

بررسی ضریب شکست بهینه برای سلول های خورشیدی سیلیکونی

پریناز خالدی^۱، یوسفعلی عابدینی^۲

^۱ دانشگاه صنعتی ارومیه

^۲ دانشگاه زنجان و پژوهشکده ی تغییر اقلیم و گرمایش زمین دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان.

چکیده

در این مقاله به منظور بهینه سازی شاخص های اپتیکی پوشش های ضد بازتاب برای سلول های خورشیدی سیلیکونی در حالت تابش عمود از معادله های بازتاب استفاده کردیم و با استفاده از نرم افزار متلب با ثابت نگه داشتن همه ی شاخص ها، و تغییر یکی از آن ها در هر مرحله، منحنی ضریب بازتاب R بر حسب طول موج در بازه ی ۴۰۰ تا ۸۰۰ میکرومتر را رسم و با محاسبه ی مساحت زیر منحنی و تقسیم آن بر پهنای طیف، مقدار میانگین ضریب بازتاب را محاسبه کردیم و با انتخاب کوچکترین مقدار آن شاخص های بهینه را به روش الگوریتم ژنتیک خودسازگار به دست آوردیم. با تکرار برنامه به ازای مقادیر بهینه شاخص های هر مرحله، در نهایت مقادیر بهینه شاخص های پوشش های ضد بازتاب تک لایه و دو لایه را به دست آوردیم و سپس نمودار های ضریب شکست و ضخامت بهینه را برای پوشش های ضد بازتاب یک لایه ای و لایه ی اول و دوم از پوشش های ضد بازتاب دو لایه ای رسم کردیم و به این نتیجه رسیدیم که ضریب بازتاب پوشش ضد بازتاب دو لایه تقریباً یک دهم ضریب بازتاب تک لایه روی زیر لایه ی سیلیکونی می باشد.

واژه های کلیدی: بهینه سازی، پوشش های ضد بازتاب، ضریب بازتاب، ضریب شکست، ضخامت بهینه

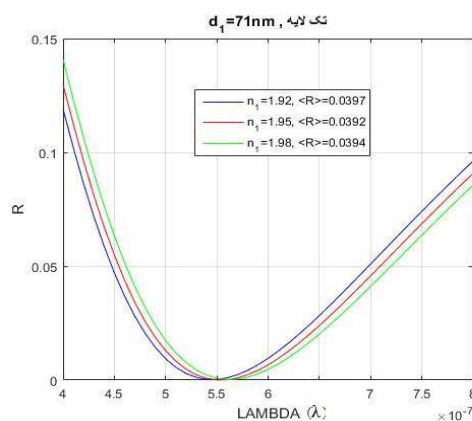
مقدمه

تقریباً ۳۰ درصد از تابش خورشید به فضا بازگردانده می شود از این رو پرتوهای خورشیدی جذب شده باعث گرمایش اتمسفر می شود. ۵۰ درصد توسط سطح زمین جذب می شود کل انرژی تابشی که توسط اتمسفر و سطوح زمین دریافت می شود تقریباً ۷۰ درصد است. زمین با پیرامون اش باید در تعادل گرمایی باشد. در واقع، ۷۰ درصد انرژی خورشید که به جو و زمین وارد می شود، آن را به صورت تابش گرمایی به فضا برمی گرداند [۱] تا اواخر قرن ۱۹، این گونه تصور می شد که نور موج است و از معادلات ماکسول پیروی می کند؛ (مانند پرتوهای X ، میکروویوها، امواج رادیویی و سایر بخش های طیف الکترومغناطیسی) مساله جسم سیاه بود که دانشمندان را به برر سی مجدد دانش خود در مورد طبیعت نور واداشت [۲] در ۱۹۰۰ پلانک پیشنهاد کرد که تابش الکترومغناطیس از بسته های گسسته ی انرژی تشکیل شده است؛ بعد ها انیشتین آن بسته ها را فوتون نامید [۳] این دو دیدگاه متضاد نور- طبیعت موجی و طبیعت ذره - می توانند از طریق تئوری مکانیک کوانتومی سازگار شوند. برای فهمیدن ویژگی های نور خورشید، می توان خورشید را مانند جسم سیاه در نظر گرفت جسم سیاه، شی ای است که به محض جذب تمام پرتوهای الکترومغناطیسی که بر سطح آن تابیده است، طیفی از نور را که به دمای آن وابسته است را گسیل می کند. البته این یک حالت ایده آل ریاضی است؛ ولی در واقعیت اشیا بازتاب می کنند و تا حدی نسبت به تابش الکترومغناطیس شفاف هستند. با این وجود، بسیاری از اجسام فیزیکی تا حدی از ویژگی های جسم سیاه برخوردار هستند، از جمله خورشید. توزیع شدتی که توسط جسم های سیاه پخش می شود، با قانون پلانک توصیف می شود [۴]. برای تخمین زدن طیف خورشید، در قانون پلانک اغلب شدت تابشی با $T = 6,000 \text{ K}$ بکار می رود) اگرچه دمای سطح خورشید کمی پایین تر است [۵] ضخامت زیاد سلول باعث می شود به ازای هر وات، هزینه سلول بالا رود؛ خوب می دانیم که این هزینه باید کاهش یابد تا انرژی خورشیدی بتواند رقیب جدی منابع تجدیدناپذیر شود [۶]. کاهش ضخامت سلول و هزینه ماده، نباید با حداکثر نور جذب شده در سلول برابر باشد که در این صورت بازده کمتری خواهد داشت. چون جذب اپتیکی مسأله ی مهمی است، اتلاف اپتیکی باید تا جایی که ممکن است به کمترین

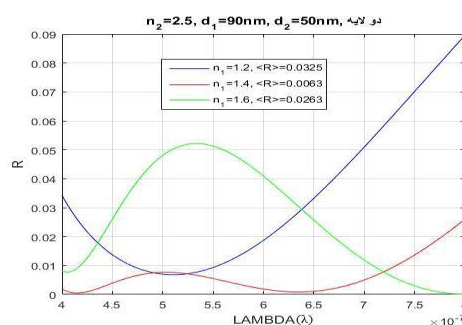
مقدار برسد. در پنجاه سال اخیر، روشهای متعددی برای به دام انداختن نور در سلول های خورشیدی برر سی شده است. پوشش های ضد بازتاب (ARCs) و ایجاد بافت سطحی، رایج ترین روش های مورد استفاده در سلولهای خورشیدی هستند که موفقیت شان را مرهون سهولت استفاده و هزینه نسبتاً کمتر آنها در مقایسه با سایر روش های تخصصی و دقیق به دام انداختن نور می باشند.

بهینه سازی ضریب شکست سلول های خورشیدی سیلیکونی

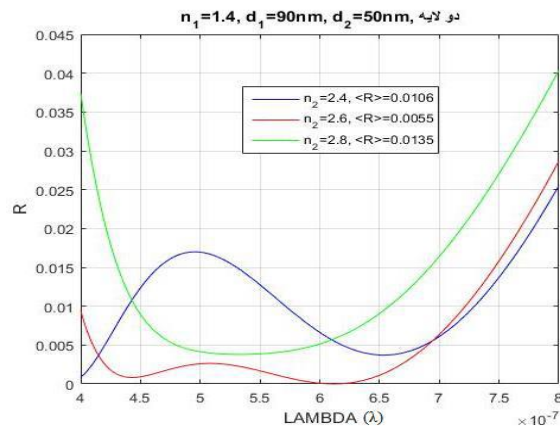
سلول های خورشیدی سیلیکونی یکی از تکنولوژی های بسیار رایج برای فوتولتائیک ها می باشد بازه ی طیف مربوط به آن 400-1100 نانومتر است. معمول ترین روش های مورد استفاده برای کاهش بازتاب از سطح و افزایش بازده، پوشش های ضد بازتاب یک و دو لایه ای و بافت دار کردن سطح می باشد [۷][۸] سلولهای خورشیدی سیلیکونی دارای گاف انرژی غیر مستقیم هستند و با بازده ۲۴ درصد گزارش شده اند ساده ترین استفاده از ARC این است که به صورت تک لایه روی سطح زیر لایه ی سلول خورشیدی اعمال می شوند. این ترکیب زمانی مطلوب است که ماده ای با ضخامت مناسب انتخاب شود و ضریب شکست آن به گونه ای باشد که در طول موج خاص بازتاب کمی رخ دهد. معمولاً طول موج انتخابی نزدیک به قله ی طیف خورشیدی است. یک ترکیب نسبتاً پیچیده ی ARC استفاده از دو لایه می باشد. دو ماده با ضخامت متفاوت زمانی که بهینه شوند اجازه ی بازتاب خیلی کمی را در بازه ی وسیعی از طول موج ها می دهند درحالی که پوشش تک لایه ای می تواند بازتاب میانگین را تحت تابش عمود تقریباً به ۱۰ درصد (و در تابش های غیر عمود تقریباً به ۲۰ درصد) کاهش دهد. پوشش دو لایه ای می تواند آن را تقریباً تا ۴ درصد (و در تابش های غیر عمود تقریباً به ۱۰ درصد) پایین آورد. با تکرار برنامه به ازای مقادیر بهینه شاخص های هر مرحله، در نهایت مقادیر بهینه شاخص های پوشش های ضد بازتاب تک لایه و دو لایه به دست آمد. نتایج در منحنی های (۱) تا (۴) نمایش داده شده اند.



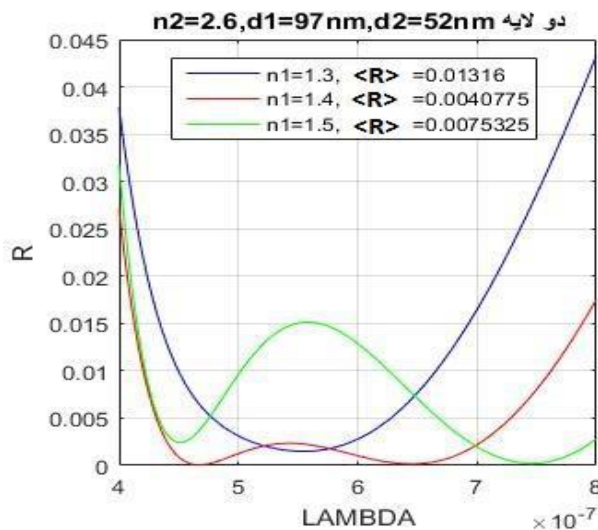
شکل ۱: تعیین ضریب شکست بهینه ی پوشش ضد بازتاب یک لایه ای.



شکل ۲: تعیین ضریب شکست بهینه ی لایه ی اول پوشش ضد بازتاب دو لایه ای.



شکل ۳: تعیین ضریب شکست بهینه ی لایه ی دوم پوشش ضد بازتاب دو لایه ای.



شکل ۴: تعیین دوباره ضریب شکست بهینه لایه اول پوشش ضد بازتاب دو لایه ای.

نتیجه گیری

با ملاحظه ی نمودارهای (۱) تا (۴) به این نتیجه می رسیم که ضریب بازتاب پوشش ضد بازتاب دو لایه ای تقریباً یک دهم ضریب بازتاب تک لایه ای روی زیر لایه ی سیلیکونی می باشد.

مرجع ها

- [۱] C. Julian Chen. *Physics of Solar Energy*. Department of Applied Physics and Applied Mathematics Columbia University, JOHN WILEY & SONS, INC. New Jersey, ۲۰۱۱.
- [۲] Al-Turk. Sarry. *Analytic Optimization Modeling of Anti-Reflection Coatings for Solar Cells*, MASTER OF APPLIED SCIENCE, Canada, Toronto, University of Toronto, THE DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS, ۲۰۱۱.
- [۳] M. Planck. *On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum*. Annalen der Physik ۴ (۱۹۰۱), pp. ۵۵۳-۵۶۳.
- [۴] G. B. Rybicki and A. P. Lightman, *Radiative Processes in Astrophysics*. New York: John Wiley & Sons, ۱۹۷۹.
- [۵] J. E. Parrott. *Choice of an equivalent black-body solar temperature*. Solar Energy ۱(۳) (۱۹۹۳), pp. ۱۹۵-۱۹۵.
- [۶] J. Meier et al. *Efficiency enhancement of amorphous silicon p-i-n solar cells by LPCVD ZnO*. Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference (۲۰۰۰), pp. ۷۴۶-۷۴۹.
- [۷] H. Nagel, A. G. Aberle, and R. Hezel, "Optimized antireflection coatings for planar silicon solar cells using remote PECVD silicon nitride and porous silicon dioxide," Prog. Photovolt: Res. Appl. ۷, ۲۴۵-۲۶۰.
- [۸] E. Vazsonya, K. De Clercq, R. Einhaus, E. Van Kerschaver, K. Said, J. Poortsmans, J. Szlufcik, and J. Nijs, "Improved anisotropic etching process for industrial texturing of silicon solar cells," Sol. Energy Mater. Sol. Cells ۵۷, ۱۷۹-۱۸۸ (۱۹۹۹).