------مجلة علوم الرافدين، المجلد 23، العدد 3، ص146-162،2012------

تاثير التشكيل الجاهري ببعد واحد على خواص الخلايا الشمسية السيلكونية العشوائية

شيماء قادر اسماعيل **بسام محمود مصطفى**

قسم الفيزياء

كلية العلوم

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 13/ 12 /2011 ؛ تاريخ القبول 14 /2/ 2012)

الملخص

في هذه البحث قمنا بدراسة نظرية حول تأثير التشكيل الجاهري على خواص الخلايا الشمسية السيليكونية العشوائية. وهذا التشكيل يكون على شكل أخاديد طولية ببعد واحد وبشكل حرف V. زوايا راس الأخدود تكون حادة وقائمة ومنفرجة (40، 90، 110 درجة) ولقد تم حساب تأثير التشكيل على كفاءة الخلايا الشمسية وذلك من خلال إيجاد طريقة نظرية لحساب الزيادة في التيار الضوئي الناتج عن زيادة الطاقة الضوئية المقتنصة نتيجة التشكيل. تمت الحسابات على أساس وجود الخلية ضمن لوح شمسي وبوضع واقعي في مدينة الموصل وللفصول الأربعة، بينت النتائج في حالة اعتماد الزوايا الحادة عدم ظهور زيادة في الكفاءة، أما بالنسبة للزوايا القائمة والمنفرجة فقد وصلت الكفاءة إلى 12 و 14 %.

The Effect of Macroscopic Texturing in one Dimension on the Characteristics of Amorphous Silicon Solar Cells

Shema Kadir Ismeal **Bassam M. Mustafa**

Department of Physics
College of Science
University of Mosul

ABSTRACT

In this research studied the effect of macroscopic texturing on the characteristics of amorphous silicon solar cells. The texturing is in the form of long grooves with shape V and of groove angles (acute, right, obtuse) (40, 90, 110) a theoretical method is found to calculate the increase of photo current due to increase of optical energy trapped by texturing. Our study concentrate on the case when the solar panels exist in its practical situation and for the coordinates of Mosul city for the four season of the year. For acute

angles there is no increase of efficiency, but for the right and obtuse angle the efficiency reach 12 and 14 % .

Keywords : macroscopic texturing, amorphous silicon solar cells, light trapping.

المقدمة

إن أفضل التقنيات الواعدة التي تسخر طاقة الشمس إلى طاقة كهربائية هي الخلايا الشمسية وتعد في الوقت الحاضر تقنية جديدة ومتطورة وسيكون لها الأثر الكبير في المحافظة على مصادر الطاقة التقليدية ولأغراض أهم، واستغلال أثمن، علاوة على أنه مصدر طاقه مجاني ولا ينضب ووفير ودون مخلفات أو أخطار (Dobrazanski and Dry gala, 2008). إن الخلايا الشمسية هي إحدى أشهر تطبيقات استخدام الطاقة الشمسية ويعتمد عمل الخلايا الشمسية على الظاهرة الفوتوفولتائية (Photovoltaic Effect) (Hovel, 1975) منذ بداية اكتشاف تقنية الخلايا الشمسية الفوتوفولتائية حتى وقتنا الحالي، حدثت تطورات ثورية وبذلت جهود هائلة سواء في بناء الأجهزة أو في طرق التحضير لتصل كفاءة خلايا السليكون البلوري (c-Si) إلى 24.7% (Chopra *et al*., 2004)، وفي عام 2007 بلغ مجمل إنتاج الطاقة الشمسية حوالي (2.8 GW_P) وهي تشكل قيمة 4% من الطاقة العالمية المنتجة (Park, 2009).

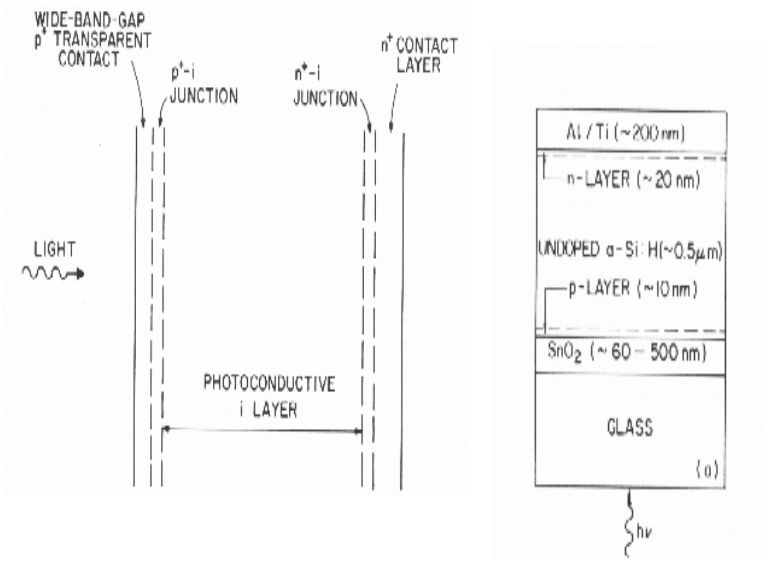
إن مشكلة التوليد من الخلايا الشمسية الفوتوفولتائية هي التكلفة العالية وقد أدرك العلماء هذه الحقيقة في وقت مبكر حيث كانت المشكلة الأساسية في تكلفة شريحة السيلكون (Silicon Wafer) ولذلك كان التفكير بطرائق وبدائل جديدة. جاءت الصدفة لتقدم لنا بديلا جديدا لم يعتمد على السيلكون البلوري فحسب وإنما على السيلكون العشوائي (Chopra *et al.* , 2004). إذ قام كل من العالمين (Carlson and Wronski,1976) في مختبرات (RCA) بإنتاج أول خلايا شمسية فوتوفولتائية عشوائية (a-Si-H) والتي كانت أرخص ثمناً وأسهل تصنيعاً مقارنةً مع النبائط السليكونية البلورية وكانت كفاءتها في البداية 1.1%، ونظرا لأهمية الاكتشاف ازدادت لتصل إلى 10% في الثمانينيات من القرن الماضي (Carlson, 1984) وقد بذلت جهود حثيثة في سبيل تطويرها مما أدى إلى زيادة الكفاءة لتصل إلى قيمة بحدود 11.5% (Lund *et al*., 2008). وفي عام 2010 طورت الخلايا الشمسية من قبل العالم الياباني كانيكا (Kaneka) لتصل كفاءتها إلى 11.7% (Green *et al*., 2009).

أن الهدف من البحث هو دراسة نظرية حول تأثير التشكيل الجاهري على خواص الخلايا الشمسية السيليكونية العشوائية والذي يكون على شكل أخاديد طولية ببعد واحد وبشكل حرف V. ولزوايا راس الأخدود (حادة وقائمة ومنفرجة) وذلك من خلال إيجاد طريقة نظرية لحساب الزيادة في التيار الضوئي الناتج عن زيادة الطاقة الضوئية المقتنصة نتيجة التشكيل.

الجانب النظري

إن تحضير السيلكون العشوائي سهل جداً بالمقارنة مع السيلكون البلوري وبتكلفة أقل لـذلك لابـد مـن دراسة تركيبه .

إن أنموذج الخلايا الشمسية السليكونية العشوائية قيد الدراسة موضح في الشكل (1) المتكون من مفرقين أحدهما عند السطح البيني $p^+ - i$ والآخر عند السطح البيني $n^+ - i$ متصلان بواسطة طبقة (i)، (L) هو طول الطبقة (i) وهو أطول من مناطق السطح البيني. إن طبقة (i) هي طبقة موصلة ضوئيا (photoconductive layer) وبذلك تُعد عنصر مقاومة يمر بها تيار ضوئي (J_P).



-b- -a-

الشكل1 : (a) الخلية الشمسية السليكونية العشوائية ذات تركيب ($glass/SnO_2/p-i-n/Ag$).
(b) نمط الطبقة المتشكلة (Swartz, 1984).

كثافة التيار الضوئي J يمكن أن تكتب بالشكل الآتي:

$$J = qG(\lambda)l_c[1-\exp(-d/l_c)] \quad \text{.....(1)}$$

حيث إن q تمثل الشحنة و d هو سمك طبقة (i) و l_c مجموع أطوال انجراف الإلكترون والفجوة، والذي يمكن أن يكتب كالآتي: (Faughnan *et al.*, 1984)

$$l_c = \mu_n \tau_n \varepsilon + \mu_p \tau_p \varepsilon \quad \text{.....(2)}$$

حيث إن μ_n , μ_p, تمثل تحركية الإلكترونات والفجوات على التوالي τ_n و τ_p تمثل زمن التصادم لكل من الإلكترونات والفجوات على التولي و ε يمثل ثابت العزل

تمثل$G(\lambda)$: معدل تولد- زوج (إلكترون- فجوة). ويمكن أن تكتب بالصيغة الأتية:

$$G(\lambda) = \alpha(\lambda)N(\lambda)[1 - R(\lambda)]\exp(-\alpha(\lambda)x) \quad \text{.....(3)}$$

$\alpha(\lambda)$: معامل الامتصاص لطول موجي معين.

x : هي المسافة التي يقطعها الشعاع داخل شبه الموصل.

$N(\lambda)$: كثافة الحاملات لطول موجي معين.

$R(\lambda)$: معامل الانعكاس لطول موجي معين.

التركيب العام لهذا النوع من الخلايا الشمسية (a-Si: H) موضح في الشكل (1a) والمكون من مفرقين مترابطين بواسطة طبقة (i) الفوتوضوئية. وكثافة التيار الكلي J_T تعطى بالمعادلة الأتية:

$$J_T = J_p - J_d \quad \text{.....(4)}$$

حيث إن J_d كثافة تيار الانتشار، و Jp كثافة التيار الضوئي والتي يمكن أن تكتب كالآتي:

$$J_d = nql / \tau_n \quad \text{.....(5)}$$

حيث إن n هي الكثافة الإلكترونية، q الشحنة الإلكترونية، l سمك الطبقة (i)، τ_n زمن الاسترخاء للإلكترونات في طبقة (i).

إذاً خصائص التيار – الفولتية (I-V) يمكن أن توصف بالمعادلة الآتية: (Carlson, 1984).

$$V = -R_c J_T - \frac{V_s(1 - 0.5\sqrt{J_T / J_p})}{J_p / J_T - 1} - \frac{\beta kT}{q}\ln(1 - \frac{J_T}{J_p})^{-1} + V_{oc} \quad \text{.....(6)}$$

ونظراً لما طرأ من تقدم على السيلكون العشوائي نشر بحث عن التشكيل الجاهري للخلايا الشمسية السيلكونية العشوائية (Mustafa, 2009)، طورت فيه طريقة لاحتساب تأثير التشكيل الجاهري على خواص الخلية السيلكونية العشوائية في الوضع المختبري وذلك من خلال التشكيل بأخاديد في بعد واحد ولحالة السقوط في المستوي وفي هذا البحث ننوي دراسة الوضع الواقعي للخلية الشمسية لحالة التشكيل ببعد واحد

إذا كان J_{P1} ، R_1, تمثل كثافة التيار الضوئي ومعامل الانعكاس قبل التشكيل على التوالي، فإن R_2, J_{P2} كثافة التيار الضوئي ومعامل الانعكاس بعد التشكيل، إذاً:

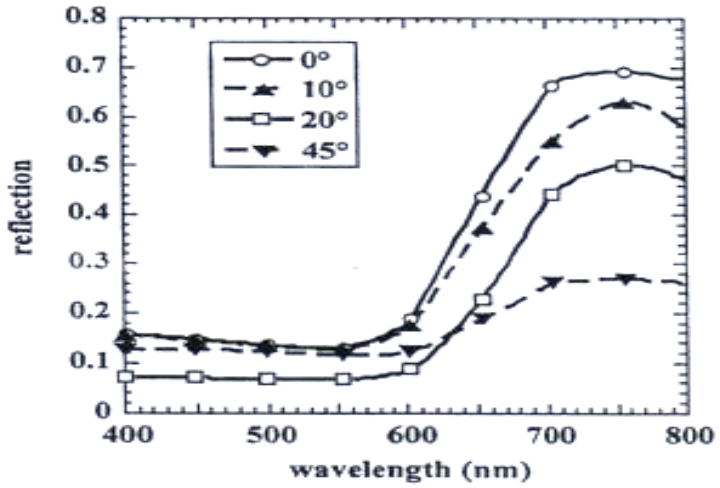
$$J_{p2} / J_{p1} = [1 - R_2]/[1 - R_1] \quad \text{.....(7)}$$

$$J_{T1} = J_{p_{T1}} \times \frac{84}{87} \quad \text{.....(8)}$$

حيث J_{TI}, J_{PrI} كثافة التيار الضوئي والتيار الكلي على التوالي قبل التشكيل ومن خلال حسابهما وحساب الانعكاسية يمكن حساب كثافة التيار الضوئي والتيار الكلي بعد التشكيل (Mustafa, 2009).

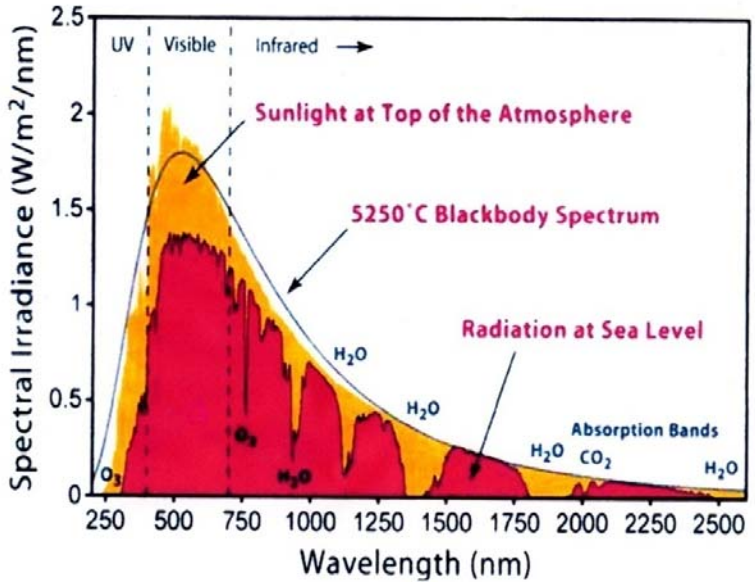
حساب الانعكاسية **Reflectivity Calculation**

من الأمور المهمة جداً في هذا البحث هو معرفة مقدار الطاقة الضوئية المنعكسة من سطح الخلية الشمسية، وبما أن الانعكاسية تتغير مع الطول الموجي كان لابد لنا من معرفة مقدار الطاقة الضوئية المنعكسة لجميع الأطوال الموجبة. الشكل 2 يبين قيم الانعكاسية للأطوال الموجية المختلفة للخلية الشمسية السليكونية العشوائية قيد الدراسة (Hegedus *et al*., 2002)، ولذلك صممنا طريقة لحساب الطاقة الشمسية المنعكسة عند سقوط الطيف الشمسي AM1.5 وهي كما يأتي:



الشكل 2 : العلاقة بين الانعكاسية والطول الموجي للخلية الشمسية السليكونية العشوائية (Hegedus *et al*., 2002) لحالة سطح بدون أخاديد (المنحنى العلوي) والمنحنيات الأخرى للانعكاسية بوجود أخاديد زوايا رؤوسها هي 10، 20، 40 درجة.

الشكل 3 يوضح الطيف الشمسي الساقط لشدات (AM1.5، AM0) حيث أن AM0 مختصر (Air mass zero) أي القدرة الشمسية الساقطة بفرض عدم وجود الغلاف الجوي أما AM1.5 (Air mass 1.5) أي القدرة الشمسية الساقطة بوجود الهواء عند مستوى سطح البحر وهي تعبر عن القدرة الساقطة لأطوال موجية ضمن هذا الطيف والتي استخدمت لحساب الانعكاسية وباستخدام الحاسوب بلغة (Matlab) على أساس المعادلتين (9 و10).



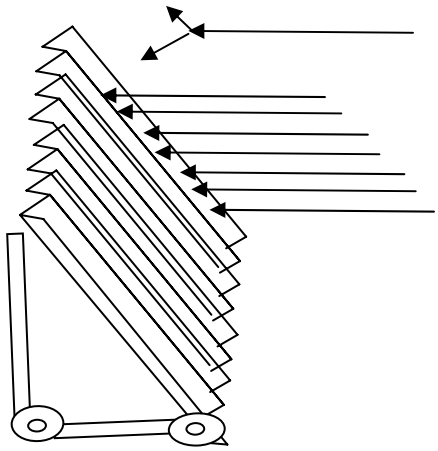
الشكل 3: التوزيع الطيفي لضوء الشمس الحالات الإشعاعية (AM0، الطيف الذي AM1.5) . (Lund, 2008)

$$R = \frac{\sum P_1 \times R_1 + P_2 \times R_2 + P_3 \times R_3 \ldots\ldots\ldots + P_n \times R_n}{\sum (P_1 + p_2 + p_3 + \ldots\ldots + p_n)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

$$R = \frac{\sum p_i \times R_i}{\sum P_i} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

حيث وجد أن انعكاسية الضوء من الخلية الشمسية العشوائية بحدود (0.25). تم حساب القدرة الكلية المنعكسة من الخلايا الشمسية السليكونية العشوائية أنفة الذكر والتي تم اشتقاقها من خلال حساب المعدل الإحصائي لمتغيرين كما هو الحال مع عملية المعايرة في ميكانيك الكم وذلك بتقسيم مناطق الطيف إلى شرائح صغيرة وحساب متوسط الانعكاسية للأطوال الموجية المقابلة في هذه الشريحة.

في الجزء الذي قدمناه درسنا تأثير التشكيل الجاهري على الخلايا الشمسية السليكونية العشوائية عندما تدرس في المختبر. ولكن من الواضح أن مسار الشعاع سوف يتأثر بالتأكيد عندما يوضع اللوح الشمسي في الوضع الطبيعي إذ سيتأثر بالتأكيد بزاوية ميلان الشمس وزوايا الشروق والغروب والتي سوف تتغير عبر ساعات النهار وكذلك تتغير كثيرا عبر الفصول الأربعة. والشكل (4) يوضح الوضع العملي للوح الشمسي في ساعة معينة من ساعات النهار في أحد فصول السنة إذ إن الأسهم تشير إلى اتجاه الأشعة الشمسية الساقطة، أما السهم المنفرد فيبين مركبتي الأشعة الموازية والعمودية على حافة الأخدود. و يوضح أن الشعاع الساقط يتحال إلى مركبتين أحدهما تتجه بموازاة حافة الأخدود والأخرى تتجه عمودية على حافة الأخدود وكلا المركبتين تكونان موازيتين لمستوي اللوح. ولتتبع مسار الشعاع الشمسي ينبغي أن نأخذ بالحسبان كُلاً من زاويتي الساعة (H) والميلان (D).



الشكل 4: الوضع العملي للوح الشمسي في ساعة من ساعات النهار في أحد فصول السنة.

الشكل(4) يوضح هندسة الشعاع الساقط على الأخدود إذ إن الزاوية بين الـشعاع الـساقط والإحـداثي الشاقولي تمثل زاوية السمت (Z)، أما الزاوية بين مسقط الشعاع الساقـط على مستوي الـشرق- الجنـوب واتجاه الشرق تمثل زاوية الساعة (H). وتحسب الزوايا أنفة الذكر وفق منظومة الإحداثيات الشمسية وكما يلي:

$$\cos D = \sin 23.5 \sin \frac{360 \times X_n}{365.25} \quad \text{.....} \quad \text{.....} \quad \text{...(11)}$$

$$\cos Z = \cos D \cos L + \sin D \sin L \cos H \text{.....(12)}$$

حيث إن (L) هي الزاوية المتممة لزاوية خط العرض (Co latitude) للراصد. X_n هو عدد الأيـام بعـد الاعتدال الربيعي 21 آذار.

$$\tan A = \sin D \sin H (\sin D \sin L \cos H - \cos D \sin L) \text{....(13)}$$

إن زاوية السمت تعطي ميلان أشعة الشمس نحو سطح الأرض. وزاوية الزوال A تبين الإحـداثيات الجغرافية لموقع الشمس، وأن كُلاً منهما تتغيران خلال ساعات النهار من خلال (H) وخلال الفـصول مـن خلال (D) وهي الزاوية بين خط الشمس- مركز الأرض والشمال الجغرافي.

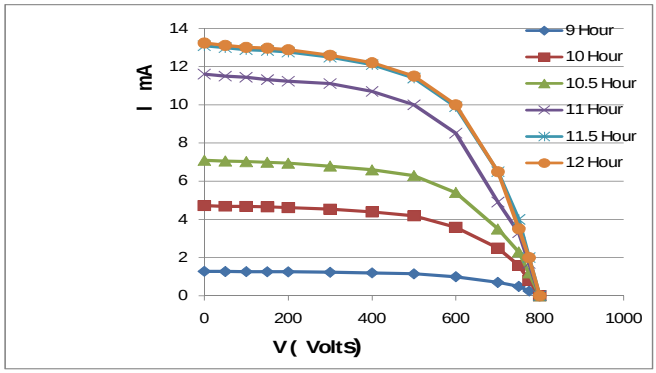
من أهم الكميات التي ينبغي حسابها بعد حساب قيمة التيار الضوئي J_P التي حسبت لزاويا سـقوط معينة والتي تقابل ساعات معينة مـن النهارهـي حساب القدرة المحصلة (P_{out}) والقدرة الـساقطة (P_{in}) (أحمد و مال الله، 2000) وبالتالي حساب الكفاءة (η).

تأثيرالتشكيل الجاهري الخلايا الشمسية السليكونية العشوائية في فصل الصيف

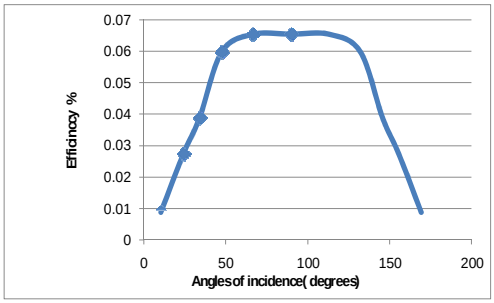
في فصل الصيف اخترنا يوم (25 تموز) لإجراء الحسابات النظرية لحساب القدرة المحصلة وذلك بحساب المساحة تحت منحني خواص التيار- الفولتية (I-V) عند كل زاوية سقوط ولجميع زوايا رأس الأخدود (الحادة- القائمة- المنفرجة) ويبين الجدول (1) القيم في ساعات النهار قيد الدراسة وكذلك قيم زاوية الساعة (H) والسمت (Z) والزوال (A) والتي حسبت من المعادلات (11، 12، 13) والتيار الضوئي (J_P) من المعادلة 7 و8 والتيار الكلي (J_T) من المعادلة (8) وازاوية رأس اخدود ($2\alpha=\mathbf{40^o}$) ، حيث إن α تمثل نصف زاوية رأس الأخدود، وعند ساعات النهارالتالية (9، 10، 10.5، 11، 11.5، 12)، والقدرة المحصلة حسبت من الشكل (5) الذي يبين خواص التيار– الفولتية (I-V) والتي حسبت باستخدام برنامج (Excel) استنادا للمعادلة (6) ومن خلال خواص التيار– الفولتية (I-V) لكل ساعة من ساعات النهار قيد الدراسة تم إيجاد القدرة المحصلة (p_{out}) لهذه الزاوية ومن ثم حسبت الكفاءة (η) المقابلة لها، و تم إعادة إجراء الحسابات التي ذكرت آنفا لزواية سقوط أخرى والتي تقابل وقتاً آخر وتم الحصول منه على منحنى خواص آخر وهكذا أعيدت الحسابات لجميع المنحنيات المبينة في الشكل (5).

الجدول1 : قيم (الساعة والسمت والزوال) والتيار(الضوئي والكلي) والقدرة (الساقطة والمحـصلة) والكفاءة عند ساعات النهار لأخدود زاوية رأسه 40^o لشهر تموز.

ساعات النهار قيد الدراسة	H درجة	Z درجة	A درجة	I_P mA	I mA	p_{in} Watt	P_{out} Watt	η
9	45	42.789	79.352	1.325	1.280	0.07044	0.000625	0.008871
10	30	31.217	65.645	4.903	4.734	0.08209	0.002251	0.027421
10.5	22.5	25.927	55.771	7.377	7.122	0.08633	0.003357	0.038896
11	15	21.438	42.291	12.024	11.609	0.08935	0.005342	0.059794
11.5	7.5	18.009	23.510	13.599	13.130	0.09129	0.005970	0.065402
12	0	16.741	0	13.712	13.230	0.09193	0.006018	0.065461



الشكل 5 : خصائص التيار – الفولتية (I -V) لأخدود زاوية رأسه 40º لشهر تموز.



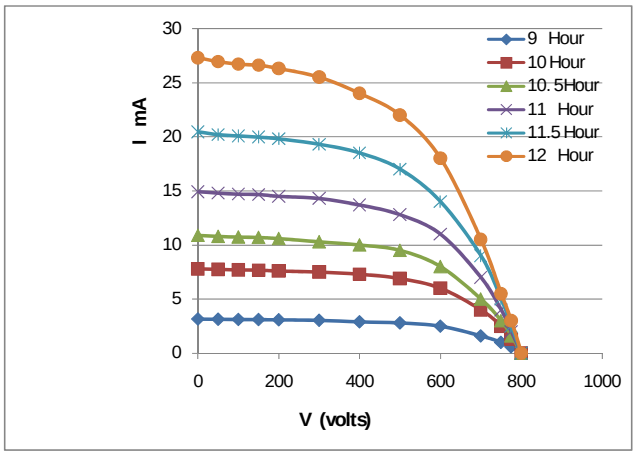
الشكل 6 : الكفاءة مع ساعات النهارلأخدود زاوية رأسه 40º في تموز.

الشكل (6) يبين مقدار الكفاءة المحصلة من الأخدود الواحد عند زوايا السقوط المختلفة، حيث تكون الكفاءة المحصلة أعلى ما يمكن بقيمة بحدود 6.5 % ضمن المدى الزاوي (70– 110) درجة. وتُعد ذات قيمة منخفضة مقارنة مع النوع نفسه من الخلايا بدون تشكيل، بذلك نستنتج أن هذا الأخدود بهذه الزاوية لا يؤدي إلى زيادة الكفاءة بالمقارنة مع الخلايا الشمسية غير المتشكلة ولذلك سوف نقوم بإجراء الحسابات لأخدود بزوايا رأس أكبر من هذه الزاوية.

لذلك أرتأينا إستخدام أخدود زاوية رأسه قائمة (90˚) وإجراء الخطوات نفسها السابقة لليوم نفسه من هذا الشهر التي اتبعت لحساب المعاملات المهمة للأخدود ذي الزاوية الحادة (40˚) لملاحظة التغيرات التي قد تطرأ عليها وتم منها الحصول على القيم المدرجة في الجدول (2) الذي يبين قيم التيار الضوئي I_P والتيارالكلي I_T المحسوبة من المعادلات آنفة الذكر في الفصل الثالث من هذا البحث. وأمكن الحصول على القدرةالمحصلة من الشكل 7 الذي يبين خواص التيار –الفولتية (I-V) لأخدود زاوية رأسه (90˚)، ولزاويا السقوط المحددة ومن خلال خواص التيار– الفولتية (I-V) حسبت القدرة المحصلة p_{out} ومن ثم حسبت الكفاءة لها.

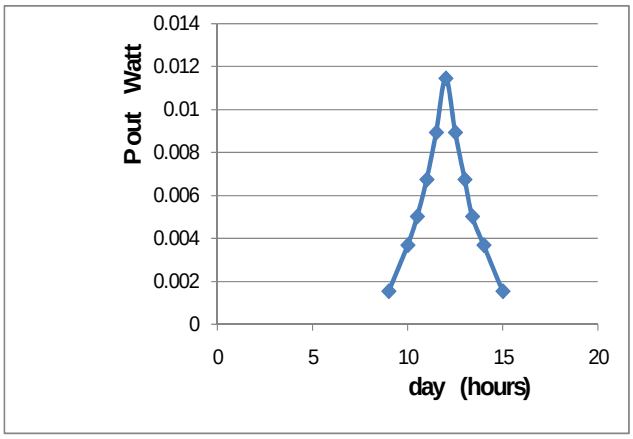
الجدول 2: يبين قيم التيار(الضوئي والكلي) والقدرة (الساقطة والمحصلة) والكفاءة عند ساعات النهار لأخدود زاوية رأسه 90° لشهر تموز.

ساعات النهار قيد الدراسة	J_P mA	I mA	p_{in} Watt	P Watt	η
9	3.276	3.163	0.07044	0.001532	0.021744
10	8.101	7.822	0.08209	0.003682	0.044850
10.5	11.286	10.897	0.08633	0.005018	0.058124
11	15.465	14.932	0.08935	0.006741	0.075444
11.5	21.179	20.448	0.09129	0.008934	0.097850
12	28.348	27.371	0.09193	0.011456	0.124616



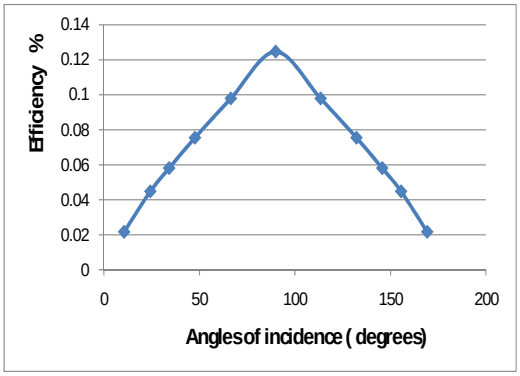
الشكل 7: خصائص التيار –الفولتية (I – V) لأخدود زاوية رأسه 90° لشهر تموز.

والشكل 8 بين مقدار القدرة المحصلة من الأخدود لساعات النهار المختلفة وأن قيمة القدرة المحصلة تكون أعلى ما يمكن عند الساعة (12) ظهراً وبقيمة بحدود Watt (0.0119) تقريبا كما أن المنحني سيكون أكثر حدة.



الشكل 8: القدرة المحصلة مع ساعات النهارلأخدود زاوية رأسه 90° في شهر تموز.

من ناحية الكفاءة عند الاخدود ذي زاوية الرأس (90°) فإن الشكل (9) يوضح مقدار الكفاءة المحصلة مع زوايا السقوط المختلفة، حيث تكون الكفاءة أعلى ما يمكن في حدود (12.5%) ويكون المدى الزاوي ضمن القيم (75 – 125) درجة.

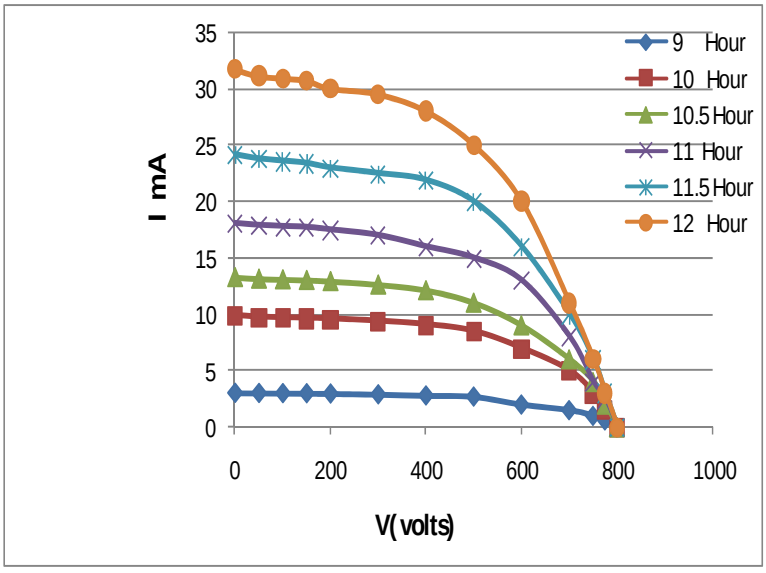


الشكل 9: تغير الكفاءة مع زوايا السقوط لأخدود زاوية رأسه 90° في شهر تموز.

هذا يعني أن كفاءة هذا النوع من التشكيل ازدادت بزيادة زاوية رأس الأخدود لذلك تم أخذ أخدود زاوية رأسه أكبر أي بزاوية منفرجة (110°) وحسبت المعاملات نفسها السابقة عند اليوم نفسه من شهر تموز وتم الحصول على القيم المدرجة في الجدول 3، والقدرة المحصلة أمكن الحصول عليها من الشكل 10 الذي يبين خواص التيار –الفولتية (I-V) ولزوايا سقوط محددة لأخدود زاوية رأسه (110°)، ومن خلاله تم إيجاد القدرة المحصلة p_{out} ومن ثم الكفاءة.

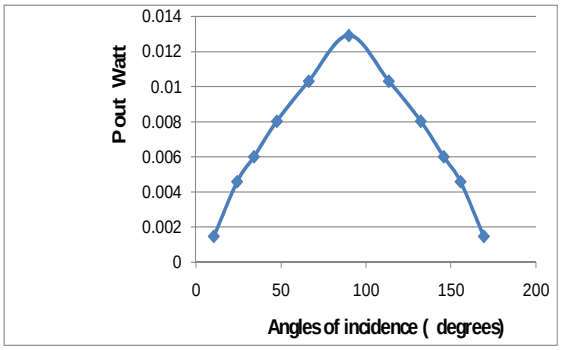
الجدول 3 : يبين قيم التيار(الضوئي والكلي) والقدرة (الساقطة والمحصلة) والكفاءة عند ساعات النهـار لأخدود زاوية رأس 110° لشهر تموز.

ساعات النهار قيد الدراسة	I_P mA	I_T mA	p_{in} Watt	P_{out} Watt	η
9	3.145	3.036	0.07044	0.001471	0.020881
10	10.208	9.856	0.08209	0.004587	0.055875
10.5	13.737	13.263	0.08633	0.006004	0.069545
11	18.781	18.133	0.08935	0.008007	0.089619
11.5	25.022	24.166	0.09129	0.010313	0.112963
12	32.840	31.708	0.09193	0.012914	0.140474



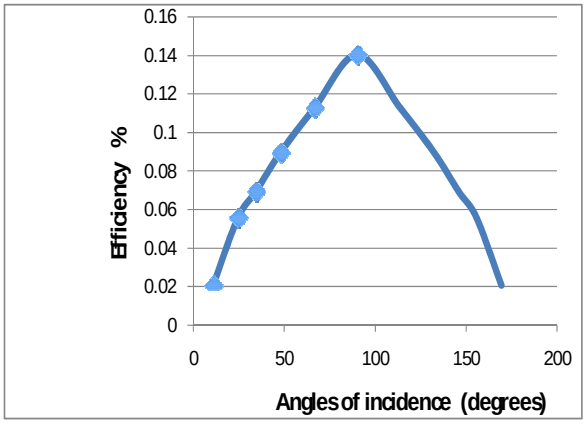
الشكل 10: خصائص التيار-الفولتية (I-V) لأخدود زاوية رأسه 110° لشهر تموز.

لقد تم رسم قيم القدرة المحصلة لهذا الأخدود مع زوايا السقوط في الشكل 11 وتبين لنا أن أعظم قيمة للقدرة هي $Watt/cm^2$ (0.0130)، وهي أكبر من القدرة المحصلة من الأخدود ذي زاوية الرأس (40°، 90°) مما يدل على كفاءة هذا النوع.



الشكل 11 : تغير القدرة الخارجة مع زوايا السقوط لأخدود زاوية رأسه 110° في شهر تموز.

والشكل 12 يوضح مقدار الكفاءة المحصلة من الأخدود الواحد لزوايا السقوط المختلفة حيث تكون أعلى ما يمكن بقيمة في حدود (14%) وهي أعلى من الكفاءة المحصلة من الأخدود ذي الزاوية (40°، 90°) والبالغة قيمها (6.5%، 12.5%) على التوالي، ويكون المدى الزاوي في حدود (60- 120) درجة.



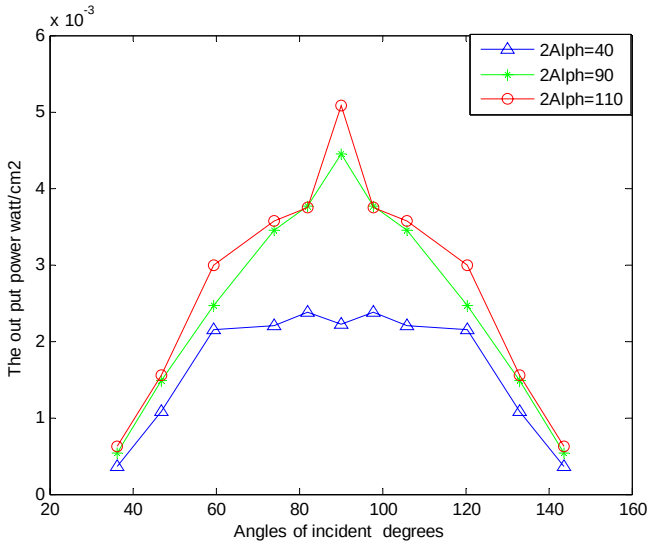
الشكل 12 : تغير الكفاءة مع زوايا السقوط لأخدود زاوية رأسه(110°) في تموز.

تأثيرالتشكيل في فصل الشتاء

في فصل الشتاء اخترنا يوم (1كانون الثاني) لحساب قيم كثافة التيار الضوئيJ_Pالتي حسبت عند ساعات النهار (8 ،9، 10، 11، 11.5، 12)، وحسبت الزوايا المهمة مثل زاوية (الميلان، الساعة، السمت، الزوال)، كذلك القدرة الساقطة (p_{in}) عند هذا اليوم من السنة، وتم حساب القدرة المحصلة (P_{out}) أيضا

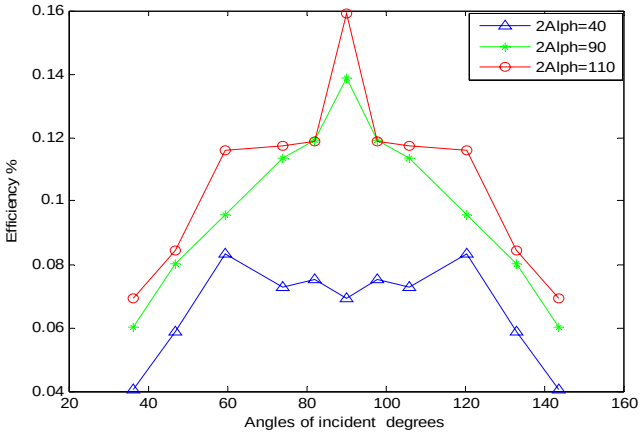
بطريقة حساب المساحة تحت منحني خواص التيار- الفولتية(I-V) عند كل زاوية سقوط ولجميع زوايا رأس الأخدود (الحادة-القائمة-المنفرجة)

الشكل 13 يوضح قيم القدرة المحصلة ليوم (1 في شهر كانون الثاني) لزوايا أخدود ذات رأس (40°، 90°، 110°) حيث نلاحظ أنه عند الأخدود ذي الزاوية 40° تكون القدرة المحصلة منخفضة ولكنها تمتد تقريبا على مدى زاوي واسع (60 -120) درجة من زوايا السقوط، أما عندما تزداد زاوية رأس الاخدود إلى 90° فنلاحظ الحصول على قدرة عظمى في وقت الظهيرة بحدودWatt (0.0044) ونلاحظ المنحني أكثر حدة، وعند الزاوية 110° نحصل على قدرة بحدود Watt (0.0050) وتُعد قيمتها أكبرمن قيمة القدرة المحصلة بدون تشكيل Watt (0.0031) لذلك يمكن أن نعد هذا النوع من التشكيل كفوءاً عند هذه الزاوية لأنه يرفع من قيمة القدرة بعد التشكيل و السبب في ازدياد قيمة القدرة العالية عما هي عليه في حالة (90° -40°) هو ازدياد قدرة الأخدود على تجميع الأشعة مع زيادة زاوية الرأس.



الشكل13 : تغير القدرة الخارجة مع زوايا السقوط على اللوح الشمسي خلال النهار لزوايا رأس الأخاديد الثلاثة (40، 90، 110 درجة) في كانون الثاني.

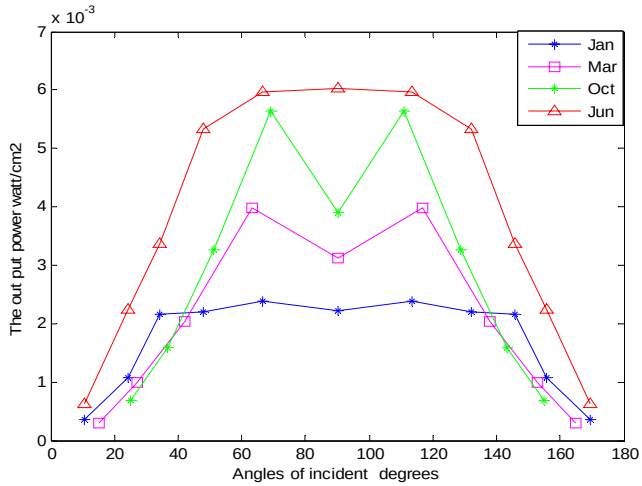
أما الشكل 14 فيبين منحنيات الكفاءة لشهر كانون الثاني لأخاديد ذات زوايا رأس (40°، 90°، 110°) ويلاحظ أنه عند الاخدود (40°) تكون الكفاءة فيه ذات قيمة بحدود (8%) وتُعد أقل مما كانت عليه قبل التشكيل، وبزيادة زاوية رأس الأخدود إلى 90° نلاحظ زيادة في الكفاءة والحصول على كفاءة عظمى تصل تقريبا إلى (14%) وبمدى يمتد من (70– 110) درجة، وعند الزاوية 110° أمكن الحصول على كفاءات عظمى وبمدى واسع من (50 -130) لزوايا السقوط حيث تصل قيمتها الى (16%).



الشكل 14 : تغير الكفاءة مع زوايا السقوط المختلفة للأخاديد الثلاثة في كانون الثاني.

تغيرات القدرة المحصلة للأخاديد ذات البعد الواحد للفصول الأربعة

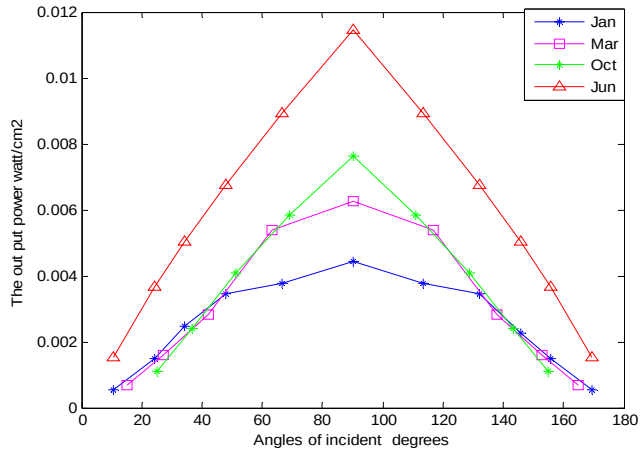
لأجل المقارنة بين الفصول الأربعة تم رسم القدرة المحصلة مع زوايا السقوط المختلفة للفصول الأربعة كما موضح في الشكل 15 ولوحظ أنه عندما تكون زاوية رأس الأخدود (40°) فإن قيم القدرة المحصلة تكون متفاوتة، وتكون أعلى مايمكن في شهر تموز وضمن مدى واسع (50-130) درجة من زوايا السقوط، وتقل قيمتها في شهري (آذار و تشرين الأول) وتكون أعلى قيمة لقدرتهما ضمن مدى زاوي ضيق، وتصبح قيمة القدرة أقل مايمكن في كانون الثاني ضمن مدى زاوي واسع (30– 150) درجة من زوايا السقوط.



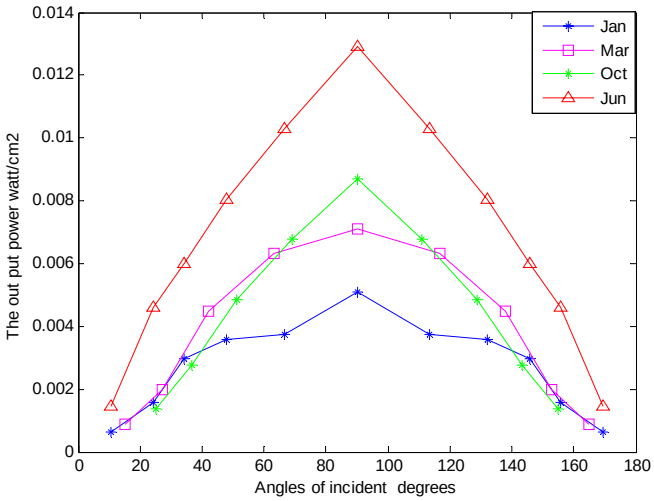
الشكل15: القدرة المحصلة لأخدود ذي البعد الواحد زاوية رأسه (40°) للأشهر المؤشـرة فـي الفـصول الأربعة.

والشكل 16 يوضح القدرة المحصلة لأخدود زاوية رأسه (90°) حيث تكون القدرة المحصلة لشهر تموز أعلى ما يمكن عند زاوية سقوط (90°) وتتناقص مع الفصول الأخرى، فبالنسبة لشهري (تشرين الأول وآذار) تكون متساوية تقريبا عدا الساعة الثانية عشرة ظهرا لشهر تشرين آذار فتكون لها قمة عظمى أعلى

من قمة شهر آذار وتكون ضمن مدى زاوي (60– 120) درجة، وهذا برأينا بسبب تأثير زاوية ميلان اللوح الشمسي، أما بالنسبة لشهر كانون الثاني فتكون قيمتها أقل من بقية الأشهر.



الشكل 16: القدرة المحصلة لأخدود ذي البعد الواحد زاوية رأسه(90˚) للأشهر المؤشرة في الفصول الأربعة.



الشكل 17: القدرة المحصلة لأخدود ذي البعد الواحد زاوية رأسه (110˚) **للأشهر المؤشرة في الفصول الأربعة.**

أما الشكل17 فيوضح القدرة المحصلة للأخدود ذي البعد الواحد زاوية رأسه (110˚) للفصول الأربعة، ويلاحظ فيه أن سلوك المنحنيات مشابه تقريبا لسلوك المنحنيات في حالة الأخدود (90˚) مع تزايد في قيمة القدرة المحصلة لشهر تموز إلى قيمة $Watt/cm^2$ (0.0130) تقريبا ولشهر كانون الثاني إلى Watt (0.0050) وهي أعلى من القيمة المحصلة في حالة الأخدود ذي الزاوية (90˚) مما يدل على كفاءة هذا النوع من الأخدود عند هذه الزاوية، وكذلك يظهر واضحاً تزايد قيمة القدرة المحصلة لشهري تشرين الأول وآذار.

الاستنتاجات

يمكن إجمال أهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة بالنقاط الآتية:

1- لوحظ أن الكفاءة تزداد بزيادة زاوية رأس الأخدود وتتغير كذلك مع ساعات النهار.

2- زواية رأس الأخدود الحادة لاتزيد من الكفاءة لحالة التشكيل ببعد واحد.

3- هناك تغيرات بالكفاءة بين الفصول الأربعة.

4- إن الألواح الشمسية للخلايا الشمسية العشوائية ذات التشكيل الجاهري تتأثر كثيراً بزاوية مـيلان الاـوح وزاوية سقوط الضوء.

5- عندمـا تـكون زاوية رأس الأخدود (110°) لاحظنـا أن اللوح الشمسي يعمل بكفاءة عالية لكل أشهر السنة.

المصادر العربية

أحمد، بشير خليل ؛ مال الله ، يسرى (2000). حساب وتحليل كمية الطاقة الشمسية الساقطة على السطوح المائلة لحساب زوايا الميل المثلى. مجلة علوم الرافدين،**11**(2).

كرين، مارتن أ (1989). "الخلايا الشمسية". ترجمة: د. يوسف مولود حسن، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، العراق.

المصادر الأجنبية

Carlson, D. E. (1984). " Solar cells, In Semiconductors and Semimetals Hydrogenated Amorphous Silicon ". Edited by P. J. I. Pankove ,Vol. 21, Part D, Academic Press, New York. pp.8-37.

Carlson, D. E. ; Wronski, C. R. (1976). "Amorphous Silicon Solar Cell", *Applied Physics. Lett*. **28**, 673-689.

Chopra, K. L.; Paulson, P.D.; Dutta1, V. (2004). "Thin Film Solar Cells: An Over View",**12**, pp.69-92.

Dobrazanski, L. A. ; Dry gala, A. (2008). Surface texturing of multi crystalline silicon solar cells. *J. Achievements in Materials and Manufacturing Engi.* , **31**(1),77-82.

Faughnan, A.; Crandall, R. (1984). "Relationship Between Collection Length and Diffusion in Amorphous Silicon". *Applied Physics. Lett*. **44**(6), 612-613.

Green, M. A.; Emery, K.; Hishikawa, Y. ; Warta , W. (2009). "Solar Cell Efficiency Tables in Ltd". Prog. Photovolt: Res. Appl. 2009 , John Wiley and Sons .

Hegedus, S.; Paulson, P. D.; Sopori, B. (2002). "Optical Design and Analysis of Textured a-Si Solar Cells ". Mid West Research Institute: New Orleans.pp.2-3.

Hovel, H. J. (1975). **11**, Solar cell, "In Semiconductor and Semimetals". edited by R .K. Willard son and A .C . Beer, Academic Press, New York, San Francisco , London .

Lund, H. ; Nielsen, R. ; Salomatova, O.; Skare, D.; Riisem, E. (2008). "The History High Light of Solar Cells (Photovoltaic Cells)". http://www.SolarCells.com.

Mustafa, B. M. (2009). "The effect of texturing on the efficiency of a-silicon solar cell", *Raff. J .Sci.* **20**(3),2-10.

Park , J. (2009). jepark@alumni.ucsd. Front End Product Group Applied Materials

Swartz ,G. A. (1984). "Closed- From Solution of(I-V) characteristics for a-Si-H Solar Cells, In semiconductors and semimetals hydrogenated amorphous silicon". Edited by PJ.I . Pankove , Vol. 21, Part D, Academic Press , New York. pp. 43-51.