

شبیه سازی آشکار ساز تناسبی GEM به روش المان محدود

محمد جواد دلبری⁽¹⁾ - شهیار سرآمد⁽²⁾

⁽¹⁾ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده فیزیک - ⁽²⁾ دانشگاه صنعتی امیرکبیر دانشکده فیزیک و انرژی

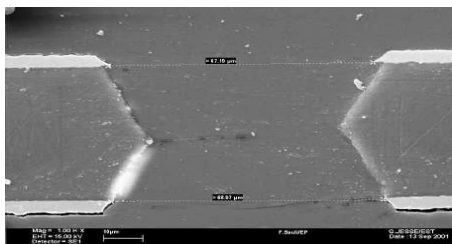
چکیده:

تکثیر کننده گازی الکترون (GEM) از یک فویل متخلخل با سوراخ های ریز به قطر $70\text{ }\mu\text{m}$ با چگالی بالا و منظم بر روی آن که به منزله یک تکثیر کننده عمل می کند، تشکیل شده است. در این تحقیق ابتدا ضرایب گازی برحسب میدان الکتریکی برای گاز مورد نظر با نرم افزار GARFIELD محاسبه گردیده سپس میدان الکتریکی با حل معادله پواسون باروش المان محدود (FEM) با کمک نرم افزار Cmsol Multiphysics به دست می آید. با کمک ضرایب گاز و میدان الکتریکی، بهره موثر با حل معادلات پیوستگی وابسته به زمان با نرم افزار Cmsol Multiphysics محاسبه گردیده است. نتایج توافق بسیار خوبی با نتایج تجربی دارد.

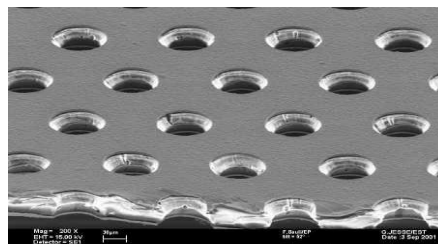
مقدمه:

آشکار ساز تکثیر کننده گازی الکترون GEM از یک فویل متخلخل عایق از جنس کاپتون به ضخامت $50\text{ }\mu\text{m}$ که بر روی آن $5\text{ }\mu\text{m}$ تا $15\text{ }\mu\text{m}$ از فلز مس لایه نشانی شده تشکیل می شود. بر روی این فویل سوراخ های ریزی با چگالی بالا به طوری که آرایش هندسی منظمی تشکیل می دهد ایجاد شده است. فاصله بین سوراخ ها (پیچ) معمولاً بین $140\text{ }\mu\text{m}$ تا $200\text{ }\mu\text{m}$ و قطر حفره ها بین $70\text{ }\mu\text{m}$ تا $80\text{ }\mu\text{m}$ می باشد (شکل 1 و 2) [1,2].

اعمال پتانسیل متفاوت بین دو سر فویل یک میدان الکتریکی در حفره به وجود می آورد که سبب می شوند هر حفره به منزله یک تکثیر کننده عمل کند و الکترون های ایجاد شده از تشعشع در داخل گاز از حفره عبور کرده و به سبب وجود میدان الکتریکی قوی تکثیر شوند. شکل حفره ها به صورت دو مخروطی معکوس بوده که سبب تمرکز میدان الکتریکی و افزایش سرعت الکترون و در نهایت افزایش تکثیر می شود [2].



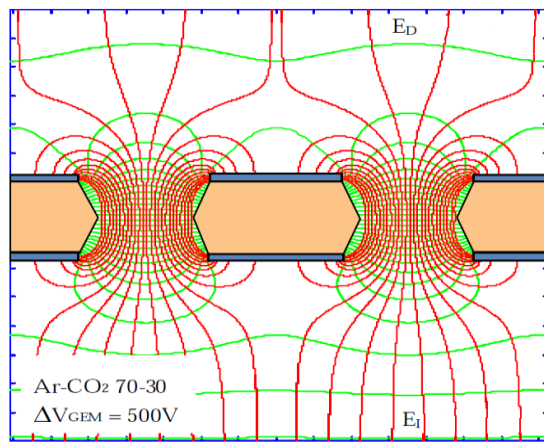
شکل (2) سطح مقطع GEM



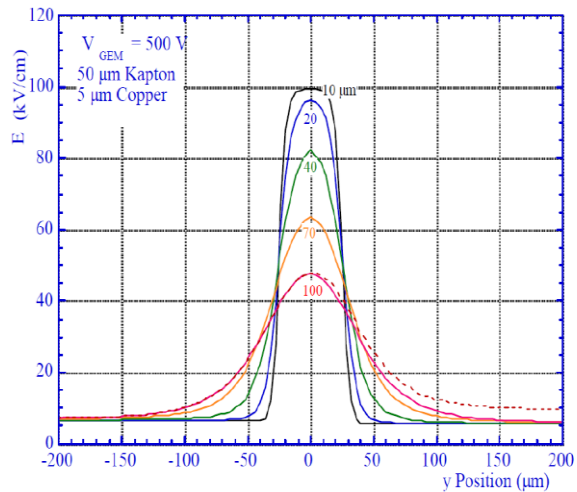
شکل (1) آرایش هندسی GEM

در این مقاله سعی شده است تا میدان الکتریکی به گونه ای دقیق محاسبه شود زیرا چنانچه میدان الکتریکی رانشی E_{drift} خیلی قوی باشد به علت غیر کانونی شدن میدان الکتریکی به سمت بالای فویل، به شدت کاهش می یابد

و همچنین اگر میدان القایی E_{induce} ضعیف باشد به علت کاهش گردآوری الکترون ها توسط آند بهره به شدت کاهش می یابد [3].



شکل (4) میداین الکتریکی القایی و رانشی و میدان در داخل حفره [4]



شکل (3) اندازه میدان محاسبه شده در مرکز حفره [1,4]

تکثیر کننده گازی الکترون در بسیاری از شاخه ها از جمله فیزیک هسته ای، فیزیک انرژی بالا، آشکارسازی پرتو ایکس و فوتون UV، کریستالوگرافی، پلاریزاسیون پرتو X، در آشکار سازهای پروژه های انرژی بالا HERA-B, COMPASS, DIRAC و آشکارسازی μ در آزمایش CMS و... کاربرد دارد.

روش کار:

برای شبیه سازی و محاسبه پارامترهای GEM از قبیل بهره موثر و تکثیر حفره از نرم افزار شبیه سازی آشکار سازهای گازی GARFIELD [5] استفاده می شود. GARFIELD ضرایب گازی نظیر (سرعت رانش v_{drift} ، ضریب دیفیوژن D و ضریب تکثیر α) را شبیه سازی و محاسبه می کند. برای هر الکترون احتمال تولید یونش های بیشتر در واحد طول در طی مسیر حرکت را ضریب تاون سند می نامند. α^{-1} متوسط پویش آزاد بین برخوردهای یوننده است. در این شبیه سازی ترکیب گازی 30% -ar70% co2 و دمای 293,15 K و فشار 760 Torr به کار رفته است.

برای محاسبه میدان الکتریکی روش المان محدود FEM توسط نرم افزار فیزیکی Comsol Multiphysics استفاده شده است. در این روش هندسه آشکار ساز به قسمت های بسیار ریزی به صورت مثلثی شکل تقسیم شده اند برای به دست آوردن میدان الکتریکی اصلی دقیق باید این المانها به حد کافی ریز باشند و مش بندی مسئله به اندازه لازم کوچک باشد [6].

نرم افزار Comsol Multiphysics با استفاده از معادله ی پواسون (معادله 2) میدان الکتریکی را برای تمام نقاط (گره های رئوس مش ها در فضا) به دست می دهد.

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi \quad \text{رابطه (1)}$$

$$-\nabla^2\varphi = \frac{-\rho}{\epsilon_0} \quad \text{رابطه (2) معادله پواسون}$$

در این روابط $\vec{E}$ میدان الکتریکی، φ پتانسیل الکتریکی ρ چگالی بار و ϵ_0 ثابت گذردهی خلا می باشد. میدان رانشی $1 \frac{kV}{cm}$ و میدان القایی $6 \frac{kV}{cm}$ و پتانسیل دو سر فویل 400، 500 و 600 ولت در نظر گرفته شده است.

پس از محاسبه میدان الکتریکی و پارامترها و ضرایب گاز، رابطه غلظت الکترون یعنی مقدار الکترون تولید شده در محیط گاز در آشکار ساز توسط معادلات پیوستگی به روش FEM حل می شود.

$$S_e = S_p = \frac{\alpha(E)j_e}{|e|} \quad \text{رابطه (4)} \quad \vec{V}_{drift} = \vec{E}\mu(E) \quad \text{رابطه (3)}$$

$$j_e = -|e|\vec{\Gamma}_e \quad \text{رابطه (6)} \quad D_{e,p} = \frac{kT_{e,p}\mu_{e,p}(\vec{E})}{|e|} \quad \text{رابطه (5)}$$

$$\partial_t n_e + \text{div } \vec{\Gamma}_e = S_e \quad \text{رابطه (8)} \quad \vec{\Gamma}_e = -\mu_e(E)n_e\vec{E} - D_e(E)\Delta n_e \quad \text{رابطه (7)}$$

در این معادلات μ تحرک الکترون، α ضریب تکثیر، D ضریب دیفیوژن، T دما، j_e چگالی جریان نقطه‌ای الکترون، $\vec{\Gamma}_e$ چگالی جریان ذره الکترون، $S_{e,p}$ جمله‌ی منبع الکترون - یون و n_e غلظت الکترون می باشد. معادلات پیوستگی مربوطه وابسته به زمان هستند. برای حل این معادلات باید علاوه بر مش بندی فضا، زمان نیز تقسیم بندی شده و معادله در گامهای زمانی حل شود. تقسیم بندی زمانی و مش بندی فضا به طور مناسب، به میزان زیادی بر همگرایی در روند حل مؤثر است.

نتایج:

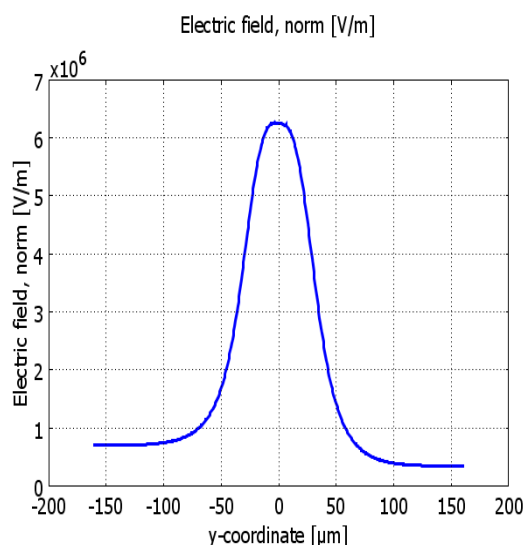
در جدول (1) نتایج محاسبه ضرایب گازی مربوطه بر اساس میدان الکتریکی مشاهده می شود. این گاز به جهت رفتار مناسب (v_{drift} بالا و ضریب پخش مناسب و تکثیر α ایده آل) انتخاب شده است.

جدول 1 - مقادیر میانگین ضرایب گازی محاسبه شده توسط GARFIELD

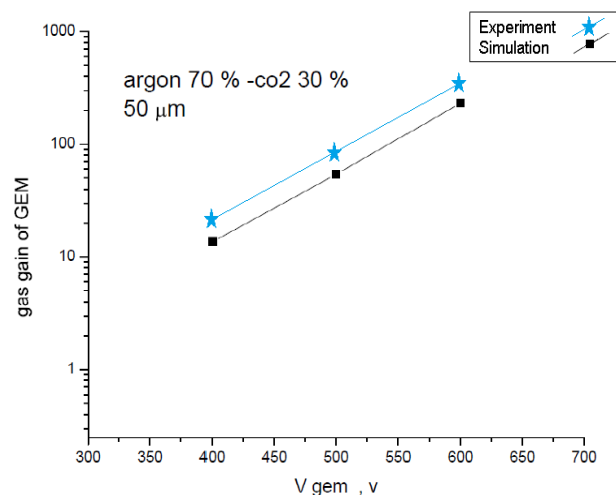
ضریب تکثیر α 1/cm	ضریب دیفیوژن عرضی $\mu\text{m for } 1\text{cm}$	دیفیوژن ضریب طولی $\mu\text{m for } 1\text{cm}$	v_{drift} Cm/ μs	میانگین ضرایب گاز نوع گاز
689.439	191.2215	153.5713	12.3119	co2 30%-ar70%

در شکل های (6) نتایج مربوط به محاسبه میدان الکتریکی مشاهده می شود. این محاسبات برای ولتاژهای 400 و 500 و 600 ولت بین دوسر فویل انجام شده است. محاسبه نشان می دهد که شرایط برای تکثیر ذره مهیا است.

در نهایت بهره و ضریب تکثیر برای حفره یعنی بهره موثر آشکار ساز در کل فضای بین الکترودها نمایش داده شده است و برای اعتبار سنجی با نتایج تجربی [7] مقایسه می شود.



شکل (6) اندازه میدان در امتداد مرکز حفره



شکل (7) رابط بهره آشکار ساز با افزایش پتانسیل

برای شبیه سازی (مشکی) برای تجربی (آبی)

بحث و نتیجه گیری: در این تحقیق یک مدل دقیق برای شبیه سازی تکثیر کننده گازی ارائه و رفتار ذره به طور کامل در تکثیر کننده گازی شبیه سازی شد. در شبیه سازی به روش *FEM* ریز بودن المان ها و مش بندی از اهمیت زیادی برخوردار است. با مش بندی مناسب مقدار دقیق میدان الکتریکی برای تکثیر به دست آمد. ترکیب گازی $co_2\ 30\%-ar70\%$ به جهت رفتار مناسب (سرعت رانشی بالا، ضریب تکثیر α و پخش مناسب) انتخاب شد. با افزایش ولتاژ به دلیل افزایش میدان داخل حفره، بهره به شدت افزایش می یابد. مقدار بهره گاز در آشکارساز با مقدار تجربی آن (*GEM* واقعی) برای اعتبار سنجی مقایسه شده است که همانطور که مشخص است اختلاف بسیار کمی مشاهده می شود. اختلاف به دلیل خطای محاسبات، تفاوت در هندسه و شرایط کاری آشکار ساز می باشد.

منابع:

1. F. Sauli, GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors, *Nucl. Instr. and Meth. A* **386** (1997) .
2. J. Benlloch, et al., Development of the Gas Electron Multiplier (GEM), *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **45** (1998)
3. O. Bouianov, M. Bouianov, R. Orava, P. Semenov, V. Tikhonov, Progress in GEM Simulation, *Nucl. Instr. And Meth. A* **450-277** (2000)
4. S. Bachmann, A. Bressan, L. Ropelewski and F. Sauli “Charge amplification & transfer processes in the GEM “*CERN-EP/99-48* **12.04.** (1999).
5. R. Veenhof, Garfield, a Drift-Chamber Simulation Program, Version 6.3
6. M. Alfonsi , et al. , Simulation of the dielectric charging-up effect in a GEM detector , *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **671 6–9** (2012) .
7. R.Veenhof , “GEM simulation method” , *Nucl. Instrum. and Meth* , **A 487 452-459** (2002).