

بررسی توپوگرافی سطح لایه نازک نقره توسط تصاویر SEM بر مبنای نظریه فرکتال و مولتی

فرکتال

صدیق، فرشته^۱؛ مجتهدزاده لاریجانی، مجید^۱؛ جعفری خمسه، الهام^۱؛ خانلری، محمدرضا^۲؛ عشقی، سیمیا^۳

^۱ پژوهشگاه تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی هسته‌ای، کرج

^۲ گروه فیزیک دانشگاه بین‌المللی قزوین، خیابان نوروزیان، قزوین

^۳ گروه مواد دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران

چکیده

فیلم نازک نقره با روش کند و پاش باریکه یونی در محدوده دمای زیر لایه ۴۰۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد لایه‌نشانی شد. برای بررسی توپوگرافی سطح فیلم‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده نمودیم. پارامترهای بررسی توپوگرافی سطح با استفاده از نظریه فرکتال بدست آمدند. روش شمارش جعبه دیفرانسیلی برای محاسبه بعد فرکتالی و پارامترهای فرکتال چندگانه مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی بهتر زبری سطح فیلم‌ها از تصاویر دو و سه بعدی تصاویر SEM استفاده شد.

Investigating the surface topography via SEM images based on fractal and multifractal theory

Seddigh, Fereshte^{1,2}; Mojtabehzadeh Larijani, Majid¹; Jafari Khamse, Elham¹; Khanlari, Mohammadreza²;

Eshghi, Sima³

¹Research Institute (NSTRI), Karaj

²Physics Department, Qazvin University, Qazvin

³Material engineering Department, Islamic Azad University, Science and research branch, Tehran

Abstract

Silver thin films were deposited by ion beam sputtering technique in the range of 100-400°C substrate temperature. The surface topography of the films was characterized using scanning electron microscopy (SEM). Meanwhile, the fractal theory has been used for the treatment of surface roughness. Differential box counting method was used for calculation of fractal dimension and multifractal parameters of the films. In order to improve visualize characteristics of the images both 2D and 3D SEM images were used.

همچنین به صورت آمیخته با طلا یا سایر مواد معدنی یافت می‌شود. بیشترین میزان نقره در جهان به عنوان محصول جانبی از استخراج مس، طلا، سرب و روی به دست می‌آید. از نقره در صنایع الکترونیک و در ساخت سکه، جواهرات، کارد و چنگال و

مقدمه

نقره فلزی براق و جذاب است که در بین تمام عناصر، بالاترین میزان رسانایی الکتریکی و در بین تمام فلزات بالاترین میزان رسانایی گرمایی را داراست. نقره در طبیعت به صورت خالص و

تحت اولتراسونیک قرار دادیم. دمای زیرلایه را در محدوده دمایی ۴۰۰-۱۰۰ درجه سانتی گراد تغییر دادیم. شار گاز آرگون ۲۵sccm بود. شرایط کلی تهیه نمونه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. برای بررسی توپوگرافی سطح از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM, model LEO 440i) استفاده نمودیم.

جدول ۱: شرایط لایه‌نشانی لایه نقره بر روی زیرلایه سیلیکون در محدوده دمای زیرلایه °C ۴۰۰-۱۰۰

سیلیکون (۱۰۰)	زیرلایه
آرگون ۹۹.۹۹%	گاز کند و پاش کننده
$10^{-5} \times 1/8$	فشار اولیه (Torr)
$10^{-5} \times 7/1$	فشار کار (Torr)
۱۲۰	زمان (min)
۲۵	شار گاز (sccm)
۲/۲	ولتاژ کند و پاش (Kv)

نتایج و بحث

شکل ۱ تصاویر دو و سه بعدی SEM و نمودار پروفایل عرضی لایه‌های نقره را نشان می‌دهد. بر اساس تصاویر دیده می‌شود که با افزایش دمای زیرلایه از ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد زبری سطح افزایش می‌یابد. با افزایش دما تا ۳۰۰ درجه زبری سطح کاهش یافته و با افزایش دما تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد زبری سطح دوباره افزایش می‌یابد. بر طبق مدل منطقه-ای ساختار (SZM) با افزایش دمای زیرلایه انرژی جنبشی اتم‌های موجود در روی زیرلایه افزایش یافته و در نتیجه در اثر انتشار برای رسیدن به تعادل با اتم‌های دیگر موجود بر روی سطح و همچنین اتم‌های وارده به سطح برخورد بیشتری نموده و ذرات بزرگتری تشکیل می‌شود. نمونه‌های با دمای زیرلایه ۱۰۰ و ۲۰۰ درجه دارای ساختار ستونی هستند که در نتیجه به هم پیوستن جزیره‌ها یک لایه متخلخل ایجاد شده است. با افزایش دما تا ۳۰۰ درجه لایه بهم پیوسته شده است که تشکیل لایه هموار پنبه‌ای را تشکیل داده است بنابراین زبری سطح کاهش می‌یابد. این رفتار در نتیجه فشردگی بیشتر جزیره‌ها و از بین رفتن فضاهای خالی و تشکیل یک لایه پیوسته است. افزایش دما تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد

در صنایعی چون عکاسی و ساخت آینه استفاده می‌شود. حدود ۴۰ درصد از تولید نقره جهان در صنعت عکاسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نقره در مدارهای الکترونیک و برخی ابزارهای جراحی نیز استفاده می‌شود بیشتر آینه‌ها نیز با پوشاندن شیشه با لایه‌های نازکی از نقره ساخته می‌شوند. در کاربردهای مختلف لایه نقره میزان زبری سطح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است بنابراین هدف این مقاله بررسی تاثیر دمای زیرلایه بر توپوگرافی سطح لایه نقره با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمونه‌ها بر مبنای نظریه فرکتال می‌باشد. محاسبه بعد فرکتالی با استفاده از روش شمارش جعبه‌های دیفرانسیلی انجام شده است. تحقیقات بسیاری برای بررسی مورفولوژی سطح لایه‌های نازک نقره انجام شده است از جمله جاورسکی^۱ بازتابندگی لایه‌های پوشش داده شده توسط نقره در محدوده دمای زیرلایه ۲۵ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار دادند [۱]. آنها مس، نیکل، استیل ۳۰۴ را به عنوان زیرلایه انتخاب کرده و اثر نوع زیرلایه را نیز مورد بررسی قرار دادند. همچنین دارامادلیکاری و همکاران^۲ سطح فیلم نقره بر روی زیرلایه Si (100) را با بررسی تصاویر SEM نمونه‌ها مورد مطالعه قرار دادند [۲]. آنها زبری سطح دانه‌های منفرد را توسط میکروسکوپ تونلی روبشی (STM) و هیستوگرام ارتفاع بیان کردند. آنها کاربرد این لایه‌ها را به عنوان نمونه برای بررسی مولکول‌های پیچیده مورد مطالعه قرار دادند.

روش انجام آزمایش

لایه نازک نقره توسط روش کند و پاش باریکه یونی به مدت دو ساعت لایه نشانی شد. هدف نقره با میزان خلوص (۹۹.۹۸٪) و زیرلایه Si (100) مورد استفاده قرار گرفتند. اتاقک سیستم تا خلا اولیه Torr $10^{-5} \times 1/8$ تخلیه شد. گاز آرگون (با خلوص ۹۹.۹۹٪) به عنوان گاز کند و پاش کننده مورد استفاده قرار گرفت. به منظور پاکسازی زیرلایه‌ها آنها را قبل از قرار دادن در اتاقک خلا به مدت یک ساعت در حمام استون و الکل قرار داده و

¹ D.A. Jaworske, et.al

² C. V. Dharmadhikari, et.al

در سال‌های گذشته از نظریه فرکتال برای بررسی و آنالیز فیلم-های نازک استفاده بسیاری شده است [۵-۳]. فرکتال ساختاری است که هر جزء آن با کلش متشابه است و در مقیاس‌های مختلف یکسان ظاهر می‌شود. بعد فرکتالی (FD) پارامتری است که این نوع از فرکتال‌ها را می‌تواند توصیف

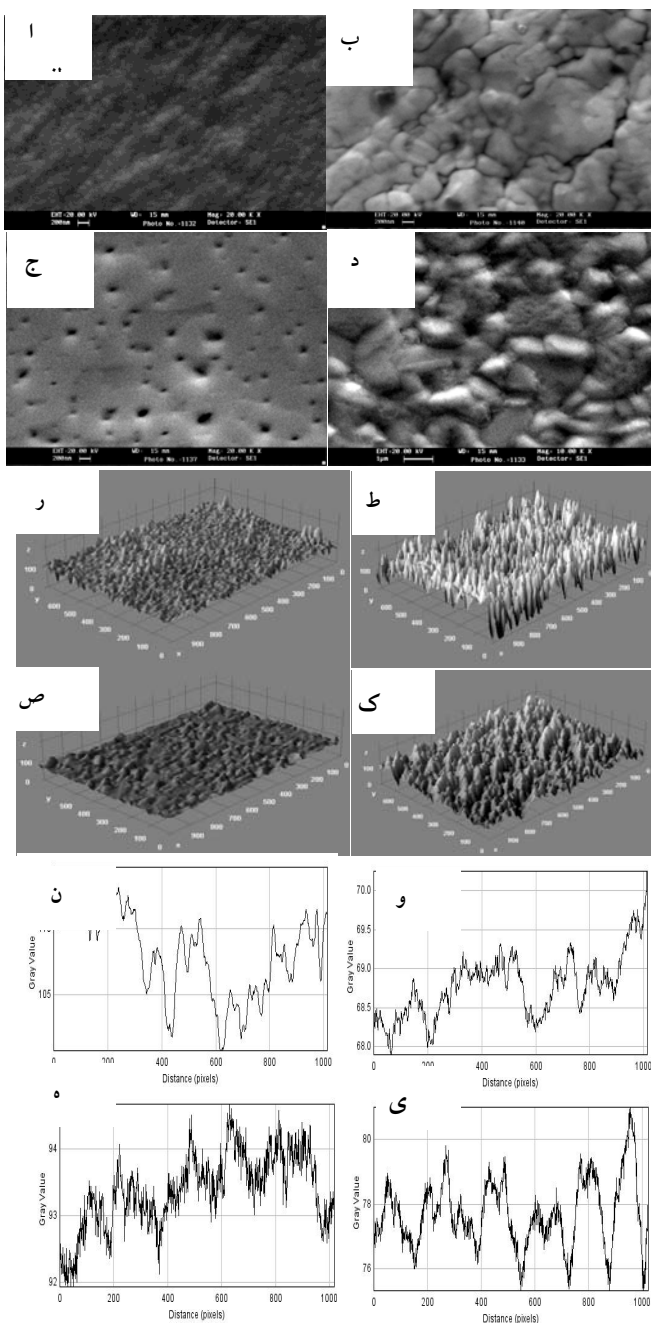
کند و اطلاعاتی از میزان خود متشابهی ارائه می‌دهد. بیشتر روش‌های محاسبه FD به صورت توانی هستند که توان وابسته به FD است. در روش شمارش جعبه‌های ديفرانسیلی تصویر با جعبه‌هایی با اندازه‌ها و ارتفاع‌های مختلف پوشانده شده و نمودار لگاریتمی تعداد جعبه‌ها برحسب اندازه آنها رسم شده و شیب خط فیت شده مقدار FD را خواهد داد. در روش فرکتال چندگانه برای شدت‌های مختلف FD محاسبه شده و مقدار میانگین آنها به عنوان FD نهایی گزارش می‌شود که مقدار دقیق‌تری نسبت به روش تک فرکتالی ارائه می‌دهد. مقادیر FD محاسبه شده از هر دو روش در جدول ۲ ارائه شده است.

شکل ۲ نمودار مقدار محاسبه شده FD و نمودارهای فرکتال چندگانه نمونه‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که از جدول و نمودارها نمایان است روند تغییرات FD و پهنای نمودار فرکتال چندگانه با تصاویر SEM همخوانی دارد که این نتیجه با نتایج گزارش شده توسط گزارشات علمی مختلف در توافق است [۸-۶].

جدول ۲: پارامترهای فرکتالی لایه نقره بر روی زیرلایه سیلیکون در محدوده دمای زیرلایه ۱۰۰-۴۰۰ °C

دمای زیرلایه (°C)	پارامترهای فرکتال چندگانه		بعد فرکتالی	
	$\Delta\alpha$	Δf	FD	MFD
۱۰۰	۰/۴۲	۰/۶۷	۱/۵۷۶۸	۱/۸۸۳۴
۲۰۰	۰/۳	۰/۶۹	۱/۴۵۳۴	۱/۸۸۲۸
۳۰۰	۰/۳۶	۱/۳۳	۱/۵۷۰۵	۱/۸۹۰۰
۴۰۰	۰/۳۲	۱/۰۳	۱/۵۲۱۴	۱/۸۷۴۷

موجب تبلور مجدد دانه‌ها به صورت کروی شده، بنابراین زبری سطح دوباره افزایش می‌یابد. نمودارهای پروفایل عرضی نمونه‌ها هم پیش‌بینی‌های مدل منطقه‌ای ساختار را تایید می‌کند.



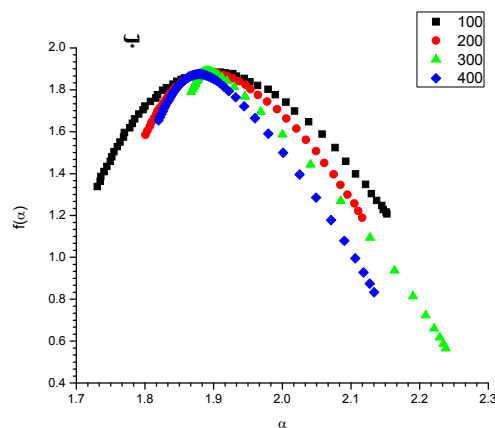
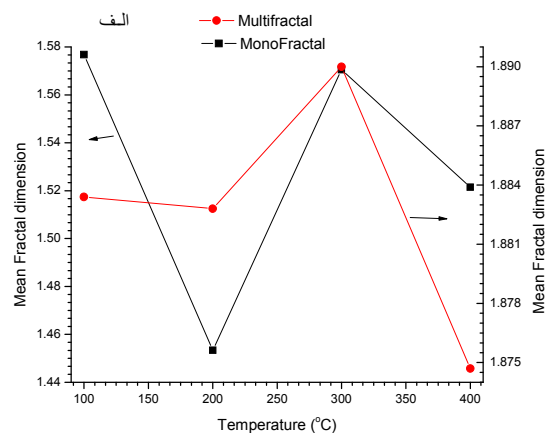
شکل ۱: الف-ک) تصاویر دو و سه بعدی SEM نمونه با دمای زیر لایه ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰، ن-ی) نمودار پروفایل نمونه‌ها با دمای زیرلایه ۱۰۰-۴۰۰.

سیاسگزاری

از همکاری آقای مجید ملک مسئول آزمایشگاه لایه‌نشانی صمیمانه تشکر می‌کنیم.

مرجع‌ها

- [۱] D.A. Jaworske, Reflectivity of silver and silver-coated substrates from 25 °C to 800 °C (for solar collectors)". Energy Conversion Engineering Conference (1997).
- [۲] A. O. Ali, R. B. Kshirsagar and C. V. Dharmadhikari, "Surface characterization of oriented silver films on Si (100) substrates using scanning tunnelling microscopy", *Thin Solid Films* **323**, No. 1-2 (1998) 105-109.
- [۳] R. D. Bonetto, J. L. Ladaga and E. Ponz, "Measuring Surface Topography by Scanning Electron Microscopy. II. Analysis of Three Estimators of Surface Roughness in Second Dimension and Third Dimension", *Microscopy AND Microanalysis* **12** No. 2 (2006) 178-186.
- [۴] J.C. Arnault, A. Knoll, E. Smigiel, A. Cornet, "Roughness fractal approach of oxidised surfaces by AFM and diffuse X-ray re-ectometry measurements", *Applied Surface Science* **171**, No. 3-4 (2001) 189-196.
- [۵] B. B. Mandelbrot, "Self-Affine Fractals and Fractal Dimension", *Physica Scripta* **32**, No. 4 (1985) 257-260.
- [۶] W. Kwaśny, L. A. Dobrzański, M. Król, J. Mikuła, "Fractal and multifractal characteristics of PVD coatings", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* **24**, No. 2 (2007) 159-162.
- [۷] X. Sun, Z. Fu and Z. Wu, "Multifractal analysis and scaling range of ZnO AFM images", *Physica A* **311**, No. 3-4 (2002) 327-338.
- [۸] X. Sun, Z. Fu, Z. Wu, "Fractal processing of AFM images of rough ZnO films", *Materials Characterization* **48**, No. 2-3 (2002) 169-175.



شکل ۲: الف) نمودار FD نمونه‌ها برحسب دمای زیرلایه، ب) نمودار فرکتال چندگانه نمونه‌ها.

نتیجه گیری

فیلم نازک نقره به روش کند و پاش باریکه یونی بر روی زیرلایه سیلیکون با تغییر دمای زیرلایه لایه‌نشانی شد. با استفاده از نظریه فرکتال و فرکتال چندگانه توپوگرافی سطح فیلم‌ها از تصاویر SEM به طور کیفی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان دادند که تغییر پهنای منحنی فرکتال چندگانه و FD به صورت معکوس با دمای زیرلایه و در نتیجه زبری سطح فیلم متناسبند.