University of Mosul
College of Engineering

EFFICIENCY ENHANCEMENT OF POWER CONVERSION IN SOLAR CELLS

A Thesis Submitted
By
Ziad Saeed Mohammed Saleem

To
The Council of the College of Engineering
University of Mosul
As a Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Doctoral of philosophy Science
In
Electrical Engineering/
Electronics and Communications
(Solid State)

Supervised by
Assistant Professor
Dr. Luqman Sufer Ali Rasheed

2015 A.D. **1437 A.H.**

ABSTRACT

The high efficiency power conversion research is important to be studied and investigated. The heterojunction thin film Cadmium telluride CdTe solar cells have a large absorption coefficient and high theoretical efficiency. Moreover, large-area photovoltaic panels can be fabricated for economical purposes. These features potentially make the CdTe thin-film solar cell an alternative energy source. This work is accomplished in three main parts as flows:

Part one aims to study and create the appropriate methods for enhancing the performance of the solar cells. There are two proposed methods; the first one is by using the antireflection coating materials, with two techniques, single layer antireflection (SLAR) and double layer antireflection (DLAR) coatings. These techniques improve the solar performances especially the power conversion efficiency. This is done by reducing reflection loss and increasing absorbance of solar cell layers. The second one is by using zinc telluride (ZnTe) as a back contact buffer layer for efficiency enhancement by making a good ohmic contact. These methods are simulated and analyzed by efficient computer program.

Part two includes the numerical simulation for the baseline CdTe solar cell, using **S**olar **C**ell **C**apacitance **S**imulator **O**ne **D**imension (SCAPS -1D) program versions 3300(2014). These are done under air mass global standard spectrum (AM1.5G) at room temperature.

The output performance for the simulated baseline cell C_1 results are (open circuit voltage V_{oc} = 0.73226 volt, short circuit current density J_{sc} = 22.085416 mA/cm^2, fill factor FF% = 74.25% and power conversion efficiency Eff% = 13.12%). A SLAR and DLAR coating are applied to C_1 to get C_2 and C_3 respectively and simulated by SCAPS program. The results are improved as compared with the reference cell C_1. The conversion efficiencies

for C_2 and C_3 are 14.01% and 16.95% respectively with increasing of 0.89% and 3.83% to the reference C_1 respectively. A back contact buffer layer material (ZnTe) is added to the C_1 to get C_4. The simulated solar cell results are improved especially the efficiency, which enhanced to 15.04%. The effect of thickness variation of each layer on the cell performance is investigated. When the thickness of the CdTe absorber layer in reference cell C_1 increased from, 500nm to 3000nm, the efficiency increases from 11.26% 14.73%. While the efficiency reduces from, 13.86% to 11.21% when the thickness of the CdS buffer layer increased from 20nm to 200nm. Also the operating temperature effect is investigated, so by increasing T from value 290k to 380k, make V_{oc}, J_{sc}, FF%, and Eff% to decrease.

Part three includes the experimental fabrication and measurements for the simulated solar cells using the evaporation system BALZERS are investigated, in solid – state laboratory in electrical department. The structure of the fabricated baseline cell SC_1 is Glass/SnO2/CdS/CdTe/Al. The results are (V_{oc}= 0.5volt, I_{sc}= 149mA, FF% = 0.32, Pm= 23.76mW, and Eff =5.31%). Practically applying the proposed methods getting the cells as SC_9, SC_{11}, SC_{15}, the results are improved as compared with reference cell SC_1, and the obtained efficiencies are 6.4%, 6.84%, and 5.934% respectively.

The novel structure is investigated. This structure is companied between ARC coating and back contact buffer layer resulting new cells as SC_{16} and SC_{17} with enhanced performance as compared to reference cell SC_1, so their efficiencies become 7.6% and 8.1% respectively.

Finally the optical measurements are investigated such as; UV(absorption and transmission), thickness measurements, AFM and SEM analysis. All optical measurements are done in the laboratories of Ministry of Science and Technology (MOST)/ Department of Technology and Renewable Research, solar energy research center, and laboratories of the University of Technology / Nanotechnology and advanced materials research.

الخلاصة

الخلايا الشمسية هي النبائط التي تقوم بتحويل ضوء الشمس الى طاقة كهربائية. كفاءة القدرة التحويلية للخلية الشمسية تعتبر الجزء المهم والتحدي الاكبر في اجراء البحوث والدراسات التي تجرى على الخلايا الشمسية. خلايا الاغشية الرقيقة ذات المفرق الهجين نوع CdTe/ CdS التي تمت دراستها تعتبر من الخلايا المهمة ذات الاستخدام الكبير في صناعة الالواح الشمسية الكبيرة حيث ان لها معامل امتصاص عالي وكفاءة عالية نظريا وذات كلفة اقتصادية مقبولة ولذلك يمكن اعتبارها كمصدر طاقه بديلة. تم العمل في هذا البحث بثلاثة محاور.

المحور الاول : يشمل دراسة وتهيئة الطرق المناسبة لتحسين اداء وكفاءة القدرة التحويلية للخلية الشمسية .وهناك طريقتان تم اقتراحهما: الاولى استخدام الطلاء المضاد للانعكاسARC بتقنية الطبقة الاحادية SLAR والطبقةالمزدوجة DLAR وهذه التقنيات تعمل على تحسين اداء الخلية وخاصة الكفاءة وذلك نتيجة لتقليل الخسائر الناتجة عن انعكاس الضوء الساقط على الخلية وتحسين الامتصاصية للضوء. اما الطريقه الثانية فهي باستخدام مادة ZnTe (زنك تولورايد) ذات فجوة الطاقه المباشرة على القاعدة Mo تعمل كطبقة عازلة خلفية للحصول على تماس اومي جيد .

المحور الثاني : يشمل تهيئة الطرق المقترحة ونمذجتها ومحاكاتها باستخدام برنامج كفوء ومناسب لتحليل الخلية الشمسية يدعى SCAPS-1D وهو برنامج متخصص بتحليل وبيان خصائص الخلايا الشمسية. تم عمل محاكاه للخلية الاساس C_1 بعد ادخال كافة البيانات الخاصة بها الى البرنامج وتم الحصول على النتائج التالية:

V_{oc} = 0.73226 volt, J_{sc}= 22.085416 mA/cm^2, FF% =74.25, Eff = 13.12%

وكذلك تم رسم علاقة الفولتية مع التيار، ومن ثم تطبيق الطريقة المقترحة الاولى التي تحوي تقنيات SLAR , DLAR على الخلية الاساس C_1 وعمل محاكاة لها وحساب خواصها وتبين ان الكفاءة ازدادت الى قيمة 14.01% و16.95% للخليتين C_2, C_3 على التوالي بالمقارنة مع الخلية الاساس C_1 وكذلك تطبيق الطريقة الثانية باستخدام ZnTe مضافا الى الخلية C_1 والحصول على خلية جديدة C_4 وعمل محاكاه لها والحصول على قيمةجديدة محسنة للكفاءة تساوي % 15.04 . وكذلك تمت دراسة وتحقيق تاثير سمك الطبقات المكونة للخلية على ادائها وكفاءتها. وكان تاثير زيادة سمك طبقة الامتصاص CdTe على الكفاءة واضحا وادى الى زيادتها.حيث عند زيادة السمك من 500nm الى 3000nm ازدادت الكفاءة من 11.26% الى 14.73%. ولكن الكفاءة قلت من 13.86% الى 11.21% عند زيادة سمك الطبقة النافذة CdS من 20nm الى

220nm.وكذلك تمت دراسة تاثير درجة حرارة العمل للخلية حيث تقل كفاءة الخلية عند زياده درجه الحرارة.ودرجة الحرارة الملائمة لعمل الخلية هي 300k.

المحور الثاث: يشمل هذا المحور تصنيع وفحص واجراء القياسات الكهربائية والبصرية للخلايا والبالغة سبعة عشر خلية ذات السمك النانوي حيث تم تصنيعها في مختبر الحالة الصلبة / قسم الكهرباء باستخدام جهاز التبخير الفراغي BALZERS-510.

في البداية تم تصنيع الخلية الاساس SC_1 ومن ثم اجراء القياسات الكهربائية عليها وكانت النتائج كما يأتي:

V_{oc}= 0.5volt, I_{sc}= 149mA,FF%= 0.32, Pm= 23.76mW, and Eff = 5.31%

ومن ثم تطبيق الطرق المقترحة لتحسين اداء وزيادة الكفاءة من خلال تصنيع الخلايا $SC1_5$, SC_9,SC_{11} وهي خلايا مطورة من SC_1 حيث تم حساب الكفاءة التحويلية لها وكانت قد تحسنت وهي على التوالي: 6.85%, 6.45, 5.934%

التركيب الاحدث تم دراسته وتحقيقه ويشمل الجمع بين تركيب الطلاء المضاد للانعكاس ARCs وتركيب الطبقة العازلة الخلفية Back contact buffer layer وتطبيقه على الخلية الاساس SC_1 لبناء الخليتين الجديدتين SC_{17} و SC_{16} ومن ثم اجراء القياسات الكهربائية عليها للحصول على نتائج محسنة للكفاءة بالمقارنة مع الخلية الاساس, وكانت 7.55%, 8.1% .

واخيرا تم اجراء الفحوصات اليصرية ودراستها للخلايا المصنعة مختبريا وشملت :

خواص UV (الامتصاصية والنفاذية لاغلب الاغشية الرقيقة) ومجهر القوة الذرية AFM ، لدراسة تضاريس سطوح المواد والمجهر الالكتروني الماسح SEM . لقد اجريت هذه الفحوصات في مختبرات وزارة العلوم والتكنولوجيا/ دائرة بحوث وتكنولوجيا الطاقات المتجددة / بحوث الطاقة الشمسية. وكذلك في مختبرات مركز بحوث النانوتكنولوجي والمواد المتقدمة / الجامعة التكنولوجية.

جامعة الموصل
كلية الهندسة

تحسين كفاءة القدرة التحويلية للخلايا الشمسية

أطروحة دكتوراه

أعداد

زياد سعيد محمد سليم

مقدمة الى

مجلس كلية ألهندسة جامعة ألموصل

وهي جزء من متطلبات نيل شهادة ألدكتوراه

في الهندسةالكهربائية/ الكترونيك واتصالات(الحالة الصلبة)

بإشراف

الأستاذ المساعد

الدكتور لقمان سفر علي رشيد

١٤٣٧ هـ ٢٠١٥ م