

مطالعه بهره سلول خورشیدی سیلیسیمی پیوند P-n استفاده از کد PC1D

هادی عربشاهی

دانشکده فیزیک دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده - در این مقاله دیود سلول خورشیدی سیلیسیمی با استفاده از نرم افزار PC1D شبیه سازی شده است. همچنین اثر پارامترهای گوناگون مانند پوشش ضد بازتاب و چگالی ناخالصی های بخشنده بر روی بهره سلول خورشیدی مطالعه شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که با افزایش ناخالصی های زمینه مقدار ولتاژ مدار باز (V_{oc}) افزایش و جریان اتصال کوتاه (I_{sc}) کاهش می یابد. کلید واژه - بهره سازی بازده، پوشش ضد بازتاب، سلول خورشیدی، ناخالصی زمینه.

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

Hadi Arabshahi

Physics Department, Ferdowsi University of Mashhad, 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

PACS No. 78

۱- مقدمه

بور به آن سیلیسیم نوع p و در نهایت برای ایجاد پیوند p-n ناخالصی فسفر را بر روی سطح p پخش می کنند [۱]. به منظور بررسی چگونگی عملکرد این سلولها و همچنین اثر پارامترهای مختلف بر روی عملکرد آنها و در نهایت طراحی سلولهایی با بازدهی بهتر، نرم افزارهایی طراحی شده اند که به بررسی روابط حاکم بر این وسایل اپتوالکترونیکی می پردازند. پس از طراحی و شبیه سازی سلول ها، با توجه به محدودیت های عملی حاکم بر این وسایل، نتایج بدست آمده تجزیه و تحلیل می شوند. یکی از نرم افزارها یی که برای شبیه سازی سلول های خورشیدی طراحی شده، نرم افزار یک بعدی PC1D می باشد [۲]. در این نرم افزار، معادلات ترابری حامل های بار در نیمه رسانا ها و معادله پواسون با استفاده از روش تکرار نیوتن حل می گردد و سپس تا تیر پارامترهایی مانند پوششهای ضدبازتاب

سلولهای خورشیدی از جمله وسایل اپتوالکترونی هستند که نور خورشید را بطور مستقیم تبدیل به الکتریسیته می کنند. با توجه به کاهش روزافزون مخازن سوخت های فسیلی، نیاز اساسی برای دستیابی به این ابزار کاملاً حس می شود. در حال حاضر به علت هزینه های گزاف ساخت این سلول ها و به علاوه بازدهی بسیار پایین آنها، استفاده از این وسایل برای تولید انرژی مقرون به صرفه نمی باشد. سلولهای خورشیدی معمولاً از یک پیوند p-n تشکیل شده اند. برای ایجاد پیوند p-n، ابتدا سیلیسیم را که جزء فراوانترین عناصر موجود در خاک میباشد استخراج کرده و آنرا تا حدود ۹۹/۹ درصد خالص می کنند. سپس آنرا بصورت تک بلوری یا از اصطلاحاً کریستالی در آورده و با نفوذ ناخالصی

شکست و ضخامت این لایه ها باعث افزایش ضریب جذب نوری و در نتیجه افزایش تعداد زوج الکترون-حفره های تولید شده و در نهایت افزایش چشمگیری در I_{sc} می شود [۵]. همچنین بعلت وجود SiO_2 که در واقع همانند یک لایه عایق در این پوشش سه لایه ای عمل می کند، سرعت بازترکیب ها در سطح جلویی سلول کاهش خواهد یافت [۶]. نتیجه این کاهش منجر به افزایش V_{oc} در حدود ۷ میلی ولت می شود. سلول نمونه C را با مشخصات سلول نمونه B در نظر بگیرید با این تفاوت که عامل BSF) BSF) کردن سلول پیوند p-n به معنی این است که لایه ای با ناخالصی زیاد (P^+) به ناحیه p در سطح پایینی سلول پیوند داده شود) را با چگالی ناخالصی $10^{19} m^{-3}$ و ضخامت $5 \mu m$ به آن اضافه کرده ایم. افزایش 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 [۷]. بنابراین جریان اشباع معکوس I_0 کاهش می یابد و منجر به افزایش V_{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 ۱). همانطور که از جدول ۱ مشاهده می شود با در نظر گرفتن این عامل افزایشی ۴ میلی ولتی در V_{oc} خواهیم داشت.

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 آن را با زاویه ۷۵ درجه و عمق ۵ میکرومتر بافتدار کرده ایم. همانطور که از جدول ۱ 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. [۸]. به علاوه با بافت دار کردن سطح سلول در واقع 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 ۱ مشاهده می شود این عامل باعث افزایش I_{sc} در حدود ۱/۵ میلی آمپر می شود. بعلاوه در این نمونه V_{oc} سلول با این عامل کاهش یافته است که

میزان ناخالصی زمینه (بیس) ، ضخامت سلول ، پخش ناخالصی فسفر برای امیتر ، طول پخش حاملها و دمای سلول بر عملکرد سلول های خورشیدی مطالعه می گردد. در واقع هدف اصلی این شبیه سازی ها این است که با انتخاب مناسب پارامترهای موثر، بازدهی سلول را به بالاترین مقدار برسانیم و اصطلاحا سلول را بهینه سازی کنیم [۳]. از مقایسه بازده سلولهایی با مشخصات معین، که توسط نرم افزارها شبیه سازی شده اند و سلولهای ساخته شده در آزمایشگاه با همان مشخصات، مشاهده می شود که معمولا بازدهی بدست آمده برای سلولهای آزمایشگاهی کمتر از بازدهی محاسبه شده می باشد. یکی از دلایل این امر می توان ناشی از این عامل دانست که مقادیر اندکی از نور خورشید که به سطح سلول می تابد توسط پوشش ضد بازتاب جذب می شود، که در محاسبات در نظر گرفته نمی شود. در عمل سعی بر این است که با انتخاب مناسب نوع و ضخامت ماده استفاده شده در پوششها، این جذب را تا حد ممکن کاهش دهند.

جدول ۱: مقایسه پارامترهای بازدهی چهارسلول معرفی شده

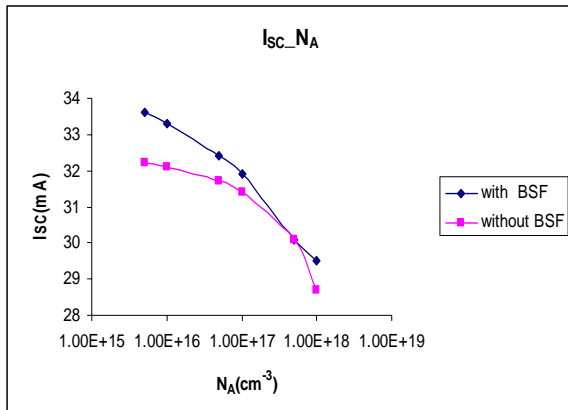
نوع سلول	$I_{sc}(mA)$	$V_{oc}(mV)$	بازده %
A	۲۳/۷	۵۹۵/۲	۱۰/۶
B	۳۱/۷	۶۰۲/۷	۱۴/۷
C	۳۲/۴	۶۰۶/۷	۱۵/۱
D	۳۳/۷	۵۹۶/۵	۱۵/۵

بحث و نتیجه گیری

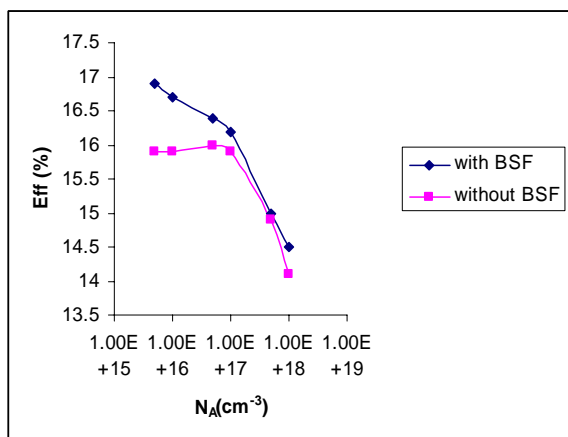
چهار نوع سلول سیلیسی با ضخامت سلول $300 \mu m$ و مقاومت ویژه بیس $18 \Omega - cm$ که در مقابل تابش متوسط خورشید با شدت $0.1 w/cm^2$ قرار گرفته اند را در نظر می گیریم. نمونه A را سلولی در نظر می گیریم که امیتر آن با چگالی $10^{20} cm^{-3}$ و عمق $0.5 \mu m$ ناخالص شده و سطح بالایی آن دارای انعکاس ثابت ۳۰ درصدی است. نمونه B را همانند سلول A در نظر می گیریم با این تفاوت که سطح آن توسط پوشش ضد بازتاب سه لایه ای $SiO_2 / ZnS / MgF_2$ که انعکاسات را در رنج طول موجی ۶۰۰-۱۰۰۰ نانومتر به مقادیری در حدود کمتر از چهار درصد می رساند، پوشیده شده است [۴]. پوششدار کردن سطح بالایی سلول توسط این لایه ها با توجه به ضریب

این مقدار، پارامترهای سلول برای رسیدن به بازدهی بهتر بهینه شوند.

در شکل ۳ تغییرات بازدهی سول بر حسب ناخالصی زمینه رسم شده است. با توجه به این نمودار مقدار بهینه ناخالصی زمینه که به ازای آن بیشترین بازدهی حاصل می گردد، حدود $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ است. همچنین می توانیم در شکل های ۱ و ۲ اثر در نظر گرفتن عامل BSF را نیز بر روی پارامترهای سلول ملاحظه کنیم. با توجه به این نمودارها مشاهده می شود که عامل BSF باعث افزایش پارامترها، در سلولهایی که چگالی ناخالصی زمینه آنها کمتر از 1×10^{17} است، خواهد شد و در زمینه هایی که به شدت ناخالص شده اند اثر قابل توجهی بر روی پارامترهای سلول ندارد.



شکل ۲: تغییرات جریان اتصال کوتاه بر حسب تغییرات میزان ناخالصی زمینه

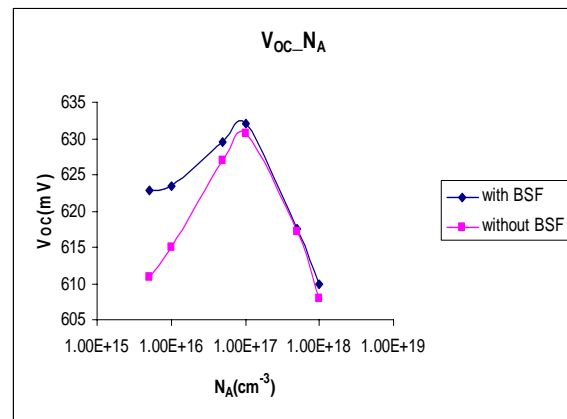


شکل ۳: تغییرات بازدهی سلول با تغییر میزان ناخالصی زمینه

دلیل آن را می توان ناشی از افزایش بازترکیبهای سطحی بواسطه افزایش سطح سلول دانست.

۲- 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 ۱ و ۲ و ۳ 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 ۱ 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، بعلافت شدن اثرات بازترکیب های ناخالصی (خصوصا بازترکیب اوزه)، کاهش می یابد.



شکل ۱: تغییرات V_{oc} بر حسب ناخالصی زمینه

در شکل ۲ تغییرات جریان اتصال کوتاه با افزایش ناخالصی بیس نشان داده شده است. مشاهده می شود که، بعلافت افزایش بازترکیب های حجمی، جریان اتصال کوتاه با افزایش ناخالصی کاهش می یابد. بنابراین ملاحظه می کنیم که به یک تناقض رفتاری بین V_{oc} و I_{sc} می رسیم. لذا بهتر است که برای هر سلول با مشخصات معین با توجه به تناقض ذکر شده مقدار بهینه ای برای ناخالصی زمینه در نظر بگیریم تا در

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/](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)