



بررسی توزیع انرژی و توزیع زاویه‌ای یون‌های نیتروژن دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF1 به وسیله‌ی آشکارساز ردپای هسته‌ای پلی‌کربنات و با استفاده از ضخامت‌های مختلف صافی آلومینیمی

حامد روحی، بهجت قاسمی*، فریدون عباسی دوانی، زهرا شهبازی‌راد
گروه کاربرد پرتوها، دانشکده‌ی مهندسی هسته‌ای، دانشگاه شهید بهشتی، صندوق پستی: ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳، تهران - ایران

چکیده: توزیع انرژی و توزیع زاویه‌ای یون‌های نیتروژن دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF1 (۳,۲kJ، ۲۵kV، ۱۰,۴μF) با استفاده از آشکارساز ردپای هسته‌ای حالت جامد از نوع پلی‌کربنات مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی ولتاژ کاری دستگاه ۲۳kV بود و از گاز نیتروژن در فشار ۰,۵mbar به عنوان گاز عملیاتی استفاده شد. هم‌چنین از روزنه‌ی سوزنی ۲۰۰ و ۵۰۰ میکرون برای آشکارسازی بهتر یون‌ها استفاده شد. با استفاده از روش لایه نشانی، ضخامت‌های مختلفی از صافی آلومینیمی بر روی آشکارسازها نشانده شد. برای تعیین توزیع انرژی یون‌های نیتروژن، آشکارسازها در فاصله‌ی ۲۱,۵cm و تحت زاویه‌ی صفر درجه نسبت به سر آند قرار داده شدند و برای تعیین توزیع زاویه‌ای یون‌ها از آشکارساز پلی‌کربنات با صافی آلومینیمی ۱۲۰۰ نانومتر، در فاصله‌ی ۱۰cm نسبت به سر آند و تحت زاویه‌های ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به سر آند استفاده شد. فیلم‌های آشکارساز توسط یون‌های نیتروژن پرتودهی شدند. با استفاده از نرم‌افزار SRIM برد یون‌های نیتروژن در آلومینیم تعیین شد. هم‌چنین ضخامت مناسب صافی آلومینیمی برای ثبت داده‌ها با استفاده از آشکارساز پلی‌کربنات، در گستره‌ی بین ۱۲۰۰ تا ۲۶۳۰ نانومتر به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: دستگاه پلاسمای کانونی، آشکارساز پلی‌کربنات، توزیع انرژی و توزیع زاویه‌ای، کد SRIM

An Investigation on the Energy and the Angular Distribution of Nitrogen Ions in SBUMTPF1 Plasma Focus Device, Using Polycarbonate Nuclear Track Detector and Different Thicknesses of Aluminum Filters

H. Rouhi, B. Ghasemi*, F. Abbasi Davani, Z. Shahbazi Rad

Radiation Application Department, Nuclear Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, P.O.Box: 1983963113, Tehran - Iran

Abstract: The purpose of this research is to investigate the energy and the angular distribution of nitrogen ions in SBUMTPF1 plasma focus device (3.2 kJ, 25 kV, 10.4 μF), using a polycarbonate solid state nuclear track detector. In this experiment, the operational voltage of the device is 23kV and nitrogen gas, under 0.5 mbar pressure, is used as a functional gas. In order to detect the ions more clearly, a 200 and 500 micron pinhole is utilized. Various thicknesses of aluminum filter were coated on the films. Detectors were set at 21.5cm away from the top of the anode and the angle toward the anode's top was set at zero degree in order to determine the energy distribution of nitrogen ions. Also, a polycarbonate film with 1200 nanometer aluminum filter was used for determining the angular distribution, where it was set 10 cm away from the anode's top, positioned at 0, 15, 30, 45 and 60 degrees in angle toward the anode's top. Detector films were irradiated by nitrogen ions. The range of nitrogen ions in aluminum was calculated by the use of SRIM code. In addition, the appropriate thickness of aluminum filters in a range between 1200 and 2630 nanometer were obtained by this investigate to collect data by means of polycarbonate detectors.

Keywords: Plasma Focus Device, Polycarbonate Detector, Energy and Angular Distribution, SRIM Code

*email: b_ghasemi@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۷/۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۸/۱۵



۱. مقدمه

دستگاه پلاسمای کانونی با استفاده از گازهای دیگر مانند نیتروژن، آرگون و هلیوم انجام شده است. در این پژوهش، برخی ویژگی‌های گسیل یون از دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF^۱ با استفاده از گاز نیتروژن و به وسیله‌ی آشکارسازهای ردپای هسته‌ای پلی‌کربنات برای ضخامت‌های مختلف صافی آلومینیمی نشانده شده بر روی آشکارسازها مورد بررسی قرار گرفت. برای رسیدن به این هدف توزیع انرژی و توزیع زاویه‌ای یون‌های نیتروژن تولید شده در دستگاه اندازه‌گیری شد.

۲. چیدمان آزمایش

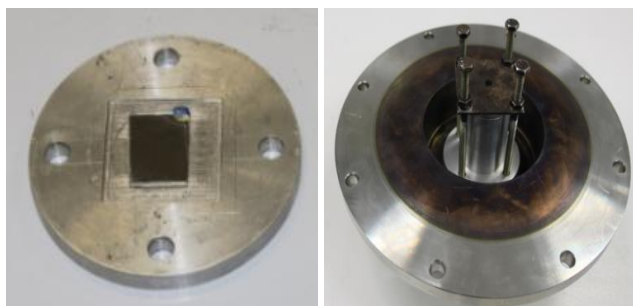
دستگاه مورد استفاده در این پژوهش دستگاه پلاسمای کانونی نوع مدر SBUMTPF^۱ با بیشینه انرژی ۳٫۲kJ و خازن با ظرفیت ۱۰٫۴μF و بیشینه ولتاژ ۲۵kV بود [۵، ۶]. پژوهش‌های انجام شده [۵] نشان داد که در صورت استفاده از صافی آلومینیمی با ضخامت ۵ میکرون همه‌ی یون‌های نیتروژن جذب شده و هیچ ردپایی در آشکارساز مشاهده نمی‌شود. از آنجایی که صافی آلومینیمی با ضخامت کم‌تر موجود نبود، سعی شد با استفاده از روش لایه‌نشانی ضخامت‌های مختلفی از آلومینیم در گستره‌ی نانومتر تا ۳ میکرون بر روی آشکارسازها نشانده شود. برای نشان دادن آلومینیم بر روی آشکارسازها از دستگاه لایه‌نشانی شکل ۱ استفاده شد. در این دستگاه برای لایه‌نشانی از روش لایه‌گذاری فیزیکی^(۱) (PVD) استفاده می‌شود. لایه‌گذاری فیزیکی به سه روش حرارتی، کندوپاش^(۲) و تفنگ الکترونی است. از آنجایی که دمای ذوب آلومینیم ۶۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است، روش مورد استفاده و مناسب برای لایه‌نشانی آلومینیم در این دستگاه روش حرارتی است.



شکل ۱. دستگاه لایه‌نشانی.

مطالعه‌ی یون‌های انرژی - بالا که از دستگاه پلاسمای کانونی گسیل می‌شوند، اطلاعاتی را در مورد پویایی پدیده‌ی پلاسمای و سازوکار شتاب‌دهی یون به دست می‌دهد. ویژگی‌های گسیل یون مشاهده شده در دستگاه‌های پلاسمای کانونی مختلف با هم متفاوت است و به پارامترهای مختلف و شرایط عملیاتی دستگاه بستگی دارد [۱]. به دلیل ذخیره‌سازی دراز مدت اطلاعات و عدم نیاز به مدارها و تجهیزات الکترونیکی در بیش‌تر پژوهش‌ها از CR-۳۹ و پلی‌کربنات به عنوان آشکارسازهای حالت جامد ردپای هسته‌ای (SSNTD) برای مطالعه‌ی ساختار باریکه‌ی یونی تولید شده در دستگاه پلاسمای کانونی استفاده شده است. مالدینوسکا و همکاران [۲] توزیع چگالی ردپای پروتون‌های ثبت شده بر روی آشکارساز پلی‌کربنات را به دست آوردند. همچنین با استفاده از درجه‌بندی و در نظر گرفتن کاهش انرژی پروتون‌ها به علت جذب در ورقه‌ی آلومینیم، با استفاده از نرم‌افزار SRIM (که قدرت ایستاندگی یون‌ها را محاسبه می‌کند)، چگالی ردپاهای ثبت شده را برحسب انرژی پروتون‌های تولید شده در محفظه‌ی پلاسمای کانونی به دست آوردند. آنتاناسی جویک و همکاران [۳] با استفاده از آشکارساز ردپای هسته‌ای در یک هندسه‌ی نیم‌کروی، توزیع زاویه‌ای پروتون‌های تولید شده در دستگاه پلاسمای کانونی با گاز هیدروژن را اندازه‌گیری کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که چگالی یون در راستای محور الکتروود بیش‌ترین مقدار خود (حد اشباع) و در راستای عمود بر محور الکتروود کم‌ترین مقدار خود را دارد. همچنین به دلیل محدودیت، توانستند تنها پروتون‌های با انرژی بیش از ۱۰۰keV را ثبت کنند. به طور مشابه سادوسکی و همکاران [۴] توزیع زاویه‌ای دوترون‌ها و (پروتون‌های) تند اولیه‌ی حاصل از تخلیه را با استفاده از آشکارسازهای حالت جامد ردپای هسته‌ای به دست آوردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که هر دو توزیع زاویه‌ای، در حدود زاویه‌ی ۲۰ درجه با محور Zها، دارای قله هستند. آن‌ها بر این عقیده بودند که با در نظر گرفتن ضخامت لایه‌ی گاز بین انتهای الکتروود و آشکارسازها، تنها یون‌های با انرژی بالاتر از ۴۰۰keV قادر هستند در داخل دوربین‌های با روزه‌ی سوزنی نفوذ کرده و در آشکارسازها ثبت شوند.

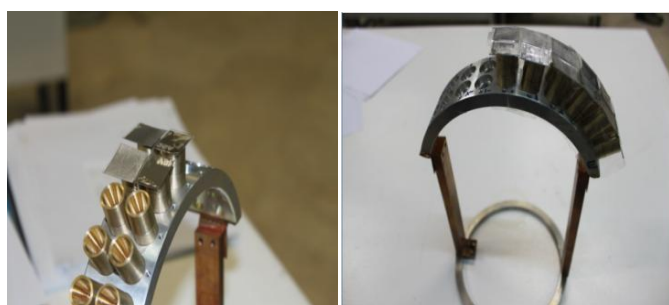
معمولاً بیش‌تر پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی اندازه‌گیری چگالی یون‌های دوتریم، با هدف اندازه‌گیری و پژوهش نوترونی انجام می‌شود. پژوهش‌های کمی بر روی گسیل باریکه‌ی یون از



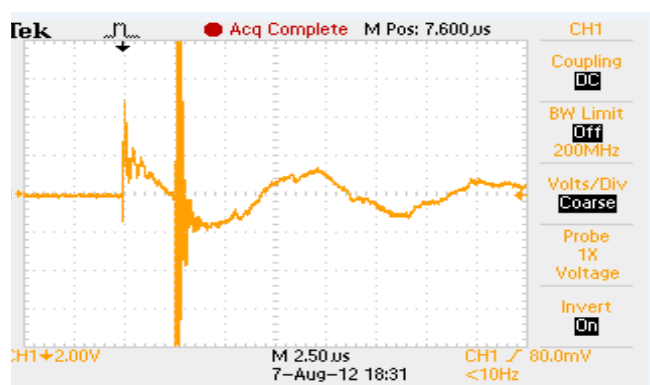
شکل ۲. نحوه‌ی قرار گرفتن پلی‌کربنات بر روی نگه‌دارنده‌ی طراحی شده، تحت زاویه‌ی صفر درجه نسبت محور آند.



شکل ۳. استفاده از روزنه‌ی سوزنی ۵۰۰ میکرون برای جلوگیری از برخورد زیاد یون‌ها به آشکارساز.



شکل ۴. نحوه‌ی قرار گرفتن پلی‌کربنات بر روی آرایه‌ی طراحی شده، تحت زاویه‌های ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به محور آند.

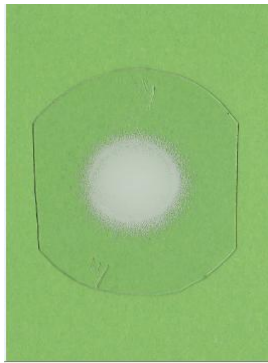


شکل ۵. نمونه‌ای از وضع فوق‌العاده در دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF۱

با استفاده از روش لایه‌نشانی ضخامت‌های ۱۶۵، ۶۲۵، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۲۰، ۱۶۵۰، ۲۰۰۰، ۲۳۵۰، ۲۶۳۰ و ۳۰۰۰ نانومتر از فلز آلومینیم بر روی پلی‌کربنات‌ها نشانده شد. در همه‌ی آزمایش‌ها محفظه‌ی دستگاه تا فشار 8×10^{-3} mbar خلأ و گاز نیتروژن با فشار ۰٫۵mbar به دستگاه تزریق، و ولتاژکاری دستگاه ۲۳kV انتخاب شد. ابتدا آشکارسازها در دستگاه پلاسمای کانونی بدون روزنه‌ی سوزنی مورد آزمایش قرار گرفتند. در آزمایش‌های بعدی برای به دست آوردن منحنی چگالی ردپاهای ثبت شده در آشکارساز پلی‌کربنات برحسب انرژی یون‌های نیتروژن تولید شده در دستگاه از یک روزنه‌ی سوزنی ۲۰۰ میکرون در مقابل آشکارساز پلی‌کربنات استفاده شد. فاصله‌ی روزنه‌ی سوزنی تا سر آند ۱۶cm و فاصله‌ی آن تا محل قرارگیری آشکارسازها برابر ۵٫۵cm بود. بدین ترتیب آشکارسازها در فاصله‌ی ۲۱٫۵cm از سر آند قرار گرفته بودند. برای قرار دادن آشکارسازهای پلی‌کربنات در داخل محفظه و تحت زاویه‌ی صفر درجه نسبت به محور آند، نگه‌دارنده‌ی شکل ۲ طراحی شد. مطابق شکل فیلم‌های آشکارساز بر روی یک صفحه، و روزنه‌ی سوزنی در فاصله‌ی ۵٫۵cm از فیلم‌های آشکارساز قرار داده شد. نهایتاً کل مجموعه به درب محفظه متصل شد.

برای تعیین توزیع زاویه‌ای یون‌های نیتروژن از پلی‌کربنات‌های با فیلتر آلومینیمی ۱۲۰۰ نانومتر استفاده، و یک روزنه‌ی سوزنی ۵۰۰ میکرون (شکل ۳) در مقابل فیلم‌های پلی‌کربنات قرار داده شد. فاصله‌ی روزنه‌ی سوزنی تا سر آند ۸cm و فاصله‌ی آن تا محل قرارگیری آشکارسازها برابر ۲cm بود. برای ثبت چگالی ردپاهای نیتروژن در زاویه‌های ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به محور آند آرایه‌ای مطابق شکل ۴ طراحی شد. فیلم‌های پلی‌کربنات بعد از قرار گرفتن بر روی روزنه‌ی سوزنی و آرایه‌ی موردنظر در داخل محفظه قرار گرفتند.

در همه‌ی آزمایش‌ها برای این که پرتودهی به وسیله‌ی شات خوبی انجام شود، از یک ورقه مسی به عنوان حایل در فاصله‌ی ۶cm از سر آند استفاده شد. زمانی که مطابق شکل ۵ دستگاه به وضع فوق‌العاده رسید، مطابق شکل ۶ ورقه‌ی مسی کنار رفته و پلی‌کربنات‌ها در یک شات، به وسیله‌ی یون‌های نیتروژن پرتودهی شدند.



شکل ۷. فیلم پلی کربنات اشباع شده در اثر برخورد تعداد زیاد یون‌های نیتروژن.



شکل ۶. نحوه‌ی قرار گرفتن حایل در هنگام پرتودهی.

جدول ۱. برد یون‌های نیتروژن در هدف آلومینیم، تعیین شده با استفاده از نرم‌افزار SRIM

انرژی (keV)	برد یون‌های نیتروژن در آلومینوم (میکرومتر)	انرژی (keV)	برد یون‌های نیتروژن در آلومینوم (میکرومتر)
۸۰	۰٫۱۶۷۸	۱۴۰۰	۱٫۶۶
۳۵۰	۰٫۶۳۳۷	۱۸۸۰	۲٫۰۱
۷۰۰	۱٫۰۵	۲۳۷۰	۲٫۳۶
۹۰۰	۱٫۲۴	۲۸۰۰	۲٫۶۵
۱۰۰۰	۱٫۳۳	۳۳۳۰	۳٫۰۱

در طی این آزمایش‌ها مشاهده شد که با افزایش ضخامت صافی آلومینیمی، چگالی ردپاهای ثبت شده در آشکارسازها کاهش می‌یابد (شکل ۸). در جدول ۲ چگالی ردپاهای ثبت شده بر روی پلی کربنات به ازای ضخامت‌های مختلف صافی آلومینیمی درج شده است.

مطابق جدول ۱ برای ثبت چگالی ردپاهای یون‌های نیتروژن با انرژی زیر ۷۰۰ keV صافی‌هایی به ضخامت کم‌تر از یک میکرون مورد نیاز بود. در نتیجه ضخامت‌های ۱۶۵، ۶۲۵ و ۱۰۰۰ نانومتر از آلومینیم روی آشکارسازها نشانده شد. در اثر برخورد یون‌های زیاد به پلی کربنات‌های با صافی‌های آلومینیمی به ضخامت کم‌تر از یک میکرون، چگالی ردپاهای ثبت شده بر روی آن‌ها به حدی زیاد بود که قابل تفکیک از یک‌دیگر نبوده و در گستره‌ی شمارش نرم‌افزار قرار نداشتند. برای این فیلم‌ها به طور نمونه، قسمت‌هایی از اطراف مرکز پرتو دیده مورد شمارش قرار گرفت که شمارش‌های آن‌ها بالای 5000 cm^{-2} بود. از آنجایی که کل فیلم‌ها و به خصوص مرکز پرتو دهی قابل شمارش نبود، چگالی ردپاهای ثبت شده در این آشکارسازها در حد اشباع بود. با در نظر گرفتن حداقل صافی ۱۲۰۰ نانومتر برای آستانه‌ی قابل شمارش ردپاها به وسیله‌ی

برای تعیین چگالی ردپاهای ثبت شده در آشکارسازها، فیلم‌های پلی کربنات مورد سونش قرار گرفتند. برای سونش فیلم‌های پلی کربنات، از روش الکتروشیمیایی و محلول PEW به مدت ۳ ساعت استفاده شد. بعد از سونش فیلم‌ها، کل ناحیه‌ی پرتو دهی شده با نسخه‌ی ۳/۱ نرم‌افزار $(NTC)^{(3)}$ شمارش شده، چگالی ردپاهای ثبت شده روی هر فیلم (Track/cm^{-2}) به دست آمد. برای شمارش زمینه، تعداد ۶ فیلم انتخاب شده و بدون پرتو دهی مورد سونش قرار گرفتند.

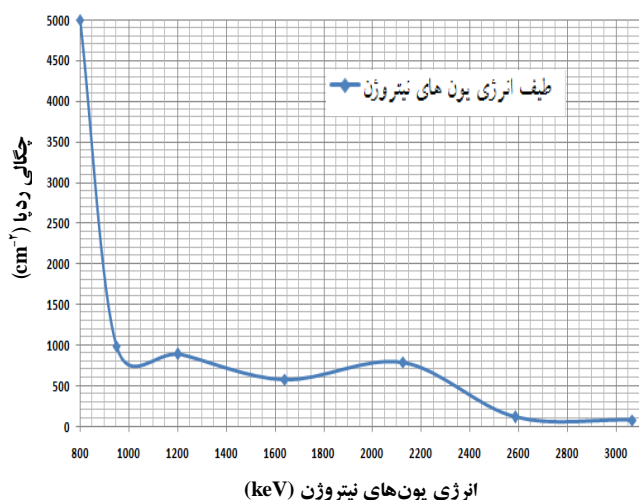
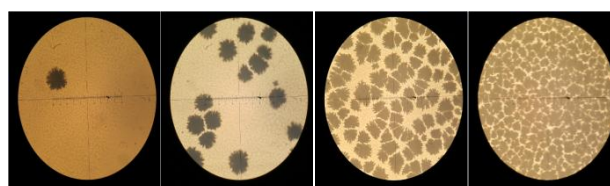
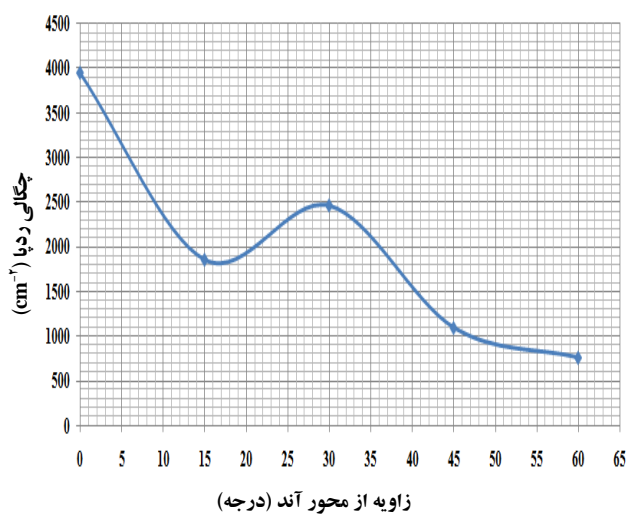
۳. نتایج آزمایش و تحلیل داده‌ها

در آزمایش‌های اولیه که از فیلم‌های پلی کربنات در داخل دستگانه بدون روزنه‌ی سوزنی استفاده شد، به دلیل موج ضربه‌ی تولید شده در دستگانه، صافی‌ها از بین رفتند. در نتیجه در اثر برخورد شار بالای یون‌های تولید شده در دستگانه پلاسمای کانونی، آشکارسازها اشباع شده و چگالی و قطر ردپاهای ثبت شده روی آشکارساز قابل اندازه‌گیری نبود. نمونه‌ای از فیلم پلی کربنات اشباع شده در شکل ۷ نشان داده شده است.

در آزمایش‌های بعدی که از روزنه‌ی سوزنی ۲۰۰ میکرون استفاده شد، انتقال موج ضربه به فیلم‌های آشکارساز و از بین رفتن صافی‌های آلومینیمی مشاهده نشد. برای به دست آوردن گستره‌ی انرژی یون‌های تولید شده در دستگانه، مشخص کردن آستانه‌ی انرژی قابل ثبت یون‌ها برای عبور از این صافی‌ها ضروری بود. با استفاده از نرم‌افزار SRIM برد یون‌های نیتروژن در هدف آلومینیم محاسبه شد (جدول ۱).

جدول ۲. چگالی ردپای یون‌های ثبت شده بر روی آشکارسازهای پلی کربنات برحسب ضخامت‌های مختلف صافی آلومینیمی نشانده شده بر روی آن‌ها

چگالی ردپاهای ثبت شده (cm^{-2})	آستانه‌ی انرژی مورد نیاز برای عبور از صافی (keV)	ضخامت صافی آلومینیم (نشانده شده (نانومتر))	چگالی ردپاهای ثبت شده (cm^{-2})	آستانه‌ی انرژی مورد نیاز برای عبور از صافی (keV)	ضخامت صافی آلومینیم (نشانده شده (نانومتر))
۱۸۳۰	۱۴۰۰	۱۶۵۰	اشباع	۸۰	۱۶۵
۱۲۵۰	۱۸۸۰	۲۰۰۰	اشباع	۳۵۰	۶۲۵
۴۵۷	۲۳۷۰	۲۳۵۰	اشباع	۷۰۰	۱۰۰۰
۳۴۰	۲۸۰۰	۲۶۳۰	۳۷۱۳	۹۰۰	۱۲۰۰
در حد زمینه	۳۳۳۰	۳۰۰۰	۲۷۲۱	۱۰۰۰	۱۳۲۰


شکل ۸. طیف انرژی یون‌های نیتروژن ثبت شده بر روی آشکارساز پلی کربنات با ضخامت‌های مختلف صافی آلومینیمی؛ از راست به چپ به ترتیب، ۱۰۰۰، ۱۳۲۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ نانومتر.

شکل ۹. طیف انرژی یون‌های نیتروژن به دست آمده با استفاده از آشکارساز پلی کربنات.

شکل ۱۰. توزیع زاویه‌ی یون‌های نیتروژن به دست آمده با استفاده از آشکارساز پلی کربنات.

شکل ۸. نمونه‌ای از ثبت ردپاها در آشکارساز پلی کربنات با ضخامت‌های مختلف صافی آلومینیمی؛ از راست به چپ به ترتیب، ۱۰۰۰، ۱۳۲۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ نانومتر.

نرم‌افزار، حداقل انرژی یون نیتروژن ثبت شده 900 keV بود. در این آزمایش ۶ فیلم بدون پرتودهی برای محاسبه‌ی زمینه سونش شد که میانگین ردپاهای زمینه $(239 \pm 42.9 \text{ cm}^{-2})$ به دست آمد. تعداد ردپاهای شمارش شده بر روی فیلم‌های با ضخامت بیشتر از 3000 نانومتر نیز در حد زمینه بود. مطابق جدول ۱، با در نظر گرفتن حداکثر ضخامت مناسب صافی برای ثبت ذرات (2630 نانومتر)، حداکثر انرژی یون نیتروژن ثبت شده 2800 keV بود. با توجه به آزمایش‌های انجام شده محدوددهی مناسب ضخامت صافی آلومینیم برای ثبت یون‌های نیتروژن در دستگاه SBUMTPF۱ بین 1200 تا 2630 نانومتر به دست آمد. با در نظر گرفتن داده‌های تجربی (جدول ۲) و محاسبه‌ی برد یون‌های نیتروژن با استفاده از کد SRIM (جدول ۱) طیف انرژی یون‌های نیتروژن تولید شده در دستگاه SBUMTPF۱ مطابق شکل ۹ به دست آمد.

شکل ۱۰. توزیع زاویه‌ای یون‌های نیتروژن تولید شده در دستگاه SBUMTPF۱ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۰، چگالی یون‌ها در محدوده‌ی زاویه‌ی 30 درجه نسبت به محور آند دارای یک قله است.



مرجع‌ها

1. M. Sadowski, J. Z. E. Rydygier, J. Kucinski, Ion Emission from Plasma Focus Facilities, Plasma Physics and Controlled Fusion, 30 (1988) 763-769.
2. A. Malinowska, A. Szydowski, M. J. Sadowski, J. Zebrowski, M. Scholz, M. Paduch, M. Jaskola, A. Korman, Measurements of fusion-produced protons by means of SSNTDs, Radiation Measurements, (2008) Doi: 10.1016/J.Radmeas (2008) 04-041.
3. R. Antanasijevic, Z. Maric, J. Vukovic, B. Grabez, D. Djordjevic, D. Joksimovic, V. Udovic, A. Dragic, J. Stanojevic, R. Banjanac, D. Jokovic, Angular distribution of protons emitted from the hydrogen plasma focus, Radiation Measurements, 36 (2003) 327-328.
4. M. Sadowski, A. Szydowski, M. Scholz, H. Kelly, A. Marquez, A. Lepone, Application of solid-state nuclear track detector for studies of fast ion beams within PF-1000 and other plasma-focus facilities, 31 (1999) 185-190.
5. H. Rouhi, Determination of density distribution of nitrogen and deuterium ions in SBUMTPF1 plasma focus device, using P.C. nuclear track detector, 18th Iranian Nuclear Conference (1390).
6. B. Shirani, F. Abbasi, Construction and experimental study of a 2.5kJ, Simply configured, mather type plasma focus device, Brazilian Journal of Physics, 40 (June 2010).

۴. نتیجه‌گیری

توزیع انرژی و توزیع زاویه‌ای یون‌های نیتروژن در دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF1 (۱۰/۴μF، ۲۵kV، ۳/۲kJ) با استفاده از آشکارساز ردپای هسته‌ای حالت جامد از نوع پلی‌کربنات مورد بررسی قرار گرفت. گاز نیتروژن با فشار ۰/۵mbar به دستگاه با ولتاژ کاری ۲۳kV تزریق شد. طیف انرژی یون‌های نیتروژن با استفاده از چگالی ردپاهای ثبت شده در آشکارساز و نرم‌افزار SRIM به دست آمد. برای رسیدن به این هدف، با استفاده از روش لایه‌نشانی، صافی آلومینیمی به ضخامت‌های ۱۶۵، ۶۲۵، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۲۰، ۱۶۵۰، ۲۰۰۰، ۲۳۵۰، ۲۶۳۰ و ۳۰۰۰ نانومتر بر روی فیلم‌های پلی‌کربنات نشانده شد. بعد از پرتودهی و سونش فیلم‌ها، محدوده‌ی ضخامت مناسب صافی آلومینیمی برای تعیین انرژی یون‌های نیتروژن تولید شده در دستگاه SBUMTPF1 در گستره‌ی ۱۲۰۰ تا ۲۶۳۰ نانومتر به دست آمد. این محدوده‌ی ضخامت، متناظر با محدوده‌ی انرژی ۹۰۰ تا ۲۸۰۰keV یون‌های نیتروژن بود. با استفاده از نتایج به دست آمده و منحنی توزیع زاویه‌ای یون‌ها می‌توان دریافت که در دستگاه SBUMTPF1 توزیع زاویه‌ای یون‌ها یکنواخت نبوده و در محدوده‌ی زاویه‌ی ۳۰ درجه نسبت به محور آند، چگالی یون‌ها دارای یک قله بود. البته این عدم یکنواختی به عامل‌های مختلفی چون انرژی دستگاه، ولتاژ کاری دستگاه، گاز عملیاتی، شکل آند و ... بستگی دارد و در نتیجه، در دستگاه‌های مختلف پلاسمای کانونی می‌تواند نتایج مختلفی داشته باشد.

پی‌نوشت‌ها

۱. Physical Vapor Deposition (PVD)
۲. Sputtering
۳. Nuclear Track Counting (NTC)