

دراسة بعض الخواص التركيبية و البصرية الاغشية كبريتيد الزنك المحضر بطريقة الرش الكيميائي الحراري

بان خالد محمد*

تاريخ التسلم: 2011/5/3

تاريخ القبول: 2011/11/3

الخلاصة

تم في هذا البحث تحضير غشاء كبريتيد الزنك ZnS بطريقة الرش الكيميائي الحراري وبسمك (300nm) ووضع على قاعدة من الزجاج حيث تم دراسة الخصائص التركيبية والبصرية . حيث تبين من خلال نتائج حيود الاشعة السينية (X-Ray) ان الاغشية ذات تركيب متعدد البلورة وجرى دراسة علاقة كل من الامتصاصية و النفاذية كدالة لطاقة الفوتون لاغشية ZnS كما جرى حساب فجوة الطاقة المسموحة للانتقال المباشر المسموح للاغشية وكانت (3.53eV) وتم دراسة كل من معامل الامتصاص , معامل الانكسار , معامل الانعكاس , معامل الخمود كدالة لطاقة الفوتون .

Study of Some Structural, Optical Properties of ZnS Thin Films Deposited by Chemical Spray Pyrolysis Method Study of Some

Abstract

In this research we prepared ZnS thin films by Spray pyrolysis method with thickness(300nm) on a glass substrates and study its structural and optical properties . The result of (X-Ray) diffraction showed that the films have a polycrystalline structure , The Absorption and The transmission as a function of Photon Energy for ZnS films had been studied , The investigated of energy gap of the direct allowed transitions of ZnS film showed a value of (3.53eV). The optical Absorption coefficient , extinction coefficient , and have been also study Refractive Index, as a function of Photon Energy.

المقدمة

ان كبريتيد الزنك (ZnS) يعود الى المجموعتين (II-VI) من أشباه الموصلات وهو مركب مهم حيث يستخدم في التطبيقات الكهرو بصرية Luminescence Electro-Solar Cell [1] وهو عبارة عن مسحوق ابيض شفاف يتكون بتركيبين بلورين هما (α) wurtzite و (β) Zinc-blend. يتغير الى طور (α) عند (1293K) عند الضغط الجوي الاعتيادي ولا يذوب نهائيا طالما ان درجة

التسامي له تكون واطنة ويحل في الحوامض ولا يحل في الماء كما انه قليل السمية [2] يستخدم في الصناعة وعلى مدى واسع في صناعة الالصبغ والشمع والزجاج الابيض غير الشفاف , ويكون اساسا في صناعة الشاشات التلفازية وفي تكوين اللدائن المطاطية ويستخدم في إضاءة وتوهج الساعات. كما انه مبيد للفطريات لذا فهو يستخدم في صناعة المراهم الطبية

الخاصة بذلك. و يعتبر التعديل السداسي استقرارا لتكوين عند الدرجات الحرارية العالية [3].
 يكون تركيب كبريتيد الزنك او مايسمى بركائز الزنك مشابها لتركيب الماس والاختلاف الوحيد هو ان الاساس في حالة (ZnS) مكون من ذرتين مختلفتين Zn, S بدل من ذرتي الكابون المتشابهتين في تركيب الماس. توجد اربع جزيئات (ZnS) في كل خلية واحدة اعتيادية. وان كل ذرة (Zn) تكون محاطة باربع ذرات (s) وعلى ابعاد متساوية (ربع طول قطر الخلية) مكونة من اربع اواصر جزؤها الاكبر تساهمي وجزؤها الاصغر ايوني [3]
 اجريت دراسات متعددة حول المادة ZnS بشكل اغشية رقيقة ودرست امكانية الاستفادة منها في كثير من التطبيقات المهمة ومن تلك الدراسات دراسة الباحث Mohammed [4] الخواص الضوئية لكل من الاغشية ZnS وعلى مزيجهما بنسب مختلفة والمحضرة بطريقة الرش الكيميائي والحراري ولاحظت الدراسة ان قيمة فجوة الطاقة البصرية تتراوح بين مقدار فجوة الطاقة لكل من المادتين الاولييتين المستخدمتين في التحضير. بينما درس الباحث (Duchemin et al [5] والمظاهر الخارجية السطحية لاغشية Zn_xCd_{1-x}S والمحضرة بطريقة الرش الحراري وبنسب من الخارصين تراوحت من (0.3-0). ولاحظوا تركيب هذه الاغشية يكثر اعتمادا على نوع الارضية منه على محتوى الخارصين. اما الباحث (Lokhande) وجماعته [6] فقد درسوا اغشية Zn_xS, CdS, Cd_{1-x}S حيث (1>x>0) بطريقة الترسيب الكهربائي من المسار الحامضي على قاعد مختلفة حيث درست الخواص التركيبية لهذه الاغشية وتبين انها تحتوي على قمم مختلفة ZnS. اما الخواص البصرية فقد بينت الدراسة ان فجوة الطاقة للغشاء cds هي 2.4 eV اما للغشاء ZnS هي 3.55eV. اما فجوة الطاقة للاغشية Cd_{1-x}Zn_xS فقد تراوحت بين (2.4-3.55)eV. ودرس الباحث Jianhuazhao وجماعته [7]

الخواص البصرية لاغشية ZnS المحضرة بطريقة (R.F.Magnetron Sputtering) على قواعد بلورية سلكونية نوع N-Typ, وقد وجدوا ان قيمة فجوة الطاقة تتراوح بين 3.51-3.31 eV وهذا التغيير يعتمد على مقاومة الغشاء. وقام الباحث Lytvyn وجماعته [8] بتحضير اغشية ZnS:Cu بطريقة التبخير باستخدام الحزمة الالكترونية Electron beam Evaporation على القواعد مختلفة (زجاج, سليكون, Batio3) حيث اظهرت دراسة الخواص التركيبية ان الاغشية ذات تركيب نوع Wurtzite. اما الباحث (عماد نصيف كشكول) [9] فقد حضر غشاء (ZnS) بطريقة التبخير في الفراغ وتمت دراسة خصائصه الكهربائية والبصرية كذلك تم دراسة تأثير السمك على مفرق P-N ومن دراسته الخصائص التركيبية ظهر ان الغشاء متعدد التبلور وله فجوة طاقة مباشرة بقيمة eV (3.5 – 3.43) ومن خلال دراسة تأثير هول وجد ان الغشاء من نوع n-type. وقام الباحثون (Baosheng Sang) وجماعته [10] بترسيب غشاء (ZnS) بطريقة (Chemical Bath Deposition) ومن دراسة خصائصه التركيبية بحيدود الاشعة السينية ظهر انه متبلور ثلاثي (Cubic Structure) وله انتظامية جيدة على سطح القاعدة ومن قياس فجوة الطاقة تبين انها تساوي (3.6 eV) وهي نتيجة جيدة جدا وقد تم استخدام الغشاء المحضر بتصنيع خلية شمسية حيث كانت كفاءة هذه الخلية تساوي (13.9%). وقام الباحث (عدنان مرموص منصور) [11] بتحضير غشاء (ZnS) بطريقة الرش الكيميائي الحراري و دراسة تأثير الاشابة في الخصائص التركيبية والكهربائية والبصرية لاغشية (ZnS). وتهدف هذه الدراسة الى امكانية تصنيع غشاء رقيق من مادة ZnS واجراء الفحوصات التركيبية والبصرية بدرجة حرارة الغرفة ..
الاجهزة والتجارب المختبرية
 يعتمد اختبار تقنية التحضير المناسبة على عوامل عديدة منها انواع المواد الاولية ،

المواصفات النهائية للغشاء ، نوع القاعدة ومجالات التطبيق علاوة على معدل الترسيب وكلفة الانتاج وتعتبر طريقة التبخير في الفراغ الطريقة التقليدية المستخدمة لتحضير أغشية ZnS ولكنها عالية الكلفة لذلك يتم تحضيرها بطريقة الرش الكيميائي الحراري كما ذكرنا انفا .

إن الآلية التي تستند عليها هذه الطريقة لتكوين الاغشية هي حدوث التفاعل الكيميائي على سطح القاعدة اعتماداً على درجة حرارة تلك القاعدة، اي ان الاغشية تتكون نتيجة التحلل الكيميائي - الحراري على سطح القاعدة تتطلب عملية التحليل الحراري عند سطح القاعدة بان تحفظ المادة الاولية تحت درجة حرارة التفكك. يتم هذا باذابة المادة الاولية في المذيب وترذيذها بشكل قطرات محمولة بالغاز الى سطح القاعدة الساخن. هذه العملية تتم من خلال السيطرة على التركيب الكيميائي وكفاءة ترذيذ قطرات المحلول [12-14]

ان الية التفاعل الكيميائي لتكوين غشاء ZnS تأتي من التفاعل الكيميائي لمادة كلوريد الكاديوم $ZnCl_2$ والثايوريا $CS(NH_2)_2$ وكما في العلاقة :



توجد عدة عوامل مهمة يجب مراعاتها أثناء تحضير الاغشية وهي ثبوت درجة حرارة القاعدة Stability of Substrate Temperature وإرتفاع جهاز الرش The Height of Spray Nozzle ومعدل الرش The Spray Rate وزمن الرش The Spray Time و ضغط غاز التذرية The Pressure of Carrier Gas .

ولقد استخدمنا في هذا البحث قواعد زجاجية مصنوعة من الزجاج الاعتيادي لترسيب الاغشية عليها اذ جرى تقطيع الشرائح الى قطع مربعة بمساحة $(2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2 \pm 1 \text{ mm}^2)$ وذلك باستخدام ماسة خاصة لقطع الزجاجيات، تم تنظيف الشرائح بشكل جيد وذلك

بوضعها بمحلول الكحول الايثيلي ذي النقاوة (96%) لمدة خمس دقائق ثم توضع في محلول حامض الهيدروكلوريك المخفف

(HC1) وذلك للتخلص من اي بقع زيتية او بقايا مواد عالقة ، يجري بعد ذلك غسل العينات جيداً بالماء، بعد ذلك يجري تجفيف

العينات باستخدام كقطعة من القماش الحريري او ورق سلايدات ذي نقاوة عالية ويحرص بعد ذلك على وضع العينات مباشرة على

المسخن الكهربائي لمدة لا تقل عن نصف ساعة قبل البدء بعملية الرش حتى تصل درجة حرارتها الى الدرجة المطلوبة، وكذلك يراعى ترك العينات على المسخن الكهربائي لمدة لا تقل عن (15 min) بعد اكمال عملية الرش للسماح بإكمال عملية الانماء البلوري للاغشية المحضرة، وكذلك لتجنب التبريد السريع الذي قد يسبب تكسر القاعدة الزجاجية او انخلاع الغشاء (Peeling off).

أن قياس سمك الاغشية الرقيقة تم باستخدام الطريقة الوزنية التقريبية حيث يتم قياس وزن القاعدة المراد الترسيب عليها قبل وبعد الترسيب باستخدام الميزان الحساس ومن معرفة كثافة المادة (الغشاء الرقيق) وكذلك مساحة الغشاء يمكن حساب سمك الغشاء باستخدام العلاقة الاتية [15] وقد كان سمك الغشاء 300nm .

(2)

حيث Δm : فرق وزن القاعدة (قبل وبعد الترسيب).

P_1 : كثافة الغشاء الرقيق.

A: مساحة الغشاء الرقيق.

لأجل التعرف على الطبيعة البلورية وطبيعة التركيب للاغشية الرقيقة لاغشية ZnS لذا استخدمت تقنية حيود الاشعة السينية (XRD) باستخدام مصدر (Cu. K α) وبطول موجي (0.15405nm) .

وتم حساب المسافة بين المستويات الشبكية (d) باستخدام قانون براك (Bragge Law) من العلاقة:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots (3)$$

حيث ان n : ثابت (رتبة الحيود).

d : المسافة بين المستويات.

λ : الطول الموجي للشعاع الساقط.

θ : زاوية الحيود.

ولقد اجريت قياسات الخواص البصرية التي تشمل الامتصاصية (Absorptance) والنافذية (Transmittance) لاغشية ZnS المرصبة على قواعد زجاجية باستخدام جهاز المطياف نوع Spectro (UV/VIS-PV-8800 photometer) المجهز من شركة (Pye Unicomp) لمدى طيفي يمتد من (0.35-0.9 μ m).

التحليل والمناقشة

1- حيود الاشعة السينية

لقد بينت نتائج طيف حيود الاشعة السينية وكما موضحة في شكل (1) ان اغشية ZnS ذات تركيب متعدد البلورات وتؤكد البحوث المنشورة [11,16,17] بان لبلورات ZnS تركيبين هما المكعب والسداسي، ولكن السداسي اكثر ثباتا وهذا يتفق مع جداول ASTM.

2- تشخيص طبيعة سطح الغشاء بواسطة

المجهر الضوئي

تم فحص سطوح الاغشية الرقيقة ومدى صلاحيتها للدراسة بواسطة المجهر الضوئي نوع Olympus-Japan ذي قوة تكبير (250 و 500مرة) وكما موضحة في شكل (2) وقد تبين ان الاغشية خالية من الثقوب الابرية والتشققات الرقيقة في الزجاج (Cracks) والجزر (Discrete Islands) وبعض التكتلات لمادة الغشاء التي تؤدي الى تشويبه ولوحظ ان مادة الغشاء مرتبة على شكل دوائر متراسة

ومتراكبة اي ان المادة بلورية مع ظهور تراكيب مكعبة وسداسية الشكل.

3- القياسات البصرية

وتشمل حساب فجوة الطاقة للانتقال المباشر المسموح للنماذج للاغشية، وايجاد علاقة كل من الامتصاصية والنافذية بطاقة الفوتونات ومن خلال الامتصاصية والنافذية تم ايجاد باقي الثوابت البصرية وهي: معامل الامتصاص، معامل الانكسار، معامل الانعكاس، معامل الخمود وتم حسب معامل الامتصاص من طيف الامتصاصية للاغشية ZnS والمحضرة في درجة حرارة الغرفة (R.T) باستخدام المعادلة التالية.

$$\alpha = 2.303 T/t \dots\dots\dots (4)$$

ويبين الشكل (3) تغير طاقة الفوتون مع الامتصاصية لغشاء ZnS حيث يزداد معامل الامتصاصية بزيادة طاقة الفوتون الساقط.

والشكل (4) يبين تغير طاقة الفوتونات الساقطة ونافذية تلك الفوتونات داخل الغشاء ZnS حيث يتبين نقصان نفاذية الفوتونات داخل المادة بزيادة الطاقة

اما فيما يخص فجوة الطاقة فانها حسب رسم العلاقة بين $(\alpha h\nu)^2$ وطاقة الفوتون $(1240/\lambda)$ وبمد الجزء المستقيم او المماس للمنحنى ليقطع محور طاقة الفوتون عند النقطة

$$t = \frac{\Delta m}{p_r \times A} \dots\dots\dots (5)$$

حيث $(\alpha h\nu)^2=0$ ، نحصل على قيمة فجوة الطاقة وهذا يحقق المعادلة $(h\nu=Eg)$ ، وهذه تمثل طاقة البصرية الممنوعة للانتقال المباشر المسموح، اي ان نقطة القطع سوف تمثل فجوة الطاقة البصرية الممنوعة للانتقال المباشر المسموح [21-23].

والشكل (5) يوضح تمثيل فجوة الطاقة لغشاء ZnS وبسمك (300nm)، وكانت فجوة الطاقة لمادة ZnS (3.53 eV) في درجة حرارة الغرفة [24,25]. وان هذه القيمة تقترب من التي توصل اليها الباحثون لهذا الانتقال هي

حيث أن
C: سرعة الضوء في الفراغ
V: سرعة الضوء خلال الغشاء الرقيق
 n_o : معامل الانكسار (الجزء الحقيقي من معامل
الانكسار المعقد)

يوضح الشكل (7) تغير معامل الخمود كدالة لطاقة
الفوتون لغشاء ZnS في درجة حرارة الغرفة
حيث نلاحظ زيادة سريعة لمعامل الخمود

عند (K_o) الطاقات العالية وانخفاض سريع بعد
ذلك، ومن ثم زيادة عند الطاقات الواطئة. وأكثر
معامل خمود لغشاء ZnS في مدى الطاقة
3.2eV .

اما معامل الانكسار فيعرف بانه نسبة سرعة
الضوء في الفراغ الى سرته في المادة.
ان المادة تمتلك معامل انكسار عندما تكون طاقة
الاشعاع الساقط اقل قيمة من فجوة الطاقة
البصرية الممنوعة اي (في منطقة الطاقات
الفوتونية الواطئة) وعندما تقترب (K_o) من
الصفير اي الامتصاصية قليلة جدا لذلك يمكن
حساب معامل الانكسار لغشاء ZnS في درجة
حرارة الغرفة من المعادلة الآتية:-

$$n_o = \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}} \dots \dots \dots (9)$$

فان الشكل (8) يوضح تغير معامل الانكسار مع
طاقة الفوتونات الساقطة للاغشية الرقيقة ZnS .

الاستنتاجات

- 1- أظهرت نتائج الفحص التركيبي أن غشاء
مادة ZnS تكون ذات تركيب مكعب بدرجة
حرارة الغرفة وذات تركيب سداسي
عندما تكون اواصره اكثر ثباتا.
- 2- اظهرت نتائج البحث ان اغشية ZnS ذات
فجوة طاقة مقدارها (3.53 eV) .
- 3- أظهرت النتائج ان معامل الامتصاص

تقد حسبت انعكاسية سطوح الاغشية ZnS في
درجة حرارة (r.t) من طيف الامتصاصية
والنفاذية لاغشية ZnS باستعمال العلاقة :

$$R + A + T = 1 \quad (5)$$

$$R = 1 - T - A \quad \dots \dots \dots (6)$$

R انعكاسية سطح الغشاء للاشعة الساقطة .
T نفاذية الغشاء للاشعة الساقطة .
A امتصاصية الغشاء للاشعة الساقطة .

تبين من الشكل (6) تغير الانعكاسية لدالة طاقة
الفوتون الساقط ويلاحظ وجود ارتفاع ثم اخفاض
في قيم الانعكاسية مع تغير طاقة الفوتون .
فيما يعرف معامل الخمود الحاصل للموجة
الكهرومغناطيسية داخل المادة بانه كمية ما
تمتصها الكثرونات المادة من طاقة الفوتونات
الساقطة. تم حساب معامل الخمود من قيم
الامتصاص المحسوبة من طيف الامتصاصية
لغشاء ZnS في درجة حرارة الغرفة (R.T)
حسب المعادلة الآتية [18]:-

$$K_o = \frac{\alpha a}{4\pi} \dots \dots \dots (7)$$

Ko : معامل الخمود

λ : الطول الموجي للاشعاع الساقط (μm)
كما يمثل معامل الخمود الجزء الخيالي منه معامل
الانكسار Complex Refractive Index
(N) وفق العلاقة

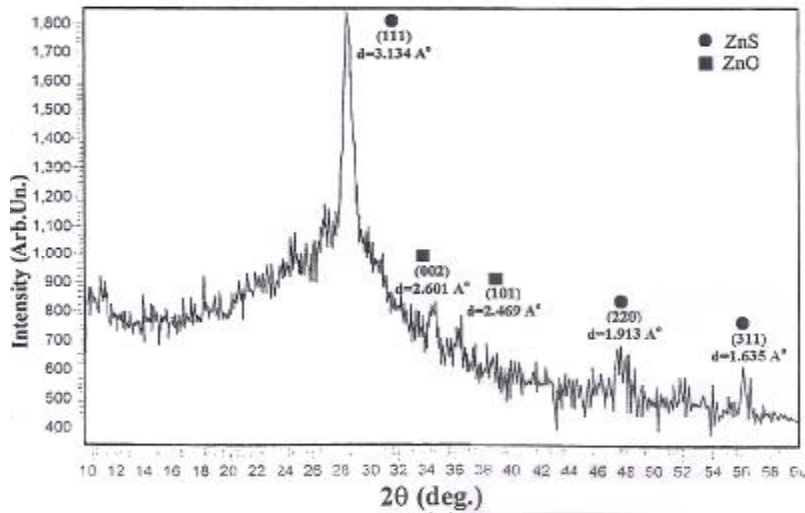
$$N = \frac{c}{v} = n_o - iK_o \dots \dots \dots (8)$$

يزداد بزيادة طاقة الفوتون الساقط .

المصادر

- [1]- J.G .Anderson, "Dielectric and Transport Properties of Insulating Films", Vacsei and Tech., Vo1.9, No.1, P: 1-11, (1971).
- [2]- G.H.Hawley, "The Condensed Chemical Dictionary", Eight Edition, Litton Educational Publishing, Inc, (1971).
- [3]- B.Ray, "II-VI Compound", First Edition, Printed in Great Britain by Neill and Co. Ltd of Edinburgh, (1969).
- [4]- S.A. Mohmmmed, "Optical Properties and Energy Gap of CdS,ZnS,and their mixture by Method Chemical Spray", Msc.Thesis, Collge of Science, Basrah University, (1983).
- [5]- S.Duchemin J.Bougnot .M.Kaka and M.cadene, "Thin Soled Films", Vol.136, P: 289-298, (1986).
- [6]- C.D.Lokhanda, V.S.Yem1Une, V.S.Pawar, J.Materials Chemistry and Physics, Vol.20, No.3, P: 283-292, (1988).
- [7]- Dengyuan Song,Jinhua Zhao, Aihua Wang, per Widenborg,Winston Chin,and Armin G.Aberle , " 8% Efficient Zn\C-Si Hetrojunction Solar Cells Prepared by Magnatron Sputtering" , 17 European PV Conference, Munich, (2001).
- [8]- O.S.Lyvtvyn, Khomchenko V.S., J. Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics, VolA, No.1, P: 19-23, (2001).
- [9] - عماد نصيف كشكول ، " تحضير اغشية ZnS بطريقة التبخير الحراري ودراسة خواصها الكهربائية والبصرية وتأثير سمكها على مفرق p-n " رسالة ماجستير مقدمة الى كلية العلوم ، الجامعة المستنصرية ، 2001 .
- [10]- Baosheng Sang , William N. Shafarman and Robert W. Birkmire , "Investigation of Chemical Bath Deposited ZnS Buffer Layers For Cu (InGa)Se2 THIN Film Solar Cells " , University of Delawane (USA) , (2001) .
- [11] - عدنان مرموص منصور ، " دراسة تأثير الاشابة في الخصائص التركيبية والكهربائية والبصرية لاغشية (ZnS) المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري " رسالة ماجستير مقدمة الى قسم العلوم التطبيقية ، الجامعة التكنولوجية ، (2005) .
- [12]- F.A.Shirland , "Solar Cells" , edited by Bachus C.E. IIEFF press New York , p:36, (1976).
- [13]- Lmaiss and Glang , "Hand Book of Thin Film Technology " (Mc. Graw) -Hill Comp. , New York , (1970).
- [14]- R.w.Berry ,P.M.Hall and T.Harris , " Thin Film Technology " , Litton Education Publishing , New York , (1969).
- [15]- S.M.Sze , " Physics of Semiconductor Device " ,John wiley and Sons ,Inc. , New York , (1985).
- [16] - J.E.Jaffe and Alex Zunger, Phys. Rev. B., Vol.27, No.8, (1983).
- [17]- Sunny Mathew , P.S.Muerjecl , K.P.V, Japn , J.Appl.Phys., Vol.34, p:4940-4944, (1995).
- [18]- I.Jacques Ponkove "Optical Processes in Semiconductors Dove Publications Inc., New York, (1975).
- [19]- Martin A. Green, Y.M.Hussan, Solar Cells Translated to Arabic, (1989).
- [20] - غصون حميد محمد، دراسة الخواص الضوئية والكهربائية. رسالة ماجستير مقدمة الى كلية العلوم- جامعة بغداد, (2002).
- [21]- Tapio Kanniainen, Studies of Zink and Lad Chalcopygeninde Thin Films Grown by Silar, (Successi-veionic Layer adsorption and Reaction)

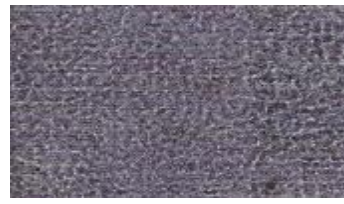
- Techique, Thesis University of Helsinki, (2001).
- [22]- S.S. AL-Rawi, S.J. Shaker, Y.M. Hassan" Solid State Physics , ALMousul University, (1990).
- [23] - منتهى جاسم الحسيني, دراسة الخواص الكهربائيه والبصريه لاغشية كبريتيد الخارصين وكبريتيد الرصاص الرقيقه طريقة الرش. رسالة ماجستير مقدمه الى كلية العلوم- الجامعه المستنصريه, (1998).
- [24]- Sameer Sapra, J.Nada, A.A nand, S.V.Bhat, and D.D sarma, "Optical and Magnetic Properties of Manganese Doped Zinc Sulfide Nano Clusters", India Institute of Science, Bangalore, (2002).
- [25]- N.F. Molt and E.A Davis "Electrons Processes in Non Crystalline Materials, Clarandon Press-Oxford, (1971).
- [26]- R.Nakano, N.Miura, Jpn, J.Appl. phys., VoL131, P: 295-300, (1992). 2006).



الشكل (1)
طيف حيود الاشعة السينية لاغشية ZnS

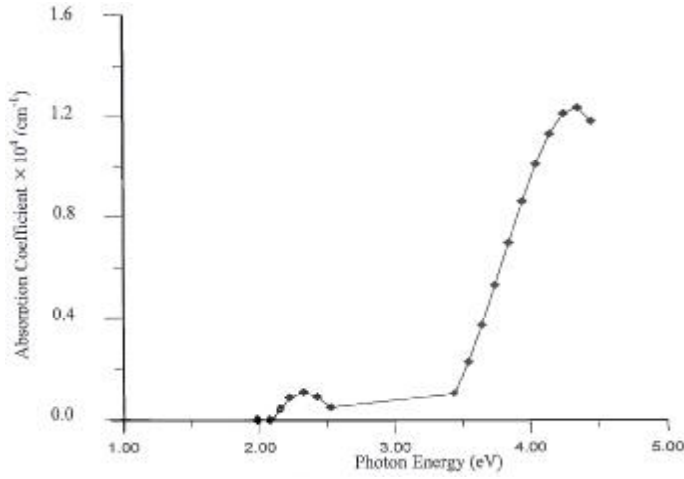


250X



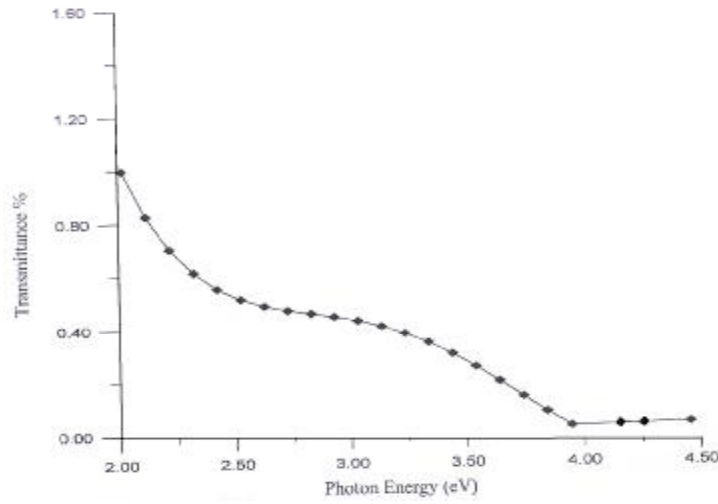
500X

الشكل (2)
يمثل صوراً مجهرية لسطوح اغشية ZnS



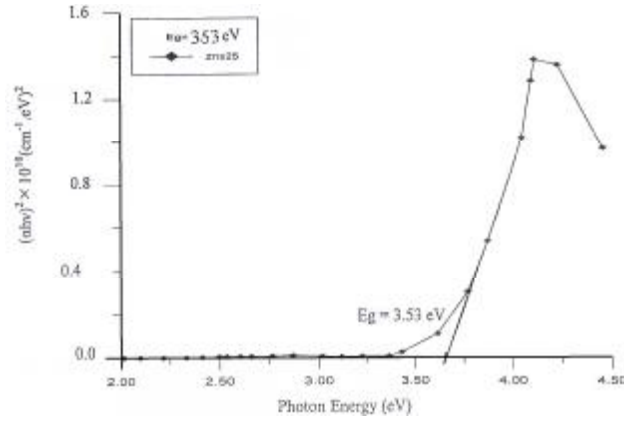
الشكل (3)

تغير معامل الامتصاصية مع تغير طاقة الفوتون لأغشية ZnS وبدرجة حرارة الغرفة



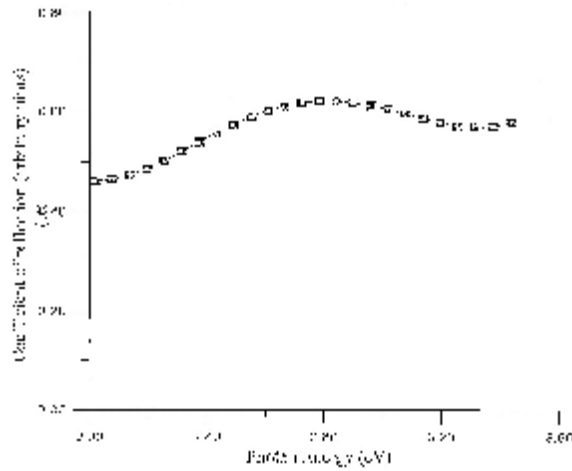
الشكل (4)

تغير النفاذية مع تغير طاقة الفوتون لأغشية ZnS وبدرجة حرارة الغرفة



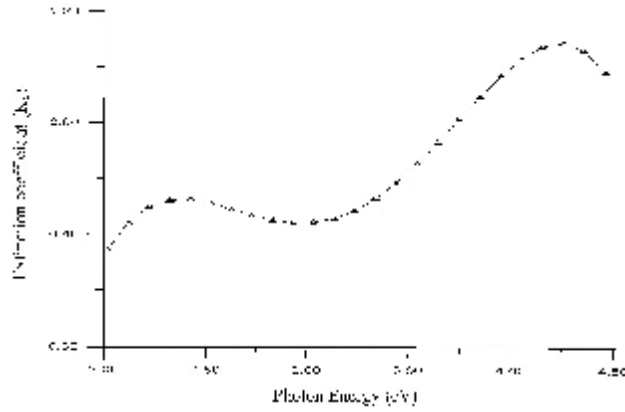
الشكل (5)

حساب فجوة الطاقة البصرية الممنوعة للانتقال المباشر المسموح لغشاء ZnS



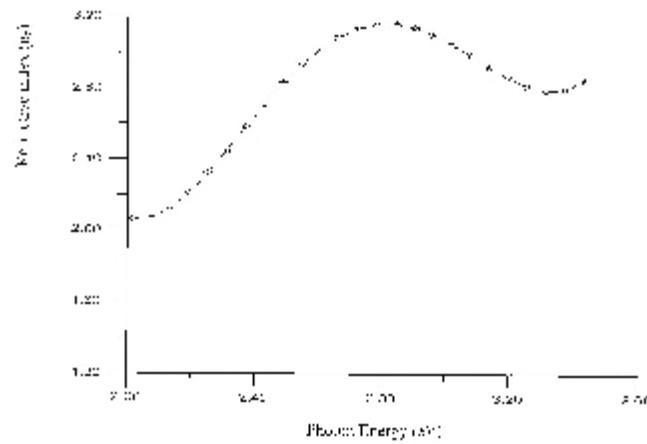
الشكل (6)

تغير الانعكاسية مع تغير طاقة الفوتون لاغشية ZnS وبدرجة حرارة الغرفة



الشكل (7)

تغير معامل الخمود مع تغير طاقة الفوتون لآغشية ZnS وبدرجة حرارة الغرفة



الشكل (8)

وبدرجة حرارة الغرفة ZnSتغير معامل الانكسار مع تغير طاقة الفوتون لآغشية