



بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰



طیف سنجی گسیل نوری برای مطالعه خواص پلاسما و مقایسه با مقادیر پروب دوگانه لانگمویر ساخته شده

مهسا، محمدپور کرمانی^۱، علیرضا، گنجوئی^۲، حمیدرضا، مشایخی^۳، امیر، فلاح^۴، محمد نصیر، رستمی راوری^۵،
سعید، کریمیان خانامان^۶.

^{۱و۳} دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان. mahsa75.mohammad.pur@gmail.com, mashhr@uk.ac.ir

^{۲و۵} گروه پژوهشی لیزر، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و
فناوری پیشرفته، کرمان. alirezaganjovi@gmail.com, mnrravar@chmail.ir

^۴ دانشگاه جامع علمی کاربردی، موسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد دانشگاهی، مرکز کرمان.
falahatamir@yahoo.com

^۶ گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ولیعصر (عج)، رفسنجان، کرمان. saeed.karimian1373@gmail.com

چکیده- در این مقاله خواص فیزیکی تخلیه پلاسما در یک پلاسمای تابان DC ساخته شده با گاز نئون مورد بررسی قرار گرفته است، علاوه بر این
از طیف سنجی نوری برای اندازه‌گیری دمای پلاسما در چند ولتاژ مختلف استفاده شده است، طیف انتشار به دست آمده آنالیز شده و دمای پلاسما
در بازه‌های ولتاژ با فاصله ۳۲۰ ولتی محاسبه شده. مقادیر به دست آمده با مقادیر پروب دوگانه‌ی لانگمویر ساخته شده مقایسه شده است. که
مقادیر محاسبه‌ای از طیف سنجی بسیار نزدیک به مقادیر به دست آمده از پروب هستند.
کلید واژه- پروب دوگانه لانگمویر، پلاسمای تخلیه تابان DC، طیف سنجی گسیل نوری، گاز نئون

Optical emission spectroscopy to study the properties of plasma compare with **developed** double Langmuir probe

Mahsa Mohammadpoorkermany¹, Alireza Ganjovi², Hamidreza Mashayekhi³, Amir Falahat⁴,
Mohammadnasir Rostamiravari⁵, Saeed Karimiankhanaman⁶.

^{1,3} Faculty of Physics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman.

mahsa75.mohammad.pur@gmail.com, mashhr@uk.ac.ir

^{2,5} Laser Research Group, Institute of Science and High Technology and Environmental
Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman. alirezaganjovi@gmail.com,
mnrravar@chmail.ir

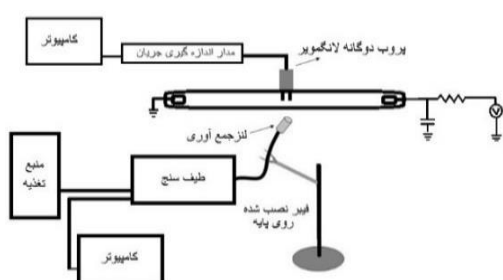
⁴ University of Applied Science and Technology, Academic Center for Education, Culture and
Research, kerman center. falahatamir@yahoo.com

⁶ Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Valiasr University, Rafsanjan, Kerman.
saeed.karimian1373@gmail.com

Abstract- In this paper, the physical properties of plasma discharge in a DC **glow** plasma made with neon gas are investigated. In addition, optical spectroscopy has been used to measure plasma temperatures at several different voltages. The obtained emission spectrum is analyzed and the plasma temperature is calculated at voltage intervals with a distance of 320 volts. The values obtained are compared with the values of the Langmuir dual probe made. The calculated values of the spectroscopy are very close to the values obtained from the probe.

Keywords: Langmuir double probe, DC **glow** plasma, optical emission spectroscopy, neon gas.

با سیم تنگستن با روکش عایق شیشه است که قطر سیم گوشگر یک میلی‌متر با طول بدون عایق ۱۰ میلی‌متری است. این پروب بطور مستقیم وارد محیط پلاسما شده‌است. پلاسما در شرایط PLTE و در تعادل ماکسول-بولتزمن برقرار است. یک شماتیک از ابزار راه‌اندازی آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: تنظیم آزمایشی و توصیف وسایل.

پروب ساخته شده دارای مدار الکترونیکی شامل یک مدار تغذیه، نوسان‌ساز و مقاومت سنجش جریان است که از دو سر این مقاومت جریان محاسبه شده. پس از اتمام بررسی‌های ساخت از پروب داده برداری شده این پروب دارای یک منحنی مشخصه‌ی جریان-ولتاژ (فرمول (۱)) است. [2]

$$I = I_0 \tanh\left(\frac{V}{2T_e}\right) \quad (1)$$

که I جریان خوانده شده از پروب، I_0 جریان اشباع الکترونی، V ولتاژ پروب و T_e دما الکترونی است.

تجزیه و تحلیل نتایج

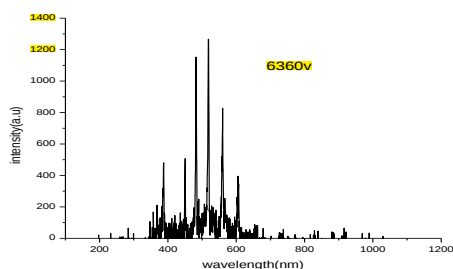
در برخورد الکترون به گونه‌های پلاسما، آن‌ها به سطوح اتمی یا مولکولی بالاتر برانگیخته و فوتون را در طول موج‌های خاص ساطع کرده و این فرایند با ثبت طیف‌های گسیلی شناسایی و تحلیل شده است. برای دمای پلاسما به طور همزمان تعداد زیادی نسبت شدت خط را از طریق طیف‌های نئون اندازه‌گیری کرده و در طول موج ۳۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر

مقدمه

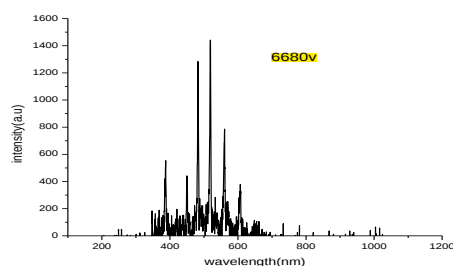
مدت هاست که تخلیه تابان dc در محدوده‌ی فشار پایین برای لیزرهای گازی، لامپ‌های فلئورسنت و در بسیاری از صنایع مانند رسوب لایه‌های نازک، اچینگ و اصلاح سطح مواد به کار گرفته می‌شوند. تخلیه‌ی dc شامل دو الکتروند آند و کاتد متصل به زمین و ستون مثبت به یک مدار خارجی متصل شده. محفظه‌ی تخلیه glow یکی از مولدهای پلاسما یا راکتورهای تشکیل دهنده‌ی پلاسما در گاز کم فشار است و با ولتاژ نسبتاً کم بین دو الکتروند درون گاز تخلیه ایجاد می‌شود. برخی از مطالعات در رژیم پلاسمای تخلیه‌ی تابان انجام شده، این نوع پلاسما کاربردهای بسیاری در صنایعی مانند محیط زیست، پزشکی، درمان سطح، علوم پزشکی، کنترل آلودگی، لیزرهای گازی، منبع نور، سنتز شیمیایی و ساخت مدار الکترونیکی دارد. [1]

چیدمان آزمایش

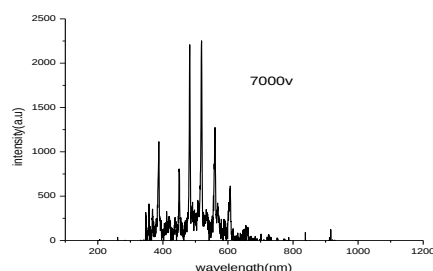
در این آزمایش، در داخل محفظه خلا با فشار ثابت در حدود ۲ mmHg و ولتاژ بین دو الکتروند متغیر از ۵۷۲۰ تا ۷۶۴۰ ولت تنظیم شده و تخلیه تابان در یک محفظه استوانه‌ای با قطر ۱۱ میلی‌متر و طول ۳۲ سانتی‌متر ایجاد و روش طیف سنجی گسیل نوری و روش تشخیص پروب دوگانه لانگمویر به صورت مقایسه‌ای برای تعیین دما به کار گرفته شده‌است. روش طیف سنجی گسیل نوری (OES) ارائه شده در این مطالعه با هدف تعیین دما پلاسما صورت گرفته‌است. OES با استفاده از نرم‌افزار spectrasuite و طیف سنج Ocean Optic انجام شده که توسط شرکت سازنده کالیبره شده است و دارای وضوح طیفی ۰,۰۳۵ نانومتر است. روش تشخیصی دوم پروب دوگانه لانگمویر بوده که ساخته شده



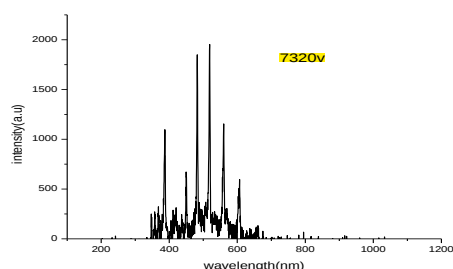
شکل ۴: طیف انتشار پلاسمای تخلیه تابان DC گاز نئون در ولتاژ ۶۳۶۰ ولت



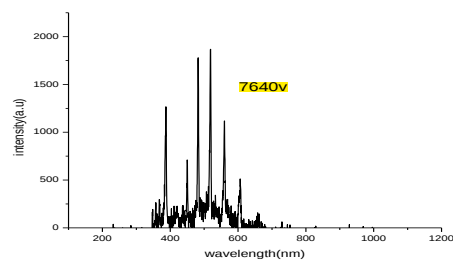
شکل ۵: طیف انتشار پلاسمای تخلیه تابان DC گاز نئون در ولتاژ ۶۶۸۰ ولت



شکل ۶: طیف انتشار پلاسمای تخلیه تابان DC گاز نئون در ولتاژ ۷۰۰۰ ولت



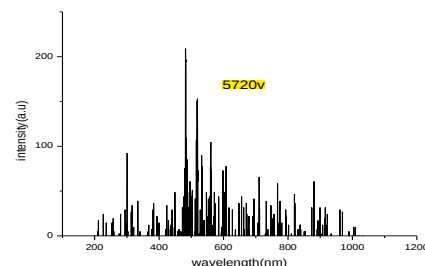
شکل ۷: طیف انتشار پلاسمای تخلیه تابان DC گاز نئون در ولتاژ ۷۳۲۰ ولت



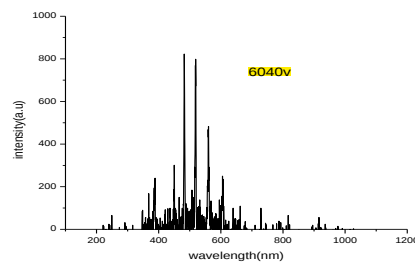
به دست آورده که وابستگی نسبت شدت خط به دما نیز به صورت عددی محاسبه شده است. [3] با فرض اینکه سطوح بالای انتقال اتمی انتخاب شده در شرایط PLTE هستند می توان از روش معمول نمودار بولتزمن برای محاسبه دمای تحریک استفاده کرد. رابطه ی زیر احتمال انتقال نسبی دو خط مختلف را بیان می کند: [4]

$$\ln\left(\frac{I\lambda_k}{A_k g_k}\right) = -\frac{E_K}{k_B T_e} + \ln\left(\frac{N_0 h c}{4\pi U_s}\right) \quad (2)$$

جایی که I شدت کل، A_k احتمال انتقال، g_k تبهگنی سطح بالایی، λ_k طول موج، E_K انرژی برانگیختگی، k_B ثابت بولتزمن، c سرعت نور، U_s تابع تقسیم آن گونه در دمای الکترونی پلاسما (T_e) و h ثابت پلانک است. در اینجا، تاثیر ولتاژ بر روی دمای به دست آمده از طیف سنجی و دمای محاسبه شده توسط پروب بین ۵۷۲۰ تا ۷۶۴۰ ولت مقایسه شده اند. طیف های به دست آمده در شکل های ۲ تا ۸ از تخلیه تابان گاز نئون آورده شده است. ولتاژ در هر بار اندازه گیری به اندازه ۳۲۰ ولت تغییر داده شده است.



شکل ۲: طیف انتشار پلاسمای تخلیه تابان DC گاز نئون در ولتاژ ۵۷۲۰ ولت



شکل ۳: طیف انتشار پلاسمای تخلیه تابان DC گاز نئون در ولتاژ ۶۰۴۰ ولت

شکل ۱۲: مقادیر دما (برحسب eV) در هر ولتاژ (برحسب V). نقاط آبی از طیف سنجی و نقاط قرمز از پروب دوگانه لانگمویر به دست آمده‌اند.

برطبق محاسبات، دمای به دست آمده از طیف سنجی در ولتاژهای مختلف با دمای محاسبه شده از پروب در همان مقادیر ولتاژ، تقریب خوبی داشته‌اند. برای مثال دمای محاسبه شده در ۷۰۰۰ ولت در طیف‌سنجی برابر با ۱ الکترون ولت و توسط پروب برابر با ۱،۱۶ الکترون ولت محاسبه شده است.

نتیجه‌گیری

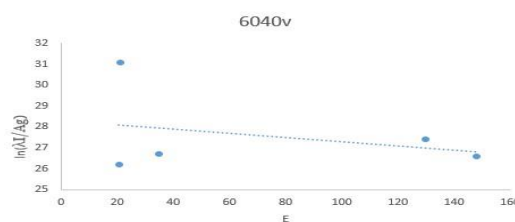
در این مطالعه نتایج طیف سنجی پلاسمای گاز نئون در فشار ۲mmHg در بازه‌ی ولتاژ ۵۷۲۰ تا ۷۶۴۰ ولت مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر به دست آمده جهت صحت داده‌ها با پروب دوگانه لانگمویر مقایسه شد که مقادیر تقریب خوبی داشتند. با افزایش ولتاژ در پلاسمای گاز نئون افزایش دما نیز در پلازما مشاهده شد.

مرجع‌ها

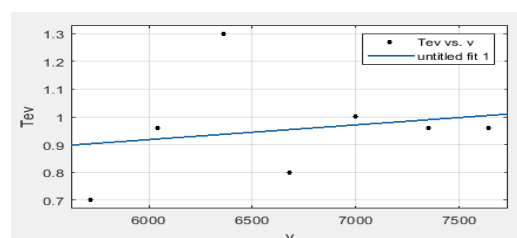
- [1] S. A. Ghasemi, A. Mazandarani, S. Shahshenas, "Double Langmuir probe measurement of plasma parameters in a dc glow discharge", Iran. J. Phys. Res., Vol. 18, No. 3, 2018.
- [2] S. Jin Oh, I. Jin Choi, J. Yong Kim, C. Wook Chung, "Double probe diagnostics based on harmonic current detection for electron temperature and electropositive ion flux measurement in RF plasmas" Meas. Sci. Technol. 23 (2012) 085001 (6pp)
- [3] S. Iordanova, I. Koleva, "Optical emission spectroscopy diagnostics of inductively-driven plasmas in argon gas at low pressures", Spectrochimica Acta Part B 62 (2007) 344-356
- [4] A. Falahat, A. Ganjovi, M. Taraz, M. N. Rostami Ravari, A. Shahedi, "Optical characteristics of a RF DBD plasma jet in various Ar/O2 mixtures", Pramana – J. Phys. (2018) 90:27

شکل ۸: طیف انتشار پلاسمای تخلیه تابان DC گاز نئون در ولتاژ ۷۶۴۰ ولت

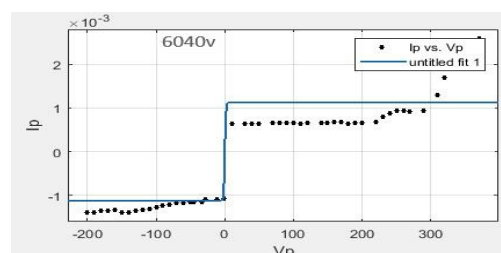
تمام طیف‌ها با حذف نور بک‌گراند رسم شده‌اند.



شکل ۹: نمودار $\ln\left(\frac{I}{I_{AKBK}}\right)$ برحسب E_K . شیب نمودار مشخص کننده دما طبق فرمول (۲) برای یک ولتاژ ۶۰۴۰ ولت.



شکل ۱۰: تغییرات دما برحسب افزایش ولتاژ توسط طیف سنجی در پلازما به صورت صعودی بوده.



شکل ۱۱: نمودار جریان ولتاژ پروب دوگانه لانگمویر در ولتاژ ۶۰۴۰ ولت.

در محاسبه‌ی دمای الکترونی برطبق داده‌های پروب لانگمویر، جریان و ولتاژ به دست آمده از پروب توسط نرم افزار متلب رسم شده و با فیت کردن فرمول (۱) بر داده‌ها مقدار جریان اشباع و دمای الکترونی از نمودار محاسبه می‌شود. برای مثال شکل ۱۱ رسم نمودار جریان-ولتاژ به دست آمده از پروب در ولتاژ پلاسمایی ۶۰۴۰ ولت است.

