

Study the Doping Effect with Mn on the Morphology and Optical Properties of ZnS Thin Films Prepared with Pulsed Laser Deposition

دراسة تأثير التطعيم بالمنغنيز Mn على الخصائص الطبوغرافية وبعض الخواص البصرية لغشاء كبريتيد الخارصين ZnS المحضر بتقنية الترسيب بالليزر النبضي

علي صلاح حسن / قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة بابل
ناهده بخيت حسن / قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة بابل
عدوية جمعة حيدر / قسم العلوم التطبيقية – الجامعة التكنولوجية

الخلاصة

في هذا البحث تم دراسة تأثير التطعيم بالمنغنيز Mn على الخصائص الطبوغرافية والبصرية لأغشية كبريتيد الخارصين (ZnS) الرقيقة ، رسبت أغشية ZnS على أرضيات من الزجاج باستعمال تقنية الترسيب بالليزر النبضي (PLD) تحت فراغ (10^{-3} Torr) وبظروف تحضير شملت درجة حرارة أساس (400°C) ، ضغط أوكسجين (0.1 mbar) وطاقة ليزر (700 mJ) وكان الليزر المستعمل Nd:YAG بطول موجي 532 nm ، وتمت عملية التطعيم بطريقة الخلط وذلك بخلط المادة المراد تطعيمها (ZnS) مع نسبة وزنيه من الشوائب (Mn) . حددت الخواص الطبوغرافية للأغشية باستخدام المجهر الإلكتروني المساح (SEM) ومجهر القوى الذرية (AFM) على التوالي لغرض فحص سطوح الأغشية الرقيقة ووجدنا بأن الأغشية متعددة التبلور ، بينما حددت الخواص البصرية للأغشية من خلال بيانات النفاذية وكانت من النوع سوانابول وتقل بزيادة نسب التطعيم وكانت اعلى قيمة لها بحدود (0.9) ، قيست النفاذية باستعمال المطياف . وأن الامتصاصية تزداد بزيادة نسب التطعيم تصل إلى اعلى قيمة لها وهي (0.8) ، بينما فجوة الطاقة البصرية تقل من (3.3-3.55 eV) عند نسب التطعيم (0 - 1.5 Mn%) على التوالي .

Abstract

In this research was to study the effect of Doping manganese Mn Morphology and optical properties of zinc sulfide ZnS thin films , ZnS films were deposited on glass substrates using technology pulse laser Deposition (PLD) under vacuum (10^{-3} Torr) and the conditions of preparation included substrate temperatures (400°C), Oxygen pressure (0.1 mbar) and laser energy (700 mJ) using a pulsed (532 nm) Nd:YAG laser , And has a Dope agent by mixing the substance to be Doping (ZnS) with the ratio of grains of impurities (Mn) . Select the topographic properties of films using scanning electron microscope (SEM) and atomic force microscope (AFM), respectively for the purpose of screening surfaces of thin films , And we found that the structural of polycrystalline films , While Optical properties of the films were determined from the transmittance data using Swanepoel model And less increase Doping rates , Transmittances of film were measured by spectrophotometer. noted that the absorbance increases with increasing Doping rates Up to (0.8) , While optical energy gap of at least (3.3-3.6 eV) when ratios Doping (0 - 1.5 Mn%) on the respectively .

Introduction

1- المقدمة

يستعمل مصطلح الأغشية الرقيقة لوصف طبقة ، أو طبقات عديدة (Layers) من ذرات المادة لا يتعدى سمكها مايكرومتر واحد ، أو عدة نانومترات ، ولأنها رقيقة ، وهشة (سهلة الكسر) يجب ترسيبها على مادة صلبة مثل الزجاج ، أو السليكون ، أو بعض الأملاح ، أو البوليميرات ، تمتلك الأغشية الرقيقة خصائص ، ومميزات لا تكون متوافرة في تراكيب المواد الأخرى ، فحقيقة سمكها المتناهي في الصغر وكبر نسبة السطح إلى الحجم منحتها تركيباً فيزيائياً فريداً يضاهي تركيب أحادية البلورة أحياناً ، ويفوقها أحياناً أخرى ، وتتمتع الأغشية بخصائص فيزيائية تختلف عن خصائص المواد المكونة لها وهي في حالتها الحجمية (Bulk) ، وتعد إمكانية تحضير أكثر المواد الصلبة على هيئة أغشية رقيقة إحدى التقنيات المهمة للحصول على صفات جديدة للمواد التي يصعب مشاهدتها وتحسسها عندما تكون بشكلها الكتلي الطبيعي ، بدأ العمل في مجال تحضير الأغشية الرقيقة منتصف القرن التاسع عشر ، ففي العام 1852 توصل كلاً من (Bunsen and Grove) إلى تحضير أغشية رقيقة باستخدام تقنية التفاعل الكيميائي (Chemical reaction) وكذلك بتقنية التريز بالتفريغ التوهجي (Glow-discharge sputtering) ،

ولقد مرت تقنية الأغشية الرقيقة بمراحل تطور سريعة نتيجة لتمييزها بخصائص أساسية مثل الدقة والتقلص في الحجم ، فعلى مر السنين طور العلماء تقنيات تحضير الأغشية الرقيقة وصولاً إلى تقنية التبخير الثنائي (المشترك) في الفراغ والتي تم اكتشافها من قبل العالم (Hogarth) العام 1968 [1] .

ساهمت تقنية الأغشية الرقيقة مساهمة كبيرة في دراسة أشباه الموصلات وأعطت فكرة واضحة عن العديد من خواصها الفيزيائية والكيميائية ، وللأغشية الرقيقة أهمية صناعية وتكنولوجية كبيرة فهي تدخل في تطبيقات التقنية الحديثة مثل صناعة الخلايا الشمسية وفي مجالات الأقمار الصناعية والاتصالات وكواشف الأشعة الكهرومغناطيسية وفي ليزرات أشباه الموصلات كما تستخدم كمتسعات وثنائيات ومقاومات في الدوائر الكهربائية هذا فضلاً عن استخدامها في دوائر الفتح والغلق والذاكرة وكمرشحات ومرايا عالية الكفاءة إلى غير ذلك من الاستخدامات الواسعة .

وفي التطبيقات البصرية تم استخدام الأغشية الرقيقة عام 1912 في عمل بعض المرايا من تبخير المعادن مثل الفضة والألمنيوم كما استخدمت أغشية الذهب في عملية انعكاس الإشعاع فضلاً عن استخدامها في صناعة المرشحات (Interference-Filters) والطلاءات العاكسة المضادة للانعكاس (Reflective and anti reflective coatings) والمرشحات القطعية (Edge filter) [3،2،1] .

استخدماً في هذا البحث طريقة التبخير بالليزر النبضي لاستعمالاتها الواسعة ، وإن أول من استخدم تقنية التبخير بالليزر النبضي كان (Turner و Smith) سنة 1965 حيث قام بتحضير أشباه موصلات وأغشية رقيقة من العوازل [4] . إن إمكانية الحصول على أغشية رقيقة لتصنيع الأجهزة الإلكترونية والبصرية جعلت من تقنية التبخير بالليزر النبضي (PLD) بآمد نبضة قصير جداً (ns) تأخذ اهتمام كبير في عصرنا هذا ، شكل رقم (1) يوضح منظومة ترسيب أغشية ZnS مع منظومة الليزر ، وأن لدرجة حرارة الأساس (الأرضية ، القاعدة) ، ضغط الغاز ، طاقة الليزر ، وقيمة الفراغ تأثيراً مهماً في خصائص الغشاء الرقيق المحضر بهذه الطريقة [5،4] .



شكل (1) يوضح منظومة ترسيب أغشية ZnS مع منظومة الليزر .

2- الخصائص الفيزيائية لمركب كبريتيد الخارصين ZnS ومادة المنغنيز Mn

Physical Properties for Zinc Sulphide (ZnS) Compounds and substance manganese (Mn)

كبريتيد الخارصين (ZnS) هو أحد مركبات الكبريتيد المعدنية وهو مشابه لبنية كبريتيد الرصاص (Galena) ومشابه لمخ الحديد (Siderite)، والصيغة الكيميائية له هي (ZnS) ويستخدم كركيزة معدنية أولية لاستخراج الزنك (الخارصين) ويكون شفافاً أو نصف شفافاً وبلون أصفر . يتألف مركب (ZnS) من اتحاد عنصرين من زمرة الجدول الدوري (II-VI) أحدهما من الزمرة الثانية (II) وهو (Zn) ، والآخر من الزمرة السادسة (VI) وهو (S) [6,7] .

وهو دائما ثنائي التكافؤ، لأنه يظهر حساسية نحو المغناطيسية والكهربائية والإشعاع الجسيمي فقد استعمل بشكل واسع في الإلكترونيات ، وبثشويبه مع عناصر أخرى فإنه مضيء (Luminescent) . يوجد (ZnS) بعدة أشكال حيث يكون كلا النوعين الأيون الموجب (caution) والأيون السالب (anion) محاط بسطوح رباعية وتعتمد بنيته على العدد التأكسدي والترتيب الإلكتروني . حيث يتكون مركب ZnS من مكعبين متمركزين الوجه (FCC) أزيحا عن بعضهما بمقدار ربع قطر الخلية ، الأول يقودنا إلى تركيب (CCP) ، والثاني يملك تماثل سداسي يدعى (HCP) . يعد مركب كبريتيد الخارصين (ZnS) مادة مغرية لدايودات الانبعاث الضوئي ، الليزر ، والعارضات الضوئية المسطحة ، لأنه ذو إضاءة ضوئية ممتازة يمكن الحصول عليها في كل المدى المرئي تقريبا بمطعمات مناسبة ، ويمتلك فجوة طاقة واسعة (3.8 eV ~) .

بينما المنغنيز (manganese) معدن رمزه الكيمياوي Mn ، وموقعه في الجدول الدوري بالمجموعة 7 بالدور الرابع ، وله خواص المعادن الانتقالية ، واسمه مشتق من اللاتينية (magnes) التي تعني مغنطيس، وهي الخاصية التي يتميز بها فلزه البيروولوزيت وهو من أكثر الخامات شيوعاً ، تحوي ذرات هذه العناصر في طبقتها الخارجية إلكترونين (s) وفي الطبقة الإلكترونية التالية خمسة إلكترونات (d) ، المنغنيز واسع الانتشار في الطبيعة إذ يُولف (0.1%) من القشرة الأرضية وزناً ولا يفوقه بسعة انتشاره بين المعادن الثقيلة سوى الحديد، ولا يوجد في الطبيعة إلا على شكل مركبات [8,9,10] .

Theoretical procedure

3- الجانب النظري

Some of the optical properties of semiconductors بعض الخواص البصرية لأشباه الموصلات

ينتج طيف الامتصاص من ظاهرة فقدان في الطاقة الناتجة من التفاعل الحاصل بين الضوء والشحنات التي تحتويها المادة اذ انه عندما تسقط حزمة ضوئية شدتها I_0 على غشاء فالشعاع شدته I حسب قانون لامبرت Lambert Law :

$$I = I_0 \exp(-\alpha t) \quad (1)$$

α : معامل الامتصاص (Absorption) ويعرف بانه نسبة النقصان في فيض طاقة الاشعاع او الشدة بالنسبة للوحدة المسافة باتجاه الموجة داخل الوسط .

t : سمك الغشاء (cm) .

ويمكن كتابة العلاقة (1) بالصيغة الآتية :

$$\ln I / I_0 = - \alpha t \quad (2)$$

$$t \alpha = 2.303 \log I_0 / I \quad (3)$$

وبما ان المقدار ($\log I_0 / I$) تمثل الامتصاصية (Absorption) (A) لمادة الغشاء فيمكن كتابة المعادلة (3) بالصورة الآتية :

$$\alpha = 2.303 \frac{A}{t} \quad (4)$$

ويعتمد معامل الامتصاص على خواص شبه الموصل من حيث فجوة الطاقة الممنوعة ونوع الانتقالات الالكترونية التي تحدث بين حزم طاقته .

وتحسب طاقة الفوتون ($h\nu$) من العلاقة الآتية :

$$h\nu(eV) = \frac{1240}{\lambda} \quad (5)$$

حيث :-

λ : الطول الموجي (nm) .

وتحسب الانعكاسية وفق العلاقة الآتية:-

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

فجوة الطاقة البصرية للانتقالات المباشرة المسموحة من خلال المعادلة الآتية :

$$\alpha(h\nu) = A'(h\nu - E_g)^r \quad (7)$$

حيث :-

r : معامل أسي ، A' : ثابت التناسب ، E_g : فجوة الطاقة ، α : معامل الامتصاص [11,12,13] .

Experimental procedure

4- الجانب العملي

تم في هذا البحث تبخير مادة كبريتيد الزنك (ZnS) ذي النقاوة العالية (99.99%) المجهزة من قبل شركة (Leybold – Heraeus GBMH) على شكل مسحوق بعد كبسه على شكل أقراص ذات سمك معين، حيث لا يمكن استعمالها على حالتها لأغراض التبخير للأسباب الآتية :-

- 1- لا يمكن تثبيت المسحوق على حاله بزواوية مائلة وتشعيه بالليزر .
 - 2- إن عملية الكبس توفر كمية من المادة أكبر لوحدة الحجم مما يفيد في عملية التبخير .
- لذلك جرى التبخير باستخدام أقراص (pellets) من مادة (ZnS) ، إذ إن استعمال المسحوق بعد كبسه يعد أفضل من الناحية العملية لإمكانية تقليص حجم الفجوات الهوائية التي تتواجد ضمن القرص الواحد ، لدراسة الخصائص البصرية للأغشية المحضرة ، استخدمت شرائح زجاجية (Slides glass) تثبت على القاعدة العليا للمنظومة . نظفت الشرائح الزجاجية على مرحلتين ، في المرحلة الأولى استخدم كحول الإيثانول لغرض إذابة الدهون التي قد تكون متواجدة على سطح الزجاج، وفي المرحلة الثانية غمرت الشرائح الزجاجية في ماء مقطر مدة عشر دقائق في الجهاز فوق السمعي (Ultrasonic)، بعد ذلك نشفت وجففت داخل فرن حراري . وتمت عميلة التطعيم باستخدام طريقة الخلط حيث تم خلط المادة المراد تطعيمها مادة كبريتيد الزنك (ZnS) مع نسبة وزنيه من شوائب مادة المنغنيز (Mn) .

Results and discussion

5- النتائج والمنافشة

Results of Surface Morphology

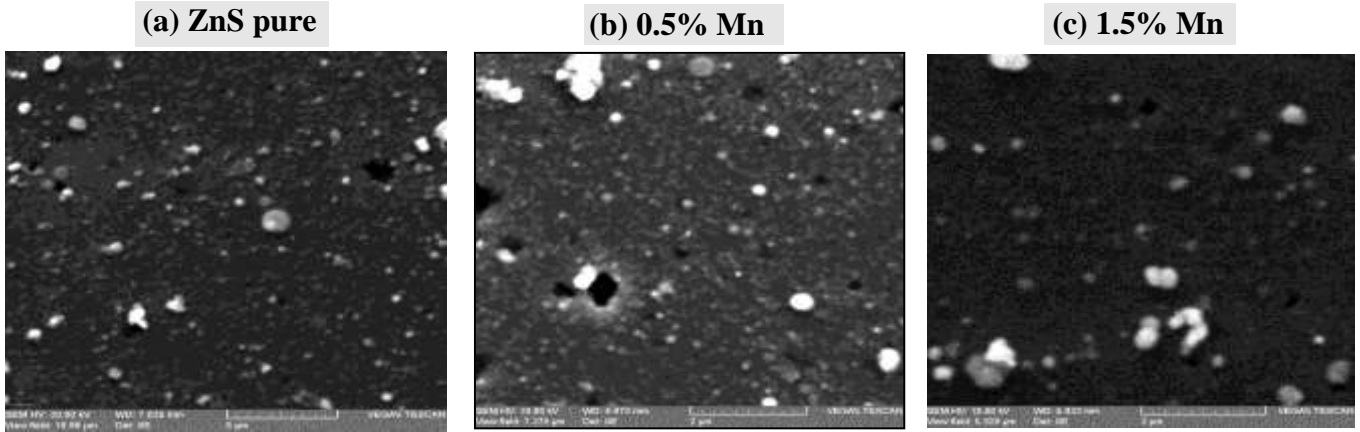
1- نتائج طوبوغرافية السطح

يوضح الشكلان (2) و (3) صوراً لأغشية (ZnS) النقية والمطعمة بالمنغنيز Mn باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) ومجهر القوى الذرية (AFM) على التوالي ، بدرجة حرارة أساس (400 °C) وضغط أوكسجين متغير (0.01 mbar) وطاقة ليزر (700 mJ) .

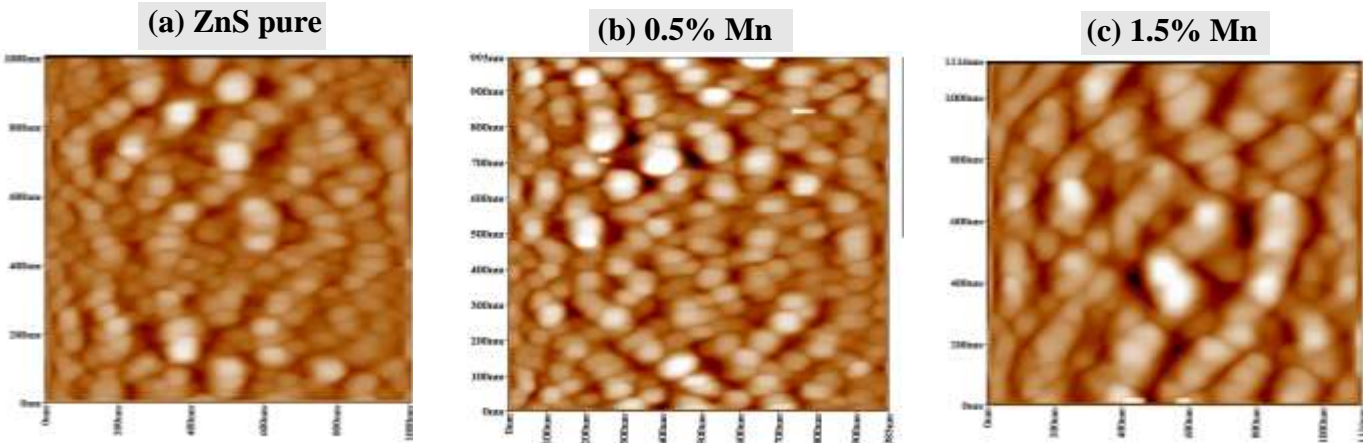
يتضح من خلال الأشكال (2) و (3) أن سطوح أغشية (ZnS) النقية والمطعمة تتكون من مجموعات (clusters) وأنها ذات سطوح صقيلة قليلة خشونة (smooth surface) ، وان هذه الخشونة تزداد ببطئ بزيادة نسب التطعيم وان الحجم الحبيبي أيضاً يزداد بهذه الزيادة وهذا يعود إلى تحرك الذرات والجزئيات المتواجدة على السطح بسبب وجود عنصر المنغنيز عند التطعيم حيث تتواجد ذراته بشكل إضافي في الغشاء مع ذرات المادة (ZnS) وهذا يزيد من التصادمات بين الجزئيات فتؤدي إلى فقدان طاقة الجزئيات بمقدار يكفي لتشكيل التجمعات الجزئية حيث تتراصف الذرات مع بعضها البعض ، وإن استخدام درجة حرارة أساس مرتفعة يؤدي إلى تآكل الحدود الحبيبية بسبب انتظام توزيع الذرات والانخلاعات الموجودة داخل الحدود الحبيبية بحيث أن الانخلاعات الموجبة والسالبة تلغي بعضها البعض . إن زيادة نسب التطعيم لها تأثير واضح على طوبوغرافية السطح ، فعند زيادة نسب التطعيم نلاحظ زيادة في الكثافة وأيضاً يمكن ملاحظة إن تركيب الغشاء يكون متعدد التبلور حيث يمكن تمييز الحدود الحبيبية بصورة واضحة . والجدول (1) يوضح التغير الحاصل في خشونة السطح (RMS) والحجم الحبيبي للجزئيات عند أغشية (ZnS) النقية والمطعمة بنسب تطعيم مختلفة .

جدول (1) يوضح الخصائص الطوبوغرافية لأغشية ZnS النقية والمطعمة بالمنغنيز Mn بنسب تطعيم مختلفة بدرجة حرارة أساس 400 °C وضغط أوكسجين 0.1 mbar وطاقة الليزر 700mJ .

خشونة السطح RMS(nm)	الحجم الحبيبي حسب قياسات AFM (nm)	الحجم الحبيبي حسب قياسات SEM (nm)	أغشية ZnS
1.57	35	34	ZnS pure
1.57	45	43	0.5 % Mn
2.36	48	47	1.5 % Mn



شكل (2) يوضح صور الـ SEM لأغشية (ZnS) النقية (a) والمطعمة بالـ Mn بنسب تطعيم مختلفة (b) 0.5% Mn ، (c) 1.5% Mn بدرجة حرارة أساس (400 °C) وضغط أوكسجين (0.1 mbar) وطاقة الليزر (700 mJ).

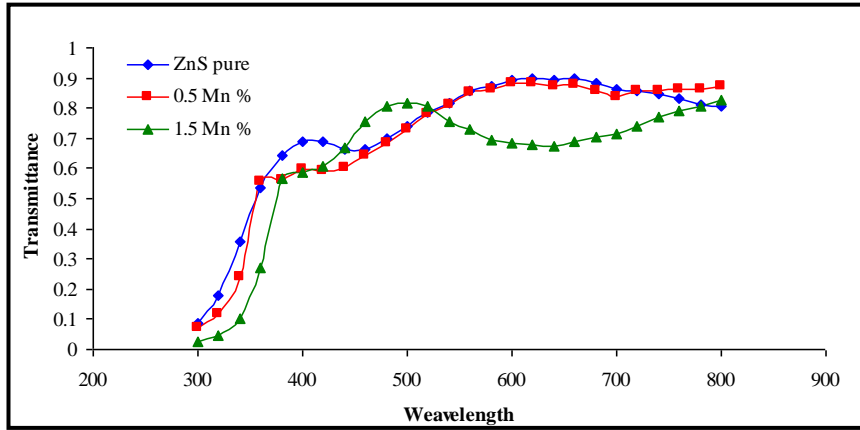


شكل (3) يوضح صور الـ AFM لأغشية (ZnS) النقية (a) والمطعمة بالـ Mn بنسب تطعيم مختلفة (b) 0.5% Mn ، (c) 1.5% Mn بدرجة حرارة أساس (400 °C) وضغط أوكسجين (0.1 mbar) وطاقة الليزر (700 mJ).

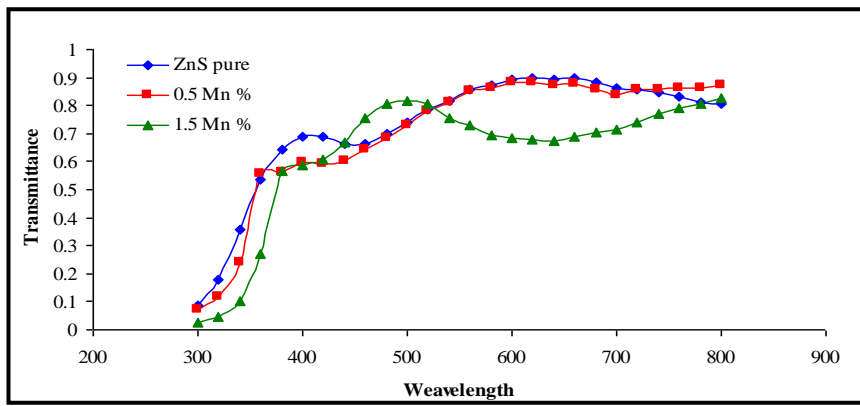
Results of Optical Properties Transmittance Spectrum

2-5 نتائج قياسات الخصائص البصرية 1-2-5 طيف النفاذية

يوضح الشكل (4) طيف النفاذية لأغشية ZnS الرقيقة النقية والمطعمة بنسبتي التطعيم (0.5 ، 1.5) % ، وبظروف تحضير شملت درجة حرارة أساس (400°C) وضغط أوكسجين (0.1 mbar) وطاقة ليزر (700 mJ) ، حيث نلاحظ أن النفاذية تقل بشكل طفيف بزيادة نسب التطعيم المضافة وتتراوح قيمها حسب قيم الأطوال الموجية لان نسب التطعيم قليلة ، وتمتلك نفاذية أقل من نفاذية أغشية (ZnS) النقية ، وقد يعزى السبب في ذلك إلى تكون مستويات لشوائب (Mn) داخل فجوة الطاقة التي تؤدي إلى زيادة الامتصاصية وبالتالي نقصان النفاذية ، وأيضاً سبب نقصان النفاذية يعود إلى نقصان مسامية الغشاء مع زيادة نسب التطعيم .



الشكل رقم (4) يوضح تغير النفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية ZnS قبل وبعد التطعيم .

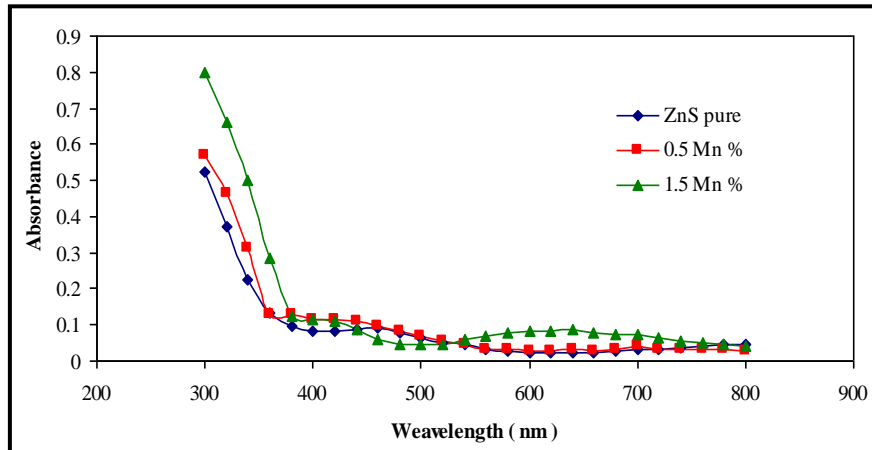


الشكل رقم (4) يوضح تغير النفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية ZnS قبل وبعد التطعيم .

Absorbance Spectrum

2-2-5 طيف الامتصاصية

يمكن إيجاد العديد من الثوابت البصرية من خلال دراسة طيف الامتصاصية لمديات واسعة من الأطوال الموجية إذ نلاحظ أن قيمة الامتصاصية تقل مع ازدياد الطول الموجي ، ونجد أن قيمة الامتصاصية تتناقص بشكل قليل في منطقة الطاقات الواطنة (الأطوال الموجية العالية) فيما تتناقص قيمة الامتصاصية بصورة ملحوظة في منطقة الطاقات العالية (الأطوال الموجية القصيرة) والشكل (5) يمثل تغير طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي عند نسب التطعيم المختلفة ، إذ نلاحظ أن الامتصاصية تزداد بزيادة نسب التطعيم لان مسامية الغشاء تقل والحجم الحبيبي يزداد، أيضا سبب نقصان فجوة الطاقة البصرية يعزى لتكون مستويات لشوائب الـ (Mn) داخل فجوة الطاقة .

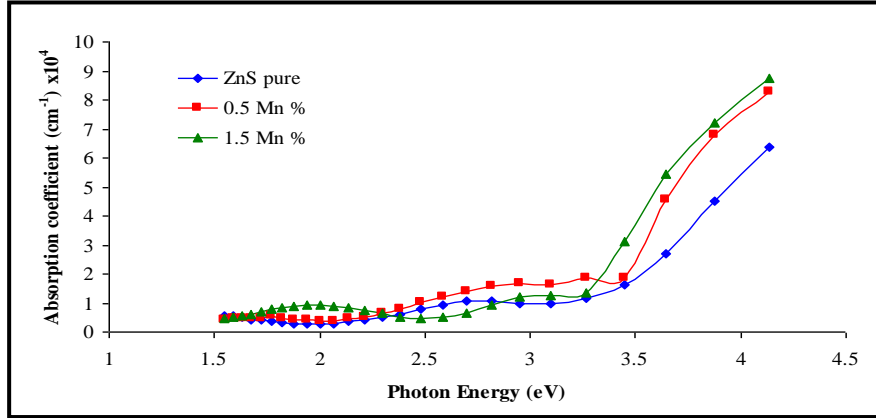


الشكل رقم (5) يوضح تغير الامتصاصية كدالة للطول الموجي لأغشية ZnS قبل وبعد التطعيم .

Absorption Coefficient (α)

3-2-5 معامل الامتصاص (α)

أن معامل الامتصاص يسلك سلوك الامتصاصية حيث يزداد بزيادة نسب التطعيم لتكون مستويات للشوائب المضافة داخل فجوة الطاقة وكما هو موضح بالشكل (6) ، تم حساب معامل الامتصاص للأغشية المحضرة بدلالة طيف الامتصاصية باستخدام العلاقة (4) وكانت قيم معامل الامتصاص α ($\alpha > 10^4$) cm^{-1} هذا يدل على احتمالية كبيرة للانتقالات الالكترونية المباشرة وان الطاقات العالية التي حسبت عندها هذه القيم هي طاقات لفجوة طاقة مباشرة ، إن معامل الامتصاص يكون قليل عند الطاقات الفوتونية الواطئة وفيها تكون احتمالية الانتقالات الالكترونية قليلة وتزداد قيم معامل الامتصاص عند حافة الامتصاص باتجاه الطاقات العالية . ونلاحظ أيضا بزيادة نسب التطعيم يزداد الحجم الحبيبي وبالتالي تزداد الامتصاصية للأغشية المطعمة وبالتالي أيضا يزداد معامل الامتصاص لها .

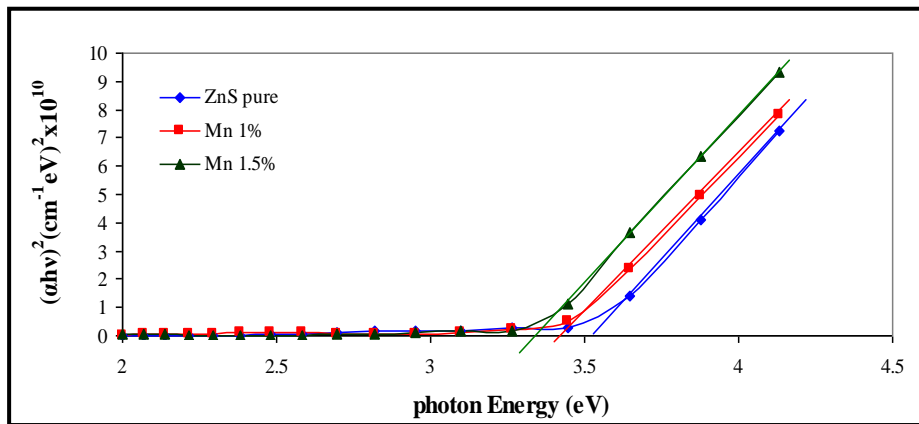


الشكل رقم (6) يوضح تغير معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون لأغشية ZnS قبل وبعد التطعيم .

4-2-5 فجوة الطاقة البصرية للانتقالات المباشرة المسموحة

Optical Energy Gap for Direct Allowed Transitions

يوضح الشكل (7) أن هناك نقصاناً واضحاً في قيمة فجوة الطاقة مع زيادة نسبة التشويب المضافة، وقد فسر هذا النقصان في قيم فجوة الطاقة إلى تكون مستويات لشوائب الـ (Mn) داخل فجوة الطاقة ويزداد عرض هذه المستويات بزيادة نسب التشويب مما يؤدي إلى تناقص عرض الفجوة ، حيث انه عند غشاء (ZnS) النقي تكون قيمة فجوة الطاقة البصرية بحدود (3.53 eV) ، بينما عند نسبة التطعيم (0.5 Mn%) فجوة الطاقة (3.4 eV) ، وعند نسبة التطعيم الأعلى والتي تساوي (1.5 Mn %) أصبحت فجوة الطاقة (3.3 eV) .



الشكل رقم (7) يوضح تغير فجوة الطاقة للانتقال المباشر المسموح كدالة لطاقة الفوتون لأغشية ZnS

قبل وبعد التطعيم .

Conclusions

1. إمكانية تطعيم أغشية كبريتيد الخارصين (ZnS) بالمنغنيز (Mn) باستعمال تقنية الترسيب بالليزر النبضي (PLD).
2. وجدنا من خلال صور طبوغرافية السطح (SEM و AFM) أن الغشاء المحضر ذو تركيب متعدد التبلور ويصبح أكثر تجانسية عند درجة حرارة الأساس (400 °C)، وان زيادة نسب التطعيم بالمنغنيز تزيد من قيم خشونة السطح وتجعل الأغشية أكثر انتظاماً مع زيادة في الحجم الحبيبي للذرات.
3. نفاذية أغشية (ZnS) تظهر قمماً أكبر من (80%) للضوء المرئي والقريب من الأشعة تحت الحمراء عند ظروف تحضير معينة وتقل النفاذية بزيادة نسب التطعيم، ولهذا السبب تستخدم أغشية ZnS في تطبيقات عملية في مجال تصنيع الخلايا الشمسية والكواشف والدايودات الباعثة للضوء.
4. يمتلك غشاء ZnS النقي والمطعم فجوة طاقة بصرية للانتقالات الإلكترونية المباشرة المسموحة فقط، وأن قيمة فجوة الطاقة لغشاء ZnS النقي هي (3.55eV) وتقل هذه القيمة بزيادة نسبة التطعيم إلى أن تصل إلى أقل قيمة (3.3 eV) عند نسبة التطعيم الأعلى (1.5 Mn%) ويعزى هذا السبب إلى تكون مستويات لشوائب الـ (Mn) داخل فجوة الطاقة.
5. إن زيادة نسب التطعيم تؤدي إلى زيادة قيمة معامل الامتصاص وبالتالي الاستفادة منها في الخلايا الضوئية.

References

المصادر

- [1] K.L.Chopra, "Thin Films Phenomena", McGraw – Hill Book Company, New York, (1969).
- [2] S.M.Sze, "Physics of Semiconductor Devices", John Wiley and Sons Inc. (1969).
- [3] M. Shur, "Physics of Semiconductor Devices", Prentice – Hall of India Private Ltd., New Delhi, (1995).
- [4] H.M. Smith and A.F.Turner, "Pulse Laser Deposition -Versatile Thin Film Technique", Appl.Optic, Vol. 4, p. 147, (1965).
- [5] M .Jawad, R.Ismail, K.Yahea, "Journal of Mater Sci. Mater Electron", Vol.22, pp.1244–1247, (2011).
- [6] National Audubon Society, "Field Guide to North American Rocks and Minerals", (1979).
- [7] B. Ray, "II-IV Compound", Fst Edition, Neil Co. Ltd, (1969).
- [8] M. Ashraf, S.M.J. Akhtar, Z. Ali and A. Qayyum, "Optics Laboratories", Vol 45, pp. 5, (2011).
- [9] C. Kittel, "Introduction to Solid State Physics", John Wiley and Sons, Inc., 7th edition, (1997).
- [10] M. A. Omer, "Elementary of Solid Stat", Addison Wesley Publishing Co., (1972).
- [11] بان خالد محمد، "مجلة الهندسة والتكنولوجيا"، المجلد 29، العدد 16، (2011).
- [12] E.Cetinorgu, S: Gold smith, yurosenbrg, R.L.Boxman "influences of annealing on the physical properties of filtered vacuum are deposited in the oxide thin film "journal of non-crystalline solids, vol.353, pp.25, 5- 2602, 2007.
- [13] K.Matras-Postolek, "University of Applied Sciences Department of Chemical Engineering Steinfurt/Muenster", (2009).