------مجلة علوم الرافدين، المجلد 23، العدد 3، ص163-179،2012------

دراسة الخصائص الفيزيائية لأغشية اوكسيد الخارصين المطعمة بالأنتيمون والمحضرة بطريقة الـترسيب البخاري الكيميائي

باسل هاشم ناصر صالح
المديرية العامة للتربية
في نينوى
الموصل

ميخائيل عيسى منصور
قسم الفيزياء
كلية التربية
جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 29/ 11 /2011 ؛ تاريخ القبول 12 /3 / 2012)

الملخص

تم تحضير أغشية رقيقة من الاكاسيد الموصلة الشفافة ZnO الذاتية والمطعمة بالأنتيمون بنسب تطعيم (1% - 10%) باستخدام تقنية الترسيب البخاري الكيميائي عند الضغط الجوي (APCVD) وفي درجات حرارية مختلفة للأرضيات (400Cº, 425Cº, 450Cº, 475Cº, 500Cº). واعتمد انجاز الدراسة في مراحلها البحثية على حيود الأشعة السينية XRD، ومجهر القوة الذرية AFM، الامتصاصية البصرية والنفاذية لطيف الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي، التوصيلية الكهربائية وتأثير هول. ومن خلال قياسات الأشعة السينية تبين أن الأغشية المحضرة تمتلك تركيباً متعدد البلورات وكانت من النوع السداسي (Hexagonal Wurtzite Type) وكانت ذات اتجاه نمو مفضل (002)، (100) فضلا عن ظهور الذروات التي تمثل بعض أطوار اكاسيد الانتيمون، وبينت قياسات AFM ان الأغشية المحضرة تمتلك معدل خشونة (19.4 nm) وقيمة مربع الجذر التربيعي (24.3 nm). أما القياسات البصرية فكانت النفاذية (T) تزداد بزيادة التطعيم وتقل بزيادة درجة حرارة الأرضيات وتتراوح بين (70-90%)، وكانت فجوة الطاقة البصرية لأغشية ZnO:Sb مقاربة لفجوة الطاقة لـ ZnO الذاتية. وبلغت أفضل توصيلية في أغشية ZnO ثم بنسبة تطعيم (10%) في درجة حرارة (400Cº) ومن خلال قياسات هول وجدنا أن قيم المقاومية الكهربائية كانت بحدود (1.8 Ω.cm) والتحركية تراوحت بين (cm^2/V.sec) (146-4749)) وتركيز الحاملات (10^{15} cm^{-3}). وأن أغشية ZnO غير المطعمة والمطعمة بالأنتيمون هي من نوع (n).

الكلمات الدالة: أغشية اوكسيد الخارصين المطعمة بالأنتيمون.

Study the Physical Properties Antimony Doped Zinc Oxide Thin Films Prepared by Chemical Vapor Deposition

Basil H. Nasir
Ninava Directorate of Education
Mosul

Mekhaiel I. Manssor
Department of Physics
College of Education
University of Mosul

ABSTRACT

Undoped ZnO and Sb-doped ZnO (0.3-10 at. %) thin films have been prepared by APCVD technique on the glass substrate at (400Cº, 425Cº, 450Cº, 475Cº, 500Cº). The structural, optical and electrical properties of these thin films were studied. The results of the structural tests showed that these Films of ZnO:Sb were successfully prepared by (APCVD) X-ray measurement revealed that thin film structure was Polycrystalline of Hexagonal Wurtzite type with preferential orientation along the (002), (100) direction, in addition peaks for some phases for Antimony oxides were appeared. AFM measurement revealed that thin film have Roughness Average (19.4 nm) & RMS (24.3 nm). The optical measurement Transmission (*T'*) were increase with as the doping percentage increased and decrease with increased substrate temperature, were found (79-90%), the band gap energies of the ZnO:Sb thin film are nearly the same as the pure ZnO. the best Electrical conductivity is appear with ZnO thin and (10% Sb) concentration at substrate temperatures (400Cº). The Hall measurement revealed that Resistivity were (1.8 Ω.cm), mobility ((146-4749) $cm^2/V.sec$) and carrier concentration (10^{15} cm^{-3}). The doped and undoped ZnO films exhibited n-type conductivity.

Keywords: ZnO:Sb thin films.

المقدمة

يُعد اوكسيد الزنك من المركبات الموصلة الشفافة (TCO) المهمة بسبب امتلاكه فجوة طاقة واسعة (3.3eV)، وطاقة ربط اكسيتون كبيرة (60 meV) عند درجة حرارة الغرفة. وأهميته تأتي من كثرة تطبيقاته فهو يستخدم في النبائط الالكتروبصرية مثل باعث الضوء الأزرق، وثنائيات الليزر ذات الأطوال الموجية القصيرة [Hugh, 1999 and Look, 2001]. من المعروف انه من الصعب تصنيع ZnO من النوع p- وهذه الصعوبة متأتية من كونه مطعماً ذاتياً كنوع n- أثناء تحضيره. وعند تطعيمه بذرات من عناصر المجموعة I او V من الجدول الدوري يتوقع حصول تعويض compensation للذرات القابلة من الالكترونات الموجودة أصلا في مستويات الذرات المانحة. وفي هذه الحالة يتحول شبه الموصل ZnO إلى مركب ذي مقاومة كهربائية عالية بسبب وجود الايونات المانحة والقابلة في الوقت نفسه.

في السنوات القليلة الماضية حاول عدد من الباحثين إنماء ZnO نوع -p. منهم من نجح في تصنيع ZnO:N (Bian *et al*., 2004 ; Li *et al*., 2003)، وهذا مقبول والسبب هو تشابه أنصاف أقطار النتروجين والأوكسجين مما يسهل تعويض الأوكسجين بالنتروجين ولكن لا زالت هناك مشكلات أخرى. وعدد آخر من الباحثين حاول تصنيع ZnO نوع -p باستخدام ذرات من المجموعة الخامسة V منها الفسفور P (Chen *et al*., 2005)، والزرنيخ As (Jeong *et al*., 2004)، والانتيمون Sb (Aoki *et al*., 2002). والتي أنصاف أقطار ذراتها اكبر من قطر ذرة الأوكسجين. الشيء غير المتوقع هو نجاح تطعيم ZnO باستخدام المجموعة الخامسة بالرغم من عدم مواءمة أنصاف أقطار الذرات (Lopatiuk and Chernyak, 2006). تم الحصول على غشاء ZnO نوع -p بتطعيمه بـ Sb (Aoki *et al*., 2002) ذات تركيز الحاملات (5×10^{-20} cm^{-3})، وتحركية (1.5 $cm^2/V.sec$)، ومقاومية (8×10^{-3} Ω.cm) ولكن وجود غشاء معدني من الـ Sb فوق سطح ZnO وعدم تجانس التطعيم يُعد مشكلة تؤثر في أداء النبيطة. كذلك تم الحصول على ZnO نوع -p من عدد آخر الباحثين (Xiu *et al*., 2005) باستخدام تقنية MBG ولأول مرة أظهرت قياسات هول عند درجة حرارة الغرفة ان ZnO كان من النوع -p ذات مقاومة واطئة (0.2 Ω.cm) وتركيز عالٍ للحاملات (1.7×10^{18} cm^{-3}) وتحركية عالية (20 $cm^2/V.sec$).

الهدف من هذا البحث هو الحصول على ZnO نوع -p باستخدام Sb كمطعماً باستخدام تقنية APCVD كذلك دراسة تأثير تركيز التطعيم ودرجة حرارة الترسيب على خواصه التركيبية والبصرية والكهربائية.

الجانب العملي

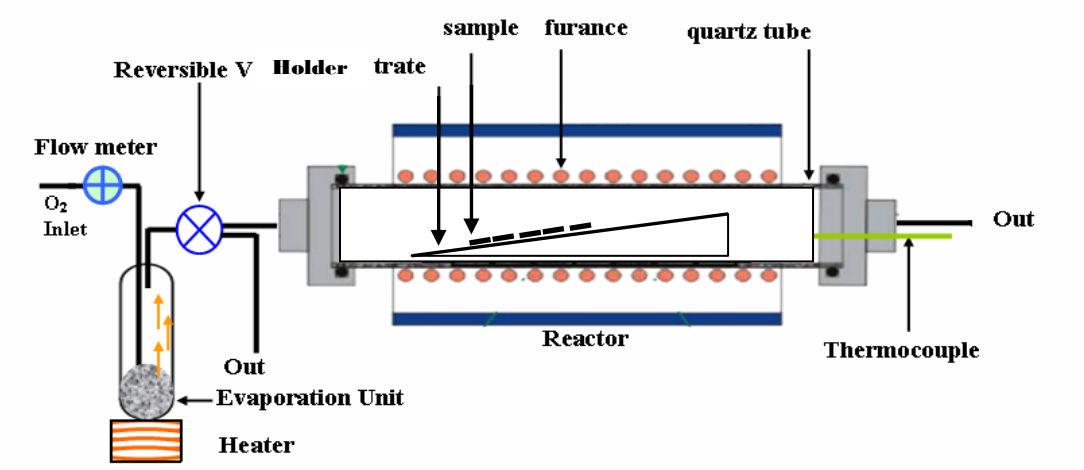
استخدمت أرضيات من الزجاج ذات أبعاد cm(2.5×2.5) وتم غسلها بمحلول الصابون ثم بمحلول (HCl) لمدة (5mins.) ثم تغسل بالماء اللايوني بشكل جيد، بعد ذلك تغمر بمادة الاسيتون لمدة (5mins.) ثم تغسل مرة ثانية بالماء اللايوني بعد ذلك توضع في محلول الميثانول لمدة (15mins.) في جهاز الأمواج فوق الصوتية (ULTRASONIC CLEANER) وذلك للتخلص من أي عناصر قلوية مثل البوتاسيوم والصوديوم التي قد تنتشر داخل الغشاء أثناء تحضيره، إذ أنها تسلك سلوك الشوائب القابلة (Acceptors)، وبذلك تقلل من فعالية المانحات الذاتية الموجودة في الغشاء وأخيرا تشطف الأرضيات جيدا بالماء اللايوني وتجف وتحفظ بعيدا عن اللمس والغبار.(Saha *et al*., 2007).

من اجل ترسيب غشاء ZnO بالمنظومة المهيأة للترسيب البخاري الكيميائي على قواعد من الزجاج (الأرضيات) استخدمت مادة خلات الخارصين $Zn[CH_3COO]_2.2H_2O$ بعد إضافة الماء المقطر إليها وبالتالي الحصول على محلول مائي ذي تركيز (0.5M)، وبإضافة نسب وزنية (3-10%) من مادة ثلاثي كلوريد الانتيمون ($SbCl_3$) تم الحصول على المحلول المائي الخاص بتحضير الأغشية المشوبة وبالتركيز المولاري أعلاه نفسه، وبعد إعداد المحلول تُرك لفترة زمنية مناسبة للتأكد من عدم وجود أية رواسب ومن ثم

وضع في الوحدة الخاصة بالتبخير في منظومة (APCVD)، إذ إن وجود مادة التبخير سائلة (Liquid) هـي طريقة متداولة في الكثير من البحوث المنشورة (Hawiyu, 2004) فبعد أن يصل المحلول إلى مرحلة الغليان يبدأ بخار الماء بالتصاعد حيث يُطرح خارجاً عبر صمام مُعد لهذا الغرض كما في الشكل (1)، ومن ثم يُفتح الصمام الخاص بإيصال المادة المتبخرة إلى حجرة الترسيب.

ومن أهم العوامل التي تؤثر على خواص الأغشية الرقيقة المحضرة بتقنية الترسيب البخاري الكيميائي وحسب الشكل الهندسي للمفاعل المهيأ للترسيب هي (موقع النموذج، زمن الترسيب، درجة حرارة الأرضية، معدل انسياب الغاز، زاوية ارتفاع قاعدة الأرضيات).

بعد انتهاء الزمن اللازم للترسيب تُركت العينات لمدة نصف ساعة داخل المفاعل لضمان عدم التبريد المفاجئ وكذلك لضمان حصول الأكسدة المناسبة للأغشية. إن الأغشية التي تم الحصول عليها كانت شديدة الالتصاق بالقاعدة ذات تجانس جيد وخالية من التشققات وذات اسماك مختلفة تعتمد على موقع النموذج داخل حجرة الترسيب، وفي بحثنا الحالي كان سمك الغشاء يتراوح بين (100-320) nm، وأخذنا قيماً متقاربة لحساب قيمة α وكانت بحدود (200 nm).



الشكل 1: مخطط توضيحي لمنظومة الترسيب البخاري الكيميائي (APCVD).

القياسات التركيبية والبصرية والكهربائية

أجرينا القياسات التركيبية في مركز النانوتكنولوجي في الجامعة التكنولوجية/بغداد باستخدام جهاز مـن نوع (SHIMADZU XRD6000/7000) ذي هدف من نوع (Cu) وبطول موجي (1.5406 Å) وللنمـاذج (0, 1, 3, 5) % في درجة حرارة للأرضيات (400Cº). وكذلك تضمنت القياسات التركيبية قياسات مجهـر القوة الذرية (Atomic Force Microscope) مبيناً فيها طوبوغرافية السطح والتي تشمل خـشونة الـسطح (Roughness)، والجذر التربيعي لمربع متوسط الخشونة (RMS)، وحجم الحبيبـات (Grain Size). أمـا

القياسات البصرية فاشتملت على تسجيل طيفي النفاذية (Transmittance) والامتـصاصية (Absorbance) لمدى الأطوال الموجية nm (300-1000) وذلك باستخدام جهاز من نوع (UV-1800) ذي الحزمتين من نوع (SHIMADZU). القياسات الكهربائية اشتملت على التوصيلية الكهربائية عند درجة حـرارة الغرفـة وتـم إحتساب المقاومية والتحركية وتركيز الحاملات عند طريق تأثير هال (Hall Effect).

النتائج و المناقشة

الخواص التركيبية Structural Properties

أظهرت نتائج حيود الأشعة السينية للنماذج المرسبة على أرضيات من الزجاج بدرجة حرارة (400Cº) لأغشية ZnO الذاتية والمطعمة كما يأتي:-

الشكل (2) يوضح النتائج العملية لحيود الأشعة السينية (XRD) لغشاء ZnO الذاتي كما يبين ظهور ثلاث ذروات لنمو الحبيبات البلورية وفي الاتجاهات (002) و(101) و(100) ومع نمو متميز بالاتجاهية (002) وهذا مطابق مع بطاقة (JCPDS) العالمية لـ ZnO. وظهور هذه الذروات يدل على أن التركيب الذي تم الحصول عليه هو متعدد البلورات (Polycrystalline) كذلك يدل على أن الغشاء المحضر ذي جودة عالية بسبب الشدة العالية لـ (002) وان الاتجاه المفضل للنمو كان بالاتجاه الموازي للاحداثي-C مما يؤكد على أن التركيب هو من النوع السداسي Wurtzite (Hexagonal).

أما الأشكال (5,4,3) فإنها تمثل نتائج فحوصات (XRD) لأغشية ZnO المطعمة بنسب مختلفـة مـن الانتيمون ونلاحظ من خلال الأشكال بان اتجاه النمو المفضل لنمو هذه الأغشية ZnO:Sb هو (100) والذي يعني بان الحيود حصل في المستويات الموازية لهذا الاتجاه، ويمكننا بوضوح أن نلاحظ بان شدة الـذروات هنا اقل مقارنة مع شدة ذروات نمو الحبيبات من تلك لأغشية ZnO الذاتية، كذلك يمكن أن نلاحظ بان الشدة قد تناقصت مع زيادة نسبة التطعيم بالأنتيمون واختفت الشدة تقريبا عند نسبة تطعـيم (5%) وتفـسير ذلـك بحسب اعتقادنا هو أن ذراته تجمعت على شكل عناقيد مكونة جزراً داخل نسيج ZnO، والسبب يعـود إلـى عـدم ذوبـان الانتيمـون بالكامـل بـسبب زيـادة التركيـز وهـذا يطـابق مـا جـاء بـالبحثين (Oleg *et al*., 2010 ; Dong *et al*., 2009).

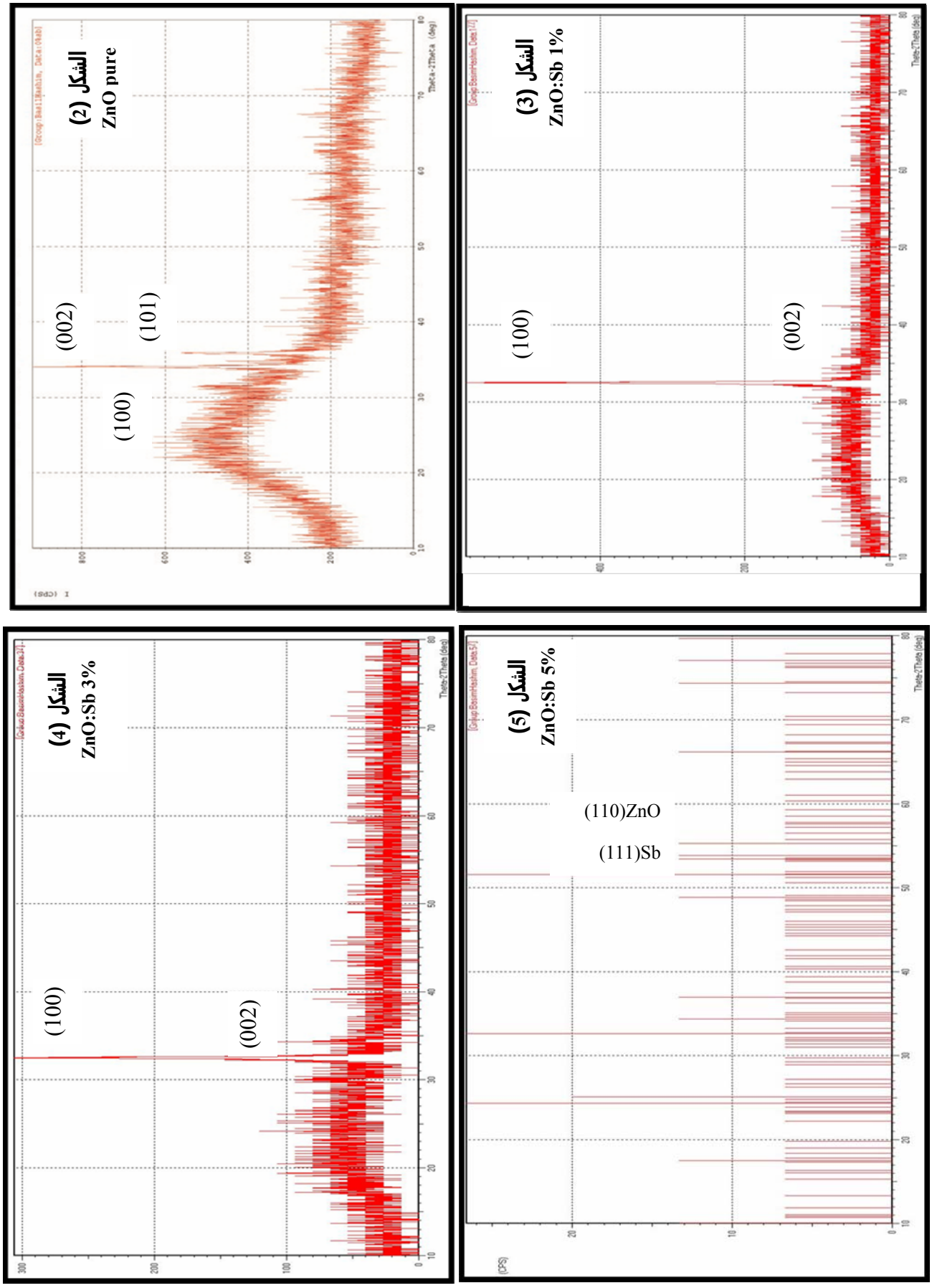
كذلك تم احتساب حجم الحبيبات من معادلة شيرر (Lee and Wong, 1987)

$$D = 0.9\lambda / B\cos\theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

إذ أن D: تمثل قطر الحبيبة، و B: العرض الكامل عند منتصف قمة الحيود وتقاس بالزوايـا النـصف قطرية، و λ: الطول الموجي، و θ: زاوية الحيود

وكانت قيم حجـم الحبيبـات لأغـشية ZnO:Sb (247.2 nm - 73.84 - 77.01) وبنـسب تطعـيم (% (1,3,5)) على التوالي، والشيء المثير للانتباه عند ملاحظة الجدول (1) هو أن ذروات الحيـود زحفـت

باتجاه الزوايا (2θ) الأكبر (32.72- 32.49 - 32.483) على التوالي بزيادة نسب التطعيم مما يدل علـى أن قيم ثابت الشبيكة قلت قيمتها وكانت Å(3.157 - 3.179 -3.18) على التوالي. كما يمكننا أن نقول هنـا بـان تغير الاتجاه المفضل للنمو وموقع الذروات في الأغشية المطعمة بالأنتيمون تدل علـى أن ذرات الانتيمـون اندمجت مع نسيج غشاء ZnO ضمن نسب التطعيم (1,3-%)، أما عند نسبة التطعيم 5% لاحظ الـشكل (5) فنلاحظ اختفاء الذروة (100) تقريبا وظهور ذروة خاصة بالأنتيمون عند الاتجاه (111) ولـو بـشدة قليلـة. وتفسير ذلك بحسب اعتقادنا هو أن ذراته تجمعت على شكل عناقيد مكونة جزراً داخل نسيج ZnO ويؤكد هذا التفسير الشكل (8 a-b) الذي يمثل صور AFM ثنائية وثلاثية الأبعاد عند درجـة حـرارة 400Cº كـذلك الأشكال (10 a-b) والتي تمثل صور AFM عند 500Cº. هذه الأشكال تبين وبوضوح تجمعات للذرات داخل النسيج الرئيسي الذي هو غشاء ZnO هذا الاستنتاج يُعد هاماً إذ يشير إلى أن ذوبان Sb لا يتجـاوز (% 5) وهذا أدى إلى نقصان في مهمة التوصيلية الكهربائية كما سنرى لاحقا.



الأشكال 5,4,3,2: مخطط حيود الأشعة السينية لأغشية ZnO:Sb عند درجة حرارة للأرضيات 400°C.

تم إحتساب المسافة العمودية بين المستويات من خلال قانون براك [Chopra, 1983] ومقارنة النتائج مع قراءة الجهاز وكانت نسبة الخطأ قليلة جداً

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

إذ أن d : تمثل المسافة العمودية بين المستويات (المسافة البينية)، و n: تأخذ عدد صحيح ..1,2,3 مراتب الحيود.

الجدول 1: قيم الزوايا والمسافة البينية للمستويات والحجم الحبيبي لأغشية (ZnO:Sb) عند درجة حرارة للأرضيات (400°C).

Sample	(2θ) Degree	d (Å)	(hkl)	FWHM (deg)	D(nm)
ZnO (pure)	31.3575	2.85039	100	0.245	67.8
	34.0175	2.63334	002	0.215	77.2
	35.8166	2.50509	101	0.246	67.3
ZnO:Sb (1%)	32.4843	2.75405	100	0.215	77.01
ZnO:Sb (3%)	32.4900	2.75358	100	0.24	73.84
	34.3200	2.61082	002	0.08	207.9
ZnO:Sb (5%)	32.7233	2.73448	100	0.0867	247.2

hkl: معاملات ميللر, FWHM : العرض الكامل عند منتصف قمة الحيود.

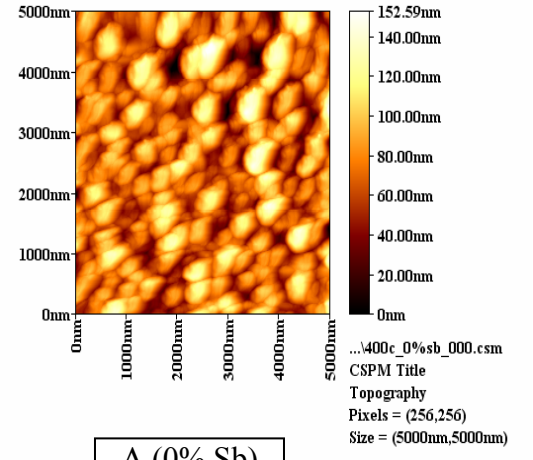
أما بالنسبة لقياسات (AFM) فقد أظهرت نتائج قياسات مجهر القوة الذرية (AFM) للنماذج المرسبة على أرضيات من الزجاج بدرجة حرارة (400°C , 500°C) وبأبعاد لعملية المسح (5000 nm) وبصور ثنائية وثلاثية الأبعاد تجانس سمك الغشاء وانتشار المادة المرسبة على سطح الأرضيات بشكل متساوٍ تقريبا وبحسب المقياس الموجود بجانب الصور. إذ تبين أن زيادة نسبة التطعيم لأغشية ZnO:Sb يقلل من خشونة السطوح بالنسبة لدرجتي حرارة الأرضيات (400°C,500°C)، وكذلك أيضا تقل خشونة السطح لنفس نسبة التطعيم بزيادة درجة حرارة الأرضيات. ونلاحظ من الأشكال (6-A,B,C) التي توضح صور AFM ثنائية وثلاثية الأبعاد لكل نسبة تطعيم لأغشية ZnO وأغشية ZnO:Sb بنسبة % (1,5) وعلى التوالي المرسبة عند درجة حرارة للأرضيات (400°C)، أن التركيب البنيوي لسطح هذه الأغشية واضح المعالم، وان معدل خشونة السطح للحبيبات (Roughness) والجذر المتوسط التربيعي (RMS) عند درجة حرارة الأرضيات (400°C) (تفاصيلها أسفل الأشكال) إذ يتضح بان قيم (RMS) التي منها يقاس معدل حجم الحبيبات لـ ZnO الذاتي والمطعم بنسبة 1% Sb متقاربة، وهي حوالي (19 nm) وصغر هذه القيمة يعني صغر حجم الحبيبات المكونة للغشاء مما يدل على أن كثافة الغشاء عالية وسطحه متجانس أما عند إضافة نسبة 5% Sb

إلى ZnO فمن الواضح التغيير الذي حصل إذ نلاحظ بان هناك عدم تجـانس فـي حبيبـات الـسطح، وان التجمعات الحبيبية تدل على أن ذرات الانتيمون تشكّلت على شكل جزر منفصلة عن بعضها وهذا ينسجم مع فحوصات حيود الأشعة السينية (XRD) الذي اظهر حُزماً خاصة بالأنتيمون.

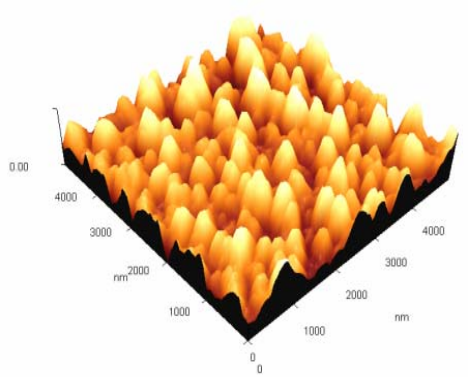
أما في الأشكال (7-A, B,C) التي توضح صور AFM ثنائية وثلاثية الأبعاد لكل نسبة تطعيم لأغشية ZnO وأغشية ZnO:Sb بنسبة % (1,5) على التوالي المرسبة عند درجة حرارة الأرضيات (500°C) لاحظنا بأن السطح أصبح أكثر نعومة للغشاء المطعم بنسبة (1% Sb)، ولكن عند التطعيم بـ 5%Sb نلاحظ بان طوبوغرافية السطح أصبحت مشابهة للأغشية المرسبة عند (400°C) و بنسبة التطعيم نفسها مما يؤكد ذوبانية الانتيمون بأوكسيد الزنك محدودة عند هاتين الدرجتين. والجدول (2) يبين قيم (RMS) ومعدل الخشونة لأغشية ZnO الذاتية والمطعمة بنسب مختلفة ودرجتا حرارة للأرضيات مختلفتان.

الجدول 2: قيم خشونة السطح (Roughness) وجذر متوسط المربعات (RMS) لأغشية ZnO:Sb عند درجتي حرارة 400°C, 500°C.

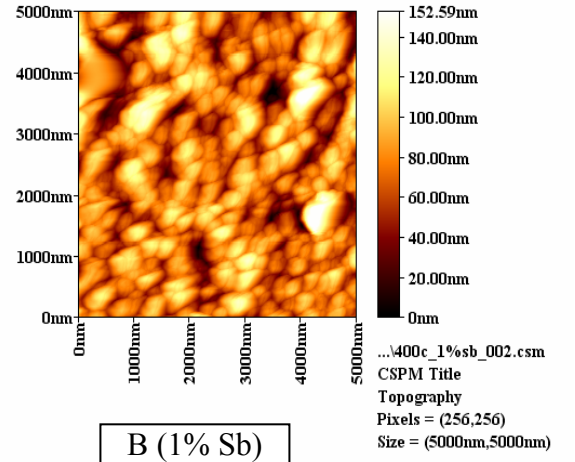
Sample	T 400°C		T 500°C	
	Roughness(nm)	RMS(nm)	Roughness(nm)	RMS (nm)
Pure	19.4	24.3	18	22.8
1%Sb	19.3	24.4	0.668	0.879
5%Sb	2.42	4.24	10.1	20.9



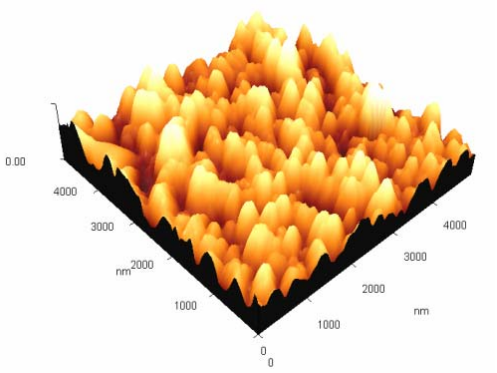
A (0% Sb)
ثنائية الأبعاد



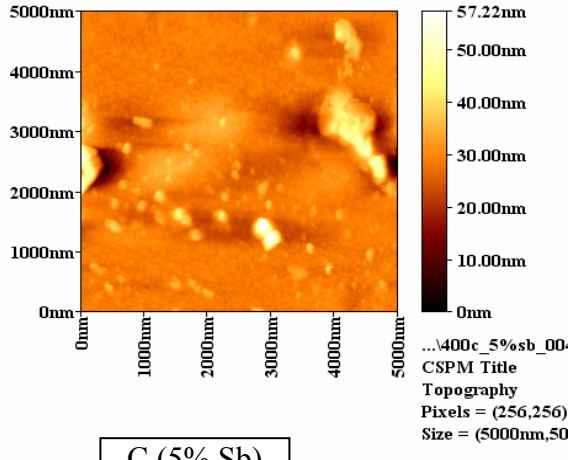
A (0% Sb)
ثلاثية الأبعاد



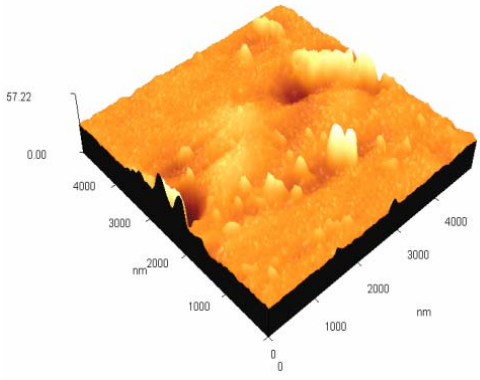
B (1% Sb)
ثنائية الأبعاد



B (1% Sb)
ثلاثية الأبعاد

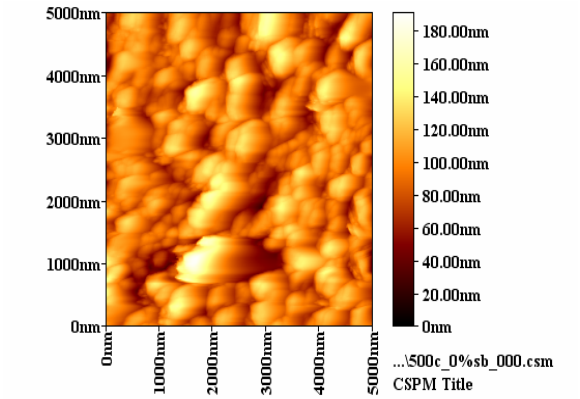


C (5% Sb)
ثنائية الأبعاد

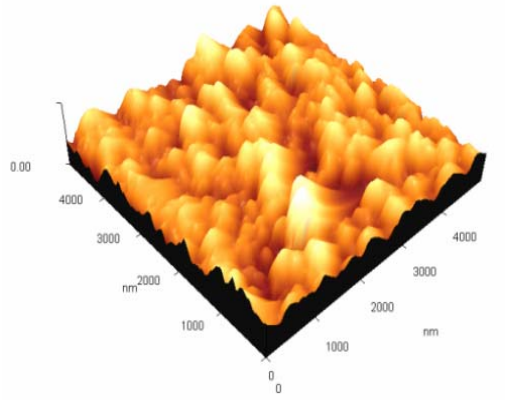


C (5% Sb)
ثلاثية الأبعاد

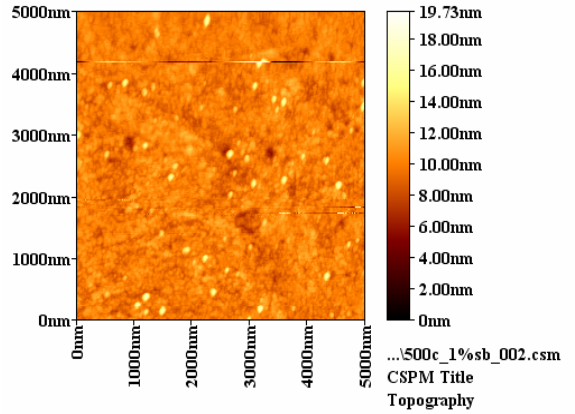
الشكل 6-A,B,C: صور AFM ثنائية وثلاثية الأبعاد لأغشية ZnO و ZnO:Sb عند درجة حرارة 400Cº



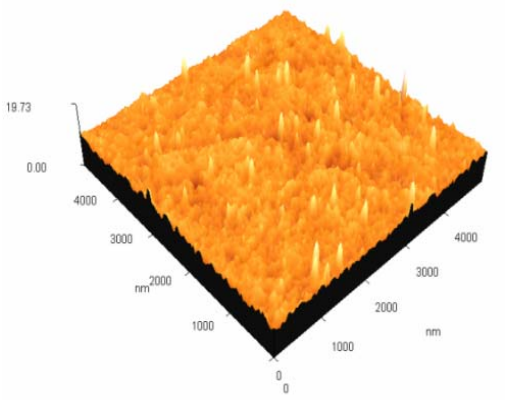
A (0% Sb)
ثنائية الأبعاد



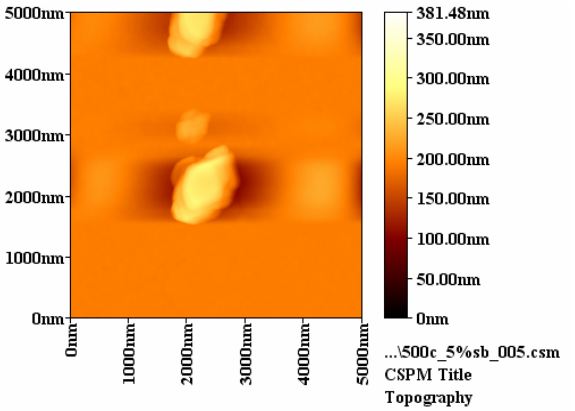
A (0% Sb)
ثلاثية الأبعاد



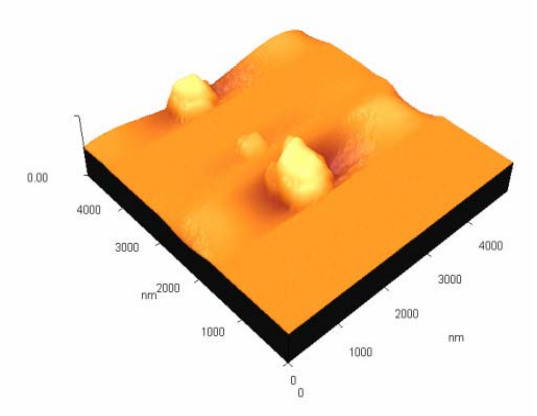
B (1% Sb)
ثنائية الأبعاد



B (1% Sb)
ثلاثية الأبعاد



C (5% Sb)
ثنائية الأبعاد

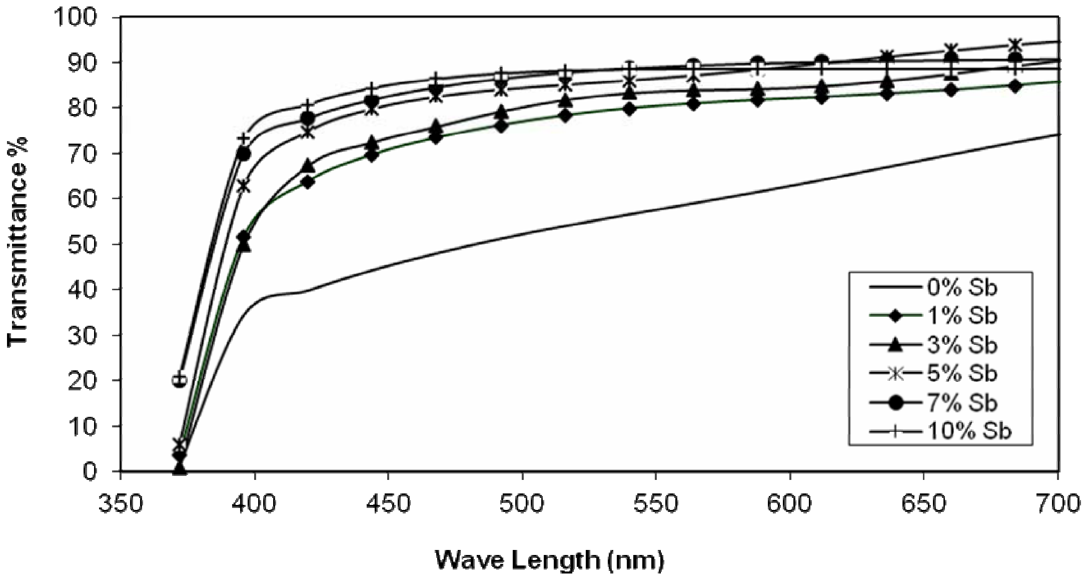


C (5% Sb)
ثلاثية الأبعاد

الشكل 7-A,B,C: صور AFM ثنائية وثلاثية الأبعاد لأغشية ZnO و ZnO:Sb عند درجة حرارة 500C°

الخواص البصرية: Optical Properties

بالاعتماد على قيم النفاذية والامتصاصية ضمن مدى الأطوال الموجيـة (nm (300-1000)) رُسـمت علاقة النفاذية بوصفها دالة للطول الموجي لأغشية ZnO:Sb في درجة حرارة للأرضيات 500ºC، إذ بينت هذه النتائج أن أغشية اوكسيد الخارصين الذاتية تمتلك نفاذية عالية معدلها حوالي (% 85) في منطقة الطيـف المرئي والمنطقة تحت الحمراء القريبة مع نفاذية قليلة في المنطقة فوق البنفسجية تزداد بشكل حاد عند القيمة (nm 400) وتسمى هذه المنطقة بحافة الامتصاص الأساسية، وهذا يدل على أن المادة هي شبه موصـل ذو فجوة طاقة واسعة. ومع زيادة نسب التشويب كانت هناك زيادة في قيم النفاذية لمدى معـين مـن الأطـوال الموجية وليس الطيف كله وكما هو موضح في الشكل (8).

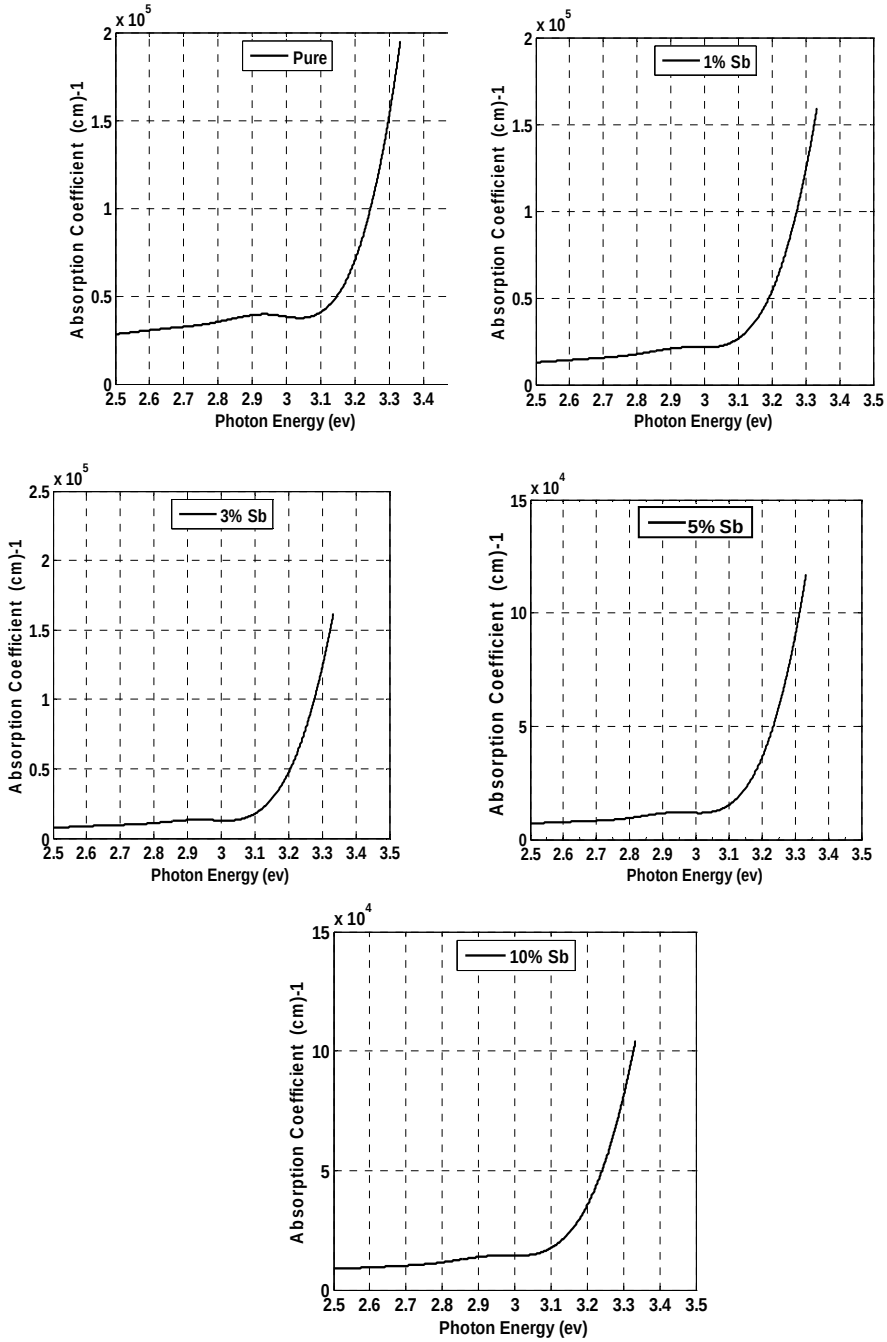


الشكل 8: العلاقة بين النفاذية والطول الموجي لأغشية ZnO:Sb عند درجة حرارة للأرضيات 500℃.

وبعد حساب معامل الامتصاص باستخدام المعادلـة (3) (Abass and Ahmad) قمنـا برسـم معامـل الامتصاص مع طاقة الفوتون الساقط لأغشية ZnO:Sb عند درجة حرارة للأرضيات 500ºC وكما موضـح بالشكل (9) إذ يمكن الاستفادة من هذه الأشكال لإيجاد طاقة الفوتون الساقط الممتص.

$$\alpha = - \ln (T) / d \quad \ldots\ldots (3)$$

حيث T: نفاذية الغشاء   d: سمك الغشاء



الشكل 9: العلاقة بين معامل الامتصاص وطاقة الفوتون الساقط لأغشية ZnO:Sb عند درجة حرارة الأرضيات 500℃.

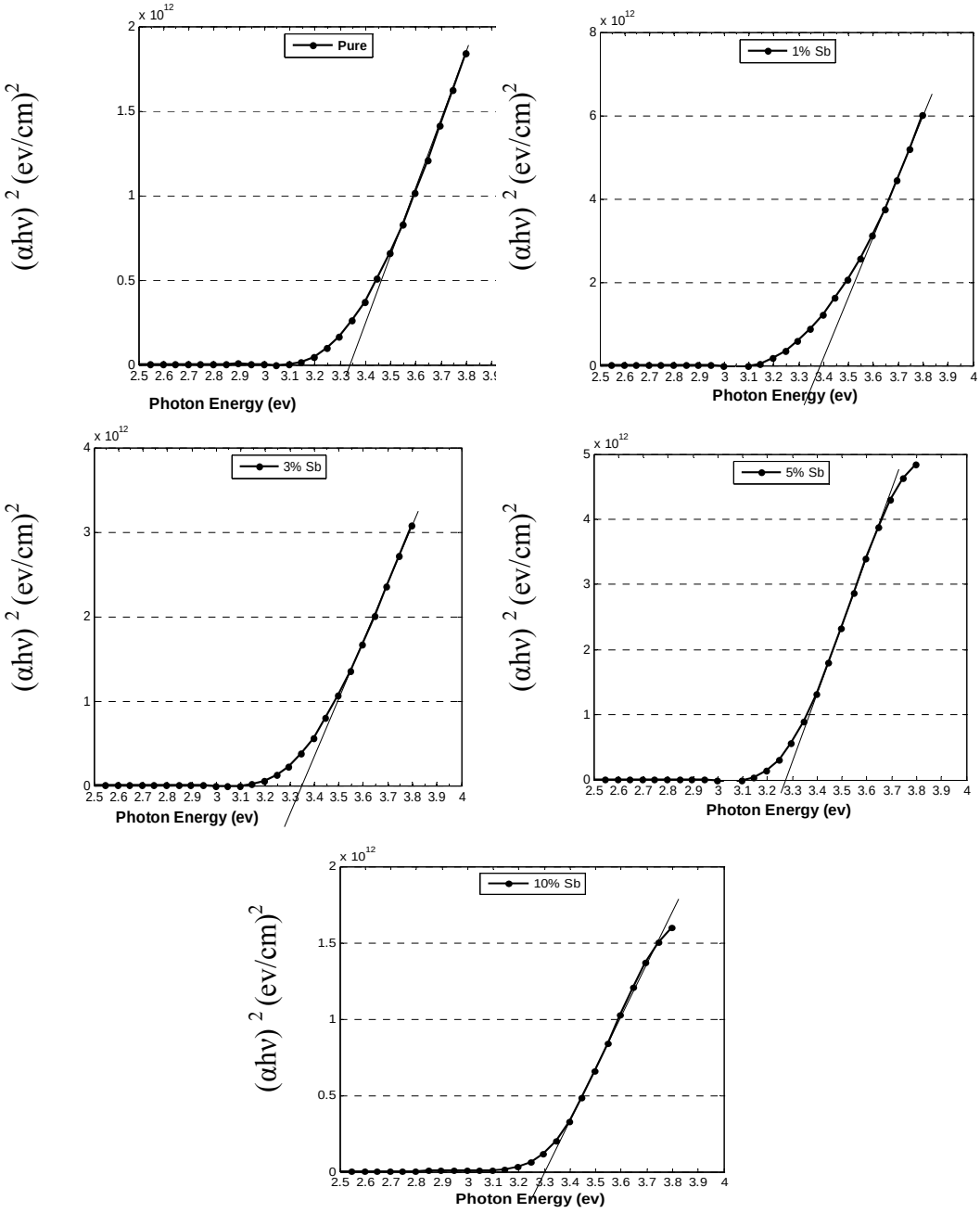
وتم حساب فجوة الطاقة والتي تعرف فجوة الطاقة البصرية أنها اقل طاقة لازمة لانتقال الإلكترون من قمة حزمة التكافؤ إلى قعر حزمة التوصيل لأغشية ZnO:Sb عند درجة حرارة الأرضيات 500ºC باستخدام معادلة الانتقال الالكتروني المباشر الآتية: (Mott and Davis, 1971)

$$\alpha h\nu = A\,(h\nu - E_{opt})^{1/2} \qquad \text{..... (4)}$$

والتي يمكن إعادة كتابتها بالشكل الآتي:

$$(\alpha h\nu)^2 = A^2\ (h\nu - E_{opt}) \quad \text{..... (5)}$$

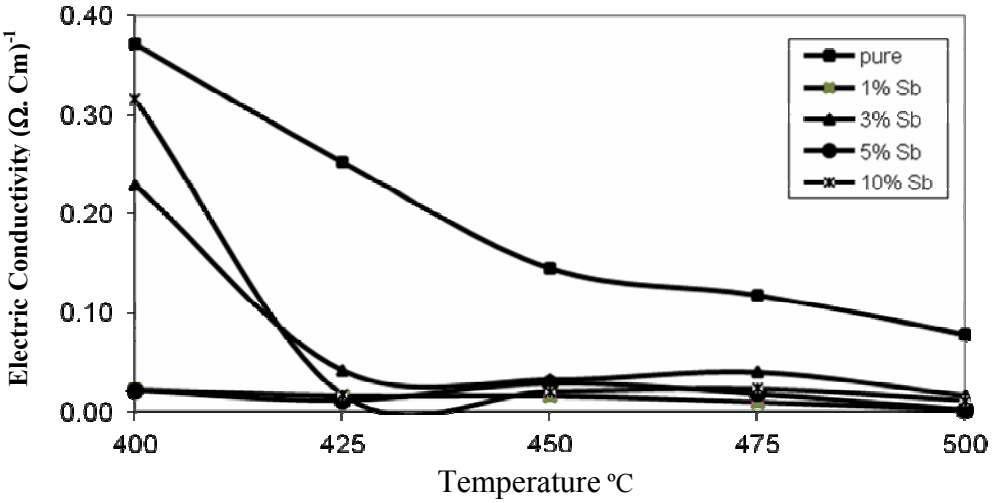
ورسمت العلاقة بين $(\alpha h\nu)^2$ وطاقة الفوتون $(h\nu)$ لأغشية ZnO و ZnO:Sb وعند درجة حرارة للأرضيات 500C° وكما هو موضح في الشكل (10) إذ نلاحظ أن قيم فجوة الطاقة لهذه الأغشية كانت متقاربة وبحدود (3.13 eV) وهي مقاربة لفجوة الطاقة لـ ZnO



الشكل 10: العلاقة بين $(\alpha h\nu)^2$ وطاقة الفوتون الساقط لأغشية ZnO وأغشية ZnO:Sb عند درجة حرارة الأرضيات 500℃

3. الخواص الكهربائية Electrical Properties

وتم قياس التوصيلية الكهربائية لأغشية ZnO و ZnO:Sb عند درجات حرارة (400, 425, 450, 475, 500) - C° للأرضيات وكما هو موضح في الشكل (11).



الشكل 11: علاقة التوصيلية مع درجة حرارة الأرضيات لأغشية ZnO:Sb.

كذلك تم حساب تركيز الحاملات (Carrier Concentration) والتحركية (Mobility) ونوع الغشاء المرسب (n-type) من خلال تأثير هول وكانت النتائج التي حصلنا عليها موضحة بالجدول (3).

الجدول 3: نتائج قياسات هول عند 400°C.

نسبة التطعيم (%)	معامل هول R_H(cm^3 / c)	نوع الحاملات	تركيز الحاملات cm^{-3}	تحركية هول μ (cm^2 / V.sec)
3	20729	n	3.10×10^{14}	4749.17
7	2012	n	3.11×10^{15}	146.47
10	3478	n	1.97×10^{15}	1100.15

الاستنتاجات

تم التوصل في هذا البحث إلى أهم الاستنتاجات الآتية:

- إمكانية تحضير أغشية أوكسيد الخارصين باستخدام طريقة (APCVD) ضمـن ظروف التحضير الجديدة، غشاء اوكسيد الخارصين من النوع متعدد التبلور وان إضافة الشوائب ضمن النسب العالية أدى إلى إزاحة قليلة في منحني الطيف نحو القيم الواطئة لزاوية الحيود، زيادة نعومة السطح للغشاء بزيادة التطعيم وزيادة درجة حرارة الأرضيات، فجوة الطاقة تراوحت بين eV (3.12-3.13) للأغشية المحضرة، نقصان التوصيلية بزيادة التطعيم وزيادة درجة حرارة الأرضيات لجميع الأغشية المحضرة.

المصادر

Abass, A. K. ; Ahmad, N. (1987). Preparation and growth of ZnO thin films and their optical and electrical properties. *J. Phys. Chem. Solids*, **57**, 134-138

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.

Bian, J. M.; Li, X. M.; Zhang, C. Y.; Yu, W. D.; Gao, X. D. (2010). Effect of Different Substrate Temperature on Sb-Doped ZnO Thin Films Prepared by Pulsed Laser Deposition on Sapphire Substrates . *Chin. Phys. Lett*.. **27**, 1.

Chen, Z. Q.; Kawasuso, A.; Xu Y.; Naramoto H.; Yuan X. L.; Sekiguchi T.; Suzuki R.; Ohdaira T. (2005). Production and recovery of defects in phosphorus-implanted ZnO. *J. Appl. Phys.* **97**, 013528.

Chopra, K. L.; Major, S.; Panday, D. (1983). Transparent Conductors. *Thin Solid Film*, **38**, 102.

Dong, N.; Kyoung, S. K.; Seungho, H.; Ho, G. K. (2009). Structural and Electrical Properties of Sb-Doped p-type ZnO Thin Films Fabricated by RF Magnetron Sputtering. *J. Electroceram* **22**(2) 82–86.

Hawiyu, G. ; Lin, Z. (2004). " Semiconductors Manufacturing Handbook". The McGraw-Hill Handbooks, ISBN-13: 978-0071445597, Edition: 1.

Hugh, O. Pierson (1999). "Handbook of Chemical Vapor Deposition (CVD)" . 2nd edn, William Andrew Publishing, LLC, Norwich, New York, U.S.A. pp.247-255.

Jeong, T. S.; Han, M. S.; Youn, C. J.; Park, Y. S. (2004). Hole-mediated ferromagnetic properties in ZnMnO. *J. Appl. Phys*. **96**, 175.

Lee, C.T. ; Su, Y. K. ; Wong, H. M . (1987). Growth of Oxide Nanowires for Gas Sensing Application . *Thin Solid Films*, **150,** 283.

Li, X.; Yan, Y.; Gessert, T. A.; Perkins, C. L.; Young, D.; DeHart, C.; Young, M.; Coutts, T. J. (2003). Low-temperature growth of polycrystalline silicon films by SiCl4/H2 rf. plasma enhanced chemical vapor deposition. *J. Vac. Sci. Technol*. **21**, 1342.

Look, D. C. (2001). Recent advances in ZnO materials and devices. *Mater. Sci. Eng.*, **80**, 383.

Mott, N. F.; Davis, E. A. (1979). "Electronic Processes in Non Crystalline Materials" Oxford University Press, USA; Edition. 2.

Oleg, L.; Lee, C.; Luis, K. O.; Beatriz, R. C.; Guangyu, C.; Hani, K.; Sanghoon, P.; Alfons, S. (2010). Synthesis and Characterization of Ag- or Sb-Doped ZnO Nanorods by a Facile Hydrothermal Route. University of Central Florida, Florida, *J. Phys. Chem.* **114***,* 12401–12408.

Saha, B.; Raswqawz A.; Thapa V. X.; Chattopadhyay K. K. (2007). Improvement of Electrical and Thermoelectric Properties of CdO Thin film by Aluminum Doping. *J. Jadavpur University, India*. **978** (1) 423-426.

Xiu, F. X.; Yang, Z.; Mandalapu, L. J.; Zhao, D. T.; Liu, J. L. (2005). High-Mobility Sb-doped p-type ZnO by MBE. University of California, Riverside, California, *Applied Physics Lett.* **87**, 152101.

Lopatiuk, O.; Chernyak, L. (2006). Studies of minority carrier diffusion length increase in p-type ZnO:Sb. *J. Appl. Phys.* **100**, 08610.