فصلنامه‌ی علمی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۱۱، شماره‌ی ۲، تابستان ۱۴۰۱

بررسی و مطالعه اثر ترابردی بر ناهمواری سطح تانتالوم با استفاده از کاشت یون پرانرژی آرگون

نوع مقاله: علمی پژوهشی

امیر هوشنگ رمضانی*، ژاله ابراهیمی‌نژاد، سمیه عسگری

گروه فیزیک، واحد تهران غرب، دانشگاه ازاد اسلامی، تهران، ایران

* Ramezani.1972@gmail.com

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲۵ بهمن ۱۴۰۰

پذیرش: ۱۰ مرداد ۱۴۰۱

صفحه ۸۲ تا صفحه ۹۳

در دسترس در نشانی:
www.ijcse.ir

زبان نشریه: فارسی

شاپا چاپی: ۲۳۵۲-۲۳۲۲

شاپا الکترونیکی:
۲۷۸۳-۳۰۰۳

چکیده:

در مطالعه حاضر، اثر ناهمواری فصول مشترکی که در اثر کاشت یونی بر روی سطوح پایه تانتالوم تولید شده اند بررسی شده است. یون‌های آرگون با انرژی ۳۰ کیلو الکترون‌ولت و در دزهای $۱۰^{۱۷} \times ۱$ تا و $۱۰^{۱۷} \times ۱۰$ (یون بر سانتی‌متر مربع) استفاده شده است. میکروسکوپ نیروی اتمی برای توصیف ریخت‌شناسی سطح استفاده شده است. تاثیر ناهمواری لایه‌های نازک تولید شده از طریق کاشت یونی، هدف از تحقیق میزان احتمال انتقال الکترونی در تانتالوم است. با بمباران یون آرگون تغییر قابل توجهی در نمونه ها رخ می‌دهد از جمله ناهمواری، اندازه دانه، توزیع آن برای نمونه کاشته نشده و نمونه های کاشته شده. سهم اجزای پراکنده احتمال انتقال نمونه‌هایی که با دزهای پایین‌تر یون کاشته شده‌اند، غالب‌تر از موارد کاشته‌شده توسط دزهای بزرگ‌تر است. همچنین بر اساس نتایج با افزایش دز یونی، چگالی جریان لایه‌های نازک افزایش می‌یابد. یکی از اثرات اصلی ناهمواری، کاهش احتمال عبور است. نتایج نشان می‌دهد که میزان پراکندگی به واسطه فصول مشترک ناهموار تولید شده با کاشت یون آرگون بیش‌تر است. به علاوه محاسبات چگالی جریان نتایج مذکور را تایید نموده و میزان چگالی جریان مولفه‌های پراکنده شده فصول مشترک ناهموار تولید شده با کاشت یون کم‌تر است.

کلیدواژه:

آرگون، تانتالم، ترابردی، فصل مشترک ناهموار.

کد DOR: 20.1001.1.23222352.1400.10.0.29.2

۱- مقدمه

در تحقیقات اخیر با کاربردهای تکنولوژیکی پیشرفته، تانتالوم به طور مکرر به دلیل خواص ویژه مانند نقطه ذوب بالا، هدایت الکتریکی خوب، شکل پذیری بالا و مقاومت در برابر خوردگی استفاده شده است. وقتی یک یون پرانرژی وارد یک هدف جامد می‌شود، براثر برخورد با اتم‌ها و مولکول‌های هدف انرژی خود را از دست داده و در مکانی داخل یون متوقف می شود که این فرآیند کاشت یون نامیده می‌شود. شناخت رفتار لایه‌های سطح مواد، دامنه جدیدی از فن‌آوری را پیش روی می‌گذارد [۱-۵]. برای آشنا شدن با مسائل و مشکلات موجود، باید فهرستی موضوعی از قابلیت‌های سطح داشته باشیم. در این میان مشهورترین قطعات نیمه‌رساناها و فلزات می‌باشند.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-17]

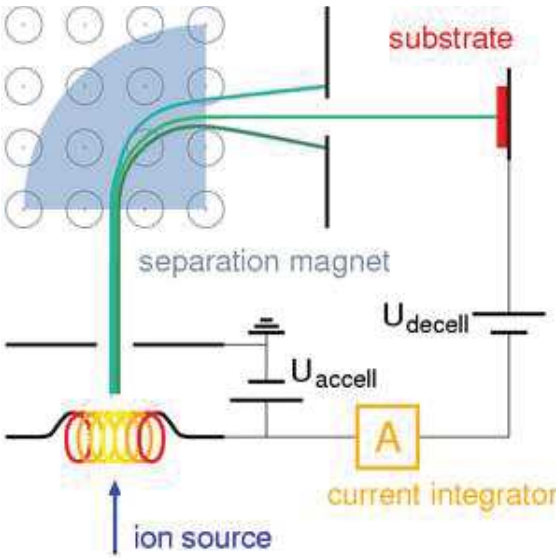
[DOR: 20.1001.1.23222352.1401.11.0.11.1]

در واقع استثنایی‌ترین قسمت الکتریسیته در سطح خلاصه می‌شود. حتی در مورد قطعاتی که شامل لایه‌های مجتمع زیادی می‌باشند؛ این لایه‌ها در نزدیکی سطح ایجاد می‌شود. در رابطه با ساختار مواد برای به دست آوردن استحکام مکانیکی بیش‌تر هم، خواص سطح برای ما مهم می‌باشند زیرا سطح مواد اغلب در معرض برخورد و نیروی اصطکاک میان قسمت‌های متحرک و فرسایش‌های مکانیکی قرار می‌گیرد. می‌دانیم استحکام و چسبندگی ذاتی فلزات در عمل بیش از استحکام دیگر مواد می‌باشد. این تفاوت هم کاملاً تحت تأثیر بی‌نظمی‌هایی است که در سطح بوجود می‌آید [۵-۱۰].

یون‌ها برخلاف الکترون‌ها دارای خواص ذاتی فیزیکی و شیمیایی عناصر اولیه که از آن به‌وجود آمده‌اند می‌باشند. روش کاشت یون برای سال‌های متمادی برای آلایش نیمه‌رساناها به‌منظور تغییر خواص الکتریکی به کار رفته است. اما بعدها در طی تحقیقاتی پی برده‌اند که از این تکنیک می‌توانند جهت ایجاد اصلاحات اپتیکی و مکانیکی که شامل تشکیل آلیاژ در سطح مواد و اصلاح ساختار سطح لایه‌ها می‌باشد استفاده کرد. در متالورژی کاشت یون به اثر برخورد یون و اتم‌های سطح در تشکیل آلیاژها و بهبود خصوصیات ریز ساختاری سطح توجه می‌کنیم. اغلب زیرلایه‌هایی که مورد کاشت یون قرار می‌گیرند از نظر ساختاری بس‌بلور می‌باشند، و رفتار شیمیایی و فیزیکی ناحیه کاشته شده نزدیک سطح بستگی زیادی به نحوه ورود یون‌ها در فضای خالی شبکه‌های بلوری ماده دارد. همچنین ما علاقه‌مندیم که بدانیم یون‌ها به طریقه جانشینی یا به طریقه بین نشینی در ساختار ماده قرار گرفته‌اند و هم‌چنین آیا ساختار آلیاژ به‌دست آمده کریستالی است و یا بی‌شکل [۱۱-۱۲]. تحقیقات مختلفی در رابطه با تأثیر زبری بر خواص نوری، رسانایی الکتریکی [۱۲] و خواص انتقال مختلف لایه‌های نازک بر پایه تانتالوم انجام شده است [۱۳-۱۵]. در کار حاضر، بررسی اثر کاشت یون بر روی مورفولوژی و خواص انتقال نمونه‌های مبتنی بر تانتالوم مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق احتمال انتقال و چگالی جریان نمونه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. در تحقیق، بررسی یون آرگون بر روی خواص انتقال لایه‌های نازک بر پایه تانتالوم که به عنوان ساختارهای چندلایه استفاده می‌شوند، انجام شده است و احتمال انتقال و چگالی جریان بررسی شده است.

۲- مواد و روش آزمایشگاهی

شکل ۱ نمایشی از دستگاه کاشت یون می‌باشد. در این فرآیند، یون‌های پر انرژی که به سطح جامد برخورد می‌کنند، میتوانند برای به وجود آوردن تغییرات فیزیکی، شیمیایی و متالوژیکی سطوح جامدات مفید باشند.



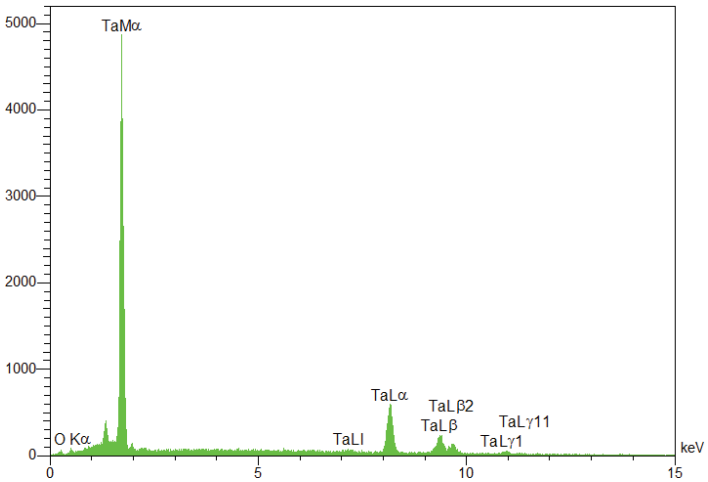
شکل ۱- نمایی از یک دستگاه کاشت یون.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-17]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1401.11.0.11.1]

خواص مهمی مانند: سایش، فرسودگی، سختی وخوردگی، مقامت الکتریکی و خواص ترابردی به وسیله این تکنیک قابل اصلاح هستند. در این آزمایش از نمونه‌های تانتالوم در ابعاد ۰/۵ mm × ۱ × ۱ استفاده شده و نمونه‌ها توسط دستگاه پولیش با صفحه دوار و توسط پوست آب ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۳۰۰۰ پولیش داده شده و بعد از توسط نمد مخصوص و خمیر الماس، سه و یک میکرون که با محلول Diamond Extender Blue رقیق شده بودند کاملا صیقلی گردید. در مرحله بعد نمونه ها توسط آب و صابون شسته شده و در محلول استن و الکل به مدت ۲۰ دقیقه تحت عملیات التراسونیک قرار گرفت .جدول ۱ ترکیبات شیمیایی تانتالوم که در زیر لایه استفاده شده است را نمایش می‌دهد. شکل ۲ نتایج آنالیز عنصری نمونه کاشت نشده تانتالوم را نمایش می‌دهد. این قسمت از آزمایش توسط دستگاه کاشت یون مرکز تحقیقات پلاسما انجام گرفت. پنج عدد از نمونه‌ها را به مساحت‌های تقریبی $1\ cm^2$ برای کاشت انتخاب می کنیم. خلا دستگاه در شروع عملیات یون‌سازی (Toor) 2×10^{-5} که در حین عملیات کاشت با توجه به ایجاد باریکه یونی به (Toor) 2×10^{-4} تغییر می‌کند. شرایط کاشت بر روی نمونه‌های تانتالوم برای تمام نمونه‌ها در جدول ۱ آورده شده است. در ضمن دمای در مورد تمام نمونه‌ها در حین کاشت ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده است و همچنین زاویه برخورد برای نمونه‌های کاشت شده صفر درجه (نسبت به خط عمود بر سطح) بوده است. نمونه‌های آماده شده تحت زاویه ۹۰° نسبت به باریکه یون در دستگاه کاشت یون قرار داده شده و تحت کاشت یون قرار گرفته‌اند. شرایط انجام کاشت برروی نمونه‌های مختلف به‌صورت یکجا در جدول ۱ آورده شده است.

Elt	Line	Int	K	Kr	W%	A%
C	Kα	15.9	0.0055	0.0054	1.20	14.38
O	Kα	21.2	0.0050	0.0049	0.86	7.75
Ta	Mα	2812.5	0.9895	0.9681	97.94	77.87
			1.0000	0.9784	100.00	100.00



شکل ۲- نتایج آنالیز ترکیب شیمیایی از تانتالوم کاشت نشده

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-17]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1401.11.0.11.1]

جدول ۱- پارامترهای کاشت برای نمونه‌ها با چگالی جریان یونی متفاوت

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵
انرژی (کیلو الکترون‌ولت)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
جریان یونی (میکرو امپر بر سانتی‌متر مربع)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
جریان یونی (یون بر سانتی‌متر مربع)	۱×۱۰^{۱۷}	۳×۱۰^{۱۷}	۵×۱۰^{۱۷}	۷×۱۰^{۱۷}	۱۰×۱۰^{۱۷}
زمان کاشت (ثانیه)	۳۰۰	۱۰۵۰	۱۶۰۰	۲۴۲۰	۳۸۰۰
دما (درجه سانتی‌گراد)	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰

زمان انجام کاشت هر نمونه از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$T = \frac{dose \times I}{6.22\times10^{12}}$$ (I چگالی جریان یون)

۳- نتایج و بحث

یکی از مشخصاتی که بعد از کاشت یون تغییر قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت دانه‌بندی سطح نمونه تحت کاشت می‌باشد. تغییرات دانه‌بندی از این‌نظر مورد توجه می‌باشد که در اکثر مواقع رابطه‌ای بین دانه‌بندی و زبری سطح وجود دارد. برای بررسی این مشخصه از دستگاه تصاویر به‌دست آمده از میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده شده است.

در ذیل نتایج آنالیز میکروسکوپ نیروی اتمی AFM[۱] برای نمونه‌های کاشت شده و نمونه کاشت نشـــده آورده شده است.

در این پروژه از دستگاه AFM مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما که از مدل Auto Prob CP که ساخت کارخانه Park Sintefic Insrument می‌باشد برای بررسی توپوگرافی سطح استفاده شد. در ذیل نتایج آنالیز AFM برای نمونه‌های کاشت شده و نمونه کاشت نشده آورده شده است.

۳-۱- آنالیز سطح با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی

در این تحقیق بر روی سطوح تانتالوم توسط یون‌های آرگون با ۱×۱۰^{۱۷} تا ۱۰×۱۰^{۱۷} (یون بر سانتی‌متر مربع) فرآیند کاشت انجام شده است. فرآیند کاشت یونی منجر به تغییر ریخت‌شناسی سطوح می‌گردد و تمامی سطوح ناشی از این فرآیند ناهموار هستند. این سطوح ناهموار به عنوان فصل مشترک در ساختارهای چندلایه‌ای مورد استفاده قرار گرفته و بر خواص ترابردی این ساختارها اثر می‌گذارند. در ادامه تاثیر ناهمواری فصول مشترک خام (کاشت‌نشده) و کاشت شده بر احتمال عبور و رسانندگی الکتریکی ساختارهای چندلایه‌ای بررسی خواهد شد.

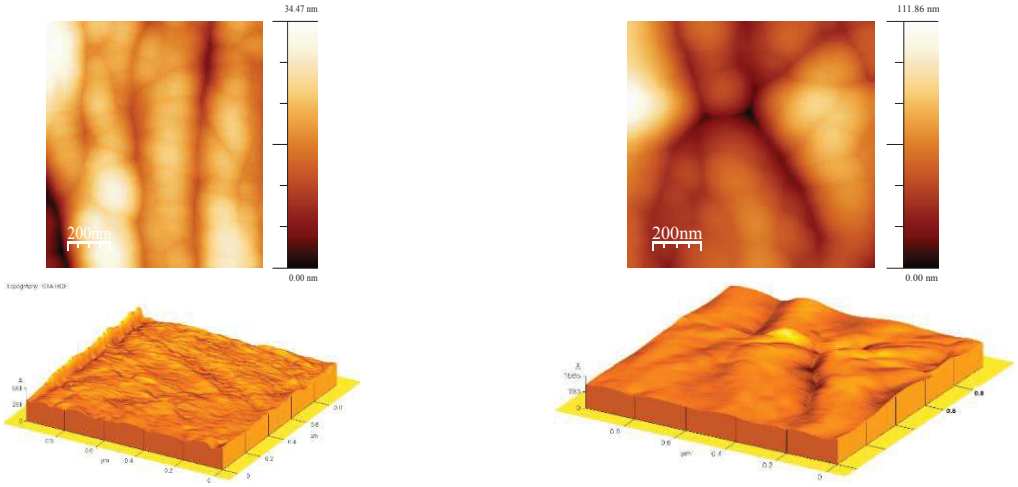
درشکل ۳ تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی سطوح کاشت نشده و کاشت شده به منظور بررسی بهتر نشان داده شده است.

در این تصاویر، تغییرات اساسی مانند سایز دانه‌ها و توزیع آن ها قبل و پس از فرآیند کاشت با یون آرگون قابل مشاهده است.

[۱] Atomic Force Microscope

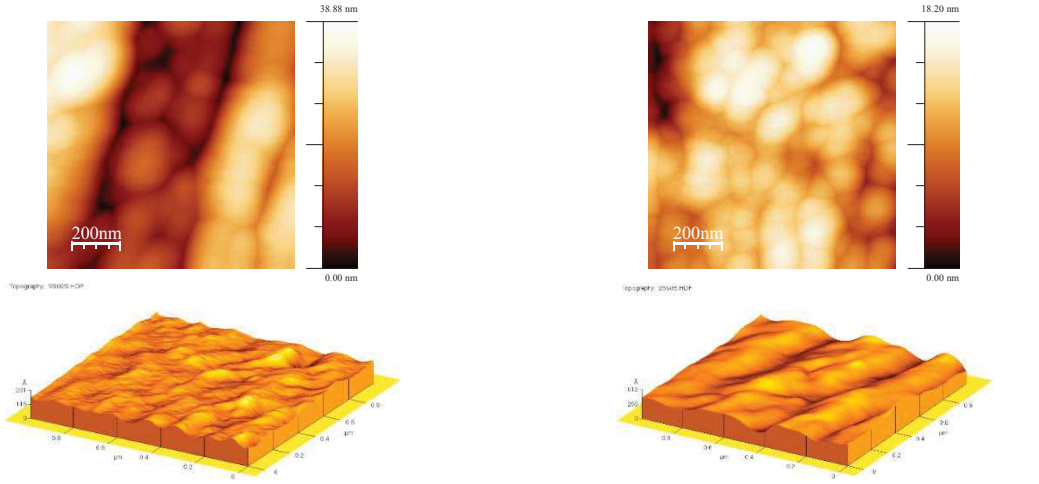
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-17]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1401.11.0.11.1]



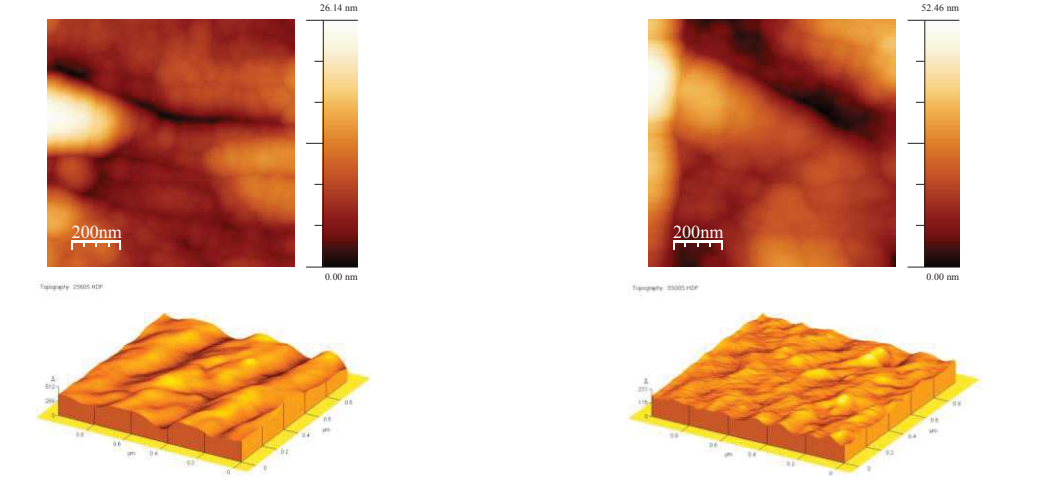
تانتالوم کاشت نشده

کاشت شده با جریان یونی ۱×۱۰^{۱۷}



کاشت شده با جریان یونی ۳×۱۰^{۱۷}

کاشت شده با جریان یونی ۵×۱۰^{۱۷}



کاشت شده با جریان یونی ۷×۱۰^{۱۷}

کاشت شده با جریان یونی ۱۰×۱۰^{۱۷}

شکل ۳- تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی از تانتلوم کاشت شده و کاشت نشده

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-17]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1401.11.0.11.1]

همان طور که تصاویر نشان می‌دهند ناهمواری سطوح قبل و بعد از این فرآیند تغییر نموده و به همین دلیل تغییرات ریشه میانگین مربع ناهمواری نمونه‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. این مقادیر تا دز $۱۰^{۱۷} \times ۵$ افزایش یافته و سپس در دز $۱۰^{۱۷} \times ۱۰$ کاهش می‌یابد. دلیل این افزایش و کاهش را می‌توان به ترتیب در اثر کندوپاش به دلیل بمباران و سپس توزیع یافتن مجدد ماده به دره‌ها به واسطه افزایش فرآیند پخش شدگی به دلیل ناهمواری در دزهای بالا تشریح نمود. دلیل دیگر افزایش ناهمواری در دز $۱۰^{۱۷} \times ۵$ ions/cm^2، افزایش انتشار سطحی اتم‌های تانتالوم در سطوح نمونه است. طبق جدول فوق واضح است که نمونه به دلیل بمباران یونی دچار تغییرات اساسی می‌شوند. در مورد نمونه کاشت نشده مطابق شکل ۳، سطح نمونه هموار به نظر رسیده و ریخت شناسی آن برآمدگی‌های کوچکی را در سطح صاف نشان می‌دهد.

۳-۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی

شکل ۴ نمایش تصاویر میکروسکوپ الکترونی برای نمونه‌های کاشت شده و کاشت نشده می‌باشد. این تصاویر فقط اثر کاشت را بر روی نمونه‌ها با جریان یونیهای متفاوت نشان می‌دهد.

تصاویر نشان می‌دهد که با افزایش جریان یونی، سطح نمونه تحت تأثیر قرار گرفته است.

برروی بعضی نمونه‌ها تأثیر کاشت مشاهده می‌شود. بعضی خراش‌ها برروی نمونه براثر پولیش مکانیکی سطح می‌باشد که در شکل نمونه کاشت نشده آن را نمایش می‌دهد. در نمونه‌های کاشت شده با جریان یونی $۱۰^{۱۷} \times ۱$ تا $۱۰^{۱۷} \times ۱۰$ (یون بر سانتی‌متر مربع) تأثیر کاشت و اصلاح ساختار سطحی را نمایش می‌دهد. این نمایش‌ها با نتایج میکروسکوپ نیروی اتمی در توافق می‌باشد و با نتایج اندازه دانه‌ها در زبری سطح موافق است.

۳-۳- بررسی احتمال انتقال و عبور در سطح لایه‌ها

کاهش بیش‌ترین مقدار قابل دسترس احتمال عبور یکی از نتایج اصلی وجود ناهمواری در نمونه‌ها به شمار می‌رود. بنابراین با استفاده از روش ماتریس انتقال، تاثیر فرآیند کاشت یونی بر خصوصیات ترابردی نمونه‌ها بررسی شده است. به این منظور، تابع موج زیر در نظر گرفته شده :

$$\psi_j = \sum_q (a_j^{\gamma}(q)e^{(ik_n z)} + b_j^{\gamma}(q)e^{-(ik_n z)})e^{(iq.(x,y))} \quad (۱)$$

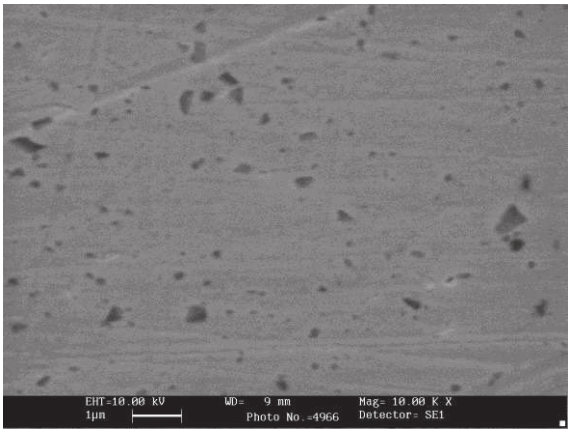
با استفاده از پیوستگی تابع موج و مشتق آن، احتمال عبور از روش ماتریس انتقال قابل محاسبه خواهد بود.

جدول ۲- تغییرات مقدار ریشه میانگین مربع ناهمواری نمونه‌ها.

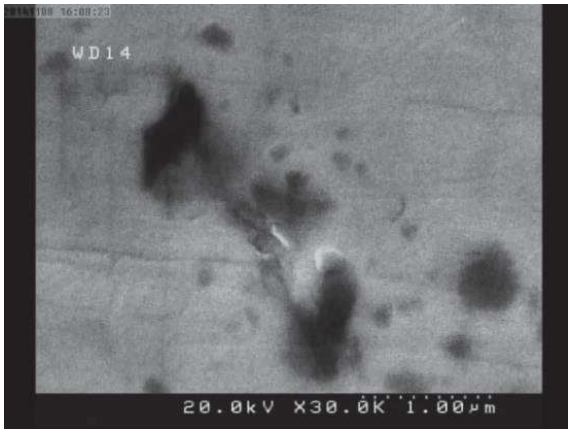
ناهمواری میانگین (Å)	ناهمواری ریشه میانگین مربع (Å)	در (ion/cm^2)	نمونه (#)
۱۵,۷	۲۲,۳	0	نمونه کاشت نشده
۵,۶۴	۳۰,۵۲	۱×۱۰^{۱۷}	۱
۳۲,۸	۴۱,۱	۳×۱۰^{۱۷}	۲
۶۹,۷	۹۵,۳	۵×۱۰^{۱۷}	۳
۴۱,۳	۵۰,۳	۷×۱۰^{۱۷}	۴
۲۹,۷	۷,۲۵	۱۰×۱۰^{۱۷}	۵

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-17]

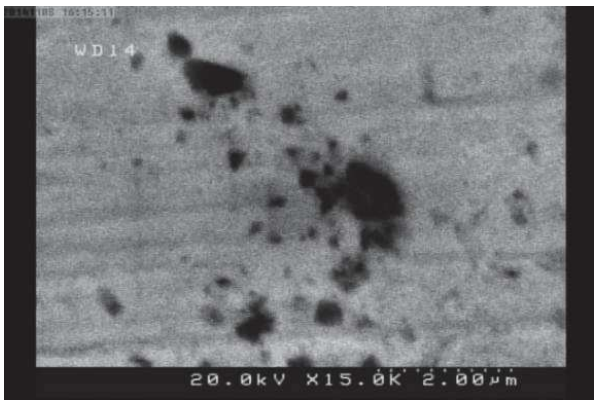
[DOR: 20.1001.1.23222352.1401.11.0.11.1]



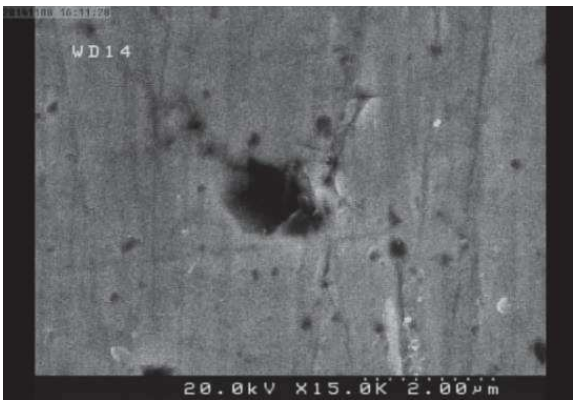
تانتالوم کاشت نشده



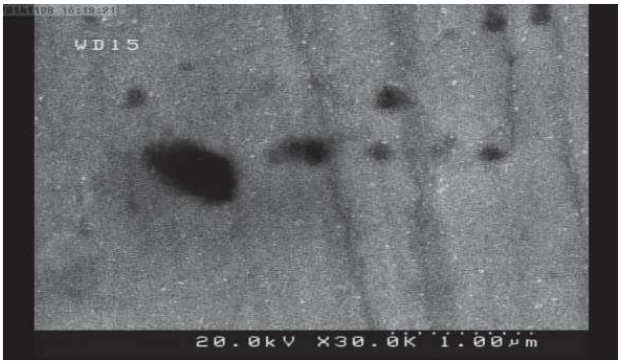
کاشت شده با جریان یونی ۱×۱۰^{۱۷}



کاشت شده با جریان یونی ۳×۱۰^{۱۷}



کاشت شده با جریان یونی ۵×۱۰^{۱۷}



کاشت شده با جریان یونی ۷×۱۰^{۱۷}

کاشت شده با جریان یونی ۱۰×۱۰^{۱۷}

شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از تانتالوم کاشت شده و کاشت نشده

q بردار موج عرضی و $K_n = [2m\,(V_n - E_n)]^{1/2}/\hbar$ عدد موج است. V_n برای مناطق ۳، ۲، ۱ =n و ۳ به ترتیب 0، $E_{FL} + V -$, $-eV_{app}$ $\frac{eV_{app}}{4}$ است که $V = \Delta E_c[\theta(z - \varepsilon(r))]$ و $\varepsilon(r)$ ارتفاع فصل مشترک است.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-17]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1401.11.0.11.1]

$$\begin{pmatrix} a_3 \\ 0 \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \end{pmatrix} \quad (۲)$$

بر طبق این تعریف، رابطه عبور به شکل زیر است:

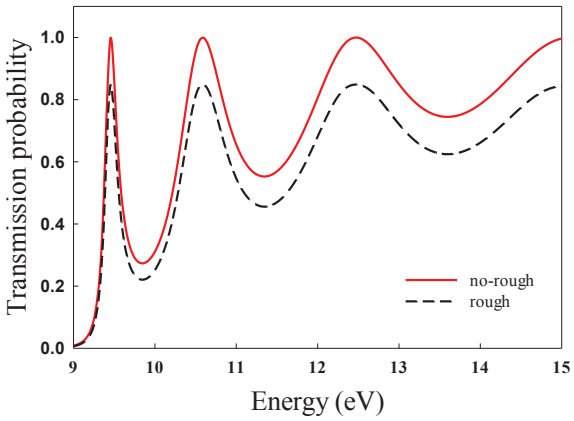
$$T(E, V_{app}) = \frac{k_3 m_3}{k_1 m_1} \left(\frac{a_3}{a_1}\right)^2 \quad (۳)$$

بنابراین، چگالی جریان به صورت تابعی از ولتاژ اعمالی به صورت زیر نوشته می‌شود [۳]:

$$j(V_{app}) = \frac{em^* k_B T}{4\pi^2 \hbar^3} \int_0^\infty T(E, Vapp) \ln\left[\frac{1+\exp[(E_F - E)/k_B T]}{1+\exp[(E_F - E - eV_{app})/k_B T]}\right] dE \quad (۴)$$

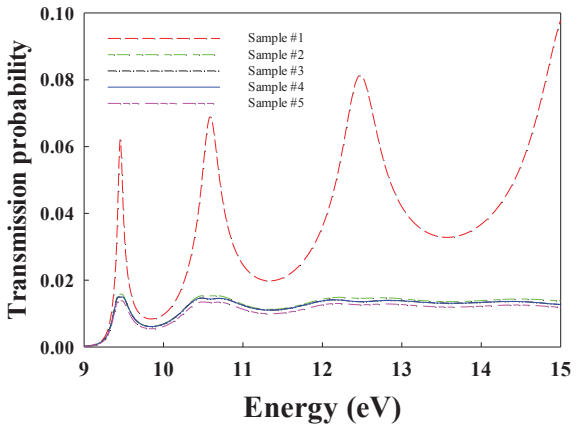
فصول مشترک اول و سوم ساختارها نمونه‌های ناهموار در نظر گرفته شده و بنابراین مقدار کمیت‌های ترابردی فوق را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

همان‌طور که ذکر شد، نمونه های مذکور یا کاشت نشده هستند و یا با استفاده از روش کاشت با یون آرگون بر روی تانتالوم نفوذ یافته‌اند. ضخامت نمونه‌ها یک میلی‌متر و سطح آن‌ها ۵۰ × ۵۰ میلی‌متر مربع است. جرم موثر الکترونی به صورت m_e جرم الکترون در نظر گرفته شده است. [۱۶–۲۰] اکنون می‌توان احتمال عبور را بر حسب انرژی الکترون‌های فرودی برای نمونه کاشت نشده با و بدون در نظر گرفتن ناهمواریدر شکل ۵ رسم نمود.



شکل ۵- تاثیر ناهمواری بر احتمال عبور نمونه کاشت نشده.

همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، تاثیر عمده ناهمواری کاهش احتمال عبور به واسطه فرآیند پراکندگی الکترون از فصول مشترک ناهموار تولید شده است. می‌توان منحنی مشابه برای سایر نمونه‌ها نیز رسم نمود اما در این جا مقایسه‌ی تاثیر میزان جریان یونی در فرآیند کاشت یونی بر روی میزان پراکندگی الکترون‌ها مورد بحث و علاقه بوده، بنابراین، در شکل ۶ تنها سهم مولفه‌های پراکنده شده احتمال عبور به صورت تابعی از انرژی الکتررون فرودی نمایش داده شده‌اند.



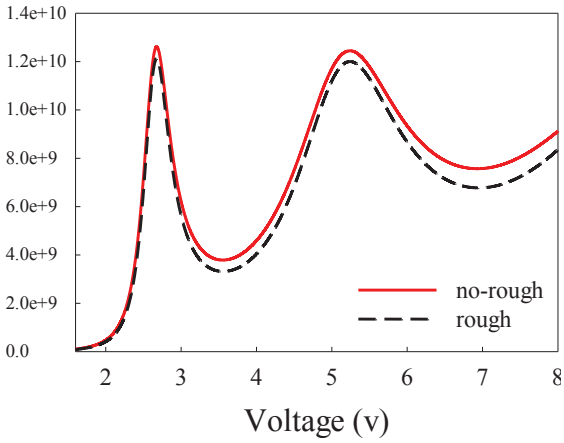
شکل ۶- تاثیر ناهمواری بر مولفه‌های پراکنده شده احتمال عبور برای نمونه‌های کاشت شده با یون آرگون.

در مقایسه حالت ناهموار نسبت به حالت بدون ناهمواری، فرآیند پراکندگی مانع از رسیدن مقدار احتمال عبور به عدد یک (بیشینه مقدار ممکن) می‌شود. همچنین تغییرات احتمال عبور به عنوان تابعی از میزان ناهمواری (برای نمونه‌های کاشت شده با دزهای مختلف) نشان می‌دهد که با افزایش میزان دز یونی، سطوح هموارتر شده و به عبارت دیگر، هرچه دز یون‌های استفاده شده در فرآیند کاشت بیش‌تر باشد، سهم پراکندگی ناشی از ناهمواری کاهش می‌یابد. [۲۱–۲۵]

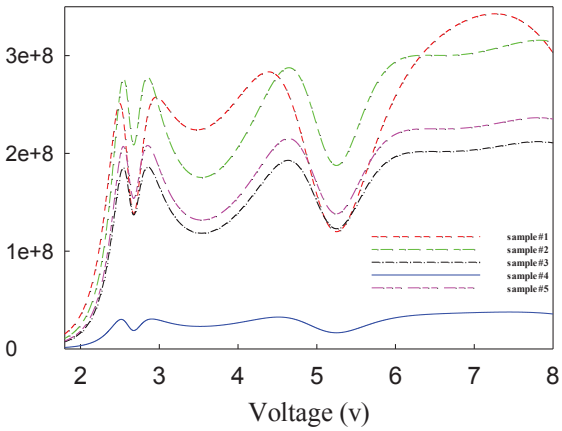
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-17]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1401.11.0.11.1]

به منظور بررسی تاثیر پراکندگی ناشی از ناهمواری بر رسانندگی الکتریکی نمونه‌ها، در شکل ۷ و شکل ۸، مشخصه جریان– ولتاژ ، I-V (طبق رابطه شماره ۴) نمونه کاشت نشده نشان داده شده است. منحنی‌های برای حالت ایده‌ال (بدون در نظر گرفتن ناهمواری) و حالت واقعی (با در نظر گرفتن ناهمواری) ترسیم شده‌اند. در پدیده تونل‌زنی، بیش‌ترین میزان احتمال تونل‌زنی کوانتمی را دارا خواهد بود اگر فصول مشترک ایده‌ال و بدون ناهمواری در نظر گرفته شوند و این امر منجر به بیشترین مقدار در قله مشخصات I-V خواهد شد.



شکل ۷- چگالی جریان بر حسب ولتاژ برای نمونه کاشت نشده.



شکل ۸- چگالی جریان نمونه‌های کاشت شده بر حسب ولتاژ اعمالی.

نتایج نشان می‌دهند که پراکندگی ناشی از ناهمواری فصول مشترک، قله تونل‌زنی تشدیدی جریان را کاهش داده و دره جریان را افزایش می‌دهد. بنابراین، نسبت قله به دره در جریان نسبت به حالت با فصول مشترک ایده‌ال کاهش یافته است. به علاوه، سهم مولفه‌های پراکنده شده چگالی جریان با افزایش دز یون‌ها افزایش می‌یابد که نتایج به دست آمده از نمودارهای احتمال عبور را تایید می‌نماید. با در نظر گرفتن نتایج فوق می‌توان به این جمع بندی رسید که پدیده ترابرد و تونل‌زنی در ادوات الکترونیکی که سطوح مشترکشان با فرآیند کاشت یونی تولید می‌گردند قابل کنترل بوده و این روش می تواند در ساخت این ادوات بسیار کمک‌کننده باشد. [۲۶-۳۴]

۴- نتیجه‌گیری

در طرح حاضر، تانتالوم به عنوان نمونه خام در نظر گرفته شد و فرآیند کاشت یونی با دزهای متفاوت بر روی آن انجام شده است. به منظور بررسی سطوح تولید شده از تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده شده است. تمامی سطوح موجود در طبیعت ناهموار هستند، اما فرآیند کاشت یونی منجر به تغییر ریخت‌شناسی سطوح تولید شده می‌شوند. از طرفی سطوح تولید شده در ادوات الکترونیکی متفاوت به کار گرفته می‌شوند، بنابراین بررسی خصوصیات ترابردی آن‌ها در ساختاهای چندلایه به منظو افزایش دادن کارایی آن ادوات حائز اهمیت است. احتمال عبور و چگالی جریان این ساختارهای چند لایه‌ای که سطوح مشترکشان با استفاده از فرآیند کاشت یونی تولید شده‌اند، محاسبه شده است. یکی از اثرات اصلی ناهمواری، کاهش احتمال عبور است. نتایج نشان می‌دهد که میزان پراکندگی به واسطه فصول مشترک ناهموار

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-17]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1401.11.0.11.1]

تولید شده با کاشت یون آرگون بیش‌تر است. به علاوه محاسبات چگالی جریان نتایج مذکور را تایید نموده و میزان چگالی جریان مولفه‌های پراکنده شده فصول مشترک ناهموار تولید شده با کاشت یون کمتر است. همچنین با افزایش دز یون‌های استفاده شده، سطوح تولید شده هموارتر بوده و میزان پراکندگی الکترون از آن‌ها کاهش می‌یابد.

سپاسگزاری

این مقاله علمی با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب انجام شده است.

مراجع

[1] Shen, L. R., Wang, K., Tie, J., Tong, H.H., Chen, Q. C., Tang,D.L.: Sur. Coat. Tech. 196, (2005) 349.

[2] F. Hellal, F. Atmani, B. Malki, H. Sedjal, M. Kerkar, and F. Dalard, (2006) 371.

[3] Y. Z Liu, X. T. Zu., J. Caol Wang, C. Li, X.Q. Haung,. Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B 237, (2005) 543.

[4] B P. Udzynskia, J. Filiksb, P. U. Kowskic, Z. K. Iszczakb, K. M. Wal-czaka,: Vacuum, 78, (2005) 658.

[5] S. S. Patila, R. P. Fernandesa, N. K. Patela, P. A. Rayjadab, P. M. Raoleb, D. C. Kotharia, Surf. Coat. Technol. 196 284., (2005).

[6] A. K. De, J. G. Speer, D. K. Matlock, D. C. Murdock, M. C. Mataya, R. J. Comstock, Metall. Mater. Trans. A 37, 1875 (2006).

[7] Y. S. Kim, a M. Y. Sung,a Y. H. Lee, b B. K. Ju,b and M. H. Ohb, Journal of The Electrochemical Society, 146 (9) 3398-3402 (1999).

[8] Ch. Wang, T. Hisatomi, T. Minegishi, M. Nakabayashi, N. Shibata, M. Katayama and K. Domen , C. Sci. 75821 (2016).

[9] Patila S. S., Fernandesa R. P., Patela N. K., Rayjadab P. A., Raoleb P. M., Kotharia D. C., Surface & Coatings Technology, 196 (2005), 284.

[10] P. Budzynskia, J. Filiksb, P.u kowskic, Z. Kiszczakb, K. M. Walczaka, Vacuum 78 (2005) 658.

[11] Zh-H. Cui and H. Jiang J. Phys. Chem. C, 121, 3241–3251 (2017).

[12] Kalyanasundaram, N.; Moore, M. C.; Freund, J. B.; Johnson, H. T. Stress evolution due to medium-energy ion bombardment ofsilicon. ActaMater. 2006, 54, 483–491.

[13] Liu, Y. Z.; Zu, X. T.; Cao, J.; Wang, L.; Li, C.; Huang, X. Q. Phase formation in nitrogen ion implanted Ti-Al-Zr alloy and modification of corrosion property. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. Mater. At. 237, 543–549 (2005).

[14] Patil, S. S.; Fernandes, R. P.; Patel, N. K.; Rayjada, P. A.; Raole, P. M.; Kothari, D. C. Corrosion resistance study of argon implanted and ion-beam-mixed 316 SS. Surf. Coat. Technol., 196, 284–287 (2005).

[15] De, A. K.; Speer, J. G.; Matlock, D. K.; Murdock, D. C.; Mataya, M. C.; Comstock, R. J. Deformation-induced phase transformation and strain hardening in type 304 austenitic stainless steel. Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci., 37, 1875–1886 (2006).

[16] Chen, G. S.; Chen, S.T. Diffusion barrier properties of single- and multilayered quasi-amorphous tantalum nitride thin films against copper penetration. J. Appl. Phys., 87, 8473–8482 (2000).

[17] Chuang, J. C.; Chen, M. C. Properties of thin Ta-N films reactively sputtered on $Cu/SiO_2/Si$ substrates. Thin Solid Films, 322, 213–217 (1998).

[18] Stavrev, M.; Fischer, D.; Wenzel, C.; Drescher, K.; Mattern, N. Crystallographic and morphological characterization of reactively sputtered Ta, Ta-N and Ta-N-O thin films. Thin Solid Films 1997, 307, 79–88.

[19] Ramezani, A. H.; Sari, A. H.; Shokouhy, A. The effects of argon ion bombardment on the corrosion resistance of tantalum. Int. Nano Lett., 7, 51–57. (2017).

[20] Li, Y.; Wei, S.; Cheng, X.; Zhang, T.; Cheng, G. Corrosion behavior and surface characterization of tantalum implanted TiNi alloy. Surf. Coat. Technol., 202, 3017–3022 (2008).

[21] Ghosh, K.; Pandey, R. K. Assessment of fractal and multifractal features of sol-gel spin coated ZnO thin film surface. Mater. Res.Express, 6, 086454 (2019).

[22] Bifano, T. G.; Johnson, H. T.; Bierden, P.; Mali, R.K. Elimination of stress-induced curvature in thin-film structures.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-17]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1401.11.0.11.1]

J.Microelectromech. Syst. 2002, 11, 592–597.
[23] Ghosh, K.; Pandey, R.K. Fractal assessment of ZnO thin films using Higuchi's algorithm. In Proceedings of the AIP Conference Proceedings; American Institute of Physics Inc; Volume 2115, p. 030280 (2019).
[24] Ogilvy, J. A.; Foster, J. R. Rough surfaces: Gaussian or exponential statistics? J. Phys. D. Appl. Phys., 22, 1243–1251 (1989).
[25] Zhao, Y.; Wang, G. C.; Lu, T. M. Characterization of Amorphous and Crystalline Rough Surface—Principles and Applications; Elsevier: Amsterdam, the Netherlands, 2000.
[26] Ebrahiminejad, Zh.; Masoudi, S. F.; Jafari, G. R.; Dariani, R.S. Effects of self-affine roughness characteristics on electron transmission through tunneling structures. Thin Solid Films, 522, 233–237 (2012).
[27] Forgerini, F. L.; Figueiredo, W. Random deposition of particles of different sizes. Phys. Rev. E Stat. Nonlinear Soft Matter Phys, 79, 041602 (2009).
[28] Aarão Reis, F. D. A. Roughness fluctuations, roughness exponents and the universality class of ballistic deposition. Phys. A Stat. Mech. It's Appl., 364, 190–196 (2006).
[29] Silveira, F. A.; Aarão Reis, F. D. A. Surface and bulk properties of deposits grown with a bidisperse ballistic deposition model. Phys. Rev. E Stat. Nonlinear Soft Matter Phys, 75, 061608 (2007).
[30] Raoufi, D.; Hosseinpanahi, F. The effect of film thickness on surface morphology of ITO thin films. J. Theor. Appl. Phys., 7, 21 (2013).
[31] Ramezani, A. H.; Hoseinzadeh, S.; Ebrahiminejad, Zh. Statistical and fractal analysis of nitrogen ion implanted tantalum thinfilms. Appl. Phys. A, 126, 481 (2020).
[32] Ramezani, A. H.; Hoseinzadeh, S.; Ebrahiminejad, Zh. Structural and mechanical properties of tantalum thin films ected by nitrogen ion implantation. Mod. Phys. Lett. BVol., 34, 2050163 (2020).

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-17]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1401.11.0.11.1]

Iranian Journal of
Ceramic Science & Engineering
Vol. 11, No. 2, 2022

The Effects of Interfacial Roughness on the Argon Ion Implanted Tantalum Films

A. H. Ramezani*, Zh. Ebrahiminezhad, S. Asgary

Department Of Physics, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran-Iran

* ramezani.1972@gmail.com

Abstract: In the present study, effect of interfacial roughness on the ion implanted Tantalum based surfaces has been investigated. The argon ions with energy of 30 keV and in doses of 1×10^{17}, 3×10^{17}, 5×10^{17}, 7×10^{17} and 10×10^{17} (ion/cm^2) have been used at ambient temperature. The Atomic Force Microscopy (AFM), analysis have been used to study and characterize the surfaces morphology. The effect of roughness through the ion implantation on the transport properties has been studied. The produced samples thin films are rough and therefore the transmission probability has been reduced. There was a significant change in areas of samples; such as roughness, grain size, its distribution for the un-implanted sample, and samples implanted with argon ions. The contributions of scattered components the transmission probability of samples which have been implanted by lower doses of ions are more dominant rather than those implanted by bigger doses of ions. Also, based on our results, by increasing the ion doses, the current density of thin films increase.

Keywords: Argon ion, Tantalum, Roughness, transmission.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-17]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1401.11.0.11.1]