دراسة الخصائص البصرية لغشاء رقيق من ZnTe محضر بطريقة الرش الكيميائي الحراري

عمار هادي جريز
كلية التربية، ابن الهيثم، جامعة بغداد
amar_hadee@yahoo.com

الخلاصة

في هذا البحث .جرى ترسيب أغشية رقيقة من تيلورايد الخارصين (ZnTe) على قواعد زجاجية باستخدام تقنية الرش الكيميائي الحراري. أجريت القياسات البصرية على الأغشية المرسبة لتحديد طيف النفاذية والامتصاصية كدالة للطول الموجي الساقط ومن تحديد المعاملات البصرية وجد معامل الامتصاص ومعامل التخميد وعمليات الامتصاص وقيمة معامل الانكسار المركب وقيمة ونوع فجوة الطاقة. فقد وجد ان فجوة الطاقة 2.26eV ذا انتقال مباشر وهي مقاربة لنتائج تم الحصول عليها مسبقا.

المقدمة

تحظى الأغشية الرقيقة متعددة التبلور المحضرة من أشباه الموصلات المركبة من عناصر بأهمية بالغة في صناعة النبائط الإلكترونية والكهروبصرية في المجموعتين الثانية والسادسة(II-VI) بسبب معاملات امتصاصها العالية وكلفة تصنيعها الواطئة .أصبحت النبائط الفوتونية المصنعة من أغشية تيلورايد الخارصين موضع اهتمام البحوث العلمية مؤخراً بسبب الخصائص البصرية المتميزة لها والتي تسمح بتحقيق كفاءة كمية عالية عند استخدامها ككواشف فوتونية أو خلايا شمسية، وكذلك كطلاء مضاد للانعكاس (Antireflection) لكواشف المنطقة تحت الحمرا ء Infrared Detectors كما أن امتلاك هذه المادة ومثيلاتها لفجوات طاقة مباشرة كبيرة نسبياً شجع الباحثين على تصنيع ليزرات أشباه الموصلات والثنائيات الباعثة للضوء في المنطقتين الخضراء والزرقاء من الأطوال الموجية .إن صناعة مثل هذه النبائط ثنائية القطبية تتطلب أن تكون المواصفات البصرية لجانبي(أو جوانب)التركيب جيدة وإن مادة تيلورايد الخارصين تعد واحدة من أهم أشباه الموصلات المركبة المستخدمة لهذا [9-1].

الجزء العملي

جرى ترسيب أغشية رقيقة بسمك 350nm من مادة تيلورايد الخارصين (ZnTe)عالية النقاوة (99.999%) على قاعدة من الزجاج باستخدام منظومة الرش الكيميائي الحراري حيث تم مزج احجام متساوية من محلول كلوريد التلريوم ومحلول كلوريد الزنك حسب التفاعل التالي :

$$ZnCl_2+TeCl_2 \xrightarrow{H_2O} ZnTe+2Cl_2\uparrow+H_2O\uparrow$$

يرسب المزيج باستخدام منظومة الرش على قاعدة زجاجية ذات درجة حرارة مطلوبة لإجراء التفاعل أعلاه .

أجريت قياسات النفاذية للعينات المحضرة ضمن المدى (400–900). باستخدام جهاز مقياس الطيف (Spectrophotometer) تضمنت الحسابات العملية حساب قيمة معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون الساقط وتحديد قيمة ونوع فجوة الطاقة وعمليات الامتصاص السائدة وكذلك معامل التخميد ومعاملي الانكسار الحقيقي والمعقد كدوال لطاقة الفوتون الساقط .البيانات المقدمة في قياس طيف النفاذية تمثل معدل قيمتين متتاليتين للنقطة الواحدة [14],[15].

النتائج والمناقشة

يبين الشكل (1) حيود الاشعة السينية لغشاء (ZnTe) ان وجود القمم الواضحة تدل على التبلور الجيد والتجانس العالي للغشاء والمحضر بنسب (1:2) مع وجود قمم لغشاء ZnTeO3 يدل احتمالية حصول اكسدة اثناء عملية التحضير .يبين الشكل (2) طيف النفاذية للأغشية المرسبة على القواعد الزجاجية كدالة للطول الموجي الساقط، ويلاحظ أن نفاذية هذه الأغشية تزداد بشكل سريع ضمن المنطقة nm(600-400)حتى تصل إلى أعلى قيمة لها ما بعد هذا المدى .تثبت قيمة النفاذية تقريباً عند منطقة الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة وهذا ما يؤهل مادة تيلورايد الخارصين لاستخدامها كطلاء مضاد للانعكاس (Antireflection coating) في هذه المنطقة الطيفية.

يبين الشكل (3) علاقة معامل امتصاص (α) غشاء تيلورايد الخارصين الرقيق بطاقة الفوتون الساقط(λ) يلاحظ أن قيمة معامل الامتصاص تزداد بشكل ضئيل في منطقة الطاقات الواطئة(الأطوال الموجية الطويلة) فيما تصبح الزيادة سريعة جداً في منطقة الطاقات الأعلى (الأطوال الموجية الأقصر)، وهذا السلوك يدعم استخدام هذه المادة كطلاء مضاد للانعكاس في المنطقة الأولى فيما تستخدم لبناء وصناعة النبائط الفوتونية كالكواشف والخلايا الشمسية وليزرات أشباه الموصلات والثنائيات الباعثة للضوء في المنطقة الثانية. جرى رسم علاقة بيانية مابين مربع قيمة معامل الامتصاص $(\alpha h\nu)^2$ وطاقة الفوتون الساقط (hν) كما في الشكل (4) وذلك لتحديد قيمة ونوع فجوة الطاقة وعمليات الامتصاص المتغلبة أو السائدة في مادة تيلورايد الخارصين (ZnTe). بلغت قيمة فجوة الطاقة حوالي (2.26)eV وهي مقاربة بشكل كبير القيم المستحصلة في بحوث ونتائج سابقة (2.24)eV [2-6].

تم الحصول على علاقة خطية وهذا يؤكد أن مادة تيلورايد الخارصين ذات فجوة طاقة مباشرة (direct) وإن عمليات الامتصاص الأساسية المباشرة المسموحة هي السائدة، وإن قيمة معامل الامتصاص تعطى كالآتي:

$$\alpha_d = A\{h\nu - E_g\}^{1/2} \quad \text{.....(1)}$$

تكون قيمة ثابت A حوالي 6.77 x104 cm-1.(eV) عند الطول الموجي القاطع لمادة تيلورايد الخارصين (ZnTe) والذي يبلغ (530nm) و Eg فجوة الطاقة لمادة تيلورايد الخارصين و hν طاقة الفوتون الساقط .

ج ـرى تح ـديد علاقة معامل التخميد (k_{ex}) (Extinction Coefficient) بطاقة الفوتون الساقط وكما في الشكل(5) يكون سلوك معامل التخميد مماثلاً لسلوك معامل الامتصاص (α) طالما ان العلاقة بينهما طردية إذ أن قيمة معامل التخميد تزداد بشكل كبير مع ازدياد طاقة الفوتون الساقط فوق قيمة فجوة الطاقة للمادة.

يمكن تحديد قيمة معامل انكسار(n) المادة المحضرة على شكل غشاء رقيق اعتماداً على قيمة النفاذية المستحصلة كدالة للطول الموجي الساقط وكالآتي [10-11]:

$$n = \sqrt{Y + (Y^2 + n_S^2)^{1/2}} \quad \text{.....(2a)}$$

$$Y = 2n_S\left(\frac{T(\lambda) - T_{min}}{T(\lambda) \times T_{min}}\right) + \frac{n_S^2 + 1}{2} \quad \text{.....(2b)}$$

حيث n_s معامل انكسار القاعدة المرسب عليها الغشاء الرقيق(الزجاج) وy تمثل السماحية البصرية Optical admittance T(λ) نفاذية الغشاء الرقيق كدالة للطول الموجي و T_{min} أقل قيمة مستحصلة للنفاذية عند أقل طول موجي خلال العمل (400nm) . الشكل(6) يوضح تغير معامل انكسار المادة مع طاقة الفوتون الساقط ومنه يلاحظ أن قيمة معامل الانكسار تكون ثابتة تقريباً عند الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة، وهذا يمثل استقراراً بصرياً عند هذه المنطقة من الطيف .فيما تعتبر الزيادة السريعة في قيمة معامل الانكسار عند منطقة الأطوال الموجية المرئية عاملاً مهماً عند استخدام مادة تيلورايد الخارصين (ZnTe) في صناعة الموجّهات البصرية (Optical Waveguides) والتراكيب الأساسية للنبائط الفوتونية إذ يمكن توظيف هذه المادة لبناء طبقات الحصر البصري (Optical Confinement) لحاملات الشحن في مثل هذه النبائط . لغرض التعرف على خاصية التشتت البصري للمادة المحضرة على شكل غشاء رقيق، يمكن استخدام العلاقة الآتية [12-13] :

$$n^2(h\nu) = 1 + \frac{E_d E_0}{E_0^2 - (h\nu)^2} \quad \text{.....(3)}$$

حيث E_d طاقة التشتت البصري داخل تركيب المادة وE_o طاقة التذبذب ما بين حزمتي التكافؤ والتوصيل داخل المادة شبه الموصلة، ويفترض أن قيمتها تعادل ضعف قيمة فجوة الطاقة (E_o~$2E_g$).تعطى قيمة طاقة التشتت البصري للمادة (E_d) وفق علاقة تجريبية(Empirical) كالاتي [12-13] :

$$E_d = \beta N_c Z_a N_e \quad (eV) \quad \text{.....(4)}$$

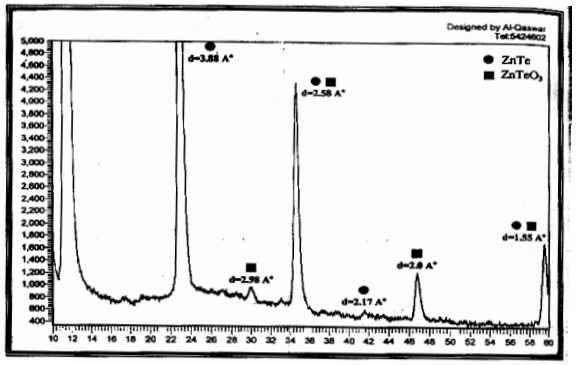
حيث β ثابت تعتمد قيمته على حالة المادة إن كانت أيونية أو تساهمية ، N_c احداثي الايون السالب بالنسبة للأيون الموجب داخل المادة المركبة Z_a التكافؤ الكيمياوي للجزء الموجب من المركب (الخارصين) و N_e كثافة الإلكترونات في حزمة التكافؤ للمادة .من خلال النتائج المستحصلة في هذه الدراسة واعتماداً على العلاقة البيانية في الشكل(7) يمكن تحديد قيمة طاقة التشتت البصري للمادة(Eg) كدالة للطول الموجي الساقط كالاتي:

$$E_d = (n^2 - 1)\{E_0 - \frac{(h\nu)^2}{E_0}\} \quad \text{.....(5)}$$

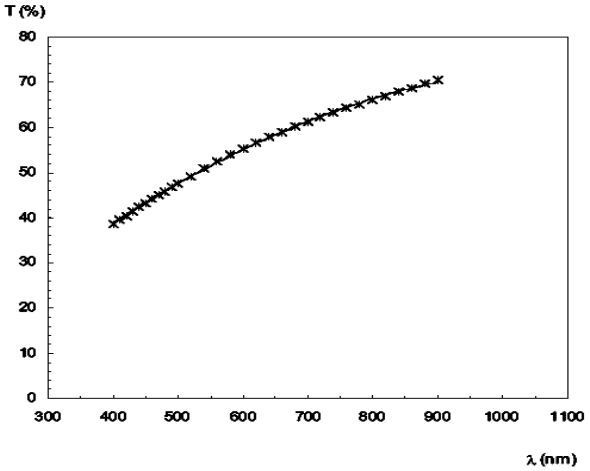
كما يتضح من الشكل (8)، فإن طاقة التشتت البصري للمادة تتغير بشكل أكبر في منطقة الأطوال الموجية المرئية فيما تميل للتغير بشكل قليل في منطقة الأطوال الموجية الأطول .يدل ذلك على أن تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي ذي الترددات الأكبر مع المادة، وبالتالي التشتت البصري داخل تركيب مادة تيلورايد الخارصين، يكون أكبر منه للترددات الأوطأ (أي الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة) وهذا يفسر النفاذية الأكبر للأخيرة. يمثل معامل الانكسار المعقد (Complex Refractive Index) أحد أهم الثوابت البصرية للمادة المستخدمة في بناء وتصنيع النبائط الفوتونية الكمية وخاصة ليزرات أشباه الموصلات .لذلك جرى تحديد علاقة معامل الانكسار المعقد لمادة تيلورايد الخارصين(ZnTe) كدالة لطاقة الفوتون الساقط، وكما مبين في الشكل (9)يدل الانتظام الملاحظ في سلوك معامل الانكسار المعقد على الانتظام الكبير في الخصائص البصرية لهذه المادة كدالة لطاقة الفوتون الساقط وهذا ما جعلها واحدة من أبرز المواد شبه الموصلة المركبة شيوعاً في صناعة النبائط الفوتونية الحديثة.

الاستنتاجات

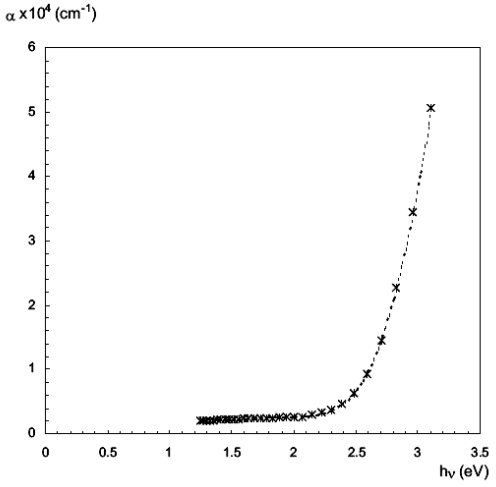
استناداً إلى النتائج المستحصلة في هذا البحث، يمكن استنتاج أن أغشية ZnTe الرقيقة شبه الموصلة والمرسبة على قواعد زجاجية باستخدام تقنية التبخير الحراري في الفراغ تمتلك فجوة طاقة مقدارها (2.26eV) وأن عمليات الامتصاص الأساسية المباشرة تكون هي السائدة خلال المدى الطيفي (400-900nm) أظهرت النتائج المستحصلة أن معاملي انكسار المادة الحقيقي والمعقد يتغيران مع الطول الموجي بشكل سريع ضمن المدى (400-600)nm حتى يصلا قيمة ثابتة تقريباً عند منطقة الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة .جرى تحديد قيم ثابت عمليات الامتصاص المسموحة وكانت (6.77x104cm-1(eV)-1/2). جرى تحديد طاقة التشتت البصري داخل المادة كدالة للطول الموجي الساقط .إن سلوك الثوابت البصرية لمادةZnTe مع الطاقة يعكس جودة الخصائص البصرية لها وهذا ما يزيد الاهتمام بها في تصميم وتصنيع النبائط الفوتونية الكمية والموجّهات البصرية ضمن مدى الأطوال الموجية (400-600)nm واستخدامها كطلاء مضاد لانعكاس عند منطقة الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة .



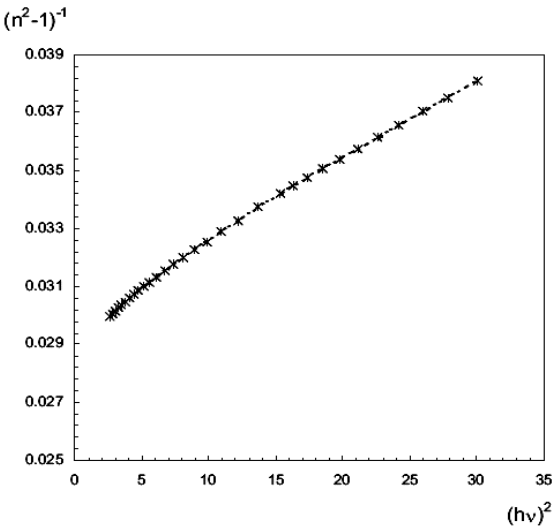
شكل (1) يوضح حيود الاشعة السينية لغشاء (ZnTe) بنسبة (1:2).



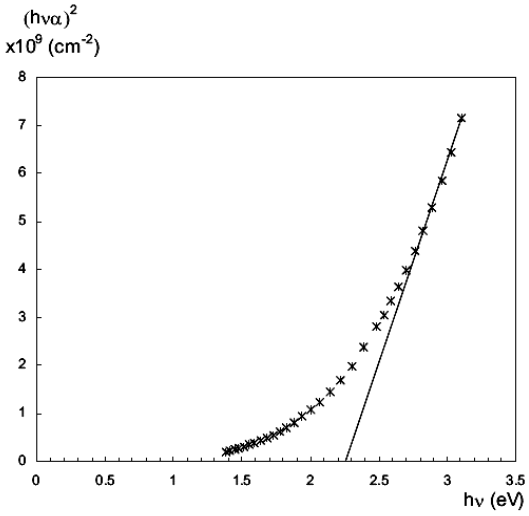
شكل (2) طيف النفاديه للغشاء المحضر في هدا البحث.



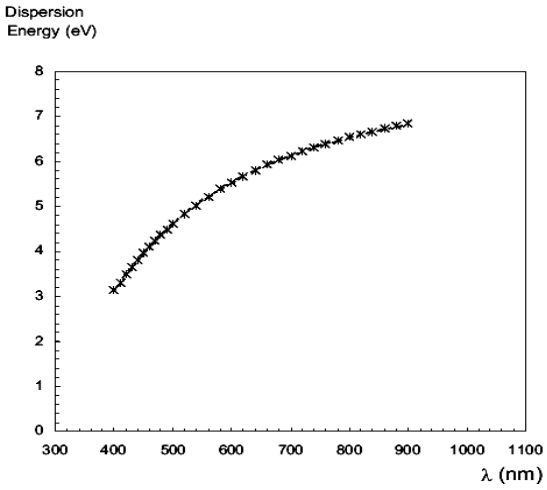
الشكل (3) تغير معامل الامتصاص الغشاء كدالة لطاقة الفوتون.



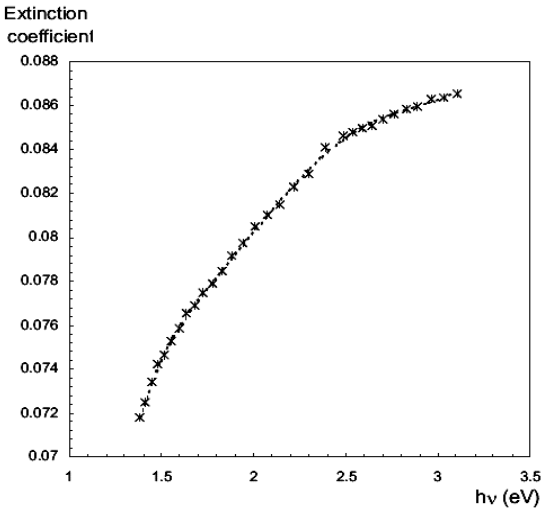
الشكل (7) تغير قيمة المعامل 1−(n2-1) مع مربع قيمة طاقة الفوتون الساقط.



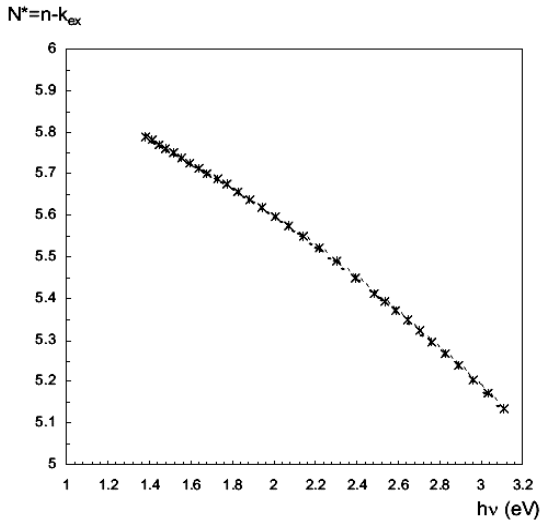
الشكل(4) تغير المعامل 2(αhν)مع طاقة الفوتون الساقط.



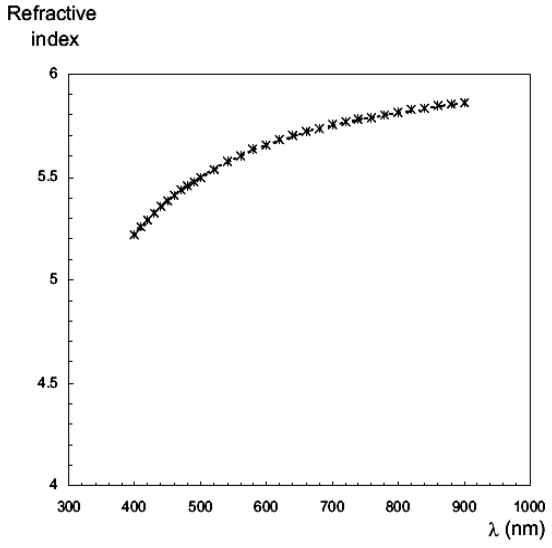
الشكل (8) تغير قيمة طاقة التشتت البصري للمادة مع الطول الموجي الساقط.



الشكل (5) تغير قيمة معامل التخميد (kex)مع طاقة الفوتون.



الشكل (9) تغير معامل الانكسار المعقد مع طاقة الفوتون الساقط.



الشكل (6) تغير قيمة معامل الانكسار مع الطول الموجي للفوتون الساقط.

Abstract

In this study, thin films of ZnTe were deposited on glass substrates using thermal spray pyrolsis technique. The optical measurements on the deposited films were performed to determine the transmission spectrum and the absorption coefficient as a function of incident wavelength. Then from the optical parameters, extinction coefficient, value and type of energy gap, type of the dominant absorption processes, real and complex refractive index as functions of incident photon energy, were determined. The Energy gap is found to be equal to 2.26eV that is direct transfer. this results is similar to the results given by other researchrs.

المصادر

[1] Sharma, B. L. and Purohit, R. K., "Semiconductor Heterojunctions", Pergamon Press (Hungary),1974.

[2] Patel, S.M. and Patel, N.G., "Switching mechanism in ZnTe films", Thin Solid Film, Vol.113, 1984, pp.185-197.

[3] Patel, S.M. and Patel, N.G., "Stimulated crystallization of polycrystalline ZnTe films", Thin Solid Film, Vol.122, 1984, pp.297-304.

[4] Nakashima, S., Nakakura, Y. and Fujiyasu, H., "Raman scattering from ZnTe-ZnSe strained-layer superlattices", Appl. Phys. Lett., Vol.48, No.3, 1986, pp.236-238.

[5] Basol, B.M. and Kapur, V.K., "Preparation of ZnTe thin films using a simple two-stage process", Thin Solid Film, Vol.165, 1988, pp.237-241.

[6] Kuskovsky, I.L., Tian, C. and Neumark, G.F., "Optical properties of ZnSe:Te grown by MBE", Phys. Rev. B, Vol.63, 2001, pp.1-8.

[7] Hamoudi, W.K., Ismail, R.A., Salem, E.T. and Al-Rawi, R.S., "Fabrication and characterization study of ZnTe/Si similar heterojunction detector", J. Eng. Technol., Vol.20, No.11, 2001, pp.552-559.

[8] Gasin, P., Feodorov, V. and Dmitrogolo, L., "Thin film ZnTe-CdTe polycrystalline heterojunctions", Moldovian J. Phys. Sci., Vol.2, 2002, pp.143-146.

[9] Han, D.H., Choi, S.J. and Park, S.M., "Electrochemical preparation of ZnTe films on gold electrodes", J. Electrochem. Soc., Vol.150, No.5, 2003, C342-C346.

[10] Manifacier, J.C., Gasiot, J. and Fillard, J.P., J. Phys. E, Vol.9, 1976, p.1002.

[11] Swanepoel, R., J. Phys. E, Vol.16, 1983, p.1214.

[12] Wemple, S.H. and DiDomenico, M., Phys. Rev. B, Vol.3, 1971, p.1338.

[13] Wemple, S.H., Phys. Rev. B, Vol.7, 1973, p.3767.

[14] S.M. Sze. "semiconductor Devices Physics and Technology " (1990)pp.409-452.

[15] H.A. Macleod." Thin-Film Optical Filters" (2001) Third Edition .pp:393-456.