

مقاله نامه ششمین کنفرانس ملّی خلأ ایران دانشگاه شهید چمران اهواز ۱۶ و ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۲



بررسی تاثیر تغییرات سرعت چرخش زیرلایه بر موفولوژی لایههای نازک تنگستن نانوستون ساخته شده به روش ترکیبی GLAD-RF Sputtering

شاکر، طیبه^ا ؛مشفق، علیرضا^{او۲}

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف ، خیابان آزادی ، تهران ^۲ پژوهشکده نانو، دانشگاه صنعتی شریف ، خیابان آزادی، تهران moshfegh@sharif.edu

چکیدہ

در این پژوهش، لایههای نازگ متشکل از نانوستونهای تنگستن به روش ترکیبی اسپاترینگ فرکانس رادیویی- تحت زاویه خراشان و زیرلایه چرخان(GLAD) در سرعتهای متفاوت بر سطح زیرلایه (IOD) لایه نشانی شاند. سپس تغییرات مورفولوژی لایهها با تکنیکهای میکروسکوپ الکترونی رویشی(SEM) و همچنین میکروسکوپ نیروی اتمی(AFM) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. براساس تحلیل نتایج به دست آمده، افزایش دور موتور منجر به کاهش زبری جادر میانگین(Rms) سطح نمونهها و همچنین اندازه دانهها گردید. حافل میانگین اندازه دانه در سطح، برای نمونه تهیه شده در ۲۰۰ برای MN، منداند. مانست آمد.

The effect of substrate rotational speeds on morphology of GLAD RF sputtered W nano-column thin films

Shaker, Tayebeh¹; Moshfegh, Alireza^{1,2}

¹Physics Department, Sharif University Of Technology, Tehran, ²Institue for nanoscience & nanotechnology, Sharif University of Technology, Tehran

Abstract

In this study, W nano-columns were prepared at different substrate rotational speeds using GLAD-RF-Sputtering deposition method. Morphological changes of these layers were investigated with SEM and AFM. Results show that columnar structure formed for all samples and RMS surface roughness and average grain size decreased with increasing substrate rotational speeds. A minimum average grain size was measured of about 58 nm at 30 rpm.

مقدمه

امروزه با توجه به کاربردهای گستردهای که مواد و قطعات در لذا استفاده از حوزه فناوری نانو پیدا کردهاند، پژوهشهای زیادی بر روی نانوساختار دقیق موضوعاتی همچون بهینهسازی خواص نانوساختارها و درک و علاوه بر آن و شناخت دقیق از مکانیزم رشد لایههای نازک و همچنین ابداع ترکیب شیمیایی کاربردهای جدید آنها، انجام می شود. معمولاً راهکارهایی که برای لذا با فراهم آو ساخت نانوساختارها در پیش گرفته می شود، عبارت از یک مرحله نازک با مورفولو

www.SID.ir

ساخت اولیه و سپس انجام عملیات حرارتی بر روی آن میباشد. لذا استفاده از راهکاری که بتواند طی یک مرحله بدون پخت، نانوساختار دقیق مورد نظر را تولید نماید، بسیار حائز اهمیت است. علاوه بر آن واضح است که خواص لایه های نازک عمدتاً به ترکیب شیمیایی، ساختار کریستالی و مورفولوژی آنها بستگی دارد. لذا با فراهم آوردن شرایط مشخص و ویژه، می توان لایه های نازک با مورفولوژی ستونی و ساختار کنترل و مهندسی شده، تهیه



مقاله نامه ششمین کنفرانس ملّی خلاً ایران دانشگاه شهید چمران اهواز ۱۶ و ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۲

دانتگاه شهید تیم ان ابواز

نمود. لآیه نشانی به این روش یعنی لایه نشانی زیر لایه چرخان تحت زاویه خراشان شار ذرات یا 'GLAD، تکنیک نوینی است که برای ساخت لایه های نازک با استفاده از اثر سایه اندازی اتمی در زوایای لایه نشانی به شدت کج، ساختارهای متخلخل ستونی در مقیاس نانومتر و میکرومتر قابل تهیه و رشد می باشد. در این روش، می توان با کنترل پارامترهای رشد، ساختارهای از پیش طراحی شده را بدست آورد[۱]. این تکنیک کاربردهای گوناگونی همچون گسیلگرهای تابش میدان [۲]، پوشش های ضد حرارتی[۳] و سطوح آب گریز [٤] دارد.

در این پژوهش، ساختارهای ستونی شکل تنگستن در یک مرحله (بدون پخت) و با استفاده از روش ترکیبی اسپاترینگ فرکانس رادیویی(RF)- GLAD بر روی زیرلایه سیلیکان (100) در سرعتهای متفاوت چرخش زیرلایه، لایهنشانی شدند. سپس نتایج آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی روبشی ^۲(SEM) و میکروسکوپ نیروی اتمی ^۳(AFM) برای مطالعه چگونگی موفولوژی لایههای تهیه شده، بکار گرفته شد که نتایچ آن در ادامه ارائه می شود.

بخش تجربى

دستگاه مورد استفاده برای فرآیند لایهنشانی ، دستگاه مرکب اسپاترینگ- تبخیرحرارتی Alcatel با قابلیت اسپاترینگ DC ، RF و بایاس بود که با افزودن یک موتور پلهای برای چرخاندن زیرلایه، امکان لایهنشانی GLAD فراهم گردید. موتور ساختهشده درجات آزادی اضافی را در اختیار پژوهشگر قرار داد که شامل موارد زیر است: تغییر فاصله ماده هدف و زیرلایه، زاویه قرار گیری زیرلایه نسبت به شار فرودی ذرات و سرعت چرخش زیرلایه. سرعت چرخش زیرلایه با تنظیم ولتاژ دو سر موتور بصورت پلهای بین ۲ تا ۳۰ دور بر دقیقه قابل تنظیم بود.

¹ - Glancing Angle Deposition

² - Scanning Electron Microscopy

³ - Atomic Force Microscopy

زیرلایههای سیلیکان با ابعاد ² mm ¹ ۱۱×۱۱ پس از شستشو و تمیز کردن سطوح آنها توسط روش RCA در دستگاه اسپاترینگ قرارداده شدند و با ایجاد محیط خلأ در محفظه لایه نشانی و پر کردن آن از گاز آرگون و عملیات ۵ دقیقه ای پیش اسپاترینگ، فرآیند لایه نشانی انجام شد. در تمام مراحل اصلی نمونه سازی فشار زمینه دستگاه کمتر از Torr ^{۷-}۱×۱ بود. برای عمل لایه نشانی نیز از گاز آرگون با فشار Torr ^{۲-}۱×۱ بهره گرفته شد. این شرایط به همراه دیگر پارامترهای ثابت لایه نشانی در جدول ۱ ازه شده است. زاویه ۸۵ درجه از آن جهت انتخاب گردید که در نانوساختارهای نانومیلهای گردارش شده است[۱]. همچنین نانوساختارهای نانومیلهای گردارش شده است[۱]. همچنین نیگرفت. دور موتور استفاده شده در بازه ۲ الی ۳۳ انتخاب گردد.

به منظور مطالعه دقیق توپوگرافی، متوسط زبری و پستی و بلندی سطح لایههای نازک تنگستن در ابعاد نانومتری، از تکنیک AFM استفاده گردید. دستگاه AFM مورد استفاده شده (شرکت Park مدل CP Research محدا هر و و دمای اتاق کار میکند. سوزن آن از جنس سیلیکان (Si) به قطر حدود ۱۰ nm در مد تماسی است. برای مطالعه تصاویر گرفته شده و محاسبه خواص آماری سطح از برنامه Image Analysis 2.1

همچنین برای محاسبه زبری، جذر میانگین مربع³، Sq ، از رابطه زیر استفاده گ دید:

$$S_{q} = \sqrt{\frac{1}{MN}} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} \left[Z(x_{k}, y_{l}) - \mu \right]^{2}$$
(1)

که در آن N , M تعداد نقاط تصویر در جهتهای x و y و کمیت Z ارتفاع متوسط از سطح میباشـد. کمیـت µ از رابطـه زیـر نیـز محاسبه شد:

$$\mu = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} Z(x_k, y_l)$$
(Y)

⁴ - Root mean square



مقاله نامه ششمین کنفرانس ملّی خلأ ایران دانشگاه شهید چمران اهواز ۱۶ و ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۲

همچنین برای مطالعه و بررسی ریختشناسی و چگونگی مورفولوژی سطح نمونهها در مقیاس میکرونی و همچنین شناخت از وضعیت دانه بندی نمونه ها از تکنیک SEM استفاده گردید.

انس ملی خلا ایران محموان اهواز ماه ۱۳۹۲ سایهاندازی اتمی، جزیره ها مستقلا رشد یافته و ستونهایی با قطر

بیشتر را تشکیل خواهند داد.



شکل ۱ : مقایسه توپوگرافی(AFM) و مورفولوژی(SEM) سطح نمونههای رشد داده شده در سرعت های مختلف چرخش زیرلایه : الف) 7، ب) ۱۲، ج) ۱۸، د) ۳۰ rpm. ضمنا ابعاد در همه تصاویر AFM برابر ۲ μm^۲ ×۲ است.

بر طبق تحلیل نتایج AFM، زبری جذر میانگین مربع سطحی لایههای رشد داده شده بر روی زیرلایه سیلیکان، با افزایش دور موتور کاهش مییابد. این نتایج با مشاهدات SEM این نمونهها تطابق دارد. در نمودار شکل ۲ این روند به تصویر کشیده شده جدول ۱ : شرایط ثابت لایه نشانی

مقدار	پارامتر
٤×١٠ ^{-٧} Torr	فشار زمينه
۱×۱۰ ^{-۲} Torr	فشار آرگون
۷۰ وات	توان اعمالي
۸۵ درجه	زاويه لايەنشانى
۱۳ سانتی متر	فاصله ماده هدف-زيرلايه
٥ دقيقه	زمان پیش اسپاترینگ
٦٠ دقيقه	زمان لايه نشاني

بحث در نتایج

بر اساس مشاهدات SEM و AFM (شکل ۱) مشخص گردید که مورفولوژی نمونهها متشکل از نانوساختارهای ستونی است که در سرعت های مختلف زیرلایه بهدست می آیند. همانطور که قبلا ارائه شد شکل گیری چنین ساختارهایی، به خاطر پدیده سایهاندازی اتمی است. بدین صورت که پس از فرود اولیه شار و هنگام شکل گیری هسته های اولیه روی زیرلایه، بدلیل کج بودن زیرلایه، در میان جزایر شکل گرفته، مناطق سایه ایجاد می شود و ذرات شار فرودی بعدی امکان دسترسی چندانی به این نواحی نخواهند داشت. بنابراین، پس از هستهبندی اولیه، مناطقی از لایه از دسترس شار فرودی خارج میشوند و فیلم فرصت یکپارچهشدن را پیدا نمیکند. از آنجا که دمای لایه نشانی در حدود دمای اتاق است، پدیده نفوذ نیز چندان اتفاق نمیافتد[٥] و جزایر شکل گرفته به یکدیگر متصل نخواهند شد و مستقلا در جهت شار فرودی رشد پیدا میکنند. اما از آنجا که زیرلایه توسط موتور چرخان متصل به آن، در حال چرخش حول محور عمود بر صفحه زیرلایه است، رشد نهایی ستونها عمودی خواهد بود[٦]. واضح است که در سرعت های بالا به دلیل چرخش سریع زیرلایه، جزایر تشکیل شده در ابتدای فرآیند لایهنشانی از همهسو تحت تابش شار ذرات قرار می گیرند و بنابراین ابعاد بزرگتری خواهند داشت و لایه را به سمت پیوستگی پیش میبرند. لازم به ذکر است که به خاطر یدیده



مقاله نامه ششمین کنفرانس ملّی خلاً ایران دانشگاه شهید چمران اهواز ۱۶ و ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۲



شایان ذکر است که با افزایش ضخامت لایه، قطر نانوستونها در طول لایه به تدریج افزایش مییابد(شکل۱)، که این نوع رشد در برخی مقالات نیزگزارش شده است [۷] و هم چنین ستونهای تنگستن تشکیل شده، گرهگره هستند که این مورد نیز قبلا در گزارشهایی توسط دیگران ارائه شده است [۸].

نتيجه گيرى

بدون انجام عملیات حرارتی، لایههای نازک تنگستن با ساختار نانوستون توسط روش اسپاترینگ-GLAD تهیه شدند. با تغییر دور موتور از ٦ به ٣٠ دور بر دقیقه، بافت ستونی لایه به خاطر پدیده سایهاندازی اتمی همچنان حفظ می شود. اما با افزایش دور موتور، به دلیل کم شدن فرصت پیوند با دانههای مجاور اندازه میانگین دانهها کم شده و سطح بکنواخت تر می شود.

مرجعها

- K. Robbie, M.J. Brett; "Sculptured thin films and glancing angle deposition: Growth mechanics and applications"; *J. Vac. Sci. Technol. A* 15(3), (1997) 1460-1465.
- [2] K. Robbie, M.J. Brett; "Field emission from carbon and silicon films with pillar microstructure"; *Thin Solid Films* 389 (2001 1-4.
- [3] K.D. Harris, D. Vick, E.J. Gonzalez, T. Smy, K. Robbie, M.J. Brett; "Porous thin films for thermal barrier coatings"; *Surface and Coatings Technology* 138 (2001) 185-191.
- [4] A. Bayat, M. Ebrahimi, A.Z. Moshfegh; "Correlation between surface roughness and hydrophobicity of GLAD RF sputtered PTFE/W/Glass nanorod thin films"; *Vacuum* 101 (2014- in Progress) 279-282.
- [5]D. O. Smith, M. S. Cohen and G. P. Weiss; "Oblique-Incidence Anisotropy in Evaporated Permalloy Films"; J. Appl. Phys. 31 (1960) 1755-1762.
- [6] B. Dick, M. J. Brett, T. Smy, M. Belov and M. R. Freeman; "Periodic submicrometer structures by sputtering"; J. Vac. Sci. Technol. B 19 (2001)1813-1819.
- [7] S. Mukherjee and D. Gall; "Power law scaling during physical vapor deposition under extreme shadowing conditions"; J. Appl. Phys. 107, 084301 (2010) 1-7.
- [8]Derya Deniz, David J. Frankel, Robert J. Lad; "Nanostructured tungsten and tungsten trioxide films prepared by glancing angle deposition"; *Thin Solid Films* **518** (2010) 4095–4099.

است. آندازه دانهها نیز روند مشابهی را طی میکنند و با افزایش دور موتور از ٦ به ۳pm ۳۰، از مقدار ۱۰۵ نانومتر به ۵۸ نانومتر کاهش مییابد که این تغییرات در شکل ۳ قابل مشاهده است. هنگام فرود شار بر سطح زیرلایه، ذرات ابتدا هسته های کوچک را تشکیل می دهند و این هسته ها با گذشت زمان بزرگتر شده و نهایتا لایه به تدریج رشد مییابد. با افزایش دور موتور و تند شدن چرخش زیرلایه، ذرات فرودی فرصت چندانی برای یافتن جای خالی ندارند و به محض نشستن، در معرض پیوند با ذرات فرودی جدید قرار میگیرند و بنابراین، دانههای تشکیل شده فرصت پیدا نمیکنند به یکدیگر بچسبند. لذا این شرایط باعث کم شدن اندازه میانگین دانهها ، پیوستگی و یکنواخت تر شدن سطح می شود.







شكل ۳ : نمودار وابستگی متوسط اندازه دانهها برحسب تغییرات سرعت موتور

www.SID.ir