

دراسة بعض الخواص التركيبية والكهربائية الانتقالية للأغشية الرقيقة من زرنخ الإنديوم

فاطمة باهبري، و رقية العربي، وساره البلوي

كلية العلوم للبنات، قسم الفيزياء، جامعة الملك عبدالعزيز

جدة، المملكة العربية السعودية

المستخلص. تمت دراسة التركيب البلوري للمركب الثنائي زرنخ الإنديوم InAs، في حالته كمسحوق (Powder) وكأغشية رقيقة (Thin Films) باستخدام حيود الأشعة السينية (x-ray diffractometry)، والتي تم تحضيرها بتقنية التبخير الحراري المعتاد في جو مفرغ 10^{-6} تور. باستخدام مبخر من الموليبدنيوم وعلى حاملات نظيفة ومستوية من الزجاج، حيث تم دراسة البنية التركيبية لها باستخدام تقنية حيود الأشعة السينية عن سطوح هذه الأغشية الرقيقة. وقد أظهرت نماذج هدب الحيود بالأشعة السينية للمسحوق أنه يتبلور بنظام مكعبى (Cubic system). وثابتت شبكة بلورية: ($a = 6.036 \text{ \AA}$) وفي حالة العينات على هيئة أغشية رقيقة، فقد وجد أنها تكون أيضاً في حالة بلورية بعد تحضيرها (قبل التلدين)، ولكن تزداد حالتها البلورية بعد تلدينها تحت تفريغ 10^{-1} تور، وعند درجة حرارة 473.373 كلفن، ولمدة ساعتين وأن لها تركيب بلوري من النظام المكعب Cubic، وثابتت الشبكة البلورية لها $a = 6.036 \text{ \AA}$ ، وتم أيضاً قياس المقاومة

النوعية الكهربائية ρ للأغشية الرقيقة من هذا المركب والمرسبة على عوامل زجاجية في حالة الإزلام، وأيضاً في درجة حرارة للعينات تتراوح من درجة حرارة الغرفة وحتى 473 كلفن، وقد وجد اعتماد المقاومة النوعية الكهربائية لهذه الأغشية الرقيقة على سمك العينات، وعلى درجة حرارة المعالجة الحرارية لهذه العينات حيث تتناقص المقاومة النوعية الكهربائية مع زيادة السمك للأغشية الرقيقة من هذا المركب، وذلك بسبب تزايد الحجم الحبيبي للتبلورات مع زيادة السمك، أما بالنسبة لعلاقة المقاومة النوعية الكهربائية بدرجات الحرارة، فقد أوضحت العينات سلوكاً يوضح سلوك أشباه الموصلات العادية. ومن العلاقة بين المقاومة النوعية الكهربائية ρ ودرجات الحرارة T ، أوضحت النتائج سلوكاً لشبه الموصل بطاقتي تنشيط حراريتين، الأولى $\Delta E_2 = 0.058 \text{ eV}$ ، وتمثل سلوك شبه موصل غير ذاتي، أما طاقة التنشيط الثانية فإنها تمثل سلوك شبه موصل ذاتي وهي تساوي $\Delta E_1 = 0.141 \text{ eV}$ ، ومن هذه القيم تم استنتاج قيمة فجوة الطاقة $E_g = 0.28 \text{ eV}$.

المقدمة

إن أشباه الموصلات البلورية ذات الحجم النانوي استدعت اهتمام العديد من الباحثين ليعرضوا بقوة اعتماد الخصائص الضوئية والكهربائية على الحجم، ويفتحون الطريق أمام تطبيقات جديدة تتضمن الكسب العالي، انخفاض عينة الليزر، انبعاث ضوئي من الصمامات ثنائية القطبية وترانزستورات ذات إلكترون واحد^[1].

ويعتبر مركب زرنيخ الإنديوم (InAs) ذي بلورات نانوية، وعلم النانو يعني التحكم التام والدقيق في إنتاج المواد وذلك من خلال التحكم في تفاعل الجزيئات الداخلة في التفاعل وتوجيه هذه الجزيئات من خلال إنتاج مادة معينة، وهذا النوع

من التفاعل يعرف بالتصنيع الجزيئي، بحيث توضع الذرات أثناء التفاعل في مكانها الصحيح والمناسب. ومن المعروف أن الطريقة التقليدية في تصنيع المواد الكيميائية المختلفة تتم بخلط مكونات التفاعل معاً، بدون الأخذ في الاعتبار اتجاه الذرات الداخلة في التفاعل وبالتالي فإن المادة الكيميائية الناتجة تكون خليطاً من عدة مواد، أما باستخدام تقنية النانو فمن الممكن توجيه وضع الذرات الداخلة في التفاعل بتوجيه محدود وبالتالي فإن المواد الناتجة سوف تكون أكثر دقة وأكثر نقاوة من التصنيع بالطرق التقليدية، ومن ثم يتم توحيد نوعية المنتج وكذلك تقليل تكلفة الإنتاج وخفض الطاقة المستهلكة^[2].

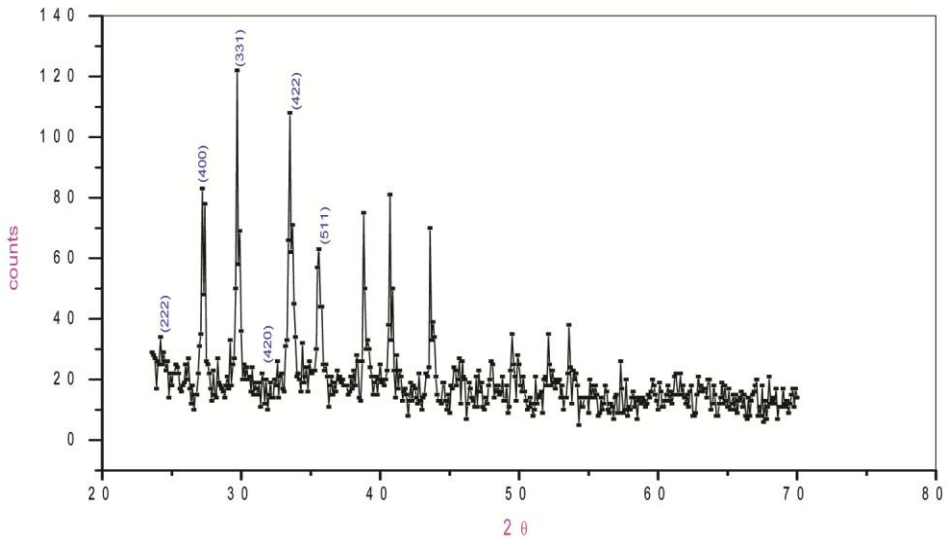
أهمية مركب زرنينخ الأنديوم (InAs)

يستخدم مركب زرنينخ الأنديوم (InAs): كأسلاك نانوية - وفي صناعة الليزر - وفي توليد الترددات الثلاثية - وكمجسات للغازات - وفي صناعة الليزر - وفي الخلايا الشمسية.

القياسات المعملية والحسابية

تحضير ودراسة الخصائص الفيزيائية لأغشية رقيقة من زرنينخ الإنديوم (InAs)، تبدأ بتحضير الأغشية الرقيقة من زرنينخ الإنديوم (InAs) على حاملات زجاجية، بتقنية التبخير الحراري المعتاد في جو مفرغ (Conventi onl Thermal Evaporation) ودراسة البنية البلورية لزرنينخ الإنديوم (InAs) في صورتيه كمسحوق و كأغشية رقيقة و استخدم في هذه الدراسة تقنية حيود الأشعة السينية (XRD) وأتضح أن أشكال الحيود للأشعة السينية المنعكسة عن الأغشية الرقيقة من (InAs) قبل تلدينها تكون في الحالة البلورية. وتحتفظ بهذه الحالة البلورية

بالتلدين عند درجة حرارة 374 كلفن، وقد أظهرت دراسات حيود الأشعة السينية عن الأغشية الرقيقة من (InAs)، تطابقاً ملحوظاً بالمقارنة مع الكارت القياسي (73-1984)، والذي يتضح منه أن خلية الوحدة لهذا المركب لها تركيب بلوري من النوع المكعبي (Cubic) وبثابت شبكية بلورية $a = 6.036 \text{ \AA}$ ، وتم أولاً دراسة حيود الأشعة السينية عن مسحوق زرنخ الإنديوم (InAs)، حيث يوضح شكل رقم (1) نماذج حيود الأشعة السينية عن مسحوق InAs، ويتضح أنه متعدد التبلور (polycrystalline)، ومن تحليل هذه النتائج عن طريق حساب قيم d_{hkl} لكل قمة حيود، وأيضاً شدتها النسبية، ثم مقارنة النتائج مع نتائج الكارت القياسي (73-1984)، وقد تم استنتاج أن المادة في حالتها الحجمية تمثل طوراً وحيداً زرنخ الإنديوم (InAs) متعدد التبلور، في نظام بلوري مكعبي وبثابت شبكية بلورية $a = 6.036 \text{ \AA}$ ونتائج هذا التحليل للمسحوق مدونة بالجدول رقم (1).



شكل (1). أنماط قمم الحيود للأشعة السينية لمسحوق زرنخ الإنديوم InAs عند درجة حرارة الغرفة.

جدول (1). قمم حيود الأشعة السينية لمادة InAs في صورتها كمسحوق عند درجة حرارة الغرفة.

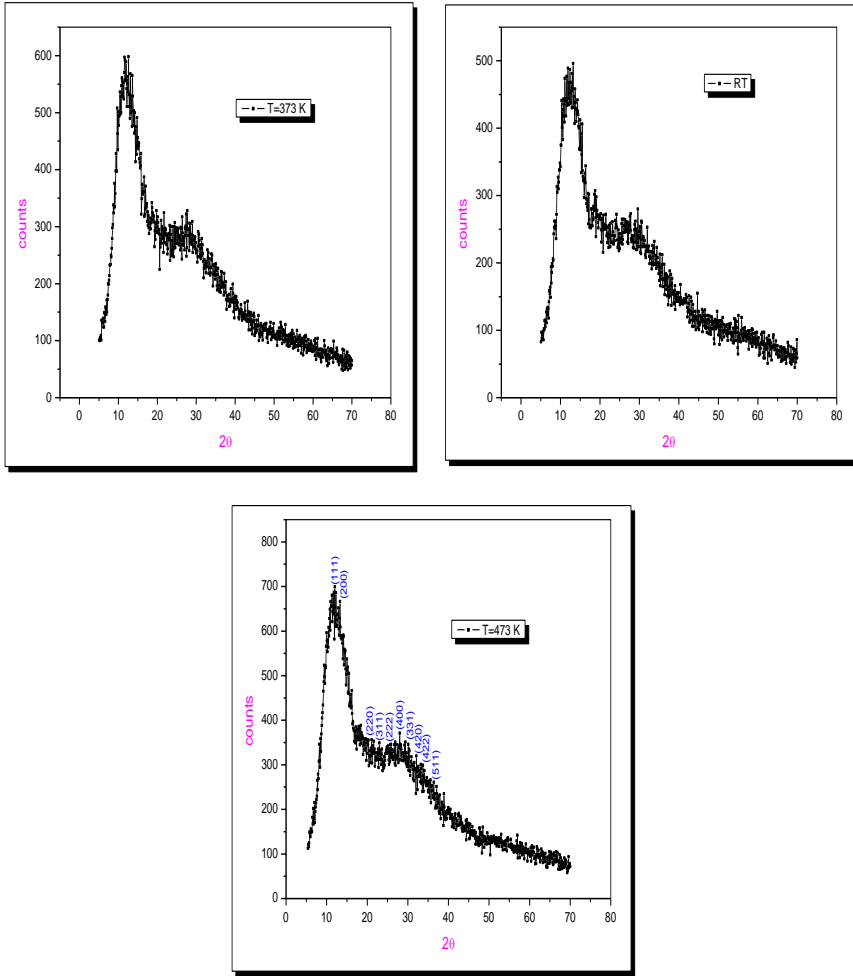
No	Powder Form InAs		A.S.T.M Card (73 – 1984)		
	d (Å)	I / I ₀	المسافة البينية d (Å)	الشدة النسبية I / I ₀	معاملات ميلر (hkl)
1	!	!	3.4840	999	(111)
2	!	!	3.0181	51	(200)
3	!	!	2.1340	599	(220)
4	!	!	1.8199	352	(311)
5	1.7463	34.156	1.7424	12	(222)
6	1.5018	83.619	1.5090	77	(400)
7	1.3897	122.163	1.3847	112	(331)
8	1.3424	24.541	1.3479	12	(420)
9	1.2370	108.155	1.2321	125	(422)
10	1.1635	63.042	1.1616	68	(511)

ولقد وجدنا توافقاً بين قيمة ثابت الشبكة البلورية الذي أوجدناه وقيمة الثابت في أبحاث سابقة كما هو موضح في الجدول.

جدول (2). يوضح قيمة ثابت الشبكة البلورية *a* في مجموعة من الأبحاث.

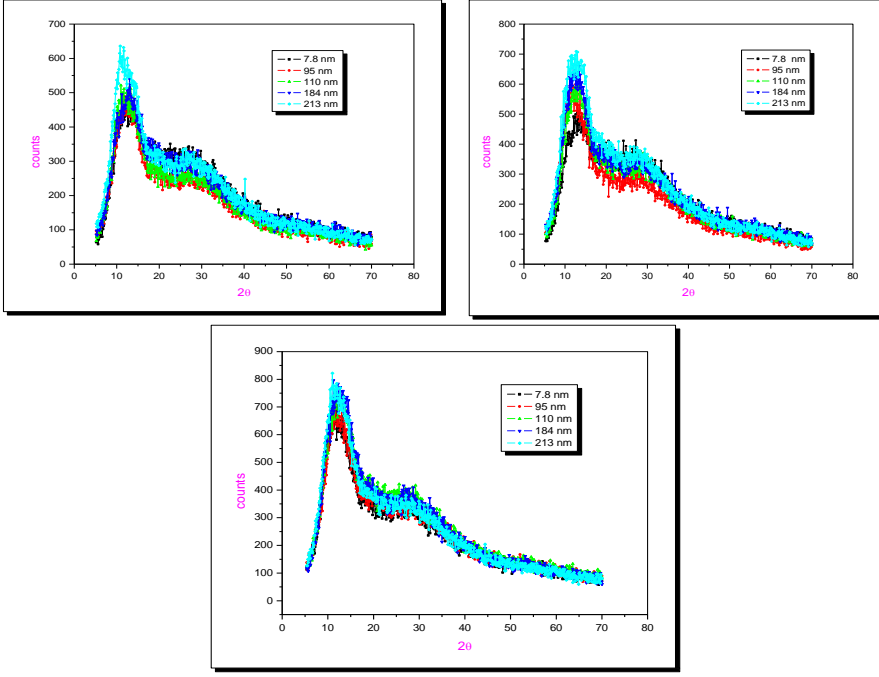
ثابت الشبكة لخلية الوحدة a (Å)	الأبحاث السابقة
6.0580	Young and Ehrenreich ⁽³⁾
6.0580	Xu <i>et al.</i> ⁽⁴⁾
6.0583	Jun – Rong <i>et al.</i> ⁽⁵⁾
6.0360	A.S.T.M Cards (73 – 1984)
6.0524	This work

أما بالنسبة للأغشية الرقيقة فقد أظهرت نتائج طيف حيود الأشعة السينية إنها في حالة بلورية ويزداد درجة التبلور بالتلدين. وشكل رقم (2) يوضح نماذج هذب الحيود عن غشاء رقيق من زرنيخ الإنديوم بسبك قدره 213 نانومتر، قبل تلدينه (عند درجة حرارة الغرفة) وبعد التلدين لمدة ساعتين.



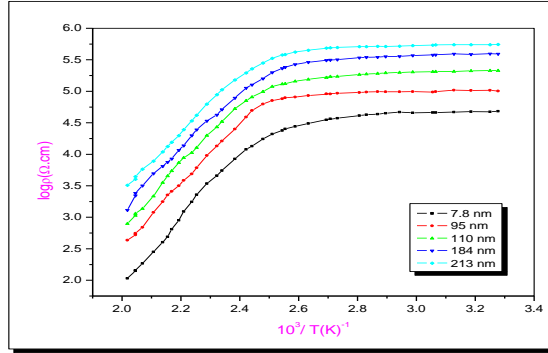
شكل (2). أنماط قمع الحيود للأشعة السينية لغشاء رقيق ذي السمك 213 نانومتر من زرنبخ الإنديوم InAs قبل وبعد التلدين.

كما يتضح من الشكل 3 لأغشية رقيقة سمكها 7.8 و 95 و 110 و 184 و 213 نانومتر على الترتيب أن درجة التبلور تزداد بزيادة كل من درجة الحرارة والسمك.



شكل (3). أنماط قمم الحيود للأشعة السينية ذات سمك مختلف قبل التلدين وبعده.

دراسة الخصائص الكهربائية للأغشية الرقيقة من زرنينخ الإنديوم (InAs) والمحضرة بالتبخير الحراري المعتاد على حاملات زجاجية أمورفية مستوية، وبالكترودين من الذهب مرسبين بالتبخير الحراري المعتاد على طرفي العينة، استخدم لهذه الدراسة عدد من العينات مختلفة السمك وتم اختيار العينات بالسمك 7.8 و 95 و 110 و 184 و 213 نانومتر على الترتيب، وبالنسبة لدراسة علاقة المقاومة النوعية الكهربائية ρ بدرجة الحرارة المطلقة T للعينات، فقد تم قياس المقاومة النوعية الكهربائية ρ للأغشية الرقيقة سابقة الذكر بطريقة المجسّين، وفي محيط مظلم عند درجات حرارة مختلفة. ويوضح الشكل 4 العلاقة بين $\log \rho$ ومقلوب درجة الحرارة المطلقة $1000/T$ للأغشية الرقيقة.



شكل (4). يوضح العلاقة بين $\log(\rho)$ كدالة في $10^3/T$ للأغشية الرقيقة مختلفة السمك من زرنيخ الإنديوم InAs.

ويتضح من الشكل أن العلاقة خطية، مما يعني أن سلوك المادة هو السلوك الطبيعي لأشباه الموصلات، كما يتضح من الأشكال وجود خطين مستقيمين مختلفين في الميل لكل سمك، وهذا يعني وجود قيمتين لطاقة التنشيط الحراري (Thermal Activation Energy)، في مدى درجات الحرارة من 303 حتى 473 كلفن، التي يمكن تطبيق معادلة أرهينيوس على الصورة^(6,7):

$$(1) \quad \rho_T = \rho_0 \exp - [(\Delta E_1 + \Delta E_2) / k_B T]$$

حيث: ρ_T المقاومة النوعية الكهربائية للغشاء الرقيق عند درجة حرارة T . العامل الذي يسبق الدالة الأسية ويعتمد على استنطارة الفونونات. k_B ثابت بولتزمان. ΔE_1 و ΔE_2 طاقتي التنشيط الحراريين الأولى في مدى درجات الحرارة العالية والتي تشير إلى التوصيل بآلية التوصيل الذاتي والثانية في مدى درجات الحرارة المنخفضة، وتشير إلى آلية التوصيل غير ذاتي. ويمكن استنتاج قيمتي ΔE_1 ، ΔE_2 بوحدتي الإلكترون فولت من الميل للجزيئين المستقيمين للعلاقة السابقة. وكذلك يمكن تعيين قيمة طاقة الفجوة (Energy Gap E_g). ومن قيم طاقتي التنشيط الحراري يمكن إيجاد فجوتي الطاقة من العلاقة:

$$(2) \quad E_g = 2 \Delta E$$

جدول (3). يوضح علاقة طاقتي التنشيط الحراريتين بالسمك وبفجوة الطاقة.

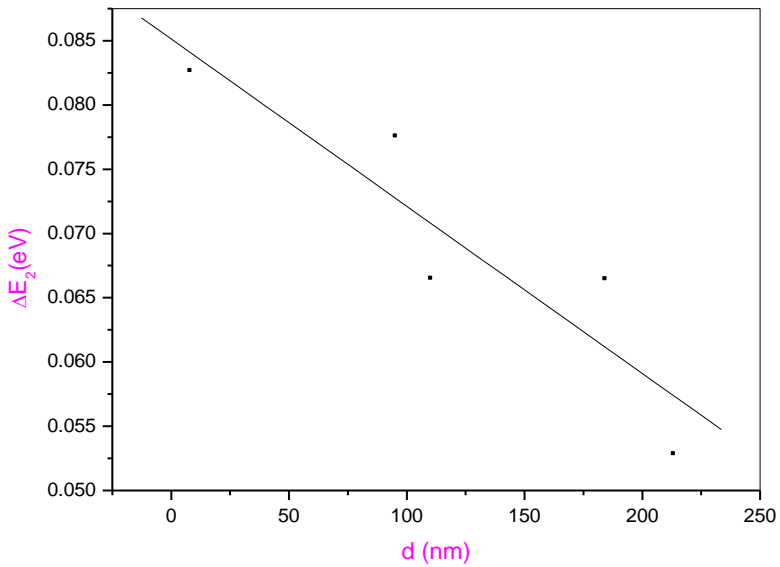
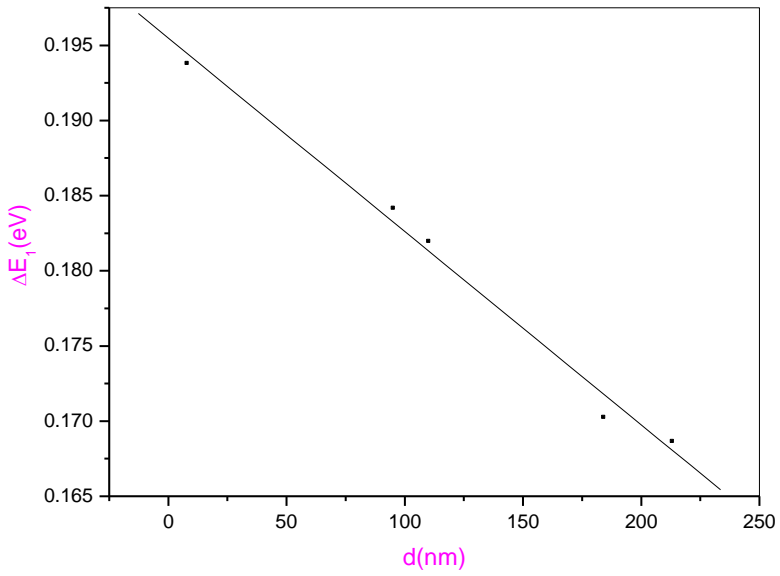
السمك (nm)	ΔE_1 (eV)	E_{g1} (eV)	ΔE_2 (eV)	E_{g2} (V)
7.8	0.2015	0.4030	0.0827	0.1654
95	0.1841	0.3682	0.0776	0.1552
110	0.1819	0.3638	0.0665	0.1330
184	0.1750	0.3500	0.0665	0.1330
213	0.1686	0.3372	0.0529	0.1058
المتوسط	0.1822	0.3644	0.0692	0.1384

ووجدنا توافقاً بين قيم فجوة الطاقة المباشرة E_{g1} في هذا البحث مع أبحاث سابقة، كما هو مبين في الجدول رقم (4).

جدول (4). قيم فجوة الطاقة E_{g1} في مجموعة من الأبحاث.

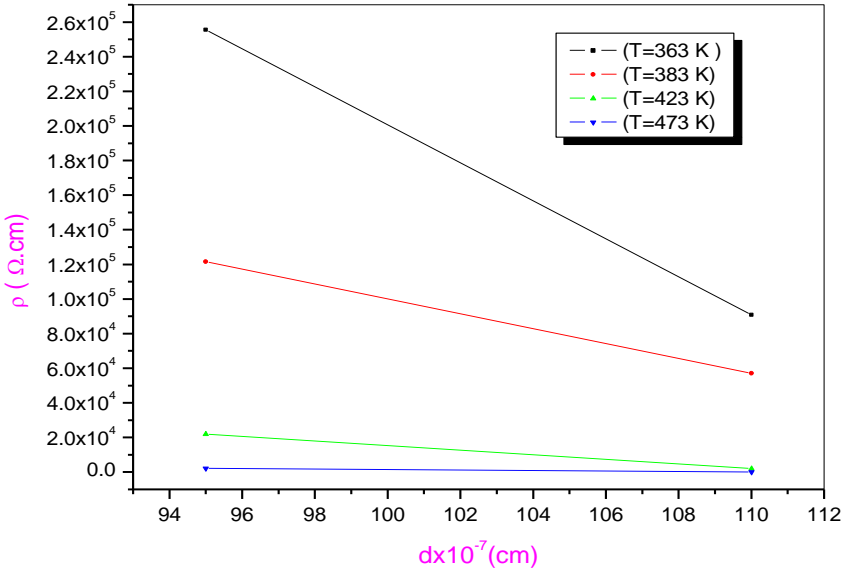
E_{g1} (eV)	الأبحاث السابقة
0.360	Milnes and Polyakov ⁽⁸⁾
0.418	Young <i>et al.</i> ⁽³⁾
0.360	Xu <i>et al.</i> ⁽⁴⁾
0.417	Jun and Yen ⁽⁵⁾
0.354	Law <i>et al.</i> ⁽⁹⁾
0.360	Bhat <i>et al.</i> ⁽¹⁰⁾
0.350	Nadir Bouarissa <i>et al.</i> ⁽¹¹⁾
0.364	This work

والشكل رقم (5) يوضح علاقة طاقتي التنشيط الحراري مع تغير السمك، ويلاحظ من تلك النتائج أن قيم طاقتي التنشيط تتناقص مع زيادة سمك الأغشية، وهذا هو السلوك الطبيعي للأغشية الرقيقة من أشباه الموصلات مع تزايد السمك، حيث زيادة السمك يؤدي إلى اتصال أجزاء الشبيكة البلورية في مراحل الإنماء المتأخرة، مما يؤدي لنقص الطاقة اللازمة لتنشيط الإلكترونات المتحركة عبر الشبيكة البلورية.



شكل (5). يوضح علاقة ΔE_1 و ΔE_2 مع السمك d .

ويوضح الشكل رقم (6) علاقة المقاومة النوعية الكهربائية (ρ) مع سمك العينات (d) ويتضح من الشكل تناقص قيمة المقاومة النوعية الكهربائية بزيادة سمك الأغشية الرقيقة، وهذا السلوك لتناقص المقاومة النوعية الكهربائية مع تزايد سمك الأغشية واستقرار المقاومة النوعية الكهربائية للحالة الحجمية، يمكن إرجاعه إلى العمليات الأولية للإنماء في الأغشية الرقيقة، حيث في مراحل السمك الصغير يكون التركيب منفصلاً على هيئة جزر وله مقاومة عالية جداً، ومع تزايد السمك يتصل التركيب وتقل العيوب في التركيب البلوري وتزيد درجة التبلور ويتحسن توجيه البلورات ويتزايد الحجم الحبيبي للتبلورات (Grain Size) وهذه الحقيقة اتضحت في الشكل رقم (3)، وهذا العامل الأخير يلعب دوراً كبيراً في نقص المقاومة الكهربائية مع زيادة السمك.



شكل (6). يوضح العلاقة بين المقاومة النوعية الكهربائية (ρ) مع سمك الأغشية الرقيقة d عند درجات حرارة مختلفة.

المناقشة والمستخلصات

يمكن إيجاز أهم النتائج المستخلصة من هذه الدراسة فيما يلي:

1- أوضحت نماذج هذب الحيود بالأشعة السينية عن مسحوق زرنيخ الإنديوم (InAs) أنه متعدد التبلور (Polycrystalline) في النظام المكعب (Cubic)، وبثابت شبكية بلورية لوحدة الخلية يساوي:

$$a = 6.0524 \text{ \AA}$$

2- أوضحت نماذج هذب الحيود بالأشعة السينية عن الأغشية الرقيقة من زرنيخ الإنديوم (InAs)، والمحضرة بتقنية التبخير الحراري المعتاد في جو مفرغ على حوامل من الزجاج الأمورفي، والمقاسة في درجة حرارة الغرفة أن المادة متعددة التبلور في النظام المكعبي.

3- بعد تلدين هذه الأغشية الرقيقة من زرنيخ الإنديوم InAs عند درجة حرارة 373K، 473K، ولمدة ساعتين يتضح أن درجة التبلور تزداد.

4- أوضحت قياسات المقاومة النوعية الكهربائية ρ في حالة الإطلام اعتمادها على سمك الأغشية الرقيقة حيث تتزايد المقاومة النوعية ρ بزيادة السمك في مدى للسمك يتراوح من 7.8 - 213 نانومتر.

5- تم دراسة المقاومة النوعية الكهربائية ρ كدالة مع مقلوب درجة حرارة العينات، وقد أعطت خطين مستقيمين مختلفين في الميل، وهذا هو السلوك الطبيعي لأشباه الموصلات، ومن ميل هذه الخطوط المستقيمة، أمكن استنتاج قيم طاقتي التنشيط الحراريتين ΔE_1 ، ΔE_2 .

مما يدل على أن هناك آليتي توصيل إحداها توصيل ذاتي والأخرى توصيل غير ذاتي.

References

- [1] **Heqing Yang** and **Banglao Zhang** (2005) Xiaoguang Wang, Xing jun Wang, Tie Lie, Songhai Xie and Xi Yao, *Journal of Crystal Growth*, **280**: 521-529, Issues. 3-4.
- [2] برنامج الملك عبدالله لتقنية النانو (من الإنترنت).
- [3] **Young, P.M., Flatte, M.E.** and **Ehrenreich, H.** (1995) *Applied Physics Letters*, **78**: 7143-7152.
- [4] **Xu, Y.B., Kernohan, E.T.M., Tselepi, M., Bland, J.A.C.** and **Holmes, S.** (1998) *Applied Physics Letters*, **73**: 399-40.
- [5] **Jun-Rong Chen** and **Yen-Kuang Kuo** (2006) *Optics Communications*, **264**: 213-218.
- [6] **Grove, A.S.** (1967) *Physics and Technology of Semiconductor Devices*, John Wiley and Sons, Ch. 4, 5, 6.
- [7] **Muller, R.S., Mansum Chan** and **Kamins, T.I.** (1977) *Device Electronics for Intergrated Circuits*, John Wiley and Sons , Ch. 2, 3.
- [8] **Milnes, A.G.** and **Polyakov, A.Y.** (1993) *Materials Science and Engineering*, **18**: 237-259, Issue. 3.
- [9] **Law, J.J.M., Dayeh, S.A., Wang, D.** and **Yu, E.T.** (2009) *Journal of Applied Physics*, **105**: 014306-1-5.
- [10] **Bhat, R., Dutta, P.S.** and **Guha, S.** (2008) *Journal of CrystalGrowth*, **310**: 1910-1916.
- [11] **Nadir Bouarissa** and **Mustapha Boucenna** (2009) *Faculty of Science*, **79**.

Study of some Structural and Transport Properties of Evaporated Indium Arsenide (InAs) Thin Films

F.S. Bahabri, R.H.Orainy and Sara Al Balwi

*Physics Department, Faculty of Sciences for Girls,
King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia*

Abstract. The object of this article was to study the crystal structure of Indium Arsenide (InAs) in both powder and thin films form , using x-ray diffractometry.

The x-ray diffraction patterns of powder InAs showed polycrystalline structure of cubic phase with lattice constant of:

$$a = 6.0524 \text{ \AA}$$

The x-ray diffraction patterns of InAs thin films showed the crystal structure of cubic system and preferential orientation (111) plane and the annealing effect is increase of the degree of crystallinity .

The transport of electrical properties such as electrical resistivity ρ was studied for films of different thickness as deposited .

It was found that for InAs films the electrical conductivity is strongly affected by the sample temperature , the heat treatment and film thickness. InAs films showed semiconducting behavior. The dependence of electrical resistivity on film thicknesses showed that the electrical resistivity increases as the film thicknesses increases .

The activation energy ΔE_1 , ΔE_2 of the free charge carriers for InAs samples was calculated using the electrical resistivity data at different temperatures for different thicknesses was found that the activation energy decreases as the film thicknesses increases.