

تأثير سماكة الطبقة $\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$ على أداء الخلية الشمسية $\text{Ge}/\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$ المحضرة بالصهر المباشر.

صباح سيد قدوري-مدرس- قسم الفيزياء- كلية العلوم- جامعة الفرات- الجمهورية العربية السورية

الملخص

تم في هذا العمل تحضير عينة من المركب $\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$ بطريقة الصهر المباشر في الخلاء بغية استخدامها لتحضير خلية شمسية. رُسبت طبقة من الـ $\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$ كطبقة ماصة من النوع p على شريحة من الجرمانيوم (Ge) كطبقة مجمعة من النوع n وبسماكات مختلفة (5, 6, 8 μm) لدراسة تأثير السماكة على الخواص الضوئية والكهربائية لهذه العينات. سُجِّل طيف الانعكاسية $R(\lambda)$ في المجال الطيفي (300–2500nm) في شروط الورود الناظمي وبدرجة حرارة الغرفة، وتبين أن القيمة الوسطية للانعكاسية قد تناقصت بازدياد السماكة. قيست الميزة I–V للخلايا المحضرة في الظلام وبوجود الضوء، وحُسبت أهم متغيرات الخلية الشمسية (η , F.F, V_{oc} , I_{sc}). تبين أنه بازدياد سماكة الخلية تزداد قيم تيار القصر I_{sc} والمردود η بينما تناقص كمون الدارة المفتوحة V_{oc} .

الكلمات المفتاحية: خلية شمسية، الانعكاسية، المردود.

1- المقدمة:

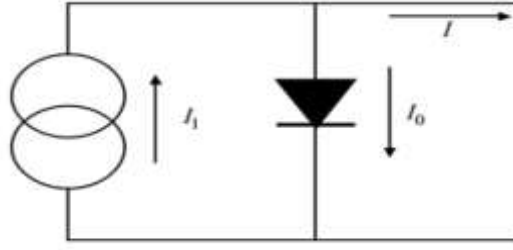
أصبحت دراسة المواد الشالكوجينية من المسائل الهامة في السنوات الأخيرة لما لها من خواص إلكترونية وضوئية هامة [Wagner. T et al 1996] وفي مقدمة هذه المواد الشالكوجينات التي أساسها الـ GeSe فإشابتها بتراكيز صغيرة من المعادن كالـ Zn, Bi, Cd, Sb,... كفيل بأن يغير وبشكل فعال من خواصها البنيوية والفيزيائية [Petkov. P et al ,1998] حيث أن طبقة رقيقة من المواد الناتجة عن هذه الاشابة يمكن استخدامها كخلية شمسية [Joseph. C. et al 1996] أشارت العديد من الدراسات أن إدخال الـ Cd على الـ GeSe من شأنه أن يحسن من خواص النقل الكهربائي لهذه المواد [Bakr. N. A, 2003].

1-1-المبدأ العام للخلية الشمسية: تُحضر الخلية الشمسية عادةً من المواد نصف الناقلة التي تمتلك فاصل طاقي صغير من رتبة الـ eV. بحيث يمكن للفوتونات الواردة من الشمس أن تثير الإلكترونات من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلة، وهذه الإلكترونات المثارة والمتحررة من روابطها تشكل ما يسمى بالأكسيتون (إلكترون- ثقب). في الحالة العادية يتم إعادة اتحاد إلكترون ثقب خلال فاصل زمني قصير. في الخلايا الشمسية من المهم جداً تجميع الإلكترونات المتولدة قبل أن تعود وتتحد مع الثقوب وتخسرهما ويتم ذلك بإنشاء حقل كهربائي داخلي يقوم بعزل الإلكترونات وتجميعها مولداً بذلك فرق في الكمون يُستخدم لإمرار التيار في الدارة الخارجية [Augarten. S, 1983].

1-2-مردود الخلية الشمسية: لتحديد السلوك الكهربائي للخلية الشمسية يتم مكافئتها بمنبع تيار موصول على التفرع مع ثنائي متصل كما في الشكل (1). وعندها تعطى كثافة التيار المحصل بالعلاقة التالية [Elumalai N.K, 2015], [peter Wurful, et al, 2015]:

$$J(V) = J_{sc} - J_{dark} = J_{sc} - J_0(e^{eV/k_B T} - 1) \quad (1)$$

حيث: (e) شحنة الإلكترون، (k_B) ثابت بولتزمان، (T) درجة الحرارة، (J_{sc}) كثافة تيار الدارة المقصورة و (J_{dark}) كثافة تيار الظلام وهو التيار المار عند عدم وجود اضاءة.



الشكل (1): الدارة المكافئة للخلية الشمسية [Francisco J et al, 2014].

وبالتالي من المعادلة (2) يمكن تحديد فرق كمون الدارة المفتوحة في حالة عدم وجود تيار [Elumalai N.K, 2015] ومنه:

$$V_{oc} = \frac{k_B T}{e} \ln \left(1 + \frac{J_{sc}}{J_0} \right) \quad (2)$$

إن أعظم استطاعة يمكن أن تعطيها الخلية الشمسية هي عندما يكون الجداء ($V \times I$) أعظمياً ($P = P_{MP}$)، كما في الشكل (2)، أي عندما يكون للكمون V_{MP} والتيار I_{MP} أعلى قيمة. ويتم ذلك بدراسة المنحنيات ($I - V$) المميزة للخلية في حالة الإضاءة. وبالتالي يعرف المردود [Haschke. J. et al, 2011]:

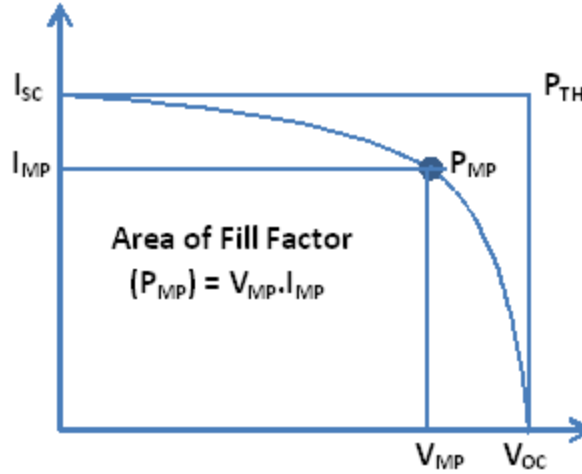
$$\eta = \frac{P_{MP}}{P_{in}} \times 100 \quad (3)$$

حيث P_{in} استطاعة الاشعاع الشمسي الوارد للخلية.

• تعرف نسبة الاستطاعة الأعظمية (P_{MP}) إلى الجداء ($I_{sc} \times V_{oc}$) بعامل الملئ

(FillFactor(F.F)) [Sharma. D. K. et al, 2015]:

$$FF = \frac{J_{MP} V_{MP}}{J_{sc} V_{oc}} \quad (4)$$



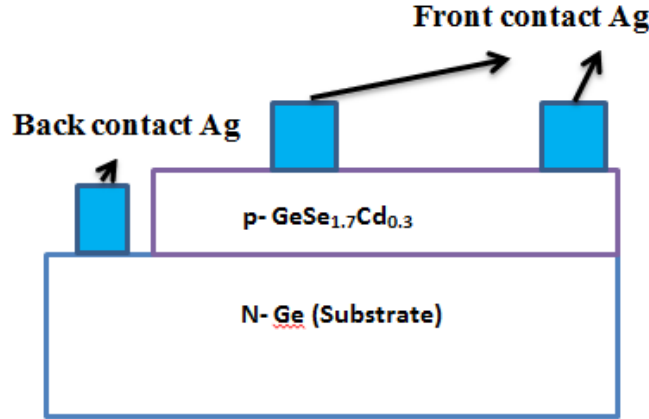
الشكل (2): المنحنيات المميزة للخلية الشمسية [10].

2- مواد البحث وطرائقه:

2-1- تحضير العينات: حُضرت خلائط التركيب $GeSe_{2-x}Cd_x$ على شكل قطع (5gr)، بطريقة الصهر المباشر في الخلاء [Wei Lu. et al, 2006]. حيث تم أخذ مواد ذات نقاوة عالية (Ge, Se, Cd, purity 99.90%)، ثم وزن كل منها بواسطة ميزان حساس بدقة $10^{-4} gr$. وضعت في أنبوب من الكوارتز، وبعدها تم لحم الأنبوب تحت ضغط منخفض ($10^{-4} torr$)، ومن ثم صهرت العينات حتى الدرجة $1000^\circ C$ ولمدة ثمانية ساعات في فرن خاص مع التحريك المستمر للحصول على أفضل تجانس ممكن. ومن ثم أُخمدت في مزيج من الماء الثلجي (melt quenching technique)، بعد ذلك أُعيدت الأنابيب إلى الفرن وتم تلدينها (تبريدها ببطء) لـ خمس ساعات عند الدرجة $40^\circ C$ لتقادي حدوث شرخ في الأنابيب. أُخرجت العينات من الأنبوب، وطحنت بواسطة هاون سيراميكي حيث أصبحت جاهزة لتحضير أغشية الخلايا المطلوبة.

2-2- تحضير الخلايا الشمسية: في البداية نُظّفت شرائح الجرمانيوم على مرحلتين: المرحلة الأولى تمت باستخدام الماء المقطر لمدة 10min في حوض الأمواج فوق الصوتية لإزالة الملوثات التي تؤثر سلباً على أداء الخلية المراد تحضيرها، بعد ذلك نُظّفت بواسطة حمض فلور الماء HF لإزالة طبقة الأكسيد المتشكلة على الشرائح والتي تؤثر سلباً على أداء الخلية وضمان التصاقية جيدة للخلية، بعد ذلك غُسلت مرة أخرى باماء المقطر، ثم جففت بواسطة مرمدة، وحُفظت بعدها لاستخدامها لاحقاً. حُضرت الخلايا الشمسية عن طريق أخذ مسحوق العينات $GeSe_{2-x}Cd_x$ نوع p وترسيبه على شريحة الجرمانيوم نوع n وذلك باستخدام تقنية الترسيب الحراري وبشروط (ضغط $10^{-6} torr$ درجة حرارة الركائز $250^\circ C$ ، معدل الترسيب $(5-8) A^\circ s^{-1}$ ، وابعاد الأغشية $1.5 \times 2 cm^2$)، وبسماقات

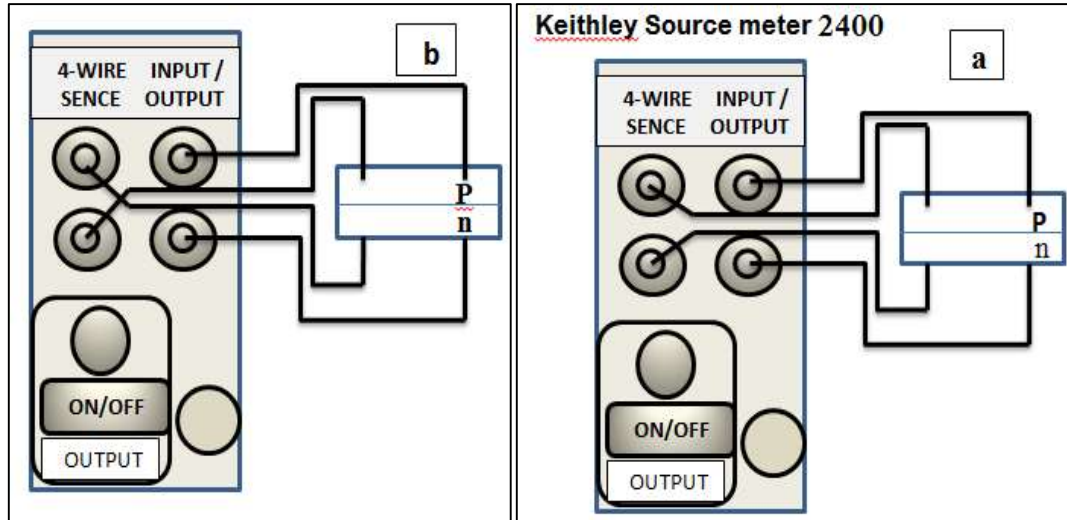
مختلفة ($5, 6, 8 \mu m$) تم تحديدها بمنظومة الترسيب. تركت العينات في المنظومة لليوم التالي للحصول على تجانس و التصاقية أفضل للغشاء. شُكّلت بعد ذلك الأقطاب الأمامية والخلفية للخلية الشمسية باستخدام طلاء الفضة واسلاك رفيعة من النحاس (لحام بارد) والشكل (3) يوضح رسماً تخطيطياً للخلية المحضرة.



الشكل (3) رسم تخطيطي يوضح الخلية المحضرة.

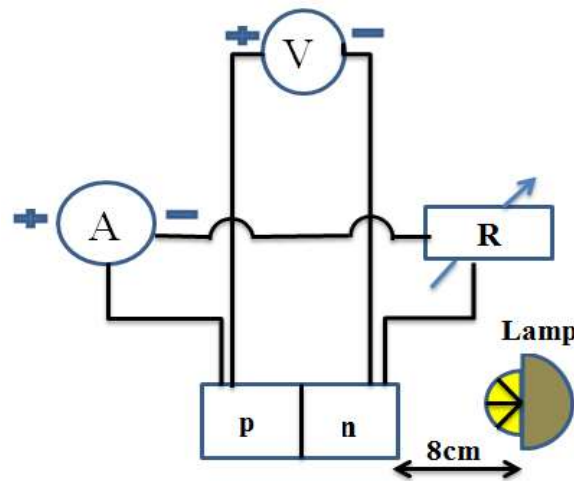
2-3- معايرة استطاعة المنبع الضوئي بضوء الشمس: تمت على مرحلتين: الأولى عن طريق مقياس للاستطاعة مزود بحساس، حيث وُضع هذا الحساس بشكل عمودي مع جهة ورود أشعة الشمس، وأُخذت القراءات الموافقة لاستطاعة شدة حزمة الإشعاع الشمسي وذلك على مدى اسبوع في تمام الساعة 12 ظهراً، وبحساب متوسط قراءات الاستطاعة تبين أنها موافقة للقيمة $p=86.6mw$. أما المرحلة الثانية: فتمت بواسطة وضع الحساس أمام منبع ضوئي من التتغستن وقيست المسافة بين المنبع الضوئي والحساس التي توافقت الاستطاعة $p=86.6mw$ اعتمدت هذه المسافة فيما بعد لدراسة الميزة I-V.

2-4- قياس الميزة I-V في الظلام: بدايةً تم وصل الدارة كما في الشكل (4) حيث وضعت الخلية الشمسية في حالة الظلام (داخل الصندوق العاتم) مع مراعاة وصل أقطاب الخلية بحيث تكون محيزة بشكل أمامي، ويتم بعدها تطبيق قيم فرق الكمون $0.1, 0.2, 0.3 \dots$ وتسجل قيم شدة التيار الناتجة في كل مرة. في حالة التحيز العكسي يُعكس وصل أقطاب الخلية الشمسية وتُعاد نفس الخطوات السابقة.



الشكل (4): رسم تخطيطي يبين الدارة المستخدمة لدراسة الميزة الأمامية (a) والخلفية (b) في الظلام.

2-5- قياس الميزة I-V في الضوء: توصل الدارة كما في الشكل (5) بحسب المرجع <http://tech-labs.com> حيث تثبت المسافة بين الخلية والمنبع الضوئي $r=8\text{cm}$ ويتم التغيير في قيم مقاومة الحمل R وتسجل قيم كل من فرق الكمون وشدة التيار بين طرفي الخلية في كل مرة. ومن أجل إيجاد معاملات الخلية الشمسية: (كمون الدارة المفتوحة V_{oc} ، وتيار دارة القصر I_{sc} ، ومعامل المليء FF ، والمردود η) من الشكل (5) عند عدم ربط الخلية الشمسية مع الدارة الخارجية والاكتفاء بمقياس الكمون يصبح فرق الكمون: $V=V_{oc}$ ، أما عند وصل طرفي الخلية p و n مع على التسلسل مع مقياس الأمبير عندئذ يصبح التيار: $I=I_{sc}$.



الشكل (5): رسم تخطيطي للدارة المستخدمة بوجود الإضاءة.

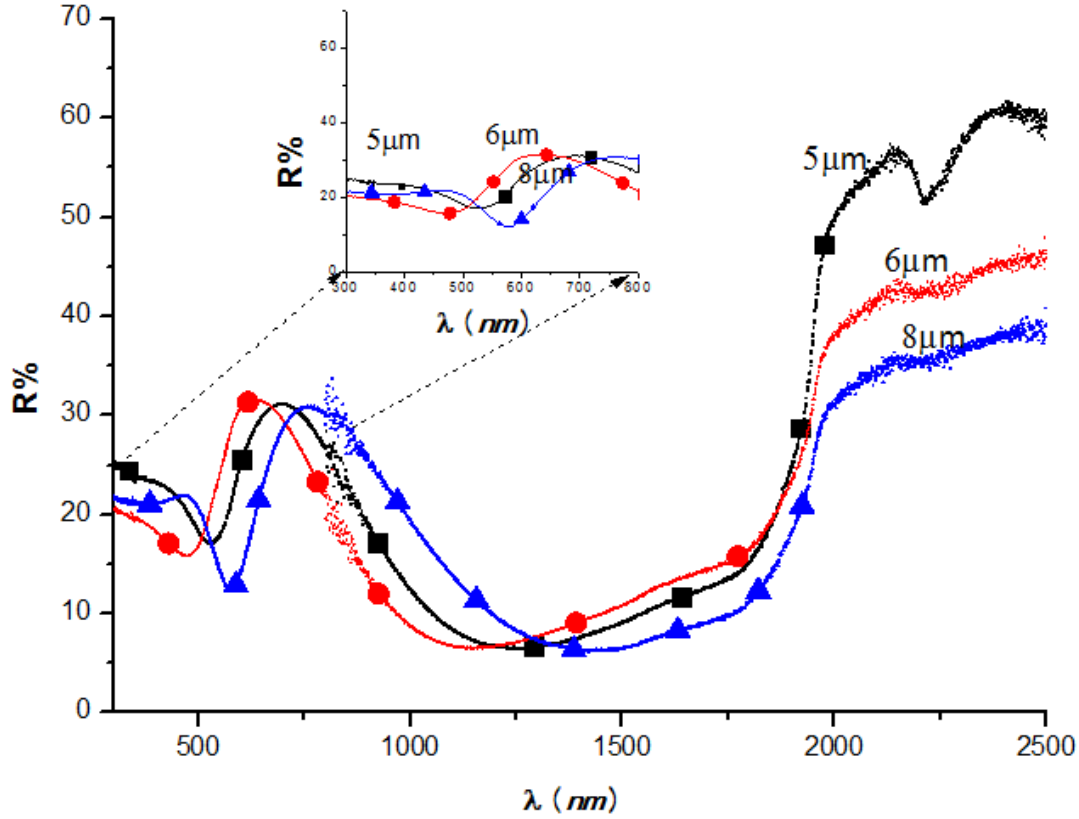
2-6- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- 1- ميزان حساس بدقة 10^{-4} طراز Sartorius.
- 2- فرن حراري طراز CARBOLATE TYPE 3216Ip1p5.
- 3- جهاز تنظيف بالأمواج فوق الصوتية.
- 4- منظومة التبخير طراز (high vacuum system- JSM200- J03).
- 5- جهاز مطيافية (UV-VIS-NIR spectrophotometer) طراز CARY 5000.
- 6- مقياس استطاعة لمعايرة شدة الاشعاع الشمسي نوع PM100D Handheld والمزود بحساس نوع (S142C photodiode power sensor)
- 7- جهاز طراز Keithley Source meter2400 من أجل قياس الميزة I-V في الظلام.
- 8- مقاييس آفو (فرق كمون - تيار)
- 9- مقاومة متغيرة $0 \rightarrow 100 \Omega$.
- 10- منبع ضوئي من التنغستين.
- 11- علبة عاتمة لتغطية الخلية.
- 12- شرائح من الجرمانيوم (Ge) ناقلتيها من النوع n ابعادها $20 \times 20 \times 1 \text{ mm}$ تصنيع شركة-CRM-
- 13- أنابيب من الكوارتز طولها 15cm وقطرها 8mm.
- 14- مساحيق عالية النقاوة 99.90% من المواد Ge, Se, Cd تصنيع شركة ALDRICH.
- 15- ماء مقطر منزوع الشوارد.
- 16- حمض فلور الماء HF.

3- النتائج والحسابات:

- 3-1- التوصيف الضوئي - طيف الانعكاسية: تم قياس طيف الانعكاسية الكلية للعينات المحضرة بمطياف ضوئي طراز CARY 5000 مجهز بكرة تكاملية ضمن مجال الأطوال الموجية (200-2500nm) لدراسة كفاءة امتصاصيتها الضوئية وامكانية استخدامها كخلية شمسية. من الجدير بالذكر أن الانعكاسية المرآتية لا تعطي وحدها دلالة كافية على كفاءة الامتصاص بل يجب الأخذ بالحسبان الانعكاسية الانتشارية أيضاً لذلك قمنا بإجراء قياسات طيف الانعكاسية الكلي %R باستخدام الكرة التكاملية الملحقة بالمطياف ويبين الشكل (6) طيف الانعكاسية الكلية للخلايا المحضرة ($5, 6, 8 \mu \text{m}$) بدلالة الطول الموجي. نلاحظ من هذه الأشكال ظهور قمة عريضة في المجال المرئي الطيفي (390-800nm) وتتزاح هذه القمة نحو منطقة الطيف تحت الأحمر بزيادة سماكة الخلايا المحضرة وبالتالي

تتناقص القيمة الوسطية للانعكاسية بازدياد السماكة بالترتيب على النحو التالي: 23.50%، 24.77%، 22.10%. أشارت العديد من الدراسات إلى أن امتصاصية الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة متناسبة طردياً مع سماكة هذه الأغشية حيث أن سماكة خلية من مرتبة بضعة ميكرونات من شأنه أن يعطي امتصاصية تامة [Aly. S. A, A.et al, 2015].



الشكل (6): تغيرات الانعكاسية كتابع للطول الموجي للأغشية المحضرة.

بما أن معامل الانعكاس لا يتجاوز قيمة الـ 24% لم نجد أي ضرورة لترسيب طبقة مانعة للانعكاس.

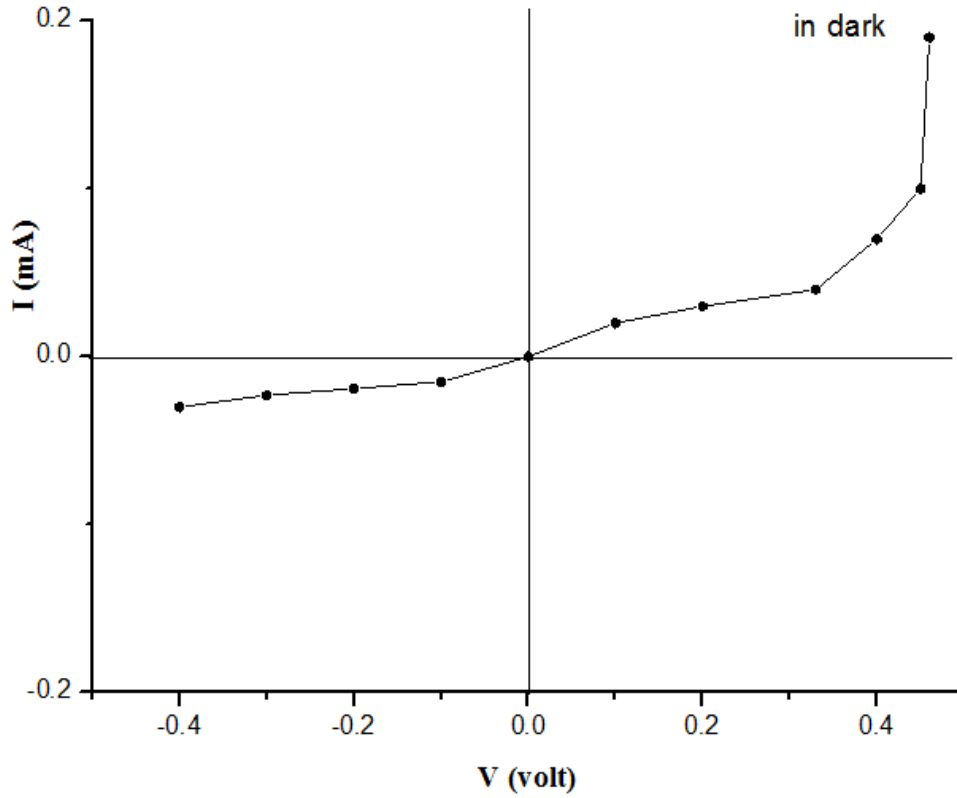
3-2- التوصيف الكهربائي:

3-2-1- قياس الميزة I-V في الظلام:

يبين الجدول (1) القيم التي تم الحصول عليها من خلال دراسة الميزة الأمامية والخلفية للخلايا المحضرة (القيم نفسها من أجل جميع السماكات). حيث أجريت القياسات في درجة حرارة الغرفة 300K^0 . ولتوضيح هذه النتائج تم رسم الخط البياني الذي يمثل تغيرات التيار بدلالة كمون التحيز الأمامي والخلفي الشكل (7).

الجدول (1): قيم شدة التيار I مع فرق الكمون V في الظلام.

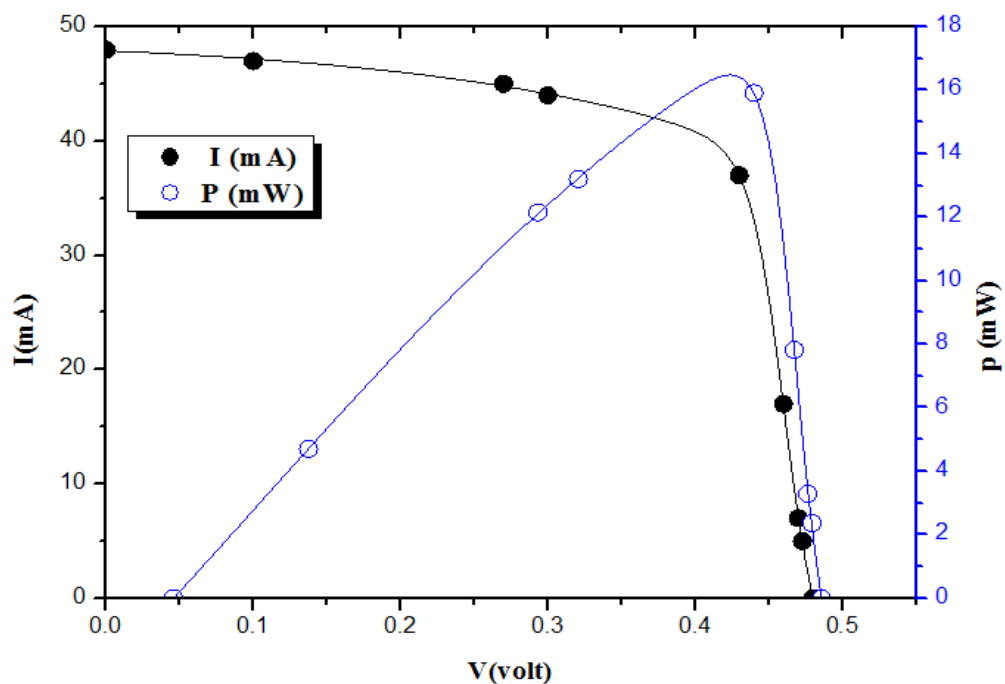
$I(mA)$	$v(volt)$
-0.03	-0.4
-0.023	-0.3
-0.019	-0.2
-0.015	-0.1
0	0
0.02	0.1
0.03	0.2
0.04	0.33
0.07	0.4
0.1	0.45
0.19	0.46



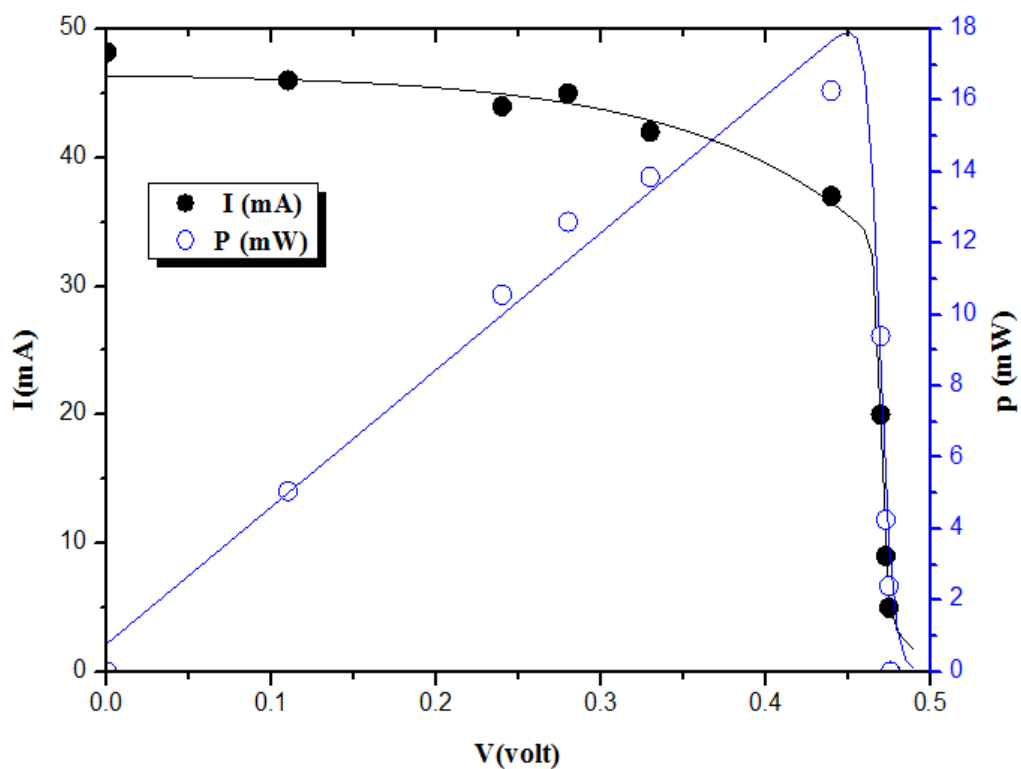
الشكل (7): الميزة الأمامية والخلفية للسماكات الثلاث في الظلام.

3-2-2- قياس الميزة I-V في الضوء :

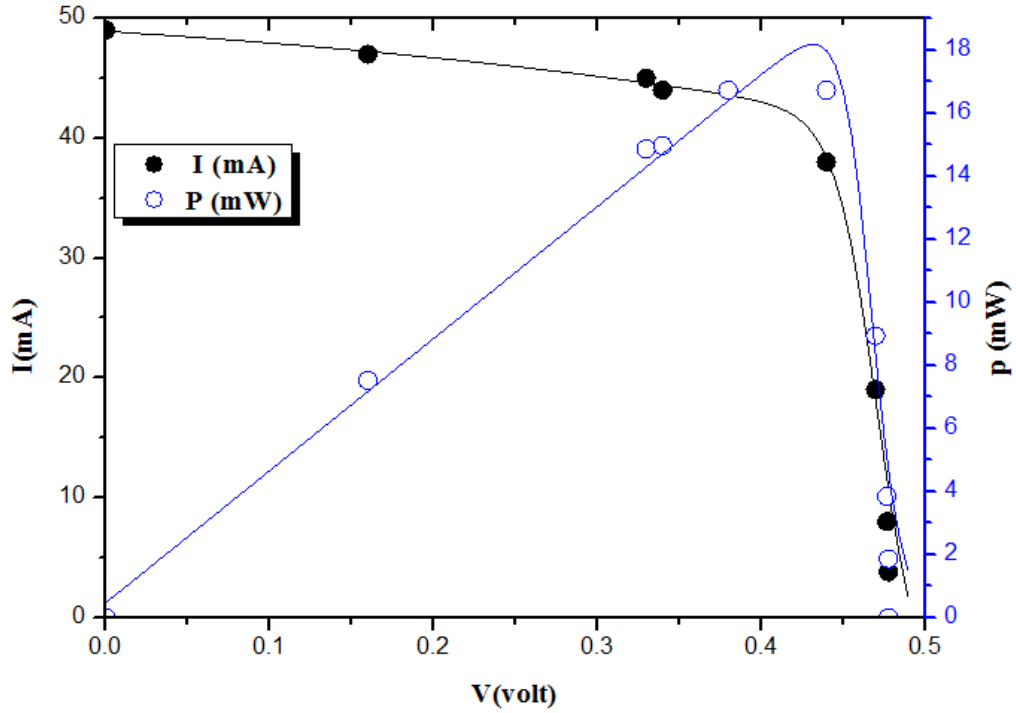
حُسبت قيمة المردود ومعامل الملئ باستخدام المعادلات (3) و(4) وفقاً لمنبع ضوئي من التنغستين، وعلى بعد 8cm (تم اختيار هذا البعد وفقاً للمعايرة لضوء الشمس، حيث أن $P_{in}=86.6\text{Mw/cm}^2$ وذلك على حساس مساحة سطحه تساوي إلى 1.130cm^2)، وبالنسبة للعينات المحضرة فإن المساحة الفعالة لسطحها تساوي إلى 3cm^2 . وبالتالي تكون استطاعة الحزمة الشمسية التي تتعرض لها الخلية: $P_{in}= (3 \times 86.6)/1.130=229.91\text{mW}$ والشكل (10) يوضح الميزة I-V و P-V في الضوء لجميع الخلايا المحضرة.



الشكل (8): المنحنيات المميزة ($I-V$) و ($P-V$) للخلية الشمسية المحضرة بسماكة ($5 \mu m$).



الشكل (9): المنحنيات المميزة ($I-V$) و ($P-V$) للخلية الشمسية المحضرة بسماكة ($6 \mu m$).



الشكل (10): المنحنيات المميزة ($I-V$) و ($P-V$) للخلية الشمسية المحضرة بسماكة ($8 \mu m$).

يبين الجدول (2) كمون الدارة المفتوحة وتيار القصر ومعامل الملئ والمردود من أجل سماكات مختلفة للخلية المحضرة. نلاحظ أن كمون الدارة المفتوحة قد تناقص مع زيادة السماكة بينما ازداد تيار دارة القصر ويعود ذلك إلى أن السماكة الأقل تحسن من معدل توليد حوامل الشحنة بوحدة الحجم وذلك بسبب تناقص إعادة الارتباط السطحي بين حوامل الشحنة [Brendel. R, et al, 1993].

الجدول (2): قيم V_{oc} ، I_{sc} ، FF ، η للخلايا المحضرة.

	$V_{oc}(\text{volt})$	$I_{sc}(\text{mA})$	FF	$\eta\%$
$5 \mu m$	0.48	48	0.69	6.92
$6 \mu m$	0.478	48.2	0.70	7.08
$8 \mu m$	0.476	49	0.71	7.27

4- الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تتناقص انعكاسية الطبقة الماصة بازدياد سماكتها.
- 2- لوحظ انخفاض في الانعكاسية في منطقة الطيف تحت الأحمر لذا يمكن استخدام مثل هذه المواد ككواشف أشعة تحت حمراء في المجال الطيفي (1250-1750nm).
- 3- إن الخاصية (I-V) في الظلام لا تتأثر بازدياد سماكة الخلية.
- 4- إن ازدياد سماكة الخلايا يؤدي لزيادة في المردود ومعامل الملئ.
- 5- إن انخفاض مردود هذه الخلايا يعود إلى طريقة تشكيل الأقطاب لذلك نوصي بأن تصنع الأقطاب من مواد ذات مقاومة منخفضة (ذهب – بلاتين) وذلك بطريقة الترسيب الحراري.

5- المراجع:

- [1] Wagner. T, Kasap. S.O, 1996, Glass transformation, heat capacity and structure of As_xSe_{1-x} glasses studied by modulated temperature differential scanning calorimetry experiments, Philos. Mag. B74(6), 667.
- [2] Petkov. P, Codenicharov. C, Kanasirski. C, 1998, On the evaporation process of the GeSe–Ti system, Phys. Stat. Sol. (a) 168, 447.
- [3] Joseph. C. M, Menon C.S, 1996, Electrical conductivity, optical absorption and structural studies in $AgInSe_2$ thin films, Semicond. Sci. Technol, 11, 1668.
- [4] Bakr. N. A, 2003, Condensation process and physical properties of GeSe (In, Cd) thin films prepared by semi-closed space technique, Journal of Materials Processing Technology 132, 138–142.
- [5] Augarten. S, 1983, State Of The Art: A Photographic History of the Integrated Circuit, New Haven & New York.
- [6] Naveen Kumar Elumalai, and Ashraf Uddin, 2015, "Open circuit voltage of organic solar cells: an in-depth review", Energy and Environmental Science.
- [7] peter Wurful, and Uli Wurful, 2015, "Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts", Wiley, 3rd Edition, p. 288.
- [8] Adelmo Ortiz-Conde, Francisco J. García-Sánchez, Juan Muci, and Andrea Sucre-González, 2014, Electronics and Energetics Vol. 27, No 1, pp. 57 – 102.
- [9] Haschke. J, Mingirulli. N, Gogolin. R, Ferré. R, Schulze T.F, Düsterhöft. J, Harder. N.-P, and Korte. L, 2011, "Interdigitated Back-Contacted Silicon

Heterojunction Solar Cells With Improved Fill Factor and Efficiency," IEEE Journal of Photovoltaics, 1(2), pp.130-134.

[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] Wei Lu and M. L. Charles, 2006, "Semiconductor nanowires" J.Phys. D: Appl.phys. 39, 190.

[12] files< <http://tech-labs.com>.

[13] Aly. S. A, A. Alaa. Akl, 2015, Influence of film thickness on optical absorption and energy gap thermally evaporated Cd S_{0.1}Se_{0.9} thin films, vol. 12, No. 10, p. 489- 496.

[14] Brendel. R, Queisser. H. J, 1993, on the thickness dependence of open circuit voltages of p-n junction solar cells, volume 29, issueu, p. 397-401.

Study the effect of thickness of $\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$ on performance of solar cell $\text{Ge}/\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$ which prepared by melt quenching technique.

Sabah Sayed Kadory, Doctor, Department of Physics, Faculty of science, Afurat University, Deir-ez-Zor, the Syrian Arab Republic.

Abstract

In this work sample of $\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$ had been prepared by melt quenching technique to use it to prepare solar cell. Thin film of type p- $\text{GeSe}_{1.7}\text{Cd}_{0.3}$ had been deposited on type n- Germanium (Ge) substrate and in different thickness (5, 6, 8 μm) to study the effect of thickness on optical and electrical properties. The reflectance spectra had been recorded in normal incident condition and in range (300-2500nm) . the average values of reflectance was decreased with increasing thickness of film. The I-V characteristic of prepared solar cell had been measured in dark and light. The values of parameters (I_{sc} , V_{oc} , F.F, η) was calculated. The values of I_{sc} and η increased while V_{oc} decreased with increasing thickness.

Keywords: Solar cell, Reflectance, Efficiency.