نوزدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و پنجمین کنفرانس مهندسی فوتونیک ایران
۳ تا ۵ بهمن ماه ۱۳۹۱ - دانشگاه سیستان و بلوچستان

ساخت و بررسی مشخصات لایه نازک سیلیکون اکسی نیتراید

زیبا متین زاده[۱]، محمد کاظم سالم[۱]، حامد عباسی[۲]، ساناز فریادرس[۳]

۱. مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲.گروه فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
۳. گروه فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده – در این مقاله گزارشی از ساخت و مشخصه یابی لایه نازک سیلیکون اکسی نیتراید ارائه شده است. لایه های نازک از سیلیکون خالص ۹۹.۹۹٪ به روش کند و پاش فعال مغناطیسی ساخته شده اند. تمامی پارامتر های لایه نشانی به جز میزان گاز های اکسیژن (گاز فعال) و آرگون (گاز خنثی) ثابت نگاه داشته شده اند. چهار نمونه با درصد گاز های متفاوت لایه نشانی شده اند. پیدا کردن یک رابطه منطقی بین میزان گاز های استفاده شده و مشخصات لایه های نازک تحقیق شده است. بدین منظور از آنالیز های اسپکتروفوتومتری و میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده شده است.

کلید واژه- اسپکتروفوتومتری، سیلیکون اکسی نیتراید، کند و پاش مغناطیسی، لایه نازک، میکروسکوپ نیروی اتمی.

کد PACS – 240.0240, 310.0310.

Fabrication and Characterization of Silicon Oxynitride Thin Films

Ziba Matinzadeh[1], Mohammad Kazem Salem[1], Hamed Abbasi[2], Sanaz Faryadras[3]

1. Plasma Physics Research Center, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Department of Photonics, Faculty of Physics, University of Kashan, Kashan, Iran
3. Department of Physics, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract- In this paper we report fabrication and characterization of silicon oxynitride thin films. Thin films have been deposited by means of DC magnetron sputtering system, by use of pure silicon 99.99%. All of the deposition parameters were constant except value of oxygen (as the active gas) and argon (as the inert gas). Four samples have been deposited with different values of gases. Finding a relation between the value of used gases and thin films properties has been investigated. Spectrophotometry and atomic force microscopy have been used to do so.

Keywords: AFM, DC magnetron sputtering, Silicon oxynitride, Spectrophotometry, Thin film.

PACS No: 240.0240, 310.0310.

۱- مقدمه

لایه های نازک توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جذب کرده اند. خواص یک لایه نازک می تواند با خواص نوع حجیم آن و یا حتی کلوئید نانو ذرات آن هم بسیار متفاوت باشد، مخصوصاً اگر ضخامت لایه خیلی کم باشد. روز به روز به کاربرد های بی شمار لایه های نازک افزوده می شود. لایه نازک سیلیکون اکسی نیتراید (SiO_xN_y) یکی از لایه های نازک پر کاربرد محسوب می شود. از این نوع لایه نازک در زمینه های اپتوالکتریکی، الکتریکی، مکانیکی و دستگاه های میکروپتیک استفاده می شود [۱]. این نوع لایه نازک به علت دارا بودن خواص مفید فیزیکی و الکتریکی-اپتیکی SiO_2 و Si_3O_4 بسیار مورد توجه قرار گرفته اند [۲].

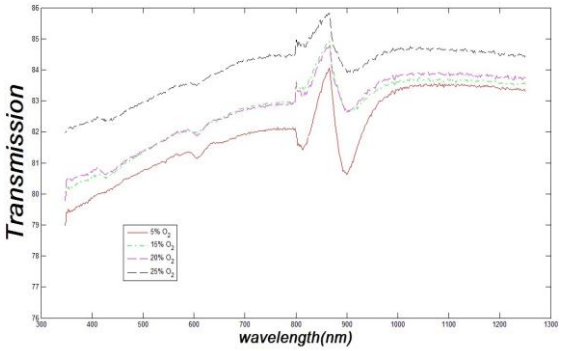
۲- لایه نشانی

از فرایند های بسیار متنوعی برای رشد لایه های نازک استفاده می شود. در یک دسته بندی کلی می توان این فرایند ها را به دو دسته ی کلی روش های فیزیکی و روش های شیمیایی تقسیم بندی کرد. در فرایند های شیمیایی مخلوطی از گاز ها به طور نسبی در دمای بالایی با سطح زیر لایه واکنش داده و در اثر تجزیه برخی از اجزای اصلی مخلوط گازی، پوششی از لایه جامد روی زیر لایه به وجود می آید. در این روش یک پیوند شیمیایی مستحکم بین زیر لایه و پوشش به وجود می آید. در فرایند های فیزیکی اساس کار بر بمباران گاز ورودی برای یونیزه کردن گاز مورد نظر و یا استفاده از ولتاژ و جریان الکتریکی است [۳]. فرایند های فیزیکی شامل تبخیر و کند و پاش و یا ترکیبی از این دو است. فرایند های تبخیر فیزیکی شامل روش های اندود گری یونی، قلوه کنی لیزری، بر آرایی باریکه مولکولی، باریکه های الکترونی، روش های حرارتی و یا روش های ترکیبی می شود. انواع روش های لایه نشانی بخار شیمیایی (CVD)، سل-ژل و اندود گری های الکترولس و الکترولیز در زمره فرایند های شیمیایی قرار می گیرند [۴]. در نیمه های قرن بیستم روش تبخیر به وضوح به روش کند پاش ترجیح داده می شد. خلا بهتر و نرخ لایه نشانی سریع تر از جمله اصلی ترین عواملی بودند که باعث می شدند روش تبخیر به روش کند و پاش ترجیح داده شود. استفاده از امواج رادیوئی (RF) در دستگاه های کند و پاش و ساخت انواع مگنترون ها، که قابلیت های سیستم های کند و پاش را ارتقا دادند، به عمومی تر شدن روش کند و پاش بسیار کمک کردند. امروزه از انواع سیستم های کند و پاش به وفور استفاده می شود. تمامی انواع این سیستم ها اصلاح شده ی سیستم کند و پاش با جریان مستقیم (DC) هستند. به عنوان مثال کند و پاش بسامد رادیوئی (RF) را برای رشد لایه های نازک عایق توسعه داده اند. سیستم کند و پاش جریان مستقیم (DC) از دو عدد الکترود مسطح تشکیل شده که یکی کاتد و دیگر آند است. تحلیل و طراحی دقیق یک فرایند کند و پاش خوب مستلزم درک چگونگی برخورد یون ها با سطوح مختلف است. هنگامی که برخورد یون باعث ایجاد یک سری از برخورد های اتفاقی به هدف مربوطه می شود، کند و پاش اتفاق می افتد. انتقال تکانه از ذرات پر انرژی به اتم های سطح هدف باعث ایجاد این فرایند می گردد. شناخت تابع انتقال انرژی لازمه اصلی تحلیل نظری فرایند کند و پاش است. تسلط بر فناوری ایجاد و نشت یابی خلا از مهمترین و کاربردی ترین لازمه های ساخت یک سیستم کند و پاش پایدار و مناسب است. توصیه های تجربی بسیار کاربردی در این ضمینه را می توان در این کتاب یافت [۵]. پارامتر های جریان مستقیم (DC)، امواج رادیوئی (RF)، مگنترون و واکنشی بودن عواملی هستند که باعث تفکیک سیستم های کند و پاش از یکدیگر می شوند. گونه های ترکیبی از این پارامتر ها نیز مورد استفاده قرار می گیرند. در کند و پاش های مگنترونی با ایجاد میدان و کنترل ذرات باردار نرخ لایه نشانی را سرعت می بخشند. فرایند رشد لایه نازک مواد ترکیبی در حضور یک گاز واکنش گر که معمولاً با یک گاز خنثی (عمدتاً آرگون) ترکیب می شود را کند و پاش واکنشی می نامند. از کند و پاش واکنشی برای ساخت انواع اکسید ها، نیتراید ها، کربناد ها، سولفاد ها و ... استفاده می شود. در این مقاله از سیستم کند و پاش فعال جریان مستقیم (DC) برای تولید لایه نازک سیلیکون اکسی نیتراید استفاده شده است. فاصله زیر لایه و هدف سیلیکونی در این سری آزمایش ها ۳ سانتی متر بوده است. زیر لایه در دمای اتاق قرار داشته است. از هدف سیلیکونی با خلوص ٪۹۹/۹۹ استفاده شده و چگالی جریان نیز مقدار ۱۰ میلی آمپر انتخاب شده است. فشار

داخل محفظه طی فرایند رشد 8×10^{-3} torr بوده و نمونه ها همگی به مدت ۷۰ ثانیه داخل محفظه قرار داشته اند (زمان لایه نشانی). میزان گاز نیتروژن N_2 در تولید هر چهار نمونه ۱۰٪ انتخاب شده است. تنها پارامتر متغییر در این چهار آزمایش میزان گاز های اکسیژن O_2 و آرگون Ar بوده است. برای نمونه اول از ۵٪ اکسیژن و ۸۵٪ آرگون، برای نمونه دوم از ۱۵٪ اکسیژن و ۷۵٪ آرگون، برای نمونه سوم از ۲۰٪ اکسیژن و ۷۰٪ آرگون و نهایتاً برای نمونه چهارم از ۲۵٪ اکسیژن و ۶۵٪ آرگون استفاده شده است. همان طور که پیش از این ذکر شد در تمامی موارد از ۱۰٪ گاز نیتروژن استفاده شده است.

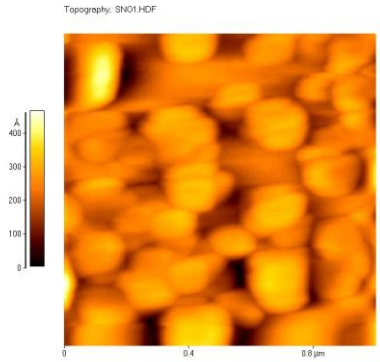
۳- بررسی مشخصات

دراین مقاله برای مشخصه یابی خصوصیات لایه های نازک تولید شده از آنالیز های اسپکتروفوتومتری و میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده شده است. شکل ۱ طیف عبوری چهار لایه نازک تولید شده را نشان می دهد. این آنالیز از طول موج ۳۰۰ نانو متر تا ۱۳۰۰ نانو متر انجام شده است. این طول موج شامل کل طیف مرئی و قسمتی از طیف فرابنفش و مادون قرمز نزدیک می باشد.

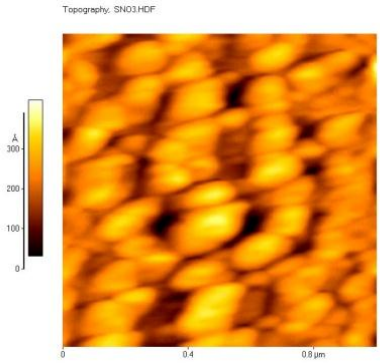


شکل ۱: طیف عبوری لایه های نازک تولید شده با در صد گازهای متفاوتی از اکسیژن و آرگون

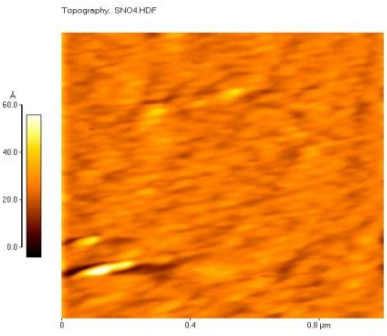
همان طور که در شکل مشخص است با افزایش میزان گاز اکسیژن (کاهش گاز آرگون) میزان عبور نمونه ها در تمامی طول موج ها افزایش یافته است. در اینجا آرگون گاز خنثی است و اکسیژن و نیتروژن به عنوان گاز فعال در کند و پاش فعال مورد استفاده قرار گرفته اند. برای مشاهده ساختار سطح نمونه ها از آنالیز میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده شده است. شکل های ۲ تا ۴ نشان دهنده تصویر دو بعدی حاصل از این آنالیز هستند.



شکل ۲: تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی از نمونه لایه نشانی شده با ۵٪ اکسیژن و ۸۵٪ آرگون



شکل ۳: تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی از نمونه لایه نشانی شده با ۱۵٪ اکسیژن و ۷۵٪ آرگون



شکل ۴: تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی از نمونه لایه نشانی شده با ۲۰٪ اکسیژن و ۷۰٪ آرگون

همان طور که از تصاویر مشخص است، با افزایش میزان گاز فعال اکسیژن (کاهش گاز خنثی آرگون) اندازه

دانه های روی سطح کاهش یافته اند.

۴- نتیجه‌گیری

انواع روش های لایه نشانی مورد بحث و مقایسه قرار گرفتند. با بهبود یافتن سیستم های کند و پاش، این روش از لایه نشانی برای ساخت بسیاری از لایه های نازک با کیفیت بالا مورد استفاده قرار می گیرد. از سیستم کند و پاش مغناطیسی فعال برای ساخت لایه نازک سیلیکون اکسی نیتراید از سیلسکون خالص ۹۹.۹۹ ٪ استفاده شد. تمامی پارامتر های لایه نشانی به جز میزان گاز های اکسیژن و آرگون ثابت نگاه داشته شدند. از گاز های نیتروژن و اکسیژن به عنوان گاز فعال و از آرگون به عنوان گاز خنثی در کند و پاش فعال استفاده شد. چهار نمونه با درصد گاز های متفاوت با استفاده از آنالیز های اسپکتروفوتومتری و میکروسکوپ نیروی اتمی مشخصه یابی شدند. رابطه ای منطقی میان درصد گاز های ترکیبی با درصد عبور و مورفولوژی سطح لایه های نازک مشاهده شد. با افزایش میزان گاز فعال اکسیژن (کاهش خنثی گاز آرگون) میزان عبور نمونه ها افزایش یافت و با افزایش میزان گاز فعال اکسیژن (کاهش گاز خنثی آرگون) اندازه دانه های روی سطح کاهش یافت.

سپاسگزاری

نویسندگان بدین وسیله تشکر خود را از سرکار خانم مرتضوی اعلام می دارند.

مراجع

[1] F. Rebib , E. Tomasella, M. Dubois, J. Cellier, T. Sauvage, M. Jacquet, *SiOxNy thin films deposited by reactive sputtering: Process study and structural characterization*, Thin Solid Films 515 (2007) p. 3480.

[2] M.L. Green, E.P. Gusev, R. Degraeve, E.L. Garfunkel, *Ultrathin (<4 nm) SiO2 and Si–O–N gate dielectric layers for silicon microelectronics: Understanding the processing, structure, and physical and electrical limits*, J. Appl. Phys. 90 (2001) p. 2057.

[۳] سید محمد روضاتی، *لایه های نازک نیمرسانای شفاف*، انتشارات دانشگاه گیلان، ۱۳۹۰.

[۴] رضا افضل زاده، *فیزیک و فن آوری لاه های نازک*، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، ۱۳۸۸.

[۵] چمبر، *مبانی تکنیک خلاء*، انتشارات علم نوین، ۱۳۹۰.