Archive of SID

مقاله نامه هفتمین کنفرانس ملّی خلأ ایران

دانشگاه مازندران

۲۰و۲۱ آبان ۱۳۹۴

تولید باریکه یونی همگرا برای مصارف کاشت یون

لطفی ,حمیدرضا; مهجورشفیعی, مسعود; علی اکبر, چاهه; رفیعیان نجف آبادی, مهدی ; ارشادی صفی, حسن ; سرشته داری, فرخ

دانشکده فیزیک دانشگاه تهران ,انتهای خیابان کارگرشمالی ,تهران

چکیده

یک مجموعه لنز واحد به همراه یک لنز استخراج مخروطی برای استخراج بهینه و همگرا سازی باریکه‌های یونی طراحی و ساخته شدند. در این مطالعه یون‌های اکسیژن و هلیوم توسط یک چشمه یونی پنینگ تولید شدند. یک لنز مخروطی که خود قسمتی از یک مجموعه لنز واحد است برای استخراج یون از کاتدی از جنس استیل یا سوراخی به قطر ۱/۵ میلیمتر و ضخامت ۳ میلیمتر استفاده شد. یک نمایه سنج سیمی مجهز به شانزده سیم با قدرت تفکیک ۰/۴ میلیمتر برای نمایه سنجی باریکه استفاده شد. سیگنال ولتاژ سیم‌ها از طریق یک داده گیر الکترونیکی شامل یک میکروکنترولر AVR گرفته و همزمان ثبت و نمایش داده می‌شود. قدرت همگرایی لنزها برای باریکه‌های متفاوت با تغییر فاصله کانونی آنها مطالعه و امکان سنجی شد. به این ترتیب باریکه اکسیژن تا ۸۰۰ میکرومتر و هلیوم تا ۱/۲ میلیمتر متمرکز شدند.

Production of converged ion beams for ion implantation applications

Lotfi,Hamid-Reza; Mahjour-Shafiei,masoud; Chaheh,Ali Akbar; Rafieian, Mehdi; Ershadi Safi,Hasan; Sarreshtedari, Farrokh

Department of physics,University of Tehran,Tehran

Abstract

A set of einzel lens system along with a cone shape extraction lens were designed and manufactured to produce and deliver converged ion beams. Oxygen and helium ions were produced by a Penning ion source [1]. The cone shape extraction lens which is part of the einzel lens was used to extract the beam from a hole with 1.5 mm diameter inside a cathode with 3 mm thickness. A grid consisting of sixteen 0.4 mm wires was used to measure the vertical profile of the beam. The potential signal of the grid was read by an AVR microcontroller. And the density profile of the beam was recorded and displayed at the same time in real time. Applying proper voltages to the lenses, we managed to focus the oxygen beam in a spot of 800 micrometer and the helium to a spot of 1 mm.

مقدمه:

سال‌های زیادی است که پرتوهای یونی برای کاربردهای متعدد در علوم و مهندسی مورد استفاده گسترده قرار گرفته اند. کاشت یون، لیتوگرافی، آنالیز مواد و مطالعات هسته ای و ذره ای از مهمترین کاربردهای پرتوهای یونی هستند [2]. اخیرا باریکه‌های متمرکز (FIB) [3] نیز به کاربردهای باریکه‌ها افزوده شده است. این تکنیک امکان ساخت و مهندسی قطعات نانو متری را بوجود آورده است. معمولا برای همه کاربردهای ذکر شده انتقال باریکه برای یک مسیر طولانی (لااقل چند ده سانتیمتر) لازم است. از اینرو باریکه قبل از انتقال نباید واگرایی زیادی داشته باشد، در غیر اینصورت شدت باریکه قبل از رسیدن به هدف بسیار کاهش می‌یابد. به همین دلیل انتقال باریکه همواره مسئله روز بوده و هست

www.SID.ir

Archive of SID

[4,5]. ساده ترین و رایج ترین راه برای دستیابی به این هدف استفاده از لنزهای ساطع کننده می‌باشد که معمولا شامل دو جزء می‌باشند. اما برای دستیابی به باریکه‌های بسیار متمرکز استفاده از یک لنز واحد (سه جزیی) به عنوان یک لنز ساطع کننده توسعه یافته نیز توصیه شده است [6].

کاری که در این مقاله ارئه می‌شود، در راستای ابر پروژه ساخت دستگاه کاشت یون گازی در دانشکده فیزیک دانشگاه تهران به منظور متمرکز و همراستا سازی باریکه‌های یونی قبل از ورود به ستون شتابدهنده می‌باشد. در اینجا طراحی و ساخت یک لنز واحد در دو مد کاری شتاب-کند و کند-شتاب برای متمرکز سازی باریکه‌های هلیوم و اکسیژن به همراه دادهای تجربی بدست آمده ارائه خواهد شد. همچنین، یک سری آزمایش برای گاز آرگن انجام شده است که فقط به گزارش نتیجه آن اکتفا خواهد شد.

روش آزمایش:

در این آزمایش یک چشمه یونی پنینگ برای تولید باریکه‌های یونی مورد استفاده قرار گرفت [1]. در این آزمایش گاز مورد مطالعه به درون چشمه تزریق گردید. فشار داخل محفظه چشمه در هر آزمایش روی مقدار mbar ۰/۰۴ ثابت نگاه داشته شد. این فشار بر روی فشار داخل چمبره تاثیر ندارد زیرا چمبره اصلی توسط کاتدی به ضخامت ۳ میلیمتر و حفره ای به قطر ۱/۵ میلیمتر از چشمه جدا می‌شود. به این ترتیب فشار چمبره ای که باریکه در آن شتاب می‌گیرد بدون تاثیر از فشار محفظه چشمه حدود mbar 10^{-5} ثابت می‌ماند. برای گاز هلیوم و اکسیژن ولتاژ تخلیه الکتریکی به ترتیب ۵۲۰ و ۶۰۰ ولت بود. در شکل۱ لنز واحد به همراه لنز مخروطی استخراج برای استخراج یون نشان داده شده است. لنز استخراج که مستقیما تحت بمباران یونی است از جنس استیل ساخته شده است. در حالیکه دو لنز استوانه ای بعد از جنس آلومینیم می‌باشند. قطر داخلی لنزها ۱۳ میلیمتر می‌باشد و ارتفاع آنها ۲ سانتیمتر است. فضای بین لنزها ۲ میلیمتر انتخاب گردید. نمایه عرضی باریکه توسط یک نمایه سنج ۱۶ سیمی که ضخامت هر سیم ۰/۴ میلمتر و فاصله آنها (مرکز تا مرکز سیم) ۰/۹ میلیمتر می‌باشد اندازه گیری شد. نمایه سنج زیر حفره کاتد در فاصله cm ۱۳/۵ قرار دارد. سیگنال ولتاژ سیم‌های نمایه سنج توسط یک داده خوان ۱۶ کاناله AVR به صورت همزمان خوانده و نمایش داده می‌شود. این سیستم نمایه سنج نسخه ارتقاء یافته موردی است که قبلا ساخته و گزارش شده بود[7]. جزییات مربوط به این نوع اندازه گیری در همین مرجع آورده شده است. در این سری آزمایش‌ها یک لنز حفره ای سرکوب گر با ولتاژ ۳۰- ولت نیز پیش از شبکه سیمی نمایه سنج نصب گردید تا مانع از تولید و فرار الکترون‌های ثانویه به سمت چشمه شود.

شکل۱: مجموعه لنز استوانه ای واحد و لنز استخراج مخروطی شکل.

.تحلیل داده‌ها:

فرض گوسی بودن نمایه عرضی باریکه‌ها، فرضی جا افتاده و قدیمی است [4]. بنابراین در اینجا نیز استفاده می‌شود و نهایتا

www.SID.ir

Archive of SID

خوب بودن برازش داده‌ها به یک تابع گوسی درست بودن فرض را نشان خواهد داد. اندازه گیری که در این آزمایش انجام می‌گیرد منجر به بدست آوردن نمایه عرضی باریکه در راستای (مثلا) x می‌گردد، که لازم است به نمایه عرضی شعاعی تبدیل شود. نحوه این تبدیل و محاسبات مربوط به آن قبلا در مرجع [8] آورده شده است. اگر نمایه عرضی شعاعی باریکه به شکل

$$J(r) = \frac{I_0}{\pi\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{\sigma^2}} \qquad (۱)$$

فرض گردد که در آن پارامترهای I_0 و σ به ترتیب جریان کل باریکه و پهنای آن باشند. آنگاه ارتباط بین پارامترهای آن با مشاهده پذیرهای آزمایشگاهی به شکل

$$I_i = \frac{\Delta x}{\sqrt{\pi}} \frac{I_0}{\sigma} e^{-\left(\frac{x_i - x_0}{\sigma}\right)^2} + N \qquad (۲)$$

جدول ۱: نتایج برازش برای باریکه هلیوم، ستون اول ولتاژ لنز واحد، ستون دوم و سوم پهنا و خطای پهنا، و ستون چهارم و پنجم جریان و خطای جریان باریکه می‌باشند. ستون آخر کمیت خوب بودن برازش را نشان می‌دهد.

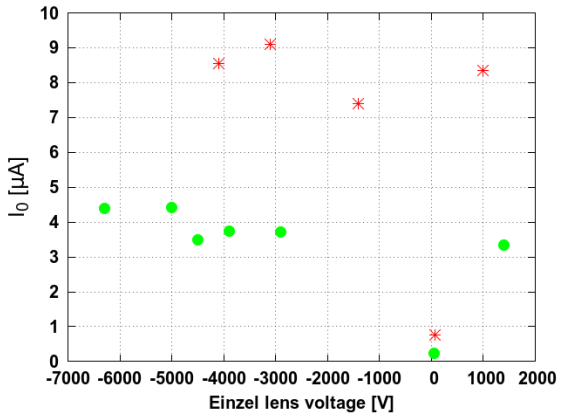
V	σ(mm)	Δσ(mm)	I_0(μA)	ΔI_0(μA)	χ^2
74	2.282	0.599	0.752	0.213	3.93E-04
1000	2.12	0.139	8.346	0.582	3.41E-03
-1400	2.664	0.284	7.384	0.893	4.77E-03
-3100	1.749	0.087	9.1	0.46	3.02E-03
-4100	1.155	0.018	8.557	0.194	1.02E-03

جدول ۲: نتایج برازش برای باریکه اکسیژن، توضیحات مانند جدول۱ می‌باشد.

V	σ(mm)	Δσ(mm)	I_0(μA)	ΔI_0(μA)	χ^2
57	2.048	0.62	0.238	0.076	6.10E-05
1400	0.933	0.028	3.334	0.097	3.29E-04
-2900	1.986	0.126	3.727	0.246	6.90E-04
-3900	1.088	0.033	3.754	0.095	2.40E-04
-5000	0.794	0.008	4.417	0.051	1.02E-04
-4500	0.969	0.037	3.499	0.133	6.04E-04
-6300	0.989	0.011	4.388	0.053	9.60E-05

در می‌آید، که در آن Δx قطر سیم (۰/۴ mm)، x_i و I_i به ترتیب محل و جریان سیم‌iام می‌باشند. N سطح نویز، σ پهنای گوسی، I_0 جریان کل و x_0 مرکز باریکه می‌باشد. تابع بدست آمده در رابطه ۲ را به داده‌های تجربی برازش می‌دهیم. نتیجه برازش برای کلیه داده‌ها، میزان نویز را همواره زیر ۰/۱ میکروآمپر نشان داد.

نتایج این برازش در جدول‌های ۱ و ۲ گرد آوری شده است. ستون آخر این جدول (χ^2) خوب بودن برازش را نشان می‌دهد. همخوانی بسیار خوب داده‌های تجربی با تابع ارائه شده در رابطه ۲ تایید کننده فرض خوب گوسی بودن نمایه باریکه برحسب مولفه شعاعی می‌باشد. در شکل۲ جریان کل باریکه (ستون چهارم جدول۱و۲) برحسب ولتاژ لنز میانی لنز واحد رسم شده است. در شکل ستاره‌های قرمز نماینده باریکه یونی هلیوم هستند و دایره‌های سبز باریکه اکسیژن را نمایندگی می‌کنند. همانطور که ملاحظه می‌شود برای ولتاژ صفر جریان روی نمایه سنج صفر است. که این به دلیل واگرایی ذاتی باریکه در لحظه استخراج می‌باشد [8].

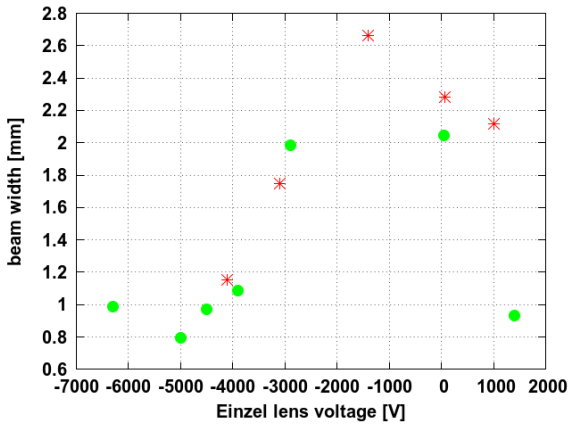


شکل۲: جریان کل باریکه برحسب ولتاژ لنز میانی لنز واحد. باریکه اکسیژن و هلیوم به ترتیب با دایره‌های سبز و ستاره‌های قرمز نشان داده شده اند.

www.SID.ir

Archive of SID

به محض اعمال ولتاژ مثبت و یا منفی (کند–شتاب و یا شتاب–کند) به لنز واحد، لنز از خود رفتار همگرا کنندگی نشان می‌دهد و جلوی باز شدگی باریکه را می‌گیرد. انتظار اینکه سطح جریان برای هر دو باریکه اکسیژن و هلیوم مستقل از ولتاژ لنز واحد باشد را داشتیم. اینکه سطح جریان اکسیژن (۴ میکروآمپر) کمتر از جریان هلیوم (۹ میکروآمپر) می‌باشد از رفتار لنز مستقل بوده و صرفا به رفتار و چگالی پلاسمای درون چشمه بستگی دارد. در شکل۳ پهنای باریکه در محل نمایه سنج (ستون چهارم جدول۱و۲) برحسب ولتاژ لنز میانی لنز واحد رسم شده است. مانند شکل ۲ دایره‌های سبز نماینده اکسیژن هستند و ستاره‌های قرمز برای نمایش هلیوم بکار رفته اند.



شکل۳: پهنای باریکه در محل نمایه سنج برحسب ولتاژ لنز میانی لنز واحد. باریکه اکسیژن و هلیوم به ترتیب با دایره‌های سبز و ستاره‌های قرمز نشان داده شده اند.

داده‌های مربوط به ولتاژ صفر نماینده پهنای باریکه بدون لنز می‌باشند. در ولتاژهای مثبت لنز در مد کند–شتاب کار می‌کند و با اعمال ولتاژ منفی لنز در مد شتاب–کند عمل می‌کند. از دادهای تجربی به آسانی قابل فهم است که لنز در مد کند–شتاب با بهره بالاتر کار می‌کند (ولتاژ کمتری برای همگرایی باریکه نیاز است). چنانچه ملاحظه می‌شود ولتاژ ۵۰۰۰– ولت برای باریکه اکسیژن نقطه کانونی است و باریکه تا ۸۰۰ میکرون متمرکز شده است. این درحالی است که هیلوم را بیش از ۱/۲ نمی‌توان متمرکز کرد.

نتیجه گیری:

اینکه ستون ششم جدول‌های ۱و۲ عدد بسیار کوچکی را نشان می‌دهد بیانگر فرض به جای گوسی بودن باریکه است. هرچند که این عددی قدری، زیادی کوچک است که این موضوع حایز بررسی است. لنز طراحی و ساخته شده قدرت همگرایی بسیار خوبی برای باریکه‌های هلیوم و اکسیژن دارد. از آنجایی که یون اکسیژن بیشتر به صورت O_2 می‌باشد پیش بینی ما این است که آرگن نیز رفتاری مانند اکسیژن داشته باشد. در واقع یک سلسله آزمایش با آرگن انجام شد و صحت این موضوع را نشان داده شد هرچند داده‌های آن از لحاظ آماری کفایت ارئه در این گزارش را ندارند.

مرجع ها:

[1] Design and development of a small cold cathode penning ion source for general laboratory applications, P. Bakhti, M. Mahjour-Shafiei, The 4The National vacuum conference of Iran, Isfahan (2010) 29-32.

[2] A. Pyszniak, A. Drożdziel, M. Turek, A. Latuszyński, D. Maczka, J. Sielanko, Y. A. Vaganov, and Y. V. Yushkevich, “Extraction of ions from a plasma source and formation of beams,” *Instrum. Exp. Tech.*, **50**, no. 4,(2007) pp. 552–556.

[3] Shinji Matsui, Takashi Kaito, Jun-ichi Fujita, Masanori Komuro, Kazuhiro Kanda and Yuichi Haruyama, *J. Vac. Sci. Technol. B* (2000) 3181.

[4] J.R.Coupland, *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **44** (1973) 1258.

[5] D. C. Faircloth, *et al*.Rev. Sci. Instrum. **79** (2008) 02B717.

[6] Helmut Liebl, "*Applied charged particles optics*", Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008.

[7]امیرحسین شهبازی،*ساخت یک مشخصه یاب عرضی باریکه برای مطالعه تجربی دینامیک مینیسکیوس* ,(۱۳۹۱)،پایان نامه ی کارشناسی ارشد دانشکده فیزیک دانشگاه تهران

[8] ارشادی صفی، حسن و مهجور شفیعی، مسعود "*اندازه گیری نمایه باریکه استخراج شده از چشمه یونی پنینگ*" کنفرانس فیزیک ایران ، شهریور ۱۳۹۴

www.SID.ir