

اثر زمان انباشت در تغییر ساختار نانوذرات نقره ساخته شده در بستری از کربن شبه‌الماسی به روش RF-PECVD پراش پرتوی ایکس XRD

عزیزاله شفیعی‌خانی^۱ و سنور عبدالقادی^۱

۱. آزمایشگاه کربن، گروه فیزیک، دانشگاه الزهراء، تهران

۲. آزمایشگاه کربن، پژوهشکده فیزیک، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران

(دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۳/۲۳؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۲/۱۰/۱۹)

چکیده

نانوذرات نقره در بستری از لایه‌های کربن شبه‌الماسی به روش لایه‌نشانی همزمان کندوپاش با امواج رادیویی و انباشت شیمیایی بخار، به کمک پلاسما و با استفاده از گاز عامل استیلن و هدف نقره ساخته شد. از آنجا که شرایط ساخت، همچون فشار اولیه و توان منبع امواج رادیویی ثابت نگه داشته شده بود، با تغییر زمان انباشت تغییر فازی در نوع دانه‌بندی، خواص الکتریکی و اپتیکی این لایه‌ها مشاهده شد که مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات نقره، انباشت بخار شیمیایی به کمک پلاسما، خواص الکتریکی و اپتیکی

۱. مقدمه

نانوذرات در بستری از کربن شبه‌الماسی به روش هم‌زمان RF-Sputtering و RF-PECVD یک روش ابداعی است. از دلایل منحصربه‌فرد بودن این روش نیز می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

این روش کاملاً فیزیکی و خشک است، به‌صورت تک مرحله‌ای و در یک روند، بر روی هر زیرلایه‌ای و از هر جنسی قابل انباشت است، مستقیماً قابل تبدیل شدن به یک قطعه الکترونیکی برای کاربردهای حسگری است، و به طور مستقیم لایه محافظ با ساختار شبه‌الماسی با کمترین اصطکاک و خنثی شیمیایی است.

لایه‌های کربن شبه‌الماسی به دلیل وجود درصد بالای پیوندهای sp^3 خواص استثنایی الماس را به امانت گرفته‌اند. کاشت اتم‌های فلزی در چنین لایه‌هایی خواص اپتیکی و الکتریکی آنها را بهبود بخشیده و موجب کاهش تنش داخلی در لایه‌های شبه‌الماسی می‌شود. از جمله ویژگی‌های لایه‌های کربن-نقره خواص ضدباکتری آن و استفاده در نانوحسگرهاست [۱]. قابل کنترل بودن فرایند انباشت، چسبندگی خوب لایه به زیرلایه، امکان لایه‌نشانی در دمای پایین و پایین بودن هزینه لایه‌نشانی از مزایای لایه‌نشانی به روش کندوپاش است [۲]. ساخت

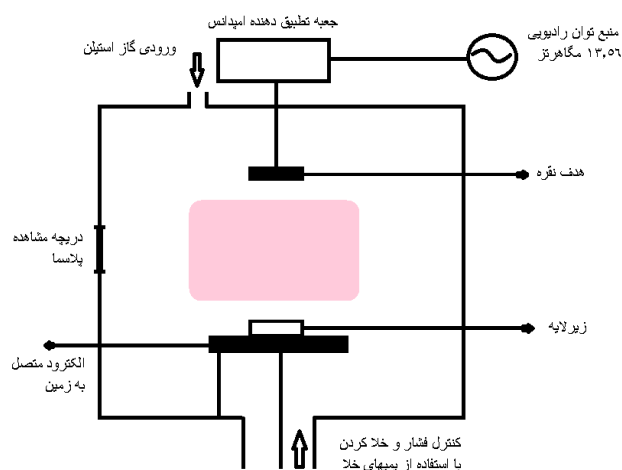
جدول شماره ۱. داده‌های مربوط به نمونه‌ها.

نمونه	زمان انباشت (min)	مقاومت $\times 10^{100}$ (ohm -cm)	قله پلاسما (nm)	زبری سطح (nm)	نیم پهنای توپوگرافی (nm)	اندازه ذره با استفاده از شرر (nm)
Ag۱	۴	۸۸۴۰/۰۰	۴۸۵	۲/۷۳	۶/۰۹	۲/۰۳
Ag۲	۱۵	۱۹/۳۰	۴۶۵	۶/۶۹	۱۸/۷۲	۳/۷۴
Ag۳	۴۰	۵/۵۲	۴۹۰	۶/۹۸	۱۴/۰۴	۳/۷۲

۱ Pa خلاء شد. اختلاف پتانسیل خود بایاس DC برای فاصله ۴ سانتی متری الکترودها حدود ۸۰ ولت است. ولتاژ RF بین صفحات الکترودها مانند یک تقسیم کننده خازنی بر اساس معکوس ظرفیت تقسیم می‌شود، که رابطه ولتاژ با سطح الکترودها به صورت رابطه (۱) است [۳].

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \quad (1)$$

الکتروود کوچک‌تر که قرص نقره است، به منبع توان RF و الکتروود بزرگ‌تر که زیرلایه‌ها روی آن قرار می‌گیرد، به بدنه فولادی محفظه و زمین متصل است. لایه‌نشانی تمام نمونه‌ها با توان ثابت ۱۶۰ W، فشار اولیه ۴ Pa و در دمای اتاق صورت گرفت. فشار محفظه با ورود گاز استیلن تا ۴ Pa بالا می‌رود. گاز استیلن تحت تأثیر توان RF یونیده و پلاسما تشکیل می‌شود. یون‌های هیدروکربنی موجود در محفظه به هدف نقره برخورد کرده، از سطح هدف اتم‌های نقره را کندوپاش می‌کند. سپس اتم‌ها و یون‌های نقره همراه با یون‌های هیدروکربنی در سطح زیرلایه انباشت می‌شوند. گاز استیلن به دلیل نسبت کم هیدروژن در لایه‌ها برای افزایش استحکام آنهاست. همچنین پیوند محکم σ بین اتم‌های کربن در استیلن باعث سهولت تولید یون‌های $C_2H_n^+$ طی فرایند انباشت می‌شود [۲]. اندازه‌گیری ضخامت به روش alpha-step بر روی یکی از نمونه‌ها با قراردادن یک لایه از شیشه «پوست پیازی»، انجام شد که بر حسب زمان انباشت بین ۵ تا ۱۰ نانومتر بود. با این روش با توان ۱۶۰ وات نمی‌توان لایه‌های با ضخامت بیشتر را به دلیل بازکندوپاش ساخت.

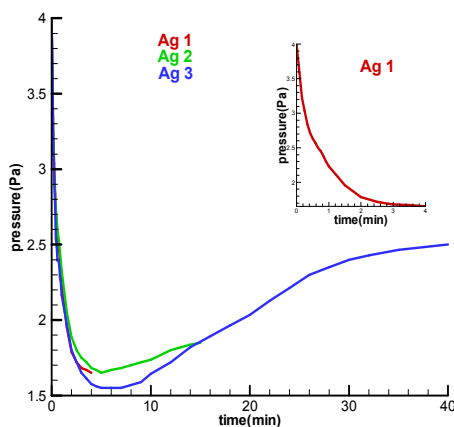


شکل ۱. شمایی از دستگاه لایه‌نشانی.

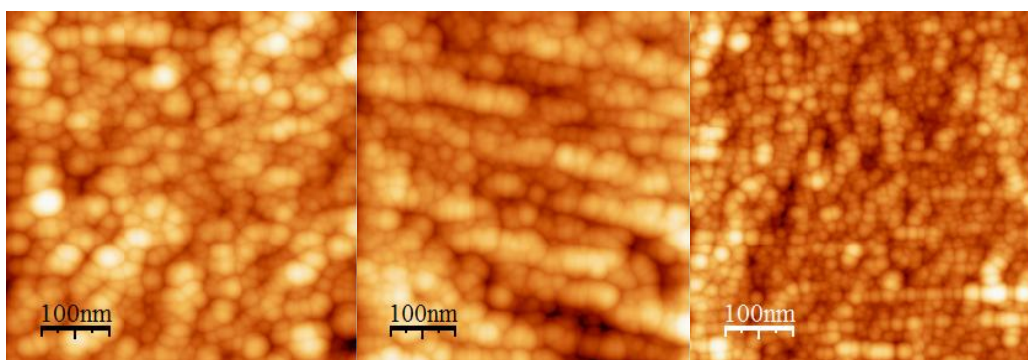
۲. ساخت نمونه‌ها

لایه‌های کربن شبه‌الماسی با ناخالصی نقره با استفاده از روش هم‌زمان RF-Sputtering و RF-PECVD روی زیرلایه‌های شیشه و سیلیکون ساخته شد. پراش پرتوی ایکس شیشه به دلیل بی‌ریختی‌اش در ناحیه ۲۵ درجه یک قله پهن دارد، به همین دلیل برای حذف اثرات پراش ناشی از زیرلایه و بالا بردن دقت بررسی پراش پرتوی ایکس از نمونه‌های با زیرلایه سیلیکون استفاده شد. ولی در سایر بررسی‌ها از جمله میکروسکوپ نیروی اتمی، فرابنفش - مریی و مقاومت سنجی نمونه‌ها از زیرلایه شیشه آزمایشگاهی با مارک Sail Brand و مشخصات CAT.NO -7102 مورد استفاده قرار گرفت.

جزئیات نمونه‌ها در جدول ۱ و اجزای دستگاه در شکل ۱ آمده است. محفظه قبل از شروع فرایند لایه‌نشانی تا فشار



شکل ۲. (رنگی در نسخه الکترونیکی) تغییرات فشار محفظه بر حسب زمان.



شکل ۳. (رنگی در نسخه الکترونیکی) تصاویر AFM از سطح نمونه‌ها، به ترتیب از راست به چپ نمونه‌های ۱، ۲ و ۳.

۳. بررسی تغییرات فشار محفظه

تغییرات فشار بر حسب زمان انباشت، اطلاعاتی از ساختار لایه‌های ساخته شده و روند لایه‌نشانی به دست می‌دهد. با شروع کندوپاش از هدف نقره، فشار داخل محفظه افزایش یافته و در حین انباشت یون‌های هیدروکربنی و نقره، فشار محفظه کاهش می‌یابد. به عبارتی نسبت سرعت انباشت به کندوپاش، چگونگی فرایند لایه‌نشانی را مشخص می‌کند. اختلاف پتانسیل لازم برای کندن اتم‌های نقره از هدف با توان RF، W ، و فشار اولیه محفظه P ، به صورت زیر است [۳]

$$V_b \propto \frac{W}{P \sqrt{r}} \quad (2)$$

با توجه به نمودار تغییرات فشار بر حسب زمان انباشت در شکل ۲ در مورد نمونه ۱ نزولی بودن نمودار انباشت به معنی انباشت یون‌های هیدروکربنی موجود در محفظه و ثابت شدن فشار در دقیقه سوم هر چند به مقدار کم، به معنی کندوپاش

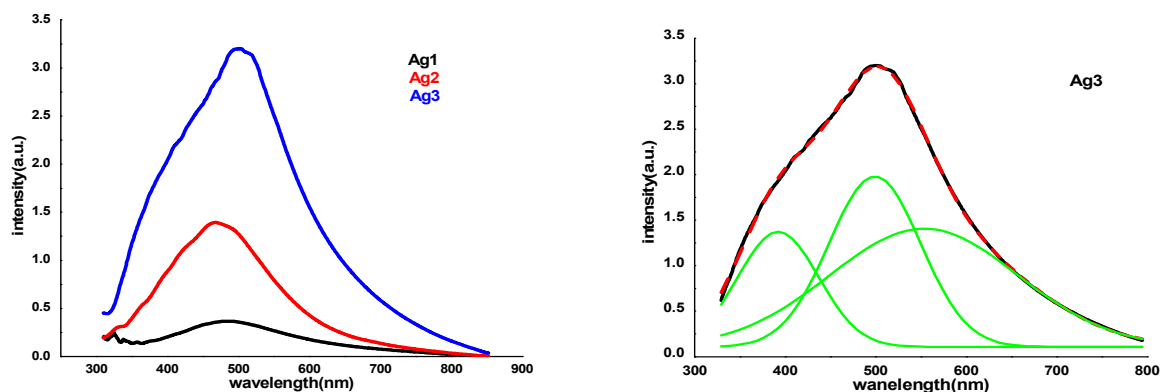
اتم‌های نقره و حضور آنها در لایه است. در نمونه‌های ۲ و ۳ صعودی شدن نمودار نشان از آهنگ سریع کندوپاش از هدف نقره و انباشت بر زیرلایه است. به همین دلیل نانوذرات نقره در سطح و حجم لایه‌های ساخته شده انباشته می‌شوند.

۴. بررسی تحلیل میکروسکوپ نیروی اتمی

با استفاده از تصاویر AFM در شکل ۳ وجود نانوذرات نقره در سطح لایه‌ها و همچنین کلوخه شدن ذرات در نمونه ۲ به صورت رشته‌ای مشهود است. نیم‌پهنای توپوگرافی و زبری سطح نمونه‌ها (که در جدول ۱ آمده است) کلوخه شدن ذرات در نمونه ۲ را تأیید می‌کند.

۵. طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس

با استفاده از داده‌های بدست آمده از XRD، در شکل ۴، قله ناشی از وجود بلورهای نقره با صفحات بلوری (۱۱۱)، (۲۲۰) و (۲۰۰)



شکل ۵. (رنگی در نسخه الکترونیکی) راست: جذب نمونه ۳ همراه با گاوسی‌های بهنجار برازش شده، چپ: طیف جذبی نمونه‌های Ag₁, Ag₂, Ag₃

شد که افزایش چگالی نقره افزایش شدت و بزرگ شدن ذرات جابه‌جایی سرخ قله پلاسمون را نشان می‌دهد. مجاورت ذرات در نمونه ۲ که با بررسی‌های AFM و XRD تأیید شده، از یک سو موجب دور شدن ذرات از هم و کاهش اثر جفت شدگی دوقطبی ذرات، و از سوی دیگر باعث جابه‌جایی آبی قله پلاسمون این نمونه شده است. همچنین از بررسی XRD می‌توان فهمید که به دلیل وجود نانوذرات نقره در سطح لایه، اکسیدهای نقره به صورت هسته-پوسته تشکیل شده که پایدارترین این ترکیبات اکسیدی در دمای اتاق، مربوط به Ag₂O و Ag₂O هستند [۸]. با افزایش چگالی نانوذرات نقره در سطح با افزایش زمان انباشت، مقاومت لایه‌ها تا ۳ مرتبه بزرگی کاهش می‌یابد.

۷. اندازه‌گیری مقاومت

مقاومت بر واحد طول (Ωcm) نمونه‌ها با استفاده از روش دو پروبی و قرار دادن در مدار، بدست آمد. رسانایی در نمونه ۲ به دلیل وجود رشته‌های به هم پیوسته در یک امتداد، پیچیده است. در واقع رسانایی و انتقال الکترون‌های آزاد در امتداد رشته‌ها به آسانی و برای انتقال به رشته بعدی با استفاده از پرش و تونل‌زنی الکترون‌ها امکان پذیر است. مقاومت‌ها در جدول ۱ آمده است. همان طور که از نمودار انباشت انتظار می‌رفت با افزایش زمان انباشت به دلیل افزایش چگالی نانو ذرات در سطح لایه، مقاومت لایه‌ها کاهش یافته است.

۸. نتیجه‌گیری

با طیف‌سنجی، تشدید پلاسمون در بازه ۴۶۰-۵۰۰ nm دیده

۹. مراجع

1. S Hussain, R K Roy, and A K Pal, *Materials Chemistry and Physics* **99** (2006) 375.
2. J Robertson, *Materials Science and Engineering R* **37** (2002) 129.
3. T Ghodselahi, M A Vesaghi, A Shafiekhani, A Baradaran, A Karimi, and Z Mobini, *Surface and Coating Technology* **202** (2008) 2731.
4. M F Al-Kulhaili, *J. Phys. D: App. Phys.* **40** (2007) 2847.
5. F Qi, Y X Leng, H Sun, and N Huang, *IEEE Trans. Plasma Sci.* **37** (2009) 1136.
6. Z Zhang and C Noguez, *Plasmonics* **3** (2008) 127.
7. K Lance Kelly, E Coronado, L Zhao, and G C Schatz, *J. Phys. Chem. B* **107** (2003) 668.
8. F Hong-Liang, G Xiao-Yong, Z Zeng-Yuan, and M Jiao-Min, *J. Korean Phys. Soc.* **56** (2010) 1176.