

Investigation of the Effect of Ion Bombardment on the Corrosion Resistance of Steel with Argon*

Research Article

Amir Hoshang Ramezani¹

DOI: [10.22067/jmme.2022.77291.1057](https://doi.org/10.22067/jmme.2022.77291.1057)

1. Introduction

stainless steel is a material of great interest in technological applications. The stability of the surface oxide (i.e., passive film) formed on the stainless steel depends mainly on the passivation time, temperature, alloy composition and working environment. Previous studies have shown that the passive film formed on a SS exposed to aqueous solutions are Cr-enriched close to the alloy, with hydroxide and water-containing compounds concentrated in the outermost region of the film and chromium oxide enrichment at the metal-film interface. The ion bombardment technique as a surface modification method presents some advantages over other techniques: (i) high temperatures are not needed; (ii) the bulk material remains unaffected after the implantation process; and (iii) the surface to be modified can be tailored by controlling the accelerating potential and the implantation fluence. The aim of this work is the study of the argon implantation fluence on the corrosion resistance behavior of stainless-steel substrates.

2. Laboratory method

Ion bombardment was performed on stainless steel samples with the approximate areas of 1 cm² and thicknesses of 1 mm. Before ion implantation, sample surfaces were polished to a shiny finish by diamond paste and then cleaned ultrasonically in Alcohol and acetone bath, and at last, dried in an oven at 100 °C. The ion implantation facility of Plasma Physics Research Center of Science and Research Campus is used to bombard the different samples. Ion bombardment procedure was performed by Argon ions of the energy of 30 keV at 3×10¹⁷ ions/cm² to 1×10¹⁸ ions/cm² fluences at ambient temperature. The angle between the implanted ions and sample surface was about 90. Study of the surface topography and roughness has been performed by AFM analysis in contact mode with scan area of 1 μm². Electrochemical corrosion tests of the modified surfaces were done by potentiodynamic method using a potentiationstat model EG&G applied princeton 273A. The corrosion solution was 0.5 molar H₂SO₄. The potential,

that measured by saturated columel electrode (SCE) as a reference electrode, scanned from -250 mV versus open circuit potential (OCP) up to approximately +1000 mV versus OCP at the scan rate of 1 mV/sec.

Table 1. Planting parameters for different samples

Sample	Fluxes (ions/cm ²)	Time(s)	Energy(KeV)	Temperature Sample
S1	1×10 ¹⁷	2300	30	380
S2	3×10 ¹⁷	1150	30	380
S3	5×10 ¹⁷	600	30	380
S4	7×10 ¹⁷	920	30	380

3. Results and Discussion

Fig.1 shows the roughness variation with ion fluence. According to these results, the general trend shows an increase of the surface roughness with increase of ion fluence. It may be due to the erosion and sputtering of the surface by Ar ion bombardment which become more important at elevated fluence. In Fig. 2 potentiodynamic curves for unimplanted and ion implanted stainless steel samples at different conditions are shown. In Fig.3 the variation of corrosion current density with argon ion fluence is illustrated. With increasing Ar ion fluence the corrosion current density (i_{corr}) which is related to corrosion rate, approximately decreases by 12 times and then increases. In other words, the minimum corrosion rate was achieved at 5×10¹⁷ ions/cm² fluence. It seems that Ar ion implantation has two opposite effects in the range of fluence used in our case. There is no evidence to explain the decrease of the corrosion resistance by ion fluence. It may be due to the formation of unstable phase during the ion implantation. At high fluence in which the roughness value variation is more important, the effect of effective surface area should be taken account. At higher fluence when the effective area of the samples that is in

*Manuscript received: 21 June 2022, Revised, 31 July 2022, Accepted, 16 August 2022.

¹ Assistant professor, Department Of Physics, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran- Iran.

Email: ramezani.1972@gmail.com.

contact with the corrosion solutions increases and becomes important, the net current measured by potentiostat instrument and consequently the corrosion current that extracts from potentiodynamic curve will be increased too.

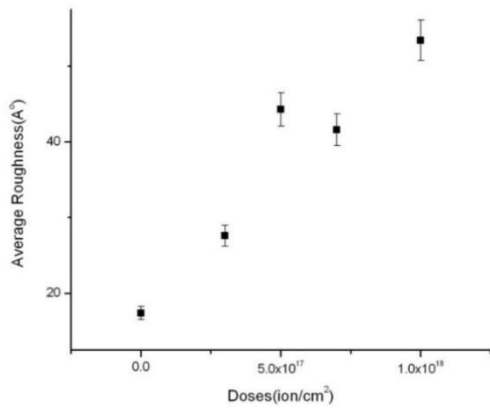


Figure 1 Chart of steel surface roughness changes with increasing ion current of ion bombardment

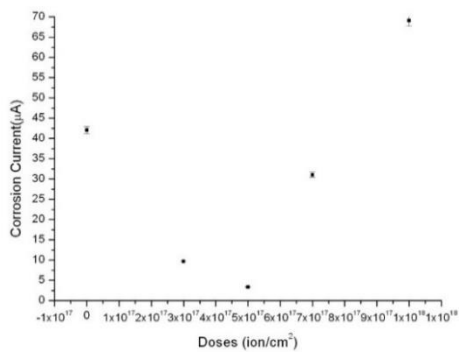


Figure 2 Variation of corrosion current with argon ion influences.

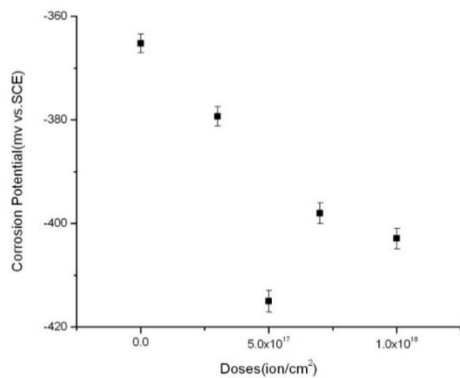


Figure 3 Variation of corrosion potential versus argon ion influences.

4 - Conclusion

The corrosion potential and roughness curves obviously indicate that corrosion potential variations caused by argon ion bombardment are inversely proportional to surface roughness. Corrosion current variations show an optimal fluence at 5×10^{17} ions/cm² in which the corrosion resistivity is twelve times higher than unimpanted sample. Regarding to the thirteen percent increase of corrosion potential and twelve times decrease of corrosion current at fluence of 5×10^{17} ions/cm², we can deduce that the best resistance against corrosion can achieve at this fluence for AISI 304 stainless steel by argon ion bombardment.



بررسی و مطالعه تاثیر بمباران یونی در مقاومت به خوردگی استیل با آرگون*

مقاله پژوهشی

امیر هوشنگ رزمانی^(۱)

DOI: 10.22067/jmme.2022.77291.1057

چکیده در این پژوهش برای بمباران سطح استیل ۳۰۴ از یون‌های آرگون با انرژی ۳۰ کیلو الکترون ولت و جریان یونی 10^{17} تا 10^{18} یون بر سانتی‌متر مربع استفاده شده است. تغییرات ریخت شناسی سطح استیل بعد از بمباران یون‌های آرگون توسط دستگاه AFM مشاهده و مورد بررسی قرار گرفت، تغییر در خصوصیات خوردگی سطح استیل ۳۰۴ نیز توسط دستگاه تست خوردگی انجام گردید. تغییرات بر اثر بمباران یونی در زبری سطح و همچنین مقاومت در برابر خوردگی سطح استیل ۳۰۴ کاملاً مشهود و قابل ملاحظه بود و رابطه مستقیمی با افزایش زبری و جریان یونی بمباران یونی دارد. از مقایسه نمودار نتایج پتانسیل خوردگی و نمودار تغییرات زبری کاملاً مشخص است که پتانسیل خوردگی با جریان یونی یون‌های آرگون نسبت معکوس داشته و با بالا رفتن جریان یونی پتانسیل خوردگی کاهش می‌یابد، این روند را می‌توان به اثر برخورد یون‌های آرگون به سطح نسبت داد که در مقاومت در برابر خوردگی یک نکته منفی محسوب می‌شود. از بررسی نمودار تغییرات جریان خوردگی به این نتیجه می‌رسیم که این نمودار از هیچ کدام از نمودارهای پتانسیل خوردگی و تغییرات زبری بر حسب جریان یونی پیروی نمی‌کند. از بررسی نمودار تغییرات جریان خوردگی به این نتیجه می‌رسیم در جریان یونی 5×10^{17} حدوداً دوازده برابر کاهش در جریان خوردگی و افزایش در برابر مقاومت در برابر خوردگی را نشان می‌دهد.

واژه های کلیدی آرگون، بمباران یونی، خوردگی، استیل.

Investigation of the Effect of ion Bombardment on the Corrosion Resistance of Steel with Argon

Amir Hoshang Ramezani

Abstract The aim of this work is the study of the argon implantation on the corrosion resistance behavior of AISI 304 stainless steel substrates. The effect of ion implantation dose on morphology and corrosion properties of AISI 304 SS has been investigated. In this work, argon ions of 30 keV energy have been implanted into AISI 304 stainless steel at different fluences ranging from 3×10^{17} to 10×10^{17} Ar/cm². The AFM analysis of implanted samples clearly shows significant change in surface. In order to evaluate the effect of the ion bombardment on the corrosion behavior, potentiodynamic tests were performed. The results show that the corrosion resistance of the samples strongly depends on the implantation fluences. The Corrosion potential and roughness curves obviously indicate that corrosion Potential variations caused by argon ion bombardment are inversely proportional to surface roughness. Corrosion current variations show an optimal dose at 5×10^{17} ions/cm² in which the corrosion resistivity is 12 times higher than un-implanted sample.

Key Words: Argon, bombardment, Corrosion

*تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۱/۳/۳۱ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۱/۵/۲۵ می‌باشد.

(۱) گروه فیزیک، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مقدمه

رفتارهای سطح فلزات، عموماً منجر به حل مسائل ساییدگی، اصطحاک، سختی، فرسودگی، خوردگی و اکسیداسیون می‌شود. استفاده از کاشت یون، در این زمینه نسبتاً جدید است. باریکه یون یک روش مستقیم برای تشکیل آلیاژهای فلزی با دقت مکانی کنترل شده، به دست می‌دهد. از این رو در متالورژی می‌توان خصوصیات مواد جدید و موارد مطلوب را پیگیری و انتخاب کرد. تشکیل آلیاژهای خارجی، توسط کاشت ممکن است در ابر رساناها با دیگر تکنولوژیهای با ارزش به کار رود.

باریکه یون یک روش مستقیم برای تشکیل آلیاژهای فلزی با دقت مکانی کنترل شده، به دست می‌دهد. از این رو در متالورژی می‌توان خصوصیات مواد جدید و موارد مطلوب را پیگیری و انتخاب کرد. تشکیل آلیاژهای خارجی، توسط کاشت ممکن است در ابر رساناها با دیگر تکنولوژیهای با ارزش به کار رود. فرا روش مواد با استفاده از باریکه یونی نتیجه برخورد و ورود یون‌های با انرژی چند الکترون ولت تا چندین مگا الکترون ولت به لایه‌های سطحی جامدات می‌باشد. گستردگی تأثیرات این فرایند زمانی مشخص می‌شود که بدانیم گستره عظیمی از خصوصیات فیزیکی جامدات متأثر از مقدار اتم‌های خارجی آنها است. خصوصیات از قبیل مکانیکی، الکتریکی، اپتیکی، مغناطیسی جامدات از خواصی هستند که کاملاً به حضور و میزان یون‌های خارجی در جامد وابسته می‌باشند.

در کاشت یون فلزات، در مورد تغییر ابعاد فیزیکی، تغییر مختصر سطح قابل صرف نظر کردن می‌باشد. کاشت سطح سخت منجر به اعوجاج و دگرگونی نمی‌شود [1-2]. انتخاب اولیه یونها به قابلیت چشمه‌های دستگاه کاشت یون و داشتن دانش قبلی در مورد آن دسته از یونهایی که اثرات مفیدی روی رفتار قراردادی فلزات دارند، بستگی دارد. ویژگی‌هایی از قبیل در دسترس بودن، ارزان بودن و سادگی نسبی فرایند ساخت، باعث شده است که استیل ۳۰۴ دارای کاربردهای فراوانی در صنعت باشد. از جمله این کاربردها می‌توان به استفاده در ابزار برشی، سازه‌های دریایی و بدنه کشتی‌ها، ابزار پزشکی و صنعت ماشین‌سازی اشاره کرد که در همه این کاربردها خواص سطحی این ماده همچون مقاومت در برابر خوردگی و سختی مورد

توجه است و دانشمندان و محققان را به انجام تحقیقات روزافزون در این زمینه واداشته است. استفاده از روش بمباران یون برای بهبود کیفیت سطح آلیاژ دانشی است که در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. از میان آلیاژهای فلزی استیل نگیر ۳۰۴ به علت میزان قابل توجه کرم در ساختار آن موارد استفاده فراوان از جمله قطعات به کار رفته در کشتیها و مکانهایی که در آنها احتمال خوردگی سطحی وجود دارد استفاده می‌شود.

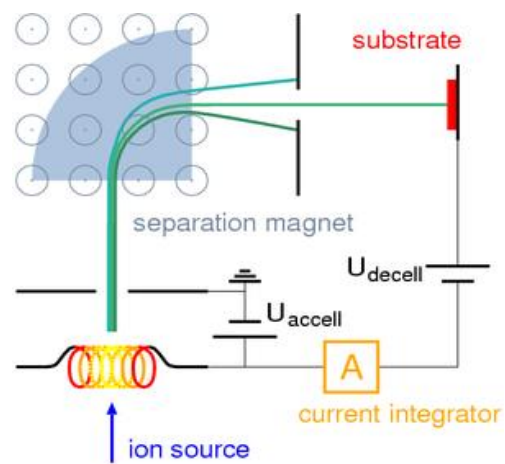
پارامترهایی مانند دما، انرژی یون، چگالی جریان و تابش در ویژگی فیلم‌های بمبارانه شده یونی مهم هستند. فرایند بمباران یون و شرایط رشد بر مورفولوژی رابط‌های بمبارانه شده و نمونه‌های تولید شده مکانیکی، الکتریکی و نوری تأثیر می‌گذارد. ویژگی‌هایی از قبیل در دسترس بودن، ارزان بودن و سادگی نسبی فرایند ساخت، باعث شده است که تانتالوم دارای کاربردهای فراوانی در صنعت باشد. از جمله این کاربردها می‌توان به استفاده در ابزار برشی، سازه‌های دریایی و بدنه کشتی‌ها، ابزار پزشکی و صنعت ماشین‌سازی اشاره کرد که در همه این کاربردها خواص سطحی این ماده همچون مقاومت در برابر خوردگی و سختی مورد توجه بوده و دانشمندان و محققان را به انجام تحقیقات روزافزون در این زمینه واداشته است. استفاده از روش بمباران یون برای بهبود کیفیت سطح آلیاژ دانشی است که در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

بمباران سطح استیل ۳۰۴ توسط یون‌های آرگون می‌تواند تغییراتی در اندازه دانه‌های سطحی آلیاژ را بسته به میزان یون‌های آرگون درون سطح در پی داشته باشد. در این تحقیق سعی بر این است با بمباران سطح استیل ۳۰۴ توسط یون‌های آرگون در جریان یونی‌های متفاوت میزان تغییرات مقاومت در برابر خوردگی استیل اندازه‌گیری شده و همچنین شرایط بهینه برای بمباران سطح استیل توسط آرگون به دست آید. در این طرح از بمباران توسط یون‌های آرگون برای تغییر مقاومت در برابر خوردگی استفاده خواهد شد و اثر تغییر جریان یونی یون بمباران کننده در این فرایند مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همچنین بررسی تغییرات سطح بر اثر بمباران یون آرگون نیز

دستگاه در شروع عملیات یون سازی (Torr) 10^{-10} Torr که در حین عملیات کاشت با توجه به ایجاد باریکه یونی به (Torr) 10^{-4} Torr تغییر می کند. شرایط کاشت بر روی نمونه های استیل برای تمام نمونه ها در جدول (۱) آورده شده است. در ضمن دما در مورد تمام نمونه ها در حین کاشت ۵۰۰ درجه سانتی گراد بوده است و همچنین زاویه برخورد برای نمونه های کاشت شده صفر درجه (نسبت به خط عمود بر سطح) بوده است.

برای اندازه گیری زبری سطح و مطالعات ریخت شناسی از AFM (Auto Prob Cp) ساخت شرکت Park Scientific Instrument استفاده شده است. خوردگی الکتروشیمیایی (EC) را می توان با استفاده از تجهیزات الکتروشیمیایی مناسب مورد ارزیابی قرار داد. یک دستگاه تجاری مناسب در شکل (۲) مشاهده می شود. منبع تغذیه یا یک پتانسیواستات که پتانسیل را کنترل می کند یا یک گالوانواستات است که جریان را کنترل می کند. طراحی سل الکتروشیمیایی به نحوی است که می توان از آن برای الکترودهای کار (WE) نازک یا تَرِد نیز استفاده کرد. معمولاً WE که یک سیم به آن متصل شده است در یک رزین اپوکسی قرار دارد. این نوع از WE، یک نمونه متالوگرافی معمولی است که قبل از غوطه وری در الکترولیت، به خوبی پولیش شده است. تمام اجزای قرار گرفته در الکترولیت باید خنثی باشند تا باعث اختلال در فرایند الکتروشیمیایی نشوند. طرح های دیگر از سل های تجاری در مراجع مختلف آورده شد است. شکل (۲) یک سل الکتروشیمیایی را بر اساس استاندارد ASTM G-5 نشان می دهد که توسط شرکت EG&G Princeton طراحی شده است. این سل برای ایجاد توزیعی یکنواخت از جریان در سطح WE، دو الکتروود کمکی از جنس گرافیت دارد. به این سل، سل سه الکتروود گفته می شود.

مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. نمایی از دستگاه کاشت در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱ نمایی از یک دستگاه بمباران یونی

روش آزمایشگاهی

در این آزمایش از نمونه های استیل ۳۰۴ استفاده شده و نمونه ها 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 نمذ مخصوص و خمیر الماس با دانه های شش، سه و یک میکرون که با محلول Diamond Extender Blue رقیق شده بودند کاملاً صیقلی گردید. در مرحله بعد نمونه ها توسط آب و صابون شسته شدند و در محلول استن و الکل به مدت ۲۰ دقیقه تحت عملیات التراسونیک قرار گرفتند و بعد از آن توسط اجاق مخصوص در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند تا خشک شوند.

این قسمت از آزمایش توسط دستگاه کاشت یون مرکز تحقیقات پلاسما انجام گرفت. چهار عدد از نمونه ها را به مساحت های تقریبی 1 cm^2 برای کاشت انتخاب می کنیم. خلأ

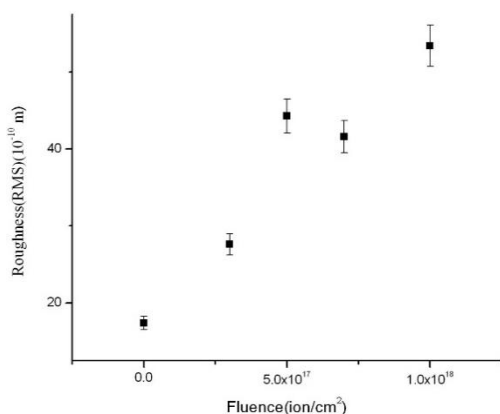
جدول ۱ پارامترهای کاشت برای نمونه های مختلف

نمونه	۱	۲	۳	۴
انرژی (کیلو الکترون ولت)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
چگالی جریان (بر سانتی متر مربع)	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰
جریان یونی (یون بر سانتی متر مربع)	5×10^{17}	7×10^{17}	1×10^{18}	3×10^{17}
زمان کاشت (ثانیه)	۶۰۰	۹۲۰	۱۱۵۰	۲۳۰۰
دمای نمونه (درجه سانتی گراد)	۳۸۰	۳۸۰	۳۸۰	۳۸۰



شکل ۲ دستگاه الکتروشیمیایی مدرن

توجه به این که استیل مورد استفاده یک فلز چند کریستالی بوده بر اثر بمباران یونی صفحات کریستالی مختلف سطح استیل به صورت یکسان خورده نخواهند شد و منجر به ایجاد پستی و بلندی‌های بیشتر و بالا رفتن زبری خواهد شد.



شکل ۳ نمودار تغییرات زبری سطح استیل با افزایش جریان یونی بمباران یونی

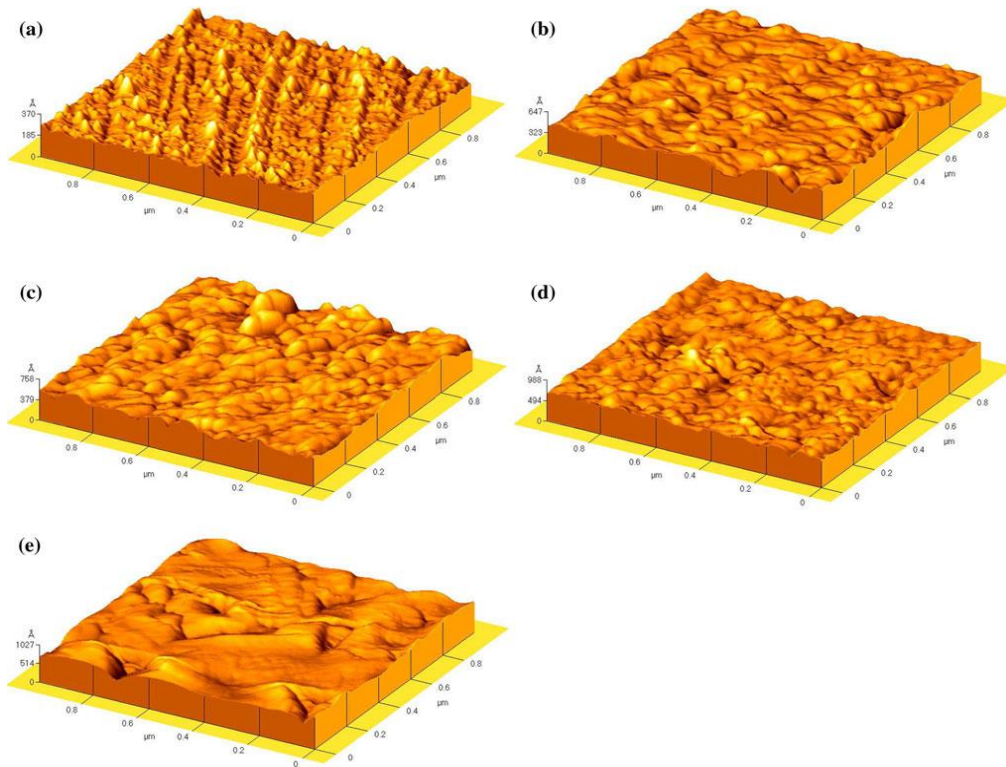
بعد از مدتی بلندی‌های سطح خود مانع برخورد یون به دیگر نقاط سطح می‌شوند یعنی به نوعی موجب ایجاد سایه‌هایی بر روی سطح می‌گردند. طبیعی است عمل خوردگی فیزیکی بر اثر برخورد یون‌ها بر روی این بلندی‌ها ادامه یابد و در مکان‌های سایه اتفاق خاصی روی ندهد و همچنین در ادامه اتم‌های کنده شده از بلندی‌ها می‌توانند بر روی سایه‌ها و دره‌ها نهشت مجدد شوند [17]. توجه دیگر برای کم شدن زبری در جریان یونی 5×10^{18} می‌تواند افزایش میزان انتشار سطحی اتمهای استیل بر روی سطح نمونه باشد [18-25]. در شکل (۴) و (۵) همچنین تصاویر سه‌بعدی و دوبعدی از آنالیزهای AFM برای مقایسه آورده شده است.

نتایج و بحث

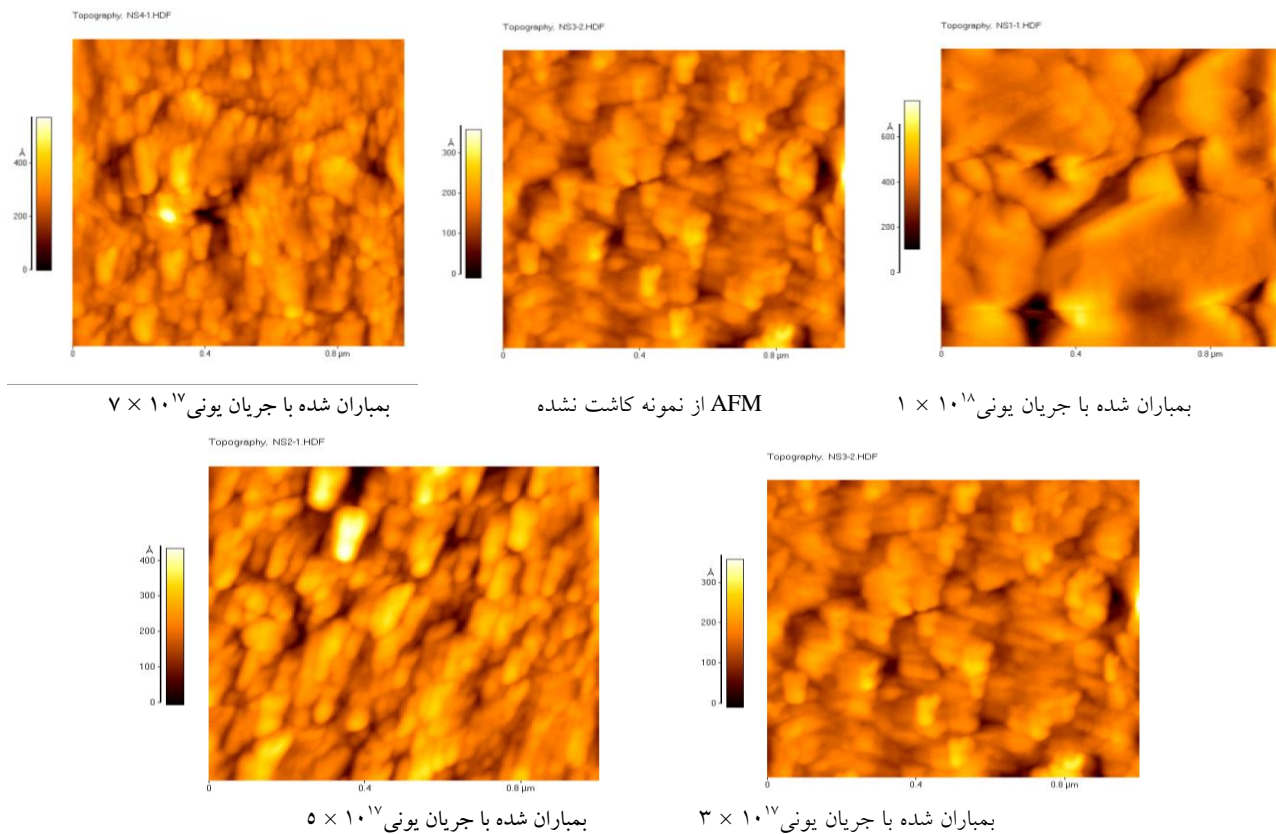
یکی از مشخصاتی که بعد از کاشت یون تغییر قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت دانه‌بندی سطح نمونه تحت کاشت می‌باشد. تغییرات دانه‌بندی از این نظر مورد توجه می‌باشد که در اکثر مواقع رابطه‌ای بین دانه‌بندی و زبری سطح وجود دارد. برای بررسی این مشخصه از دستگاه تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده شده است. در ذیل نتایج آنالیز میکروسکوپ نیروی اتمی برای نمونه‌های کاشت شده و نمونه کاشت نشده آورده شده است. میکروسکوپ نیروی اتمی در حالت غیر تماسی و در ناحیه اسکن یک میلی متر مربع با نوک تنش کم شعاع کمتر از ۲۰ نانومتر انجام شد. به منظور بررسی توپوگرافی و زبری سطح، از آنالیز AFM در حالت تماس و مساحت اسکن ۱ میلی متر مربع استفاده شد.

یکی از مشخصاتی که بعد از بمباران یون تغییر قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت دانه‌بندی سطح نمونه تحت بمباران می‌باشد. تغییرات دانه‌بندی از این نظر مورد توجه می‌باشد که در اکثر مواقع رابطه‌ای بین دانه‌بندی و زبری سطح وجود دارد. برای بررسی این مشخصه از دستگاه تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده شده است. در ذیل نتایج آنالیز میکروسکوپ نیروی اتمی برای نمونه‌های بمباران شده و نمونه بمباران نشده آورده شده است تغییرات زبری در شکل (۳) آورده شده است.

همان‌طور که در نمودار مشخص می‌باشد زبری سطح بر اثر کاشت یون تا جریان یونی 5×10^{17} ion/cm² افزایش یافته ولی در جریان یونی 7×10^{17} ion/cm² به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌باشد. و در جریان یونی 1×10^{18} دوباره افزایش می‌یابد. این فرایند را می‌توان به این گونه توجیه نمود که با



شکل ۴ آنالیز AFM از نمونه‌های بمباران شده: (الف) آنالیز AFM از نمونه کاشت نشده، (ب) آنالیز AFM از نمونه بمباران شده با جریان یونی 3×10^{17} ، (ج) آنالیز AFM از نمونه بمباران شده با جریان یونی 5×10^{17} ، (د) آنالیز AFM از نمونه بمباران شده با جریان یونی 1×10^{18} ، (ه) آنالیز AFM از نمونه بمباران شده با جریان یونی 7×10^{17}



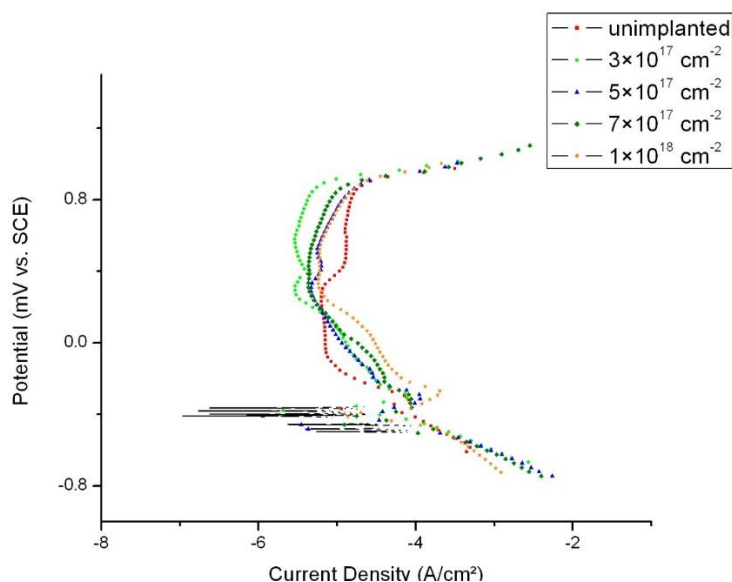
شکل ۵ آنالیز AFM با تصاویر دو بعدی از نمونه‌های بمباران شده با جریان یونی متفاوت

شکل (۶) نمودارهای پلارایسیون نمونه‌ها قبل و بعد از کاشت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص می‌باشد تمام نمونه‌ها رفتار اکتیو-پسیو از خود نشان داده‌اند.

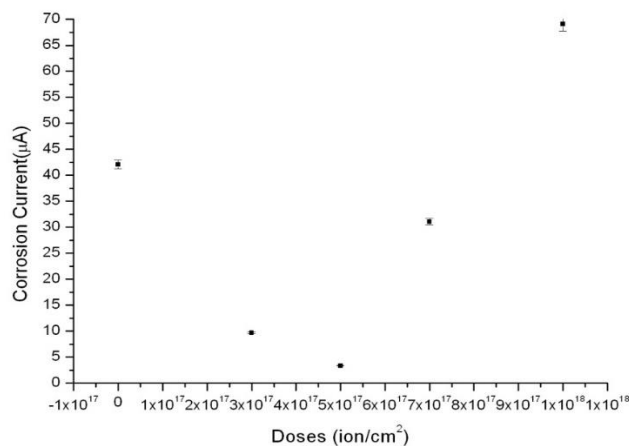
شکل (۷) تغییرات جریان خوردگی بر اثر کاشت یون نیتروژن در تیتانیوم را نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که جریان خوردگی در نمونه کاشت شده با جریان یونی $5 \times 10^{17} \text{ ion/cm}^2$ کمترین خوردگی و نمونه کاشت شده با جریان یونی $1 \times 10^{18} \text{ ion/cm}^2$ بیشترین خوردگی حتی بیش از نمونه کاشت نشده را دارا می‌باشد.

شکل (۸) نمودار پتانسیل خوردگی نمونه‌ها به جریان یونی یون‌های آرگون را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۶) مشخص می‌باشد پتانسیل خوردگی با اولین کاشت یون در

شکل (۸) تغییرات جریان پسیو شدن را بر اثر بمباران یون آرگون نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که جریان خوردگی در نمونه کاشت شده با جریان یونی $8 \times 10^{17} \text{ ion/cm}^2$ کمترین خوردگی و نمونه کاشت شده با جریان یونی $1 \times 10^{18} \text{ ion/cm}^2$ بیشترین خوردگی حتی بیش از نمونه کاشت نشده را دارا می‌باشد.



شکل ۶ نمودارهای پلارایسیون مربوط به نمونه بمباران نشده و بمباران شده توسط یون آرگون



شکل ۷ تغییرات جریان خوردگی بر اثر بمباران یونی در جریان یونی‌های مختلف

نتیجه گیری

مقاومت در برابر خوردگی را نشان می‌دهد. نکته مهم دیگر در این نمودار افزایش جریان خوردگی در جریان یونی 2 ion/cm^2 1×10^{18} است که از نمونه بمباران نشده نیز بیشتر بوده است. با توجه به افزایش سیزده درصدی در پتانسیل خوردگی و همچنین کاهش دوازده برابری در جریان خوردگی نمونه بمباران شده با جریان یونی 2 ion/cm^2 5×10^{17} می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این جریان یونی بهترین جریان یونی برای بالا بردن مقاومت در برابر خوردگی استیل است که بدون تشکیل دادن هیچ پیوند جدیدی بهبود قابل ملاحظه‌ای در مقاومت در برابر خوردگی استیل به وجود آورده است.

تقدیر و تشکر

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

خلاصه نتایج به دست آمده از بمباران سطح استیل 304 توسط یون‌های آرگون به قرار زیر می‌باشد. از مقایسه نمودار نتایج پتانسیل خوردگی و نمودار تغییرات زبری کاملاً مشخص است که پتانسیل خوردگی با جریان یونی یون‌های آرگون نسبت معکوس داشته و با بالا رفتن جریان یونی پتانسیل خوردگی کاهش می‌یابد، این روند را می‌توان به اثر برخورد یون‌های آرگون به سطح نسبت داد که در مقاومت در برابر خوردگی یک نکته منفی محسوب می‌شود. از بررسی نمودار تغییرات جریان خوردگی به این نتیجه می‌رسیم که این نمودار از هیچ کدام از نمودارهای پتانسیل خوردگی و تغییرات زبری بر حسب جریان یونی پیروی نمی‌کند. اما از یک نقطه عطف برخوردار است که در جریان یونی 2 ion/cm^2 5×10^{17} اتفاق افتاده است و حدوداً دوازده برابر کاهش در جریان خوردگی و افزایش در برابر

مراجع

1. Vershinin, N., Filonov, K., Straumal, B., Gust, W., Dimitriou, R., Kovalev, A., and Camacho, J., "Corrosion Resistance Of The Vacume ", *Surface and Coatings Technology*, 125, Issues 1-3, Pp. 223-228, (2000).
2. Hellal, F., Atmani, F., Malki, B., Sedjal, H., Kerkar, M., and Dalard, F., "Argon Ion Implantations in Tantalum Thin Films", *Passivation of Metals and Semiconductors, and Properties of Thin Oxide Layers*, Pp. 371-376, (2006).
3. Smaeel, N., AndijanIsi, Shahreer Ahmad, Anees U., Malik, "Corrosion Behavior of Titanium Metalin Presence of Inhibited Sulfuric Acid at 50° Desalination 129, Pp. 45-51, (2000)
4. Alves de Souza, K., Robin, A., "Influence Of Concentration and Temperature Of Corrosion", *Material Chemistry and Physics*, Vol. 103, Pp. 351-360, (2007).
5. Esmaeelpour, M., and Kavei, G., "Study of nitrogen ion implantation and diffusion phenomena on thin chromium layers followed by the atomic force microscopy and secondary ion mass spectroscopy techniques", *Applied Surface Science*, 252, Issue 18, 15, Pp. 6353-6359, (2006).
6. Picard, S., Memet, J. B., Sabot, R., Grosseau, J. L., Riviere, J. P., Meilland, R., "Corrosion behaviour, microhardness and surface characterisation of low energy, high current ion implanted austenitic stainless steel", *Mater. Science. Engineering. A*, Vol. 303, Pp. 163, (2001).
7. Panda, K., "The induction of nanographitic phase on Fe coated diamond films for the enhancement in electron field emission properties", *Journal of Applied Physics* 110 .044304, (2011).
8. Ramezani, A.H., Hantehzadeh, M.R., Ghoranneviss, M., Darabi, E., "Microstructure and corrosion resistance of tantalum after nitrogen ion implantation", *Corrosion Engineering Science and Technology*. Vol. 51, Pp. 393, (2016).
9. Ramezani, A.H., Ghoranneviss, M., Shokouhy, A., Sari, A., "Corrosion resistance modification of AISI 304 stainless steel using argon ion bombardment", *Journal Fusion Energy* 30, 64, (2011).

10. Ramezani, A.H., Sari, A.H., Shokouhy, A., "The effects of argon ion bombardment on the corrosion resistance of tantalum", *International Nano Letters*, Vol. 7, Pp. 57, (2017).
11. Ramezani, A.H., Hantehzadeh, M.R., Ghoranneviss, M., and Darabi, E., "Structural modification of tantalum crystal induced by nitrogen ion implantation", *Bulletin of Materials Science*, Vol. 39 (3), Pp.633–640, (2016).
12. Ramezani, A.H., Hantehzadeh, M.R., Ghoranneviss, M., and Darabi, E., "Microstructure and corrosion resistance of tantalum after nitrogen ion implantation", *Corrosion Engineering Science and Technology*, Vol. 51(6), Pp.393–399, (2017).
13. Ramezani, A.H., Ghoranneviss, M., Shokouhy, A., and Sari, A.H., "Corrosion resistance modification of AISI 304 stainless steel using argon ion bombardment", *Journal of Fusion Energy*, Vol. 30 (1), Pp.64–67, (2011).
14. Hoseinzadeh, S., Sahebi, S.A.R., Ghasemiasl, R., and Majidian, A.R., "Experimental analysis to improving thermosyphon (TPCT) thermal efficiency using nanoparticle-based fluids (water)", *European Physical Journal Plus*, Vol. 132(5), (2017).
15. Dastan, D., and Banpurkar, A., "Solution processable sol-gel derived titania gate dielectric for organic field effect transistors", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 28(4), Pp.3851–3859, (2017).
16. Hoseinzadeh, S., Ghasemiasl, R., Bahari, A., Ramezani, A.H., "The injection of Ag nanoparticles on surface of WO₃ thin film: enhanced electrochromic coloration efficiency and switching response", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 2017, Vol. 28(19), Pp. 14855-63, (2017).
17. Dastan, D., Panahi, S.L., Chaure, N.B., "Characterization of titania thin films grown by dip-coating technique", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 27(12), Pp. 12291, (2016).
18. Hoseinzadeh, S., Ghasemiasl, R., Bahari, A., Ramezani, A.H., "n-type WO₃ semiconductor as a cathode electrochromic material for ECD devices", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 28(19), Pp. 14446-52, (2017).
19. Najafi-Ashtiani, H., Bahari, A., Gholipour, S., Hoseinzadeh, S., "Structural, optical and electrical properties of WO₃-Agnanocomposites for the electro-optical devices", *Applied Physics A*, Vol. 124(1), (2017).
20. Hoseinzadeh S., Ghasemiasl R., Bahari A., Ramezani A.H., "Effect of Post-annealing on the Electrochromic Properties of Layer-by-Layer Arrangement FTO-WO₃-Ag-WO₃-Ag", *Journal of Electronic Materials*, Vol. 47(7), Pp. 3552-9. (2018).
21. Hoseinzadeh, S., Ramezani, A. H., "Tantalum/ Nitrogen and n-type WO₃ semiconductor/FTO Structures as a Cathode for the Future of Nanodevices.", *J Nanostruct*, Vol. 9(2), Pp. 276-286, (2019).
22. Ramezani, A.H., Hoseinzadeh, S., Sari, A.H., "Experimental Investigation of Corrosion Improvement Implanted Ta by Ar-Ni Ions", *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, Vol. 14 (3), Pp. 425-430, (2019).
23. Ramezani, A.H., Hoseinzadeh, S., Bahari, A., "The effects of nitrogen on structure, morphology and electrical resistance of tantalum by ion implantation method", *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, Vol. 28 (3), Pp. 847-853, (2018).
24. Ramezani, A.H., Hoseinzadeh, S., Ebrahiminejad., Z., "Structural and mechanical properties of tantalum thin films etched by nitrogen ion implantation", *Modern Physics Letters B*, Vol. 34 (15), Pp. 2050163, (2020).
25. Ramezani, A.H., Hoseinzadeh, S., Ebrahiminejad, Z., Hantehzadeh, M.R., "The study of mechanical and statistical properties of nitrogen ion-implanted Tantalum bulk", *Optik* 225, Pp. 165628, (2021).