

طراحی و ساخت آشکارساز گازی دو بعدی میکرو مقیاس (MPGDs) جهت پایش آلودگی سطحی آلفا

مریم نجیب زاده^۱، محسن میرحبیبی^{۱*}، علی نگارستانی^۲، احمد آخوند^۱

^۱گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

^۲دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

*تهران، تهران، دانشگاه پیام نور، گروه فیزیک، صندوق پستی: ۳۳۵۱۱ - ۱۹۵۳۶

چکیده

در این مقاله روش جدیدی برای پایش آلودگی سطحی آلفا بر اساس کارکرد یک تکثیرکننده الکترونی ضخیم در مد ستون نور خود فرونشان SQS معرفی شده است. کارکرد این آشکارسازها در مد SQS توانایی نشان دادن آلودگی ناشی از چشمه‌های آلفا با سرعت بالا در دو بعد را دارد. در این تحقیق با قرار دادن دو چشمه امرسیم ۲۴۱ با اکتیویته‌های ۳۳ kBq و ۱۵۰ kBq به بررسی امکان استفاده از کارکرد آشکارسازهای تکثیرکننده الکترونی ضخیم در مد SQS جهت پایش دو بعدی آلودگی‌های سطحی آلفا پرداخته شده است. نشان داده شده است که می‌توان تغییرات شدت روشنایی در مکان‌های مختلف را به تغییرات میزان آلودگی در این نقاط مربوط دانست. همچنین دیده شد که قدرت تفکیک مکانی میزان آلودگی به تعداد حفره‌های موجود در واحد سطح هر THGEM بستگی دارد. از برتری این سیستم پایش آلودگی سطحی آلفا، توانایی تعیین مکان و شدت آلودگی بدون احتیاج به هیچ گونه سیستم تقویت کننده و قرائت‌گر الکترونیکی است.

کلید واژگان: آشکارسازهای گازی میکرو مقیاس، تکثیر کننده الکترونی ضخیم، مد ستون نور خود فرونشان، پایش آلودگی سطحی آلفا.

Design and construction an alpha surface contamination two-dimensional monitoring system using micro pattern gas detectors (MPGDs)

Maryam Najibzadeh¹, Mohsen Mirhabibi^{1*}, Ali Negarestani², Ahmad Akhound¹

¹Faculty of Physics, Payamenoor University, Tehran, Iran

²Faculty of Science and Technology, Kerman Graduate University of Technology, Kerman, Iran
P. O. Box: 19536-33511

Abstract

In this paper, a new method for alpha surface contamination monitoring based on the function of a thick gas electron multiplier (THGEM) in self-quenching streamer mode (SQS) is introduced. Function of these detectors in their SQS mode, have the ability to detect the alpha surface contamination in two dimensions. In this research, by placing two sources of Americium 241 with activities of 33 kBq and 150 kBq, the possibility of using the function of thick gas electron multiplier detectors in SQS mode for two-dimensional monitoring of alpha surface contamination has been investigated. It has been shown that the brightness is stronger in front of a stronger source. This attributed the different places to the changes of pollution level in these places. It was also observed that the spatial resolution of the contamination rate depends on the number of cavities per unit area of each THGEM. The advantage of this system is the ability to determine the location and the intensity of surface contamination without using any electronic amplifier or reader system.

Keywords: Micro pattern gas detectors, Thick gas electron multiplier, Self-quenching streamer mode, Alpha surface contamination monitoring

۱. مقدمه

پایش آلودگی سطحی^۱ ابزار مهمی در پایش تجهیزات هسته‌ای، تحقیقات آلودگی رادیواکتیوی محیطی و ارزیابی و پایش فوری پدیده‌های ناگهانی هسته‌ای رخ داده می‌باشد [۱]. آشکارسازهای سنتی ذرات آلفا، برای پایش آلودگی، معمولاً سطح آلودگی را مشخص می‌کنند [۲]. تجهیزات پایش جدید، بر پایه‌ی تکثیرکننده الکترون گازی ضخیم^۲ می‌تواند برای موقعیت‌یابی آلودگی مورد استفاده قرار گیرد [۳، ۴]. این نوع از پایش آلودگی سطحی، سرعت شمارش را سریع اندازه‌گیری و تصویرهای مکانی ناشی از آلودگی تشعشعات آلفا را تولید می‌کند [۵]. در حال حاضر، به چنین دستگاهی برای پایش پراکندگی آلودگی ساکنان محلی و کارگران بخش‌های هسته‌ای در مواقع اضطراری به شدت نیاز می‌باشد. در چنین شرایطی، اندازه‌گیری سریع و جزئیات دقیق مناطق آلوده به تشعشع برای دسترسی به کمک‌های پزشکی یا کمک‌های دیگر نیازی حیاتی است [۳].

تکثیرکننده‌ی الکترونی گازی در سال ۱۹۹۶ توسط ف. ساولی^۳ در سرن اختراع شد [۶]. تکثیرکننده‌ی الکترون گازی ضخیم و تکثیرکننده‌ی الکترون گازی ضخیم مقاوم^۴ از سال ۲۰۰۰ در طراحی‌های جدید آشکارسازهای شبیه GEM ساخته شده‌اند [۷، ۸]. معمولاً این ساختارهای سوراخ‌دار از دو رویه‌ی فلزی تشکیل شده‌اند که یک لایه‌ی دی الکتریک با ضخامت 0.4 mm تا 2 mm در میان آن قرار گرفته است و قطر سوراخ‌های آن 0.1 mm تا 2 mm می‌باشد [۹، ۵].

یکی از مهم‌ترین پارامترها در ساختارهای میکرو مقیاس^۵، بازدهی قابل دستیابی این آشکارسازها است. مشخص شده است که حد ریدر^۶، حداکثر بازده قابل دسترس در اکثر آشکارسازهای گازی از جمله آشکارسازهای گازی میکرو مقیاس را تعیین می‌کند [۳]. به عبارت دیگر، حداکثر بازدهی قابل دسترس (A_{max}) در ساختارهای میکرو مقیاس توسط رابطه‌ی زیر محدود می‌شود:

$$A_{max} \leq Q_{max}/n_0 \quad (1)$$

که در آن n_0 تعداد الکترون‌های اولیه و ($10^7 - 10^8$) Q_{max} ، حداکثر مقدار بار قابل دسترس است که بستگی به طراحی آشکارساز از جمله ترکیب گاز و فشار آن دارد. به دست آوردن مقدار بیشتری از A_{max} منجر به بروز جرقه‌های بدی در آشکارساز می‌شود که می‌تواند ابزارهای الکترونیکی حساس را نابود کند. در حالی که در حضور برخی مخلوط‌های گازی، آشکارساز پس از گذر از مد تناسبی وارد مد 7 SQS می‌شود و باریکه‌های ستون نور خود فرو نشان در آشکارساز ظاهر می‌شوند (شکل ۱). این باریکه‌ها هیچ پدیده مضر را موجب نمی‌شوند اما پایداری این مد به عنوان یک روش اپتیکی برای آشکارسازی رد ذرات می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. بنابراین در آشکارسازهای گازی میکرو مقیاس، با انتخاب مخلوط گازی مناسب برای ورود به مد 7 SQS ، به محض اینکه بار کل به مقدار Q_{max} برسد، باریکه‌ها ظاهر می‌شوند. ما A_{max} را به عنوان بازده آستانه (A_{th}) برای رسیدن به مد 7 SQS در ساختارهای میکرو مقیاس در نظر می‌گیریم. بنابراین در هر ساختار شبیه GEM، در یک ولتاژ مشخص (ولتاژ گذار)، بازده آشکارساز می‌تواند به A_{th} برسد و باریکه‌های مرئی در آشکارساز ظاهر خواهند شد [۵].

¹ Surface Contamination Monitor

² Thick Gas Electron Multiplier

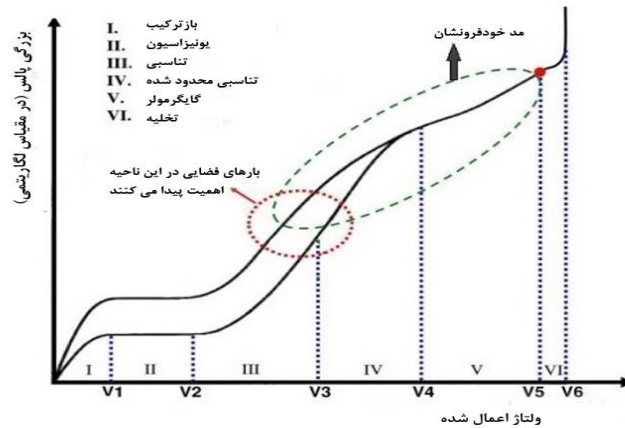
³ F. Sauli

⁴ Resistance Thick Gas Electron Multiplier

⁵ Micro Pattern

⁶ Raether's limit

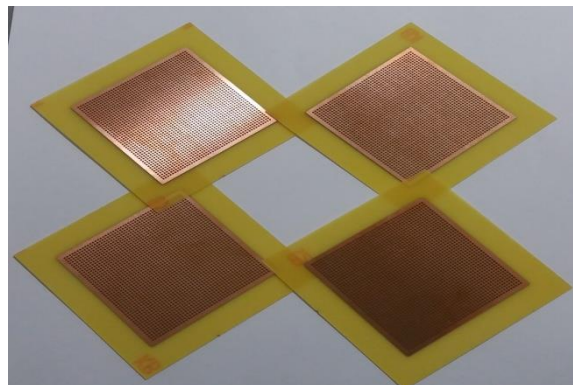
⁷ Self-Quenching Streamer mode



شکل ۱. منحنی مدهای عملکرد آشکارساز بر حسب ولتاژ اعمالی [۶]

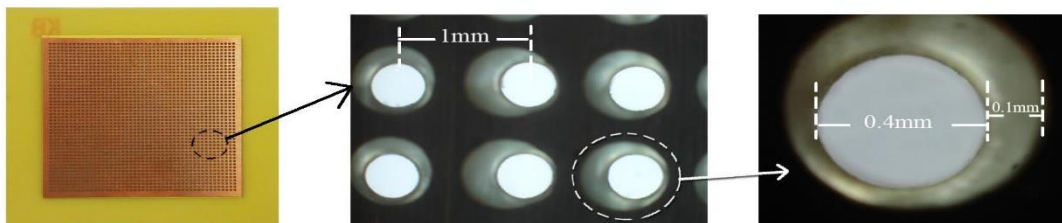
۲. روش کار

در طراحی و ساخت این سیستم پایش آلودگی سطحی از صفحات تکثیرکننده الکترونی ضخیم استفاده شده است. صفحات تکثیرکننده الکترونی ضخیم مورد نظر، از یک دی‌الکتریک به عنوان لایه میانی از جنس FR4 به ضخامت 0.4 mm و دو لایه مسی به ضخامت 0.35 mm در دو طرف آن تشکیل شده است (شکل ۲).



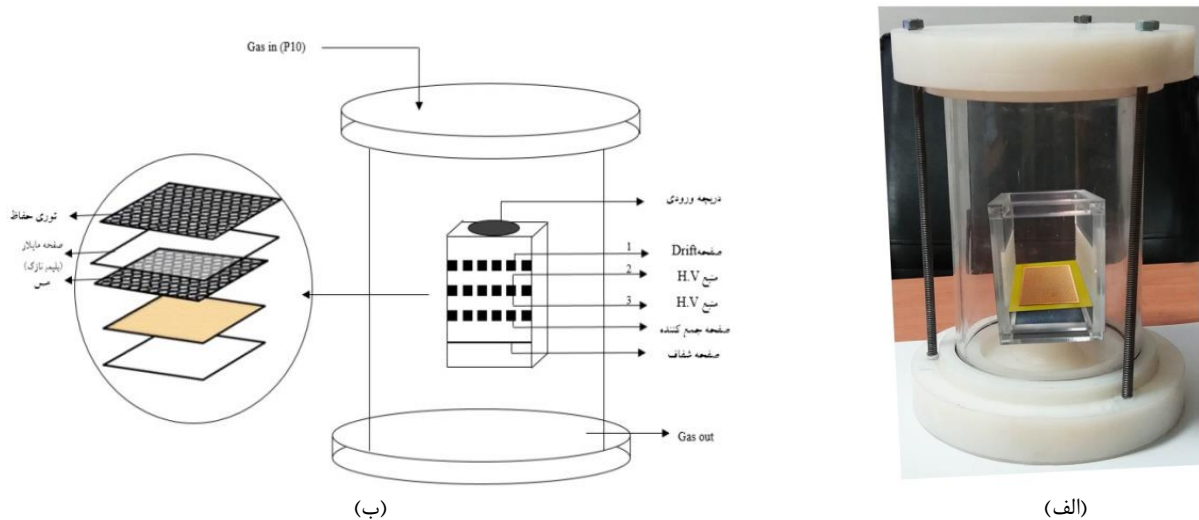
شکل ۲. نمونه‌هایی از تکثیرکننده الکترون گازی ضخیم استفاده شده در آزمایش

قطر حفره‌ها 0.4 mm و گام آنها 1 mm می‌باشد. جهت جلوگیری از جرقه زدن در ولتاژهای بالا، فلز مس از لبه حفره‌ها به ضخامت 0.1 mm برداشته شده است [۱۰]. (شکل ۳).



شکل ۳. ساختار میکروسکوپی تکثیرکننده الکترون گازی ضخیم

شکل ۴- الف نمایی از چیدمان آزمایشگاهی آشکارساز و شکل ۴- ب طرح ساده‌ای از ساختار آشکارساز تکثیرکننده الکترون گازی ضخیم را نشان می‌دهد.



شکل ۴. الف) چیدمان آزمایشگاهی آشکارساز (ب) ساختار آشکارساز تکثیرکننده الکترون گازی ضخیم

اجزای تشکیل دهنده سیستم فوق عبارتند از یک صفحه مشبک فلزی که کار حفاظت از پنجره نازک ورودی را بر عهده دارد. پنجره نازک ورودی از پلاستیکی با چگالی سطحی کمتر از $1/5 \text{ mg/cm}^2$ تشکیل شده است که به ذرات آلفای چشمه امرسیم اجازه عبور می‌دهد. لایه سوم از یک لایه FR4 به ضخامت $0/4 \text{ mm}$ تشکیل شده است که یک روی آن لایه‌ای مس به ضخامت $0/35 \text{ }\mu\text{m}$ می‌باشد و بر روی آن سوراخ‌هایی به قطر $0/4 \text{ mm}$ با گام 1 mm ایجاد شده است. این لایه نقش جمع کننده را برای اشعه‌های آلفایی ورودی بر عهده دارد و لایه مسی روی آن نقش کاتد آشکارساز را ایفا می‌کند. این لایه هر چند که از میزان اشعه ورودی به آشکارساز (بر اثر برخورد ذرات آلفا با جمع کننده) می‌کاهد اما باعث افزایش دقت تعیین محل آلودگی می‌گردد. البته جهت جبران ذرات آلفای حذف شده توسط جمع کننده و رسیدن به شرط ریدر کافی است طبق معادله (۱) ضریب تقویت آشکارساز افزایش یابد. لایه چهارم یک ورقه تکثیرکننده الکترونی ضخیم است که کار تکثیر الکترون‌های رسیده از ناحیه سوقی را بر عهده دارد. در صورتی که شرط ریدر در درون هر یک از حفره‌های صفحه تکثیرکننده الکترونی برآورده شود، ستون‌های نور خود سازمانده در آن حفره آشکار می‌شود و آن حفره همانند یک پیکسل نورانی روشن می‌گردد.

شدت روشنایی به حدی است که به راحتی قابل رویت می‌باشد. لایه مسی پایین صفحه تکثیرکننده الکترونی در این حالت نقش آند را نیز به عهده دارد. در این آزمایش از دو چشمه‌ی امرسیم 241 با اکتیویته‌های 150 kBq و 33 kBq به عنوان چشمه قوی و چشمه ضعیف استفاده شده است. گاز مورد استفاده در این آزمایش از 90% درصد گاز آرگون و 10% درصد گاز متان (گاز P10) تشکیل شده که به صورت جاری از قسمت ورودی محفظه وارد و از قسمت خروجی خارج می‌گردد. گاز متان موجود، از انتشار اشعه UV تولیدی در ناحیه تکثیر الکترون‌ها به نواحی جلوگیری می‌نماید و باعث ورود آشکارساز به ناحیه‌ی کاری SQS می‌شود.

۳. نتایج آزمایشگاهی

با قراردادن دو چشمه‌ی امرسیم 241 یکی با اکتیویته 33 kBq و دیگری با اکتیویته 150 kBq در مقابل پنجره ورودی، تا قبل از ولتاژ 5200 ولت، در هیچ یک از حفره‌ها، که نقش پیکسل‌های تصویر را عهده‌دار هستند (هر حفره مشابه یک پیکسل تصویر در نظر گرفته می‌شود که روشن شدن حفره مشابه روشن شدن پیکسل در تصویر است)، هیچ گونه ستون نوری مشاهده نگردید. با رسیدن ولتاژ به 5200 ولت همان گونه که در شکل ۵- الف مشاهده می‌شود ستون‌های نور در حفره‌های مقابل چشمه قوی‌تر نمایان گردیدند (شدت نور، به صورت کیفی اندازه گیری می‌شود و پیکسل‌های مقابل چشمه قوی‌تر، روشن شدند).

در شکل ۵- ب ولتاژ به میزان ۵۴۰۰ ولت افزایش یافته است. همان گونه که مشاهده می‌گردد شدت روشنایی و همچنین تعداد حفره‌های مقابل چشمه قوی‌تر افزایش یافته است اما هنوز پیکسلی روبروی چشمه ضعیف‌تر روشن نشده است. با افزایش ولتاژ، زمانی که ولتاژ به ۵۶۰۰ ولت می‌رسد، شکل ۵-ج، علاوه بر افزایش شدت روشنایی در مقابل چشمه قوی‌تر، ستون‌های نور در حفره‌های مقابل چشمه ضعیف‌تر نیز پدیدار می‌گردند. با افزایش بیشتر ولتاژ، شدت روشنایی ستون‌های نور و همچنین تعداد حفره‌هایی که ستون نور در آنها مشاهده می‌شود افزایش می‌یابد (شکل‌های ۵-د، ۵-ه و ۵-و و ۵-ز).



(ج)



(ب)



(الف)



(و)



(ه)



(د)



(ز)

شکل ۵. تصویر به دست آمده در ولتاژهای (الف) ۵۲۰۰ ولت (ب) ۵۴۰۰ ولت (ج) ۵۶۰۰ ولت (د) ۵۸۰۰ ولت (ه) ۶۰۰۰ ولت (و) ۶۲۰۰ ولت و (ز) ۶۴۰۰ ولت

۴. بررسی و تحلیل نتایج

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که سیستم پیشنهادی به خوبی می‌تواند در پایش آلودگی سطحی کاربرد داشته باشد. این سیستم بسیار ارزان به راحتی می‌تواند در ابعاد چندین متری ساخته و مورد استفاده قرار گیرد. همان گونه که در تصاویر نشان داده شده در شکل ۵ می‌توان دید با افزایش ولتاژ ابتدا پیکسل‌های (حفره‌های) مقابل چشمه‌های با اکتیویته بالاتر (آلودگی بیشتر) روشن شده و با افزایش ولتاژ پیکسل‌های مقابل آلودگی‌های کمتر نیز روشن می‌گردند ضمن اینکه شدت روشنایی مقابل چشمه‌های با اکتیویته بالاتر (آلودگی بیشتر) افزایش می‌یابد. یعنی شدت نور تولیدی به شدت آلودگی بستگی دارد و از این رو می‌توان نقاط با آلودگی خیلی زیاد را به راحتی تشخیص داد.

پارامتر اصلی تاثیرگذار بر دقت مکانی، تعداد حفره‌های ایجاد شده در واحد سطح تکثیرکننده الکترونی ضخیم و تعداد حفره‌های ایجاد شده در واحد سطح جمع‌کننده می‌باشد. پراکندگی نورها در مقابل چشمه‌ها، می‌تواند به علت کم بودن ضخامت جمع‌کننده مورد استفاده باشد. به کار بردن جمع‌کننده با ضخامت بیشتر باعث حذف این پراکندگی و بهبود تصویر مکانی می‌گردد. در یک راستا نبودن حفره‌های جمع‌کننده و حفره‌های تکثیرکننده نیز می‌تواند عدم کارکرد مناسب و کاهش دقت مکانی را در پی داشته باشد.

در مواقعی که بخواهیم سادگی سیستم حفظ شود و نخواهیم از دوربین‌های با قابلیت اندازه‌گیری شدت نور جمع‌کننده استفاده کنیم، از آنجا که این امر بیشتر در مقابل اطراف مرکز چشمه به چشم می‌خورد (به علت توزیع فضایی چشمه) با ایجاد جمع‌کننده می‌توان از رویداد تعداد زیادی از آنها جلوگیری نمود.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

استفاده از مد SQS در چند دهه قبل جهت مشخص نمودن مکان پرتو ورودی در آشکارسازهای گازی معرفی شد. اما محدودیت در کنترل گسترش مکانی ستون نور، تعیین محل ورود اشعه را با عدم دقت چند میلی‌متری روبرو ساخت. اما در تکثیرکننده‌های الکترونی گازی، که در سال‌های اخیر معرفی شده‌اند، گسترش ستون نور تولیدی در مد SQS محدود به دیواره حفره‌ها خواهد بود و در نتیجه بسته به قطر حفره می‌توان به دقت‌های کمتر از میلی‌متر دست پیدا کرد. در این مقاله ایده استفاده از کارکرد آشکارسازهای تکثیرکننده گازی در مد SQS در ساخت یک پایش‌گر آلودگی سطحی آلفا مورد استفاده قرار گرفت و نشان داده شد چگونه می‌توان با صرف هزینه کم و بدون نیاز به سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری قرائت سیگنال و پردازش تصویر، تصویری دو بعدی از سطح آلوده داشت.



۶. مراجع

1. Knoll, G.F., Radiation detection and measurement. 2010: John Wiley & Sons.
2. Peskov, V., et al., The study and optimization of new micropattern gaseous detectors for high-rate applications. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2001. 48(4): p. 1070-1074.
3. Xiao, S.-M., et al., Development of alpha surface contamination monitor based on THGEM for contamination distribution. Nuclear Science and Techniques, 2019. 30(10): p. 150.
4. Corradi, G., F. Murtas, and D. Tagnani, A novel high-voltage system for a triple GEM detector. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2007. 572(1): p. 96-97.
5. Hashemi, S.M. and A. Negarestani, A new method for alpha particle detection use of Electron multiplier assembly (EMA) in SQS mode. Journal of Instrumentation, 2018. 13(05): p. P05025.
6. Sauli, F., GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 1997. 386(2-3): p. 531-534.
7. Murtas, F. Development of a gaseous detector based on Gas Electron Multiplier (GEM) Technology. 28 November 2002
8. Altunbas, C., et al., Construction, test and commissioning of the triple-GEM tracking detector for COMPASS. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2002. 490(1-2): p. 177-203.
9. Souri, R., A. Negarestani, and M. Mahani, A new approach for direct imaging of Alpha radiation by using Micro Pattern Gas Detectors in SQS mode. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2018. 884: p. 128-135.
10. Souri R, Negarestani A, Souri S, Farzan M, Mahani M. Design and construction of a new ultraviolet sensor using CsI deposition in the ionization chamber. Nuclear Engineering and Technology.2018Apr1