

ساخت تک لایه ضد بازتاب پهن باند بر زیر لایه سیلیکونی به روش متخلخل سازی به وسیله سونش شیمیایی

پریسا حسینی زاده، فاطمه ملک محمد، محمد ملک محمد

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

چکیده - یکی از روش‌های موثر ساخت تک لایه ضد بازتاب، سونش شیمیایی به کمک فلز (MACE) در دمای محیط است. نانو ساختار-های سیلیکونی با لایه‌نشانی نانو ذرات نقره به روش غوطه وری در بازه‌های زمانی متفاوت و زمان سونش مختلف بر روی زیر لایه سیلیکون ساخته شده‌اند. بازتاب سطح متخلخل سیلیکون با زمان لایه‌نشانی ۴۰ ثانیه و مدت زمان سونش ۵ ساعت، در بازه طیفی ۴۰۰-۵۰۰۰ نانومتر به کمتر از ۲/۱٪ رسیده است. بنابراین می‌توان با هزینه کم و بدون تجهیزات پیشرفته در دمای محیط، به ساختار تک لایه ضد بازتاب در پهنای طیفی وسیع دست یافت، که در بسیاری از سامانه‌های اپتیکی و یاخته‌های خورشیدی برای افزایش بازده و کارایی کاربرد دارد.

کلید واژه- یاخته‌های خورشیدی، لایه ضد بازتاب، سطح متخلخل، MACE

Fabrication of single anti-reflection layer by introducing porous structure on silicon substrate by using chemical etching

Parisa Hosseinizadeh, Fatemeh Malekmohammad, Mohammad Malekmohammad

Science faculty, Physics department, Esfahan University

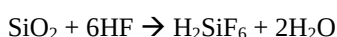
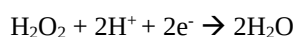
Abstract- Metal assisted chemical etching (MACE) method is an effective process for the fabrication of single anti-reflection layer at room temperature. Nanostructures on silicon substrate with different immersion coating time and different etching time have been fabricated. The reflection on porous surface with coating and etching time of 40s and 5h respectively, in spectral range of 400-5000 nanometer have been achieved lower than 2.1%. Therefore, the structure of single anti-reflection layer in wide spectral range can be obtained through low cost and without advanced equipment at room temperature, that is used in many optic systems and solar cells to increase efficiency and performance.

Keywords: Anti-reflection layer, Porous surface, MACE, Solar cells

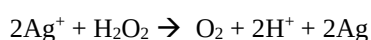
۱- مقدمه

سیلیکون در معرض آب اکسیژنه اکسید می شود و توسط HF خوردگی صورت می گیرد.

واکنش هایی که در روش MACE برای سونش سیلیکون انجام می شود به قرار زیر است:



در این تحقیق از AgNO_3 برای تولید نانو ذرات نقره استفاده می شود. H_2O_2 نه تنها به سونش سیلیکون کمک می کند، بلکه یون های نقره را طبق واکنش زیر به نانو ذرات نقره تبدیل می کند [۸].



در این تحقیق زمان سونش سیلیکون و زمان لایه نشانی نانو ذرات نقره برای داشتن بهترین لایه ضدبازتاب بهینه شده است.

۲- روش ساخت نمونه

در این تحقیق از ویفر سیلیکون نوع n با جهت گیری <۱۰۰> استفاده شده است. ابتدا ویفرهای سیلیکون در استون تمیز شده و چندین بار با آب مقطر شسته شدند. نمونه ها در محلول لایه نشانی نقره که حاوی نمک AgNO_3 (۰/۰۵M) و اسید HF (۴/۶M) است به مدت زمان ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ثانیه غوطه ور شده و سپس در محلول سونش حاوی H_2O_2 (۰/۴۴M) و HF (۴/۶M) به مدت زمان ۰/۵، ۱، ۲ و ۵ ساعت، در دمای اتاق شناور شدند، سپس در محلول رقیق اسید نیتریک و آب اکسیژنه به نسبت حجمی ۱:۱ قرار گرفتند تا نقره اضافی روی سطح زدوده شود. در نهایت نمونه ها با آب مقطر شسته و خشک شدند. ساختار نمونه ها با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) و همچنین طیف بازتاب آن ها در بازه ۲۵۰۰-۴۰۰ نانومتر توسط دستگاه UV-VIS spectrophotometer و در بازه ۵۰۰۰-۲۵۰۰ نانومتر توسط دستگاه FTIR spectrophotometer اندازه گیری شده است.

در بسیاری از سامانه های اپتیک، بازتاب از سطوح المان ها باعث کاهش کارایی سامانه می شود. برای مثال یاخته های خورشیدی برای افزایش بازده و بهینه نمودن کارایی به سطوحی با حداقل بازتاب نیازمند هستند تا بتوانند حداکثر فوتون های نور فرودی را جذب و به انرژی الکتریکی تبدیل کنند. معمولاً برای کاهش بازتاب از لایه ضدبازتاب استفاده می کنند. برای افزایش پهنای باند میتوان از چند لایه استفاده نمود، که عملکرد آنها بر اساس لایه های چارک موج است، ولی بهترین عملکرد لایه های ضدبازتاب، تنها برای زاویه فرود و قطبش خاص و همچنین پهنای طیفی محدود رخ می دهد [۱ و ۲].

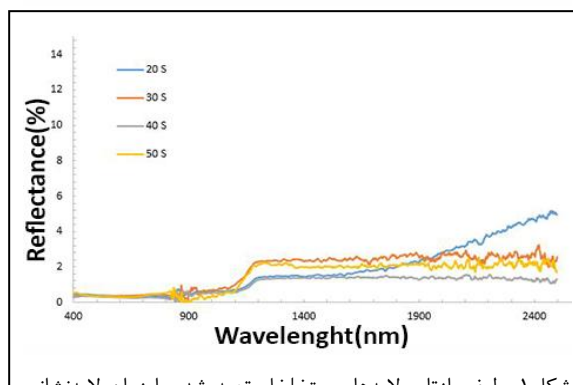
در سال های اخیر به کمک آرایه های نانو ساختار توانستند تک لایه ضدبازتاب متخلخل در پهنای طیف وسیع، با زاویه فرود زیاد و مستقل از قطبش نور فرودی را جایگزین لایه های ضدبازتاب معمولی کنند [۳]. تکنیک های مختلفی مانند: سونش با یون های فعال (RIE) ^۱، لیتوگرافی تداخلی و لیتوگرافی کلونیدی برای تولید نانو ساختارهای ضدبازتاب وجود دارد، اغلب آن ها نیازمند تجهیزات گران قیمت و عملکرد پیچیده است که آن ها را برای کار در صنعت نامطلوب می کند [۴ و ۵]. در مقابل، روش سونش شیمیایی به کمک فلز (MACE) ^۲ یک روش اقتصادی و کارآمد برای تولید صنعتی تک لایه متخلخل است. همچنین بر خلاف آرایه های نانوسیم از ساختارهای سوزنی شکل تشکیل نشده و شکننده نیستند، بنابراین در محیط های سخت و خشن فشار بیشتری را تحمل می کنند و طول عمر بیشتری خواهند داشت [۶]. در این روش می توان خود زیر لایه را متخلخل نمود که مناسب تر از یک لایه تخلخل اضافی است، زیرا مشخصات ضریب شکست آن در تمام بازه طول موجی با زیر لایه یکسان است و بنابراین لایه ضدبازتاب می تواند بسیار پهن باند باشد. همچنین مشخصات گرمایی و مکانیکی لایه ضدبازتاب و زیر لایه تقریباً یکسان خواهد بود [۷]. این روش شامل دو مرحله است: رسوب نانو ذرات فلزی و سونش شیمیایی. در مرحله رسوب فلز از نانو ذرات نقره که به عنوان کاتالیزر روی سطح سیلیکون عمل می کنند استفاده می شود و در مرحله سونش شیمیایی،

¹ Reactive ion etching

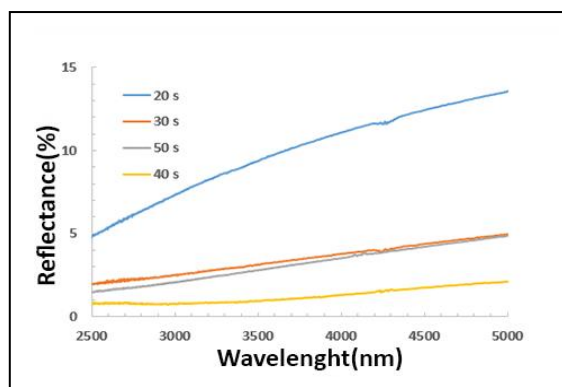
² Metal-assisted chemical etching

³

به SiO_2 اکسید می‌شود و توسط HF خوردگی صورت می‌گیرد. در این صورت تعداد کمی از نانو ذرات نقره روی سطح باقی می‌مانند چون بقیه نانو ذرات در نانو حفره‌ها فرو رفته و با ادامه زمان سونش عمق حفره‌ها افزایش پیدا می‌کند، اما اگر غلظت نانو ذرات نقره بیش از حد زیاد باشد، تمام سطح سیلیکون پوشیده از نانو ذرات نقره می‌شود و شرایط سونش در زیر سطح فراهم نمی‌شود و تنها حفره‌های سطحی و کم عمق تشکیل می‌شوند و مقدار بازتاب افزایش می‌یابد. علاوه بر این در زمان لایه‌نشانی کوتاه به دلیل غلظت کم نانو ذرات نقره، تعداد و ابعاد نانو ذرات نقره و در نتیجه حفره‌های ایجاد شده کم می‌شود و مانع کاهش بازتاب می‌شود. در نتیجه برای زمان لایه نشانی نانو ذرات نقره یک زمان بهینه وجود دارد که در این آزمایش طبق شکل ۱ و ۲، بهینه زمان لایه‌نشانی ۴۰ ثانیه به دست آمده است.



شکل ۱: طیف بازتاب لایه‌های متخلخل تهیه شده با زمان لایه‌نشانی ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ثانیه در مدت زمان سونش ۵ ساعت. (در بازه طیفی ۲۵۰۰-۴۰۰ نانومتر)



شکل ۲: طیف بازتاب لایه‌های متخلخل تهیه شده با زمان لایه‌نشانی ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ثانیه در مدت زمان سونش ۵ ساعت. (در بازه طیفی ۲۵۰۰-۵۰۰۰ نانومتر)

۳- نتایج و تحلیل داده‌ها

جدول ۱: مشخصات نمونه‌های تهیه شده.

غلظت AgNO_3 (mol/lit)	زمان سونش (s)	زمان سونش (hour)	(%) بازتاب (۴۰۰-۲۵۰۰ nm)	(%) بازتاب (۲۵۰۰-۵۰۰۰ nm)	میانگین بازتاب (%)
۰/۰۰۵	۲۰ s	۰/۵ h	۰/۹۱-۱۵/۵۷	۱۴/۶-۲۸/۳۲	۱۴/۳۵
		۱ h	۰/۷۹-۱۲/۷۴	۱۲/۶۵-۲۵/۹	۱۳/۸۱
		۲ h	۰/۶۵-۷/۰۸	۸/۰۲-۱۶/۷۰	۸/۱۲
		۵ h	۰/۵۰-۴/۷۶	۵/۱۰-۱۳/۵۹	۵/۵۰
	۳۰ s	۰/۵ h	۰/۸۳-۱۴/۸۹	۱۳/۱-۲۳/۲۸	۱۲/۴۹
		۱ h	۰/۷۲-۶/۷۹	۶/۴۵-۱۰/۹۰	۵/۸۵
		۲ h	۰/۶۲-۴/۵۱	۳/۵۴-۸/۱۸	۳/۸۵
		۵ h	۰/۳۰-۲/۵۵	۱/۹۹-۴/۹۷	۲/۳۹
	۴۰ s	۵ h	۰/۲۹-۱/۳۲	۰/۷۵-۲/۰۷	۱/۵۶
	۵۰ s	۵ h	۰/۵۰-۱/۷۳	۱/۳۸-۴/۵۷	۲/۰۴

زمان لایه‌نشانی نانو ذرات نقره و زمان سونش سیلیکون تاثیر مستقیم در ابعاد و عمق نانو حفره‌های ایجاد شده دارند.

با افزایش زمان سونش، عمق نانو حفره‌ها افزایش می‌یابد که تاثیر مستقیم در مقدار بازتاب از سطح دارد. هر چه عمق نانو حفره‌ها بیشتر باشد، ضریب شکست به تدریج افزایش می‌یابد که باعث کاهش بیشتر بازتاب می‌شود. با توجه به جدول شماره ۱ و شکل شماره ۳، افزایش زمان سونش در شرایط یکسان منجر به کاهش قابل توجه مقدار بازتاب در بازه طیفی ۴۰۰-۵۰۰۰ نانومتر شده است.

با افزایش زمان لایه‌نشانی ابعاد نانو ذرات نقره بزرگتر و در نتیجه ابعاد حفره‌ها نیز بزرگتر می‌شود، از طرفی ابعاد حفره‌ها باید به اندازه کافی کوچک باشند تا مانع پراکندگی نور شوند [۶].

همچنین با افزایش زمان لایه‌نشانی، غلظت یون‌های نقره روی سطح افزایش پیدا می‌کند، در صورتی که غلظت به اندازه کافی زیاد باشد نانو ذرات نقره روی سطح ویفر پخش شده و در سطح زیرین نانو ذرات نقره، سیلیکون

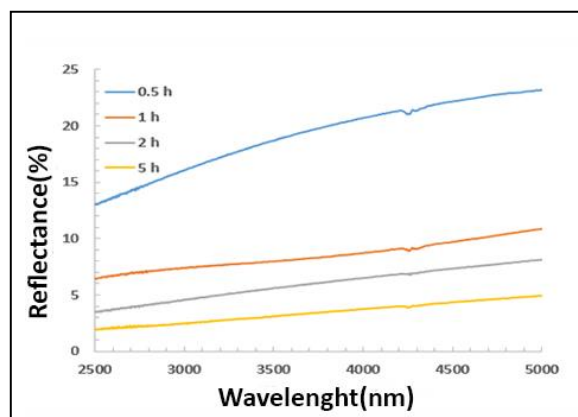
پیشرفته، لایه با بازتاب کم در پهنای طیفی وسیع ساخت، که در بسیاری از صنایع از جمله یاخته‌های خورشیدی کاربرد فراوان دارد.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش نمونه‌ها در زمان لایه‌نشانی و زمان سونش متفاوت با غلظت $(4/6 \text{ M}) \text{ HF}$ ، $(0/44 \text{ M}) \text{ H}_2\text{O}_2$ و $(0/05 \text{ M}) \text{ AgNO}_3$ ساخته شدند که در زمان لایه-نشانی ۴۰ ثانیه و زمان سونش ۵ ساعت، بهینه بازتاب به حدود ۱/۵٪ رسیده است.

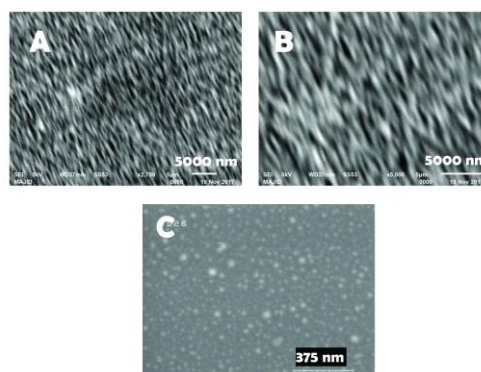
مراجع

- [1] Douglas S. Hobbs, Bruce D. MacLeod, "Design, fabrication, and measured performance of anti-reflecting surface textures in infrared transmitting materials", Proc. SPIE, Vol. 5786, No. 5786, p. 578640, 2005.
- [2] L. L. Ma, Y. C. Zhou, N. Jiang, X. Lu, J. Shao, W. Lu, J. Ge, "Wide-band black silicon based on porous silicon", Applied physics letters, Vol. 88, No. 17, p. 171907, 2006.
- [3] T. song, S.-T. Lee, B. Sun, "Silicon nanowires for photovoltaic application: The progress and challenge", Nano Energy, Vol. 1, No. 5, pp. 654-673, 2012.
- [4] WK. To, CH. Tsang, HH. Li, Z. Huang, "Fabrication of n-type Mesoporous Silicon Nanowires by One-step Etching", Nano Lett, Vol. 11, pp. 5252-5258, 2011.
- [5] K. Peng, X. Wang and S. T. Lee, "Silicon nanowire photoelectrochemical solar cells", Applied Physics Letters, Vol. 92, No. 16, p. 163103, 2008.
- [6] Lu. Yen-Tien, Andrew R. Barron, "Nanopore-type black silver-assisted chemical etching", physical Chemistry chemical Physical, Vol. 15, No. 24, pp. 9862-9870, 2013.
- [7] Cai. Jinguang, Qi. Limin, "Recent advances in antireflective based on nanostructure arrays", Material Horizons, Vol. 2, pp. 37-53, 2015.
- [8] K. Peng, A. Lu, R. Zhang and S. T. Lee, "Motility of metal nanoparticles in silicon and induced anisotropic silicon etching", Advanced Functional Materials, Vol. 18, No. 19, pp. 3026-3035, 2008.



شکل ۳: طیف بازتاب لایه‌های متخلخل تهیه شده با زمان لایه نشانی ۳۰ ثانیه در مدت زمان سونش ۰/۵، ۱، ۲ و ۵ ساعت. (در بازه طیفی ۵۰۰-۲۵۰۰ نانومتر).

شکل ۴، تصاویر SEM نمونه‌ها را با زاویه ۳۰ درجه نشان می‌دهد. با توجه به ساختار نمونه‌ها و در مقایسه با تصویر C که نانو ذرات استفاده شده در متخلخل‌سازی را نشان می‌دهد، با افزایش زمان سونش و زمان لایه‌نشانی نانو ذرات، تخلخل سطح سیلیکون افزایش می‌یابد.



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM): A: زمان سونش ۲ ساعت و زمان لایه نشانی ۳۰ ثانیه. B: زمان سونش ۵ ساعت و زمان لایه نشانی ۴۰ ثانیه. C: نانو ذرات استفاده شده برای متخلخل سازی.

برای رسیدن به کمترین مقدار بازتاب در بازه ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر، باید به بهینه زمان سونش سیلیکون و زمان لایه‌نشانی نانو ذرات نقره رسید. با توجه به نمودارهای شکل ۱، ۲ و ۳، مقدار بازتاب در مدت زمان سونش ۵ ساعت و زمان لایه‌نشانی ۴۰ ثانیه در بازه طیفی ۴۰۰-۲۵۰۰ نانومتر به حدود ۱/۳۲٪ و در بازه طیفی ۲۵۰۰-۵۰۰ نانومتر به حدود ۲/۰۷٪ رسیده است. بنابراین می‌توان با هزینه کم و بدون تجهیزات