ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

IFVE-95-46

Fermilab Library
0 1190 0040444 5

IFVE-95-46

ИФВЭ 95-46
ОНФ

А.П.Воробьев, А.В.Смоль, В.Б.Чмиль, А.В.Чунтонов
Институт физики высоких энергий, Протвино

А.В.Корецкий, А.И.Потапов, О.П.Толбанов, С.С.Хлудков
Сибирский физико-технический институт, Томск

К.М.Смит
Университет Глазго, Департамент физики и астрономии, Англия

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ АРСЕНИД-ГАЛЛИЕВЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

NAME	I D No.	M.S.

RETURN TO LIBRARY

Протвино 1995

FERMILAB
FEB 21 1996
LIBRARY

УДК 539.1.074 М–24

Аннотация

Воробьев А.П. и др. Первые результаты испытаний арсенид-галлиевых микрополосковых детекторов: Препринт ИФВЭ 95-46. – Протвино, 1995. – 12 с., 12 рис., библиогр.: 4.

Приведены результаты изучения микрополосковых детекторов с различной топологией. Из анализа работы детекторов в пучках заряженных частиц определен средний кластер события и эффективность регистрации.

Abstract

Vorobiev A.P. et al. The First Investigation Results of Gallium-Arsenide Microstrip Detectors.: IHEP Preprint 95-46. – Protvino, 1995. – p. 12, figs. 12, refs.: 4.

The results of studying the first prototypes of *GaAs* microstrip detectors with different topology, using the charge particles beams and radioactive sources are presented. The response of the detectors to the charge particles and the detection efficiency have been measured.

© Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт физики высоких энергий, 1995

Введение

Предыдущие исследования [1] показали, что компенсированный элементами переходной группы железа (Fe, Cr) арсенид галлия ($GaAs$) может быть использован для создания полупроводниковых, чувствительных к ионизации заряженными частицами, координатных детекторов, имеющих повышенную радиационную стойкость [2], по своим параметрам удовлетворяющим условиям работы в эксперименте ATLAS [3] на LHC.

В данной работе мы приводим результаты испытаний первых прототипов микрополосковых $GaAs$ детекторов в пучках заряженных частиц ускорителей высоких энергий и β-частиц от радиоактивного источника Ru^{106}.

1. Внутренняя структура и топология детекторов

Первые прототипы $GaAs$ детекторов были изготовлены с внутренней структурой трех типов p-π-ν-n, n^+-π-ν-n и $(Au)n^+$-π-ν-n. Все типы детекторов базируются на общей технологии изготовления, развиваемой в лаборатории Сибирского физико-технического института г. Томска. Детекторы площадью 20×30 мм^2 изготовлены на промышленном арсениде галлия и имеют толщину 350 мкм. В пластинах $GaAs$ диффузией хрома сформирован высокоомный слой толщиной (100 ± 50) мкм, содержащий π-ν переход, глубина залегания которого (50 ± 20) мкм. (рис. 1.)

Сигнальные полоски на поверхности детекторов формируются для разного типа структур из арсенида галлия либо n^+–типа, либо p–типа, либо n^+ с напылением золота.

На рис.2 и 3 представлены вольт-амперные характеристики (ВАХ) для детекторов $(Au)n^+$-π-ν-n и p-π-ν-n, снятые для одной полоски (стрипа) с шириной микрострипов 50 мкм и шагом 150 мкм. Вольт-амперная характеристика детектора p-π-ν-n–типа имеет диодный вид, токи при прямом и обратном напряжени-

ях смещения отличаются на порядок. Вольт-амперная характеристика детектора $(Au)n^+$-π-ν-n типа не имеет диодного вида, что объясняется наличием встречно включенных переходов n^+-π и π-ν. Это же обстоятельство объясняет меньшие токи при прямом напряжении смещения. Понятие прямого и обратного напряжений смещения вводится здесь для π-ν–перехода.

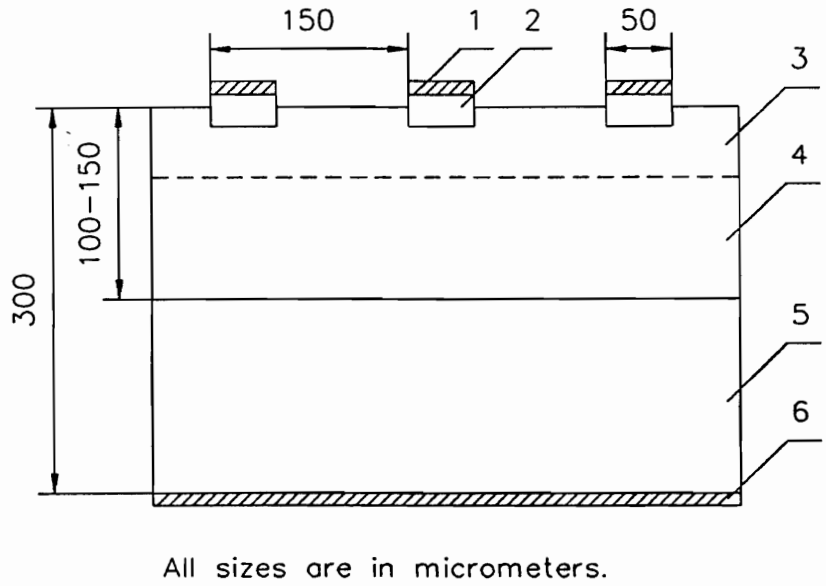

Рис. 1. Разрез структуры $(Au)n^+$-π-ν-n типа. 1 — омический контакт $Au - n^+$; 2 — микрополоска n^+–типа; 3 — π–область; 4 — ν–область; 5 — подложка n–типа; 6 — омический контакт $Au - n$.

Технологические трудности с получением удовлетворительного омического контакта к $GaAs\,p$–типа приводят к увеличению собственных шумов полупроводниковой структуры, что заставило отказаться на данном этапе от дальнейшего использования детекторов p-π-ν-n–типа. Для испытаний в пучках заряженных частиц нами были выбраны детекторы $(Au)n^+$-π-ν-n–типа, так как полоски с нанесенным золотом на длине 2 см имеют сопротивление 10-100 Ом, что значительно увеличивает величину снимаемого токовым усилителем сигнала, по сравнению с сигналом с полосок n^+–типа, имеющих сопротивление больше 1 кОм. Были изготовлены $(Au)n^+$-π-ν-n–детекторы двух различных топологий, с шагом стрипов 150 мкм и шириной полосок 50 мкм, с шагом стрипов 50 мкм и шириной полосок 10 мкм.

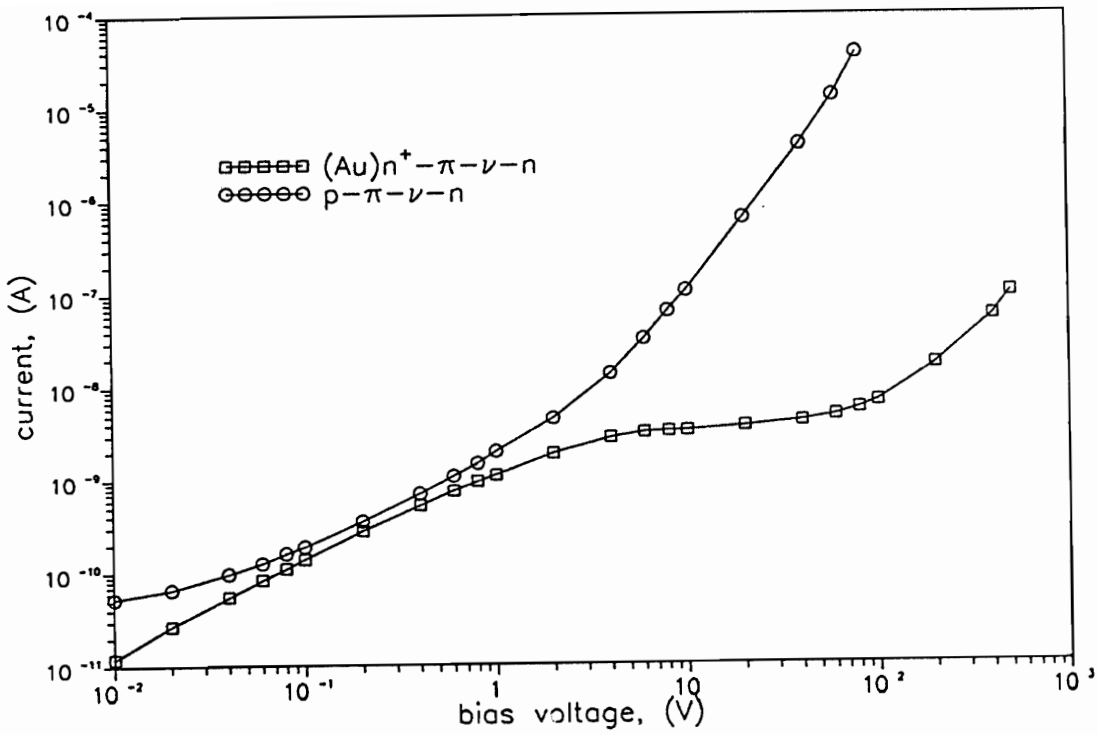

Рис. 2. Прямые ветви вольт-амперных характеристик.

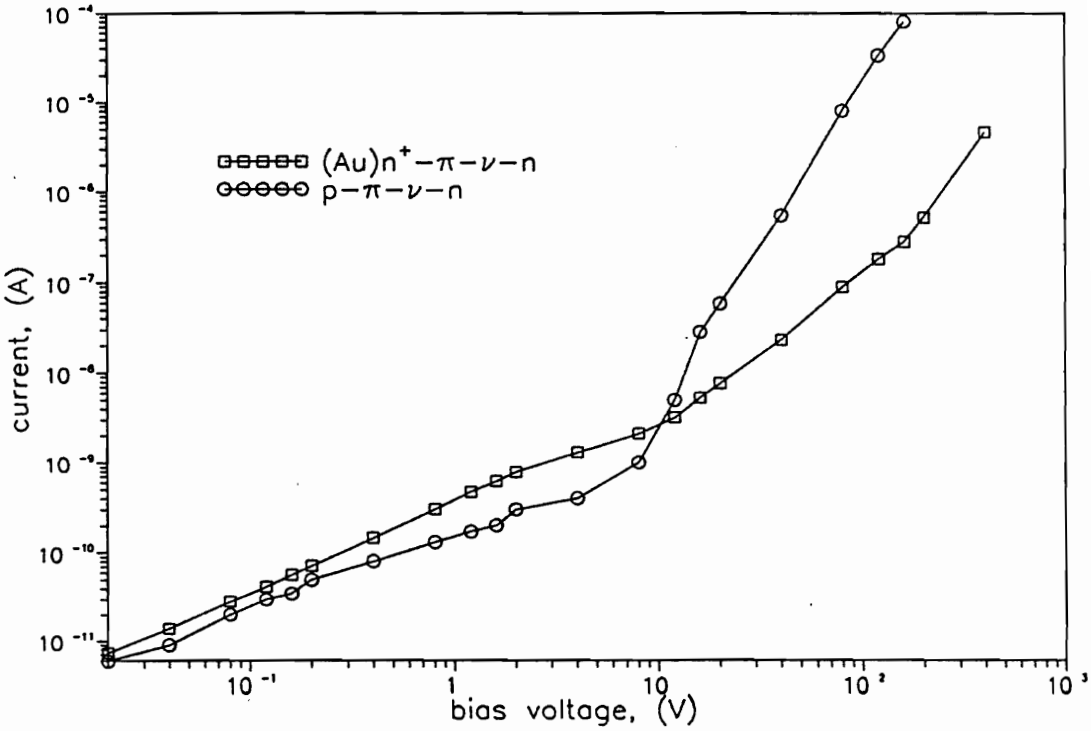

Рис. 3. Обратные ветви вольт-амперных характеристик.

2. Результаты исследований детекторов в пучках заряженных частиц

2.1. Измерения с радиоактивным изотопом Ru^{106}

Для предварительных оценок работоспособности детекторов изучался их отклик при облучении β–частицами радиоактивного изотопа Ru^{106}. На рис. 4 представлена схема проведения измерений.

Сигнал с детектора снимался в аналоговом виде для проведения в дальнейшем амплитудного анализа. Триггер для запуска стробируемого интегратора $LeCROY$ $2249A$ вырабатывался по схеме самозапуска от изучаемого сигнала, длительность ворот была выбрана 20 нс. В качестве усилителей первого каскада использовался усилитель "Гарантия" [4], включенный в режим прямой токовой связи с детектором.

При изготовлении микрополосковых детекторов в едином технологическом процессе изготавливаются образцы – "свидетели", для проведения дополнительных тестов. Образец свидетель представляет собой кристалл $GaAs$ толщиной 350 мкм и площадью 2×2 мм^2 с той же внутренней структурой, что и детектор, но без полосок на поверхности – со сплошной контактной площадкой.

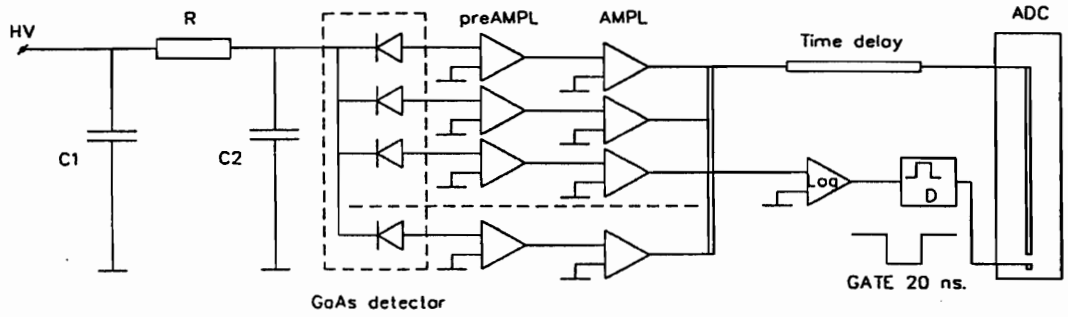

Рис. 4. Схема проведения эксперимента.

В тестовых измерениях сигнала от β-частиц было установлено, что при подаче обратного напряжения смещения сигнал от микрополоскового детектора примерно в 5 раз меньше чем от образца свидетеля. При данной полярности напряжения смещения область пространственного заряда (ОПЗ) расположена в $\pi-$ и $\nu-$слоях, причем при увеличении напряжения смещения расширение ОПЗ происходит так, что не распространяется непосредственно к полоскам на поверхности. Таким образом образуется n^+-π–слой не занятый ОПЗ. Удельное сопротивление π–слоя порядка 10^9 Ом·см и его толщина (30 ± 10) мкм. В результате происходит резистивное де-

ление сигнала на паразитных резисторах n^+-π–слоя. Как следствие, не удалось получить отделения сигнального распределения от шумового.

Как видно из ВАХ (рис. 2), существует возможность работать на n^+-π–переходе, при обратном смещении которого, ОПЗ непосредственно прилегает к сигнальным полоскам и резистивное деление заряда не наблюдается. Надо заметить, что при тестовых измерениях на образцах свидетелях сигнальные распределения практически эквивалентны как при использовании n^+-π в качестве ОПЗ, так и при использовании π-ν–перехода (рис. 5). Безусловно, при данном режиме работы несколько возрастают темновые токи, приводя к увеличению $\sigma_{шума}$ в среднем на 300 e^-. В следующей генерации микрополосковых детекторов будет предпринята попытка уменьшить толщину π–слоя до единиц микронов с целью уменьшения паразитной резистивной толщины с тем, чтобы можно было использовать π-ν–переход.

2.2. Работа детекторов в пучках заряженных частиц

Первые исследования детекторов проводились в пучке π–мезонов ($E = 40$ ГэВ) в Протвино. Исследовалась эффективность регистрации детекторов $(Au)n^+$-π-ν-n–типа. Топология данного детектора представлена на рис. 1, шаг между полосками 150 мкм, ширина стрипа 50 мкм.

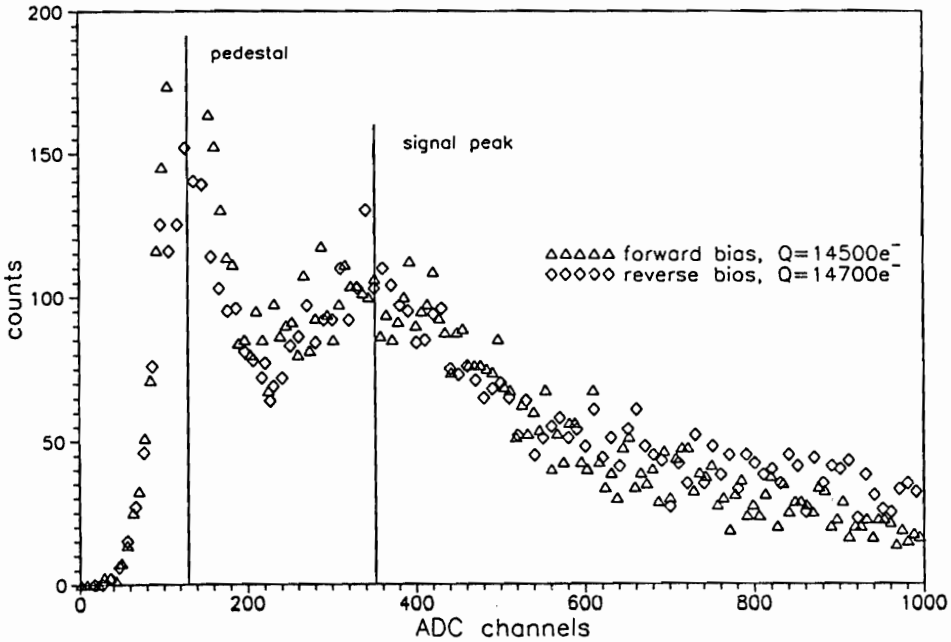

Рис. 5. Ионизационные потери для электронов с $E = 2$ $МэВ$ при различных полярностях напряжения смещения.

При проведении эксперимента в триггер были включены три сцинтилляционных счетчика, площадью 10×10 см^2, расположенных на базе 10 м по оси пучка, в качестве основного определяющего счетчика использовалось сцинтилляционное волокно

диаметром 300 мкм имеющее оптический контакт с двумя ФЭУ, расположенное на расстоянии 1.5 см от детектора параллельно стрипам, и пальчиковый сцинтиллятор с одним ФЭУ, перпендикулярно. Таким образом, эффективная площадь триггера 0.7×0.03 см^2.

На рис. 6. представлено сигнальное распределение для одного из стрипов, полученное в данном эксперименте. Наиболее вероятное собранное зарядовыделение на одном стрипе $12 \cdot 10^3$ e^-, отношение сигнал/шум – 6. Измерения проводились при напряжении смещения 300 В.

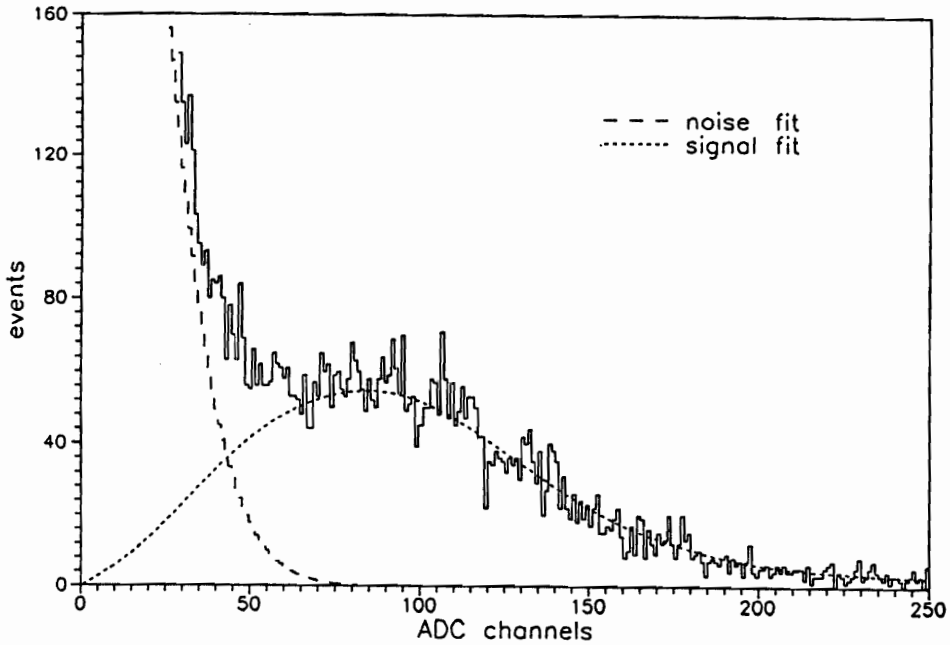

Рис. 6. Спектр сигнала для одного из стрипов (шаг 150 мкм).

На рис. 7 показана "тень" от волокна на детекторе, ширина которого равна диаметру определяющего счетчика. Из отношения суммы сигналов в стрипах, попавших в "тень", к общему числу срабатываний триггера получено значение эффективности регистрации для детектора данной топологии $\varepsilon = 50\%$. Анализ кластера распределения сигналов между стрипами показал, что $2 \cdot 4\sigma_{clus} = 75$ мкм, что согласуется с определенной эффективной шириной чувствительной зоны из геометрии топологии.

Для детекторов $(Au)n^+$-π-ν-n–типа с шагом 50 мкм и шириной стрипа 10 мкм проведено два эксперимента.

I этап. На пионном пучке ЦЕРНа с импульсом 5 ГэВ/с при эффективной площади триггера 2×2 см^2 получены результаты, представленные на рис. 8 и 9.

На рис. 8. приведено сигнальное распределение для одного из стрипов, работавшего при напряжении смещения 70 В, отношение сигнал/шум в этом канале ~ 9.6, наиболее вероятное собранное зарядовыделение $\sim 10 \cdot 10^3$ e^-.

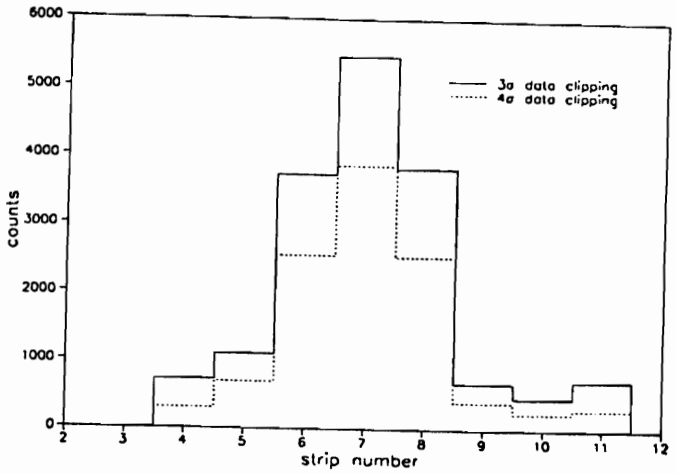

Рис. 7. "Тень" от волоконного счетчика на детекторе (шаг 150 мкм).

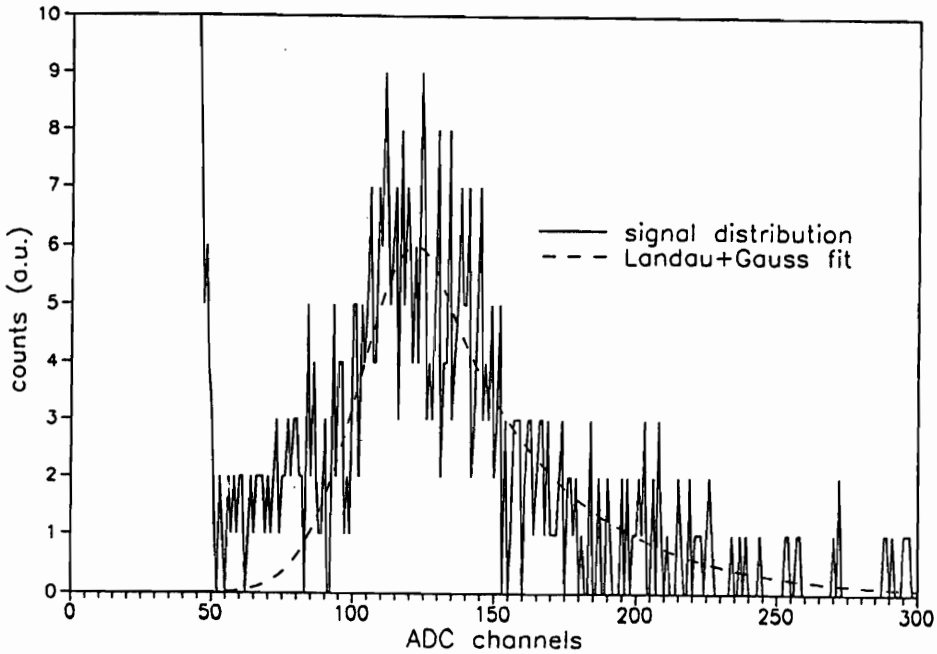

Рис. 8. Спектр сигнала для одного из стрипов (шаг 50 мкм).

На рис. 9. представлен средний кластер распределения заряда между стрипами в данном эксперименте. Из анализа данного распределения видно, что $2 \cdot 4\sigma_{clus} =$ 100 мкм больше шага между стрипами, что позволяет сделать вывод об отсутствии мертвых зон у детектора данной топологии. В данном эксперименте невозможно прямое измерение эффективности регистрации, так как площадь определяющего триггера была больше включенной площади детектора.

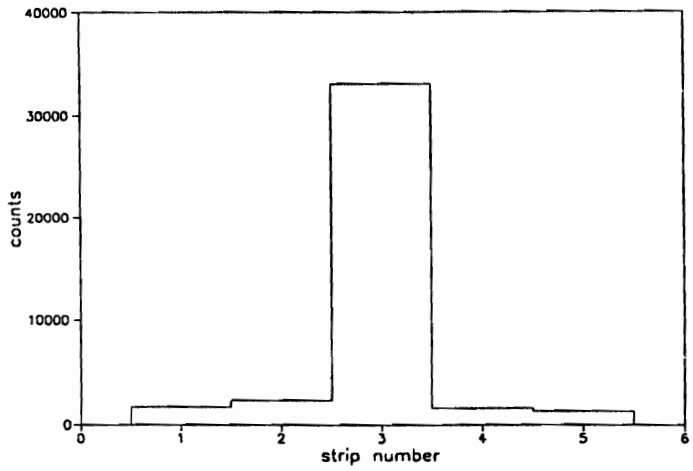

Рис. 9. Средний кластер события (шаг 50 мкм).

II этап. Работа с данным детектором была продолжена на протонном пучке (E=70 ГэВ) в Протвино. Схема эксперимента аналогична описанной выше для детектора с шагом 150 мкм. В измерения были включены 20 каналов электроники. Напряжение смещения было увеличено до 95 В, так как при данном напряжении смещения у стрипов изучаемого участка детектора темновые токи равны.

На рис. 10 и 11 представлено сигнальное распределение для одного из стрипов и "тень" от сцинтилляционного триггера соответственно. Наиболее вероятный собранный сигнал $\sim 10 \cdot 10^3$ e^-, отношение сигнал/шум – 7.

Эффективность регистрации (ε) определялась как отношение суммы сигнальных событий всех полосок, попавших в тень триггера к общему числу срабатываний системы с учетом случайных совпадений. Таким образом, получаем $\varepsilon = 76\%$ при пороге определения сигнала $4 \cdot \sigma_ш$ для каждого канала и $\varepsilon = 98.7\%$ при пороге $3 \cdot \sigma_ш$. Из анализа среднего кластера распределения заряда между стрипами для одного события (рис. 12) имеем: эффективная ширина чувствительной зоны для одного стрипа $2 \cdot 4\sigma_{clus} = 110$ мкм больше чем шаг стрипов, что также подтверждает ожидания об эффективности регистрации для детекторов данной топологии близкой к 100%. У данных детекторов основным фактором, влияющим на эффективность регистрации является отношение сигнал/шум. Улучшить отношение сигнал/шум можно за счет увеличения ширины ОПЗ и, как следствие, увеличения наиболее вероятного зарядовыделения, а также за счет уменьшения вклада собственных шумов детектора.

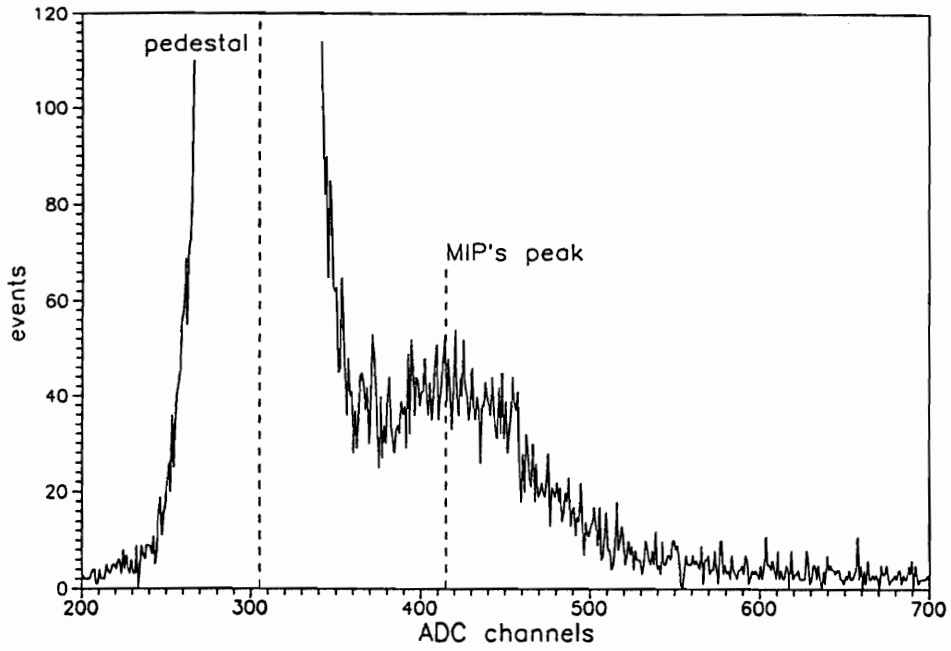

Рис. 10. Спектр сигнала для одного из стрипов (шаг 50 мкм).

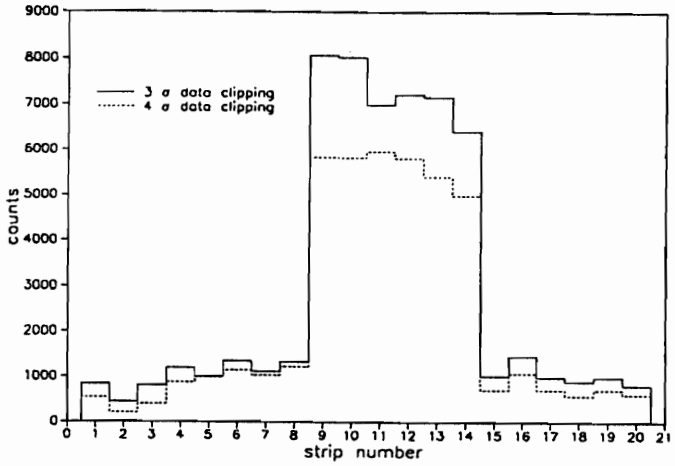

Рис. 11. "Тень" от волоконного счетчика на детекторе (шаг 50 мкм).

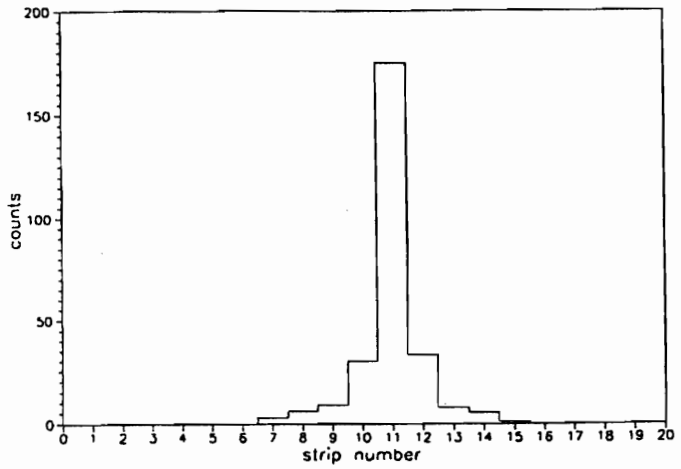

Рис. 12. Средний кластер события (шаг 50 мкм).

В таблице представлены значения вероятности появления деления заряда между соседними стрипами в набранных событиях. Зарядовый кластер при этом определялся следующим образом. В каждом событии определялся стрип с сигналом больше порога определения ($1.5\ \sigma_{шума} - 3.5\ \sigma_{шума}$). Затем сканировались соседние каналы, и в случае, если сигнал в них превышал порог определения, значение кластера увеличивалось на количество таких каналов. Как и в случае кремниевых микрополосковых детекторов, у $GaAs$–детекторов для большинства частиц, пересекающих детектор перпендикулярно, выделившийся заряд собирается в основном на одном стрипе.

Вероятность деления заряда между стрипами						
Детектор (шаг в мкм)	1 стрип (%)	2 стрипа (%)	3 стрипа (%)	4 стрипа (%)	5 стрипов (%)	Порог определения сигнала
50	66	26	3.6	3	0.6	$1.5\ \sigma_{шума}$
150	63	29	5.8	1.6	0.7	
50	73	23	0.6	2.4	0.6	$2\ \sigma_{шума}$
150	78	19.7	1.8	0.3	0.09	
50	80	16	1.8	1.8	0.4	$3\ \sigma_{шума}$
150	88	11.5	0.5	0.07	0.01	
50	84	14	0.6	1.4	0	$3.5\ \sigma_{шума}$
150	92.7	7	0.17	0.05	0.02	

Заключение

Таким образом, результаты испытаний первых прототипов микрополосковых *GaAs* детекторов, показали, что уже в настоящее время есть возможность изготовления радиационно стойких координатных детекторов на арсениде галлия, пригодных к использованию в физических экспериментах. В последующем предстоит работа по совершенствованию эксплуатационных характеристик этих детекторов: повышению уровня сигнала; увеличению отношения сигнал/шум; увеличению рабочих площадей детекторов и их однородности.

Список литературы

[1] Воробьев А.П. и др. – Препринт ИФВЭ 91-192. Протвино, 1991.
Chmill V.B. et al. // Nucl. Instr. and Meth. 1993. A326 P.310.
Chmill V.B. et al. // Nucl. Instr. and Meth. 1994. A340. P.328.

[2] Воробьев А.П. и др. – Препринт ИФВЭ 93-95. Протвино, 1993.
The *GaAs* Collaboration, CERN/DRDC 94-32;
RD8 Status Report, October 5, 1994;
Chmill V.B. et al. ATLAS Internal Note, INDET-NO-036, 3rd February 1994.

[3] ATLAS Technical Proposal, CERN/LHCC/94-43, LHC/P2, 15 December, 1994.

[4] Golovin V.M. et. al. – Preprint IHEP 89-231, Protvino, 1989.

Рукопись поступила 9 марта 1995 г.

А.П.Воробьев и др.
Первые результаты испытаний арсенид-галлиевых микрополосковых детекторов.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы LaTeX.
Редактор Н.В.Ежела

Подписано к печати 10.03.95 г. Формат 60 × 84/8.
Офсетная печать. Печ.л. 1,5. Уч.-изд.л. 1,15. Тираж 240. Заказ 215.
Индекс 3649. ЛР №020498 06.04.1992.

Институт физики высоких энергий, 142284, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 95-46, И Ф В Э, 1995