



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2009–8  
ОЭФ

В.И. Иньшаков, В.И. Крышкин, В.В. Скворцов, А.Н. Сытин

*ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино*

Н.А. Кузьмин, С.Я. Сычков

*Объединённый институт ядерных исследований, Дубна*

## **РАЗРАБОТКА АКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ТГЭУ**

Направлено в *ПТЭ*

Протвино 2009

**Аннотация**

Иньшаков В.И. и др. Разработка активного элемента детекторов на основе ТГЭУ: Препринт ИФВЭ 2009–8. – Протвино, 2009. – 7 с., 12 рис., библиогр.: 10.

Для создания радиационно стойких быстродействующих детекторов (адронных калориметров, координатных детекторов и т.д.) в качестве активного элемента взят толстослойный газовый электронный умножитель. Проведена конструкторская и технологическая работа по оптимизации структуры элемента, приводятся результаты измерений и ближайшие планы.

**Abstract**

Inshakov V.I. et al. Development of Detector Active Element Based on THGEM: IHEP Preprint 2009–8. – Protvino, 2009. – p. 7, figs. 12, refs.: 10.

For radiation-hard counting rate detectors (hadron calorimeters, tracking detectors etc.) as an active element we considered a thick gas electron multiplier. There was carried out technological and design study to optimize the element structure. There are presented the measurement results and the next plans.

## Введение

В связи с планируемым повышением на порядок величины светимости LHC [1] возникла необходимость модернизации активных элементов торцевых адронных калориметров CMS, разработанных и изготовленных в ИФВЭ [2]. В данной работе анализируются требования к активным элементам адронных калориметров, работающих при высоких радиационных нагрузках, предлагается вариант детекторов, приводятся результаты измерений и планы дальнейшего развития.

Основными требованиями к детекторам, работающим в тяжёлых радиационных условиях и высоких нагрузках, являются:

- высокая радиационная стойкость (~60 Мрад);
- высокое быстродействие.

Кроме того, детекторы должны быть просты в изготовлении (низкая стоимость), надёжны (на коллайдерах доступ к аппаратуре ограничен) и прочны, поскольку монтаж элементов будет происходить на высоте шестиэтажного дома. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют толстослойные газовые электронные умножители (ТГЭУ) [3]. В последнее время выполнено много работ, в которых, кроме изучения принципиальных проблем, исследованы характеристики ТГЭУ в зависимости от множества параметров. Наши исследования опирались на эти результаты и носили чисто практический характер – оптимизировать конструкцию камеры, выбрать технологию изготовления и получить максимальное усиление.

## 1. Конструкция

Структура одноэлектродного ТГЭУ показана на рис. 1. Отличие от конструкции газового электронного умножителя (ГЭУ), предшественника ТГЭУ, заключается только в характерных размерах электрода, которые на порядок величины больше для ТГЭУ (диаметр отверстий, шаг и толщина электрода), что позволяет использовать при их изготовлении обычный фольгированный стеклотекстолит и стандартную технологию производства печатных плат.



Рис. 1. Структура ТГЭУ. Типичные размеры газовых зазоров – 3 мм и 1 мм для дрейфового и индукционного зазоров соответственно.

На рис. 2 показан фрагмент электрода ТГЭУ, который использовался в данных измерениях. Вокруг отверстий имеются ободки для повышения напряжения пробоя. Диаметр отверстий приблизительно равен толщине пластины. Шаг между отверстиями – 800 мкм. Электроды изготавливались в ИФВЭ. Ободки вокруг отверстий формировались по технологии, предложенной в ЦЕРН [4]. После изготовления отверстия очищались гидроабразивным методом, электрод промывался в ультразвуковой ванне и просушивался.

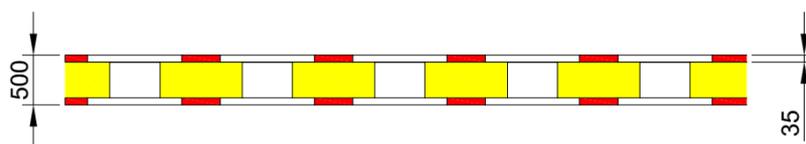


Рис. 2. Поперечное сечение электрода ТГЭУ – стеклотекстолит толщиной 500 мкм, фольгированный медью толщиной 35 мкм с двух сторон.

Все измерения проводились с электродами, изготовленными из стеклотекстолита толщиной 500 мкм, фольгированного медью 35 мкм. Диаметр отверстий 400 мкм, ширина ободка 120 мкм и шаг между отверстиями 800 мкм. На рис. 3 представлена фотография электрода под микроскопом.

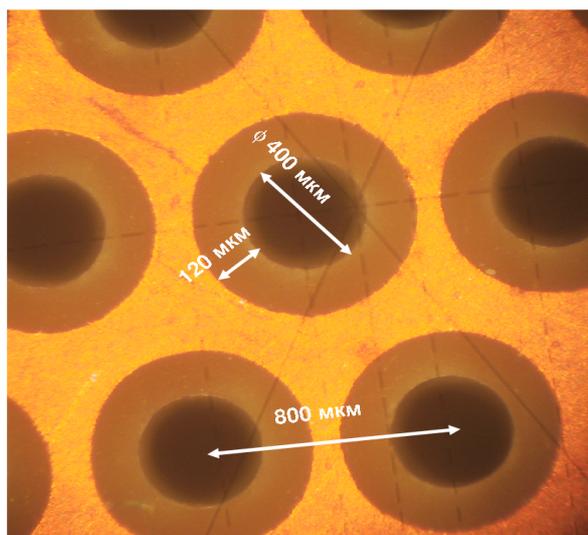


Рис. 3. Фотография электрода ТГЭУ под микроскопом.

Используемая технология изготовления электродов обеспечивает высокое качество и точность вытравленных ободков вокруг отверстий, что и определяет, в конечном счёте, величину пробойного напряжения (максимальное усиление).

Для проведения измерений использовалась камера, схема которой приведена на рис. 1. Камера продувалась газовой смесью Ar+CO<sub>2</sub> 30% при атмосферном давлении. Такая конструкция, согласно многочисленным публикациям, обеспечивает усиление до 10<sup>5</sup>. Во многих случаях этого недостаточно. Дальнейшее увеличение усиления может быть достигнуто каскадированием электродов, как показано на рис. 4. Конструктивно такое решение заметно сложнее, чем одноэлектродная камера.



Рис. 4 . Структура двухэлектродной камеры.

Чтобы обойти эту проблему – ликвидировать зазор между электродами – была изготовлена конструкция, показанная на рис. 5. Трёхслойный электрод изготавливался по такой же технологии, как и двухслойный, т.е. этапы сверления и травления пластины выполнялись однократно. Ободок в среднем электроде был такой же, как и во внешних электродах. Фотография этой пластины показана на рис. 6.

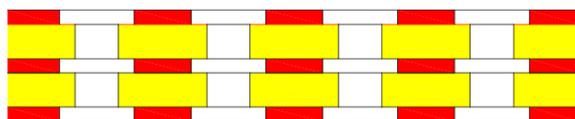


Рис. 5. Фрагмент трёхслойного электрода ТГЭУ.

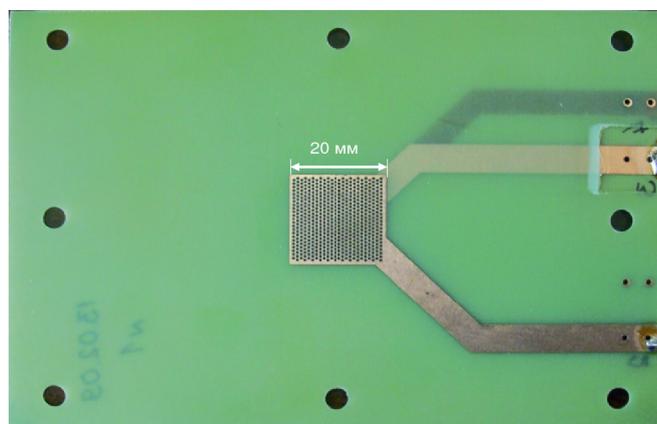


Рис .6. Конструкция трёхслойного электрода ТГЭУ.

Электрод устанавливался между высоковольтным и сигнальным электродами, как показано на рис. 7.

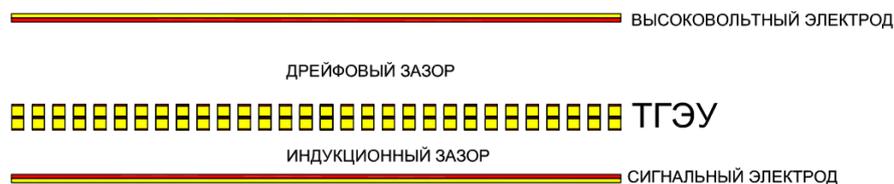


Рис. 7. Схема камеры ТГЭУ с трёхслойным электродом.

Камера работала при тех же условиях, что и предыдущая. На каждый электрод напряжение подавалось от отдельного источника через сопротивление 10 мОм. Толщина электрода равнялась 1 мм. При толщине высоковольтного и сигнального электродов по 1 мм (для совмещения функции защитного слоя) полная толщина камеры составит 7 мм, что позволит легко вставить её в существующий поглотитель торцевых адронных калориметров CMS.

## 2. Результаты измерений

Камера облучалась коллимированным радиоактивным источником  $\text{Sr}^{90}$ . При использовании двухслойного электрода, показанного на рис. 2, амплитуда сигнала при  $V_1=2.6$  кВ,  $V_2=2.3$  кВ и  $V_3=0.4$  кВ равнялась  $\sim 1$  мВ на нагрузку 50 Ом как для ТГЭУ, изготовленного в ЦЕРН ( $1 \text{ см}^2$ ), так и для электрода, изготовленного в ИФВЭ ( $2 \text{ см}^2$ ). При увеличении напряжения  $V_2$  начинались пробои. Изменение  $V_1$  и  $V_3$  мало влияло на усиление.

На рис. 8 показан сигнал с трёхслойного ТГЭУ. При этом  $V_{\text{дрейф.}}=600 \text{ V}$ ,  $V_{\text{ТГЭУ1}}=1.9 \text{ kV}$ ,  $V_{\text{ТГЭУ2}}=1.5 \text{ kV}$  и  $V_{\text{индук.}}=200 \text{ V}$ . Напряжение с сигнального электрода через усилитель подавалось на многоканальный анализатор.

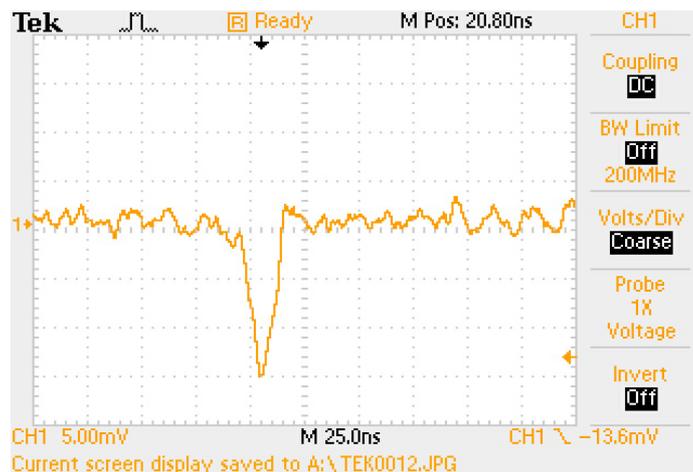


Рис. 8. Сигнал с камеры с трёхслойным электродом.

На рис. 9 приведён амплитудный спектр камеры с трёхслойным электродом, облучаемой  $\text{Sr}^{90}$ , без отбора событий сцинтилляционными счётчиками. Такое распределение можно ожидать от минимально ионизирующей частицы (мюона). Анализ амплитудного распределения даёт оценку числа первичных электронов  $\sim 13$ .

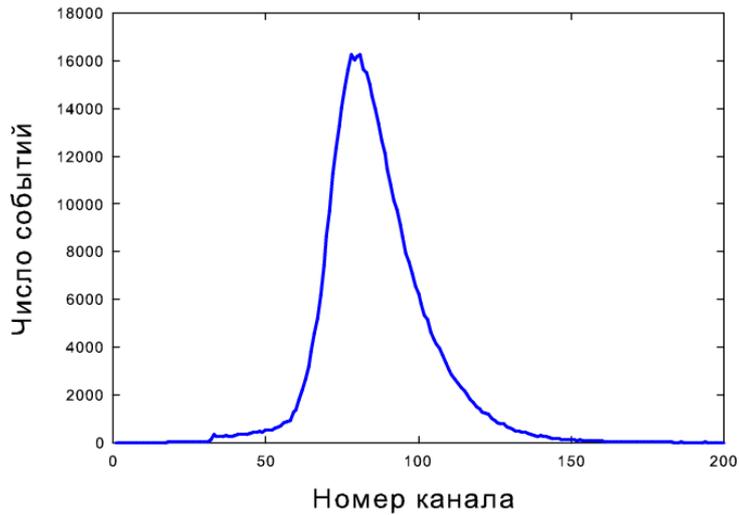


Рис. 9. Амплитудный спектр с трёхслойного электрода от радиоактивного источника  $\text{Sr}^{90}$ .

Для сравнения на рис. 10 показан амплитудный спектр мюонов с энергией 300 ГэВ, проходящих через торцевой адронный калориметр установки CMS [5].

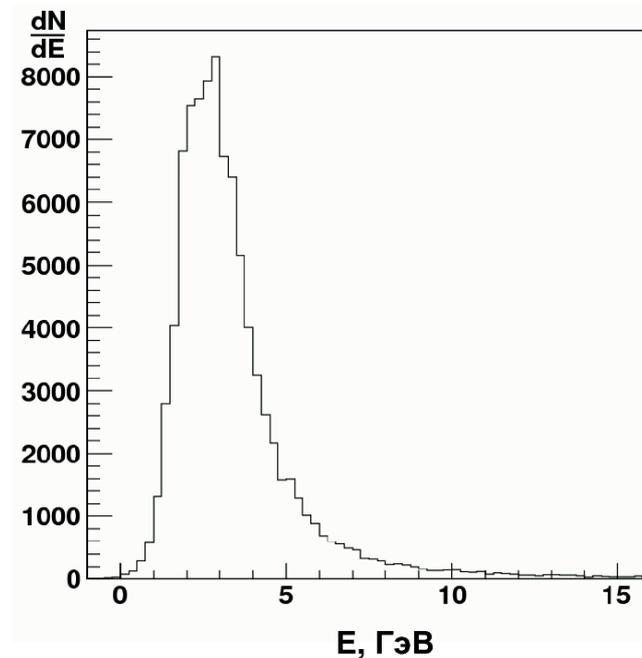


Рис. 10. Амплитудный спектр с адронного калориметра CMS (17 слоёв сцинтиллятора) от мюонов с энергией 300 ГэВ.

Был также изготовлен четырёхслойный электрод, показанный на рис. 11. Усиление выросло по сравнению с трёхслойным электродом примерно на порядок величины. Основным недостатком такого решения можно считать увеличение высокого напряжения на камере приблизительно на 2000 В. Такое высокое усиление может быть востребовано при конструировании детекторов для определённого типа задач. Известно, максимально достижимый заряд лавины в плоскопараллельном газовом детекторе определяется так называемым пределом Ротера [6]:

$$An_0 < 10^8 \text{ электронов,}$$

где  $A$  – коэффициент усиления,  $n_0$  – число первичных электронов. Для стабильной работы детектора величина заряда в лавине должна быть на один–два порядка ниже.

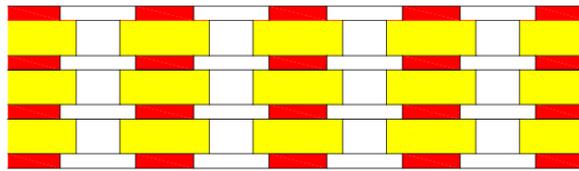


Рис. 11. Фрагмент четырёхслойного электрода.

Необходимая величина усиления камеры определяется условиями эксперимента. Так, например, для торцевых калориметров CMS требуемое усиление можно оценить следующим образом. Как видно из рис. 10, максимум распределения соответствует 3 ГэВ. Если установить на ТГЭУ напряжение, соответствующее импульсу от прохождения минимально ионизирующей частицы через один слой 1 мВ, то амплитуда импульса со всего калориметра (18 слоёв) будет 18 мВ. Соответственно, для адрона (или струи частиц) с энергией 300 ГэВ амплитуда импульса будет 1,8 В. Учитывая, что используемые в настоящее время фотодетекторы в этих калориметрах имеют усиление около  $10^4$  и число фотоэлектронов с одного активного элемента при прохождении минимально ионизирующей частицы равно 3, трёхслойный ТГЭУ можно считать адекватным решением для торцевых адронных калориметров CMS.

Для дальнейшего упрощения конструкции камеры была изучена структура электрода, представленного на рис. 12. Это так называемая конструкция CAT [8] или WELL [9]. Основное её преимущество – более жёсткая конструкция камеры, но при этом усиление (как показали наши измерения, совпадающие с результатами измерений, приведенными в работе [9]) падает по сравнению с электродом, не имеющим дна. Учитывая дополнительные сложности с изготовлением таких электродов, в дальнейшем эта конструкция не рассматривалась.

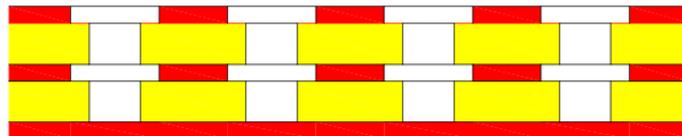


Рис. 12. Фрагмент трёхслойного электрода типа CAT.

## Заключение

Проведённая работа позволила оптимизировать конструктивные решения, которые использовались при изготовлении первых образцов камер для прототипов координатных детекторов и активных элементов калориметров. Мы планируем провести исследование работы прототипов в конце этого года. Также предполагается установить небольшие камеры на входе в магнит установки ФОДС [10] для изучения долговременной стабильности работы в сильном магнитном поле и высоких нагрузках. Для оценки радиационной стойкости ТГЭУ аналогичная камера будет облучена до 60 Мрад.

Один из авторов (Н.А. Кузьмин) благодарит Г.И. Бритвича за помощь в работе.

## Список литературы

- [1] S. Abdulin et al., Physics potential and experimental challenges of the LHC luminosity upgrade. CERN-TH/2002-078.
- [2] V.Abramov, A.Volkov, P.Goncharov et al., Nuclear Physic B (Proc. Supp)150(2006)110.
- [3] A.Breskin, R.Alon, M.Cortesi, R.Chechik et al., Nucl.Instrum.Meth.A598:107-111, 2009 and references there in.
- [4] Rui de Oliveira, "MPGD technologies"; Workshop on Micropattern Gas Detectors, CERN, 10-11 September 2007.
- [5] S.Abdullin, V.Abramov, B.Acharya et al., Eur. Phys. J. C 55 (2008), 159.
- [6] V.Peskov et al., IEEE Trans. Nucl. Sci., 48, 2001, 1070.
- [7] F.Bartol, M.Bordessoule, G.Chaplier et al., J.Phys. III France 6 (1996), 337.
- [8] R.Bellazzini, M.Bozzo, A.Brez et al., Nucl. Instr. and Meth. A 423 (1999) 125.
- [9] W.K.Pitts, M.D.Martin, S.Belolipetskiy et al., Nucl. Instr. and Meth. A436 (1999) 277.
- [10] В.В.Абрамов, Б.Ю.Балдин, А.Ф.Бузулуцков и др.// ПТЭ. 1992. Т. 6. С. 75.

*Рукопись поступила 18 июня 2009 г.*



В.И. Иньшаков и др.  
Разработка активного элемента детекторов на основе ТГЭУ.

Редактор Л.Ф. Васильева.

---

Подписано к печати 22.06.2009. Формат 60 × 84/8.      Офсетная печать.  
Печ. л. 1,125.    Уч.- изд. л. 0,9.    Тираж 80.      Заказ 28.      Индекс 3649.

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,  
142281, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

---

ПРЕПРИНТ 2009-8, ИФВЭ, 2009

---