



اندازه گیری شدت باریکه های یونی گسیلی از گاز نیتروژن در دستگاه پلاسمای کانونی SBUPF1 در فشارهای مختلف گاز نیتروژن با استفاده از فنجان فارادی

عبادی، علی - عباسی دوانی، فریدون* - اطاعتی، غلام رضا - شیرانی بیدآبادی، بابک

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

چکیده:

هدف از انجام این تحقیق، بررسی شدت و توزیع زمانی باریکه های یونی گسیلی از گاز نیتروژن در دستگاه پلاسمای کانونی (۳/۳ kJ) SBUPF1 با استفاده از فنجان فارادی است. در این آزمایش ها مشاهده شد که شار یونی گسیلی از پلاسمای کانونی در تخلیه های گاز نیتروژن به شدت وابسته به فشار است و با دور شدن از فشار بهینه، شدت یون های گسیلی کاهش می یابد. مقدار بیشینه ی شار یونی در فشار ۰/۵ mbar به دست آمده است. همچنین با اندازه گیری همزمان جریان تخلیه دستگاه، مشاهده شد که عرض زمانی سیگنال یون در محدوده ۶۰۰-۴۰۰ ns قرار دارد و لحظه شروع سیگنال یون فنجان فارادی، همیشه با یک تاخیر در حدود ۱۵۰-۱۰۰ ns بعد از لحظه شروع تنگش رخ می دهد.

کلمات کلیدی: دستگاه پلاسمای کانونی، فنجان فارادی، یون نیتروژن، شدت باریکه یونی، جریان تخلیه

مقدمه

دستگاه پلاسمای کانونی یکی از منابع قوی تولید یون های پر انرژی، الکترون های نسبیتی، نوترون های گداخت سریع (وقتی که از گاز دوتریوم استفاده می شود) و پرتوهای اشعه ایکس است [۱]. دستگاه های پلاسمای کانونی با بازه ی انرژی از چندین kJ تا چند MJ قادرند تا یون های با انرژی حدود چند صد keV تا ده ها MeV تولید کنند [۲]. در سال های اخیر باریکه های یونی تولید شده به وسیله ی دستگاه پلاسمای کانونی در فرآیندهای اصلاح سطح مواد [۳]، نفوذ ناخالصی ها به داخل نیمه هادی ها و عمل لایه نشانی یونی [۴-۵]، کاشت یونی [۶-۷] و بررسی رفتار حرارتی سطح [۸] استفاده شده اند. برای انجام این فرآیندها و ارزیابی آنها، در ابتدا نیاز به آن داریم تا اطلاعات معتبری از شار یونی، طیف انرژی یونی و توزیع زاویه ای آنها داشته باشیم. برای تحقیق و مطالعه روی مشخصات یون های گسیلی، روش های پشرفته ی متعددی وجود دارد. به عنوان مثال: آشکارسازهای رد هسته ای، تحلیلگرهای مغناطیسی، فنجان های فارادی، طیف نگارهای تاسون، روش های فعال سازی و غیره، از جمله روش های مطالعات یونی هستند.

Sadowski و همکارانش [۹]، اطلاعاتی در خصوص مشخصات باریکه‌ی یونی در بازه‌ی انرژی ۵۰-۵ kJ بدست آوردند و به این نتیجه رسیدند که شدت باریکه‌ی یونی به شکل هندسی الکترودها، انرژی بانک خازنی، گاز بکار گرفته شده و فشار آن بستگی دارد. Bostick و همکارانش [۱۰]، پهنای پالس‌های یونی ثبت شده به وسیله‌ی فنجان فارادی را حدود ۶۰ - ۴۰ ns گزارش دادند. و همچنین Heo و همکارانش [۱۱]، طیف انرژی باریکه‌ی یون آرگون یک دستگاه پلاسمای کانونی کم انرژی را به روش زمان پرواز بدست آوردند.

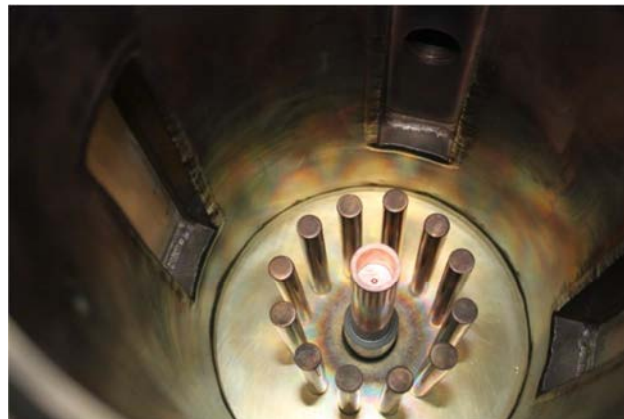
فنجان فارادی را می‌توان یکی از مهمترین و پر کاربردترین ابزارهای تشخیصی باریکه‌های یونی که توانایی تعیین طیف انرژی یون‌ها به روش زمان پرواز را نیز دارد به شمار آورد. همچنین با طراحی آرایه‌ای از فنجان‌های فارادی می‌توان توزیع زاویه‌ای یون‌های گسیلی از دستگاه پلاسمای کانونی را نیز اندازه‌گیری کرد. در این تحقیق، یکی از مشخصات یونی دستگاه پلاسمای کانونی SBUPF1 یعنی شدت باریکه یون گسیل شده در زاویه صفر درجه نسبت به محور آند، در تخلیه‌های گاز نیتروژن در فشارهای مختلف مورد بررسی تجربی قرار گرفته است.

روش کار

در این تحقیق، آزمایش‌ها بوسیله‌ی دستگاه پلاسمای کانونی نوع مدر^۱ با انرژی ۳/۳ kJ صورت گرفت [۱۴]. انرژی این دستگاه به وسیله‌ی بانک خازنی ۱۰/۶ μF با بیشینه ولتاژ ۲۵ kV تأمین می‌شود. نمایی از طرح داخلی محفظه‌ی اصلی دستگاه پلاسمای کانونی و چیدمان آند و کاتدها در شکل شماره (۱) نشان داده شده است. جریان تخلیه دستگاه نیز توسط یک پروب مغناطیسی اندازه‌گیری شده است. برای آشکارسازی و ثبت اطلاعات یون‌های نیتروژن گسیلی، از فنجان فارادی استفاده شد. همچنین از یک دستگاه اسپلوسکوپ ۲ کانال با فرکانس نمونه برداری ۱ GS/s برای ثبت سیگنال‌های الکتریکی حاصل از پروب مغناطیسی و آشکار ساز فنجان فارادی استفاده شده است.

فنجان‌های فارادی معمولاً شامل یک روزنه‌ی کوچک و یک جمع‌آوری‌کننده عمیق هستند. برای کاهش میزان پس پراکندگی یون‌های برخورد کننده به سطح جمع‌آوری‌کننده و کاهش میزان گسیل الکترون‌های ثانویه، معمولاً جمع‌آوری‌کننده با یک ولتاژ معکوس، بایاس می‌شود.

¹ Mather



شکل شماره (۱). نمای داخلی محفظه اصلی دستگاه پلاسمای کانونی SBUPF1

نمایی از طرح کلی شکل فنجان فارادی در شکل شماره (۲) نشان داده شده است. سطح داخلی و سطح خارجی آن از جنس برنج ساخته شده است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که میزان تولید الکترون‌های ثانویه در گرافیت به مراتب کمتر از برنج است. بنابراین لایه‌ای از جنس گرافیت برای کاهش تولید الکترون‌های ثانویه، درون فنجان داخلی قرار داده شده است [۱۲-۱۳]. فنجان فارادی دارای یک درپوش با روزنه‌ای به قطر $500 \mu\text{m}$ بوده و به وسیله‌ی پلی اتیلن عایق شده است. بر اساس تئوری انتقال توان، مقدار بیشینه‌ی توان زمانی قابل انتقال است که مقاومت دو مدار متصل به هم، یکسان باشد. برای رعایت شرط انتقال بیشینه‌ی توان، ابعاد فنجان فارادی به گونه‌ای طراحی شده است که جهت ایجاد تطبیق امپدانس با کابل انتقال اطلاعاتی RG58، یک مقاومت ظاهری 51Ω ایجاد کند.

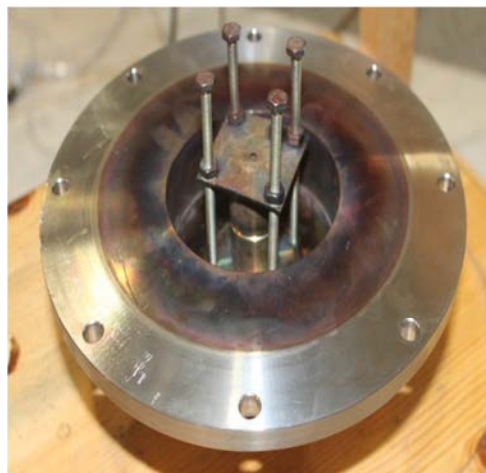


شکل شماره (۲). نمای کلی فنجان فارادی.

فنجان فارادی استفاده شده در این آزمایش، در زاویه‌ی صفر درجه نسبت به محور آند و در فاصله‌ی ۱۸ cm نسبت به رأس آند قرار گرفت و با ولتاژ ۱۵۰ V - بایاس شد. برای آنکه فنجان فارادی را در زاویه‌ی صفر درجه و در فاصله‌ی مشخصی نسبت به رأس آند ثابت نگه داریم، از یک نگهدارنده استفاده شد که در شکل شماره (۳ - الف) نشان داده شده است. همچنین برای کاهش نویز و امواج الکترومغناطیسی، اتصال‌ها و کابل‌ها به وسیله‌ی ورقه‌های آلومینیومی متصل به زمین، محافظت شدند.



(ب)



(الف)

شکل شماره (۳). (الف) نحوه ثابت نگه داشتن فنجان (ب) نحوه‌ی قرار گرفتن فنجان فارادی در محفظه.

یکی از مهمترین عوامل در ایجاد پینچ در دستگاه پلاسمای کانونی ایجاد خلاء مناسب در محفظه‌ی دستگاه است. در این آزمایش‌ها ایجاد خلاء توسط یک پمپ روتاری و تا فشار $10^{-3} \times 2$ mbar انجام گرفت.

نتایج و تحلیل داده‌ها

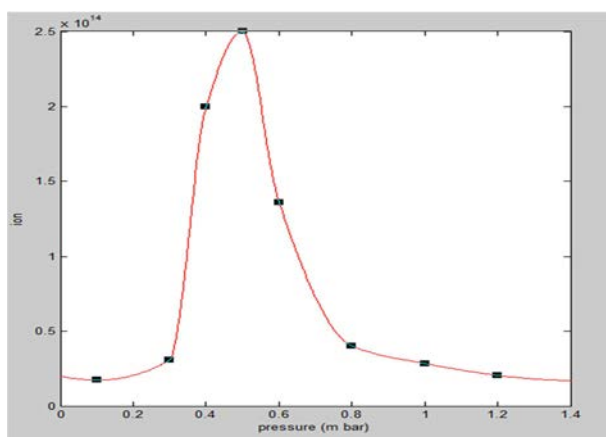
آزمایش‌ها با گاز نیتروژن و در فشارهای مختلف ۱/۲-۰/۱ mbar و ولتاژ اعمالی ۲۳ kV و با ثابت نگه داشتن سایر شرایط آزمایش انجام شد. در شکل شماره (۴) نمونه‌ای از سیگنال‌های پروب مغناطیسی و فنجان فارادی ثبت شده در اسیلوسکوپ نشان داده شده است. در ابتدا در فشارهای بالای گازی (بیش از ۱/۵ mbar) چند شات زده شد اما در سیگنال‌هایی که بوسیله‌ی اسیلوسکوپ ثبت شد، اثری از رویداد پینچ مشاهده نشد. علت عدم وجود پینچ را می‌توان با در نظر گرفتن یک محدوده بهینه فشار برای وقوع پینچ در گاز نیتروژن توجیه کرد که در اینصورت احتمالاً فشار ۱/۵ mbar، خارج از محدوده ذکر شده می‌باشد. همچنین پهنای پالس یون‌های نیتروژن ثبت شده به وسیله‌ی فنجان فارادی حدود ۶۰۰ - ۴۰۰ ns بدست آمد. مساحت زیر منحنی سیگنال فارادی، در شرایط ثابت مداری برای شات‌های مختلف، متناسب با تعداد یون‌های نیتروژن جذب شده توسط فنجان فارادی است. همچنین تقریباً در همه آزمایش‌ها، سیگنال یونی، با یک تاخیر ۱۵۰-۱۰۰ ns نسبت به لحظه شروع تنگش که در سیگنال مشتق جریان پروب مغناطیسی قابل اندازه‌گیری

است، رخ می‌دهد. تاخیر سیگنال یونی نسبت به لحظه شروع پینچ نشان دهنده گسیل یون‌ها در انتهای فاز فشرده‌گی پلاسما و پس از گسترش ناپایداری‌ها و فروپاشی پلاسما می‌باشد. همانطور در شکل (۴) مشاهده می‌شود لحظه‌ی شروع سیگنال یون پس از عمل پینچ رخ داده است.



شکل شماره (۴). نمونه ای از سیگنال ثبت شده از جریان تخلیه و فنجان فارادی در فشار 0.8 mbar و ولتاژ اعمالی 23 kV .

پس از اندازه‌گیری و محاسبه‌ی تعداد کل یون‌های جذب شده توسط فنجان فارادی با محاسبه سطح زیر قله ثبت شده، نمودار مربوط به تعداد یون در فشارهای مختلف به وسیله نرم افزار Matlab ترسیم شد. نمودار مربوط به توزیع شار یونی در فشارهای مختلف در شکل شماره (۵) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود بیشترین شار یون در فشار 0.5 mbar تولید می‌شود. همچنین با افزایش و یا کاهش فشار گاز اعمال شده، کاهش در شار یونی ثبت شده به وسیله فنجان فارادی کاملاً قابل مشاهده است.



شکل شماره (۵). نمودار مربوط به تعداد یون در زاویه‌ی صفر درجه و فشارهای مختلف.

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش اندازه‌گیری توزیع چگالی یون‌های نیتروژن در زاویه صفر درجه و در فشارهای مختلف در $0.1-1/2$ mbar و ولتاژ اعمالی 23 kV صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهند که شار یون‌های گسیلی در دستگاه پلاسمای کانونی به شدت وابسته به فشار است و با افزایش یا کاهش فشار گاز نسبت به مقدار فشار بهینه 0.5 mbar، کاهش شدیدی در شار یونی صورت خواهد گرفت.

گسترش کاربردهای باریکه یونی دستگاه پلاسمای کانونی نیازمند بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر بر روی مشخصه‌های یونی دستگاه پلاسمای کانونی است. مسلماً نتایج تجربی بدست آمده در این تحقیق نیازمند تحلیل‌های کامل‌تر بر مبنای مدل‌های تئوری ارائه شده برای پلاسمای کانونی است. رویکرد آینده برای ادامه این تحقیقات را می‌توان در تحلیل مشخصه‌های زمانی باریکه‌های یونی که بصورت خلاصه در این مقاله گزارش شده‌اند و همچنین طیف نگاری یون‌های دستگاه پلاسمای کانونی با فنجان فارادی بر مبنای روش زمان پرواز تبیین کرد. همچنین با توجه به این‌که شدت یون‌های نیتروژن بصورت نسبی اندازه‌گیری شده‌اند، ارائه روشی برای کالیبراسیون شدت و اندازه‌گیری شدت مطلق یون‌های پلاسمای کانونی ضروری می‌باشد.

مراجع

1. J.W. Mather, Methods of Experimental Physics (Academic Press, New York, 1970).
2. H. Bhuyan et al., Indian J. Pure Appl. Phys. 39, 698 (2001).
3. R.S. Rawat et al., Mat. Res. Bull. 35, 477 (2000).
4. C.R. Kant et al., Phys. Lett. A 226, 212 (1997).
5. V.A. Gribkov et al., J. Phys. D Appl. Phys. 36, 1817 (2003).
6. J.N. Feugeas et al., J. Appl. Phys. 64, 2648 (1989).
7. J.N. Feugeas et al., Rad. Eff. Def. Solids 128, 267 (1994).
8. A. Mozer et al., J. Appl. Phys. 53, 2959 (1982).
9. M. Sadowski et al., Nukleonika 45, 179 (2000).
10. W.H. Bostick et al., Nucl. Fusion 33, 413 (1993).
11. H. Heo, D.K. Park, Phys. Scr. 65, 350-355 (2002).
12. G. R. Etaati et al., Journal of Fusion Energy, vol 30, No. 22, (2010).

۱۳ - اطاعتی، غلامرضا؛ "بررسی گسیل پرتوهای ایکس نرم، سخت و یون در دستگاه پلاسمای کانونی نوع مدر"، رساله دکترای مهندسی هسته‌ای، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک، ۱۳۸۹.

۱۴ - شیرانی، بابک؛ "بهینه سازی نوترون دهی دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF1"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای، دانشگاه شهید بهشتی تهران، شهریور ماه ۱۳۸۷.