

## دراسة خصائص الخلية الشمسية السليكونية المتعددة البلورات

د.سارية ذياب محمد العلكاوي  
الجامعة التكنولوجية, قسم العلوم التطبيقية

### الخلاصة

تناول البحث دراسة خصائص الخلية شمسية المصنعة من شرائح السيليكون المتعدد البلورات عند درجة حرارة الغرفة . اشتملت هذه الدراسة تحديد الخواص التركيبية والمجهرية للشرائح السليكونية المتعدد البلورات المتضمنة فحوصات حيود الاشعة السينية ،حيث اظهرت النتائج الانماط والقمم الخاصة للسليكون المتعدد البلورات، اما الفحوصات المجهرية فقد اظهرت النتائج الانعكاسات المختلفة على السطوح البلورية .  
تم دراسة خصائص الخلية الشمسية المتعددة البلورات والتي تشمل قياس تيار الدائرة القصيرة وفولتية الدائرة المفتوحة، لوحظ ان اعلى قيمة لكثافة التيار دائرة القصر كان بحدود  $(13.6\text{mA}/\text{Cm}^2)$  وفولتية الدائرة المفتوحة  $(0.4\ 35\text{V})$  كما تم حساب كفاءة التحويل  $\eta$  % للخلية الشمسية وحساب عامل المليء  $f.f$  وكانت بحدود  $(3.95)$  ،  $(4.2)$  وعلى التوالي.

### **Study the properties of polycrystalline silicon solar cell**

#### **Abstract**

In the present work, we have been studied the properties of polycrystalline silicon solar cell at room temperatures. The structure properties of the polycrystalline silicon solar cell have been studied by XRD spectrum and by using optical microscopy.

The condition of preparation has been optimized to get good photovoltaic characteristic, these include short circuit current  $I_{SC}$  is equal  $(13.6\text{mA}/\text{Cm}^2)$  and open circuit voltage  $V_{OC}$  is  $(0.4\ 35\text{V})$  The conversions efficiency  $\eta$ % of the solar cell is equal to  $(3.95)$  and the fill factor  $f.f$  is  $(0.42)$ .

المقدمة :

يعد السليكون من أكثر المواد الشائعة المستخدمة في صناعة الخلايا الشمسية وذلك لتوفره الواسع في الطبيعة ورخص ثمنه كمادة أولية وسهولة إنماء بلوراته الاحادية بالمقارنة مع البلورات الاحادية الاخرى ووضوح التقنية المستخدمة في تصنيعه, لذلك يفضل استخدامه في صناعة الخلايا الشمسية.

بالرغم من الزيادة العالية في حجم الانتاج للخلايا الفوتوفولطائية فما زالت بعيدة عن كونها مصدر للطاقة وقد أوعز السبب الرئيسي هو ضعف اقبال الاسواق على هذا النوع من الخلايا وذلك لأرتفاع الكلف التصنيعية ,حيث ان 85% من انتاج العالم للخلايا الشمسية يعتمد في الاساس على الشرائح السليكونية الاحادية البلورات ذات الكلف العالية . لذلك ولتقليل التكلفة التصنيعية للخلايا الشمسية تم اللجوء الى استخدام الشرائح السليكونية المتعددة البلورات polycrystalline silicon ودراسة الكفاءة المستحصلة من هذا النوع من الخلايا ودراسة خصائص تيار - فولتية وعامل الملئ [1,2].

ان أشباه الموصلات المتعددة التبلور Polycrystalline Semiconductors تتكون من مجموعة من البلورات المنفردة تدعى الحبيبات Grains ، ويكون ترتيبها منتظماً طويلاً المدى في كل بلورة من هذه البلورات وينتهي عند حدود الحبيبات Grains Boundaries و التي تمثل سطوح التقاء الحبيبات البلورية بعضها مع البعض. من اهم استخدامات الشرائح السليكونية المتعددة هي في صناعة الخلايا الشمسية Solar Cell وفي الكواشف الضوئي وفي جميع الاجهزة المستخدمة في توليد الليزر وفي بعض انواع المرايا [3].

الخلية الشمسية نوع مفرق p-n تتكون من شريحة سليكونية رقيقة (Wafer) من نوع موجب p-type مرسب عليها طبقة رقيقة من السليكون نوع سالب n-type. وتدعى الرقيقة ب الاساس (Base) اما الطبقة المرسبة بالطبقة السطحية (Surface layer) وتثبت الاقطاب على السطحين الخارجيين للتنائي. وعندما تسقط الطاقة الشمسية على ثنائي القطب فان قسماً من الفوتونات يقوم بتوليد زوج (الكترن - فجوة) الذي بدوره يولد التيار الضوئي (Photocurrent) الذي يسري من n الى p [4].

يستخدم الطلاء المضاد للانعكاس في اغلب التطبيقات البصرية حيث يعمل على تقليل الانعكاسية للأطوال الموجية المرئية وزيادة النفوذية عند سطوح الخلايا الشمسية السليكونية، حيث تعتمد هذه الظاهرة على خاصية التداخل في الأغشية الرقيقة [5].

### الجانب العملي والقياسات

يشمل المراحل التفصيلية المتبعة في تصنيع الخلايا الشمسية السليكونية المتعدد البلورات ابتداء من عملية تهيئة الشرائح وتشويبها وإجراء عمليات التبخير لها ومن ثم طلائها بمادة TiO<sub>2</sub>. كذلك يتضمن على الطرق التي تم اتباعها في فحص الخلية المصنعة من فحوصات X-ray لإختبار المادة المستخدمة وكذلك فحوصات الكفاءة.

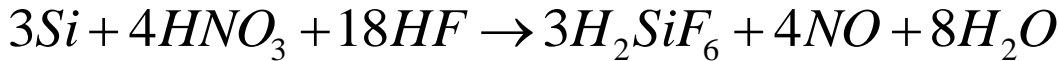
#### 1- تهيئة السطح

حيث تعرض الشرائح العائدة في قسم الانماء البلوري للحفر لإزالة الأضرار وكالاتي:

(a) الحفر باستخدام محلول قاعدي (KOH) لمدة 10 دقائق عند درجة حرارة 90°C .

(b) الغسل بالماء المقطر لمدة عشرة دقائق مع التحريك

(c) الحفر باستخدام محلول حامضي هو HNO<sub>3</sub> بتركيز 1:10 ولمدة 4min



(d) ثم تغسل بالماء المقطر

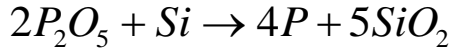
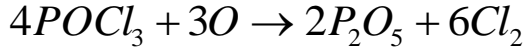
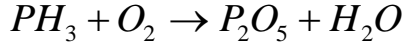
(e) ثم يقاس السمك بجهاز مايكروميتر (450-500 μm)

#### 2- تشوب السطح الخلفي Back surface doping

تطلى الوجه الخلفي للشريحة السليكونية المتعددة البلورات بمادة الألمنيوم مع إضافة مادة Tribunal بنسبة 15% لجعلها نوعية P<sup>+</sup> باستخدام جهاز screen printing ، وذلك لزيادة توصيلية الكهربائية للشريحة . تجفف الشريحة بفرن لدرجة حرارة (120°C) ثم تبرد قبل خروجها من الفرن بغاز N<sub>2</sub> و تغسل بجهاز الموجات فوق الصوتية بالماء المقطر . ومن ثم تدخل في حامض HCL وتغسل مرة أخرى لإزالة الألمنيوم المتبقي وتغسل مرة أخرى بجهاز الترددات فوق الصوتية ultrasonic لإزالة الطبقات الزائدة .

#### 3- تكوين طبقة p-n

يتم طلاء الشريحة بمادة جيلتين زجاجية (Sioget) باستخدام جهاز (spinner) ثم تشوب خلال عملية الانتشار وهي عملية إدخال الشوائب إلى الشريحة من خلال مادة سائلة هي (POCL<sub>3</sub>)



#### 4- عمل الاقطاب

يتم عمل الاقطاب من معدن الالمنيوم حيث تبخر مادة الصولدر على جميع وجه p-type و على مناطق الماسك في n-type .

#### الفحوصات التركيبية باستخدام الأشعة السينية :

يمكن التعرف على التركيب البلوري لأي مادة من خلال دراسة انماط حيود الأشعة السينية لهذه المادة، حيث تم دراسة نمط حيود الأشعة السينية لشريحة السليكون المتعدد البلورات وحساب المسافة بين المستويات الذرية المتعاقبة باستخدام معادلة براغ ( Bragg's Law): [6].

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad \dots\dots\dots 1$$

حيث أن: d = المسافة بين مستويين ذريين متعاقبين,  $\theta$  = زاوية الحيود,

n = عدد صحيح (1,2,3.....),  $\lambda$  = الطول الموجي للأشعة السينية.

بالنظر لكون الطول الموجي للأشعة السينية يقترب من المسافة بين الذرات في معظم المواد الصلبة ، لذلك من الممكن مشاهدة هذا النظام والتناظر عن طريق حيود الأشعة السينية. ولتشخيص المواد يتم حساب الفواصل الذرية (d) ومقارنتها مع الجداول القياسية (ASTM) (American Standard for Testing Materials). وفي بحثنا هذا تم استخدام جهاز حيود الأشعة السينية نوع: PHILIPS 1840 هولندي المنشأ ذي مواصفات المصدر: Cu tube – Ni filter , التيار : 20Ma , الفولتية: 40KV , الطول الموجي: 1.54° A , المدى : 3 deg/min.

#### الفحوصات المهرجية لتحديد التوجيه البلوري

تم اعتماد تقنيات الإظهار الكيميائي لإظهار التركيب البلوري للشريحة السليكونية المتعدد البلورات إذ أجريت الفحوصات المجهرية باستخدام مجهر ضوئي عاكس لنوع Metallux 3 ولقدرات تكبير واطئة تتراوح (300-500X) مرة.

### قياس خصائص الخلايا الشمسية

لغرض قياس كل من اعظم كثافة قدرة  $(J_m * V_m)P_m$  ، وعامل الملئ ( Filling Factor) وكفاءة التحويل استخدمت ترتيب الدائرة الكهربائية والموضحة في الشكل (1) ، حيث تم قياس (  $V_{oc}$  ) والذي يمثل فولتية الدائرة المفتوحة (Open Circuit Voltage) وهي فولتية الخلية الشمسية عندما يكون طرفها غير متصلين كهربائياً اي ان المقاومة عملياً ذات قيمة مالانهاية. اما اذا جعلنا قطبي الخلية الفولتائية دائرة قصره فان التيار الضوئي الكلي سوف يرجع خلال الدائرة الخارجية ويتلاشى تيار الوصلة وبذلك تكون الفولتية على قطبي الخلية صفراً.

يمكن تعريف تيار الدائرة القصيرة Short Circuit Current بانها: التيار المتولد من الخلية الشمسية حينما يكون طرفها متصلين كهربائياً والمقاومة بينهما صفراً، عند ربط مقاومة حمل بين قطبي الخلية فان جزءا من التيار الضوئي يمر عبر ثنائي القطب بينما الجزء المتبقي سيجهد الى الحمل. لقد تم حساب قيمة الكفاءة وعامل الملئ للخلية الشمسية السلكونية المتعددة البلورات من خلال العلاقات الاتية: [7].

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100\% = \frac{J_m V_m}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots 2$$

$$ff = \frac{J_m V_m}{J_{sc} V_{oc}} \dots\dots\dots 3$$

## قياس الاستجابة الطيفية

بعد ذلك تم قياس كثافة التيار ( $J_{sc}$ ) للخلية الشمسية السليكونية المتعددة البلورات لكل طول موجي خارج من جهاز الموحد اللون وساقط على سطح الخلية الشمسية، وذلك بتحديد التيار باستخدام مقياس التيار (Multimeter) وتقسيمه على مساحة الخلية الشمسية. وتم إيجاد الاستجابة الطيفية من خلال العلاقة [8]:

$$R(\lambda) = \frac{J_{SC(\lambda)}}{Pin(\lambda)} \dots\dots\dots 4$$

حيث أن ( $J_{sc}$ ) هو تيار الدائرة القصيرة  $J_{sc} = \frac{I_{sc}}{A}$ ، ( $A$ ) هي مساحة الخلية الشمسية،  $Pin(\lambda)$  كثافة القدرة الساقطة لكل طول موجي خارج من جهاز موحد اللون باستخدام جهاز قياس القدرة .  
النتائج والمناقشة

## نتائج الفحوصات التركيبية لحيود الأشعة السينية

أظهرت نتائج الفحوصات التركيبية لحيود الأشعة السينية لشريحة من السليكون المتعدد البلورات polycrystalline والموضحة في الشكل (2)، مجموعة من القمم peak تمثل خطوط السليكون المتعدد البلورات، أن اختلاف القمم للشدة مع اختلاف زوايا الحيود يمثل نتائج الحيود للأشعة السينية للسليكون المتعدد وحسب جداول (ASTM) [9].

## نتائج الفحوصات المجهرية لتحديد الحدود الحبيبية

توضح الأشكال (3)، (4)، صور مجهرية للتركيب البلوري المتعدد البلورات لشرائح السليكون المتعدد البلورات، عند التكبير (X300)، (X500) وعلى التوالي، بعد عمليات والتجليغ والتنعيم الميكانيكي ودرجة 0.25  $\mu m$  واستخدام المحلول الكيميائي :  
6HF:3HNO<sub>3</sub>:100: H<sub>2</sub>O +0.3 gm Cu(NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> at 10---20 min

يتوضح من خلال الشكلين (3، 4) التركيب البلوري لسطوح السليكون المتعدد البلورات، حيث تظهر انعكاسات ضوئية مختلفة ومتعددة على شرائح البلورة، ويعزى ذلك الى اختلاف المستويات البلورية على الشرائح البلورية للسليكون المتعدد البلورات [9].

## الخصائص الفولطائية الضوئية لخلية الشمسية لمفرق p-n

تم حساب كفاءة التحويل %  $\eta$  للخلية الشمسية السليكونية المتعددة البلورات بالإضافة إلى عامل الملء f.f من خلال حساب كل من كثافة التيار الدائرة القصيرة وفولتية الدائرة المفتوحة. وباستخدام العلاقة (2,3) على الترتيب. ويوضح الجدول (1) بعض معلمات الخلية الشمسية المتعددة البلورات.

الجدول (1) يوضح بعض معلمات الخلية الشمسية

Pin (mW)	Jm mA/c m <sup>2</sup>	V <sub>m</sub> V	V <sub>oc</sub> V	J <sub>sc</sub> A/cm <sup>2</sup> m	Pm /Cm <sup>2</sup> mW	f.f	$\eta$ %	R <sub>s</sub> $\Omega$	R <sub>sh</sub> $\Omega$
100	13.6	0.290 8	0.435 3	21.7	3.95	0.4 2	3.95	6	30

يتضح من الجدول أن إن قيمة كفاءة التحويل %  $\eta$  للخلية الشمسية السليكونية المتعددة البلورات عالية (3.95) بالمقارنة مع الخلايا الشمسية الأحادية البلورات ذات الكلفة التصنيعية العالية ، وهذه مقارنة للنتائج العالمية [10].

ونلاحظ ان القيمة الواطئة لـ  $V_{oc}$  (0.43 V) يعود إلى أن التيار الإشباع  $I_0$  كبير نسبياً والذي يعتمد على سرعة إعادة الاتحاد السطحية للسطوح المعرضة للضوء وبذلك يمكن زيادة  $V_{oc}$  عندما تكون سرعة إعادة الاتحاد للسطحين واطئة [4].

أما المعلم الآخر للخلية الشمسية فهو عامل الملء f.f ومقداره (0.42) والذي يعود سبب نقصانه إلى عوامل كثيرة منها عملية إعادة الاتحاد في منطقة الاستنزاف [10].

ان كل خلية شمسية تمتلك مقاومة توالي  $R_S(6\Omega)$  بسببها المقاومة الذاتية لشبه الموصل ومقاومة الموصلات المعدنية والتوصيلات الكهربائية البينية Interconnection وكذلك مقاومة الاتصال  $R_{Sh}(30\Omega)$  Shut resistance وهي ناتجة من تسرب التيار خلال المفروق حول حافة الخلية وكذلك مناطق داخلية أخرى وذلك بسبب وجود شوائب غير مرغوبة في منطقة المفروق وكلا المقاومتين  $(R_S) @ (R_{Sh})$  تقل من عامل الملء وبالتالي من كفاءة الخلية الشمسية.

أن تغير قيمة فولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{OC}$ ) وكثافة التيار ( $J_{sc}$ ) للوصلة p-n مع شدة الضوء الساقط على الأنموذج بشكل عمودي ولمسافة محدودة يتوضح في الشكل (5) والذي يمثل مستطيل أعظم قدرة عند  $(J_m 13.6 \text{ mA/cm}^2)$  و  $(V_m 0.29V)$  . الشكل (6) يوضح علاقة كثافة التيار  $(J_m \text{ mA/cm}^2)$  مع كثافة القدرة  $(P_m \text{ mW/Cm}^2)$  ، حيث كانت أعظم كثافة قدرة  $(P_m 3.95488 \text{ mW/Cm}^2)$  عند كثافة التيار  $(J_m 13.6)$   $(\text{mA/cm}^2)$  ومن ثم تتناقص كثافة القدرة . يوضح الشكل (7) تأثير المقاومة  $(\Omega)$  مع كثافة القدرة  $(P \text{ mW/Cm}^2)$ ، نلاحظ من الشكل اعلى قمة لكثافة القدرة  $(P_m 3.95488)$  عند مقاومة  $(30 \Omega)$ . تلك النتائج الكهربائية تعد قيمة مقبولة بالمقارنة مع نتائج الخلايا الشمسية السليكونية الاحادية البلورات [10] [11].

تم حساب قيم الاستجابية الطيفية للكاشف باستخدام العلاقة (4) والشكل (8) يوضح الاستجابية الطيفية لاتصال المفروق (p-n) للكاشف السليكوني المتعدد البلورات، يلاحظ من الشكل أن الاستجابية الطيفية للكاشف تقع ضمن المنطقة المرئية وقليلًا من المنطقة القريبة من تحت الحمراء (near IR) أما قمة الاستجابية الطيفية فتتصرف في مدى الأطوال الموجية للأشعة الساقطة  $(750 \pm 50)$  . يتضح من الشكل (8) أن الاستجابية تزداد بزيادة الطول الموجي وعند الأطوال الموجية القصيرة (الطاقات العالية) تكون الزيادة غير منتظمة بسبب سرعة توليد الأزواج (الالكترون-فجوة). إذ نحصل على أعلى قمة للاستجابية  $R(\lambda)$  بحدود  $(3.25 \text{ A/W})$  عند الطول الموجي  $(800\text{nm})$ ، أما الأطوال الموجية الطولية فنلاحظ انتظام في عملية انخفاض قيمة الاستجابية [10]. **الاستنتاجات**



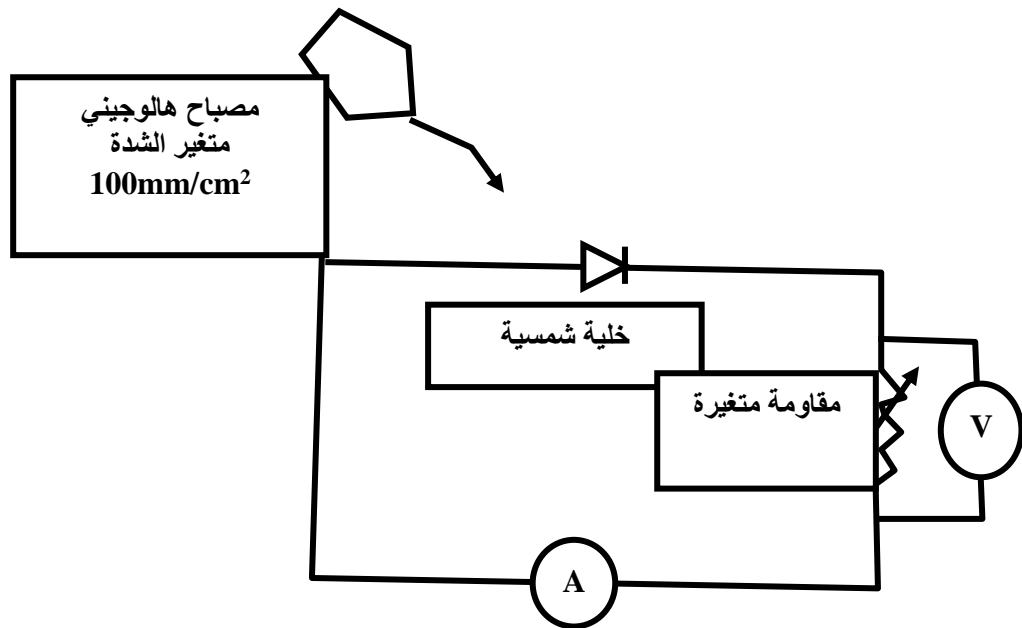
1. إمكانية استخدام السيلكون المتعدد البلورات كبديل للسليكون الأحادي وذلك لسهولة تصنيع شرائح السيلكون المتعدد البلورات ورخص تكاليف التصنيع مقارنة مع السيلكون الأحادي المستخدم في الخلايا الشمسية.
2. إن الكفاءة المستحقة نتيجة استخدام السيلكون المتعدد البلورات وصلت إلى (4.51% =  $\eta$ ) وهي كفاءة تقع ضمن الحدود الجيدة لكفاءة الخلية الشمسية.
3. بالامكان تحسين الكفاءة بطريقة المعالجات الكيميائية للشريحة السليكونية المتعدد البلورات باستخدام تقنيات المعالجات الكيميائية لشرائح السيلكون المتعدد البلورات.

### References

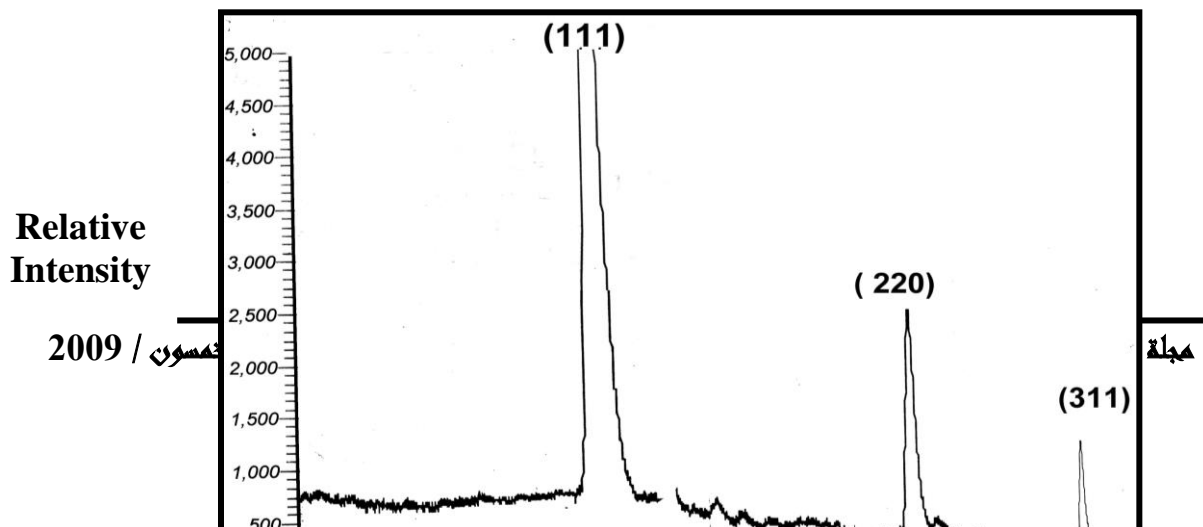
- [1] J. Gordon, "Solar Energy", UK and Cromwell press,( 2001), ch.6,7.
- [2] A Goetzberger "Crystalline Silicon Solar Cells" Translated by R.W. Swadlincote, UK JohnWiley New York(1995).
- [3] D. K. Schroder, Semiconductor Material and Device Characterisation John Wiley & Sons, New York,( 1998), p. 634 .
- [4] S.M.Sze" Semiconductors devices physics and Technology translated by Dr.F.G.HAYATY and Dr.H.A.AHMED,AL-Mousl university press (1990).
- [5] Paraguay D., M.Miki-Yoshida, J.Morales, J.Solis, and W.Estrada L., Thin Solid Films 373(2000)137.
- [6] B.D.Gutlity ( Elements Of X-Ray Diffraction" Second Edition , Pub Addison- Company , Wesley(1978).
- [7] M. A. Green, High Efficiency Silicon Solar Cells ,Trans Tech Publications, Switzerland ,( 1987), p. 94.
- [8] David L.King,Jay A.Kratochvil,William E.Boyson,"Measuring Solar Spectral and Angle-of-Incidence Effects on photovoltaic Modules and Solar Irradiance Sensors", Presented at the 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim,California, September 29-October 3,1997.
- [9]W. R. Runyan " Semiconductor Measurements and Instrumentation" Pub. McGraw- Hill Book Company (1975).

[10] R. B. Bergmann, Appl. Phys. A 69, 187 (1999).

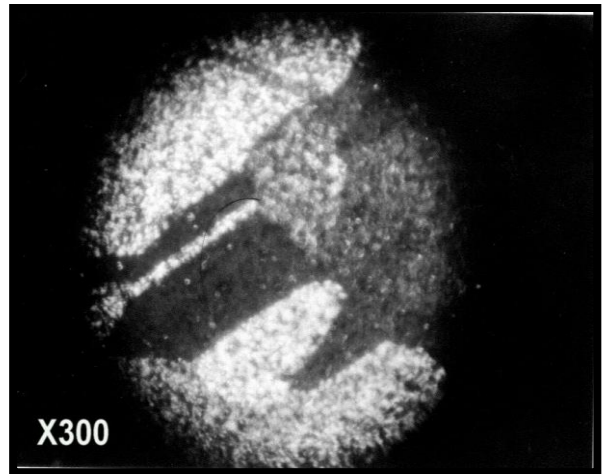
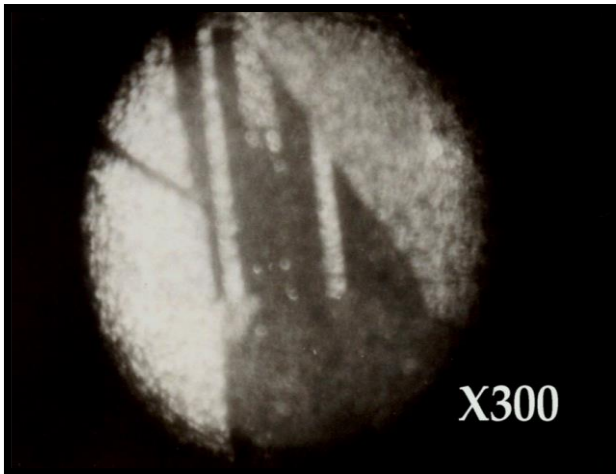
[11] K. R. Catchpole, M. J. McCann, K. J. Weber, and A.W. Blakers, Solar Energy Materials and Solar Cells 68, 173 (2001).



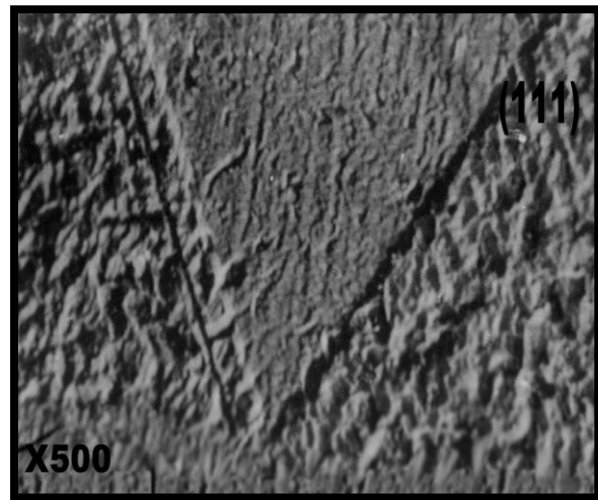
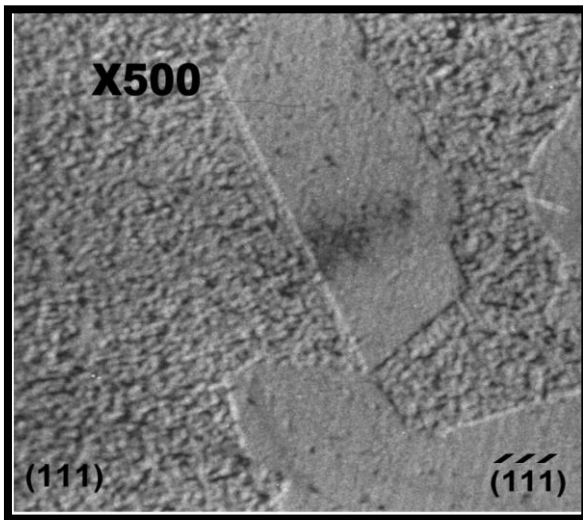
الشكل (1) مخطط الدائرة الكهربائية المستخدمة في القياس



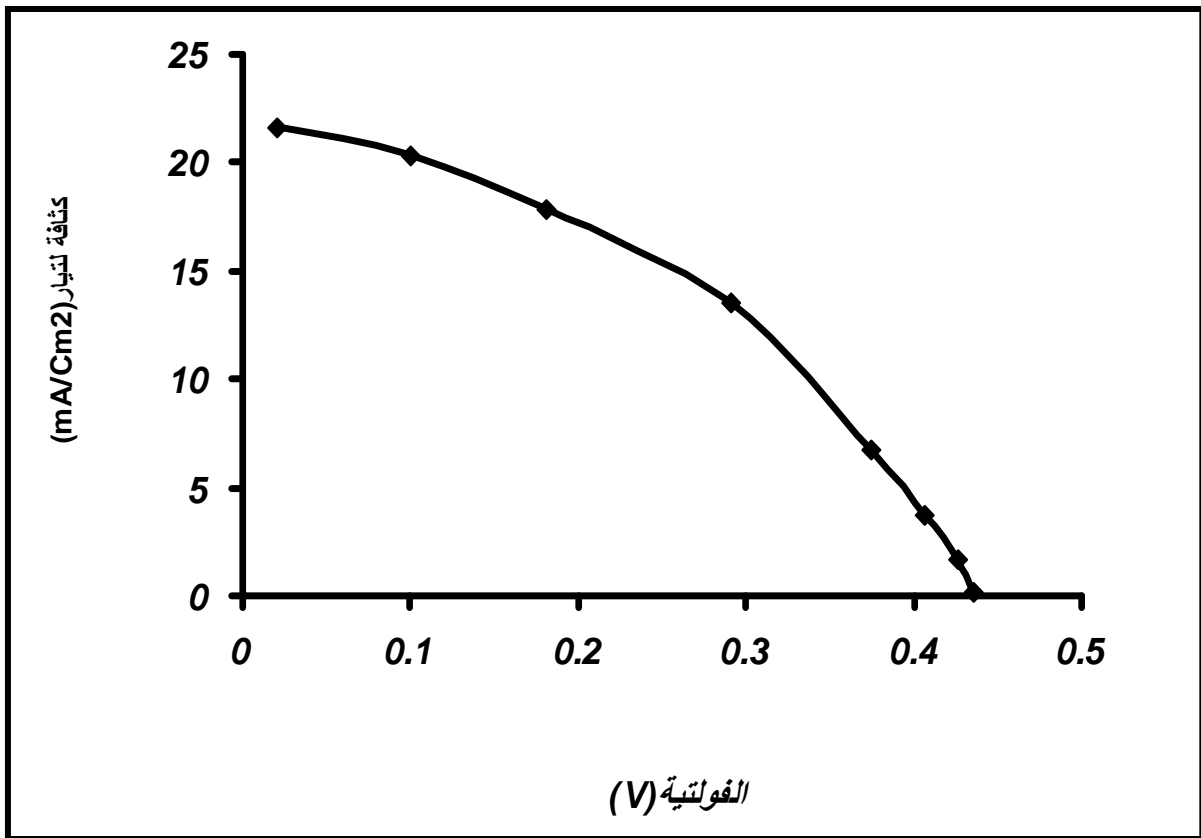




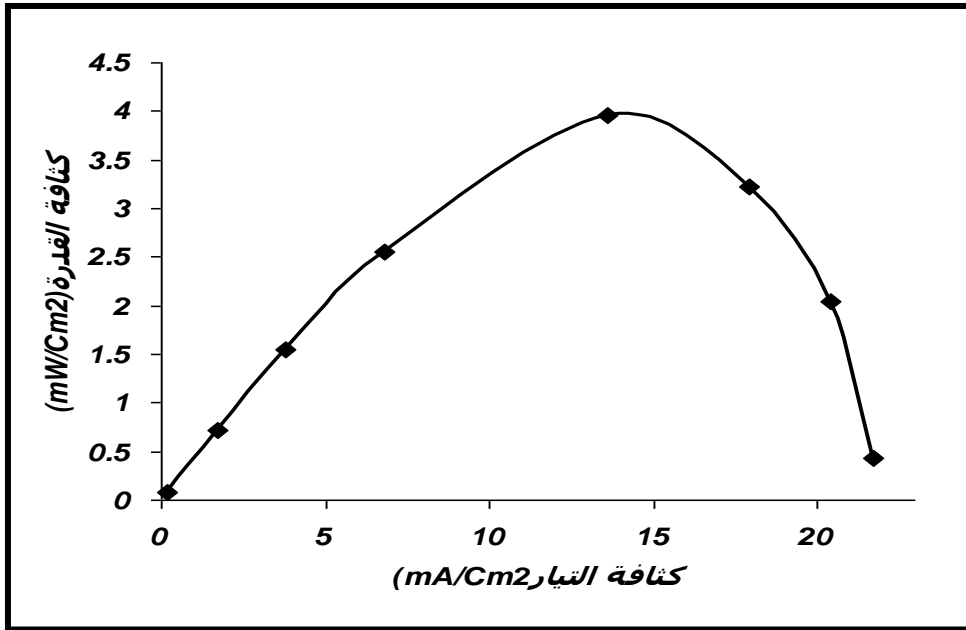
شكل (3) صور مجهرية للتركيب المتعدد البلورات وللتكبير 300X



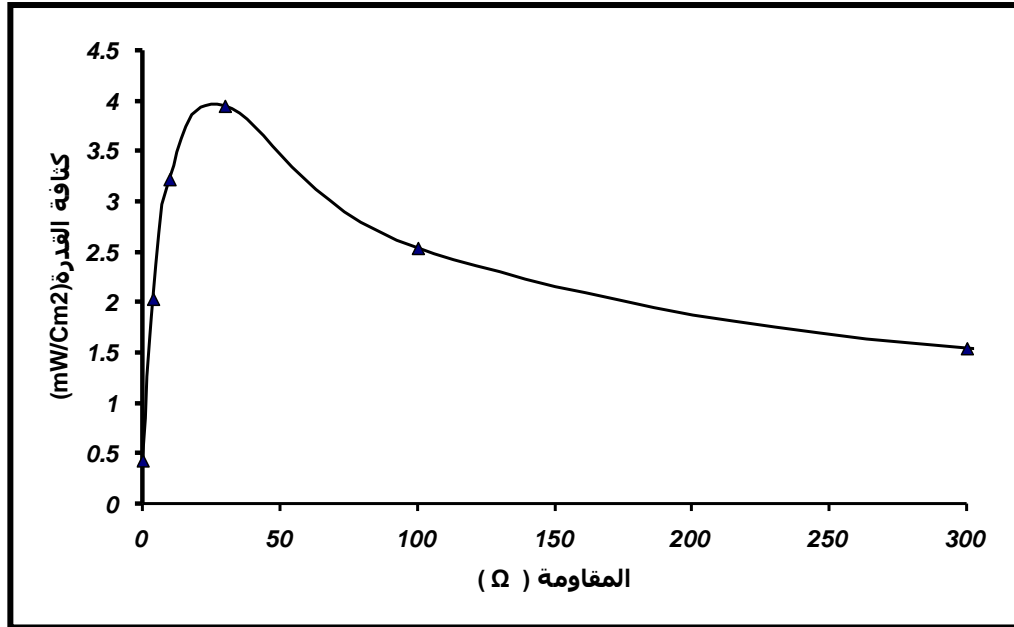
شكل (4) صور مجهرية للتركيب المتعدد البلورات وللتكبير 500X



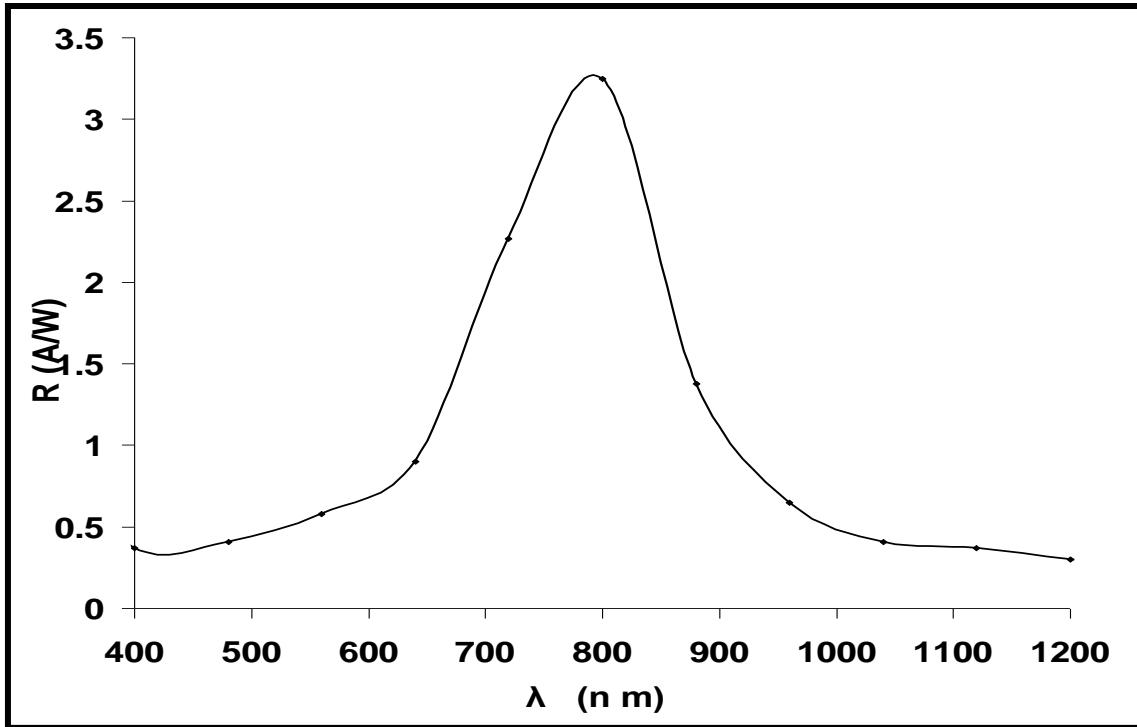
شكل (5) يوضح مستطيل اعظم قدرة للخلية الشمسية السليكونية المتعددة البلورات



شكل (6) يوضح علاقة كثافة القدرة مع كثافة التيار للخلية الشمسية المتعددة البلورات



شكل (7) علاقة المقاومة مع كثافة القدرة للخلية السليكونية المتعددة البلورات



شكل (8) منحنى الاستجابة الطيفية كدالة للطول الموجي للخلية السليكونية المتعددة البلورات.