

الخصائص الكهربائية والكهروحرارية لفوسفيد الإنديوم (InP)

عمر العلي*، جمال قاسم الشر**

*طالب دراسات عليا (ماجستير)، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة حلب

**أستاذ، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة حلب

الملخص

حُضرت ثلاث عينات من فوسفيد الإنديوم بطريقة الترسيب الكهروكيميائي على ركائز من النيكل المسامية.

أظهرت نتائج تحليل طيف الـ XRD لفوسفيد الإنديوم InP أنه يتبلور باتجاه واحد (220) عند التتمية على ركيزة من النيكل ذات المسامات، تم حساب ثابت الشبكة البلورية ($a=5.83\text{\AA}$) والمسافة بين المستويات البلورية ومقاس التبلور والانفعال والانخلاعات ضمن الشبكة البلورية.

من دراسة الميزة C-V عند تردد ثابت وبرسم العلاقة بين مقلوب مربع السعة مع الجهد وجد أن الميل سالب مما يدل على أن الأسلاك المحضرة من النوع P. وحدد جهد البناء الذي تتراوح قيمته $(1.42 - 1.65)\text{eV}$.

من الميزة I-V حسبت طاقة التنشيط للأسلاك المحضرة ووجد أنها تتراوح بين $(0.06 - 0.14)\text{eV}$.

تم تحديد عامل الاستحقاق الكهروحراري للعينات ووجد أن قيمته تتراوح بين $(0.64 - 0.85)$.

الكلمات المفتاحية: فوسفيد الإنديوم - الطريقة الكهروكيميائية - طيف انعراج الأشعة السينية - الخصائص الكهربائية - الخصائص الكهروحرارية.

ورد البحث للمجلة بتاريخ 2021/8/10

قُبِل للنشر بتاريخ 2021/11/3

Electrical and Thermoelectric Properties of Indium Phosphide (InP)

Omar Al-Ali *, Jamal Al-Shar**

* Postgraduate Student (MSc), Dept. of Physics, Faculty of Science, University of Aleppo

**Prof., Dept. of Physics, Faculty of Science, University of Aleppo

Abstract

Three samples of indium phosphide were prepared by electrochemical deposition on porous nickel substrates.

The results of the analysis of the XRD spectrum of indium phosphide InP showed that it crystallizes in one direction (220) when growing on a nickel substrate with surface pores. The crystal lattice constant ($a = 5.83 \text{ \AA}$), the distance between the crystal planes, the crystallization size, the strain and dislocations within the crystal lattice were also calculated.

From the study of the feature C-V at a fixed frequency and by drawing the relationship between the reciprocal of the capacitance squared with the voltage, it was found that the slope is negative, which indicates that the prepared wires are of type P. The building voltage was determined whose value ranges from (1.42-1.65)eV.

From the feature I-V, the activation energy of the prepared wires was calculated and found to be in the range of (0.06-0.14)eV.

The thermoelectric merit factor of the samples was determined and its value ranged between (0.64-0.85).

Key words: Indium phosphide - Electrochemical method - X-ray diffraction spectrum – Electrical properties - thermoelectric properties.

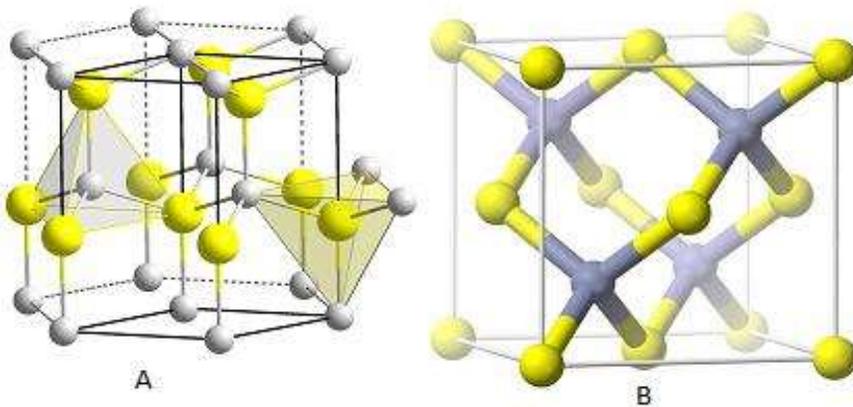
Received 10/8/2021

Accepted 3/11/2021

1- المقدمة Introduction :

جذبت أنصاف النواقل ذات البنية النانوية الكثير من الاهتمام بسبب خصائصها البصرية الجيدة وبشكل خاص الأسلاك النانوية من أنصاف النواقل التي تنتمي للمجموعة (III-V) التي تعتبر مواد الكترونية والكتروضوئية معروفة جيداً، ويمكن أن تغطي المجالات الطيفية المهمة التي تمتد من المجال المرئي إلى مجال الأشعة تحت الحمراء، وتعد الفجوة الطاقية المباشرة واحدة من المزايا الرئيسية لمعظم أشباه الموصلات المركبة من المجموعة (III-V). هذه الأهمية لأنصاف النواقل التي تنتمي (III-V) جعلت دراسة هذه المواد أمراً مرغوباً للغاية من بين هذه المركبات فوسفيد الإنديوم [1] InP .

يمتلك فوسفيد الإنديوم فجوات طاقية مباشرة eV (1.42 - 1.35) عند درجة حرارة (300 K)، وله طول موجة امتصاص واقعة بين (873- 918) nm أي في مجال الأشعة تحت الحمراء [2]، وله تطبيقات مختلفة في الالكترونيات والأجهزة الالكتروضوئية حيث يمتاز بحركية الكترونية عالية (4000Cm²/V.S) [3] ، إن البنية البلورية لفوسفيد الإنديوم مكعبة متمركزة الوجوه FCC ويوجد بشكلين بلوريين (WZ) و (ZB) كما في الشكل (1) ، وثابت الشبكة البلورية (a=5.8687 Å) ، وكتلته المولية (145.792 g/mol) ، وكتافته (4.81 g/cm³). [2]



الشكل (1) يبين البنية البلورية لفوسفيد الإنديوم (A) Wurtzite and (B) zincblende

ومن تطبيقات فوسفيد الإنديوم الخلايا الشمسية ، ديود ضوئي ، حساس ضوئي ، الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs) ، الترانزستور ذات التأثير الحثي (FETs)، الاتصالات اللاسلكية ، التطبيقات الطبية الحيوية . [2]

يمكن تصنيع أسلاك نانوية من InP باستخدام عدة تقنيات منها طريقة متعددة الأطوار (بخار - سائل - صلب)، وطريقة المعقدات العضوية، وطريقة المحاليل الطورية (سائل - صلب)، وطريقة المحاليل الساخنة (Solvothermal)، وطريقة النمو الحفاز بمساعدة الليزر، وطريقة الترسيب الكهروكيميائية. [2] وهي الطريقة المتبعة في بحثنا .

تعتبر الطريقة الكهروكيميائية طريقة بسيطة وغير مكلفة مقارنةً مع طرق التحضير الأخرى ، كما أنه يمكن تغيير الكثير من المعاملات (التركيز، درجة الحرارة، زمن الترسيب...) التي تؤثر بالنتيجة على خواص المركب المحضر.

2- أهمية البحث وأهدافه:

الهدف من البحث هو الحصول على أسلاك نانوية من InP ودراسة خصائصها البنيوية والكهربائية والكهروحرارية .

3- مواد وطرائق البحث Materials and methods:

3-1- الأجهزة والأدوات المستخدمة Instruments & Devices :

الأجهزة المستخدمة في جامعة حلب كلية العلوم قسم الفيزياء

- خلاط مغناطيسي.
- ميزان الكتروني حساس دقيق من نوع SARTORIUS ذو حساسية عالية الدقة 10^{-2} gr .
- جهاز مطياف انعراج الأشعة السينية (PHYWE Systeme Gmb) X-ray unit (H& Co. KG)
- جهاز Nanovolt meter تصنيع شركة KEITHLEY رقم الطراز 2182A متصل دقته إلى $(10^{-9}$ Volt).
- جهاز LCR-meter 6379 من شركة MICROTEST.

4- طريقة التحضير:

4-1- تحضير الركائز:

أخذت شريحة من النيكل بنقاوة عالية وجرى تنعيم سطحها بأوراق صنفرة بأقطار مختلفة وذلك حتى حصلنا على سطح أملس كالمرآة، تم تنظيف الشرائح بمحلول ممدد مكون من الأسيتون (CH_3COCH_3) وحمض الخل (CH_3COOH) بواسطة جهاز الموجات فوق الصوتية لتعزيز جودة سطح الركيزة، بعد ذلك تم أكسدة السطح تحت جهد خلية ثابت 40 فولت في 0.3 مول / لتر حمض الأكساليك على شكل إلكتروليت ولمدة 30 دقيقة. استخدمت الشريحة كمصعد تم الحفاظ على درجة حرارة ثابتة عند 25 درجة مئوية أثناء الأكسدة. وبعد ذلك تم حفر طبقة الأكسيد بحمض كلور الماء وبتركيز 0.5 عند درجة حرارة 65 درجة مئوية لمدة 20 دقيقة. وبالتالي تم الحصول على عدد كبير من المسام السطحية في سطح الركيزة Ni والتي ستكون مناسبة لترسيب فوسفيد الإنديوم. بعد ذلك تم إزالة طبقة الأكسيد من الجزء الخلفي للشريحة ولصقها بشريط لاصق عازل لمنع ترسيب فوسفيد الإنديوم على الجزء الخلفي وإنما يتم الترسيب فقط على الجزء الأمامي الذي يحوي المسامات السطحية.

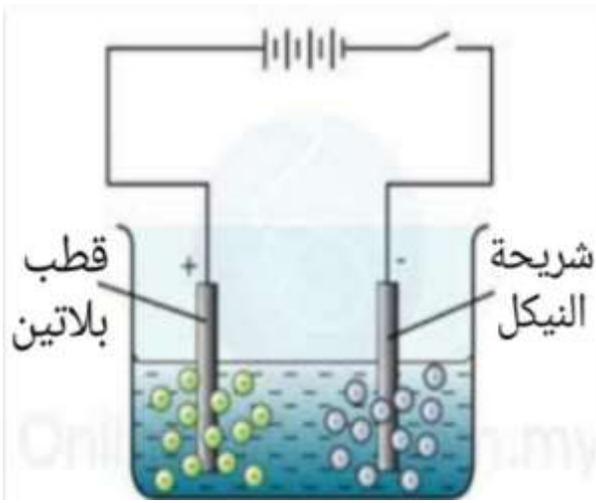
4-2- تحضير المحاليل الكهرليتيّة:

تم تحضير محلول كلوريد الإنديوم $InCl_3$ وذلك بحل (0.482 gr) من أكسيد الإنديوم الثلاثي In_2O_3 في 50ml من الماء المقطر ووضعها على خلط مغناطيسي، ومن ثم إضافة بضع نقاط من حمض كلور الماء HCl حتى تمام الانحلال. بعد ذلك تم تحضير محلول من كلوريد الإنديوم ($InCl_3$) وحمض الفوسفور (H_3PO_4).

4-3- تحضير الأسلاك النانوية InP:

غسلت شرائح النيكل ذات المسامات السطحية بالإيثانول ثم غسلت بالماء المقطر، تم استخدام شريحة النيكل كمهبط واستخدام قطب من البلاتين كمصعد وتم وضعهما في المحلول الكهرليتي حيث المسافة بين القطبين (3Cm) وطبق جهد كهربائي بينهما (5 volt) كما في الشكل (2) واستمرت عملية الترسيب لمدة ساعتين

لأول شريحة والترسيب على شريحة ثانية لمدة ثلاث ساعات والترسيب على الشريحة الثالثة لمدة أربع ساعات وهكذا نكون قد حصلنا على ثلاث شرائح من أسلاك فوسفيد الإنديوم InP. تم غسل العينات عدة مرات بالماء المقطر، ثم تم معالجة العينات عند درجة حرارة 200 درجة مئوية ولمدة ساعتين، حيث سنرمز للشريحة المحضرة لمدة ساعتين ب 2h، وسنرمز للشريحة المحضرة لمدة ثلاث ساعات ب 3h، وسنرمز للشريحة المحضرة لمدة أربع ساعات ب 4h حيث اختصار لمصطلح الساعة (hour).

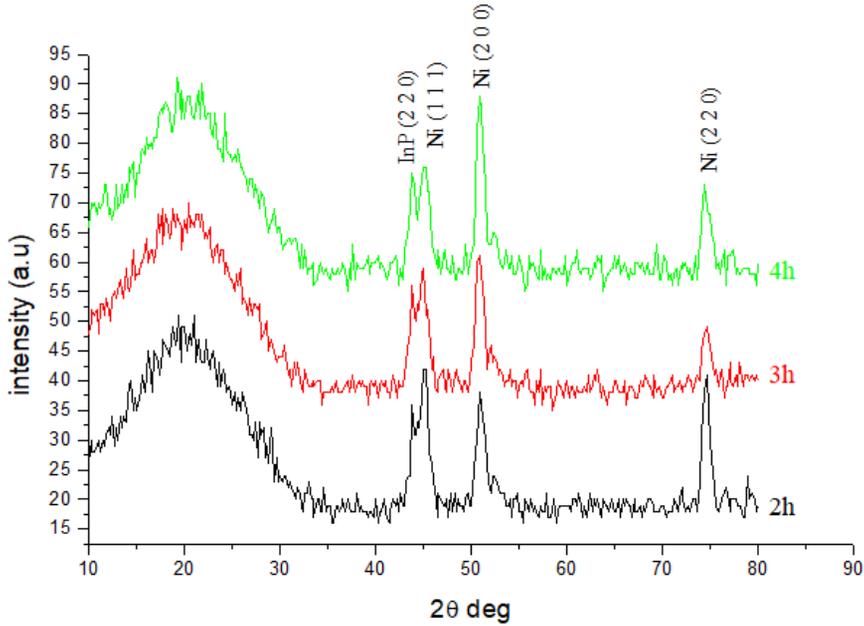


الشكل(2): يوضح آلية الترسيب

5- النتائج والمناقشة Results & Discussion

5-1- الدراسة البنيوية:

تمت دراسة الطيف باستخدام جهاز انعراج الأشعة السينية X-RAY ذي مصعد مصنوع من النحاس وبطول موجة $(\lambda=1.5405\text{\AA})$ ، ومن أجل معرفة الخواص البنيوية للمركب المحضر، حيث تم تعيين بنية المركب ومعاملات بنيوية مثل ثوابت الشبكة البلورية (a,b,c)، والمسافة بين المستويات البلورية المتوازية (d_{hkl}) ، ومقاس التبلور (D)، وانفعال الشبكة البلورية (ϵ) ، وكثافة الانخلاعات (δ) .
يبين الشكل (3) طيوف انعراج الأشعة السينية لأسلاك InP .



الشكل(3): طيف انعراج الأشعة السينية لأسلاك InP لأزمنة مختلفة.

يلاحظ من طيوف انعراج الأشعة السينية وبالاعتماد على الطيف المرجعي لفوسفيد الإنديوم InP (JCPDS03-065-9682) [4] أن المستويات البلورية المتشكلة تابعة للبنية المكعبة متمركزة الوجوه (FCC)، وبالتالي فإن البنية المتشكلة هي بنية مكعبة متمركزة الوجوه (FCC)،

كما نلاحظ من الأشكال ظهور ثلاث قمم للنيكل وظهور قمة لـ InP وفق الاتجاه (220) مما يدل على أن InP يتبلور باتجاه واحد عند التتمية على ركيزة من النيكل ذات المسامات السطحية ونلاحظ زيادة شدة قمة الانعراج مع زيادة زمن الترسيب أي زيادة نمو الأسلاك مع زمن الترسيب .

بالاعتماد على قانون براغ لانعراج الأشعة السينية كما في العلاقة (1) يمكن

تعيين المسافة بين المستويات البلورية المحددة بقرائن ميلر (hkl): [5]

$$2 d_{hkl} \sin(\theta_{hkl}) = n \lambda \quad (1)$$

حيث θ : هي زاوية الانعراج، و n : عدد صحيح يسمى رتبة الانعراج، λ : الطول الموجي للأشعة السينية ($\lambda=1.5405\text{\AA}$). و d_{hkl} : المسافة بين المستويات البلورية المتوازية وفق الاتجاه hkl .

تم حساب ثوابت الشبكة البلورية باستخدام العلاقة (2) التي تعطي المسافة بين المستويات المتوازية بدلالة ثوابت الشبكة البلورية للبنية المكعبة متمركزة الوجوه [6]:

$$a = d\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (2)$$

حيث: a : ثابت الشبكة. h, k, l : هي قرائن ميلر.

كما تم حساب مقياس التبلور بالاعتماد على علاقة Debye-Scherer وفق العلاقة (3) [7]:

$$D = \frac{k \lambda}{\beta_{hkl} \cos \theta_{hkl}} \quad (3)$$

حيث β_{hkl} : عرض منتصف الشدة لقمة الانعراج الموافقة للمستوي hkl . و k : ثابت يساوي 0.94 في حال الجسيمات الكروية، و D : مقياس التبلور.

كذلك تم حساب انفعال الشبكة البلورية ε من العلاقة (4):

$$\varepsilon = \frac{\beta \cos \theta}{4} \quad (4)$$

تعرف كثافة الانخلاعات δ على أنها عدد خطوط الانخلاع في وحدة مقياس المساحة من البلورة، حيث يمكن الحصول عليها باستخدام مقياس التبلور D وفق العلاقة (5):

$$\delta = \frac{n}{D^2} \quad (5)$$

حيث n : هو ثابت يساوي الواحد وذلك بغية الحصول على أدنى قيمة لكثافة الانخلاعات.

يبين الجدول (1) قيمة كل من البعد البلوري وثابت الشبكة البلورية و مقياس التبلور وانفعال الشبكة البلورية وكثافة الانخلاعات لأسلاك InP المحضرة على ركائز النيكل ذات المسامات السطحية وذلك من أجل القيمة (220).

الجدول (1): يبين نتائج دراسة طيف انعراج الأشعة السينية (XRD) لأسلاك InP المحضرة

زمن الترسيب	زاوية براغ 2θ(deg)	البعد البلوري d(A°)	ثابت الشبكة a=b=c (A°)	عرض منتصف الشدة β(rad)	مقاس التبلور D(nm)	انفعال الشبكة (ε × 10 ⁻⁴) (lines ⁻² .m ⁻⁴)	كثافة الانخلاعات δ × 10 ¹⁴ (lines/m ²)
2h	43.8	2.065	5.83	0.0034	45.90	7.88	4.74
3h	43.8	2.065	5.83	0.0061	25.58	14.14	15.28
4h	43.8	2.065	5.83	0.0087	17.93	20.18	31.10

5-2-دراسات التيار المتناوب:

5-2-1- تحديد نوع نصف الناقل:

يمكن تحديد نوع نصف الناقل من خلال علاقة شونكي التالية: [8]

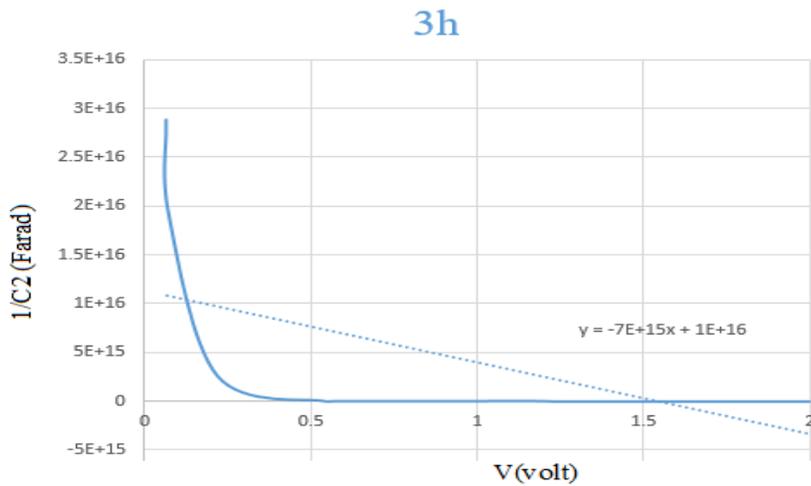
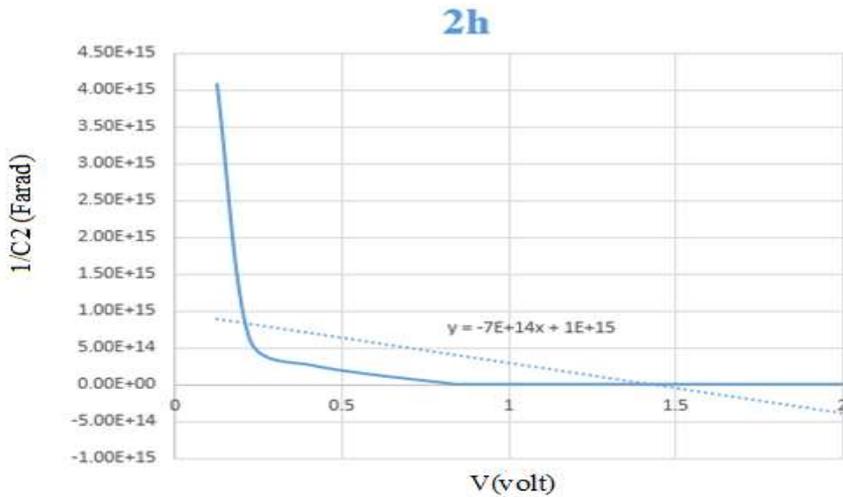
$$\left(\frac{1}{C} - \frac{1}{2C_0}\right)^2 = \frac{2}{e \epsilon_0 \cdot \epsilon_r (N_d - N_a)} (\psi + V) \quad (6)$$

نجد من العلاقة (6) أنه عندما تكون كثافة الذرات الأخذة هي الغالبة أي $N_a \gg N_d$ يمكن إهمال كثافة الذرات المانحة أمامها في مقام العلاقة السابقة وبالتالي عند رسم تغيرات $1/C^2$ بدلالة الكمون المطبق نحصل على خط بياني ذي ميل سالب وبالتالي يكون لدينا نصف ناقل من النوع P. أما في حال كانت كثافة حاملات الذرات المانحة أكبر بكثير من كثافة الذرات الأخذة فإنها تهمل في مقام العلاقة السابقة وعند رسم تغيرات $1/C^2$ بدلالة الكمون المطبق نحصل على خط بياني ميله موجب وبالتالي يكون لدينا نصف ناقل من النوع N.

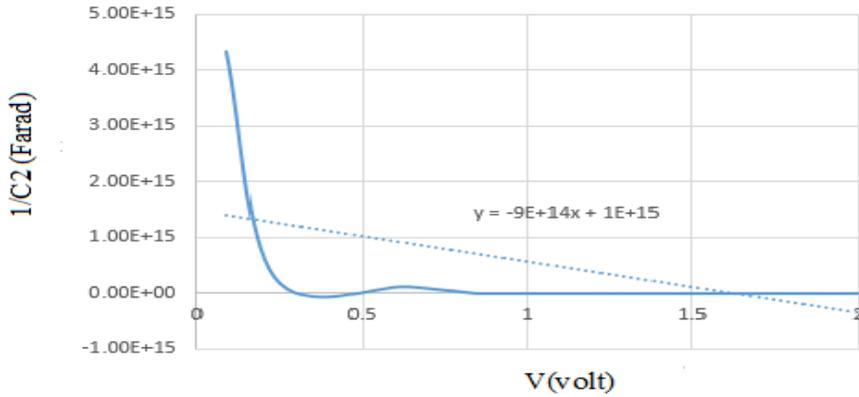
ولتحديد نوع نصف الناقل تم قياس السعة الكهربائية باستخدام جهاز RLC meter وذلك بتطبيق كمون متغير من volts (0.1-2) عند تردد ثابت (1KHz) في درجة حرارة الغرفة، تم رسم تغيرات $1/C^2$ كتابع للجهد V المطبق على العينات أظهرت الأشكال الموضحة بالشكل (4) علاقات خطية ذات ميل سالب مما يدل على أن نصف الناقل المتشكل من النوع P. نلاحظ أنه حتى جهد 0.5 Volt الميل سالب وعند

تم حذف

قيم أكبر من 0.5 Volt أيضاً الميل سالب وبالتالي الميل الكلي سالب وإذا
القيم التي أقل من 0.5 Volt نحصل على نفس المنحني لوجد قيم كبيرة للسعة من
مرتبة (10^{+14}) وتتناقص حتى قيم من مرتبة (10^{+3})



4h

الشكل(4): تغيرات $1/C^2$ بدلالة V

نلاحظ من الأشكال السابقة عند جهود متناوبة منخفضة حتى (0.22 volt) تناقص كبير للسعة مما يدل على سيطرة المفعول السعوي أما عند الجهود الأكبر فيصبح تناقص السعة صغيراً أي شبه ثبات في المفعول السعوي ومشاركة الناقلية الكهربائية.

5-2-2- حساب جهد البناء الداخلي V_{fb} للأسلاك المحضرة:

يبين الشكل السابق (4) أن حوامل الشحنة الأكثرية التي تؤثر في آليات النقل الكهربائي هي N_a .

وبالاعتماد على العلاقة السابقة (موت - شوكلي):

$$\frac{1}{C_p^2} = \frac{2}{\epsilon_0 q A} \left(\frac{1}{\epsilon_r N_d} - \frac{1}{\epsilon_r N_a} \right) (V - V_{fb} - \frac{KT}{q}) \quad (7)$$

وعندما يكون $\frac{1}{C_p^2} = 0$ يمكن إيجاد:

$$V - V_{fb} - \frac{KT}{q} = 0$$

$$V_{fb} = V - \frac{KT}{q} \quad \text{ومنه:}$$

حيث $T=300\text{ K}$ درجة حرارة المخبر، و $\frac{KT}{q} = 0.025\text{ eV}$ ونحصل على قيم V

من نقطة تقاطع مستقيم الميل مع المحور V من الشكل (4) حيث تكون قيم

$V=1.44V$ عند زمن ترسيب ساعتين، و $V= 1.54 V$ عند زمن ترسيب ثلاث ساعات، و $V=1.67V$ عند زمن ترسيب أربع ساعات.

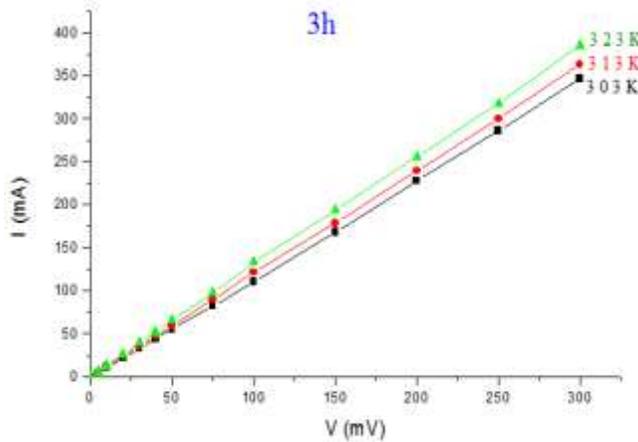
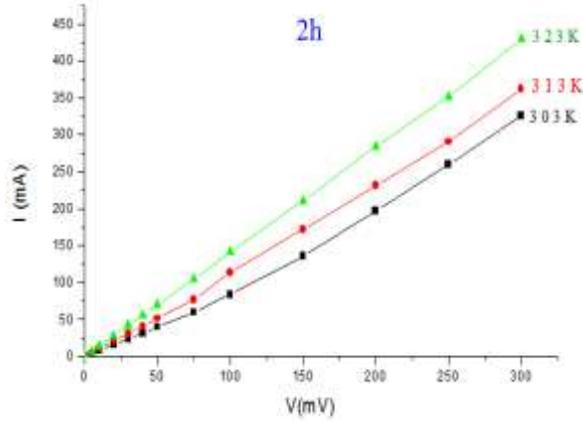
الجدول (2) قيم V_{fp}

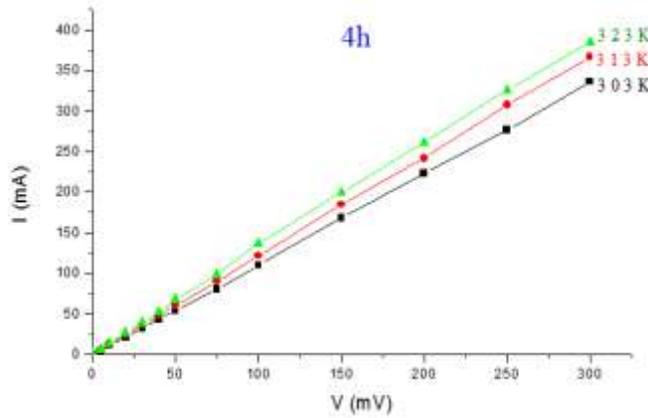
زمن الترسيب	2	3	4
جهد البناء الداخلي $V_{fp}(eV)$	1.42	1.52	1.65

3-5- الدراسة الكهربية باستخدام التيار المستمر:

5-3-1- دراسة الميزة $I-V$:

لمعرفة الخصائص الكهربية للعينات المحضرة من InP تم دراسة الميزة $I - V$ عند درجات حرارة مختلفة (303-313-323)K.



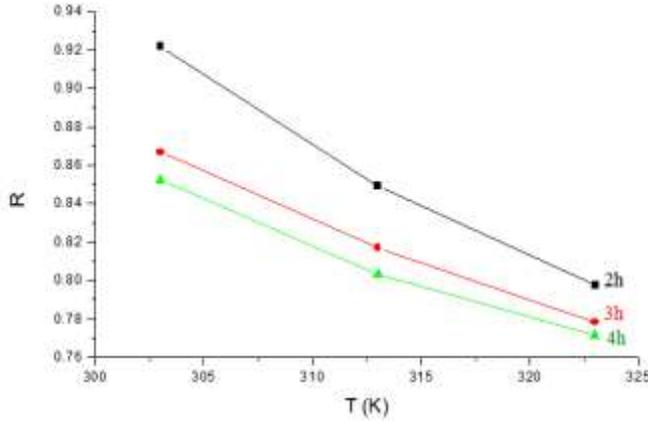


الشكل (5): يوضح ميزة (I-V) لأسلاك InP المحضرة عند درجات حرارة مختلفة

يلاحظ من الشكل (5) أن العلاقة بين التيار والجهد للأسلاك المحضرة هي علاقة خطية، مع ملاحظة أن شدة التيار تزداد مع زيادة درجة الحرارة ، يفسر ذلك أن زيادة درجة الحرارة المطبقة على الأسلاك تزيد من حركية حاملات الشحنة التي تزيد من الناقلية الكهربائية.

5-3-2-دراسة تغيرات المقاومة الكهربائية (R) بدلالة درجة الحرارة المطبقة:

من دراسة تغيرات المقاومة الكهربائية (R) مع تغيرات درجة حرارة الأسلاك (T) عند جهد (300mV) تبين أن العلاقة شبه خطية هذا يعود إلى زيادة حركية وكثافة حاملات الشحنة حرارياً ، مما يدل على أن سلوك المادة (InP) هو سلوك طبيعي لأنصاف النواقل حيث أن المقاومة الكهربائية لأسلاك InP تتناقص مع زيادة درجة الحرارة (T) وبين الشكل (6) تغيرات المقاومة الكهربائية مع تغيرات درجة الحرارة.



الشكل(6): يوضح تناقص المقاومة الكهربائية مع زيادة درجة حرارة أسلاك InP

يلاحظ من الشكل انخفاض المقاومة مع ازدياد درجة الحرارة فمن أجل الشريحة ذات زمن ترسيب ساعتين وعند درجة حرارة (313K) كانت المقاومة (0.92Ω) وعند درجة حرارة (323K) انخفضت المقاومة إلى (0.79Ω)

5-3-3- حساب طاقة التنشيط E_a حرارياً لأسلاك InP:

تحسب طاقة التنشيط E_a للأسلاك المحضرة من علاقة أرينوس التالية: [9]

$$I = I_0 \exp\left(\frac{-E_a}{KT}\right) \quad (8)$$

حيث: I شدة التيار الكهربائي عند درجة حرارة T'

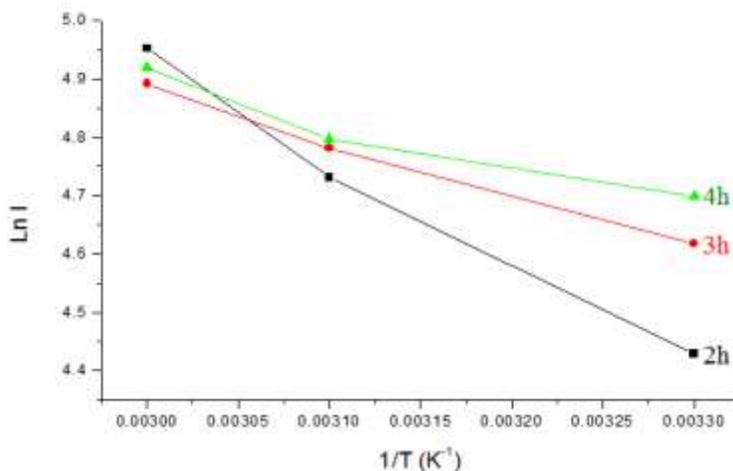
I_0 شدة التيار الكهربائي عند درجة حرارة الصفر المطلق

K ثابت بولتزمان ($8.62 \cdot 10^{-5}$ eV/k)

E_a طاقة التنشيط .

وتم حساب طاقة التنشيط برسم العلاقة بين لوغاريتم شدة التيار الكهربائي

بدلالة مقلوب درجة الحرارة $1/T$ كما في الشكل (8)



الشكل (8): يوضح تغيرات $\ln I$ بدلالة $1/T$ لأسلاك InP

من ميل المستقيم من المنحنيات الناتجة وبتطبيق العلاقة السابقة تمكن من حساب قيم طاقة التنشيط E_a المبينة بالجدول (3).

الجدول (3): يوضح قيم E_a والأطوال الموجبة الموافقة لكل طاقة تنشيط للأسلاك المحضرة

زمن الترسيب	طاقة التنشيط E_a (eV)
2h	0.14
3h	0.07
4h	0.06

4-4-دراسة الخواص الكهروحرارية:

5-4-1-دراسة مفعول سيبك:

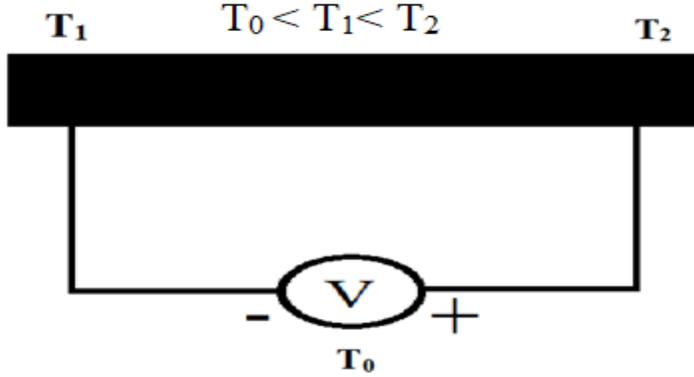
يعرف مفعول سيبك بأنه فرق الجهد بين طرفي الناقل على فرق درجة الحرارة وإن قياس معامل سيبك هو الأساس لاختيار المادة المستخدمة في أجهزة توليد الطاقة.

حيث تنشأ قوة محرّكة كهربائية عند تسخين أحد طرفي الناقل أما الطرف الآخر يبقى بدرجة حرارة أخفض من الطرف الأول لذلك فإن الإلكترونات الحرة تنتقل بفعل الاضطراب الحراري من الطرف الساخن إلى الطرف الأخفض حرارة، عندها

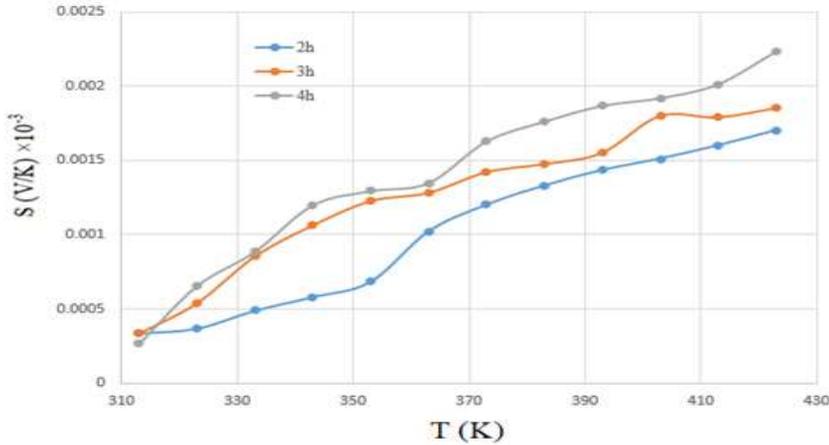
تختلف الكثافة الإلكترونية بين الطرف الساخن والبارد، وعندما يحصل التوازن في الانتقال الحراري تظهر شحنتان كهربائيتان متعاكستان بالإشارة على سطح التماس بين طرفي الناقل وينشأ فرق في الكمون، وهذا التأثير ناتج عن الاختلاف في طاقة فيرمي للمنطقتين. [10]

تمت دراسة مفعول سيبك للعينات المحضرة بواسطة الدارة الموضحة بالشكل (9) وذلك ضمن مجال تغيرات درجات حرارة (310-430)K وتم حساب معامل سيبك وفق العلاقة التالية: [11]

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (9)$$



الشكل(9): دارة معامل سيبك



الشكل(10): بوضوح تغيرات معامل سيبك بدلالة تغيرات درجة الحرارة

نلاحظ من الشكل (10) أن معامل سيبك ذو قيمة موجبة وهذا يؤكد أن نصف الناقل المتشكل من النوع P حيث وجدنا أفضل قيمة لمعامل سيبك للشريحة ذات زمن ترسيب أربع ساعات.

5-4-2-دراسة عامل الاستحقاق:

يعرف عامل الاستحقاق الكهروحراري بدون أبعاد المادة كمايلي: [10]

$$ZT = \frac{S^2 \sigma}{\lambda} T \quad (10)$$

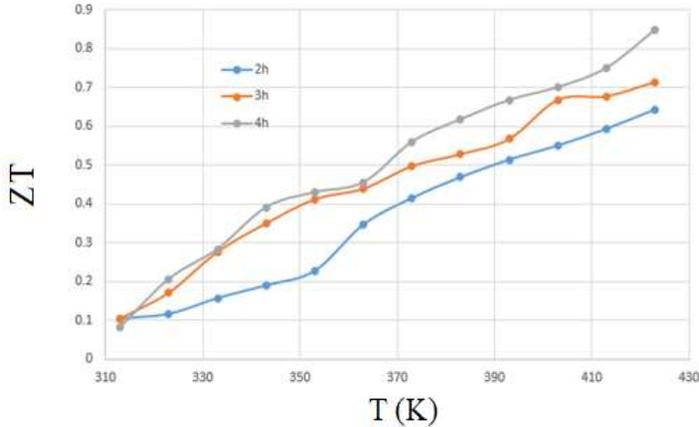
حيث S معامل سيبك و σ الناقلية الكهربائية و λ الناقلية الحرارية و T متوسط درجة الحرارة للطرفين البارد والساخن.

وللحصول على أفضل عامل استحقاق يجب أن نحصل على أكبر قيمة لـ σ الناقلية الكهربائية وأصغر لـ λ قيمة للناقلية الحرارية.

تم حساب الناقلية الحرارية الكلية من العلاقة التالية: [12]

$$\lambda = \sigma \times S \quad (11)$$

ويرسم العلاقة بين عامل الاستحقاق ZT ومتوسط درجة الحرارة T للطرفين البارد والساخن كما في الشكل (11) نلاحظ أن عامل الاستحقاق يزداد مع زيادة متوسط درجة الحرارة للطرفين الساخن والبارد.



الشكل(11): يوضح تغيرات عامل الاستحقاق مع تغيرات درجة الحرارة.

تم حساب الناقلية الحرارية الكلية للمنظومة وفق العلاقة (12) حيث لا نستطيع فصل الأسلاك عن الركيزة لقياس الناقلية الحرارية للركيزة والأسلاك كل على حدة.

نلاحظ من الشكل السابق أن قيم عامل الاستحقاق التي حصلنا عليها كانت جيدة وكانت أفضل قيمة تعود للشريحة ذات زمن ترسيب أربع ساعات. في الواقع إن قيم عامل سبيك المقاسة ناتجة عن مساهمتين حراريتين مؤلفة من الأسلاك النانوية InP وركيزة النيكل التي أثرت سلباً على قيم سبيك وذلك بسبب ناقليتها الحرارية العالية. لقد ثبت أنه بسبب الحبس الكمي، تُظهر الأسلاك النانوية انخفاضاً كبيراً في التوصيل الحراري مقارنة بالحالة العادية للمواد وزيادة عامل الاستحقاق بشكل كبير، إن معامل سبيك للآبار الكمومية يزداد خطياً مع تناقص سماكة البئر وبشكل خاص عندما يصبح سمك البئر بضعة نانومترات، إن زيادة معامل سبيك ينشأ بشكل أساسي من زيادة كثافة الحالات بالقرب من حافة عصابة الناقلية التي تكون محصورة في اتجاه واحد في الأسلاك النانوية، ومن المتوقع أن تتسبب الأسلاك النانوية في تشتت الفونون، وقد ثبت أن عامل الاستحقاق يزداد مع انخفاض قطر الأسلاك النانوية. [10]

6-الاستنتاجات:

- حضرت ثلاث عينات من فوسفيد الإنديوم بطريقة الترسيب الكهروكيميائي على ركائز من النيكل المسامية، ولقد استنتجنا ما يلي:
- أظهرت نتائج تحليل طيف الـ XRD لفوسفيد الإنديوم InP أنه يتبلور باتجاه واحد (220) عند التسمية على ركيزة من النيكل ذات المسامات السطحية مما يدل على أنها أسلاك نانوية.
- من علاقة شوتكي ورسم مربع مقلوب السعة بدلالة الجهد المطبق استطعنا تحديد نوع الناقل المتشكل وهو من النوع P.
- باستخدام علاقة اربنوس تم حساب طاقة التنشيط ووجدنا أنها تتراوح بين (0.06-0.14) eV.

- تم تحديد عامل الاستحقاق الكهروحراري للعينات ووجدنا أن قيمته تتراوح بين (0.64-0.85).

References

1. Ren Li G.,2008- Electrochemical reduction synthesis of In–Sb nanoropes and terraced micropyramids.ScienceDirect.
2. ZAFAR F.,2016- Indium phosphide nanowires and their applications in optoelectronic devices. Department of Chemistry, Quaid-i-Azam University, Islamabad 45320, Pakistan.
3. KUMAR S ., 2005 - Synthesis and electrochemical properties of InP nanocrystals. *Materials Research Society*,3/21.
4. CARENCO S.,2010- White phosphorus and metal nanoparticles: A versatile route to metal phosphide nanoparticles.
5. A. M. Dennis, B. D. Mangum et al, 2012, Suppressed blinking and auger recombination in near-infrared type-II InP/CdS nanocrystal quantum dots, *Nano letters*, Vol. 12
6. A Begum, A. Hussain and A. Rahman.,2012 -Effect of deposition temperature on the structural and optical properties of chemically prepared nanocrystalline lead selenide thin films. *Beilstein J. Nanotechnol*, 3, p:438-440.
7. SADEKAR. H. K. 2014 -" Optical, Structural and Surface Morphology Properties of PbSe Thin Film Deposited By Chemical Bath Deposition". *International Journal of Chemical and Physical Sciences*, ISSN:2319-6602, Vol 3, p:111-112.
8. Bueno, P. R., Cassia-Santos, Garcia-Belmonte, G., Nature of the Schottky-type barrier of highly dense SnO₂ systems displaying nonohmic behavior, *Journal of Applied Physics*.
9. Ahmed Farag .I.S, I.K Battisha & M.M.El-Rafaay, 2005 - Study of dielectric properties of α -alumina doped with MnO, CdO and MoO, *Indian Journal of Pure & Applied physics*, vol.43, pp.446-458.
10. Kate J.,2012-Indium Phosphide Nanowire Network - Growth and Characterization for Thermoelectric Conversion.ResarchGate.
11. Paothep P.,2010- Nanostructured thermoelectrics thermoelectrics *Materials Science and Engineering R* 6719–63.
12. ضباع بتول، 2018 - تحضير مركب Cu₃SbSe₄ ودراسة تأثير الإشابة على خواصه الكهروحرارية. أطروحة دكتوراه - كلية العلوم - جامعة حلب.