بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

ساخت نانوساختارهای متخلخل سیلیکونی نورگسیل، براساس زدایش شیمیایی به‌کمک لایه فلزی

نادره سیفلو، دکتر سارا دربارى

دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده برق و کامپیوتر

چکیده – زدایش شیمیایی به‌کمک فلز سیلیکون در یک محلول آبی هیدروفلوریک اسید و آب اکسیژنه برای ساخت سیلیکون متخلخل انجام شد. در این مطالعه، نانوذرات طلا به عنوان کاتالیزور در نظر گرفته‌شد و تاثیر کاتالیزور با شرایط مختلف زدایش بر روی خواص اپتیکی سیلیکون متخلخل ساخته‌شده مورد بررسی قرار گرفت. مورفولوژی نانوساختار ایجاد شده سیلیکونی به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی تابش میدانی(*FESEM*) مشخصه‌یابی شد. نشان داده می‌شود که مورفولوژی نانوساختار سیلیکونی ایجاد شده به‌طور قابل ملاحظه‌ای به ضخامت لایه کاتالیزور بستگی دارد و زمان زدایش مستقیماً بر خواص اپتیکی و ساختاری سیلیکون متخلخل ایجاد شده تاثیر می‌گذارد. عمق تخلخل نسبت به زمان زدایش افزایش می‌یابد. ایجاد تخلخل در سیلیکون باعث ایجاد پیک فوتولومینسانس در محدوده نور مرئی می‌شود. ساختارهای ایجاد شده کاندیدای امیدبخشی برای تولید افزاره‌های اپتوالکترونیکی با ابعاد نانومتری هستند.

کلید واژه- خواص اپتیکی، زدایش به کمک فلز، سیلیکون متخلخل، کاتالیزور طلا

Fabrication of light emitting porous silicon nanostructures, based on metal-assisted chemical etching

Nadereh Seiflou, Dr. Sara Darbari

Electrical & computer engineering department, university of Tarbiat Modares, Tehran, Iran

Abstract- The metal-assisted chemical etching of silicon in an aqueous solution of hydrofluoric acid and hydrogen peroxide is established for the fabrication of porous silicon (PS). In this study, gold nanoparticle (Au) are considered as catalysts and the effect of different conditions on the structural and optical properties of the fabricated PSs is investigated. The morphology of fabricated nanostructure is characterized by field emission scanning electron microscopy (FESEM). It is shown that the morphology of the fabricated silicon nanostructures remarkably depends upon the catalyst layer thickness, and the catalyst etching time directly affects the structural and optical properties of the synthesized PSs. The pore's depth increase with etching time. Creating the pores in silicon caused the photoluminescence to create in the range of visible light. The synthesized PSs can be considered as a promising candidate for the generation of nano-scale opto-electronic devices.

Keywords: gold catalyst; Metal-assisted etching; Optical properties; Porous Silicon

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

۱- مقدمه

نانوساختارهای نیمه‌هادی به‌دلیل خواص ساختاری، اپتیکی، الکترونیکی، مکانیکی و حرارتی منحصر به فرد آن‌ها در دهه-های گذشته توجه قابل ملاحظه ای را به خود جلب کرده‌اند. چون سیلیکون به‌عنوان یک ماده نیمه‌هادی فراوان و غیر-سمی کاربردهای گسترده‌ای یافته است، به‌نظر می‌رسد سیلیکون متخلخل کاندیدای مناسبی برای توسعه تکنولوژی نیمه‌هادی باشد. در پژوهش‌های اخیر استفاده کاربردی از این نانوساختارها در صنایع انرژی، دارویی و اپتوالکترونیک به‌طور قابل توجهی پررنگ شده است. برای سنتز سیلیکون متخلخل روش‌های زیادی وجود دارد. در سال‌های اخیر روش زدایش شیمیایی به‌کمک فلز(MACE) به‌دلیل مزایای قابل توجه آن همچون هزینه کم و سادگی ساخت نواحی سطح بزرگ و امکان کنترل پارامترهای گوناگون از جمله شکل سطح مقطع، عمق و قطر تخلخل، بسیار مورد توجه بوده است. این روش مراحل زیر را شامل می شود. در ابتدا یک فلز نجیب مانند طلا، نقره یا پلاتین به صورت نانوذرات یا یک لایه نازک روی یک سطح سیلیکونی نشانده می‌شود. کاتالیزور فلزی می تواند توسط روش تبخیر(evaporation)، اسپین کوتینگ یا اسپاترینگ لایه نشانی شود یا در محلول شامل هیدروفلوریک اسید و نمک‌های فلز خاصی تشکیل شود. در مرحله دوم نمونه های سیلیکون پوشده‌شده با فلز در یک محلول زدایش شامل هیدروفلوریک اسید و یک عامل اکسید کننده، عمدتا آب اکسیژنه(H_2O_2)، غوطه‌ور می‌شوند. در طول پروسه زدایش، سیلیکون زیر فلز نجیب سریع‌تر از سیلیکون بدون پوشش فلز نجیب زدوده می‌شود. در نتیجه فلز در بستر فرو می‌رود و حفره یا وایر ایجاد می‌شود. عوامل زیادی از جمله ویژگی های ذاتی بستر، غلظت زداینده، زمان و دمای زدایش بر مورفولوژی سطح تأثیر می‌گذارد. جزئیات هندسی ساختار تشکیل‌شده عمدتاً به مورفولوژی اولیه پوشش فلز نجیب (ضخامت، نوع و ...) و فاصله بین کاتالیزور فلزی وابسته است. نانوذراتِ فلزِ جدا از هم، حفره های ایزوله ای ایجاد می‌کنند در حالی‌که به‌وسیله ذرات فلز با دانسیته بالا ساختارهای سیم ایزوله‌ای تشکیل می‌شود. مطالعات کمی بر روی ضخامت، نوع و مورفولوژی فلز نجیب در پروسه ساخت سیلیکون متخلخل انجام شده است [۱].

فوتولومینسانس برای سیلیکون متخلخل در مقایسه با میزان آن برای بستر سیلیکون کریستالی به شدت افزایش می‌یابد. این اثر می‌تواند به عنوان افزایشی در شدت برانگیختگی سیلیکون متخلخل به دلیل پراکندگی شدید نور و محلی-سازی جزئی نور در یک محیط اپتیکی ناهمگن تفسیر شود [۲].

همراه با فوتولومینسانس داخل باند، فوتولومینسانس سیلیکون متخلخل در ناحیه طیفی ۷۰۰-۵۰۰ نانومتر با ماکزیممی در حدود ۵۶۰ نانومتر مشاهده شد که می تواند با بازترکیب تابشی الکترون- حفره‌ها در نانوکریستال‌های سیلیکونی کوچک در دیواره‌های نانوحفره‌ها بر حسب یک مدل محصورشدگی کوانتومی توضیح داده شود. بنابراین سیلیکون متخلخل ساخته‌شده پتانسیل استفاده در کاربردهای فوتونیک و فتوولتاییک را دارد.

گاف انرژی در نوار انرژی نانوساختارهای سیلیکونی مستقیم است. علت این موضوع، پدیده محصورشدگی کوانتومی است. در این پدیده با کوچکتر شدن اندازهٔ ذرات و ساختارهایی که ترابرد الکترونی صورت می‌گیرد، ترازهای انرژی از حالت نوار به ترازهای گسسته و وابسته به اندازهٔ ساختار تغییر می‌کند و اثرات لبه و مرز در ساختار به‌شدت مهم می‌شود [۳].

در این مطالعه، از طلا، برای ساخت سلیکون متخلخل از طریق زدایش شیمیایی به‌کمک فلز استفاده شده است. همچنین در زمینه اثرات طلا به‌عنوان کاتالیزور فلز نجیب با زمان‌های زدایش مختلف روی مورفولوژی، ساختار و خواص فوتولومینسانس (PL) ساختار مطالعاتی انجام شده است.

۲- روش آزمایش

سیلیکون متخلخل به‌وسیله زدایش شیمیایی به‌کمک فلز ویفرهای سیلیکون نوع p با جهت کریستالی(۱۰۰) با مقاومت ویژه ۱۰-۱ اهم سانتی‌متر انجام می‌شود. این پروسه سنتز چهار مرحله را شامل می‌شود: (۱) برای تمیزکاری ویفرها از روش RCA (نسبت حجمی NH_3 : H_2O_2 :H_2O = ۵:۱:۱) استفاده شد. به این ترتیب که آب DI را تا ۸۰ درجه سیلسیوس گرم می‌کنیم و سپس محلول‌های NH_3 و H_2O_2 را به آن اضافه می‌کنیم. محلول به دست آمده را روی ویفرها می‌ریزیم. ویفرها ۱ ساعت در محلول می‌مانند و سپس با آب DI شسته و خشک می‌کنیم [۴]. (۲) لایه نازکی از محلول نانوذرات طلای سنتز شده را روی ویفر

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

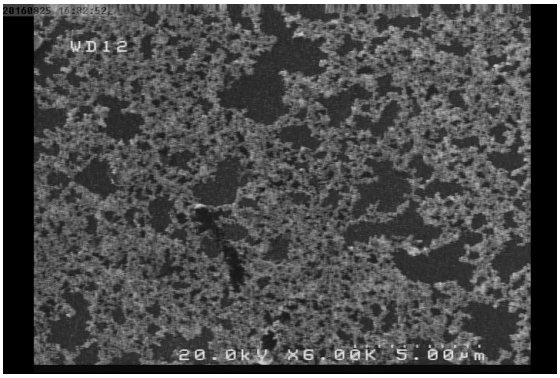
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

سیلیکون قرار داده و در دمای ۸۰ درجه در آون خشک می-کنیم. سپس لایه دیگری روی لایه قبلی قرار داده به همان ترتیب خشک می‌کنیم [۵]. (۳) ویفرهای سیلیکون پوشیده-شده با فلز طلا داخل محلول زدایش شامل $HF:H_2O_2:H_2O$ به نسبت‌های (۲:۱:۸) و (۳:۱:۵) و برای زمان‌های زدایش مختلف ۴۵ و ۹۰ دقیقه در یک ظرف پلاستیکی قرار داده می‌شوند. (۴) ویفرها مجدداً با آب شسته و خشک می‌شوند.

مشخصه‌یابی ساختار متخلخل با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی تابش میدانی(FESEM) انجام می‌شود. مشخصه‌یابی اپتیکی از طریق اندازه‌گیری فوتولومینسانس انجام شد. طیف بازتابی نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر UV-visible اندازه‌گیری شد.

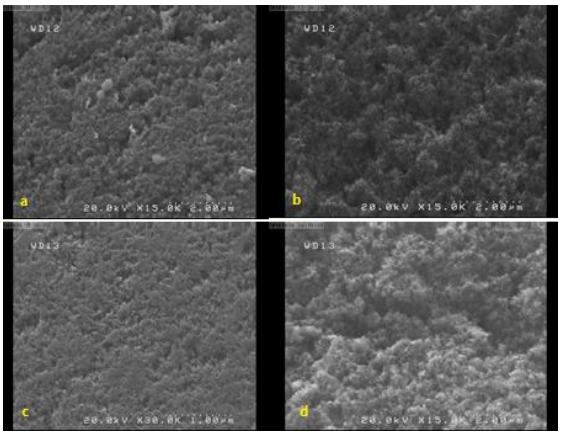
۳- نتایج

شکل ۱ تصویر FESEM لایه نازک نانوذرات طلای نشانده-شده روی بستر سیلیکون را نشان می‌دهد.



شکل ۱. تصویر FESEM لایه نازک نانوذرات طلا.

شکل ۲ تصاویر FESEM مربوط به ساختارهای سیلیکون متخلخل را نشان می‌دهد. شکل ۲(a) مربوط به سیلیکون زدوده‌شده در محلول زدایش شامل $HF:H_2O_2:H_2O$ به-نسبت ۲:۱:۸ با زمان زدایش ۴۵ دقیقه، شکل ۲(b) مربوط به سیلیکون زدوده‌شده در محلول زدایش شامل $HF:H_2O_2:H_2O$ به‌نسبت ۲:۱:۸ با زمان زدایش ۹۰ دقیقه، شکل ۲(c) مربوط به سیلیکون زدوده‌شده در محلول زدایش شامل $HF:H_2O_2:H_2O$ به‌نسبت ۳:۱:۵ با زمان زدایش ۴۵ دقیقه، شکل ۲(d) مربوط به سیلیکون زدوده‌شده در محلول زدایش شامل $HF:H_2O_2:H_2O$ به‌نسبت ۳:۱:۵ با زمان زدایش ۹۰ دقیقه است.



شکل ۲. تصویر FESEM از ساختارهای سیلیکون زدوده‌شده با محلول زدایش شامل $HF:H_2O_2:H_2O$ به‌نسبت (a) و (b) ۲:۱:۸ و زمان زدایش به ترتیب ۴۵و ۹۰ دقیقه و (c) و (d) ۳:۱:۵ و زمان زدایش به‌ترتیب ۴۵ و ۹۰ دقیقه.

شکل ۳ طیف فوتولومینسانس نانوساختارهای سیلیکونی متخلخل به‌دست آمده از طریق زدایش به‌کمک طلا را برای ساختارهای مختلفِ مورد بررسی روی طول موج های ۷۰۰-۵۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. نمودار آبی روشن مربوط به شکل ۲(d)، نمودار بنفش مربوط به شکل ۲(c)، نمودار قرمز مربوط به شکل ۲(b) و نمودار سرمه ای مربوط به شکل ۲(a) است. همانطور که مشاهده می‌شود برای نمونه‌های ۲(a) و ۲(c) پیکی در نمودار فوتولومینسانس وجود ندارد. با افزایش زمان زدایش و درنتیجه افزایش عمق زدایش پیکی در ناحیه طیفی ۷۰۰-۵۰۰ نانومتر با ماکزیممی در حدود ۵۶۰ نانومتر مشاهده می‌شود که برای نمونه ۲(d) بیشتر از نمونه ۲(b) می‌باشد. درواقع همراه با فوتولومینسانس داخل باند(در طول‌موج‌های کمتر از ۴۰۰ نانومتر که در نمودار نمایش داده نشده است.)، فوتولومینسانس سیلیکون متخلخل نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۳ .طیف فوتولومینسانسِ سیلیکون متخلخل در ناحیه طیفی ۷۰۰-۵۰۰ نانومتر.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

۴- نتیجه‌گیری

ما نشان دادیم که پروسه زدایش شیمیایی به‌کمک فلز می-تواند برای ساخت سیلیکون متخلخل قابلِ کنترل استفاده شود. طیف فوتولومینسانس تحت تأثیر مورفولوژی سطح سیلیکون متخلخل است و در زمان های زدایش کم تابش فوتولومینسانس مشاهده نمی‌شود. در واقع ساختار های زدایش‌شده با زمان بیشتر عمق تخلخل بیشتری دارند و از نظر اپتیکی فعال‌تر هستند. در واقع سیلیکون کپه‌ای(bulk) پیک فوتولومینسانس در ناحیه مرئی ندارد اما در نانوساختار ما همراه با فوتولومینسانسِ داخل باند، فوتولومینسانس سیلیکون متخلخل در ناحیه طیفی ۷۰۰-۵۰۰ نانومتر با ماکزیممی در حدود ۵۶۰ نانومتر مشاهده می شود. بنابراین سیلیکون متخلخل ساخته شده پتانسیل استفاده در کاربردهای فوتونیک و فتوولتاییک را دارد.

مراجع

[1] M. Lajvardi, H. Eshghi, M. Izadifard, M. Ghazi and A. Goodarzi, "Effects of silver and gold catalytic activities on the structural and optical properties of silicon nanowires.," *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, Vol. 75, pp. 136-143, 2016.

[2] K. Gonchar, A. Zubairova, A. Schleusene, L. Osminkina and V. Sivakov, "Optical Properties of Silicon Nanowires Fabricated by Environment-Friendly Chemistry," *Nanoscale Research Letters*, Vol. 11, No. 1, p. 357, 2016.

[3] M. Hasan, M. Huq and Z. Mahmood, "A review on electronic and optical properties of silicon nanowire and its different growth techniques," *SpringerPlus*, Vol. 2, p. 1, 2013.

[4] W. Kern, *Overview and eVolution of silicon wafer cleaning technology*, Handbook of Silicon Wafer Cleaning Technology 2, p. 24, 2008.

[5] F. F. AL-Kazazz, K. A. F. AL-Imarah, I. AL-Hasnawi and B. A. Abdul-Majeed, "A Simple Method for Synthesis, Purification and concentration Stabilized Goldnanoparticles," *Engineering Research and Applications*, Vol. 3, No. 6, pp. 21-30, 2013.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]