

عملکرد سلول خورشیدی به صورت تابعی از عمق

عزیز آغچه قلعه ، ویگن^۱؛ منصور، مریم^۲

^۱ و ^۲ دانشگاه صنعتی ارومیه، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده

یک سلول خورشیدی یا سلول فوتولتیک یک وسیله الکتریکی است که با استفاده از یک اثر فوتولتیک انرژی نورانی را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند که یک پدیده فیزیکی و شیمیایی است. سلول فوتولتیک به عنوان ابزاری است که مشخصات الکتریکی آن مانند جریان مشخص است. کاربرد الکترون و حفره را می‌توان با استفاده از تابع عمقی که الکترون و حفره پس از جذب فوتون در آن ایجاد شده است محاسبه کرد. می‌توان چنین فرض کرد که جفت الکترون و حفره هر دو در یک عمق ایجاد شده‌اند و سپس احتمال اینکه بارها به ناحیه پیوند جریان یابند را محاسبه کرد.

Solar cell Generation as a function of Depth

Aziz Aghchegala, Vigen¹; mansoury, Maryam²

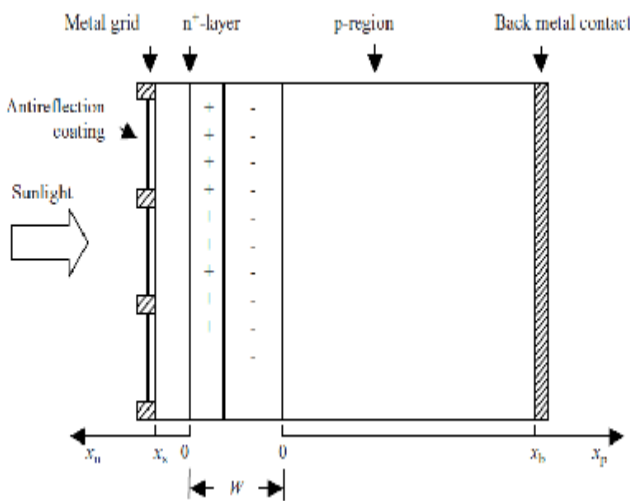
^{1,2} Urmia University of Technology, Department of Physics,

Abstract

A solar cell, or photovoltaic cell, is an electrical device that converts the energy of light directly into electricity by the photovoltaic effect, which is a physical and chemical phenomenon. It is a form of photoelectric cell, defined as a device whose electrical characteristics, such as current. The efficiency of electron and hole pair collection in a solar cell can be analysed as a function of the depth at which carriers are generated by an absorbed photon. We can assume that generation occurs at only one depth, and then determine the probability that carriers are collected and cross over the junction.

مقدمه

یک سلول خورشیدی از جنس سیلیکون شامل یک لایه‌ی جلویی n^+ است و یک دریچه‌ی فلزی (توری) روی این لایه قرار داده شده است که ناحیه‌ی اهمی را می‌سازد. ناحیه‌ی روی n^+ که با تابش نور مواجه است با یک پوشش مناسب ضد بازتاب پوشیده شده است. دیواره‌های توری فلزی مانع از رسیدن و جذب بسیاری از پرتوهای نوری توسط نیمه‌هادی n^+ هستند پس بسیار نازک ساخته می‌شوند. بیشتر تابش توسط ناحیه‌ی ضخیم p جذب می‌شوند. الکترون‌های موجود در ناحیه‌ی p باید به سمت پیوند رانده شوند. نور خورشیدی که به سلول خورشیدی می‌رسد، جذب می‌شود و این باید توسط رابطه‌ی $I_x = I_0 e^{-\alpha x}$ تعریف می‌شود.



شکل ۱. اجزاء سازنده‌ی سلول خورشیدی

فرض می‌کنیم نرخ اپتیکی G در تمام طول اتصال $p-n$ یکنواخت باشد. این موضوع بر این مطلب دلالت دارد که ثابت جذب α کوچک است. همچنین فرض می‌کنیم که طول پراکندگی اقلیت بارها در نواحی n و p بسیار کوچکتر از طول این نواحی هستند. در واقع نقاط جلویی $x_n = x_s$ و نقاط پشتی $x_p = x_b$ از تراکم بارها دور هستند و در ناحیه‌ی n معادله‌ی پراکندگی برای حفره‌ها به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$D_p \frac{d^2 \delta p(x_n)}{dx^2} = \frac{\delta p(x_n)}{\tau_p} - G \quad (1)$$

در رابطه فوق G نرخ جذب اپتیکی و τ ثابت زمانی باز ترکیب و D_p سرعت ترکیب هستند [۳ و ۴].

امروزه سلول‌های خورشیدی سیلیکونی، از پرکاربردترین قطعات حالت جامد هستند. سیلیکون نیمه‌رسانایی با گاف نواری ۱/۱ تا ۱/۷ الکترون ولت مناسب برای جذب نور خورشید می‌باشد. جفت‌های الکترون-حفره در اثر تابش نور خورشید در نیمه‌رسانا تولید می‌شوند. این حامل‌های بار متحرک می‌توانند جریان الکتریکی تولید کنند [۱]. تولید ولتاژ الکتریکی به یک گاف انرژی بین ترازهای انرژی الکترونی نیاز دارد. اما چگونه می‌توان با استفاده از گاف انرژی، ولتاژ تولید کرد؟ برای این منظور، به یک پیوند $p-n$ نیاز است. ساختار سلول‌های سیلیکونی، از یک فیلم نازک نوع n (ضخامتی در حدود یک یا چند میکرومتر) بر روی یک فیلم نوع p که ضخامت بیشتری دارد، تشکیل می‌شود. جفت‌های الکترون-حفره تولید شده بوسیله نور خورشید در فصل مشترک این دو ناحیه پخش می‌شوند، جایی که میدان الکتریکی داخلی موجب جدایی بار می‌شود. در سلول‌های خورشیدی پیوند $n-p$ بحث درباره تولید و بازترکیب حامل‌ها، که بسته به ولتاژ اعمال شده بر روی پیوند در گاف ممنوعه انرژی نیمه‌رسانا رخ می‌دهد، ضروری به نظر می‌رسدند [۲ و ۳].

طراحی سلول‌های خورشیدی

در این قسمت طراحی سلول‌های خورشیدی سیلیکونی مورد بحث است. برای این منظور که نور به ناحیه‌ی پیوندی اتصال $p-n$ برسد، باید اتصال نزدیک به سطح رسانا باشد و به اندازه‌ی کافی بزرگ باشد که تابش کافی را دریافت کند. این مورد ایجاب می‌کند که یک لایه‌ی نازک n یا p روی ناحیه‌ای که نور تابیده است قرار بگیرد [۳].

برای اینکه بیشتر نور تابیده شده توسط سلول خورشیدی جذب شود، یک لایه سیلیکون را که به شدت به آن ناخالصی اضافه شده را به سطح سلول اضافه می‌کنیم و به عنوان یک ناحیه از اتصال $p-n$ به کار برده می‌شود.

$$\delta n_p(x_p) = \alpha \exp\left(\frac{x_p}{L_n}\right) + \beta \exp\left(-\frac{x_p}{L_n}\right) \quad (4)$$

با استفاده از شرایط مدار کوتاه در $x_p=0$ باید تراکم حامل‌ها صفر شود. با استفاده از شرط پیوستگی در $x_G=x_p$ ، در نهایت تابع $\delta n_p(x_p)$ را در فاصله‌ی بین $x_G \leq x_p \leq x_b$ به صورت زیر می‌نویسیم.

$$\delta n_p(x_p) = \alpha \left\{ \exp\left(\frac{2x_G}{L_n}\right) - 1 \right\} \exp\left(\frac{-x_p}{L_n}\right) \quad (5)$$

حال چگالی جریان را بدست می‌آوریم [۴]

$$J_n = qD_n \frac{dn_p}{dx_p}$$

در $x_p = x_G$ دو مؤلفه از جریان پراکندگی وجود دارد. جریان مازاد الکترون‌ها در جهت کاهش تراکم بار از x_G دور می‌شود. اندازه‌ی چگالی جریان در سمت چپ x_G به صورت زیر خواهد بود:

$$J_{1n}(x_p = x_G) = q\alpha \frac{D_n}{L_n} \left\{ \exp\left(\frac{x_G}{L_n}\right) + \exp\left(\frac{-x_G}{L_n}\right) \right\}$$

و در سمت راست به صورت زیر خواهد بود:

$$J_{2n}(x_p = x_G) = q\alpha \frac{D_n}{L_n} \left\{ \exp\left(\frac{x_G}{L_n}\right) - \exp\left(\frac{-x_G}{L_n}\right) \right\}$$

در نهایت جریان کل برابر است با

$$J_{total} = 2q\alpha \frac{D_n}{L_n} \exp\left(\frac{x_G}{L_n}\right)$$

جریان کلی که به ناحیه‌ی خلا می‌رسد را با η نمایش می‌دهیم:

$$\eta = \exp\left(\frac{-x_G}{L_n}\right)$$

می‌دانیم که شار جریان به صورت تابع نمایی، به صورت تابعی از فاصله‌ی بین ناحیه‌ی خلا و مکان تولید جفت الکترون و حفره کاهش می‌یابد. به منظور استفاده بهینه از سلول‌های خورشیدی با ضخامت محدود $x_b \gg L_n$ فرض می‌کنیم که عمق جذب فوتون‌ها از طول پخش L_n کوچکتر است. در سیلیکون عمق جذب فوتون $100 \mu m$ و طول پراکندگی $1 mm$ است. یعنی ضخامت سلول خورشیدی باید بیشتر از $1 mm$ باشد. برای کاهش سرعت ترکیب می‌توان از نیمه‌رسانای نوع p^+ استفاده می‌شود [۵].

و در ناحیه‌ی p معادله‌ی پراکندگی برای الکترون‌ها به صورت زیر نوشته می‌شود.

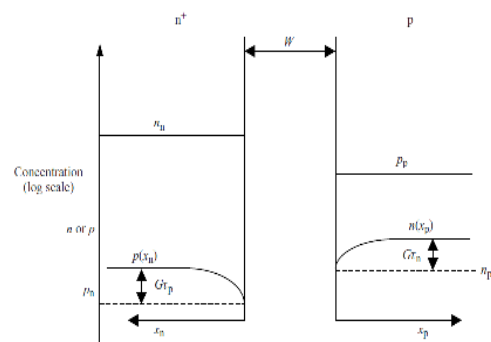
$$(2)$$

$$D_n \frac{d^2 \delta n(x_p)}{dx^2} = \frac{\delta n(x_p)}{\tau_n} - G$$

پس از اعمال شرایط مرزی و در نظر گرفتن طول پخش $L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$ تغییرات تراکم حفره‌ها و الکترون‌ها در نواحی p و n بدست خواهند آمد.

$$\begin{aligned} \delta p(x_n) &= G\tau_p + \{p_n \left[\exp\left(\frac{qv}{kT}\right) - 1 \right] - G\tau_p\} \exp\left(\frac{-x_n}{L_p}\right) \\ \delta n(x_p) &= G\tau_p + \{p_n \left[\exp\left(\frac{qv}{kT}\right) - 1 \right] - G\tau_p\} \exp\left(\frac{-x_p}{L_p}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

می‌توان براساس روابط فوق منحنی‌های $\delta p(x_n)$ و $\delta n(x_p)$ را به صورت زیر رسم کرد.

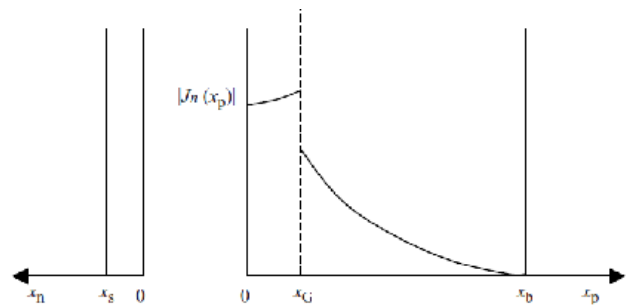


شکل ۲. نحوه‌ی تغییرات تراکم اقلیت بارها

تابع عمق

کاربرد الکترون و حفره را می‌توان با استفاده از تابع عمقی که الکترون و حفره پس از جذب فوتون در آن ایجاد شده است محاسبه کرد. می‌توان چنین فرض کرد که جفت الکترون و حفره هر دو در یک عمق ایجاد شده‌اند و سپس احتمال اینکه بارها به ناحیه‌ی پیوند جریان یابند را محاسبه کرد. از آنجا که بیشتر حامل‌ها در ناحیه‌ی p جذب می‌شوند، توجه خود را به ناحیه‌ی p جلب می‌کنیم.

برای $0 \leq x_p \leq x_G$ تراکم بارها به صورت زیر خواهد بود:



شکل ۳. نمودار چگالی جریان بر حسب فاصله

مرجع‌ها

[۱] Fraas Lewis, Partain Larry, "Solar Cells and Their Applications", Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.,(2010).

[۲] W. Shockley and H. J. Queisser, "Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells," *Journal of Applied Physics*, vol. 32, pp. 510-519, 03/00/ 1961.

[۳] Adrian Kitai, "Principles of Solar Cells, LEDs and Diodes The role of the PN junction," *Departments of Engineering Physics and Materials Science and Engineering, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada*,2011, DOI: **10.1002/9781119974543**.

[۴] Miro Zeman" Introduction to photovoltaic solar energy" Delft University of Technology.

[۵] A. Luque and A. Martí, "Increasing the Efficiency of Ideal Solar Cells by Photon Induced Transitions at Intermediate Levels," *Physical Review Letters*, vol. 78, pp. 5014-5017, 06/30/ 1997.

نتیجه‌گیری

در این مقاله‌ی مروری، ابتدا به معرفی اجمالی سلول خورشیدی پرداختیم. و به صورت خلاصه عملکرد سلول خورشیدی را بررسی کردیم. سپس طراحی و اجزای سازنده‌ی سلول خورشیدی را مورد بررسی قرار دادیم و شکل شماتیکی از این اجزا را ارائه کردیم.

در نهایت تابع عمق را معرفی کرده و با استفاده از آن تراکم بارهای اقلیت را در هر دو طرف ناحیه‌های n و p بدست آوردیم و از روی تراکم اقلیت بارها، چگالی جریان را محاسبه کردیم و به این نتیجه رسیدیم که بیشینه‌ی جریان در x_G اتفاق می‌افتد و نمودار چگالی جریان الکترون‌ها را بر حسب فاصله از ناحیه‌ی p ، برای هر دو سمت راست و چپ x_G رسم کردیم. با توجه به رفتار جریان به این نتیجه رسیدیم که شار جریان به صورت تابع نمایی، به صورت تابعی از فاصله‌ی بین ناحیه‌ی خلا و مکان تولید جفت الکترون و حفره کاهش می‌یابد. به منظور استفاده بهینه از سلول‌های خورشیدی با ضخامت محدود $L_n \gg x_b$ فرض کردیم که عمق جذب فوتون‌ها از طول پخش L_n کوچکتر است.