

УДК 539.1.074.2

РЕЗИСТИВНЫЙ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ СЧЕТЧИК КАК ДЕТЕКТОР ОДИНОЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Л. П. Котенко, Ю. А. Трубкин

Исследованы характеристики одноазорного резистивного плоскопараллельного счетчика (РПС) со стеклянными электродами в качестве детектора заряженных частиц в космических лучах. Приведены спектры сигналов детектора, данные по его временному и пространственному разрешению. Полученные результаты характеризуют РПС как дешевый и современный по своим параметрам детектор.

Резистивный плоскопараллельный счетчик (РПС) как детектор заряженных частиц впервые предложен в 1970 г. [1]. Но наиболее интенсивное развитие эта методика получила лишь в последний период, начиная с конца 80-х годов [2 – 7]. Привлекает простота конструкции и дешевизна изготовления нового детектора, а также возможность перекрытия им больших площадей. Во всех упомянутых работах основное внимание уделяется отдельным вопросам улучшения работы РПС, в частности, выбору оптимального материала для изготовления электродов, конструкции самого детектора, режима работы (лавинный или искровой), возможности его использования в экспериментах на ускорителе, быстродействию.

Мы рассмотрели возможность создания РПС, работающего в искровом режиме (в этом случае не требуется предварительного усиления сигнала), на основе использования наиболее доступного материала – обычного листового стекла (с объемным сопротивлением $\sim 3 \cdot 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{см}$), в том числе и оконного, и исследовали характеристики такого детектора. Для исследования были созданы одноазорные резистивные счетчики с электродами двух размеров, помещенными в герметичные контейнеры. В одном случае электроды размером $11 \times 11 \text{ см}^2$ имели с наружной стороны сплошное металлическое покрытие из алюминиевой фольги, прикрепляемой к стеклу через коллоидный

графитный препарат. В другом случае электроды размером $40 \times 20 \text{ см}^2$ изготавливались путем покрытия стекла алюминием посредством вакуумного напыления, причем катод счетчика имел сплошное напыление, а анод изготавливался в виде "стрипов" (полос) шириной 4 см с промежутком 2 – 3 мм между ними. Размер стрипа был выбран в попытке согласовать волновое сопротивление камеры с 50-омным радиочастотным кабелем.

Рабочий зазор счетчика определялся диэлектрическими шайбами (плексигласс, тефлон) толщиной 1,85 мм, расположенными, как правило, вне рабочей поверхности электродов.

Катод счетчика посредством коаксиального кабеля соединялся с отрицательным полюсом источника высоковольтного напряжения; анод, с которого снимался импульс сигнала (с амплитудой в несколько десятков долей вольта), заземлялся через сопротивление утечки 50 Ом.

Счетчик наполнялся смесью пропана, фреона-13 и аргона (или воздуха) в различных пропорциях при атмосферном давлении и работал без продува. Счетчики экспонировались в космических лучах. Рабочие события выделялись с помощью вертикального телескопа из трех сцинтилляторов размером $10 \times 10 \text{ см}^2$. Опыт работы показал, что счетчики сохраняли высокую ($\sim 98\%$) эффективность регистрации одиночных космических частиц в течение двух недель, после чего эффективность снижалась до 90% и требовалась переборка.

Амплитудные спектры сигналов РПС. Исследование амплитудных спектров РПС проводилось с помощью многоканального амплитудного анализатора LP-4840 фирмы NOKIA (Финляндия) и дифференциального линейного усилителя с варьруемой постоянной времени формирования фронта сигнала на выходе.

Как обычно в подобных случаях, для выделения нужного сигнала и уменьшения влияния побочных эффектов был применен метод стробирования времени чувствительности анализатора. Для выработки строб-сигнала использовались либо вышеупомянутый телескоп, либо, когда площадь телескопа была значительно меньше площади исследуемого детектора, а по условиям эксперимента требовалось ускорить набор статистики, – детектор, аналогичный исследуемому и расположенный над ним. В обоих случаях строб-сигнал управлял запуском ворот длительностью в 1 мкс на входе анализатора.

Типичные результаты представлены на рис. 1. Испытывался детектор, заключенный в герметичный алюминиевый корпус, заполненный газовой смесью, содержащей 13% Ar + 37% C_3H_8 + 50% фреона-13. Газовый промежуток между электродами составлял 1,85 мм.

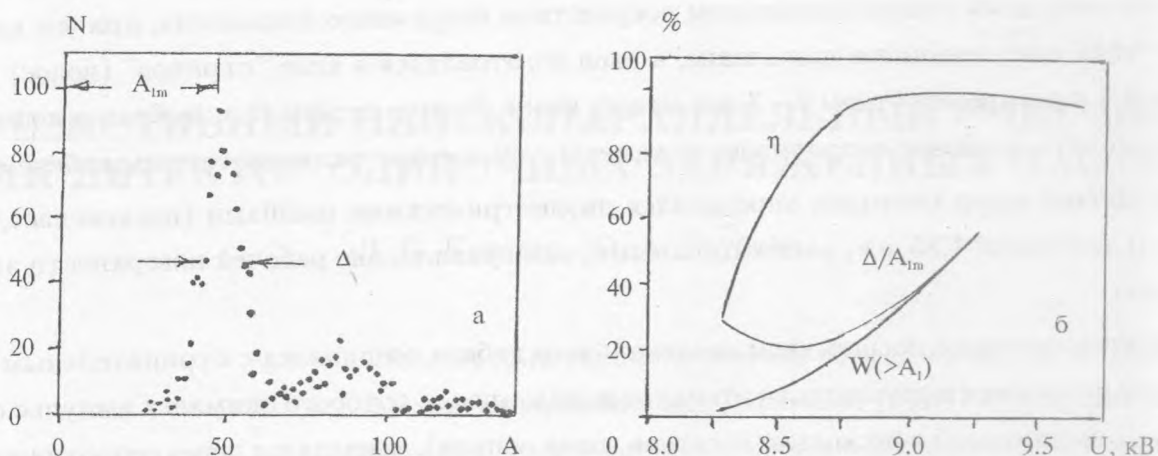


Рис. 1. а) Амплитудный спектр сигналов РПС, снятый при напряжении $v = 8,7$ кВ б) зависимость некоторых характеристик детектора от приложенного напряжения. N – число событий на канал.

На рисунке 1а представлен спектр амплитуд сигналов счетчика, снятый при напряжении питания, обеспечивавшем эффективность регистрации одиночных космических частиц $\eta = 93\%$. Основной пик содержит около 80% всех зарегистрированных импульсов и, по нашему мнению, соответствует распределению амплитуд событий, в которых при прохождении космической частицы возникает только одна искра. В спектре присутствуют также события с двумя и даже, может быть, тремя искровыми разрядами. Эта типичная картина для всех испытанных конфигураций счетчиков РПС и газовых наполнений, объясняется, по-видимому, вкладом ультрафиолетовых фотонов, инициирующих дополнительные разряды. Вероятность появления дополнительных разрядов существенно зависит от величины приложенного напряжения, что демонстрируется на рис. 1б, где кривая $W(> A_l)$ представляет вероятность появления событий с амплитудами, превышающими амплитуды импульсов от одиночных разрядов. Видно, что $W(> A_l)$ меняется от нескольких процентов до 50% и более по мере увеличения напряжения. Несмотря на довольно условный характер разделения этих двух классов событий (одиночные и неодинокные) уже в демонстрируемом случае, такое разделение было проведено до напряжений, несколько превышающих положение "колена" (начала плато) счетной характеристики (кривая эффективности η). При дальнейшем повышении на-

пряжения наблюдалось значительное перекрытие распределений от этих двух классов событий, что делало их разделение невозможным. О последнем можно судить и по возрастающей с ростом напряжения части кривой Δ/A_{1m} на том же рисунке, представляющей значение на полувысоте Δ распределения одиночных разрядов в относительных единицах (по отношению к положению его максимума A_{1m}).

Поэтому естественное, а иногда и вынужденное (для получения наилучшего временного разрешения РПС) желание экспериментаторов работать на плато счетной характеристики при напряжениях, значительно превышающих положение колена (примерно на 1 кВ), приводит к необходимости работать в области с непредсказуемой долей многозарядных событий. Отметим, кстати, что в этой же области наблюдается и значительный рост фоновых событий (саморазряд в газовом промежутке).

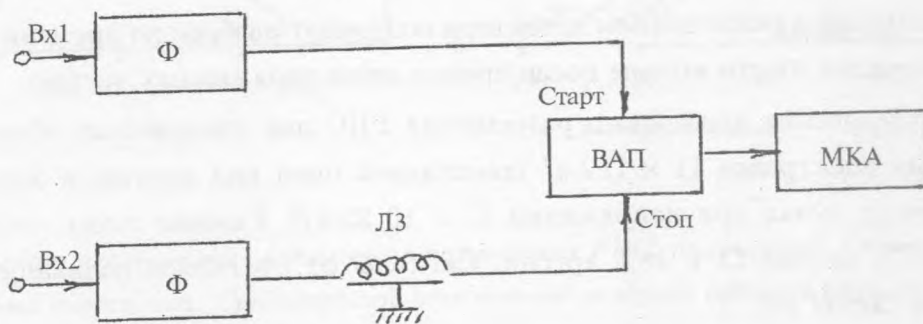


Рис. 2. Блок-схема электронной аппаратуры для спектрометрии временных интервалов.

Временное и пространственное разрешение. Измерение временных интервалов проводилось с помощью стандартной методики подобных измерений по блок-схеме, представленной на рис. 2.

На входе каждого из двух каналов имеются формирователи временных импульсов (Ф). Наилучшие результаты, которые будут приведены ниже, получены, когда использовались формирователи со следящим порогом (ФСП), разработанные и выполненные в ФИРАН в виде блока в системе САМАС (4ФСП-4). ФСП предназначались для обработки импульсов с длительностью фронта $\tau_f \approx 2 \text{ нс}$, и сигнал на их выходе появлялся в момент, когда величина импульса на входе формирователя достигала $1/5$ его амплитуды. Поскольку длительность фронта реального импульса с резистивного счетчика

(~ 10 нс) превышает τ_f , естественно полагать, что момент появления сигнала на выходе ФСП смещается в сторону меньших значений сигнала на входе. Грубая оценка, проведенная для сигналов с линейным во времени фронтом, показывает, что в нашем эксперименте реальный момент появления временного импульса соответствует примерно $1/20$ амплитуды входного сигнала. Чувствительность использованных ФСП была лучше 30 мВ.

С выходов обоих формирователей сигналы поступали на один из входов (старт-стоп) время-амплитудного преобразователя (ВАП), на выходе которого формировался сигнал с амплитудой, пропорциональной разности времен прихода старт- и стоп-сигналов. Показанная на рис. 2 линия задержки (ЛЗ) имела целью введение ВАП в линейный режим регистрации. В качестве ВАП в эксперименте использован стандартный блок 457 фирмы ORTEC (США). Регистрация временных интервалов приводилась с помощью многоканального амплитудного анализатора (МКА) LP-4840.

Под временным разрешением детектора понимают разброс во времени моментов появления сигналов на его выходе после прохождения заряженных частиц.

Для исследования временного разрешения РПС два идентичных образца счетчика с размерами электродов 11×11 см² помещались один над другим и экспонировались в космических лучах при напряжении $U = 10,25$ кВ. Газовая смесь состояла из 52% пропана, 30% фреона-13 и 18% аргона. Сигналы от счетчиков подавались на разные входы блок-схемы рис. 2.

Один из лучших полученных результатов, содержащий около 20000 зарегистрированных событий, приведен на рис. 3. Ширина распределения на его полувысоте составила $\Delta = 18$ каналов или $2,1$ нс. Поскольку полученная кривая отражает совместную работу двух идентичных счетчиков, в гауссовом приближении можно считать, что стандартное отклонение в пересчете на один детектор (полученное из величины Δ) составило $\sigma = 0,63$ нс.

Необходимо отметить, что при понижении питающего напряжения на $0,5$ кВ временное разрешение ухудшилось на 20%.

Результат находится вполне на уровне "мировых стандартов" [5]. Имеется только одна работа [6], где заявлено лучшее временное разрешение $\sigma \leq 0,5$ нс. Возможно, однако, что авторы получили свой результат с помощью более современной электроники, параметры которой не сообщаются.

Полученные результаты позволяют использовать РПС для определения направления прихода ШАЛ в космических лучах. В этом случае высокое значение эффективности не

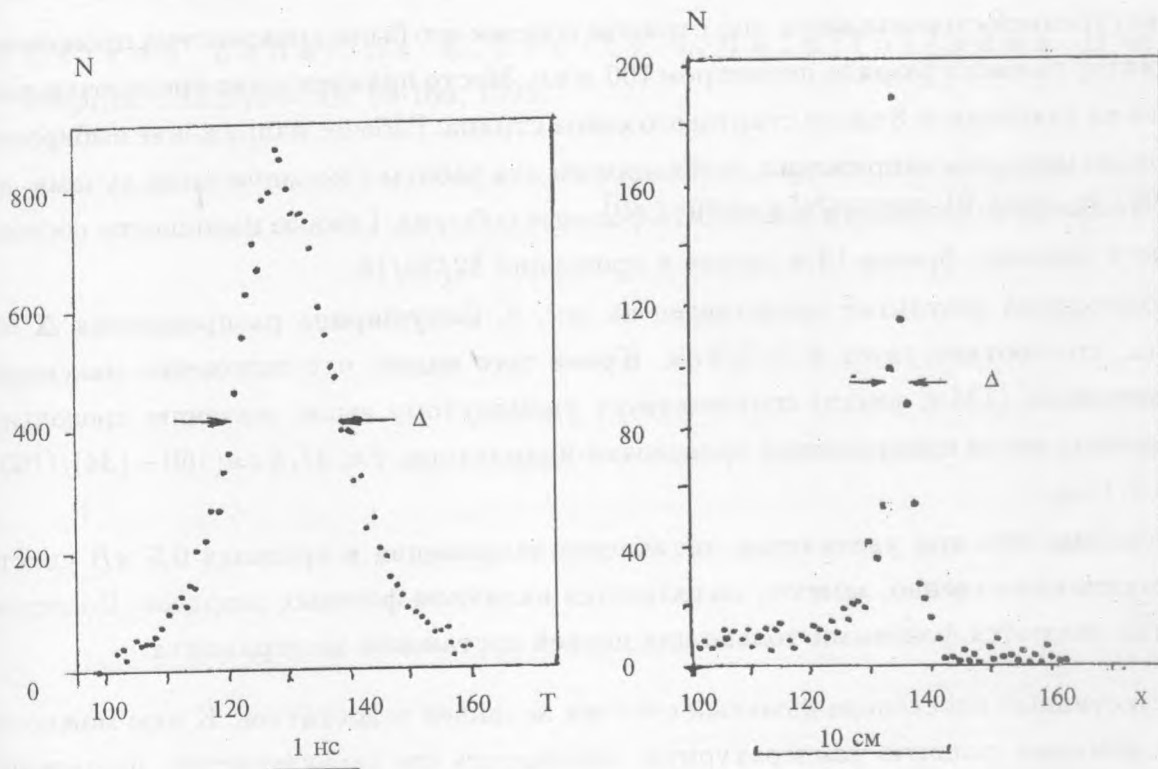


Рис. 3. Результат исследования временного разрешения РПС, полученный с использованием двух идентичных счетчиков. Стандартное отклонение разброса времени появления сигнала в счетчике $\sigma_t = 0,63$ нс.

Рис. 4. Результат исследования координатного разрешения РПС вдоль стрипа. Точность локализации места разряда $\sigma_x = 0,4$ см.

столь важно, т.к. счетчик будет пронизываться десятками и сотнями частиц.

Под пространственным разрешением мы понимаем точность определения продольной координаты (вдоль стрипа) места пересечения последнего с треком заряженной частицы. Оно исследовалось в счетчиках с анодом, разделенным на отдельные стрипы.

В эксперименте на разные входы схемы рис. 2 подавались сигналы с разных концов одного стрипа. Расстояние между сигнальными концами стрипа составило 37,5 см, и анализирующая электроника была настроена таким образом, чтобы сигналы, возникшие на этой длине, регистрировались в диапазоне между 40-м и 160-м каналами анализатора.

Для имитации факта прохождения космической частицы и локализации места разря-

да с внутренней стороны анода под стрипом поперек его была прикреплена проволочка-инициатор газового разряда диаметром 100 мкм. Место прикрепления проволочки находилось на удалении ≈ 8 см от стартового конца стрипа. Рабочее напряжение выбиралось несколько меньшим напряжения, необходимого для работы с космическими лучами, для того, чтобы по возможности исключить фоновые события. Газовое наполнение состояло из смеси пропана, фреона-13 и аргона в пропорции 52/30/18.

Полученный результат представлен на рис. 4. Полуширина распределения $\Delta = 3$ канала, что соответствует $\sigma = 0,4$ см. Кроме того видно, что положение максимума распределения (134-й канал) соответствует упомянутому выше значению продольной координаты места прикрепления проволочки-инициатора, т.е. $37,5 \text{ см} (160 - 134) / (160 - 40) = 8,1 \text{ см}$.

Отметим, что при увеличении питающего напряжения в пределах 0,5 кВ спектр, не меняясь качественно, заметно загрязняется наличием фоновых разрядов. Последние события являются фоновыми только для данной постановки эксперимента.

Резистивный плоскопараллельный счетчик не лишен недостатков. К ним можно отнести довольно сильную температурную зависимость его характеристик, постепенное нарастание фона за счет накопления продуктов сгорания и полимеризации углеводородов, возможность множественных (не одиночных) разрядов и т.д. Однако уже сегодня можно утверждать, что РПС является простым, дешевым, вполне современным по своим параметрам прибором с реальной перспективой его использования в эксперименте.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пархомчук В. В., Пестов Ю. Н., Петровых Н. В. Препринт ИЯФ СОАН СССР, 55 – 70 (1970).
- [2] Cardarelli R., di Biagio A., Lucci A., and Santonico R. Nucl. Instr. Meth., **A263**, 20 (1988).
- [3] Battistoni G., Campana P., Denni V. et al., Nucl. Instr. Meth., **A270**, 190 (1988).
- [4] Котенко Л. П., Пятовский С. Е. Препринт ФИАН N 17, М., 1991.
- [5] Ambrosio M., Barbarino G. S., Lauro A. et al., Nucl. Instr. Meth., **A344**, 350 (1994).
- [6] D'Incecco M., Gustavino C., Bencivenni G. et al., Preprint LNGS-94/103, 1994.

- [7] Cerron Zeballos E., Crotty I., Hatzifotiadou D. et al.,
Preprint CERN/95-146; 95-166, 1995.

Поступила в редакцию 19 февраля 1996 г.