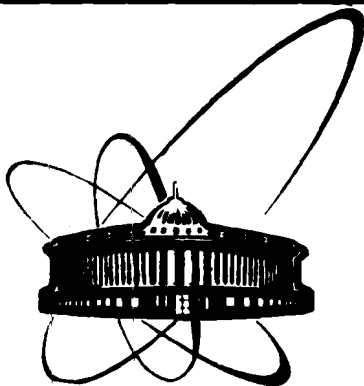


89-445



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

В 24

13-89-445

Л. С. Барабаш, Е. Бельцаж, Ю. Б. Гуров*,
Э. И. Мальцев, Л. Месарош, Ю. П. Петухов,
А. Г. Пименов, В. Г. Сандуковский

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ
МИКРОСТРИПОВЫЙ ДЕТЕКТОР
С РЕЗИСТИВНЫМ СЛОЕМ

Направлено в журнал "Nuclear Instruments
and Methods"

*Московский инженерно-физический институт

1989

Полупроводниковые микроструктурные детекторы (МСД) используются в последние годы большой популярностью как прецизионные трековые приборы, особенно в экспериментах в области физики высоких энергий. Дана из основных проблем, возникающих при разработке и создании МСД, — это получение оптимального соотношения между точностью регистрации координат трека, частотой и количеством каналов считывания информации. В обычных МСД [1], когда сгенерированная информация идет с каждого трека, точность регистрации определяется расстоянием между центрами стрипов — шагом S и равна, как известно,

$$\sigma = S / \sqrt{12}. \quad (1)$$

Очевидно, что получение микронной точности для детекторов протяженностью $3 \div 5$ см требует значительного количества каналов считываемой электроники. Один из путей уменьшения числа каналов — метод емкостного деления [2,3] — позволяет считать их количество в

несколько раз за счет того, что считывание осуществляется с интервалом $3 \div 6$ стрипов. При этом точность определения координат по-прежнему не может быть лучше (1). Так, для детекторов с шагом стрипов 20 мкм и при считывании с каждого второго стрипа получена $\sigma = 8,7$ мкм [3].

Точность регистрации треков можно улучшить, если использовать распределение заряда, возникающее вследствие ионизации носителей в процессе сброса в детекторе. В этом случае информация регистрируется несколькими стрипами, что позволяет опережать координаты событий по центру тяжести получаемых зарядовых распределений.

[4] Как показано в работе, учет ионизационного заряда позволяет получить $\sigma = 4,5$ мкм для детектора с толщиной 300 мкм и шагом стрипов 20 мкм (в отличие от $S/\sqrt{12} = 5,8$ мкм). Однако структура детектора должна иметь шаг стрипов порядка дисперсии зарядового распределения, которая для используемых толщин кремния не превышает 10 мкм.

Привлекательным, на наш взгляд, решением вопроса оптимизации соотношения точность - количество каналов считывания является использование деления собираемого в МСД заряда на резистивном слое между соседними стрипами [5]. Ожидаемая при этом точность будет [5,6]

$$\sigma = \alpha S \sigma_{\text{шум}} / E, \quad (2)$$

где S - межстриповое расстояние, $\sigma_{\text{шум}}$ - шумы канала электроники, E - энергия, выделенная в детекторе, α - коэффициент, зависящий от способа вычисления центра тяжести зарядового распределения (например, для метода средневзвешенного $\alpha \approx 2$, если при вычислении координаты используется 4-5 стрипов).

Использование такого подхода позволило получить $\sigma = 22$ мкм для МСД с толщиной 900 мкм и межстриповым расстоянием 300 мкм. Заметно уменьшая число каналов электроники при сравнительно высокой точности, метод [5] имеет недостаток в том, что точность (2) получается только для межстриповых промежутков. Для областей детектора непосредственно под стрипами точность зависит от ширины стрипов.

Настоящая работа посвящена исследованию возможностей координатного полупроводникового детектора, имеющего один из электродов в виде непрерывно распределенного резистора и внешнюю систему стрипов для считывания информации.

ДЕТЕКТОР. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

Основу исследуемого прибора составляет непрерывный позиционно-чувствительный детектор [7], изготовленный из n -кремния с удельным сопротивлением $\rho \approx 13$ кОм·см. Конструкция детектора показана на рис.1. Выпрямляющий контакт диода создавался по традиционной технологии поверхностно-барьерных детекторов (напыление золота в вакууме). Резистивный электрод (противоположная p - n -переходу сторона детектора) в первоначальном варианте был изготовлен с помощью низкотемпературной (130°C) диффузии лития. Но из-за недостаточной величины поверхностного сопротивления литиевого слоя для наших исследований был изготовлен детектор, в котором резистивный слой формировался тонкой необязанной областью детектора. Контакты на краях резистивного слоя выполнены с помощью диффузии лития (400°C) с последующим напылением алюминия.

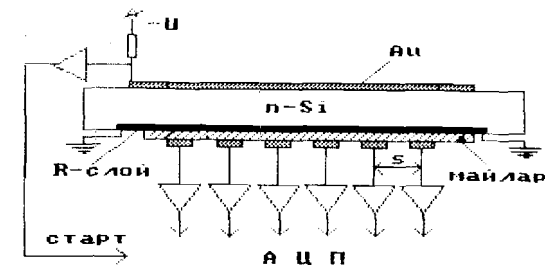


Рис.1. Схема конструкции детектора.

Считывание информации о треке частицы производилось системой внешних электродов, выполненных в виде стрипов на отдельной печатной плате и изолированных от резистивного слоя детектора с помощью пленки майлара толщиной 30 мкм. Используемые системы стрипов имели шаг $S=1,25$ мм и 0,5 мм. Размеры детектора: толщина - 812 мкм, рабочая площадь - 21×5 мм².

Сигналы, индуцированные на стрипах за время стробирования, усиливались гибридными зарядочувствительными усилителями ($\sigma_{\text{шум}} \approx 1$ кэВ для Si при $C_{\text{вх}}=0$), далее подавались на входы АЦП и обрабатывались (центроидный поиск) с помощью ЭВМ.

Для оценки динамики ожидаемых зарядовых распределений были сделаны расчеты на основе модели, развитой для непрерывных позиционно-чувствительных детекторов [8]. Эквивалентная схема детектора представляется в виде распределенной RC-линии (рис.2), где R - сопротивление резистивного слоя, а C - суммарная емкость детектора, стрипов, входа усилителей, монтажа. Предполагается, что в момент времени $t=0$ соответствующая локальная емкость C_0 в точке X_0 получит заряд Q_0 , произведенный падающей частицей. Это является начальным условием для математического описания процессов, в течение которых весь заряд сосредоточен в месте падения частицы и будет передаваться к заземленным выводам RC-линии. Процессы переадачи описываются дифференциальным уравнением:

$$R_1 C_1 \frac{dU}{dt} = \frac{d^2 U}{dx^2} + \frac{d^2 U}{dy^2}, \quad (3)$$

где U - напряжение, t - время, R_1 и C_1 - сопротивление и суммарная емкость на единицу длины детектора соответственно.

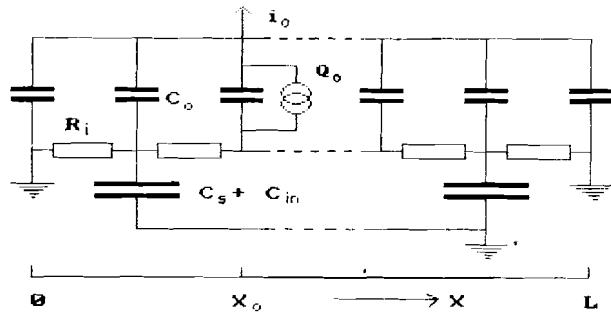


Рис.2. Эквивалентная схема детектора для описания процессов передачи заряда Q_0 , образованного частицей.

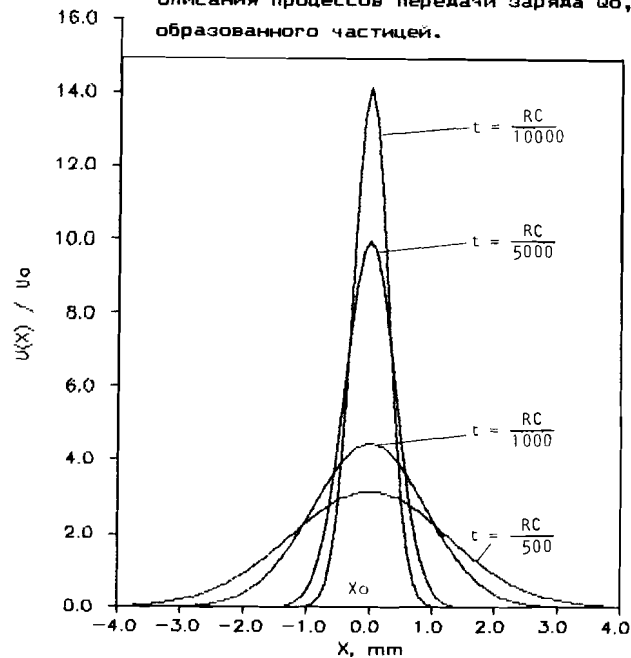


Рис.3. Распределения потенциала, образованного зарядом Q_0 (в точке X_0), вычисленные как функция X с параметром t для детектора длиной $L=21$ мм.

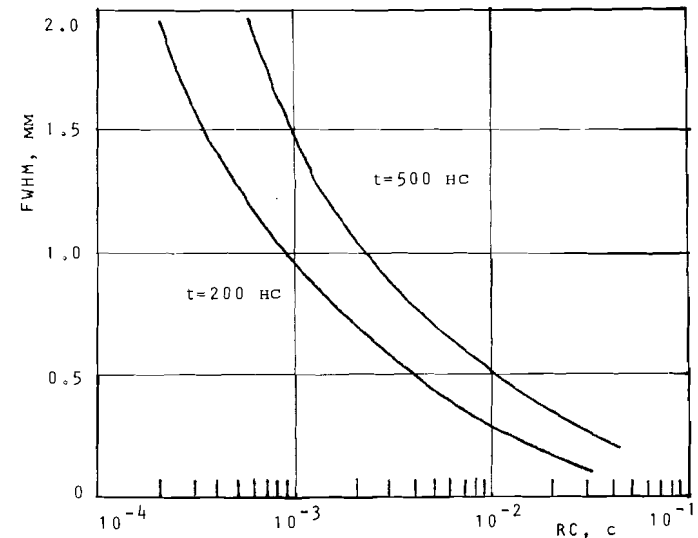
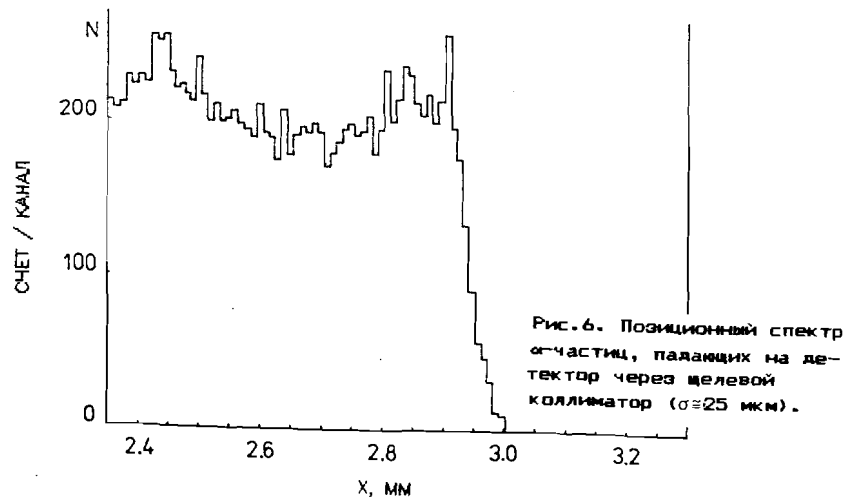
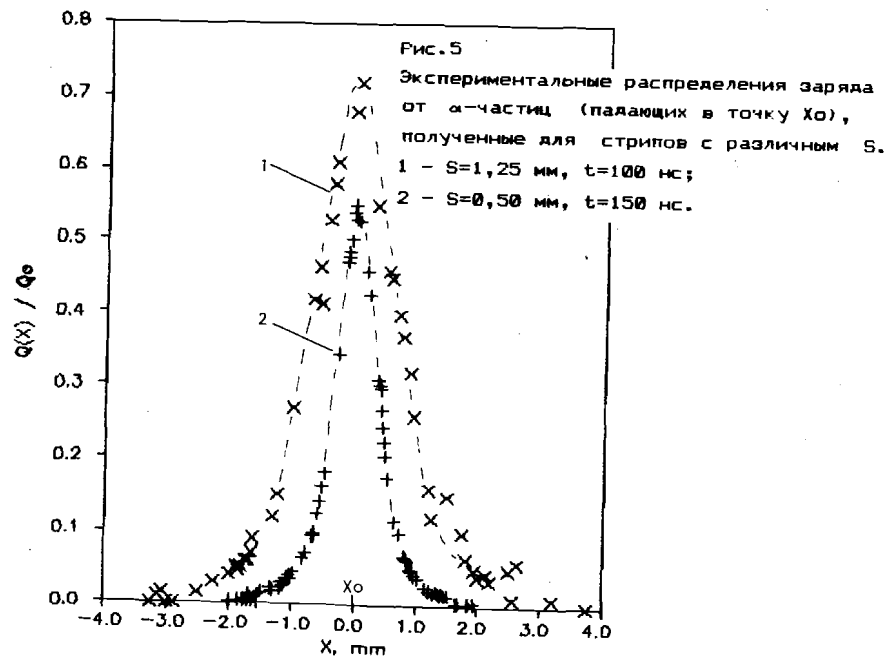


Рис.4. Зависимости FWHM распределений $U(X)$ от величины RC детектора.

Решением (3) для однокоординатного случая с граничными условиями ($U=0$ для $X=0, L$; L - длина резистивного электрода) будет

$$U(X_0, X, t) = \frac{2Q_0}{C} \sum_{n=1}^{\infty} \sin(n\pi X_0/L) \sin(n\pi X/L) \exp(-n^2 \pi^2 t/RC). \quad (4)$$

Для иллюстрации на рис.3 показаны расчеты распределения $U(X)$ для различных t . Регистрируя с помощью системы стрипов соответствующее зарядовое распределение, можно определять по центру тяжести координату частицы с точностью в соответствии с формулой (2). При этом шаг стрипов, время интегрирования t (длительность стробирования и длительность задержки строба) необходимо выбирать так, чтобы распределение заряда регистрировалось более чем тремя стрипами. На рис.4 представлены расчетные зависимости озадаемых ширин распределений на полувысоте (FWHM) от величины RC для $t=200$ и 500 нс. Ясно, что при заданной величине RC детектора получение точности (2) возможно, когда шаг стрипов не превышает соответствующей величины FWHM.



РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения проводились с α -частицами ^{239}Pu . Детектор работал в режиме полного обеднения. Сопротивление резистивного слоя при этом составляло $R = 2 \text{ МОм}$, суммарная емкость системы детектор - стрипы - усилители $C \approx 270 \text{ пФ}$. Распределения заряда по x регистрировались при различных t (длительность строба плюс время задержки). Длительность строба варьировалась в диапазоне $30-50 \text{ нс}$, время задержки строба - в диапазоне $0 + 150 \text{ нс}$. На рис. 5 показаны зарядовые распределения, полученные с помощью систем внешних стрипов с шагом $S=0,5$ мм и $S=1,25$ мм. Распределение заряда по x , вычисленное согласно (4), имеет $\text{FWHM}=0,65 \text{ мм}$. Величина FWHM зарегистрированных распределений больше за счет конечной ширины стрипов и составляет $0,7 \text{ мм}$ при $S=0,5$ мм и $1,5 \text{ мм}$ при $S=1,25$ мм. Полученное согласие FWHM с расчетными оценками указывает на приемлемость принятой модели расчета.

Была сделана оценка координатного разрешения детектора. Для этого детектор был облучен α -частицами через коллиматор размером $2 \times 0,8 \text{ мм}$, установленный так, что одна из сторон ($0,8 \text{ мм}$) была параллельна стрипам. В качестве примера на рис. 6 представлен один из спектров. Полученная при этом точность составила $\sigma \approx 25 \text{ мкм}$, что находится на уровне точности юстировки края коллиматора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования характеристик непрерывного позиционно-чувствительного детектора, совмещенного с внешней системой сигнальных электродов-стрипов, показывает перспективность использования предлагаемого принципа координатной регистрации заряженных частиц. Подтверждением этого, на наш взгляд, являются такие достоинства прибора, как:

- заметно меньшее по сравнению с обычными микростриповыми детекторами количество каналов электроники при сохранении высокой точности регистрации координаты;
- сравнительная простота технологии изготовления детектора и возможность использования одной и той же системы считывания информации для различных детекторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Heijne E. and Jarron P. Proc. of a Workshop held at Fermilab, October 15-16, 1981, p.1; Heijne E. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1984, v.226, p.63; Alberganti R. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1986, v.A248, p.337.
2. England J. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1981, v.185, p.43.
3. Hyams B. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1983, v.205, p.99.
4. Belau E. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1983, v.214, p.253.
5. Amendolia S.R. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1984, v.226, p.82.
6. Radeka V. Nucl. Instr. and Meth., 1984, v.226, p.209.
7. Сандуковский В.Г. ОИЯИ, 13-82-90, Дубна, 1982.
8. Kalbitzer S. and Melzer W. Nucl. Instr. and Meth., 1967, v.56, p.301; Kalbitzer S. and Stumpfi W. Nucl. Instr. and Meth., 1970, v.77, p.300.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 июня 1989 года.

Барабаш Л.С. и др.

13-89-445

Полупроводниковый микростриповый детектор
с резистивным слоем

Описан кремниевый однокоординатный детектор, созданный на основе непрерывного позиционно-чувствительного счетчика и внешней системы сигнальных электродов-стрипов для считывания информации. Резистивный слой детектора, необходимый для получения зарядового распределения от регистрируемой частицы, формировался тонкой необедненной областью кремния. Активная площадь детектора $21 \times 5 \text{ мм}^2$, толщина 812 мкм. С использованием метода центроидного поиска зарядового распределения показана возможность получения пространственной точности $\sigma \approx 25 \text{ мкм}$ /для α -частиц ^{239}Pu / при шаге считывающих электродов 0,5 мм.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

Перевод авторов

Barabash L.S. et al.

13-89-445

Semiconductor Microstrip Detector
with a Resistive Layer

Silicon one-coordinate detector made on the basis of a continuous position-sensitive counter and external system of readout strips is described. The resistive layer of the detector which is necessary to obtain charge distribution from the incident particle was formed by a thin undepleted region of the detector. The active area of the detector was $21 \times 5 \text{ mm}^2$ and its thickness was 812 μm . A possibility to obtain the position precision (using centroid finding of the charge) $\sigma \approx 25 \mu\text{m}$ for α -particles of ^{239}Pu for the strip pitch of 0.5 mm is shown.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1989