

ТЕХНИКА ЯДЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 539.107.422

ТОЛСТЫЙ ГАЗОВЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ УМНОЖИТЕЛЬ

© 2020 г. В. И. Разин*

*Институт ядерных исследований РАН
Россия, 117312, Москва, просп. 60-летия Октября, 7а*

**e-mail: razin@inr.ru*

Поступила в редакцию 07.11.2019 г.

После доработки 07.11.2019 г.

Принята к публикации 10.11.2019 г.

Представлены результаты исследования характеристик толстого газового электронного умножителя на основе стеклотекстолитовой пластины с двухсторонним медным покрытием толщиной 0.8–2.0 мм, в которой высверлены с шагом 1.5 мм отверстия диаметром 1 мм. Газовое наполнение умножителя – смесь Ag + 5% изобутана. Энергетическое разрешение для линии ^{55}Fe составляет 21%, пространственное разрешение 0.7 мм, временное разрешение лучше 10 нс, стабильная работа обеспечивается до интенсивности облучения $\sim 10^5 \text{ мм}^{-2}$.

DOI: 10.31857/S0032816220020172

ВВЕДЕНИЕ

Газовый электронный умножитель (Gas Electron Multiplier – GEM) был изобретен Ф. Саули в Центре европейских ядерных исследований в 1966 г. [1] и является представителем класса микростриповых детекторов, т.е. беспроводной структурой. В GEM исключены или сведены к минимуму поверхностные токи утечки благодаря тому, что размножение электронов происходит в небольших отверстиях. Такое решение позволило в значительной степени преодолеть основной недостаток всех газовых детекторов, а именно исключить влияние объемного положительного заряда, особенно проявляющегося при больших коэффициентах газового усиления. Такой симбиоз из лучших качеств проволочных координатных детекторов, микростриповых газовых камер и микроканальных пластин позволил существенно улучшить нагрузочные способности газовых детекторов, их временные и пространственные разрешения, а также обеспечить гибкость и простоту конструкций. Следует принять во внимание и такой положительный фактор, как отсутствие в газовом обеспечении фреоновых и взрывоопасных добавок, что становится серьезным достоинством GEM в области эксплуатации газовых детекторов с точки зрения экологии.

Одно из главных преимуществ классического GEM есть превосходное пространственное разрешение [2], которое является следствием небольшого размера отверстий и небольшого шага между ними. Однако в некоторых приложениях, таких как детектор черенковского кольцевого изображения

(RICH) и двухфазные временные проекционные камеры на сжиженных инертных газах, достаточно пространственного разрешения, равного долям миллиметра. Для этих целей была разработана более простая версия GEM – толстый газовый электронный умножитель (Thick Gas Electron Multiplier – TGEM) [3].

Конструкция TGEM схожа с конструкцией детектора на микроканальных пластинах. В обычной печатной плате, металлизированной с обеих сторон и имеющей толщину 0.4–2.0 мм, сверлятся отверстия на обычном оборудовании. Типичный размер диаметра отверстия выбирается равным толщине платы, а шаг между отверстиями составляет, как правило, около двух диаметров отверстия. Детектор такого типа может быть изготовлен размером более чем $0.5 \times 0.5 \text{ м}$. Другое преимущество TGEM заключается в том, что он является самоподдерживающейся структурой и не требует специального оборудования для растяжки и натяжения пластин при производстве GEM или TGEM больших площадей.

КОНСТРУКЦИЯ TGEM

Подробное описание элементов GEM, TGEM и детекторов, разработанных на их основе для экспериментов в различных исследованиях, дано в работе [4]. Ниже на основе результатов этой работы, относящихся к конструкции TGEM, показан наиболее простой и доступный способ производства в обычных лабораторных условиях беспроводного координатного газового детектора [5].

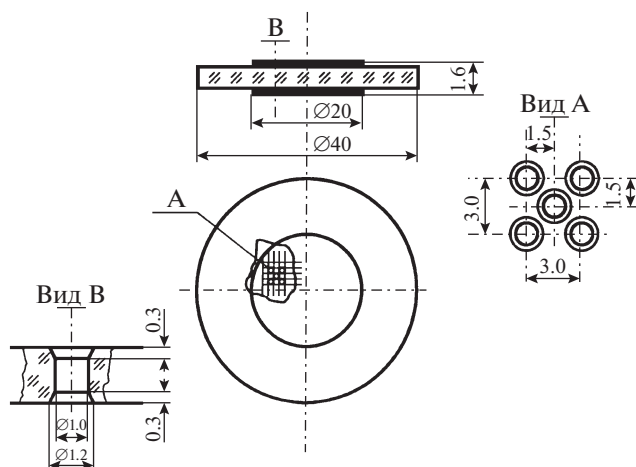


Рис. 1. Геометрия электрода TGEM. Размеры даны в миллиметрах.

В стандартном исполнении TGEM, так же как и GEM, представляет собой фольгированную с двух сторон стеклотекстолитовую пластину с множеством отверстий (рис. 1). Отверстия имеют форму двойного конуса и расположены в виде гексагональной матрицы. Их шаг составляет 1.5 мм, а диаметр 1.0 мм (1.2 мм с фаской по металлу).

При подаче разности потенциалов между металлическими поверхностями электродов в отверстиях формируется сильное электрическое поле напряженностью от 10 до 40 кВ/см, достаточное для инициирования электронного размножения.

Первичные электроны, образованные, например, α -излучением в газовом промежутке над верхним электродом TGEM (рис. 2), дрейфуют вдоль силовых линий и фокусируются в отверстия, в которых под действием сильного электрического поля происходит таунсендовское лавинное размножение электронов (рис. 3). Таким образом, каждое отверстие представляет собой как бы независимый пропорциональный счетчик. При этом электроны лавины могут выйти из отверстия в газовый промежуток для дальнейшего размножения в последующем каскаде умножителя.

Основным преимуществом такого прибора является отсутствие влияния объемного заряда положительных ионов, который быстро рассасывается в пределах длины отверстия и не принимает участия в формировании сигнала. Благодаря этому факту в электронике не происходит пробоев при считывании сигнала с сигнального электрода, разделенного с усилительным участком индукционным промежутком. При этом поперечный размер наведенного на считывающем электроде сигнала является достаточно большим, что позволяет улучшить пространственное разре-

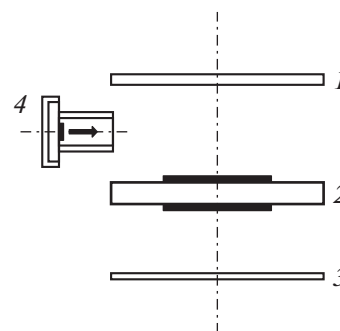


Рис. 2. Конструкция TGEM. 1 – дрейфовый электрод; 2 – TGEM; 3 – коллектор; 4 – α -источник.

ние с помощью метода нахождения центра тяжести наведенного заряда.

На рис. 4 приведены в сравнении максимально достижимые коэффициенты газового усиления для различных дырочных устройств: GEM, стеклянных капиллярных плат (СР) и TGEM (СР G10), взятые из работы [6], при различных видах облучения (рентгеновские лучи, γ -лучи, α -частицы). Газовая смесь состояла из $\text{Ar} + 20\% \text{CO}_2$ в случае GEM, $\text{Ar} + 5\% \text{CH}_4$ в случае стеклянных капиллярных плат и $\text{Ar} + 5\%$ изобутана в случае TGEM. Потoki частиц и квантов при этих испытаниях имели следующую интенсивность: γ -лучи –

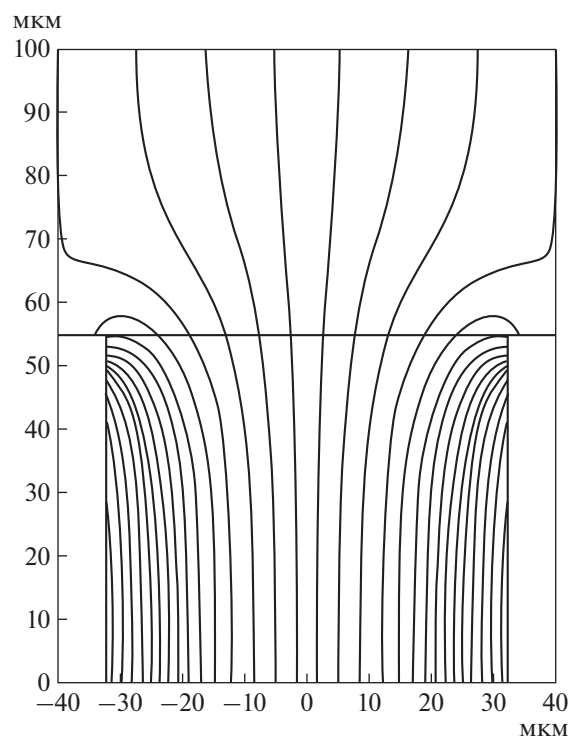


Рис. 3. Карта электрического поля, рассчитанная для одного из отверстий TGEM.

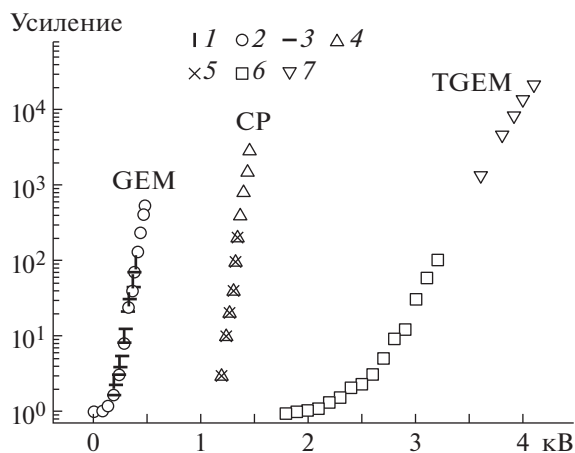


Рис. 4. Максимально достижимые газовые усиления в зависимости от напряжения: 1–3 – для GEM при облучении γ -лучами (1), рентгеновскими лучами (2) и α -частицами + рентгеновскими лучами (3); 4, 5 – для стеклянных капиллярных пластин (CP) при облучении рентгеновскими лучами (4) и α -частицами (5); 6, 7 – для толстых газовых электронных умножителей (TGEM или CP G10) при облучении рентгеновскими лучами (6) и α -частицами (7).

10^9 мм^{-2} , рентгеновские лучи – 10^5 мм^{-2} , α -частицы – 100 мм^{-2} .

Достигнутые коэффициенты газового усиления для TGEM примерно в 10 раз выше, чем для GEM. Этот эффект можно объяснить тем, что влияние положительного объемного заряда на процесс размножения электронов в усилительной области уменьшается из-за увеличения порога Ретера [7], что имеет место при увеличении толщины усилительного зазора, когда плотность критического заряда, при которой формируется стример, также возрастает.

TGEM может иметь более высокий коэффициент газового усиления, если подвергнуть края отверстий химическому травлению или сделать их коническими, как это показано в работе [8].

Другими модификациями толстого газового электронного умножителя являются металлические и проволочные резистивные TGEM, а также TGEM со стриповыми считывающими электродами. В этих устройствах увеличены максимальные значения коэффициента газового усиления и повышена их надежность с точки зрения искробразования.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Энергетическое, пространственное и временное разрешения исследовались в разных работах. На рис. 5 из работы [9] показан спектр амплитуд импульсов ^{55}Fe , записанный в двойном TGEM. Как видно, энергетическое разрешение составля-

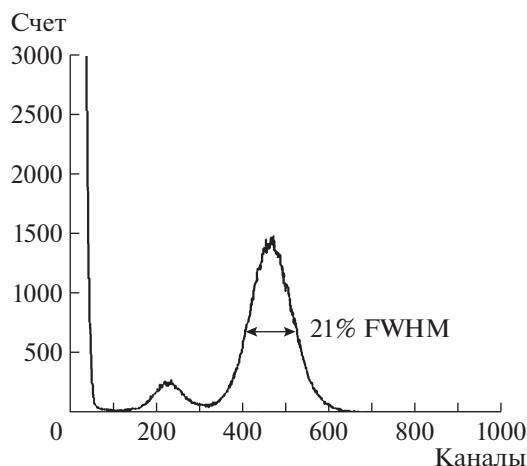


Рис. 5. Энергетическое разрешение TGEM, измеренное с ^{55}Fe -источником.

ет 21%, что характерно для газовых позиционно-чувствительных детекторов такого класса. На рис. 6 приведены результаты оценки пространственного разрешения [9], которое составило 0.7 мм FWHM. Этот результат в 5 раз хуже, чем в случае GEM, что объясняется существенно большим шагом между отверстиями в TGEM. Отсюда следует вывод, что использование TGEM может быть привлекательным в тех приложениях, где требуется умеренное пространственное разрешение и высокое газовое усиление, например в качестве детектора ультрафиолетовых фотонов.

Временное разрешение (рис. 7), измеренное в работе [10] с использованием одиночного TGEM, составило 8 нс при регистрации ультрафиолето-

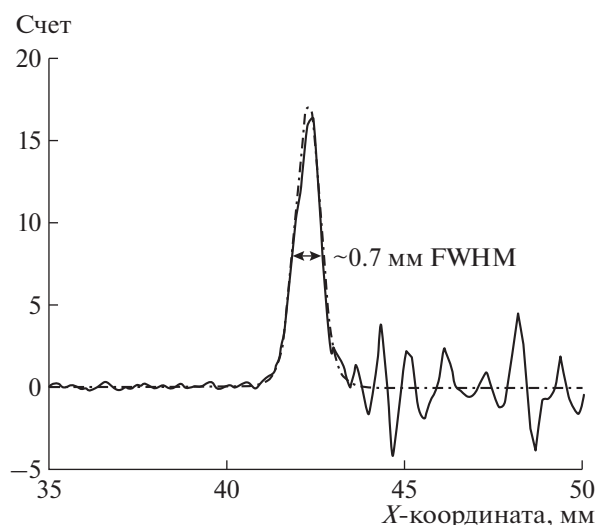


Рис. 6. Пространственное разрешение TGEM. Сплошная линия – экспериментальные данные, штрихпунктирная – расчетные.

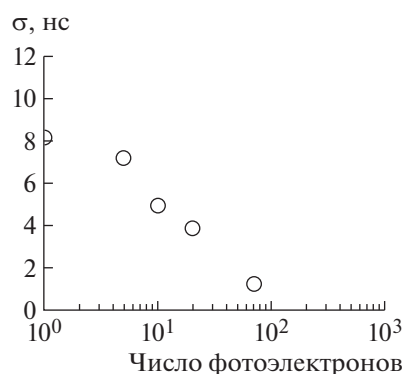


Рис. 7. Временное разрешение TGEM как функция числа фотоэлектронов.

вых фотонов, такие же результаты (7–8 нс) были получены с заряженными частицами.

Нестабильность коэффициента газового усиления во времени [4] не обнаружена вплоть до величины 10^5 мм^{-2} .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что толстые GEM (TGEM) имеют достаточно высокий коэффициент газового усиления и в сочетании с соответствующими преобразователями излучения могут найти широкое применение для детектирования черенковского света, нейтронов, рентгеновского излучения, заряженных частиц и т.д. Одно из воз-

можных применений TGEM рассматривается в проектах по поиску темной материи и нейтринных экспериментах.

Серьезным достоинством TGEM является отсутствие в газовом обеспечении фреоновых и взрывоопасных добавок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sauli F.* // Nucl. Instrum. and Methods. 1997. V. A386. P. 531.
2. *Peskov V., Cortesi M., Chechic M., Breskin A.* // JINST. 2010. V. 5. P11004. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/5/11/P11004>
3. *Бузулуцков А.Ф.* // ПТЭ. 2007. № 3. С. 5.
4. *Periale L., Peskov V., Carlson P., Francke T., Pavlopolous P., Picchi P., Pictropaolo F.* // Nucl. Instrum. and Methods. 2002. V. A478. P. 377. doi (01)01779-X <https://doi.org/10.1016/S0168-9002>
5. *Разин В.И., Марин В.Н., Овчинников Б.М., Решетин А.И.* Препринт ИЯИ РАН 1227/2009. М., 2009.
6. *Ostling J., Brahme V., Danielson M., Fonte P., Francke T., Jacobaeus C., Peskov V.* // IEEE Trans. on Nucl. Scie. 2003. V. 50. Issue 4. P. 809. <https://doi.org/10.1109/TNS.2003.814562>
7. *Raether H.* Electron avalanches and breakdown in gases. Butterworths, London, 1964.
8. *Shalem C., Chechic R., Breskin A., Michaeli K.* // Nucl. Instrum. and Methods. 2006. V. A558. Issue 2. P. 475. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2005.12.241>
9. *Cortesi M., Alon R., Chechik R., Breshkin A., Vartsky D., Dangendorf V.* // JINST. 2007. V. 2. P. 09002.
10. *Breskin A.* CERN Internal Report, 2008.