

دراسة الخواص الضوئية والبنوية لأغشية رقيقة من المركب الشالكوجيني $GeTe_{1.4}In_{0.6}$ بسماعات مختلفة

طارق غسان عيود* أ.م.د. إياد أنيس مدور**

*طالب ماجستير قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق.

tarek.ayoud@damascusuniversity.edu.sy

**أستاذ مساعد، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق.

Iyad.Mdawar@damascusuniversity.edu.sy

الملخص

جرى في هذا العمل دراسة الخواص الضوئية والبنوية لأغشية رقيقة محضرة بطريقة التبخير الحراري للمركب $GeTe_{1.4}In_{0.6}$ بسماعات مختلفة (441nm, 720nm, 941nm). أظهر تحليل انعراج الأشعة السينية (XRD) للمسحوق المدروس أنه ذو بنية متعددة البلورة. درست بنية سطوح الأغشية المحضرة وذلك بواسطة مجهر القوة الذرية (AFM) ولوحظ أن مقاس حبيباتها يزداد بزيادة سماكة الأغشية. كما قيست الخواص الضوئية للأغشية في المجال (400nm-2500nm)، وحُسبت قرينة انكسار الأغشية ومعامل التخماد وعرض الفجوة الطاقية وناقليتها الضوئية. ولوحظ أنه بتغيير سماكة الغشاء تتغير هذه القيم بشكل متباين، حيث يتناقص عرض الفجوة الطاقية مع ازدياد في معامل الامتصاص مع زيادة سماكة الأغشية المدروسة. ويمكن أن يُعزى ذلك إلى تفاعل عنصر الإنديوم مع بنية الأغشية المدروسة.

تاريخ الإيداع: 2022/09/28

تاريخ الموافقة: 2022/11/08



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

الكلمات المفتاحية: الشالكوجينات الزجاجية، الفجوة الطاقية، النفاذية، الناقلية الضوئية، معامل التخماد.

Characterization of Optical and structure properties of composite chalcogenide $\text{GeTe}_{1.4}\text{In}_{0.6}$ thin films with different thicknesses

Tarek Ghasan Ayoud*

Dr. Iyad Anees Mdawar**

*Master student, Department of physics, Faculty of sciences, DamascusUniversity.
tarek.ayoud@damascusuniversity.edu.sy

**Associate Professor, Department of physics, Faculty of sciences, Damascus University.

Iyad.Mdawar@damascusuniversity.edu.sy

Abstract

In this work, the optical and structure properties of the $\text{GeTe}_{1.4}\text{In}_{0.6}$ thin films prepared by thermal evaporation method with the different thicknesses (441nm, 720nm, and 941nm) were studied. The thoughtful powder sample has a polycrystalline structure as shown from XRD analysis. The surface of the thin films were investigated by the atomic force microscope (AFM).It showed, that the grain size of the prepared films increases when increasing the films thickness. Also the optical properties of thin films in the range of (400nm-2500nm) were studied. The refractive index (n), the extinction coefficient (k), the energy gap (E_g) and optical conductivity were calculated. We noticed that by changing the films thicknesses, these values vary differently, energy gap is decreased while the absorption coefficient is increased by increasing the films thickness. this is could be due to the entry react of the indium element with the structure of the studied thin films.

2022/09/28: Received

2022/11/08 Accepted:



Copyright:Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Keywords: Chalcogenide glass, energy gap, transmittance, optical Conductivity, extinction coefficient.

1- مقدمة:

كرس كثير من الباحثون في العقود الأخيرة جهودهم لدراسة المواد الزجاجية (الابلورية) كونها مرشح واعد في تحضير أنصاف النواقل واستخداماتها في الإلكترونيات البصرية. كما يمكن استخدام المواد الزجاجية في مجال تحضير الخلايا الشمسية وتخزين المعلومات [2]، وذلك بسبب نفوذيتها الضوئية العالية في المجال تحت الأحمر وكبر قرينة انكسارها وفقاً لتركيبها [1].

تعد مركبات الشالكوجينيات الزجاجية القائمة على الجرمانيوم من البدائل الجيدة جداً للاستخدام في التطبيقات العاملة في مجال الأشعة تحت الحمراء. يضاف عنصر التيليريوم لتشكيل أنظمة شالكوجينية ثنائية ذات تشكيل زجاجي مستقر تستخدم في مجال ذواكر التحولات الطورية وتطبيقاتها، إضافة لذلك تبدي هذه الأنظمة الغنية بال-Te جودة عالية في الخواص الكهربائية والضوئية [2,5]. قمنا في بحثنا هذا بتحضير أغشية رقيقة من الجرمانيوم بنسبة 33.33% والتيليريوم بنسبة 46.33% وبإضافة عنصر الإنديوم بنسبة 20.36% بسماكات مختلفة (441nm، 720 nm، 941nm) على ركائز زجاجية بتقنية التبخير الحراري. إن إضافة عنصر الإنديوم للتركيب الشالكوجيني Ge-Te قد يحدث نوع من العشوائية المرغوبة في التراكيب المشكلة للنظام المدروس والتي تؤدي بدورها إلى تغيير مجال التشكيل الزجاجي بالإضافة لتغيرات واضحة في الخواص البنيوية والضوئية للمركب الجديد والتي سنقوم بدراستها وتحليلها في هذا العمل [3,4].

هناك العديد من الدراسات السابقة في هذا المجال، نذكر منها:

- قام كل من A. M. SALEM، Y. A. EL-GENDY عام 2019 بدراسة الخصائص البنيوية والضوئية للخليط الثلاثي Ge Te In، درست الخصائص الضوئية للعينات بمختلف السماكات والتراكيز وقيس طيف نفوذية هذه العينات لأطوال موجية في المجال: (900nm-2400nm) [2].
- قام كل من Ramamurthy، Askance، Abhishek بدراسة الخصائص الضوئية للمركب $Ge_{15}Te_{79-x}In_x$ حيث $x=6$ ودرست بنيته من خلال تحليل طيوف (XRD)، وحُسبت الفجوة الطاقية من أجل الانتقالات المباشرة وغير المباشرة [19].
- قام كل من Patoka، Y. TRIFONOVA، V. IVANOVA بدراسة إضافة الإنديوم إلى مركبات الجرمانيوم تيليريوم وبنسب مختلفة ودراسة الفجوة الطاقية، وكذلك جرى حساب معامل التخماد ومعامل الامتصاص [7].
- قام كل من Ivanovo and P Petkov، A Zaiden عام 2012 بدراسة المركب $(GeTe_4)_{1-x}In_x$ (حيث $X=0,5,10,20\%$) وبلغت قرينة انكساره نحو ($n > 2.14$) ($3,36 > n$) ضمن المجال (1000-2600 nm) تحت الأحمر القريب وحُسبت قيم الفجوة الطاقية وكانت ضمن المجال (0.14 to 0.84 eV) وذلك بإضافة شوائب In بنسب في المجال (0 to 20%) [3].

2- العمل المخبري والأجهزة المستخدمة:

2-1 تحضير العينة بالإخماد الحراري:

أخذ مسحوق من المواد التالية: Ge, Te, In وبقاوة عالية وصلت الى (99.999%) وجرى وزن كل منها وفق النسب المبينة في الجدول (1) بواسطة ميزان حساس بدقة 10^{-4} gr. ثم وضع المسحوق في أنبوب (مُنظف مسبقاً بشكل جيد لتجنب وجود أية شوائب) من الكوارتز طوله 20 cm وقطره 8mm، بعدها جرى تخلية الأنبوب عند ضغط منخفض (10^{-5} torr) لمدة نصف ساعة، وبعد ذلك قمنا بلحمه باستخدام فرد لهب عند الدرجة $1300^{\circ}C$. سُخّن الأنبوب في فرن خاص حتى الدرجة $1000^{\circ}C$ ولمدة 8 ساعات مع التحريك للحصول على أفضل تجانس ممكن، ومن ثم تم إخماد الأنبوب مباشرة في مزيج من الماء الثلجي [1، 6].

الجدول (1) النسب المئوية لمكونات المركب الشالكوجيني $GeTe_{1.4}In_{0.6}$.

المركب	العنصر	الوزن الذري	الوزن (gr)	النسبة المئوية%
Ge Te _{1.4} In _{0.6}	Ge	72.63	1.5630	33.33
	Te	127.60	3.9310	46.73
	In	114.82	1.5060	20.36

2-2 تحضير الغشاء الرقيق:

حُضر الغشاء بواسطة جهاز التبخير (Edwards 306) باستخدام تقنية التبخير الحراري الفيزيائي [6]. ويتكون هذا الجهاز من حجرة التبخير ولوحة تحكم ومجموعة تخلية. وضع المركب $GeTe_{1.4}In_{0.6}$ في بوتقة من التنغستين ووضعت الركازة (شريحة زجاجية) على حامل الركائز الدوار وأغلقت حجرة التخلية. جرى تشغيل مضخة التخلية للوصول إلى الضغط 10^{-5} Torr وذلك باستخدام مضخة إنتناريه مدعومة بمضخة دوار. وبعد ذلك طُبِق عليها فرق كمون يصل إلى (10V) مما يؤدي إلى مرور تيار مرتفع الشدة يرفع درجة حرارة البوتقة والمركب الموجود فيها تدريجياً وعندما يستقر معدل التبخير تسمح للبخار بالوصول والترسب على سطح الركيزة، وعند الوصول للسماكة المطلوبة نطفئ الجهاز ونبقي على الأفلام المحضرة في حجرة الترسيب لمدة 10 ساعات للحصول على حالة التوازن شبه المستقر. تم ترسيب ثلاثة أغشية للعينات السابقة الذكر بسماكات مختلفة (th= 941nm, 720nm, 441nm).

2-3 توصيف الخصائص البنوية والضوئية للمسحوق $GeTe_{1.4}In_{0.6}$:

جرت عملية التوصيف باستخدام جهاز إنعراج الأشعة السينية (XRD) من إنتاج شركة (STOE) الألمانية المتواجد لدى هيئة الطاقة الذرية. أما بالنسبة لدراسة سطوح الأغشية فاستُخدم جهاز مجهر القوة الذرية (AFM) المتواجد لدى (قسم الفيزياء/ كلية العلوم) في جامعة دمشق.

كما استخدم جهاز المطيافية (UV-VIS-NIR spectrophotometer carry500) لقياس طيف النفوذ الضوئية من أجل تعيين بعض خصائصها الضوئية.

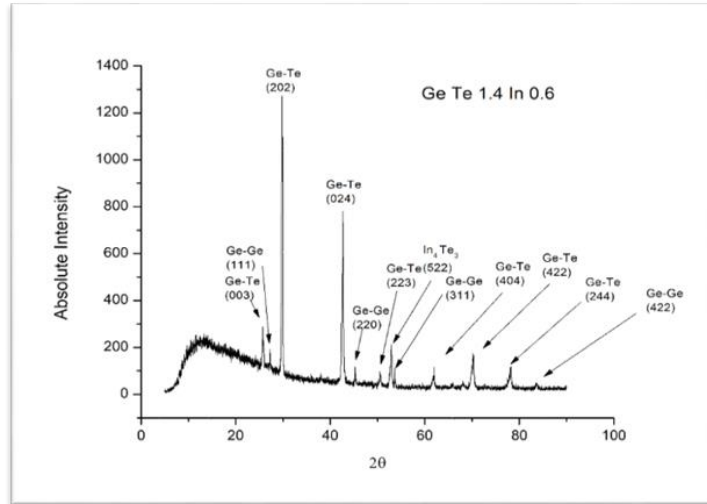
3 - النتائج والمناقشة:**3-1 الدراسة البنوية للمسحوق $GeTe_{1.4}In_{0.6}$ باستخدام تقنية XRD:**

يبين الشكل (1) طيف XRD للمسحوق $GeTe_{1.4}In_{0.6}$ وذلك لمعرفة طبيعة الأطوار المتشكلة في العينة المدروسة. يبين هذا الطيف أن بنية هذا المركب جزئية التبلور حيث يُلاحظ وجود قمة (هضبة) عند المجال $(2\theta=5^{\circ}..25^{\circ})$ [7]، كما يُلاحظ تشكل قمة واضحة عند $2\theta=26^{\circ}$ تعزى للطور (003) Ge-Te الذي يتبلور وفق الشكل Rhombohedral ويتطابق مع البطاقة المرجعية (00-047-1079)، وأربع قمم (111)، (220)، (311)، (422) تعزى للطور Ge-Ge الذي يتبلور وفق الشكل cubic (مكعب) والتي تتطابق مع البطاقة المرجعية (00-004-0545)، بدخول ذرات الإنديوم بنسبة $x=0.6$ ستدخل كذرات غريبة وتسبب تقطيع روابط Te-Te، مما يؤدي إلى ظهور نسبة من العشوائية في العينة، ستحاول ذرات الأنديموم ان تكون منافس لذرات الجرمانيوم في جذبها لذرات التيليريوم [8].

لحساب قطر التبلور D_p لكل قمة من القمم الظاهرة في طيف XRD استخدمنا علاقة شيرر الآتية [9]:

$$D_p = \frac{0.94 \lambda}{B \cos \theta} \quad (1)$$

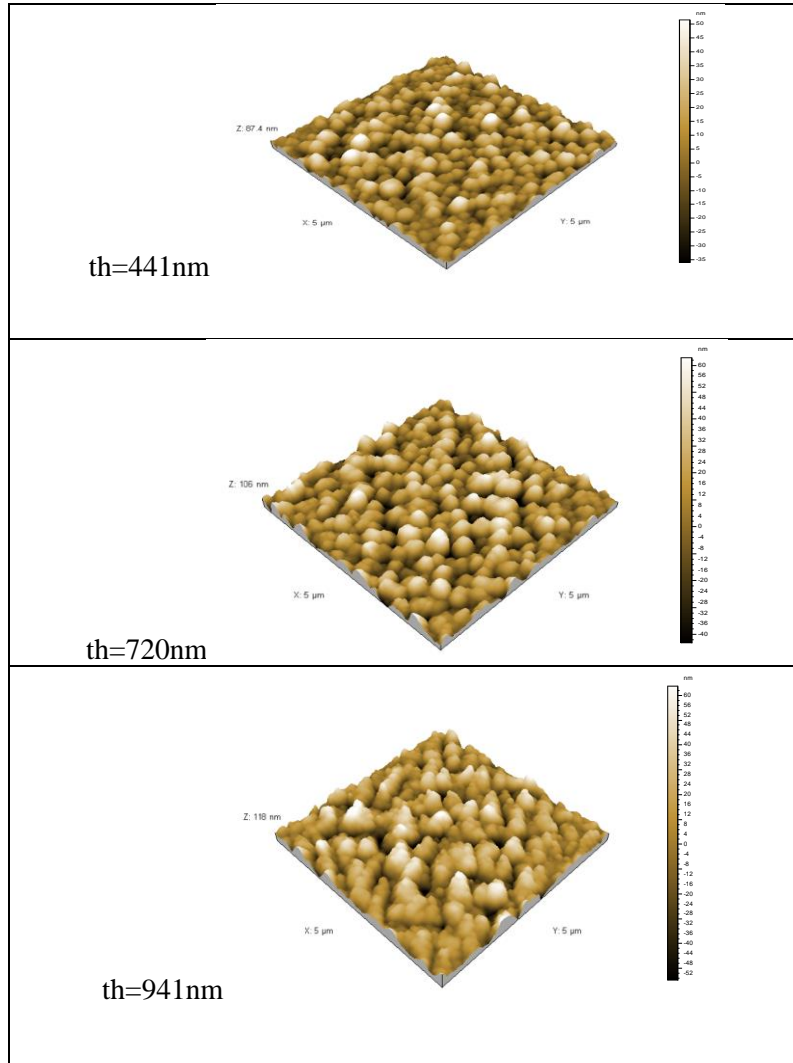
حيث λ (0.15418nm): طول موجة الأشعة السينية المستخدمة و B (FWHM): العرض عند منتصف كل قمة و θ : زاوية براغ. يبين الجدول (2) قيمة قطر التبلور للعينة المدروسة.

الشكل (1) طيف XRD للعينة $\text{GeTe}_{1.4}\text{In}_{0.6}$ وقيم (h,k,l) للأطوار المتشكلة.الجدول (2) قيمة قطر التبلور للعينة $\text{GeTe}_{1.4}\text{In}_{0.6}$.

2θ(deg)	θ(deg)	FWHM(rad)	D_p (nm)
29.8	14.9	0.00251	59.70nm
42.6	21.3	0.00209	74.40nm
52.9	26.5	0.00335	48.30nm
68.1	34.0	0.00989	17.68nm
78.1	39.1	0.00418	44.65nm
$\bar{D}_p=48.94\text{nm}$			

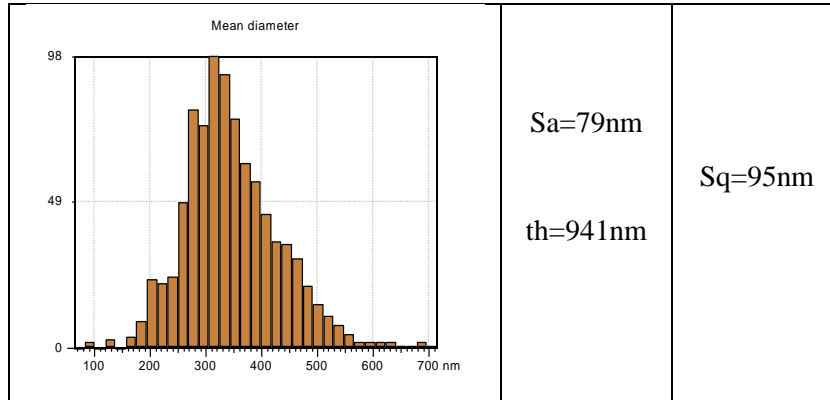
3-1-2 دراسة سطوح الأغشية باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM):

يعرض الشكل (2) صور ثلاثية البعد ($5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$) لسطوح الأغشية المحضرة من $\text{GeTe}_{1.4}\text{In}_{0.6}$ بسماكات مختلفة. حيث تأخذ الحبيبات شكلاً مدبباً مع زيادة في كثافتها مع إزدياد السماكة، كذلك يُلاحظ نمو قمم الحبيبات وإزدياد أبعادها مع إزدياد السماكة حيث يصل ارتفاع أعلى قمة إلى 173nm للسماكة 941nm. يظهر الشكل (3) منحنيات التوزيع الإحصائي للأقطار الوسطية لحبيبات الأغشية ذات السماكات المختلفة والقيمة الوسطية لمعامل الخشونة السطحية Sa والقيمة الوسطية للجذر التربيعي لمعامل الخشونة السطحية sq . تزداد قيمة هذه المعاملات مع زيادة سماكة الغشاء، ويُلاحظ إنزياح طفيف في قيمة القطر الوسطي للحبيبات من القيمة الدنيا 290 nm نحو القيمة 300nm للعينة مع إزدياد سماكة الغشاء. يمكن أن يؤدي الإجهاد الحاصل بين ذرات الطبقة السطحية الأولى للغشاء ومادة الركيزة إلى نشوء عيوب بنيوية في الغشاء وبزيادة السماكة وترسب الطبقات تتناقص العيوب وتزداد أبعاد الحبيبات وبالتالي تزداد البلورة [7, 15].



الشكل (2) صورة ثلاثية البعد (5µm x 5µm) لسطح الأغشية المحضرة بسماكات مختلفة.

<p>Mean diameter</p>	<p>Sa=73nm</p> <p>th=441nm</p>	<p>Sq=86.2nm</p>
<p>Mean diameter</p>	<p>Sa=76.2nm</p> <p>th=720nm</p>	<p>Sq=91nm</p>



الشكل (3) منحنيات التوزيع الإحصائي لأقطار حبيبات الأغشية المدروسة وخشونتها السطحية.

3-2 دراسة الخواص الضوئية للأغشية الرقيقة:

3-2-1 طيف النفوذية:

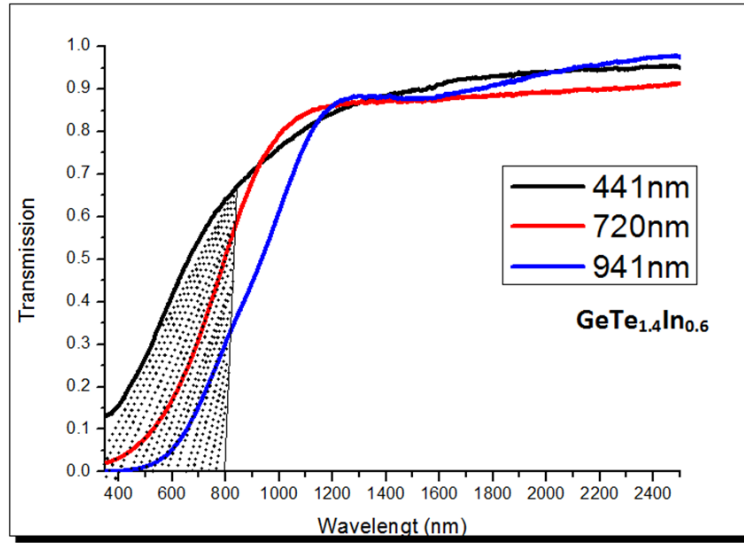
جرى تسجيل أطيف النفوذية للأغشية الرقيقة المحضرة وذلك ضمن المجال الطيفي (350 nm - 2500nm)، كما هو مبين من الشكل (4). يُلاحظ من هذا الشكل أنه عند المجال المرئي VIS (الجزء المظلل) تكون قيم النفوذية ممتدة ضمن المجال من 2% حتى 60% وتكون عند السماكة الأكبر (941nm) نحو 33%-2%. وتزداد النفوذية مع تناقص السماكة لتصل إلى 60% عند السماكة 441nm، وتزداد قيم النفوذية مع زيادة الطول الموجي لمختلف السماكات لتصل إلى 86% للسماكة 441nm و 84% للسماكة 941nm وذلك عند الطول الموجي 1600nm (مجال الأشعة تحت الحمراء القريب). ومن ثم يُلاحظ نوع من الثباتية لقيم النفوذية عند الأطوال الموجية (1600nm-2500nm) لمختلف السماكات.

3-2-2 طيف الامتصاصية:

جرى حساب الامتصاصية A اعتماداً على أطيف النفوذية من خلال العلاقة التالية:

$$A = \log(1/T) \quad (2)$$

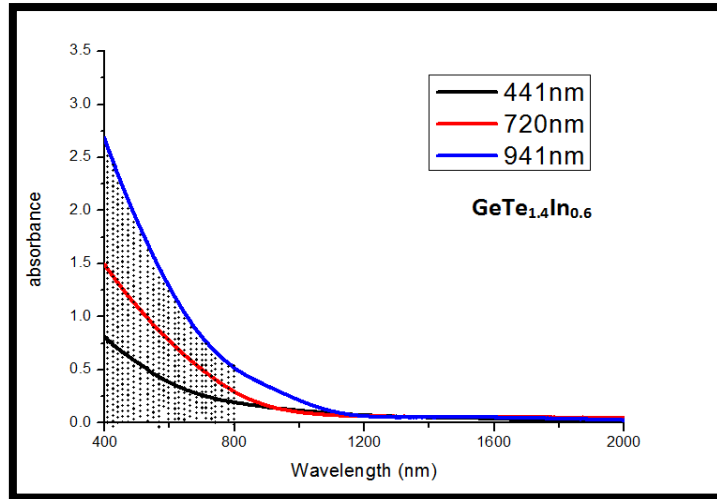
يبين الشكل (5) طيف النفوذية للأغشية $GeTe_{1.4}In_{0.6}$ من أجل السماكات المختلفة (441nm, 720nm, 941nm) وذلك ضمن المجال الطيفي (400 nm-2000nm). يُلاحظ من هذا الشكل تناقص الامتصاصية مع زيادة الطول الموجي، كما نجد أن شدة الامتصاص تزداد من القيمة 0.8 إلى القيمة 2.7 مع زيادة سماكة الغشاء من 441nm إلى 941nm عند الطول الموجي 400nm. يمكن أن تعزى زيادة قيم الامتصاصية في المجال المرئي كما هو واضح من الشكل (4) إلى دخول الروابط Ge-In على حساب التيليريوم ذات الشفافية العالية للمنطقة تحت الحمراء حيث تصبح طاقة الفوتون أقل من قيمة الفجوة الطاقية E_g ويكون غير قادر على إثارة الإلكترونات ونقلها إلى عصابة الناقلية [2,3].

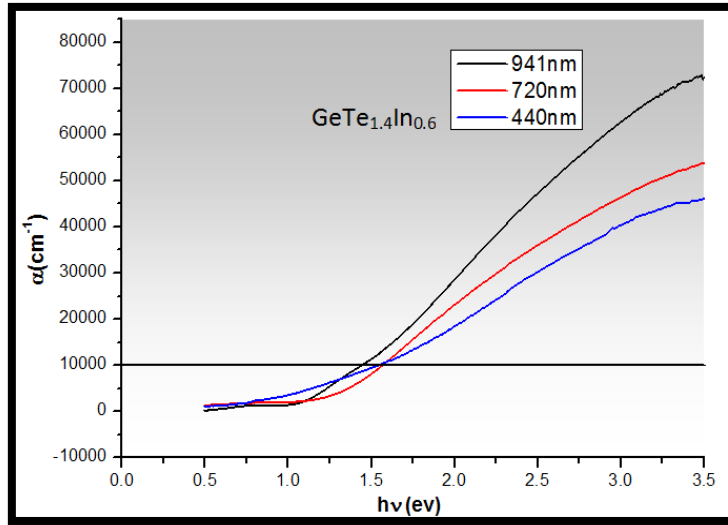
الشكل (4) طيف النفوذية للأغشية $\text{GeTe}_{1.4}\text{In}_{0.6}$ من أجل سماكات مختلفة.3-2-3 معامل الامتصاص α للأغشية:

جرى حساب معامل الامتصاصية α للأغشية الرقيقة من خلال العلاقة الآتية [10]:

$$\alpha = 2.303 \frac{A}{th} \quad (3)$$

يبين الشكل (6) تغير معامل الامتصاص α بدلالة طاقة الفوتون $h\nu$ (eV)، ويلاحظ من هذا الشكل أن معامل الامتصاص يزداد مع ازدياد طاقة الفوتون بسلوك يشبه سلوك الامتصاصية ويأخذ أكبر قيمة له عند السماكة الأعلى وذلك بسبب انخفاض العيوب البنوية (عيوب التراص) [2]، وتقع أعظم قيمة له في المجال المرئي.

الشكل (5) طيف الامتصاصية للأغشية $\text{GeTe}_{1.4}\text{In}_{0.6}$ من أجل سماكات مختلفة.



الشكل (6) تغير معامل الامتصاص للأغشية $\text{GeTe}_{1.4}\text{In}_{0.6}$ من أجل سماكات مختلفة كتابع لطاقة الفوتون.

3-2-4 حساب عرض الفجوة الطاقية الضوئية E_g :

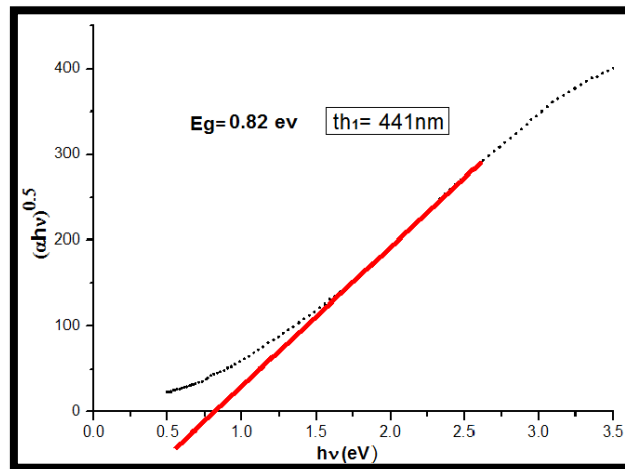
يُلاحظ من الشكل (6) أن قيم معامل الامتصاص أكبر من $(\alpha \geq 10^4 \text{ cm}^{-1})$ ، وبالتالي يمكن استخدام علاقة Tauc لحساب عرض الفجوة الطاقية.

$$\alpha h\nu = B (h\nu - E_g)^m \quad (4)$$

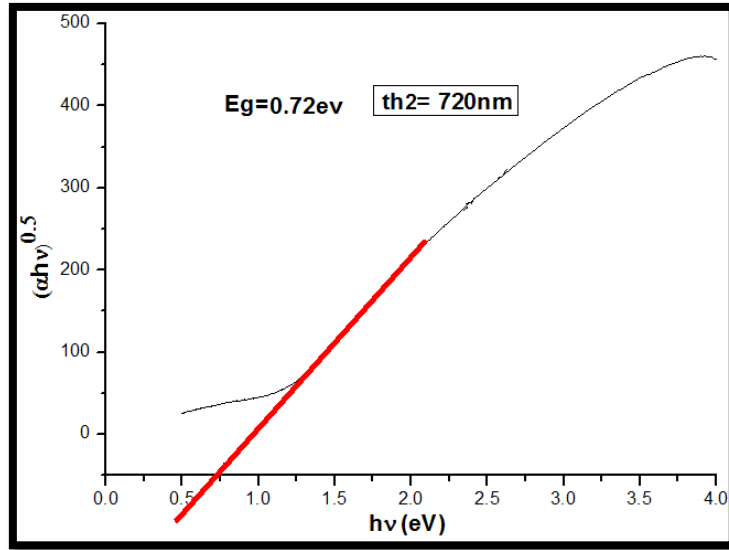
حيث: E_g عرض الفجوة الطاقية، B هي معامل ذيل العصابة و $m=2$ في حالة الانتقال غير المباشر.

ولحساب عرض الفجوة الطاقية E_g من أجل كل السماكات، يلزم رسم تغير قيم $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بدلالة $h\nu$ كما هو مبين في الأشكال (7) . (8)، (9) ومن خلال الموائمة الخطية للجزء الأكثر استقامة من المنحني المرسوم فنكون قيمة E_g هي النقطة التي يتقاطع عندها امتداد الجزء المستقيم من المنحني مع المحور الأفقي $h\nu$ والذي يوافق $(\alpha=0)$ [12].

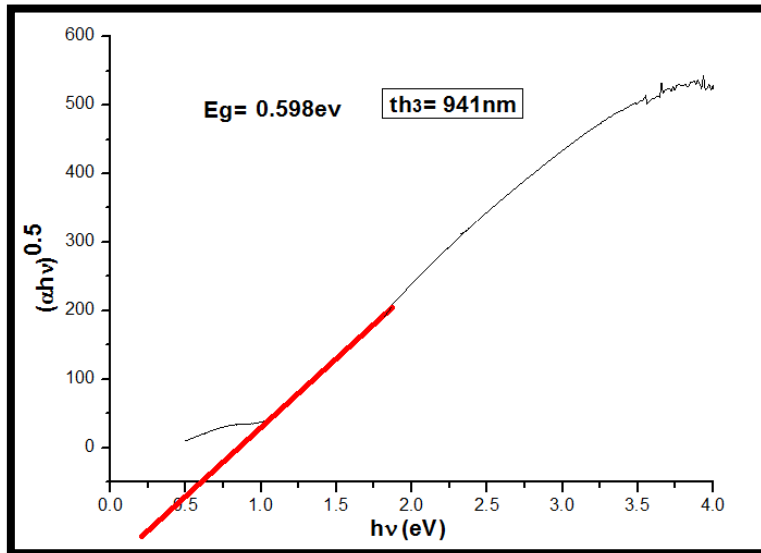
يُلاحظ تناقص قيمة عرض الفجوة الطاقية بزيادة السماكة من القيمة 0.82eV إلى القيمة 0.598eV لأن إزداد مقاس الحبيبات يُقرب مستويات الطاقة لتصبح بشكل أكثر استمرارية، إن دخول ذرات In إلى النظام Ge-Te سيشكل روابط مع ذرات Ge تؤدي إلى أحداث فوضى وتشكل حالات متموضعة تعمل على توسيع كل من عصابة التكافؤ والناقلية وبالتالي ستخفض قيمة الفجوة الطاقية E_g [11].



الشكل (7) حساب فجوة الطاقة للغشاء ذي السماكة 441nm .



الشكل (8) حساب فجوة الطاقة للغشاء ذي السماكة 720nm.



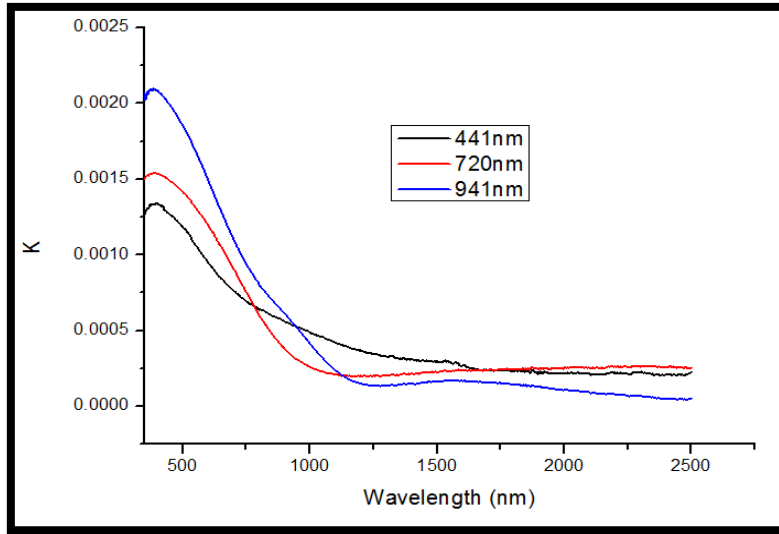
الشكل (9) حساب فجوة الطاقة للغشاء ذي السماكة 941nm.

3-2-5 دراسة معامل التخماد K:

يعبر معامل التخماد عن كمية ما تمتصه إلكترونات المادة من طاقة الفوتونات الساقطة عليها ويرتبط مع معامل الامتصاص α بالعلاقة التالية [13]:

$$K = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (5)$$

حيث λ : طول موجة الشعاع الوارد. يبين الشكل (10) العلاقة بين معامل التخماد وطول الموجة للعينة المدروسة ضمن المجال (350nm-2500nm) من أجل السماكات المختلفة (441nm, 720nm, 941nm). ويتضح من الشكل (10) إزدیاد معامل التخماد مع إزدیاد سماكة الغشاء وتناقصه مع إزدیاد الطول الموجي وهذا يتفق مع سلوك معامل الامتصاص [2].



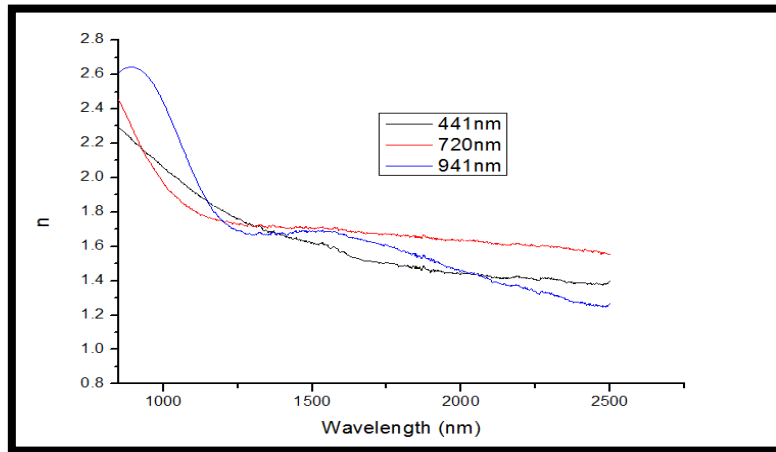
الشكل (10) علاقة معامل التخماد مع طول الموجة للعينة المدروسة بسماكات مختلفة.

3-2-6 دراسة قرينة الإنكسار n :

دُرست تابعة قرينة الإنكسار للأغشية $\text{GeTe}_{1.4}\text{In}_{0.6}$ للأطوال الموجية ضمن المجال (400nm-2500nm)، وذلك بالاعتماد على العلاقة الآتية: [14,16]

$$n = \sqrt{\frac{(1+R)^2}{(1-R)^2} - (K^2 + 1)} + \frac{(1+R)}{(1-R)} \quad (6)$$

يُلاحظ من الشكل (11) أن قرينة الانكسار تتناقص بإزدياد الطول الموجي وتمتلك قيمة عظمى $n=2.6$ عند المجال المرئي VIS. وتتناقص قرينة الإنكسار مع إزدياد الطول الموجي (المجال تحت الأحمر القريب) لتصل إلى $n=1.4$ عند السماكة 441nm، ويمكن ان يعزى ذلك لإزدياد النفوذية وتناقص معامل الامتصاص [12].



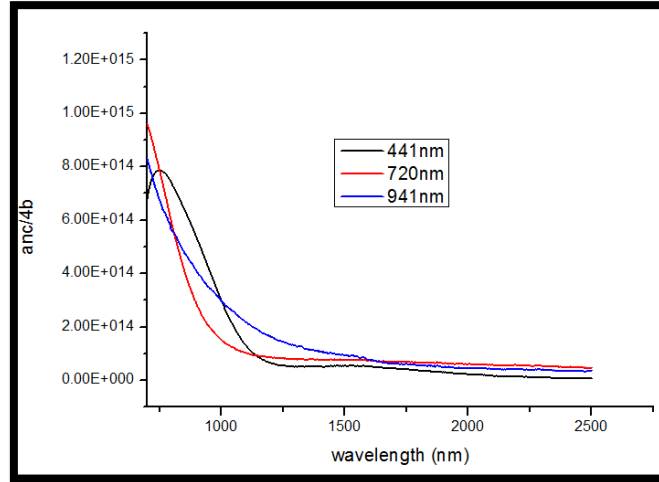
الشكل (11) قرينة الانكسار بدلالة الطول الموجي للأغشية $\text{GeTe}_{1.4}\text{In}_{0.6}$ بسماكات مختلفة

3-2-7 الناقلية الضوئية:

جرى حساب الناقلية الضوئية σ للأغشية الرقيقة المدروسة من خلال العلاقة التالية [17]:

$$\sigma = \frac{anc}{4\pi} \quad (7)$$

حيث: c سرعة الضوء في الخلاء. ووحدة الناقلية الضوئية هي S^{-1} (أي لها نفس ابعاد التردد)، ويُلاحظ من العلاقة السابقة اعتماد الناقلية الضوئية على معامل الامتصاص وقرينة الانكسار، يبين الشكل (12) أن الناقلية الضوئية تنخفض مع إزدياد الطول الموجي، ويعزى ذلك إلى إنخفاض قيم معامل الامتصاص α وقرينة الانكسار n عند نفس القيم للطول الموجي [18].



الشكل (12) تغيرات الناقلية الضوئية كتابع لطول الموجة.

4- الخلاصة:

- تم التوصيف الضوئي للأغشية الرقيقة بتحليل طيوف النفوذية $T(\lambda)$ في المجال (350nm-2500nm) وحساب الخواص الضوئية (n, σ, k, E_g) . كما أظهر طيف الإنعراج (XRD) للمسحوق المدروس أنه جزئي البلورة مع ظهور قيمة هضبية عند الزوايا الصغيرة نسبياً.
- جرت دراسة سطح الأغشية بتقنية (AFM) وأظهرت النتائج ازدياد المعدل الوسطي لأقطار الحبيبات بزيادة سماكة الأغشية.
- أظهر طيف النفوذية إزدياداً مع إزدياد الطول الموجي وأبدت الامتصاصية للأغشية سلوكاً معاكساً حيث زادت قيمها عند الأطوال الموجية في المجال المرئي.
- ازدادت قيم معامل الامتصاص للأغشية مع زيادة سماكتها وتناقصت قيم الفجوة الطاقية مع إزدياد السماكة حيث حسبت انطلاقاً من علاقة $Tauc$ للانتقالات الضوئية غير المباشرة.
- تناقصت قيم معامل التخماد مع زيادة الطول الموجي وكانت له القبة الأعلى عند السماكة 941nm.
- تناقصت قيم قرينة الانكسار والناقلية الضوئية مع زيادة الأطوال الموجية وكانت أعلى للسماكة 941nm.

المراجع:

1. J. Rocca, M. Erazu, M. Fontana, B. Arcondo, (2009), Crystallization process on amorphous GeTeSb samples near to eutectic point $\text{Ge}_{15}\text{Te}_{85}$, J. Non-Cryst. Solids. 355, p.2068.
2. EL-GENDY, A. M. SALEM ,(2019),CHARACTERIZATION OF STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES OF AMORPHOUS CHALCOGENIDE $(\text{GeTe}_4)_{100-x}\text{In}_x$ ($0 \leq x \leq 15$) THIN FILMS, Chalcogenide Letters Vol. 16, p. 433
3. A. Zaidan, V. Ivanova and P. Petkov, (2012), Optical properties of chalcogenide Ge-Te-In thin films, Journal of Physics: Conference Series. 356, 012014.
4. J. Quiñones-Galván, et al. (2016). "Structural properties of Sn-doped CdTe thin films grown by pulsed laser deposition using powder as target." Journal of Laser Applications 28(3):1-5.
5. A.P.Mihai, Non-Crystalline Chalcogenides, (2002), 8:(4).
6. F.A. Abdel-Wahab, H. Maksoud, M.F. Kotkata , (2006), Investigations of the conduction mechanism and relaxation properties of semiconductor Sm doped a-Se films. Journal of Physics D Applied physics, 39, 10, 2059.
7. VL. IVANOVA, Y. TRIFONOVA, P. PETKOV, (2020), Stress investigation in Ge-Te-In thin films, Vol. 22, p. 266 – 271
8. A.H. Moharram, F.M. Abdel-Rahim, (2004). Substrate and annealing temperature effects on the optical and electrical properties of $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ films. 72: 113.
9. A. Mohammed, & A.M. Mousa, (2014), Structural and Optical properties of Chemically Deposited CdS Thin Films. International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy, 10, 91-104.
10. J. D. Rancourt. (1995). Optical Thin Films User Handbook. SPIE Bellingham, 1st ed. USA. 290 pages.
11. W. Yonghui, CH. Fen, Xiang, D. SH. Shixun, (2013), Qihua Nie, Thermal effect on the structure and optical properties of Ge-Te-In thin films, 335-339.
12. A Zaidan, V. Ivanova and P. Petkov, (2012) Optical properties of chalcogenide Ge-Te-In thin films, Journal of Physics: Conference Series 356, 012014.
13. V. Ivanova, Y. Trifonova , P. petkova, T. Petkova, (2014), The influence of In on photo-induced properties of Ge-Te-In chalcogenide thin films, Vol. 8, p. 42 – 44.
14. B. Gauthier, (1998). Simultaneous determination of the thickness and optical constants of weakly absorbing thin films Measurement Science and Technology. 9: 485–487.
15. Ivanova, Trifonova, Vanya Lilova, (2018), STRUCTURAL INVESTIGATION OF TELLURIUM BASED THIN FILMS, journal of Chemical Technology and Metallurgy, 35, 4, 749-754.
16. A.F. Qasrawi, (2005). Refractive Index, Band Gap and Oscillator Parameters of Amorphous Gaze Thin Films. *Crystal Research and Technology*. 40 (6): 610– 614.
17. S.H. Wemple and M.M. DiDomenico, (1971). Physical Review. 3: 1338-1351.
18. R. Tintu, K. Sulakhna, K.V. Saurav, P.N. Nampoori., P. Radhakrishnan and TH. Sheenu, (2010). $\text{Ge}_{28}\text{Se}_{60}\text{Sb}_{12}$ /PVA Composite Films For Photonic Application. Journal of Non Oxide Glasses. 2: 167-174.
19. G. Sreevidya, U. Ramamurty, Abhishek, (2020). Physical and mechanical properties of intermediate phase chalcogenide glasses with centroid compositions in the Ge-Te-In-Ag system, Journal of Non-Crystalline Solids, 543, 120112.