پنجمین کنفرانس ملی خلأ ایران
پژوهشکده علوم و صنایع غذایی
مشهد مقدس ۱۰ و ۱۱ اسفند ۹۰
Archive of SID

احیای پمپ های یونی موجود دردستگاه طیف سنج جرمی

احمدی، افسانه ؛ معینی، مهدی؛ شمالی، محسن

پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، انتهای خیابان کارگر شمالی ، تهران

چکیده

با توجه به اهمیت خلاء در عملکرد طیف سنج جرمی از یک طرف و وجود تحریم در کشور و عدم دسترسی به بسیاری از ادوات و تجهیزات خلاء فوق بالا از جمله پمپ های یونی از طرف دیگر، در این مقاله ضمن توضیح در مورد انواع پمپ های یونی و عملکرد آن ها به تشریح چگونگی احیای پمپ یونی دستگاه طیف سنج جرمی که برای اولین بار در کشور توسط این ازمایشگاه صورت گرفته است، پرداخته می شود تا ضمن حفظ دستگاه های آنالیز دقیق و حساس که سرمایه های ارزشمند کشور می باشند گامی جهت توسعه فناوری های خلاء در کشور برداشته شود.

Reviving of Ion pumps in Mass Spectrometer

Ahmadi, Afsaneh ; Moeini, Mahdi ;Shomali, Mohsen

Nuclear Science & Technology Research Institute, Tehran

Abstract

Due to the importance of high vacuum technology in the mass spectrometer performance on one hand and with respect to the international sanctions on Iran which limits the access to ultra high vacuum components like ion pumps on the other hand, this paper describes the sputter-ion pumps and their function, as well as the procedure of reviving the ion pumps in mass spectrometer which was carried out for the first time in this laboratory.

*PACS No*07.30.Cy

مقدمه

امروزه خلأ به عنوان یکی از ارکان اصلی در توسعه فن آوری های پیشرفته از اهمیت بسزایی بر خوردار است. از جمله کاربرد های خلاء در دستگاه های آنالیز می باشد که از معروفترین آن ها طیف سنج جرمی است که در علوم و تحقیقات هسته ای برای اندازه گیری نسبت ایزوتوپی به کار گرفته می شود. وجود خلاء بالاو فوق بالا در این دستگاه ضروری است زیرا ایجاد یون ها در محفظه چشمه یونی تحت خلاء (10^{-6}– 10^{-4} mbar) امکان پذیر می باشد. همچنین برای انتقال و تفکیک یون ها در محفظه آنالیزور جرمی و بالاخره جمع آوری و آشکار سازی در کلکتور از آنجائیکه یون ها به دلیل داشتن عمر کوتاه نمی توانند مدت زیادی پایدار باشند ، وجود خلا فوق بالا (10^{-10}– 10^{-7} mbar) ضروری است. با توجه به محدوده خلاء مورد نیاز دستگاه طیف سنج جرمی، ایجاد چنین شرایطی توسط یک سیستم خلاء شامل پمپ رتاری به عنوان پمپ اولیه جهت پیش خلا کردن و نگهداری فشار پایین لازم در خروجی پمپ توربو مولکولار تا فشار 10^{-3} mbar، یک پمپ توربو مولکولار، که دارای سرعت تخلیه زیاد ۳۳۰ $L.s^{-1}$ و سرعت چرخش در حدود ۲٤۰۰۰ rpm است برای فراهم کردن فشار نهایی حدود 10^{-6} mbar و نها یتاً دو پمپ یونی، با سرعت تخلیه ۲۰ $L.s^{-1}$ برای رساندن فشار نهایی محفظه آنالیزور جرمی و دتکتور به مقدار کمتر از 10^{-8} mbar فراهم می شود.

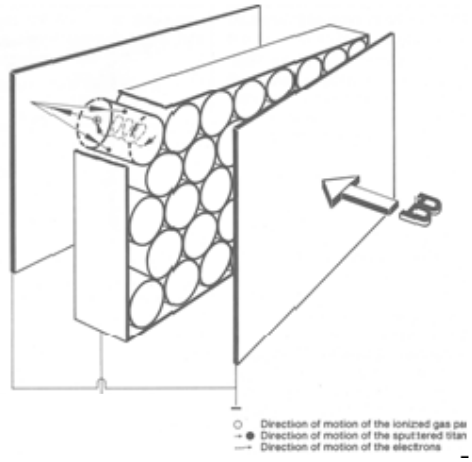
www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به اهمیت خلا در عملکرد طیف سنج جرمی از یک طرف و وجود تحریم در کشور و عدم دسترسی به بسیاری از ادوات و تجهیزات خلاء فوق بالا از جمله پمپ های یونی از طرف دیگر، در این مقاله به تشریح چگونگی احیای پمپ یونی دستگاه طیف سنج جرمی که برای اولین بار در کشور توسط این ازمایشگاه صورت گرفته است، پرداخته می شود تا ضمن حفظ دستگاه های آنالیز دقیق و حساس که سرمایه های ارزشمند کشور می باشند گامی جهت توسعه فناوری های خلاء در کشور برداشته شود. از این رو ابتدا اصول کار پمپ های یونی (کندو پاشی) و عوامل موثر بر عملکرد آن ها توضیح داده می شود سپس روش احیای فیزیکی و شیمیایی این پمپ ها ارائه خواهد شد.

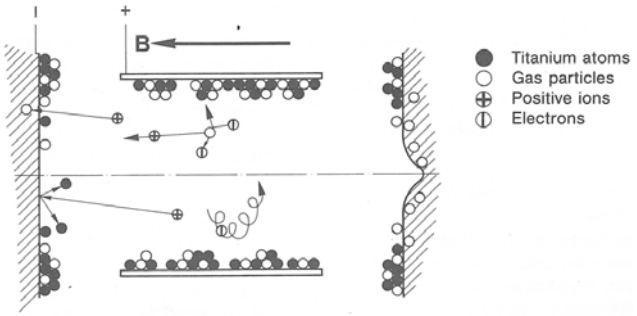
روش کار پمپ‌های یونی کند و پاشی

پمپ یونی شامل یک محفظه فولادی است که در برگیرنده یک آند استوانه‌ای از جنس فولاد و دو صفحه کاتد تیتانیومی که در دو طرف آند نصب شده اند، می باشد. همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، میان صفحات کاتد و آند اختلاف پتانسیل در حدود ٦ kV بر قرار می شود و یک میدان مغناطیسی در جهت میدان الکتریکی در حدود ۱۰۰۰ G اعمال می گردد. اساس عملکرد این پمپ بدین صورت است که به دلیل اختلاف پتانسیل زیاد پدیده تخلیه کاتد سرد رخ می دهد و الکترون ها از کاتد منتشر می شوند[۱].



شکل۱: اجزای پمپ یونی

به دلیل وجود مگنت الکترون ها در مسیر مارپیچ حرکت می کنند و احتمال برخورد آن ها با مولکول های گازی در محوطه پنینگ افزایش می یابد. در اثر برخورد الکترون ها با مولکول ها و اتم های گازی، یون های مثبت ایجاد می شوند که به وسیله ولتاژ اعمالی بر آند تا چند kV به سمت کاتد شتاب می گیرند. همان طور که در شکل۲ دیده می شود، یون های شتاب گرفته شده به کاتد تیتانیوم برخورد می‌کنند و به علت پدیده کند و پاش باعث کنده شدن اتم های تیتانیوم می‌شوند. اتم های تیتانیوم برروی سطوح آند لایه نازکی را تشکیل می‌دهند که به عنوان فیلم جاذب، ذرات گازهایی چون CO, CO_2, H_2, O_2 را جذب می کنند. علاوه بر پدیده کند و پاش از طرفی تعدادی از یون های برخورد کرده به کاتد تیتانیومی به دلیل داشتن انرژی زیاد در بطن آن نفوذ می کنند و جذب می شوند. در این نوع فرآیند تمام انواع یون ها حتی یونهای گازهای بی اثر که با لایه جاذب تیتانیومی تشکیل شده در اثر کندو پاش واکنش نمی دهند، جذب می شوند.



شکل۲: اساس عملکرد پمپ یونی کند و پاشی

قابل ذکر است از آنجایی که کاتدها نسبت به آند در پتانسیل منفی هستند و تمام سیستم الکترودها تحت یک میدان مغناطیسی یکسان و قوی با یک چگالی(تراکم) شار با شدت ۰/۱T نگه داشته می‌شود. الکترون ها در تخلیه گاز نمی‌توانند به خارج از آند حرکت کنند و علاوه بر آن آنها در جهت میدان B بین دو کاتد به تله می افتند. در اثر این تله‌گذاری یک توده (ابر) الکترونی با دانسیته بالا($۱۰^{۱۳}cm^{-۳}$) در هر آند استوانه‌ای تشکیل می‌گردد. جاییکه احتمال برخوردهای یونش برای ذرات گاز خنثی بسیار زیاد می‌شود. حتی در دانسیته‌های خیلی پایین گاز تعداد زوج‌های

www.SID.ir

Archive of SID

یون–الکترون آنقدر زیاد است که چگالی الکترون به‌طور ظاهری ثابت باقی می‌ماند. بنابراین تخلیه گاز خودبه‌خود پایدار می‌گردد(تخلیه کاتد سرد) و نیازی به تزریق اضافی الکترون از یک کاتد گرم وجود ندارد[۲].

جریان یونی I موجود بین آند و کاتد مطابق معادله ۱، متناسب با مقدار دانسیته ذرات خنثی n_0 ، دانسیته الکترون n_-، طول L فاصله کاتد و آند و سطح برخورد موثر σ می باشد که میزان سطح برخورد برای یونش به نوع گاز بستگی دارد.

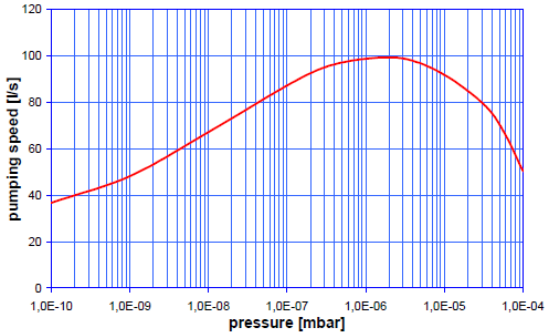
$$I= n_0 n_- .\sigma L \qquad (۱)$$

سرعت پمپاژ پمپ‌های یونی کند و پاشی بستگی به فشار و نوع گاز دارد زیرا میزان کندو پاش اتم های تیتانوم بستگی به جرم یون های گازی بمباران کننده و جرم کاتد دارد. با توجه به استانداردهای ISO و مشخصات پذیرش PNEUROP، نرخ جریان حجمی اسمی برحسب ماکزیمم میزان جریان حجمی نیتروژن یا هوای خشک بدست آمده بیان می شود[۳]. برای N_2, CO_2,H_2O و هوا سرعت پمپاژ بطور عملی یکسان در نظر گرفته می‌شود. ولی برای دیگر گازها به‌صورت جدول ۱ درنظر گرفته می‌شود.

جدول۱: سرعت تخلیه پمپ یونی بر حسب نوع گاز تخلیه

هیدروژن	۱۵۰ تا ٪ ۲۰۰
متان	٪۱۰۰
هیدرکربن‌های سبک	۸۰ تا ٪۱۲۰
اکسیژن	٪۸۰
آرگون	٪۳۰
هلیوم	٪۲۸

در دستگاه طیف سنج جرمی سرعت پمپاژ مد نظر نیست و عواملی چون کمترین نشت گاز از دیواره های پمپ، آلودگی کم و مقاومت در برابرخوردگی و تشعشع مد نظر است بنابر این پمپ های یونی به عنوان تجهیزات ایجاد خلاء فوق بالا بسیار مناسب می باشند. از آنجاییکه جریان یونی موجود بین آند و کاتد متناسب با فشار است، بایستی هنگام کار دقت نمود که حدالامکان از فشار های کمتراز 10^{-5} Torr پمپ یونی شروع به کار کند تا عمر مفید پمپ بیشتر گردد. همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است در این محدوده سرعت پمپاژ به حداکثر خود می رسد[٤].

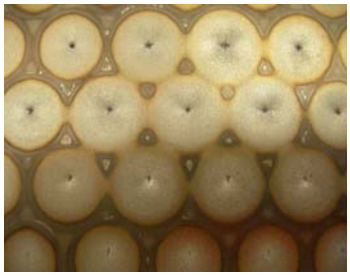


شکل۳: سرعت پمپاژ بر حسب فشار گاز در محفظه

روش کار احیای پمپ‌های یونی

در صورتی که به دلیل عدم توجه به حداقل فشار لازم برای شروع کار پمپ های یونی یا وجود نشت ، پمپ های یونی در معرض هوا و گازهای بی اثر مانند آرگون قرار گیرند یا زمان زیادی از بهره برداری آن ها گذشته باشد، صفحات کاتد غیر قابل استفاده می شوند همانطور که در شکل ٤ و ٥ دیده می شود در این هنگام تمیز کردن و احیای مجدد پمپ ها ضروری می شود.

شکل٤: پمپ های یونی متعلق به طیف سنج جرمی که نیاز به احیا دارند.



شکل٥: لایه تشکیل شده بر سطوح کاتد تیتانیومی

www.SID.ir

Archive of SID

برای تمیز کردن سطوح تیتانیومی ابتدا سطوح به دقت به روش مکانیکی لایه برداری می شوند تا لایه های آلوده شده یا لایه هایی که یون ها در آن نفوذ کرده اند حذف شوند. سپس این صفحات برای مدت ۳ دقیقه در محلول ٪۲۰ اسید نیتریک و٪ ۱/۵ اسید فلوریدریک (نسبت وزنی تقریبی ۱۵) در دمای 75° C قرار داده می شوند تا شستشو در حمام اسید کامل شود. بعد از آبکشی با آب سرد و آب کشی با آب دیونیزه، مجددا با آب گرم دیونیزه شده آب کشی می شود و نهایتا در آون تحت دمای $150-200^{\circ}$ C حرارت داده می شوند.[۵] برای کاهش اثرات نشت گاز از سطوح پمپ، اجزای تمیز شده در محفظه خلاء تحت فشار10^{-5} Torr به مدت دو ساعت قرار داده می شود. نهایتا با در نظر داشتن ایمنی اتصالات مربوط به ولتاژ بالا مجددا پمپ های احیا شده در محل خود نصب می شوند.

نتیجه گیری

عملکرد دستگاه آنالیز حساسی مانند طیف سنج جرمی به شدت به عملکرد پمپ های یونی آن وابسته است یعنی بدون وجود خلاء مناسب ایجاد شده توسط این پمپ ها، طیف سنج قادر به کار نمی باشد. بنا براین با احیای پمپ های یونی توانستیم ضمن حفظ دستگاه های آنالیز دقیق و حساس که سرمایه های ارزشمند کشور می باشند گامی جهت توسعه فناوری های خلاء در کشور برداریم.

مرجع‌ها

[۱] Vacuum Technology its Foundations Formulae and Tables, *Leybold-Heraeus GMBH Catalogue*,1986, pp.(29-30)

[۲] L. Schulz, "Sputter- Ion Pumps', Paul Scherrer,Institut Villigean, Switzerland,

[۲] M. Audi, Pumping speed of sputter ion pumps, *Vacuum* **38** (8-10), (1988) pp. 669

[٤] J.M. Lafferty; " *Foundations of vacuum science and technology*" ,1998

[۵] M. Audi, Ion pumps, *Vacuum* **37** ((1987) 629

www.SID.ir