Archive of SID

مقاله نامه هفتمین کنفرانس ملّی خلأ ایران
دانشگاه مازندران
۲۰و۲۱ آبان ۱۳۹۴

Formatted: Font: 14 pt, Font color: Text 1, Complex Script Font: 16 pt

تأثیر انرژی یون بر جریان پرتوی یک چشمه یون بسامد رادیوئی

صالحی، مریم؛ حمزه، کوروس؛ سلحشور، مصطفی؛ زواریان، علی‌اصغر
گروه پژوهشی فناوری خلأ، جهاد دانشگاهی صنعتی شریف، تهران

چکیده

در یک چشمه پرتو یون پهن، پتانسیل توری‌ها نقش کلیدی در استخراج یون‌ها از پلاسما دارد. در این مقاله، تأثیر میزان پتانسیل توری‌ها بر جریان پرتوی یون خروجی و جریان اتلافی، در یک چشمه یون بسامد رادیویی، بصورت تجربی بررسی شده است. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش اختلاف پتانسیل توری‌ها، جریان اتلافی کاهش و درنتیجه جریان پرتوی یون افزایش می‌یابد.

Effect of the Ion energy on the Ion beam current in a RF Ion source

Salehi, Maryam; Hamzeh, Kooros; Salahshoor, Mostafa; Zavarian, Ali Asghar
Vacuum Research Group, ACECR-Sharif University Branch, Tehran

Abstract

In a broad beam ion source, the potential of grids plays a key role in extracting the ions from the plasma. In this paper, the effects of grids potentials on the current of extracted ion beam have been experimentally investigated in a rf ion source. Experimental results show that by increasing the potential difference between the grids, the wasted current is decreased which in turn leads to increase of the ion beam current.

PACS No.

مقدمه

جریان و انرژی دو مشخصه اصلی پرتو در یک چشمه یون هستند. امکان کنترل مستقل این دو مشخصه، مزیت اصلی چشمه‌های یون توری‌دار است. در حالی که انرژی یون منحصراً با ولتاژ اعمالی به توری‌ها کنترل می‌شود، میزان جریان پرتو یون عمدتاً با تغییر چگالی پلاسما تنظیم می‌گردد. با این حال، افزایش اختلاف پتانسیل توری‌ها نیز باعث افزایش محدود جریان یونی می‌گردد. به عبارت دقیق‌تر، افزایش چگالی پلاسما باعث افزایش قابل‌توجه تعداد یون‌های گسیلی از پلاسما و افزایش اختلاف پتانسیل توری‌ها موجب کاهش محدودیت ناشی از پدیده بارفضا بر جریان استخراجی می‌شود. انتخاب میزان جریان و انرژی پرتو و روش کنترل آنها، به کاربرد موردنظر بستگی دارد. برای مثال، در کاربردهایی مانند تمیزکاری لایه یا کمک به فرآیند لایه‌نشانی که جریان بالای یون‌های کم‌انرژی موردنیاز است، منحصراً با افزایش چگالی پلاسما، می‌توان به جریان یونی لازم دست یافت [۱-۴].

در این مقاله، ضمن بازبینی فیزیک و عملکرد چشمه یون بسامد رادیویی، تأثیر پتانسیل توری‌ها بر جریان پرتوی یون، در یک نمونه چشمه یون ساخت گروه پژوهشی فناوری خلأ جهاد دانشگاهی صنعتی شریف، بررسی شده است. در این پژوهش، در هر آزمایش، فشار گاز و توان اعمالی (و در نتیجه چگالی پلاسما) ثابت بوده است.

فیزیک و عملکرد چشمه یون بسامد رادیوئی

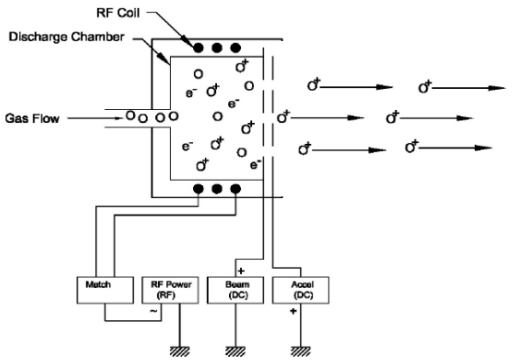
تولید و استخراج یون دو جنبه اصلی در طراحی و ساخت یک چشمه یون است. یون‌ها در یک چشمه پلاسما تولید می‌شوند که در آن بخشی از اتم‌های گاز تحت تأثیر میدان‌های الکتریکی و

www.SID.ir

Archive of SID

مغناطیسی به یون‌ها و الکترون‌ها تجزیه می‌شود. برای بسیاری از کاربردهای چشمه یون، پلاسما در فشار حدود 10^{-3} میلی‌بار تا 10^{-4} میلی‌بار ایجاد می‌گردد. یون‌های تولیدشده به کمک یک سامانه استخراج الکتروستاتیک، شامل چند توری فلزی که در فواصل و پتانسیل‌های مشخصی نسبت به هم قرار دارند، از پلاسما استخراج شده و تحت تأثیر این اختلاف پتانسیل‌ها شتاب گرفته و به صورت پرتو یون در می‌آیند [۳].

در چشمه‌های یون بسامد رادیوئی، معمولاً از اعمال جریان بسامد رادیوئی به یک پیچه استوانه‌ای (سولنوئید) که محفظه پلاسما را احاطه کرده است، برای تخلیه الکتریکی گاز استفاده می‌شود. به پلاسمایی که با این روش تولید می‌شود پلاسمای جفت‌شده القائی یا ICP (Inductively Coupled Plasma) گفته می‌شود [۴]. شکل ۱ طرحواره یک چشمه یون بسامد رادیوئی با چشمه پلاسمای جفت‌شده القایی را نشان می‌دهد.



شکل ۱ : طرحواره چشمه یون بسامد رادیوئی.

هرچه جریان بسامد رادیوئی گذرنده از پیچه بیشتر باشد، میدان مغناطیسی ایجاد شده در داخل محفظه پلاسما افزایش می‌یابد. تغییرات زمانی این میدان مغناطیسی محوری، باعث ایجاد یک میدان الکتریکی سمتی متناوب بسامد رادیوئی می‌شود. میدان الکتریکی القایی باعث نوسان الکترون‌های آزاد با همان بسامد در گاز داخل محفظه پلاسما می‌شود. برخورد این الکترون‌های پرانرژی با مولکول‌های گاز، موجب یونش گاز و ایجاد الکترون‌های آزاد بیشتر و تشدید این فرآیند نهایتاً منجر به تشکیل پلاسمای پایدار می‌گردد.

سامانه استخراج چشمه‌های یون اغلب از چند توری که در پتانسیل‌های متفاوت قرار دارند، تشکیل می‌شود. توری‌ها، ورق‌های فلزی یا گرافیتی نازک با قطر چند سانتیمتر تا چند ده سانتیمتر و با ضخامت کمتر از ۲ میلیمتر هستند که تعداد زیادی روزنه کوچک (با قطر کمتر از ۲ میلیمتر) در آنها ایجاد شده است. توری اول که توری محافظ نامیده می‌شود در تماس با پلاسما قرار می‌گیرد. توری دوم یا شتاب‌دهنده در مجاورت توری محافظ (با فاصله‌ای کمتر از ۳ میلیمتر) طوری قرار می‌گیرد که روزنه‌های دو توری دقیقاً روبروی هم باشند [۳].

در چشمه یون بسامد رادیوئی، توری اول در پتانسیل مثبت قرار دارد. پلاسمای ایجاد شده از امواج بسامد رادیوئی، در تماس با این توری، تقریباً با آن هم‌پتانسیل می‌شود. پتانسیل توری اول، انرژی پتانسیل یون‌ها و در نتیجه انرژی پرتوی یون را مشخص می‌کند. توری دوم در پتانسیل منفی قرار داده می‌شود. الکترون‌های حرارتی پلاسما (با دمای چند الکترون‌ولت) قادر به عبور از سد پتانسیل بین دو توری (نوعاً چند صد ولت) نیستند. اما یون‌هایی که با سرعت بوهم فرصت فرار از سد پتانسیل غلاف را پیدا می‌کنند در اثر میدان الکتریکی بین دو توری شتاب گرفته و با عبور از روزنه‌های توری اول از پلاسما خارج می‌شوند. به منظور ثابت ماندن بار الکتریکی پلاسما، به تعداد یون‌های خارج‌شده، الکترون‌های پلاسما به سمت توری اول که پتانسیل مثبت دارد جذب شده و به صورت جریان منبع تغذیه پرتو به زمین شارش می‌یابند. ذرات خنثای گاز نیز تحت فرآیند پخش (ناشی از ناهمگنی چگالی)، از روزنه‌های توری اول به فضای بین دو توری منتقل می‌شوند. در فضای بین دو توری، یون‌ها در مواجهه با پتانسیل منفی توری دوم به سمت آن کشیده شده و به صورت پرتو از آن خارج می‌شوند. تعدادی از یون‌ها در اثر برخورد مستقیم با توری دوم، با جذب الکترون از آن، خنثی می‌شوند. تعداد این یون‌های اتلافی، جریان قرائت‌شده از منبع تغذیه شتابدهنده را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

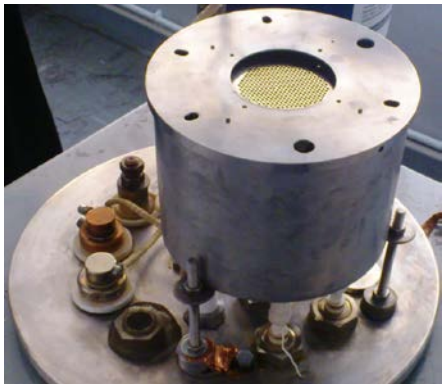
Archive of SID

Formatted: Font: 14 pt, Font color: Text 1, Complex Script Font: 16 pt

انرژی جنبشی یون‌های پرتوی خروجی برابر اختلاف پتانسیل دو توری و انرژی پتانسیل آنها برابر پتانسیل منفی توری دوم خواهد بود. بخشی از انرژی جنبشی پرتو، صرف غلبه بر سد پتانسیل بین توری دوم و هدف خواهد شد.

نتایج تجربی و بحث

در این پژوهش با طراحی و ساخت یک چشمه یون بسامد رادیوئی و انجام آزمون‌هائی به بررسی اثر پتانسیل توری‌های محافظ و شتابدهنده بر روی جریان استخراجی و اتلافی از این نوع چشمه یون پرداخته شده است. شکل ۲ چشمه یون مورد استفاده در این آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

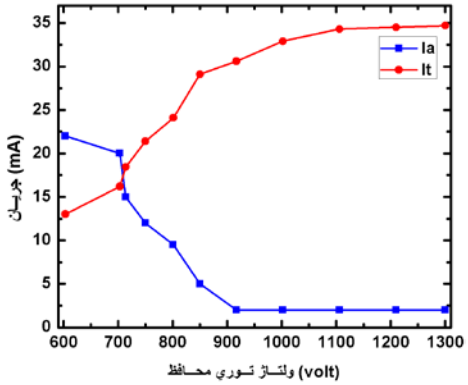


شکل۲ : چیدمان چشمه یون در داخل محفظه خلأ

برای ایجاد خلأ نهایی (۳×۱۰^{-۵} میلی‌بار)، از سامانه خلأ EDS100 ساخت همین گروه پژوهشی، استفاده شد. از یک منبع تغذیه بسامد رادیوئی با بسامد ۱۳/۵۶ مگاهرتز و یک تطبیق‌دهنده امپدانس برای ایجاد پلاسمای جفت‌شده القایی استفاده شد. دو منبع تغذیه جریان مستقیم یکی متصل به توری اول برای تأمین پتانسیل پرتو و دیگری برای ایجاد پتانسیل منفی در توری شتابدهنده استفاده شد. یک صفحه گرد استیل به قطر ۱۵ س.م. در فاصله ۱۷ س.م. از توری‌ها به عنوان هدف قرار داده شد. این صفحه توسط یک آمپرمتر به زمین متصل بود و جریان گذرنده از آن به عنوان جریان پرتو در محل هدف در نظر گرفته شد.

الف- تأثیر پتانسیل توری اول بر جریان پرتو یون

در شکل ۳، تأثیر پتانسیل توری اول بر مقدار جریان اندازه-گیری‌شده در محل هدف و جریان اتلافی در توری دوم نشان داده شده است. در این آزمایش، فشار گاز آرگون در محفظه بر روی $۳/۵ \times ۱۰^{-۴}$ میلی‌بار، توان بسامد رادیوئی در حدود ۱۵۰ وات و ولتاژ توری دوم برابر ۱۲۰- ولت تنظیم شد. جریان منبع تغذیه پرتو که متصل به توری اول است و کل جریان استخراج شده از پلاسما را نشان می‌دهد نیز در بازه ۴۳-۴۶ میلی‌آمپر بود.



شکل ۳: تأثیر پتانسیل توری اول بر جریان پرتوی یون(It) و جریان اتلافی(Ia).

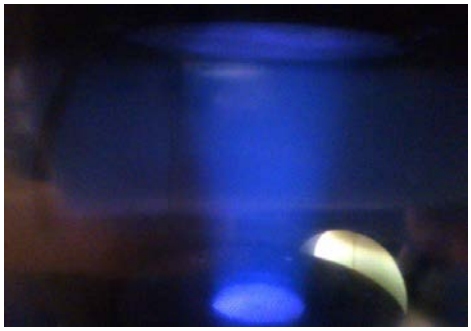
مطابق شکل ۳، با افزایش ولتاژ توری اول از ۶۰۰ تا ~~۱۱۰۰~~ ۱۳۰۰ ولت، جریان پرتوی یون، It (منحنی قرمز)، افزایش یافته و پس از آن تقریباً ثابت می‌ماند. جریان اتلافی، Ia (منحنی آبی)، نیز با افزایش پتانسیل تا ۹۲۰ ولت، کاهش یافته و سپس ثابت می‌ماند. جریان الکتریکی پرتو متناسب با سرعت یون‌های پرتو است. هرچه اختلاف پتانسیل بین دو توری بیشتر باشد، میدان الکتریکی شدیدتری بین دو توری ایجاد شده و سرعت یون‌ها و درنتیجه جریان پرتو افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش اختلاف پتانسیل بین دو توری، توازی بردار میدان الکتریکی بین آن‌ها با محور روزنه‌ها بهبود می‌یابد. از این رو، راستای حرکت یون‌ها به امتداد عمود بر توری‌ها نزدیک شده و یون‌های وارده از روزنه‌های توری اول مستقیماً از روزنه‌های توری دوم خارج می‌شوند. این امر باعث کاهش برخورد یون‌ها به توری دوم و افزایش جریان پرتوی یون خروجی می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

در شکل ۳، ثابت ماندن جریان هدف و جریان توری دوم در پتانسیل‌های بالاتر نشان‌دهنده بیشینه جریان پرتو قابل‌استخراج و کمینه جریان اتلافی است.

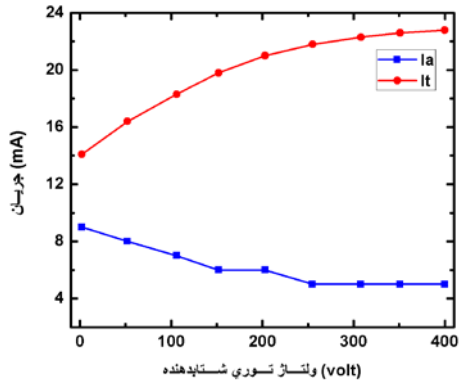
در شکل ۴، تصویر تابش پرتوی یون در این آزمایش، مربوط به بیشینه جریان در هدف، نشان داده شده است.



شکل۴ : پرتوی یون استخراج شده از چشمه یون بسامد رادیوئی.

ب- تأثیر پتانسیل توری دوم بر جریان پرتو یون

نقش اصلی پتانسیل توری دوم ممانعت از بازگشت الکترون‌ها به داخل چشمه یون است. این الکترون‌ها ممکن است الکترون‌های ساطع‌شده از خنثی‌ساز یا الکترون‌های ایجادشده در اثر برخورد پرتوی یون با گاز زمینه باشد. معمولاً برای افزایش انرژی یون و یا افزایش جریان پرتوی یون، از افزایش پتانسیل منفی این توری خودداری می‌شود و پتانسیل آن در حدی نگه داشته می‌شود که فقط از بازگشت الکترون‌ها جلوگیری کند. با این وجود در ادامه، با ثابت نگه داشتن ولتاژ توری اول، تأثیر پتانسیل توری دوم بر جریان پرتوی یون و جریان اتلافی بررسی شد (شکل ۵). در آزمایش شکل ۵، فشار محفظه بر روی $۶/۶ \times ۱۰^{-۴}$ میلی‌بار، توان بسامد رادیوئی در حدود ۱۰۰ وات و ولتاژ توری اول برابر ۴۵۷ ولت تنظیم شد. جریان منبع تغذیه پرتو نیز در بازه ۵۸-۵۲ میلی-آمپر بود. در شکل ۵، با افزایش پتانسیل توری دوم تا ۴۰۰ ولت، جریان هدف (منحنی قرمز) ابتدا از ۱۴ به ۲۳ میلی‌آمپر رسیده و سپس تقریباً ثابت می‌ماند. جریان اتلافی (منحنی آبی) نیز با افزایش پتانسیل، از ۹ به ۵ میلی‌آمپر کاهش یافته و سپس ثابت می‌ماند.



شکل ۵: تأثیر پتانسیل توری دوم بر جریان پرتوی یون(It) و جریان اتلافی(Ia).

رفتار جریان پرتو و جریان اتلافی در شکل‌های ۴ و ۵ تقریباً یکسان است. با توجه به افزایش جزئی جریان منبع تغذیه پرتو، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش اختلاف پتانسیل دو توری تأثیر قابل‌توجهی بر جریان قابل استخراج از پلاسما ندارد بلکه موجب کاهش جریان اتلافی و افزایش جریان پرتو در محل هدف می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مبانی فیزیکی چشمه یون بسامد رادیوئی بازبینی شد. با استفاده از چشمه یون ساخت جهاد دانشگاهی صنعتی شریف، تأثیر پتانسیل توری‌ها بر جریان‌های هدف و شتابدهنده بررسی شد. مشاهده شد با افزایش اختلاف پتانسیل دو توری، جریان قابل استخراج از پلاسما تغییر نمی‌کند، اما جریان اتلافی در توری شتابدهنده کاهش و جریان پرتو در هدف افزایش می‌یابد.

مرجع‌ها

[1] A. Anders; “Plasma and ion sources in large area coating: A review”; *Surface and Coatings Technology*, 200 (2005) 1893–1906.
[2] J. J. Cuomo, S. M. Rossnagel and H. R. Kaufman; “*Handbook of Ion Beam Processing Technology*”, William Andrew, (1989).
[3] H. Zhang; “*Ion Sources*”, Science Press, (1999).
[4] I. G. Brown; “*The Physics and Technology of Ion Sources*”, 2nd Edition, Wiley-VCH, (2004).

Formatted: Font: 14 pt, Font color: Text 1, Complex Script Font: 16 pt

www.SID.ir