سومین همایش علمی- تخصصی فیزیک دانشگاه پیام نور
دانشگاه پیام نور استان خوزستان - 23 الی 25 آذر 1387

چکیده - در این تحقیق از نرم افزار یک بعدي ***PC1D*** براي شبیه سازي سلول هاي خورشیدي استفاده شده و اثر عوامل متفاوتي مانند پوشش ضد بازتاب ، بافتدار کردن سطوح سلول و میزان چگالي ناخالصي زمینه برروي عملکردسلول هاي خورشیدي و بازدهي آن مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان مي دهد که با افزایش ناخالصي زمینه، ولتاژ مدار باز (V_{oc}) افزایش و جریان اتصال کوتاه (I_{SC}) کاهش مي یابد. مقدار بهینه ناخالصي زمینه، که به ازاي آن بیشترین بازدهي حاصل مي کردد، حدود 1×10^{17} cm^{-3} به دست آمد.

کلید واژه - بهینه سازي بازده ، پوشش ضد بازتاب ، سلول خورشیدي ، ناخالصي زمینه.

A Study of p-n Silicon Photocell Efficiency Using PC1D Code

Hadi Arabshahi [1], Minuo Dastras [2]

Physics Department, Ferdowsi Universty, Mashhad , Iran

Abstract- In this paper Si diode photocell has been simulated using a PC1D software. The effects of various parameters like non-reflecting film and donor concentration on photocell efficiency have also been studied. Our results show that with increasing background impurity V_{oc} increases and I_{sc} decrease.

Keywords: photocell, non-reflecting film, donor concentration, background impurity

1- مقدمه

سلولهاي خورشیدي از جمله وسایل اپتوالکتروني هستند که نور خورشید را بطور مستقیم تبدیل به الکتریسیته مي کنند. با توجه به کاهش روزافزون مخازن سوخت هاي فسیلي، نیاز اساسي براي دستیابي به این ابزار کاملا حس مي شود. در حال حاضر به علت هزینه هاي گزاف ساخت این سلول ها و به علاوه بازدهي بسیار پایین آنها ،استفاده از این وسایل براي تولید انرژي مقرون به صرفه نمي باشد. سلولهاي خورشیدي معمولا ازیک پیوند p-n تشکیل شده اند. براي ایجاد پیوند p-n ،ابتدا سیلیسیم را که جزء فراوانترین عناصر موجود در خاك میباشد استخراج کرده و آنرا تا حدود 99/9 درصد خالص مي کنند. سپس آنرا بصورت تك بلوري یا از اصطلاحا کریستالي در آورده و با نفوذ ناخالصي بور به آن سیلیسیم نوع p و در نهایت براي

ایجاد پیوند p-n ناخالصي فسفر را بر روي سطح p پخش مي كنند [1].

به منظور بررسي چگونگي عملكرد اين سلولها و همچنين اثر پارامترهاي مختلف بر روي عملكرد آنها و در نهايت طراحي سلولهايي با بازدهي بهتر، نرم افزارهايي طراحي شده اند كه به بررسي روابط حاكم بر اين وسايل اپتوالكترونيكي مي پردازند. پس از طراحي و شبيه سازي سلول ها، با توجه به محدوديت هاي عملي حاكم بر اين وسايل، نتايج بدست آمده تجزيه و تحليل مي شوند. يكي از نرم افزارها يي كه براي شبيه سازي سلول هاي خورشيدي طراحي شده، نرم افزار يك بعدي PC1D مي باشد [2] . در اين نرم افزار، معادلات ترابري حامل هاي بار در نيمه رسانا ها و معادله پواسون با استفاده از روش تكرار نيوتن حل مي گرددو سپس تآثير پارامترهايي مانند پوششهاي ضدبازتاب ، ميزان ناخالصي زمينه (بيس)، عامل BSF (Back Surface Field)، ضخامت سلول ، پخش ناخالصي فسفر براي اميتر ، طول پخش حاملها ودماي سلول بر عملكرد سلول هاي خورشيدي مطالعه مي گردد.در واقع هدف اصلي اين شبيه سازي ها اين است كه باانتخاب مناسب پارامترهاي موثر، بازدهي سلول را به بالاترين مقدار برسانيم و اصطلاحا سلول رابهينه سازي كنيم[3].

از مقايسه بازده سلولهايي با مشخصات معين، كه توسط نرم افزارها شبيه سازي شده اند و سلولهاي ساخته شده در آزمايشگاه با همان مشخصات، مشاهده مي شود كه معمولا بازدهي بدست آمده براي سلولهاي آزمايشگاهي كمتر از بازدهي محاسبه شده مي باشد. يكي از دلايل اين امر را مي‌توان ناشي از اين عامل دانست كه مقادير اندكي از نور خورشيد كه به سطح سلول مي‌تابد توسط پوشش ضد بازتاب جذب مي شود، كه در محاسبات در نظر گرفته نمي شود.

در عمل سعي بر اين است كه با انتخاب مناسب نوع و ضخامت ماده استفاده شده در پوششها، اين جذب را تا حد ممكن كاهش دهند.

بحث و نتيجه گيري

چهار نوع سلول سيلسيمي با ضخامت سلول 300 µm و مقاومت ويژه بيس $0/8\Omega - cm$ كه در مقابل تابش متوسط خورشيد با شدت $0/1\ w/cm^2$ قرارگرفته اند را در نظر مي گيريم . نمونه A را سلولي در نظر مي گيريم كه اميتر آن با چگالي $1\times10^{20}cm^{-3}$ و عمق 0/5 µm ناخالص شده و سطح بالايي آن داراي انعكاس ثابت 30 درصدي است. نمونه B را همانند سلولA در نظر مي‌گيريم با اين تفاوت كه سطح آن توسط پوشش ضدبازتاب سه لايه اي MgF_2 / ZnS / SiO_2 كه انعكاسات را در رنج طول موجي 600 -1000 نانومتر به مقاديري در حدود كمتر از چهار درصد مي رساند، پوشيده شده است [4] . پوششدارکردن سطح بالايي سلول توسط اين لايه ها با توجه به ضريب شكست و ضخامت اين لايه ها باعث افزايش ضريب جذب نوري و در نتيجه افزايش تعداد زوج الكترون- حفره هاي توليد شده و در نهايت افزايش چشمگيري در I_{SC} مي شود [5]. همچنين بعلت وجود SiO2 كه در واقع همانند يك لايه عايق در اين پوشش سه لايه اي عمل مي كند، سرعت بازتركيب ها در سطح جلويي سلول كاهش خواهد يافت[6]. ئر نتيجه اين كاهش منجر به افزايش V_{OC} حدود 7 ميلي ولت مي شود. سلول نمونه C را با مشخصات سلول نمونه B در نظر بگيريد با اين تفاوت كه عامل BSF) BSF كردن سلول پيوند p- n به معني اين است كه لايه اي با ناخالصي زياد (P^+) به ناحيه p در سطح پاييني سلول پيوند داده شود) را با چگالي ناخالصي $5\times10^{19}m^{-3}$ و ضخامت 5 µm به آن اضافه كرده ايم. افزايش BSF به سلول منجر

به کاهش بازترکیب ها در سطح پایینی سلول می شود همچنین ارتفاع سد پتانسیل بین فلز و نیمرسانا در اثر این عامل افزایش می یابد[7]. بنابراین جریان اشباع معکوس I_0 کاهش می یابد و منجر به افزایشV_{OC} می شود همچنین در نظر گرفتن این عامل در سلول باعث می شود که در محل اتصال نیمرسانا با فلز در پایین سلول، تماسهایی با مقاومت اهمی کوچک داشته باشیم که منجر به کاهش اتلاف توان و افزایش بازده سلول می گردد (جدول 1) . همانطور که از جدول1 مشاهده می شود با در نظر گرفتن این عامل افزایشی 4 میلی ولتی در V_{oc} خواهیم داشت.

جدول 1 : مقایسه پارامترهای بازدهی چهارسلول معرفی شده

عامل دیگری که باعث افزایش کارایی سلول می شود بافت دار کردن سطوح سلول است. سلول D را با مشخصات سلول C می گیریم. که سطح رویی ان را با زاویه 75 درجه و عمق5 میکرومتر بافتدار کرده ایم. همانطور که از جدول 1 مشاهده می شود این عامل باعث افزایش I_{SC} می شود زیرا بافت دار کردن سطوح باعث می شود که ضریب جذب به صورت $\alpha/Cos\theta$ افزایش می یابد.[8]. به علاوه با بافت دار کردن سطح سلول درواقع سطحی که در مقابل تابش نور قرار می گیرد افزایش می یابد. با توجه به این دو عامل، تولید زوج الکترون – حفره و بنابراین I_{SC} افزایش می یابد. همانطور که از جدول 1 مشاهده می شود این عامل باعث افزایش I_{SC} در حدود 1/5 میلی آمپر می شود. بعلاوه در این نمونه v_{oc} سلول با این عامل کاهش یافته است که دلیل آن را می توان ناشی از افزایش بازترکیبهای سطحی بواسطه افزایش سطح سلول دانست.

2- میزان ناخالصی بیس

همانطور که قبلا هم اشاره کردیم برای ساخت زمینه p سلولهای خورشیدی، سیلیسیم بلوری خالص شده را توسط بور بطور یکنواخت ناخالص می کنند. سوالی که در این قسمت مطرح می شود در مورد میزان و چگالی این ناخالصیها می باشد. در این بخش به بررسی تاثیر این ناخالصی ها (N_A) بر روی پارامترهای سلول می پردازیم. در شکل های 1،2و3 نتایج محاسبات تغییر ولتاژ مدار باز، جریان اتصال کوتاه و بازدهی سلول بر حسب میزان ناخالصی زمینه (بیس) نشان داده شده است. همانطور که در شکل 1

نوع سلول	I_{sc}(mA)	V_{oc}(mV)	بازده %
A	23/7	595/2	10/6
B	31/7	602/7	14/7
C	32/4	606/7	15/1
D	33/7	596/5	15/5

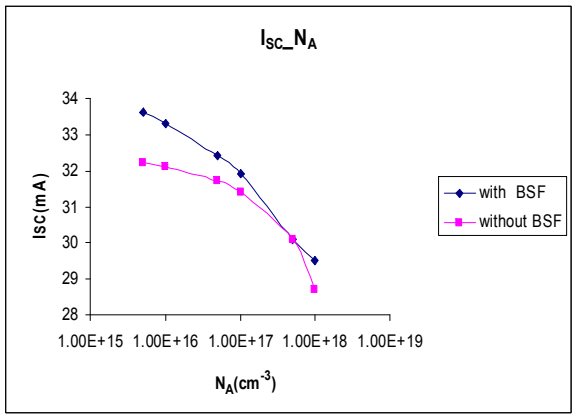
مشاهده می شود، با افزایش ناخالصی زمینه ، V_{OC} نیز افزایش یافته و در ناخالصی 1×10^{17} ماکزیمم می گردد و سپس با افزایش بیشتر ناخالصی بیس ، بعلت غالب شدن اثرات بازترکیب های ناخالصی (خصوصا بازترکیب اوژه)، کاهش می یابد.

شکل 1: تغییرات Voc بر حسب ناخالصی زمینه

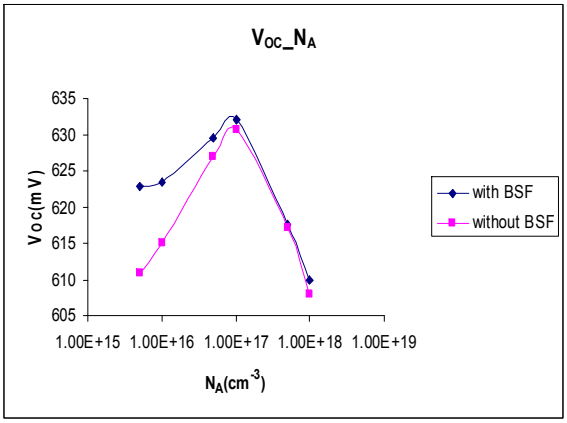
در شکل 2 تغییرات جریان اتصال کوتاه با افزایش ناخالصی بیس نشان داده شده است. مشاهده می شود که ، بعلت افزایش بازترکیب های حجمی، جریان اتصال‌کوتاه با افزایش ناخالصی کاهش می یابد. بنابراین ملاحظه می‌کنیم که به یک تناقض رفتاری بین Isc و V_{OC} می

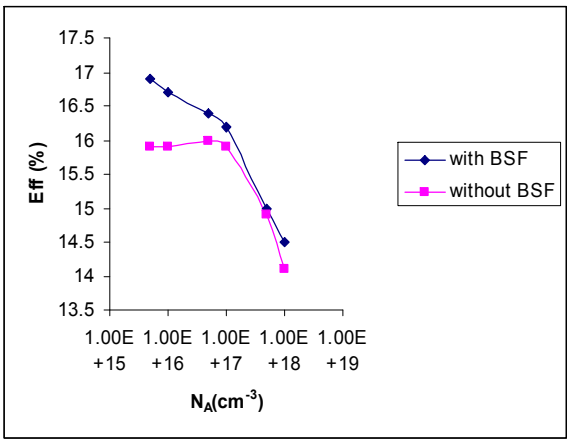
رسیم. لذا بهتر است که براي هر سلول با مشخصات معین با توجه به تناقض ذکر شده مقدار بهینه اي براي ناخالصي زمینه درنظر بگیریم تا در این مقدار، پارامترهاي سلول براي رسیدن به بازدهي بهتر بهینه شوند.

در شکل 3 تغییرات بازدهي سول بر حسب ناخالصي زمینه رسم شده است. با توجه به این نمودار مقدار بهینه ناخالصي زمینه که به ازاي آن بیشترین بازدهي حاصل مي کردد، حدود 1×10^{17} cm^{-3} به دست آمد. همچنین مي توانیم درشکل هاي 1،2و3 اثر درنظرگرفتن عامل BSF را نیز برروي پارامترهاي سلول ملاحظه کنیم. با توجه به این نمودارها مشاهده مي شود که عاملBSF باعث افزایش پارامترها ،در سلولهایي که چگالي ناخالصي زمینه آنها کمتر از 1×10^{17} است، خواهدشد و در زمینه هایي که به شدت ناخالص شده اند اثر قابل توجهي بر روي پارامترهاي سلول ندارد.



شکل 2: تغییرات جریان اتصال کوتاه بر حسب تغییرات میزان ناخالصي زمینه





شکل 3: تغییرات بازدهي سلول با تغییر میزان ناخالصي زمینه

مراجع :

[1] M.A.Green; *"Solar Cell Operating Principles, Technology and System Applications* ", (1982).

[2] D. A. Clugston, and P.A Basore, " *PC1D Version 5:32-bit solar cell simulation on Personal computers* ", Proc .26 TH IEEE Photovoltaic Specialists Conf. Anaheim CA (IEEE NewYork , 1997) P.207. H. J. Hovel;" *Solar Cells, Semiconductor and Semimetals Series*" (New York, Academic press), (1975).

[3] A. Meijerink, R. E. L. Schropp, " *Modeling Improvement of Spectral Response of Solar Cells by Deployment of Spectral Converts Containing Semiconductor Nano-crystalline* "; 8 (2004).

[4] E. S. Heavens, *"Optical Properties of Thin Solid Films* ", (London, Butterwarths)(1955).
See also http: // www.thinfilmcenter.com/.

[5] H.B.Serreze," *Optimization Solar Cell by Simultaneous Consideration of Grid Pattern Design and Interconnect Configuration*" , pp. 609-614 .(2002). [7] P. A. Bsore, "*Extended Spectral Analysis of Internal Quantum Efficiency*", 23rd IEEE PVSC, (1993), pp. 147-152.

[6] J. Streentman, "*Solid State and Semiconductor Devices*" (1978).