

## تصنيع خلية سليكونية متعددة الطبقات

مروج علي عبود\*

فلاح ابراهيم العطار\*

مروة رحيم فريخ\*

مصطفى داوود جبار\*

استلام البحث 20، كانون الاول، 2012

قبول النشر 11، اذار، 2014

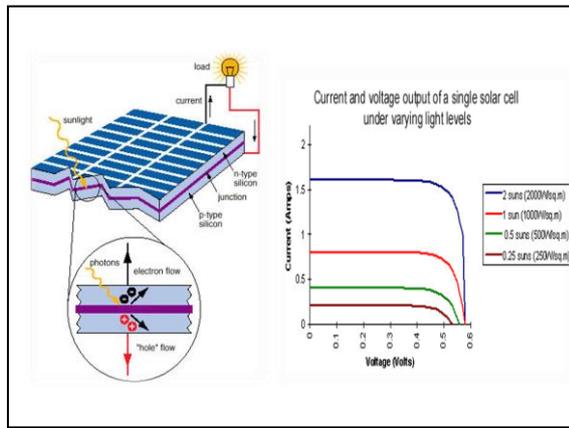
## الخلاصة:

تم تصنيع ودراسة الكفاءة للخلية الشمسية المحضرة بطريقة الرش الحراري والتبخير الحراري الفراغي على شرائح سيلكون (Si) وشرائح زجاجية. رسبت الأغشية على ثلاث طبقات (ZnO ثم CdS ثم CdTe) على Si والزجاج على التوالي. تم حساب فجوة الطاقة المباشرة وكانت مساوية (4.3, 3.4, 3, eV) وغير المباشرة (3.5, 2.5, 1.5 eV) لكل من (CdTe, CdS, ZnO) على التوالي. كذلك تم حساب الكفاءة للخلية المحضرة التي مساحتها  $2\text{cm}^2$  وكانت مساوية 0.14%.

الكلمات المفتاحية: خلية شمسية متعددة الطبقات، Zn.

## المقدمة:

الخلايا الشمسية متعددة الوصلات لديها كفاءة أعلى بالمقارنة مع التقنيات الضوئية الأخرى. قد تم وضع أول خلية شمسية متعددة الطبقات في أوائل العام 1980 وتم تحويل 16% من الطاقة الشمسية إلى كهرباء وفي عام 1994 استطاعت National Renewable Energy Laboratory (NREL) من اختراق حاجز 30%. حالياً تم تحقيق كفاءة 7,40% لخلية ثلاثية-المفروق (triple-junction)، الحد الأقصى النظري لكفاءة الخلايا الشمسية المتعددة الطبقات هو 8,86%. الخلايا الشمسية متعددة الوصلات هي مجموعة من الخلايا الفوتوفولتائية وتعرف على أنها وصلة من (p-i-n) تعمل بالانحياز الامامي وهي



الشكل (1): يوضح مخطط خلية شمسية [1].

## المبادئ الأساسية للخلايا الشمسية المتعددة

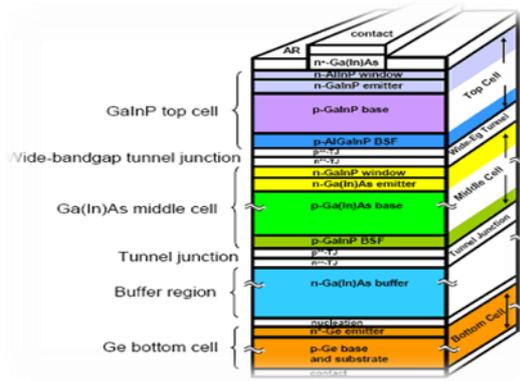
## الطبقات Basic

## Principles of Multi-Junction Solar

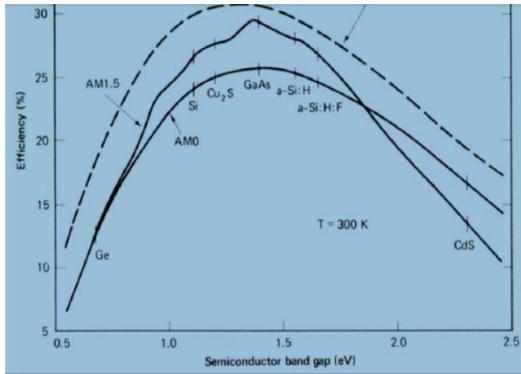
## cell للحصول على خلايا الشمسية ذات كفاءة

عالية يستخدم عدة طبقات من مواد مختلفة ذات فجوات طاقة تمتد عبر الطيف الشمسي. الخلايا الشمسية المتعددة الطبقات تتكون من بعض الخلايا الشمسية أحادية-مفروق مكدسة على بعضها البعض، حيث أن كل طبقة مستمرة من الأعلى إلى الأسفل ذات فجوة طاقة أصغر من السابق، وهكذا فإنه يمتص ويحول الفوتونات التي لديها طاقات أكبر من فجوة الطاقة لتلك الطبقة وأقل من فجوة الطاقة للطبقة الأعلى. أساس عمل الخلايا الشمسية المتعددة الطبقات يعتمد على مدى التوافق للمواد وفجوات طاقتها مع بعضها للحصول في نفس الوقت على

مصممة لاقتناص الفوتونات من الطيف الشمسي وتحويل الإلكترونات عبر فجوة الطاقة لأشباه الموصلات مما يخلق أزواج من الإلكترون-فجوة. حاجز الجهد عند التقاطع PN يدفع الإلكترونات والفجوات في اتجاهين متعاكسين، مما يخلق فرق جهد خارجي مساوي لفرق حاجز للوصلة كما في الشكل (1). أشباه الموصلات يمكنها فقط تحويل طاقة الفوتونات مع طاقة الفجوة إلى كفاءة جيدة. لا يتم امتصاص الفوتونات ذات الطاقة المنخفضة أما الفوتونات ذات الطاقة العالية تقلل من فجوة الطاقة من خلال حاملات الفوتونات المتولدة [1,2].



الشكل: 4 بنية الخلية الضوئية تقاطع الثلاثي



الشكل: 5 بين علاقة فجوة الطاقة مع الكفاءة [6].

### المواد وطرائق العمل:

تضمنت عملية الترسيب للأغشية ثلاث مراحل من الترسيب، لوصف العملية نتبع الخطوات الآتية :-

1-ترسب اغشية (ZnO) على شرائح السليكون نوع n وشرائح الزجاج بطريقة الرش الحراري عند سمك (100nm) حيث تم قياس السمك بجهاز (TFC companion) وعند درجة حرارة للارضية 470 درجة سليزية .

2-رسبت اغشية CdS فوق اغشية (Si\ ZnO) وشرائح الزجاج بطريقة التبخير الحراري الفراغي عند سمك (100 nm).

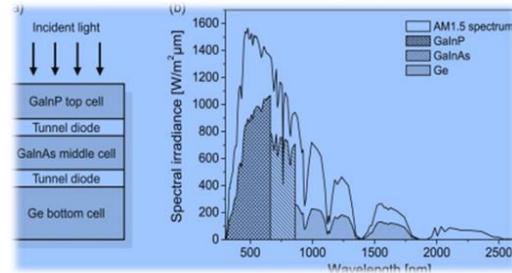
3-رسبت اغشية CdTe فوق اغشية (ZnO\CdS) وشرائح الزجاج عند سمك (100nm) بطريقة التبخير الحراري الفراغي.

4- الشكل (8) يبين طبقات الخلية الشمسية المصنعة (Si\ ZnO\ CdS\CdTe)

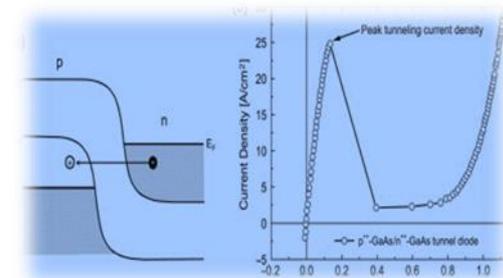
5- تم فحص الكفاءة بمنظومة I-V فحوصات عن طريق قياس التيار والفولتية للخلية عند الشدة عندشدة (1sun) وحسبت تبعاً لقانون التالي:

$$\eta = P_{out} / P_{in}$$

كفاءة عالية وعيوب منخفضة [3,4]. سبائك المجموعات الثالثة والخامسة (III-V) من الجدول الدوري هي مرشحات جيدة لتصنيع هذا

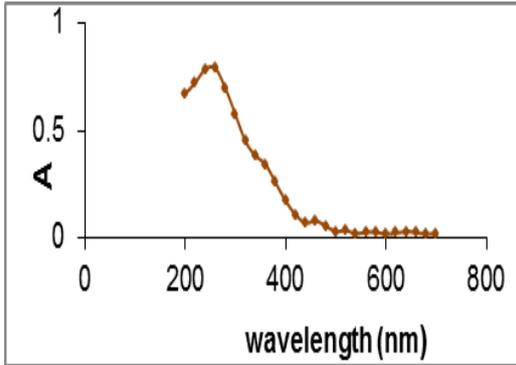


النوع من الخلايا كما في الاشكال (2,3,4) تكون طاقاتها واسعة النطاق الطيفي ( wide spectral range) و لدى معظمها بنية إلكترونية مباشرة (direct electronic structure) ،مما يعني معامل امتصاص عالية وهياكلها المعقدة تستطيع ان تنمو ببلورية عالية للغاية ( high crystalline) كما في الشكل (5) [5].

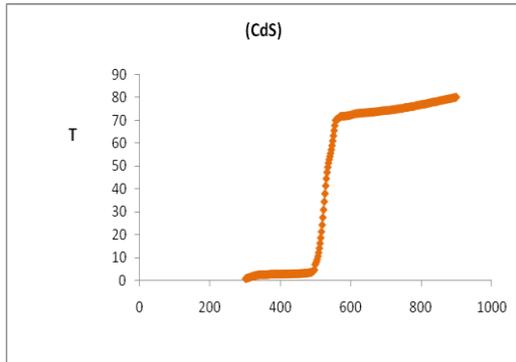


الشكل: 3 يمثل فجوة الطاقة كدالة ثابت الشبكة لاشباه الموصلات المثالية يتم الإشارة الى مركبات ثلاثية بخطوط بين بلورات ثنائية الخطوط المتصلة تشير الى فجوة الطاقة المباشرة لاشباه الموصلات، والخطوط الحلقية لاشباه الموصلات ذات فجوات الطاقة الغير المباشرة

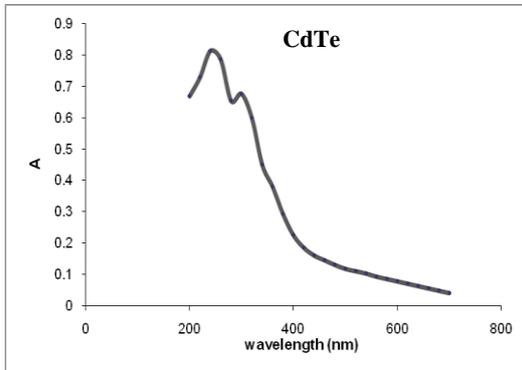
الشكل: 2a يمثل الهيكل التخطيطي للخلية الشمسية الثلاثي مفرق المتالف من GaInP-(GaInAs-Ge)، ليمثل الاشعاع الطيفي او الطيف الترددي التي يمكن استخدامها بواسطة خلية شمسية الثلاثي مفرق



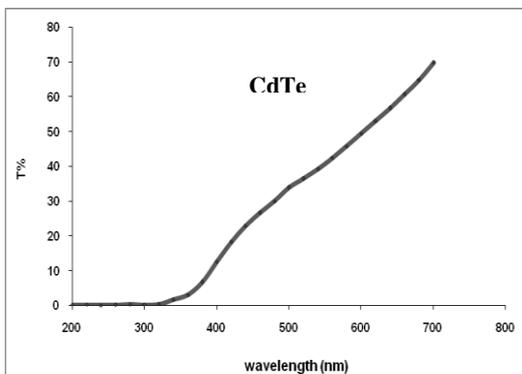
الشكل:10 يوضح طيف الامتصاصية لاغشية CdS



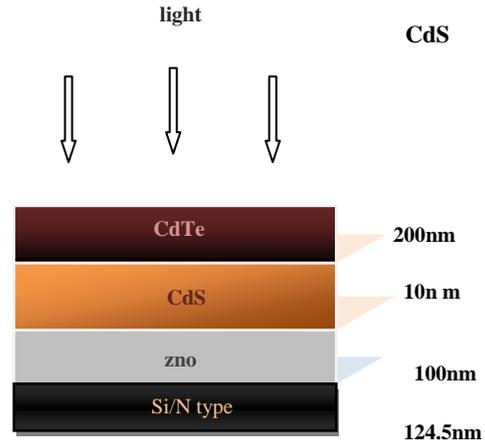
الشكل:11 يوضح طيف النفاذية لاغشية CdS



الشكل:12 يوضح طيف الامتصاصية لاغشية CdTe



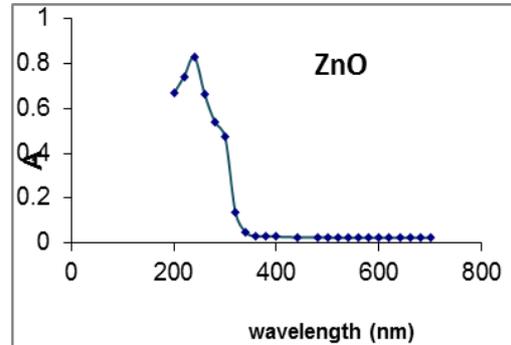
الشكل:13 يوضح طيف النفاذية لاغشية CdTe



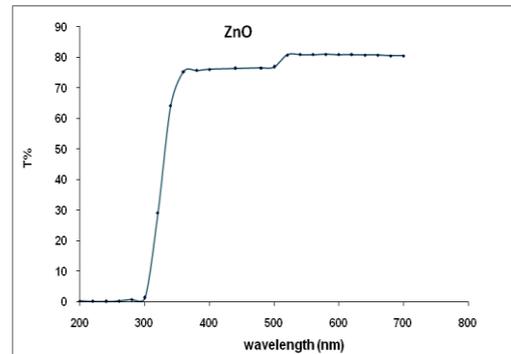
الشكل:6 يبين طبقات الخلية الشمسية المصنعة (Si\ ZnO\ CdS\CdTe)

### النتائج والمناقشة:

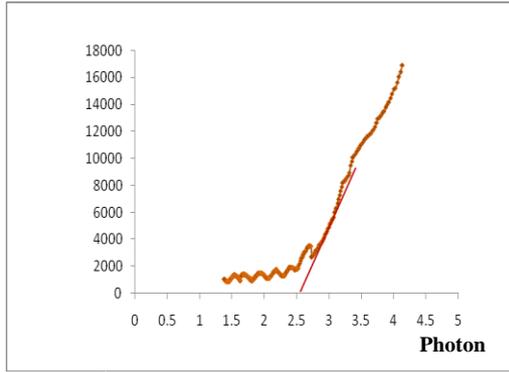
1-تم إجراء الفحوصات الطيفية المتضمنة علاقة الطول الموجي مع النفاذية والامتصاصية لكل من الأغشية (ZnO, CdS, CdTe) كما هو موضح في الأشكال (8,9,10,11,12,13) على التوالي [7].



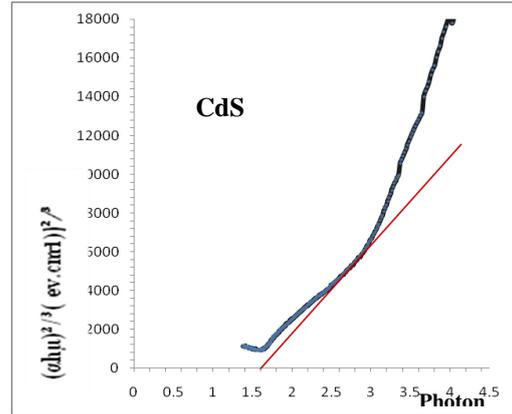
الشكل:8 يوضح طيف الامتصاصية لاغشية ZnO



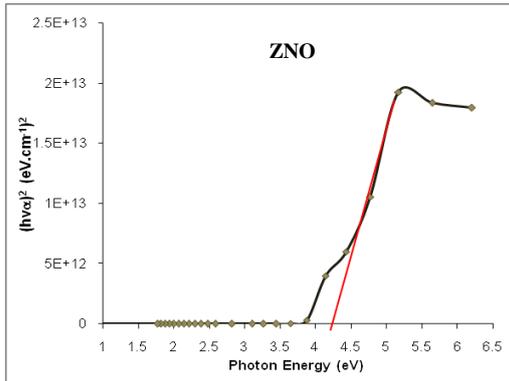
الشكل:9 يوضح طيف النفاذية لاغشية ZnO



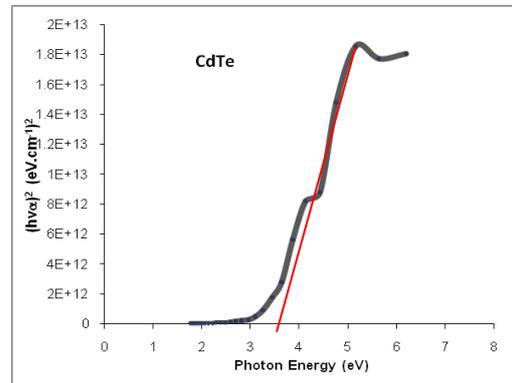
الشكل 17: يوضح  $(\alpha h\nu)^{2/3}$  مع طاقة الفوتون  
للـ CdS



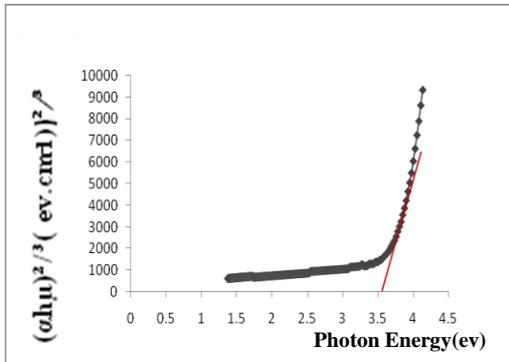
الشكل 14: يوضح  $(\alpha h\nu)^{2/3}$  مع طاقة الفوتون  
للـ CdTe



الشكل 18: يوضح  $(\alpha h\nu)^2$  مع طاقة الفوتون  
للـ ZnO



الشكل 15: يوضح  $(\alpha h\nu)^2$  مع طاقة الفوتون  
للـ CdTe

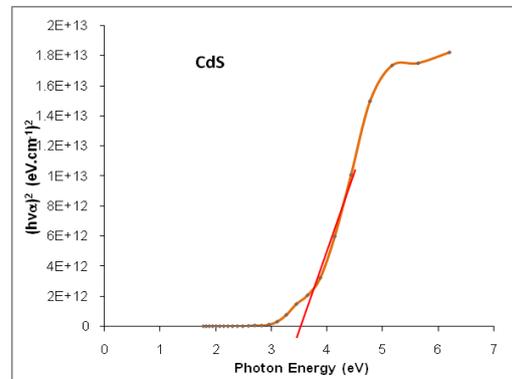


الشكل 19: يوضح  $(\alpha h\nu)^{2/3}$  مع طاقة الفوتون  
للـ ZnO

الجدول 1 : يوضح قيم فجوة الطاقة المسجلة

نوع الغشاء	Eg direct	Eg indirect
ZnO	4.3	3.5
CdS	3.4	2.5
CdTe	3	1.5

2- حسبت فجوة الطاقة المباشرة وغير المباشرة لكل من الأغشية المرسبة على الزجاج (ZnO, CdS, CdTe) كما موضح في الأشكال (15,16,18) للانتقالات المباشرة والاشكال (14,17,19) للانتقالات غير المباشرة والجدول رقم (1) يوضح قيم فجوات الطاقة المسجلة [8]



الشكل 16: يوضح  $(\alpha h\nu)^2$  مع طاقة الفوتون  
للـ CdS

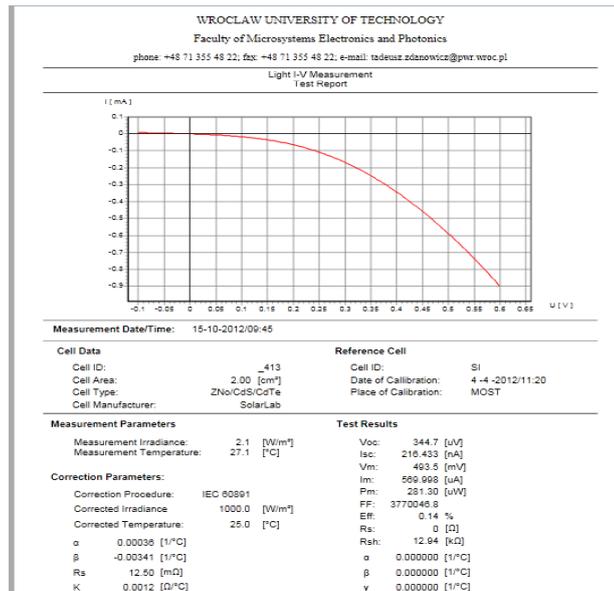
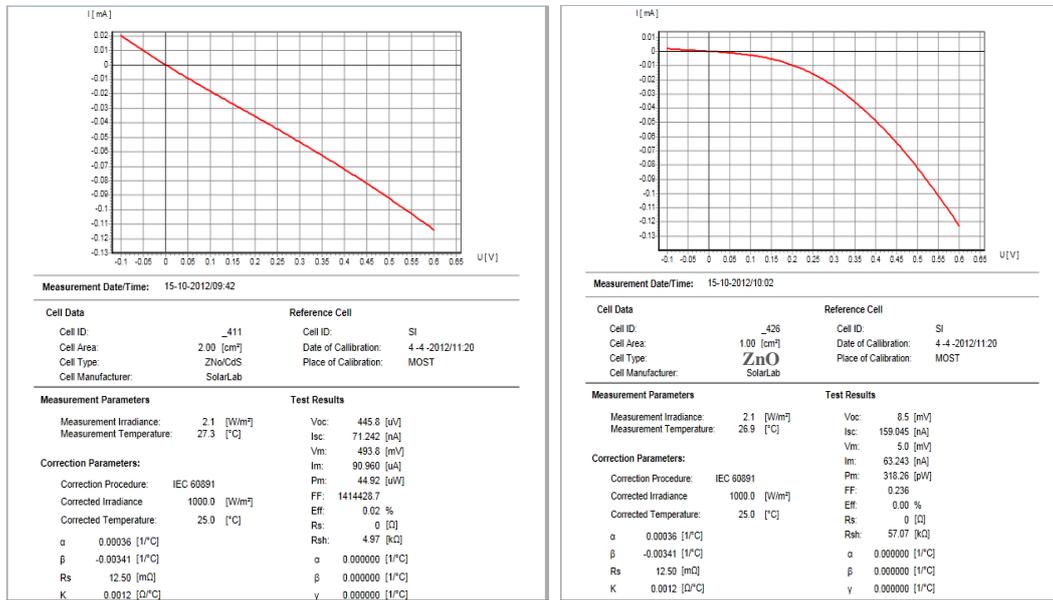
بمنضومة تقييم الخلايا الشمسية (CT100AAA Solar System) كل على حدة عند درجة مئوية (27.1) وشدة اشعاع مساوية الى  $2.1 \text{ W/m}^2$  وكانت قيم الكفاءة حسب الجدول رقم [10,9](2).

3- تم إجراء فحوصات هول للأغشية المرسية وكانت أغشية ZnO نوع p وأغشية CdS نوع n وأغشية CdTe نوع p.  
4- تم إجراء فحوصات تقييم الخلايا الشمسية المرسية على السليكون حسب الشكل (21).

الجدول : 2 يوضح قيم الكفاءة وقيم التيار والفولتية المسجلة

نوع الخلية	$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$	$V_{oc}$ $\mu V$	$I_{sc}$ $nA$	$V_{max}$ $mV$	$I_{max}$ $\mu A$	$P_{max}$ $\mu W$
Si/ZnO	0%	850	159	5	0.063	$0.318 \times 10^{-6}$
Si/ZnO/CdS	0.02%	445	71.2	493	90.96	44.92
Si/ZnO/CdS/CdTe	0.14	344	216.43	493.5	569.998	281.3

5- قمنا بدمج رسم الكفاءة للخلية نوع Si/ZnO/CdS والخلية نوع Si/ZnO/CdS/CdTe كما موضح في الشكل (22).



الشكل: 20 يوضح فحوصات تقييم الخلايا الشمسية بمنضومة تقييم الخلايا الشمسية CT100AAA Solar System

Ist World Con\$ on Photo. Energy Conv : 1555-1558.

[3] Y. S. Tsuo, et al. 1992, "Potential Applications of Porous Silicon in Photovoltaic's," 23rdIEEE PVSC,: 287.

[4] M.J. Stocks, J.J. Carr, and A.W. Blakers, 1994 "Texturing of Polycrystalline Silicon," 1st World Con\$ on Photo. Energy CO~V.: 1551-1554.

[5] S . Narayanan, et al,1990., "18% Efficiency Polycrystalline Silicon Solar Cells," 21st IEEE PVSC, , pp. 678-680.

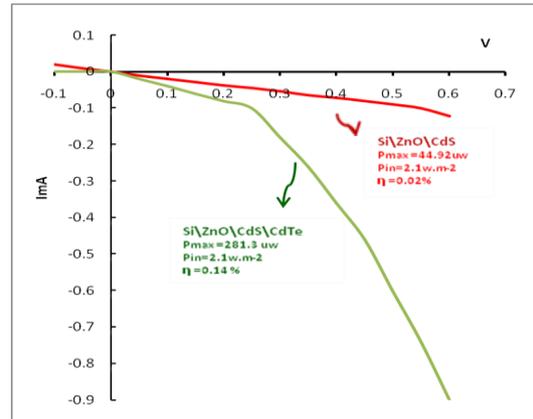
[6]. P. Fath, et al. 1994. "Mechanical Wafer Engineering for High Efficiency Solar Cells: An Investigation of the Induced Surface Damage," 1st World Conf: on Photo. Energy Conv., : 1347-1350.

[7] J.M. Gee, R. Gordon, and H. Liang. 1994. "Reflectance Control for Multicrystalline-Silicon Photovoltaic Modules using Textured-Dielectric Coatings," 1st World Con\$onPhoto. Energy Conv., : 1274-1277

8- Shadia J. Ikhmayies a,\*, Riyad N. Ahmad-Bitar b, A Comparison between the Electrical and Optical Properties of CdS: In Thin Films for Two Doping Ratios, Volume 4, Number 1, Jan. 2010 ISSN 1995-6665 :111 – 116.

9- D PATIDAR, R SHARMA, N JAIN, T P SHARMA and N S SAXENA\*, Optical properties of CdS sintered film Bull. Mater. Sci., Vol. 29, No. 1, February 2006, : 21–24. © Indian Academy of Sciences. 21.

10- Byung Tae Ahn‡, Liudmila Larina, Ki Hwan Kim, and Soong Ji Ahn, Development of new buffer layers for Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar cells\* Pure Appl. Chem., 80(10):2091–2102, 2008.



الشكل: 21 يوضح علاقة التيار مع الفولتية للخلية الشمسية

### الاستنتاجات:

حضرت اغشية ZnO بطريقة الرش الحراري كونها طريقة ذات تقنية بسيطة وكلفة واطئة وحضرت اغشية CdTe&CdS بطريقة التبخير الحراري الفراغي كونها مادة سمية.

تميزت اغشية CdTe المرسبة بان لها فجوة اقل من اغشية CdS وهي بدورها اقل اغشية ZnO وهذا جيد لتكوين خلية متعددة الطبقات للاستفادة اكبر قدر ممكن من الاشعاع الشمسي .

لاحضنا ان فجوات الطاقة المباشرة للاغشية المحضرة اعلى من معدلاتها بينما فجوات الطاقة الغير المباشرة ضمن المدى الطبيعي وهذا يعني ان الانتقالات للالكترونات كانت انتقالات غير مباشرة .

تميزت الخلية المرسبة من ثلاث طبقات ذات كفاءة اعلى من تلك المرسبة من طبقتين ويعزى السبب الى كبر فجوة الطاقة الناتجة من الخلية المصنعة ككل وبذلك كلما زيدنا عدد الطبقات نتوقع زيادة الكفاءة اعتمادا على نوع المواد الشبه الموصلية المختارة .

### المصادر:

[1] D.L. King and M.E. Buck. 1991 "Experimental Optimization of an Anisotropic Etching Process for Random Texturization of Silicon Solar Cells," ZEEE PVSC, 22nd : 303- 308.

[2] J.M. Gee et al. 1994, "The Effect of Encapsulation on the Reflectance of Photovoltaic Modules using Textured Multicrystalline-Silicon Solar Cells,"

## Fabrication of multi-junction solar cells

*Morooj A. Abood\**

*Falah I. Mustafa\**

*MarwaR. Fraih\**

*Mstafa D. Abduljaber\**

\*Ministry of science and technology

### **Abstract:**

Fabrication of solar cell prepared by thermal spray and vacuum thermal evaporation method on silicon wafer(n-type) and studying its efficiency. The film have been deposited on three layers(ZnO then CdS and CdTe) on Si and glass respectively. Direct energy gap was calculated and equal to (4.3,3.4,3)eV and indirect energy gap equal to (3.5,2.5,1.5)eV respectively . Efficiency was calculated for the cell of area  $2\text{cm}^2$  it was equal to 0.14%.