

بررسی توزیع مکانی یون های آرگون و هیدروژن و اثرات برخورد این یونها بر روی نمونه های آلومینیوم در ارتفاعات مختلف در دستگاه پلاسمای کانونی نوع مدر با انرژی ۲/۵ kJ

زهرا شهبازی راد، مجید شهبازی، فریدون عباسی دوانی*

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته ای، گروه کاربرد پرتوها

چکیده:

هدف از این تحقیق بررسی اثرات یون های گاز آرگون و هیدروژن تولید شده در دستگاه پلاسمای کانونی SBUPF1 (2.5 kJ , 25 kV , $1/6 \mu\text{F}$) بر روی نمونه های آلومینیوم و تعیین توزیع مکانی یونها در فواصل مختلف نسبت به نوک آند است. برای بدست آوردن بیشینه چگالی یونی، فشار و ولتاژ عملکردی بهینه برای گاز Ar به ترتیب 0.45 و 22 kV و برای گاز $H+1\%Kr$ به ترتیب برابر 5 mbar و 23 kV تعیین شد. بیشینه جریان تخلیه اندازه گیری شده در دستگاه پلاسمای کانونی با استفاده از پیچه رگوفسکی، 176 kA است. با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) اثرات یونها که ذوب شدگی و تبخیر سطحی بر روی Al است، بدست آمد. الگوی توزیع مکانی یونها، یک توزیع مخروطی شکل را نشان داد.

کلمات کلیدی: پلاسمای کانونی، توزیع مکانی، مورفولوژی سطح، یون های پرانرژی، میکروسکوپ الکترونی

مقدمه:

دستگاه های پلاسمای کانونی از نوع دستگاه های پینچ Z است. این دستگاه ها از دو استوانه ای هم محور به نام آند و کاتد تشکیل شده اند. الکترودهای آند و کاتد در یک محفظی پر شده توسط گاز قرار گرفته اند. این الکترودها از طریق یک کلید ولتاژ بالا و جریان بالا به یک بانک خازنی متصل شده است. هنگامی که ولتاژ بالا به الکترودها اعمال می شود فاز شکست اتفاق افتاده و لایه جریان بر اثر اعمال میدان الکترومغناطیسی بین الکترودها در راستای محور Z جریان می یابد که این فاز، فاز شتاب محوری نامیده می شود. در پایان زمانی که لایه جریان به انتهای آند رسید، فاز شعاعی شروع شده و لایه جریان بر اثر اعمال نیروی لورنتس متراکم می شود. در انتهای این فاز به خاطر ناپایداری $m=0$ ستون پلاسمای داغ و چگال برای مدت زمان کوتاه تشکیل می شود [۱ و ۲].

این ستون پلاسمای چشمه قوی از تابش های ایکس سخت و نرم، نوترون (زمانی که گاز دوتریوم به عنوان گاز پر کننده استفاده می شود)، الکترون، و یون می باشد.

دستگاه پلاسمای کانونی به عنوان چشمه یون برای کاربردهای زیادی به ویژه در علم مواد مورد استفاده قرار می گیرد. به عنوان مثال در اصلاح سطوح، به وجود آوردن تغییرات در فازهای فیلم نازک، کاشت یونی، افزودن ناخالصی به نیمه هادی ها و در پوشش دهی توسط یون مورد استفاده قرار می گیرد. مطالعه گسیل یون-

ها اطلاعاتی در مورد مکانیزم که از این طریق ارتباط بین تولید نوترون و شتابدهی یون قابل بررسی است [۳و۴].

در این تحقیق هدف بررسی اثرات یونی بر روی نمونهی آلومینیوم و تعیین توزیع مکانی تجمع یونی در داخل محفظه پلاسمای کانونی است.

مشخصات دستگاه پلاسمای کانونی SBUPF1 و ابزارهای اندازه‌گیری:

در این آزمایش دستگاه پلاسمای کانونی انرژی پایین نوع مدر SBUPF1 با بیشینه انرژی ۲/۵ kJ مورد استفاده قرار گرفت. این دستگاه با استفاده از خازن ذخیره کننده انرژی با ظرفیت $8/6 \mu F$ و بیشینه ولتاژ عملکردی ۲۵ kV تغذیه می‌شود. جریان پیک در بیشینه ولتاژ ۱۶۸ kA با دوره تناوب $10/6 \mu F$ می‌باشد. اندوکتانس کل سیستم ۲۷۱ nH است. آند دستگاه از جنس مس با قطر ۲۲ mm و ارتفاع ۱۲ cm است. کاتد دستگاه از ۱۲ میله‌ی مسی ساخته شده است که قطر هر کدام ۱ mm با ارتفاع ۱۱ cm است. آند و کاتد دستگاه توسط یک غلاف عایق از جنس پیرکس یا ضخامت ۲ mm و ارتفاع ۲ cm و ارتفاع ۳/۵ cm که در اطراف الکتروود اند قرار گرفته است، از هم ایزوله شده‌اند. آند از طریق یک سوئیچ تریگاترون به قطب مثبت منبع تغذیه ولتاژ بالا متصل شده است. الکتروود کاتد به زمین متصل شده است. اطلاعات بیشتر را جع به این دستگاه در مرجع [۵] بیان شده است.

جریان تخلیه دستگاه پلاسمای کانونی توسط پیچه رگوفسکی که در اطراف مسیر جریان قرار گرفته است، اندازه‌گیری می‌شود. مقدار بیشینه جریان تخلیه که توسط پیچه رگوفسکی اندازه‌گیری شده است، $176 kA$ است. ثابت کالیبراسیون پیچه رگوفسکی $52/3 kA/V$ که نحوه‌ی طراحی و ساخت این پیچه در مرجع [۶] ذکر شده است. مشتق جریان خروجی که با استفاده از پیچه رگوفسکی مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد با استفاده از یک اسیلوسکوپ مدل TDS 1002B، با فرکانس نمونه‌برداری ۱Gs/s مشاهده می‌شود.

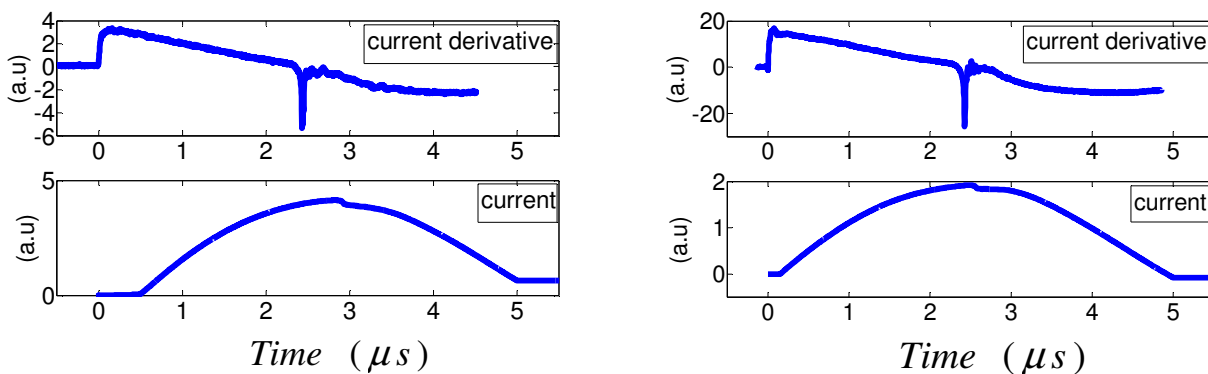
برای بررسی اثر یون‌های آرگون و یون‌های هیدروژن+۱٪ گاز کریپتون بر روی سطح نمونه‌های آلومینیوم از میکروسکوپ الکترونی (SEM) استفاده شد.

نتایج آزمایش و تحلیل نتایج:

در این آزمایش در یک مرحله گاز آرگون و در مرحله بعد گاز هیدروژن+۱٪ گاز کریپتون به عنوان گاز عملکردی دستگاه پلاسمای کانونی مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا به ازای هریک از این گازها مقدار فشار و ولتاژ بهینه برای به‌دست آوردن بهترین جریان تخلیه و در نتیجه بهترین رویداد پینچ تعیین شد. بهترین رویداد پینچ به معنی بیشترین مقدار چگالی یونی تولید شده است. برای دستیابی به این هدف، به ازای هر ولتاژ و فشار، مشتق جریان تخلیه دستگاه پلاسمای کانونی مشاهده شد. فاصله‌ی زمانی بین لحظه‌ی وقوع

پینچ و زمانی که بیشینه جریان تخلیه اتفاق می افتد، به عنوان معیاری برای تعیین ولتاژ و فشار بهینه قرار گرفت. هر چه که این اختلاف زمانی کم تر باشد، تخلیه جریان بهتر و در نتیجه گسیل یونی بیشتری است. زمانی که گاز آرگون به عنوان گاز عملکردی مورد استفاده قرار می گیرد ولتاژ و فشار بهینه به ترتیب ۲۲ kV و ۰/۴۵ mbar و زمانی که گاز هیدروژن+۱٪ کریپتون به عنوان گاز عملکردی مورد استفاده قرار می گیرد ولتاژ و فشار بهینه به ترتیب ۲۳ kV و ۵ mbar تعیین شد.

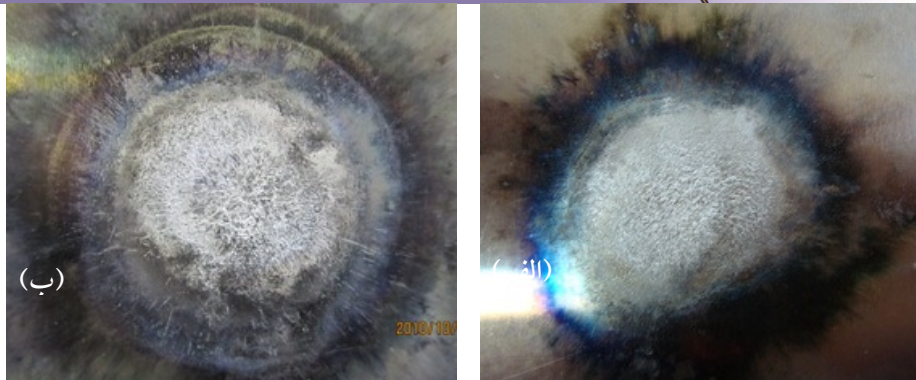
مشتق جریان تخلیه و جریان تخلیه نمونه ای دستگاه پلاسمای کانونی نوع SBUPF1 برای گاز آرگون و گاز هیدروژن+۱٪ حجمی گاز کریپتون در شکل (۱) و شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل (۱). مشتق جریان و جریان تخلیه نمونه ای دستگاه پلاسمای کانونی SBUPF1، الف) در ولتاژ ۲۲kV و فشار ۰/۴۵ mbar، ب) گاز آرگون، در ولتاژ ۲۳kV و فشار ۵ mbar و گاز هیدروژن+۱٪ گاز کریپتون

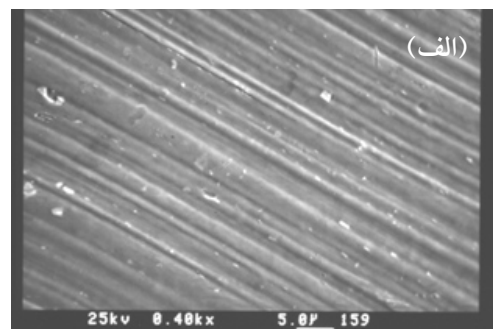
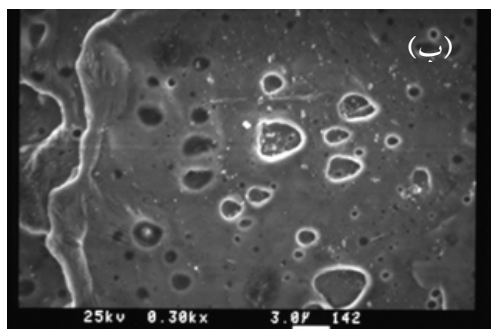
نمونه های آلومینیوم با ابعاد ۱۲ cm طول، ۱۰ cm عرض و ۱ mm ضخامت در فواصل مختلفی نسبت به نوک آند قرار می گیرد. نمونه ها در فاصله ی ۱، ۲، ۳، ۴، ۷، ۹، ۱۰، ۱۲، و ۱۵ cm از نوک آند قرار می گیرد. به ازای هر نمونه ۸ شات در شرایط بهینه ولتاژ و جریان زده شد.

طول عمر پینچ به ازای گاز آرگون بین ۱۰ تا ۱۰۰ ns و به ازای گاز هیدروژن+۱٪ گاز کریپتون بین ۳۰ تا ۳۵۰ ns تغییر می کند. تغییرات در طول عمر پینچ به شرایط عملکردی و پارامترهای چیدمان آزمایش بستگی دارد [۷]. نمونه های آلومینیوم که توسط یون های آرگون و هیدروژن+۱٪ کریپتون توسط ۸ شات مورد پرتو دهی قرار گرفته است در شکل (۳) نمایش داده شده است. این نمونه ها در فاصله ۴ cm از نوک آند قرار داشته اند.

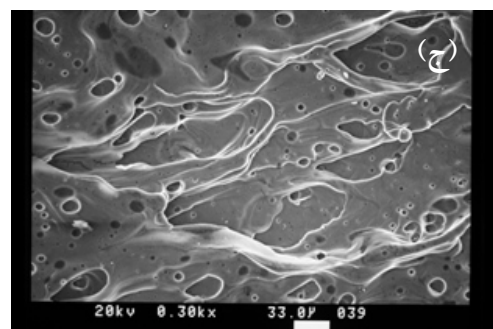


شکل (۳). نمونه های آلومینیوم پرتو دهی شده توسط (الف) یون آرگون، (ب) یون هیدروژن +۱٪ گاز کریپتون به ازای ۸ شات و در فاصله ۴ cm از نوک آند

مورفولوژی سطح نمونه های آلومینیوم نمایش داده شده در شکل (۳)، توسط میکروسکوپ الکترونی مورد مشاهده قرار گرفت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی برای نمونه های ذکر شده قبل و بعد از پرتو دهی در شکل (۴) ارائه شده است.



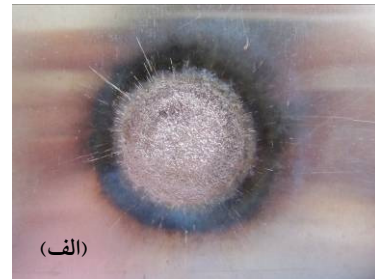
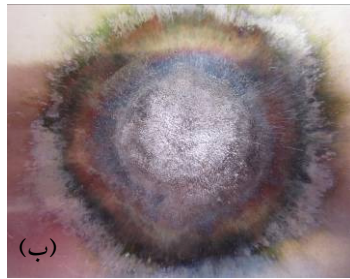
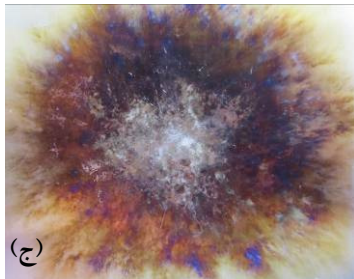
شکل (۴). تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های آلومینیوم، (الف) قبل از پرتو دهی (ب) توسط یون آرگون، (ج) توسط یون هیدروژن +۱٪ کریپتون به ازای ۸ شات و در فاصله ۴ cm از نوک آند



با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی، مشاهده می شود که بر اثر برخورد یون بر روی سطح آلومینیوم، اثرات ذوب شدگی و تبخیر سطحی بر روی آلومینیوم به وجود می آید. در اثر برخورد یون هم چنین حفره-هایی در سطح آلومینیوم به وجود می آید. علاوه بر این بر اثر ذوب شدگی لایه ی سطحی، نقاط حباب مانندی بر روی سطح آلومینیوم به وجود می آید.. هم چنین مشاهده می شود که اثرات ذوب شدگی و تبخیر سطحی به

ازای برخورد یون هیدروژن+۱٪ کریپتون بیشتر از برخورد یون آرگون با سطح آلومینیوم است، که این مسئله به علت وجود یون سنگین کریپتون به همراه یونهای هیدروژن می باشد.

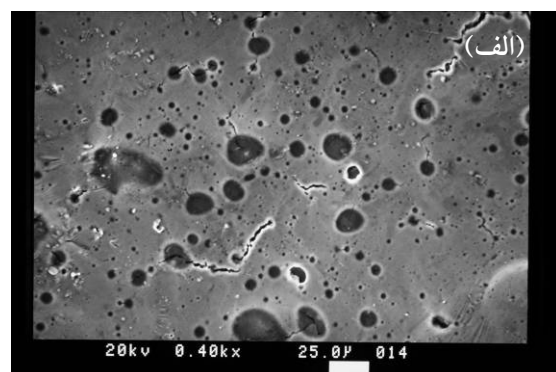
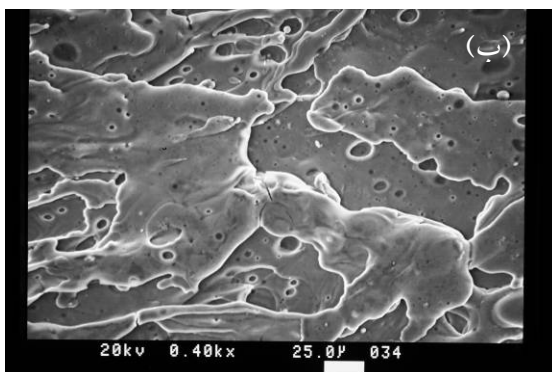
برای بررسی اثر برخورد یونهای آرگون در ارتفاعات مختلف نسبت به نوک آند بر روی نمونه های آلومینیوم، این نمونه ها در نقاط مختلف نسبت به نوک آند قرار داده شدند و به ازای هر نمونه ۸ شات زده شد. شکل (۵) نمونه های آلومینیوم را که به ترتیب در فواصل ۱، ۴ و ۱۰cm نسبت به نوک آند مورد پرتو دهی توسط یون های گاز هیدروژن+۱٪ کریپتون قرار گرفته اند نشان می دهد.



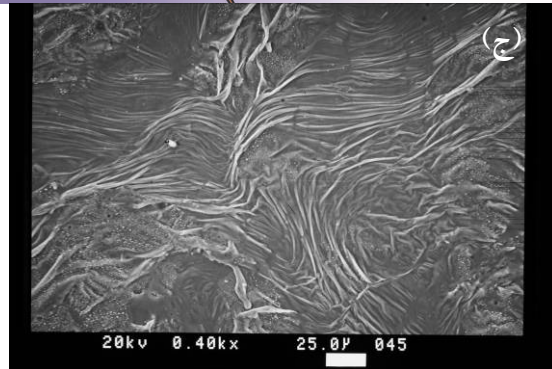
شکل (۵). نمونه های آلومینیوم پرتو دهی شده توسط یون های H+1%Kr (الف) ۱cm (ب) ۴cm ، (ج) ۱۰cm از نوک آند

همان طور که در شکل (۵-الف) مشاهده می شود، در نقاط نزدیک آند تجمع یونی و اثر ذوب شدگی بر روی نمونه بیشتر است. با فاصله گرفتن از آند (شکل (۵-ب)) تجمع یونی از گستردگی بیشتر برخورد است و اثر ذوب شدگی و تبخیر سطحی نسبت به حالت قبل کاهش می یابد. در نقاط خیلی دور از آند مطابق شکل (۵-ج) تجمع یونی در سرتاسر مساحت نمونه آلومینیوم مشاهده می شود و ذوب شدگی در سطح نمونه به شدت کاهش می یابد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی برای نمونه های ذکر شده در شکل (۵)، در شکل (۶) نمایش داده شده است.



شکل (۶). تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های آلومینیوم در فواصل: الف) ۱ cm ب) ۴ cm ، ج) ۱۰ cm از نوک آند



همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر چه که نمونه‌های آلومینیوم به نوک آند نزدیک‌تر باشد، اثرات تبخیر سطحی و ذوب شدگی بر روی نمونه بیشتر خواهد شد.

نتایج :

با توجه به آزمایشات انجام شده ابتدا مقدار فشار و ولتاژ بهینه به ازای گازهای مختلف آرگون و هیدروژن +۱٪ کریپتون به برابر ۰/۴۵ mbar و ۲۲ kV برای گاز آرگون و ۵ mbar و ۲۳ kV برای گاز هیدروژن به دست آمد. همان‌طور که ملاحظه شد بر اثر برخورد یون Ar و H با سطح آلومینیوم، با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی مشاهده شد که سطح آلومینیوم دچار ذوب شدگی و تبخیر سطحی شده است. هم-چنین مشاهده شد که به ازای ارتفاع‌های مختلف نسبت به نوک آند، در نقاط نزدیک به نوک آند اثر ذوب شدگی و تبخیر سطحی بیشتر است و توزیع چگالی یونی در این نقاط متمرکزتر است. با دور شدن از نوک آند، اثرات ذوب و تبخیر سطحی کم‌تر شده و توزیع چگالی یونی گسترده شده است. به عبارت دیگر مشاهده می‌شود که توزیع چگالی یونی در فضای بالای آند از یک توزیع مخروطی شکل پیروی می‌کند.

مراجع :

- [1] M.V. Roshan, S.V. Springha, A.R. Talebitaher, R.S. Rawat, P. Lee, Physics Letters A 373 (2009) 851–855
- [2] M. Bhuyan . N. K. Neog . S. R. Mohanty . C. V. S. Rao . P. M. Raole, J Fusion Energ (2010) 29:177–180
- [3] Rawat R S, Lee P, White T, Ying L and Lee S 2001 Surf. Coat. Technol. 138 159
- [4] G M EL-Aragi, U Seddik and A Abd El-haleim, Vol. 68, No. 4 PRAMANA journal of physics April 2007 pp. 603–609
- [5] B.Shirani and F.Abbasi, Brazilian Journal of Physics, vol. 40, no. 2, June, 2010
- [6] شهبازی، زهرا؛ دارستانی، نیکو؛ شیرانی، بابک؛ دامیده، وحید؛ عباسی، فریدون؛ شهریاری، مجید؛ "طراحی و ساخت پیچ‌های روگوفسکی مناسب برای اندازه‌گیری جریان تخلیه الکتریکی در لحظه‌ی وقوع تنگش در دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF1"، ایران، همدان، کنفرانس فیزیک ۱۳۸۹

[7] V.A. Gribkov, "Current and perspective applications of dense plasma focus devices", 17th IAEA Technical Meeting on Research Using Small Fusion Devices, Lisbon, 2007.