

Institute for Nuclear Research  
of the Russian Academy of Sciences

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт ядерных исследований  
Российской академии наук



В.И.Разин

**К вопросу о величине  
таундсендовского коэффициента  
размножения электронов  
в микроструктурных газовых детекторах**

ПРЕПРИНТ ИЯИ РАН  
1438/2018  
НОЯБРЬ 2018

препринт  
preprint

МОСКВА 2018 MOSCOW

Institute for Nuclear Research  
of the Russian Academy of Sciences

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт ядерных исследований  
Российской академии наук



**В.И.Разин**

**К вопросу о величине  
таундсендовского коэффициента  
размножения электронов  
в микроструктурных газовых детекторах**

препринт  
preprint

ПРЕПРИНТ ИЯИ РАН  
1438/2018  
НОЯБРЬ 2018

МОСКВА 2018 MOSCOW

Institute for Nuclear Research  
of the Russian Academy of Sciences

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт ядерных исследований  
Российской академии наук



В.И.Разин

К вопросу о величине  
таундсендовского коэффициента  
размножения электронов  
в микроструктурных газовых детекторах

ПРЕПРИНТ ИЯИ РАН

1438/2018

НОЯБРЬ 2018

МОСКВА

2018

Institute for Nuclear Research  
of the Russian Academy of Sciences  
60-th October Anniversary prospect 7a,  
Moscow 117312, Russia

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт ядерных исследований Российской академии наук  
проспект 60-летия Октября, 7а  
Москва, 117312

В.И.Разин

К вопросу о величине таундсендовского  
коэффициента размножения электронов  
в микроструктурных газовых детекторах

В работе представлена методика получения стабильного и высокого коэффициента газового усиления (к.г.у.) в толстом газовом электронном умножителе. Суть метода заключается в разработке новой конструкции детектора, в которой подача напряжения на дырочные электроды осуществляется строго изолированно без поверхностных токов утечки. При этом внутренняя поверхность дырочных электродов покрыта пленкой из полиимида для того, чтобы избежать наведения отрицательного заряда от дрейфа положительных ионов и снизить до минимума вероятность возникновения стримерного разряда в газовом объеме. В результате вместо обычных значений к.г.у., характерных для старых конструкций величиной порядка  $10^2$ – $10^3$ , измерения с новым детектором показали величину к.г.у., равную  $10^6$  и выше без захода в область гейгеровского или искрового разряда.

ISBN 978-5-94274-328-4

© Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Институт ядерных исследований  
Российской академии наук, 2018  
Institute for Nuclear Research  
of the Russian Academy of Sciences, 2018

В.И. Разин

К вопросу о величине таундсендовского  
коэффициента размножения электронов  
в микроструктурных газовых детекторах

Препринт 1438/2018

Ноябрь 2018

Подписано в печать 19.11.2018

Ф-т 60х84/8. Уч.-изд.л. 0,3. Зак. 22436 Тираж 45 экз.  
Бесплатно

Печать цифровая  
Издательский отдел

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
науки Институт ядерных исследований Российской  
академии наук

117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а

## Введение

Широкое внедрение толстых газовых электронных умножителей (TGEM) в технику ядерно-физического эксперимента [1,2] обусловлено целым рядом таких привлекательных черт, как высокое пространственное и временное разрешение, способность работать в более интенсивных пучках по сравнению с проволочными устройствами, а также промышленное воспроизводство на базе новейших достижений в области микроэлектроники.

В основу работы TGEM был положен принцип лавинного размножения электронов в отверстии малого диаметра (0.3-1.0) мм между двумя плоскими дырочными электродами, разделенными диэлектрическим слоем толщиной (0.1-1.0) мм. При подаче высокого напряжения между этими электродами возникает электрическое поле с напряженностью ( $10^1$ - $10^2$ )kV/cm, что является необходимым условием возникновения лавинного размножения в газовой среде с коэффициентом усиления порядка  $10^2$ - $10^3$  без захода в область гейгеровского разряда. Дальнейшее повышение напряжения на электродах GEM приводит, как правило, к появлению микроразрядных процессов вдоль поверхности диэлектрического слоя из-за протекания поверхностных токов утечки зарядов. Этот факт становится серьезным ограничением в перспективе применения приборов данного типа.

В качестве альтернативного решения авторы статьи [3] разработали и испытали конструкцию металлического газового электронного умножителя (MGEM), в которой фаза протекания тока положительных токов по диэлектрической поверхности отсутствует. Лавинное таундсендовское размножение электронов и протекание разрядных токов происходит исключительно в объеме отверстия вдоль силовых линий электрического поля. Тестовые испытания такого детектора показали, что в обычной газовой смеси типа Ag+20%CO<sub>2</sub> можно достичь величины коэффициента газового усиления порядка  $10^4$  и выше без пробоев и утечки заряда по внутренней поверхности детектора.

Наряду с положительными чертами детекторы типа TGEM сохраняют также отрицательные свойства, присущие микроструктурным газовым детекторам. Речь идет как о поверхностных токах утечки, так и о пробойных явлениях типа стримера или искры внутри объема газобразного промежутка в результате накопления наведенного заряда [3]. Решению данных проблем посвящен ряд исследовательских работ [4-5], но вопрос пока остается открытым.

В данной работе представлены результаты испытаний в лабораторных условиях новой конструкции TGEM, в которой осуществлено разделение верхнего и нижнего дырочных электродов детектора газовым промежутком при сохранении полиимидной пленки на внутренней поверхности электродов в качестве изоляционного слоя. Благодаря такому решению удалось в значительной степени понизить вероятность как поверхностных так и объемных стримерных явлений, переходящих в коронный или искровой разряд.

### Новая конструкция TGEM

На рис.1 представлено устройство одноступенчатого детектора ионизирующих частиц на базе TGEM в схематическом виде. Газовый объем подразделяется на три промежутка: дрейфовый, усилительный и индукционный. Высота каждого промежутка составляет 3 мм, 1 мм и 1 мм соответственно.

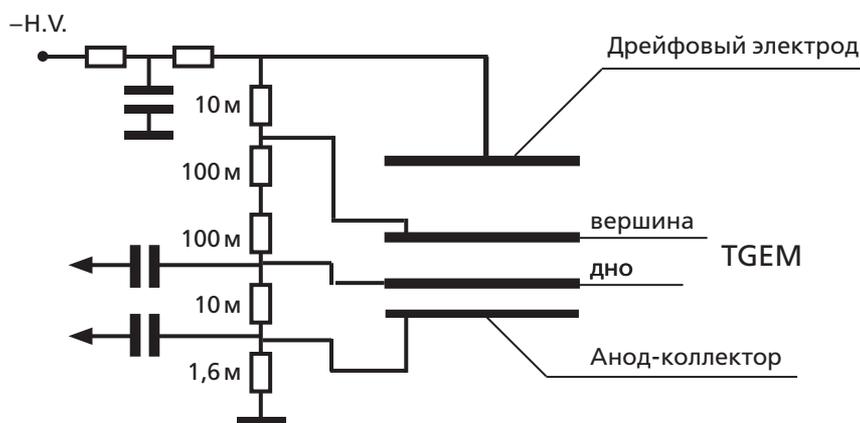


Рис.1. Схема однослойного TGEM детектора

Дрейфовый электрод представляет собой сетку из вольфрамовой проволоки толщиной 30 мкм, намотанной с шагом 0.5 мм на медный диск диаметром 40 мм. Основную часть усилительного промежутка занимает новая конструкция одноступенчатого TGEM, верхний и нижний электроды которого изолированы друг от друга газовым объемом шириной 0.5 мм.

На рис.2 показана геометрия дырочного TGEM электрода в увеличенном масштабе.

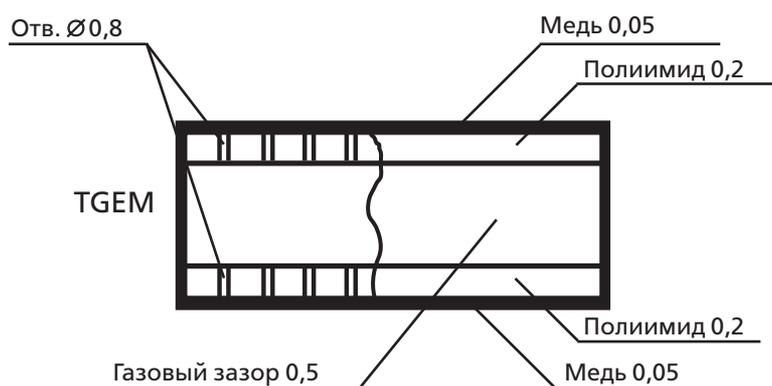


Рис.2. Геометрия электродов TGEM, мм (не в масштабе)

Главной отличительной чертой данной конструкции является то, что пленки из полиимида толщиной 0.2 мм препятствуют протеканию токов утечки между электродами, а также накоплению индукционного заряда на внутренней поверхности дырочных электродов.

В таблице 1 приводятся геометрические параметры дырочного электрода TGEM:

Таблица 1

Геометрия дырочного электрода	Шаг, мм	Диаметр, мм	Толщина, мм	Фаска, мм
Базовая ячейка в виде равностороннего треугольника	1.5	0.8	0.2	0

Диаметр такого электрода составляет 40 мм. Изготовление отверстий в электродах производится на обычном механическом оборудовании.

В таблице 2 показано одно из возможных распределений высокого напряжения на промежутках TGEM детектора при его заполнении

Таблица 2

Дрейфовое поле	0.8 kV/cm
Поле между электродами TGEM	30 kV/cm
Индукционное поле	4.0 kV/cm

газовой смесью, состоящей из Ar+20% CO<sub>2</sub>. При данном распределении напряжений величина коэффициента лавинного размножения электронов пре-

вышала значение 10<sup>6</sup> без захода в область стримерного или гейгеровского разряда.

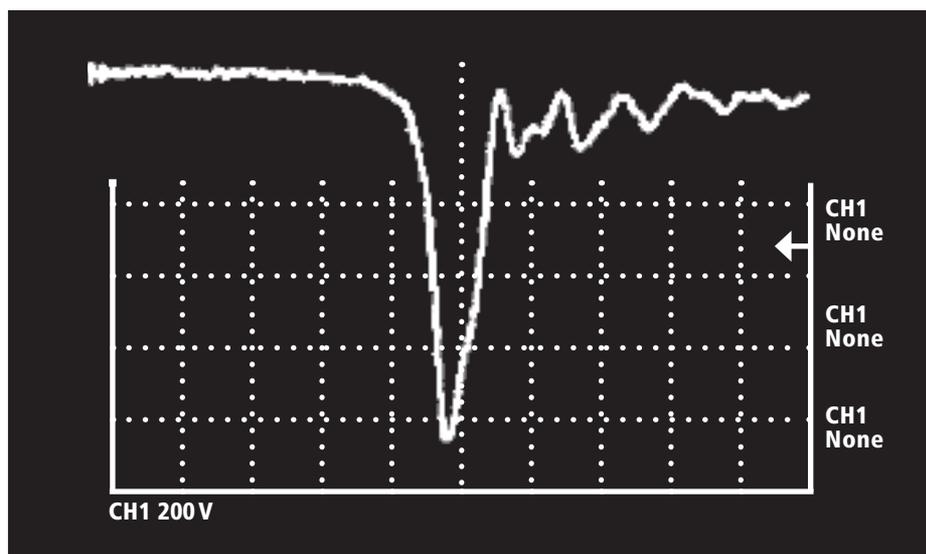


Рис.3. Фото импульса, полученного с анода-коллектора THGEM на 50-ом входе цифрового осциллографа АК ИП

На рис.3 представлено фото импульса, полученного с коллектора детектора на 50-ом входе цифрового осциллографа АК ИП 4115/4А.

### Обсуждение результатов

В соответствии с формулой Рейтера [6] амплитуда сигнала и к.г.у. при облучении детектора бета частицами от источника Sr<sup>90</sup> может быть оценена следующим образом:

$$N_0 \cdot A \leq 10^8, \quad (1)$$

где  $N_0$  — число первичных электронов,  
 $A$  — таундсендовский коэффициент размножения электронов.

При  $N_0=100$  величина коэффициента  $A$  может достигать значения  $10^6$  без захода в область пробоев. Как видно на рис.3, амплитуда импульса на коллекторе детектора составляет величину в несколько вольт на низкоомной нагрузке в 50 ом при отсутствии предварительного усилителя.

Измерения показали также, что рабочий ток в детекторе на базе TGEM новой конструкции не превышал значений (20-40) микроампер. Этот факт означает то, что режим таундседовского размножения электронов исключает в данном случае прохождение стримерной или коронной моды газового разряда. Следовательно, можно считать, что данная конструкция одноступенчатого TGEM практически полностью обеспечивает защиту электроники от искр. При этом достигнутая величина к.г.у. ,равная  $10^6$ , удовлетворяет требованиям многих физических приложений, где требуется надежная работа газовых детекторов в условиях высоких потоков заряженных частиц.

#### Литература

1. F. Sauli. The gas electron multiplier (GEM): operating principles and applications, Nucl. Instr. and Meth.A 805(2016),2.
2. Sauli F.Gas detectors:Recent developments and future perspectives. Nucl. Instr.and Meth. A419(1998), 189-201.
3. Б.М.Овчинников, В.И.Разин, А.И.Решетин, С.Н.Филиппов. Проволочный газовый электронный усилитель. ПТЭ.2010. №2. С.41-43
4. V.I.Razin, A.I. Reshetin, Features of Gas Discharge in Narrow – Gap Micropattern Gas Detectors at a High Level of Alpha-Particle Background, Phys.of Particles and Nuclei Letters, 2012, Vol.9, №1, pp.58-61.
5. Supriya Das, Study of gain variation as a function of physical parameters of GEM foil, 22 June 2015, arXiv:1506.06520 V1 [physics.ins-det.).
6. H.Raether, Electron Avalanches and Breakdown in gases, Butterworth, London U.K.(1964).

---

---

Для заметок

