فصلنامهي علمي پژوهشي

دورهی ۵، شمارهی ۳، پاییز ۱۳۹۵

تاثیر زمان لایه نشانی بر کیفیت سطح و هدایت الکتریکی پوششهای کامپوزیتی کربن- نیکل

ولی دلوجی'، علیرضا سوری'، مهین سعدی آل کثیر'

<sup>۱</sup> دانشگاه ملایر، دانشکده علوم، گروه فیزیک ۲ دانشگاه ملایر، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مواد-سرامیک

\* dalouji@yahoo.com

چکیده:	اطلاعات مقاله:
در این کار ابعاد برخالی (فرکتالی) و هدایت الکتریکی لایههای کربن– نیکل در زمانهای لایهنشانی ۵۰ تـا	دریافت: ۱۸ مرداد ۱۳۹۵
۶۰۰ ثانیه اندازه گیری شدند. به علت وجود مولفههای برخالی در توپوگرافیهای سطح، چگالی طیفی تــوان	پذیرش: ۹ اسفند ۱۳۹۵
(PSD) تمام لا یهها در محدوده فرکانسهای بالا تغییراتی به صورت عکس قانون توانی نـشان مـیدهنـد.	
ابعاد برخالی و توپوگرافی لا یه های کربن – نیکل از ۵۰ تا ۱۸۰ ثانیه افزایش یافتهاند، بـا ایـن حـال در ۶۰۰	·a÷la 1.15
ثانیه، این یارامترها کاهش یافتهاند. مشاهده شد که با افزایش زمان لا پهنشانی از ۵۰ تا ۱۸۰ ثانیـه، هـدایت	
الکتریکی در دمای اتاق ( $\sigma_{RT}$ ) لا یه ها از $\Gamma/1^{-4} \Omega^{-1} cm^{-1}$ به $\Omega^{-1} cm^{-1} \Omega^{-1} cm^{-1}$ افزایش می یاب	لایههای کربن– نیکل، زمان و نرخ
و سیس به مقدار <sup>1-</sup> Ω <sup>-1</sup> ۲× ۶/۶۲ برای یوشش های لا یه نشانی شده در ۶۰۰ ثانیه کاهش می یابد.	لایهنشانی، ابعاد برخال، هـدایت
ابعاد بر خالی و هدایت الکتریکی در دمای اتاق با تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گـسیل میـدانی در	الكتريكي
توافق مىباشند.	

#### ۱– مقدمه

به دلیل خواص جالب توجهی که کامپوزیتهای کربن آمورف – فلز (فلز: نیکل، طلا، نقره، مس، ...) دارند، کاربردهای زیادی برای آنها مطرح شده است که از جمله می توان به مواد پوششی در پزشکی، الکترونیک، مکانیک و اپتیک اشاره کرد[۴–۱]. پارامترهای زبری بر اساس نظریههای مرسوم به مدت نمونه گیری ابزارهای اندازه گیری

بستگی دارند. پژوهشگران با به کارگیری روشهای هندسی برخال توانستند بر این مشکل غلبه کنند، زیرا مدلهای مربوط به برخال، شامل پارامترهای توپوگرافی هستندکه از دقت دستگاههای مورد استفاده مستقل میباشند[۵]. مفهوم ابعاد برخال، در مقابل روشهای سنتی، هم در استفاده از طیف وسیعی از هندسهی پیچیده سطح و هم در پیشبرد درک ما از چگونگی هندسهی خواص سیستمهای فیزیکی بسیار موفقیت آمیز بوده است[۶]. بعد برخال در محدودهی تاثیر زمان لایه نشانی بر کیفیت سطح و هدایت الکتریکی پوششهای کامپوزیتی کربن- نیکل



# ۲- فعالیتهای تجربی

لایـههای کـامپوزیتی کـربن-نیکـل کـه توسط دسـتگاه کنـدوپاش مغناطیـسی بـا فرکـانس رادیـویی (RF-magnetron co-sputtering) تهیه شده انـد، مـورد بررسی قرار گرفتند. ایـن لایـهها بـر روی زیـر لایـههای شیشهای با استفاده از هدف ترکیبی به قطر ۱۰ سانتیمتر که شامل گرافیت خالص و باریکههایی از نیکل خالص کـه به صورت یک مسیر دایـرهای بـه گرافیـت چـسبیده، آماده شدهاند. زیرلایـهها و هـدف مـذکور قبـل از قـرار دادن در محفظهی لایهنشانی، در حمام اسـتون بـه مـدت ۲۰ دقیقـه تمیز شدند، سپس با استفاده از جریان هـوای گـرم، خـشک گردیدنـد. زیرلایـهها در دمـای اتـاق در یـک محفظـهی لایهنشانی با فشار پایه <sup>۵–</sup> ۱۰× ۵ میلی بار رشـد داده شـدند.

<sup>-۲</sup> ۱۰× ۴ میلی بار رسانده و توسط سوپاپ، دریچهی گاز ثابت نگه داشته شد. لایهنشانی در توان RF ثابت ۴۰۰ وات انجام شد. پوششها در زمانهای ۵۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۶۰۰ ثانیه لایهنشانی شدند. ضخامت لایهها با استفاده از دستگاه Tencor Alpha – Step500 Profiler اندازه گیری شد. نرخ لایهنشانی پوشش ها در زمان های لایهنشانی ۵۰، ۹۰، ۱۸۰ و۶۰۰ ثانیه، به ترتیب ۲/۸۴، ۱/۶، ۱/۷۱ و ۱ نانومتر بر ثانیه تخمين زده شد. تصاوير ميكروسكوپ الكتروني روبشي كسيل ميدانى (Field Emission Scanning Electronic) (Microscopy ب\_\_\_\_\_رای بررس\_\_\_ی مورفول\_\_\_وژی م\_\_\_ورد استفاده واقع شد. آنالیزهای میکروسکوپ نیروی اتمی (Atomic Force Microscopic) روی حالت های غیر تماسی برای به دست آوردن خواص مورفولوژی سطح مورد استفاده قرار گرفت. جذر میانگین مربعی (Root Mean Square) زبری لایهها با استفاده از دادههای AFM و بکارگیری نرم افزار AFM محاسبه گردید. هدایت الکتریکی جریان مستقیم نمونههای سرد شـده در یک جریان هلیم پیوسته (دستگاه مدل دمای پایین نوری USA450CCS) و در یک محفظ می ترمواستاتیک با محدودهی دمایی ۵۰۰–۱۵ کلوین اندازه گیری شد. منبع توان با ولتا (ORTEC 456, USA, 0-3kV) والكترومتر با سيستم Keithley 196 و Metrix VX102A براى اندازه گیری ولتاژ و جریان بکار رفت.

## ۳- نتایج و بحث

در شکل ۱ فراوانی و تصاویر دو بعدی AFM لایههای کربن- نیکل لایهنشانی شده در زمانهای ۵۰ تا ۶۰۰ ثانیه

**۶۶** دورهی ۵ شمارهی ۳ پاییز ۱۳۹۵

نشان داده شده است. برای بررسی مورفولوژی دو منطقه در شکل ۱ مشخص شده است. اولی در محدوده ی ۵۰ تا ۱۸۰ ثانیه که متوسط اندازه نانوذرات و زبری سطح لایهها افزایش یافته است و دومی در محدوده ی ۱۸۰ تا ۶۰۰ ثانیه که متوسط اندازه نانوذرات و زبری سطح لایهها کاهش یافته است. افزایش مقادیر جذر میانگین مربعی زبری (RMS) و اندازه ی نانوذرات در منطقه ی اول به علت افزایش نرخ لایهنشانی است، در حالی که، کاهش جذر

میانگین مربعی زبری و اندازهی نانوذرات در منطقه ی دوم به علت کاهش نرخ لایهنشانی میباشد[۱۰]. افزایش نرخ رشد لایهها باعث میشود که ذرات فرودآمده زمان کافی در اختیار نداشته باشند تا به مناطق با سطح انرژی پایین *تر* بروند در نتیجه ذرات روی هم قرار میگیرند و سطح ناهموار میشود اما با کاهش نرخ رشد لایهها ذرات فرود آمده زمان لازم در اختیار دارند و در نقاط با انرژی پایین قرار میگیرند و بنابراین سطح هموارتر میشود.



شکل ۱– الف) تغییرات فراوانی نانوذرات پوششهای لایهنشانی شده کربن– نیکل در زمانهای ۵۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۶۰۰ ثانیه بر حسب توپوگرافی سطح و تصاویر AFM پوششهای لایهنشانی شده کربن– نیکل در ب) ۱۸۰ ثانیه و ج) ۶۰۰ ثانیه.

55nm

آنالیزهای چگالی طیفی توان (Power Spectral Density) نشان میدهند که چگونه زبری در مقیاس طول تغییر میکند. تبدیل سریع فوریه میتواند برای به دست آوردن توزیع فرکانسی مقطع عرضی در تمام محدودهی فرکانسی مورد استفاده واقع شود. تصاویر AFM میتوانند به پیکسلهایی به صورت یک منطقهی مربعی کوچک که در آن بردارهای (x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>) و (y) در موقعیت (x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>) ارتفاع هستند، تقسیم شوند. سپس متوسط چگالی طیفی توان به صورت زیر داده میشود[۱۳]:

$$p(n) = \frac{2L}{N} \left[ \langle \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} \left( FFT(h(x_i))^2 \right) \rangle_y + \sum \left( FFT(h(y_i))^2 \rangle_x \right) \right]$$

که در آن FFT، تبدیل سریع فوریه بردارهای (h(x<sub>i</sub>) و h(x<sub>i</sub>) هستند. مطابق با نظریه دینامیکی مقیاس گذاری k ایرای سیستمهای کم اندازه، ارتباط بین (P(k) و فرکانس k به صورت زیر میباشد[۱۴]:

$$P(k) \propto k^{-\beta}$$

که در آن  $\beta$  به عنوان شیب لگاریتمی توابع PSD برای فضاهای با فرکانس بالا محاسبه می شود. بعد برخال  $D_f$  به شیب  $\beta$  در مقیاس لگاریتمی به صورت  $D_f=4-\beta/2$  مربوط می شود. همان طور که در شکل۲-الف نشان داده شده است، با افزایش زمانهای لایه نشانی از ۵۰ تا ۱۸۰ ثانیه، توابع PSD لایه های



کربن– نیکل تغییرات کمتری را بر حسب فرکانس فضایی نشان میدهند. این رفتار میتواند به علت رشد اندازه ی جانبی نانوذرات باشد[۱۵]. با این حال با افزایش زمان لایهنشانی از ۱۸۰ تا ۶۰۰ ثانیه، شیب توابع PSD افزایش مییابد که این میتواند به علت کاهش اندازه ی جانبی نانوذرات باشد[۱۵]. تمام لایهها عکس تغییرات قانون توان را نشان میدهند، به خصوص در منطقه ی فرکانس فضایی بالا که اشاره به وجود اجزای برخال در توپوگرافی های سطح دارد. افزایش ابعاد برخال با افزایش اندازه جانبی نانوذرات در شکل ۲ – ب و ۲ – ج شباهت زیادی به نتایج بهدست آمده روی فیلم نازک ITO توسط داود رئوفی [۱۵] دارد.

مقادیر شیب β، بعد برخال و زبری سطح لایهها در زمانهای لایهنشانی مختلف در جدول ۱ و همچنین در شکل ۲-ب، ج

و ۲-د به ترتیب نشان داده شده است. واضح است که مقادیر ابعاد برخال به جذر میانگین مربعی زبری لایههای سطح بستگی دارد. با افزایش زمان لایهنشانی به ۱۸۰ ثانیه، مقدار ابعاد برخال و RMS زبری لایهها افزایش مییابد و بالای ۱۸۰ ثانیه ابعاد برخال و RMS زبری کاهش مییابد.

جدول ۱– مقادیر شیب β، بعد برخال D<sub>f</sub> و RMS زبری لایههای کربن– نیکل در زمانهای لایهنشانی مختلف

زمان لایهنشانی (ثانیه)	شيب β	D <sub>f</sub> بعد برخال	RMS زبری (نانومتر)
۵۰	37/48	۲/۲۷	٣/٩۶
٩٠	۲/٩	۲/۵۵	۵/۵۲
۱۸۰	۲/۶۶	۲/۶۷	۶/۰۲
۶	٣/٨٦	$r \sim r$	۴/۵۳



شکل ۲– الف) چگالی طیفی توان (PSD) برحسب فرکانس k، ب) شیب β، ج) ابعاد برخال و د) RMS زبری لایههای کربن– نیکل در زمانهای لایهنشانی مختلف

🗚 دورهی ۵ شمارهی ۳ پاییز ۱۳۹۵

Archive of SID



علم و مهندسی سرامیک

مشاهده شود. همان طور که در تصاویر FESEM نشان داده شده است، اندازهی ذرات برای پوششهای لایهنشانی شده در زمانهای ۵۰ تا ۱۸۰ ثانیه افزایش یافته و در ۱۸۰ ثانیه بیشترین مقدار را دارد. با این حال اندازهی ذرات به طور قابل توجهی برای پوششهای لایهنشانی شده با زمان ۶۰۰ ثانیه کاهش یافته است.

در شکل ۳ رشد اندازهی نانوذرات در تصاویر FESEM نشان داده شده است. شکل ۳-الف) فراوانی نانوذرات به دست آمده از تصاویر FESEM لایههای کربن- نیکل لایه نشانی شده در زمانهای ۵۰ تا ۶۰۰ ثانیه را نشان میدهد. تغییر در مورفولوژی لایهها میتواند با افزایش مقدار نیکل لایهها به علت تغییر در نرخ لایه



شکل ۳– الف) تغییرات فراوانی نانوذرات لایههای کربن– نیکل لایهنشانی شده در زمانهای ۵۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۶۰۰ ثانیه بر حسب قطر نانو ذرات و تصاویر FESEM پوششهای لایهنشانی شده در ب)۵۰ ثانیه، ج) ۱۸۰ و د) ۶۰۰ ثانیه.

در ۶۰۰ ثانیه به مقدار <sup>-۹</sup>Ω<sup>-۱</sup> cm<sup>-۲</sup> کاهش مییابد. افزایش هدایت الکتریکی از ۵۰ تا ۱۸۰ثانیه ممکن است به علت افزایش ناخالصی نیکل و انحراف از استوکیومتری که باعث حضور نقصهای ذاتی مانند تخلخل ناشی از اکسیژن و نیکل است، نسبت داده شود. همچنین

69

در شکل ۴ تغییرات هدایت الکتریکی در دمای اتاق ( $\sigma_{RT}$ ) برحسب زمان لایهنشانی نشان داده شده است. با افزایش زمان لایهنشانی از ۵۰ تا ۱۸۰ثانیه، هادایت الکتریکی در دمای اتاق از  $\Omega^{-1} cm^{-1} \Omega^{-1} cm^{-1}$  به  $\Gamma^{-1} cm^{-1} cm^{-1}$  دمای اتاق از  $\Omega^{-1} cm^{-1}$  دمای اقزایش مییابد و سپس برای پوشش های لایهنشانی شده



تاثیر زمان لایه نشانی بر کیفیت سطح و هدایت الکتریکی پوششهای کامپوزیتی کربن- نیکل



شکل ۴– تغییرات هدایت الکتریکی در دمای اتاق بر حسب زمان لایهنشانی. شکل ضمیمه: تغییرات هدایت الکتریکی لایهها نسبت به دما برای پوششهای لایهنشانی شده در زمانهای۵۰۰ تا ۶۰۰ ثانیه

## ۴- نتیجهگیری

در این کار نشان داده شد که زمان لایهنشانی لایهها، نقش مهمی در ابعاد برخال و هدایت الکتریکی لایههای کربن-نیکل دارد. مشاهده گردید که میتوان ارتباطی بین نتایج به دست آمده از خواص الکتریکی و ابعاد برخالی لایهها با استفاده از تصاویر FESEM به دست آورد. همچنین نشان داده شد که ابعاد برخال و RMS زبری در ۱۸۰ ثانیه، به ترتیب مقادیر ماکزیمم ۲/۶۷ و ۶/۰۲ نانومتر را دارند که در توافق با خواص الکتریکی میباشند.

#### مراجع

 J. L. Endrino, R. Escobar Galindo, H.S. Zhang, M. Allen, R.Gago, A.Espinosa, A.Anders, *Structure and properties of* silver-containing a-C(H) films deposited by plasma immersion ion implantation, Surface and Coatings Technology 202 (2008) 3675-3682.

کاهش هدایت الکتریکی از ۱۸۰ تا ۶۰۰ ثانیه به کاهش ميزان ناخالصي نسبت داده شود. اين كاهش ميزان ناخالصي به خاطر کاهش نرخ رشد لایههای نازک می باشد. تصویر ضميمه شكل ۴، هدايت الكتريكي لايـههـا بـا دمـا، بـراي لایههای کربن-نیکل لایهنشانی شده در زمانهای ۵۰ تا ۶۰۰ ثانیه را نشان میدهد. در تمام محدودهی دمایی ۱۵ تا ۵۰۰ کلوین، با افزایش دما، هدایت الکتریکی لایهها افزایش می یابد که این نشان دهندهی رفتار نیمه هادی ها است. بديهي است كه هدايت الكتريكي لايهها با افزايش زمان لایهنشانی از ۵۰ تا ۱۸۰ ثانیه، به علت افزایش اندازهی ذرات و از این رو کاهش پراکندگی مرزدانهها، افزایش می یابد. علاوه بر اندازه ذرات میزان نانو ذرات نیکل نیز در افزایش هدایت الکتریکی لایهها موثر است. از زمان ۱۸۰ تـا ۶۰۰ ثانیه، به علت کاهش اندازهی ذرات و از این رو افزایش يراكندگي مرزدانه، هدايت الكتريكي لايهها كاهش مي يابد چون افزایش ابعاد برخالی ارتباط مستقیم با افزایش نانو ذرات در لایهها دارد بنابراین با افزایش ابعاد برخالی هدایت الكتريكي افزايش مييابد. افزايش پراكندكي مرز دانهها و كاهش هدايت الكتريكي با كار انجام شده توسط A. Yidiz و همکارانش[۱۶] روی اکسید تیتانیم شباهت دارد. تغییرات هدایت الکتریکی برحسب زمان لایهنشانی در دمای ۱۵ تا ۵۰۰ کلوین، در توافق خوبی با تغییرات هدایت الکتریکی در دمای اتاق (σ<sub>RT</sub>) برحسب زمان لایه نشانی مىباشد.

♦¥ دورهی ۵ شمارهی ۳ پاییز ۱۳۹۵

Rate on Optical Properties of RF-Magnetron Sputtered Carbon–Nickel Composite Films Deposited at Different Deposition Times, Mol. Cryst. Liq. Cryst., 587 (2013)105-112.

- [12] V. Dalouji, S. M. Elahi., Effect of annealing temperature on the optical loss and the optical constants of RFmagnetron sputtered carbon — nickel composite films, Journal of Korean physical Society, 64 (2014) 857-862.
- [13] J. M. Bennett, L. Mattson, Introduction to Surface Roughness and Scattering, second ed., Optical Society of America, Washington, DC, 1999.
- [14] T. Babadagli, K. Develi, Fractal characteristics of rocks fractured under tension, Theor. Appl. Frac. Mech. 39 (2003) 73–88.
- [15] D. Raoufi, Fractal analyses of ITO thin films: A study based on power spectral density, Physica B 405 (2010) 451–455.
- [16] A. Yidiz, N. Serin, M. Kasab, T Serin, D. Mardare, *The thickness effect on the electrical conduction mechanism in titanium oxide thin films*, Journal of Alloys and Compounds, 493 (2010) 227-232

- [2] Y. Y. Chang, D. Y. Wang, W. Wu, Catalysis effect of metal doping on wear properties of diamond-like carbon films deposited by a cathodic-arc activated deposition process, Thin Solid Films 420-421 (2002) 241–247.
- [3] T. Ghodselahi, M. A. Vesaghi, A. Shafiekhani, M. Ahmadi, M. Panahandeh, M. HeidariSaani, *Metal-Nonmetal Transition in the Copper-Carbon Nanocomposite Films*, physica B 405 (2010) 3949-3951.
- [4] C. J. Zong, J. Luo, B. Fang, B. N. Wanjal., P.N. Njoki. *Nanostructured catalysts in fuel cells*, Nanotechnology 21, (2010) 062001.
- [5] P. Pfeifer, Y. J. Wu, M. W. Cole, J. Krim, *Multilayer adsorption on a fractally rough surface*, Phys. Rev. Lett. 62 (1998) 1997.
- [6] T. H. Fang, S. R. Jian, D. S. Chun, Nanotribology and fractal analysis of ZnO thin films using scanning probe microscopy, J. Phys. D: Appl. Phys. 36 (2003) 878-883.
- [7] B. Mandelbrot, *The fractal Geometry of Nature*, New York : Freeman, 1982.
- [8] S. Kukielka, W. Gulbinski, Y. Pauleau, S. N. Dub, J. J. Grob, Composition, mechanical properties and friction behavior of nickel/hydrogenated amorphous carbon composite films, Surf. Coat. Technol. 200 (2006) 6258-6262.
- [9] N. Sbai-Benchikh, A. Zeinert, H Caillierez, C. Donnet, Optical properties of nickel-incorporated amorphous carbon film deposited by femtosecond pulsed laser ablation, Diamond Relat.Mater.18, (2009) 1085–1090.
- [10] S. M. Elahi, V. Dalouji, S.Valedbagi., The Effect of Deposition Rate on Morphology and Structural Properties of Carbon-Nickel Composite Films, Advance in Materials Science and Engineering, 2013, Article ID 506549, 3 pages.
- [11] S. M. Elahi, V. Dalouji, D. Mehrparvar, S.Valedbagi.,*Influence of Deposition*

دورهی ۵ شمارهی ۳ پاییز ۱۳۹۵ 🔰