

## РЕЗИСТИВНЫЙ ГАЗОВЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ УМНОЖИТЕЛЬ

© 2011 г. В. И. Разин, А. И. Решетин, С. Н. Филиппов

*Институт ядерных исследований РАН*

*Россия, 117312, Москва, просп. 60-летия Октября, 7а*

*E-mail: razin@inr.ru*

Поступила в редакцию 05.05.2010 г.

После доработки 15.02.2011 г.

Представлена новая разработка RETGEM (Resistive Thick Gas Electron Multiplier) – резистивный толстый газовый электронный умножитель (р.т.г.э.у.), основанная на электродах, изготовленных из поливинилхлорида (ПВХ). Данное устройство может работать с усилением порядка  $10^5$  как обычный “толстый” газовый электронный умножитель TGEM (Thick Gas Electron Multiplier) при низких скоростях счета и как резистивный плоский счетчик в случае высоких скоростей счета без захода в область искрообразования. Отличительной чертой данного р.т.г.э.у. является отсутствие металлического покрытия, в соответствии с чем отпадает необходимость в использовании литографии для изготовления защитных диэлектрических ободков вокруг отверстий. Electroды из ПВХ позволяют изготавливать отверстия простым механическим способом. Детекторы на базе р.т.г.э.у. могут быть полезными во многих областях, где требуется простое серийное изготовление и надежная долговременная работа, например в больших нейтринных экспериментах, газовых пороговых черенковских счетчиках, проекционных камерах и др.

### ВВЕДЕНИЕ

Быстрое развитие микроэлектроники в последние десятилетия практически определило полную смену методов регистрации заряженных частиц, основанных на использовании многопроволочных газовых детекторов. В результате появились новые разработки координатных детекторов в виде микроструктурных газовых устройств. К их числу можно отнести, например, газовые электронные умножители GEM (Gas Electron Multiplier), “толстые” газовые электронные умножители (т.г.э.у.) и другие [1, 2].

Благодаря высокой степени грануляции ячеек, чувствительных к ионизирующему излучению, пространственное разрешение таких детектирующих систем достигает значений, не превышающих нескольких десятков микрометров. В то же время тонкая структура этих устройств имеет слабую защиту от искровых пробоев, почти неизбежных при работе с высокими коэффициентами газового усиления и в течение длительных периодов накопления статического заряда. Отсюда следует вывод о том, что вопрос выбора материала электродов для такого рода приборов имеет принципиальный характер.

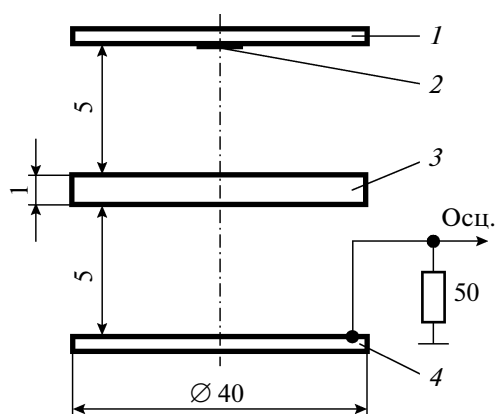
Исследования показали, что резистивные электроды, изготовленные из стекла, фторопласта, каптона и других материалов с высоким омическим сопротивлением в диапазоне от  $10^{12}$  до  $10^{15}$  Ом, обеспечивают надежную защиту детекторов и входной электроники от искровых пробоев. Однако грузочные способности позиционно-чувствитель-

ных детекторов с высокоомными резистивными электродами являются весьма ограниченными и часто не удовлетворяют условиям эксперимента.

В связи с этим обстоятельством авторы статьи [3] использовали методику нанесения резистивного слоя из оксида хрома с поверхностным сопротивлением 0.3–10 ГОм на подложку из каптона. Испытания р.т.г.э.у. такого типа показали, что случайные разряды, появляющиеся при достижении высокого газового усиления, имели скорее форму стримера, чем искры, не оказывая разрушительного действия на внутреннюю поверхность и входную электронику.

Анализ причин, вызывающих случайные разряды и пробои в этом детекторе, показал, что их основным источником являются остаточная пыль и стружка после сверления отверстий в каптоне. Для устранения данного недостатка были разработаны специальные технологические приемы и методы. Следует отметить, что выполнение этих работ в условиях массового производства р.т.г.э.у. может оказаться сильно сдерживающим фактором.

Цель данной работы – создание и проверка характеристик прототипа р.т.г.э.у. с подложкой из ПВХ. Этот материал широко используется в производстве газоразрядных детекторов типа стримерных трубок благодаря сравнительно невысокой стоимости, возможности применения процесса экструзии и отсутствию пыли при механической обработке. Резистивное покрытие осуществлялось обычным способом нанесения аэрозольной гра-



**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки для испытаний р.т.г.э.у. 1 – дрейфовый электрод, 2 – радиоактивный источник, 3 – р.т.г.э.у., 4 – коллектор.

фитовой краски GRAPHIT 33. При этом поверхностное сопротивление варьировалось в пределах 50 кОм–1 МОм в зависимости от ожидаемой величины потока заряженных частиц. Поскольку разрядный ток в нашем р.т.г.э.у. не превышал 15 мкА, не было замечено случаев выхода из строя регистрирующей электроники и разрушения внутренней поверхности детектора.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

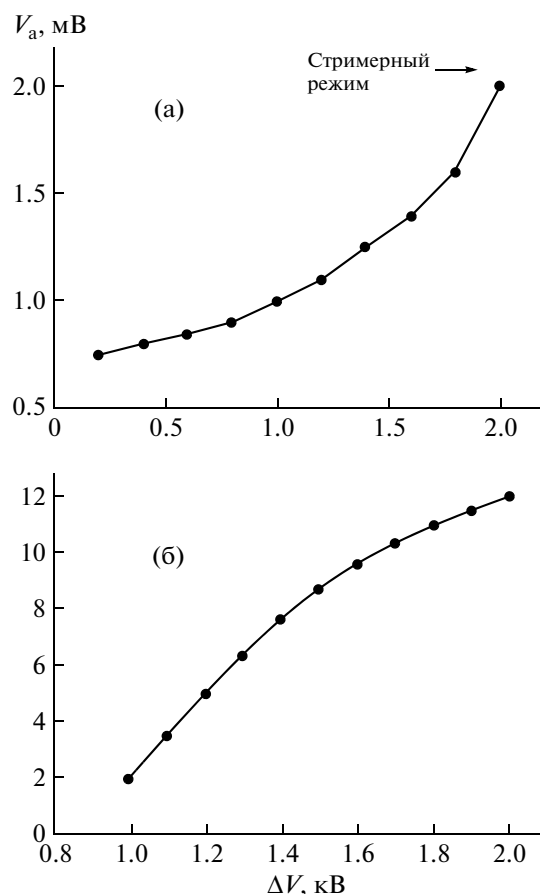
Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

В качестве материала электрода был выбран обычный лист ПВХ толщиной 1 мм. Этот материал широко применяется при изготовлении стримерных трубок для различных экспериментов. Поверхностное сопротивление такого электрода можно менять в диапазоне 50–1000 кОм за счет различной толщины покрытия графитовой краски в пределах 5–10 мкм, обеспечивающей полную защиту от искр. Для изготовления отверстий использовался обычный сверлильный инструмент, который обеспечил необходимую точность и качество обработки. Никаких дополнительных операций типа металлизации перед сверлением и травления защитных ободков вокруг отверстий не проводилось. Диаметр отверстий составлял 1.0 мм, шаг – 2 мм.

Принцип работы р.т.г.э.у. напоминает основные черты, характерные для т.г.э.у.

При подаче высокого напряжения на графитовые электроды они действуют, несмотря на неоднородность сопротивления, как эквипотенциальные плоскости, и формируют электрическое поле внутри и снаружи отверстий, как и в случае с металлическими электродами.

Большая часть измерений была проведена с использованием двух смесей: Ag + 20% CO<sub>2</sub> и Ag + 20% CH<sub>4</sub> при абсолютном давлении 760 Торр.



**Рис. 2.** Зависимость амплитуды сигнала от приложенного напряжения для р.т.г.э.у. с рабочей газовой смесью Ag + 20% CO<sub>2</sub>. Источник: а – α-частицы с интенсивностью  $I = 10^4 \text{ с}^{-1}$ , б – β-частицы с  $I = 10^3 \text{ с}^{-1}$ .

Ионизация газа осуществлялась α-частицами с энергией 4.7 МэВ от источника <sup>226</sup>Ra и β-частицами от источника <sup>63</sup>Ni с энергией 67 кэВ. Индукционный сигнал с коллектора измерялся на входном сопротивлении осциллографа 50 Ом без предусилителя.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 2 приведены амплитудные зависимости сигнала от α- и β-источников при продувке р.т.г.э.у. смесью Ag + 20% CO<sub>2</sub> как функции приложенного напряжения ΔV.

Амплитуда сигнала при облучении р.т.г.э.у. α-источником была небольшой. Это объясняется достижением известного предела Рэтера:

$$n_0 A \geq 10^8,$$

где  $n_0$  – число первичных электронов,  $A$  – коэффициент газового усиления.

При таких условиях детектор работал в области ограниченной пропорциональности с некоторой вероятностью появления стримеров (рис. 2а).

Ток, протекавший через р.т.г.э.у., не превышал 15 мкА, что свидетельствует об отсутствии искр.

В случае облучения  $\beta$ -источником зависимость амплитуды сигнала от приложенного напряжения показана на рис. 2б. При достижении амплитуды 10 мВ газовое усиление составляло, согласно расчетам,  $10^5$ . При этом следует отметить, что при насыщении, проявляющемся при газовом усилении порядка  $10^6$ , случаев пробоя в р.т.г.э.у. не наблюдалось.

Эти факты свидетельствуют, во-первых, о соответствии газоразрядного процесса в нашем устройстве критерию Рэтера и, во-вторых, о гарантии защиты канала первичной электроники от искр.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе показано, что в одноступенчатом р.т.г.э.у. с электродами, изготовленными из ПВХ с поверхностным сопротивлением нанесенной графитовой краски порядка 500 кОм, пробойные явления в виде искр отсутствуют.

Достигнутое газовое усиление порядка  $10^5$  является вполне достаточным для применения

таких р.т.г.э.у. во многих областях, где требуется обеспечить надежную и долговременную работу микроструктурных газовых детекторов. Р.т.г.э.у. является достаточно простым в изготовлении детектором, не требующим специальных дополнительных технологий по очистке отверстий и поверхности, и может успешно работать при продувке газовой смесью без фреоновых добавок.

Являясь широко распространенным материалом при изготовлении стримерных трубок, ПВХ имеет хорошие перспективы для использования в качестве основы в р.т.г.э.у. для таких детекторов, как газовые пороговые черенковские счетчики, времяпроекционные камеры, калориметры, позиционно-чувствительные детекторы для регистрации нейтронов и др.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sauli F.* // Nucl. Instrum. and Methods. 1997. V. A386. P. 531.
2. *Di Mauro A., Lund-Jensen B., Martinengo P. et al.* // Nucl. Instrum. and Methods. 2007. V. A581. P. 225.
3. *Oliveira R., Peskov V., Pietropaolo F. et al.* // Nucl. Instrum. and Methods. 2007. V. A576. P. 362.