

ساخت سیلیکان متخلخل در تخلخل های مختلف جهت کاربردهای رسانای نوری

مریم قزل ایاغ، رضا ثابت داریانی

گروه فیزیک، دانشگاه الزهرا (س)

چکیده - سیلیکان متخلخل در صنعت اپتوالکترونیک به خصوص در دیود های نوری و سلول های خورشیدی کاربرد بسیاری دارد. در این مقاله، سیلیکان متخلخل از ویفر سیلیکان نوع p تحت چگالی جریان های $20, 25, 30, 35 \text{ mA/cm}^2$ و زمان خوردگی و غلظت محلول الکترولیت ثابت در فرآیند آندی سازی ساخته شد. میزان تخلخل و ضخامت لایه ها با توجه به تصاویر SEM و توسط نرم افزار $Digimizer$ محاسبه شدند. طبق آزمایش های انجام شده با افزایش چگالی جریان خوردگی، میزان تخلخل و ضخامت لایه ها افزایش می یابد.

کلیدواژه: رسانای نوری، سیلیکان، سیلیکان متخلخل.

Fabrication of porous silicon at different porosities for optical conductive applications

M. Ghezelayagh ; R. S. Dariani

Department of Physics, Alzahra University

Abstract- Porous silicon has many applications in optoelectronics industry especially in light emitting diodes and solar cells. In this paper, porous silicon was made from p-type silicon under current densities of 20, 25, 30, and 35 mA/cm² with constant etching time and electrolyte concentration at anodizing process. Porosity and thickness of layers were measured by SEM images and Digimizer software. According to our results, porosity and thickness of layers increase with increasing etching current density.

Keywords: Optical conductive, Silicon, Porous silicon.

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

۱- مقدمه

سازی بستگی دارد. مهم ترین عوامل آن غلظت اسید HF، چگالی جریان آندی سازی، مدت زمان آندی سازی و جهت گیری بلوری ویفر سیلیکان می باشند. ساده ترین نوع سلول الکتروشیمیایی بشر تفلون که مقاوم به اسید است، می باشد. ویفر سیلیکان در فرآیند آندی سازی به عنوان آند عمل می کند و از پلاتین که در برابر اسید HF مقاوم است به عنوان کاتد استفاده می شود.

از سیلیکان متخلخل در LED ها به دلیل خاصیت نوری آن و کارایی بهتر آن نسبت به دیگر مواد، به طور وسیع استفاده می شود. لایه های نانوساختار سیلیکان متخلخل به سبب خاصیت نورتایی مرئی در دمای اتاق، مواد امید بخشی در زمینه های اپتوالکترونیک می باشند. همچنین کاربردهایی در زمینه های ساخت فیلترها و تشدیدکننده های فابری-پرو، آینه های لیرز پهن باند و بلورهای فوتونیک دارند.

هدف این پژوهش، بررسی مقدار تخلخل و ضخامت لایه متخلخل با چگالی جریان متفاوت هنگامی که مدت زمان آندی سازی و غلظت محلول الکتروشیمیایی ثابت، می باشد.

۲- روش ساخت نمونه

ویفر سیلیکان نوع p (آلاییده با بورن) با جهت بلوری (100) برای این کار انتخاب شد. ابتدا به روش تبخیر گرمایی یک لایه رسانای آلومینیوم (Al) به ضخامت حدود یک میکرون در پشت ویفر نشانداده شد تا از آن به عنوان الکتروند آند استفاده نمود. بعد از خارج کردن ویفر از کوره الکتريکی نمونه ها در قطعات کوچک ($1 \times 1 \text{ cm}^2$) برش زده شد. نمونه ها ابتدا با استون، سپس آب و در نهایت اتانول شستشو داده شد و قطعه سیم مسی توسط چسب نقره به لایه آلومینیوم چسبانده شد. برای جلوگیری از تماس الکتروند Al با اسید، روی آن و ۲ سانتی متر از سیم که داخل محلول الکترولیت قرار می گرفت با وکس پوشانده شد. الکتروند به طور کاملاً موازی به فاصله یک سانتیمتر از پلاتین که به عنوان کاتد استفاده می شود، قرار داده شد (شکل ۱). محلول الکترولیت، شامل اسید فلوریدیک (40%) و اتانول (92.5%) است با نسبت حجمی (۱:۱) به داخل بشر تفلون ریخته شد. سلول را در مدار الکتريکی قرار داده و منبع تغذیه را روشن می کنیم.

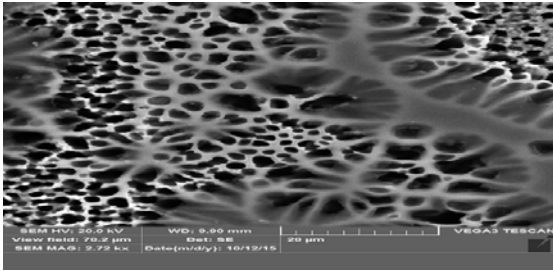
سیلیکان نیمه رسانایی است که کاربرد بسیار زیادی در صنعت الکترونیک دارد. اوهرل^۱ که از روش خوردگی شیمیایی برای برداشتن لایه های آسیب دیده ویفر سیلیکانی استفاده می کرد در سال 1956 سیلیکان متخلخل را به طور تصادفی کشف کرد [1]. در سال 1958 ترنر^۲ به این نتیجه رسید که لایه های متخلخل در محلول اسید هیدروفلوئوریک (HF) هنگامی تشکیل می شود که مقدار چگالی جریان از یک مقدار بحرانی کمتر باشد [2]. در سال 1990 کنهم^۳ خاصیت فوتولومینسانسی سیلیکان متخلخل را کشف کرد [3]. گاف نواری سیلیکان متخلخل در حدود 2.1 eV است که این مقدار در ناحیه مرئی قرار گرفته است و با توجه به اینکه اکثر نیم رساناهایی که گاف نواری آن ها در ناحیه مرئی قرار می گیرند، مستقیم هستند لذا گاف نواری سیلیکان متخلخل نیز مستقیم به شمار می رود. سطح سیلیکان متخلخل در به دام انداختن نور موثر است و نور بسیار اندکی را منعکس می کند پس برای کاربردهای فوتوولتایی و ساخت سلول های خورشیدی مورد استفاده قرار می گیرد [4-8]. سیلیکان متخلخل نقش بسیار مهمی در رفتار اپتیکی و الکتريکی قطعات اپتوالکترونیک دارد. خواص الکترونیک، مکانیکی و سایر خواص فیزیکی سیلیکان متخلخل، از نوعی به نوع دیگر متفاوت است و به علت همین خواص گوناگون و قابل تنظیم است که سیلیکان متخلخل در زمینه های بسیاری از جمله الکترونیک، میکروالکترونیک، اپتیک، اپتوالکترونیک و ساخت انواع حسگرها، سلول های خورشیدی، موجبرها، آینه های دی الکتريک، میکروکاوک ها و دیودهای نوری کاربرد فراوانی دارد [9-10].

متداول ترین روش برای ساخت سیلیکان متخلخل استفاده از خوردگی الکتروشیمیایی ویفر سیلیکان در محلول های الکترولیت حاوی اسید HF با غلظت ۲۰ تا ۵۰ درصد تحت شرایط کنترل شده است. تمامی ویژگی های سیلیکان متخلخل که شامل تخلخل، ضخامت لایه، قطر منافذ و ساختار آن می باشد به شدت به شرایط آندی

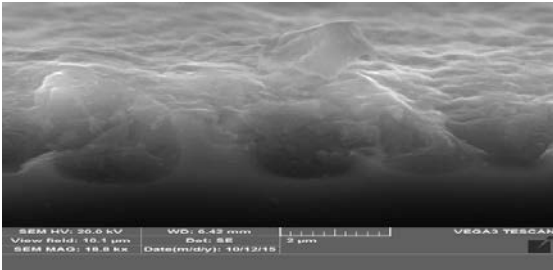
¹ Uhlir

² Turner

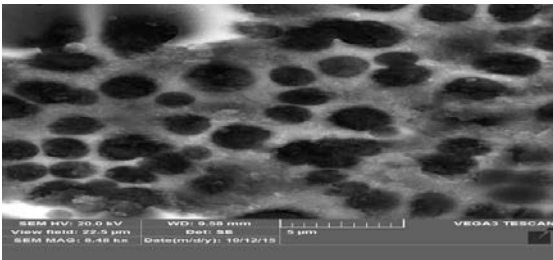
³ Canham



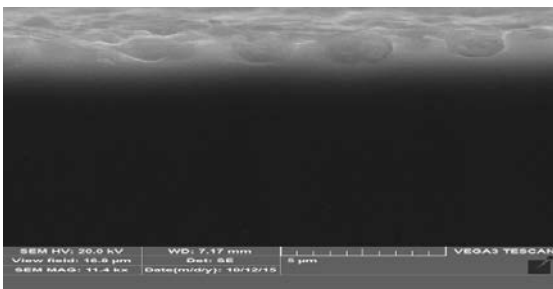
شکل ۲: تصویر از سطح نمونه ۱ در مقیاس ۲۰ میکرون.



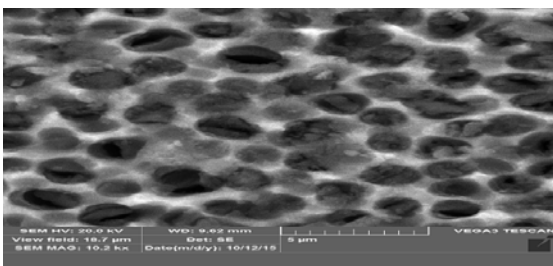
شکل ۳: تصویر برش عرضی نمونه ۱ در مقیاس ۲ میکرون.



شکل ۴: تصویر از سطح نمونه ۲ در مقیاس ۵ میکرون.

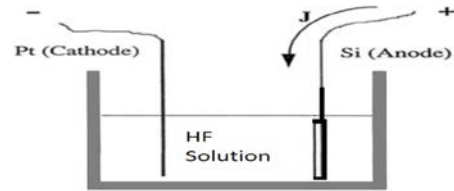


شکل ۵: تصویر برش عرضی نمونه ۲ در مقیاس ۵ میکرون.



شکل ۶: تصویر از سطح نمونه ۳ در مقیاس ۵ میکرون.

شدت جریان های عبوری DC را از مدار با چگالی های $20, 25, 30, 35 \text{ mA/cm}^2$ به مدت زمان ثابت (10 دقیقه) از مدار عبور داده و در انتها بعد از متخلخل شدن، نمونه ها از محلول خارج، در اتانول شستشو داده و در هوای آزاد قرار داده تا خشک شوند.



شکل ۱: سلول الکترولیت

۳- بحث

مورفولوژی و ساختار نمونه های بدست آمده سیلیکان متخلخل توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر نمونه ها هم از روی سطح و هم برش عرضی آن ها در شکل های ۲ تا ۹ آورده شده است. درصد تخلخل و ضخامت لایه متخلخل نمونه ها از روی تصاویر SEM به وسیله نرم افزار Digimizer اندازه گیری شد. توسط نرم افزار مساحت تک تک حفره ها در سطح محاسبه و جمع زده شده و سپس بر مساحت سطح میانگین گیری می شود بدین ترتیب درصد تخلخل بدست می آید. با اندازه گیری عمق حفره تا سطح نیز ضخامت لایه متخلخل اندازه گیری می شود. همان طور که در شکل ۲ که مربوط به نمونه با چگالی جریان 20 mA/cm^2 است مشاهده می شود اندازه حفره ها و تعداد حفره ها نسبت به شکل های ۴، ۶ و ۸ کمتر است و بیشترین تعداد حفره در شکل ۸ که مربوط به نمونه با چگالی جریان 35 mA/cm^2 است بدست می آید. نمونه ۴ با چگالی جریان 35 mA/cm^2 (شکل ۹) مشاهده می شود که نسبت به دیگر نمونه ها که در شکل های ۳، ۵ و ۷ به ترتیب با چگالی جریان $20, 25, 30 \text{ mA/cm}^2$ هستند بیشترین ضخامت لایه متخلخل را دارا بوده اما به علت ریزش سطح متخلخل، این مقدار به طور واضح در شکل مشاهده نمی شود.

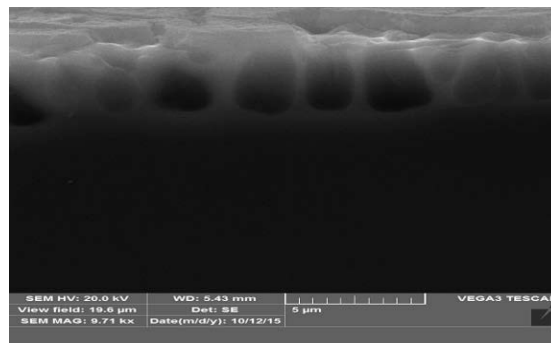
همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، برای مدت زمان خوردگی ثابت ۱۰ دقیقه با افزایش چگالی جریان خوردگی میزان تخلخل و ضخامت لایه افزایش می یابد. طبق جدول ۱ با افزایش چگالی جریان خوردگی، ضخامت نمونه ها از $2 \mu\text{m}$ تا حدود $5 \mu\text{m}$ تغییر می کند. علت آن را می توان اینچنین توضیح داد که نمونه ها در مدت زمان ثابت با افزایش چگالی جریان، شدت خوردگی بیشتر می شود پس بیشتر به داخل حفره ها نفوذ کند. همچنین با افزایش چگالی جریان مشاهده می شود که درصد تخلخل از ۵۱% تا ۸۱% افزایش می یابد. افزایش درصد تخلخل می تواند ناشی از افزایش تعداد حفره ها یا بزرگ شدن پهنای حفره ها در اثر خوردگی باشد که ما در نمونه ها شاهد افزایش تعداد حفره ها بودیم.

۴- نتیجه گیری

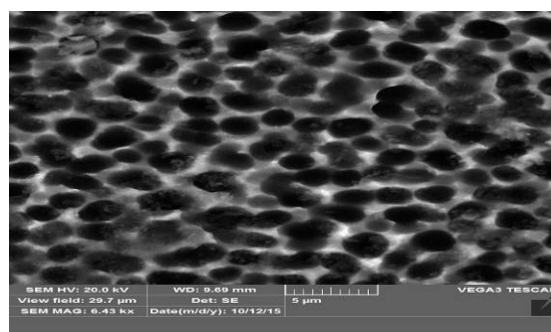
در این پژوهش، سیلیکان متخلخل از سیلیکان نوع p تحت چگالی جریان های $20, 25, 30, 35 \text{ mA/cm}^2$ در مدت زمان ۱۰ دقیقه و الکترولیت ثابت متخلخل شدند. نتایج نشان داد با افزایش چگالی جریان خوردگی ضخامت لایه متخلخل و درصد تخلخل افزایش یافته است.

مراجع

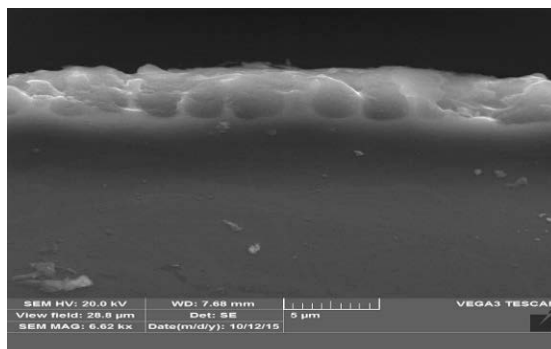
- [1] A. Uhler, Bell System Tech. J. 35, 333, 1956.
- [2] D. R. Turner, J. Electrochem. Soc. 103, 252, 1956.
- [3] L. T. Canham, Applied Physics Letters 57, 1045-1048, 1990.
- [4] M. Ben Ranha, B. Bessais, Sol. Energy 84, 486-491, 2010.
- [5] C. Koenigsmann, E. Sutter, R. R. Adzic and S. S. Wong, J. Phys. Chem. 116, 15297, 2012.
- [6] L. Hu, H. Wu, Y. Gao, A. Cao, H. Li, J. McDough, X. Xie, M. Zhou and Y. Cui, Ad. Energy Mater. 1, 523, 2011.
- [7] N. K. Chaki, S. Mandal, A. C. Reber, M. Qian, H. M. Saavedra, P. S. Weiss, S. N. Khanna and A. Sen, ACS Nano 4, 5813, 2010.
- [8] Y. J. Liu, Q. Z. Hao, J. S. T. Smalley, J. Liou, I. C. Khoo and T. J. Huang, Appl. Phys. Lett. 97, 091101, 2010.
- [9] M. Ghulinyan, C. J. Oton, G. Bonette, Z. Gaburro, and L. Pavesi, J. App. Phys. 93, 12, 2003.
- [10] A. Lonia, T. Defforgeb, E. Caffulla, G. Gautierb, L.T. Canhama, "Porous silicon fabrication by anodisation: Progress towards the realisation of layers and powders with high surface area and micropore content", Microporous and Mesoporous Materials, 213, 188-191, 2015.



شکل ۷: تصویر برش عرضی نمونه ۳ در مقیاس ۵ میکرون.



شکل ۸: تصویر از سطح نمونه ۴ در مقیاس ۵ میکرون.



شکل ۹: تصویر برش عرضی نمونه ۴ در مقیاس ۵ میکرون.

جدول ۱: درصد تخلخل و ضخامت نمونه های ساخته شده با محلول الکترولیت HF:C2H5OH با نسبت حجمی (۱:۱).

نمونه	زمان خوردگی (min)	چگالی جریان خوردگی (mA/cm^2)	درصد تخلخل (%)	ضخامت تخلخل (μm)
PS-1	10	20	51	2
PS-2	10	25	64	2.5
PS-3	10	30	76	4.7
PS-4	10	35	81	5.2