

The effect of irradiation and the depositing substrate temperature on the optical properties of (CuInSeTe) thin films

دراسة تأثير التشعيع ودرجة حرارة الترسيب على الخصائص البصرية لأغشية (CuInSeTe) الرقيقة

م.م. كاظم مصطفى كاظم* م.م. دعاء عادل عمران* م.م. حمزة عبد الكاظم مزهر*
* جامعة كربلاء-كلية العلوم-قسم الفيزياء-فيزياء الحالة الصلبة-أغشية رقيقة

kmmk_79@yahoo.com

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة تأثير عملية التشعيع بأشعة كاما طاقتها (0.66 MeV) وتأثير تغير درجة حرارة قاعدة الترسيب على الخصائص البصرية والمتمثلة بـ (الانعكاسية، معامل الامتصاص، معامل الخمود، معامل الانكسار، و ثابت العزل الكهربائي بجزيائه الحقيقي والخيالي) لأغشية (CuInSeTe) المحضرة بتقنية التبخير الحراري بالفراغ على قواعد من الزجاج و بدرجات حرارة مختلفة ($T_s = \text{Room Temperature}, 100^\circ\text{C}, 150^\circ\text{C}$)، وقد أظهرت الدراسة أن تغير درجة حرارة الترسيب وعملية التشعيع يؤديان الى تغير في قيم الخصائص البصرية للأغشية المحضرة.

Abstract

In this research; The effect of irradiation by gamma radiation (0.66 MeV) and the substrate temperature on the optical properties such as (reflectance ,absorption coefficient , extinction coefficient ,refractive index , real and imaginary parts of the dielectric constant) have been studied. These thin films were deposited by the thermal evaporation under vacuum technique on the glass substrates heated at different substrate temperature ($T_s = \text{Room Temperature}, 100^\circ\text{C}, 150^\circ\text{C}$). The study showed that; changing substrate temperature and irradiation process were caused change the optical properties for the prepared thin films.

1- المقدمة

تُعد فيزياء الأغشية الرقيقة من الفروع المهمة لفيزياء الحالة الصلبة والذي تبلور عنها وأصبح فرعاً قائماً بحد ذاته، وهذا الفرع يتعامل مع نبائط دقيقة تنصف بأنها ذات سمك صغير جداً لا يتجاوز ($1\mu\text{m}$)، إذ تُعد تقنية الأغشية الرقيقة واحدة من أهم التقنيات التي ساهمت في تطور دراسة أشباه الموصلات، وأعطت فكرة واضحة عن العديد من خواصها الفيزيائية والكيميائية التي يتعذر دراستها وهي في حالتها الحجمية [1].

للأغشية الرقيقة أهمية صناعية وتكنولوجية، فهي تدخل في أكثر التطبيقات الإلكترونية، إذ تم استخدامها في نبائط الذاكرة المغناطيسية وفي الدوائر المتكاملة وكذلك في دوائر الفتح والغلق وفي صناعة الترانزستورات والكواشف والخلايا الشمسية. كما ان عملية تشعيع الأغشية الرقيقة بطاقة عالية من الإشعاع مثل أشعة كاما يحدث تغير ليس فقط على شكل الأغشية بل في الخواص الفيزيائية، وان دراسة هذا التغير يوفر معلومات غاية في الأهمية عن هذه الخواص ولاسيما الخواص البصرية، إذ تكون هذه المعلومات مفيدة في العديد من التطبيقات العملية.

اتجهت اساليب البحث الحديثة الى صناعة خلايا فوتوفولتائية خفيفة الوزن ومرنة تدخل في تحسين اداء الخلايا الشمسية ، إذ تُصنع هذه الخلايا من سبائك لمواد مختلفة تمتاز هذه المواد بان لها معامل امتصاص من مرتبة (10^5 cm^{-1}) والذي يمثل امتصاصية عالية بحدود (90%) عند سمك بحدود ($0.2\mu\text{m}$) [2]، إذ تُعد هذه الخاصية مفيدة لاعتبارات الوزن والمرونة ،ومن بين تلك السبائك التي جذبت اهتمام الباحثين ($\text{CuInSe}_2 - \text{CIS}$) ، ($\text{CuIn}(\text{S}, \text{Se})_2 - \text{CISS}$) ، ($\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2 - \text{CIGS}$) ، إذ تُصنع هذه الخلايا على شكل طبقات بسمك قياسي يتراوح بين ($1.5 - 2 \mu\text{m}$) [3]، وبصورة عامة فان كفاءة التحويل للخلايا الشمسية تعتمد على سمك الطبقة الممتصة إذ تزداد كلما قلَّ سمك الطبقة الممتصة وكذلك تعتمد على طبيعة خشونة سطوح الاغشية، وتعد هذه السبائك المشابهة للزجاج مفيدة لاعتبارات الوزن والمرونة في صناعة الخلايا الشمسية [4]. بالإضافة الى انها تتطلب درجة حرارة ترسيب اقل بكثير من الزجاج لكون درجة حرارة الانتقال الزجاجي لها اقل [5-6]، وقد استخدمت هذه الطبقات الشبيهة بالزجاج مثل (CIGS) ، (CIS) وبشكل واسع مؤخراً في تصنيع خلايا شمسية بكفاءة تحويل فوتوفولتائية بحدود (10.2%) لما تمتاز به من معامل امتصاص عال في الخلايا الشمسية الرقيقة وفجوة طاقة مناسبة وكثافة حاملات شحنة عالية [7]، وتستخدم العديد من التقنيات الفيزيائية والكيميائية في تحضير هذه الاغشية منها (التبخير الحراري بالفراغ، الترسيب

الكهربائي، التحلل الكيميائي الحراري، التبخير الكيميائي الحراري، والترسيب بالحمام الكيميائي)، وقد استخدمنا في هذا البحث تقنية التبخير الحراري بالفراغ لتحضير الأغشية الرقيقة.

يهدف البحث إلى تحضير أغشية (CuInSeTe) الرقيقة بتقنية التبخير الحراري بالفراغ ودراسة تأثير تغير درجة حرارة الترسيب وعملية التشعيع بأشعة كاما على الثوابت البصرية وبعض الخصائص البصرية المتمثلة بنوع الانتقال وفجوة الطاقة البصرية.

2- العمل التجريبي

خُصرت سبائك (CuInSeTe) بتقنية الاخمد الحراري. استخدمت العناصر (Cu, In, Se, Te) وبنقاوة عالية (99.999%) وبالنسب الوزنية المئوية (25%) لكل عنصر وقد تم قياس الاوزان المناسبة بواسطة ميزان الكتروني حساسيته (10^{-4} g)، وضعت المواد في انبوبة كوارتز طولها (25 cm) وقطرها (0.8 cm) مفرغة من الهواء وتحت ضغط بحدود (10^{-5} Torr)، سُخنت الانبوبة ببطء بزيادة درجة حرارة الفرن بنسبة (4°C/minute) مع التحريك المنتظم للانبوبة بشكل مستمر بواسطة قضيب من السيراميك الى ان وصلت درجة الحرارة الى (1100°C)، استمرت عملية تحريك الانبوبة بشكل منتظم تحت درجة الحرارة هذه لمدة (12 hours) الى ان حصلنا على مزيج منصهر للمواد، بعد ذلك تمت عملية التبريد السريع للمزيج بواسطة الاخمد بالهواء للحصول على سبيكة متجانسة شبيهة بالزجاج وزنها، استخدمت هذه السبيكة لتحضير أغشية (CuInSeTe) الرقيقة بتقنية التبخير الحراري بالفراغ على قواعد من الزجاج عند درجات حرارة مختلفة (درجة حرارة الغرفة، 100°C ، 150°C) وتحت ضغط بحدود (10^{-5} Torr) وبسمك بحدود ($0.5\mu\text{m}$). وقد تمت عملية التشعيع باستخدام نظير السيزيوم (^{137}Cs) صُنِع سنة (2011) وبفعالية (3.7 MBq) وعمر النصف له (30 y) وبيعت اشعة كاما بطاقة (0.66 MeV)، إذ تم تشعيع الأغشية لمدة (360 hour) متواصلة وكان مقدار التعرض الاشعاعي للأغشية (10^4 Rad) اي بمعدل تعرض اشعاعي مقداره (27.77 Rad/hour). اشتملت القياسات البصرية على قياس طيفي الامتصاصية والنفاذية لمدى الأطوال الموجية (400-1100 nm) للأغشية المحضرة قبل وبعد عملية التشعيع باستخدام المطياف من نوع Shimadzu (UV-1650 UV-Visible Recording) ذي الحزمتين، إذ اجريت كافة القياسات البصرية في ظروف المختبر الاعتيادية من ضغط ودرجة حرارة.

3- النتائج والمناقشة

بالاعتماد على طيف الامتصاصية المسجل تم حساب معامل الامتصاص لكافة الأغشية المحضرة من المعادلة [8]:

$$\alpha = 2.303A/d \dots\dots\dots(1)$$

إذ ان: d تمثل سمك الغشاء ، A الامتصاصية.

يُبين الشكل (1) تغير معامل الامتصاص كدالة للطول الموجي للأغشية المحضرة ، وان سلوك منحنى معامل الامتصاص يكون متشابهاً لكافة الأغشية المحضرة إذ تكون قيمه قليلة عند الأطوال الموجية الكبيرة لان عملية الامتصاص تكون قليلة في منطقة الأطوال الموجية الأقل من منطقة الأطوال الموجية المقابلة لفجوة الطاقة البصرية وتزداد قيم معامل الامتصاص مع نقصان قيم الطول الموجي الى ان تصل اعظم قيمة لها عند قيم الأطوال الموجية المقابلة لحافة الامتصاص الاساسية للأغشية بعدها تاخذ قيم معامل الامتصاص بالثبات ولكافة الأغشية المحضرة، وان زيادة درجة حرارة القاعدة ادت الى ازاحة منحنى معامل الامتصاص نحو الأطوال الموجية القصيرة (ازاحة زرقاء) مما ادى الى نقصان قيم معامل الامتصاص وزيادة قيمة فجوة الطاقة البصرية، اما عملية التشعيع فقد ادت الى زيادة قيم معامل الامتصاص مقارنة بقيمها قبل التشعيع وهذا يعود الى تكون حالات موضعية جديدة (مستويات طاقة اضافية) نتيجة تكسر الاواصر بسبب التشعيع وتحرر حاملات شحنة اضافية ادت الى نقصان في قيمة فجوة الطاقة البصرية.

وتم حساب الانعكاسية من طيفي الامتصاصية (A) والنفاذية (T) بموجب قانون حفظ الطاقة لكافة الأغشية المحضرة من المعادلة [9]:

$$R + T + A = 1 \dots\dots\dots(2)$$

يُبين الشكل (2) تغير الانعكاسية كدالة للطول الموجي للأغشية المحضرة ، إذ نلاحظ ان سلوك منحنى الانعكاسية يكون متشابهاً لكافة الأغشية المحضرة إذ تكون قيمها ثابتة تقريباً في المنطقة المرئية وبداية المنطقة تحت الحمراء وتاخذ قيمها بالزيادة مع زيادة قيم الطول الموجي الى ان تصل اعظم قيمة لها عند قيم الأطوال الموجية المقابلة لحافة الامتصاص الاساسية للأغشية المحضرة (في المنطقة تحت الحمراء)، وان زيادة درجة حرارة القاعدة ادت الى ازاحة منحنى الانعكاسية نحو الأطوال الموجية القصيرة (ازاحة زرقاء) مما ادى الى زيادة في قيمها بسبب نقصان قيم الامتصاصية، اما عملية التشعيع فقد ادت الى نقصان في قيم الانعكاسية مقارنة بقيمها قبل التشعيع وهذا يعود الى زيادة خشونة سطوح الأغشية نتيجة تكسر الاواصر مما ادى الى زيادة العيوب نتيجة التشعيع.

◀ حساب المعلمات البصرية

يرتبط معامل الخمود ارتباطاً وثيقاً بمعامل الامتصاص وقد تم حساب معامل الخمود لكافة الأغشية المحضرة بموجب العلاقة [10]:

$$k_0 = \alpha \lambda / 4\pi \dots\dots\dots (3)$$

إذ إن : λ يمثل الطول الموجي للفوتون الساقط.

يبين الشكل (3) تغير معامل الخمود كدالة للطول الموجي للأغشية المحضرة ، إذ نلاحظ أن قيم معامل الخمود تزداد تدريجياً مع نقصان قيمة الطول الموجي الى ان تصل الى أعلى قيمة لها عند منطقة الأطوال الموجية المقابلة لمنطقة الامتصاص الأساسية لمادة الأغشية (المنطقة تحت الحمراء) ثم يعقبها نقصان في قيم معامل الخمود في المنطقة المرئية وهذا يدل على أن هناك زيادة في الامتصاصية في المنطقة تحت الحمراء والتي بدورها أدت إلى زيادة معامل الامتصاص وزيادة معامل الخمود حسب العلاقة (3)، وان زيادة درجة حرارة القاعدة أدت الى ازاحة منحنى معامل الخمود نحو الأطوال الموجية القصيرة مما أدى الى نقصان في قيمه، وعند التشعيع نلاحظ إن منحنى معامل الخمود يسلك بصورة عامة نفس سلوكه قبل التشعيع مع زيادة في قمة المنحنى وتفسير ذلك أن التشعيع أدى إلى تكون مستويات طاقة جديدة بالقرب من حزمة التوصيل وبالتالي أدى الى زيادة قيم معامل الخمود. وكذلك يرتبط معامل الانكسار مع الانعكاسية على وفق المعادلة [9]:

$$n_0 = \left[\left(\frac{1+R}{1-R} \right)^2 - (K_0^2 + 1) \right]^{1/2} + \frac{1+R}{1-R} \dots\dots\dots (4)$$

والتي من خلالها تم حساب قيم معامل الانكسار للأغشية المحضرة.

يبين الشكل (4) تغير معامل الانكسار كدالة للطول الموجي للأغشية المحضرة قبل وبعد التشعيع، إذ نلاحظ أن طبيعة منحنى معامل الانكسار مشابه لطبيعة منحنى الانعكاسية وذلك لارتباط الانعكاسية مع معامل الانكسار على وفق العلاقة (4)، وان زيادة درجة حرارة القاعدة أدت الى زيادة في قيم معامل الانكسار، اما عملية التشعيع فقد أدت الى نقصان في قيم معامل الانكسار مقارنة بقيمها قبل التشعيع وهذا يعود الى زيادة الانخلاعات في الأغشية نتيجة تكسر الاواصر بسبب التشعيع. تم حساب الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي (ϵ_1) لكافة الأغشية المحضرة من المعادلة [11]:

$$\epsilon_1 = n_0^2 - k_0^2 \dots\dots\dots (5)$$

تم حساب الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي (ϵ_2) لكافة الأغشية المحضرة من المعادلة [11]:

$$\epsilon_2 = 2 n_0 k_0 \dots\dots\dots (6)$$

ويبين الشكل (5) تغير الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي كدالة للطول الموجي للأغشية المحضرة، إذ نلاحظ أن سلوك المنحنى يشبه إلى حد ما سلوك معامل الانكسار حسب العلاقة (5)، إذ تزداد قيمه مع زيادة درجة حرارة القاعدة وتقل بتأثير التشعيع أيضاً، أما تغير الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي فيعتمد حسب العلاقة (6) على معامل الخمود (K_0) ومعامل الانكسار (n_0)، إذ يكون تأثير معامل الخمود قليلاً جداً مقارنة بتأثير معامل الانكسار فيمكن بذلك إهماله خاصة عند الأطوال الموجية الطويلة (الطاقات الواطئة)، وان زيادة درجة حرارة القاعدة أدت الى زيادة قيم الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي لاعتماده على معامل الخمود، اما التشعيع فقد أدى الى نقصان في قيم الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي مقارنة بقيمه للأغشية قبل التشعيع ، وكما في الشكل (6).

◀ حساب فجوة الطاقة البصرية

تم حساب قيمة فجوة الطاقة البصرية للانتقالات الالكترونية المباشرة المسموحة ولكافة الأغشية المحضرة باستخدام المعادلة [12]:

$$(\alpha h\nu)^2 = P(h\nu - E_g) \dots\dots\dots (8)$$

إذ إن:

P: ثابت. α : معامل الامتصاص. E_g : فجوة الطاقة الممنوعة. E: طاقة الفوتون الساقط.

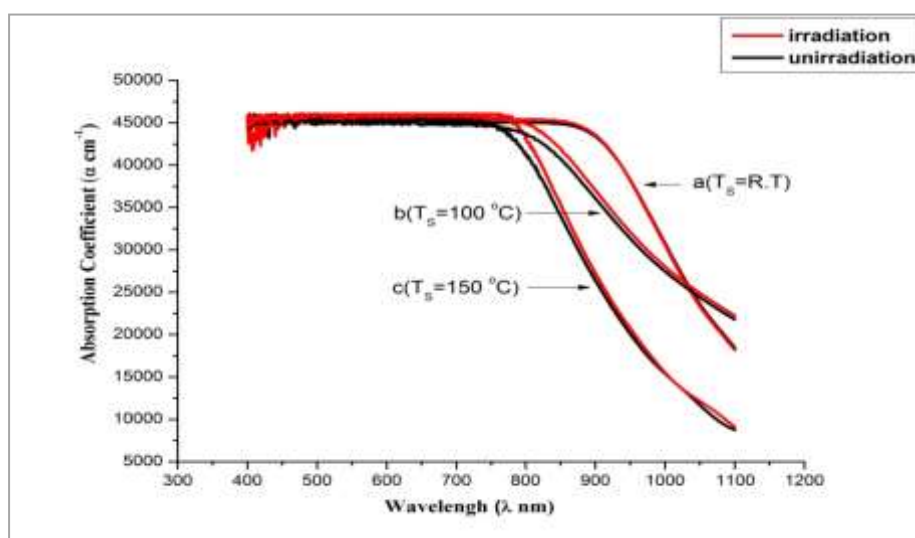
وبرسم الطرف الايسر من العلاقة مع طاقة الفوتون نحصل على قيمة فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح للأغشية المحضرة، ويتضح من الشكل (7) ان حافة الامتصاص الأساسية (فجوة الطاقة البصرية) لكافة الأغشية المحضرة تقع في المنطقة تحت الحمراء، وان زيادة درجة حرارة القاعدة أدت الى ازاحة منحنى معامل الامتصاص نحو الأطوال الموجية القصيرة (ازاحة زرقاء) مما أدى الى نقصان في قيم معامل الامتصاص وزيادة قيمة فجوة الطاقة البصرية، اما عملية التشعيع فقد أدت الى زيادة في قيم معامل الامتصاص مقارنة بقيمها قبل التشعيع وهذا يعود الى تكون حالات موضعية جديدة (مستويات طاقة اضافية) نتيجة تكسر الاواصر وتحرر حاملات شحنة اضافية نتيجة التشعيع أدى الى نقصان في قيمة فجوة الطاقة البصرية، وكما مبين في الجدول (1).

درجة حرارة الترسيب $T_s (^{\circ}\text{C})$	فجوة الطاقة البصرية قبل التشعيع $E_g (\text{eV})$ (IR Region)	فجوة الطاقة البصرية بعد التشعيع $E_g (\text{eV})$ (IR Region)
R.T	1.150	1.152
100	1.190	1.185
150	1.320	1.315

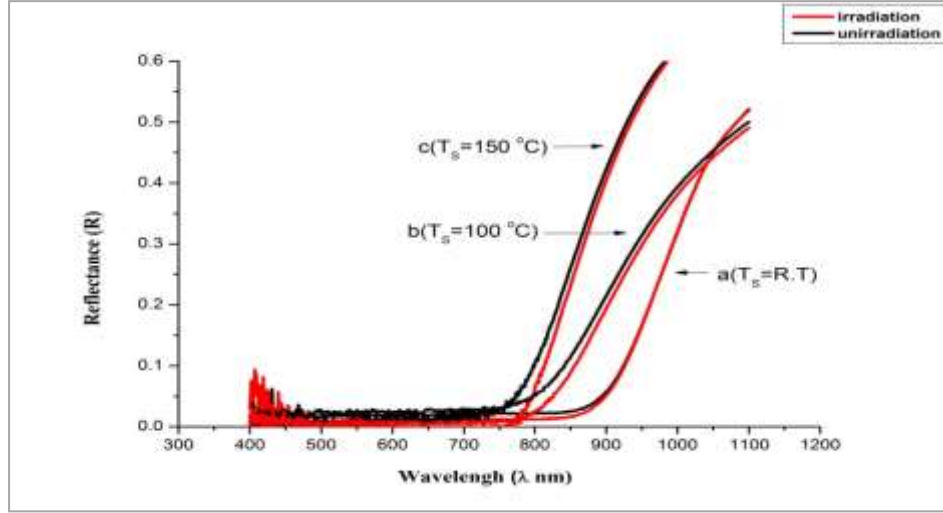
الجدول (1): قيم فجوة الطاقة البصرية قبل وبعد التشعيع لاغشية (CuInSeTe) المحضرة بالتبخير الحراري بالفراغ على قواعد من الزجاج ولثلاث درجات حرارة ترسيب مختلفة.

4- الاستنتاجات

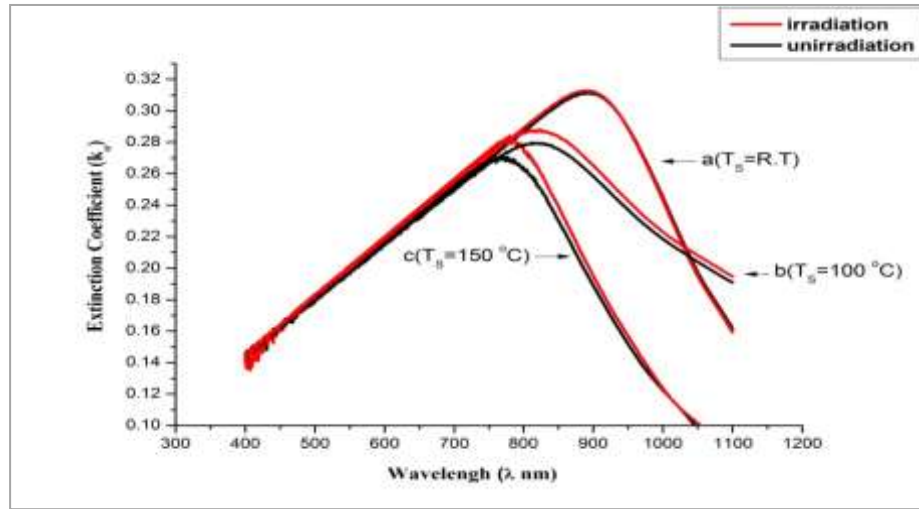
- أدى التشعيع بأشعة كما إلى تقليل في قيم منحنى الانعكاسية وقيم معامل الانكسار مما يدل على زيادة في قيم الامتصاصية.
- ان قيم معامل الامتصاص تكون اكبر من (10^4 cm^{-1}) وهذا يعني ان الانتقالات الالكترونية الناشئة نتيجة عملية الامتصاص هي من النوع المباشر المسموح، مما يدل على ان الاغشية المحضرة ذات فجوة طاقة مباشرة.
- ان الاغشية المحضرة عند درجة حرارة الغرفة اكثر استقرارا وثباتا من ناحية تآثر خواصها البصرية بعملية التشعيع.
- لوحظ ان التشعيع ادى نقصان كبير في قيم الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي للاغشية المحضرة عند درجة حرارة (150 $^{\circ}\text{C}$) وبذلك فان التشعيع قد غير كثيرا من سلوك الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي عند هذه الدرجة. مما ادى الى زيادة قيم الامتصاصية ونقصان في قيم معامل الانكسار.
- ادت زيادة درجة حرارة الترسيب الى زيادة كثافة مادة الاغشية وانتظام سطوح الاغشية [13] ، مما ادى الى تحسن في عملية تبلور الاغشية وتحوله من التركيب العشوائي عند درجة حرارة الغرفة الى التركيب متعدد التبلور عند الدرجتين (100 $^{\circ}\text{C}$, 150 $^{\circ}\text{C}$)، وبالنسبة للخصائص البصرية فقد ادت زيادة درجة حرارة الترسيب الى زيادة في قيم الانعكاسية ومعامل الانكسار ونقصان في قيم الامتصاصية وزيادة قيمة فجوة الطاقة البصرية، وان عملية التشعيع ادت الى عكس ذلك.



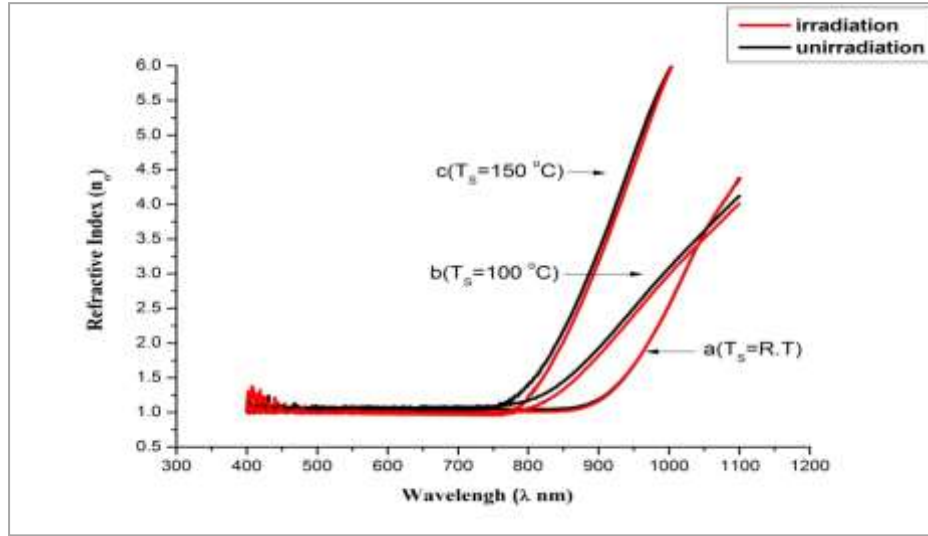
الشكل (1): معامل الامتصاص كدالة للطول الموجي قبل وبعد التشعيع لاغشية (CuInSeTe) المرسبة بالتبخير الحراري بالفراغ على قواعد من الزجاج ولثلاث درجات حرارة مختلفة (Ts). a,b,c



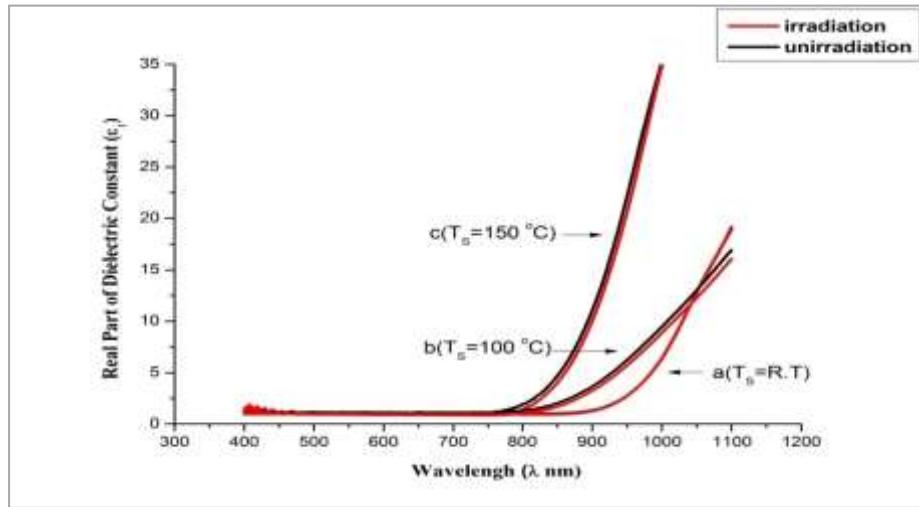
الشكل (2): الانعكاسية كدالة للطول الموجي قبل وبعد التشعيع لاغشية (CuInSeTe) المرسبة بالتبخير الحراري بالفراغ على قواعد من الزجاج ولثلاث درجات حرارة مختلفة $a, b, c(T_s)$.



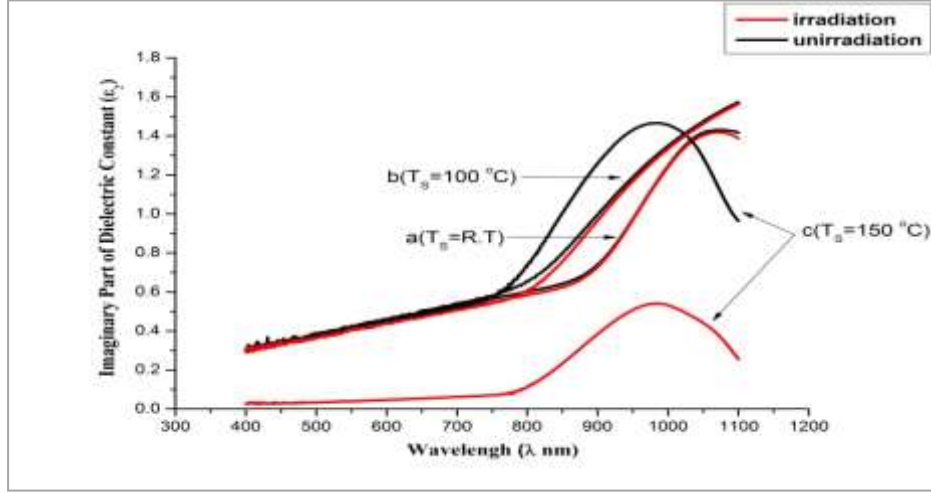
الشكل (3): معامل الخمود كدالة للطول الموجي قبل وبعد التشعيع لاغشية (CuInSeTe) المرسبة بالتبخير الحراري بالفراغ على قواعد من الزجاج ولثلاث درجات حرارة مختلفة $a, b, c(T_s)$.



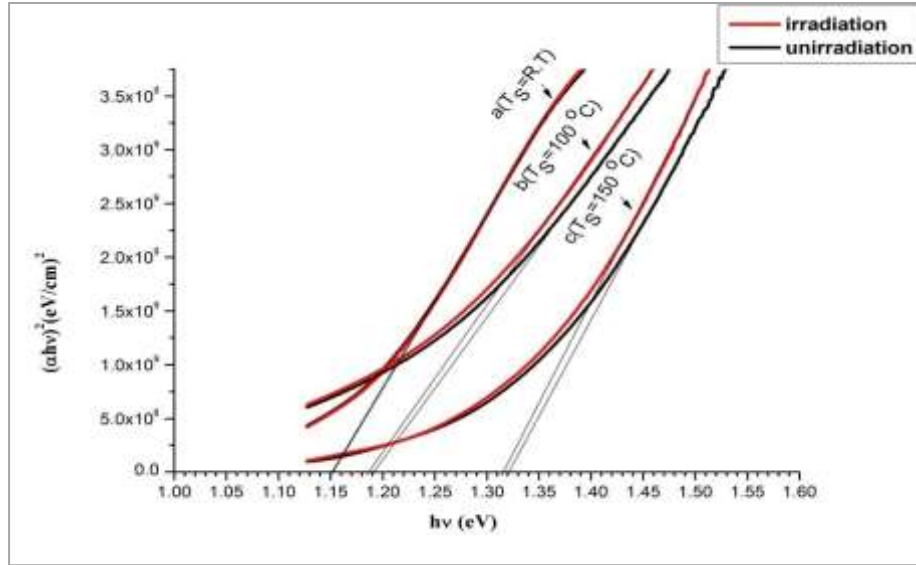
الشكل (4): معامل الانكسار كدالة للطول الموجي قبل وبعد التشعيع لاغشية (CuInSeTe) المرسبة بالتبخير الحراري بالفراغ على قواعد من الزجاج ولثلاث درجات حرارة مختلفة (T_s) a,b,c.



الشكل (5): الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي كدالة للطول الموجي قبل وبعد التشعيع لاغشية (CuInSeTe) المرسبة بالتبخير الحراري بالفراغ على قواعد من الزجاج ولثلاث درجات حرارة مختلفة (T_s) a,b,c.



الشكل (6): الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي كدالة للطول الموجي قبل وبعد التشعيع لاغشية (CuInSeTe) المرسبة بالتبخير الحراري بالفراغ على قواعد من الزجاج ولثلاث درجات حرارة مختلفة (T_s). a,b,c



الشكل (7): قيم $(\alpha hv)^2$ كدالة لطاقة الفوتون (hv) قبل وبعد التشعيع لاغشية (CuInSeTe) المرسبة بالتبخير الحراري بالفراغ على قواعد من الزجاج ولثلاث درجات حرارة مختلفة (T_s). a,b,c

المصادر

- [1] K. L.Chopra and I. Kaur , " Thin Film Device Applications", Plenum Press, New York, 1983.
- [2] F.O. Adurodija, J. Song, I.O. Asia, and K.H. Yoon, " Formation of $\text{CuIn}(\text{S}, \text{Se})_2$ thin film by thermal diffusion of sulfur and selenium vapors into Cu-In alloy within a closed graphite container", Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 58 ,1999, 287.
- [3] S. Shirakata, T. Terasako, and T. Kariya," Properties of $\text{CuIn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_2$ polycrystalline thin films prepared by chemical spray pyrolysis", J. Phys. Chem. Solids, 66 ,2005, 1970.
- [4] Z. Djebbour, A.M. Dubios, A. Darga, D. Mencaraglia, C. Bazin, J.P. Connolly, J-F. Guillemoles, D. Lincot, B. Canava, and A. Etcheberry," Comparison of optical and electrical gap of electrodeposited $\text{CuIn}(\text{S},\text{Se})_2$ determined by spectral photo response and I-V-T measurements", Thin Solid Films, 515 ,2007, 6233.
- [5] H. Zhang, X. Y. Ma, and D. R. Yang," Effects of Complexing Agent on CdS Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition", Materials Letters, 58 ,2003,5.
- [6] D. Mitzi, M. Yuan,W. Liu, A. Kellock, S. Chey, L. Gignac, A.G. Schrott," Low-temperature processing of a solution-deposited CuInSSe thin-film solar cell", Thin Solid Films ,517, 2009,2158.
- [7] O. Roussel, M. Lamirand, N. Naghavi, J.F. Guillemoles, B. Canava, and A. Etcheberry, " Interfacial chemistry control in thin film solar cells based on electrodeposited $\text{CuIn}(\text{S},\text{Se})_2$ ", Thin Solid Films, 515, 2007, 6123.
- [8] .K.Jayaraj, Aldrin Antony, and R.Manoj," Optical and electrical properties of rf magnetron sputtered ZnO:Al thin films", Bull of Material Science ,25 ,2002, 227.
- [9] K.L.Chopra and I.Kaur," Thin Film Device Applications", Plenum Press,New York, 1983.
- [10] J. R. Son," Thin Films Technologies", 2nd edition, 1986.
- [11] M.L.Adonize, S.Loreti, L.Quercia and M.K.Jayara," CuInSe_2 thin films grown by CSVT processes", J.Cryst. Growth, 183, 1998,196.
- [12] C.Mwolfe, N.Holouyak, G.B.Stillman," Physical properties of Semiconductor", prentice Hall, New York, 1989.
- [13] Abdul-Majeed E.Ibrahim,Raid A.Ismail,Ala'a Y.Ali," Effect of Substrate Temprature on the Surface Morphological and Optical Properties of Nanostructure CdS Thin Films",Tikrit Journal of Pure Science,17 ,2012,2.