بررسی سیستم استخراج دیودی و تریودی در چشمه‌ی یونی پنینگ

مسلمی پورکانی،محسن* [۱] – ابراهیمی بسابی،احسان[۱] – سوهانی،مسلم[۱]

[۱] دانشگاه صنعتی شاهرود ، دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای ، گروه فیزیک هسته‌ای

چکیده:

در این مقاله پارامترهای مختلف سیستم استخراج جهت بهینه‌سازی قطر و شدت نشر باریکه‌ی خروجی از یک چشمه‌ی یونی پنینگ بررسی شده است. سیستم استخراج دیودی و تریودی در نرم افزار CST شبیه‌سازی و مقایسه‌ای بین این دو سیستم انجام شده است. زاویه بهینه برای الکترود شتابدهنده همچنین فاصله و پتانسیل بهینه‌ی اعمال شده به الکترودها در هر یک از آرایش‌ها با مقایسه‌ی نتایج شبیه سازی بدست آمده است.

کلمات کلیدی: *چشمه‌ی یونی پنینگ، سیستم استخراج، نرم افزار CST .*

Study of the Diode and Triode Extraction System in a Penning Ion Source

Moslemi Poorkani Mohsen[1]; Ebrahimibasabi Ehsan[1]; Sohani Moslem[1]

[1] Department of Physics, Shahrood University of Technology, Shahrood

Abstract

In this paper, various parameters of the extraction system are investigated to optimize the diameter and intensity of the extracted beam from a Penning ion source. Diode and Triode extraction system in CST software is simulated and compared. The optimum angle for the accelerator electrode, as well as the distance and optimal potential applied to the electrodes in each arrangement, is obtained by comparing the simulation results.

Keyword*: Penning Ion Source, Extraction System, CST Software*

مقدمه :

چشمه‌های یونی یک بخش ضروری از زنجیره شتابدهنده هستند. چشمه‌های یونی از جهات زیادی پارامترهای یک شتابدهنده را تعیین و تنظیم می‌کند. پیشرفت در کاربردهایی که در آن‌ها باریکه‌های یونی نقش تعیین کننده‌ای دارد مستلزم به روزرسانی چشمه‌های یونی و توسعه و بهینه‌سازی انواع جدید آن است[۱-۲]. چشمه‌های یونی از دو قسمت شکل‌گیری یون و سیستم استخراج تشکیل شده‌اند[۳]. سیستم استخراج وظیفه‌ی تطبیق یون خروجی از چشمه و سیستم انتقال باریکه را برعهده دارد[۴]. در یک چشمه یونی با سیستم استخراج مناسب موارد زیر باید در نظر گرفته شود. ۱) برای دستیابی به انرژی و جریان مطلوب باریکه را به خوبی متمرکز کند. ۲) بیشترین تعداد یون خروجی را داشته باشد و بواسطه‌ی برخوردهایی که در ناحیه‌ی استخراج اتفاق می‌افتد کمترین خسارت به الکترودها وارد شود، این باعث افزایش طول عمر و بازده الکتریکی الکترودها می‌شود. ۳) از لحاظ فنی درست طراحی شده باشد. یعنی خوب تراز شده باشد، به آسانی ساخته و نصب شود، تحمل اعمال ولتاژ بالا و بمباران ناشی از یون‌های عبوری را داشته باشد. ۴) یک سیستم تغذیه پایدار داشته باشد[۵-۶]. برای تزریق باریکه در شتابدهنده و کاربردهای دیگر مهم است که یون‌ها با کمترین زاویه‌ی پراکندگی خارج شوند[۴]. استخراج باریکه‌ی یونی از هر چشمه به پارامترهای زیادی همچون هندسه‌ی الکترودها، تعداد الکترودها، پتانسیل اعمال شده به الکترودها و حالت بار باریکه‌ی خروجی بستگی دارد[۶]. در استخراج باریکه از چشمه‌ی یونی، طراحی الکترودها به گونه ای در نظر گرفته می شود که میدان الکتریکی مناسبی برای استخراج و شتاب‌گرفتن یون‌ها را فراهم کند [۷]. در این مقاله دو نوع سیستم استخراج در چشمه‌ی یونی پنینگ شبیه‌سازی شده و تغییرات ولتاژ، هندسه الکترودها و فاصله بین آنها بر کمیت هایی مانند قطر باریکه، شدت نشر[۱] باریکه و چگالی جریان خروجی مورد بررسی قرار می گیرد.

معرفی انواع سیستم های استخراج

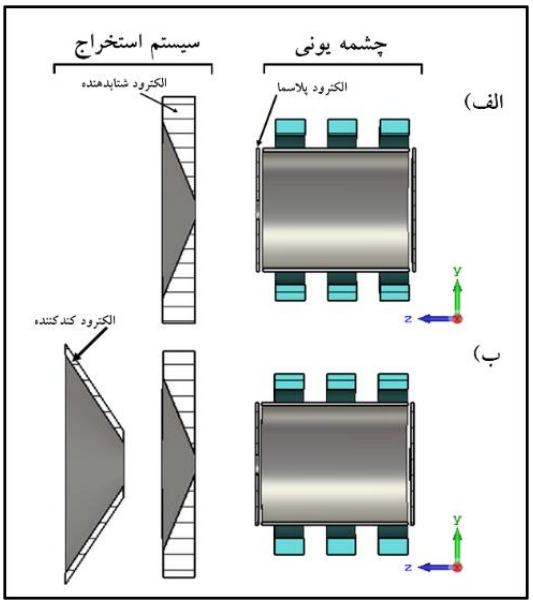
رایج‌ترین سیستم‌های استخراج در چشمه های یونی، سیستم‌های دو الکترودی(دیودی) و سه الکترودی (تریودی) هستند. سیستم استخراج دیودی شامل دو الکترود پلاسما و الکترود شتابدهنده می‌باشد. در سیستم استخراج تریودی یک الکترود کندکننده هم به سیستم اضافه می‌شود. الکترود کندکننده در پتانسیل کمتری نسبت به الکترود شتابدهنده قرار دارد. میدانی که بین این دو الکترود شکل می‌گیرد باعث کاهش سرعت و کاهش واگرایی ذرات می‌شود به همین دلیل این سیستم را شتابدهنده – کندکننده نیز می‌نامند [۸]. بسیاری از انواع چشمه‌های یونی از سیستم استخراج تریودی برای استخراج باریکه‌های با چگالی بالا و یا کم انرژی استفاده می‌کنند [۹-۱۰].

[۱] Emittance

شبیه‌سازی سیستم استخراج

امروزه تقریباً قبل از ساخت همه‌ی چشمه‌های یونی، سیستم اپتیکی آن با شبیه‌سازی مورد بررسی قرار می-گیرد [۶]. در این مقاله سیستم استخراج یک چشمه‌ی یونی پنینگ، در محیط ردیابی ذرات نرم افزار CST شبیه‌سازی شده است و پارامترهای قطر و شدت نشر باریکه و اختلاف پتانسیل بهینه اعمالی به الکترودها مورد بررسی قرار گرفته است.

حرکت ذرات بین الکترودهای استخراج تابع شکل میدان موجود در آن ناحیه است. این میدان بواسطه‌ی اعمال پتانسیل به الکترودها شکل گرفته و شکل خطوط میدان و سطوح هم پتانسیل تشکیل شده برای هدایت باریکه به خارج از چشمه‌ی یونی را هندسه‌ی الکترودهای استخراج تعیین می‌کند. شکل ۱ مقطعی از چشمه‌ی یونی پنینگ با سیستم های استخراج دیودی و تریودی را نشان می‌دهد. ارتفاع و قطر چشمه به ترتیب ۳۸ و ۴۵ میلی‌متر انتخاب شده است. فاصله‌ی الکترود شتابدهنده تا الکترود پلاسما ۳ میلی‌متر می باشد.

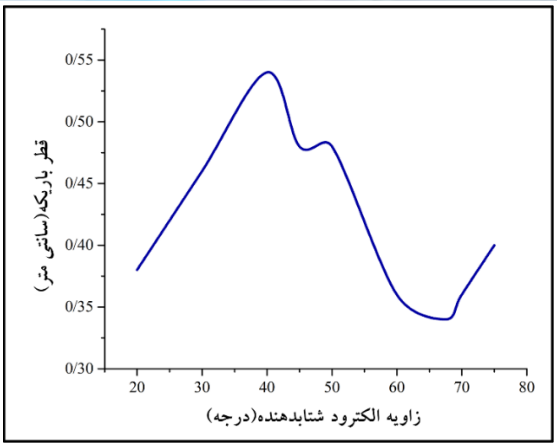


شکل ۱: ساختار چشمه با سیستم استخراج الف) دیودی و ب) تریودی

نتایج

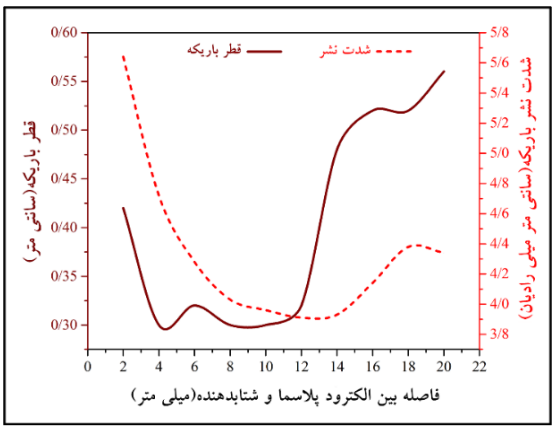
به طور کلی هدف از شکل دادن به الکترود شتابدهنده، استخراج باریکه با میزان شدت نشر(واگرایی باریکه) کم است. نیل به این هدف می تواند با زاویه دار کردن الکترود شتابدهنده صورت پذیرد. شکل ۲ شدت نشر باریکه بر حسب تغییر زاویه الکترود شتابدهنده را نشان می دهد. کوچکترین قطر و شدت نشر باریکه در زاویه‌ی ۶۷/۵ درجه ایجاد می‌شود. این زاویه به زاویه‌ی پیرس[۱] نیز معروف است.

[۱] Pierce



شکل ۲: شدت نشر و قطر باریکه بر حسب زاویه‌ی الکترود شتابدهنده

فاصله‌ی بین الکترود پلاسما و الکترود شتابدهنده هم بر روی شدت نشر و قطر باریکه موثر است. با تغییر فاصله الکترودهای مذکور از ۲ تا ۲۰ میلی‌متر می‌توان مقدار بهینه را تعیین کرد همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با انتخاب فاصله ۱۲ میلی متری بین الکترود پلاسما و شتابدهنده می توان به قطر ۰/۳۱ سانتی‌متری و شدت نشر۳/۹ سانتی‌متر میلی‌رادیان در فاصله‌ی ۱۳ میلی‌متری از روزنه‌ی استخراج دست یافت. پتانسیل الکترود شتابدهنده(الکترود استخراج) یکی دیگر از عواملی است که بر روی باریکه خروجی تاثیر می‌گزارد. نمودار سمت راست شکل ۴ قطر باریکه را با تغییر پتانسیل الکترود شتابدهنده برای دو سیستم دیودی و تریودی نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود با افزایش پتانسیل الکترود شتابدهنده، قطر باریکه نیز افزایش می یابد. با اضافه کردن الکترود کاهنده به ساختار دیودی می توان استخراج باریکه در سیستم تریودی نیز بررسی کرد. همانطور که مشاهده می شود این رفتار برای سیستم تریودی نیز مشابه می باشد. همچنین نتایج نشان می دهند قطر باریکه در سیستم تریودی در کل کمتر از سیستم دیودی است.

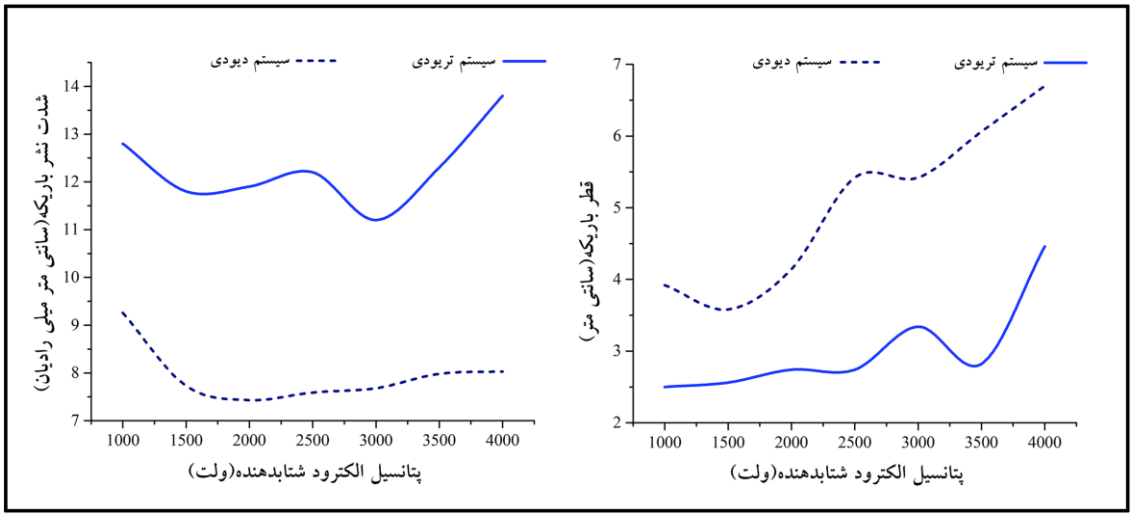


شکل ۳: قطر و شدت نشر باریکه به ازای فاصله‌های مختلف بین الکترود پلاسما و شتابدهنده

نمودار سمت چپ در شکل ۴ شدت نشر باریکه به ازای پتانسیل‌های مختلف الکترود شتابدهنده برای هر دو سیستم دیودی و تریودی نشان می‌دهد. با افزایش پتانسیل، واگرایی برای سیستم تریودی افزایش پیدا می‌کند،

در حالی که برای سیستم دیودی تقریباً یکسان می‌ماند. پس در شرایط عملکرد یکسان، اعمال پتانسیل در سیستم تریودی تاثیر بیشتری بر شدت نشر باریکه دارد. بهترین پتانسیل اعمالی به الکترود شتابدهنده ۳ کیلوولت می‌باشد.

شکل ۵ نیز بیشینه چگالی جریان باریکه‌ی خروجی را به ازای تغییر پتانسیل الکترود شتابدهنده در دو سیستم دیودی و تریودی نشان می‌دهد. چگالی جریان باریکه در سیستم تریودی کمتر از سیستم دیودی است و علت آن هم به الکترود کندکننده برمی‌گردد. بیشینه چگالی جریان در سیستم دیودی و تریودی به ترتیب در پتانسیل‌های ۲۵۰۰ و ۳۰۰۰ ولت الکترود شتابدهنده بدست می‌آید.



شکل ۴: قطر و شدت نشر باریکه‌ی خروجی در سیستم دیودی و تریودی بر حسب تغییر پتانسیل الکترود شتابدهنده

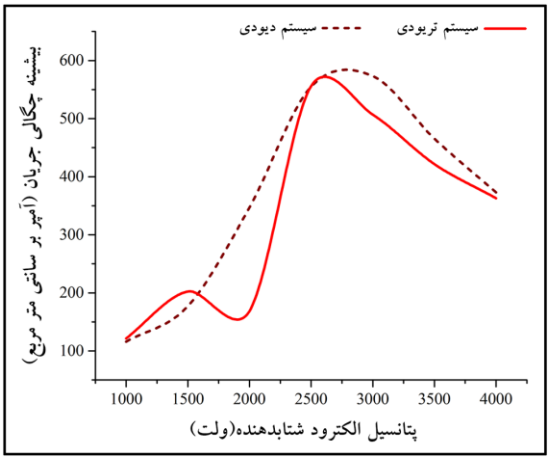
در سیستم تریودی پتانسیل الکترود کندکننده و فاصله‌ی آن از الکترود شتابدهنده روی واگرایی و قطر باریکه نیز موثر است. شکل۶ قطر باریکه را به ازای پتانسیل‌های مختلف الکترود کندکننده نشان می‌دهد.

با در نظر گرفتن پتانسیل ۳ کیلو ولت برای الکترود شتابدهنده، با اعمال ۱۰۰ ولت به الکترود کندکننده می توان به کمترین قطر در فاصله‌ی ۱۰ میلی‌متری از اخرین الکترود دست یافت. شکل ۷ نیز قطر و شدت نشر باریکه را به ازای فاصله‌های مختلف بین الکترود شتابدهنده و کندکننده در یک سیستم تریودی نشان می‌دهد. طبق این دو شکل بهترین فاصله‌ی بین دو الکترود ۱۵ میلی‌متر می‌باشد.

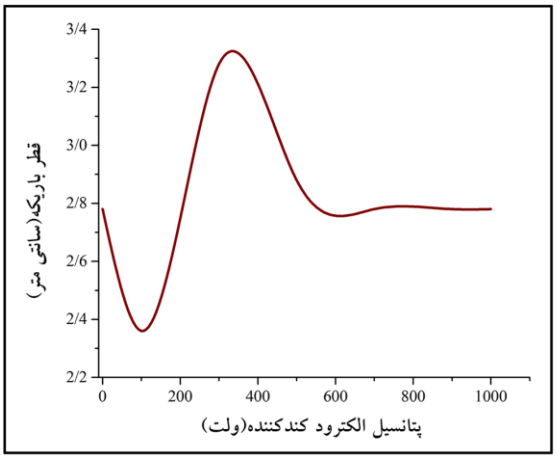
نتیجه گیری

در این پژوهش، مهمترین سیستم های استخراج باریکه در چشمه یونی شامل سیستم های دیودی و تریوری بررسی و شبیه سازی شدند. تعیین پتانسیل بهینه و همچنین هندسه مناسب در تعیین پارامترهای خروجی باریکه نقش مهمی را ایفا می کند. نتایج نشان دادند، بهترین زاویه برای الکترود شتابدهنده که درآن باریکه با کمترین شدت نشر و قطر خارج می شود، ۶۷/۵ درجه می‌باشد. همچنین قطر باریکه در این سیستم تریودی

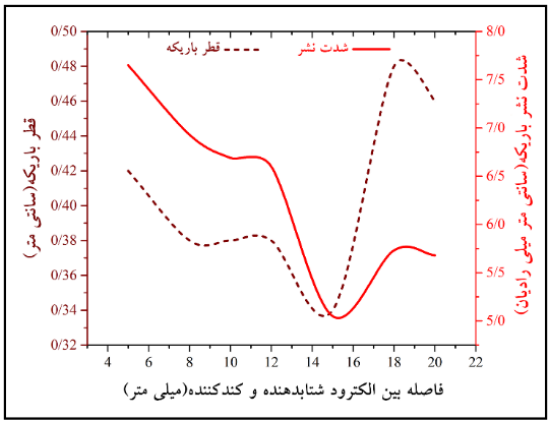
نسبت به سیستم دیودی کمتر می باشد و بهترین پتانسیل برای الکترود شتابدهنده و کندکننده در این سیستم به ترتیب ۳۰۰۰ و ۱۰۰ ولت می‌باشد. بهترین فاصله بین الکترود شتابدهنده و کندکننده در این سیستم تریودی ۱۵ میلی‌متر بدست آمده است.



شکل ۵: بیشینه چگالی جریان باریکه بر حسب پتانسیل الکترود شتابدهنده برای دو سیستم استخراج دیودی و تریودی



شکل ٦: قطر باریکه با تغییر پتانسیل الکترود کاهنده در سیستم تریودی



شکل ۷: قطر و شدت نشر باریکه برحسب فاصله‌های مختلف بین الکترود شتابدهنده و کندکننده در سیستم تریودی

مرجع‌ها

1) P. A. Litvinov et al, "*Development and Investigation of a Metal Ion Source for Accelerators*", Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki, Vol. 84, No. 4, pp. 126–131, (2014).
2) *R.* Scrivens, "*Electron and Ion Sources for Particle Accelerators*", CERN Accelerator School: Intermediate Course on Accelerator Physics, Zeuthen, Germany, 15 - 26 Sep 2003, pp.495-504
3) Basanta Kumar Das et al, *"Development of compact size penning ion source for compact neutron generator",* Review of Scientific Instruments 79, 123305, (2008).
4) I. G. Brown, *The physics and technology of ion sources*. John Wiley & Sons, (2004).
5) Z. HuaShun, Ion sources. Springer, (1999).
6) M. Abdelrahman et al, "*Analytical and simulation studies for diode and triode ion beam extraction systems*", Chinese physics C, vol. 36, no. 4, p. 344, (2012).
7) B. A. Soliman et al, "*Simulation of ion beam extraction and focusing system*", Chinese Physics C, Vol. 35, No. 1, Jan., (2011).
8) WANG Jing-Hui et al, "*Design of triode extraction system for a dual hollow cathode ion source*", Chinese Physics C, Vol. 35, No. 2, Feb, (2011).

9) P. Spadtke et al, "*Accel–decel extraction system for PIG sources"*, Review of Scientific Instruments 73, 723 (2002).
10) FU Dong-Po et al, "*Discharge characteristics of the DUHOCAMIS with a high magnetic bottle-shaped field*", Chinese Physics C Vol. 38, No. 10, (2014).