

## تأثير التشويب بالنحاس على الخواص التركيبية والبصرية لأغشية تيليرايد الكادميوم الرقيقة

سمير عطا مكي

بشرى كاظم حسون

سلام حميد فياض حسن

قسم الفيزياء / كلية التربية للعلوم الصرفة ( ابن الهيثم ) / جامعة بغداد

استلم في: 5 ايار 2014 قبل في: 22 حزيران 2014

### الخلاصة

تناول هذا البحث دراسة الخواص التركيبية والبصرية لأغشية تيليرايد الكادميوم (CdTe) الرقيقة والمحضرة بطريقة التبخير الحراري بالفراغ , وبسمك  $(450 \pm 25) \text{nm}$  والمرسبة على قواعد من الزجاج بدرجة حرارة الغرفة (R.T) , دالة لتغير نسب التشويب بعنصر النحاس (Cu) بالنسب ( 1,3,5 %). لقد اظهرت نتائج الفحوصات التركيبية بحيود الأشعة السينية (X-ray) ان تركيب الأغشية المحضرة هو من النوع المتعدد التبلور وبالالاتجاه السائد [111]. ومن خلال القياسات البصرية تبين ان لأغشية تيليرايد الكادميوم فجوة طاقة مباشرة تقل قيمتها بزيادة نسب التشويب وصولاً للنسبة (5%). حُسبت الثوابت البصرية مثل معامل الامتصاص ( $\alpha$ ), ومعامل الانكسار ( $n$ ), ومعامل الخمود ( $k$ ), وثابت العزل ( $\epsilon$ ) بجزأيه الحقيقي والخيالي ضمن الطول الموجي  $(300-1100) \text{nm}$  قبل عملية التشويب وبعدها.

**الكلمات المفتاحية:** -تيليرايد الكادميوم , الخواص البصرية , الخواص التركيبية , التبخير الحراري بالفراغ , الأغشية الرقيقة , التشويب

## المقدمة

تيليرايد الكاديوم (CdTe) احد مركبات الزمرة الثانية والسادسة شبه الموصلية الذي يمكن ان يكون ( n-type ) او ( p-type ) اعتماداً على نوع الشائبة المستعملة هذه الصفة جعلت من تكنولوجيا صناعة الثنائيات البصرية وترانزستورات تأثير المجال امراً ميسراً ومن كلا النوعين سواء كانت من النوع المفروق الهجين ( Hetrojunction ) او من نوع المفروق المتشابه (Homojunction) بتغيير نوع الشائبة لكل نوع [ 1 ] .

ان عرض فجوة طاقة تيليرايد الكاديوم (1.56 eV) التي تقل بتأثير التشويب وتوصيلته التي تزداد بالتشويب ايضاً جعلت منه المادة المناسبة لصناعة كاشفات X-ray , وكاشفات Gamma-ray , والمواد الشفافة حرارياً لشبائيك المركبات والطائرات والنوافذ المستخدمة للأشعة تحت الحمراء (IR) . وللفعالية البصرية العالية التي يبيدها تيليرايد الكاديوم التي تزداد بالتشويب جعلت منه المادة الانموجية المستعملة في صناعة المعالجات البصرية فائقة السرعة . ونظراً للكلفة الواطئة في تصنيعه ومع استعمال السليكون قاعدة لأغشيته جعلت من الممكن انتاج نيايط رخيصة نسبياً لإنتاج اشباه الموصلات الدوائر المنطقية السليكونيه . فضلاً عن ذلك يعد من اهم المواد المستعملة في مجال التصوير وتطبيقاته المتعددة. ان صفات تيليرايد الكاديوم البصرية الجيدة التي تزداد جودتها بالتطعيم بالمواد المنتخبة قدمته لكي يصبح من المواد الرئيسة المستعملة في صناعة الخلايا الشمسية بقدرة نظرية تصل الى % (30) وعملية تصل الى % (16.5) بسبب امتلاكه معامل امتصاص عال يتناسب طردياً مع نسب التشويب , إذ ان (2 مايكرومتر) منه تكون معتمه بصورة تامة اي انها تمتص جميع الضوء الساقط عليها وهذا السمك يقل بالتشويب بينما نحتاج لطبقة سمكها (20 مايكرومتر) من السليكون لكي تمتص القدر نفسه من الاشعاع الساقط عليها [2,3].

ان اغشية تيليرايد الكاديوم حساسة جداً لظروف وطرائق تحضيرها وتشويبها إذ يؤثر ذلك في الخواص التركيبية والبصرية للغشاء التي تدرس بمتغيرات غير معتمدة على بعضها تتضمن :- سمك الغشاء , معدل الترسيب , نسب التشويب , الطريقة التي يتم بها التشويب , نوع الشائبة , ضغط منظومة الترسيب , درجة حرارة مصدر الترسيب والتشويب [4]. في بحثنا الحالي استخدمت طريقة التبخير الحراري بالفراغ ( PVD ) التي استخدمها [5,6,7] , لتحضير اغشية متجانسة من ( CdTe ) المتبلورة لكونها اقل الطرائق تلوثاً والأغشية ترسب بالتصاق جيد فضلاً عن السيطرة على سمك الغشاء المحضر . إذ درسنا تأثير تشويب النحاس بالتبخير المزوج على الخواص التركيبية والبصرية للأغشية المحضرة .

## الجزء العملي

### - تحضير النماذج

حضرت اغشية (CdTe) على قواعد من الزجاج بسمك (450±25) nm , بطريقة التبخير الحراري بالفراغ بعد ان حضرت سبيكة (CdTe) , وذلك بخلط عنصر التيريليوم ذي النقاوة (99.95%) بنسبة (53.17%) , وعنصر الكاديوم ذي النقاوة (99.999) بنسبة (46.83%) وذلك على وفق المخطط الطوري لمادة تيليرايد الكاديوم [8] . ثم وضع الخليط في داخل انبوبة من مادة الكوارتز الصناعي بقطر (1.12cm) وطول (17cm) بعد ان اغلق احد طرفي الأنبوبة. ثم فرغت الأنبوبة بواسطة المضخة الزيتية الدوارة وصولاً الى ضغط (10<sup>-2</sup> torr) واغلقت الأنبوبة بواسطة الشعلة الاوكسي استيلينييه . وضعت الأنبوبة المفرغة داخل فرن حرق من النوع ( YOKA GAWA UT 350 ) ثم سخنت الأنبوبة تدريجياً وصولاً الى درجة (1373K) بزمان تدرج مقداره (5) ساعات ثم ثبتت درجة الحرارة على هذه الدرجة مدة ساعة واحدة اعتماداً على المخطط الطوري للمادة [8]. اخرجت الأنبوبة واخمدت بالماء البارد (Quenched) وبعدها قطعت الأنبوبة من احد طرفيها لإخراج سبيكة تيليرايد الكاديوم . حضرت نماذج اغشية تيليرايد الكاديوم وذلك بوضع كتلة مقدارها (0.302gm) من مادة تيليرايد الكاديوم (CdTe) التي تحقق السمك المطلوب (450±25) nm في حوض من الموليبيدوم (Mo) الذي يبعد (15cm) عن سطح الارضيات الزجاجية التي تم تنظيفها بواسطة الماء المقطر والكحول الايثيلي باستخدام جهاز الموجات فوق السمعية (Ultra sound) من النوع ( APPASAMY ASSOCIATES ) ULTRA HYGIENIC EQUIPMENT). وكذلك وضعت كتلة مقدارها ( 1,3,5 % ) من مادة النحاس لتحقيق النسبة المطلوبة في عملية ترسيب مزدوج (Co .evaporation) في منظومة الترسيب نوع ( Edward Coting Unit ) وبمعدل ترسيب (2.5 nm/Sec) .

### -القياسات

قيس سمك الأغشية المحضرة قبل التشويب وبعده بالنحاس باستخدام الطريقة الوزنية طبقاً للمعادلة:- [9].

$$t = (m/a.p) \dots \dots \dots (1)$$

إذ ( t cm.) يمثل سمك الغشاء, ( m gm.) كتلة الغشاء, ( ρ gm.cm<sup>-3</sup> ) كثافة مادة الغشاء, ( a cm<sup>2</sup>.) مساحة الغشاء. ان عملية ايجاد كتلة الغشاء تمت باستخدام ميزان من النوع ( Precisa XB 220A ) بحساسيه مقدارها ( 10<sup>-4</sup> gm.) ولتحديد طبيعة التركيب البلوري للأغشية المحضرة قيد الدراسة قبل عملية التشويب وبعدها استخدم جهاز الحيود

للأشعة السينية (X-ray diffraction) من النوع (SHIMADZU Japan XRD 6000) باستعمال مصدر النحاس (CuK $\alpha$ ) بالمواصفات الآتية :-

- Source CuK $\alpha$  radiation of wavelength ( $\lambda = 1.54062 \text{ \AA}$ )
- Current=20 mA
- Voltage=4KV
- Scanning Speed =5 cm/min

الذي يسجل الشده دالة لتغير قيمة زاوية براك ( $2\theta$ ) ومنها حسبت المعاملات والثوابت ( $a, d, h, k, l$ ) من المعادلة: [9]

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

إذ تمثل ( $n$ ) مرتبة الانعكاس, ( $d$ ) المسافة بين السطوح اما قيمة ثابت الشبيكة ( $a$ ) فيمكن ان نجده من المعادلة: [10]

$$a = d (h^2 + k^2 + l^2)^{1/2} \dots \dots \dots (3)$$

إذ تمثل ( $h, k, l$ ) معاملات ملر. اما الحجم الحبيبي ( $D$ ) فيحسب بمعادله شيرر: [11]

$$D = K_1 \lambda / B_1 \cos\theta \dots \dots \dots (4)$$

إذ ( $\theta$ ) زاوية الحيود, ( $k_1$ ) معامل يأخذ القيمة (0.9), ( $B_1$ ) يساوى (FWHM) اذن سيكون الحجم الحبيبي (G.S) وفق المعادلة: [11]

$$G.S = (0.9) \lambda / B_{(FWHM)} \cos\theta \dots \dots \dots (5)$$

اما كثافة الانخلاعات ( $\delta$ ) فإنها تعطى بالعلاقة: [12]

$$\delta = 1 / (G.S)^2 \dots \dots \dots (6)$$

ثم نجد عدد الذرات في وحدة المساحة ( $N_0$ ) من العلاقة: [12]

$$N_0 = t / (G.S)^3 \dots \dots \dots (7)$$

إذ ( $t$  cm) سمك العشاء. ولتحديد الخواص البصرية للأغشية المحضرة قبل التلدين وبعده تم قياس طيف النفاذية والامتصاصية باستخدام جهاز: (UV-Spectrophotometer 1800) وضمن المدى (300-1100) nm, إذ استخدم طيف الامتصاص لحساب فجوة الطاقة البصرية ( $E_g^{opt}$ ) بعد حساب معامل الامتصاص ( $\alpha$ ) مقابل كل طول موجي بالمعادلة: [13]

$$A = 2.303(A/t) \dots \dots \dots (8)$$

إذ تمثل ( $A$ ) الامتصاصية اما طاقة الفوتون الساقط فيمكن حسابها دالة للطول الموجي وذلك على وفق المعادلة: [10]

$$E (ev) = 1240 / \lambda \dots \dots \dots (9)$$

بعدها تم حسبت فجوة الطاقة من معادلة تاوس: [9]

$$(\alpha h\nu) = B(h\nu - E_g^{opt})^r \dots \dots \dots (10)$$

إذ  $B$  ثابت تناسب كثافة الحالات في حزمة التكافؤ والتوصيل, اما قيمة الثابت ( $r$ ) تعتمد على نوع الانتقال البصري مسموح او غير مسموح فيأخذ القيم  $1/2, 3/2$  للانتقالات المباشرة والقيم  $2, 3$  للانتقالات غير المباشرة. وحسبت الثوابت البصرية مثل معامل الانكسار ( $n$ ) ومعامل الخمود ( $K$ ) وثابت العزل الكهربائي ( $\epsilon$ ) بجزأيه الحقيقي والخيالي لمدى الطول الموجي (300-1100) nm. يمكن ان نجد معامل الانكسار ( $n$ ) من المعادلة: [14]

$$n = \left[ \frac{(1+R)}{(1-R)} \right]^{1/2} + \left[ \frac{(1+R)}{(1-R)} \right] \dots \dots \dots (11)$$

علما ان ( $R$ ) يمثل الانعكاسية التي تحسب على وفق المعادلة: [13]

$$R = 1 - T - A \dots \dots \dots (12)$$

( $T$ ) تمثل النفاذية ونجدها من المعادلة: [13]

$$T = 10^{-A} \dots \dots \dots (13)$$

اما معامل الخمود ( $K$ ) فعلاقته مع معامل الامتصاص ( $\alpha$ ) يعطى بالعلاقة الآتية: [15]

$$K = \alpha \lambda / 4\pi \dots \dots \dots (14)$$

اما بالنسبة الى ثابت العزل الكهربائي ( $\epsilon$ ) فيعطى بالعلاقة: [12]

$$\epsilon = \epsilon_r - i\epsilon_i \dots \dots \dots (15)$$

إذ ( $\epsilon_r$ ) الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي ونجده بالعلاقة: [14]

$$\epsilon_r = n^2 - K^2 \dots \dots \dots (16)$$

اما ( $\epsilon_i$ ) فيمثل الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي ونجده بالعلاقة: [14]

$$\epsilon_i = 2nK \dots \dots \dots (17)$$

## النتائج والمناقشة

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها ومقارنتها مع البحوث والدراسات المنشورة بهذا المجال نوجز الاتي:

### - الخواص التركيبية

أظهرت نتائج الفحص بتقنية حيود الأشعة السينية (X-ray Diffraction) والمبينة بالشكل (1) أن جميع أغشية تيليرايد الكادميوم المحضرة (النقي منها والمشوب) كانت ذو تركيب بلوري متعدد التبلور (Polycrystalline) ومن النوع المكعب (Cubic) مع نمو ذري بثلاثة اتجاهات بلورية هي [111], [220], [311] وكان المميز والسائد منها (تبعاً لطريقة الترسيب المعمول بها) في الاتجاه [111] ولجميع الأغشية المحضرة، وهذا يتفق مع ما جاء في البحوث المنشورة [5,6] والدراسات [16]. وعند مقارنة النتائج التي تم التوصل إليها من فسخ السطوح (dhkl) وزوايا الحيود البلوري المقابلة لمواقع القمم المميزة لنماذج الأغشية المحضرة مع ما جاء من القيم الواردة في البطاقة المرقمة (15-0770) للمؤسسة الأمريكية لفحص المواد "American Standard For Testing Materials" (ASTM) الشكل (2)، نجد أن النتائج كانت ذو تطابق جيد، كما مبين في الجدول (1)، كما تبين أيضاً من نتائج حيود الأشعة السينية التأثير الواضح لنسب التشويب المستعملة على طبيعة التركيب البلوري لمادة الأغشية النقية (CdTe)، ويتجلى ذلك بوضوح من خلال ملاحظة أنموذج حيود الأشعة السينية لغشاء المادة (CdTe) المحضّر بصورته النقية والمشوبة، الشكل (1)، ومقارنته بنماذج حيود الأشعة السينية لنسب التشويب المستعملة (% 1, 3, 5)، إذ يتبين أن القمم المميزة قد تأثرت بالتشويب فقلت شدة القمم عند التوجه [220], [311] وللأغشية المحضرة المشوبة وهذا يؤكد أن إضافة الشوائب بنسب محددة أدى إلى زيادة تبلور مادة الغشاء أي أدى إلى تحسين التركيب البلوري وهذا يوافق [17]. أما بالنسبة إلى مواقع القمم المميزة فقد كان لنسب التشويب المستعملة تأثيراً ظاهراً في ذلك، إذ يتبين من ملاحظة الجدول (1) أن هناك إزاحة قليلة جداً في مواقع القمم (2θ) لمادة الأغشية المحضرة بعد عملية التشويب عنها قبل التشويب ولمرتبة عشرية ثانية بعد الفاصلة، يمكن تفسير هذه الإزاحة القليلة بالاعتماد على فكرة حصول انفعال (إجهاد) داخل التركيب البلوري ناشئ عن دخول ذرات الشائبة في المادة المشابة واحتلالها مواقعاً في التركيب البلوري لها الأمر الذي يؤثر في المسافة بين فسخ السطوح (dhkl) ومن ثم على زوايا الحيود (2θ) وهذا يعني أن التشويب قد أدى إلى اختلاف في التركيب البلوري. وبالرجوع إلى الشكل (1) يتبين كيف أن شدة القمة الأولى ذات الاتجاهية المميزة [111] بدأت بالتزايد التدريجي بزيادة نسب التشويب المأخوذة وهذا يناقض [18]. ويعزا السبب في ذلك إلى أن درجة تبلور مادة الغشاء قد زادت بزيادة نسب التشويب، وإلى أن ذرات المادة الشائبة عملت على تكوين مستويات ذرية خاصة بها داخل شبكية البلورة للمادة المشابة، ومن ثم فإن المستويات الذرية لكل من ذرات المادة الشائبة والمادة المشابة سوف تعمل على عكس الأشعة السينية الساقطة عليها بشدة أكثر، وهذا يسبب ارتفاعاً في شدة القمم الظاهرة في الطيف.

حسب معدل الحجم الحبيبي (Grain Size) للنماذج المحضرة من الأغشية وذلك باستعمال معادلة شرر (5) ثم حساب كثافة الانخلاعات (δ) وعدد الطبقات البلورية المتكونة (N<sub>0</sub>) في الأغشية المحضرة وذلك بالاستعانة بنتائج حيود الأشعة السينية للنماذج المحضرة وبعتماد المعادلتين (6)، (7) على التوالي، ووجد أن الحجم الحبيبي يتزايد عند زيادة نسب التشويب حتى يبلغ أعلى قيمة له عند التشويب بنسبة (3%) وهي (66.522nm)، وهذا يتناقض مع نتائج البحث [18] كما مبين ذلك في الجدول (2). يعزا السبب في ذلك إلى أن عملية التشويب أدت إلى إضافة ذرات إلى التركيب البلوري مما سبب تقليل بنسبة الحدود البلورية ومن ثم هذا يؤدي إلى حجم حبيبي نهائي أكبر فضلاً عن أن الشوائب المضافة تعمل حواجزاً لنمو الحبيبات داخل التركيب البلوري، وهذا ما تم ملاحظته عند حساب معدل الحجم الحبيبي لنماذج أغشية تيليرايد الكادميوم المشوبة بالنحاس بنسبة تشويب (3%)، إذ يلاحظ من الجدول (2) أن معدل الحجم الحبيبي للأغشية المشوبة يكون في تزايد مستمر بزيادة نسب التشويب ثم يقل قليلاً عند النسبة (5%)، في الوقت الذي تتناقص فيه قيم عرض المنحني عند منتصف الشدة (FWHM) لتبلغ أقل عرض لها عند النسبة (3%) تبعاً لمعادلة شيرر، ثم تبدأ بالتزايد عند النسبة (5%) الأمر الذي يبين أن الخصائص التركيبية للغشاء المشوب بالنحاس بنسبة تشويب (5%) قد توقفت عن التحسن عند هذه النسبة وهذا يتوافق مع [12].

### - الخواص البصرية

أن لدراسة طيفي الامتصاصية والنفاذية جل الفائدة العملية التطبيقية التي يمكن من خلالها استخدام مادة الغشاء المحضّر له. تعتمد الامتصاصية على طاقة الفوتونات الساقطة على المادة وعلى نوع المادة وطبيعة تركيبها البلوري [5]. وقد أجريت جميع قياسات طيفي الامتصاصية والنفاذية ضمن مدى الأطوال الموجية (300-1100) ولجميع الأغشية المحضرة بنوعها النقي والمشوب. يوضح الشكل (3) طيف الامتصاصية دالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية تيليرايد الكادميوم النقية والمشوبة بالنحاس. إذ يتبين من الشكل أن امتصاصية الأغشية المحضرة بنوعها النقي والمشوب تبدأ بشكل عام بالزيادة التدريجية مع زيادة طاقة الفوتونات الضوئية الساقطة (نقصان في الطول الموجي) وهذه الزيادة تكون بسرعة عندما تكون طاقة الفوتونات الضوئية الساقطة مساوية بقيمتها أو أكبر من قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة كافة مما يدل على حدوث الانتقالات الالكترونية المباشرة ويكون ذلك عادةً عند الطول الموجي المقابل لحافة الامتصاص الأساسية أو ما يسمى بطول موجة القطع الذي يكون لغشاء تيليرايد الكادميوم النقي مساوياً إلى (800 nm) ويأخذ بالزيادة التدريجية بنقصان قيمة فجوة الطاقة البصرية - بزيادة

نسب التشويب - يتبين من الشكل (3) أن الامتصاصية تتزايد بشكل ملحوظ بزيادة نسب التشويب المستعملة % (1,3) وتبدأ بالتناقص عند النسبة % (5) ولاسيما في منطقة الأشعة تحت الحمراء والقريبة منها (800-1100)nm وهذا يوافق [12]. وهذا يُعزى إلى زيادة كثافة المستويات الموضعية التي كونتها ذرات المادة الشائبة في المادة المشابة ما بين حزمتي التكافؤ والتوصيل , إذ تعمل هذه المستويات سلماً للانتقال الإلكترونيات الماصة للفوتونات ذات الطاقات الأقل من قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة ومن ثم حدوث الامتصاص لها مما يدل على ان التشويب قد ادى تحسين التركيب البلوري بتقليل فجوة الطاقة البصرية فقلت بذلك النفاذية البصرية. سجلت أغشية تيليرايد الكادميوم المشوبة بالنحاس بنسبة تشويب (3%) في الدراسة التي أجريت أعلى امتصاصية مقارنةً مع امتصاصية بقية الأغشية المحضرة , إذ بلغت الامتصاصية لهذه النسبة من التشويب بين % (80-100) لمديات الأطوال الموجية الواقعة ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي nm (400 - 800) وهذا ما قابلهُ أوطاً نفاذية مستحصلة للنسبة نفسها من التشويب ., يمتاز طيف النفاذية بأنه معاكس بسلوكه لطيف الامتصاصية , إذ يوضح الشكل (4) طيف النفاذية دالة لطاقة الفوتونات الساقطة لأغشية تيليرايد الكادميوم النقية والمشوبة بالنحاس, إذ يتبين من الشكل أن النفاذية تبدأ بشكل عام بالظهور عند الطول الموجي الذي يمثل الحد الفاصل بين امتصاصية مادة الغشاء ونفاذيتها أو ما يسمى بطول موجة القطع , ومن ثم تزداد النفاذية بصورة عامة بزيادة الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط على مادة الغشاء, أي عند الأطوال الموجية ذات الطاقات الواطئة وغير المؤدية لحدوث عملية الامتصاص البصري بطريقة أو بأخرى . وأن هذه الزيادة سرعان ما تبدأ بالتناقص التدريجي بزيادة نسب التشويب المأخوذة , بسبب ذرات الشوائب وما يرافقها من تكوين مستويات موضعية ضمن فجوة الطاقة المحظورة ما بين حزمتي التكافؤ والتوصيل ضمن التركيب البلوري لمادة الغشاء ومن ثم زيادة الامتصاصية ونقصان في النفاذية . إذ أن طيف النفاذية للأغشية المحضرة كافة يكون في أدنى قيمة له عند الأطوال الموجية الواقعة ضمن المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي ولاسيما تلك التي تحقق ( $\lambda < \lambda_{cut\ off}$ ) , وهذا يعزى إلى أن الامتصاصية تكون في أوجها عند الأطوال الموجية ذات الطاقات المساوية والأكبر من قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة كافة التي تحقق شرط حدوث عملية الامتصاص البصري ومن ثم الانتقال الذاتي للإلكترونات وهذا يوافق [5]. والسبب في ذلك هو ان الفوتونات التي تزيد طاقتها عن قيمة فجوة الطاقة تقلل من قيمة معامل الامتصاص والذي يقل بدوره ايضا عند ازدياد نسبة التشويب وكما هو واضح من الشكل (5) الذي يبين ان جميع الاغشية المحضرة تمتلك قيم معامل امتصاص ( $\alpha > 10^4$ ) وهذا يعني احتمالية حصول الانتقالات المباشرة. وهذا ما يتفق مع الدراسات [6,17] . وحسبت قيم فجوة الطاقة البصرية ( $E_{g^{opt}}$ ) من معادلة تاوس المعادلة (10) التي استخدمت لإيجاد نوع الانتقال البصري المباشر المسموح لأغشية تيليرايد الكادميوم (CdTe) من خلال رسم العلاقة بين  $(\alpha h\nu)^2$  مقابل طاقة الفوتون (hv) واختيار الجزء المستقيم الذي يقطع محور السينات عند  $(\alpha=0)$  يتم منها تحديد قيمة فجوة الطاقة البصرية ( $E_{g^{tpo}}$ ) وكما مبين بالشكل (6). يبين الجدول (3) تغير قيم فجوة الطاقة البصرية دالة لتغير نسب التشويب إذ يتبين ان فجوة الطاقة ( $E_{g^{opt}}$ ) تقل من (1.56 eV) الى (1.43eV) بزيادة نسبة التشويب ولكنها تزداد عند النسبة % (5) الى (1.57eV) ويعزى السبب في ذلك الى ان عملية التشويب تعمل على اضافة مستويات موضعية بين حزمتي التكافؤ والتوصيل تقلل من قيمة عرض فجوة الطاقة الذي يؤدي الى تغيير في التركيب البلوري لمادة الغشاء . الشكل (7) يبين تغير قيم معامل الانكسار مقابل تغير طاقة الفوتونات الساقطة ضمن مدى الطول الموجي nm (300-1100) دالة لتغير نسب التشويب. فمن خلال هذا الشكل يمكن ملاحظة ان معامل الانكسار يقل بزيادة نسبة التشويب وهذا يتوافق مع البحوث [12,19] . ويعزى السبب في ذلك الى ان عملية التشويب ادت الى اضافة ذرات الشائبة ضمن التركيب البلوري لأغشية (CdTe) مما ادى الى اضافة مستويات جديدة تقوم على عكس الأشعة الساقطة بكمية أكثر مما يزيد من شدة الأشعة المنعكسة ومن ثم تقليل معامل الانكسار وكما مبين بالجدول (3) والشكل (7) . اما بالنسبة لتغير قيم معامل الخمود (K) لأغشية (CdTe) مع تغير طاقة الفوتونات الساقطة ولنسب التشويب المختلفة يمكن ان نلاحظ من الشكل (8) ان قيم معامل الخمود تقل بزيادة نسب التشويب وهذا السلوك مشابه لسلوك معامل الامتصاص وللأسباب المذكورة انفسها سابقا ويتوافق مع البحوث [12,19]. إذ يلاحظ من الشكل (8) ان معامل الخمود يأخذ اقل قيمة له عند الطول الموجي المقابل لقيمة فجوة الطاقة ولجميع نسب التشويب المستعملة . يبين الشكل (9), والشكل (10) تغير قيم ثابت العزل الكهربائي مع تغير طاقة الفوتون لأغشية (CdTe) بجزئية الحقيقي والخيالي على التوالي دالة لتغير نسب التشويب . نلاحظ من الشكل (9) ان قيم ( $\epsilon_r$ ) تقل بزيادة نسب التشويب وذلك لأن تغير قيم ثابت العزل الكهربائي الحقيقي تعتمد بشكل اساسي على حساب معامل الانكسار الذي يقل بزيادة نسبة التشويب . وهذا ما نلاحظه من الشكل (10) ايضا إذ يقل ثابت العزل الكهربائي ( $\epsilon_i$ ) بجزئه الخيالي مع زيادة نسبة التشويب لأن قيمته ترتبط بقيم معامل الخمود التي ترتبط بدورها بقيم معامل الامتصاص وهذا يتوافق مع المصادر [12,19]. ويبين لنا الجدول (3) قيم الثوابت البصرية لأغشية (CdTe) قبل عملية التشويب وبعدها بالنسب المذكورة سابقا وعند الطول الموجي nm (600).

## الاستنتاجات

1 - لم تؤثر شائبة النحاس في طبيعة التركيب البلوري لأغشية (CdTe) المتعدد التبلور بالاتجاه السائد [111] , انما ظهر تأثيره بمواقع القمم وشدهتها بنسبه المختلفة بشكل محدود فسبب تحسن التركيب البلوري عدا النسبة 5% التي أثرت عكسيا



- 2 – جميع الأغشية النقية والمشوبة تمتلك معامل امتصاص عال ( $\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ) بسبب حدوث انتقالات مباشرة
- 3 – أعلى امتصاصية سجلتها الأغشية المشوبة بنسبة 3% بلغت (80-100%) للأطوال الموجية الواقعة في المنطقة المرئية (400-800)nm، لذلك يستعمل الغشاء المحضر بمثل هذه الطريقة و بنسبة التشويب نفسها من النحاس لتصنيع ثنائي ضوئي كاشف للإشارة البصرية في منظومات الاتصالات يعمل في المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي وكذلك في صناعة الخلايا الشمسية المجهزة للقدرة .
- 4 – نفاذية أغشية (CdTe) تقل بزيادة نسب التشويب عدا النسبة 5%، لذا يمكن استعمال الأغشية المحضرة في مثل هذه الظروف شبائيك للمركبات والطائرات ونواظدا للأشعة تحت الحمراء والكواشف ضمن منطقة القريبة من الطيف المرئي
- 5 – قلت فجوة الطاقة البصرية للأغشية المحضرة بزيادة نسبة التشويب عدا نسبة 5% فعندها زادت قيمة فجوة الطاقة فيدل ذلك على تردي الخواص التركيبية والبصرية عند هذه النسبة.
- 6 – أقل معامل انكسار نتج عند النسبة 3%، إما أقل معامل خمود فكان عند النسبة 5% وكذلك الحال بالنسبة الى ثابت العزل الكهربائي .

## المصادر

- 1- Niraula, M. ; Yasuda, K. ; Ishiguro, T. ; Kawachi, Y. ; Morishita, H. ; and Agatu, Y.(2003),METAL-ORGANIC vapor-phase Epitaxy Growth and characterization of thick CdTe layers on (100)GaAs(100)GaAs/Si substrates, JOURNAL OF ELECTRIC MATERIALS,32,7,728-732
- 2- Lovergin,hbujnnnujs, N.; Prete, P.; Topfer I.; Marzo F.; and Maximum, A.M. (2005), Hydrogen Transport Vapor Growth and properties of thick CdTe Epilayers for x-ray Detector ,Application Crystres Technol,140,10-11
- 3- Neretina ,S.; Zhang Q.; hughes r.a.; Bitten J.F.; Sochinsk II N.V. ; Preston, J.S. and Mascher, P. (2006),The role of lattice Mismatch in the Deposition of CdTe Thin film, Journal of Electric Materials, 35, 6
- 4- Pdop, C.; Mora-Sero I.; Manuera C.; Garia de Andres J.; Munoz-Sanjose V.; and Ocal, C. (2006), Twin coarsening in CdTe(111)film Grown on GaAs(100),Acta material ,54 , 4285-4291
- 5- Zengir, B.; Bayhan, M. and Kavasoglu, S. (2006) ,Optical Absorption in Polycrystalline CdTe Thin Films, Journal of Arts and Science Sayi: 5, Mayis .
- 6- Babkair, S.S. (2010) Charge Transport Mechanisms and Device Parameters of CdS/CdTe Solar Cells Fabricated by Thermal Evaporation, Sci. , 22( 1)21-33 .
- 7- Sree Harsha, K.S. (2006),Principles of physical Vapor Deposition of thin films ,science Pirect"1<sup>st</sup> Edition .
- 8- Kobayashi, M. and anerg, Z. (1956 ),Chem.Abstr, (69),1911, pp1-6 Alloy with 52-97.3 at Te % were analyz, 50,16250(face diagram)
- 9- Kittel, C. (1986), Introduction of solid state physics John Wiley and sons, 5<sup>th</sup> Edition.
- 10- Yousif, M.G.,(1989) ,solid state physics,1,book University of Baghdad
- 11- Powlowski, L. (2007) ,The Science and Engineering of Thermal Spray coating , John Wiley and sons"2<sup>nd</sup> Edition, France, book.
- 12- Ali, S.M. (2011),Studies Structure and optical properties of CdTe thin films dopant of Zn, Baghdad University, رسالة ماجستير,
- 13- Pankove, J.I. (1971),Optical processes in Semiconductors, Prentice-Hall New Jersey,6,11.
- 14- Dresselhaus, M.S. (1998) ,Optical Properties of solids ,Part II ,book,Mc Graw-Hill, New York
- 15- Scholz, F. (2009),Compound Semiconductors,1<sup>st</sup>,book, England , John Wiley & Sons Ltd
- 16- Saha ,S. ; Pal, U. ; Sanataray, B. K. and Chanduri, A. K. (2009), Thin solid Films 164 , 289-296,
- 17- هناء ابراهيم محمد,(2008) الخواص الالكتروبصرية لاغشية CdTe الرقيقة المشوبة ب Zn " رسالة ماجستير ، كلية التربية /ابن- الهيثم ،جامعة بغداد.

18- Jin Li; Yang Linyu; Jian Jikang; Zou Hua, and Sun Yanfei, (2008), Effects of Sn-doping on morphology and optical properties of CdTe polycrystalline Films, Journal of Semiconductors, 30, 11

19- Mohammed, F.Y. (2009) Characterization Of CdTe/GaAs Heterojunction, Ph.D. , Thesis, College of Science , University of Baghdad .

جدول رقم (1) : مقارنة نتائج حيود الأشعة السينية لنماذج الأغشية النقية والمشوبة مع معلومات بطاقة المرقمة (ASTM) 15-0770

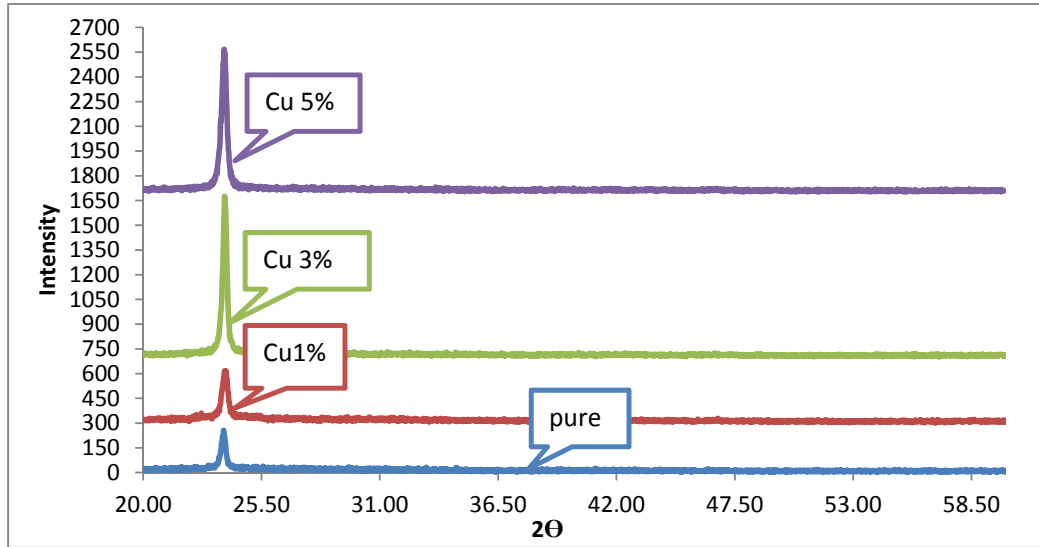
Sample	2θ (ASTM)	2θ Observed	d(Å) (ASTM)	d(Å) Observed	a(Å) (ASTM)	a(Å) Observed
pure	23.758	23.763	3.741	3.740	6.481	6.4795
	39.311	39.340	2.291	2.288		6.4721
	46.433	46.440	1.954	1.953		6.4794
1%Cu	23.758	23.760	3.741	3.741	6.481	6.4804
	39.311	39.340	2.291	2.288		6.4721
	49.433	46.440	1.954	1.953		6.4794
3%Cu	23.758	23.800	3.741	3.735	6.481	6.4697
	39.311	39.260	2.291	2.292		6.4848
	46.433	46.480	1.954	1.952		6.4741
5%Cu	23.758	23.760	3.741	3.741	6.481	6.4804
	39.311	39.340	2.291	2.288		6.4721
	46.433	46.440	1.954	1.953		6.4794

جدول رقم (2) : النتائج المستحصلة من حيود الأشعة السينية للأغشية النقية والمشوبة

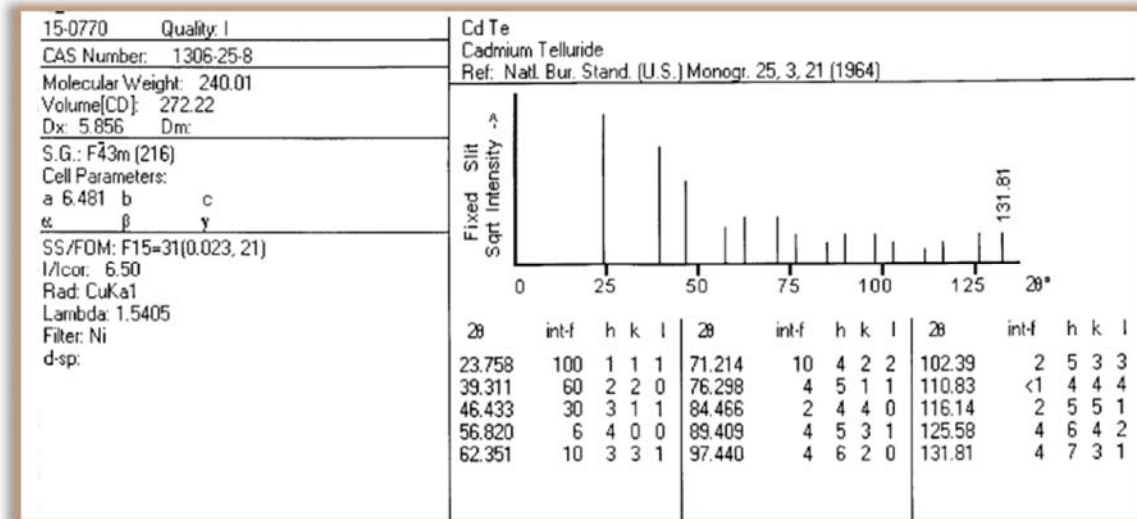
no	t (nm)	sample	G.S (nm)	$\delta * 10^{15}$ (m <sup>-2</sup> )	$N_o * 10^{15}$ (m <sup>-3</sup> )	FWHM (deg)
1	450	pure	38.322	0.611	12.764	0.2687
2	450	1%Cu	45.113	0.491	10.900	0.2654
3	450	3%Cu	64.877	0.238	3.660	0.2597
4	450	5%Cu	49.096	0.415	8.450	0.2599

جدول رقم (3) : قيم الثوابت البصرية للأغشية النقية والمشوبة بالنسب % (1,3,5) الطول الموجي (600) nm

Sample	Eg (eV)	$\alpha * 10^4$ /cm	n	K	Er	Ei
pure	1.55	3.234	2.844	0.184	6.976	0.662
Cu 1%	1.52	2.162	2.609	0.108	6.798	0.469
Cu 3%	1.43	2.861	2.740	0.153	6.862	0.539
Cu 5%	1.57	1.225	2.503	0.058	6.264	0.293

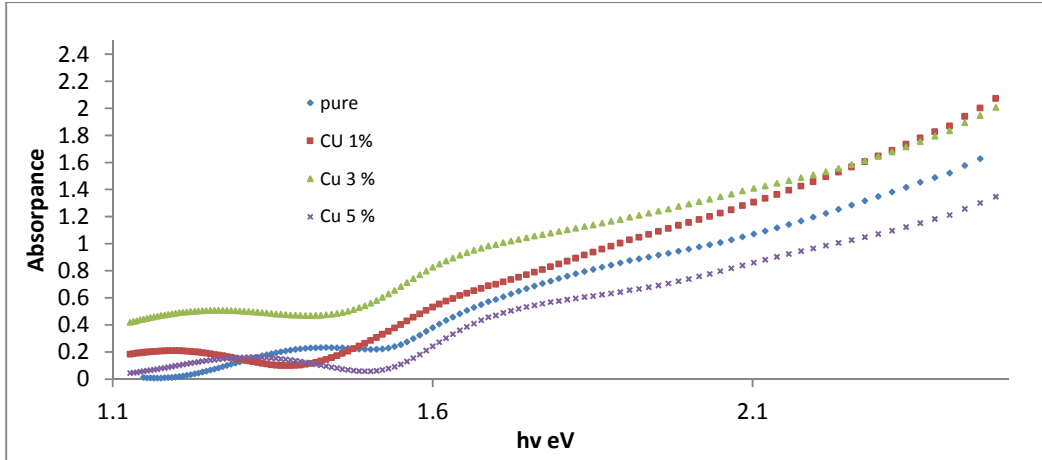


شكل رقم (1) : نماذج حيود الأشعة السينية للأغشية النقية والمشوبة بالنسب % (1,3,5)

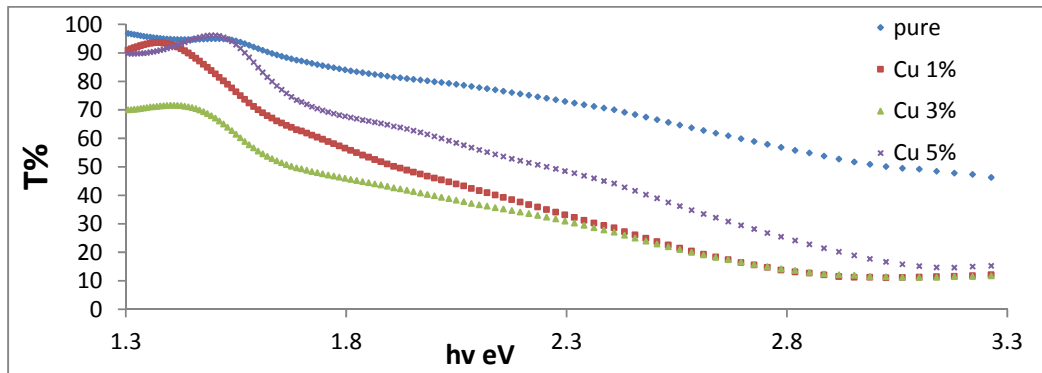


شكل رقم (2) : بطاقة المعلومات (ASTM) المرفقة 15-0770

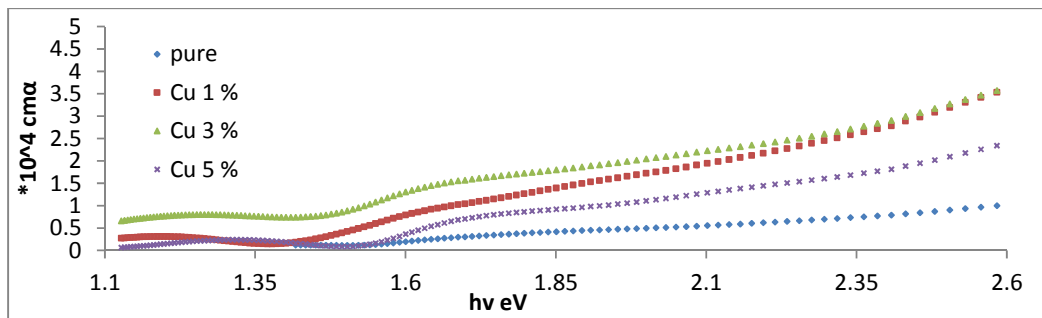




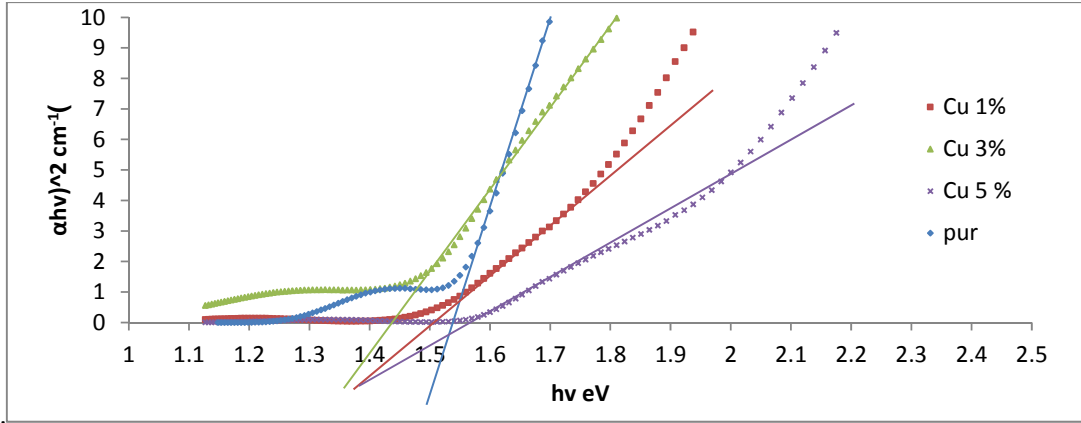
شكل رقم (3) : تغير الامتصاصية مع طاقة الفوتون الساقط دالة لتغير نسب التشويب



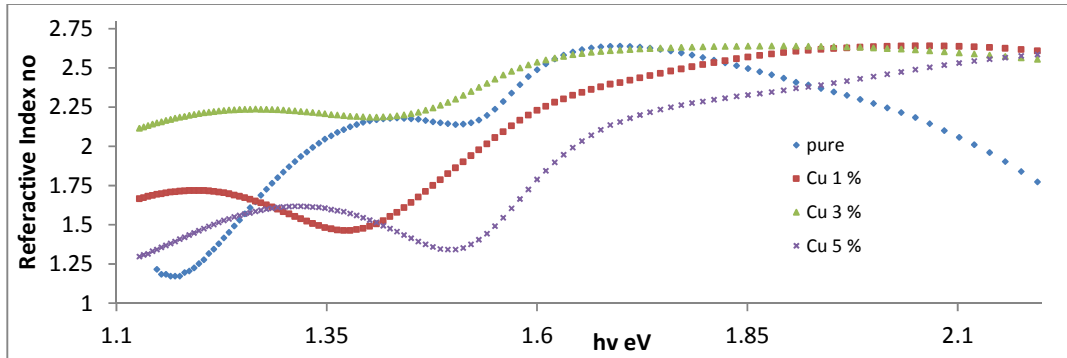
شكل رقم (4) : تغير النفاذية مع طاقة الفوتونات الساقطة دالة لتغير نسب التشويب



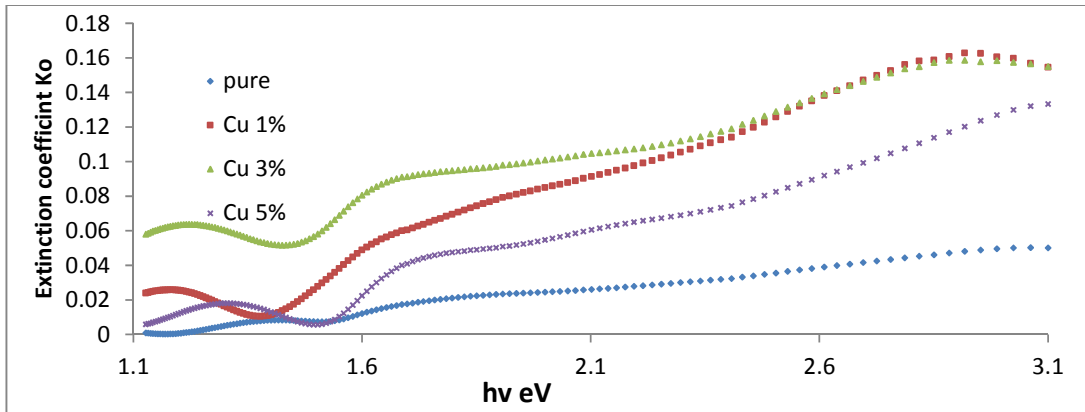
شكل رقم (5) : تغير قيم معامل الامتصاص مع طاقة الفوتونات الساقطة دالة لنسب التشويب



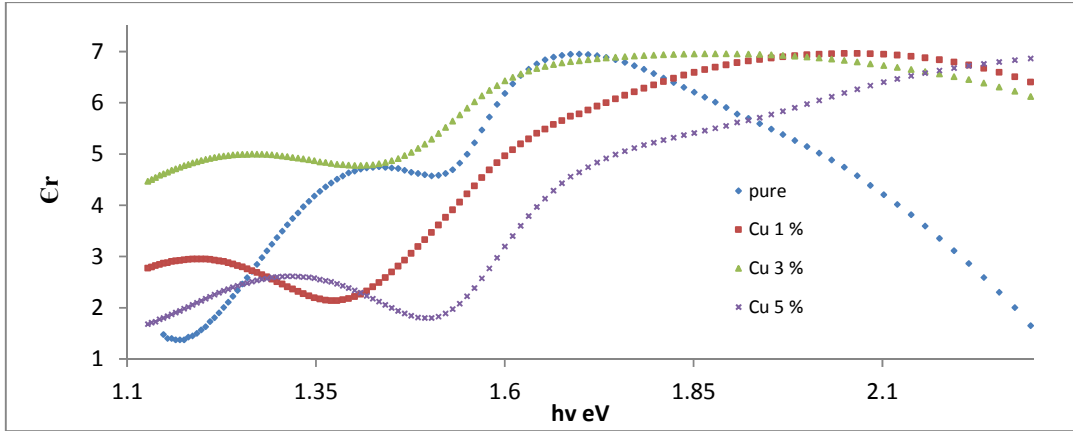
شكل رقم (6) : تغير طاقة الفوتون دالة لنسب التشويب



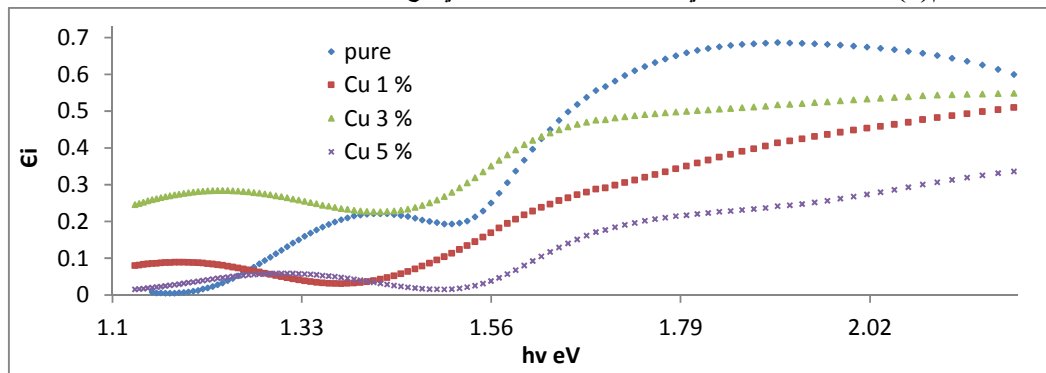
شكل رقم (7) : تغير معامل الانكسار مع طاقة الفوتونات الساقطة دالة لتغير نسب التشويب



شكل رقم (8) : تغير معامل الخمود مع طاقة الفوتونات الساقطة دالة لتغير نسب التشويب



شكل رقم (9): تغير الجزء الحقيقي من ثابت العزل الكهربائي مع طاقة الفوتون الساقط دالة لتغير نسب التشويب



شكل رقم (10): تغير الجزء الخيالي من ثابت العزل الكهربائي مع طاقة الفوتون الساقط دالة لتغير نسب التشويب

## Effect of Doping Cu on the Structural and Optical Properties of (CdTe) Thin Films

Samir A.Maki  
Bushra K.Hasson  
Salam H.Feyad

Dept. of physics/ College of Education For Pure Science (Ibn Al-Haitham)/  
University of Baghdad

Received in:5May2014 , Accepted in:22June2014

### Abstract

In this research we studied the structural and optical properties of (CdTe) thin films which have been prepared by thermal evaporation deposition method on the glass substrate at R.T with thickness  $(450 \pm 25)$  nm., as a function of doping ratio with copper element in (1,3,5) % rate .The structure measurement by X-ray diffraction (XRD) analyses shows that the single phase of (CdTe) with polycrystalline structure with a preferred orientation [111].

The optical measurement shows that the (CdTe) films have a direct energy gap, and they decrease with the increase of doping ratio reaching to 5% . The optical constants are investigated and calculated, such as absorption coefficient ( $\alpha$ ), refractive index (n) , extinction coefficient (k) and the dielectric constants ( $\epsilon$ ) with both parts real and imaginary for the wavelengths in the range (300-1100) nm, before and after doping processes.

**Keywords:** Cadmium Telluride (CdTe), Optical properties, Structural properties, Thermal evaporation ,Thin films, doping