



## تغییر تدریجی فاصله‌ی الکترودها به عنوان روشی ابتکاری در طراحی شمارنده تناسبی تک سیمی حساس به محل ورود تابش

محمد مهدی ناصری\*، علیرضا توسلی، فرهاد ذنوبی

گروه فیزیک، پژوهشکده علوم هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۶۵-۳۴۸۶، تهران - ایران

**چکیده:** آشکارسازهای حساس به محل ورود تابش، آشکارسازهایی هستند که می‌توانند محل ورود تابش را تعیین کنند. یکی از انواع این آشکارسازها، شمارگرهای گازی تناسبی هستند. آشکارسازهای گازی حساس به محل ورود تابش عموماً به دو روش تقسیم بار و زمان صعود کار می‌کنند. در این تحقیق ضمن مرور روش تقسیم بار به منظور مقایسه، روشی ارایه می‌شود که بر پایه‌ی تغییر فاصله‌ی بین الکترودها استوار است. برای آشکارساز گازی تناسبی ساخته شده با این روش، نمودارهایی ارایه خواهد شد که نشان می‌دهند این روش هم می‌تواند گزینه‌ی مناسبی برای آشکارسازی محل ورود تابش کم انرژی به شمار آید. با توجه به نتایج به دست آمده، از این روش نمی‌توان برای طول‌های بلند آشکارساز استفاده نمود. قدرت تفکیک مکانی از ۰٫۱ تا ۱mm در طول ۱۵ سانتی‌متر از حجم حساس شمارگر تغییر می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** آشکارسازهای حساس به محل ورود تابش، توزیع بار، تکثیرکننده‌های الکترون، شمارگرهای تناسبی، کد گارفیلد، جداسازی انرژی، الکترودها

## Gradual Variation of Distance between Electrodes as a Novel Method in Design of Single Wire, Position Sensitive Proportional Counter

M.M. Nasseri\*, A. Tavassoli, F. Zonobi

Physics Group, Nuclear Science Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O. Box: 11365-3486, Tehran - Iran

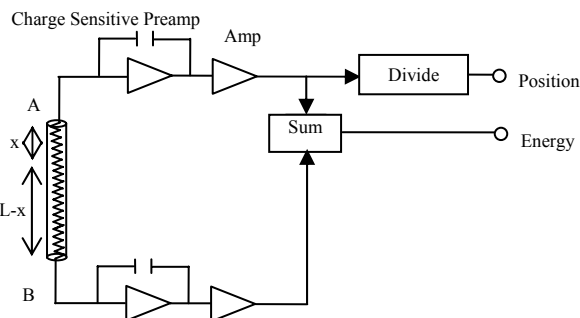
**Abstract:** Position sensitive detectors (PSD) are instruments that determine the position of the incident radiations. One type of these detectors is the gas flow proportional counter. Generally, position sensitive detector works in two different methods, so called charge division and rise time methods. In this paper, we explain our new method that is based on the gradual variation of the electrodes distance. Our results in this research show that the introduced method can be a good choice for determining the position of low energy radiations. In this counter, spatial resolution considered to be varying from 0.1 to 1mm along 15 centimeter of the active length.

**Keywords:** Position Sensitive Detectors, Charge Distribution, Electron Multipliers, Proportional Counters, Garfield Code, Energy Resolution, Electrodes

\*email: mnasseri@aeoi.org.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۶/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۳/۷





**شکل ۱-** نمودار ساده‌ای از قسمت‌های الکترونیکی سیستم آشکارساز گازی حساس به محل ورود تابش که بر اساس روش تقسیم بار عمل می‌کند.

اصل پایستگی بار الکتریکی، جریان ورودی با مجموع جریان‌های خروجی برابر است. هنگامی که تابش، در فضای بین آند و کاتد ایجاد یونش می‌کند، مدار بسته می‌شود و جریان  $I_0$  (در واقع جریان  $-I_0$ ) از کاتد وارد آند می‌شود. این جریان بین دو انشعاب تقسیم می‌شود که مقاومت یک انشعاب برابر با  $\lambda x$  و انشعاب دیگر  $\lambda(L-x)$  می‌باشد.  $\lambda$  مقاومت واحد طول سیم آند و  $L$  طول آن است.  $x$  نیز محل برهم‌کنش تابش با ماده‌ی آشکارساز می‌باشد که از یک طرف سیم اندازه‌گیری می‌شود. از این خاصیت برای تعیین محل ورود تابش استفاده می‌شود. آند را معمولاً سیمی از جنس آلیاژ نیکل-کروم با قطر حدود  $10\mu\text{m}$  و مقاومت واحد طول حدود  $100\Omega/\text{cm}$  انتخاب می‌کنند. علت آن که قطر سیم را باید بسیار کوچک انتخاب کرد آن است که اولاً شدت میدان الکتریکی در اطراف یک الکتروستوانه‌ای، با عکس فاصله از محور استوانه متناسب است، بنابراین شدت میدان الکتریکی در نزدیکی آن بالاتر بوده و در نتیجه میزان تکثیر الکترون‌ها افزایش می‌یابد، ثانیاً هر قدر قطر سیم کم‌تر باشد مقاومت اهمی آن بیش‌تر خواهد بود و هر اندازه مقاومت در واحد طول سیم بیش‌تر باشد، قدرت تفکیک مکانی آشکارسازی که بر اساس روش تقسیم بار عمل می‌کند، به همان اندازه افزایش می‌یابد. ولی متأسفانه تهیه‌ی چنین سیمی و کار کردن با آن به دلیل ظرافت زیاد بسیار مشکل است. بنابراین در این تحقیق سعی کرده‌ایم روشی را بیابیم که در آن، با استفاده از سیم کلفت‌تر، قدرت تفکیک مکانی مناسبی را برای آشکارساز ایجاد نماییم. روش ابتکاری مورد بررسی در این تحقیق، در واقع استفاده از تغییر شدت میدان الکتریکی بین الکترودها با تغییر تدریجی فاصله میان آن‌ها است.

برای تعیین محل ورود تابش به آشکارساز، چندین روش وجود دارد [۱]. یکی از روش‌های قدیمی که امروزه نیز به کار می‌رود، استفاده از فیلم‌های رادیوگرافی است. یک روش دیگر استفاده از آشکارسازهای سوسوزن و نیم‌رسانای حساس به محل ورود تابش است [۲]. این نوع آشکارسازها از دقت خوبی برخوردارند و با استفاده از تعداد زیادی از آن‌ها که در ابعاد کوچک تهیه می‌شوند می‌توان آرایه‌های یک و یا دو بعدی تشکیل داد. هر کدام از عناصر تشکیل‌دهنده‌ی آرایه‌ها که پیکسل هم نامیده می‌شوند، باید از همه لحاظ دارای مشخصات یکسان باشند. این نوع آشکارسازهای تصویر برداری اغلب در موارد حساس مثلاً در پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳]. این سیستم‌ها علاوه بر قیمت بالا، دارای پیچیدگی‌های زیادی هم هستند که کار با آن‌ها مستلزم داشتن ابزارها و سیستم‌های الکترونیکی دقیق و خاص می‌باشد.

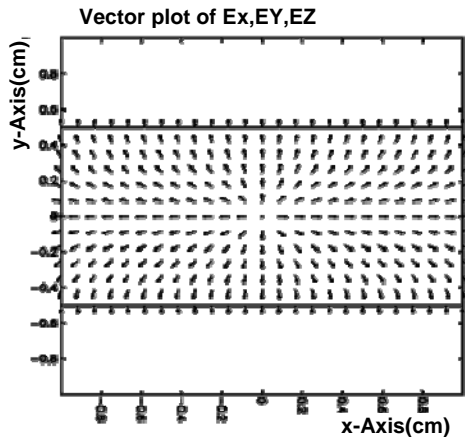
گزینه‌ی دیگر، استفاده از آشکارسازهای تناسبی گازی است [۴]. هزینه‌ی ساخت این نوع آشکارسازها پایین است و پیچیدگی‌های آشکارسازهای سوسوزن و نیم‌رسانا را هم ندارند ولی متأسفانه حساسیت آن‌ها به محل ورود تابش به نسبت کم‌تر است. این آشکارسازها را هم می‌توان در دو نوع یک بعدی یا تک‌سیمی<sup>(۱)</sup> و دو بعدی یا چند سیمی<sup>(۲)</sup> طراحی کرد. در این تحقیق، نوع یک بعدی یا تک سیمی حساس به محل ورود تابش مورد بررسی قرار گرفته است. در این نوع، برای پیدا کردن محل ورود تابش، عمدتاً از دو روش تقسیم بار<sup>(۳)</sup> و زمان صعود<sup>(۴)</sup> استفاده می‌شود.

## ۲- روش کار

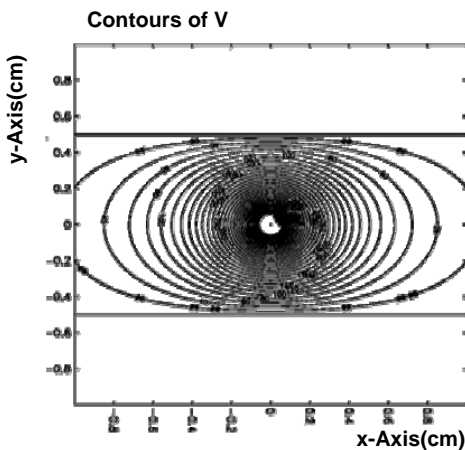
روش رایج برای تعیین محل ورود تابش، در شمارنده‌های گازی حساس به محل ورود تابش، روش تقسیم بار است [۵]. شکل ۱ نمودار ساده‌ای از اساس روش تقسیم بار در یک آشکارساز از این نوع را همراه با قسمت‌های الکترونیکی مربوطه نشان می‌دهد. این روش بر این واقعیت استوار است که در مدارهای الکتریکی هنگامی که جریان الکتریکی به یک نقطه‌ی انشعاب می‌رسد، به نسبت عکس مقاومت‌ها تقسیم می‌شود به طوری که حاصل ضرب جریان هر شاخه در مقاومت آن، مقدار ثابتی است. بر طبق



می‌یابد. بنابراین هر قدر فاصله‌ی بین آند و کاتد را کم کنیم، پاسخ آشکارساز به همان اندازه بهتر خواهد شد. این شکل نشان می‌دهد که برای فواصل بزرگ‌تر از ۳ میلی‌متر میزان تکثیر چندان تغییر نمی‌کند.

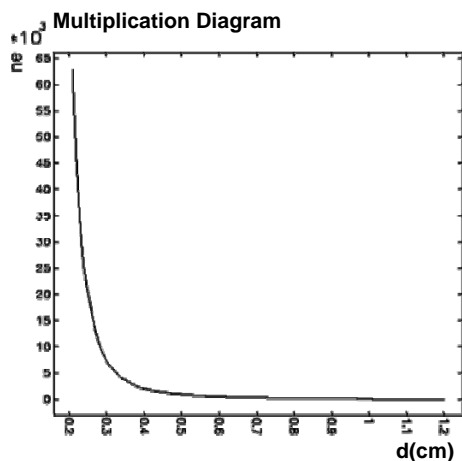


(a)



(b)

**شکل ۲-** (a) سطوح هم پتانسیل، (b) خطوط میدان الکتریکی در اطراف سیم آند.



**شکل ۳-** نمودار تکثیر الکترون برحسب فاصله‌ی بین آند و کاتد.

## ۱-۲ شبیه‌سازی

اولین قدم، شبیه‌سازی آشکارسازی است که با استفاده از سیم آند موجود و همچنین گاز  $P_{10}$  (۹۰٪ آرگون و ۱۰٪ متان) و یک کاتد تخت، بتواند الکترون‌های بیش‌تری تولید کند. برای این منظور از کد شبیه‌ساز گارفیلد<sup>(۵)</sup> توسعه داده شده در مرکز سرن<sup>(۶)</sup> استفاده شده است [۶]. این کد برای شبیه‌سازی آشکارسازهای گازی به کار می‌رود و قابلیت انجام محاسبات با دو روش مونت کارلو و دینامیک مولکولی را دارد. زبان برنامه‌نویسی کد، فرترن است. وضعیت‌های هندسی که می‌توان ایجاد کرد، شامل الکترودهای ساده‌ی صفحه‌ای، استوانه‌ای، مکعب مستطیلی یا به شکل منشور، سیم‌های استوانه‌ای، مکعب مستطیلی یا به شکل منشور، بارهای نقطه‌ای و یا ترکیبی از این‌ها می‌باشد. البته با ترکیب مناسب آن‌ها می‌توان وضعیت‌های هندسی پیچیده‌تر را نیز ایجاد کرد. الکترودها درون انواع مختلفی از گازها و ترکیب‌های آن‌ها، که در این کد تعریف شده‌اند، قرار می‌گیرند. محاسباتی که می‌توان با آن انجام داد شامل محاسبه‌ی سطوح هم پتانسیل و میدان الکتریکی، همراه با خروجی گرافیکی (شکل ۲)، محاسبه‌ی مقدار یونش ایجاد شده توسط تابش ورودی گاما، بتا و ... (شکل ۳)، محاسبه‌ی مدت حرکت انواع یون‌ها در فضای بین الکترودها و محاسبات مختلف دیگر است. این کد در محیط لینوکس کار می‌کند و به همین دلیل، خروجی آن همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است دارای کیفیت مطلوب در محیط ویندوز نمی‌باشد. در قسمت (a) شکل ۲ سطوح هم پتانسیل و در قسمت (b) آن خطوط میدان الکتریکی برای آندی به قطر  $35 \mu m$  که دو صفحه‌ی فلزی موازی به عنوان کاتد، در بالا و پایین آن و به فاصله‌ی نیم سانتی‌متر از آن قرار گرفته‌اند نشان داده شده است.

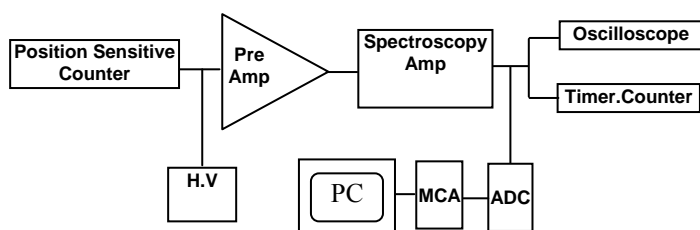
شکل ۳، نمودار نتایج به دست آمده از کد برای تکثیر الکترون برحسب فاصله‌ی بین آند و کاتد، برای یک فوتون ورودی با انرژی حدود  $60 keV$  و در راستای عمود بر سیم نشان را می‌دهد. عرض محفظه‌ی یونش، ۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. در این نمودار،  $d$  فاصله‌ی بین آند و کاتد برحسب سانتی‌متر و  $ne$  تعداد الکترون‌ها پس از تکثیر است. ولتاژ اعمال شده  $1800 V$  می‌باشد. همان‌طور که از شکل ۳ پیدا است، با افزایش فاصله‌ی بین آند و کاتد، میزان تکثیر الکترون کاهش



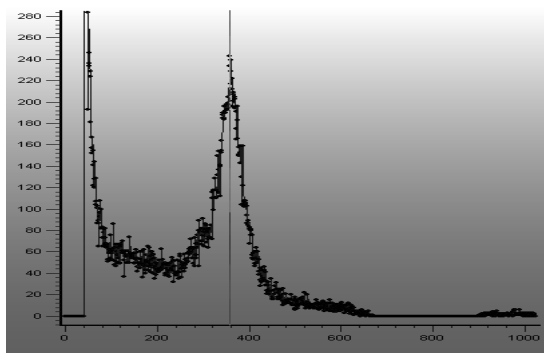
۲- آشکارساز ساخته شده



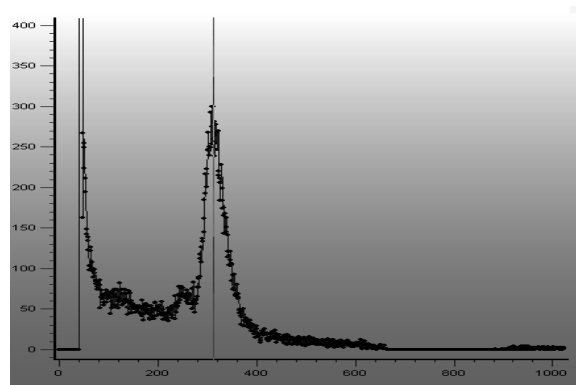
شکل ۴- آشکارساز آزمایشی ساخته شده برای به دست آوردن بهترین وضعیت قرارگیری آند و کاتد نسبت به هم.



شکل ۵- قسمت‌های الکترونیکی مختلف به کار رفته برای آشکارسازی مکان چشمه.



(a)



(b)

شکل ۶- طیف توزیع ارتفاع تپ به دست آمده از چشمه‌ی رویدیم در دو موقعیت مکانی متفاوت.

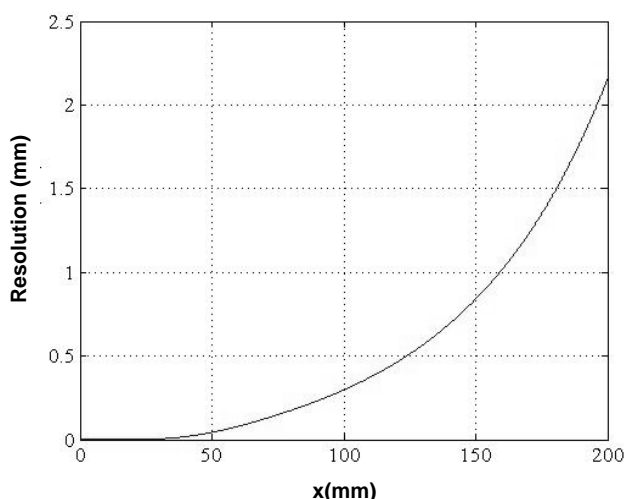
برای آزمودن نتیجه‌ی حاصل از شبیه‌سازی، یک نمونه‌ی آزمایشی از آشکارسازهای گازی طراحی و ساخته شد که در شکل ۴ نشان داده شده است. این آشکارساز طوری طراحی شد که در آن موقعیت صفحه‌ی کاتد نسبت به سیم آند، توسط دو پیچ تعبیه شده در دو گوشه‌ی چپ و راست تغییر می‌کرد. مدار الکترونیکی این آشکارساز در شکل ۵ نشان داده شده است. تپ‌های قیاسی به دست آمده از این آشکارساز، پس از تقویت شدن توسط پیش تقویت کننده و تقویت کننده، توسط یک واگردان گر قیاسی رقمی<sup>(۷)</sup> به تپ‌های رقمی تبدیل و ارتفاع رقمی تپ در تحلیل گر چند کاناله<sup>(۸)</sup> در حافظه‌ای به نام کانال ذخیره می‌شد. به این ترتیب طیف توزیع ارتفاع تپ مانند آن چه که در شکل ۶ برای پرتو ایکس  $K_{\alpha}$  رویدیم گسیل شده با انرژی  $14.97\text{keV}$  و تحت شرایط ولتاژ  $1400\text{V}$  و موقعیت چشمه در یک گوشه آشکارساز و طول حساس  $210\text{mm}$  برای آشکارساز نشان داده شده است، به دست می‌آید. فرض می‌کنیم که  $d_1$  و  $d_2$  فاصله‌ی آند و کاتد، به ترتیب در سمت چپ و در سمت راست باشد. برای مقادیر مختلف  $d_1$  و  $d_2$  نمودار ارتفاع تپ (شماره‌ی کانال مربوط به قله‌ی طیف) بر حسب فاصله‌ی چشمه از گوشه‌ی سمت چپ طول مؤثر آشکارساز تهیه شد. شکل ۷ نمودار به دست آمده برای  $d_1=0.1$  و  $d_2=3\text{mm}$  در ولتاژهای کاری مختلف است. این نمودار نشان می‌دهد که شیب موضعی با ولتاژ افزایش می‌یابد. هر قدر شیب بزرگ‌تر باشد، قدرت تفکیک مکانی به همان اندازه بهتر است. به ازای مقادیر مختلف  $d_1$  و  $d_2$  نمودارهایی مشابه با شکل ۷ به دست می‌آید. این نمودارها نشان دادند که بهترین وضعیت قرارگیری آند و کاتد نسبت به هم، وضعیت  $d_1=0.1$  و  $d_2=3\text{mm}$ ، یعنی دقیقاً همان چیزی که کد گارفیلد در نمودار شکل ۳ پیش‌بینی کرده بود. پس از به دست آوردن بهترین وضعیت قرارگیری آند و کاتد نسبت به هم، طراحی و ساخت آشکارساز مطابق شکل ۸ به انجام رسانیده شد. بدنه‌ی آشکارساز ساخته شده، مکعب مستطیلی از جنس آلومینیم به ابعاد  $5.5\text{cm} \times 3.5\text{cm} \times 5.0\text{cm}$  است. محفظه‌ی یونش آن، مکعب مستطیلی از فولاد به ابعاد  $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 40\text{cm}$  است که گاز  $P_{10}$  با فشار  $1\text{atm}$  در آن جریان می‌یابد. آند سیمی از جنس نیکل - کروم به قطر  $35\mu\text{m}$  است. ولتاژ اعمال شده بین الکترودها  $1250\text{V}$  بود. فاصله‌ی آند و کاتد در یک طرف حدود  $0.1\text{mm}$  و در طرف دیگر  $3\text{mm}$  می‌باشد.



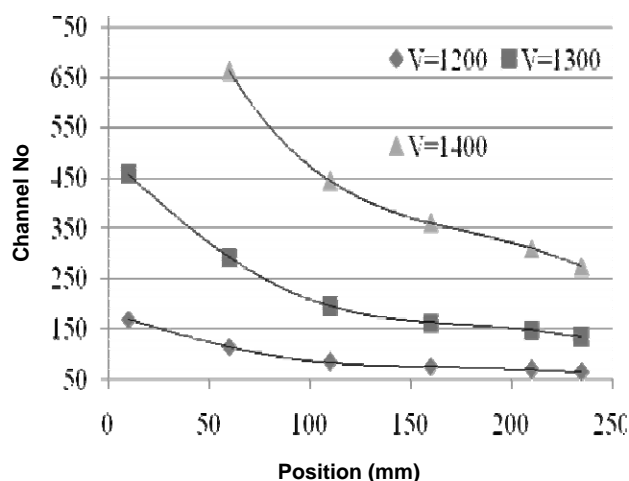
برای آشکارساز ساخته شده، نمودار تغییرات قدرت تفکیک مکانی برحسب موقعیت چشمه، به صورت شکل ۹ می‌باشد.

### ۳- بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از روش پیش گفته، موقعیت‌های مکانی مختلف چشمه‌ی نقطه‌ای از هم تمیز داده شد. شکل ۹ نشان می‌دهد که قدرت تفکیک مکانی آشکارساز، با افزایش  $x$  بدتر می‌شود. در  $x$ های پایین (جایی که فاصله آند و کاتد کم‌تر است) تفکیک مکانی بسیار خوب است. از حدود  $x=150\text{ mm}$  تا انتهای حجم حساس یعنی  $x=200\text{ mm}$  تفکیک مکانی بزرگ‌تر از  $1\text{ mm}$  است که مناسب نمی‌باشد. بنابراین اگر به قدرت تفکیک مکانی کوچک‌تر از  $1\text{ mm}$  نیاز داشته باشیم، طول مؤثر آشکارساز ما عملاً  $15\text{ cm}$  خواهد بود. اشکال اصلی آشکارساز ساخته شده، ثابت نبودن قدرت تفکیک مکانی در طول مؤثر آشکارساز است. اگر بخواهیم از این آشکارساز برای تصویر برداری استفاده کنیم باید نرم‌افزارهای پردازش تصویری به کار گرفته شوند. با توجه به این که اندازه چشمه‌ی مورد استفاده حدود  $0.8\text{ mm}$  است و قدرت تفکیک مکانی شمارنده نیز در یک طرف، همین حدود و در طرف دیگر  $1\text{ mm}$  است، میزان خطای تعیین مکان چشمه از حدود صفر تا حدود  $1$  میلی‌متر در طول حساس شمارنده تغییر می‌کند.



شکل ۹- قدرت تفکیک مکانی آشکارساز ساخته شده برحسب مکان چشمه.



شکل ۷- تغییرات شماره‌ی کانال قله‌ی طیف برحسب مکان چشمه به ازای  $d_1=0.8\text{ mm}$  و  $d_2=3\text{ mm}$ .



شکل ۸- آشکارساز نهایی ساخته شده.

### ۳-۲ تعیین قدرت تفکیک مکانی آشکارساز

برای تعیین خودکار شماره‌ی کانال متناظر با قله‌ی طیف انرژی در هر وضعیت چشمه تابعی به زبان برنامه‌نویسی MATLAB تهیه شد. این تابع، طیف انرژی ایجاد شده توسط نرم‌افزار تحلیل گر چند کاناله را به صورت یک ماتریس ستونی دریافت می‌کند و شماره‌ی کانال مربوط به قله‌ی طیف را برمی‌گرداند. به این ترتیب خطای چشم در تعیین شماره‌ی کانال مربوط به قله‌ی طیف از بین می‌رود. فرض می‌کنیم که چشمه در موقعیت  $x_i$  نسبت به آشکارساز قرار دارد و شماره‌ی کانال قله‌ی طیف  $c_i$  می‌باشد. حال اگر چشمه را به اندازه  $dx$  جابه‌جا کنیم به طوری که قله‌ی طیف به اندازه‌ی یک کانال جابه‌جا شود، قدرت تفکیک  $R$  آشکارساز از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$R = \frac{dx}{dc} \quad (1)$$



- ۱- SWPC: Single Wire Proportional Counter
- ۲- MWPC: Multi Wire Proportional Counter
- ۳- Charge Division
- ۴- Rise Time

- ۵- Garfield
- ۶- CERN
- ۷- ADC: Analogue to Digital Converter
- ۸- MCA: Multi Channel Analyzer

### References:

1. U.W. Arndt, "X-ray position-sensitive detectors," J. Appl. Cryst, Vol (19), 145-163, (1986).
2. Kandarakis, D. Cavourasyk, G.S. Panayiotakis, C.D. Nomicos, "Evaluating x-ray detectors for radiographic applications: a comparison of ZnSCdS:Ag with Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S:Tb and Y<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S: Tb screens," Phys. Med. Biol, Vol. 42, 1351-1373 (1997).
3. M.J. Yaffe and J.A. Rowlands, "X-ray detectors for digital radiography," Phys. Med. Biol, Vol. 42, 1-39 (1997).
4. S.E. Baru, A.G. Khabakhpashev, L.I. Shekhtman, "A low-dose x-ray imaging device," Eur. J. Phys. Vol. 19, 475-483 (1998).
5. M. Matoba and T. Sakae, "Position integral linearity of charge-division type position-sensing system and a method to obtain the total charge signal," Nucl. Inst. Meth, Vol. 219, 160-164 (1984).
6. <http://garfield.web.cern.ch/garfield/>