مزایای روش میکرولبه (Micro-edge) به عنوان روش جایگزین لیتوگرافی در ساخت اتاقک گاز میکرونوار(MSGC)

INC29-1364

فیاض محمدباقری[1*]، شهیار سرآمد[1]، مجتبی شمسایی زفرقندی[1]

1. گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده فیزیک و انرژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده:

با وجود ویژگی‌های جذاب آشکارسازهای میکرونوار(MSGC)، این آشکارسازها دارای معایبی هستند. باردارشدن سطح بستر سبب ناپایداری بهره شده و وقوع جرقه منجر به قطع شدن نوارهای نازک شده و باعث خراب شدن دائمی آن می‌شود. محدودیت‌های ابعاد ساخت و هزینه‌های ساخت، ارائه روش پیشنهادی جایگزین تحت عنوان میکرولبه را برای این آشکارساز توجیه می‌کند. در این روش لبه‌های ورقه‌های روی هم چیده شده نقش میکرونوارها را ایفا می‌کنند. با قرار دادن این لایه‌ها در یک نگه‌دارنده و سمباده کاری آن، به الگویی مشابه MSGC می‌رسیم. در این روش لبه‌های لایه‌هایی از جنس عایق و رسانا با نظم مشخص، نقش نوارهای چاپ شده بر روی بستر را بازی می‌کنند. هزینه پایین ساخت، روش آسان ساخت، مقاومت در برابر جرقه، قابلیت پیکسلی شدن و کاهش تجمیع یون‌ها در سطح آشکارساز، از مزایای آشکارساز میکرولبه است. در این مقاله به تفصیل به بررسی مزیت‌های این آشکارساز بر آشکارساز میکرونوار پرداخته‌ایم.

کلیدواژه‌ها:آشکارساز میکرونوار(MSGC)، آشکارساز میکرولبه (MEGC)، آشکارساز گازی، حساس به موقعیت

Advantages of micro-edge method over lithography method in fabrication of microstrip gas chambers.

Faiyaz Mohammadbaghery[1*], Shahyar Saramad[1], Mojtaba Shamsaei[1]

1- Energy Engineering and Physics Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

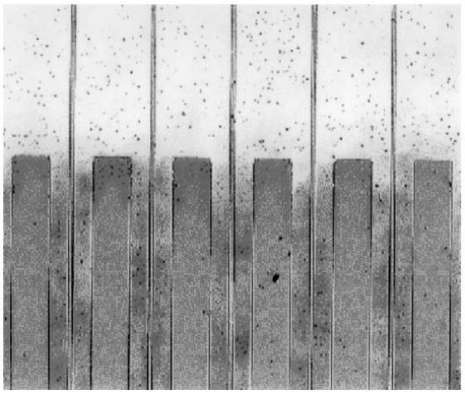
Abstract:

Despite the appealing properties of the microstrip gas chambers (MSGC), these detectors have some disadvantages. The charging up of the substrate causes gain instabilities and the thin strips are permanently destructed due to breakdowns. Limits on permissible dimensions and manufacturing costs, justify the alternative method for this detector fabrication. In this method, the edges of stacked layers will play the role of microstrips. A holder is used to keep these layers together and then by using sandpapers, a pattern similar to that of MSGs will be achieved. Low manufacturing costs, the capability to get pixelated, and reduced accumulation of ions at the surface are the advantages of the MEGC method. A detailed discussion about these advantages has been discussed.

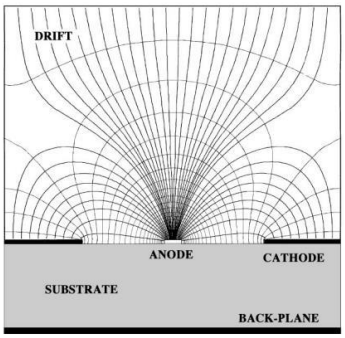
Keywords: gaseous detector, Micro-edge gas chamber (MEGC), Micro-pattern gas detector (MPGD), position sensitive

۱. مقدمه

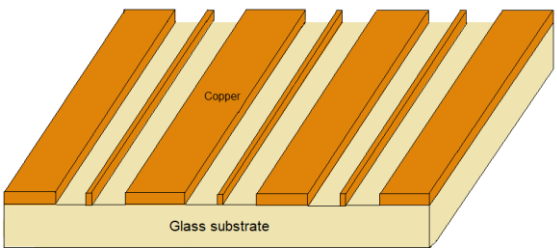
آشکارسازهای گازی میکرو الگو (Micro-pattern gas detector) به منظور به دست آوردن موقعیت ذره فرودی استفاده می‌شوند. به‌طور کلی به دست آوردن موقعیت در آشکارسازهای حساس به موقعیت، به دو روش قابل انجام است. در روش اول موقعیت ذره با استفاده از هم زمانی سیگنال ثبت شده در نوارهای عمودی و افقی به دست می‌آید. برای تصویربرداری و همچنین تابش‌های با نرخ بالا ممکن است چند ذره هم‌زمان بر نوار عمودی مختلف ولی نوار افقی یکسان ثبت شوند و جداسازی انرژی آن‌ها ممکن نباشد. دیگری روش پیکسلی است که در آن از طریق ثبت مکان ذره بر روی پیکسل‌های مختلف به‌طور مستقل از هم، می‌توان پروفایل تابش‌های ورودی به آشکارساز را به دست آورد. در صورتی که بتوان ذرات مورب را حذف کرد یا از کولیماتور استفاده نمود، قابلیت ثبت تصاویر را نیز خواهیم داشت. در اینجا به‌طور خاص درباره نوعی آشکارساز حساس به موقعیت بحث خواهیم کرد. آشکارسازهای گازی چند سیم، دارای محدودیت‌هایی چون رزولوشن محدود و جاذبه بین سیم‌ها و اثر بارفضایی زیاد و محدودیت در نرخ بالا[۱] بودند. Anton Oed و همکاران در کاری مبتکرانه یک سری نوارهای رسانای نازک و پهن را یک در میان با فاصله‌ای معین از هم با استفاده از روش لیتوگرافی روی شیشه چاپ کردند. پس ازآن با اعمال ولتاژ مثبت بر نوارهای نازک و ولتاژ منفی بر نوارهای پهن میدان الکتریکی بسیار قوی در اطراف نوارهای نازک ایجاد کردند و موفق به ایجاد تکثیر در الکترون‌های اولیه‌ی حاصل از تابش گردیدند[۲و۳]. در شکل‌های ۱-۱ و ۱-۲ ساختار اتاقک گاز میکرونوار نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: تصویری از طرح نوارهای چاپ شده بر روی بستر عایق



شکل ۱-۲: برشی از آشکارساز میکرونوار و خطوط میدان حاصل از آن. در این شکل نوارهای نازک و پهن و میدان قوی اطراف آند نازک دیده می‌شود.

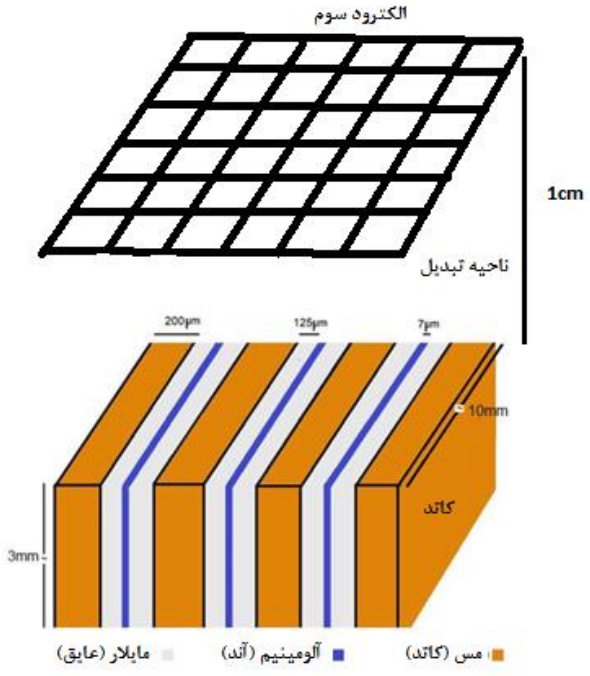


شکل ۱-۳: تصویر شماتیک از آشکارساز میکرونوار

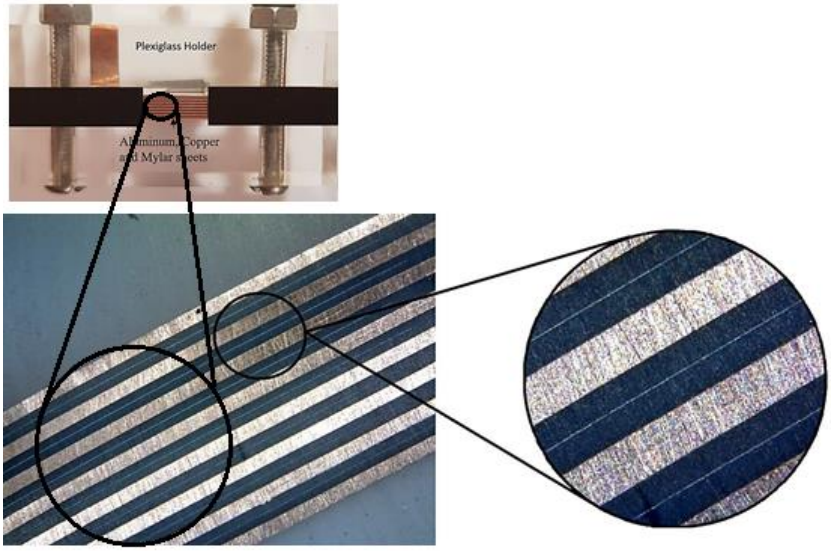
برای تشخیص مکان ذره فرودی از شماره نواری که سیگنال بر آن ایجاد شده است استفاده می‌شود. تا اینجا فقط موقعیت ذره را در یک بعد به دست آورده‌ایم. در اتاقک میکرونوار برای به دست آوردن موقعیت ذره در بعد عمود، از یک سری نوارهای عمودی در پشت صفحه بستر استفاده می‌شود. در اینجا باید مکان ذره را با الکترونیک هم‌زمانی به دست آورد. الکترونیک هم‌زمانی تشخیص می‌دهد که سیگنال بر کدام دو نوار عمودی و افقی القا شده است و محل تقاطع این دو نوار عمودی و افقی مکان ذره را به ما می‌دهد. قبلاً برای ساخت آشکارسازی مشابه[۴] با اتاقک گازی میکرونوار، یک روش جدید ارائه کرده‌ایم که توضیح این روش و مزایای آن در ادامه ارائه خواهد شد.

۲. روش کار

ابتدا روش ساخت آشکارساز گازی میکرولبه آشکارساز و نحوه تست آن را مرور کرده و سپس مقایسه عملکرد آشکارساز با آشکارساز تاریخی میکرونوار ارائه می شود. در روش میکرولبه لبه‌های لایه‌های مختلف نقش جایگزین میکرونوار چاپ شده بر روی شیشه را خواهند داشت. تسلسلی از ورق مس ۱۰۰ میکرون، مایلار ۱۲۵ میکرون، آلومینیوم ۷ میکرون، مایلار ۱۲۵ میکرون و مس ۱۰۰میکرون به عنوان واحد تکرار، در کنار هم قرار می‌گیرند و حدود ۷ مرتبه تکرار می‌شود. ساختار حاصله توسط یک نگه‌دارنده پلکسی گلاس یا آلومینیومی به هم فشرده می شود. مقدار اضافی ساختار حاصله برش خورده و سطح حاصل از برش توسط سطح تخت سمباده‌ای، سمباده‌کاری می شود. در شکل‌های زیر موارد فوق نشان داده شده‌اند.

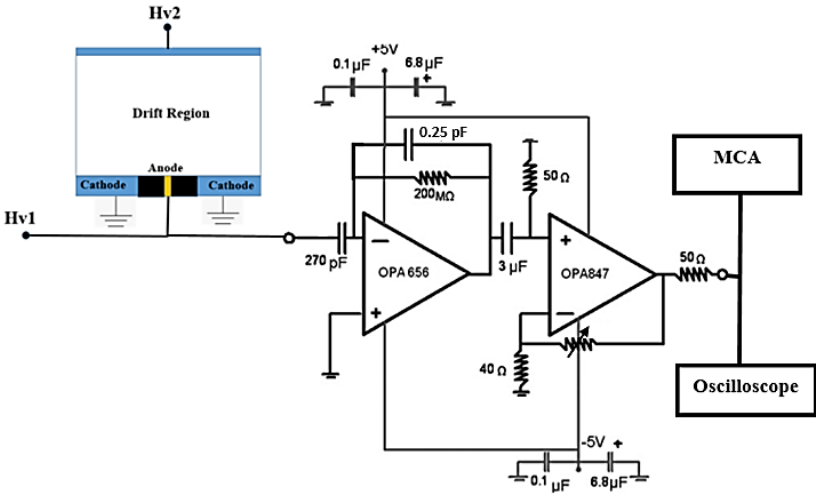


شکل ۲-۱ شماتیکی از آشکارساز میکرولبه پیشنهادی



شکل۲-۲: تصویری از نگه‌دارنده لایه‌ها و بزرگنمایی سطح دربرگیرنده لبه‌ها پس از سمباده‌کاری.

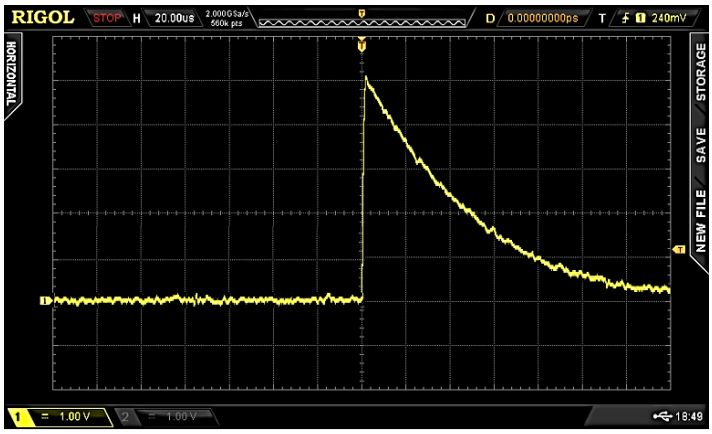
برای ساخت آشکارساز گازی میکرونوار و حتی میکرولبه به یک الکترود سوم نیز نیاز است. این الکترود درست بالاتر از سطح ساخته شده میکرولبه یا سطح لیتوگرافی شده قرار می‌گیرد. فاصله بین این الکترود سوم و سطح ناحیه تبدیل را تشکیل می‌دهد که در این ناحیه تابش یونیزان تبدیل به یون می‌شود. به‌جز ناحیه‌ای بسیار کوچک در حوالی نوارهای نازک که جزو ناحیه تکثیر می‌باشد. پس از اتمام ساخت برای تست آشکارساز نیاز به یک محفظه آلومینیومی داریم که با قرار دادن آشکارساز در آن و اتصال آن به زمین از تأثیر نویز الکترومغناطیسی بر سیگنال‌های آشکارساز جلوگیری شود. یک منبع تغذیه مثبت به آندهای نازک آلومینیومی متصل می‌شود، و کاتدهای مسی به پتانسیل صفر وصل می‌شوند. یک منبع تغذیه منفی هم به الکترود سوم وصل می‌شود. پس از اتصال منابع تغذیه که در شکل زیر با Hv1 و Hv2 مشخص شده‌اند، مجموعه آندها که وظیفه جمع‌آوری الکترون‌های تکثیرشده را دارند به یک پیش تقویت کننده حساس به بار متصل می‌شوند. برای تست آشکارساز از یک چشمه آلفای رادیوم ۲۲۶ استفاده شده است. این چشمه ذرات آلفا را از بالا وارد آشکارساز می‌کند و یون‌ها و الکترون‌های حاصل از یونش بعد از جمع‌آوری از ناحیه تبدیل وارد ناحیه تکثیر در اطراف آند می‌شوند و به میزان مشخصی که بستگی به مقدار میدان دارد تکثیر می‌شوند. گاز ۷۰ درصد آرگون و ۳۰ درصد دی اکسید کربن به‌صورت جاری در آشکارساز مورداستفاده قرار گرفت[۴].



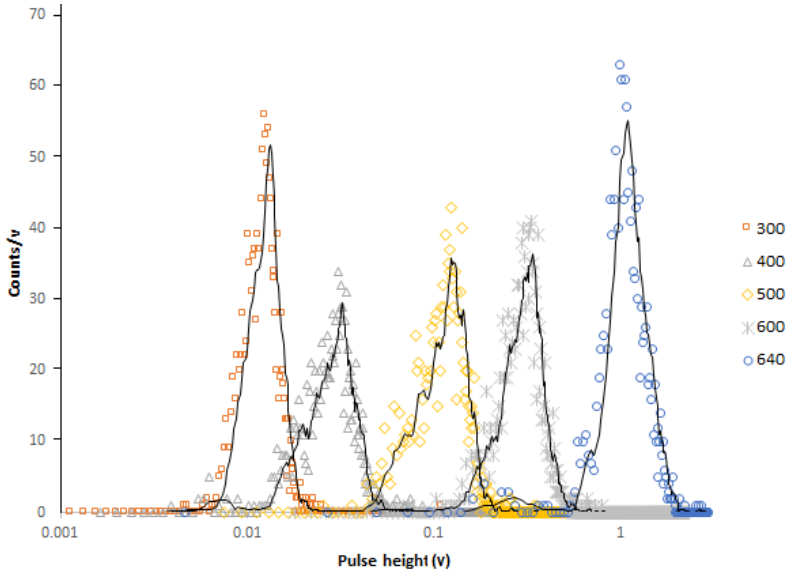
شکل ۲-۳: شماتیک آشکارساز از برش جانبی و مدار پیش تقویت کننده و لوازم شکل‌دهی پالس استفاده شده

۳. نتایج و بحث

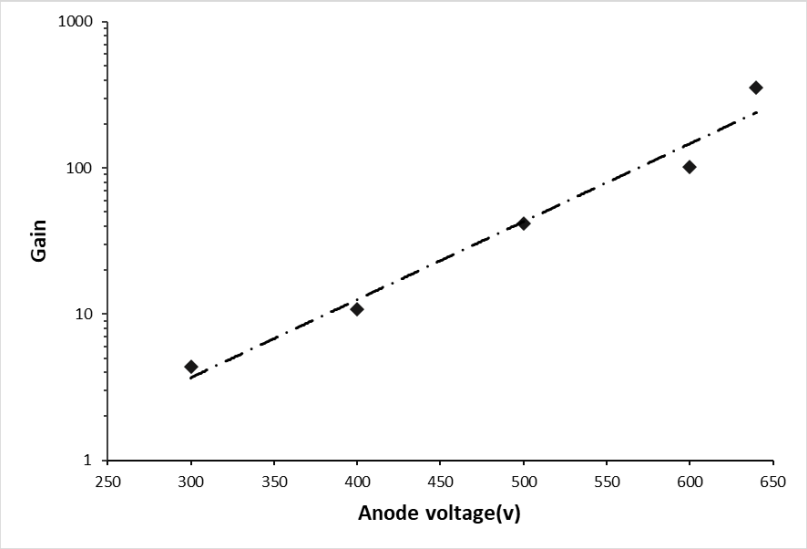
آشکارساز فوق به ازای یک سانتی‌متر ضخامت ناحیه تبدیل و ولتاژ ۱۰۰۰V- الکترود سوم و با گاز مورد اشاره در یک محفظه آلومینومی تست گردید. سیگنال ذره نوعی ثبت شده در خروجی تقویت‌کننده در شکل ۳-۱ نشان داده شده است. به ازای ولتاژهای مختلف آند به کاتد، بهره آشکارساز محاسبه شده (شکل ۳-۳) و طیف ارتفاع پالس ذرات به دست آمده است (شکل ۳-۲). همان‌طور دیده می‌شود ارتفاع پالس به‌صورت تناسبی با افزایش ولتاژ آند به کاتد افزایش می‌یابد.



شکل ۳-۱: نمونه‌ای از سیگنال ثبت شده در خروجی تقویت کننده

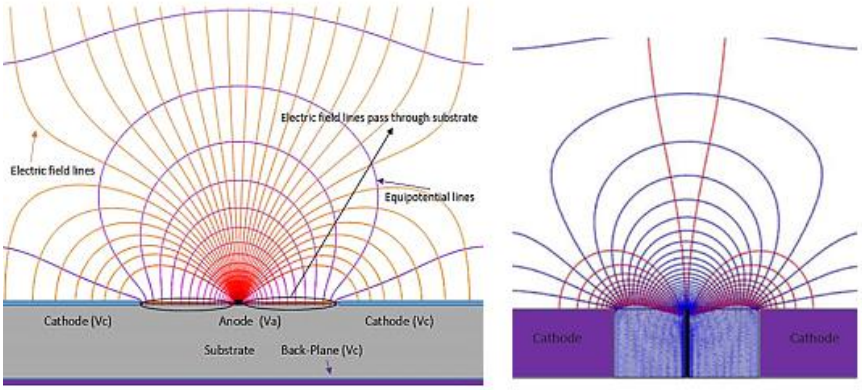


شکل ۳-۲: طیف ارتفاع پالس ثبت شده از ذره آلفا در ولتاژهای مختلف



شکل ۳-۳: بهره تکثیر آشکارساز برحسب ولتاژ آند

در یک نرم‌افزار اجزاء محدود (Finite element) یدان‌های الکتریکی هر دو آشکارساز میکرولبه و میکرو نوار شبیه‌سازی شده و نتایج جالبی به دست آمده است. در حالت میکرولبه به دلیل امتداد لایه‌ها در عمق سطح خطوط میدان در نزدیکی سطح مستقیماً از آند به کاتد نمی‌روند، بلکه ابتدا از سطح عایق خارج شده و وارد محیط حساس آشکارساز می‌شود و پس از آن به کاتد منتهی می‌شوند. این نکته باعث می‌شود که تجمع یون‌ها را در سطح عایق در نواحی زیادی نداشته باشیم و دافعه این خطوط در سطح بستر موجب کاهش اثر بار فضایی شود. میدان‌های الکتریکی دو آشکارساز در شکل ۳-۴ الف و ب ارائه شده است. آشکارساز میکرولبه پیشنهادی در ویرایش دوبعدی نیز ساخته شده است و نتایج مربوط و نوآوری آن در یک ثبت اختراع ارائه گردیده است. این ثبت اختراع که در پایگاهUS patent منتشر شده است[۵]، به تایید ممتحن اداره ثبت اختراعات امریکا رسیده است. نسخه گرنت شده نیز به زودی منتشر خواهد شد. میکرولبه ی دوبعدی نسبت به آشکارساز میکرونوار دوبعدی متداول که از نوارهای عمودی و افقی برای استخراج اطلاعات دوبعدی استفاده می‌کند، قابلیت ثبت اطلاعات در نرخ‌های بالاتر تابش که برای تصویربرداری امری ضروری است را دارد. بعلاوه حتی در نرخ‌های برخورد پایین، اگرچه در آشکارسازهای میکرونوار متعامد با توجه به هم‌زمانی سیگنال ایجاد شده در نوار افقی و عمودی مربوطه می‌توان به محل برخورد ذره پی برد اما لازمه این کار وجود یک سیستم هم‌زمانی است. درحالی‌که آشکارساز میکرولبه دوبعدی نیازی به چنین مدارات الکترونیکی برای تشخیص موقعیت برخورد را ندارد. به عبارتی هیچ‌گاه با تکنولوژی لیتوگرافی که برای ساخت آشکارسازهای میکرونوار مورداستفاده قرار می‌گیرد یک ساختار آشکارساز پیکسلی دوبعدی واقعی که قابلیت ثبت اطلاعات در دو بعد را در نرخ‌های بالا داشته باشد ساخته نشده است.



الف ب

MSGC ب) میدان‌های الکتریکی MEGCشکل ۳-۴ الف) میدان‌های الکتریکی

ظرفیت خازنی ساختار پیکسلی میکرولبه در مقایسه با ساختار نوارهای متعامد آشکارسازهای میکرونوار که برای تشخیص نقطه برخورد در دو بعد به کار گرفته می‌شوند، کوچک‌تر است و درنتیجه بار معادل نویز نیز کوچک‌تر بوده و درنتیجه سیگنال به نویز بزرگ‌تر است.

هرچند با استفاده از روش‌های نانو لیتوگرافی و یا استفاده از مدارهای چاپی چندلایه می‌توان به ساختار دوبعدی مشابهی برای MSGC دست‌یافت اما با توجه به گران بودن این تکنولوژی‌ها، قیمت تمام شده محصول نهایی حداقل ده برابر آشکارساز میکرولبه دوبعدی پیشنهادی خواهد بود. با توجه به آنکه آند و کاتد و لایه عایق به‌طور جداگانه طراحی و توسط نگهدارنده‌ها به هم فشرده می‌شوند مانند آشکارسازهای میکرونوار با مشکل پایداری مکانیکی مواجه نیستند.

در آشکارسازهای میکرونوار چون ضخامت نازکی از فلز بر روی بستری عایق، نقش آند و کاتد را ایفا می‌کند، به مرور زمان به علت جرقه زدن بین این نوارها ممکن است رساناهای مربوطه به‌طور کامل نابود شود و عملکرد آن مختل شود. اما در آشکارسازهای میکرولبه چون عمق پیکسل‌ها زیاد است هرچند وقوع جرقه می‌تواند به مرور زمان از ارتفاع آن کاسته و ناهمواری‌هایی ایجاد کند و درنتیجه بر میزان تکثیر آشکارساز تأثیر بگذارد اما هیچ‌وقت این ارتباط‌ها قطع نمی‌شوند. بعلاوه پس از مدتی با انجام عملیاتی ساده‌ای مشابه عملیات ساخت این آشکارساز، می‌توان مشکلات ناصافی سطوح و غیر هم‌سطح بودن آن‌ها را که ممکن است به علت جرقه ایجاد شده باشد، رفع نمود. در آشکارسازهای میکرونوار متداول چون لایه‌های رسانا خارج از ناحیه عایق می‌باشند تیزی لبه‌ها می‌تواند موجب افزایش میدان الکتریکی در این نواحی شده و موجب تخلیه الکتریکی زودهنگام شود. در آشکارساز میکرو لبه چون آند هم‌سطح لایه عایق می‌باشد عمده خطوط میدان الکتریکی در لبه‌ها از داخل عایق عبور می‌کند که این امر احتمال جرقه‌های ناخواسته را کمتر می‌کند. هرچند با هندسه‌ای مشابه با آشکارسازهای میکرونوار با اعمال ولتاژ یکسان، میدان الکتریکی در آشکارساز میکرولبه کوچک‌تر از آشکارساز میکرونوار خواهد بود اما با افزایش ولتاژ اعمالی در آشکارساز میکرولبه می‌توان به تکثیری مشابه آشکارسازهای میکرونوار متداول اما با احتمال جرقه‌زنی کمتر دست یافت. در تکنولوژی ساخت آشکارسازهای میکرونوار نمی‌توان لایه آند و کاتد نشانده شده بر روی بستر را چندان ضخیم نمود زیرا موجب غیریکنواختی‌هایی بر روی سطح می‌شود. از طرفی برای ضخامت نازک نشانده شده بر روی بستر، مقاومت الکتریکی رسانا می‌تواند قابل ملاحظه باشد و موجب افت پتانسیل در طول نوارها شود. این افت پتانسیل خود موجب عدم یکنواختی بیشتر میدان الکتریکی روی آند و درنتیجه موجب غیریکنواختی تکثیر در آشکارساز میکرونوار شود. اما در آشکارساز میکرو لبه سطح مقطع جریان عبوری همان سطح مقطع نوارهای نقره‌ای است که به‌مراتب بزرگ‌تر از سطح مقطع مربوط به آشکارسازهای میکرونوار است. باتوجه به رسانندگی خوب نقره چنین غیریکنواختی‌هایی در میدان الکتریکی منتفی است.

یکی از مشکلات آشکارسازهای میکرونوار بستر عایق آن است که به علت مقاومت بالای آن امکان تجمع یون‌ها بر روی سطح آن وجود دارد. این بارها به‌خصوص در نرخ‌های بالای برخورد ذرات می‌توانند میدان الکتریکی آشکارساز را دچار تغییر کنند و درنتیجه بر روی میزان تکثیر آشکارساز تأثیر بگذارند. یکی از روش‌ها حل این مشکل در آشکارسازهای میکرونوار، ایجاد اتصالی فلزی در پشت بستر و اتصال آن به ولتاژ آند است. این ترفند هرچند می‌تواند با دفع یون‌های مثبت از سطح بستر عایق، مشکل پیش آمده را به‌صورت قابل ملاحظه‌ای حل کند اما میزان تکثیر را نیز کاهش می‌دهد. در آشکارساز میکرو لبه چون آند در داخل ناحیه عایق پلاستیکی امتداد دارد، به‌طور خودکار به علت میدان الکتریکی آند در نزدیک سطح از تجمع یون‌ها بر روی عایق پلاستیکی، جلوگیری می‌شود.

ساخت این آشکارساز با لوازم کاملاً در دسترس امکان‌پذیر است، ساختار ساده‌ای دارد و برای ساخت آن نیاز به تکنولوژی پیشرفته نیست.

۵. نتیجه‌گیری

همان‌طور که گفته شد آشکارساز MEGC نسبت به آشکارساز MSGC دارای مزایای متعددی است. قابلیت پیکسلی شدن، هزینه ساخت کمتر، روش ساخت آسان، انتخاب متنوع جنس فلز و عایق ساختار مستحکم‌تر و پایداری مکانیکی

بالاتر، قابلیت بازسازی پس از جرقه‌های شدید، قابلیت انتخاب آندهای نازک‌تر و ممانعت از تجمع یون‌ها در سطح بستر که ناشی از عمیق بودن لایه‌ها است، همه از مزایای این آشکارساز است.

۶. مراجع

1. Fourme, R., Position-sensitive gas detectors: MWPCs and their gifted descendants. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 1997. **392**(1): 1-11.
2. Bochenek, M., S. Koperny, and T.Z. Kowalski, Modern micropattern gas detectors. Nukleonika, 2008. 53(2): p. s25-s28.
3. A. OED, Position-sensitive detector with micro-strip anode for electron multiplication with gases, Nucl. Instrum. Methods A 263 (1988) 351-359
4. F. Mohammadbaghery, S. Saramad, M. Shamsaei, Micro Edge Gas Chamber (MEGC), a novel detector with the same performance as Micro Strip Gas Chamber (MSGC), J. Instrum. 16 (2021) P02020–P02020.
5. F. Mohammadbaghery, S. Saramad, M. Shamsaiezafarghandi, Detecting position of ionizing radiation, (2021).