

تأثیر مقادیر ولتاژ بایاس بر روی پوشش اکسید آلومینیوم به روش تبخیر واکنشی فعال شده بر روی فولاد ابزار T4

ایمان پولادوند^{۱*}، علی تلخابی^۲، علیرضا اسماعیلی^۳

۱- دکتری مهندسی مواد، متالورژی صنعتی، شرکت مهندسی مشاور مونکو ایران

۲- مهندسی مکانیک، شرکت مهندسی مشاور مونکو ایران

۳- مهندسی جوش، شرکت مهندسی مشاور مونکو ایران

*Pouladvand.iman@monencogroup.com

ارسال: تیر ماه ۹۹ پذیرش: مرداد ماه ۹۹

چکیده

پوشش اکسید آلومینیوم (آلومینا) بدلیل دارا بودن خواص متنوع مانند سختی بالا، مقاومت به خوردگی و سایش و داشتن خواص نوری خوب بطور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف بخصوص صنایع الکترونیکی و تزئینی مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق هدف ایجاد پوشش آلومینا بر روی فولاد ابزار T4 بوسیله فرآیند تبخیر واکنشی فعال شده و سپس بررسی مقادیر ولتاژ بایاس روی پوشش می‌باشد. بدین منظور نمونه‌ها در محیط پلاسما تحت زمان اکسیژن‌دهی ۴۵ دقیقه، دمای زیرلایه ۸۰۰°C و مقادیر ولتاژ بایاس ۵۰ و ۱۰۰ ولت توسط فرآیند تبخیر واکنشی فعال شده پوشش داده شدند. در نهایت جهت بررسی ساختار کریستالی توسط آنالیز XRD، ریزساختار و مورفولوژی لایه تشکیل شده توسط آنالیز SEM، جهت بررسی زبری پوشش از آنالیز AFM و همچنین جهت بررسی سختی سنجی پوشش از روش سختی سنجی ویکرز مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر چه ولتاژ بایاس زیرلایه بیشتر باشد زبری پوشش بیشتر می‌شود. همچنین نمونه‌هایی که باردار شده اند (Biased) سختی بالاتری نسبت به نمونه‌هایی که باردار نشده اندرا دارا می‌باشند که این مطلب می‌تواند ناشی از متراکم تر شدن لایه تشکیل شده به علت جذب بیشتر یون‌های اکسیژن موجود در محیط پلاسما باشد.

واژه‌های کلیدی: آلومینا، فولاد ابزار T4، فرآیند تبخیر واکنشی فعال شده، ولتاژ بایاس.

۱- مقدمه

برای دستیابی به لایه اکسید آلومینیوم روش‌های متنوعی مانند کندوپاش، رسوب‌دهی شیمیایی بخار، تبخیر در خلاء و غیره وجود دارد که در این میان روش تبخیر در خلاء به دلیل سادگی و قابلیت تغییر متغیرهای فرآیند امروزه کاربرد بسیاری پیدا کرده است. در روش تبخیر در خلاء به منظور رسوب یک ترکیب مشخص (مانند Al_2O_3) می‌توان فرآیند تبخیر آلومینیوم را به همراه یک گاز واکنشی مناسب (اکسیژن) و تحت شرایط پلاسما انجام داد که این روش را تبخیر واکنشی فعال شده (Activated Reactive Evaporation) گویند [۱]. این فرآیند به طور گسترده‌ای مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته و نشان داده شده است که با استفاده از

روش یاد شده دامنه وسیعی از ترکیبات را می‌توان تشکیل داد. فرآیند ARE یک فرآیند رسوب‌دهی با سرعت بالا برای ترکیبات دیرگداز مثل کاربیدها، نیتريد‌ها، اکسیدها و سولفیدها می‌باشد. در حالت کلی ماده‌ای که باید تبخیر شود در منبع به اجزای کوچکتری تجزیه می‌شود و بعداً این اجزا باید دوباره ترکیب شوند تا رسوب مورد نظر بوجود آید که به احتمال زیاد این پدیده بر روی زیرلایه رخ می‌دهد. حال با توجه به اینکه هر کدام از این اجزا فشار بخار اشباع معینی دارند، بنابراین تبخیر هر کدام با سرعت متفاوتی صورت می‌گیرد و در نتیجه ترکیب لایه رسوب داده شده نسبت به ترکیب ماده منبع اختلاف پیدا می‌کند [۲-۴]. اکسید آلومینیوم فازهای کریستالی زیادی دارد که فاز آلفا، کاپا و زتا سری آلفا نامیده می‌شوند درحالی‌که فازهای گاما، تتا، اتاودلتا سری گاما نامیده می‌شوند. معمولترین شکل آلومینای کریستالی، اکسید آلومینیوم آلفا ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) می‌باشد که یون‌های اکسیژن یک ساختار هگزاگونال فشرده را تشکیل می‌دهند که یون‌های آلومینیوم دو سوم از حفرات اکتاهدرال را پر می‌کنند. تحقیقات نشان می‌دهد که با بردار کردن پوشش حجم بیشتری از مواد پوشش دهی به سمت زیرلایه هدایت پیدا می‌کنند و زبری و سختی پوشش را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۵].

Hoetzsch و Zywitzki در آزمایش‌های خود به این نتیجه رسیدند که وقتی دمای زیرلایه افزایش می‌یابد، مورفولوژی ریزساختار به سمت بیشتر کریستالی شدن پیش می‌رود که در نتیجه سختی افزایش پیدا می‌کند [۶]. زمانی که زیر لایه بردار می‌شود باعث می‌گردد که یون‌های موجود در محیط پلاسما در یک مسیر مشخص به سمت زیر لایه حرکت کنند [۷]. از طرف دیگر ذکر این نکته ضروری است که بردار کردن زیر لایه انرژی ذرات یونیزه شده موجود را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. این امر علاوه بر بهبود ساختار پوشش، درجه حرارت لازم برای تغییر از نواحی ساختاری ستونی به محوری را نیز کاهش می‌دهد [۸].

۲- بیان مسئله، نوآوری و ذکر اهداف

در این تحقیق هدف ایجاد پوشش آلومینا بر روی فولاد ابزار T4 بوسیله فرآیند تبخیر و اکنشی فعال شده و سپس بررسی مقادیر ولتاژ بایاس روی پوشش می‌باشد.

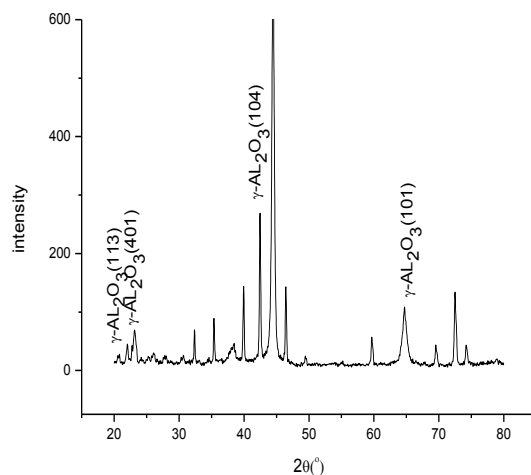
۳- روش تحقیق

در این تحقیق به منظور پوشش دهی، از ۳ نمونه از جنس فولاد ابزار T4 با ضخامت ۶mm و قطر ۱۵mm استفاده گردید و سپس عملیات حرارتی با مراحل زیر، به منظور جلوگیری از رشد دانه و تشکیل کاربیدها انجام شد: آستنیت‌ه کردن به مدت ۱۵ دقیقه در دمای 1280°C ، بازپخت به مدت ۱/۵ ساعت در دمای 560°C و سپس سرد کردن در هوا (مرحله بازپخت دو بار انجام شد).

پس از انجام عملیات حرارتی، عملیات آماده‌سازی روی نمونه‌ها انجام گردید، بدین صورت که ابتدا نمونه‌ها تحت عملیات سنیده و پولیش قرار گرفته و سپس درون دستگاه التراسونیک در مخلوطی از محلول استن و الکل، به مدت ۳۰ دقیقه چربی زدایی شدند. پس از پایان عملیات آماده‌سازی، عملیات پوشش دهی بر روی نمونه‌ها انجام گردید، بدین صورت که ابتدا گرانول‌های آلومینیومی را بر روی بوته مولیبدنی قرار داده و سپس در اثر حرارت دادن به بوته، گرانول‌های آلومینیومی تبخیر شده و بر روی زیرلایه فولادی قرار گرفتند و سپس به مدت ۴۵ دقیقه گاز اکسیژن با فشار مشخصی در محیط پلاسما وارد محفظه دستگاه می‌شد که اعمال ولتاژ بایاس با مقادیر ۰، ۵۰، ۱۰۰ ولت به زیرلایه هم در همان ابتدای زمان اکسیژن‌دهی صورت می‌گرفت. قبل از تبخیر، دماهای زیرلایه به 800°C رسانده شد. قبل از انجام عملیات پوشش دهی ابتدا توسط پمپ‌های دیفیوژنی و چرخشی خلأی در حدود ۵-۱۰ تور ایجاد شد. در نهایت به منظور بررسی تغییر ساختار کریستالی و ترکیب سطح تحت شرایط مختلف پوشش دهی از آنالیز XRD، به منظور بررسی ریزساختار و مورفولوژی لایه‌های تشکیل شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و برای بررسی درصد اتمی و درصد وزنی عناصر پوشش از آنالیز عنصری EDX استفاده گردید. همچنین بررسی ریز سختی سنجی در مقادیر مختلف ولتاژ ذکر شده انجام گردید.

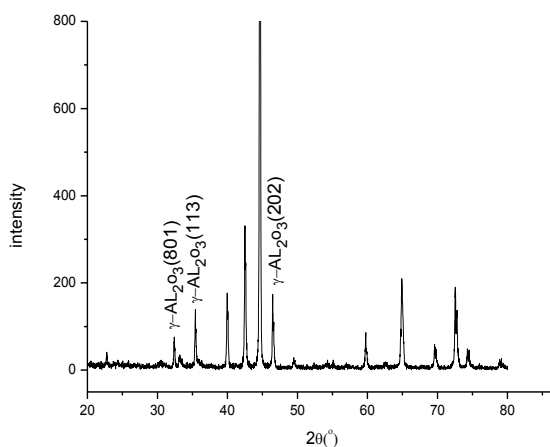
۴- ارائه نتایج و بحث

همانطور که از نمودار XRD شکل ۱ مشخص است پس از اینکه عملیات حرارتی بر روی نمونه‌ها انجام شد، همانطور که انتظار می‌رفت فازهای کاربیدی مختلفی روی سطح نمونه‌ها ایجاد گشت که از جمله باعث افزایش سختی سطح گردید.



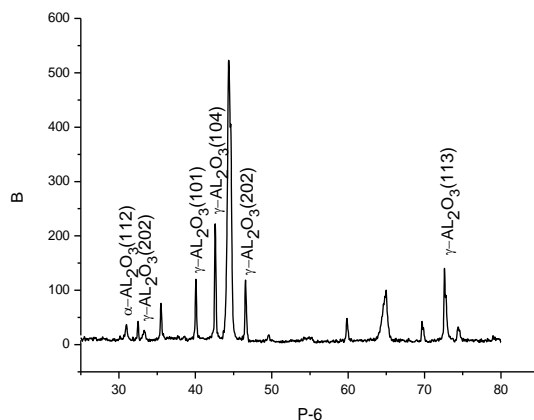
شکل ۱- الگوی تفرق اشعه X نمونه خام بعد از عملیات حرارتی

همانطور که از نمودار XRD شکل ۲ مشخص است پوشش تنها شامل فازهای γ - Al_2O_3 است.

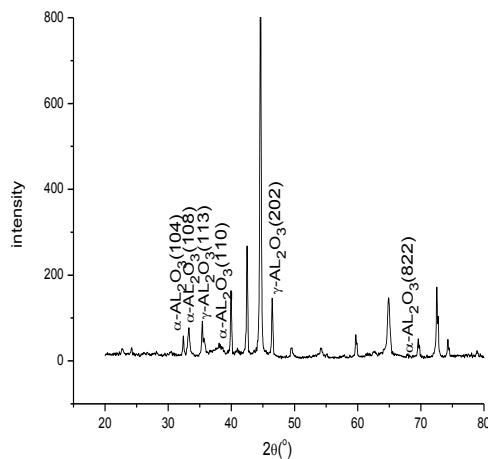


شکل ۲- الگوی تفرق اشعه X نمونه‌ای با دمای پوشش دهی 800°C و در حضور پلاسما در مدت زمان اکسیژن دهی ۴۵ دقیقه، بدون ولتاژ بایاس

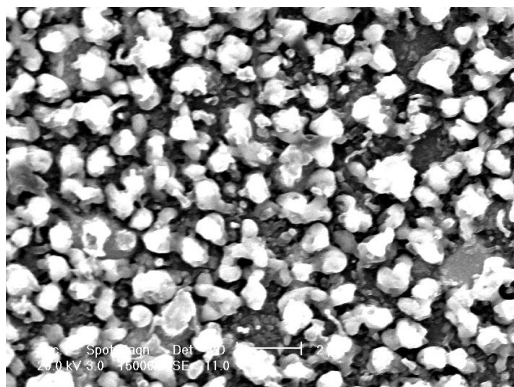
همانطور که از نمودار XRD شکل ۳ مشخص است حضور ولتاژ بایاس 50V در همان شرایط قبلی پوشش دهی علاوه بر تشکیل فازهای γ - Al_2O_3 ، منجر به تشکیل فاز α - Al_2O_3 روی سطح شده است که علت وجود فاز α آلومینا می‌تواند دمای بالای پوشش دهی (800°C) در حضور پلاسما و ولتاژ بایاس 50V باشد.



شکل ۳- الگوی تفرق اشعه X نمونه‌ای با دمای پوشش دهی 800°C و در حضور پلاسما در مدت زمان اکسیژن دهی ۴۵ دقیقه، همراه با ولتاژ بایاس 50V همانطور که از نمودار XRD شکل ۴ مشخص است حضور ولتاژ بایاس 100V و حضور محیط پلاسما و دمای پوشش دهی 800°C علاوه بر اینکه منجر به تشکیل فاز $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ روی سطح گشته است، منجر به تشکیل فازهای $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ زیادی روی سطح گشته است. این شرایط بهینه ترین شرایطی است که در آزمایشات حاصل شده است.

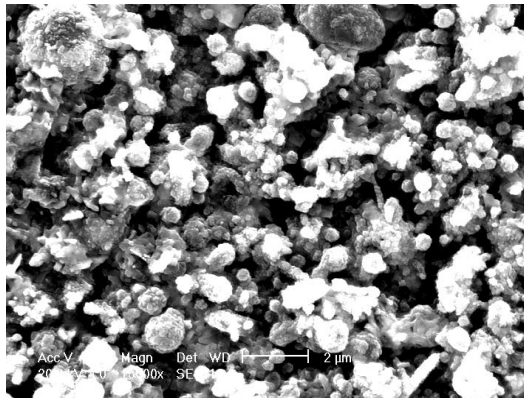


شکل ۴- الگوی تفرق اشعه X نمونه‌ای با دمای پوشش دهی 800°C و در حضور پلاسما در مدت زمان اکسیژن دهی ۴۵ دقیقه، همراه با ولتاژ بایاس 100V شکل ۵، تصویر SEM از سطح نمونه‌ای است که در درجه حرارت 800°C پوشش دهی شده است و سپس به مدت ۴۵ دقیقه در معرض پلاسمای اکسیژن قرار گرفته است. ملاحظه می شود که تقریباً ریزساختاری متراکم و تا حدودی منظم می باشد. ریزساختار به صورت تلفیقی از ساختارهای گنبدی و تیغه‌ای شکل است. بلورهای آلومینیومی به رنگ سفید دیده می شوند.



شکل ۵- تصویر SEM از سطح نمونه‌ای که در درجه حرارت 800°C پوشش دهی شده و سپس به مدت ۴۵ دقیقه در معرض پلاسمای اکسیژن قرار گرفته

شکل ۶، تصاویر SEM از سطح نمونه‌ای است که در درجه حرارت 800°C پوشش دهی شده است و سپس به مدت ۴۵ دقیقه در معرض پلاسمای اکسیژن همراه با ولتاژ بایاس 50V قرار گرفته است. ملاحظه می‌شود که ریزساختار بیشتر شامل دانه‌های گنبدی شکل است و به نظر می‌رسد که در این شرایط بلورهای اکسید آلومینیوم بیشتری نسبت به حالت قبلی که ولتاژ بایاس نداشتیم حاصل گردیده است و ساختار پوشش متراکم تر شده است و ذرات آلومینا توزیع گسترده تری دارد.

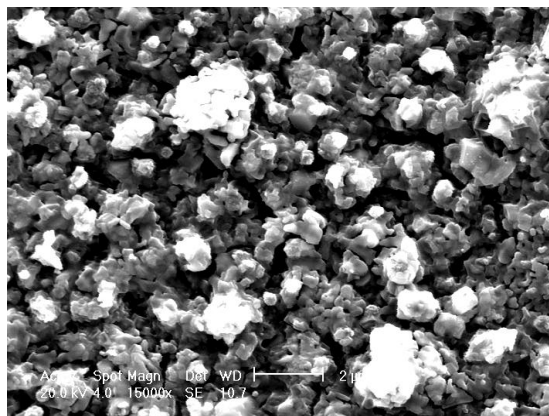


شکل ۶- تصویر SEM از سطح نمونه‌ای که در درجه حرارت 800°C پوشش دهی شده و سپس به مدت ۴۵ دقیقه در معرض پلاسمای اکسیژن همراه با ولتاژ بایاس 50V قرار گرفته

شکل ۷، تصاویر SEM از سطح نمونه‌ای است که در درجه حرارت 800°C پوشش دهی شده است و سپس به مدت ۴۵ دقیقه در معرض پلاسمای اکسیژن همراه با ولتاژ بایاس 100V قرار گرفته است. ملاحظه می‌شود که ساختاری گنبدی تر و متراکم‌ترین و منظم‌ترین ساختار را نسبت به تمامی حالت‌های قبلی داراست.

در نهایت باردار کردن زیر لایه این امکان را فراهم می‌نماید که لایه بوجود آمده دانسیته بالاتری نسبت به لایه ای که بدون باردار کردن زیر لایه تشکیل شده است داشته باشد. به طوری که Berry و همکارانش سختی لایه های باردار نشده را تقریب $5/3\text{ GPa}$ بدست آوردند در حالی که وقتی زیر لایه ها فقط به اندازه 100 - ولت باردار شدند (و سایر پارامترهای فرایند ثابت نگاه داشته شدند) سختی پوشش‌های ایجاد شده افزایش تقریبی به مقدار 1 GPa نشان داده و به $6/4\text{ GPa}$ افزایش یافتند [۱۰].

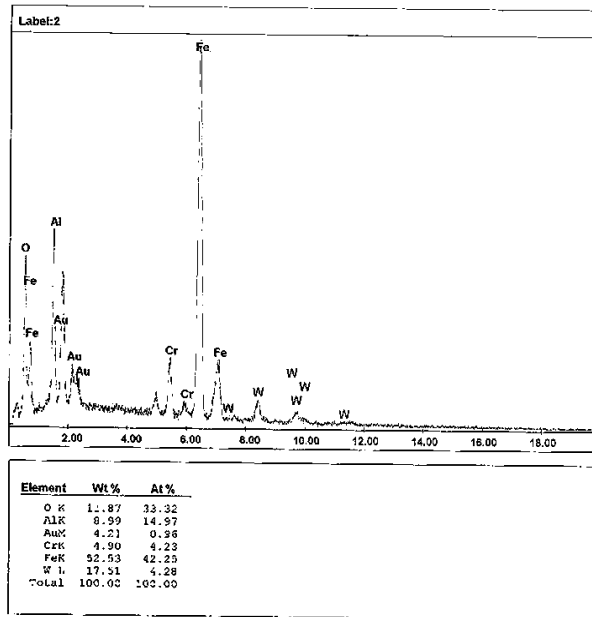
در مجموع وقتی پوشش ایجاد شده ساختار متخلخلی داشته باشد با باردار کردن زیر لایه می‌توان به ساختار متراکم تری دست پیدا کرد به علاوه بر میزان چسبندگی پوشش به زیر لایه نیز افزوده می‌شود این تراکم و چسبندگی لایه با مقدار بار زیر لایه رابطه مستقیم داشته و با افزایش میزان بار نمونه چگالی و چسبندگی لایه نیز افزایش می‌یابد [۷،۹].



شکل ۷- تصویر SEM از سطح نمونه‌ای که در درجه حرارت 800°C پوشش دهی شده و سپس به مدت ۴۵ دقیقه در معرض پلاسمای اکسیژن همراه با ولتاژ بایاس 100V قرار گرفته

شکل ۸ نتایج آنالیز عنصری مربوط به نمونه‌ای است که در دمای پوشش دهی 800°C که در معرض محیط پلاسمای در مدت زمان ۴۵ دقیقه اکسیژن دهی شده است می‌باشد. آنالیز عنصری حاکی از آن است که چون نسبت درصد اتمی اکسیژن به درصد اتمی آلومینیوم بر روی سطح به ترتیب مقدار $33/32$ و $14/97$ می‌باشد که نسبت 3 به 2 بیشتر اکسیژن نسبت به آلومینیوم منجر به تشکیل آلومینا شده

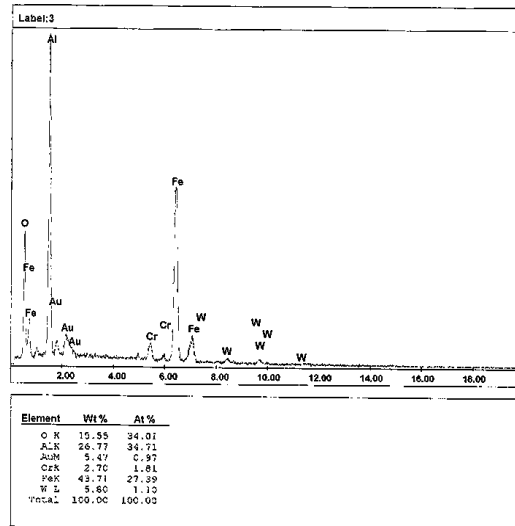
و مقدار زیادی اکسیژن به صورت ترکیب با عناصر دیگر نمونه‌های اکسیدهایی از جمله Fe_3O_4 ، Fe_2O_3 ، WO_3 و ... روی سطح پدید آمده است.



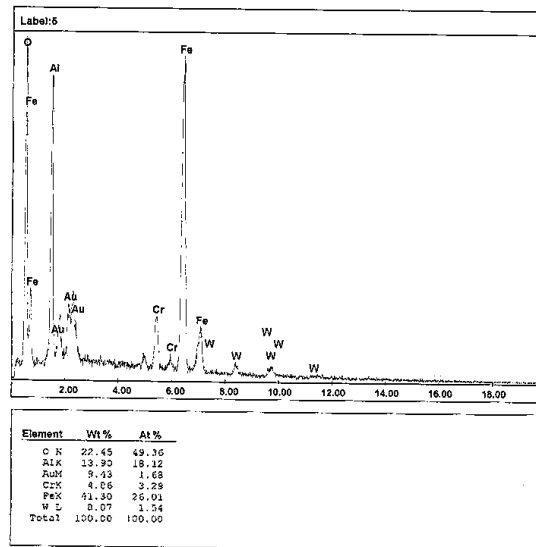
شکل ۸- نتایج آنالیز عنصری نمونه‌ای که در دمای پوشش دهی $800^{\circ}C$ و در معرض محیط پلاسما در مدت زمان ۴۵ دقیقه اکسیژن دهی شده

شکل ۹ نتایج آنالیز عنصری نمونه‌ای با دمای پوشش دهی $800^{\circ}C$ که در معرض محیط پلاسما در مدت زمان ۴۵ دقیقه اکسیژن دهی شده و همراه با ولتاژ بایاس $50V$ می‌باشد را نشان می‌دهد. درصد اتمی اکسیژنی که بر روی سطح نشسته در این حالت $34/01$ می‌باشد که این مقدار، مقدار بیشتری از حالت قبلی که بدون ولتاژ بایاس در حضور پلاسما بود می‌باشد که به این علت است که با بایاس کردن زیرلایه بار منفی به زیرلایه داده و یونهای اکسیژنی که در محیط پلاسما به صورت بار مثبت درآمده‌اند جذب زیرلایه‌ای شده که با مقدار ولتاژ $50V$ بایاس شده و در نتیجه در این حالت، یونهای مثبت اکسیژن بیشتری جذب زیرلایه می‌شود. مقادیر درصد اتمی اکسیژن و آلومینیوم نشان می‌دهد که علاوه بر تشکیل آلومینا مقداری آلومینیوم به صورت مجزا و یا ترکیبی با عناصر دیگر بر روی سطح حاصل شده است.

شکل ۱۰ نتایج آنالیز عنصری نمونه‌ای با دمای پوشش دهی $800^{\circ}C$ که در معرض محیط پلاسما در مدت زمان ۴۵ دقیقه اکسیژن دهی شده و همراه با ولتاژ بایاس $100V$ می‌باشد را نشان می‌دهد. در این شرایط درصد اتمی اکسیژنی که بر روی سطح زیرلایه نشسته است $49/36$ است که درصد اتمی اکسیژن بیشتری نسبت به دو حالت قبل روی سطح ایجاد گردیده است. پس می‌توان گفت که در مقادیر بالاتر ولتاژ بایاس پوشش، یونهای اکسیژن بیشتری روی سطح می‌نشیند. مقادیر درصد اتمی اکسیژن و آلومینیوم نشان می‌دهد که علاوه بر آلومینا، اکسیژن با دیگر عناصر نمونه ترکیب شده و اکسیدهای دیگری روی سطح ایجاد شده است. این حالت بهینه‌ترین حالتی است که ایجاد شده است.



شکل ۹- نتایج آنالیز عنصری نمونه‌ای با دمای پوشش دهی 800°C که در معرض محیط پلاسما در مدت زمان ۴۵ دقیقه اکسیژن دهی شده و همراه با ولتاژ ۵۰V بایاس



شکل ۱۰- نتایج آنالیز عنصری نمونه‌ای با دمای پوشش دهی 800°C که در معرض محیط پلاسما در مدت زمان ۴۵ دقیقه اکسیژن دهی شده و همراه با ولتاژ ۱۰۰V بایاس

نتایج حاصل از آنالیز AFM در زیر نشان داده شده است:

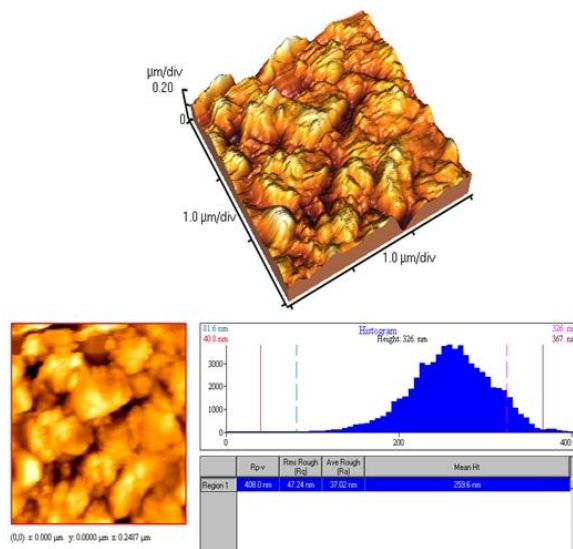
نمونه B: شرایط پوشش دهی نمونه: دما 800°C درجه سانتیگراد، در حضور محیط پلاسما، ولتاژ بایاس صفرولت، بدون کاشت یون نیتروژن

نمونه C: شرایط پوشش دهی نمونه: دما 800°C درجه سانتیگراد، در حضور محیط پلاسما، ولتاژ بایاس ۵۰ ولت، بدون کاشت یون نیتروژن

نمونه D: شرایط پوشش دهی نمونه: دما 800°C درجه سانتیگراد، در حضور محیط پلاسما، ولتاژ بایاس ۱۰۰ ولت، بدون کاشت یون نیتروژن

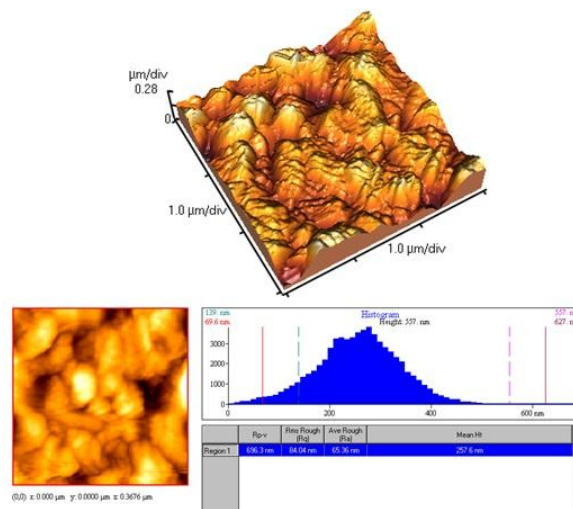
همانطور که مشخص است نمونه های B و C و D شرایط پوشش دهی یکسانی دارند و تنها مقادیر ولتاژ بایاس برای این نمونه ها مقادیر مختلفی می باشد. مقادیر ولتاژ بایاس برای نمونه های B و C و D به ترتیب ۰، ۵۰ و ۱۰۰ ولت می باشد. نتایج حاصل از اشکال ۱۱، ۱۲، ۱۳ حاکی از این است که زبری نمونه ها با افزایش ولتاژ بایاس بیشتر می شود، بدین صورت که Rq نمونه ی D از نمونه ی C و به همین ترتیب نمونه C از نمونه B بیشتر است.

در شکل ۱۱، تصویر سه بعدی مورفولوژی سطح مشخص است که ارتفاع بالاترین قله ۰/۴ میکرون می باشد که تصویر دوبعدی و نمودار هیستوگرام توزیع ذرات نیز آورده شده است که با توجه به نمودار بیشترین توزیع مربوط به ذره ای به اندازه ی ۲۵۰ نانومتری باشد.



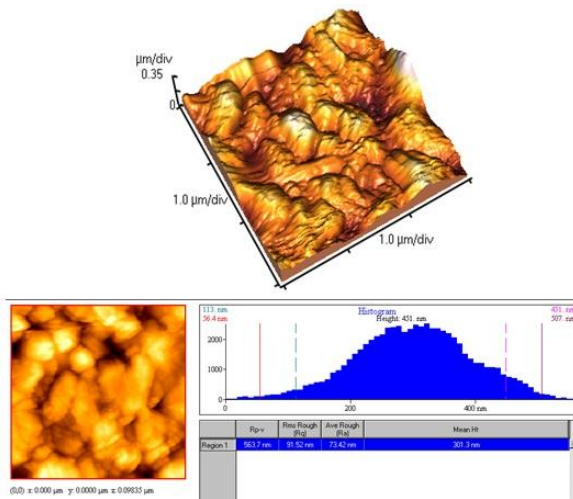
شکل ۱۱- تصویر دو بعدی و سه بعدی و نمودار هیستوگرام توزیع ذرات نمونه B

در شکل ۱۲، تصویر سه بعدی مورفولوژی سطح مشخص است که ارتفاع بالاترین قله ۰/۵۶ میکرون می باشد که تصویر دوبعدی و نمودار هیستوگرام توزیع ذرات نیز آورده شده است که با توجه به نمودار بیشترین توزیع مربوط به ذره ای به اندازه ۲۷۰ نانومتری باشد.

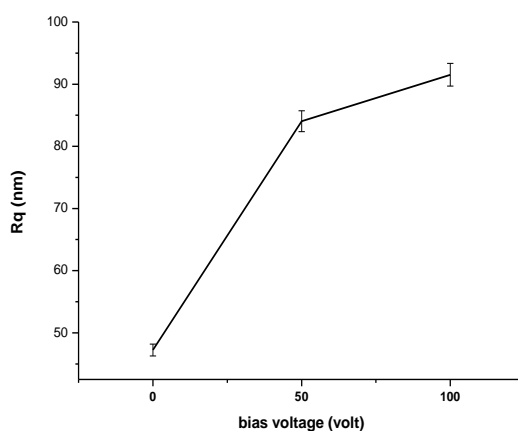


شکل ۱۲- تصویر دو بعدی و سه بعدی و نمودار هیستوگرام توزیع ذرات نمونه C

در شکل ۱۳، تصویر سه بعدی مورفولوژی سطح مشخص است که ارتفاع بالاترین قله ۰/۷ میکرون می باشد که تصویر دوبعدی و نمودار هیستوگرام توزیع ذرات نیز آورده شده است که با توجه به نمودار بیشترین توزیع مربوط به ذره ای به اندازه ۳۰۰ نانومتری باشد. اشکال ۱۴ به ترتیب تاثیر ولتاژ بایاس بر مقادیر Rq با درصد خطای ۲ درصد را نشان می دهد. همانطور که مشخص است با افزایش ولتاژ بایاس، مقادیر Rq افزایش می یابد یعنی با افزایش ولتاژ بایاس زبری سطح افزایش می یابد.

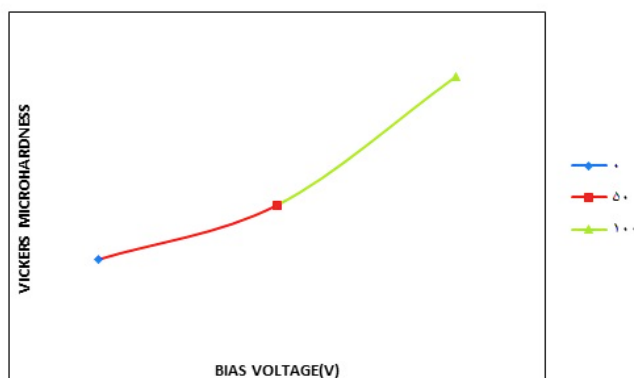


شکل ۱۳- تصویر دو بعدی و سه بعدی و نمودار هیستوگرام توزیع ذرات نمونه D



شکل ۱۴- تاثیر ولتاژ بایاس بر مقدار Rq

همانطور که از شکل ۱۵ مشخص است با افزایش ولتاژ بایاس، سختی نمونه‌ها رو به افزایش است که علت این امر می‌تواند به این دلیل باشد که با باردار کردن زیرلایه (یعنی زیرلایه بار منفی بگیرد)، تعداد اتمهای یونیزه شده بیشتری از اکسیژن (که بار مثبت گرفته‌اند) به سمت زیرلایه جذب می‌شود و باعث می‌شود بلورهای آلومینا بیشتری و همچنین پوشش متراکم‌تر و مقاوم‌تری را نسبت به زمانیکه زیرلایه باردار نیست داشته باشیم.



شکل ۱۵- تاثیر ولتاژ بایاس بر سختی در دمای ۸۰۰°C و در حضور پلاسما

۵- نتیجه گیری

- ۱- نتایج حاصل از آنالیز XRD نشان می دهد که با انجام فرایند پوشش دهی در دمای زیر لایه ۸۰۰ درجه سانتی گراد و مدت زمان اکسیژن دهی ۴۵ دقیقه با مقادیر ولتاژ بایاس ۵۰ و ۱۰۰ ولت پیکهای اکسید آلومینیم آلفا ظاهر می شوند.
- ۲- با افزایش ولتاژ بایاس طبق آنالیز XRD، تمایل به تشکیل پیکهای اکسید آلومینیم آلفا بیشتر می شود.
- ۳- همانطور که تصاویر SEM نشان می دهد حضور مقادیر بالاتر ولتاژ بایاس منجر به ریزساختاری متراکم تر و تا حدودی منظم تر می شود.
- ۴- مطابق با نتایج حاصل از آنالیز AFM، زبری نمونه ها با افزایش ولتاژ بایاس بیشتر می شود.
- ۵- نمونه هایی که باردار شده اند (Biased) سختی بالاتری نسبت به نمونه هایی که باردار نشده اند را دارا می باشند که این مطلب می تواند ناشی از متراکم تر شدن لایه تشکیل شده به علت جذب بیشتر یون های اکسیژن موجود در محیط پلاسما باشد.

۶- قدردانی

لازم می دانیم از واحد نفت و گاز شرکت مهندسی مشاور موندکو ایران که ما را در انجام پژوهش خود یاری رساندند کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

۷- مراجع

1. Bunshah, R.F., 1982. "Deposition technology for films & Coatings". Noyes publication.
2. Bunshah, R.F., 1978. Thin solid Films, 107, pp. 21-38.
3. Jacobson, B., Bunshah, R.F., and Nimmagada, R., 1978. Thin Solid Films, 54, pp. 107-110.
4. Kosicki, B.B., and Khang, D., 1969. Science Technology. 6, pp. 592-599.
5. Bunshah, R.F., Schramm, R.J., and Nimmagadda, R., 1977. Thin Solid Films, 40, pp. 169-182.
6. Zywitzki, O., and Hoetzsch G., 1995. Surf. Coat. Technol., 76-77, pp. 754-762.
7. Herrick, C.S., and Tevebaugh, A.D., 1963. Electrochemical Society, 110, pp. 199-205.
8. Novice, M.A., Bennett, J.A., and Cross, K.B., 1964. Abstracts 11 th Vacuum Symp, 1, pp. 73-76.
9. Girish, P., and Rakesh, L., 1992. Thin solid Films, 209, pp. 240-249.
10. Berry, R.w., Hall, P.M., and Harris, M.T., 1968. Thin Solid Technology, Published by Van Nostrand Reinhold Company.