

## امکان کارکرد تکثیرکننده‌های الکترونی ضخیم در ناحیه درخشش طبیعی

مریم نجیب‌زاده<sup>۱</sup>، محسن میرحبیبی<sup>۱\*</sup>، علی نگارستانی<sup>۲</sup> و احمد آخوند<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور واحد تهران، تهران، ایران.

<sup>۲</sup>دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

\*تهران، دانشگاه پیام نور واحد تهران، گروه فیزیک، کدپستی: ۱۹۵۳۶-۳۳۵۱۱

پست الکترونیکی: m\_mirhabibi@pnu.ac.ir

### چکیده

در این تحقیق یک روش جدید جهت آشکارسازی ذرات آلفا (با تکیه بر اندازه‌گیری تعداد و تعیین موقعیت مکانی ذرات) با استفاده از کارکرد تکثیرکننده‌های الکترونی ضخیم در مد درخشش طبیعی، معرفی شده است. در این راستا حفره‌های تکثیرکننده‌های الکترونی ضخیم در نقش آرایه‌هایی از لوله‌های گازی تخلیه الکتریکی کاتد سرد در نظر گرفته شده و با ایجاد یک سیستم آزمایشگاهی، امکان کارکرد این آشکارسازها در مد درخشش طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. از مزایای اصلی کارکردن در این مد، عدم احتیاج به صفحه قرائت گر خروجی، پیش تقویت‌کننده و تقویت‌کننده می‌باشد، به طوری که سیگنال ایجاد شده مستقیماً توسط اسیلوسکوپ قابل مشاهده می‌باشد. نتایج آزمایش‌های به‌دست آمده با چشمه امرسیم-۲۴۱، تأییدکننده توانایی کارکرد تکثیرکننده‌های الکترونی ضخیم در ناحیه درخشش طبیعی جهت آشکارسازی و هم‌چنین تشخیص دو بعدی مکان ذرات آلفا به‌صورت اِپتیکی می‌باشند.

**کلیدواژگان:** تکثیرکننده‌های الکترونی ضخیم، درخشش طبیعی، لوله‌های گازی، آشکارسازهای گازی ریزمقیاس.

### ۱. مقدمه

گردیدند [۴-۱]. تکثیرکننده الکترونی گازی یک صفحه نازک پلیمری است که دو طرف آن با فلزی مانند مس پوشانده شده است. این تکثیرکننده الکترونی دارای حفره‌هایی تقریباً به قطر  $d = 70-90 \mu\text{m}$  است که مرکز حفره‌ها تقریباً از هم  $140 \mu\text{m}$  فاصله دارند [۶-۵].

در سال ۲۰۰۴ چچیک و همکارانش نسل جدیدی از آشکارسازهای تکثیرکننده الکترونی گازی به نام تکثیرکننده الکترونی گازی ضخیم<sup>۳</sup> را معرفی نمود که در آن ضخامت‌ها،

در اوایل دهه ۱۹۹۰ تکنیک‌هایی که در ساخت نیمه هادی‌ها معرفی شده بودند، مانند حکاکی نوری و ماشین‌کاری لیزری به‌کمک ساخت آشکارسازها آمدند و آشکارسازهای گازی ریزمقیاس<sup>۱</sup> ساخته شدند. این آشکارسازها دارای دقت تفکیک مکانی کمتر از میلی‌متر بودند. در سال ۱۹۹۷، تکثیرکننده‌های الکترونی گازی<sup>۲</sup> که کارکرد بهینه‌تری نسبت به دیگر آشکارسازهای ریزمقیاس داشتند، توسط ساؤلوی معرفی

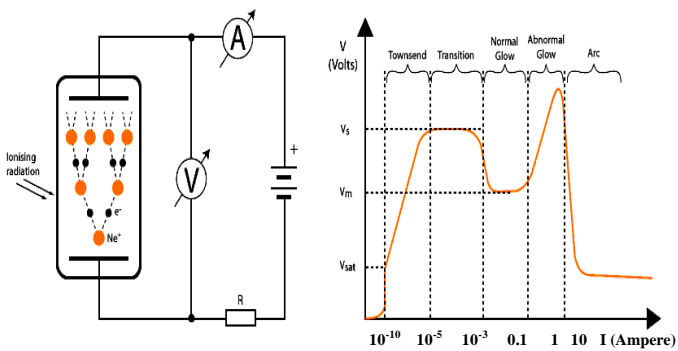
<sup>۱</sup> Micro pattern gas detector

<sup>۲</sup> Gas Electron Multiplier

<sup>۳</sup> Thick Gas Electron Multiplier (THGEM)

## ۲. لوله گازی تخلیه الکتریکی کاتد سرد

لوله‌های گازی تخلیه الکتریکی کاتد سرد برخلاف اغلب لوله‌های گازی تخلیه الکتریکی، احتیاج به یک رشته گرم‌شونده جهت تولید الکترون ندارند. این لوله‌ها هم‌چنین احتیاج به خلأ بالا ندارند و در حضور یک گاز نجیب (نئون) در فشار خیلی کم‌تر از اتمسفر کار می‌کنند. در شکل ۲ مدار الکتریکی و منحنی ولتاژ- جریان لوله به صورت شماتیک نشان داده شده است.



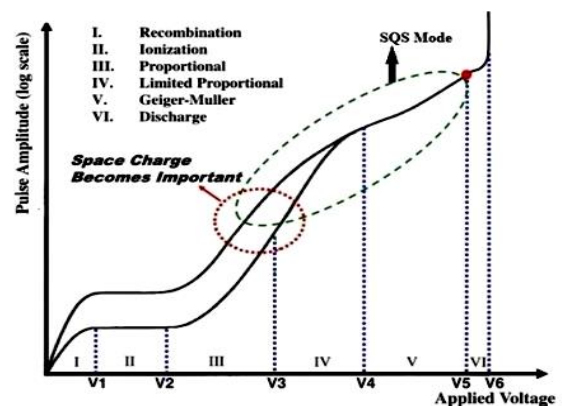
شکل (۲): طرحواره مدار الکتریکی لوله گازی و منحنی مشخصه جریان-ولتاژ [۱۳].

یک صفحه فلزی به‌عنوان آند و صفحه فلزی دیگر به‌عنوان کاتد در دو سر این لوله شیشه‌ای ایفای نقش می‌کنند. زمانی که هنوز پرتو یونیزانی وارد لوله گازی تخلیه الکتریکی کاتد سرد نشده است، گاز به‌عنوان یک عایق عمل می‌کند. اگر بدون حضور پرتوی یونیزان، ولتاژ را بالا ببریم، جریان عبوری از لوله تا ولتاژهای خیلی زیاد (ولتاژ شکست،  $V_s$ ) بسیار اندک است. با ورود اشعه یونیزان الکترون- یون به‌وجود می‌آید که با اعمال ولتاژ دو سر لوله می‌توان از بازترکیب آن‌ها جلوگیری نمود و جریان حاصل از حرکت این الکترون‌ها و یون‌ها را مشاهده نمود [۱۴].

با رسیدن ولتاژ اعمالی به ولتاژ  $V_s$  تقریباً تمامی الکترون‌ها و یون‌های اولیه جمع‌آوری می‌شوند. به‌عبارتی از هنگام اعمال ولتاژ تا رسیدن آن به ولتاژ  $V_s$  لوله همانند یک آشکارساز اتاقتک یونش عمل می‌نماید. با افزایش ولتاژ از این مقدار،

قطر حفره‌ها و فاصله حفره‌ها از یکدیگر در حدود چند دهه میلی‌متر تا میلی‌متر افزایش داده شده بود تا علاوه بر بهره بالاتر، خرابی صفحات نیز کم‌تر شود [۷].

در بررسی‌های صورت گرفته توسط نگارستانی و همکاران، کارکرد تکثیرکننده‌های الکترونی ضخیم و کارکرد  $EMA^1$  ها به‌عنوان عضو دیگری از خانواده تکثیرکننده الکترونی گازی، در ناحیه ستون نور خود فرو نشان<sup>۲</sup>، کارآمدی این ناحیه کارکرد، جهت آشکارسازی و تصویربرداری دو بعدی ذرات آلفا نشان داده شد [۸-۱۲]. یکی از مشکلات کارکرد در مد SQS همان‌گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود، وابستگی شدید تعداد پالس‌ها و شدت نور تولیدی به ولتاژ اعمالی است. هر چند که جریان عبوری در این مد بسیار بیش‌تر از مد تناسبی بود ولی هنوز جهت داشتن نسبت سیگنال به نوفه بیشتر لازم است که جریان عبوری افزایش یابد تا به‌راحتی و بدون استفاده از پیش تقویت‌کننده و یا حتی تقویت‌کننده بتوان شمارش و شدت پالس‌های تولیدی را نمایش داد. برای همین منظور در این تحقیق ضمن معادل گرفتن هر یک از حفره‌های صفحات تکثیرکننده‌های الکترونی ضخیم با یک لوله گازی تخلیه الکتریکی کاتد سرد کارکرد آن‌ها در قسمت درخشش طبیعی ناحیه VI شکل ۱ مورد بررسی قرار گرفته است.

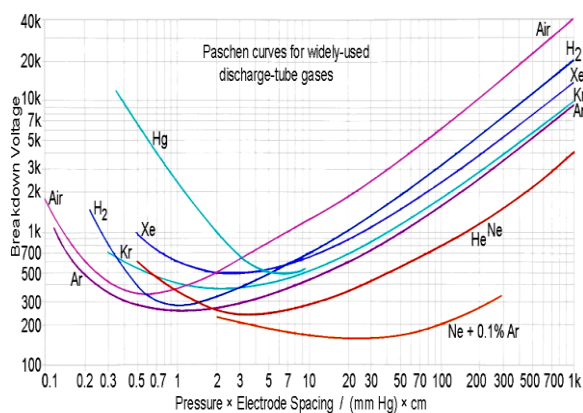


شکل (۱): منحنی نواحی کارکرد آشکارسازهای گازی (اتاقتک یونش-تناسبی-گایگر مولر و SQS).

<sup>1</sup> Electron Multiplier Assembly (EMA)

<sup>2</sup> Self-Quenched Streamer Mode (SQS)

از آنجا که ولتاژ کارکرد در ناحیه درخشش عادی، به‌طور قابل توجهی کمتر از ولتاژ شکست است، می‌توان لوله‌هایی با ولتاژ اعمال شده بالاتر از ولتاژ کارکرد، اما زیر ولتاژ شکست را با تحریک به ناحیه کارکرد در ناحیه درخشش عادی، به‌کار واداشت. این تحریک می‌تواند توسط پرتوهای یونیزان صورت پذیرد. از این موضوع می‌توان در طراحی آشکارسازی پرتوهای یونیزان سود جست. اگرچه منحنی ولتاژ-جریان هر لوله رفتار کلی یکسانی دارد (شکل ۳) اما وابستگی دقیق ولتاژ-جریان و طول هر کدام از نواحی می‌تواند به‌شدت متفاوت باشد. میزان ولتاژ شکست هر لوله به نوع گاز و فاصله بین آند و کاتد آن بستگی دارد. در شکل ۴ منحنی مربوط به این ولتاژ برای گازهای مختلف و در فواصل مختلف کاتد و آند مشاهده می‌گردد. به‌طور مثال زمانی که گاز داخل لوله، هوا و فشار آن، ۷۶۰ میلی‌متر جیوه و فاصله آند و کاتد ۰/۱ سانتی‌متر باشد، ولتاژ شکست در حدود ۵ کیلوولت DC می‌گردد.



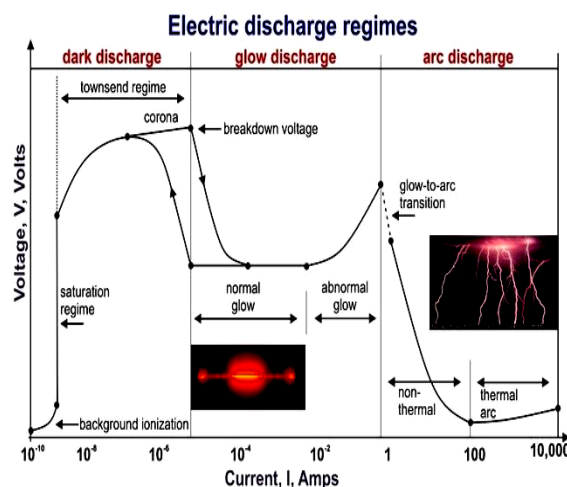
شکل (۴): منحنی ولتاژ شکست هر لوله برحسب فاصله بین آند و کاتد آن برای گازهای مختلف [۱۵].

### ۳. چینش آزمایشگاهی و نتایج

جهت بررسی رفتار یک تکثیرکننده الکترونی ضخیم در مد تخلیه درخشش طبیعی، چینشی همانند شکل ۵ در آزمایشگاه ایجاد گردید.

صفحه تکثیرکننده الکترونی ضخیم که به‌عنوان قسمت اصلی این سیستم می‌باشد، کار تکثیر الکترون‌ها را بر عهده

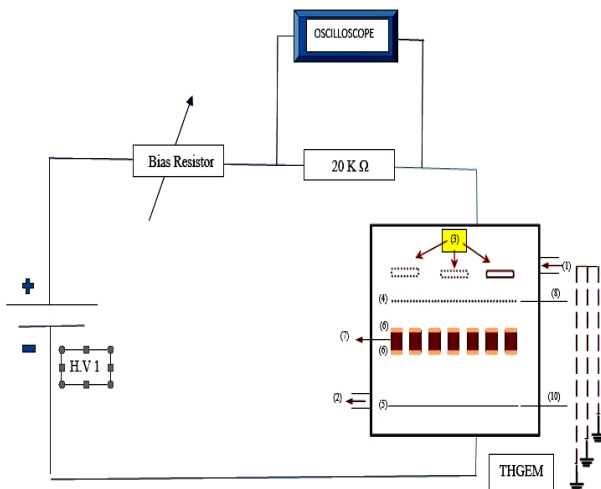
الکترون‌ها انرژی لازم برای برخورد با اتم‌های گاز و در نتیجه ایجاد پدیده بهمنی و تکثیر الکترون‌های اولیه را پیدا می‌کنند. دگر بار با افزایش ولتاژ-به‌نحوی که مانع یونسازی فوتون‌های UV شود- ستون نور خود فرو نشان (SQS) پدیدار می‌گردد. مقاومت نشان داده شده در شکل ۲، کار محدود کردن جریان عبوری از لوله و تعیین نقطه کار آن را بر عهده دارد. اگر مقاومت محدودکننده جریان به‌حدی باشد که اجازه عبور جریان‌های بیشتر از مد SQS را بدهد (تا حدود ۰/۱ آمپر) آشکارساز به‌سرعت وارد ناحیه درخشش معمولی<sup>۱</sup> می‌گردد. در این حالت یک گرادیان ولتاژ در جهت عکس ولتاژ اعمالی درون لوله ایجاد شده که باعث کم شدن ولتاژ دو سر لوله می‌گردد. در این ناحیه ولتاژ دو سر لوله افت پیدا می‌نماید و به مقدار ولتاژ  $V_m$  می‌رسد و لوله درخشان می‌گردد. ازدیاد جریان در این ناحیه بر اثر گسترش سطح مقطع جریان می‌باشد، نه ازدیاد چگالی سطحی الکترون‌ها. این گسترش عرضی تا پوشش تمام سطح کاتد از یونها ادامه می‌یابد. با پوشش کامل سطح کاتد در ناحیه درخشش معمولی، هر افزایش در جریان باعث افزایش چگالی سطحی الکترون‌ها گردیده و لوله از ناحیه درخشش معمولی وارد ناحیه درخشش غیر عادی می‌گردد [۱۳].



شکل (۳): منحنی ولتاژ-جریان یک لوله گازی نوعی [۱۴].

<sup>1</sup> Normal Glow

در شکل ۶ مدار الکتریکی سیستم فوق به صورت طرحواره نشان داده شده است. این مدار الکتریکی به گونه‌ای طراحی شده است که با تنظیم مقاومت بایاس بتوان آشکارساز تکثیرکننده الکترونی ضخیم را در ناحیه تخلیه درخشان به کار واداشت. جهت بررسی کارکرد آشکارساز در مد تخلیه درخشان، ولتاژ قوی ورودی بر روی ولتاژ ۱۲۰۰ ولت ثابت گردیده است و ولتاژ دو سر مقاومت ۲۰ کیلو اهمی به عنوان خروجی مدار الکتریکی به اسیلوسکوپ متصل شده است. هم‌چنین از چشمه امرسیم ۲۴۱ به عنوان چشمه آلفا استفاده گردید. در این طراحی برخلاف سیستم‌های معمول صفحه قرائتگر و فمتو آمپرتر حساس دیده نمی‌شود. به عبارتی با تغییر مقاومت بایاس نشان داده شده در شکل ۶ می‌توان کارکرد تکثیرکننده‌های الکترونی گازی ضخیم را در ناحیه تخلیه درخشان تنظیم نمود.

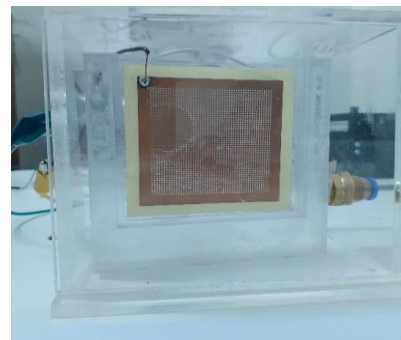


شکل (۶): طرحواره مداری سیستم ایجاد شده. (۱) ورودی گاز P10، (۲) خروجی گاز P10، (۳) چشمه Am241، (۴) صفحه رانش (Drift)، (۵) صفحه جمع‌کننده (Transfer)، (۶) مس، (۷) عایق از جنس Fr4، (۸) مدار مقاومتی جهت تقسیم ولتاژ، (۹) منبع ولتاژ بالا HV و (۱۰) پیکو آمپرتر.

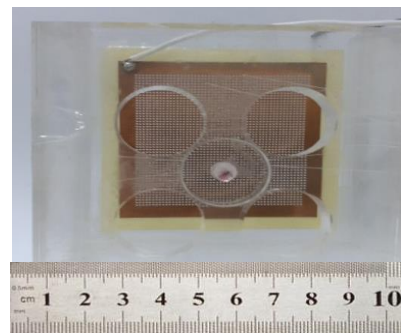
خروجی سیستم با چهار مقاومت مختلف برای مقاومت بایاس ( $R=198\text{ M}\Omega$  و  $R=19\text{ M}\Omega$  و  $R=3\text{ M}\Omega$  و  $R=0.2\text{ M}\Omega$ ) مورد اندازه‌گیری و بررسی قرار گرفت. خروجی اسیلوسکوپ برای مقاومت‌های مذکور در شکل ۷

دارد. درحقیقت هر یک از حفره‌های این صفحه به منزله یک لامپ اشعه کاتدی با کاتد سرد می‌باشد که کار روشن کردن و ماشه کردن آن، بر عهده الکترون‌های تولیدی ناشی از اندرکنش اشعه آلفا با اتم‌های گاز (الکترون‌های اولیه) می‌باشد.

صفحه تکثیرکننده الکترونی ضخیم که هسته اصلی سیستم اندازه‌گیری می‌باشد، معادل آرایه‌ای از تیوپ‌های گازی تخلیه الکتریکی کاتد سرد در نظر گرفته شده است که متشکل از دولایه مسی به ضخامت  $0.25\text{ mm}$ ، یک دی الکتریک به عنوان لایه میانی از جنس FR4 به ضخامت  $0.35\text{ mm}$ ، قطر حفره‌ها  $0.4\text{ mm}$  و گام آن‌ها  $1\text{ mm}$  می‌باشد. جهت جلوگیری از جرقه زدن در ولتاژهای بالا، فلز مس از لبه حفره‌ها به میزان  $0.1\text{ mm}$  برداشته شده است. صفحات در قاب پلکسی گلاس قرار گرفته و اتصال الکتریکی هر کدام از رویه‌های مسی آن با مدار طراحی شده توسط دو عدد سیم برقرار گردید (شکل ۵).



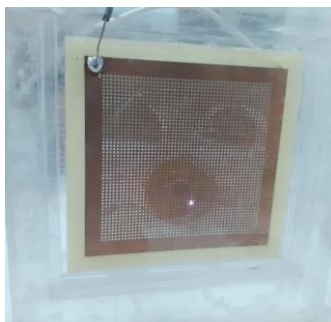
(الف)



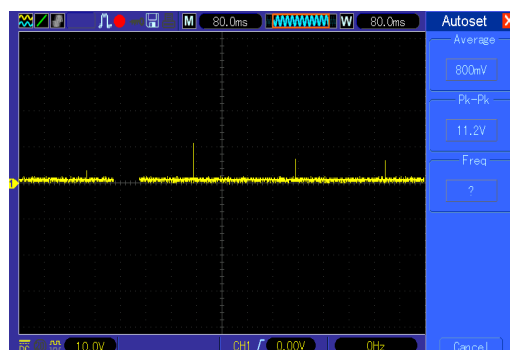
(ب)

شکل (۵): تکثیرگر الکترونی ضخیم ساخته شده در درون محفظه اعمال گاز (الف) تصویر پشت محفظه ساخته شده، تصویر تکثیرگر الکترونی ضخیم در قاب پلکسی گلاس درمقابل چشمه امرسیم ۲۴۱ و (ب) تصویر رویه روی محفظه، جهت مشاهده و ثبت اپتیکی درخشش‌های ایجاد شده.

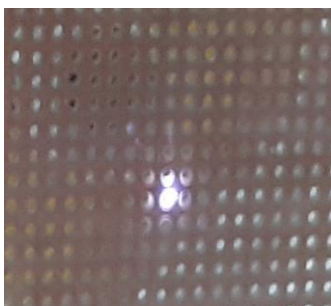
نشان داده شده است. در شکل ۸ تصویر کارکرد آشکارساز در مد تخلیه درخشان و نورانی شدن حفره‌های صفحه تکثیرکننده حفره‌ها ناشی از گاز استفاده شده هلیوم ارائه شده است.



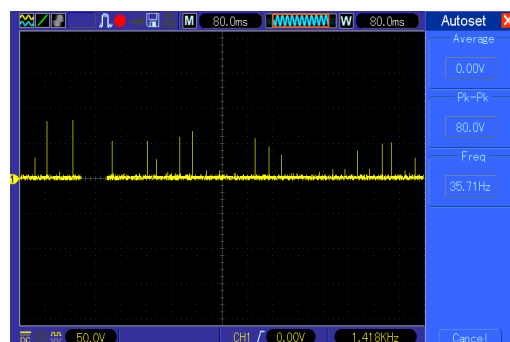
(الف)



(الف)



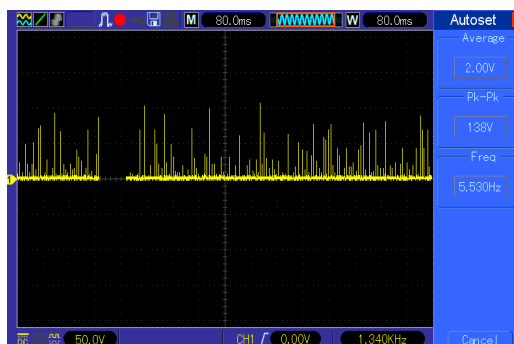
(ب)



(ب)



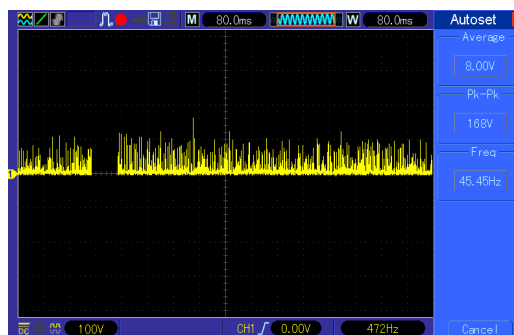
(ج)



(ج)



(د)



(د)

شکل (۸): ستون نور ایجاد شده: (الف) برای مقاومت بایاس  $3\text{ M}\Omega$ ، (ب) بزرگنمایی شده تصویر ستون نور حالت الف، (ج) برای  $R=$  مقاومت بایاس  $0.2\text{ M}\Omega$  و (د) بزرگنمایی شده تصویر ستون نور حالت ج.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک روش جدید جهت آشکارسازی تعداد و موقعیت مکانی (در دو بعد) ذرات آلفا با استفاده از کارکرد

شکل (۷): شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت  $20\text{ K}\Omega$  برای مقاومت‌های بایاس مختلف (الف)  $R=198\text{ M}\Omega$ ، (ب)  $R=19\text{ M}\Omega$ ، (ج)  $R=3\text{ M}\Omega$  و (د)  $R=0.2\text{ M}\Omega$ .

شکل ۸ نشان داده شده است) می‌توان در تعیین تصویر آلودگی سطحی، از آن بهره برد. طبیعتاً قدرت تفکیک تصویر آشکارساز متناسب با تعداد حفره‌های ایجاد شده در واحد سطح صفحات تکثیرکننده الکترونی گازی ضخیم (THGEM) می‌باشد. از مزایای کارکرد THGEMs در مد درخشش طبیعی نسبت به کارکرد آن‌ها در مد SQS می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- عدم احتیاج به هیچ‌گونه پیش تقویت‌کننده و یا تقویت‌کننده‌ای جهت آشکارسازی پالس حاصل
- ۲- قابلیت کارکرد در آهنگ شمارش‌های بالاتر به علت کاهش مقاومت بایاس و در نتیجه کاهش ثابت زمانی
- ۳- عدم نیاز به گاز فرو نشان لازم در مد SQS
- ۴- عدم حساسیت شدید به ولتاژ اعمالی که در مد SQS وجود داشت.
- ۵- امکان کار در ولتاژهای بسیار پایین‌تر از ولتاژ لازم جهت کارکرد در مد SQS

تکثیرکننده الکترونی گازی ضخیم در مد درخشش طبیعی معرفی گردید.

در شکل ۲ نقش میزان مقاومت اعمالی در مدار و تأثیر آن بر روی زمان مرگ آشکارساز مشخص شد. این امر به وضوح در نتایج شکل‌های ۷ و ۸ نمایان شده است. به طوری که با کوچکتر شدن مقاومت به علت کاهش ثابت زمانی مدار (مدار معادل آن، یک مدار RC می‌باشد که با توجه به ابعاد و فاصله صفحات و مقدار مقاومت مدار، زمان مرگ آشکارساز (ثابت زمانی) را  $30$  میکروثانیه بین دو پالس متوالی در نظر گرفت) زمان مرگ آشکارساز نیز کاهش می‌یابد. در قسمت‌های ب، ج و د شکل ۷ این کاهش زمان مرگ و افزایش دامنه پالس به وضوح قابل مشاهده می‌باشد.

از آنجایی که در این آشکارساز دو بعدی، هر حفره آن مشابه یک پیکسل تصویر عمل می‌کند، با توجه به شدت نور نسبتاً زیاد ایجاد شده در این آشکارساز، همان‌گونه که در

## ۵. مراجع

- [1] M. PoliLener. Triple-GEM detectors for the innermost region of the muon apparatus at the LHCb experiment. PhD Thesis, (2005).
- [2] F. Simon. Commissioning of the GEM Detectors in the COMPASS Experiment. Doctoral dissertation, (2001).
- [3] F. Murtas. Development of a gaseous detector based on Gas Electron Multiplier (GEM) Technology, (2002).
- [4] L. Ropelewski. Gas Micro pattern Detectors for Tracking. Talk at the "Workshop on Tracking In high Multiplicity Environments". Universit at Zurich, 6 October (2005).
- [5] T. Huber. Ion Back flow studies with a Triple GEM detector, (2007).
- [6] F. Sauli. Development and applications of gas electron multiplier detectors. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 505(1) (2003) 195–198.
- [7] R. Chechik, A. breskin, C. shalem, D. mormann, Thick GEM-like hole multipliers: properties and possible applications, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, 535 (1) (2004) 303–308.
- [8] R. Souri, A. Negarestani, M. Mahani, A new approach for direct imaging of Alpha radiation by using Micro Pattern Gas Detectors in SQS mode, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, 884(2018)128-135.
- [9] S. Khezripour, A. Negarestani, M. Rezaie, A New Approach for Alpha Radiography by Triple THGEM using Monte Carlo Simulation and Measurement, Journal of Instrumentation, 13(2018).
- [10] S.M. Hashemi, A. Negarestani, A new method for alpha particle detection use of Electron multiplier assembly (EMA) in SQS mode, Journal of Instrumentation, 13 (2018) 5025.
- [11] S.M. Hashemi, A. Negarestani, Investigation of alpha particle tracks in GEM-type structures based on SQS mode, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, 913(2019), 20-27.
- [12] S.M. Hashemi, S. Esmaeili, A. Negarestani, Measurement of the streamer intensities in the self - quenching streamer mode for THGEM structure, Journal of Instrumentation 14(12) (2019).
- [13] J. B. Dance, *Cold Cathode Tubes*. London: Ilifee Books Ltd (1967).
- [14] P. Cools, N. D. Geyter, R. Morent, PLA enhanced via plasma technology A Review. new developments in poly lactic research (2015).
- [15] G. M. Jellum, J. E. Daugherty, and D. B. Graves, Particle thermophoresis in low pressure glow discharges, Journal of Applied Physics 69, 6923 (1991).