Archive of SID

مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۷، شمارهٔ ۲، ویژه‌نامه، ۱۳۹۶
مقاله نامهٔ دومین کنفرانس ملی شتاب دهنده‌ها و کاربرد آنها، آذر ۱۳۹۴

تفنگ الکترونی با باریکهٔ پهن: رویکردی تجربی

بهزاد یداله زاده، امیدرضا کاکویی، وحید فتح اللهی، محمد فرمهینی فراهانی و مرتضی اسمعیلی نوجه‌دهی

پژوهشکدهٔ فیزیک و شتابگرها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

پست الکترونیکی: byadollah@aeoi.org.ir

چکیده

شتاب دهنده‌های پرده‌ای الکترون یکی از انواع شتاب دهنده‌های الکترون کم انرژی می‌باشند. این شتاب دهنده‌ها در بسیاری از صنایع مختلف مانند چاپ، پوشش‌دهی، بسته بندی جهت بهبود کیفیت محصول ضمن کاهش ترکیبات آلی فرار به منظور حفاظت از محیط زیست، نقش مهمی دارند. گسیلندهٔ الکترون این نوع شتاب دهنده‌ها یکی از مهم‌ترین قسمت‌های آن است. در این قسمت برای تولید باریکهٔ الکترونی پهن با توزیع یکنواخت، از کاتدهای چند فیلمانی و ساختار توری که به صورت مجتمع داخل نگهدارندهٔ فیلمان قرار می‌گیرند، استفاده می‌شود. در مقایسه با کاتد تک فیلمانی، کاتدهای چند فیلمانی از نظر گسترش عرضی و یکنواختی باریکهٔ الکترونی در ارجحیت هستند. یکی از مشکلات مهم و اساسی در این نوع گسیلنده‌های الکترونی، تغییر شکل دادن فیلمان‌های خطی در اثر انبساط حرارتی می‌باشد. در این کار پژوهشی، هدف طراحی و ساخت سیستم مکانیکی مناسب نگهدارندهٔ فیلمان‌ها برای حفظ شکل و موقعیت اولیه آنها در هنگام گرم شدن می‌باشد. در ادامه تغییرات جریان الکترون‌های گسیلی با ولتاژ اعمالی به آند (در دمای ثابت کاتد) و همچنین تغییرات جریان الکترون‌های گسیلی با جریان عبوری از فیلمان در ولتاژ ثابت آند بررسی شد.

واژه‌های کلیدی: شتاب دهندهٔ الکترون، باریکهٔ پهن، فیلمان تنگستن، انبساط حرارتی

۱. مقدمه

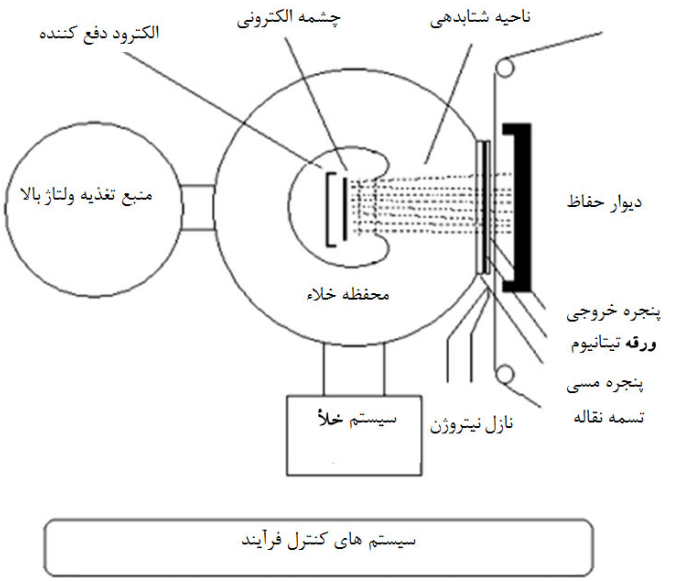
شتاب دهنده‌های پرده‌ای الکترون جزء گروه شتاب دهنده‌های الکترونی کم انرژی هستند که عمدتا تشکیل شده‌اند از منبع تغذیهٔ ولتاژ بالا، سیستم خلأ، چشمهٔ الکترونی و سیستم شتاب دهی، حفاظ مناسب پرتو و سیستم‌های کنترل [۴-۱]. در شکل ۱ طرح واره‌ای از شتاب دهندهٔ پرده‌ای الکترون نشان داده شده است. در این کار پژوهشی، گسیلندهٔ الکترونی این شتاب دهنده‌ها و مسائل مرتبط با آنها به صورت تجربی بررسی شده است.

یکی از انواع گسیلنده‌های الکترونی، کاتدهای گرما یونی هستند. کاتد گرما یونی کاتدی است که در اثر گرم شدن الکترون گسیل می‌کند. با گرم کردن کاتد، الکترون‌ها انرژی گرفته و با غلبه بر سد پتانسیل از سطح کاتد خارج می‌شوند. با اعمال ولتاژ به آند، جریان گسیل شده از کاتد افزایش می‌یابد. وابستگی جریان به ولتاژ اعمالی را اولین بار شاتکی به صورت تئوری برای فلزات طبق معادلهٔ (۱) به دست آورد.

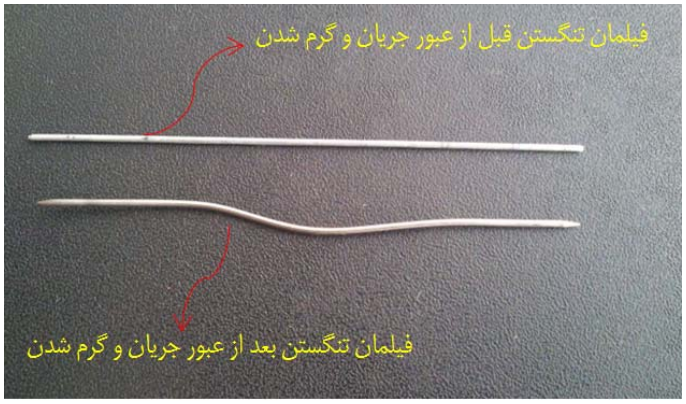
$$J = J_S \exp^{0.44 \frac{E^{\frac{1}{2}}}{T}} , \qquad (1)$$

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. طرح واره‌ای از شتاب دهندهٔ پرده‌ای الکترون [۱].



شکل ۲. تغییر شکل فیلمان تنگستن به دلیل انبساط حرارتی هنگام افزایش دما.

که در آن Js چگالی جریان اشباع، E میدان الکتریکی اعمالی و T دمای کاتد است. برای آند و کاتدی که به صورت موازی مقابل هم قرار گرفته‌اند، رابطهٔ میدان الکتریکی E و ولتاژ V به صورت E=V/d می‌باشد. وابستگی جریان اشباعی به دما به وسیلهٔ معادلهٔ ریچارد سون-داشمن داده می‌شود که به صورت معادلهٔ (۲) است:

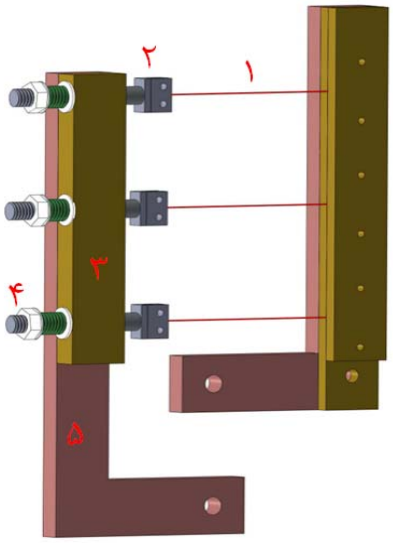
$$J_s = AT^2 exp(\frac{-e\varnothing}{KT}) , \qquad (۲)$$

که در آن Js چگالی جریان اشباع، T دمای کاتد، A ثابت گسیل، Φ تابع کار و K ثابت بولتزمن است [۵].

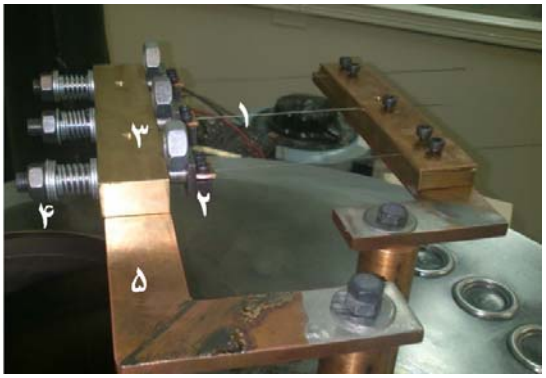
در کاتدهای گرمایونی برای رسیدن به سطح گسیل الکترون بیشتر می‌توان از فیلمان با طول بیشتر استفاده کرد. یکی از مشکلات مهم در استفاده از فیلمان با طول بیشتر، تغییر شکل و خم شدن فیلمان به دلیل انبساط حرارتی می‌باشد. در شکل ۲ تغییرطول و خم شدن فیلمان تنگستن بعد از گرم شدن نشان داده شده است. در شتاب دهنده‌های پرده‌ای الکترون با توجه به اینکه چندین فیلمان به طور موازی قرار می‌گیرند کوچک‌ترین تغییر شکل باعث به هم خوردن نظم و چگونگی قرار گرفتن فیلمان‌ها می‌شود. بی‌نظمی در آرایش فیلمان‌ها باعث از بین رفتن توزیع یکنواخت گسیل الکترون می‌شود [۶].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. سیستم مکانیکی طراحی شده جهت نصب فیلمان‌ها و عبور جریان از آنها: (۱) فیلمان تنگستن، (۲) قطعهٔ متحرک نگهدارندهٔ فیلمان، (۳) صفحهٔ برنجی، (۴) فنر و مهره، (۵) صفحهٔ مسی.



شکل ۴. تصویری از سیستم مکانیکی فنری نگهدارنده فیلمان نصب شده داخل محفظه خلأ (۱) فیلمان تنگستن، (۲) قطعهٔ متحرک نگهدارندهٔ فیلمان، (۳) صفحهٔ برنجی، (۴) فنر و مهره، (۵) صفحهٔ مسی.

۲. طراحی و ساخت سیستم مکانیکی برای جلوگیری از تغییر شکل فیلمان‌ها

برای بررسی تجربی گسیل الکترون‌ها در کاتدهای گرما یونی از محفظه و تجهیزات یک سیستم تبخیر در خلأ موجود در آزمایشگاه واندوگراف استفاده شد. در این آزمایش‌ها، فیلمان‌هایی از جنس تنگستن به قطر ۰٫۸ mm و طول ۱۰ cm مورد استفاده قرار گرفتند.

با توجه به محدود بودن فاصلهٔ بین فیدتروها[۱] در سیستم فوق، طراحی جدیدی مطابق شکل۳ برای نصب فیلمان‌ها و عبور جریان الکتریکی از آنها انجام گرفت. در این طراحی از صفحه‌های مسی و برنجی به ضخامت و پهنای مناسب برای انتقال جریان الکتریکی و نصب فیلمان‌ها استفاده شده است. یک انتهای فیلمان بین دو صفحهٔ برنجی ثابت می‌شود و انتهای دیگر آن به قطعه‌ای متحرک که توسط فنر در حالت کشش قرار دارد متصل می‌شود. بدین ترتیب فیلمان همواره در حالت کشش قرار دارد و افزایش طول ناشی از انبساط حرارتی باعث تغییر شکل آن نخواهد شد [۷].

قطعات مورد نیاز طراحی شده توسط کارگاه ماشینکاری پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ساخته شده‌اند. بعد از نصب صفحه‌های مسی و برنجی و قطعات متحرک در داخل محفظهٔ خلأ، فیلمان‌های تنگستنی بر روی سیستم نگهدارنده سوار شدند (شکل۴).

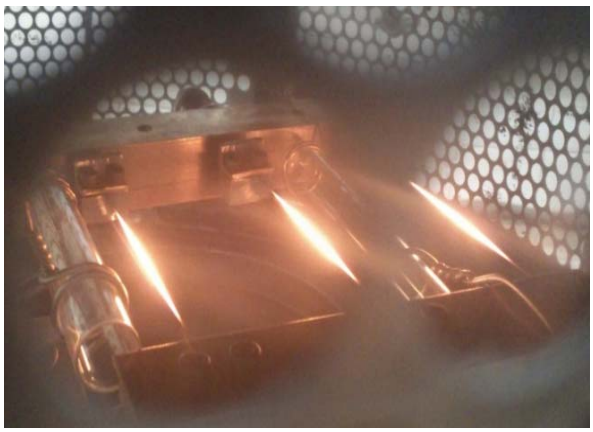
۳. آزمایش و اندازه‌گیری

بعد از سوار کردن فیلمان‌ها، در محفظهٔ خلأ بسته شده و به کمک پمپ‌های خلأ پشتیبان و روغنی انتشاری ، داخل محفظه به

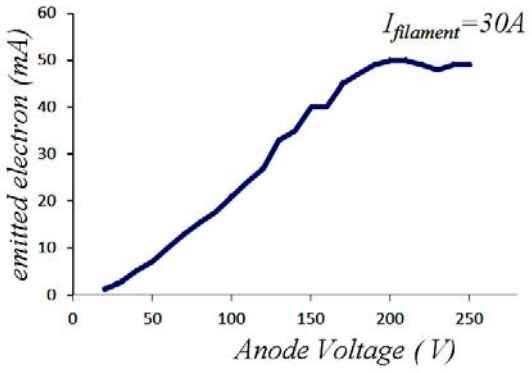
۱. Feedthroughs

www.SID.ir

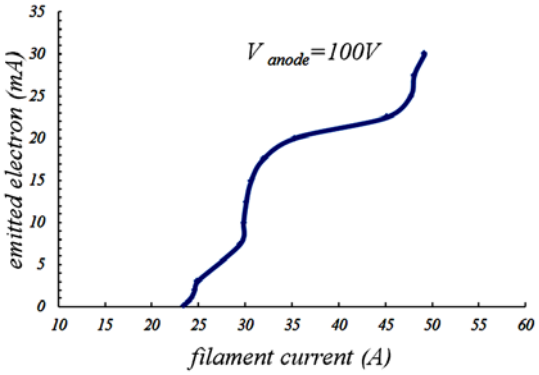
Archive of SID



شکل ۵. تصویری از فیلمان‌های گداخته هنگام عبور جریان و گسیل الکترون.



شکل ۶. تغییرات جریان الکترون‌های گسیلی با ولتاژ اعمالی به آند.



شکل ۷. تغییرات جریان الکترون‌های گسیلی با جریان عبوری از فیلمان در ولتاژ ثابت آند.

فشار 3×10^{-5} torr می‌رسد. برای اتصال سیستم‌های اندازه‌گیری جریان الکترون گسیلی و همچنین جریان الکتریکی لازم برای گرم کردن فیلمان‌ها از فیدتروهای خلأ موجود استفاده می‌شود. همان طور که قبلا اشاره شد در این آزمایش ۳ رشته فیلمان تنگستنی به قطر ۰٫۸ mm و به طول ۱۰cm به فاصلهٔ ۵ cm از هم نصب شده‌اند. در شکل ۵ تصویری از فیلمان‌های گداخته هنگام عبور جریان ۱۵A از هر یک نشان داده شده است.

برای مشاهدهٔ نتیجهٔ عملکرد سیستم مکانیکی فنری، بعد از قطع جریان عبوری از فیلمان‌ها و باز کردن محفظه خلأ، شکل و اندازه فیلمان‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی کوچک‌ترین خم شدگی در فیلمان‌ها مشاهده نشد در صورتی که با اندازه‌گیری طول فیلمان‌ها افزایش طول حدود ۳-۲ mm کاملا مشهود بود. در ادامه وابستگی جریان گسیلی به ولتاژ اعمالی بر آند (معادلهٔ شاتکی) به صورت تجربی بررسی شده است. اندازه‌گیری بر روی یک فیلمان تنگستن به طول ۱۰ cm و قطر ۰٫۸mm انجام شده است. در اثر گرم شدن کاتد به علت عبور جریان ۳۰ آمپر با ثابت نگهداشتن دمای کاتد، ولتاژهای ۱۰V تا ۲۵۰V به آند که در فاصلهٔ ۴ cm از فیلمان قرار دارد اعمال شده و افزایش جریان الکترون گسیلی از کاتد ثبت شده است. جریان الکترون گسیلی ابتدا به صورت خطی افزایش یافته و سپس به اشباع می‌رسد که با تئوری کاملا سازگار است (شکل۶).

همچنین برای بررسی وابستگی دمایی جریان گسیلی از کاتد با اعمال ولتاژ ثابت روی آند و افزایش دمای کاتد جریان الکترون گسیلی از آن اندازه‌گیری شده است. همان طور که در نمودار شکل۷ نشان داده شده است با افزایش دمای کاتد در یک ولتاژ ثابت آند (۱۰۰V) جریان گیسلی از کاتد افزایش می یابد.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به کاربردهای شتاب دهنده‌های پرده‌ای الکترون در صنعت، استفاده از کاتدهای چند فیلمانی در گسیلنده‌های الکترون آنها برای داشتن گسترهٔ عرضی بیشتر و یکنواخت

www.SID.ir

Archive of SID

باریکهٔ الکترون بسیار حائز اهمیت است. یکی از مشکلات مهم و اساسی در این نوع گسیلنده‌های الکترونی، تغییر شکل فیلمان‌های خطی در اثر انبساط حرارتی است. در این کار پژوهشی سعی شده است با طراحی و ساخت سیستم مکانیکی مناسب راهکاری برای حل مشکل تغییر شکل دادن فیلمان‌ها در اثر انبساط حرارتی ارائه شود. در ادامه برای بررسی تجربی وابستگی جریان گسیلی به ولتاژ اعمالی به آند (معادلهٔ شاتکی) با ثابت نگهداشتن دمای کاتد، ولتاژهای مختلف به آند اعمال شده و افزایش جریان الکترون گسیلی از کاتد اندازه‌گیری شد که با تئوری کاملا سازگار است. همچنین تغییرات جریان الکترون‌های گسیلی با جریان عبوری از فیلمان در ولتاژ ثابت آند اندازه‌گیری شد.

مراجع

1. L I Guohua, *et al*., *NST*, **24** (2013) S010201.
2. A J Berejka, *Radiat. Phys. Chem*, **71** (2004) 307.
3. A Tzvi, *et al*., US Patent, (1993), 5254911.
4. A Tzvi, US Patent, (2003), 6545398 B1.
5. R L Ramey, WPC, "*Wadsworth Publishing Company*", (1962).
6. M Iqbal, *et al*., *Rev. Sci. Instrum*, **74** (2003) 4616.
7. M Iqbal, *Rev. Sci. Instrum*, **77** (2006) 106101.

www.SID.ir