

استخدام المركب $\text{GeSe}_{2-x}\text{Cd}_x$ كطبقة في الخلية الشمسية ودراسة خصائص هذه الخلية

صباح سيد قدوري* د. أحمد اليحيى**

د. إياد مدور**

الملخص

جرى في هذا العمل تحضير أغشية رقيقة من المركب $\text{GeSe}_{2-x}\text{Cd}_x$ من النوع P على ركيزة من الجرمانيوم (Ge) من النوع n حيث: $x=(0.3-0.7)$. وذلك بمساحة $5\mu\text{m}$. درست الخواص البنيوية والضوئية لهذه العينات في أعمال سابقة تم نشرها [1,2]. سُجل طيف الانعكاسية $R = f(\lambda)$ للأغشية المحضرة، وتبين أن انعكاسيتها 28.56% من أجل العينة $x=0.7$ ، و 24.77% من أجل العينة $x=0.3$ في المجال المرئي. تبين أن قدرة هذه الأغشية على الامتصاص جيدة، وكذلك تبين أن قيم فجوة الطاقة تقع في المجال الذي يسهل استخدامها للحصول على أقصى مردود للخلية الشمسية. دُرِس المميّز (I-V) للخلايا الشمسية المحضرة، وذلك بعد إجراء تماسات أومية باردة بمعجون الفضة وباستخدام أسلاك رقيقة من النحاس. وتبين أن مردود الخلية الشمسية $\eta = 6.92\%$ $\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$ ومعامل الملء $FF=0.69$ ، والخلية $\text{GeSe}_{1.3}\text{Cd}_{0.7}$ ، $\eta=4.73\%$ و $FF=0.82$.

الكلمات المفتاحية: غشاء رقيق، المردود، متعدد التبلور، معامل الملء.

* طالبة دكتوراه - قسم الفيزياء كلية العلوم - جامعة دمشق.

** قسم الفيزياء كلية العلوم - جامعة دمشق.

using the compound $\text{GeSe}_{2-x}\text{Cd}_x$ as Layer in solar cell and study the properties of this solar cell

Sabah said kadorry* Dr. Ahmad Alyhya**
Dr. Iad Mdawar**

Abstract

This work presents the method of preparation and properties of thin films of p- $\text{GeSe}_{2-x}\text{Cd}_x$ on a n-Ge substrate where: $x = (0.3-0.7)$. thickness of $5\mu\text{m}$. the structural, and optical properties of these samples were studied in previous papers.

The optical reflectance $R = f(\lambda)$ spectra had been recorded and observed that the prepared films have a reflectivity about 28.56% for sample $x=0.7$ and 24.77% for sample $x=0.3$ in the visible regions, so these films have a good absorption and the band gap energy values are also in the range where these can be easily utilized for maximum output conversion efficiency.

The Characteristic (I -V) of prepared solar cells is studied by using probes of thin copper wire and silver paste. the result showed that the efficiency of solar cell $\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$ is $\eta = 6.92\%$, fill factor $\text{FF}=0.69$, and the cell $\text{GeSe}_{1.3}\text{Cd}_{0.7}$ is $\eta = 4.37\%$ and $\text{FF}= 0.82$.

Keywords: Thin films, efficiency, poly-crystalline, fill factor.

*Postgraduate Student Department of physics, Faculty of Science, niversity of, Syria. Damascus

**Department of physics, Faculty of Science, University of, Syria. Damascus

1- مقدمة:

تزداد حاجة الانسان يوما بعد يوم إلى كميات أكبر من الطاقة. حيث إن معظم المصادر التي يستخدمها العالم اليوم آخذة في النضوب، كما أن استخدامها المتزايد أدى إلى تأثيرات سلبية في البيئة. هذه الأسباب دعت العلماء والباحثين إلى العمل والبحث عن مصادر جديدة للطاقة لا تلوث البيئة، وتكون متجددة، وأهم هذه المصادر الطاقة الشمسية التي تمتاز بإمكانية تحويلها مباشرة إلى طاقة كهربائية باستخدام الألواح الشمسية أو الخلايا الشمسية التي تُصنع من المركبات نصف الناقلية ومن ضمنها المركبات الشالكوجينية التي تحوي على عنصر أو اثنين من العناصر الشالكوجينية (عناصر العمود السادس في الجدول الدوري S, Se, Te) وتمتاز هذه المركبات بمعاملات امتصاص ذات قيم مرتفعة [3] فاستخدامها كطبقة ماصة في الخلايا الشمسية يمكننا من الحصول على مردود يصل لـ 20% حيث إن فجوتها الطاقية تمتاز بانتقالات إلكترونية مباشرة تقع بالقرب من المجال تحت الأحمر في الطيف الشمسي.

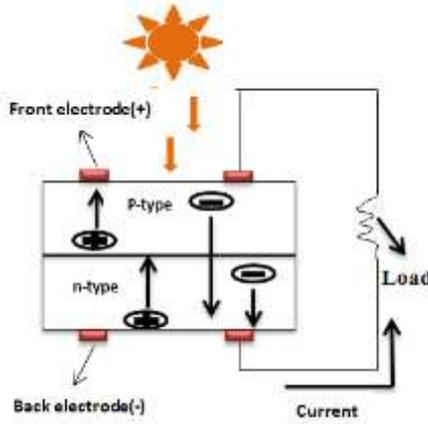
1-1- مبدأ عمل الخلية الشمسية:

الخلية الشمسية من حيث المبدأ عبارة عن وصلة ثنائية (p-n)، تكون الطبقة الماصة فيها من النوع (p) في بعض أنواع الخلايا أو من النوع (n) في أنواع أخرى. وفي كلتا الحالتين يكون الوجه الأمامي للخلية الشمسية المعرض للضوء على اتصال بسلك يمثل القطب الموجب إذا كان الوجه الأمامي (P)، ويمثل القطب السالب إذا كان الوجه الأمامي (n)، أما الوجه الخلفي فيمثل القطب الثاني للخلية [4]. إن آلية عمل الخلية تتم كما يلي [5]: عند عدم وجود ضوء تكون الخلية كمتصل ثنائي يوجد بين طرفيه (p-n) حاجز كمون وفي هذه الحالة يكون تيار حقل الانزياح مساوٍ لتيار الانتشار وتكون الخلية هنا في حالة توازن.

أما عند سقوط الضوء (فوتونات) على الطبقة الماصة بحيث تكون طاقة هذه الفوتونات أكبر أو تساوي عرض المجال المحظور للطبقة الماصة [5] أي:

$$h\nu = hc / \lambda \geq E_g \quad (1)$$

يؤدي ذلك لنقل إلكترون من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلية فينتولد ثقب وإلكترون حر. ينتقل الإلكترون عبر الوصلة إلى الطرف (n) والثقب المتولد ينتقل إلى الطرف (p) (الطبقة المجمع للخلية)، و من ثمَّ عند وجود دارة حمل يتجه التيار من الطرف p إلى الطرف n، والشكل (1) يوضح ذلك.



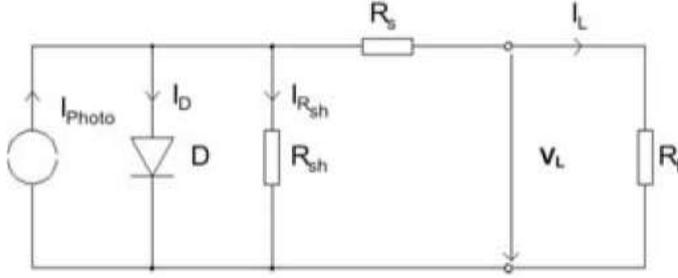
الشكل (1): الية عمل الخلية الشمسية

1-2- مردود الخلية الشمسية:

لتحديد السلوك الكهربائي للخلية الشمسية يتم مكافأتها بمنبع تيار موصل على النفرع مع ثنائي متصل بعد الأخذ بعين الاعتبار المقاومة التسلسلية ومقاومة التوازي كما في الشكل (2) وعندها تعطى كثافة التيار المحصل بالعلاقة الآتية [6,7]:

$$J(V) = J_0 \left[\exp \frac{q(V - JR_s)}{nkT} - 1 \right] + \frac{V - JR_s}{R_{sh}} - J_{ph}(V) \quad (2)$$

حيث: V فرق الكمون في الخلية، R_s المقاومة التسلسلية للنثائي المتصل، R_{sh} مقاومة التوازي للنثائي المتصل، n عامل المثالية للنثائي، J_0 كثافة تيار الإشباع العكسي المار في الخلية، T درجة الحرارة المطلقة، K ثابت بولتزمان، $J_{ph}(V)$ كثافة التيار المنتج بالضوء. يعطي الحدان الأوليان من المعادلة تيار الظلام بينما يعبر الحد الثالث عن تأثير الضوء.



الشكل (2): الدارة المكافئة للخلية الشمسية

ومن ثمَّ يمكن من المعادلة (2) تحديد فرق كمون الدارة المفتوحة في حالة عدم وجود تيار أي عندما نجعل التيار معدوماً في المعادلة (2) [6]:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(1 + \frac{J_{ph}}{J_0} \right) \quad (3)$$

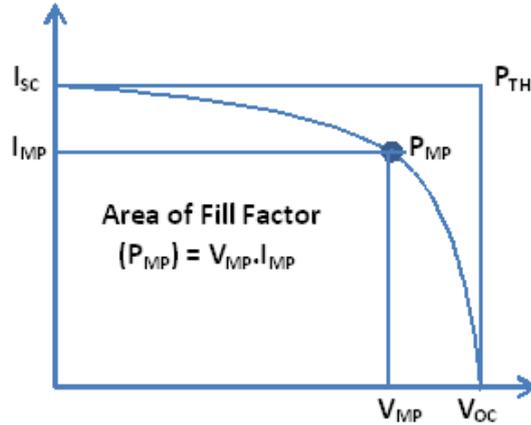
وتتحدد قيم V_{oc} بخصائص نصف الناقل لأنها تتعلق بتيار الإشباع. إن أعظم استطاعة يمكن أن تعطىها الخلية الشمسية هي عندما يكون الجداء $(V \times I)$ أعظماً أو أكبر ما يمكن $(P = P_{MP} = I_{MP} \times V_{MP})$ ، كما في الشكل (3)، ويتم ذلك بدراسة المنحنيات $(I - V)$ المميزة للخلية في حالة الإضاءة، و من ثمَّ يعرف المرودود [8]:

$$\eta = \frac{P_{MP}}{P_{in}} \times 100 \quad (4)$$

حيث P_{in} استطاعة الإشعاع الشمسي الوارد للخلية.

- تعرف نسبة الاستطاعة الأعظمية (P_{MP}) إلى الجداء ($I_{SC} \times V_{OC}$) بعامل الملء (FF) وهو يعطي نسبة السطح المحصور عند نقطة العمل المثلى إلى السطح المحصور بالمستطيل الذي يساوي طول أحد ضلعيه I_{SC} والآخر V_{OC} أي هو مقياس لمدى مربعة خصائص الخرج [9]

$$FF = \frac{J_{MP} V_{MP}}{J_{SC} V_{OC}} \quad (5)$$



الشكل (3): المنحنيات المميزة للخلية الشمسية [10]

2- مواد البحث وطرائقه:

1-2 تحضير العينات: حُضِرَت خلانط التركيب $GeSe_{2-x} Cd_x$ على شكل قطع وكمية (5gr)، بطريقة الصور المباشر في الخلاء [11]. حيث تم أخذ مواد عالية النقاوة (99.99% purity) (Ge, Se, Cd)، ثم وُزِنَ كُلُّ منها بواسطة ميزان حساس بدقة $10^{-4} gr$. وُضِعَت في أنبوب من الكوارتز، وبعدها تم لحم الأنبوب تحت ضغط منخفض ($10^{-4} torr$)، ومن ثم صُوِرَت العينات حتى الدرجة $1000C^\circ$ ولمدة ثماني ساعات في فرن خاص مع التحريك المستمر للحصول على أفضل تجانس ممكن. ومن ثم أُخمدت في مزيج من الماء

التلجّي (melt quenching technique)، بعد ذلك أعيدت الأنايب الأربعة إلى الفرن وتم تلدينها لـ خمس ساعات عند الدرجة 40C° لتقادي حدوث شرخ فيها. أُخرجت العينات من الأنبوب، وطُحنت بواسطة هاون سيراميكي لتصبح جاهزة لتحضير الأغشية المطلوبة. أُجريت عملية الترسيب باستخدام تقنية الترسيب الحراري على شرائح من الجرمانيوم وبضغط 10^{-6} torr (درجة حرارة الركائز 250C° ، معدل الترسيب $(5-8)\text{A}^{\circ}\text{s}^{-1}$ ، سماكة الأغشية $5\mu\text{m}$ ، وأبعاد الأغشية $1.5 \times 2\text{cm}^2$). تركت العينات في المنظومة لليوم التالي للحصول على تجانس و التصاقية أفضل للغشاء. ولإجراء القياسات الكهربائية للعينات شكّلت الأقطاب الأمامية والخلفية باستخدام معجون الفضة (لحام بارد).

2-2 - معايرة استطاعة المنبع الضوئي بضوء الشمس: تم ذلك على مرحلتين:

الأولى عن طريق مقياس للاستطاعة مزود بحساس حيث وضع الحساس بشكل عمودي مع جهة ورود أشعة الشمس. وأُخذت القراءات الموافقة لاستطاعة شدة حزمة الإشعاع الشمسي وذلك على مدى أسبوع في تمام الساعة 12 ظهراً، وبأخذ متوسط قراءات الاستطاعة تبين أنها موافقة للقيمة $P = 86.6\text{mW}$. أما المرحلة الثانية: فتمت بوضع الحساس أمام منبع ضوئي من التنغستين وقيست المسافة بين المنبع الضوئي والحساس والتي توافقت الاستطاعة $P = 86.6\text{mW}$ ، والتي تم اعتمادها لدراسة المميّز I-V.

2-الأجهزة المستخدمة:

2-2-1- تحضير الأغشية الرقيقة: حُضرت الأغشية المطلوبة على ركائز من

الجرمانيوم بتقنية التبخير الحراري بالمنظومة (high vacuum system- JSM200- J03) الموجودة في المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته في جامعة دمشق والتي تحتوي على بلورة من الكوارتز لمراقبة معدل ترسيب وسماكة الأغشية، وهذه البلورة مدعومة بعداد رقمي نوع (CT200).

2-2-2- دراسة انعراج الأشعة السينية: استخدم لدراسة انعراج الأشعة السينية جهاز من طراز (STOE STADI P Transmission) والموجود في هيئة الطاقة الذرية وفق الشروط المبينة في الجدول (1).

الجدول (1): شروط قياس طيف الـ XRD للعينات المدروسة

Type	STOE STADI P, Diffractometer
Target	Cu K _{α1}
Wave length	Wave length: 0.154060nm
Voltage	40KV
Current	30m A
Range (2θ)	(10-80) ^o
Time/step	30sec

2-2-3- التوصيف الضوئي للعينات: أُجريت قياسات الانعكاسية الكلية $R = f(\lambda)$ للأغشية المحضرة باستخدام المطياف (CARY 5000) الموجود في قسم الفيزياء جامعة دمشق، والمزود بكرة تكاملية ضمن مجال من الأطوال الموجية يتراوح بين (300-2500)nm لدراسة كفاءة امتصاصيتها، وإمكانية استخدامها لتحضير الخلية الشمسية.

2-2-4- التوصيف الكهربائي للعينات: استخدم من أجل القياس في الظلام جهاز من طراز Keithley Source meter 2400 الموجود في قسم الفيزياء جامعة دمشق، ويعدُّ هذا الجهاز كمنبع وقياس للتيار والكمون في الوقت نفسه، ويعطي قيمةً للكمون $\pm 1 \mu V$ (sourcing) and $\pm 5 \mu V$ (measuring)، وللتيار في المجال $\pm 1pA$ to $\pm 200V DC$ ، ويعتمد على تقنية النقاط الأربع للتوصيل.

2-2-5- معايرة استطاعة الإشعاع الشمسي: تمت باستخدام مقياس الاستطاعة طراز (PM100D Handheld Optical Power and Energy Meter)، والموجود في قسم الفيزياء جامعة دمشق، والمزود بحساس من نوع

(S142C photodiode power sensors) قادر على قياس استطاعة

شدة الحزمة الشمسية.

2-2-6- منظومة قياس المميز I-V: يبين الشكل (4) الوحدة المستخدمة من أجل ذلك

والتي تتألف من: منبع ضوئي من التنغستن، ومقياسي آفو لتعيين فرق

الكومون والتيار، وعلبة ذات أقطاب لتثبيت العينة، ومقاومة متغيرة R.



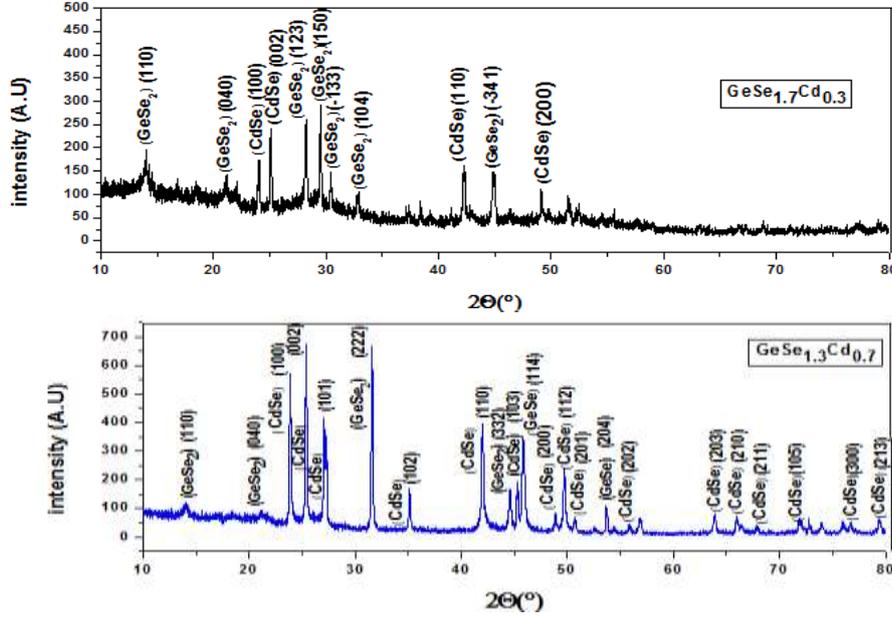
الشكل (4): الوحدة المستخدمة لقياس الميزة I-V

3- النتائج والحسابات:

3-1- الدراسة البنيوية للعينات بواسطة انعراج الأشعة السينية:

تعطي مخططات الانعراج الناتجة عن مسح الأشعة السينية لسطح العينات الشدة الكلية للأشعة السينية (I) المنعرجة بدلالة زاوية الانعراج (2θ)، كما يمكن الحصول على التوجهات البلورية في العينات من خلال مقارنة النماذج الناتجة للعينات المدروسة مع عدد ضخم من النماذج المتوفرة في قاعدة البيانات المكتبية الموجودة ضمن برنامج (Search-Match).

يبين الشكل (5) التحليل البنيوي للعينات المحضرة وهي بشكل بودرة، حيث تبين إنها ذات طبيعة متعددة التبلور مع وجود ثلاثة أطوار هي CdSe [14], GeSe_2 [13], GeSe [12]

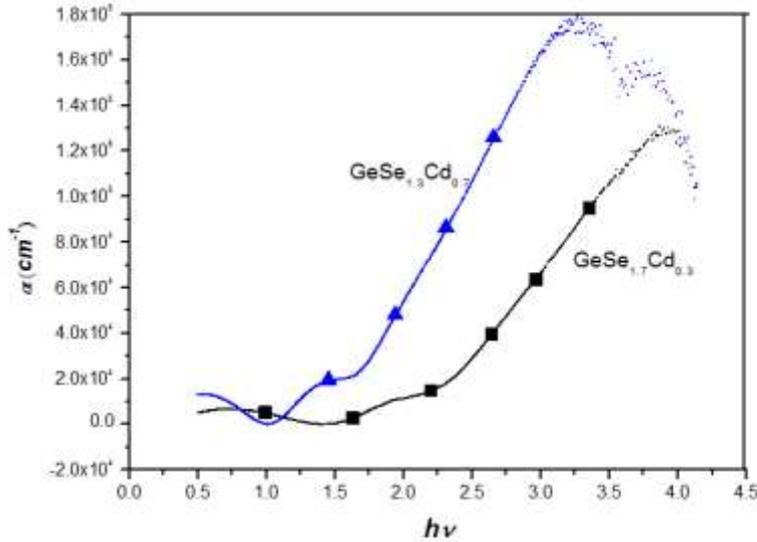


الشكل (5): طيف الـ XRD للعينات المدروسة عند تركيزين مختلفين من الـ Cd

3-2- الدراسة الضوئية للعينات:

دُرست الخواص الضوئية للأغشية المحضرة في ورقة تم قبولها للنشر في مجلة جامعة دمشق [2]، اتضح من خلالها أن المجال المحظور لكل من التركيبين المدروسين 1.83eV من أجل العينة $x=0.3$ ، و 1.39eV من أجل $x=0.7$. وهذه القيم تقع ضمن المجال الذي يسهل استخدامه للحصول على أقصى مردود للخلية الشمسية [15]. كما قيست امتصاصية هذه الأغشية [2] والشكل (6) يوضح تغير

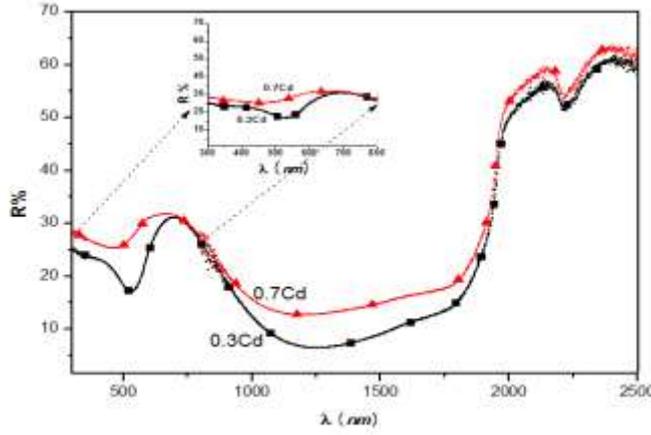
معامل الامتصاص بالنسبة لطاقة الفوتون الوارد، حيث نلاحظ من خلاله أن هذا المعامل قد ازداد بزيادة كمية الكاديوم المضافة ولكن بالوقت نفسه نلاحظ أن تأثيره كان ضعيفاً بالنسبة لمردود الخلايا وهذا ما سنراه لاحقاً، فقد كان تأثير الطبيعة البنوية للعينات والانعكاسية الكلية أكبر بالنسبة للمردود.



الشكل (6): تغير معامل الامتصاص بالنسبة لطاقة الفوتون الوارد

طيف الانعكاسية: سُجّلت قياسات الانعكاسية الكلية (total reflectance) لأغشية التركيب $GeSe_{2-x}Cd_x$ ضمن شروط الورود الناظمي، وبدرجة حرارة الغرفة في المجال الطيفي [300-2500nm]، وذلك بغية معرفة كفاءة امتصاصيتها الضوئية، وإمكانية استخدامها في الخلايا الشمسية. من الجدير بالذكر أن دراسة الانعكاسية المرآتية للعينات لا تعطي لوحدها دلالة كافية على كفاءة الامتصاص، إذ يجب الأخذ بالحسبان الانعكاسية الانتثارية أيضاً، فمن أجل ذلك درست الانعكاسية الكلية. يبين الشكل (7) طيف الانعكاسية والذي يشير إلى أن القيمة الوسطية لانعكاسية هذه الأغشية في المجال الطيفي [300-800nm] هي 28.56% من أجل العينة $x=0.7$.

و 24.77% من أجل العينة $x=0.3$. أي أن الانعكاسية الكلية قد تناقصت بتناقص كمية الكاديوم، وتزداد بزيادتها، وهذا يتوافق مع النتائج التي توصل لها A. Dahshan [16] حيث فسّر ذلك بأن إضافة الكاديوم من الممكن أن تغير في طبيعة سطح الغشاء المُحضّر.

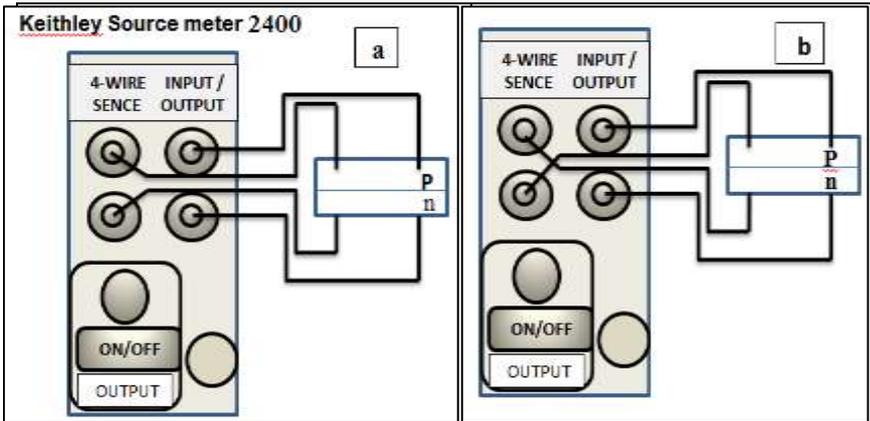


الشكل (7): تغيرات الانعكاسية كتابع للطول الموجي للأغشية المحضرة

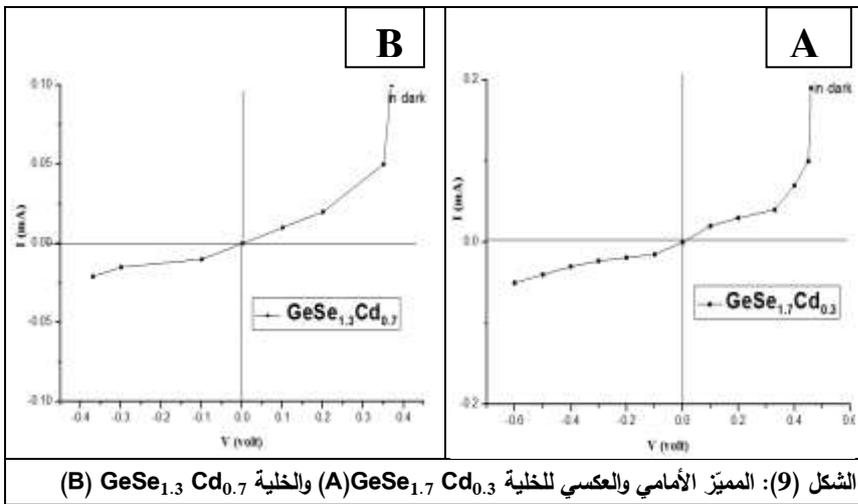
3-3 الدراسة الكهربائية للعينات:

3-3-1 دراسة المميّز I-V في الظلام:

رُبطت الخلية الشمسية بجهاز كيثلي Keithley Source meter 2400 لتعيين تغيرات I مع V كما في الشكل (8) ووضعت في صندوق عاتم ذي أقطاب لمنع مرور الضوء. تُرس المميّزان الأمامي والعكسي [17]، بإعطاء قيم للكُمون (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5V) تم قياس قيم التيار المقابلة للخلايا المحضرة والشكل (9) يبين ذلك.



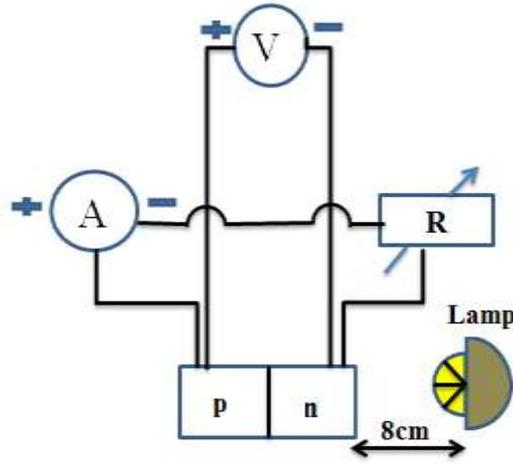
الشكل (8): رسم تخطيطي يبين الدارة المستخدمة لدراسة المميز الأمامي (a) والعكسي (b) في الظلام



الشكل (9): المميز الأمامي والعكسي للخلية (A) $\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$ والخلية (B) $\text{GeSe}_{1.3}\text{Cd}_{0.7}$

3-3-2- دراسة المميز I-V في الضوء:

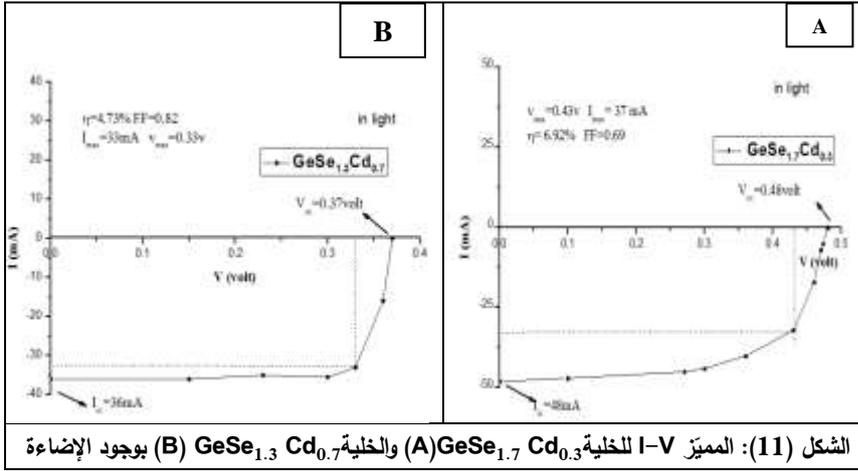
يبين الشكل (10) الدارة المستخدمة لدراسة المميز I-V بوجود الضوء.



الشكل (10): رسم تخطيطي للدائرة المستخدمة بوجود الإضاءة

أُخذت قيم التيار I وفرق الكمون V عن طريق تغيير قيم مقاومة الحمل R [17]. سُجلت أيضاً معاملات الخلية الشمسية: (كمون الدارة المفتوحة V_{oc} ، والتيار دارة القصر I_{sc} ، ومعامل الملء FF ، والمردود η) [14] من الشكل (10) عند عدم ربط الخلية الشمسية مع الدارة الخارجية والاكتفاء بمقياس الكمون يصبح فرق الكمون: $V=V_{oc}$ (أي لا يمر تيار كهربائي في الدارة باستثناء التيار المتولد عن الإضاءة)، أما عند وصل طرفي الخلية p و n مع مقياس الأمبير عندئذ يصبح التيار: $I=I_{sc}$. حُسبت قيمة المردود ومعامل الملء باستخدام المعادلتين (4) و (5) وفقاً لمنبع ضوئي من التنغستين ($2000W$) وعلى بعد $8cm$ (تم اختيار هذا البعد وفقاً للمعايرة لضوء الشمس، حيث إن $P_{in} = 86.6mW$ وذلك على حساب مساحة سطحه تساوي $1.130cm^2$)، وبالنسبة للعينات المحضرة فإن المساحة الفعالة لسطحها تساوي $3cm^2$ ومن ثم تكون استطاعة الحزمة الشمسية التي تتعرض لها الخلية: $P_{in} = (3 \times 86.6) / 1.130 = 229.91mW$ والشكل (11) يوضح المميز $I-V$ في الضوء.

يبين الجدول (2) قيم المردود ومعامل الملاءم وكمون الدارة المفتوحة وتيار دارة القصر للخلايا المحضرة، حيث تشير العديد من الدراسات إلى أن مردود الخلايا الشمسية يتعلق وبشكل كبير ببنيته البلورية [9-18] نلاحظ من طيف الـ XRD أنه من أجل العينة $x=0.3$ قد ظهر طور أمورفي (عشوائي) بالإضافة للطور المتعدد البلورة هذه العشوائية تسهم في زيادة مردود الخلايا. كما أن انعكاسية العينة من أجل $x=0.7$ أكبر منها من أجل $x=0.3$ وهذا ما يسهم في تناقص المردود.



الجدول (2): قيم V_{OC} ، I_{SC} ، FF ، η للخلايا المحضرة

	V_{OC} (volt)	I_{SC} (mA)	FF	η
$\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$	0.48	48	0.69	6.92
$\text{GeSe}_{1.3}\text{Cd}_{0.7}$	0.37	36	0.82	4.73

4- الاستنتاجات:

- يمكن تلخيص نتائج هذا العمل بما يأتي:
- أشارت طيوف الـ XRD للعينات المحضرة أنها ذات طبيعة متعددة التبلور مع ظهور الأطوار $\text{CdSe} - \text{GeSe} - \text{GeSe}_2$.

- لوحظ أن امتصاصية العينة ذات التركيب $\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$ أعلى في المجال المرئي من العينة $\text{GeSe}_{1.3}\text{Cd}_{0.7}$.
- دُرس المميّز I-V للخلايا المحضرة وكانت أعلى قيمة للمردود $\eta = 6.92\%$ من أجل الخلية $\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$.

5- التوصيات:

- فيما يأتي أهم التوصيات التي نوصي بها:
- وضع طبقة مانعة للانعكاس على سطح العينة.
- ترسيب أقطاب من الذهب أو الفضة عوضاً عن اللحامات الباردة (معجون الفضة).
- إخماد العينات بالآزوت السائل بدلاً من الماء الثلجي.

6- المراجع References:

1. دراسة نظرية لتأثير إدخال الكاديوم على المعاملات البنيوية والفيزيائية للمركب الشالكوجيني GeSe₂، 2018، مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية.
2. دراسة الخواص الضوئية لأغشية رقيقة من المركب الشالكوجيني GeSe₂-xCdx، 2019، مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية.
3. Peter Turmezei, 2004. Chalcogenide materials for solar energy conversion, Acta polytechnic Hungarica, vol. 1, No. 2, p. 13-16.
4. Askari M.B., Mirzaei M. A. V., Mirhabibi M., 2015. "Types of Solar Cells and Application". American Journal of optics and photonics, vol.3, No. 5, p. 94-113.
5. Rauschenbenback H. S., 1980. "Solar cell Array design hand book", van nostrand reinhold company, IED, USA, P. 549.
6. Kolodziej A., 2003 . Improvement in silicon thin film solar cell efficiency , Opto- Electron. Rev., 11, No. 4, Warsaw.
7. Firoz K., Singh S. N., Husain M., 2010, Effect of Illumination Intensity on Cell Parameters of a Silicon Solar Cell, Solar Energy Materials & Solar Cells, Elsevier, Science-Direct, 94, p. 1473-1476.
8. Haschke J., Mingirulli N., Gogolin R., Ferré R., Schulze T.F., Düsterhöft J., Harder N. P., and Korte, 2011. "Interdigitated Back-Contacted Silicon Heterojunction Solar Cells With Improved Fill Factor and Efficiency," IEEE Journal of Photovoltaics, 1(2), pp.130-134.
9. دالاتي، ودرويشو. (2014). مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، 36(3)، 31-41.
10. Sharma D.K and Purohit G., 2015 "analysis of the effect of fill factor on the efficiency of solar pv system for improved design of MPPT", 8WePo.9.18, p. 1281-1282.
11. Lu W. and Charles, 2006. "Semiconductor nanowires" J.Phys. D: Appl.phys. 39, 190.
12. ICSD data (PDF 00-015- 0404).
13. ICSD data (PDF00-042-1104).

14. ICSD data 60630 (PDF 01-077- 2307).
15. T. Zdanowicz, T. Rodziewicz, M. Zabkowska-Waclawek, 2005, "Theoretical analysis of the optimum energy band gap of semiconductors for fabrication of solarcells for applications in higher latitudes locations", Solar Energy Materials & Solar Cells 87, p. 757–769.
16. Dahshan, 2009, "Optical and other physical characteristics of Ge-Se-Cd thin films" Optical Materials, Volume 32, Issue 1, p. 247-250.
17. علي البصام فيصل، وعريبي فلاح حسون. (2010). مجلة جامعة كربلاء العلمية، (8)2، 24-34.
18. R. A. Street (ED), 1999, Tecnology and applicationof amorphous silicon.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2019/07/01.
تاريخ قبوله للنشر 2019/11/13 .