Archive of SID

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ٤، شمارهٔ ١، زمستان ١٣٩٤

طراحی و ساخت آشکارساز RETGEM سه گانه

منصور فرهادی[1*]، علی نگارستانی[2]، امیرعباس صبوری دودران[1] و محمدآقا بلوری‌زاده[2]

[1] دانشکده فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

[2] دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، کرمان، ایران.

[*] تهران، دانشگاه پیام نور، مرکز تحصیلات تکمیلی پیام نور، کدپستی:۱۹۵۳۶-۳۳۵۱۱

پست الکترونیکی: man.farhadi@gmail.com

چکیده

طراحی، ساخت و آزمایش نخستین آشکارساز RETGEMسه‌گانه در این مقاله ارایه شده است. آشکارسازهای RETGEM به دلیل استفاده از الکترودهایی با مقاومت الکتریکی نسبتا بالا، در برابر تخلیه الکتریکی نسبت به آشکارسازهای THGEM مقاومت بیشتری دارند و در نتیجه با استفاده از آن‌ها می‌توان به بهره‌های بالا دست یافت. اما حتی این آشکارسازها در حد بهره‌های بزرگتر از 10^5 نمی‌توانند در برابر تخلیه الکتریکی مقاوم باشند.در این تحقیق با مطالعه تأثیر ابعاد آشکارسازهای RETGEMسه‌گانه و همچنین اثر فشار و نوع گاز استفاده شده در آن بر بهره آشکارساز، نشان داده شده که با استفاده از آشکارسازهای RETGEMسه‌گانه می‌توان به راحتی و بدون نگرانی از بابت تخلیه الکتریکی به بهره-هایی در حد 10^6 دست یافت. همچنین در تمام آزمایش‌ها عملکرد آشکارسازهای RETGEMسه گانه و تک‌گانه مقایسه گردید.

کلیدواژگان: آشکارسازهای گازی، آشکارساز GEM، RETGEMسه‌گانه، بهره آشکارساز.

۱. مقدمه

امروزه استفاده از آشکارسازهای گازی نظیر آشکارسازهای GEM[1] به طور گسترده در زمینه‌های مختلف از پزشکی و کاربردهای صنعتی تا آزمایش‌های بسیار دقیق در شتاب‌دهنده هادرونی بزرگ (LHC) بسیار رایج شده است. به دلیل این طیف گسترده از کاربرد آشکارسازهای GEM، تلاش‌های زیادی برای تحقیق و توسعه این آشکارسازها و همچنین ساخت نسل‌های مقاوم‌تر آن‌ها ایجاد شده است. آشکارسازهای THGEM[2] و RETGEM[3] که در واقع نسل جدیدی از آشکارسازهای GEM هستند را می‌توان به عنوان مثالی از این پروژه‌های موفق نام برد که دستیابی به بهره‌های بالاتر را امکان پذیر می‌سازند.

آشکارساز GEM در سال ۱۹۹۷ به عنوان یک تقویت کننده توسط سالی[4] معرفی شد. GEM صفحه نازک پلیمری مملو از سوراخ است که بصورت شیمیایی دو طرف آن از فلز پوشانده شده است[۱،۲].

1. Gas Electron Multiplier

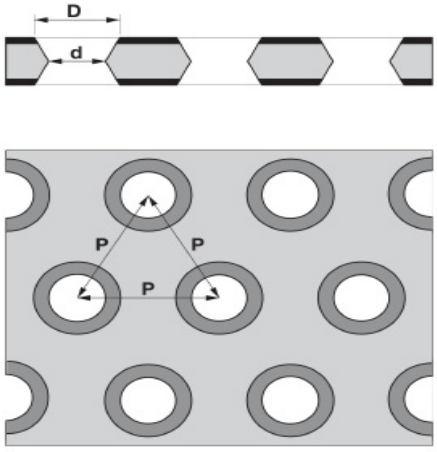
2. Thick GEM
3. Resistive Electrode Thick GEM
4. F. Sauli

www.SID.ir

Archive of SID

ساده‌ترین تکنولوژی آشکارسازهای گازی GEM اتاقک GEMتک گانه است که شامل یک فویل GEM است که یک اختلاف پتانسیل بین دو صفحه موازی الکترود قرار گرفته است که آند آن را از یک صفحه نواری یا یک صفحه بازخوانی ساخته شده است. فویل GEM شامل یک نارسانا کپتون[1] است که دو طرف آن با لایه‌ای مسی پوشانده شده است.

همانطور که در شکل۱ نشان داده شده است سطح ورقه پر از حفره‌های استوانه‌ای است که در فاصله مشخص از هم قرار گرفته‌اند. این حفره‌ها در مرکز شعاع کمتر و در بالا و پایین شعاع بزرگتری دارند. به علت اعمال ولتاژ در لایه‌های مسی یک بهمن تکثیر گازی در داخل حفره‌ها رخ می‌دهد. فاصله بین کاتد و فویل GEM را گاف رانش می‌نامند.



شکل (۱): نمای حفره‌ها در سطح ورقه آشکارساز GEM

نقش میدان الکتریکی در این ناحیه که میدان رانش می‌نامند، در واقع جمع کردن الکترون‌های یونش درون حفره‌های GEM است. فاصله‌ی بین فویل GEM و آند نیز گاف القا نامیده می‌شود. میدان القاء، الکترون‌های بهمنی را از حفره‌ها استخراج کرده و آنها را به سمت آند می‌راند به‌طوری‌که یک سیگنال در نزدیکی نوارها یا پد بازخوانی القاء می‌شود.

از مزایا و برتری‌های GEM نسبت به آشکارسازهای دیگر علاوه بر حساسیت بالا, حجم کم, مقاومت پرتویی بالا و سرعت بالای آنها می توان به موارد زیر نیز اشاره کرد[۲].

۱) کاهش اثر زمان مرده آشکارساز و قابلیت به کارگیری آن در میدان تابشی با آهنگ تابش بالا

۲) افزایش بهره با افزودن لایه‌های موازی به صورت دو یا سه طبقه (آشکارساز دوگانه و سه‌گانه)

۳) از بین رفتن یون های بازگشتی در آشکارساز

علی‌رغم مزایای اشاره شده برای آشکارسازهای GEM، این آشکارسازها معایبی نیز دارند. از جمله معایب آن‌ها می‌توان به هزینه بالا و مراحل ساخت نسبتاً دشوار اشاره کرد که منجر به ظهور نسل جدیدی از آشکارسازها بر پایه‌ی آشکارسازهایGEM شد که THGEM نامیده می‌شوند و آشکارسازهایی بسیار مقاوم و با بهره بالا هستند[۳،٤].

THGEMها عملاً بر پایه‌ی یونش گاز درون حفره‌هایی با پهنای میلیمتری که روی مدار چاپی ایجاد شده، بنا شده‌اند. در واقع تحول اصلی در تکنولوژی GEM برای دستیابی به THGEM افزایش ابعاد فیزیکی دستگاه است.

تحقیقات در سال‌های اخیر منجر به توسعه نوع جدیدی از آشکارسازهایTHGEM شده است. این مدل جدید از آشکارسازهای THGEM که مطالعه‌ی آن‌ها موضوع اصلی این مقاله است، به دلیل جایگزینی یک لایه با مقاومت الکتریکی بالا (نظیر گرافیت)، به جای لایه رسانای متداول در مدارهای چاپی،RETGEM نامیده می‌شوند[۵،٦].

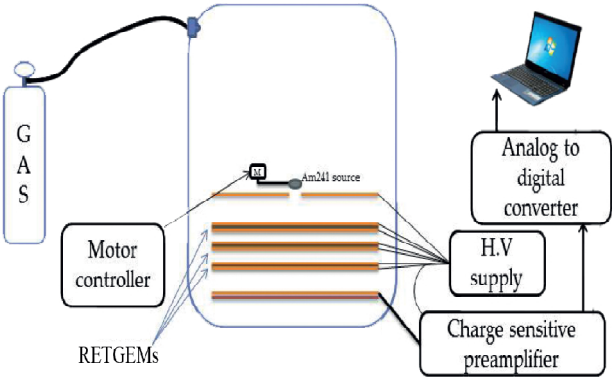
در این پژوهش با ساخت اولین آشکارساز RETGEMسه‌گانه و مقایسه نتایج به‌دست آمده از آن با آشکارسازهای RETGEMمعمولی (تک گانه)، به مطالعه اثر اندازه و ابعاد فیزیکی آشکارسازهای ساخته شده و همچنین تاثیر ترکیب گاز استفاده شده و فشار آنبر بهره آشکارساز پرداخته شد و نشان داده شد که با به کارگیری یک

1.Kapton

www.SID.ir

Archive of SID

RETGEMسه‌گانه می توان به بهره‌هایی تا حد 10^6 دست یافت. در حالی که حداکثر بهره گزارش شده برای RETGEMهای تک گانه در حد 10^5 است[۷].



شکل (۲): نمای کلی آشکارساز RETGEM سه‌گانه

۲. مبانی نظری آشکارسازهای RETGEMسه‌گانه

در این نوع آشکار ساز از سه لایهRETGEM بین قطب های آند و کاتد استفاده می شود(شکل ۲).

فضای بین آند و آخرین صفحه، گاف القاء و فضای بین کاتد و اولین صفحه، گاف رانش نامیده می‌شود. همچنین فاصله‌ی بین صفحات گاف انتقال نامیده می شود.گاف‌های انتقال نقش مهمی در قابلیت آشکارسازی بازی می‌کنند. این موضوع را به راحتی و با کاهش فاصله‌ی صفحات RETGEM به صفر و در واقع حذف گاف‌های انتقال بین صفحات، می‌توان درک کرد. با این کار آشکارساز RETGEMسه‌گانه به یک RETGEMتک‌گانه تبدیل خواهد شد. در واقع گاف‌های انتقال با کاهش احتمال تخلیه الکتریکی منجر به افزایش بهره آشکارساز RETGEMسه‌گانه می‌شوند.

۱.۲. بهره آشکار ساز RETGEM سه گانه

بهره آشکارسازهای RETGEMتک‌گانه را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$G_i \propto e^{<\alpha>V_{RETGEM}} \qquad (۱)$$

که در آن V_{RETGEM} اختلاف‌پتانسیل بین دو طرف صفحات RETGEM می‌باشد همچنین $<\alpha>$ اولین ضریب تانسند[1] می‌باشد، آنگاه G_i بهره ذاتی آشکارساز است که به ولتاژ اعمال شده وابستگی شدید دارد و بنابراین به آستانه تخلیه الکتریکی محدود شده است. بهره مؤثرRETGEMتک‌گانه را می‌توان با اندازه‌گیری جریان الکتریکی آند محاسبه کرد. به‌دلیل اتلاف الکترون‌ها در آند این مقدار همواره از بهره ذاتی آشکارساز کوچکتر است. بهره مؤثر و ذاتی با رابطه ی زیر به هم مربوط می شوند:

$$G_{eff} = G_i T \qquad (۲)$$

که در آن T بین صفر تا یک است و در این رابطه G_{eff} بهره مؤثر آشکارساز می‌باشد.

بهره ذاتی یک آشکار ساز RETGEMسه‌گانه حاصل‌ضرب بهره ذاتی سه لایه مجزایRETGEM است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$G_i \propto e^{<\alpha>(V_{RETGEM_1}+V_{RETGEM_2}+V_{RETGEM_3})} \qquad (۳)$$

و بهره‌ی مؤثر آن را نیز می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$G_{eff} = G_i T_{tot} = G_i \prod_{k=1}^{3} \in_{coll_k} f_{extr_k} \qquad (٤)$$

که در آن $\in_{coll_k}$ بازده مجموع و f_{extr_k} نسبت الکترونی برای لایه شماره k در آشکارساز RETGEMسه‌گانه است و T_{tot} ضریب عبور الکترونی کل آشکارساز است. با افزایش بهره مؤثر احتمال بروز تخلیه الکتریکی نیز افزایش می‌یابد. درآشکارسازهای RETGEMسه‌گانه تخلیه‌ی الکتریکی به دلیل افزایش جمعیت الکترون‌های آزاد، ابتدا در آخرین مرحله‌ی فرآیند تقویت رخ می‌دهد، بنابراین برای دستیابی به بهترین نتیجه باید اختلاف پتانسیل صفحات را به صورت زیر تعیین نمود:

$$V_{RETGEM_1} \gg V_{RETGEM_2} \geq V_{RETGEM_3} \qquad (۵)$$

1.Townsend Coefficient

www.SID.ir

Archive of SID

چون بهره مؤثر به جمع ولتاژ اعمال شده بر لایه‌ها وابسته است، می‌توان با انتخاب ولتاژ مناسب برای لایه‌ها بر این مشکل فایق آمد. کاهش ولتاژ و به همین ترتیب کاهش بهره‌ی آخرین لایه با افزایش ولتاژ و بهره‌ی دو لایه بالاتر جبران می‌شود. مهمترین مزیت آشکارسازهای RETGEMسه‌گانه امکان دستیابی به بهره‌های بالا بدون نگرانی از جهت تخلیه‌ی الکتریکی است.

۳. طراحی و ساخت RETGEMسه‌گانه

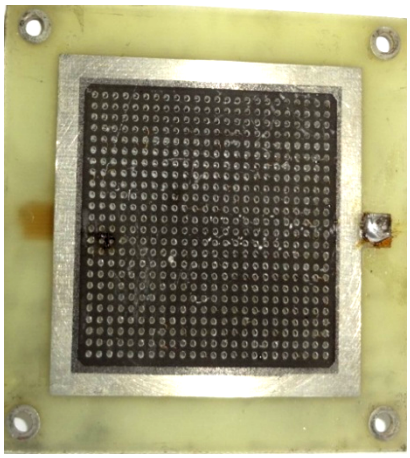
اولین نمونه‌های RETGEM با استفاده از ورقه های مدار چاپی[1] (PCB)ساخته شدند[۵]. فراهم بودن نمونه‌های آماده و دردسترس بودن از مزایای ورقه‌های مدار چاپی است. علاوه بر آن، ابزار مورد نیاز برای اعمال تغییرات لازم در آن‌ها، هم به صورت نرم‌افزاری و هم سخت‌افزاری کاملاً در دسترس است.

در این پروژه برای ساخت آشکارساز RETGEM از ورقه‌های مدار چاپی با ضخامت‌های ۰/۸ میلیمتر و ۱/۰ میلیمتر استفاده شده است. اگر چه اخیراً و در سال ۲۰۱۱ رازین[2] و گروهش توانستند با استفاده از لایه‌های پی‌وی‌سی (PVC) مدلی از آشکارسازهای RETGEM را بسازند[۸]، اما همچنان ساخت این آشکارسازها با کمک ورقه‌های مدار چاپی متداول‌تر است.

نمای کلی آشکارساز ساخته شده در این پژوهش در شکل ۲ آورده شده است. قطعاً مهمترین جزء دستگاه، لایه‌های RETGEM به کار رفته در آن است. بنابراین در ادامه به طور مختصر به برخی جزییات مربوط به ساخت این لایه‌ها اشاره خواهد شد.

در ساخت لایه‌های آشکارساز با استفاده از مدار چاپی در ابتدا لازم است ورقه مسی روی مدار چاپی برداشته و با لایه‌ای از یک رسانا با مقاومت الکتریکی بالا مثل گرافیت جایگزین شود. حذف ورقه مسی و سوراخ‌کاری لایه‌های مدار چاپی با استفاده از نرم افزار پروتیوس[3] و انتقال داده‌ها به ربات‌های مخصوص با دقت بسیار بالا امکان‌پذیر است. در مرحله‌ی بعد با کمک افشانه، لایه‌ای ازگرافیت جایگزین می شود. اما لازم است ورقه‌ها از نظر کیفیت گرافیت توزیع شده روی سطح مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار گیرند. به طبع تعدادی از صفحات به لحاظ پوشش گرافیت مناسب ارزیابی نمی‌شوند و حذف خواهند شد.

مرحله‌ی آخر سوراخ‌کاری ورقه‌های مدار چاپی با پوشش گرافیت است. مجدداً با استفاده از نرم افزار پروتیوس و تعیین قطر سوراخ‌ها و فاصله‌ی مراکز سوراخ از هم می‌توان به کمک ربات، سوراخ‌های دقیقی در سطح لایه‌های مدار چاپی ایجاد نمود.



شکل (۳): نمونه ورقه آشکارساز RETGEM ساخته شده

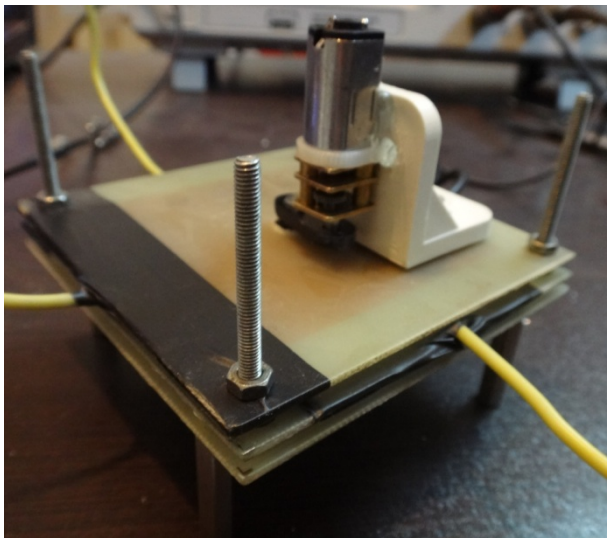
در این پژوهش فاصله‌ی مرکز سوراخ‌ها در تمام لایه‌ها ۲/۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است اما قطر سوراخ‌ها در برخی لایه‌ها ۰/۵ میلی‌متر و در برخی دیگر ۱/۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. شکل ۳ یک نمونه آماده شده از این ورقه‌ها را نشان می‌دهد.

برای ساخت آشکارساز RETGEMسه‌گانه باید سه ورقه آماده شده RETGEM را با دقت و در فاصله مناسب از هم نصب نمود (شکل ٤).

1. Printed Circuit Board
2. Razin
3. proteus

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (٤): نحوه نصب ورقه‌ها در آشکارساز RETGEM سه‌گانه

در انتها باید صفحات RETGEM را در یک محفظه با قابلیت فراهم آوردن خلاء نصب نمود. چرا که ورود ذرات هوا و افزایش ناخالصی گاز احاطه کننده صفحات آشکارساز، بهره و عملکرد آن را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد.

٤. اندازه‌گیری بهره

در این بخش به تجزیه و تحلیل بهره آشکارسازهای ساخته شده در بخش قبل پرداخته خواهد شد. ابتدا تأثیر ابعاد آشکارساز بر بهره‌ی آن مورد مطالعه قرار می‌گیرد سپس با پر کردن مخزن آشکارساز با گازهای مختلف و در فشارهای متفاوت، بهره‌ی آشکارسازهای RETGEMتک‌گانه و سه‌گانه مقایسه می‌شود.

۱.٤. تأثیر ابعاد آشکارساز بر بهره

در این بخش، سه آشکارساز RETGEMتک‌گانه و سه گانه را که با ابعاد مختلف ساخته شده‌اند، مورد مطالعه قرار گرفت. در ساخت RETGEMسه گانه از صفحات کاملاً مشابه استفاده شده و برای RETGEMهای تک‌گانه تنها از یکی از صفحات RETGEMسه‌گانه بکار رفته است. در جدول ۱ ابعاد صفحات RETGEM نظیر ضخامت، قطر سوراخ‌ها و فاصله سوراخ‌ها از هم برای آشکارسازها به ترتیب شماره آورده شده است.

جدول(۱): مشخصات و ابعاد صفحات RETGEM

شماره آشکارساز	ضخامت صفحات	قطر سوراخ‌ها	فاصله سوراخ‌ها
۱	۱/٦ میلی‌متر	۱ میلی‌متر	۲ میلی‌متر
۲	۰/۸ میلی‌متر	۱ میلی‌متر	۲ میلی‌متر
۳	۱/٦ میلی‌متر	۰/۵ میلی‌متر	۲ میلی‌متر

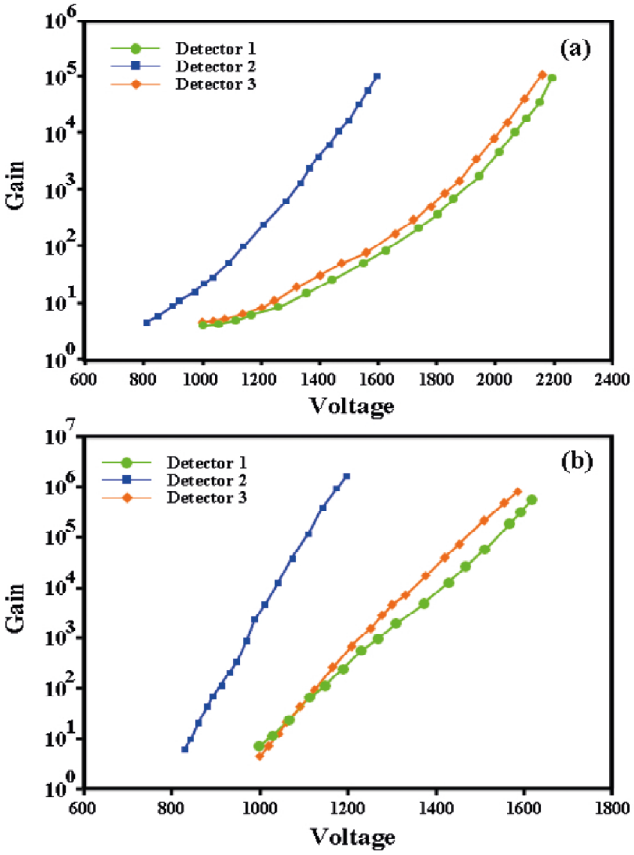
در اینجا تمامی آشکارسازها با ترکیب گاز مشابه پرشده‌اند که شامل ٪۸۰ گاز آرگون و ٪۲۰ گاز دی‌اکسید کربن می‌باشد. علاوه بر آن سایر خصوصیات و ابعاد آشکارسازها نیز برای تمام موارد ساخته شده کاملاً یکسان در نظر گرفته شده است. برخی از این ابعاد عبارتند از گاف انتقال (۲ میلی‌متر)، گاف القاء (۲ میلی‌متر) و گاف رانش(۵ میلی‌متر) که برای تمام آشکارسازهای یکسان در نظر گرفته شده است.

شکل۵ بهره آشکارسازهای ۱ تا ۳ را برحسب اختلاف-پتانسیل اعمال شده به صفحات RETGEM نشان می‌دهد. البته همان‌طور که قبلاً اشاره شد در مورد RETGEMسه گانه لازم است اختلاف‌پتانسیل به گونه‌ای توزیع شود که هم بالاترین مجموع انتخاب شود و هم از تخلیه الکتریکی در آخرین صفحه RETGEM جلوگیری شود.

همانگونه که در شکل ۵ پیداست در آشکارساز RETGEMسه‌گانه به راحتی و بدون اعمال حدود بالای اختلاف پتانسیل می‌توان به بهره‌هایی در حد 10^6 دست یافت.

www.SID.ir

Archive of SID



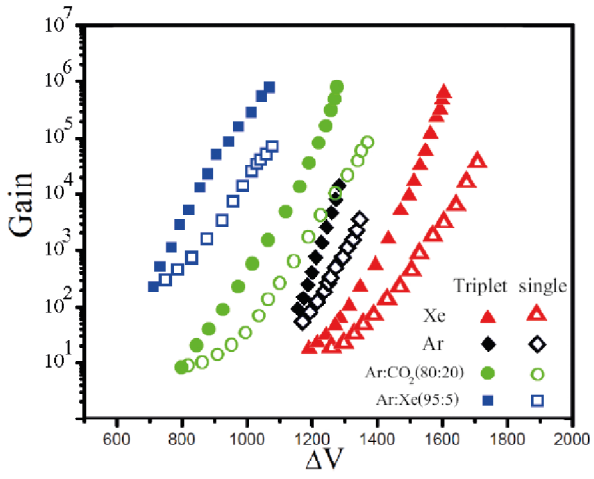
شکل (۵): بهره آشکارساز RETGEM (a) تک‌گانه و RETGEM(b) سه‌گانه برحسب اختلاف‌پتانسیل اعمال شده به صفحات

در حالی که برایRETGEMتک‌گانه در نهایت و در حد اختلاف‌پتانسیل‌های نزدیک به تخلیه‌ی الکتریکی بهره‌ای در حد 10^5 قابل دستیابی است.

۲.٤. مطالعه اثر گازهای مختلف و فشار بر بهره آشکارسازهای RETGEM تک‌گانه و سه‌گانه

در این قسمت یکی از آشکارسازهایRETGEMتک‌گانه و سه‌گانه که مشخصات فنی آنها در جدول ۱ آورده شده آشکارساز (شماره ۲) برای مطالعه اثر گازهای مختلف و تغییرات فشار بر بهره انتخاب می‌شود.

شکل ٦ بهره آشکارسازRETGEMتک گانه و سه گانه را برحسب اختلاف‌پتانسیل اعمال شده به صفحات برای گازهای زنون و آرگون و همچنین ترکیب گازهای آرگون –دی‌اکسید کربن (به نسبت ٪۸۰ آرگون و ٪۲۰ دی‌اکسید کربن) و آرگون– زنون (به نسبت ٪۹۵ آرگون و ٪۵ زنون) در فشار ثابت یک اتمسفر، نشان می‌دهد.



شکل (٦): بهره آشکارسازRETGEMتک‌گانه و سه‌گانه برای گازهای مختلف برحسب اختلاف پتانسیل اعمال شده به صفحات

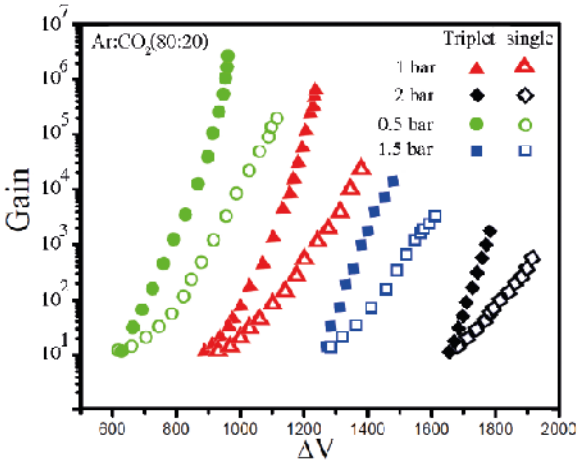
همان‌گونه که از نمودارها پیداست بهره آشکارسازهای سه-گانه برای تمامی ترکیب گازهای استفاده شده به مراتب بالاتر از آشکارسازهای تک‌گانه است و همچنین مطابق آنچه در بخش‌های قبل نیز اشاره شد، درحالی که برای آشکارسازهای RETGEMتک‌گانه در حد بهره 10^5 احتمال بروز تخلیه الکتریکی وجود دارد، اما در شکل ٦ مشاهده می شود که برای تمامی گازهای استفاده شده، RETGEMسه‌گانه به راحتی می‌تواند بهره‌هایی در حد 10^6 ارایه کند.

شکل ۷ عملکرد آشکارسازهای RETGEMتک‌گانه و سه‌گانه را در فشارهای مختلف مورد بررسی قرار داده است. در واقع نمودار بهره آشکارسازهای RETGEMتک گانه و سه گانه برحسب اختلاف پتانسیل اعمال شده به صفحات آنها در فشارهای مختلف در بازه ۰/۵ bar تا ۲ bar رسم شده است. در این آزمایش نیز نمونه آشکارساز (شماره ۲) که طبق مشخصات فنی جدول ۱ ساخته شده، مورد استفاده قرار گرفته

www.SID.ir

Archive of SID

و با ترکیب گاز آرگون- دی‌اکسید کربن به نسبت ٪۸۰ آرگون و ٪۲۰ دی‌اکسید کربن احاطه شده است.



شکل (۷): بهره آشکارساز RETGEM تک‌گانه و سه‌گانه به ازای فشارهای مختلف گاز احاطه کننده، برحسب اختلاف‌پتانسیل اعمال شده به صفحات

در شکل ۷ نیز در تمام فشارهای مطالعه شده، آشکارسازهای RETGEMسه‌گانه عملکرد بهتری نسبت به نمونه تک‌گانه داشته‌اند و البته کاهش حد بهره قابل دسترس با افزایش فشار گاز احاطه‌کننده به وضوح در نمودارها قابل مشاهده است. این نتیجه با نتایج گزارش شده برای آشکارساز THGEM مطابقت دارد[۹].

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله نمونه‌هایی از آشکارسازهای RETGEMسه‌گانه و تک‌گانه ساخته و مورد مطالعه قرار گرفتند و نشان داده شد که در تمامی موارد آزمایش شده در ابعاد مختلف و همچنین با استفاده از گازهای مختلف بهره آشکارساز RETGEMسه گانه به مراتب بالاتر از RETGEMتک گانه است و با کمک آن می‌توان به بهره‌هایی در حد 10^6 نیز بدون نگرانی از بابت تخلیه الکتریکی دست یافت.

از دیگر نتایج می‌توان، به عملکرد آشکارسازها در فشارهای مختلف گاز درون محفظه آشکارساز اشاره کرد. بهره قابل دستیابی آشکارسازهای RETGEMسه‌گانه مشابه با نمونه تک‌گانه با افزایش فشار گاز درون مخزن کاهش می‌یابد.

٦. مراجع

[1] F. Sauli, Nucl. Instrument and Method A 386 (1997) 531-533.

[2] F. Sauli, Nuclear Instrument and Method A580(2007)971-972.

[3] C. Shalem, R. Chechik, A. Breskin, and K. Michaeli. Advances in Thick GEM-like gaseous electron multipliers—Part I: atmospheric pressure operation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 558, no. 2 (2006) 475-489.

[4] C.K. Shalem, R. Chechik, Amos Breskin, K. Michaeli, and N. Ben-Haim. Advances in thick GEM-like gaseous electron multipliers Part II: Low-pressure operation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 558, no. 2 (2006) 468-474.

[5] V. Peskov, A.Vladimir, B. Baibussinov, S. Centro, A. Di Mauro, Bengt Lund-Jensen, P. Martinengo, E. Nappi et al. Development and first tests of GEM-like detectors with resistive electrodes. Nuclear Science, IEEE Transactions on 54, no. 5 (2007) 1784-1791.

[6] A. Yoshikawa, T. Tamagawa, T. Iwahashi, F. Asami, Y. Takeuchi, A. Hayato, H. Hamagaki et al. Development of Resistive Electrode Gas Electron Multiplier (RE-GEM). Journal of Instrumentation 7, no. 06 (2012) 203-205

[7] G. Agocs, B. Clark, P. Martinego, R. Oliveira, V. Peskov, P. Pietropaolo, and P. Picchi. Developments and the preliminary tests of resistive GEMs manufactured by a screen printing technology Journal of Instrumentation 3, no. 02 (2008) 2012-2014.

[8] V. I. Razin, A. I. Reshetin, and S. N. Filippov. RETGEM with polyvinylchloride electrodes.

www.SID.ir

Archive of SID

Instruments and Experimental Techniques 54, no. 5 (2011) 709-711.

[9] R. Z. Alon, Miyamoto, M. Cortesi, A. Breskin, R. Chechik, I. Carne, J. M. Maia et al. Operation of a thick gas electron multiplier (THGEM) in Ar, Xe and Ar-Xe. Journal of Instrumentation 3, no. 01 (2008) 1005-1006.

www.SID.ir