

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

B 624

Д13-88-764

А.С.Водопьянов, В.М.Головатюк, З.Гузик,<sup>1</sup>  
С.В.Кашигин,<sup>2</sup> В.Н.Рыжов, И.А.Тяпкин,  
Е.А.Хлынов,<sup>2</sup> Э.Н.Цыганов

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ  
МИКРОВЕРШИННОГО ДЕТЕКТОРА  
ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА УКД

---

<sup>1</sup> Институт ядерных исследований, Свερк, ПНР

<sup>2</sup> Центр научно-технического творчества молодежи  
"Дока", Зеленоград

1988

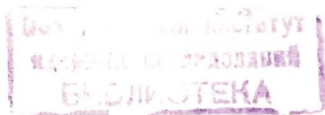
## 1. ОПИСАНИЕ ЦЕЛЕЙ И КОНСТРУКЦИИ МИКРОВЕРШИННОГО ДЕТЕКТОРА

Универсальный калориметрический детектор (УКД) будет являться базовой установкой для проведения экспериментов на комплексе сталкивающихся протон-протонных пучков с энергией  $3 \times 3$  ТэВ на ускорителе УНК (Серпухов). Установка должна быть задействована в 1995 г. Микровершинный детектор, описываемый ниже, расположен в центральной части УКД и предназначен для прецизионной регистрации координат вершин распада вторичных короткоживущих частиц. Для детектирования частиц собирается заряд (около 25000 электронов или дырок), образующийся в результате ионизации в кремниевой пластине толщиной около 300 мкм. Пластина выполнена в виде полоскового диода, использующегося в режиме полного удаления носителей. Для получения лучшего координатного разрешения при работе детектора в магнитном поле на полосу собираются дырки. Время сбора заряда — около 10 нс, что позволяет использовать детектор при больших светимостях коллайдера.

Электроды, на которые собирается заряд, представляют собой полоски, расположенные с шагом 20 мкм. Разделение заряда из-за диффузии носителей на соседние полоски позволяет восстановить координату частицы с точностью около  $3 \text{ мкм}^{1,2}$ . Детектор состоит из трех цилиндрических слоев, окружающих место столкновения пучков, длина слоев 20 см, диаметр от 8 до 10 см. Цилиндрическая поверхность набирается из детекторных пластин шириной 4,5 см. Считывающая электроника располагается с двух концов пластины. Механическая конструкция модуля, содержащего детекторы и электронику, предусматривает минимизацию пассивного вещества держателей. Ниже приводится краткое описание основных параметров микрополоскового детектора и считывающей электроники.

## 2. ДЕТЕКТОРЫ

Как уже отмечалось, полосковый детектор является диодной матрицей, на которую подается обратное напряжение для перехода в режим полного обеднения. Матрица имеет размеры  $46 \times 100$  мм. Для изготовления матрицы используется высокочистый (равномерно распределенные по объему примеси  $10^{14}/\text{см}^3$ ) бездислокационный  $n$ -кремний с сопротивлением около  $4000 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , вырезанный с ориентацией  $\langle 111 \rangle^{3,4}$ . После изготовления неплоскостность матрицы не превышает 15 мкм. Диодные полоски имеют ширину 5 мкм, отклонение



от прямой линии не превышает 1 мкм. Полоски располагаются с шагом 20 мкм, с одного конца каждая полоска соединяется через сопротивление около 3 МОм с заземляющейся рамкой шириной 200-300 мкм. Одна детекторная пластина содержит 2304 диодные полоски. Рабочая площадь детекторной пластины должна составлять не менее 98% ее общей площади.

Считывание информации происходит с каждой третьей полоски, то есть с шагом 60 мкм. При этом емкостная междуполосковая связь позволяет в существенной степени избежать потери пространственного разрешения, связанной с уменьшением числа считываемых полосок. Чувствительные диодные полоски подсоединяются к специально разработанной микросхеме усилителей алюминиевыми проволочками диаметром 20-25 мкм с помощью ультразвуковой микросварки, для чего на диодной матрице и микросхеме усилителей изготавливаются соответствующие алюминизированные площадки. Полосковые диоды создаются методом имплантации, толщина имплантированной зоны составляет 5-7 мкм. Чтобы избежать эффекта каналирования, ориентация пучка выбирается равной около  $7^0$  относительно кристаллографической оси. Съём сигналов с полосок на входы усилителей производится через разделительные емкости, которые должны выдерживать рабочее напряжение детектора и быть много больше емкости полоски. Такие емкости выполняются путем нанесения на имплантированную зону тонкого слоя двуокиси кремния с последующим нанесением на эту зону слоя алюминия<sup>15</sup>.

Конструкция детектора выглядит следующим образом: 1 мкм алюминия, 0,2 мкм двуокиси кремния, зона р+ имплантации (бор), между полосками — двуокись кремния толщиной около 2 мкм; обратная сторона — 1 мкм алюминия, п+ имплантация (мышьяк). Имплантация в зону полоски производится непосредственно через тонкий слой двуокиси кремния. В дальнейшем при изготовлении матрицы не используются процессы с очень высокой температурой, так как это приводит к диффузии имплантированной зоны. Постоянная составляющая темнового тока от полоски, как правило, не должна превышать 1 нА. На матрицу после изготовления должно быть нанесено защитное покрытие (стекло, эпоксид и т.п.). Проверка диодных полосок по темновому току в режиме полного обеднения производится с помощью ЭВМ, в качестве годных рассматриваются матрицы с числом работающих полосок не менее 99%. Общее количество детекторных пластин — 150.

### 3. ЭЛЕКТРОНИКА СЧИТЫВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Как уже отмечалось, разделение заряда на несколько полосок и наличие междуполосковой емкостной связи позволяет уменьшить число считываемых каналов практически без потери точности прибора. Конечно, при этом ухудшается двухтрековое разрешение детектора, однако оно остается еще достаточно высоким. Этот метод требует измерения величины заряда, собираемого отдельными считываемыми полосками. Для использования прибора при больших све-

тимостях коллайдера необходимо закончить съём заряда с полоски за время не более 20 нс. До прихода управляющего сигнала, свидетельствующего о необходимости зарегистрировать данное событие, вся информация о каждом 20-наносекундном интервале должна быть сохранена в течение времени до 2 мкс.

Аналоговые сдвиговые регистры на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС), описанные в литературе<sup>16</sup>, представляются весьма привлекательными и выбраны нами в качестве динамической аналоговой памяти. Нужно отметить, что имеются примеры систем, основанных также и на других вариантах аналоговой памяти<sup>17</sup>.

Емкость детектирующей полоски примерно в 100 раз больше, чем емкость ячейки ПЗС, поэтому необходим инжектор (усилитель) для того, чтобы передать заряд с полоски в первую ячейку ПЗС. ПЗС на рп-переходах со встроенным ррп-транзистором в первой ячейке<sup>18</sup> выглядят весьма элегантно, но, по-видимому, не обеспечивают достаточно быстрый перенос заряда с детектирующей полоски в ПЗС.

#### 3.1. Усилитель

Усилитель с полосой около 100 МГц и шумами, не превышающими в среднем 700 электронов для нулевой входной емкости, должен быть изготовлен по схеме усиления тока с коэффициентом усиления около 300 и потреблением не более 1 мВт на канал<sup>19,10,11</sup>. КМОП-технология с шириной линий 3 мкм представляется приемлемой<sup>12</sup>, однако жесткие требования на быстродействие прибора и потребляемую мощность могут обусловить использование одномикронной технологии. Усилитель, по-видимому, должен быть выполнен на биполярных транзисторах для обеспечения необходимого быстродействия.

Схема усилителя выглядит следующим образом. Токосовый предусилитель имеет дифференциальный вход с импедансом около 50 Ом и обратной связью для стабилизации параметров при изменении температуры и улучшения радиационной стабильности. Коэффициент усиления этой ступени равен  $\sim 10$ . Затем следует формирующий усилитель с постоянной времени около 10 нс и дифференциальным входным каскадом, что необходимо для хорошей стабильности по постоянному току. Наконец, следует выходной усилитель. Динамический диапазон усилителя составляет около 40 дБ. Линейность усилителя в этом диапазоне не хуже 1%.

При разработке схемы должны быть приняты специальные меры, обеспечивающие максимальную помехозащищенность каналов, так как детектор будет работать вблизи от мощных высокочастотных радиотехнических устройств. Перекрестные наводки с канала на канал не должны превышать 1%. Для уменьшения перекрестных наводок необходимо обеспечить, чтобы импеданс между считываемыми полосками был существенно больше, чем входной импеданс усилителя. Необходимо предусмотреть возможность подачи на входы всех усилителей калибровочных сигналов переменной амплитуды в рабочем диапазоне уси-

лителей. В одной микросхеме необходимо разместить 256 каналов усилителей с пространственным шагом в среднем 60 мкм. Одну детекторную пластину обслуживают три усилительных микросхемы. Для проверки работоспособности микросхем усилителей на базовой кремниевой шайбе должна быть изготовлена тестовая структура, позволяющая калибровать на связи с ЭВМ каналы усилителей до окончательной разрезки шайбы. Разброс коэффициентов усиления различных каналов, как правило не должен превышать 5%. В качестве годных рассматриваются микросхемы с числом работающих каналов не менее 99%. Общее количество микросхем усилителей — около 450.

### 3.2. Регистр аналоговой памяти

Аналоговая память на 100 каналов для каждой рабочей плоскости детектора изготавливается на основе приборов с зарядовой связью. ПЗС на пр-переходах, по-видимому, предпочтительны из-за лучшей радиационной стабильности<sup>18</sup>. Линии памяти размещаются на отдельном кристалле и соединяются с усилителями микросваркой, аналогично тому, как детекторные пластины соединяются с усилителями. Желательно, чтобы время переноса заряда с ячейки на ячейку не превышало 20 нс. Это время определяет быстродействие прибора. Перекрестные наводки с канала на канал в линиях ПЗС не должны превышать 1%.

Большинство событий не представляет физического интереса и в этом случае информация на выходе линий ПЗС не используется. Управляющий сигнал первого уровня, свидетельствующий о возможной необходимости зарегистрировать данное событие, останавливает тактовую частоту переноса информации на линиях ПЗС. Система, таким образом, переводится в режим ожидания дальнейшего решения о необходимости регистрации события, который длится около 10 мкс. Примерно в 99% случаев это решение (управляющий сигнал второго уровня) является отрицательным, и вновь включается тактовая частота переноса информации. В случае положительного решения начинается цикл считывания полезной информации. Информация из последних ячеек всех 256 параллельных линий ПЗС переносится в аналоговый сдвиговой регистр, изготовленный также на базе ПЗС, из него затем последовательно считывается по кабельной линии с тактом 20 нс и конвертируется с помощью сверхбыстрых ЗЦП, расположенных в общей системе считывания УКД. При считывании три микросхемы объединяются в одну цепочку, время считывания с них составляет около 15 мкс. Полный цикл считывания включает в себя считывание последних 10 ячеек параллельных линий ПЗС и занимает около 0,15 мс. При максимальной светимости коллайдера и числе запусков первого уровня около  $10^4$ /с время блокировки прибора для осуществления считывания составит не более 10% от полезного времени.

Для проверки работоспособности микросхем аналоговой памяти на базовой кремниевой шайбе должна быть изготовлена тестовая структура, позволяющая калибровать на связи с ЭВМ каналы параллельных линий ПЗС и последовательной линии ПЗС считывания до окончательной разрезки шайбы. Искажение амплитуды сигнала при прохождении его через линию аналоговой памяти

не должно превышать 1%. В качестве годных рассматриваются микросхемы аналоговой памяти, у которых работоспособными оказались не менее 99% каналов. Общее количество микросхем аналоговой памяти — около 450.

## 4. ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ПРОЕКТА

В ходе осуществления настоящего проекта представляется весьма желательным исследовать возможность размещения детекторных пластин, усилителей и аналоговой памяти с электроникой считывания на одном кристалле<sup>13,14</sup>. Характеристики приборов должны соответствовать параметрам, приведенным выше. В таком монолитном варианте для детектора необходимо, по-видимому, использовать высокоомный кремний с ориентацией  $\langle 100 \rangle$ . В качестве первого приближения к этому варианту вначале необходимо опробовать объединение усилителей и аналоговой памяти с электроникой считывания в одну микросхему. При этом могут быть приняты во внимание идеи, изложенные в работе<sup>18</sup>. Разработки монолитного варианта начнутся после первых результатов, полученных в варианте с отдельными элементами.

В данной заметке описан однокоординатный вариант детектора, при этом на чувствительные полоски собираются дырки. Такой вариант однокоординатных детекторов является более предпочтительным для работы в магнитных полях, так как благодаря существенно меньшей холловской подвижности дырок по сравнению с электронами обеспечивается более высокое координатное разрешение. С точки зрения задач, поставленных в эксперименте УКД, в микровершинном детекторе желательно регистрировать и вторую координату частицы. В этом случае "омическая" (n+) -сторона детектора также выполняется в виде полосок, а для улучшения изоляции между каждыми двумя (n+) -полосками вводится блокирующая полоска (p+)<sup>15</sup>. Разработкам такого типа детекторов должно предшествовать успешное испытание образцов основного варианта

## 5. ЭТАПЫ РАЗРАБОТОК

Разработка и изготовление микрополоскового детектора разбиты на несколько этапов. После изготовления первых образцов и их тестовой проверки будет выполнена сборка полного модуля из отдельных элементов (детектор усилитель, аналоговая память). Затем будут проведены испытания модулей на пучке ускорителя. По результатам испытаний на пучке будет проведена корректировка конструкции изделий. Изготовление малой серии и проверка скорректированных изделий является следующим этапом. После всесторонних испытаний изделий на пучке ускорителя будет произведен запуск образцов в серию

1. *Belau E. et al. — Nucl. Inst. and Meth., 1983, 214, p.253.*
2. *Weilhammer P. CERN-EP/86-54, Geneva, 1986.*
3. *Hyams B. et al. — NIM, 1983, 205, p.99.*
4. *Bailey L. et al. — NIM, 1984, 226, p.56.*
5. *Caccia M. et al. — NIM, 1987, A260, p.124.*
6. *Daub D., Effing H. — NIM, 1984, 226, p.190.*
7. *Kleinfelder S.A. et al. — IEEE, 1988, NS-35, p.171.*
8. *ten Kate W.R.Th., van der Klauw C.L.M. — NIM, 1984, 228, p.105.*
9. *Gatti E., Manfredi P.F. — NIM, 1984, 226, p.142.*
10. *Jarron P., Goyot M. — NIM, 1984, 226, p.156.*
11. *Boie R.A., Hrisoho A.T., Rehak P. — IEEE, 1981, NS-28, p.603.*
12. *Seller P. et al. — IEEE, 1988, NS-35, p.176.*
13. *Zimmer G. — NIM, 1984, 226, p.175.*
14. *Radeka V. et al. — IEEE, 1988, NS-35, p.155.*
15. *Batignani G. et al. — INFN PI/AE 88/4, 1988.*

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 октября 1988 года.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1.2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.