

219104913

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

IFUE - OEF -- 90 - 65.

И Ф В Э 90-65  
ОЭФ

И.П.Барков<sup>\*)</sup>, И.М.Газиев<sup>\*)</sup>, Л.Л.Курчашников,  
В.В.Рыкалин, А.И.Сарайкин, В.А.Станкевич<sup>\*)</sup>

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
МИКРОПОЛОСКОВЫХ КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Направлено в ПТЭ

---

<sup>\*)</sup> РНИИРП, Рига

Протезно 1990

Аннотация

Барков И.П. и др. Создание и исследование характеристик микрополосковых кремниевых детекторов: Препринт ИВВВ 90-65. - Протвино, 1990. - 8 с., 7 рис., библиогр.: 4.

В работе описана технология создания МКД, исследованы характеристики данного класса детекторов. Ток утечки диодного элемента при полном обеднении не превышает 10 нА. Отношение сигнал/шум около 6 при использовании электроники предварительного усиления с постоянной времени формирования порядка 20 нс.

Abstract

Barkov I.P. et al. Construction and Investigation of Silicon Microstrip Detector Characteristics: IHEP Preprint 90-65. - Protvino, 1990. - p. 8, figs. 7, refs.: 4.

This paper describes various phases in constructing a silicon microstrip detector, together with the results of investigations characteristics. The leakage current of diode element is not higher than 10 nA. The signal-to-noise ratio is about 6. The preamplifiers with time constant about 20 ns are used.

Микрополосковые кремниевые детекторы (МКД) используются в экспериментах физики высоких энергий уже более 15 лет и в настоящее время получили широкое распространение<sup>/1/</sup>. МКД предполагается использовать во многих экспериментах на УНК, в частности на установке НЕПТУН. Однако до настоящего времени работоспособных детекторов отечественного производства не существовало. Ниже приведены результаты измерений характеристик МКД, разработанных и созданных в РНИИРП (г. Рига) в 1987-1989 гг. Работа проводилась в рамках эксперимента НЕПТУН.

## 1. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

За основу взят технологический цикл, описанный в работе<sup>/2/</sup>. Используется монокристаллический кремний n-типа, выращенный методом бестигельной зонной плавки и характеризующийся следующими основными показателями: удельное сопротивление 1,5-2,5 Ом·см; время жизни неосновных носителей 1-2 нс; диаметр слитка 76 см; ориентация <111>. После резки, шлифовки и полировки пластины поступают на цикл планарной технологии (рис.1). Толщина пластин 380 мкм.

При изготовлении детектирующих структур использовались различные методы пассивации: окисление при температуре 1000°C в среде сухого кислорода методом открытой трубы и пирогенное окисление при 1000°C в среде водорода и кислорода. Толщина окисла составляет 0,25 мкм (рис.1а). При проведении окисления, а также при предварительной химической обработке и подготовке оснастки основной упор делается на достижение чистых условий, при которых концентрация тяжелых металлов на поверхности пластин становится

минимальной. Достигались режимы пассивации, обеспечивающие низкие концентрации фиксированного заряда в окисле и поверхностных состояний.

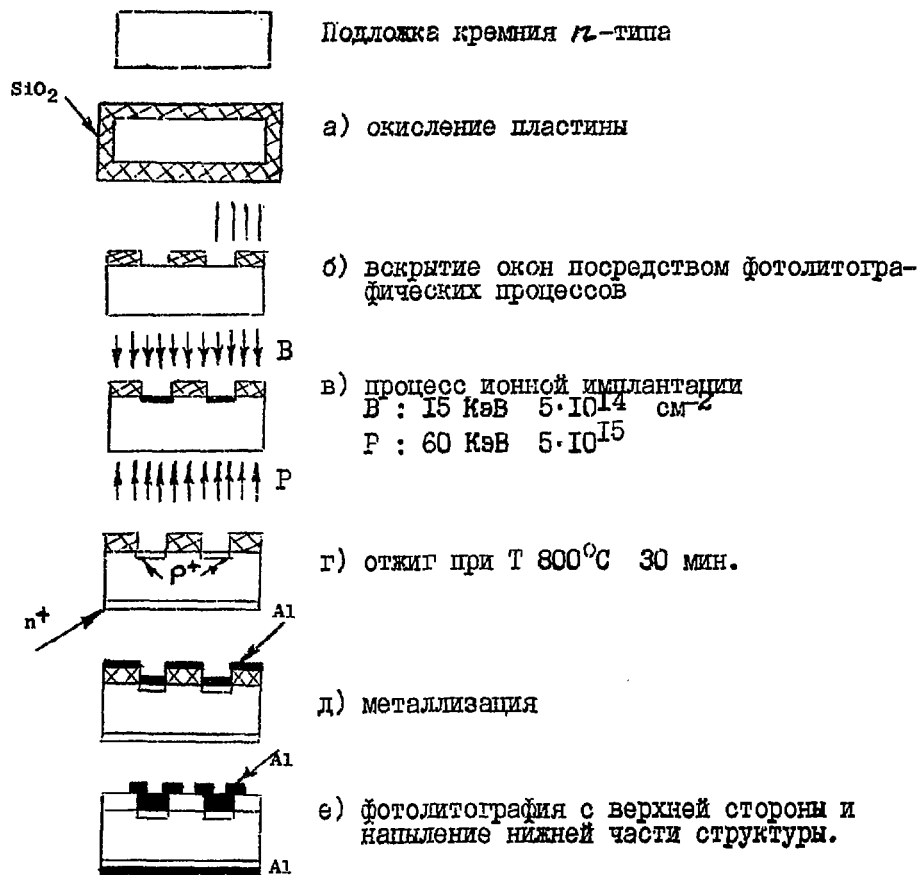


Рис.1. Процесс изготовления МКД: а) исходная пластина кремния; б) окисленная пластина; в) вскрытие окон посредством фотолитографии; г) ионная имплантация; д) отжиг; е) металлизация; ж) формирование стрипов и нижней частиц структуры.

На окисленных пластинах методом фотолитографии вскрывалась область, представляющая собой набор полосок шириной от 10 до 100 мкм и длиной от 30 до 40 мм в зависимости от заданных размеров

стрипов (рис.1б). Подготовленные структуры подвергались далее ионному легированию бором для создания р-п-переходов (рис.1в). При этом использовался метод так называемого демпферного легирования, обеспечивающего такой профиль р-п-перехода, который исключает возможность замыкания металлизированного контакта на нелегированную область исходного п-кремния. Энергия и доза ионов бора составляла соответственно 16 кэВ и 60 мкКл. Эффект каналирования исключался за счет заданного при резке пластин угла разориентации, составляющего  $7^\circ$  относительно <111>. На обратной стороне подложек создавался слой  $p^+$  посредством ионной имплантации фосфора энергией 60 кэВ и дозой 600 мкКл. Лицевая сторона пластины при этом защищалась толстым слоем фоторезиста. Отжиг пластин после легирования проводился при температуре  $750-800^\circ\text{C}$  в течение 30 минут в сухом азоте (рис.1г). Для металлизации р-п-переходов использовались сплавы Al-Si либо Ti-Al (рис.1д).

Толщина верхнего электрода, состоящего из набора полосок, перекрывающего р-п-переходы, равна 0,6 мкм. Толщина сплошного нижнего электрода к  $p^+$ -контакту составляла 1,0 мкм. Лицевая сторона пластины далее пассивировалась слоем низкотемпературного окисла толщиной 0,4 мкм, в котором вскрывались окна, где располагались металлизированные контакты площадки (рис.1е).

Для уменьшения плотности поверхностных состояний на поверхности кремниевых пластин проводили низкотемпературный отжиг в среде влажного азота при температуре  $430^\circ\text{C}$ . Таким образом, применяемая технология использует четыре процесса фотолитографии.

Изготовленная таким способом детектирующая структура МКД крепилась на специальную керамическую плату с системой проводников из  $\text{Cr-Cu-Ni}$ . Контактные площадки МКД методом ультразвуковой сварки соединялись с проводниками.

Изготовленные стрипы имели следующие характеристики:

- шаг 50-200 мкм;
- размер кристалла  $40 \times 40 \text{ мм}^2$  и менее;
- число стрипов задается размером кристалла и шагом;
- ток утечки не более 10 нА на стрип при полном обеднении;
- разброс тока утечки не более 15%.

Для сравнения характеристик можно привести данные по детекторам фирмы ENERTEC (SCHLUMBERGER)  $\rho \sim 2-3 \text{ ком} \cdot \text{см}$ ,  $S = 40 \times 40 \text{ мм}^2$ , ширина стрипа 100 мкм, толщина детектора 300 мкм, типичный ток утечки на стрип при полном обеднении ( $20^\circ\text{C}$ ) около 5 нА.

## 2. СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Одной из существенных характеристик МКД, определяющих возможность его использования для регистрации минимально ионизирующих частиц, является ток утечки  $I_{ут}$  при напряжении полного обеднения. Измерение вольт-амперной и вольт-Фарадной характеристик детектора проводилось на планарной структуре-спутнике, имеющей площадь  $25 \text{ мм}^2$ . На рис.2 приведена зависимость  $I_{ут}$  от напряжения смещения  $U_D$  для детекторов, сделанных из кремния, резистивностью  $\rho=2,5 \text{ КОМ}\cdot\text{см}$  (а) и  $1,5 \text{ КОМ}\cdot\text{см}$  (б). Видно, что  $I_{ут}$  не превышает  $15 \text{ нА}$  и, следовательно, ток утечки strips площадью  $4 \text{ мм}^2$  не более  $2,5 \text{ нА}$ . Последующие измерения подтвердили это.

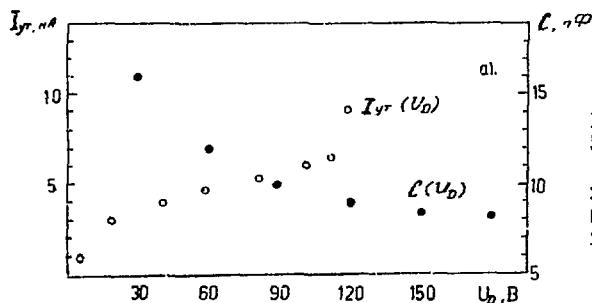
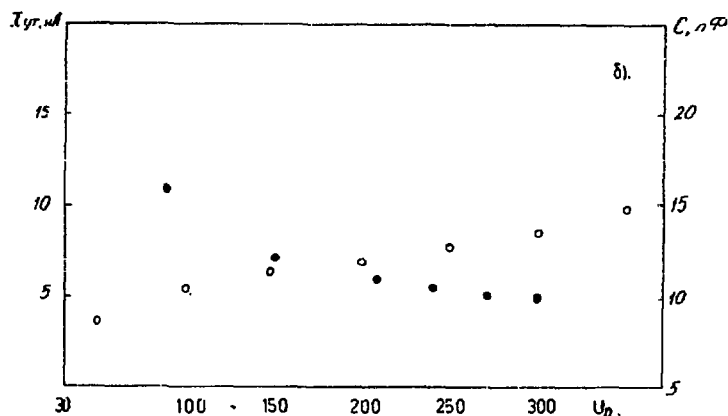


Рис.2. Зависимость тока утечки strips (○) и емкости strips (●) от напряжения смещения для МКД, сделанного из кремния резистивностью  $2,5 \text{ КОМ}\cdot\text{см}$  (а) и  $1,5 \text{ КОМ}\cdot\text{см}$  (б).



Ток утечки strips  $\sim 10 \text{ нА}$  можно считать приемлемым, так как эта величина типична для детекторов такого типа<sup>/3/</sup> и, кроме того, при использовании предусилителя с биполярным транзистором в

качестве головного элемента основным источником параллельного шума будет ток базы, который составляет  $\sim 10$  мкА.

На рис.2 приведены также вольт-фарадные характеристики планарных структур. Видно, что: 1) собственная емкость стрипа площадью  $4 \text{ мм}^2$  составит  $\sim 1,5+2$  пФ, что гораздо меньше емкости монтажа ( $\sim 10$  пФ); 2) полное обеднение для образца с  $\rho = 2,5 \text{ ком}\cdot\text{см}$  наступает при  $U_D \sim 200 \text{ В}$ , а с  $\rho = 1,5 \text{ ком}\cdot\text{см}$  - при  $U_D \sim 300 \text{ В}$ .

### 3. АМПЛИТУДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для определения способности МСД регистрировать минимально ионизирующие частицы проводилось измерение амплитудного спектра при облучении детектора электронами от радиоактивного источника  $^{106}\text{Ru}$  по схеме, приведенной на рис.3. Радиоактивный источник И находился в свинцовом контейнере на расстоянии 2 см от МСД, после которого располагался свинцовый коллиматор толщиной 10 мм и диаметром отверстия 3 мм. Строб-импульс вырабатывался сцинтилляционным счетчиком С, сделанным на основе пластикового сцинтиллятора толщиной 5 мм и диаметром 20 мм. Сигнал с ФЭУ подавался на стандартный формирователь Ф с длительностью выходного импульса 30 нс, после чего использовался для управления амплитудным анализатором АИОС4.

Сигнал со стрипа усиливался маломушным токочувствительным предусилителем ПУ<sup>1/4</sup>, имеющим эквивалентный шумовой заряд 2500 электронов и длительность выходного импульса  $\sim 30$  нс на уровне 0,1 амплитуды. Линия задержки ЛЗ использовалась для оптимального расположения сигнала относи-

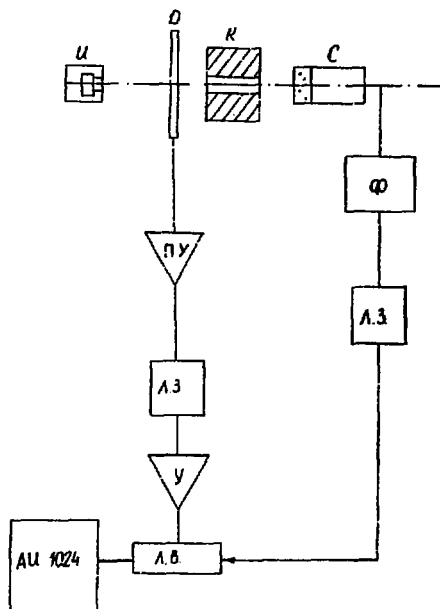


Рис.3. Схема измерения амплитудных характеристик.

тельно строб-импульса. После широкополосного усилителя у сигнал подавался на амплитудный анализатор. Так как используемый анализатор не позволяет работать с управляющим импульсом менее 500 нс, то для измерения амплитудного спектра сигнал с МКД пропускался предварительно через быстрые линейные ворота ЛВ, а АИГО24 включался в режиме самозапуска.

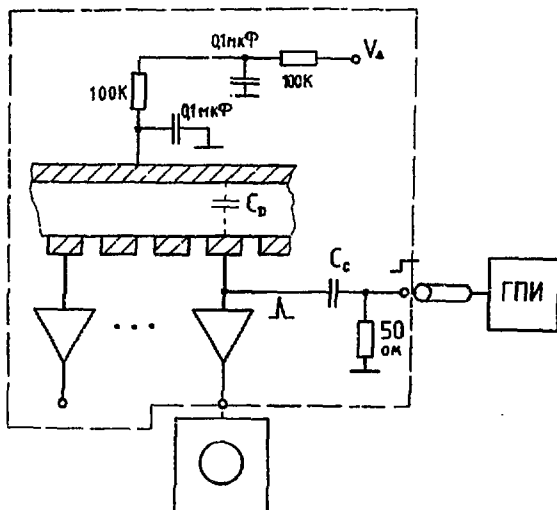


Рис.4.  
Схема включения МКД.

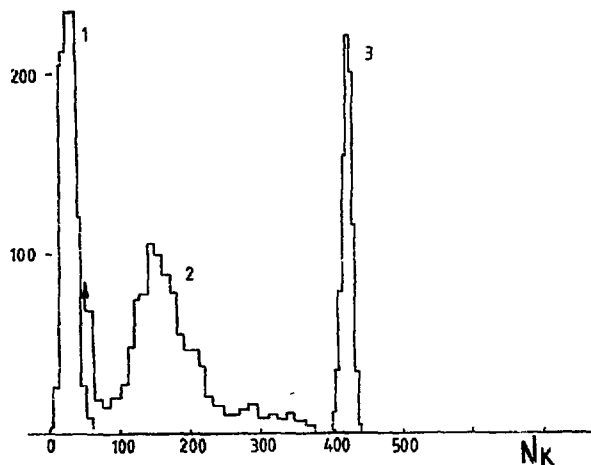


Рис.5.  
Амплитудный спектр при облучении МКД электронами от  $^{106}\text{Ru}$ . Кривая 1 - пьедестал, размытый шумами; 2 - спектр от электронов; 3 - калибровочный сигнал величиной 80 тыс. электронов.

При измерениях использовались несколько стрипов, к каждому из которых подключался предусилитель. Остальные стрипы заземлялись. Схема включения МКД показана на рис.4. Для калибровки шкалы АИП в величине заряда, выделившегося в детекторе, использовался генератор прямоугольных импульсов ГПИ и калибровочная емкость  $C_c = 1,6$  пФ.

Характерный амплитудный спектр показан на рис.5. Напряжение на детекторе 210 В, что соответствует практически полному обеднению. Видно, что: 1) спектр от минимально ионизирующих частиц достаточно далеко отстоит от шумового спектра, что позволит регистрировать частицы с эффективностью, близкой к 100%; 2) эквивалентный шумовой заряд составляет  $\sim 3$  тыс. электронов, т.е. детектор не вносит избыточных шумов.



Амплитудный спектр рис.5 позволяет определить средний выделяемый заряд в детекторе. Зависимость величины этого заряда от напряжения смещения детектора  $U_D$  показана на рис.6 (кривая 1). Там же показана зависимость эквивалентного шумового заряда от  $U_D$ . Видно, что заряд, выделяемый в детекторе, близок к ожидаемой величине (30 тыс. электронов при толщине обедненной зоны 380 мкм) и отношение сигнал/шум больше 5 при  $U_D > 100$  В.

Кроме измерений на  $^{106}\text{Pu}$  были проведены также измерения амплитудного спектра от  $\alpha$ -частиц  $^{239}\text{Pu}$  с линиями 5,137 МэВ и 5,099 МэВ. Облучение проводилось со стороны стриповой структуры. Детектор при температуре  $20^\circ\text{C}$  помещался в вакуумный бокс.

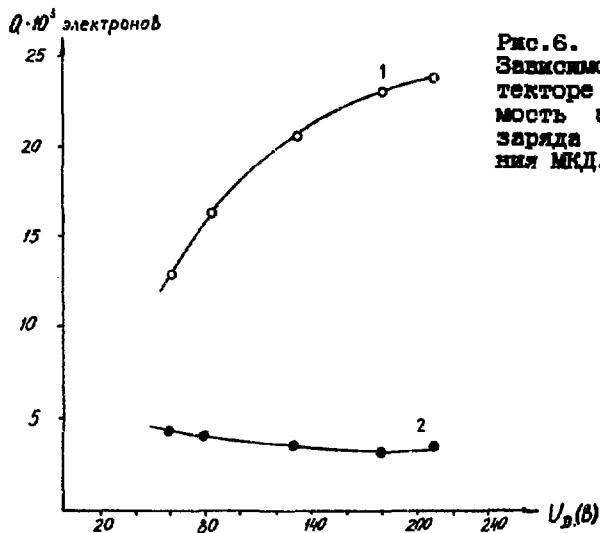


Рис.6. Зависимость выделяющегося в детекторе заряда (1) и зависимость эквивалентного шумового заряда (2) от напряжения смещения МКД.

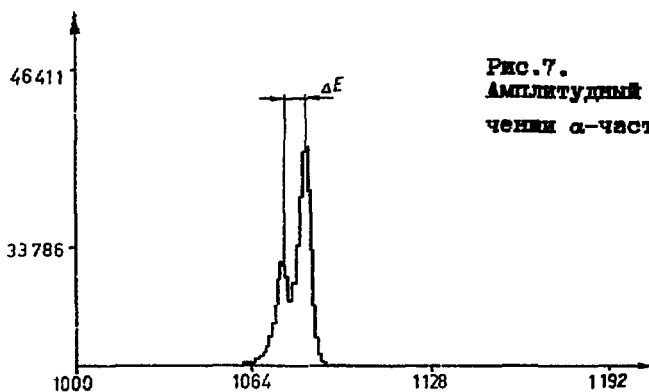


Рис.7. Амплитудный спектр МКД при облучении  $\alpha$ -частицами  $^{239}\text{Pu}$ .

Амплитудный спектр показан на рис.7. Разность энергий двух линий  $\Delta E = 38$  КэВ позволяет оценить энергетическое разрешение МКД, которое определяется толщиной метровой слоя  $\sim 1$  мкм, статистикой образования заряда и шумовыми характеристиками зарядо-чувствительного предусилителя и составляет порядка 30 КэВ.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Отработана технология создания микрополосковых кремниевых детекторов и получены образцы МКД, пригодные для использования в физическом эксперименте.

2. Образцы МКД с удельным сопротивлением  $1,5+2,5$  ком·см имеют ток утечки стрипа не более 10 нА при полном обеднении.

3. Измерение амплитудных спектров при облучении МКД электронами от  $^{106}\text{Ru}$  показало возможность регистрации минимально ионизирующих частиц с эффективностью, близкой к 100%.

4. Показана возможность использования быстродействующей электроники предварительного усиления, сделанной на отечественной элементной базе.

В заключение авторы выражают благодарность Р.С.Шувалову за полезные консультации при проведении измерений.

#### Список литературы

1. Акимов Ю.К. и др. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Kenner S.// NIM. 1980. V. 169. № 2. P. 449.
3. Bosttcher H. et al.// NIM. 1984. V. 226. № 1. P. 72.
4. Краснокутский Р.Н. и др. - Препринт ИФВЭ 89-206. Протвино, 1989.

*Рукопись поступила 15 мая 1990 г.*

И.П.Барков и др.

Создание и исследование характеристик микрополосковых  
кремниевых детекторов.

Редактор Н.В.Евела. Технический редактор Л.П.Тимошина.

---

Подписано к печати 30.05.90. Т-10527. Формат 60x90/16.  
Офсетная печать. Печ.л. 0,5. Уч.-изд.л. 0,60. Тираж 260.  
Заказ 1038. Индекс 3649. Цена 9 коп.

---

Институт физики высоких энергий, 142284, Протвино  
Московской обл.

9 коп.

Индекс 3649.

ПРЕПРИНТ 90-65, ИФВЭ, 1990