب البخاري، وفيها تم استخدام المزوج الحراري نوع (K -Type: Chromel Alumel) المتصل بمسيطر حراري نوع (SG - 642) للقياس والسيطرة على درجة حرارة الأرضيات ومن ثم قمنا بتلدين النماذج داخل جهاز التلدين المفرغ من الهواء عند درجة حرارة 500°C ولازمته مختلفة (30min, 60min, 120min, 180min) الشكل (1) يوضح منظومة الترسيب البخاري الكيميائي عند الضغط الجوي.

الشكل 1: منظومة الترسيب البخاري الكيميائي (Manssor et al., 2011)

تم قياس سمك الأغشية الرقيقة المحضرة باستخدام الطريقة الوزنية، وذلك باستعمال ميزان الكتروني ذي حساسية 10^{-4} gm، حيث تم وزن الأرضية قبل وبعد عملية الترسيب، وعن طريق إيجاد فرق الكتلة وبمعرفة كثافة مادة الغشاء ومساحته يمكن إيجاد السمك (t) وفق المعادلة (1) (Manssor et al., 2011; Shindov, 2004):

$$t = (m_2 - m_1) / A \rho \quad \dots\dots\dots (1)$$

إذ أن :

(m) كتلة مادة الغشاء	(t) سمك الغشاء
(A) مساحة الغشاء	(ρ) كثافة مادة الغشاء

تمثل (ρ) كثافة مادة غشاء اوكسيد الخارصين النقي، إما في حالة الأغشية المطعمة فان (ρ_{tot.}) تمثل الكثافة الكلية للمواد الداخلة في تركيب الغشاء المطعم، والعلاقة الآتية تبين طريقة حساب الكثافة الكلية (ρ_{tot.}):

$$\text{الكثافة الكلية } (\rho_{\text{tot.}}) = [\text{كثافة مادة اوكسيد الخارصين} \times \text{نسبتها الوزنية المئوية}] + [\text{كثافة مادة التطعيم} \times \text{نسبتها الوزنية المئوية}]$$

القياسات التركيبية والبصرية

أجريت القياسات التركيبية في مركز النانوتكنولوجي في الجامعة التكنولوجية/ بغداد باستخدام جهاز حيود الأشعة السينية ذي هدف نوع (Cu) وبطول موجي ($1.5406 \text{ \AA}$) ولأسماك مختلفة من أغشية (ZnO : Al)، عند درجة حرارة ثابتة وكانت (500 °C).

تم حساب المسافة البينية بين المستويات البلورية (d_{hkl}) من خلال قانون براك (Bragg's law) الموضح بالمعادلة (2) (Mohamed *et al.*, 2010; Mohamed, 2012):

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

اذ أن

(n) تمثل مراتب الحيود (عدد صحيح)، وتأخذ القيم 1، 2، 3 .. الخ

(θ) زاوية الحيود.

(d_{hkl}) المسافة العمودية بين المستويات (المسافة البينية).

($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$) الطول الموجي للأشعة السينية المستعملة.

كذلك تم حساب الحجم الحبيبي ($D(\text{\AA})$) في جميع الاتجاهات لجميع أغشية (ZnO:Al) باستخدام معادلة شيرر (Scherrer) المبينة في المعادلة (3) (Green way and Harbeke, 1970):

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta} \quad \dots\dots\dots (3)$$

إذ أن :

(λ) الطول الموجي للأشعة السينية المستعملة.

(β) العرض الكامل عند منتصف قمة الحيود (FWHM) وتقاس بالزوايا النصف قطرية.

(θ) زاوية الحيود، (0.9) عامل التصحيح (Correction Factor).

ولقد تضمنت القياسات التركيبية قياسات مجهر القوة الذرية (Atomic Force Microscope) مبيناً فيها طوبوغرافية (Topography) السطح والتي تشمل معدل خشونة السطح (Roughness Average) والجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة (Root Mean Square - RMS)، وحجم الحبيبات (Grain Size). يقوم جهاز مجهر القوة الذرية (AFM) بقياس خشونة السطح والذي يعتبر عامل أساسي يدل على حيود أو انحراف السطح للغشاء مقارنة مع سطح مستوي تام (Perfect Plane). كذلك نلاحظ بان جهاز (AFM) يزودنا بمعلومات عن الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة (R_{rms}) والذي يعرف بالمعادلة (4) (Manssor *et al.*, 2011).

$$R_{rms} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(Z_i - Z_{av})^2}{N}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

إذ أن (Z_i) تمثل قيمة (Z) لكل نقطة و (Z_{av}) تمثل معدل قيم (Z) و (N) يمثل عدد النقاط التي تم قياسها، قيم الجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة (RMS) ومعدل خشونة السطح (Roughness Average).

واشتملت القياسات البصرية قياس النفاذية والامتصاصية لأغشية اوكسيد الخارصين المطعمة بالألمنيوم (ZnO:Al) المحضرة على أرضيات من الزجاج لمدى الأطوال الموجية (340-1000 nm) باستخدام جهاز (Shimadzu – UV 1800 Spector Photometer) ذي الحزمتين ومن قيم النفاذية تم حساب معامل الامتصاص وفق المعادلة (5) (Manssor *et al.*, 2011):

$$T = (1-R)^2 \exp (-\alpha t) \quad \dots\dots\dots(5)$$

وتمثل :

$(I/I_0) = T$: نفاذية الغشاء R : انعكاسية الغشاء.

α : معامل الامتصاص. t : سمك الغشاء

وكذلك حسب فجوة الطاقة البصرية (E_{opt}) باستخدام المعادلة (6) (Mohamed *et al.*, 2010).

$$\alpha h \nu = A(h \nu - E_{opt})^{1/2} \quad \dots\dots\dots(6)$$

إذ أن:

h : ثابت بلانك، ν : تردد فوتون الضوء الساقط .

A : ثابت يعتمد على قيمتي الكتلة الفعالة لحاملات الشحنة، E_{op} : فجوة الطاقة البصرية.

النتائج والمناقشة

الخصائص التركيبية

أظهرت نتائج حيود الأشعة السينية للنماذج المرسبة على أرضيات من الزجاج بدرجة حرارة (500 °C) لأغشية (ZnO : Al) وبأسماك مختلفة (0.057µm , 0.227µm , 0.369µm , 0.539µm) كالآتي:

الإشكال ((1-a,b), (2- a,b), (3 -a,b), (4-a,b)) توضح ظهور ثلاث ذروات مفضلة لنمو الحبيبات البلورية في الاتجاهات (101), (002), (100) ولجميع النماذج، ومع نمو متميز بالاتجاهية (002) وهذا مطابق مع بطاقة (JCPDC) العالمية لـ ZnO (Frank Mc Clune, 1976)، وظهور هذه الذروات يدل على أن التركيب الذي تم الحصول عليه هو متعدد التبلور (Polycrystalline) كذلك يدل على أن الغشاء المحضر ذي جودة عالية بسبب الشدة العالية لـ (002) وان الاتجاه المفضل للنمو كان بالاتجاه الموازي للإحداثي -c مما يؤكد على أن التركيب هو من النوع السداسي (Hexagonal Wurtizte Type) (Coskun *et al.*, 2008; Al-sofy, 2009). ويتبين من الإشكال (1-4) قبل التلدين وبعده زيادة شدة الذروة كلما قل السمك مع توسع طفيف للذروة الرئيسية (FWHM) إذ ازدادت قيمتها من أقل سمك (0.157deg) حيث كانت (0.057µm) لتصبح عند أعلى سمك (0.539µm) (0.166 deg). وسبب ذلك يعزى لقلّة المستويات الكافية لحدوث انعكاس براك Manssor *et al.*, 2011)، إما عند مقارنة نتائج فحوصات الـ XRD لكل سمك لوحده قبل التلدين وبعده فنلاحظ أنه عند السمك (µm) 0.227 زيادة شدة الذروة بشكل كبير قياساً بالأسماك الكبيرة.

كذلك تم حساب حجم معدل قطر الحبيبة بالاتجاه المفضل للنمو (002) لأغشية أكسيد الخارصين المطعم بالألومنيوم بنسبة 5% من معادلة شيرر (Al-sofy, 2009; Nassir and Manssor, 2012) وكما مبين في (الجدول 1).

الجدول 1: النتائج التجريبية لقياسات حيود الأشعة السينية (XRD) لأغشية (ZnO:Al)

Thickness Sample ZnO :Al	(hkl)	2θ (deg)	FWHM (deg)	D before Annealing	D After Annealing	Data From (JCPDS) Card d_{hkl} (Å)
0.539µm	002	34.4317	0.16630	87.294 nm	50.969nm	2.602
0.369µm	002	34.4452	0.16650	89.774nm	87.184nm	2.601
0.227µm	002	34.4530	0.16770	89.486nm	86.562nm	2.602
0.057µm	002	34.4630	0.15740	92.222nm	74.737nm	2.602

تمت دراسة طوبوغرافية (Topography) السطح للأغشية المطعمة (ZnO : Al) باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM). الشكل (5-a) يوضح صورة مقاطع لسطوح أغشية ذات مساحة $[(2.54 \times 2.54) \text{ cm}^2]$ ثلاثية الأبعاد (3-Dimensions) للغشاء المطعم بالألومنيوم بنسبة 5% وللمسك $0.539\mu\text{m}$ والشكل (5-b) يوضح الصور الفوقية ثنائية الأبعاد (2-Dimensions) لسطح نفس العينة. تبين من هذين الشكلين أن أحجام الحبيبات لجميع العينات تقع في منطقة المقياس النانوميتر. كما نلاحظ أيضاً أن الحبيبات تبدو ناعمة ومنظمة وهناك مناطق داكنة ومضيئة على السطح وتقل هذه المناطق بعد التلدين كما في الشكل (6-a,b) مما يدل على زيادة نعومة السطح العلوي للغشاء الرقيق (Coskun *et al.*, 2008). والشكل (6-a,b) لسطح (ZnO : Al) يبين الصور بحجم (20032nm, 20032 nm)، نلاحظ أن قيم (RMS) ومعدل الخشونة تتناقص بعد التلدين مما يدل على أن نعومة السطح للأغشية تزداد بعد التلدين وينقص السمك أيضاً. وكما موضح بالجدول (2).

الجدول 2 : النتائج التجريبية لقياسات (AFM) لأغشية (ZnO:Al)

Atomic Force Microscope Data Image Size: 20032 nm, 20032 nm		
	Before Annealing	After Annealing
Roughness Average (nm)	2.93 [nm]	1.61[nm]
Root Mean Square (nm)	0.17[1/n]	0.107[1/n]
(scanning probe microscope) Avg. Diameter	107.54nm	83.87 nm

الخصائص البصرية (منصور وآخرون، 2013)

تعتبر القياسات البصرية أحد أهم الوسائل لتحديد التركيب الحزمي لأشباه الموصلات. وان الانتقالات الالكترونية الحاصلة بين حزم الطاقة التي يحدثها الضوء تقود إلى تحديد فجوة الطاقة البصرية. في عملنا هذا أجريت قياسات لطيفي النفاذية والامتصاصية لدراسة الخصائص البصرية لأغشية (ZnO:Al) ولأسمالك مختلفة $0.539\mu\text{m}$, $0.369\mu\text{m}$, $0.227\mu\text{m}$, $(0.057\mu\text{m})$ ، عند نسبة تطعيم 5% والمرسبة عند درجة حرارة (500°C) ، الشكل (7a) يوضح علاقة طيف النفاذية لهذه الأغشية مع الطول الموجي لمدى الأطوال الموجية (300–1000 nm) عند اسمالك مختلفة ZnO:Al قبل التلدين. ويلاحظ بان الطيف يُظهر انخفاضاً حاداً عند منطقة الطيف فوق البنفسجي عند حوالي (370 nm) يدل هذا على الامتصاص العالي للفوتونات الساقطة على الغشاء في هذه المنطقة من الطيف الكهرومغناطيسي، ومن حافة الامتصاص يمكن تحديد القيمة التقريبية لفجوة الطاقة للغشاء (ZnO:Al) لأنها تدل على الانتقالات الالكترونية من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل. في الشكل (7b) فيوضح علاقة النفاذية مع الطول الموجي للأغشية بعد تلدينها لمدة ثلاث ساعات إذ نلاحظ أن قيمتها كبيرة عند الأطوال الموجية الواقعة ضمن الطيف المرئي وتحت الحمراء القريبة وتقل هذه القيمة بالاقتراب من الأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجي (Hsuang Cheng *et al.*, 2008)، مما يبين زيادة النفاذية بعد التلدين (Seyed and Abdol Hamied, 2006) وخاصة الأغشية ذات الاسماك ($0.227\mu\text{m}$ و $0.057\mu\text{m}$) ويمكن أن يعزى ذلك إلى زيادة حجم الحبيبات البلورية مما يؤدي بدوره إلى التقليل من تشتت حاملات الشحنة (Shindov, 2004; Santana and Acevedo, 1999; Green way and Harbeke, 1970) ونلاحظ أيضاً من الشكلين (7-a) و(7-b) بان حافة الامتصاص تتراح نحو الأطوال الموجية القصيرة (منطقة الطيف فوق البنفسجي) يدل هذا على الامتصاص العالي للفوتون الساقط على الغشاء في هذه المنطقة من

الطيف الكهرومغناطيسي فيسبب الزحف زيادة في تركيز حاملات الشحنة الحرة الناتجة من التطعيم والتي تسبب زحف بورشتن-موس (Burststein - Moss) (Al-sofy, 2009; Coskun *et al.*, 2008).

نلاحظ من الإشكال (8-a,b,c,d) أن النفاذية لا تتأثر كثيرا بالتلدين عند أزمنه مختلفة للغشاء ذات السمك الأكبر ($0.539 \mu\text{m}$)، بينما نلاحظ زيادة في النفاذية بشكل واضح للأغشية ذوات الاسماك ($0.227 \mu\text{m}$) ($0.057 \mu\text{m}$, $0.369 \mu\text{m}$). أما في الأشكال (9-a)، (9-b) فنجد أن معامل الامتصاص للأغشية يقل مع زحف نحو الطاقات الفوتونية العالية (Al-sofy, 2009)، كذلك يمكن ملاحظة امتلاك الأغشية حافة امتصاص حادة إذ أن هذه القيمة تزداد مع زيادة طاقة الفوتون وهذا يساعد على حدوث انتقالات الالكترونية مباشرة (Nassir and Manssor, 2012; Mohamed *et al.*, 2010) كما تم حساب فجوة الطاقة والتي تعرف فجوة الطاقة البصرية وهي اقل طاقة لازمة لانتقال إلكترون من قمة حزمة التكافؤ الى قعر حزمة التوصيل لأغشية ZnO:Al عند درجة حرارة للأرضيات 500°C باستخدام معادلة الانتقال الالكتروني المباشر لاحظ المعادلة (5) (Goerge *et al.*, 1986; Mott and Davis, 1979; Mohamed *et al.*, 2010).

رسمت العلاقة $(\alpha h\nu)^2$ وطاقة الفوتون ($h\nu$) وامتداد الجزء المستقيم من المنحني يقطع محور طاقة الفوتون عند النقطة $=0$ $(\alpha h\nu)^2$ ويتم الحصول على قيمة فجوة الطاقة للانتقال المباشر المسموح، الأشكال (10-a:h) (Mohamed *et al.*, 2010; Coskun *et al.*, 2008). الإشكال (10-a:h) تبين زيادة فجوة الطاقة كلما قل السمك ليبدو واضحا ان الزيادة في فجوة الطاقة اكبر بعد التلدين وخاصة للأسماك القليلة (Coskun *et al.*, 2008). أما الشكل (11-a,b) فان فجوة الطاقة تقل كلما زاد السمك ويعزى هذا الى ظهور عيوب غير منتظمة في مركز فجوة الطاقة والتي بدورها تقلل فجوة الطاقة (Coskun *et al.*, 2008; Islam and Podder, 2009) وكما موضح في الجدول (3) والذي يبين قيم فجوة الطاقة لأسماك مختلفة قبل وبعد التلدين.

الجدول 3: قيم فجوة الطاقة لجميع الأسماك لأغشية ZnO:Al

Annealing time at 500°C	$t_1 = 0.539 \mu\text{m}$ Eg (eV)	$t_3 = 0.369 \mu\text{m}$ Eg (eV)	$t_5 = 0.227 \mu\text{m}$ Eg (eV)	$t_7 = 0.057 \mu\text{m}$ Eg (eV)
Room temperature	2.85	3	3.02	3.1
Annealing 3hr	2.95	3.05	3.1	3.2

الاستنتاجات

- بعد غشاء ZnO:Al ذو تركيب متعدد التبلور ومن النوع السداسي ويمتلك اتجاهها مفضلا للنمو عند (002).
- تزداد النفاذية لغشاء ZnO:Al بعد التلدين وكذلك كلما قل السمك.
- تزداد فجوة الطاقة البصرية بعد التلدين للأسماك القليلة لكنها لم تتأثر كثيرا للأسماك ذات القيمة الكبيرة.

الشكل 1-a: مخطط حيود الأشعة السينية لغشاء (ZnO : Al) قبل التلدين عند السمك $0.539\mu\text{m}$

الشكل 1-b: مخطط حيود الأشعة السينية لغشاء (ZnO : Al) بعد التلدين عند السمك $0.539\mu\text{m}$

الشكل 2-a: مخطط حيود الأشعة السينية لغشاء (ZnO : Al) قبل التلدين عند السمك $0.369\mu\text{m}$

الشكل 2-b: مخطط حيود الأشعة السينية لغشاء (ZnO : Al) بعد التلدين عند السمك $0.369\mu\text{m}$

الشكل 3-a: مخطط حيود الأشعة السينية لغشاء (ZnO : Al) قبل التلدين عند السمك $0.227\mu\text{m}$

الشكل 3-b: مخطط حيود الأشعة السينية لغشاء (ZnO : Al) بعد التلدين عند السمك $0.227\mu\text{m}$

الشكل 4-a: مخطط حيود الأشعة السينية لغشاء (ZnO : Al) قبل التلدين عند السمك $0.057\mu\text{m}$

الشكل 4-b: مخطط حيود الأشعة السينية لغشاء (ZnO : Al) بعد التلدين عند السمك $0.057\mu\text{m}$

-a-

- b -

الشكل 5-a,b: صور ونتائج مجهر القوة الذرية (AFM) لأغشية ZnO : Al قبل التلدين للسمك $0.539 \mu\text{m}$ (a) ثلاثية الأبعاد، (b) ثنائية الأبعاد

-a-

-b-

الشكل 6-a,b: صور ونتائج مجهر القوة الذرية (AFM) لأغشية ZnO : Al بعد التلدين للسمك $0.539 \mu\text{m}$ (a) ثنائي الأبعاد، (b) ثلاثية الأبعاد

الشكل 7-b: علاقة النفاذية مع الطول الموجي لغشاء ZnO:Al بعد تليدين ثلاث ساعات ولاسماك مختلفة

الشكل 7-a: علاقة النفاذية مع الطول الموجي لغشاء ZnO:Al قبل التليدين ولاسماك مختلفة

الشكل 8-b: علاقة النفاذية مع الطول الموجي لغشاء ZnO:Al ذات سمك 0.227 μm

الشكل 8-a: علاقة النفاذية مع الطول الموجي لغشاء ZnO:Al ذات سمك 0.369 μm

الشكل 8-d: علاقة النفاذية مع الطول الموجي

لغشاء ZnO : Al ذات سمك $0.539\mu\text{m}$

الشكل 8-c : علاقة النفاذية مع الطول الموجي

لغشاء ZnO : Al ذات سمك $0.057\mu\text{m}$

الشكل (9-b): علاقة الامتصاصية مع الطول

الموجي بعد التلدين لأسمك مختلفة

الشكل a - 9: علاقة الامتصاصية مع الطول

الموجي قبل التلدين ولأسمك مختلفة

الشكل 10- a , b :علاقة $(\alpha h\nu)^2$ مع طاقة الفوتون للسمك (0.539 μm) قبل وبعد التلدين

الشكل 10- c , d :علاقة $(\alpha h\nu)^2$ مع طاقة الفوتون للسمك (0.369 μm) قبل وبعد التلدين

الشكل 10 - e, f: علاقة $(\alpha h\nu)^2$ مع طاقة الفوتون للسمك (0. 227 μm) قبل وبعد التلدين

الشكل 10 - g, h: علاقة $(\alpha h\nu)^2$ مع طاقة الفوتون للسمك (0.057 μm) قبل وبعد التلدين

الشكل 11-b: علاقة فجوة الطاقة مع السمك

بعد التلدين لجميع الأسماك

الشكل 11-a: علاقة فجوة الطاقة مع السمك قبل

التلدين لجميع الأسماك

المصادر العربية

منصور، ميخائيل عيسى؛ احمد، ميسم شهاب؛ محمد، ياسر حسين (2013). تأثير السمك والتلدين على الخصائص البصرية لأغشية ZnO المطعم بالالمنيوم. مجلة التربية والعلم. 26(4)، 111-122.

المصادر الأجنبية

- Al-sofy, H.Y. (2009). Peroration and Study of Optical, Electrical and Structural Properties of Al-Doped ZnO Thin Films By Chemical Vapor Deposition (CVD). M.Sc. Thesis in Physics, College of Education, University of Mosul, Iraq.
- Aoki, T.; Shimizu, Y.; Miyake, A.; Nakamura, A.; Nakanishi Y.; Hatanaka Y. (2000). ZnO diode fabricated by excimer-laser doping. *Applied Physics letters*, **76**, 3257-3258.
- Arfsten, N. (1984). Sol-gel derived transparent IR-reflecting ITO semiconductor coatings and future applications Original. *J. Non -Crystalline Solid*. **63**(1-2), 243-249.
- Coskun, C.; Güney, H.; Gür, E.; Tüzemem, S. (2008). Effective Annealing of ZnO Thin Films Grown by Electrochemical Deposition Technique. *Turk. J. Phys.*, **32**, 1-7.
- Frank Mc Clune, W. (1976). "Powder Diffraction File Serch Manual". Printed in U.S.A.
- Goerge, C.D.; Kapur, M.; Mitra, A. (1986). Studies of electrical and optical properties of ZnO : Al films. *Thin Solids Films*, **35**, 35-37.
- Green way, D.L.; Harbecke, G. (1970). "Optical Properties and Structure of Semiconductor". 1 pergamon press.
- Hsuang Cheng, C.; Yu Wu, W.; MingTing, J. (2008). Nanoscaled multilayer thin films based on GZO. *Taiwan Nano Research*. **2**, 61-67. Online available since 2008/Aug/ 07 at www.scientific.net, witzerlanddoi : 10.4028/www.scientific.net/ J. Nano. R. 2.61.
- Islam, M.R.; Podder, J. (2009). Optical Properties of ZnO nano fiber thin films grown by spray paralysis of zinc acetate precursor. *Cryst. Res. Technol.* **44**(3), 286-292.
- Manssor, M.I.; Mohammed, Y.H.; Younis, T.M. (2012). Studying The Structural, Optical and Electrical Properties Of (ZnO: Mg) Thin Films Prepared By Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition (APCVD). Dept. of Physics/ College of Education, Seventh Scientific Conference of the a Faculty Education since (6-7)-5, University of Tikrit, Iraq.

- Mohamed, B.K. (2012). Study of some optical Properties of PbS thin films deposited by Chemical Spray Pyrolysis Method. *Applied Sciences Department*, **30**(6), Geometry and Technology Science, University of Technology / Baghdad .
- Mohamed, K.K.; Kaned, R.S.; Salih, D. (2010). "A Study on the Effect of Gamma – Ray on Structural and Optical Properties of Zinc Sulfide (ZnS) Thin Films". Scientific conference of the Engineering College of Engineering, pp. 22-23 -12, University of Dyala, Iraq.
- Mott, N.; Davis, E.A.(1979). "Electronic Processes in Non Crystalline Materials". Oxford University press, USA; Edition .2.
- Nassir, B.H.; Manssor, M. I. (2012). Study the physical antimony doped zinc oxide thin films prepared by chemical vapor deposition. *Al- Rafidain J. Sci.*, **23**(3), 163-179. University of Mosul, Iraq.
- Rozati, S.M.; Akeste, Sh .(2008). Influence of substrate temperature on the structure of zno:al thin films. department of physics guilan university. *Cryst. Res. Technol.* **3**(43), 273-275, DOI10.1002/Cryst. 200711055, Rasht 41335, Iran.
- Santana, G.; Acevedo (1999). "Structural and Optical Properties of (ZnO)_x (CdO)_{1-x} Thin Films Obtained by Spray Pyrolysis". *Superficies y vacio* 9, 300 – 302 Aprtado postal 14-740, Mexco, D. F. © Sociedad Mexicana de Superficies y de Vacio.
- Seyed, M.R.; Abdol Hamied, K. (2006). "Study of Annealing Effects on Physics Properties of Transparent Conducting Oxide". Department of Physics., Guilan University, E-mail: smrozati@guilan.ac.ir, Rasht 41335 Iran.
- Shamala, K.S.; Murthy, L.C.S.; Narasimha Rao, K. (2004). Studies on Tin oxide films prepared by electron beam evaporation and spray pyrolysis method. *Bull Mater. Sci.*, **27**(3), 295-301.©India Academy of Sciences.
- Shindov, P.C. (2004). "CdO Thin Films Deposited By Spray Pyrolysis". Technical College, John Atanas off, Br. Bukston str.71A, 4000 Plovdiv, Bulgaria.