

رشد لایه نازک TaCuN به روش کاشت یون و مشخصه یابی آن

لطیفه نامور راد^۱، محمدرضا حنطه زاده

^۱ شرکت پشتیبانی و نوسازی هلیکوپترهای ایران (کارشناسی ارشد)

^۲ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات (هیئت علمی و استادیار)

چکیده

با توجه به توسعه تکنولوژی لایه‌های نازک، در این مقاله به رشد و مشخصه‌یابی لایه نازک TaCuN با استفاده از روش کاشت یون پرداخته شده است. بدین منظور در ابتدا لایه فلزی TaCu با استفاده از روش کندوپاش مغناطیسی DC با استفاده از یک هدف ترکیبی تانتالوم و مس با نسبت تقریبی ۱:۱ در محیط گازی آرگون، روی زیرلایه استیل رشد داده شد. پس از آن نیتروژن با روش کاشت یون در لایه‌ها تزریق گردید. پارامتر متغیر در این انباشت لایه، تغییر در نیتروژن (1×10^{17} ، 3×10^{17} ، 5×10^{17} و 7×10^{17}) بود و زمان انباشت لایه‌های فلزی TaCu برای همه نمونه‌ها ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. بلافاصله پس از انباشت لایه‌ها، برای بررسی ساختار بلوری لایه‌ها و زبری سطوح و تغییر دانه‌بندی لایه‌ها به ترتیب از آنالیزهای XRD و AFM استفاده گردید و پس از آن لایه‌ها در دماهای ۵۵۰، ۶۵۰، ۷۵۰ و ۸۵۰ درجه سلیسیوس بازپخت شد تا اثر دما بر ساختار کریستالی و دانه‌بندی لایه‌ها مشخص شود. نتایج مطالعه مورفولوژی سطح و ساختار بلوری لایه‌ها پس از انباشت، نشان می‌دهد که ناهمواری سطح و اندازه دانه‌های روی سطح با افزایش مقدار نیتروژن تغییر می‌یابد که برای نمونه A2 بیشترین و کمترین ناهمواری سطح مربوط به دمای ۸۵۰ درجه سلیسیوس و پیش از باز پخت می‌باشد همچنین در دمای ۷۵۰ و ۸۵۰ درجه سلیسیوس TaCuN تولید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: لایه نازک، TaCuN، کاشت یون

مقدمه

فناوری سطح در ساخت سلول‌های خورشیدی، فتولتائیک، حسگرهای گازی، پیل‌های سوختی، کاتالیزورها، باتری‌ها، خازن‌ها، میکروالکترونیک، نانو ساختارها، ممانعت کننده‌های خوردگی، عملیات سطحی، بیوسنسورها، بیوالکترونیک و ... کاربرد گسترده‌ای دارد. با توجه به اهمیت این فناوری و نیاز روز افزون صنایع پیشرفته مرتبط با تولید و مصرف انرژی، انجام پژوهش‌های بنیادی و کاربردی مرتبط با سطح اکنون اهمیت فراوانی یافته است. فعالیت‌های تحقیقاتی سطح در حال حاضر مربوط به باتری‌های لیتیومی، شیمی حالت جامد، پلیمرهای هادی، بیوسنسورها، الکتروکاتالیست‌ها و سونوشیمی می‌شود. در زمینه‌های الکتروماتالورژی و هیدروماتالورژی نیز با فناوری سطح در ارتباط است [۱]. با ساخت دیود و ترانزیستور، اولین گام جدی جهت به کارگیری لایه‌های نازک برداشته شد.

اولین لایه نازک در سال ۱۸۳۸ به روش الکترولیز به دست آمده است. بونسن و گروو توانستند لایه‌های نازک فلزی را به ترتیب با روش واکنش شیمیایی و پراکنش تخلیه نورانی بدست آورند. فارادی در سال ۱۸۵۷ توانست با استفاده از بخار حرارتی سیمی که از آن جریان زیادی می‌گذرد، لایه نازک فلزی بدست آورد. امروزه لایه‌های نازک در ساخت وسایل نوری و الکترونیکی و الکترونیک نوری، آینه‌های لیزر و قطعات آکوستیکی نقش اساسی دارند [۲].

عباس‌زاده و نایی (۱۳۸۶) از دیگر خصوصیات لایه‌های TaN را مقاومت آن‌ها در دماهای بالا بیان کردند. گزارش آن‌ها نشان می‌دهند، سختی لایه‌های تانتالم نیتراید به شدت تحت تأثیر پارامترهایی چون فشار محیط و درصد نیتروژن است. در شرایط بهینه، سختی آن به ۴۰ Gpa می‌رسد [۳]. سازگاری این لایه با خون، استفاده این ترکیب را در ساخت رگ‌های قلب مصنوعی میسر می‌سازد [۴].

وانگ و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی لایه TaN به روش کندویاش RF از مخلوط گاز آرگون و نیتروژن پرداختند. با تغییر درصد گاز نیتروژن نسبت به گاز آرگون از ۰٪ تا ۳۰٪، تغییر ساختار بلوری و مشخصات الکتریکی لایه، با آزمون‌های AFM، TEM، XRD مورد تحلیل قرار گرفته است. تغییرات ساختار بلوری و اشکال متفاوت دانه‌های سطح و تغییرات رسانایی لایه از جمله مشاهدات این گروه می‌باشد [۵].

لاریجانی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی اثر بازیخت بر روی خواص ساختاری و مقاومت خوردگی لایه‌های نازک Cr و CrN پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد فازهای کریستالی Cr و CrN را به خوبی نشان داده و مورفولوژی سطح و میزان زبری لایه توسط آنالیز AFM بدست آمد [۶].

کاظمی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی اثر بازیخت بر ساختار لایه‌های نازک فاز آناتاز و روتیل TiO₂ پرداختند. بعد از پخت لایه‌های نازک TiO₂ نشان داد مورفولوژی فیلم‌ها وابسته به ضخامت آن‌ها است که می‌تواند توسط ولتاژ بکار رفته و زمان انباشت کنترل گردد [۷].

سربازی (۱۳۹۳) به بررسی بررسی اثر زیرلایه روی خواص اپتیکی لایه نازک TaCuN لایه نشانی شده به روش کندوپاش مغناطیسی پرداخت. او خواص اپتیکی لایه نازک را با بررسی طیف انعکاسی دوزیرلایه مورد مقایسه قرارداد و نتایج نشان داد که نوع زیرلایه در خواص اپتیکی موثر است [۸].

قبادی و گنجی (۱۳۹۳) تأثیر انرژی یون‌های پلاسما بر روی خواص ساختاری، الکتریکی و مکانیکی لایه‌های نازک نیتريد تیتانیوم تهیه شده به روش کندوپاش پلاسمایی واکنشی را مورد مطالعه قرار دادند. پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که افزایش اندازه دانه‌ها که حاکی از بهبود خواص ساختاری و بلورینگی لایه‌ها می‌باشد نتایجی از جمله کاهش مقاومت الکتریکی ویژه و افزایش سختی مکانیکی لایه‌های تهیه شده را در پی دارد [۹].

آذروند و ابراهیمی (۱۳۹۴) به بررسی تأثیر دمای بازپخت بر خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه‌های نازک دی اکسید قلع آلائیده با آلومینیوم پرداختند. بررسی طیف XRD اخذ شده از این لایه‌ها نشان داد که پس از بازپخت، فاز این لایه‌ها از آمورف به بس بلور تغییر پیدا می‌کند. میزان شفافیت لایه‌ها با افزایش دمای بازپخت، بیشتر می‌شود [۱۰].

هدف از انجام این پژوهش بررسی رشد لایه نازک TaCuN به روش کاشت یون و مشخصه‌یابی آن می‌باشد. به منظور تحقق اهداف این مطالعه، داده‌ها، دستگاه‌ها و روش مورد استفاده در تحلیل در بخش مواد و روش‌ها بیان شده است. در بخش بحث و نتایج تصاویر، نمودارها و جداول مربوطه مورد بحث و بررسی قرار گرفته و در آخر در بخش نتیجه‌گیری، جمع‌بندی کلی ارائه شده است.

مواد و روش تحقیق

(۱) مواد

- تانتالوم^۱: در سال ۱۸۰۲ در کشور سوئد توسط Anders Ekebery کشف شد. تانتالوم یک عنصر شیمیایی با علامت اختصاری Ta و عدد اتمی ۷۳ است. تانتالوم یک فلز کمیاب، سخت، مقاوم در برابر خوردگی و به رنگ آبی خاکستری است. تانتالوم از فلزهای مقاوم در برابر حرارت می‌باشد، از اینرو به صورت گسترده‌ای، به مقدار جزئی در آلیاژها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- مس^۲: مس یکی از عناصر جدول تناوبی است علامت اختصاری آن Cu و عدد اتمی آن ۲۹ می‌باشد. این فلز قرمز رنگ از خاصیت الکتریکی و حرارتی بسیار بالایی برخوردار است. در بین فلزات خالص، تنها خاصیت هدایت الکتریکی نقره در دمای اتاق از مس بیشتر است.

- نیتروژن: یا ازت یکی از عناصر شیمیایی در جدول تناوبی است که نماد آن N و عدد اتمی آن ۷ است. نیتروژن معمولاً به صورت یک گاز، غیر فلز، دو اتمی بی‌اثر، بی‌رنگ، بی‌مزه و بی‌بو است که ۷۸٪ جو زمین را در بر گرفته و عنصر اصلی در بافت‌های زنده است.

(۲) دستگاه‌ها

1. Tantalum
2. Copper

۱ لایه‌نشانی به روش کندوپاش کاتدی: به وسیله بمباران یون‌های گاز خنثی، از قدیمی‌ترین فرآیندها برای تولید لایه‌های نازک است. کندوپاش کاتدی به علت خوردگی کاتد در اثر تخلیه تابان صورت می‌گیرد.

۲ میکروسکوپ روبشی (آنالیزگر EDX)^۱: برای بررسی اندازه و مورفولوژی در مطالعه فیزیک ذرات از این تکنیک استفاده می‌شود.

۳ کاشت یون: فرایندی است که در آن یون‌های برخی از مواد را می‌توان، از طریق شتاب دادن در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به سمت هدف (در ماده‌ای دیگر) هدایت کرد که با انرژی حدود ۳۰ کیلوالکترون‌ولت به آن برخورد می‌کنند.

۴ پراش اشعه ایکس^۲ (XRD): روشی مستقیم برای تعیین نوع فازها و ساختار بلورین مواد است این روش به ما نشان می‌دهد که چگونه اتم‌ها و توزیع الکترونی اطراف آنها را روی نقشه بیاوریم.

۵ میکروسکوپ نیروی اتمی AFM: برای بررسی ناهمواریهای سطحی استفاده از میکروسکوپ‌های نیروی اتمی مرسوم است.

۳ روش‌ها

در این پژوهش برای انباشت لایه از سیستم کندوپاش مغناطیسی استوانه‌ای جریان مستقیم و کاشت یون استفاده شده است. جهت دستیابی به لایه مورد نظر یک هدف ترکیبی از جنس تانتالوم و مس به کار گرفته شد. در ابتدا بدون تزریق گاز نیتروژن یک نمونه لایه‌نشانی انجام گرفت. برای به دست آوردن درصد عناصر موجود در لایه، از نمونه اول آنالیز EDX^۳ گرفته شد، تا اطمینان حاصل شود که فرآیند کندوپاش هم برای Ta و هم برای Cu صورت می‌پذیرد و نسبت آنها در لایه مشخص می‌شود. سپس بدون تزریق گاز نیتروژن، لایه‌نشانی انجام گرفت. سپس گاز نیتروژن با دزهای متفاوت در آن کاشته شد. لایه‌های تهیه شده در دماهای متفاوت بازبخت شده و پس از آن مورفولوژی سطح هر چهار نمونه به وسیله میکروسکوپ نیروی اتمی مورد بررسی قرار گرفته، با آزمایش XRD ساختار بلوری لایه‌ها مطالعه شد.

نتایج و بحث

لایه‌های نازک TaCu با استفاده از دستگاه کندوپاش مغناطیسی جریان مستقیم استوانه‌ای انباشت شده و پس از آن نیتروژن با دزهای متفاوت در آن کاشته شد. هدف ترکیبی با نسبت ۱:۱ استفاده شد. زیرلایه‌های استیل در ابعاد ۱۰×۱ سانتی متر آماده‌سازی شد. پس از انباشت لایه‌های TaCu با استفاده از سیستم کندوپاش استوانه‌ای، برای کاشت یون‌های نیتروژن در دستگاه کاشت یون قرار گرفته شد. در این مرحله ۴ دز مختلف از نیتروژن روی لایه‌ها کاشته شد. مدت زمان انباشت لایه برای نمونه‌ها ۲۰ دقیقه انتخاب شد. در جدول ۱ مشخصات لایه‌های انباشته شده در این پژوهش را بیان شده است.

1. Energy Dispersive X-ray microanalysis
2. X-ray diffraction
3. Energy Dispersive X-ray microanalysis

۱- آزمایش‌های مشخصه‌یابی و تحلیل نتایج

۱.۱. آنالیز EDAX

نمونه A₁ پس از تهیه هدف، بدون گاز نیتروژن به مدت ۲۰ دقیقه انباشت شد. سپس مورد بررسی با آنالیز EDAX قرار گرفت. شکل ۱ نمونه A₁ و زیر لایه استیل خام را با آنالیز EDAX نشان می‌دهد و قابل مشاهده است که برای نمونه A₁ هر دو عنصر تانتالوم و مس در شرایط آزمایشگاهی توصیف شده، کندوپاش می‌شوند لازم به توضیح است که عناصر دیگری که در شکل ۱ مشاهده می‌شوند، مربوط به زیر لایه استیل می‌باشند.

۱.۲. بررسی ساختار بلوری نمونه‌های انباشت شده مبتنی بر آنالیز XRD

ساختار لایه‌های آماده شده بلافاصله پس از انباشت مورد مطالعه با آنالیز XRD قرار گرفت. هر چهار نمونه سنتز شده با دزهای متفاوت نیتروژن، دارای ساختار آمورف هستند. قله‌های مشاهده شده، مربوط به زیر لایه‌ی استیل می‌باشد. شایان ذکر است که با توجه به آنالیز EDAX انجام شده، از وجود هر دو عنصر تانتالوم و مس در لایه مطمئن هستیم. اما طرح XRD این لایه‌ها موید آمورف بودن آنها می‌باشد.

شکل ۲ نشان‌دهنده طیف‌های XRD هر یک از نمونه‌های A₁، A₂، A₃ و A₄ در دماهای متفاوت بازیخت می‌باشد. با توجه به این نمودارها، روشن است که ساختار لایه‌های انباشت شده در ابتدا آمورف بوده و حتی پس از بازیخت در دماهای ۵۵۰° و ۶۵۰° ساختار لایه‌ها همچنان آمورف باقی می‌ماند. فازهای نیتریدی، پس از بازیخت در دماهای ۷۵۰° و ۸۵۰° در ساختار لایه‌ها ظاهر می‌شود. به منظور بررسی بهتر اثر دز نیتروژن، در یک دسته بندی جدید براساس دمای بازیخت شکل ۳ آشکار می‌شود که تقریباً فازهای یکسانی پس از بازیخت در دماهای ۷۵۰ و ۸۵۰ تشکیل می‌شود. هر چند در برخی موارد راستای ترجیحی وجود دارد و با افزایش دز نیتروژن تمایل بیشتری به شکل گیری این فازها ایجاد می‌شود.

۱.۳. مورفولوژی سطح

برای بررسی مورفولوژی و اندازه دانه‌های سطح، عکس‌های حاصل از AFM ترسیم گردید. با توجه به دو عامل متغیر در این پژوهش یعنی دما و مقدار دز نیتروژن، اطلاعات به دست آمده از این آنالیز را در دو سری ارایه می‌کنیم. جذر میانگین مربع ناهمواری‌های سطح و اندازه دانه‌ها را از این نمودارها می‌توان به دست آورد. جدول ۲ مقایسه تغییرات جذر متوسط مربع ناهمواری سطح لایه TaCuN انباشته شده با دزهای متفاوت نیتروژن روی زیر لایه استیل، قبل از بازیخت، در دماهای ۵۵۰ و ۶۵۰ و ۷۵۰ و ۸۵۰ درجه سلیسیوس را نشان می‌دهد با توجه به نمودار برای نمونه A₁ بیشترین ناهمواری در دمای ۸۵۰ و کمترین در دمای ۵۵۰ درجه سلیسیوس است. برای نمونه A₂ و A₄ بیشترین ناهمواری در دمای ۸۵۰ درجه سلیسیوس و کمترین ناهمواری مربوط به پیش از بازیخت می‌باشد. برای نمونه A₃ کمترین ناهمواری در قبل از بازیخت و بیشترین ناهمواری در دمای ۶۵۰ درجه سلیسیوس است. شکل ۴ تصاویر سه بعدی A₁، A₂، A₃ و A₄ پس از بازیخت در دماهای ۵۵۰ و ۶۵۰ و ۷۵۰ و ۸۵۰ درجه سلیسیوس نشان می‌دهد.

برای بررسی بهتر، اثر دما روی پارامترهای سطح لایه های TaCuN انباشت شده نیز مورد بررسی قرار داده شد. شکل ۵ تصاویر سه بعدی سطح بلافاصله پس از انباشت و بازپخت در دماهای مختلف برای نمونه های A1، A2، A3 و A4 را نشان می دهد. جهت بررسی دقیق تر نمودار روند تغییرات جذر متوسط مربع ناهمواری های سطح ۱ نیز ترسیم شده است (شکل ۶). همانطور که قابل مشاهده است برای نمونه A1، RMS با افزایش دما افزایش می یابد. برای نمونه A2 و A4 با افزایش دما تا ۶۵۰ درجه سیلیسیوس RMS روند صعودی داشته است. با افزایش دما تا ۷۵۰ درجه سیلیسیوس روند نزولی و مجدداً تا دمای ۸۵۰ درجه سیلیسیوس روندی صعودی را طی می کند. برای نمونه A3 با افزایش دما تا ۶۵۰ درجه سیلیسیوس ناهمواری های سطح افزایش می یابد و با افزایش مجدد دما تا ۸۵۰ درجه سیلیسیوس ناهمواری های سطح کاهش می یابد.

همراه با ترسیم تصاویر سه بعدی سطح می توان روند تغییرات اندازه دانه های تشکیل شده روی سطح لایه های TaCuN را نیز بدست آورد. شکل ۷ این روند را نشان می دهد. همانطور که قابل رویت است در نمونه A1 و A2 و A4 روند اندازه دانه ها افزایشی می باشد. اما برای نمونه A3 اندازه دانه ها تا دمای ۶۵۰ درجه سیلیسیوس روند صعودی داشته ولی با افزایش دما تا دمای ۸۵۰ درجه سیلیسیوس روند آن عکس شده و کاملاً نزولی شده است.

نتیجه گیری

در این مقاله لایه های TaCu را با استفاده از روش کندوپاش مغناطیسی رشد داده و گاز نیتروژن را از طریق کاشت یون در لایه تزریق کردیم. لایه های به دست آمده را بلافاصله پس از انباشت مورد مطالعه ساختاری قرار دادیم.

- این لایه ها پس از انباشت ساختار بلوری نداشتند و به صورت آمورف بودند. با استناد به آنالیز EDS می توان از کندوپاشی عناصر تانتالوم و مس اطمینان خاطر داشت. مطالعه مورفولوژی سطح لایه ها پس از انباشت، نشان می دهد که ناهمواری سطح با افزایش مقدار دز نیتروژن از $9/37 \text{ \AA}$ به $37/18 \text{ \AA}$ افزایش می یابد. اندازه دانه های روی سطح از $5/406$ به $11/37$ نانومتر افزایش می یابد.

- پس از بازپخت در دمای 550° سیلیسیوس ساختار بلوری لایه همچنان آمورف مشاهده شد و ناهمواری سطح و اندازه ی دانه های روی سطح افزایش می یابد.

- پس از بازپخت در دمای 650° سیلیسیوس ساختار بلوری لایه همچنان آمورف مشاهده شد ناهمواری سطح از نمونه A1 به A2 روند افزایشی، از A2 به A3 روند کاهشی دارد و مقدار آن برای نمونه A4 کاهش می یابد. اندازه دانه های روی سطح از نمونه A1 به A2، افزایش، A2 به A3 نیز افزایش می یابد ولی مقدار آن برای نمونه A4 کاهش می یابد.

- پس از بازپخت در دمای 750° سانتیگراد در ساختار بلوری فاز سه تایی ترکیب TaCuN تشکیل می شود. ناهمواری سطح از نمونه A1 به A2، از A2 به A3 و مقدار آن برای نمونه A4 همواره روند نزولی دارد.

شانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

اندازه دانه‌های روی سطح از نمونه A₁ به A₂ و مقدار آن برای نمونه A₄، روند افزایشی، از A₂ به A₃ روند کاهشی می‌یابد.

- پس از بازپخت در دمای ۸۵۰° سیلیسیوس ساختار بلوری لایه همانند قبل تکرار شد. فازهای نیتریدی تانتالوم و مس و همچنین فاز (۰۱۲) ترکیب سه تایی TaCuN قابل مشاهده می‌باشند. تغییرات مورفولوژی سطح از نمونه A₁ به A₂، از A₂ به A₃ کاهش می‌یابد و مقدار آن برای نمونه A₄ افزایش می‌یابد. اندازه دانه‌های روی سطح از نمونه A₁ به A₂، از A₂ به A₃ روند کاهشی دارد و مقدار آن برای نمونه A₄ افزایش می‌یابد.

- به منظور بررسی بهتر اثر دز نیتروژن، در یک دسته بندی جدید براساس دمای بازپخت آشکار می‌شود که تقریباً فازهای یکسانی پس از بازپخت در دماهای ۷۵۰ و ۸۵۰ تشکیل می‌شود. هر چند در برخی موارد راستای ترجیحی وجود دارد و با افزایش دز نیتروژن تمایل بیشتری به شکل گیری این فازها ایجاد می‌شود.

مراجع

1. J.H. Hsieh a, C.M. Wang b, C. Li b, 2006, "Deposition and characterization of TaN-Cu nanocomposite thin films", *Surface & Coatings Technology*, 3179-3183, 200.

2. J.H. Hsieh, 2008, "Mechanical properties of TaN-Cu nanocomposite thin films". *Surface & Coatings Technology*, 5530-5534, 202.

۳. ک. عباس زاده و پ. نایی، تکنولوژی ساخت لایه نازک و کاربردهای آن، ۱۳۸۶، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

4. C.M. Wang a, J. Hsieh a, Y.Q. Fua, C. Lia, T.P. Chenb, U.T. Lama, 2004, "Electrical properties of TaN-Cu nanocomposite thin films", *Ceramics International*, 1879-1883, 30.

5. <http://www.forum.noandishaan.com>

۶. م. مجتهدزاده لاریجانی؛ ب. گبری؛ م. منصورحسینی و م. یاری، ۱۳۸۸، "اثر بازپخت بر روی خواص ساختاری و مقاومت خوردگی لایه های نازک Cr و CrN"، *کنفرانس فیزیک ایران*، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان

۷. ا. کاظمی نژاد؛ م. فرید و م. محسنی راد، ۱۳۸۸، "اثر بازپخت بر ساختار لایه های نازک فاز آاناتاز و روتیل TiO₂"، *دهمین سمینار ملی مهندسی سطح و عملیات حرارتی*، اصفهان، انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۸. ث. سربازی گلعداری، ۱۳۹۳، "بررسی اثر زیرلایه روی خواص اپتیکی لایه نازک TaCuN لایه نشانی شده به روش کندوپاش مغناطیسی"، *دومین همایش ملی پژوهش های کاربردی در ریاضی و فیزیک*، تهران

۹. ن. قبادی و م. گنجی، ۱۳۹۳، "بررسی تأثیر انرژی یون های پلاسما بر روی خواص ساختاری، الکتریکی و مکانیکی لایه های نازک نیترید تیتانیوم تهیه شده به روش کندوپاش پلاسمایی واکسنی"، *دومین همایش مهندسی مواد، ملایر، دانشکده فنی و مهندسی ملایر*

۱۰. ب. آذروند و خ. ابراهیمی اردی، ۱۳۹۴، "بررسی تاثیر دمای بازیخت بر خواص ساختاری، ایتیکی و الکتریکی لایه های نازک دی اکسید قطع آلاییده با آلومینیوم"، کنفرانس بین المللی علوم فیزیک و ریاضی.

جداول

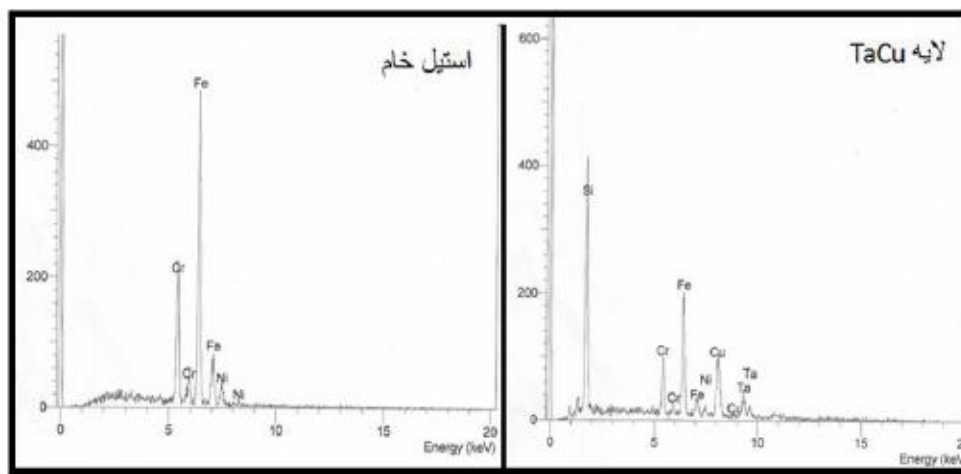
جدول ۱: مشخصات نمونه های انباشت شده در این پژوهش

نمونه انباشت شده	دز گاز نیتروژن (ion/m^2)	زمان انباشت لایه TaCu (دقیقه)	زیرلایه های موجود در محفظه
A1	1×10^{17}	۲۰	استیل
A2	3×10^{17}	۲۰	استیل
A3	5×10^{17}	۲۰	استیل
A4	7×10^{17}	۲۰	استیل

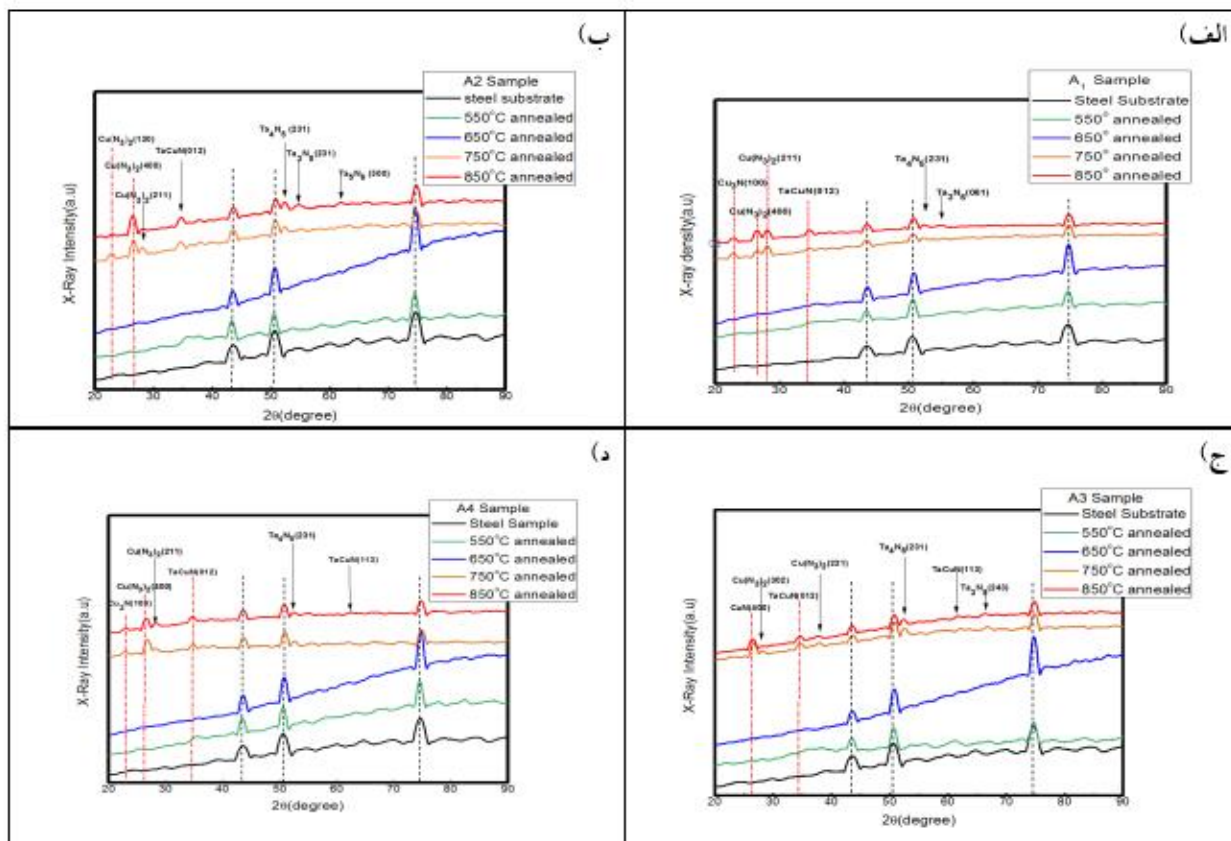
جدول ۲: مقایسه تغییرات جذر متوسط مربع ناهمواری سطح لایه TaCuN انباشته شده با دزهای متفاوت نیتروژن روی زیرلایه استیل، قبل از بازیخت، در دماهای ۵۵۰، ۷۵۰، ۸۵۰ و ۹۵۰ درجه سلسیوس

نمونه	قبل از بازیخت	۸۵۰	۷۵۰	۶۵۰	۵۵۰
A1	۹/۳۷	۷۰۱	۴۱۶	۴۰۱	۹/۳۱
A2	۱۹/۱	۹۷۴	۴۰۵	۶۷۰	۲۷/۸
A3	۱۹/۷	۲۹۲	۳۰۲	۶۱۶	۲۹/۳
A4	۳۷/۸	۶۸۲	۵۱۶	۵۹۲	۴۳/۸

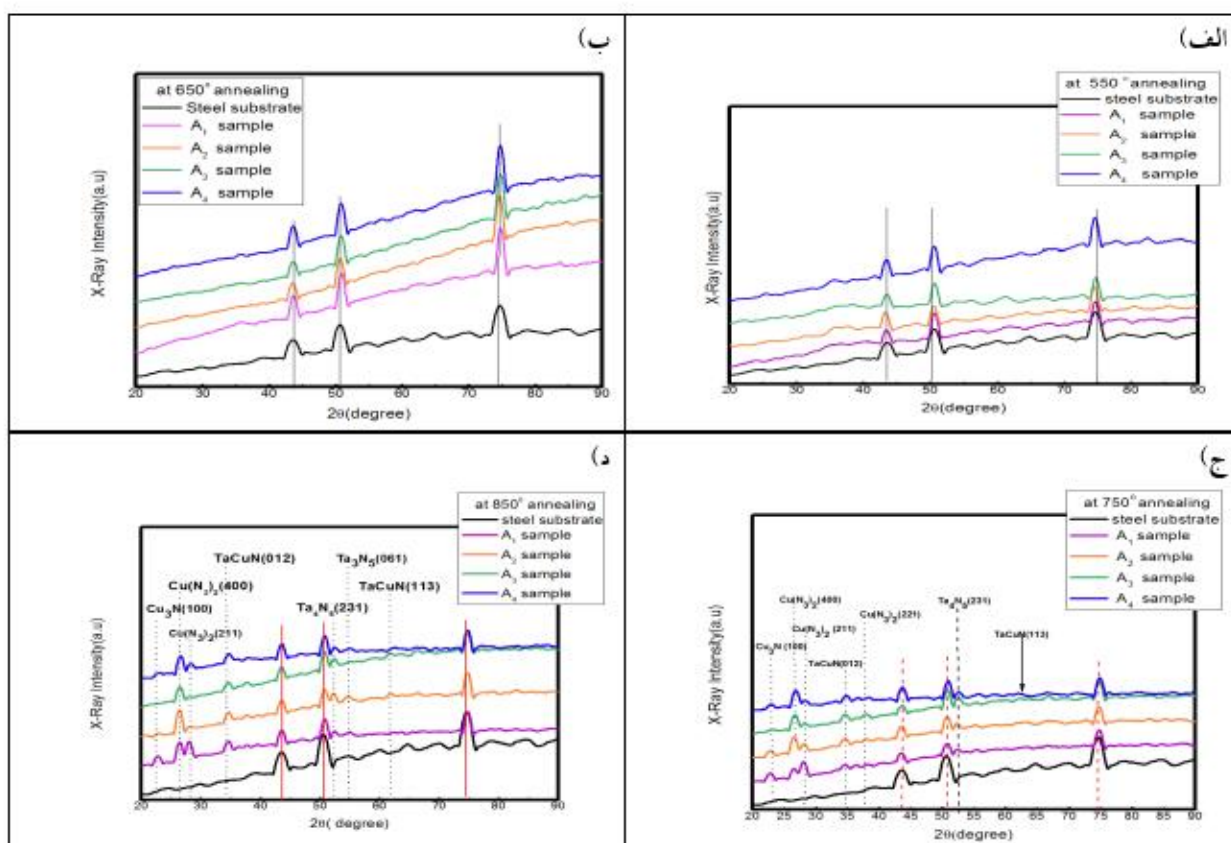
شکل ها



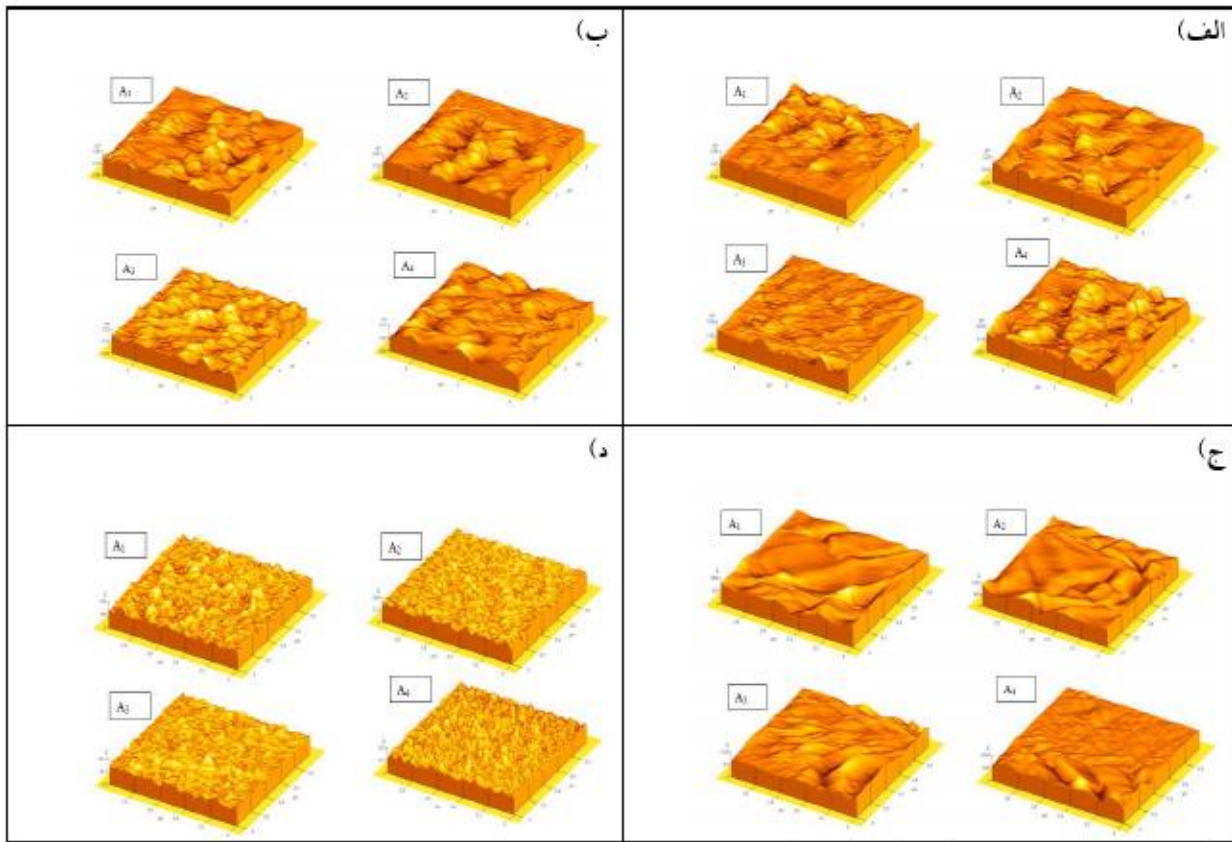
شکل ۱: آنالیز EDAX نمونه A1 و زیر لایه استیل خام



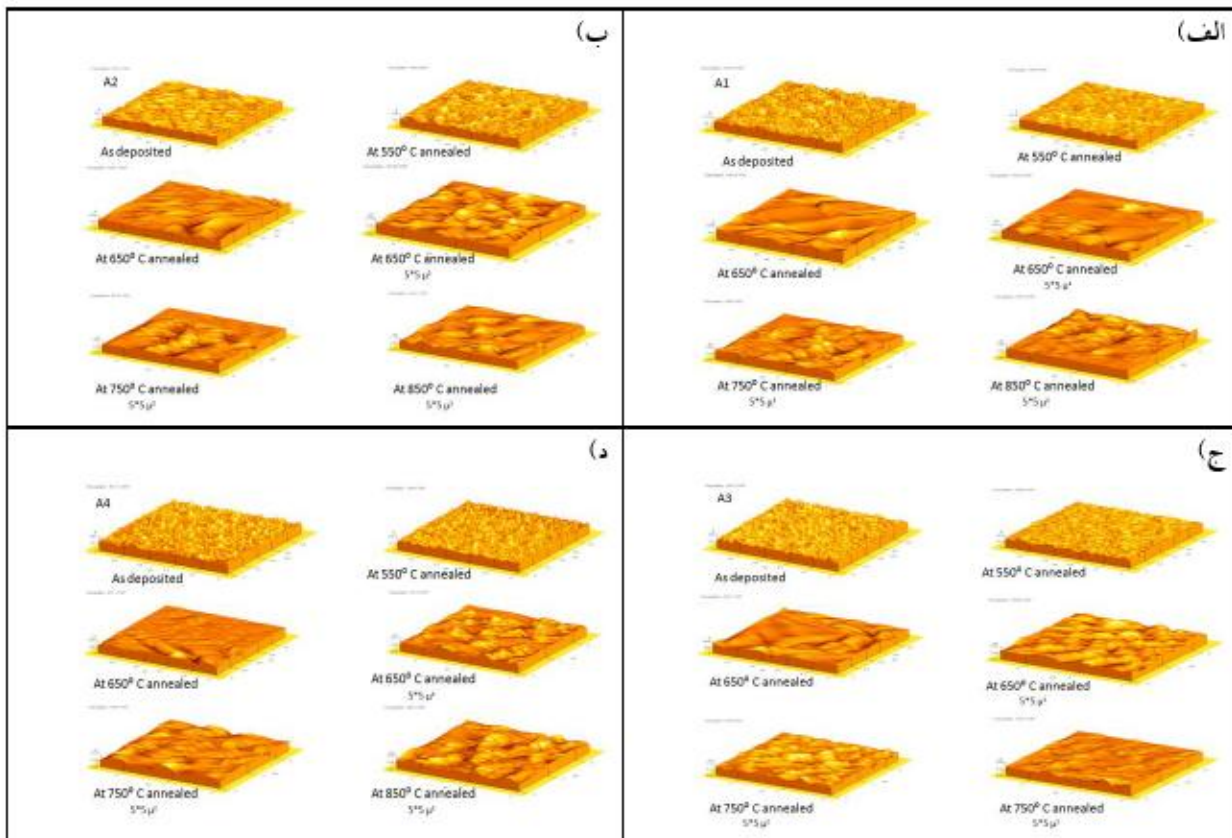
شکل ۲: طیف های XRD مربوط به نمونه الف) اول، ب) دوم، ج) سوم و د) چهارم، پس از بازبخت در دماهای متفاوت.



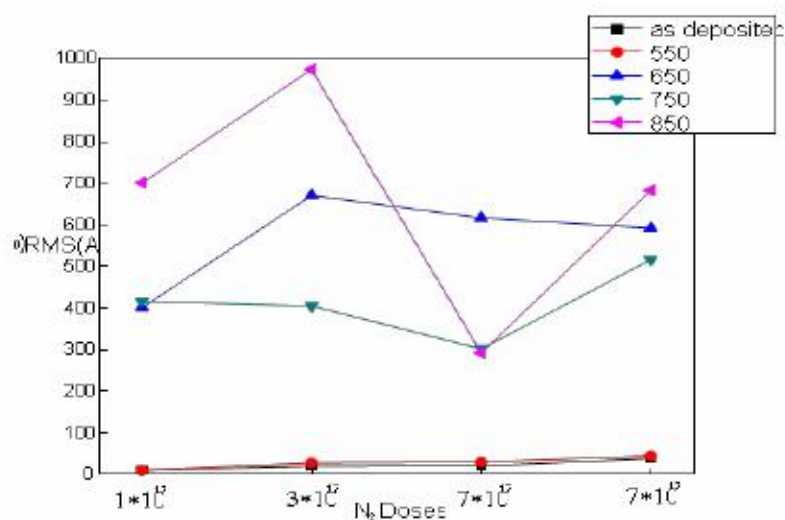
شکل ۳: طیف های XRD نمونه های A1، A2، A3 و A4 پس از بازبخت در دماهای الف) ۵۵۰، ب) ۶۵۰، ج) ۷۵۰ و د) ۸۵۰.



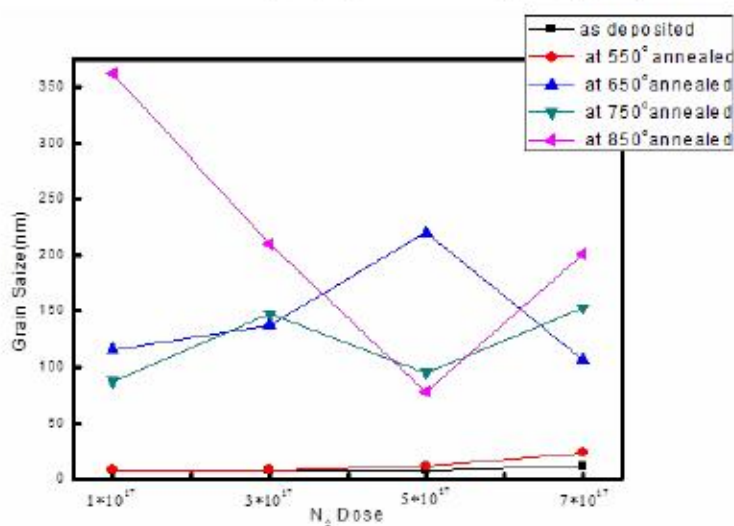
شکل ۴: تصاویر سه بعدی A_1 ، A_2 ، A_3 و A_4 پس از بازپخت در دماهای الف) ۸۵۰، ب) ۷۵۰، ج) ۶۵۰ و د) ۵۵۰ درجه سلسیوس



شکل ۵: تصاویر بعدی بلافاصله پس از انباشت و بازبخت در دماهای مختلف برای نمونه الف (A1، ب (A2، ج (A3 و د (A4)



شکل ۶: روند تغییرات RMS سطح لایه‌های TaCuN



شکل ۷: روند تغییرات اندازه دانه‌های تشکیل شده روی سطح لایه‌های TaCuN.



انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران