

بررسی اثر میزان تخلخل بر خواص فتودیودی CdO/PSi/Si به روش طیف سنجی تونلی رویشی (STS)

صمدپور، محمود^۱؛ ایرجی زاد، اعظم^۱؛ مهدوی، سید محمد^۱؛ آذریان، عباس^۱

^۱دانشگاه فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف تهران، تهران، خیابان آزادی

چکیده

در این پژوهش اثر میزان تخلخل بر خواص فتودیودی نمونه‌های چندلایه‌ای CdO/PSi/Si با روش طیف سنجی تونلی رویشی (Scanning Tunneling Spectroscopy) مطالعه شد. لایه سیلیکن متخلخل (PSi) به کمک آن‌دایز الکتروشیمیایی سیلیکین نوع p^+ و لایه اکسید کادمیم (CdO) به روش لایه نشانی لیزر پالسی و در فشار 10^{-5} torr ساخته شد. نمونه‌ها را در هوا و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای 500°C پخت کردیم تا کمبود اکسیژن در آنها جبران شود. ضخامت و قطر حفرات لایه متخلخل، و مورفولوژی لایه اکسید کادمیم به روشهای SEM و AFM بررسی شدند. طیف XRD و طیف عبور اپتیکی به منظور بررسی خواص کریستالی و تعیین شکاف انرژی اکسید کادمیم استفاده شدند. با تغییر پارامترهای موثر در آن‌دایز الکتروشیمیایی سیلیکن، نمونه‌های CdO/PSi/Si با درصد تخلخل‌های مختلف ساخته شدند. بررسی منحنی جریان - ولتاژ نمونه‌ها در حضور نور و تاریکی به روش طیف سنجی تونلی رویشی (STS) وجود یک درصد تخلخل بهینه را به منظور بهبود خواص فتودیودی نمونه‌ها نشان داد.

Study of porosity effect on photodiode property of CdO/PSi/Si by STS

Samadpoor, Mahmood¹; Irajizad, Azam¹; Mahdavi, S. Mohammad¹; Azarian, Abbas¹

¹Physics Department, Sharif University of Technology, Tehran

Abstract

In this work, effect of porosity on CdO/PSi/Si photodiode was studied by scanning tunneling spectroscopy. The CdO/PSi/Si multilayers were prepared by electrochemical anodizing of P type silicon and pulse laser deposition was employed for cadmium oxide deposition. In order to compensate oxygen lack in CdO layers, samples were annealed at 500°C in air atmosphere for 10 min. The cadmium oxide morphology and pore's diameter of porous silicon layer were investigated by SEM and AFM methods. The XRD analysis and UV-vis spectroscopy were used to study the crystalline structures and estimate the band gap energy of CdO layers, respectively. The different porosity of silicon layers were achieved by changing current density during of electrochemical anodizing and effect of porosity on electro optical properties of CdO/PSi/Si structures were studied. The results of current-voltage measurement in dark and in the presence of light shows that there is a special porosity that optimizes the photodiode properties of the samples.

مقدمه

الکترونیکی و اپتیکی تحقیقات در این حوزه مورد توجه است. لایه‌های اکسید کادمیم به دلیل شفافیت اپتیکی زیاد و مقاومت الکتریکی کم از اهمیت خاصی در ساخت قطعات اپتیکی و اپتوالکترونیکی برخوردار هستند. ما در تحقیقات قبلی خود [۳] خواص فتودیودی چندلایه‌ای CdO/PSi/Si را به طور کلی بررسی کردیم. در ادامه تحقیقات به منظور بررسی اثر میزان تخلخل

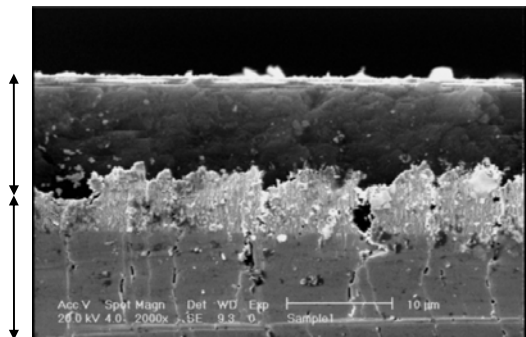
از زمان کشف اثر فتولومینسانس [۱] و الکترو لومینسانس [۲] در سیلیکن متخلخل در دمای اتاق تحقیقات بسیاری پیرامون این ماده به منظور ساخت قطعات اپتوالکترونیکی صورت گرفته است. به دلیل سهولت تهیه و امکان ایجاد ساختارهای متخلخل با خواص اپتیکی متعدد و استفاده روز افزون از سیلیکن در مدارهای مجتمع

ضخامت تقریباً یکسان بر روی نمونه‌های سیلیکن متخلخل، ما نمونه‌ها را به صورت کاملاً متقارن بر روی محیط یک دایره و به فاصله 10 cm از هدف لیزر قرار دادیم. بعد از فرایند لایه نشانی با لیزر پالسی و به منظور جبران کمبود اکسیژن، نمونه‌ها را به مدت 10 دقیقه در دمای 500°C پخت کردیم. لایه اکسید کادمیم بعد از عملیات پخت حرارتی از رنگ سیاه به زرد روشن تغییر رنگ داد.

ضخامت و قطر حفرات لایه متخلخل به روش SEM و AFM مشخص شدند. ساختار کریستالی و عبور اپتیکی نمونه‌ها با تحلیل نتایج UV-Vis Spectroscopy, XRD, AFM مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه به روش طیف سنجی تونلی روبشی (STS) اثر میزان تخلخل بر خواص اپتیکی CdO/PSi/Si بررسی شد.

نتایج و بحث

با توجه به میزان چگالی جریان و زمان خوردگی به کار برده شده در فرایند آندایز الکتروشیمیایی سیلیکن ساختارهای متخلخل متفاوتی تشکیل می‌گردد. شکل ۱ تصویر SEM نمونه برش یافته از پهلو تحت زاویه را نشان می‌دهد که از لایه متخلخل تشکیل شده با چگالی جریان 85 mA/cm^2 و زمان خوردگی 6 دقیقه گرفته شده است.



شکل ۱: تصویر SEM از سطح مقطع نمونه برش یافته از پهلو تحت زاویه،

ساخته شده با چگالی جریان 85 mA/cm^2 و زمان خوردگی 6 دقیقه

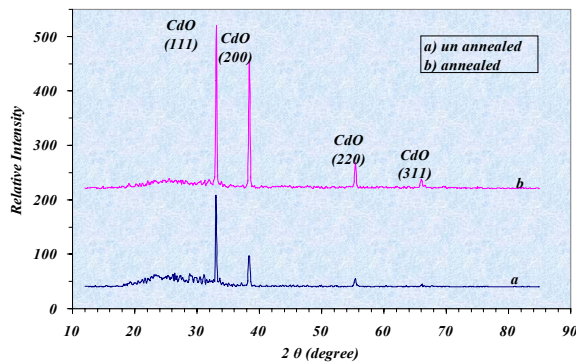
وجود نواحی متخلخل با مورفولوژی متفاوت در تصویر مربوط به اثر تیغه شکست و مکانیزم خوردگی سیلیکن در جریان‌های بزرگ می‌باشد [۴]. مشاهدات AFM نشان داده شده در شکل ۲، قطر حفرات لایه متخلخل را حدود 30 nm نشان می‌دهد. وجود ساختار متخلخل با حفرات نانومتری باعث افزایش سطح ویژه و در نتیجه افزایش جذب نور در نمونه‌ها می‌گردد. برای ایجاد لایه

بر خواص فتودیودی نمونه‌ها، روش طیف‌سنجی تونلی روبشی (STS) را به کار گرفتیم. از مزایای این روش حساسیت بسیار بالای آن نسبت به تغییر چگالی حالات الکترونی سطحی ایجاد شده توسط فتوالکترونهای تولید شده بر اثر تابش فرودی می‌باشد. در تحقیق حاضر ضمن مطالعه لایه‌های اکسید کادمیم و سیلیکن متخلخل (PSi)، به کمک روش STS به بررسی اثر میزان تخلخل بر خواص حسگر نوری نمونه‌های چندلایه‌ای CdO/PSi/Si می‌پردازیم.

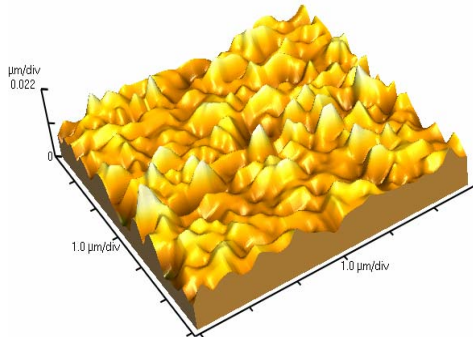
روش آزمایشگاهی

ویفرهای سیلیکن p^+ با جهت کریستالی (۱۰۰) و مقاومت ویژه $0.2/0.5\ \Omega\text{cm}$ و با ضخامت $25 \pm 280\ \mu\text{m}$ جهت ساخت لایه‌های سیلیکن متخلخل استفاده گردید. نمونه‌های متخلخل شده سیلیکن به روش آندایز الکتروشیمیایی سیلیکن در الکترولیت HF رقیق شده با اتانول خالص با غلظت $17/5\%$ ساخته شدند. با توجه به آب گریز بودن سطح سیلیکن، اتانول به محلول اضافه می‌شود که سبب بهبود خاصیت ترشوندگی و در نتیجه نفوذ الکترولیت به داخل حفرات و ادامه فرایند خوردگی می‌گردد. در آزمایش‌های حاضر به کمک تغییر چگالی جریان در فرایند آندایز الکتروشیمیایی لایه‌هایی با درصد تخلخل متفاوت ساخته شدند. نمونه‌های سیلیکن متخلخل با به کارگیری چگالی جریان‌های $15, 25, 50, 65, 85\text{ mA/cm}^2$ ساخته شدند ضمن آن که زمان خوردگی برای تمامی نمونه‌ها 6 دقیقه بود. به منظور جلوگیری از اکسید شدن لایه متخلخل، نمونه‌ها بعد از آندایز الکتروشیمیایی در اتانول خالص نگهداری شدند. در مرحله بعدی به منظور لایه نشانی اکسید کادمیم بر روی لایه متخلخل، سطح نمونه‌ها با ماسک با ساختار مناسب پوشانده شد. هدف‌های لیزر با پودر CdO و با خلوص $99/99\%$ و تحت فشاریه صورت دیسکی ساخته شدند و به منظور افزایش استحکام به مدت یک ساعت در دمای 500°C پخت شدند. برای لایه نشانی اکسید کادمیم از طول موج 1064 لیزر Nd:YAG با آهنگ تکرار 10 هرتز استفاده شد. لایه نشانی در دمای اتاق و فشار 10^{-5} Torr و به مدت 10 دقیقه صورت گرفت. با علم به این که توزیع فضایی ذرات پاشیده شده (پلام) مخروطی شکل می‌باشد و به منظور تشکیل لایه اکسید کادمیم با

نمونه‌های CdO/PSi/Si با درصد تخلخل‌های مختلف ساخته شدند.



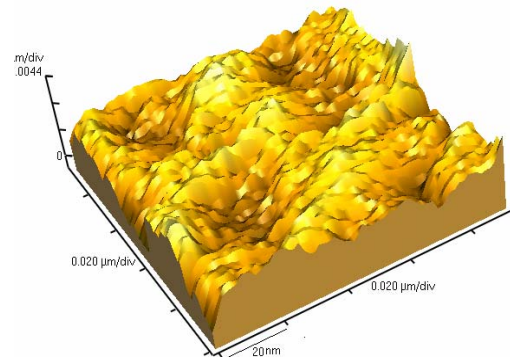
شکل ۴: طیف پراش اشعه ایکس لایه‌های CdO بر روی شیشه قبل و بعد از پخت حرارتی در دمای ۵۰۰°C



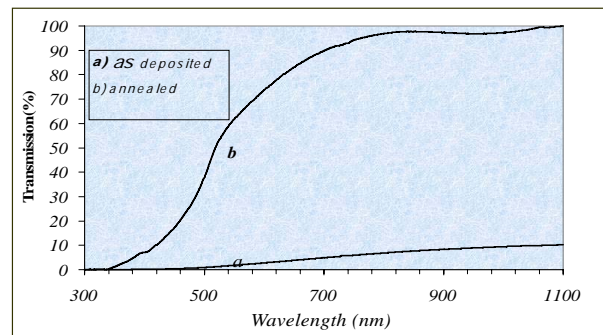
شکل ۵: تصویر AFM لایه‌های CdO بر روی شیشه بعد از پخت حرارتی در دمای ۵۰۰°C

به منظور بررسی اثر تخلخل بر خواص فتودیودی سیستم CdO/PSi/Si از روش STS استفاده شد. منحنی‌های جریان ولتاژ بدست آمده برای تمامی نمونه‌ها در تاریکی تقریباً یکدیگر منطبق می‌باشد که به خاطر یکسان بودن لایه اکسید کادمیم لایه نشانی شده بر روی تمامی نمونه‌ها می‌باشد که باعث ایجاد جریان تونل زنی تقریباً یکسان می‌گردد. در حضور نور جریان تونل زنی تغییر چشمگیری نشان می‌دهد. شکل ۶ منحنی جریان-ولتاژ نمونه‌ها را در تاریکی و در حضور نور مرئی نشان می‌دهد. نتایج حاکی از افزایش جریان تونل زنی برای نمونه‌های ساخته شده با چگالی جریان‌های ۱۵ تا $50 \frac{mA}{cm^2}$ می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود با افزایش بیشتر چگالی جریان از $65 \frac{mA}{cm^2}$ تا $85 \frac{mA}{cm^2}$ جریان تونل زنی شروع به کاهش می‌کند.

شفاف هادی بر روی سیلیکن متخلخل، اکسید کادمیم لایه نشانی شد. انجام عملیات پخت حرارتی بعد از لایه نشانی اکسید کادمیم ضمن جبران کمبود اکسیژن در نمونه‌ها، باعث بهبود خواص اپتیکی و الکتریکی نمونه‌ها می‌گردد.



شکل ۲: تصویر AFM از سطح نمونه قطر حفرات را حدود ۳۰nm نشان می‌دهد. تاثیر عملیات پخت حرارتی بر میزان عبور لایه اکسید کادمیم از روی طیف عبور در شکل ۳ به خوبی نمایان است. شکاف انرژی لایه اکسید کادمیم پخت شده در دمای ۵۰۰°C به کمک طیف عبور بدست آمده تخمین زده شد که تقریباً برابر ۲/۲ eV بدست آمد.



شکل ۳: طیف عبور اپتیکی لایه‌های CdO بر روی شیشه قبل و بعد از پخت حرارتی در دمای ۵۰۰°C

بررسی ساختار کریستالی نمونه‌ها حاکی از افزایش ارتفاع پیک‌ها در طیف XRD و بهبود خواص کریستالی بعد از عملیات پخت حرارتی می‌باشد که تاثیر بارزی بر عبور اپتیکی نمونه‌ها دارد (شکل ۴). تصویر AFM لایه اکسید کادمیم بعد از پخت حرارتی در دمای ۵۰۰°C نشان داده شده در شکل ۵، دانه‌های کریستالی را به خوبی نشان می‌دهد. در ادامه با به کار بردن چگالی جریان‌های $15, 25, 50, 65, 85 mA/cm^2$ در فرآیند آندایز سیلیکن،

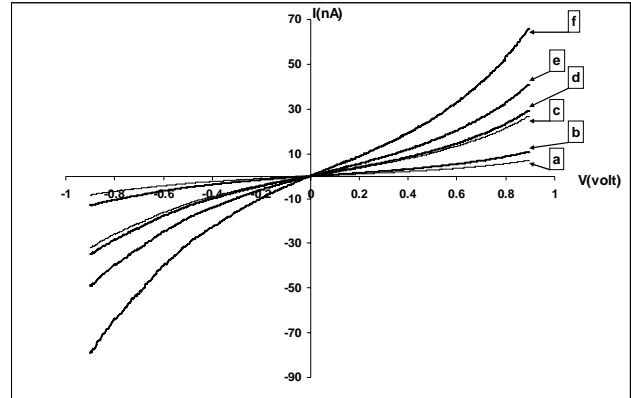
چگالیهای جریان از ۶۵ تا $85 \frac{mA}{cm^2}$ را به ناهمگنی و فروریختن بخشی از دیواره های لایه متخلخل به علت چگالی جریان نسبتاً بزرگ نسبت می دهیم.

نتیجه گیری

نتایج AFM حاکی از وجود حفرات نانومتری در ساختار سیلیکن متخلخل می باشد. طیف عبور لایه اکسید کادمیم افزایش شدید میزان عبور بعد از پخت حرارتی را نشان داد، نتایج XRD ساختار کریستالی نمونه ها را به خوبی نشان می دهد. بررسی منحنی جریان ولتاژ نمونه ها در حضور نور و تاریکی به روش STS وجود یک درصد تخلخل بهینه که با به کارگیری چگالی جریان $\frac{mA}{cm^2}$ و زمان خوردگی ۶ دقیقه در فرایند آندایز الکتروشیمیایی سیلیکن بدست می آید را به منظور بهبود خواص فتودیودی نمونه ها نشان داد.

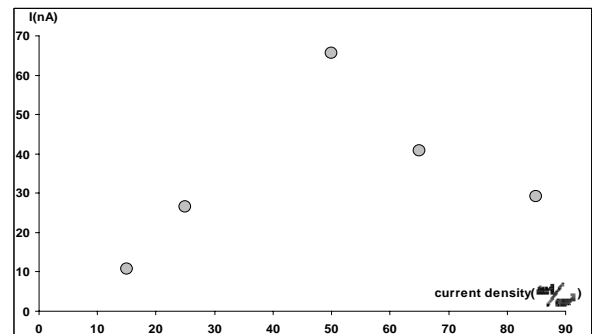
مرجع ها

- [۱] Canham LT. *Appl Phys Lett* 57(1990) 1046.
- [۲] Koshida N, Koyama H. *Appl Phys Lett* 60 (1992) 347.
- [۳] آذریان ، عباس ؛ ایرجی زاد، اعظم ؛ مهدوی، سید محمد؛ تقوی، نجمه السادات ؛ « بررسی خواص حسگر نوری سیستم CdO/PSi/Si » مقاله نامه کنفرانس فیزیک ایران ؛ تابستان ۱۳۸۵ ؛ شاهرود
- [۴] RL Smith, SD Collins - *Journal of Applied Physics* 71, (1992)



شکل ۶: منحنی جریان ولتاژ نمونه ها تحت تابش نور مرئی اندازه گیری شده با دستگاه STS. منحنی های a, b, c, d, e, f به ترتیب مربوط به جریان نمونه های ساخته شده با چگالی جریان های $15, 25, 85, 65, 50 \text{ mA/cm}^2$ و زمان خوردگی ۶ دقیقه، در حضور نور مرئی میباشند. منحنی a متوسط جریان نمونه ها را در تاریکی نشان می دهد.

جهت مقایسه بهتر نتایج، جریان های بدست آمده در ولتاژ ۹/ ولت، برای نمونه های قرار گرفته تحت تابش نور مرئی را برحسب چگالی جریان به کار رفته در ساخت نمونه ها، بررسی می کنیم (شکل ۷). نتایج بدست آمده حاکی از وجود یک چگالی جریان بهینه در فرایند ساخت لایه سیلیکن متخلخل به منظور بهبود خواص فتودیودی سیستم CdO/PSi/Si می باشد. مشاهده این رفتار بر اساس مکانیزم خوردگی لایه سیلیکن در فرآیند آندایز الکتروشیمیایی قابل توجیح است.



شکل ۷: جریان های بدست آمده در ولتاژ ۹/ ولت، برای نمونه های قرار گرفته تحت تابش نور مرئی برحسب چگالی جریان به کار رفته

نتایج بررسی در مکانیزم خوردگی سیلیکن [۴] نشان می دهد که با افزایش بیش از حد چگالی جریان ساختار لایه متخلخل غیر همگن شده (شکل ۱) و در نتیجه بخش هایی از دیواره متخلخل فرو می ریزد. بنابراین ما مشاهداتمان مبنی بر کاهش جریان تونل زنی برای