



## طراحی و ساخت آشکارساز THGEM

### عدالتخواه، الهام\* - شبیبانی، شهاب

سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

#### چکیده:

با توجه به کاربردهای بسیار آشکارساز *GEM* در زمینه‌هایی مانند فیزیک انرژی بالا، تصویربرداری پزشکی و صنعتی و دوربین گامای گازی، نمونه‌ای از آشکارساز *THGEM* برای آشکارسازی پرتو ایکس در این پژوهش طراحی و ساخته شد. احتمال تخلیه الکتریکی آشکارساز با قراردادن سه تکثیرکننده و انتخاب مناسب ولتاژهای عملکرد کاهش یافت و بدین ترتیب بهره آشکارساز ارزیابی شد. بیشینه بهره آشکارساز در ولتاژ تکثیر  $750\text{ V}$  برای هر تکثیرکننده از مرتبه  $10^5$  بدست آمد.

کلمات کلیدی: *Gaseous Detectors, GEM Detector, THGEM*.

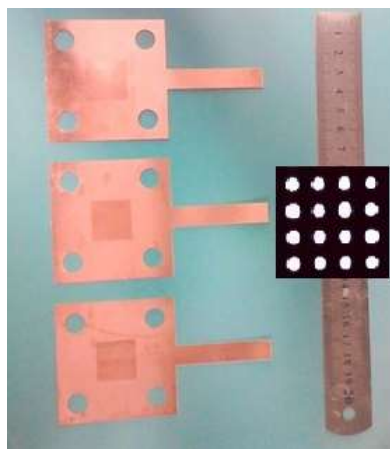
#### مقدمه:

در آشکارسازی پرتو ایکس گستره وسیعی از آشکارسازها چون شمارنده‌های تناسبی، سنتیلاتورها و آشکارسازهای نیمه‌هادی به کار رفته‌اند [۱]. بدیهی است انتخاب نوع آشکارساز وابسته به کاربرد موردنظر، گستره انرژی، توان تفکیک و قابلیت کارکرد در آهنگ بالا می‌باشد. اغلب آشکارسازها با آسیب الکترونیکی در برابر شار بالای ذرات بر اثر تخلیه الکتریکی مواجه هستند. این مشکل در تکثیرکننده الکترونی گازی (*GEM*) با جدایی بخش تکثیر از بخش بازخوانی برطرف گردید [۲]. ویژگیهای خوب آشکارساز تکثیرکننده الکترونی گازی، آن را به آشکارساز مناسبی در بسیاری از کاربردها تبدیل نموده است [۳]. توان تفکیک زمانی این آشکارساز از مرتبه نانوثانیه است که امکان کارکرد آن را در آهنگ شمارش بالا فراهم می‌کند [۴]. توان تفکیک مکانی خوب این آشکارساز امکان کاربرد آن را در تصویربرداری پزشکی مطرح می‌نماید [۵]. در این آشکارساز با استفاده از چندین تکثیرکننده می‌توان به بهره بالایی رسید درحالی‌که هر تکثیرکننده در بهره پایین‌تر و ایمن‌تری کار می‌کند [۶]. با گسترش کاربردهای تکثیرکننده، آشکارساز *THGEM* (*Thick GEM*) در سال ۲۰۰۴ معرفی شد [۷]. در این پژوهش، نمونه‌ای از آشکارساز *THGEM* ساخته شد و بهره آن ارزیابی گردید.

## روش کار :

تکثیرکننده الکترونی گازی که نخستین بار در سال ۱۹۹۷ توسط ساوولی معرفی گردید، به عنوان تکثیرکننده استاندارد شناخته می‌شود [۸]. از آن پس تکثیرکننده‌ها در شکل‌ها و اندازه‌های متفاوتی ساخته شده‌اند. شکل توسعه‌یافته‌ای از تکثیرکننده الکترونی گازی آشکارساز THGEM است. در این ساختار، کپتون با لایه ضخیم‌تری جایگزین و حفره‌ها به صورت مکانیکی ایجاد می‌شوند [۹].

تکثیرکننده الکترونی گازی تاکنون به روش‌های فتولیتوگرافی [۱۰]، استفاده از باریکه لیزر [۱۱] و میکروماشینینگ با باریکه یونی [۱۲] ساخته شده است. در این پژوهش، پس از بررسی روش‌ها و امکانات موجود در نهایت تکنیکی که برای مدارات چاپی (PCB) استفاده می‌شود برای تولید تکثیرکننده به کار گرفته شد. این روش در واقع نوعی ماشینینگ با مته است (CNC Drilling). با توجه به امکانات موجود در کشور کمترین ضخامت فیبر مدار چاپی  $250 \mu\text{m}$ ، کمترین قطر مته  $300 \mu\text{m}$  و کمترین فاصله نواری  $200 \mu\text{m}$  است. بنابراین برای ساخت تکثیرکننده از فیبر مدار چاپی دورو به ضخامت  $250 \mu\text{m}$  استفاده شد که در هر سمت  $35 \mu\text{m}$  مس دارد. قطر حفره  $300 \mu\text{m}$  و فاصله بین مراکز دو حفره  $500 \mu\text{m}$  است. سطح کل نمونه‌ها  $6\text{cm} \times 6\text{cm}$  در نظر گرفته شد. چهار حفره به قطر  $1\text{cm}$  در چهار گوشه تکثیرکننده تعبیه گردید که از آنها برای عبور میله‌های ثابت‌کننده صفحات روی هم استفاده شد. سطح فعال تکثیرکننده (سطح حفره‌دار) به اندازه  $2\text{cm} \times 2\text{cm}$  ( $1600$  حفره به صورت ماتریس  $40 \times 40$ ) طراحی شد. طراحی ساختار موردنظر با استفاده از نرم‌افزار Designer Altium انجام شد. شکل ۱ چند نمونه از تکثیرکننده‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. در سمت راست شکل ۱ تصویری میکروسکوپی از حفره‌های ایجادشده آورده شده است.



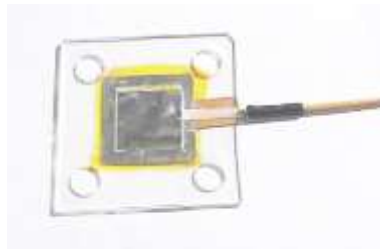
شکل ۱. چند نمونه از تکثیرکننده ساخته شده.

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، یک نوار مستطیل شکل در یک سمت تکثیرکننده تعبیه گردید که از آن به منظور لحیم‌کاری و اعمال ولتاژ به تکثیرکننده استفاده شد. احتمال تخلیه الکتریکی نمونه‌ها با افزایش تدریجی ولتاژ اعمالی بررسی شد. نمونه‌های ساخته شده با افزایش ولتاژ تا  $V 1000$  آسیبی ندیدند. به منظور کنترل فشار گاز آشکارساز، محفظه‌ای طراحی و ساخته شد که در شکل ۲ آورده شده است. بر درب این

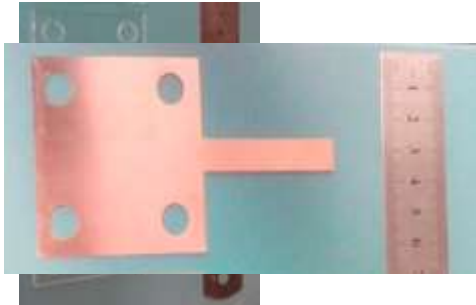


شکل ۲. محفظه ساخته شده.

محفظه دو خروجی تعبیه گردید. در یک خروجی، کانکتوری با چهار پایه جهت عبور سیم‌ها و اتصال به الکترونیک وابسته نصب شد. از خروجی دیگر محفظه جهت تزریق گاز استفاده شد. بر سر راه این خروجی یک شیر دوطرفه قرار گرفت که از یک سمت به پمپ خلا و از سمت دیگر به کپسول گاز متصل بود. همچنین این خروجی به دو پیمانانه خلا و فشار گاز مجهز گردید که امکان پرکردن محفظه با گاز را تا فشار موردنظر فراهم می‌آورد. در آزمایش‌ها پس از خلا کردن محفظه با استفاده از یک پمپ روتاری، آن را با ترکیب گازی  $Ar/CO_2$  با نسبت حجمی  $70/30$  در فشار اتمسفر پر کردیم. این ترکیب گازی ترکیبی متداول



(الف)

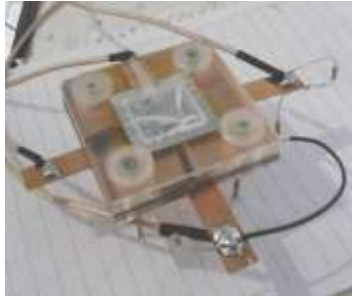


(ج)

(ب)

شکل ۳. (الف) صفحه رانش ساخته شده (ب) صفحه بازخوانی ساخته شده (ج) صفحات تنظیم کننده فاصله ساخته شده.

است که در تحقیقات بسیاری از آن استفاده شده است. اگرچه ناخالصی گاز بر عملکرد آشکارساز تاثیرگذار است، در این پروژه با توجه به هزینه بالا از گاز آرگون  $99/999\%$  و گاز دی‌اکسیدکربن  $99/99\%$  استفاده گردید. آزمایش‌ها در اتاقی با تهویه در دمای حدود  $20^{\circ}\text{C}$  انجام شد. برای بازخوانی الکترونیکی آشکارساز با توجه به در دسترس نبودن برای بازخوانی الکترونیکی آشکارساز با توجه به در دسترس نبودن از روش ثبت ارتفاع پالس استفاده نمودیم. صفحات رانش و بازخوانی نیز متناسب با سطح تکثیر طراحی شدند. برای تنظیم فاصله بین صفحات رانش، تکثیر و بازخوانی صفحاتی از جنس پلکسی‌گلاس به ضخامت  $2\text{ mm}$  طراحی شدند (صفحات تنظیم کننده فاصله). نمونه‌ای از صفحات مذکور در شکل ۳ آورده شده‌اند. برای افزایش بهره آشکارساز می‌توان چند تکثیرکننده را پشت هم قرار داد. در این حالت ولتاژ پایین‌تری به هر تکثیرکننده اعمال می‌شود. در نتیجه احتمال تخلیه الکتریکی کمتر و عملکرد آشکارساز ایمن‌تر و پایدارتر است. در این پژوهش، سه تکثیرکننده ساخته شده به قطر حفره  $300\ \mu\text{m}$  و فاصله بین حفره‌های  $500\ \mu\text{m}$  پشت هم قرار داده شدند. ناحیه رانش (فاصله بین صفحه رانش و صفحه تکثیر)، ناحیه القا (فاصله بین صفحه تکثیر و صفحه بازخوانی) و ناحیه انتقال (فاصله میان دو صفحه تکثیرکننده) با استفاده از صفحات تنظیم کننده فاصله به ترتیب  $4\text{ mm}$ ،  $2\text{ mm}$  و  $2\text{ mm}$  تنظیم شدند. حفره‌های تکثیرکننده‌ها با استفاده از چهار میله مرجع که دقتی در حد میکرون دارند در امتداد یکدیگر تنظیم شدند و سپس این وضعیت با استفاده از پیچ‌های عایق ثابت گردید. شکل ۴ نمایی از چیدمان صفحات برهم را نشان می‌دهد.



شکل ۴. مونتاژ صفحات.

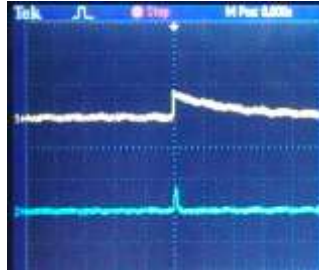
بهره آشکارساز می‌تواند با انتخاب مناسب میدان‌های رانش، تکثیر و القا تنظیم شود. اعمال ولتاژ به نواحی رانش، تکثیر و القا از طریق سه منبع تغذیه ولتاژ بالا انجام شد. میدان رانش و میدان القا به ترتیب  $2 \text{ kV/cm}$  و  $1 \text{ kV/cm}$  اعمال شدند. ولتاژ نواحی انتقال با استفاده از یک زنجیره مقاومتی به صورت مساوی اعمال شد. ولتاژ تکثیرکننده‌ها نیز به صورت مساوی از  $550 \text{ V}$  تا  $750 \text{ V}$  تغییر داده شد. اندازه‌گیری‌ها در فشار اتمسفر انجام شد. سیگنال‌های بار از صفحه بازخوانی از طریق یک خازن به پیش‌تقویت‌کننده حساس به بار فرستاده و سپس به تقویت‌کننده، مبدل آنالوگ به دیجیتال و بافر چندکاناله داده شدند. شکل ۵ چیدمان کلی آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۵. چیدمان آزمایش.

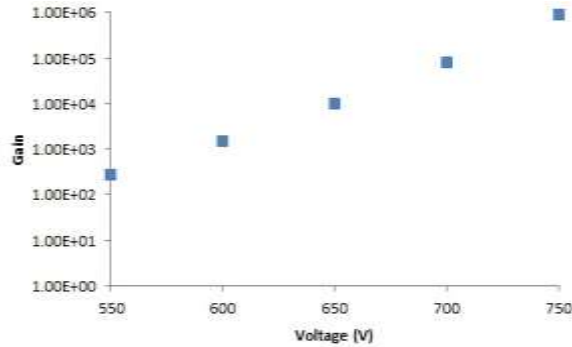
### بحث و نتیجه گیری :

با توجه به در دسترس نبودن چشمه ایکس، در آزمایش‌ها از چشمه  $^{241}\text{Am}$  استفاده شد که پرتوهای گامای گسیلی آن  $59.5 \text{ keV}$ ،  $18 \text{ keV}$  و  $14 \text{ keV}$  هستند. شکل ۶ نمونه‌ای از پالس ثبت شده توسط آشکارساز را نشان می‌دهد. خروجی پیش‌تقویت‌کننده در کانال ۱ و خروجی تقویت‌کننده در کانال ۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۶. پالس خروجی آشکارساز.

نسبت تعداد الکترونیایی که به مرحله تکثیر وارد و از آن خارج می‌شوند بهره واقعی آشکارساز نامیده می‌شود. به دلیل پخش الکترونها، بهره واقعی با بهره موثر که با بزرگی جریان آند تعیین می‌شود برابر نیست. برای تخمین بهره آشکارساز، طیف زمینه و طیف چشمه در ولتاژ صفر ثبت گردید. با اعمال ولتاژ و تغییر ولتاژ تکثیر هر یک از تکثیرکننده‌ها از  $550\text{ V}$  تا  $750\text{ V}$ ، طیف زمینه و چشمه در هر ولتاژ ثبت شد و بدین ترتیب طیف خالص در هر ولتاژ بدست آمد. این طیف از طیف خالص در ولتاژ صفر کسر شد. بدین ترتیب بار القا شده بر صفحه بازخوانی آشکارساز تخمین زده شد. با تقسیم این مقدار بر بار اولیه تولید شده در حجم رانش (پاسخ آشکارساز در ولتاژ یونش)، بهره آشکارساز در هر ولتاژ بدست آمد که در شکل ۷ آورده شده است. محور افقی در شکل ۷ ولتاژی است که به دو سر هر تکثیرکننده اعمال می‌شود. عملکرد آشکارساز به گونه‌ای است که الکترون آزاد شده در حجم رانش، اگر انرژی کافی داشته باشد با یونش مولکولهای گاز الکترونهاي ثانویه تولید می‌کند. بخشی از الکترونهاي تولید شده با توجه به میدان رانش و تکثیر وارد حفره‌ها می‌شوند و در طول حفره‌ها تکثیر می‌گردند. بخشی از بار تکثیر شده در تکثیرکننده اول به تکثیرکننده دوم منتقل و تکثیر گردید. بخشی از بار تکثیر شده در تکثیرکننده دوم نیز به تکثیرکننده سوم منتقل و تکثیر شد. در واقع، هر حفره مانند شمارنده تناسبی عمل می‌کند. بدیهی است بخشی از الکترونها به دلیل فرآیند پخش جذب الکترونها می‌گردند. بار نهایی بر صفحه بازخوانی القا و سیگنال برای بازخوانی به الکترونیک وابسته فرستاده شد. همانطوریکه انتظار می‌رود، بهره با افزایش ولتاژ تکثیر به صورت نمایی افزایش می‌یابد. کمینه بهره مربوط به کمترین ولتاژ لازم برای عملکرد آشکارساز در مد تناسبی است و بیشینه بهره حدی از ولتاژ را نشان می‌دهد که پس از آن تخلیه الکتریکی روی می‌دهد. با افزایش ولتاژ تکثیر، قله طیف با افزایش بهره تناسبی به سمت راست منتقل می‌شود.



شکل ۷. بهره آشکارساز بر حسب ولتاژ تکثیر.

#### مراجع :

1. Bachmann, S., et al., Charge amplification and transfer processes in the gas electron multiplier, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 1999, 438, 376
2. Sauli, F., GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors, Nuclear Instruments and Methods in Physics A, 1997, 386, 531
3. Koike, T., et al., A new gamma-ray detector with gold-plated gas electron multiplier, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2011, 648, 180
4. Alfonsi, M., et al., High-rate particle triggering with triple-GEM detector, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2004, 518, 106
5. Bressan, A., et al., Beam tests of the gas electron multiplier, Nuclear Instruments and Methods in Physics A, 1999, 425, 262
6. Titov, M., New developments and future perspectives of gaseous detectors, Nuclear Instruments and Methods in Physics A, 2007, 581, 25
7. Chechik, R., et al., Thick GEM-like hole multipliers: properties and possible applications, Nuclear Instruments and Methods in Physics A, 2004, 535, 303
8. Sauli, F., Gas detectors: achievements and trends, Nuclear Instruments and Methods in Physics A, 2001, 461, 47
9. Cortesi, A., et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2007, 572, 175
10. Everaerts, P., Rate capability and ion feedback in GEM-detectors, 2006, Doctoral Thesis, Gent University
11. Tamagawa, T., et al., Development of gas electron multiplier foils with a laser etching technique, Nuclear Instruments and Methods in Physics A, 2006, 560, 418
12. Greger, T., et al., microaccelerometer structure fabricated in silicon on insulator using a focused ion beam process, Sensors and Actuators, 1999, 73, 176