

طراحی سلول خورشیدی بر اساس نانو سیم‌های سیلیکونی با پهنای باند جذب نزدیک به یک

مهرنوش صادقی پری^{۱*}، لیلا مهرور^۲، محمدرضا حاج میرزا حیدرعلی^۱، شمس الدین مهاجرزاده^۱، سید حسن توسلی^۲

^۱دانشگاه تهران، دانشکده فنی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، آزمایشگاه نانو الکترونیک

^۲دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشکده لیزر و پلاسما

چکیده - میزان جذب نور پارامتر مهمی در تحقق سلول‌های خورشیدی با بازده بالا است. ترکیب نانوساختارهای سیلیکونی با سلول خورشیدی مبتنی بر ویفرهای سیلیکونی، جذب نور را تقویت و در نتیجه بازده آن افزایش می‌یابد. نانو سیم‌های سیلیکونی با استفاده از روش بخار-مایع-جامد بر روی ویفر سیلیکونی ساخته و پاسخ‌های اپتیکی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. طیف جذب قوی (نزدیک به ۱۰۰٪) با پهنای طول موجی بالا مشاهده شد. میزان افزایش جذب ناشی از مدهای اپتیکی، منجر به تقویت میدان الکتریکی موضعی و در نتیجه به صورت تقویت سیگنال رامان نمایان شده است.

کلید واژه- جذب نور، سیگنال رامان، نانو سیم‌های سیلیکونی

Near-unity broadband absorption designs for nanowire array Thin Film Silicon Solar Cell

Mehrnoosh Sadeghi Pari¹, Leila Mehrvar², Mohammadreza Hajmirzaheydarali¹, Shams.Mohajerzadeh¹, Seyed Hasan Tavassoli²

¹University of Tehran, electrical and computer engineering faculty, Nano Electronic Lab

²Beheshti University, Laser and Plasma Institute

Abstract- The amount of light absorption plays an important role in realizing high efficiency solar cells. Incorporation of silicon nano structures with silicon-based solar cells enhances the absorption of incoming light as well as superior rise in the efficiency of such devices. The silicon nanowires fabricated by the chemical vapor deposition method have been optically investigated. Broadband strong absorption spectra (near 100%) has been obtained. The enhanced absorbed light due to the optical modes has led to rise in the local electric field a consequently enhanced detected Raman signal.

Keywords: light absorption, Raman signal, silicon nanowires

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

مقدمه

نزدیک ساخته شده و پاسخ‌های اپتیکی آن مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-روش ساخت

ویفرهای سیلیکونی n-type با جهت بلوری [۱۱۱] جهت زدایش از آلودگی‌های فلزی و آلی در محلول استاندارد piranha که مخلوطی از $H_2SO_4:H_2O_2(3:1)$ است به مدت پانزده دقیقه قرار گرفته‌اند. سپس برای زدایش اکسید ناشی از فرآیند زدایش قبلی، در محلول HF رقیق قرار می‌گیرند. بلافاصله پس از آن در دستگاه کندو پاش با جریان مستقیم (DC-Sputtering) قرار داده می‌شوند تا لایه‌ی نازکی از طلا به ضخامت تقریبی ۵ nm در فشار ۶۰ mTorr لایه نشانی شود. پس از این مرحله نمونه‌ها در دستگاه لایه نشانی بخار شیمیایی در فشار پایین (LPCVD) قرار داده می‌شوند و فشار محفظه تا ۱.۵ کاهش می‌یابد و سپس گاز آرگون وارد محفظه شده و نمونه‌ها حرارت داده می‌شوند. در دمای بالاتر از ۳۶۳ °C $T_{E,Au-Si}$ درجه سانتیگراد آلیاژ Au-Si تشکیل می‌شود و هنگامی که میزان سیلیکون درون آلیاژ به ۱۸.۶ درصد اتمی رسید، آلیاژ تبدیل به مایع می‌شود. بدین ترتیب تمامی لایه‌ی طلا به جزیره‌های نانو متری طلا به عنوان کاتالیست رشد تبدیل می‌شود. دما همچنان افزایش می‌یابد تا در دمای ۶۰۰ درجه‌ی سانتی گراد که دمای رشد نانو سیم‌ها است، گاز حاوی سیلیکون یعنی ساپلن (SiH_4) با نرخ فلوی ۲۰ sccm وارد محفظه‌ی رشد می‌گردد و فشار داخل محفظه تا ۲ Torr افزایش می‌یابد. در این لحظه مولکول‌های گاز ساپلن در سطح آلیاژ تجزیه شده و اتم‌های سیلیکون وارد آلیاژ می‌شوند و مطابق با دیاگرام فاز هنگامی که درصد اتم‌های سیلیکون از عددی مشخص بالاتر روند، مقدار مازاد به صورت جامد بلوری در می‌آید و از آلیاژ خارج شده و فریز می‌شود و با تکرار این روند، نانو سیم‌ها رشد خواهند کرد. زمان رشد برای نانو سیم‌های رشد داده شده ۱۵ دقیقه بوده است. لازم به ذکر است که زمان رشد است که ارتفاع نانو سیم‌ها را مشخص می‌کند.

مشخصه یابی نانو سیم‌های رشد یافته با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل S-4160 و

امروزه تحقیقات بسیاری در زمینه‌ی سلول‌های خورشیدی و ماده‌ی فعال آن‌ها در حال انجام می‌باشد. سلول‌های خورشیدی مبتنی بر ماده‌ی فعال سیلیکونی سهم ۹۰٪ بازار فوتوولتائیک را به خود اختصاص داده‌اند. مزایای سیلیکون به عنوان ماده‌ی فعال سیستم‌های فوتوولتائیک شامل فراوانی، هزینه‌ی ساخت پایین و عملکرد عالی است. میزان بازدهی سلول‌های خورشیدی به میزان جذب نور وابسته است اما جذب نور در سیلیکون ضعیف است. به همین خاطر برای افزایش جذب نور خورشید به یک لایه‌ی جاذب بر روی آن نیاز است که منجر به افزایش قیمت می‌شود.

نانو سیم‌های نیمه هادی که ساختارهای شبه تک بعدی هستند؛ در دو دهه‌ی اخیر توجه بسیاری از محققان را به دلیل ویژگی‌های بی‌نظیری که دارند، جلب کرده‌اند. نانو سیم‌ها در دو راستا محدود شده‌اند و در راستای سوم ابعاد دلخواهی می‌توانند داشته باشند. همین محدود شدن در ابعاد، دستیابی به ویژگی‌های خاصی را در اثر پدیده‌های کوانتومی امکان‌پذیر می‌سازد که در ساختارهای توده‌ای (bulk) دست نیافتنی است. نانو سیم‌های سیلیکونی، به دلیل سازگاری آن‌ها با تکنولوژی استاندارد CMOS و همچنین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، اپتیکی و الکترونیکی خاص و نسبت سطح به حجم بالا از میان سایر نانوسیم‌های نیمه هادی بیشتر مورد توجه بوده‌اند. به همین جهت، تحقیقات گسترده‌ای بر روی روش‌های رشد که از میان آن‌ها روش بخار-مایع-جامد (VLS)، پر کاربردترین روش است، صورت پذیرفته است [۱]. این ویژگی‌های و توانایی در مهندسی این خصوصیات، سبب شده است که نانو سیم‌های سیلیکونی در کاربردهای گسترده‌ای از جمله در سلول‌های خورشیدی [۲]، باتری‌ها [۳]، ترانزیستورهای اثر میدانی [۴] و... استفاده شده‌اند.

مطالعات زیادی جهت ترکیب نانوساختارهای سیلیکونی مانند نانوسیم‌ها [۵]، نانومخروط‌ها [۶] و نانواستوانه‌ها [۷] با سلول خورشید سیلیکونی به منظور تقویت میزان جذب پرداخته و قابلیت گیراندازی شدید نور توسط این نانوساختارها نشان داده شده است. در این مقاله نانوسیم‌های سیلیکونی به منظور دستیابی به جذب نزدیک به ۱۰۰٪ در بازه‌ی طول موجی مرئی و مادون قرمز

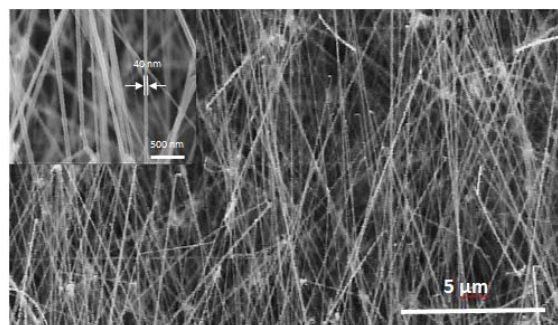
سیم‌های سیلیکونی با قطر حدود ۸۰-۲۰ nm و طول تقریبی ۵۰-۲۰ μm ، همان‌گونه که به وضوح در شکل‌های ۱ و ۲ مشخص است، نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که این نانوساختارهای سیلیکونی در بازه‌ی طول‌موجی ۳۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر دارای جذب تقریباً ۱۰٪ و در بازه‌ی طول‌موجی ۶۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر دارای جذب بیشتر از ۸۰٪ است. این جذب بسیار قوی به دلیل جفت شدگی فوتون‌های فرودی به مدهای اپتیکی درون وایرهای سیلیکونی می‌باشد. در حقیقت نانو سیم‌های سیلیکونی همچون موجبر عمل کرده و مدهای اپتیکی را در خود منتشر می‌کنند و این مدهای اپتیکی در طیف جذب نمایان می‌شوند. به دلیل تغییرات اندک در قطر نانو سیم‌ها، مدهای مختلفی برانگیخته شده و هم‌پوشانی آن‌ها، جذب با پهنای طول موجی زیادی را فراهم کرده است. بستگی به ابعاد هندسی ساختار برخی از مدهای موجبر اطراف نانو سیم‌های سیلیکونی متمرکز می‌شوند و برخی از مدهای اپتیکی انرژی را به زیرلایه‌ی سیلیکونی زیرین منتقل می‌کنند.

پاسخ اپتیکی میدان دور ناشی از تشدیدهای نانو سیم‌ها با توجه به طیف جذب آن‌ها قابل توضیح می‌باشد. همان‌طور که در بالا بیان شد مدهای اپتیکی در اطراف نانو سیم‌ها متمرکز شده و منجر به افزایش میدان الکتریکی موضعی می‌شوند. به منظور تحقیق شدت میدان موضعی، شدت پراکندگی رامان با استفاده از یک میکروسکوپ رامان با طول‌موج برانگیختگی ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری شده است. طیف رامان ویفر سیلیکونی و نانو سیم‌ها اندازه‌گیری و در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که خط ۵۲۱ معکوس سانتیمتر در نانو سیم‌های سیلیکونی نسبت به ویفر سیلیکونی ۳ برابر تقویت شده است. این تقویت سیگنال ناشی از افزایش تشدید میدان اپتیکی نزدیک نانو سیم‌ها می‌باشد. در حقیقت به خاطر هم‌پوشانی طول‌موج فرودی با مدهای اپتیکی، سیگنال رامان تقویت شده است.

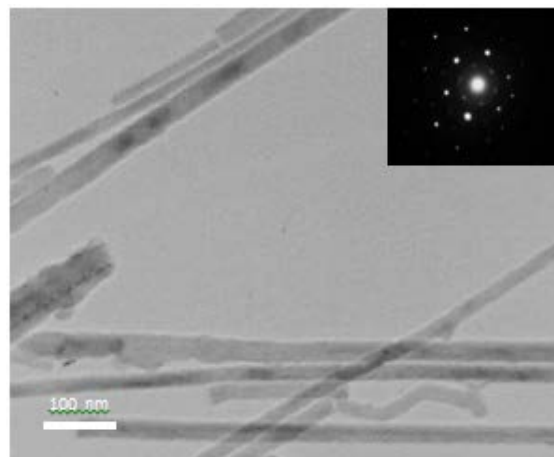
میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مدل CM30 صورت گرفته است. تصاویر SEM و TEM نانوسیم‌های رشد یافته، به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ آورده شده است که به وضوح می‌توان قطر و ارتفاع نانو سیم‌های رشد یافته را مشاهده نمود. همچنین همان‌طور که از الگوی پراش الکترونی در پیوست شکل ۲ مشخص است نانو سیم‌ها، بلوری بوده و دارای آرایش بلوری <۱۱۱> هستند.

۳- نتایج اپتیکی

به منظور بررسی پاسخ‌های اپتیکی، طیف جذب نانو سیم‌های سیلیکونی و ویفر سیلیکونی اندازه‌گیری و در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱: تصویر SEM نانو سیم‌های رشد یافته.

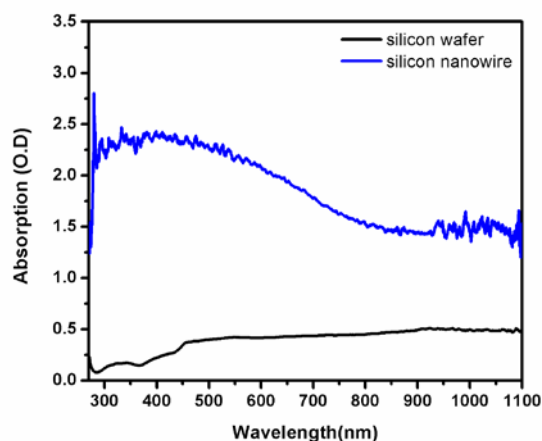


شکل ۲: تصویر TEM نانو سیم‌های رشد یافته. در پیوست، الگوی پراش دیده می‌شود.

مشاهده می‌شود که ویفر سیلیکونی دارای جذب کمتر از ۵۰٪ در تمام بازه‌ی طول‌موجی مرئی و مادون قرمز نزدیک است. جذب ضعیف ویفر سیلیکونی ناشی از گاف انرژی غیرمستقیم سیلیکون است که بازده تبدیل انرژی را محدود می‌کند. همچنین در شکل ۳ طیف جذب نانو

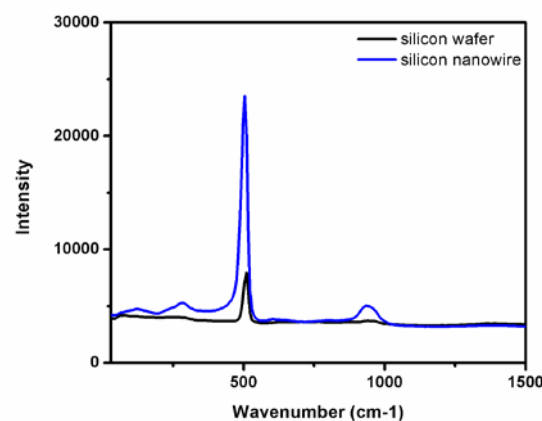
مراجع

- [1] ByVolker Schmidt,* Joerg V. Wittemann, Stephan Senz, and Ulrich Go`sele, "Silicon Nanowires: A Review on Aspects of their Growth and their Electrical Properties", *ADVANCED MATERIALS*, 2009.
- [2] Simon Perraud, Se`verine Poncet, Se`bastien Noe`l, Michel Levis, Pascal Faucherand, Emmanuelle Rouvie`re, Philippe Thony, Claude Jaussaud, Re`gis Delsol, "Full process for integrating silicon nanowire arrays into solar cells", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2009.
- [3] Chan, Candace K., Hailin Peng, Gao Liu, Kevin McIlwrath, Xiao Feng Zhang, Robert A. Huggins, and Yi Cui, "High-performance lithium battery anodes using silicon nanowires", *nature nanotechnology*, 2008.
- [4] Kyung Soo Yi, Krutarth Trivedi, Herman C. Floresca, Hyungsang Yuk, Walter Hu, Moon J. Kim, , "Room-Temperature Quantum Confinement Effects in Transport Properties of Ultrathin Si Nanowire Field-Effect Transistors", *Nano Letters*, 2011.
- [5] Garnett E, Yang P, "Light trapping in silicon nanowire solar cells", *Nano Letters*, 2010.
- [6] Zhu J, Yu Z, Burkhard GF, Hsu CM, Connor ST, Xu Y, Wang Q, McGehee M, Fan S, Cui Y, "Optical absorption enhancement in amorphous silicon nanowire and nanocone arrays" *Nano Letters*, 2008.
- [7] Fan Z, Razavi H, Do JW, Moriwaki A, Ergen O, Chueh YL, Leu PW, Ho JC, Takahashi T, Reichertz LA, Neale S, Yu K, Wu M, Ager JW, Javey A, "Three-dimensional nanopillar-array photovoltaics on low-cost and flexible substrates" *Nat Mater*, 2009.



شکل ۳: طیف جذب ویفر سیلیکونی و نانو سیم‌های

سیلیکونی.



شکل ۴: طیف رامان اندازه‌گیری شده برای ویفر سیلیکون و نانو سیم‌های سیلیکونی.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به منظور افزایش جذب در سلول‌های خورشیدی، نانو سیم‌های سیلیکونی ساخته شده است. طیف جذب اندازه‌گیری شده نشان داده است که این ساختار در ناحیه‌ی مرئی بیشتر از ۹۰٪ جذب را افزایش می‌دهند. طیف رامان اندازه‌گیری و تقویت سیگنال مشاهده شده است. نتایج نشان می‌دهند که افزایش جذب و رامان به خاطر برانگیزش مدهای اپتیکی در نانوسیم‌های سیلیکونی می‌باشد.