

Детекторы для регистрации электронных излучений в околоземном космическом пространстве.

Н.И. Базалеев, И.Г. Евсеев, В.Ф. Клепиков, В.В. Литвиненко, Н.Г. Шевченко *

*Научно-технический центр электрофизической обработки НАН Украины
310002, Харьков, ул. Чернышевского, 28, а/я 8812*

*ИНЦ Харьковский физико-технический институт
310108, Харьков, ул. Академическая, 1*

Статья поступила в редакцию 7 июля 1997г.

В работе исследованы электрофизические и спектрометрические характеристики многополосного кремниевого детектора для регистрации электронных излучений радиационных поясов Земли и солнечного ветра. Показано, что энергетическое разрешение детектора устойчиво к колебаниям температур в пределах десятков градусов. Детектор способен регистрировать спектральные характеристики электронных излучений в диапазоне энергий от десятков кэВ до сотен МэВ.

В роботі досліджено електрофізичні та спектрометричні характеристики багатосмугового кремнієвого детектора для реєстрації електронних випромінювань радіаційних поясів Землі та сонячного вітру. Показано, що енергетична роздільна здатність детектора не чутлива до коливань температури в межах кількох десятків градусів. Детектори здатні реєструвати спектральні характеристики електронних випромінювань в діапазоні енергій від десятків кеВ до сотень МеВ.

Введение

Исследования околоземного космического пространства связаны, как правило, с регистрацией излучений, сопровождающих процессы, происходящие во Вселенной. В космическом излучении присутствуют частицы с диапазоном энергий от нескольких кэВ до сотен ГэВ, источники происхождения которых еще не полностью изучены [1]. Для объяснения и оценки явлений, наблюдаемых на Земле, особенно важно регистрировать процессы, происходящие на Солнце, а также наблюдать и прогнозировать состояние геомагнитных поясов Земли. В этой связи особый интерес представляют электроны, постоянно присутствующие в спектре солнечного излучения и являющиеся основной компонентой солнечного ветра. Их присутствие оказывает влияние на состояние радиационного фона Земли. От глубины проникновения электронов в атмосферу зависит степень ионизации и нагревания различных ее слоев, что определяется двумя основными параметрами: спектральным составом потока и углом входа [2]. Энергии электронов, испускаемых в результате солнечной активности, составляют порядка нескольких десятков кэВ, однако возможно появление частиц с энергией до 100 МэВ, что связано с солнечными вспышками. Период наблюдения ультрарелятивистских электронов составляет порядка 5-10 мин.

Другим видом излучений являются электроны естественных радиационных поясов Земли (ЕРПЗ) [1]. Известно, что плотности потоков электронов данного вида достаточно стабильны для каждого

радиационного пояса в определенное время суток [3]. Мощные геомагнитные возмущения Земли могут оказать существенное влияние на потоки электронов, вследствие чего устанавливаются аномальные (в несколько раз превышающие стабильные) значения плотности потока электронов.

В настоящее время накоплен и систематизирован достаточный объем данных, позволяющих по изменению пространственных и временных характеристик электронов и фиксации точки измерения определять природу возникшего отклонения от естественного фона, и создавать целостную картину происходящих процессов, влияющих на гидрометеорологические условия Земли.

Проблема заключается в создании совершенных средств спектрометрии излучений с энергетическим диапазоном, характерным для солнечного излучения и излучения ЕРПЗ. В данной работе исследуется возможность применения многополосного кремниевого детектора для спектрометрии космического излучения.

Методы и результаты исследования.

Многополосный кремниевый детектор представляет собой кристалл кремния, на который методом фотолитографии нанесены чувствительные полосы (независимые р-п переходы) [4]. Параметры исследованного образца детектора представлены в табл.1.

Полупроводниковые детекторы успешно используются для регистрации низкоэнергетического излучения в космическом пространстве. Основ-

ным требованием, предъявляемым к ним, является возможность работы в широких диапазонах температур, достигающих нескольких десятков градусов [5]. Для поддержания стабильного показателя энергетического разрешения детектора как правило применяют системы охлаждения.

Таблица 1.
Характеристики детектора

Активная площадь	5,6см ²
Число чувствительных полос	40
Ширина полосы	0,35 мм
Толщина полосы	0,40 мм
Длина полосы	40 мкм
Ширина чувствительной области при напряжении смещения (20 В)	38 мм
Токи утечки через р-п переход	2-10 нА (для 95%)
Емкость р-п перехода при напряжении смещения (20 В)	28 пФ (для 90% полос)

Энергетическое разрешение детектора при регистрации электрона с энергией 85 кэВ (значение энергии соответствует энергии L-спектра конверсионного источника электронов ¹⁰⁹Cd, используемого в эксперименте) составляет 11.2 кэВ при температуре 300 К [4]. Основным источником шумов являются тепловые шумы. Их значение определяется по формуле [6]

$$\delta_T = \frac{W}{e} (kTC)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где k - постоянная Больцмана,

T - абсолютная температура,

W - энергия образования пары носителей (для кремния 3.65 кэВ),

C - емкость р-п перехода чувствительного элемента детектора.

Легко показать, что изменение температуры на 10° К вызывает изменение показателя энергетического разрешения приблизительно на 0.2 кэВ, то есть на 1-2%. Такие флуктуации могут быть вполне приемлемыми, учитывая, что при работе детектора в реальных условиях неизбежно присутствуют источники, вносящие флуктуации такого же порядка. Таким образом, данный детектор не требует дополнительной термостабилизирующей аппаратуры.

Одним из конструктивно заложенных преимуществ данного детектора является его высокое пространственное разрешение - 0.4 мм.

Для исследования пространственной и временной структуры потоков электронов в радиационном поясе используются магнитные спектрометры заряженных частиц. В основу их работы положен анализ траектории частицы в магнитном поле

постоянного магнита [7]. Угол попадания частицы определяется при помощи набора координатно чувствительных детекторов путем несложных вычислений (см.рис.1). Отделение сигналов электронов от сигналов протонов осуществляется за счет меньшей величины угла их отклонения в поле магнита (М).

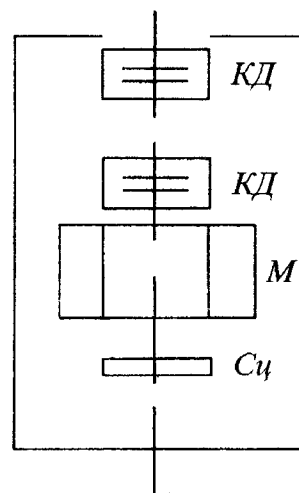


Рис. 1. Схема спектрометра

В данной работе предлагается использовать в подобном спектрометре две пары кремниевых детекторов (КД), расположенных в параллельных плоскостях с перпендикулярно ориентированными чувствительными полосами, с применением системы совпадений/антисовпадений на основе сцинтиллятора (Сц). Возможность использования детектора для регистрации ультрарелятивистских электронов была проверена экспериментально [8].

Как указывалось выше, энергии электронов в околоземном космическом пространстве могут достигать 100 МэВ. Для проведения эксперимента требовалось получить поток единичных ускоренных электронов в узком энергетическом и угловом спектре. В качестве источника электронного излучения использовался линейный ускоритель ЛУЭ-300 (НИЦ ХФТИ), на котором облучалась углеродная пленка (чистотой 99.9% и плотностью 147 мг/см²). Ток пучка (0.1 мкА) с энергией 225 МэВ регистрировался цилиндром Фарадея с точностью 1-3%. Источником монохроматического излучения служили упруго рассеянные на ядре углерода ¹²C [9] электроны, которые фокусировались в узком телесном угле спектрометром СП-95. Факт регистрации определялся по возникновению импульса в цепи детектора. Для избежания регистрации шумовых сигналов применялась система совпадений (регистрация электронов дублировалась сцинтилляционным счетчиком). Возникла задача установления уровня дискриминации сигнала. Его значение было выбрано исходя из величины наиболее вероятных потерь энергии ультрарелятивистского электрона на ионизацию материала крем-

нивого детектора данной толщины по формуле Ландау[10]:

$$\Delta_0 = \frac{\eta}{V^2/C^2} \left[\text{Ln} \frac{3 \cdot 10^3 \eta}{Z^2 \left(1 - V^2/C^2\right)} + 1 - \frac{V^2}{C^2} \right], \quad (2)$$

где Δ_0 - наиболее вероятные потери энергии,

V - скорость электрона,

C - скорость света,

$$\eta = \frac{1,54 \cdot 10^5 \mu \sum Z}{\sum A}, \quad (3)$$

Z - атомный номер облучаемого вещества,

A - атомный вес,

μ - масса слоя детектора, отнесенная к 1 см² площади.

Подставляя в формулу (8) параметры детектора и характеристики поля излучения, получаем расчетное значение наиболее вероятных потерь энергии, расходуемых на ионизацию. Они составляют около 96 кэВ. Дискриминация сигнала осуществлялась от энергии ниже 80 кэВ. Спектр, полученный при регистрации единичного электрона представлен на рис.2. Экспериментальное значение наиболее вероятных потерь составляет 105 кэВ.

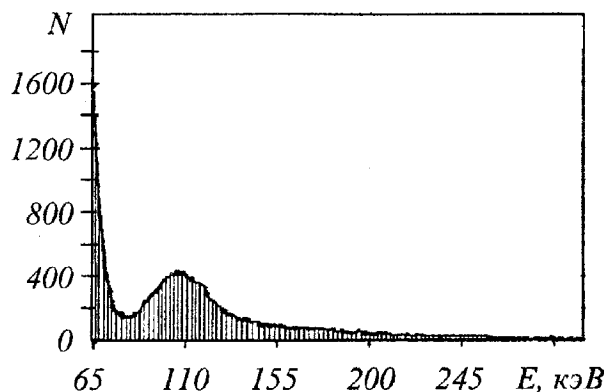


Рис. 2. Распределение ионизационных энергетических потерь для быстрых электронов. (N - число событий, E - энергия (кэВ))

Эффективность регистрации электронов (93%) была вычислена путем сравнения экспериментальных значений с рассчитанными по формуле Мотта [11], где использовались известные значения формфактора для ядра углерода. Такое значение эффективности соизмеримо со значениями, которые встречаются в работах, описывающих современные образцы кремниевых детекторов [12].

Заключение.

Исследованный детектор может быть использован для регистрации низкоэнергетического электронного солнечного излучения и излучения ЕРПЗ в режиме полного поглощения, а также для регистрации ультрарелятивистских электронов в пролетном режиме при соответствующем подборе уровня дискриминации сигнала для каждого режима работы.

Литература.

1. Авакян С.В., Вдовин А.И., Пустарнаков В.Ф. Ионизирующие и проникающие излучения в околоземном космическом пространстве. Справочник.-Санкт-Петербург: Гидрометеоздат.-1994.-501 с.
2. Лазарев А.И., Коваленок В.В., Авакян С.В. Исследование Земли с пилотируемых космических кораблей.-Л.: Гидрометеоздат.-1987.-403 с.
3. Мирошниченко Л.И., Петров В.М. Динамика радиационных условий в космосе.- М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Базалеев Н.И., Евсеев И.Г., Клепиков В.Ф. и др. УФЖ.-1997.-т.42.-№6, с.759-762
5. Белоусова Т.Я., Власова Н.А., Панасюк М.И. ПТЭ.-1983.-№4.-с.211-214
6. Абрамов А.И., Казанский Ю.И., Матусевич Е.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики.- М.: Атомиздат, (1977).- 528 с.
7. Веретенников А.Н., Воронов С.А., Гальнер А.М. и др. ПТЭ.-1990.- №5.-с.53-55
8. I.G. Evseev, A.V. Rozenfeld, N.G. Shevchenko e.a. Preprint KFTI 94-10 (1994). 12 с.
9. L.N. Bruner, M.A. Frautschi, M.R. Hoefercamp, e.a., Nucl.Instr. and Meth.-v.362 (1995).-p.315
10. D.Landau, Journal of Physics (USSR), 8.-1944.-201.
11. Шульман А.Р., Фридрихов С.А. Вторично-эмиссионные методы исследования твердого тела.-М.:Мир.- 1977.-551 с.
12. W. Bruckner, F. Dropmann, M. Codbersen e.a., Nucl.Instr. and Meth.-v.357 (1995).-p.275

Detectors for Registration of Electron Radiation Fluxes in Near-Earth Space

M.I. Bazaleev, I.G. Evseev, V.F. Klepikov,
V.V. Lytvynenko, M.G. Shevchenko

The electrophysical and spectral characteristics of the silicon strip-detector for registration of the electron radiation fluxes of magnetospheric and solar sources were studied. It is shown that detectors energy resolution is not changed essentially over temperature alteration about some tens degrees. The detector can be used on satellites equipment for the spectral characteristics registration of electrons radiation fluxes at the energy range from some keV till hundreds GeV.