پنجمین کنفرانس ملی خلأ ایران
پژوهشکده علوم و صنایع غذایی
مشهد مقدس ۱۰ و ۱۱ اسفند ۹۰
Archive of SID

طراحی و ساخت چشمه پلاسمای کاتد داغ

سلحشور، مصطفی؛ زواریان، علی‌اصغر؛ صالحی، مریم

گروه پژوهشی فناوری خلأ، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی شریف، تهران.

چکیده

در این پژوهش با طراحی و ساخت یک نمونه چشمه پلاسمای کاتد داغ، وضعیت تشکیل پلاسما در خلأ بالا (محدوده 10^{-3}تا 10^{-4}میلی‌بار) و با اعمال میدان مغناطیسی توسط مجموعه آهنرباهای دائمی مورد مطالعه قرار گرفت. تأثیر پارامترهای کنترلی مختلف مانند فشار کاری، پتانسیل تخلیه الکتریکی و جریان اعمالی به چشمه الکترون (رشته تنگستن) بر چگالی پلاسما بررسی گردید. با اعمال ولتاژ تخلیه الکتریکی ۵۷ ولت و میدان مغناطیسی حدود ۲۰۰ گاؤس و عبور جریان ۱۸ آمپر از رشته کاتد، مقدار بیشینه ۱۳۰ میلی‌آمپر برای جریان پلاسما در فشار $1/2\times10^{-4}$ میلی‌بار بدست آمد.

Design and construction of hot cathode plasma source

Salahshoor, Mostafa†; Zavarian, Ali Asghar; Salehi, Maryam

Vacuum Technology Research Group, ACECR-Sharif University Branch, Tehran.

Abstract

In this research, a hot cathode plasma source was made and the plasma formation in high vacuum regime (range of 10^{-3} to 10^{-4} mbar) was studied by applying magnetic field by means of permanent magnets assembly. Effects of various control parameters such as working pressure, discharge voltage and external electron source (hot tungsten filament) on plasma density were investigated. At a discharge voltage of 57 volt, magnetic field of about 200 Gauss, filament current of 18 ampere, 130 miliampere for discharge current was obtained at a pressure of 1.2×10^{-4} mbar.

PACS No. 52.80.Vp

مقدمه

رایج‌ترین روش مورد استفاده جهت تولید و نگهداری پلاسما برای کاربردهای تحقیقاتی و صنعتی، اعمال میدان الکتریکی به یک گاز خنثی است. وقتی الکترون‌ها یا فوتون‌ها با انرژی مناسب به اتم‌ها و مولکول‌های خنثی برخورد می‌کنند یون‌ها و الکترون‌های دیگر را بوجود می‌آورند. الکترون‌های ثانوی به همراه الکترون‌های اولیه، دوباره در میدان الکتریکی شتاب می‌گیرند و خود موجب یونش اتم‌های دیگر می‌شوند.این فرآیند به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا اینکه یک بهمن الکترونی بمباران کننده اتم‌های خنثی ایجاد می‌گردد و کسری (کمتر از یک درصد) از اتم‌های گاز، یونیزه می‌شوند و تخلیه الکتریکی اتفاق می‌افتد و پلاسما تشکیل می‌گردد[۱-۳].

با توجه به بسامد میدان الکتریکی اعمالی، نحوه‌ی جفت شدن میدان الکتریکی با پلاسما و سازوکار گرمایش پلاسما، این چشمه های پلاسمایی به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند. هر یک از این چشمه‌ها بسته به نیاز و شرایط، دارای پیکربندی‌های مختلفی هستند. در برخی از این چشمه‌ها الکترودها می‌توانند خارج از محفظه‌ی پلاسما قرار گیرند و در بعضی از آنها از دو روش، به صورت همزمان، برای جفت کردن میدان الکتریکی استفاده می‌شود. در غیاب میدان مغناطیسی طول پویش آزاد الکترون‌ها از

www.SID.ir

Archive of SID

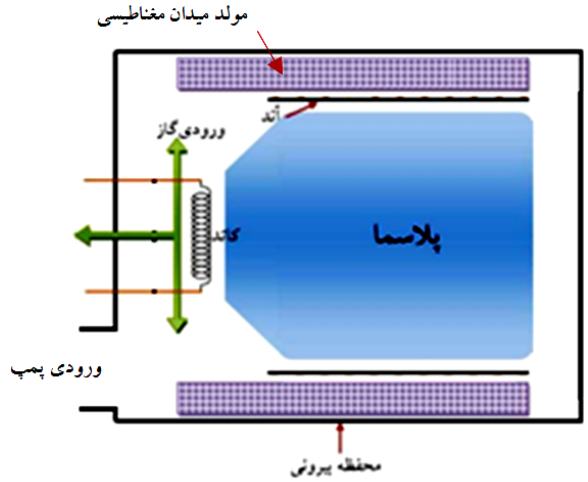
مرتبه ابعاد محفظه است و درنتیجه احتمال برخورد الکترون با اتم-های گاز ناچیز بوده و بازدهی یونش کم است. از این رو در برخی از چشمه‌ها، از یک میدان مغناطیسی خارجی نیز استفاده می‌گردد. فشار کاری چشمه‌های پلاسما شامل گستره‌ی وسیعی از فشارهای زیر پاسکال تا فشارهای اتمسفری است. در چشمه‌های متعارف تحت خلأ، پلاسما در فشارهای ۰/۰۱ تا چند میلی‌بار ایجاد می‌شود و اگر فشار محفظه پلاسما به خارج از این محدوده برده شود، پلاسما خاموش می‌شود. اما در موارد خاصی مانند سامانه چشمه یون نیاز است که پلاسما در خلأ بالا ایجاد شود[٤]. یک چشمه پلاسمای خلأ بالا، چشمه‌ای است که بتواند در فشارهای کمتر از ۰/۰۱ میلی‌بار پلاسمای پایدار ایجاد نماید.

در این پژوهش ابتدا یک چشمه پلاسمای کاتد داغ طراحی و ساخته شد. پس از آن با اعمال میدان مغناطیسی، پلاسما در خلأ بالا تشکیل گردید و با تغییر پارامترهای کنترلی مختلف (شامل جریان رشته، ولتاژ پلاسما و فشار) وضعیت تشکیل پلاسما و جریان تخلیه در چشمه پلاسما بررسی شد.

در این مقاله ابتدا پیکربندی چشمه پلاسمای ساخته شده و چیدمان آزمایش تشریح گردیده است. تأثیر پارامترهای کنترلی مانند فشار، جریان اعمالی به چشمه الکترون، ولتاژ تخلیه الکتریکی و اعمال میدان مغناطیسی بر تشکیل پلاسما بررسی و روی آن بحث شده است. در پایان نتیجه‌گیری ارائه شده است.

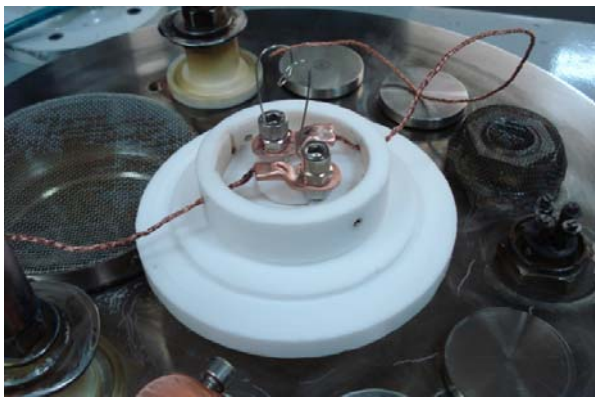
پیکربندی چشمه پلاسما و چیدمان آزمایش

چشمه پلاسمای مورد استفاده در این پژوهش از نوع کاتد داغ است که طرحواره آن در شکل ۱ نشان داده شده است. در چشمه پلاسمای ساخته شده از یک رشته تنگستن به عنوان کاتد استفاده گردید که روی یک پایه تفلونی نصب شد و روی صفحه کار دستگاه خلأ قرار گرفت(شکل۲). دو انتهای این رشته از طریق دو فیدتروی الکتریکی به پایانه‌های یک منبع تغذیه AC متصل گردید. یک استوانه استیل زنگ‌نزن به عنوان آند روی پایه تفلونی قرار داده شد، طوری که رشته کاتد در مرکز فضای استوانه آند جای گرفت.



شکل۱ : طرحواره چشمه پلاسمای کاتد داغ

آند از طریق یک فیدتروی ولتاژ بالا به پایانه مثبت یک منبع تغذیه جریان مستقیم متصل گردید. پایانه منفی این منبع تغذیه نیز به یکی از پایه‌های کاتد متصل گردید. در اطراف آند، یک مجموعه یکپارچه از آهنرباهای دائمی قرار داده شد. این آهنرباها با ایجاد میدان مغناطیسی درون آند، طول پویش الکترون‌های گسیلی از کاتد به سمت آند را افزایش داده و با افزایش احتمال یونش باعث سهولت در تشکیل پلاسما می‌شوند. شکل۳ تصویری از چشمه پلاسمای مورد آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۲: کاتد و پایه نگهدارنده آن

www.SID.ir

Archive of SID

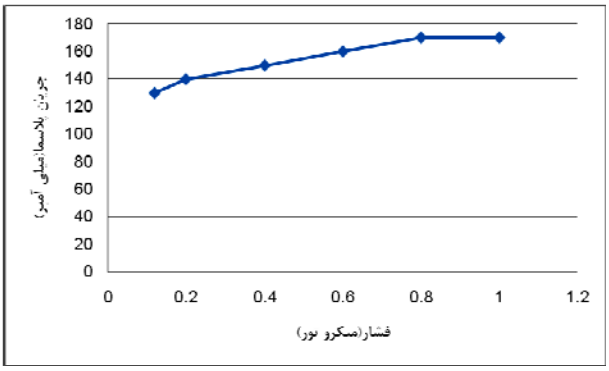
شکل۳ : تصویری از چشمه پلاسمای مورد آزمایش

نتایج تجربی و بحث

در این پژوهش، ابتدا با اعمال میدان مغناطیسی به یک چشمه پلاسمای کاتد داغ، پلاسما در خلأ بالا تشکیل شد. پس از آن با تغییر پارامترهای کنترلی مختلف (شامل جریان رشته، ولتاژ پلاسما و فشار) وضعیت تشکیل پلاسما و جریان تخلیه در چشمه پلاسما بررسی گردید.

الف- تأثیر فشار کاری بر چگالی پلاسما

در آزمایش اول برای جریان رشته ۱۸ آمپر و ولتاژ تخلیه ۵۷/۲ ولت، تأثیر افزایش فشار محفظه بر جریان تخلیه الکتریکی بررسی شد و نتایج منحنی شکل ٤ بدست آمد.

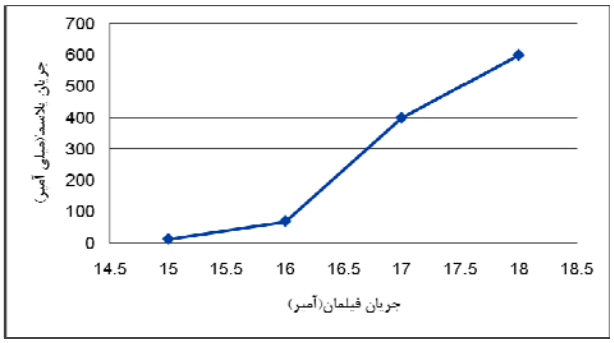


شکل٤ : تغییرات جریان پلاسما با تغییر فشار

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش فشار از $۱/۲\times۱۰^{-٤}$ تا $۱۰^{-۳}$میلی‌بار، جریان پلاسما از ۱۳۰ به ۱۷۰ میلی‌آمپر افزایش یافته است. چون با افزایش فشار محفظه، تعداد مولکول‌های گاز زیاد می‌شود، در نتیجه احتمال برخورد الکترون‌های گسیلی از کاتد با آنها بیشترشده و باعث افزایش درجه یونش گاز و تشکیل پلاسمای چگال‌تر می‌شود.

ب- تأثیر چشمه الکترون بر چگالی پلاسما

در آزمایش دوم در فشار ۲×۱۰^{-۳} میلی‌بار و ولتاژ تخلیه ٤٥ ولت، تأثیر افزایش جریان رشته کاتد بر جریان پلاسما بررسی شد. نتایج این آزمایش در منحنی شکل ۵ آمده است.



شکل۵ : تغییرات جریان پلاسما با تغییر جریان رشته

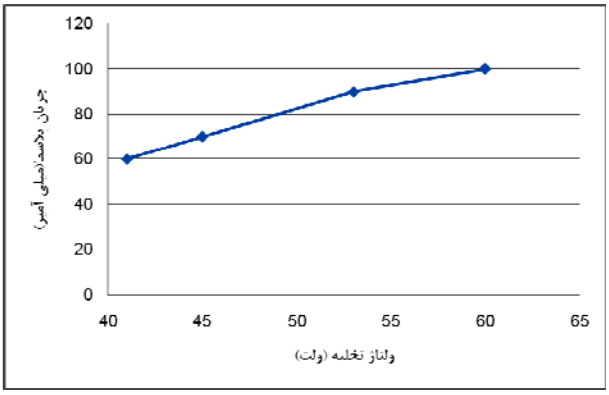
همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش جریان رشته از ۱۵ تا ۱۸ آمپر، جریان پلاسما از صفر به ٦۰۰ میلی‌آمپر افزایش یافته است. علت آن است که عبور جریان متناوب از رشته تنگستن باعث ایجاد الکترون‌های آزاد می‌شود. اعمال اختلاف پتانسیل بین رشته و آند، باعث شارش این الکترون‌ها به سمت آند می‌شود. با افزایش تعداد الکترون‌های گسیلی از کاتد، احتمال برخورد آنها با مولکول-های گاز افزایش یافته و چگالی پلاسما بیشتر می‌شود.

ج- تأثیر ولتاژ تخلیه بر چگالی پلاسما

در این آزمایش در فشار ۲×۱۰^{-۳} میلی‌بار و جریان رشته ١٦ آمپر، تأثیر افزایش پتانسیل تخلیه بر جریان پلاسما بررسی شد. نتایج این آزمایش در منحنی شکل ٦ نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل٦ : تغییرات جریان پلاسما با تغییر ولتاژ تخلیه

همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش ولتاژ تخلیه از ٤٠ تا ٦٠ ولت جریان پلاسما از ٦٠ به ١٠٠ میلی‌آمپر افزایش یافته است. این نتیجه دور از انتظار نیست چون هر چه اختلاف پتانسیل اعمالی بین آند و کاتد بیشتر باشد، انرژی بیشتری به ذرات باردار اعمال شده و درجه یونش گاز بیشتر و چگالی پلاسما افزایش می‌یابد.

د- تأثیر میدان مغناطیسی بر چگالی پلاسما

در این پژوهش، با اعمال جریان ١٨ آمپر به رشته کاتد و ولتاژ تخلیه ٥٠٠ ولت، بدون اعمال میدان مغناطیسی در فشارهای کمتر از ۲×۱۰^{-۳} میلی‌بار پلاسما تشکیل نشد. اما با اعمال میدان مغناطیسی تقریبی ٢٠٠ گاؤس در مرکز آند، مشاهده گردید که در فشارهای پایین (کمتر از ۱×۱۰^{-۳} میلی‌بار) نیز پلاسما ایجاد می‌شود. در واقع اعمال میدان مغناطیسی، باعث افزایش طول پویش آزاد الکترون‌ها و در نتیجه افزایش احتمال یونش گاز می‌شود. لازم به ذکر است که در شدت میدان مذکور یون‌ها به علت جرم بسیار بزرگترشان نسبت به الکترون‌ها، توسط میدان مغناطیسی محبوس نمی‌شوند.

نتیجه‌گیری

تشکیل پلاسما در خلأ بالا بدون اعمال میدان مغناطیسی خارجی امکان‌پذیر نیست. همچنین حضور کاتد داغ برای ایجاد تعداد الکترون‌های کافی برای یونش گاز بسیار مؤثر است. بنابراین اعمال میدان مغناطیسی و حضور چشمه الکترون خارجی دو شرط اصلی ایجاد پلاسما در خلأ بالا هستند. علاوه بر این طبق نتایج آزمایش‌های گزارش شده، با افزایش هر یک از پارامترهای کنترلی شامل فشار محفظه، جریان رشته تنگستن و ولتاژ تخلیه الکتریکی، جریان تخلیه الکتریکی و در نتیجه چگالی پلاسما افزایش می‌یابد.

مرجع‌ها

[١] سلحشور، مصطفی؛ «اصول طراحی و شبیه‌سازی منبع پلاسمای ECR»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، شهریور ١٣٨٧، صفحه‌های ١ تا ١٧.

[٢]. H. Conrads and M. Schmidt; "Plasma generation and plasma sources"; *Plasma Sources Sci. Technol*., Vol. **9**, (2000) 441–454.

[٣]. A. Ganguli and R. D. Tarey; "Understanding plasma sources"; *CURRENT SCIENCE*, Vol. **83**, No. **3**, (2002) 279-290.

[٤]. J.J. Cuomo; S. M. Rossnagel and H.R. Kaufman; *"Handbook of Ion Beam Processing"*; NOYES PUBLICATIONS (1989) 1-20.

† salahshoor@jdsharif.ac.ir

www.SID.ir