مقاله نامه ششمین کنفرانس ملّی خلأ ایران
دانشگاه شهید چمران اهواز
۱۶ و ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۲

بررسی مشخصات تخلیه الکتریکی پلاسمای سرد DC با استفاده از پروب لانگمور

عراقی، فرناز ؛ درانیان ، داود

مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

در این تحقیق تجربی با استفاده از یک پروب لانگمویر تغییرات دانسیته و دمای حاصل از تخلیه الکتریکی مستقیم در نقاط مختلف محفظه تخلیه در فشار های گوناگون اندازه گرفته شده و در تغییرات آن بحث می شود. نتایج به دست آمده نشان می دهد که دمای الکترونی پلاسما و همچنین اختلاف پتانسیل تخلیه الکتریکی با افزایش فشار کاهش می یابد ولی دانسیته الکترون با افزایش فشار افزایش می یابد. نتایج اندازه گیری های فوق با استفاده از نظریه تخلیه الکتریکی در پلاسمای غیر تعادلی توضیح داده شده است.

Characterization of Cold DC Plasma with Langmuir probe

FarnazAraghi, Davoud Dorranian

Plasma Physics Research Center, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

In this experimental work the variation of plasma electrons density and temperature is measured with Langmuir probe at different pressures .The discharge potential is determined and the effect of pressure on plasma characteristics is investigated. Results show that localized electron temperature and discharge potential are decreased with increasing the pressure, while electron density is decreased.

مقدمه

مشخصات پلاسما در تخلیه الکتریکی از اساسی ترین موارد مربوط به گسترش این کاربردها بوده که در این جا مورد بحث قرار می گیرد. مهمترین موضوعات این مبحث تخلیه انرژی درخشان است. اطلاق این نام به پلاسما به این خاطر صورت گرفت که در اغلب موارد تخلیه الکتریکی پلاسما با گسیل نور مرئی همراه است. در این نوع تخلیه ابتدا الکترون ها از میدان الکتریکی اعمالی توسط پتانسیل خارجی انرژی می گیرند و در فرایند برخورد می توانند برخی اتم های خنثی را یونیزه کنند و برخی دیگر را برانگیخته کنند بازگشت ذرات برانگیخته به حالت پایه با گسیل نور مرئی همراه است.

در این مقاله با ثابت نگه داشتن جریان پلاسما و تغییر پتانسیل اعمالی و فشار محفظه پلاسما به بررسی تغییرات دما و انرژی الکترونها توسط پروب لانگمویر پرداخته ایم و سعی کرده ایم در هر قسمت صحت نتایج را تفسیر کنیم.

Archive of SID

www.SID.ir

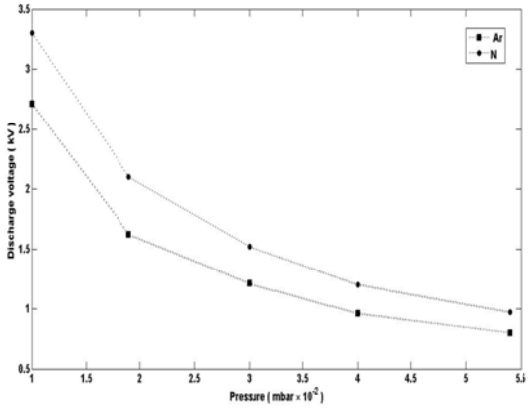
روش و جزییات تحقیق

محفظه الکتریکی به همراه پروب لانگمویر استفاده شده در آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. محفظه تخلیه، استوانه ای از جنس کوارتز به طول ٦٠ سانتی متر و قطر داخلی ١٦/٤ سانتی متر می باشد که توسط یک سیستم خلا متشکل از یک پمپ مکانیکال و یک پمپ توربو تا فشار پایه $۵/٤\times۱۰^{-٤}$ میلی بار تخلیه می شود. دو سر محفظه و همچنین دریچه ها توسط درپوش های آلومنیومی پوشانده شده است. الکترودها از جنس استیل به صورت دایره ای به قطر ١٤/٥ سانتی متر و به فاصله ٢٢ سانتی متر از یکدیگر درون محفظه قرار دارند. که یکی به قطب منفی منبع تغذیه مستقیم و دیگری به زمین متصل شده است. برای اندازه گیری پارامترهای پلاسما ، یک پروب لانگمویر قابل حرکت در امتداد محور محفظه تخلیه طراحی شده است که سر آن از جنس تنگستن می باشد و با زاویه چرخش مناسب نوک آن می تواند در محور محفظه تا دیواره های آن قرار بگیرد. مدار تغذیه کننده پروب متشکل از یک منبع تغذیه مستقیم با ولتاژ متغییر بین ٤٦+ تا ٤٦- ولت می باشد و جریان آن توسط یک آمپر سنج اندازه گیری می شود.

در محاسبه روابط مشخصات پلاسما رابطه زیر اولین و مهمترین رابطه است.

$$ln|I_{probe}-I_{sat}|=\frac{q}{k_BT_e}(v_{bias}-v_f)+constant \quad (۱)$$

که در آن q بار الکترون و k_B ثابت بولتزمن و v_f پتانسیل شناور پلاسما است و I_{sat} را جریان اشباع یونی می گویند. می توان رابطه (۱) را به صورت تابعی از پتانسیل در نظر گرفت و آن را به



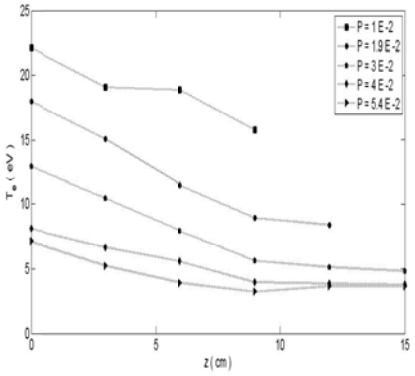
شکل۲) ولتاژتخلیه گاز آرگون و نیتروژن در ۵ فشار کاری

صورت f(V)=mx+b نمایش داد . بنابر این شیب این خط متناسب با دمای الکترونی پلاسما است.

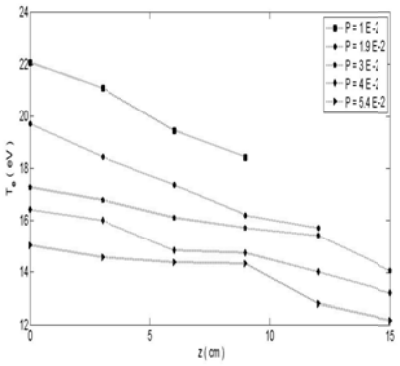
اندازه گیری مشخصات پلاسما در ۵ فشار مختلف ۰/۰۱ ، ۰/۰۱۹ ، ۰/۰۳ ، ۰/۰٤ و ۰/۰۵٤ میلی بار برای گاز آرگون و نیتروژن انجام شده است. اندازه گیری ها در ٦ نقطه از محور z به عنوان محور تقارن ستون تخلیه انجام می شود که در اینجا $z = 0$ مکان الکترود متصل به قطب مثبت یا آند می باشد که البته در پتانسل صفر است.$z = ۲۲$ مکان الکترود متصل به منبع تغذیه یا کاتد قرار دارد. اندازه ها هم بر حسب سانتی متر است. همه اندازه گیری ها روی محور z انجام شده است. در تمام این اندازه گیری ها جریان پلاسما ثابت و مساوی ۵ میلی آمپر نگه داشته می شود. این جریان از طریق اندازه گیری پتانسیل یک مقاومت ۱۰ کیلو اهمی که بین منبع تغذیه و کاتد قرار دارد اندازه گیری می شود.

در شکل ۲ تغییرات ولتاژ تخلیه الکتریکی در ۵ فشار مختلف نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش فشار ولتاژ کمتری برای انجام تخلیه الکتریکی در جریان ثابت لازم است. در این نمودار با افزایش فشار محفظه ولتاژ لازم برای تخلیه الکتریکی بصورت نمایی کاهش می یابد. همانطور که نشان داده شده است ، نمودار تغییرات ولتاژ تخلیه الکتریکی گاز نیتروژن بالاتر از نمودار تغییرات ولتاژ تخلیه الکتریکی گاز آرگون قرار دارد. در حقیقت گاز نیتروژن نسبت به گازآرگون که یک گاز نجیب است دارای الکترونگاتیوی بالاتری است . این بدین معناست که اتم های نیتروژن وقتی در مجاورت ولتاژ الکتریکی قرار می گیرند علاوه بر اینکه الکترون از دست داده و تبدیل به یون های مثبت می شوند. برخی از اتم ها میل به جذب الکترون دارند و با جذب الکترون

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳) دمای پلاسما آرگون در ۵ فشار کاری



شکل ٤) دمای پلاسما نیتروژن در ۵ فشار کاری

تبدیل به یون منفی می شوند. در شکل ۳ و٤ به ترتیب دمای پلاسمای آرگون و نیتروژن بر حسب eV نمایش داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، دمای الکترونی پلاسما از کاتد به سمت آند افزایش می یابد. در قسمت ۱۱ تا ١٦ سانتی متری از سطح آند این افزایش بسیار کند صورت گرفته است. چرا که در این ناحیه چگالی یون ها زیاد است و تعداد بالای برخوردهای الکترون – یون باعث می شود تا الکترون ها نتوانند به انرژی بالایی دست پیدا کنند. همچنین چون این ناحیه در آغاز قرار گرفتن الکترون ها در میدان الکتریکی است، دمای آن ها هنوز به رشد قابل توجهی نرسیده است. پس از گذشتن از نقطه ۱۱ سانتی متری تعداد برخورد ها کاهش یافته و الکترون ها در میدان الکتریکی یکنواخت بین الکترودها به سمت آند شتاب می گیرند. به این ترتیب شاهد افزایش تقریبا خطی با دمای آنها هستیم.

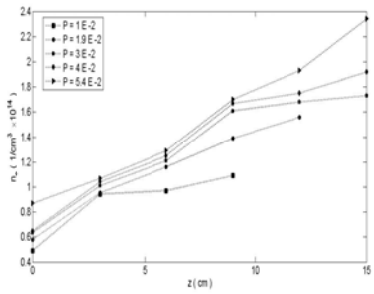
از طرفی با افزایش فشار گاز درون محفظه تخلیه الکتریکی، دانسیته افزایش یافته و بنابراین دما کاهش می یابد. این موضوع، هم در پلاسمای نیتروژن و هم در پلاسمای آرگون مشهود است. در فشار های پایین تر در نواحی کمتر از ۱۱ سانتی متری به دلیل گسترش ناحیه تاریک کاتدی پلاسمایی وجود ندارد این مسایل عینا" در پلاسمای نیتروژن به چشم می خورد. با این تفاوت که به طور کلی در پلاسمای نیتروژن الکترون ها پر انرژی ترند. این موضوع به دو دلیل می تواند رخ دهد. چون گاز نیتروژن یک گاز الکترونگاتیوی است، تمایل به جذب الکترون ها و تشکیل یون های منفی دارد. و این یون های منفی باعث کاهش تعداد الکترون ها می شود. لذا دانسیته الکترونی پایین آمده و به طور کلی برخورد ها کمتر می شود. در شکل ۵ و ٦ به ترتیب دانسیته پلاسما ی آرگون و نیتروژن دیده می شود. پس از بدست آوردن مقادیر مربوط به دمای الکترونی، محاسبه چگالی الکترونی کار ساده ای است و کافی است دما های بدست آمده را در رابطه (۲) قرار دهیم.

$$n_e = \frac{I_{sat}}{q\, A_s \exp\left(-\frac{1}{2}\right)} \sqrt{\frac{m}{q\, T_e}} \quad (۲)$$

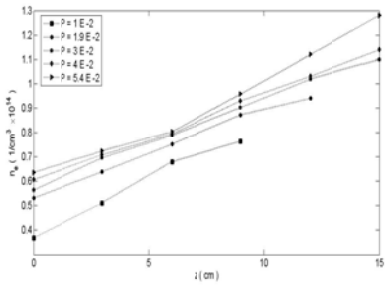
که در آن I_{sat} جریان اشباع یونی است که به ازای فشارهای مختلف مقادیر مختلفی می گیرد. A_s مساحت سر پروپ است و مقدار آن برای این آزمایش برابر cm^2 ۰/۲۸۲٦ اندازه گیری شده است. q مقدار بار الکترون که برابر $۱/٦۰۲ \times ۱۰^{-۱۹}$ کولن است و m جرم مولکولی گاز مورد استفاده می باشد و در این آزمایش برای گاز آرگون جرم مولکولی برابر $٦/٦۲ \times ۱۰^{-۲٦}$ کیلوگرم و برای گاز نیتروژن جرم مولکولی برابر $۲/۳۲ \times ۱۰^{-۲٦}$ کیلو گرم در نظر گرفته شده است. T_e دمای الکترونی پلاسماست که قبلا حساب شد. با قرار دادن پارامتر های بالا در رابطه (۲) می توانیم چگالی الکترونی هر یک از پلاسما ها را در ۵ نقطه اندازه گیری شده و برای پنج فشار کاری محاسبه کنیم. روند تغییرات دانسیته الکترونی برای هریک از پلاسماها در شکل ۵ و ٦ رسم شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵)دانسیته پلاسما آرگون در ۵ فشار کاری



شکل ٦) دانسیته پلاسما نیتروژن در ۵ فشار کاری

همانطور که در شکل پیداست. با افزایش فشار گاز در محفظه تعداد الکترون ها افزایش می یابد که امری طبیعی است . با حرکت از سمت کاتد به آند نیز دانسیته الکترونی روی محور استوانه کم شده است که به دلیل افزایش انرژی جنبشی آن ها و تفرقشان به نقاط غیر محوری محفظه می باشد. همان طور که از فرمول دیده می شود دما و دانسیته نسبت عکس با هم دارند و این به این دلیل است که هرچقدر دمای الکترونی پلاسما بالا برود جنبش الکترون ها و اتم ها هم بالاتر می رود و در نتیجه در حجم معین تعداد کمتری از ذرات جای می گیرند . بنابراین طبق تعریف دانسیته ، دانسیته پلاسما در آن ناحیه کاهش می یابد. از آنجایی که در استوانه تخلیه الکتریکی از کاتد به آند دما زیاد می شود انتظار می رود که این روند برای دانسیته عکس باشد. یعنی از کاتد به آند دانسیته کاهش بیابد

نتیجه گیری

در این تحقیق آزمایشگاهی مشاهده شد که در محاسبه دمای پلاسما، هرچقدر از سمت ولتاژ منفی تر به سمت ولتاژ مثبت تر پیش می رویم دما بالاتر و هرچه فشار گاز درون محفظه بیشتر می شود دما پایین تر می آید. ولی برای چگالی الکترونی پلاسما این روند عکس است. یعنی هر چقدر از پتانسیل منفی تر به سمت پتانسیل مثبت تر پیش می رویم، چگالی کمتر می شود و هرچه فشار درون محفظه بیشتر می شود چگالی بالاتر می رود. و این به این علت بود که هرچه از کاتد دور می شویم الکترون ها تحت تاثیر میدان الکتریکی شتاب می گیرند و سرعت آنها بالاتر رفته بنابراین انرژی جنبشی آنها و در نتیجه دما بالاتر می رود وهمچنین هرچقدر فشار بالاتر رفته تعداد الکترون ها نیز بالا می رود. از آنجایی که دما با دانسیته نسبت عکس دارد این روند برای دانسیته معکوس است. از طرفی در پلاسمای نیتروژن الکترون ها پر انرژی ترند. این موضوع به دو دلیل می تواند رخ می دهد. چون گاز نیتروژن یک گاز الکترونگاتیو است، تمایل به جذب الکترون ها و تشکیل یون های منفی دارد. و این یون های منفی باعث کاهش تعداد الکترون ها می شود. لذا دانسیته الکترونی پایین می آید که این نتایج در تطبیق خوبی با نتایج تئوری است.

مرجع‌ها

[1]Chen, F.F., (1994), *Introduction to Physic and Controlled Fusion*
[2]Dorranian , D., (2010) ,*Density and Temperature profile of Argon Plasma in a Plasma Device*, Journal of Theoretical and Applied Physics 4-1 , 27-31
[3]Fridman , A, (2002), *Plasma Chemistry*, (2008), Cambridge University Press.
[4]Hutchinson, I.H., (2000), *Principles of Plasma Diagnostics*, Cambridge university press
[5]Liberman, . M. A., Lichtenberg ,A. J., (2005), *Principles of plasma discharge and materials processing*, Wiley, New York
[6]Merlino, R.L., (2007), *Understanding Langmuir Probe Current-Voltage Characteristics*, Am. J. Phy 75(12)
[7]Miyamoto, K., (2005), *fundamental of plasma physicsand controlled fusion*, Springer, Berlin
[8]Reece Roth, J., (1995), *Industrial Plasma Engineering*, Institute of Physics Publishing.
[9]Yasserian, K., (2009), *Langmuir Probe Measurements in a Cylindrical Magnetron Discharge in the Presence of Ar/O_2*, Japanese Journal of Applied Physics 48

Archive of SID

www.SID.ir