مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد الخامس والعشرون - المجلد الأول - علوم الفيزياء - آذار 2025 م
doi.org/10.52866/esj.2025.01.25.02

تأثير زمن التلدين على الخصائص البصرية والكهربائية لأغشية لتيلورايد الكادميوم (CdTe) المحضرة بطريقة التبخير الحراري بالفراغ

لمياء خليل حمد[1] ، كوكب داود سالم[2]
جامعة تكريت - كلية التربية للعلوم الصرفة - قسم الفيزياء
E-mail[2] : kawkab_badri@tu.edu.iq E-mail[1]: LA230043PEP@ST.TU.EDU.IQ

مستخلص:

تم في هذا البحث دراسة تأثير زمن التلدين على الخواص البصرية والكهربائية لأغشيّة تيلورايد الكادميوم الرّقيقة (CdTe) والتي تم ترسيبها على شرائح زجاجية بتقنية التبخير الحراري في الفراغ تحت ضغط قدره وبسمك 200±25 (nm) . وتم دراسة الخواص البصرية وذلك بدراسة سلوك كلاً من طيف الامتصاصية (A) وطيف النفاذية (T)ضمن مدى الموجي المحصور بين (375 – 800)nm والسّاقط على هذه الأغشية في جهاز مباشرة المطياف وكذلك تم حساب معامل الامتصاص وفجوة الطاقة حيث لوحظ إن قيمة فجوة الطاقة قد تناقصت من 1.8 ev إلى 1.6 ev مع زيادة زمن التلدين . أما بالنسبة لنتائج فحص هول فقد تبين بأن نوع الحاملات تغير من نوع (n) الى النوع (p) عند التلدين بزمن (10, 20,30)min ودرجة حرارة (400 ºC)، وأن قيم التوصيلية الكهربائية لم تسلك سلوكاً منتظماً سواء في زيادة قيمتها أو نقصانها بعد عملية التلدين بأزمان مختلفة و أن تركيز تلك الحاملات يزداد مع زيادة زمن التلدين. وأن التحركية تقل بزيادة زمن التلدين.

الهدف من البحث

إمكانية تحضير الأغشية الرقيقة من مادة تيلورايد الكادميوم (CdTe) بطريقة التبخير الحراري بالفراغ (PVD)

ودراسة تأثير زمن التلدين (10,20,30) min على الخواص البصرية والكهربائية للأغشية المحضرة لأهمية هذه المادة في العديد من التطبيقات العملية.

الكلمات المفتاحية : التبخير الحراري ، زمن التلدين ، فجوة الطاقة ، تأثير هول على الأغشية الرقيقة نوعCdTe .

The annealing time influence on the optical and electrical properties of CdTe thin films prepared by vacuum thermal evaporation

Lamia Khalil Hamad , Kawkab D. Salim
University of Tikrit, college of education for pure science, physics department
E-mail[1]: LA230043PEP@ST.TU.EDU.IQ E-mail[2] : kawkab_badri@tu.edu.iq

Abstract :

Annealing time influence on the optical and electrical properties of CdTe thin films prepared by vacuum thermal evaporation method has studied at this work. These thin films which have thickness of (200 ±25) nm has deposited on glass substrates under pressure of ($5x10^{-5}$ torr). The deportment of Absorbance and transmission spectrums at the range (375-800 nm) of the wavelength have studied by spectrometer and then it was able to calculate the values of absorption coefficient and the energy bandgap, thus it was noticed that there was degradation in the value of energy bandgap from 1.8eV to 1.6eV by increasing in the time of annealing. Also it was found by Hall effect test, that the type of charge carriers changed from the (n) type to the (p) type when annealing time (10, 20, and 30) min and a temperature of(400°C),and that the electrical conductivity values did not behave in a regular manner, whether in increasing or decreasing in value after the annealing process at different times. The concentration of these carriers increases with increasing annealing time, and the mobility decreases with Increasing annealing time

Keywords : Thermal evaporation, annealing time, energy gap, Hall effect on CdTe thin films.

1- المقدمة
Introduction

تنتمي أغشية تيلورايد الكادميوم (CdTe) للمجموعة السادسة والثانية (II- IV) من الجدول الدوري، وهي مواد ثنائية شبه موصلة وتركيبها البلوري مكعب الشكل Zinc blende [1] تدخل هذه الأغشية الرقيقة بشكل كبير في العديد من التّطبيقات الإلكترونية و الضوئية مثل أجهزة الكشف الضوئي، وأجهزة تأثير الترانزستورات (FETDs)، والصمامات الثنائية الضوئية، والخلايا الشمسية الفوتوفلطائية [2،3،4] وتعد الخلايا الشمسية المصنعة من (CdTe) أحد التطبيقات الواعدة للتحويل الى الطاقة الضوئية نظرًا لخصائصه الخاصة فهي من المواد التي تتميز بتكلفتها المناسبة وكفائتها العالية [5] بامتلاكها فجوة طاقة مثال (1.45 ev) وقدرة امتصاص عالية في نطاق الطيف المرئي [6] ومعامل الأمتصاص البصري ($> 10^4$ Cm^{-1}) ولتحقيق امتصاص كامل للطيف الشمسي بسماكة اقل من800 µm [7،8]حيث يمتص >٪99 من الطيف في حوالي m2µ [9] نتيجة حدوث انتقال الإلكترونات بصورة مباشرة في الغالب بين حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ عن طريق أمتصاص أو إنبعاث فوتون [10،11،12] ومن الخواص الأخرى مثل متوسط العدد الذري المرتفع، ودرجة حرارة الانصهار المنخفضة، ومعامل الشبيكة الكبير مقارنة بالمركبات الأخرى شبه الموصلة [13] وعادة ما تكون الأغشية الرقيقة من CdTe أشباه موصلات من النوع p، ولكن يمكن صنعها من النوع p والنوع n [14] إضافة الى ذلك إمكانية تحضير هذه الأغشية بالعديد من تقنيات الترسيب [15] مثل الرش الحراري التبخر الفراغي [16] والترسيب الكهربائي[17]، وترسيب الليزر النبضي[18،19]، وكل هذه التقنيات لها مميزات وعيوب وحسب نوع التطبيق المستخدم للأغشية يؤدي ترسيب الأغشية الرقيقة في ظل ظروف مختلفة إلى نتائج مختلفة. ومعاملات الترسيب المختلفة مثل معدل الترسيب ونوع القاعدة ، درجة حرارة القاعدة، وسمك كل من القاعدة والغشاء[20،21] بالتالي تؤثر على خصائص الأغشية في هذا البحث استخدمت تقنية التبخر الحراري بالفراغ ومن المزايا المفضلة لهذه التقنية معدل الترسيب العالي والتكلفة المنخفضة للمعدات وسهولة استخدامها [22،23]. وتحتاج هذه التقنية التفريغ العالي، لكي تكون قادرة على إنتاج أغشية رقيقة عالية الجودة [24] لقد تم الحصول على معلومات الخواص الضوئية والكهربائية للأغشية الرقيقة من CdTe. أن هذه التقنية أستخدمها العديد من الباحثين في دراستهم منهم (H.M. Ali) [25] وحصل على نتائج مقاربة حيث ان فجوة الطاقة تقل مع زيادة نسبة التشويب بالفضة[26] (M.F. Al-Kuhaili) ان فجوة الطاقة تقل مع درجة الحرارة التلدين. نايف عماد مشحن واخرون [27] أن التوصيلية الكهربائية زادت بزيادة زمن التلدين وكما درس ((K.M.A Hussain 28]] وجماعته تأثير التلدين بالليزر على الخواص الكهربائية والبصرية والتركيبية ودرس (Mohamad H) [29] تأثير التلدين على فجوة الطاقة وأظهرت النتائج أن فجوة الطاقة تزداد بتأثير التلدين .إن الخواص المعتمدة على التلدين الحراري للأغشية الرقيقة CdTe المبخرة بالفراغ ليست مفهومة جيدًا للتطبيقات الكهروضوئية. تم في هذا العمل إجراء

دراسة تأثير زمن التلدين الحراري على الخواص الفيزيائية لأغشية CdTe الرقيقة لتحسين الخواص البصرية والكهربائية لـ CdTe. وإمكانية أستخدامها في دراسة كفاءة الخلايا الشمسية المصنعة من هذا النوع من الأغشية.

2 - الجزء العملي
Experimental part

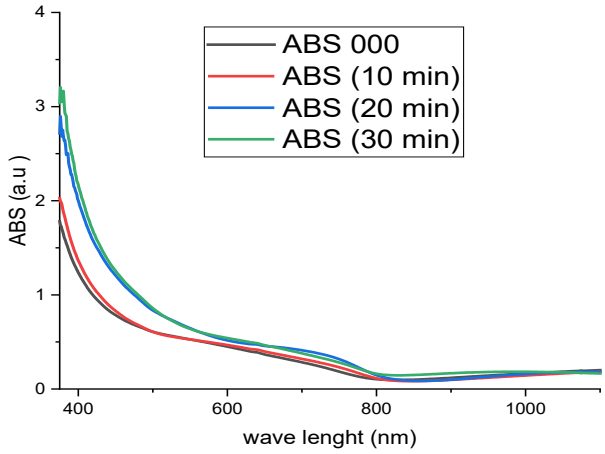
تم تحضير اغشية رقيقة من مادة شبه الموصلة (CdTe) ذات نقاوة (99.999٪) بتقنيه التبخير الحراري بالفراغ تحت ضغط بحدود (mbar) باستخدام جهاز التفريغ الحراري بالتبخير. حيث تبلغ حرارة تبخر (1140° C) .(CdTe) . على قواعد زجاجية نظيفة والمسافة بين القواعد وحويض الموليبدنيوم (Molybdenum Boat) تقريبا (13cm) وقبل الترسيب تم غسل القواعد الزجاجية بمسحوق الغسيل والماء الجاري لازالة المواد الدهنية العالقة بها. وبعدها تم غسل القواعد بكحول الايثانول لمدة 15 دقيقة، ثم غسل القواعد في الماء المقطر وأخيراً تجفيف القواعد وحفظها في حاويات بلاستيكية لحين الاستعمال. إن أساس عمل هذه التقنية هو تكثيف مادة (CdTe) المتبخرة من حويض الموليبدنيوم (Molybdenum Boat) والتي تم تسخينها لدرجة الغليان على سطح أساس القواعد البارد في جو مفرغ يصل الى mbar) وذلك لضمان مسار حر للذرات من الحويض الى القواعد ثم تليها عمليات التلدين الحراري (المعالجة الحرارية) تستخدم عملية التلدين الحراري بواسطة فرن حراري وعند درجة حرارة 400 درجة مئوية ولثلاثة أزمان مختلفة هي (10،20،30) دقيقة .

3 - نتائج قياسات الخواص البصرية
Results of optical property measurements

قمنا بدراسة الخصائص البصرية لأغشية (CdTe) من خلال جهاز Spectrophotometer UV 1800- والذي يعمل على الأطوال الموجية للضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية (UV – vis-ible) وقد أجرينا الدراسة من الطول الموجي (nm 190) الى (1100 nm). كذلك قمنا بأخذ قيم كل من الامتصاصية والنفاذية قبل التلدين وبعده للازمان (10، 20 ، 30 min).

3-1 طيف الامتصاصيّة Spectrum Absorbance

يبين الشكل (1) تحليل نتائج طيف الامتصاصية لأغشية تيلورايد الكادميوم النّقية والملدنة بأزمانٍ مختلفةٍ والمحضّرة بطريقةِ التّبخير الحراري تحت الفراغ وبسمك (25±200 nm) حيث يلاحظ أن طيف الامتصاصية يسلك كدالة للطول الموجي لهذه الأغشية، حيث يلاحظ أن طيف الامتصاصية يبلغ قيمته العظمى عند الأطوال الموجية القصيرة ذات الطاقة العالية ويكون قليل القيمة عند الأطوال الموجية الطويلة ذات الطاقة الواطئة.

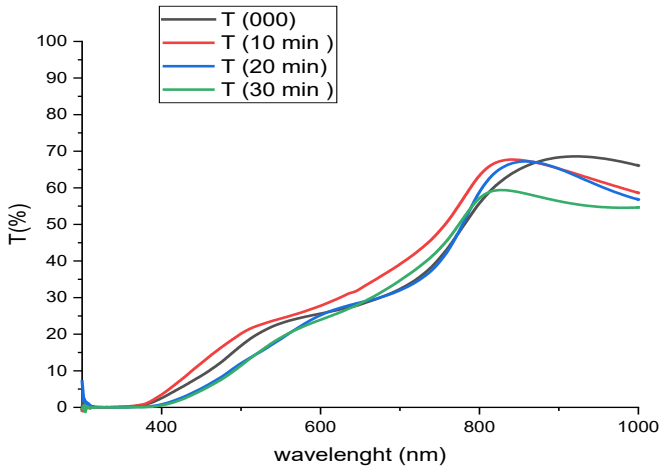


شكل (1) :طيف الامتصاصيّةلأغشية تيلورايد الكادميوم النّقية غير الملدنة والملدنةبأزمان (10، 20 ، 30) min

يبين الشكل تأثير زمن التلدين على طيف الامتصاصية لكل غشاء من الأغشية الملدنة حيث لاحظنا تزايداً في مقدار امتصاصية الأغشية كلما ازداد زمن التلدين، نتيجة لإعادة التبلور المستحث حراريًا والتفاعل الكلي بين ذرات Cd وTe غير المتفاعلة لتكوين CdTe. هذا التحسن في الامتصاص بعد المعالجة الحرارية يكشف ذلك [30].

3-2 النفاذية Tranmittance

الشكل (2) يبين طيف النفاذية كدالة للأطوال الموجية لأغشية تيلورايد الكادميوم النقية والملدنة في (10 ،20 ،30)min، حيث يبين الشكل أن النفاذية تبدأ بالظهور عند الطول الموجي الذي يفصل بين نفاذية مادة الغشاء وإمتصاصيتها وهو ما يدعى بطول موجة القطع(λ cut off)، ومن الشكل يتبين إن النفاذية تزداد مع زيادة الطول الموجي الساقط على مادة الغشاء ضمن منطقة الطيف المرئي(375 -1000)nm وللأغشية جميعها وتصل ذروتها عند الأطوال الموجية (800 1000-)nm وهي منطقة التحت الحمراء، وهي الأطوال الموجية منخفضة الطاقة. وهو مطابق لنفس سلوك الأغشية الرقيقة بصورةٍ عامّةٍ. كما أنها تقل بزيادة زمن التلدين.

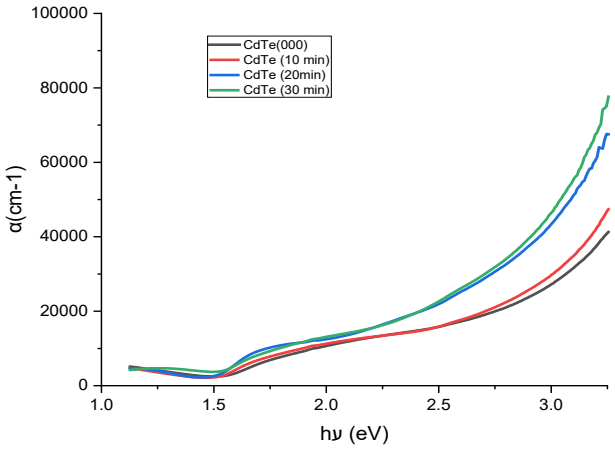


الشكل (2) : النفاذية لأغشية (CdTe) النقية والملدنة بأزمان (10 ، 20 ، 30) min

3-3 معامل الامتصاص Absorption Coefficient

تم حساب معامل الامتصاص لأغشية (CdTe) النقية وتأثير زمن التلدين عليها بأزمان (10، 20، 30)min وبدرجة حرارة (400 ºC) ذات سمك (t) يساوي (25±200 nm) باستخدام العلاقة: $(\alpha = 2.303\ A/t)$.

يبين الشكل (3) تغير معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون الساقط لأغشية (CdTe) النقية غير الملدنة والملدنة بأزمان مختلفة (10، 20، 30) min، يتبين أن معامل الأمتصاص يبدأ بالزيادة التدريجية على نحو عام مع زيادة طاقة الفوتونات الضوئية الساقطة حيث تكون قيمته أكبر من (10^4 Cm^{-1}) للطاقات التي تبدأ من (2 ev) ولجميع الأغشية. وأن قيمة معامل الأمتصاص (α) عندما تكون أكبر من (10^4 Cm^{-1}) تؤدي الى حدوث إنتقالات إلكترونية مباشرة من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل لتلك الطاقات أي أنّ فجوة الطاقة تكون من نوع المباشر المسموح.



الشكل (3): معامل الامتصاص ولجميع لأغشية (CdTe) النقية والملدنة بأزمان مختلفة

4-3 فجوة الطاقة البصرية

The Optical Energy Gap

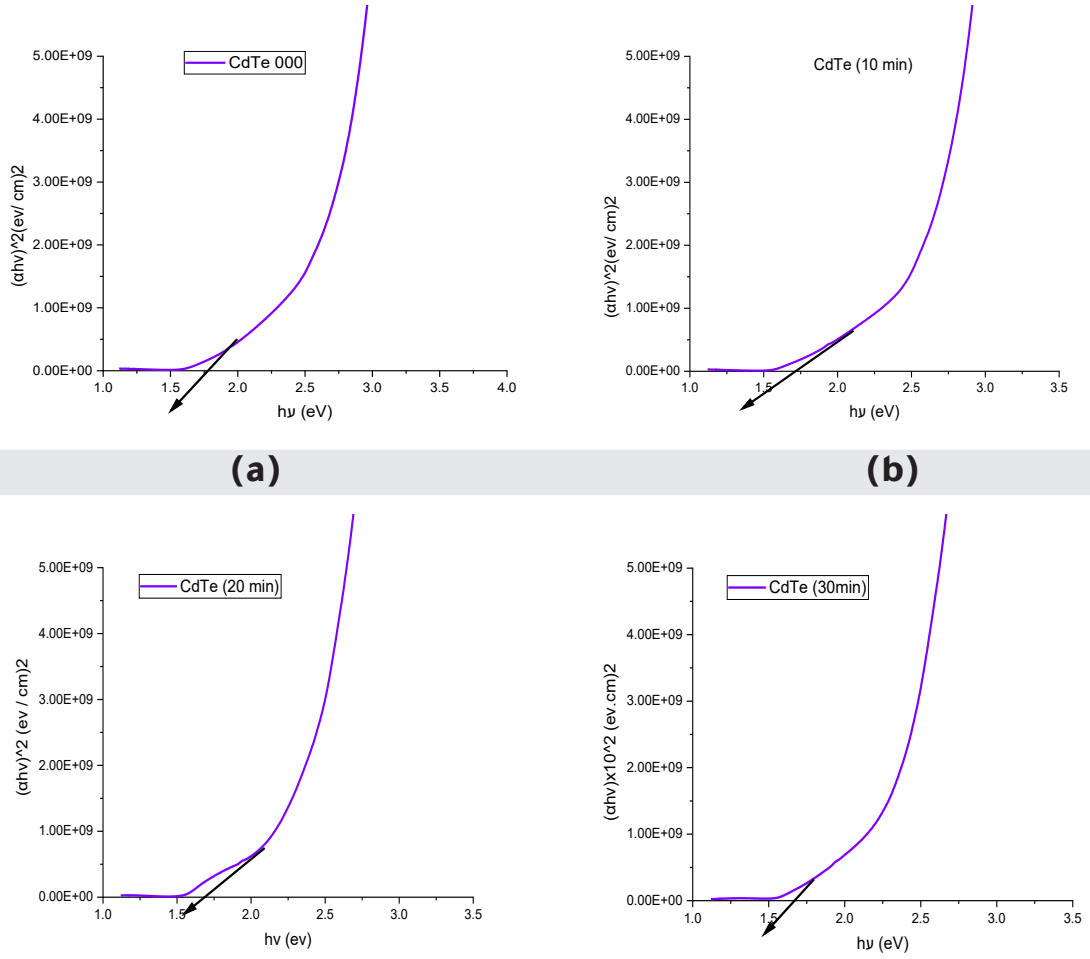
تم إيجاد قيم فجوة الطاقة البصرية لأغشية (CdTe) النقية وتأثير زمن التلدين عليها بأزمان (10، 20، 30)min وبدرجة حرارة (400 ºC) ذات سمك (25±200 nm) وللإنتقالات الإلكترونية المسموحة باستخدام معادلة تاوك:

$$(\alpha h\nu) = \beta(h\nu - E_g^{opt})^r$$

α معامل الامتصاص، β ثابت الانتقال، n قيمة الثابت وقيمته (1/ 2) و (3/ 2) للانتقال المباشر المسموح، وللانتقال المباشر الممنوع. وكذلك للانتقال غير المباشر المسموح والممنوع له قيم (2) و(3) على التوالي .

ومن الشكل (4) نرسم العلاقة بينطاقة الفوتون ونمد الجزء المستقيم للمنحني فيقطع محور طاقة الفوتون وعندما ونحصل على قيمة فجوة الطاقة البصرية للأغشية غير الملدنة تساوي (1.8 ev) وتتناقص تدريجياً الى أن تصل (1.6 ev) الجدول(1) للأغشية الملدنة لمدة (30 min) ويلاحظ من الشكل (5) إنخفاض قيمة فجوة الطاقة بتأثير زمن التلدين. وقد يعزى سبب ذلك الى أن المعاملات الحرارية أدت الى ازدياد حجم البلورات مع زيادة زمن التلدين، مما يخفض من فجوة الطاقة ويعزز الخواص البصرية للأغشية [31] أو بسبب وجود

كمية أكبر من (Te) في الأغشية وبالتالي يؤدي الى زيادة عدد الحبيبات غير المشبعة عند الحدود الحبيبية مما يؤدي الى أختلال في بنية البلورة . وان زيادة تركز الحالات القابلة التي تقوم بها ذرات (Te) تؤدي الى زيادة ذيول الحالة الممتدة الى فجوة الطاقة وبالتالي يقل عرض فجوة الطاقة [32،33]



الشكل (4) يبين فجوة الطاقة البصرية

a –بدون تلدين b –لتلدين بزمن (min 10) c – التلدين بزمن (min 20) – d – التلدين بزمن (min 30) .

جدول(1): الخواص البصرية لغشاء تيلورايد الكادميوم المحضّر بالتبخير الحراري بالفراغ والملدن بأزمان مختلفة

Annealing Time (min)	Abs (a.u)	T%	α (cm^{-1})	Eg (eV)
0	0.608	73.26	15558	1.790
10	0.607	73.30	15532	1.700
20	0.835	65.22	21367	1.680
30	0.858	64.46	21955	1.600

4 - تأثير هول Hall effect

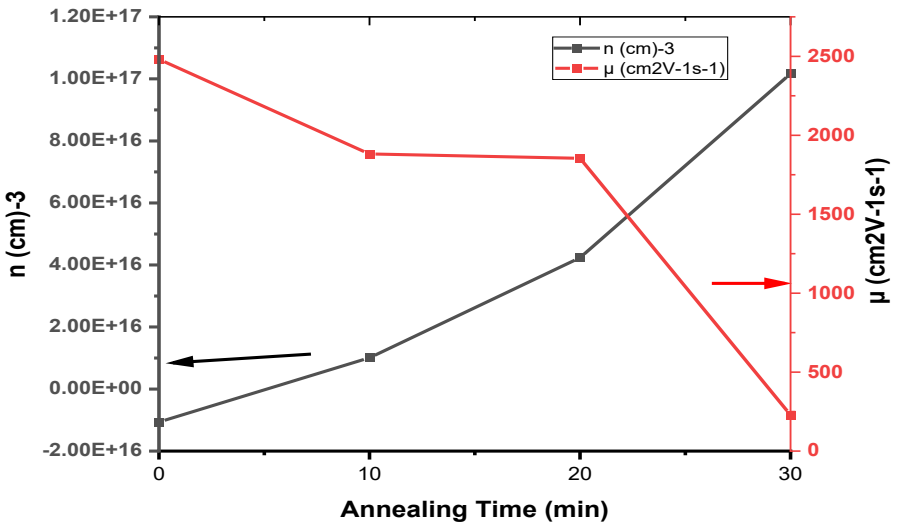
يبين الجدول رقم (2) نتائج فحوصات تأثير هول على أغشية CdTe المحضرة بطريقة التّبخير الحراري بالفراغ حيث تم قياس نسبة تركيز الحاملات ذات الشحنة الأغلبية و الذي أظهرت أن نوع الشحنة يكون من النوع السالب (n type) قبل عملية التلدين ومن ثم تتغير إلى النوع الموجب (p type) عند التلدين في درجة حرارة 400 ºC والتي أستمرت لثلاث أزمان المختلفة (10,20,30) T= min

جدول (2):

تأثير هول على أغشية CdTe المحضرة بطريقة التّبخير الحراري بالفراغ والملدنة بأزمان(10,20,30) min

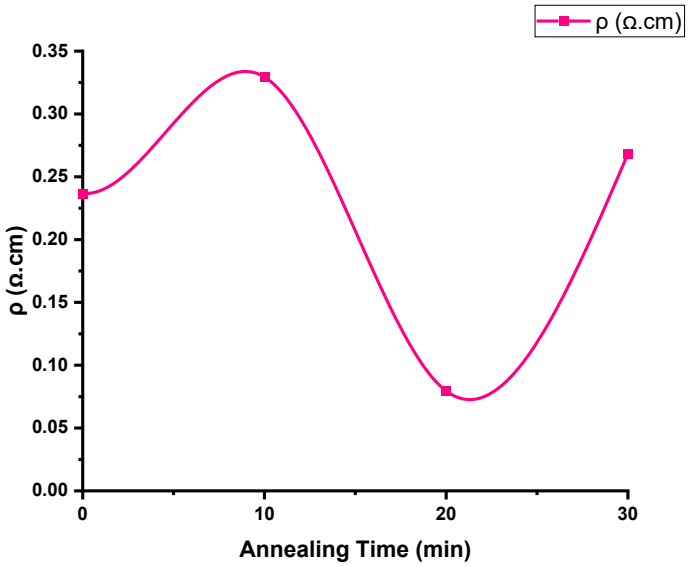
Annealing Time (min)	n $(cm)^{-3}$	RH $(cm^{-3}C^{-1})$	σ $(\Omega.cm^{-1})$	μ $(cm^2V^{-1}s^{-1})$	ρ (Ω.cm)	Type
CdTe(00)	-1.06E+16	-587.1657754	4.22E+00	2480.655182	3.29E-01	N
CdTe(10)	1.01E+16	619.6808511	3.04E+00	1881.308034	2.37E-01	P
CdTe(20)	4.23E+16	147.4747475	1.26E+01	1853.968254	7.95E-02	P
CdTe(30)	1.02E+17	61.39288418	3.73E+00	228.9343684	2.68E-01	P

كما لوحظ في الجدول (2) أن قيم التوصيلية الكهربائية (σ) لم تسلك سلوكاً منتظماً سواء في زيادة قيمتها أو نقصانها. قبل عملية التلدين(σ) كانت قيمتها (**4.224** $\Omega.cm^{-1}$) و بعدعملية التلدين بأزمان مختلفة، فبعد التّلدين لمدة عشر دقائق لوحظ تناقصا في قيمة التّوصيليّةُ الكهربائيّة وقيمتها (3.04 $\Omega.cm^{-1}$)، ثمّ لوحظ أنّ هناك تزايدًا في قيمة التّوصيليّة عندما أستغرقت عملية التّلدين عشرين دقيقة لتكون (12.6 $\Omega.cm^{-1}$)، لتعود من جديد للتّناقص عندما أخذ التّلدين زمنًا مقداره 30 دقيقة وتأخذ القيمة ($3.73\Omega.cm^{-1}$) ويعزى سبب ذلك أعادة توزيع الشوائب الموجودة مسبقاً وهذه النتيجة تتفق مع المصدر [34] وأيضاً يلاحظ من خلال الشكل (6) ان تركيز تلك الحاملات يزداد مع زيادة زمن التلدين. وأن التحركية تقل بزيادة زمن التلدين ربما يرجع سبب هذا الى التغيرات في بنية الأغشية أثناء عملية التلدين حيث تحتوي هذه الأغشية عدد كبير من ذرات (Te) الحرة غير المرتبطة مع شبك (CdTe)حيث تقوم بحبس الالكترونات وإنشاء حالات قابلة وبالتالي زيادة تركيز حاملات الشحنة لهذه الاغشية [35].



الشكل (6) :تركيز الحاملات والتحركية مع زمن التلدين CdTe الملدنة وغير الملدنة

يبين الشكل (7) المقاومية الكهربائية المحسوبة من تأثير هول كدالة لزمن التلدين، أن قيم المقاومية الكهربائية كذلك لم تسلك سلوكاً منتظماً سواء في زيادة قيمتها أو نقصانها بعد عملية التلدين بأزمان مختلفة ، فبعد التّلدين لمدة عشر دقائق لوحظ زيادة في قيمة المقاومية الكهربائية ، ثمّ لوحظ أنّ هناك تناقصاً في قيمة المقاومية عندما أستغرقت عملية التّلدين عشرين دقيقة ، لتعود من جديد للتزايد خلال زمن التّلدين مقداره 30 دقيقة .



الشكل (7): المقاومية الكهربائية المحسوبة من تأثير هول كدالة لزمن التلدين

Conclusions : الاستنتاجات

تم تحضير أغشيّة تيلورايد الكادميوم الرّقيقة (CdTe) التي تم ترسيبها على شرائح زجاجية بتقنية التبخير الحراري في الفراغ وبسمك 200±25 (nm) وبدرجة حرارة الغرفة. وعُرضت هذهِ الأغشية الى التلدين بدرجة (400 ºC) بتأثير زمن التلدين (10,20,30)min. سجل طيف الأمتصاصية والنفاذية من مدى (375 – 800)nm لهذه الأغشية قبل التلدين وبعده . ولقد وجد أن التلدين قد أثر بشكل واضح على الخواص البصرية . والمتضمنة طيفي الأمتصاصية والنفاذية ومعامل الأمتصاص وفجوة الطاقة . أما بالنسبة لتأثيرات هول، تبين أن الحاملات تتغير من نوع (n) قبل التلدين الى (p) بعد التلدين للأزمان المختلفة. وان تركيز حاملات الشحنة يزداد بزيادة زمن التلدين. بينما أنخفضت قيم التحركية في حين الموصلية والمقاومية لم تتبع سلوكاً منتظماً مع زيادة زمن التلدين.

المصادر والمراجع

1. Chavhan, S. D., Senthilarasu, S., & Lee, S. (2008). Applied Surface Science, 254, 4539-4545.

2. Hernandez-Contreras, H., Mejia-Garcia, C., & ContrerasPuente, G. (2004). Thin Solid Films, 451-452, 203.

3. Fritsche, J. T., Schulmeyer, T., Thiben, A., Klein, A., & Jaegermann, W. (2003). Thin Solid Films, 431-432, 267.

4. Romeo, A., Batzner, D. L., Zogg, H., & Tiwari, A. N. (2000). Thin Solid Films, 361-362, 420.

5. Hossain, M. S., Amin, N., Matin, M. A., Aliyu, M. M., Razykov, T., & Sopain, K. (n.d.). Calcogenide Letters, 8(3).

6. keane .(2011) .Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference 16.5% .efficiency CdS/CdTe polycrystalline thin-film.

7. Chun, S., Han, K. S., Shin, J. H., Lee, H., & Kim, D. (2010). Microelectronic Engineering, 87, 2097-2102.

8. McCandless, B. E., & Birkmire, R. W. (199). Solar Cells, 31, 527-535.

9. Luque, A., & Hegedus, S. (Eds.). (2003). Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.

10. Kim, C. C., Daraselia, M., Garland, J. W., & Sivananthan, S. (1997). Physical Review B, 56, 4786-98.

11. Mane, R. S., & Lokhande, C. D. (2000). Materials Chemistry and Physics, 65, 1–31.

12. Khairnar, U. P., Bhavsar, D. S., Vaidya, R. U., & Bhavsar, G. P. (2003). Materials Chemistry and Physics, 80, 421–7.

13. Sundari, S. T., Swaminathan, V., Tyagi, A. K., & Mahalingam, T. (2000). Microstructural studies of oxygen irradiated CdTe thin films. Solid State Communications, 177, 495.

14. Kazmerski, L. L. (2002). Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaics Specialists' Conference, 21.

15. Erra, S. (2005). Stability studies of CdTe solar cells with varying amounts of Cu in the back contact (Doctoral dissertation, University of South Florida).

16. Uda, H., Taniguchi, H., Yoshida, M., & Yamashita, Y. (1978). Japanese Journal of Applied Physics, 17, 585.

17. Panicker, M. P. R., Knaster, M., &

Kroger, F. A. (1978). Journal of the Electrochemical Society, 125, 556.

18. Cheung, J. T., Khoshnevisan, M., & Magee, T. (1983). Applied Physics Letters, 43, 462.

19. Jackson, F., Berlouis, L. E. A., Rocabois, P., & Cavenett, B. C. (1996). Journal of Crystal Growth, 159, 200.

20. Ligang et .al, (2015). acile method to prepare CdS nanostructure based on the CdTe films. Applied Surface Science, pp. 740-745.

21. Tanushevski et al ,(2017) .TRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES OF CdTe THIN FILMS .RAD Conference Proceedings ،pp.150

22. Bylica et al, (2006). Layers of CdTe and CdS obtained by PLD on ITO substrates. Thin Solid Films, pp. 511-512.

23. Talebian et al, Talebian et al.(2013) . A general review on the derivation of Clausius–Mossotti relation .Optik .pp .2324- . 2326

24. Ligang et al, (2018). atalyst- and template-free low-temperature in situ growth of n-type CdS nanowire on p-type CdTe film and p-n heterojunction properties.

25. H.M.Ali et al.(2023) Chalcogenide Letters - 20,5 No 6pp-431-437

26. M.F. Al-Kuhaili , M.B. Mekki, S.A. Abdalla,(2019) Influence of vacuum annealing on the photoresponse of thermally evaporated cadmium telluride thin films.

27 . نايف عماد مشحن وزملائه(2010م) ملحق بحوث دولة القادسية للعلوم الصرفة المجلد 15 العدد ISSN The effect of Annealing Time on) structural and Electrical Propeties of Cdte Thin film“» (-1997 2490)

28. K.M.A Hussain (2014)American Journal of materials Science and Application pp.91-95

29. Mohamad H. et al , (2011) Annealing effect on the optical energy gap of (CdTe) thin films. Diyala Journal for puer sciences

30.Yimamu, e. a. (2023). Influence of growth time on the properties of CdTe thin films grown by. IOP Publishing Ltd.

31. Garadkar, e. a. (2010). Journal of Alloys and Compounds, pp. 77-80.

32. R. Chakrabarti, S. Ghosh, S. Chaudhuri, (1999). A.K. Pal, J. Phys. D: Appl. Phys. 32, 1258

33. J. I. Pankove,(1971)Optical Processes in Semiconductors, (Dover, New York,.

34.Pautrat, e. a. (1982). J.Appl.phys, pp. 8668-8677.

35. K. Seger, Semiconductor Physics, Springer, Berlin, 1999.