

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ - ОЭФ - 91-129.

И Ф В Э 91-129

ОЭФ

И.П.Барков^{*)}, И.М.Газизов^{*)}, В.А.Качанов,
Л.Л.Курчанинов, В.В.Рыкалин, В.Л.Соловьянов,
В.А.Станкевич^{*)}, М.Н.Уханов, В.Д.Ходырев

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАЛОРИМЕТРА
НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Направлено в ПТЭ

^{*)}НИИ КЭ, Рига

Прогвино 1991

АННОТАЦИЯ

Барков И.П. и др. Исследование макета электромагнитного калориметра на основе кремниевых детекторов: Препринт ИФЭЗ 91-129. - Протвино, 1991. - 8 с., 9 рис., 2 табл., библиогр.: 9.

Создан макет электромагнитного калориметра с использованием W конвертора и кремниевых детекторов в качестве регистрирующих элементов. Приведены результаты измерений статических характеристик опытной партии кремниевых детекторов стечественного производства. Энергетическое разрешение на пучке электронов с импульсом 26 ГэВ/с составляет 17% и согласуется с опубликованными данными.

Abstract

Barikov I.P. et al. On Studying the Prototype of the EM Calorimeter Based on Si Detectors: IHEP Preprint 91-129. - Protvino, 1991. - p. 8, figs. 9., tables 2, refs.: 9.

The electromagnetic calorimeter module with W converter and Si detectors is constructed. The results of static characteristics measurement of home-made Si detectors are presented. Energy resolution on the 26 GeV/c electron beam is 17% that is agree with literature data.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в связи с планами создания коллайдеров нового поколения SSC, LHC и УНК ведутся исследования электромагнитных и адронных калориметров, удовлетворяющих требованиям компактности и возможности работы в сильных магнитных полях. Таким требованиям удовлетворяют калориметры слоистого типа, в которых в качестве активного вещества используются полупроводниковые кремниевые детекторы (ПД)^{1/1}.

Такие калориметры обладают рядом преимуществ^{2/} по сравнению с детекторами типа сэндвич свинец-цинтиллятор. Продольная сегментация позволяет получать хорошее разделение электронов и адронов без использования дополнительных детекторов (преабсорбтор и др.). Возможность использования поперечной сегментации обеспечивает координатное разрешение ≤ 1 мм.

К недостаткам можно отнести невысокую радиационную стойкость $\sim 1-2$ мрад и относительно высокую стоимость детектора. Однако такие калориметры были бы очень полезны на многих экспериментальных установках УНК. В частности, в настоящее время рассматривается вопрос об использовании модулей на основе кремниевых детекторов в центральной части электромагнитного калориметра (ЭК) установки НЕПТУН. В связи с этим нами был создан и исследован макет ЭК и электроники предварительного усиления (ПУ).

1. КРЕМНИЕВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

В макете электромагнитного калориметра в качестве активного слоя использовались кремниевые детекторы n-типа с удельным сопротивлением $\rho \sim 1,6 \cdot 10^4$ Ом.см. Толщина кремния — 300 мкм, технология

изготовления та же, что и в работе^{/3/}. Внешний вид полупроводниковой пластины и ее размеры представлены на рис.1. В табл.1 приведены статические характеристики для 8 детекторов при параллельном включении четырех стрипов. Разброс токов утечки от стрипа к стрипу не более 20%. Ёмкость C и ток утечки I одной плоскости детектора (#7) показаны на рис.2 (4 стрипа включены параллельно). Видно, что рабочее напряжение должно быть выбрано ~ 150 В, ток утечки при этом $I \sim 300$ нА/стрип, ёмкость 160 пФ/стрип.

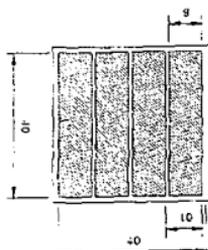


Рис.1. Внешний вид полупроводниковой пластины в миллиметрах.

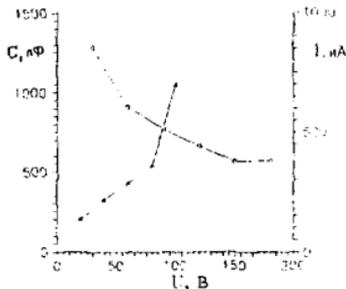


Рис.2. Статические характеристики одной плоскости детектора (4 стрипа включены параллельно).

Таблица 1

# Детектора	Напряжение полного обедн.	При $V = 120$ В	
		I , нкА	C , пФ
7	150	1,2	660
8	150	1,2	660
9	150	3,0	670
28	160	0,84	730
32	80	1,0	600
44	160	1,2	730
47	120	0,6	600
48	60	-	600

2. ПРЕДУСИЛИТЕЛЬ

Схема предварительного усилителя приведена на рис.3. Первый каскад (Т1-Т3) представляет собой усилитель напряжения с коэффициентом усиления по напряжению $K = 500$, охваченный токовой обратной связью (резистор 20 кОм). Второй каскад - составной эмиттерный повторитель, рассчитанный на низкоомную нагрузку (50 Ом). В качестве первого транзистора используется КТ399, имеющий наилучшие шумовые характеристики^{4/}. ПУ соединяется с детектором кабелем длиной до 40 см. Входное сопротивление ПУ выбрано близким к волновому сопротивлению кабеля, $R_{вх} = 40$ Ом. В табл.2 приведены шумовые и амплитудные характеристики ПУ для каждой секции модуля.

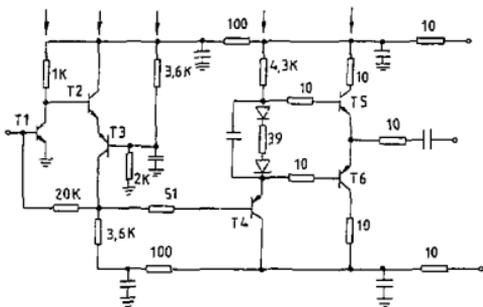


Рис.3. Схема предварительного усилителя. Т1 - транзистор КТ399, остальные ТДЛ - типа КТ372, ДДР - КТ3109.

Таблица 2.

Кол-во детекторов	GD (дБ)	S мВ/10 ⁶ е	Е N С (fwhm)	Длительность вых. сигнала, нс
3	500	14	85000	75
4	600	12	75000	80

Схема использованного нами ПУ не является окончательной. Как показано в работе^{5/}, длительность сигнала с ПУ может быть доведена до 20 нс при ёмкостях детектора ~ 500 пФ. При этом сохраняется низкий уровень эквивалентного шумового заряда (ЕНЗ) даже при длине кабеля между детектором и ПУ в несколько метров. Это позволит вынести электронику за пределы calorиметра, что уменьшит размеры модуля, снимет проблемы потребляемой мощности и значительно улучшит радиационные условия для электроники.

3. КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЯ

Модуль состоит из 16 вольфрамовых поглотителей с размерами $40 \times 40 \times 3$ мм³ каждый и 7 плоскостей полупроводниковых детекторов. Размер модуля $40 \times 40 \times 80$ мм³. Вся сборка помещена в алюминиевый экран.

Полупроводниковые детекторы объединялись в две секции: 3 детектора в первой секции и 4 во второй. На рис.4 приведена схема включения детекторов с указанием количества материала поглотителя в каждом слое, выраженного в величинах радиационных длин X_0 .

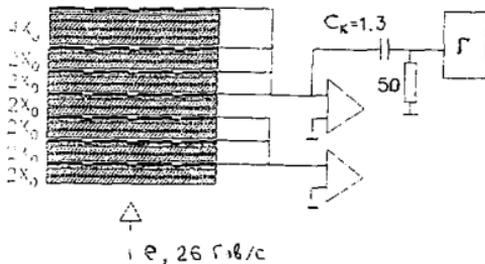


Рис.4. Схема включения детекторов с указанием количества материала поглотителя в величинах X_0 . $C_k = 1,3$ пФ - калибровочная ёмкость. Г - генератор прямоугольных импульсов.

Генератор прямоугольных импульсов Г и калибровочные ёмкости 1,3 пФ использовались для измерения эквивалентного шумового заряда предусилителей и калировки тракта амплитудного анализа (АЦП) в величине входного заряда.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Измерения проводились на канале 14 ускорителя ИВВБ. Геометрия установки представлена на рис.5. Пучок электронов имел импульс $P = 26 \text{ ГэВ/с}$ и $\Delta P/P \sim 2\%$. Триггер формировался совпадением синцинтиляционных счетчиков S_1, S_2, S_3, S_n , S_n имел размер $5 \cdot 5 \text{ см}^2$. Прием данных осуществлялся на IBM PC аналогично^{16/}. Энергетическое разрешение макета электромагнитного калориметра при ободнении кремниевых детекторов до 200 мкм получено равным $\Delta E/E \sim 17\%$ и в основном определялось выбранной структурой модуля (рис.4). Из-за малого количества кремниевых плоскостей энергетическое разрешение макета определялось самплинг-флуктуациями. Типичный энергетический спектр при суммировании сигналов от обеих секций приведен на рис.6. На рис.7 приведены спектры для первой (а) и второй (б) секций.

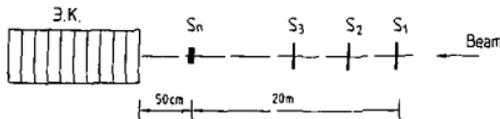


Рис.5. Схема измерений энергетического разрешения. S_1, S_2, S_3, S_n — синцинтиляционные счетчики. Пучок — электроны с импульсом 26 ГэВ/с.

В работе^{17/} приведено энергетическое разрешение для модуля, состоящего из 12 кремниевых детекторов с ободнением 200 мкм при толщине поглотителя $24 X_0$:

$$\Delta E/E = 17,6\% (\tau/E)^{1/2},$$

где τ — частота самплинга, выраженная в X_0 . По приведенной в^{17/} каскадной кривой можно оценить разрешение ЭК с выбранным нами самплингом. Оценочная величина составляет $\sim 85\%/ \sqrt{E}$, что очень близко к полученному нами значению. Расчетное значение энергетического разрешения по данным работы^{18/} составляет $66\%/ \sqrt{E}$. Нам результат хуже, так как ливень немного шире, чем используемый стрип.

На рис.8 приведен суммарный для двух секций калориметра спектр от калибровочного сигнала величиной $3,5 \cdot 10^6 \text{ в}$. Видно, что шумовой спектр этого распределения гораздо уже спектра от частиц, и, следовательно, шум электроники и детектора не вносят заметного вклада в энергетическое разрешение.

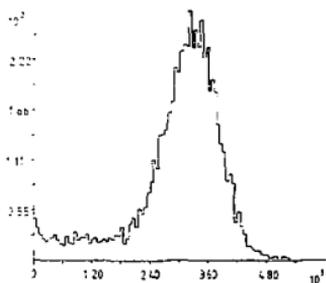


Рис. 6

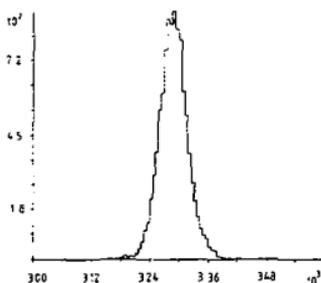
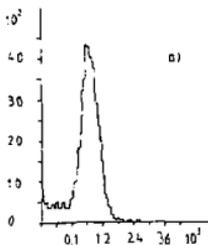
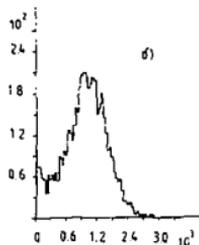


Рис. 8



а)



б)

Рис. 7

Рис. 6. Энергетический спектр при суммировании сигналов от двух секций калориметра.

Рис. 7. Энергетический спектр на первой (а) и второй (б) секциях.

Рис. 8. Амплитудный спектр от калибровочного сигнала величиной $3,5 \cdot 10^6$ электронов при суммировании по обеим секциям.

5. ПРОБЛЕМА РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ

Одно из основных ограничений на использование кремневых детекторов в калориметрии — их невысокая радиационная стойкость. Приводимые в литературе данные¹¹ по допустимым дозам имеют отношение в основном к трековым детекторам. Причиной деградации таких детекторов является рост тока утечки, приводящий к увеличению БНО.

Изменение удельного сопротивления вследствие изменения концентрации основных носителей и разрушение p - n -перехода как правило не рассматриваются, так как наступают при больших дозах. В случае ЗК увеличение тока утечки не будет сказываться на энергетическом разрушении, так как при использовании биполярного транзистора в качестве годовного элемента ПУ основной вклад в параллельный шум дает ток базы.

В свою очередь, уменьшение обедненной области приводит к увеличению флуктуаций энерговыделения. Так, при уменьшении обедненного слоя с 300 до 100 мкм сопротивление изменится на 46%. Можно показать, что при использовании более высокоомного кремния, а следовательно, при большей начальной концентрации основных носителей, калориметр будет обладать большим ресурсом в условиях радиационных нагрузок.

Сравним изменение концентрации основных носителей для кремния n -типа при двух значениях удельного сопротивления 500 Ом·см и 5 кОм·см в зависимости от потока нейтронов Φ . Начальная концентрация основных носителей составляет $n_0 \approx 10^{13}$ см⁻³ и 10^{12} см⁻³ соответственно. Изменения концентрации примеси в зависимости от потока нейтронов описывается формулой^{9/}:

$$n(\Phi) \approx n_0 \exp \left[-\frac{R_0 \Phi}{n_0} \right], \quad (1)$$

где R_0 - начальная скорость удаления носителей, Φ - поток нейтронов.

Эта зависимость показана на рис.9 (пунктир - для $\rho = 500$ Ом·см, сплошная линия - для $\rho = 5$ кОм·см). Видно, что заметное изменение концентрации n , следовательно, разрушение p - n -перехода, происходит при дозе $\sim 10^{12}$ для высокоомного кремния и при дозе $\sim 2 \cdot 10^{13}$ для низкоомного. Необходимо также учесть, что стоимость кремния с удельным сопротивлением 5 кОм·см превышает стоимость кремния с $\rho = 500$ Ом·см более чем в 3 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Созданы и испытаны кремниевые детекторы для использования в электромагнитных калориметрах. При напряжении полного обеднения ~ 150 В ток утечки составляет 300 нА/стрип.

2. Показана возможность реализации предусилителя, позволяющего сохранить одно из преимуществ кремниевых детекторов - их высокие быстродействие. Это дает возможность использовать калориметр для выработки триггера низкого уровня.

3. Создан макет модуля электромагнитного калориметра на основе кремниевых детекторов. Приведены измерения энергетического разрешения на пучке электронов с энергией 26 ГэВ. Полученное разрешение $\sim 1\%$ согласуется с расчетным.

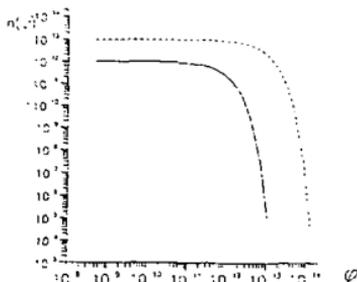


Рис.9. Расчетное изменение концентрации основных носителей для удельных сопротивлений 500 Ом·см (пунктир) и 5 км·см (сплошная линия).

Список литературы

1. Borchi E., Vasetti M., Faretta C. et al. CERN 90-10 ESCA 90-133, vol III, 1990, p. 721.
2. Акимов Ю.К., Игнатьев О.В., Калинин А.И., Кушнирук В.Ф. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. - М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 138.
3. Барков И.П., Газизов И.М., Курчанинов Л.Л. и др. - Препринт ИФВЭ 90-65. Протвино, 1990.
4. Краснокутский Р.Н., Курчанинов Л.Л., Тихонов В.В. и др. - Препринт ИФВЭ 88-116. Серлухов, 1988; // ПТЭ. 1989. № 5. С. 73.
5. Краснокутский Р.Н., Сушков В.В., Федякин Н.Н., Шувалов Р.С. - Препринт ИФВЭ 91-48. Протвино, 1991.
6. Барков И.П., Газизов И.М., Качанов В.А. и др. - Препринт ИФВЭ 90-76. Протвино, 1990.
7. Lemeilleur F., Rancoita P.G., Seidman A. // NIM. 1984. V. 226. P. 66.
8. Revo D., Ros E. // NIM. 1989. A276. P. 456.
9. Асвацатурьян Е.Р., Голотик О.Н. Проектирование электронных схем с учетом радиационных воздействий. - М.: Изд. МИФИ, 1984. С. 20.

Рукопись поступила 19 августа 1991 года.

И.П.Барков и др.

Исследование макета электромагнитного калориметра на основе кремниевых детекторов.

Редактор Н.В.Ежова. Технический редактор Л.П.Тымина.

Подписано к печати 2.10.1991 г. Формат 60*90/16.
Объемная печать. Печ.л. 0,50. Уч.-изд.л. 0,68. Тираж 260.
Заказ 547. Индекс 3849. Цена 10 коп.

Институт физики высоких энергий, 142284, Протвино Московской обл.

10 коп.

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 91-129, И Ф В Э, 1991
