

Preparation of PbS compound and studying the effect of doping with barium on some of its physical properties

Dr. Khitam Kanjarawi*
Ghassan Nashed**

(Received 25 / 10 / 2021. Accepted 22 / 2 / 2022)

□ ABSTRACT □

Three Samples were prepared in the form of thin films of barium –doped Lead sulfide $Pb_{1-x}Ba_xS$, ($x = 0, 0.03, 0.05$) on previously cleaned glass slides by chemical bath deposition (CBD) technique .

The surface structure of the prepared samples was studied using the Atomic Force Microscope (AFM) device . It was found that the surface structure of the samples is a nano – granular structure and the size of the granules decreases with the increase in the doping ratio .

The diffraction spectrum of X- rays on the samples (*XRD*)was studied .The preferred direction of growth was according to the crystalline plane (200),and by analyzing the XRD spectrum of the prepared samples ,a decrease in the crystallization size was found with an increase in the dopant percentage by a decrease in the intensity of the dislocations.

The $I - V$ feature was studied for the prepared samples at different temperatures for the first sample . The activation energy calculated and it was found to be equal to 0.51 ev. As for samples 2,3 no change in the feature $I - V$ was observed with the change in temperature .

Using (*UV - Vis*) Spectrometer , The absorption spectra of the prepared samples were studied within a wavelength range (200-1500) *nm* , and the energy gap of samples was calculated , and an increase in the value of the energy gap was observed with the increase in the percentage of doping .

Key words : Lead sulfide , Atomic Force Microscope , absorption spectra chemical bath deposition technique , XRD spectrum .

*Professor, Department of basic science –faculty of mechanical and electrical engineering - Tishreen University-Lattakia- Syria - khknjarawi@gmail.com

**Associated Professor-Department of physics , faculty of science –Aleppo University -Aleppo - Syria Ghassan.nsh@gmail.com

تحضير المركب PbS ودراسة تأثير الإشابة بالباريوم على بعض خصائصه الفيزيائية

د. ختام قنجرابي*

د. غسان ناشد**

(تاريخ الإيداع 25 / 10 / 2021. قُبِلَ للنشر في 22 / 2 / 2022)

□ ملخص □

حُضِرَت ثلاث عينات على شكل أفلام رقيقة على شرائح زجاجية تمّ تنظيفها مسبقاً من كبريتيد الرصاص المشاب بالباريوم $Pb_{1-x}Ba_xS$ حيث $(0.05, 0.03, 0=x)$ بطريقة الترسيب بالحمام الكيميائي *Chemical Bath Deposition (CBD)*، تمت دراسة البنية السطحية للعينات المحضرة وذلك باستخدام مجهر القوى الذرية *Atomic Force Microscope (AFM)* وقد وجد أن بنية العينات السطحية هي بنية حبيبية نانوية و يتناقص حجم الحبيبات بازدياد نسبة الإشابة، دُرِس طيف انعراج الأشعة السينية *X – Ray Diffraction Spectrum (XRD)* على العينات فوجدنا ان الاتجاه المفضل للنمو هو وفق المستوى البلوري (200) وتحليل طيف انعراج الأشعة السينية (XRD) للعينات المحضرة وجد تناقص لحجم التبلور بزيادة نسبة الإشابة مع تناقص في كثافة الانخلاعات، تمت دراسة الميزة I-V للعينات المحضرة وذلك عند درجات حرارة مختلفة بالنسبة للعيونة الأولى وتم حساب طاقة التنشيط وقد وجد أنها مساوية لـ 0.51 e.V أما بالنسبة للعينات 2 و 3 فلم يلاحظ أي تغير في الميزة I-V بتغير درجة الحرارة . باستخدام مطياف الأشعة فوق البنفسجية - المرئية (*UV-VIS Spectrophotometer*) درسنا طيوف الامتصاص للعينات المحضرة ضمن مجال أطوال موجية (200-1500)nm ، حيث قمنا بحساب فجوة الطاقة للعينات (*Energy gap*) ولوحظ ازدياد في قيمة الفجوة الطاقة بازدياد نسبة الإشابة.

الكلمات المفتاحية: كبريتيد الرصاص، مجهر القوى الذرية، طيوف الامتصاص، طريقة الترسيب بالحمام الكيميائي ، طيف XRD

* أستاذ، قسم العلوم الأساسية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين اللاذقية، سورية khknjarawi@gmail.com

** أستاذ مساعد، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة حلب، حلب، سورية Ghassan.nsh@gmail.com

مقدمة:

الأفلام الرقيقة هي طبقة رقيقة من مرتبة عشرات أو مئات النانومتر منها أفلام رقيقة نصف ناقلة لاسيما أفلام الأكاسيد المعدنية، [1] ومنها أفلام رقيقة عازلة كأفلام البوليميرات [2]، أو المحضرة كأغشية بوليميرية (*Polymeric membranes*) [3]، ازدادت أهمية الأفلام الرقيقة وذلك لسهولة وتعدد طرائق تحضيرها حيث تتغير الخصائص الالكترونية والضوئية حسب بنية الأفلام الرقيقة ومع دخول تقانات النانو حيز التطبيق أصبحت هي الحل للعديد من المسائل التي تواجه الصناعات الالكترونية والإلكتروضوئية ومن أهم تطبيقات الأفلام الرقيقة كواشف الأشعة تحت الحمراء وكطبقات في الخلايا الشمسية و العناصر الكهروحرارية [4,5].

دخلت كواشف الأشعة تحت الحمراء والخلايا الشمسية عالم النانو من أوسع أبوابه حيث أجريت العديد من الدراسات والأبحاث لزيادة كفاءتها ولخفض كلفة تصنيعها. كما اتجهت أنظار الباحثين نحو تشكيل أفلام رقيقة بأبعاد نانومترية من أنصاف النواقل وازداد الاهتمام بتطبيقاتها وتحضيرها بطرائق بسيطة غير مكلفة، وذلك لما تتصف به من خواص فيزيائية، كيميائية، الكترونية وميكانيكية تجعلها مفيدة في مجالات علمية عديدة.

تتطلب طرائق تحضير الأفلام الرقيقة مثل الترسيب بالحزمة الالكترونية والترسيب بالليزر تقانات عالية وشروط خاصة لذلك استخدمنا في هذا البحث طريقة الترسيب بالحمام الكيميائي (*CBD*) والتي تعتبر من الطرائق المنخفضة التكلفة ويمكن من خلال هذه الطريقة إضافة عناصر إشابة بطريقة سهلة [6].

إن مركب كبريتيد الرصاص المحضر بهذه الطريقة ذو بنية نانوية وهو مركب كيميائي له الصيغة PbS وهو نصف ناقل من النوع P يملك مقاومة نوعية صغيرة يمكن التحكم بها بتغير البنية [7]، كما يملك فجوة طاقة تتراوح بين 1.8-2.2 eV وتزداد مقاومته النوعية بزيادة الحجم الحبيبي [8].

يملك كبريتيد الرصاص تطبيقات ضوئية حيث يستخدم كحساس أشعة تحت الحمراء في المجال تحت الأحمر القريب وكذلك خصائص الكترولوضوئية [9]، ويستخدم في الخلايا الشمسية [5].

أهمية البحث وأهدافه**أهمية البحث:**

تأتي أهمية دراسة الأفلام الرقيقة واختيار طريقة التحضير من دراسة تأثير الإشابة بعناصر محددة، وتعتبر اليوم دراسة المواد المرسبة بشكل أفلام رقيقة نانوية التركيب [6] إحدى الوسائل المناسبة لمعرفة الخصائص الفيزيائية التي يتمتع بها الفلم الرقيق والتي يصعب الحصول عليها وهي بشكلها الطبيعي كسبيكة صلبة فقد حققت دراسة الأفلام الرقيقة ثورة في مجال التطبيقات الإلكترونية والتكنولوجية الواسعة لأنها بأبعادها التي تتراوح بين أبعاد البنية النانوية و يضع الميكرونات أصبحت البديل الناجح عن المواد الجاسئة (*Bulk materials*) في تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية اللازمة لتطبيقات علوم الخلايا الشمسية والدارات الالكترونية والمرشحات والكواشف والعناصر الالكترونية كالمقاومات والمكثفات... الخ . وحلت محلها معطية خصائص كهربائية وضوئية وبنوية أكثر كفاءة مما لو كانت في حجمها الطبيعي [4,5]، كما أمكن التحكم بخصائص الفلم الرقيق وتغييرها حسب المتطلبات اللازمة بتغيير طرائق تحضيرها أو تغيير شروط تحضيرها أو نوعية ونسب الإشابة.

لذلك كان من الأهمية بمكان دراسة الخصائص الفيزيائية والبنوية والضوئية بهدف تحسينها والوصول إلى جودة وكفاءة عاليتين.

حيث تعتبر طريقة (CBD) من التقانات البسيطة وغير المكلفة لكنها تضاهي التقانات المعقدة والباهظة التكلفة بجودة المنتج حيث يترسب الفلم الأساسي كنتاج عن التفاعلات الكيميائية الحاصلة بشكل متجانس وخالي من العيوب شديد الالتصاق بالقاعدة مشكلاً طبقة رقيقة خالية من الثقوب الإبرية التي قد تشوه بنية الفلم الرقيق [5].

ومن أهمية هذه الطريقة أنه يمكن الحصول على الفلم الرقيق بمساحات صغيرة أو كبيرة حسب الحاجة .

توجد أهمية كبيرة لإشابة الأفلام الرقيقة في تغيير وتحسين الخصائص الفيزيائية لها فقد تم اختيار الباريوم (Ba) كشائبة بنسب مختلفة ودراسة تأثير نسب الإشابة على الخصائص الكهربائية والضوئية والبنوية للفلم الرقيق.

أهداف البحث:

1- دراسة الخصائص الفيزيائية لكبريتيد الرصاص النقي والمشاب بالباريوم، كدراسة البنية السطحية للعينات المحضرة باستخدام مجهر القوى الذرية (AFM) ودراسة طيف انعراج الأشعة السينية (XRD) بهدف تحديد بعض ثوابت البنية البلورية كتحديد حجم التبلور D ، وحساب ثابت انفعال الشبكة ϵ ، وتحديد كثافة الانخلاعات في الشبكة البلورية δ .

2- دراسة تغير شدة التيار بدلالة الكمون المطبق عند درجات حرارة مختلفة للعينات النقية PbS وللعينات المشابة $(Pb_{1-x}Ba_xS)$ وحساب مقاومة العينات وكذلك حساب طاقة التنشيط E_a والتي تمثل ارتفاع حاجز الكمون.

3- دراسة طيف الامتصاص ($UV - Vis$) باستخدام مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية، ومن ثم حساب عرض المجال المحظور (عرض فجوة الطاقة) وتأثير نسبة الإشابة على ذلك.

طرائق البحث ومواده

أُتبع في هذه الدراسة المنهجية التجريبية في تحضير الأفلام الرقيقة PbS وفق طريقة الترسيب بالحمام الكيميائي (CBD) وإشابتها بعنصر Ba للحصول على $Pb_{1-x}Ba_xS$ حيث $x = 0, 0.03, 0.05$

المواد المستخدمة في هذا البحث :

- أسيتات الرصاص $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$ ، الشركة المصنعة

Qualikems ,Fin chemicals Pvt .Ltd.India

- ثيوريا $(SC(NH_2)_2Thiocarbamide)$ ، الشركة المصنعة *Titan Biotech Ltd .India*

- هيدروكسيد الصوديوم $(\text{Sodium hydroxide } NaOH)$ ، الشركة المصنعة

Pure Chemicals Co.India MART ,India

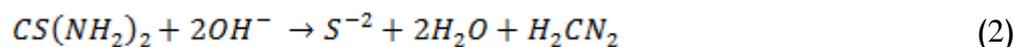
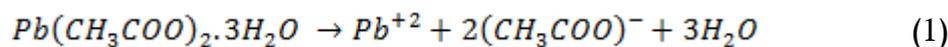
- أسيتات الباريوم $Ba(CH_3COO)_2Barium acetate$ ، الشركة المصنعة

Qualikems ,Fin chemicals Pvt .Ltd.India

القسم العملي:

1_ تحضير العينات:

استخدمنا في هذا البحث طريقة الترسيب بالحمام الكيميائي (CBD) وذلك لسهولة التحضير وقلة التكلفة [6]، تم حل 4.98mmol من أسيتات الرصاص $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ كمصدر لشوارد الرصاص [10] في 30 ml من الماء ثنائي التقطير وذلك باستخدام خلاط مغناطيسي وعند درجة حرارة 30°C ، كما تم حل 0.02 mol من هيدروكسيد الصوديوم في نفس الوعاء مع الاستمرار بالتحريك، وفي وعاء آخر تم حل 11.82 mmol من الثيوريا $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ كمصدر لشوارد الكبريت [10] في 20 ml من الماء ثنائي التقطير ثم نقوم بخلط المحلولين بعد وضع شريحة زجاجية نظيفة في المحلول عندها يبدأ الفلم بالتشكل على وجهي الشريحة الزجاجية وذلك بعد حدوث مجموعة من التفاعلات في وسط قلوي حيث تتحلل الثيوريا وتحرر شوارد S^{2-} والتي ستسرع شوارد Pb^{2+} في المحلول ويبدأ الفلم بالتوضع على الشريحة الزجاجية وفق المعادلات الكيميائية التالية [11] ، [10]



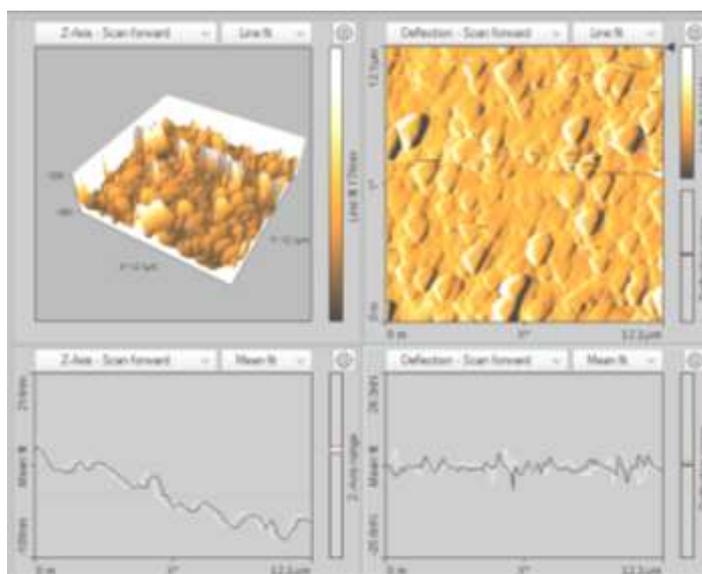
قمنا بتحضير ثلاث عينات : العينة الأولى : كانت عبارة عن مركب PbS نقي.

العينة الثانية: كانت عبارة عن مركب PbS مشاب بنسبة 3% من الباريوم.

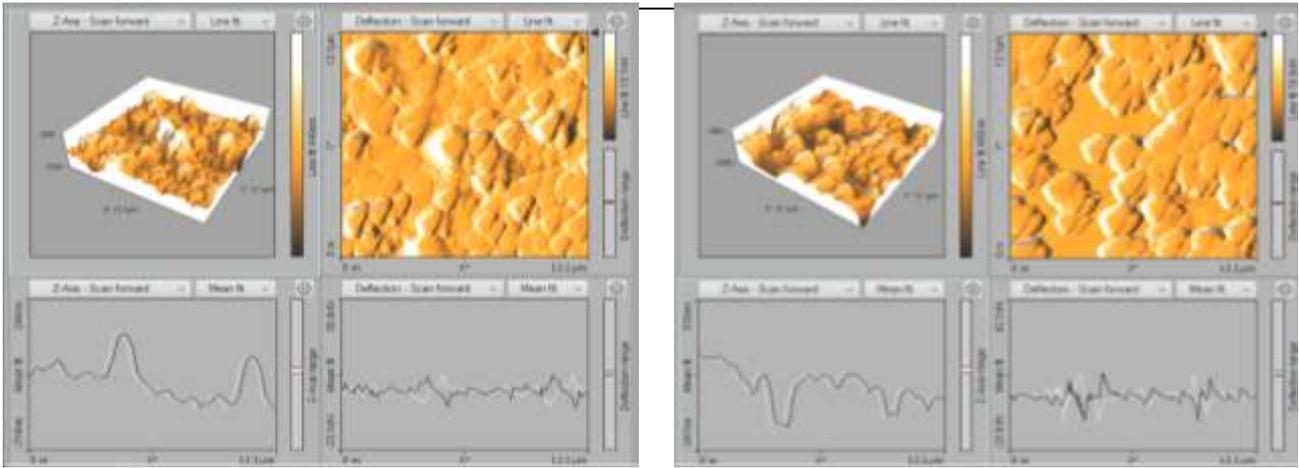
العينة الثالثة: كانت عبارة عن مركب PbS مشاب بنسبة 5% من الباريوم.

2_ الدراسة السطحية للعينات المحضرة:

باستخدام مجهر القوى الذرية (AFM) قمنا بدراسة البنية السطحية للعينات المحضرة وبيين الشكل (1) البنية السطحية للعينات المحضرة على الترتيب :



عينة (1)



عينة (3)

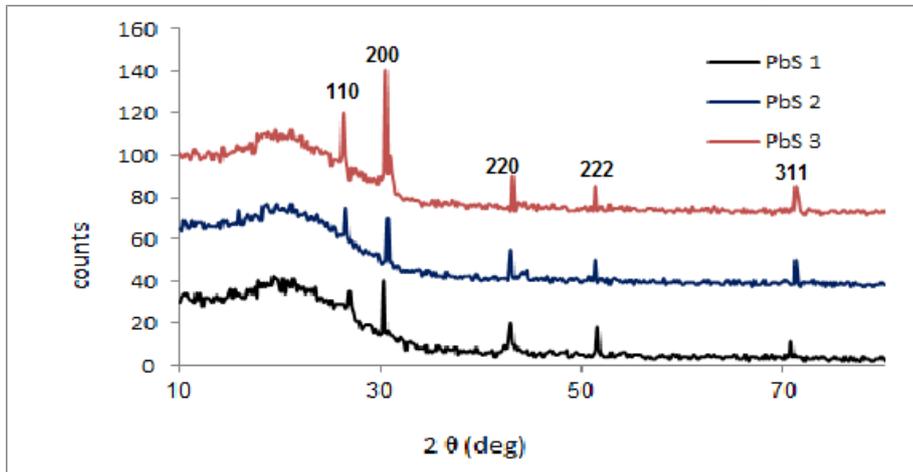
عينة (2)

الشكل (1) البنية السطحية للعينات المحضرة

وجدنا أن البنية السطحية للأفلام المحضرة هي ذات بنية حبيبية نانوية تتراوح أبعادها (77 nm) للعينة الأولى النقية و (73 nm) للعينة الثانية المشابة بنسبة 3% من الباريوم و (65 nm) للعينة الثالثة المشابة بنسبة 5% من الباريوم. إن تناقص حجم الحبيبات يعود إلى دخول ذرة الباريوم إلى البنية والتي تكون ذات حجم أصغر من حجم ذرة الرصاص.

3_ طيف انعراج الأشعة السينية XRD :

يهدف معرفة بنية المركب المحضر، تم دراسة العينات المحضرة بواسطة جهاز الأشعة السينية X-RAY ذو مصعد مصنوع من مادة النحاس بطول موجة ($\lambda = 1.5401 \text{ \AA}$) ضمن مجال زاوي ($20^\circ - 80^\circ$) حيث وجد أن بنية العينات المحضرة لمركب PbS ذات تركيب بلوري مكعب مركزي الوجه (FCC) وأن الاتجاه المفضل للنمو هو (200).



الشكل (2) مخطط

XRD ل PbS

يمكن تعيين البعد بين المستويات البلورية وفق الاتجاهات المطلوبة باستخدام علاقة Bragg (4)، [12] :

$$d_{hkl} = \frac{n\lambda}{2\sin\theta} \quad (4)$$

حيث: d_{hkl} المسافة بين المستويات البلورية المتوازية وفق الاتجاه hkl ، θ زاوية الانعراج، n رتبة الانعراج ، λ طول موجة الأشعة السينية.

$$\frac{1}{d_{hkl}} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (5)$$

حيث ان: a ثابت وحدة الخلية .

تعطي المعادلة (5) العلاقة بين ثابت وحدة الخلية والمسافة بين المستويات البلورية المتوازية، أما حجم التبلور فيمكن تعيينه وفق طريقة Debye-Scherer باستخدام العلاقة (6)، [13]:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta_{hkl} \cos\theta} \quad (6)$$

حيث β_{hkl} عرض منتصف الشدة لقمة الانعراج الموافقة للمستوي hkl و k ثابت يساوي 0.94 في حال الجسيمات الكروية، $\lambda = 1.5401 \text{ \AA}$ طول موجة الأشعة السينية، D حجم التبلور، θ زاوية الانعراج الموافقة للمستوي hkl تم حساب البعد البلوري للشبكة d من علاقة براغ للانعراج (7):

$$2 d \sin\theta = n \lambda \quad (7)$$

وحساب انفعال الشبكة من العلاقة (8) ، [14] :

$$\varepsilon = \frac{\beta \cos\theta}{4} \quad (8)$$

واستخدم مقياس التبلور δ في حساب كثافة الانخلاعات في الشبكة البلورية والتي تعرف بأنها طول خطوط الانخلاعات في واحدة الحجم من المادة من العلاقة (9) ، [12] :

$$\delta = \frac{15. \eta}{D. a} \quad (9)$$

بالاعتماد على العلاقات السابقة يمكن حساب ثابت وحدة الخلية ومقياس التبلور كما هو موضح في الجدول (1).

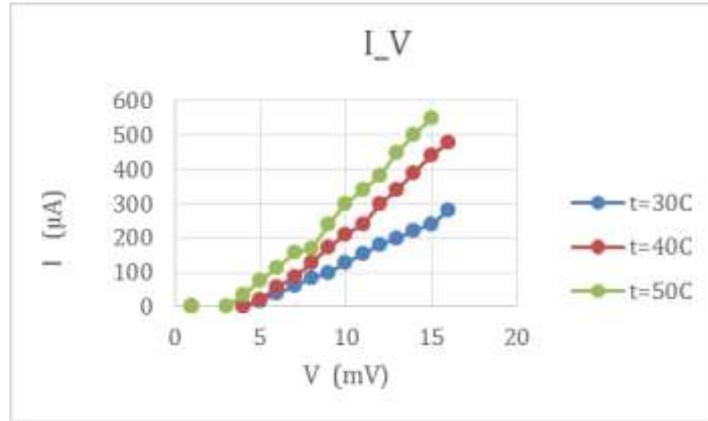
الجدول (1): يبين قيم أحجام وثابت الشبكة البلورية لـ PbS للأفلام المحضرة

رقم العينة	hkl	$(^\circ A)D$	$(^\circ A)d$	$(^\circ A)a$	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$ (lin-2.m-4)	$\delta \cdot 10^{+14}$ (lin.m-2)
1	(200)	96.45	1.521	3.042	3.751	5.112
2	(200)	96.33	1.528	3.051	3.755	5.1
3	(200)	96.23	1.531	3.06	3.759	5.096

يبين الجدول (1) أن تناقص حجم التبلور D يعود لدخول ذرة الباريوم في الشبكة البلورية وهي أصغر بالحجم من ذرة الرصاص، كما يلاحظ تناقص ضئيل في انخلاعات الشبكة البلورية.

4_ قياسات التيار المستمر:

تم قياس تابعة شدة التيار مع الكمون المطبق عند درجات حرارة مختلفة للعينة الأولى حيث لوحظ ارتفاع شدة التيار بزيادة درجة الحرارة. الشكل (3) يبين العلاقة بين شدة التيار والكمون عند درجات الحرارة المختلفة .

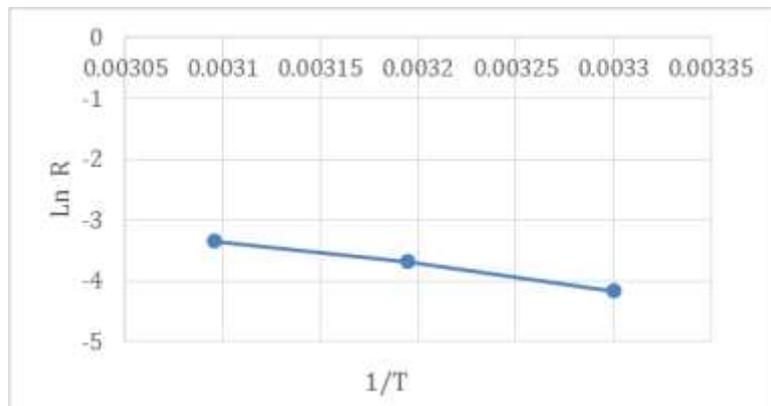


الشكل(3) تغير شدة التيار مع فرق الكمون عند درجات حرارة مختلفة

ومن الشكل (3) تم حساب قيمة المقاومة للعينة الأولى عند درجات حرارة مختلفة وأدرجت النتائج في الجدول (2).
الجدول(2) قيم مقاومة الفلم الأول عند درجات الحرارة

R(μΩ)	15	25	35
T(K)	303	348	372

لحساب طاقة التنشيط E_a تم رسم العلاقة بين $(\ln V/I)$ و $1/T$ كما في الشكل (4).



الشكل (4) العلاقة بين $\ln(R)$ و $1/T(K^{-1})$

واعتمادا على علاقة أرينوس التالية (10). [15]:

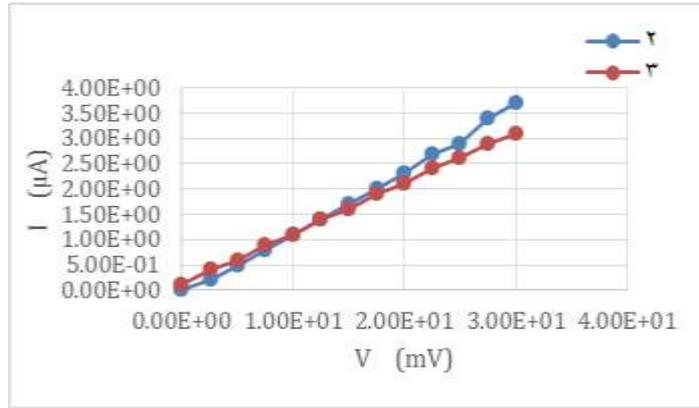
$$R = R_0 e^{\frac{E_a}{kT}} \quad (10)$$

حيث: E_a : ارتفاع حاجز الكمون، k : ثابت بولتزمان، T درجة الحرارة المطلقة ومن ميل الخط البياني تم حساب طاقة التنشيط كما في الجدول التالي:

الجدول (3) قيمة طاقة التنشيط E_a (eV)

E_a (eV)	0.512
------------	-------

كما تم قياس تابعة شدة التيار مع الكمون المطبق عند درجة حرارة الغرفة للعينات الثانية والثالثة حيث لوحظ ارتفاع شدة التيار بزيادة درجة الحرارة. الشكل (5) يبين العلاقة بين شدة التيار والكمون للعينتين المشابنتين 3% و 5% من الباريوم.

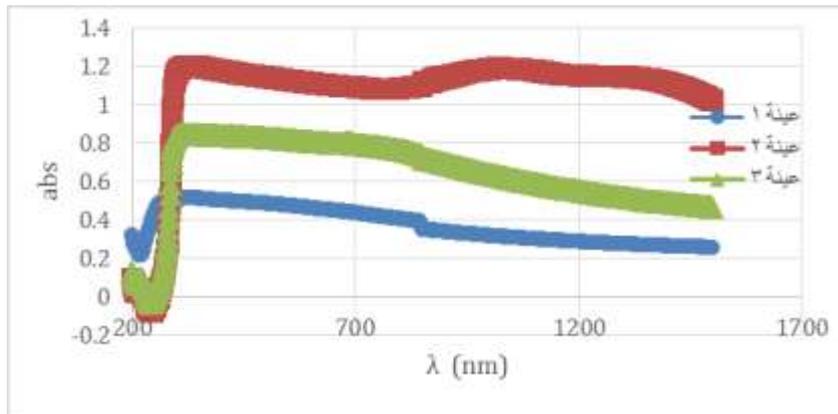


الشكل (5) العلاقة بين شدة التيار والكمون

لدى دراسة هذه العينات عند درجات أعلى لوحظ تناقص كبير في شدة التيار بعد دخول الذرات الباريوم الشائبة نتيجة عمليات إعادة الإتحاد بين حوامل الشحنة وانخفاض السويات الطاقة للذرات الشائبة الناتجة عن العيوب البنيوية وهذا يتفق مع دراسة طيوف انعراج الأشعة السينية XRD.

5_ طيف الامتصاص UV-VIS :

باستخدام مطياف UV-VIS أخذ طيف الامتصاصية للنقاط الكمية لـ PbS ضمن المجال الموجي (200 – 1500) nm، والشكل (6) يبين طيف الامتصاص للعينات المحضرة.

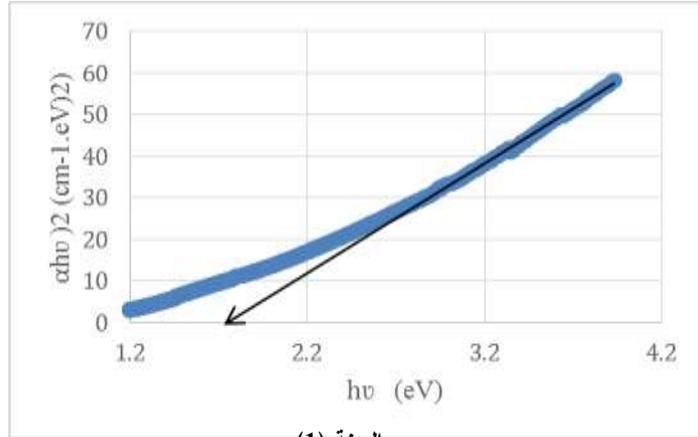


الشكل (6) طيوف الامتصاص لـ PbS

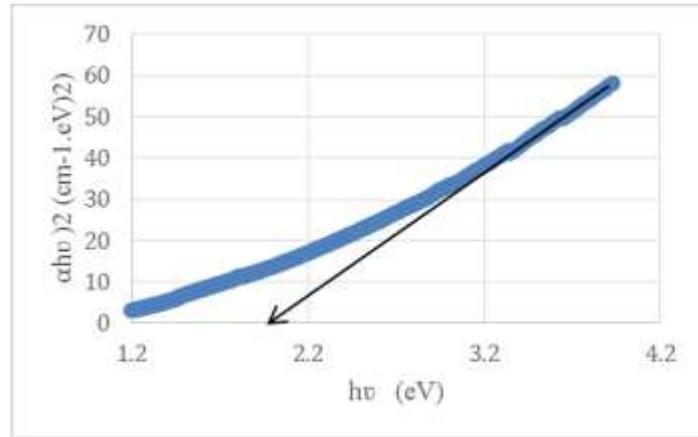
يمكن استخدام علاقة $Tauc$ (11) من أجل حساب طاقة المجال المحظور، حيث وفقاً لهذه العلاقة يعطى معامل الامتصاص من أجل المواد ذات المجال المحظور المباشر وفق الآتي [14]:

$$\alpha(h\nu) = A(h\nu - E_g)^n \quad (11)$$

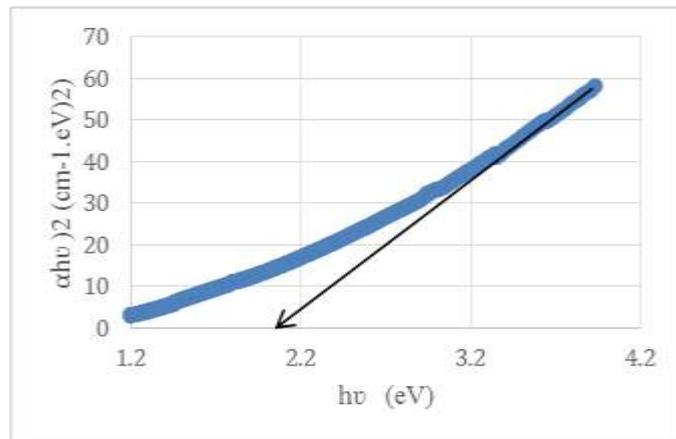
حيث: E_g طاقة المجال المحظور ، $h\nu$ طاقة الفوتون الساقط، α معامل الامتصاص ، n يتعلق بنوعية الانتقالات الإلكترونية الممكنة ويساوي $\frac{1}{2}$ من أجل الانتقالات المباشرة. كما موضح في الشكل (7) A ثابت،



العينة (1)



العينة (2)



العينة (3)

الشكل (7) تحديد طاقة المجال المحظور للعينة المحضرة

كما يمكن تعيين طاقة المجال المحظور وذلك بعد معرفة نصف القطر الحبيبي للعينات المحضرة حيث نعتمد على علاقة بروس المعطاة بالشكل التالي(12). [16]:

$$E_g^{nano} = E_g^{balk} + \frac{h^2}{8R_{partils}^2} \left(\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right) - \frac{1.8e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R} \quad (12)$$

حيث E_g^{nano} طاقة المجال المحظور للمادة في الحالة النانوية. E_g^{balk} طاقة المجال المحظور للمادة في الحالة البلورية (الأساسية)، $R_{partils}$ نصف قطر الحبيبية، $h=6.6*10^{-34}$ J.s ثابت بلانك، $e=1.6*10^{-19}$ C شحنة الإلكترون، الكتلة الفعالة لكل من النقب والإلكترون بالترتيب m_h [17] : ($m_e^* = 0.6$, $m_h^* = 0.12$) وتكون قيم طاقة المجال المحظور الموافقة ونصف قطر الحبيبية للمواد المحضرة كما هو موضح بالجدول (4).

الجدول (4) قيم عرض المجال المحظور ونصف قطر الحبيبية للعينات المحضرة

رقم العينة	1	2	3
E_g (eV)	1.71	1.85	2
R (nm)	75	72	68

يلاحظ من الجدول (4) أن عرض المجال المحظور يزداد بازدياد نسبة الإشابة وذلك يعود لتناقص حجم الحبيبات النانوية المشكلة وهذا ما وجدناه من دراسة البنية السطحية باستخدام ((AFM وهذه الزيادة في عرض المجال المحظور تسبب تناقص في شدة التيار عنه في العينة غير المشابة ، كما يلاحظ تقارب بين القيم النظرية لحجم الحبيبات و المحسوبة من طيوف الامتصاص مع القيم التجريبية .

الاستنتاجات والتوصيات

- 1- تم التوصل إلى أن بنية العينات السطحية هي بنية حبيبية نانوية ويتناقص حجم الحبيبات بازدياد نسبة الإشابة. إن تناقص حجم الحبيبات يعود إلى دخول ذرة الباريوم إلى البنية والتي تكون بحجم أصغر من حجم ذرة الرصاص.
- 2- تبين بنتيجة دراسة طيف انعراج الأشعة السينية (XRD) للعينات، أن الاتجاه المفضل للنمو وفق المستوي البلوري (200) وتبين أن بنية المركب هي ذات تركيب بلوري مكعب (FCC).
- 3- وبتحليل طيف (XRD) للعينات وجد تناقص في حجم التبلور بزيادة نسبة الإشابة بسبب دخول ذرة الباريوم إلى الشبكة البلورية يقابله تناقص في كثافة الانخلاعات.
- 4- عند دراسة الميزة $I - V$ للعينات المحضرة وذلك عند درجات حرارة مختلفة $(30,40,50)^\circ C$ ، لوحظ ارتفاع شدة التيار بزيادة درجة الحرارة وزيادة في قيمة المقاومة.
- 5- تم حساب طاقة التنشيط وقد وجد أنها تساوي $0.51 V$ للعينة الأولى النقية PbS .
- 6- لم يلاحظ أي تغير في الميزة $I - V$ بتغير درجة الحرارة للعينات المشوبة للعينة الثانية والثالثة .
- 7- يلاحظ تناقص كبير في شدة التيار بعد الإشابة ويفسر ذلك نتيجة لعمليات إعادة الاتحاد بين حوامل الشحنة.
- 8- باستخدام مطياف $UV - VIS$ تمت دراسة طيوف الامتصاص على المجال $(200 - 1500) nm$ للعينات الثلاثة وقد لوحظ ازدياد في قيمة الفجوة الطاقية بازدياد نسبة الإشابة ويعود ذلك لتناقص حجم الحبيبات، وتسبب هذه الزيادة في قيمة الفجوة الطاقية تناقصاً في شدة التيار بالمقارنة مع العينة غير المشابة .

References

- 1- Kh. Kanjarawi , A.Sulieman , *Studying of the Optical Characteristic of SnO_2 Thin films , and calculating the energy gap for the electronic transfers .* Tishreen University Journal for research and Scientific Studies – Engineering Sciences Series , Vol . 36 , No 5 , 2014 , 409-411
- 2- Kh. Kanjarawi , *Preparing Pure Thin films from poly vinyl chloride and studying the effect of the rotating velocity on the Optical constant .* Tishreen University Journal for research and Scientific Studies – Basic Sciences Series , Vol . 37 , No 4 , 2015 , 83-86
- 3- Kh. Kanjarawi , *The effect of $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Doping Percentage on electrical and Dielectric properties of PVA Membranes .* Tishreen University Journal for research and Scientific Studies – Engineering Sciences Series , Vol . 39 , No 5 , 2017 , 417-420
- 4- Patnaik Pradyot *Handbook of Inorganic Chemical Compounds.* McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-049439-8. Retrieved 2003,609\.,
- 5- B.A.Ezekoye, and et.al., *Optical and Structural Properties of Lead Sulfide(PbS)Thin films synthesized by chemical method.* International Journal of Physical Sciences Nigeria Vol.10, No. 13, 2015, P.385-390.
- 6- A.Mohamed Haroon Basha, and et.al., *Enhancement of Photovoltaic Properties of CBD Grown Pr CDS/Pbs solar Cells.* International Journal of Technology Research India Vol.9, No.1, 2020, P.950-955 .
- 7- Salim S.M; Hamid O. *Growth and characterization of lead sulfide films deposited on glass substrates Renewable Energy ,* 24, 2001, 575–580.
- 8- A. U. Ubale, A. R. Junghare, N. A. Wadibhasme, A. S. Daryapurkar, *Thickness Dependent Structural, Electrical and Optical Properties of chemically Deposited Nanoparticle PbS Thin Films" Turk J Phys.* Vol.31, 2007 , P. 279-286.
- 9- A.U. Ubale , R.B. Mankara and et. al, *Structural and Optical properties of nanostructured Pbs Thin Films Chemically deposited at room temperature Indian J . Phy India* Vol.81, No.(5,6), 2007, P .555-565.
- 10- Jamal Fadhil Mohammad, *Nanocrystalline Lead Sulfide Thin Films Deposited by Chemical Bath Deposition Technique .* Diyala Journal for Pure Sciences Iraq Vol.13, No.2, 2017 , P.1-13.
- 11- Heini Saloniemi " *Electrodeposition of PbS, PbSe and PbTe thin film" ,* Technical Research Centre of Finland Espoo , 2000, P 33-45
- 12- Lahiry S, Mansingh A. *Dielectric properties of sol–gel derived barium strontium titanate thin films.* Thin Solid Films J . 2008; 51(6):1656–1662
- 13- M.N.Maharaz , and et.al., *Influence of Solvent and Irradiation Time on Structural and Optical Properties of Cubic PbS nanoparticles Int .J. Electrochem .Sci Malaysia* Vol.13, 2018 P.9317-9332.
- 14- . M.Kamran, *Novel low-temperature synthesis and optical properties of 1D-ZnTe nanowires,* Elsevier, NO,3. 2018 ,P:228
- 15- E.Veena , and et .al , *Influence of Lead Precursor Concentration on Properties of Spray Deposited Lead Sulfide Thin Films IJPAPh India* Vol.12, No.2, 2016, P.97-112 .
- 16- . R. R. Prabhu, M.A. Khadar , *Characterization of chemically synthesized Cds nanoparticles .* PRMANA-Journal of physics, Vol. 65, No. 5 , 2005, P:3.
- 17- D. Olguín and I. Hernández-Calderón, , *Calculation of the effective masses of II-VI semiconductor compounds, Superficies y Vacío,* NO:16, 2003 ,P:28