

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

صدیق، فرشته<sup>۲۰</sup>۱ ؛ مجتهدزاده لاریجانی، مجید<sup>۱</sup>؛ جعفری خمسه، الهام<sup>۱</sup>؛ خانلری، محمدرضا<sup>۲</sup>؛ عشقی، سیما<sup>۳</sup> <sup>۱</sup> پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی هستهای ، کرج <sup>۲</sup> گروه فیزیک دانشگاه بین المللی قزوین، خیابان نوروزیان ، قزوین <sup>۳</sup> گروه مواد دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران

#### چکیدہ

فیلم نازک نقره با روش کند و پاش باریکه یونی در محدوده دمای زیرلایه ۲۰۰–۱۰۰ 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 زیری سطح فیلمها از تصاویر دو و سه بعدی تصاویر SEM/ستفاده شد.

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

## Seddigh, Fereshte<sup>1,2</sup>; Mojtahedzadeh Larijani, Majid<sup>1</sup>; Jafari Khamse, Elham<sup>1</sup>; Khanlari, Mohammadreza<sup>2</sup>;

Eshghi, Sima<sup>3</sup> <sup>1</sup>Research Institute (NSTRI), Karaj <sup>2</sup>Physics Department, Qazvin University, Qazvin <sup>3</sup>Material 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 می شود. بیشترین میزان نقره در جهان به عنوان محصول جانبی از استخراج مس، طلا، سرب و روی به دست می آید. از نقره در صنایع الکترونیک و در ساخت سکه، جواهرات، کارد و چنگال و

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

www.SID.ir

مقدمه

در صنایعی چون عکاسی و ساخت آینه استفاده می شود. حدود ٤٠ درصد از تولید نقره جهان در صنعت عکاسی مورد استفاده قرار می گیرد. نقره در مدارهای الکترونیک و برخی ابزارهای جراحی نیز استفاده می شود بیش تر آینه ها نیز با پوشاندن شیشه با لایه های 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 جعبه های دیفرانسیلی انجام شده است. تحقیقات بسیاری برای بررسی مورفولوژی سطح لایههای نازک نقره انجام شده است از جمله جاورسکی ٰ بازتابندگی لایه های پوشش داده شده توسط نقره در محدوده دمای زیرلایه ۲۵ تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار دادند [۱]. آنها مس، نیکل، استیل ۳۰۶ را به عنوان زیرلایه انتخاب کرده و اثر نوع زیرلایه را نیز مورد بررسی قرار دادند. همچنین دارامادلیکاری و همکاران ٔ 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 (٪/۹۹۹۹) و زیرلایه (100) Si مورد استفاده قرار گرفتند. اتاقک سیستم تا خلا اولیه Torr <sup>۵–۱</sup>۰ × ۱/۸ تخلیه شد. گاز آرگون (با خلوص ٪۹۹۹۹) به عنوان گاز کندو 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

تحت اولتراسونیک قرار دادیم. دمای زیرلایه را در محدوده دمایی ۲۰۰-۱۰۰ 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.

جدول۱: شرایط لایهنشانی لایه نقره بر روی زیرلایه سیلیکون در محدوده دمای زیرلایه C° ۲۰۰-۱۰۰

	•
زيرلايه	سيليكون (١٠٠)
گاز کند و پاش کننده	آرگون ٪۹۹.۹۹
فشار اوليه (Torr)	$1/\Lambda \times 1.^{-0}$
فشار کار (Torr)	$1/1 \times 1.^{-\circ}$
زمان (min)	١٢٠
شار گاز(sccm)	۲٥
ولتاژ کن <i>د</i> و پاش (Kv)	۲/۲

#### نتايج و بحث

شکل ۱ تصاویر دو و سه بعدی SEM و نمودار پروفایل عرضي لايه هاي نقره را نشان مي دهد. بر اساس تصاوير ديده مي-شود که با افزایش دمای زیرلایه از ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی گراد زبری سطح افزایش مییابد. با افزایش بیشتر دما تا ۳۰۰ درجه زبری سطح کاهش یافته و با افزایش بیشتر دما تا ٤٠٠ 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 پنیری 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 بیشتر دما تا ٤٠٠ درجه سانتی گراد

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> D.A. Jaworske, et.al

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> C. V. Dharmadhikari, et.al

موجب تبلور مجدد دانهها به صورت کروی شده، بنابراین زبری سطح دوباره افزایش مییابد. نمودارهای پروفایل عرضی نمونهها هم پیشربینیهای 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 ٤٠٠، ن- ی) نمودار پروفایل نمونهها با دمای زیرلایه ٤٠٠- ١٠٠.

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 می شود. بعد فرکتالی (FD) پارامتری است که این نوع از فرکتالها را می تواند توصیف

کند و اطلاعاتی از میزان خود متشابهی ارائه میدهد. بیشتر روش های محاسبه FD به صورت توانی هستند که توان وابسته به FD است. در روش شمارش جعبههای دیفرانسیلی 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 می شود که مقدار دقیق تری نسبت به روش تک فرکتالی ارائه می دهد. 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 می دهد. 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-

جدول۲: پارامترهای فرکتالی لایه نقره بر روی زیرلایه سیلیکون در محدوده دمای زیرلایه <sup>0</sup>C ۵۰۰-۱۰۰

دمای	پارامترهای فرکتال چندگانه		بعد فرکتالی	
زیرلایه (°C)	Δα	Δf	FD	MFD
۱۰۰	•/27	•/٦٧	1/0774	١/٨٨٣٤
۲	۰/٣	٠/٦٩	1/2082	١/٨٨٢٨
۳	• /٣٦	١/٣٣	1/07.0	١/٨٩٠٠
٤٠٠	۰/۳۲	۱/۰۳	1/0712	1/225

از همکاری آقای مجید ملک مسئول آزمابشگاه لایهنشانی صمیمانه تشکر م کنیم.

#### مرجعها

سیاسگزاری

- [1] D.A. Jaworske, Reflectivity of silver and silver-coated substrates from 25 °C to 800 °C (for solar collectors)". Energy Conversion Engineering Conference (1997).
- [Y] 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.
- [r] 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.
- [٤] J.C. Arnaulta, 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.
- [o] B. B. Mandelbrot, "Self-Affine Fractals and Fractal Dimension", *Physica Scripta* 32, No. 4 (1985) 257-260.
- [1] 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.
- [v] 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.
- [A] X. Sun, Z. Fu, Z. Wu, "Fractal processing of AFM images of rough ZnO films", *Materials Characterization* 48, No. 2-3 (2002) 169–175.



شکل۲ : الف) نمودار FD نمونهها برحسب دمای زیرلایه، ب) نمودار فرکتال چندگانه نمونهها.

## نتيجه گيرى

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.