4th Conference on Recent Research in Science and Technology
چهارمین همایش پژوهش های نوین در علوم و فناوری
۲۵ اسفندماه ۱۳۹۴
March 15, 2016

طراحی یک سلول خورشیدی پلاسمونیک مبتنی بر نانو ذرات فلزی

مکاری بنابی ، غلامعلی[۱] ؛عباسیان، کریم[۲]

Design of a Plasmonic Solar Cell Based on Inserted Metal Nano Particles

Mokari ,Gholamali[1]; Abbasiyan, Karim[2]
Email: mokariali68@gmail.com

چکیده

برداشت نور خورشیدی را نمی توان به طور موثر مدیریت کرد مگر و تا زمانی که سهم پلاسمونیک در سلول‌های خورشیدی به طور کامل تحقیق بخشیده شده است. نانو ذرات فلزی می‌توانند در سلول‌های خورشیدی جهت افزایش بازده دستگاه استفاده شوند. همچنین می توانند انرژی نور خورشید را از طریق پلاسمون سطحی و یا به دام انداختن نور در فیلم طویل بدست آورد.

در این مقاله سعی بر این است تا با مطالعه تئوریکی بر روی انواع روش های ترابرد در سلول های خورشیدی مبتنی بر نانو ذرات نقره با لایه نازک روی اکسید و نهایتا روش ها و تاثیر آن در میزان جذب پیشنهاد شده و جریان و بازده سلول محاسبه گردد. و در آخر پارامترهای اساسی سلول طراحی شده و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: نانوذرات نقره، سلول خورشیدی لایه نازک، پلاسمونیک، پلاسمون سطحی، روی اکسید

۱. مقدمه

یک سلول خورشیدی (یک سلول فتوولتائیکی) دستگاه الکتریکی است که انرژی نورانی را مستقیما توسط اثر فتوولتائیک به الکتریسیته تبدیل می کند. در حقیقت، سلول خورشیدی شکلی از سلول فتوولتائیکی می باشد که هنگامی که در معرض نور قرار می گیرد، می تواند جریان الکتریکی را بدون نیاز داشتن به منبع ولتاژ بیرونی تولید کند و خواص الکتریکی آن از جمله جریان، ولتاژ یا مقاومت با دریافت انرژی نورانی تغییر می کند. در سال۱۹۵۴،اولین سلول های خورشیدی با سیلیکون تک کریستال به عنوان مواد فعال در آزمایشگاه های بل توسعه داده شدند. پس از آن، سلول خورشیدی با مواد فعال در شکل چند کریستالی یا فیلم بی شکل توسعه داده شدند[۱]. برای داشتن بازدهی بالا در سلول‌های خورشیدی، علاوه بر توجه به انتخاب درست مواد تشکیل دهنده‌ی ساختار، بایستی طراحی ساختار نیز به گونه ای انجام شود که حداکثر جذب نور را در لایه فعال داشته باشیم بدین منظور با وارد کردن نانو ذرات (طلا – نقره و...) در لایه فعال خواص الکتریکی این لایه را در راستای افزایش جذب بهبود بخشید[۲].

نانو ذرات فلزی مانند نانو ذرات نقره نامزدهایی برای افزایش بازده تبدیل توان سلول های خورشیدی پلاسمونیک توسط تشدید پلاسمون سطحی متمرکز شده و توانایی به دام انداختن نور در فیلم می باشند. نقره فلزی نادر (بی اثر) می باشد به دلیل اینکه در مقابل اکسیداسیون[۳] و خورندگی مقاوم است یکی از کاربردهای به شدت در حال گسترش نقره، کاربرد آن در سلول های فتو ولتائیک برای تولید انرژی خورشیدی می باشد. [۳]. تشدید پلاسمون سطحی متمرکز شده باعث افزایش میدان مغناطیسی موضعی می شود که خواص نوری دستگاه های نانو ساختار را

[۱].گروه برق،واحدتبریز،دانشگاه آزاد اسلامی،تبریز،ایران
[۲].گروه فوتونیک،واحد تبریز،دانشگاه سراسری،تبریز،ایران

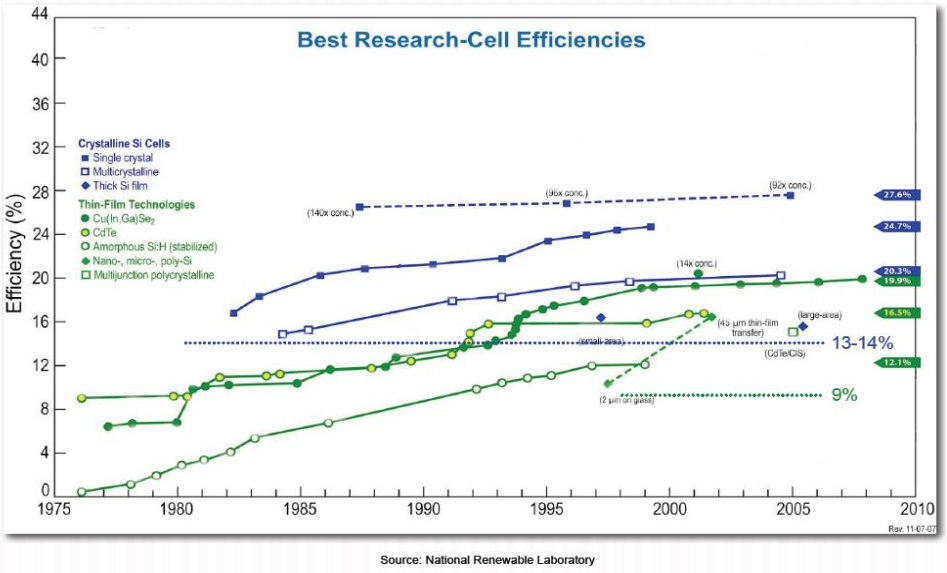
[3]Oxidation

Archive of SID
www.SID.ir

بهبود می بخشد[۴]. به دام انداختن نور در فیلم توسط پراکندگی و بازتاب باعث افزایش طول مسیر نوری می شود. بنابراین، آنها باعث افزایش جذب نور وتولید نور از حامل های پرتحرک می شوند، و در نتیجه، ممکن است منجر به افزایش بازده تبدیل توان شوند[۵].

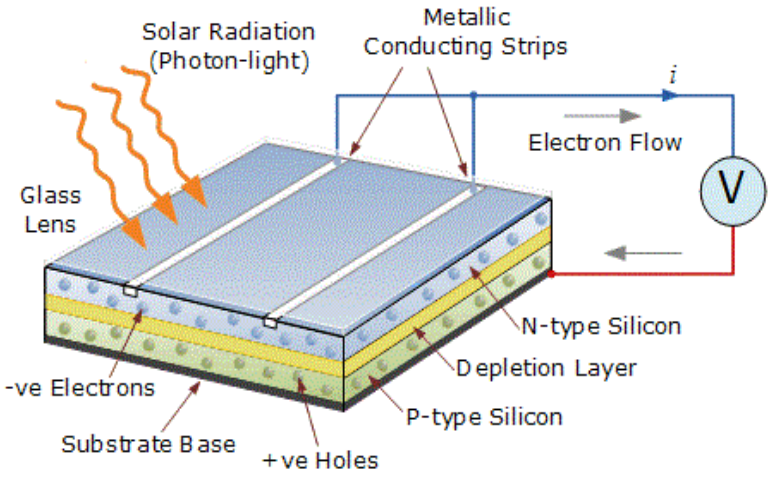
۲. سلول خورشیدی لایه نازک

سلولهای خورشیدی لایه نازک بیش از ۲۰ سال تحقیق و توسعه، شروع به گسترش نمودند. لایه نازک‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای در هزینه تولید الکتریسیته نسبت به ویفرهای سیلیکونی کاهش ایجاد نمودند.



شکل۱: بازده سلولهای خورشیدی با تکنولوژی لایه نازک

از مزایای این روش قیمت تمام شده کم, حجم کم و قابلیت انعطاف زیر لایه می باشد و معایب آن کم بودن راندمان میباشد. سلول‌های خورشیدی لایه نازک سیلیکونی بازده تبدیل توانی حدود ۲۰ درصد را دارا می‌باشند[۶].



شکل۲: نمایی کلی از ساختار سلول خورشیدی لایه نازک را نسان می دهد

www.SID.ir

۳. معادلات حاکم بر سلول های خورشیدی

در زیر ابتدا معادلات حاکم بر سلول های خورشیدی را به صورت تک بعدی بیان می کنیم و همچنین روش های حل آنها را توصیف خواهیم نمود. عموما، برای بررسی یک سلول خورشیدی معادلات پواسون و انتقال (معادلات پیوستگی) برای الکترون و حفره را حل می کنند[۷].

معادله پواسون:

$$\frac{d^2v}{dx} = \frac{+q}{\varepsilon}[N_d(x) - N_a(x) + P(x) - n(x)] \quad (۱)$$

$$E(x) = -\frac{dv(x)}{dx} \quad (۲)$$

معادلات پیوستگی جریان

$$-\frac{1}{q}\frac{d}{dx}J_p(x) + G(x) - R(x) = 0 \quad (۳)$$

$J_n(x)$ و $J_p(x)$ که با میدان الکتریکی و تعداد حامل ها رابطه زیر دارند:

$$J_n(x) = q\mu_n n(x)E(x) + qD_n\frac{dn(x)}{dx} \quad (۴)$$

$$J_p(x) = q\mu_p p(x)E(x) + qD_p\frac{dp(x)}{dx} \quad (۵)$$

با تلفیق این دو معادله در معادلات پیوستگی به دو معادله زیر می رسیم:

$$D_n\frac{d^2n(x)}{dx^2} + \mu_n E(x)\frac{dn(x)}{dx} + \mu_n\frac{dE(x)}{dx}n(x) + G(x) - R(x) = 0 \quad (۶)$$

$$D_p\frac{d^2n(x)}{dx^2} + \mu_p E(x)\frac{dn(x)}{dx} + \mu_p\frac{dE(x)}{dx}n(x) + G(x) - R(x) = 0 \quad (۷)$$

جدول۱: پارامترهای به کار رفته در معادلات حاکم

ردیف	نام پارامتر	نماد پارامتر
۱	بار االکترون	q
۲	ضریب دی الکتریک	ε
۳	چگالی دهنده	N_d
۴	چگالی پذیرنده	N_a
۵	چگالی حفره	p
۶	چگالی الکترون	n
۷	پتانسیل الکتریکی	v
۸	میدان الکتریکی	E
۹	چگالی جریان الکتریکی الکترون ها	J_n
۱۰	چگالی جریان الکتریکی حفره ها	J_p
۱۱	قابلیت تحرک الکترون	μ_n
۱۲	قابلیت تحرک حفره	μ_p
۱۳	نرخ تولید	$G(x)$
۱۴	نرخ باز ترکیب	$R(x)$
۱۵	ضریب نفوذ الکترون	D_n
۱۶	ضریب نفوذ حفره	D_p

Archive of SID

www.SID.ir

۴. ابزار مورد استفاده جهت شبیه سازی

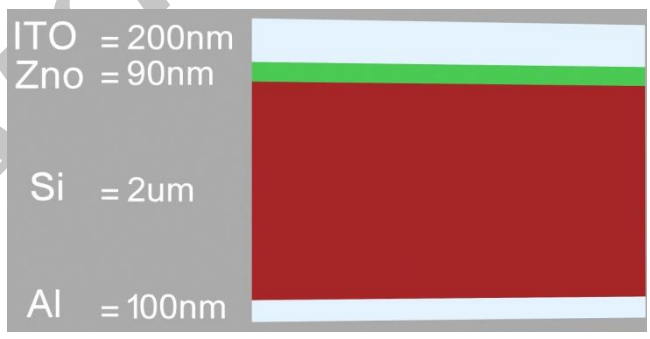
در سلول فتوولتاییک پارامتر کلیدی PCE مشخص کننده بازده تبدیل توان است PCE نسبت ماکزیمم توان قابل دستیافت خروجی به توان نور ورودی است. در این مقاله ما به بررسی مشخصه نوری و جذب نانو ذرات فلزی که در این اینجا نانو ذرات نقره در یک لایه فعال هستند پرداخته خواهد شد و تاثیر اندازه نانو ذرات روی افزایش و گسترش طیف جذب مورد بحث و بررسی قرار گرفته خواهد شد. که هدف از ارزیابی افزایش PCE ، Voc، Isc سلول است و این پارامترها را با نتایج شبیه سازی و تجربی دیگر شبیه سازی ها مقایسه خواهیم کرد.

در این مقاله با طراحی و شبیه‌سازی یک سلول خورشیدی تزریق شده با نانو ذرات نقره، راه کار جدیدی برای افزایش بازده سلول‌های خورشیدی ارائه خواهد شد. برای سلول خورشیدی مطرح شده مطابق ویژگی‌ها و پارانر های بدست آمده یک ساختار بهینه را ارائه خواهیم کرد. این کارها را با نرم افزارهای مهندسی لومریکال انجام خواهیم داد. نرم افزار لومریکال که جزو قوی ترین ابزارهای رایج شبیه سازی سلول خورشیدی است توانایی دارد مدلی ۳ بعدی از سلول خورشیدی را با در نظر گرفتن و تعیین ویژگی های نانوذرات رسم نماید. شبیه سازی نوری سلول خورشیدی نانوساختار و شبیه سازی ادوات پلاسمونی نانوساختار که از ویژگی های این نرم افزار است، مورد استفاده خواهد بود.

۱.۴. تهیه سلول خورشیدی

تصویری ازساختاری سلول خورشیدی لایه نازک سیلیکونی که ما انتخاب و طراحی کردیم در شکل ۳ نشان داده شده است. که در این لایه پایینی آلومینیوم نقش کاتد را ایفا میکند، بعد بالای آلومینیوم لایه نیمه رسانای سیلیکون را استفاده شده است، و به این روال لایه نازک اکسید روی و اکسید قلع ایندنیم(ITO) کانتکت بالایی به عنوان آند استفاده شده است.

اکسید قلع با ناخالصی ایندیم (ITO) از رساناهای اکسیدی شفاف شناخته شده ای است که به دلیل رسانندگی و شفافیت بالا در ناحیه نور مرئی به عنوان الکترود شفاف در الکترو نیک نوری کاربرد فراوانی دارد.



شکل۳: ساختار انتخاب شده در این تحقیق

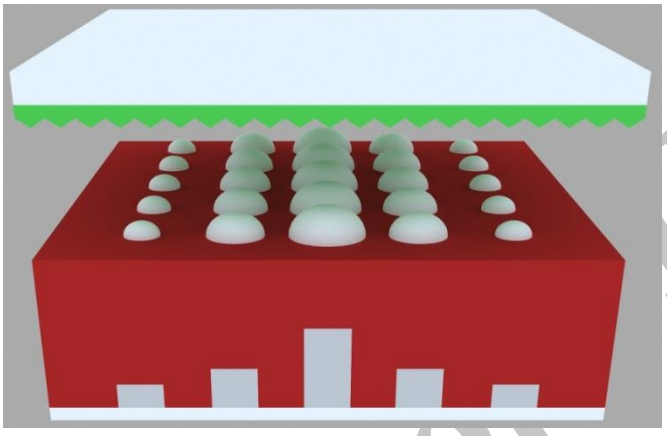
در مورد اندازه لایه ها ایده آل ترین اندازه ها استفاده شده است که در این اندازه ها ضریب جذب سلول خورشیدی در نتیجه توان و جریان اتصال کوتاه و بخصوص بازده افزایش می یابد.

در این مقاله ما نانو ذرات نقره را به شعاع های ۲۰،۴۰،۶۰ نانومتر به تعداد ۵ عدد به فاصله های ایده آل از هم در لایه سیلیکون اعمال می کنیم. لازم به ذکر است که ما نانو ذرات کمتر از شعاع ۲۰ نانومتر و بیشتر از ۶۰ نانومترا را کنار گذاشتیم. زیرا پارامترهای سلول خورشیدی در این شعاع ها افت پیدا می کند.

Archive of SID

www.SID.ir

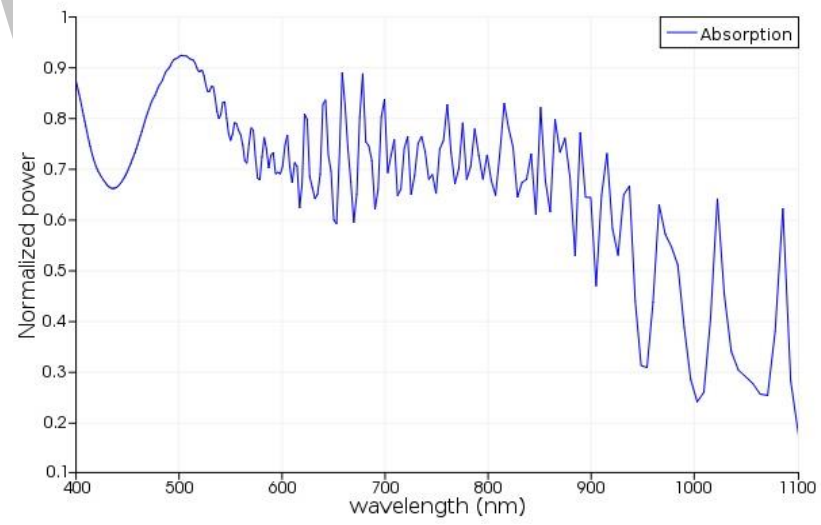
آزمایش های مختلفی با شعاع های ثابت(۲۰،۴۰،۶۰) به تعداد پنج عدد به ساختار اعمال کردیم که در بهبود پارامترهای سلول خورشیدی موثر بود، اما اعمال هم زمان نانو ذرات با شعاع های ۲۰،۴۰،۶۰، در ساختار سلول خورشیدی تاثیر بسزایی در بهبود پارامترهای سلول خورشیدی بخصوص جریان اتصال کوتاه و بازده نسبت شعاع های ثابت را دارد. در شکل ۴ شماتیکی از این ساختار مشاهده می گردد. لازم به ذکر است در لایه های آلومینیوم و روی اکسید ساختار گریتینگ استفاده شده است.



شکل۴: تصویری از سلول خورشیدی با تزریق نانو ذرات نقره

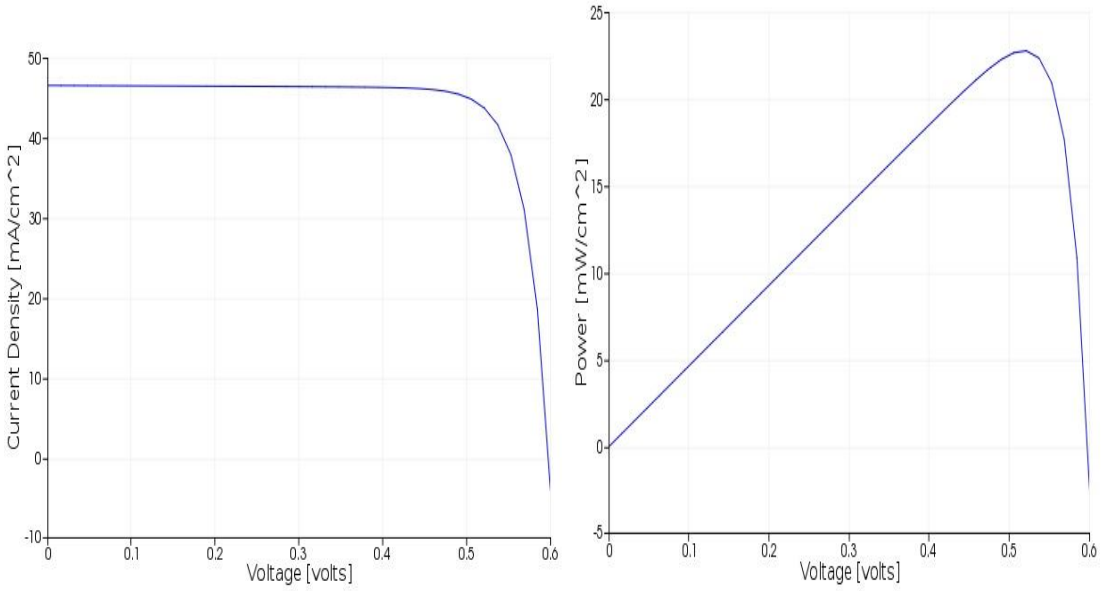
۲.۴. نتایج شبیه سازی با تزریق نانو ذرات نقره در لایه فعال

نتایج حاصل از این تحقیق برای حالت بدون تزریق نانوذرات توسط نرم افزار لومریکال مطابق منحنی های زیر شبیه سازی شده است. مهمترین منحنی در شبیه سازی سلول های خورشیدی منحنی جذب، جریان- ولتاژ(I-V) و توان خورجی می باشد. شکل۵ منحنی جذب و شکل۶ منحنی ولتاژ- جریان و ماکزیمم توان خروجی برای حالت بدون نانو ذرات نشان داده شده است. مقادیر۶ /۰ ولت برای ولتاژ مدار باز، ۴۶/۶۱۴۴ میلی آمپر بر سانتی متر مربع برای جریان اتصال کوتاه، ۲۲/۸۰۷۶ میلی ولت بر سانتی متر مربع برای ماکزیمم توان خروجی، ۸۱/۵۴ درصد برای ضریب پر شدگی و ۲۲/۸ درصد برای بازده دستگاه بدست آمد.



شکل۵: منحنی جذب برای حالت بدون نانوذرات

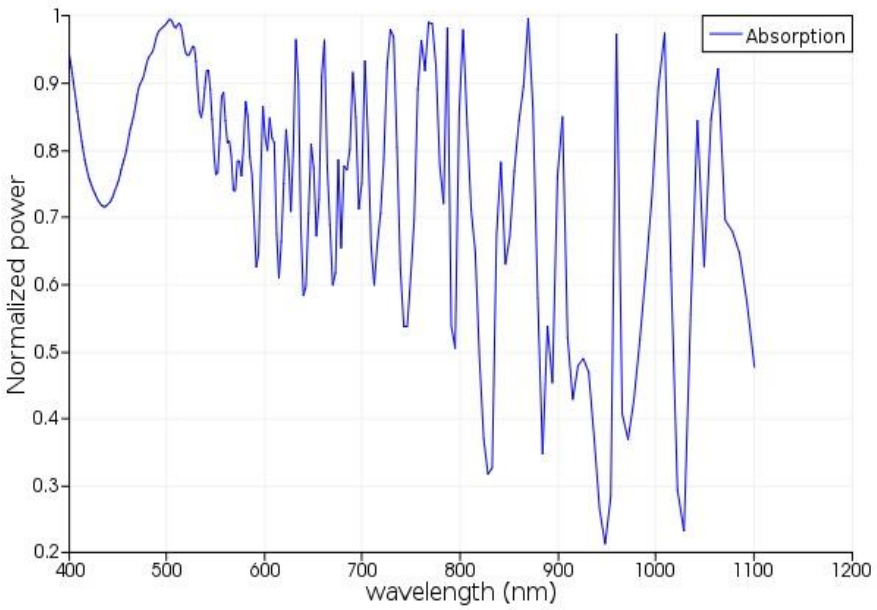
www.SID.ir



(ب) (الف)

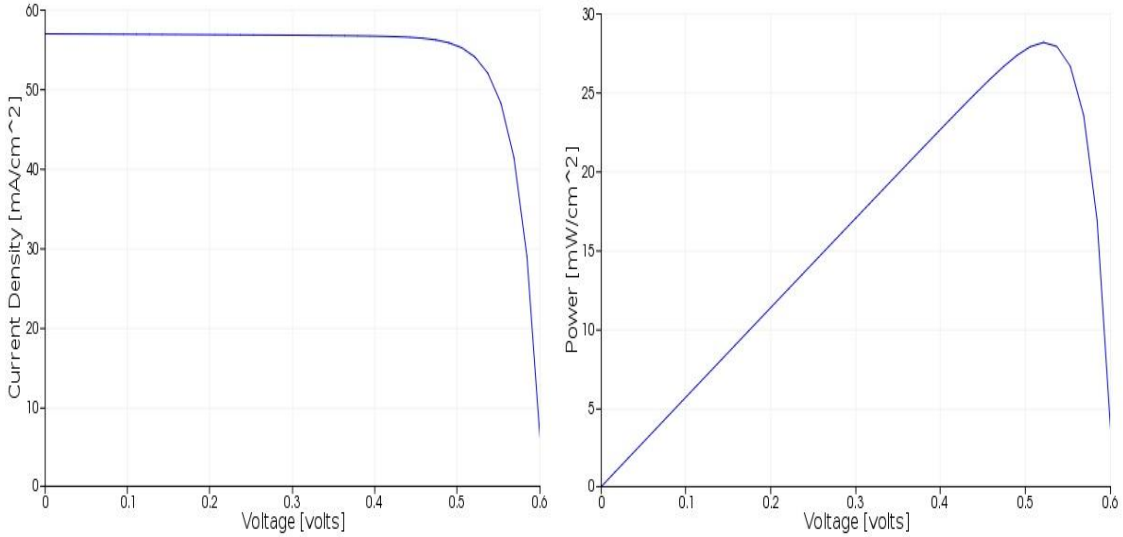
شکل۶- (الف) منحنی ماکزیمم توان خروجی(ب) منحنی ولتاژ- جریان برای بدون تزریق نانو ذرات

شکل ۷ منحنی جذب و شکل۸ منحنی پارامترهای تحلیل شده برای این حالت تزریق شده با نانو ذرات نقره را نشان می دهد. مقادیر۶ /۰ ولت برای ولتاژ مدار باز، ۵۷/۰۱۶۸ میلی آمپر بر سانتی متر مربع برای جریان اتصال کوتاه، ۲۸/۱۹۶۷ میلی ولت بر سانتی متر مربع برای ماکزیمم توان خروجی، ۸۲/۵۴۲ درصد برای ضریب پر شدگی و۲۸/۱۹ درصد برای بازده دستگاه بدست آمد.



شکل۷: منحنی جذب برای بهترین حالت تزریق نانو ذرات

www.SID.ir



(ب) (الف)

شکل۸: (الف) منحنی ماکزیمم توان خروجی(ب) منحنی ولتاژ- جریان و با اعمال نانو ذرات نقره با شعاع های مختلف

۳.۴. نتایج کل نحقیق:

نتایج حاصل از دستگاه سلول خورشیدی لایه نازک در جدول۲خلاصه شده است. این موضوع آشکار است که تزریق نانو ذرات نقره با شعاع های ذکر شده به لایه فعال سلول خورشیدی در افزایش بازده تبدیل توان تاثیر چشمگیری ایفا می کند.

جدول۲: نتایج حاصل از تزریق نانو ذرات نقره و بدون تزریق نانوذرات

مشخصات	Jsc(mA/cm^2)	Voc (v)	FF(%)	Effi(%)
بدون نانوذرات	۴۶/۶۱۴۴	۰/٦	۸۱/٥٤	۲۲/۸
شعاع ۲۰	٤٦/٦٧٩١	۰/٦	۸۱/٥٥	۲۲/۸٤
شعاع ٤۰	٥۰/٤٦٥٤	۰/٦	۸۱/۹۱	۲٤/۸
شعاع ٦۰	٥۳/۰۷۹٥	۰/٦	۸۲/۰۲	۲٦/۱۲
شعاع ۲۰،٤۰،٦۰	٥۷/۰۱٦۸	۰/٦	۸۲/٥٤	۲۸/۱۹

۵. نتیجه گیری

در این تحقیق تحلیل وشبیه سازی سلول های خورشیدی لایه نازک سیلیکونی با اعمال نانو ذرات پلاسمونیکی بررسی شده است. فاکتورهای بسیار زیادی در عملکرد یک سلول خورشیدی با نانوذرات فلزی موثر است، از جمله ضخامت و جنس تک تک لایه ها، ،نوع نانوذرات، شکل نانوذرات، آرایش نانوذرات ها در سلول خورشیدی ، شعاع نانوذرات. نتایج حاصله و یافتن برتری حضور نانو ذرات فلزی بر عدم حضور آن، فلزی که بر اساس شبیه سازی بحث بر روی آنها اعلام نموده ایم. در این تحقیق بر اساس شبیه سازی ها به این نتیجه رسیدیم که سلول‌های خورشیدی لایه

Archive of SID
www.SID.ir

نازک سیلیکونی به ترتیب در موارد تحت بررسی پژوهش و در ساختار استاندارد در نظر گرفتـه شـده(نانوذرات نقـره بـا سطح مقطع دایره شعاع ۲۰،۴۰،۶۰ نانومتر) : حضور نانوذرات فلزی نقره ، هم در جذب و هم در بـالا بـردن مشخصـات ازجمله جریان اتصال کوتاه و بازده، برتری خود را نشان داد. موقعیت نانوذرات درون ماده لایـه سـیلیکون باعـث ایجـاد جذب میدان الکتریکی کل بیشتری شده است.

۶. مراجع

[1] A. Shah, P. Torres, R. Tscharner, N. Wyrsch, H. Keppner" Photovoltaic Technology: The Case for Thin-Film Solar Cells" Science 30 July 1999: Vol. 285 no. 5428 pp. 692-698

[2] Notarianni, M., et al; "Plasmonic effect of gold nanoparticles in organic solar cells. Solar Energy." (2014), 106: pp. 23-37.

[3]L Hu, HS Kim, JY Lee, P Peumans, Y Cui" Scalable coating and properties of transparent, flexible, silver nanowire electrodes" Vol.29, pp.954–965, (2010).

[4] Barnes, W. L., Dereux, A., and Ebbesen, T. W., "Surface plasmonsubwavelength optics," Nature, vol. 424, pp. 824-830, 2003.

[5] R. Dewan, M. Marinkovic, R. Noriega, S. Phadke, A. Salleo, D. Knipp, "Light trapping in thin-film silicon solar cell with submicron surface texture," Optics), 23058-23065 (2009).

[6] C. Haase, D. Knipp, and H. Stiebig, "Optics of thin-film silicon solar cells with efficient periodic light trapping textures," Proc. SPIE, 6645, (2007).

[7] http://www.lumerical.com/company/representatives.html

Archive of SID