

**РАЗРАБОТКА И ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНИЕВЫХ
КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ
ЭНЕРГИЙ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

В. Л. Перевертайло

ГП «НИИ микроприборов» НТК «ИМК» НАН Украины, Киев

Представлены разработки ряда кремниевых координатно-чувствительных детекторов частиц и излучений для экспериментов в физике высоких энергий и ядерной физике, проводимых коллаборациями HERA-B, LHCb и научными учреждениями Европы и Украины. Детекторы были спроектированы с помощью отечественных программных средств проектирования интегральных схем (ИС) и изготовлены на технологических линейках по изготовлению серийных кремниевых ИС, что позволяет осуществлять массовый выпуск. При проведении этих работ разработан ряд технологий кремниевых детекторов различного назначения и методик измерения их электрофизических параметров. Испытания и исследования координатно-чувствительных детекторов показали, что они обеспечивают надежную регистрацию полезных событий на фоне шума (соотношение сигнал/шум не менее 20 для необлученных образцов) и высокое пространственное разрешение (для геометрии представленных конструкций типичное значение - десятки микрон), в том числе и при радиационных нагрузках в несколько мегарад и выше.

1. Введение

Кремниевые координатно-чувствительные (микростриповые) детекторы на основе р-і-п диодных структур в настоящее время являются одним из основных инструментов исследования различных частиц и излучений, являющихся продуктами ядерных реакций и взаимодействия высокоэнергетических частиц во встречных пучках и с мишенями [1 - 7]. Их преимуществами являются небольшая энергия, расходуемая на образование электронно-дырочной пары, которая в кремнии составляет около 3,6 эВ, высокая тормозная способность, что придает компактность детектору, высокая скорость набора статистики, наиболее отработанная технология производства кремниевых детекторов, высокая радиационная стойкость, способность работать в магнитных полях, в вакууме и жидкости [1 - 7].

Однако при разработке и изготовлении детекторов необходимо решить ряд технологических проблем, в том числе связанных с требованиями малых токов утечки (1 - 10 нА/см²) при использовании высокоомного кремния, обеспечением бездефектной структуры на больших площадях (1 - 10 см² и более) при большом количестве элементов детектора (10 - 10³ стрипов), а также с ограничениями стандартного оборудования, предназначенного для изготовления кристаллов размерами до 10 × 10 мм², в то время как кристаллы микростриповых детекторов имеют на порядок большие размеры.

Представленные в данной работе разработки ряда кремниевых координатно-чувствительных детекторов частиц и излучений были предназначены для экспериментов в физике высоких энер-

гий и ядерной физике, проводимых коллаборациями HERA-B, LHCb и научными учреждениями Европы и Украины. Детекторы были спроектированы с помощью отечественных программных средств проектирования интегральных схем (ИС) и изготовлены на технологических линейках по изготовлению серийных кремниевых ИС, что позволяет осуществлять в случае необходимости массовый выпуск детекторов.

2. Конструкция микрострипового детектора

Координатно-чувствительные детекторы на кремниевых р-і-п диодах представляют собой ряд узких р⁺-полосок (стрипов) на лицевой стороне пластины высокоомного кремния n-типа, образующих р⁺-n переходы с n-подложкой. Шаг, ширина, длина стрипов и зазор между ними являются основными конструктивными параметрами микростриповых детекторов [1 - 7].

Микростриповые детекторы позволяют получить информацию о координате частицы, реконструировать трек, а также определить энергию частицы. Пространственное разрешение зависит от шага стрипов Р и для простейшей модели составляет $P/\sqrt{12}$ [8]. Шаг стрипов Р определяется задачами эксперимента (вершинные, трековые или другие детекторы) и может выбираться от десятков микрон, например [4], до сотен [8, 9]. Кроме того, разрешение может улучшаться при обработке сигналов (кластеров сигналов). Используя многослойные детекторы (трекеры) можно более точно определить пространственные характеристики трека частицы, регистрируя ее в нескольких точках [8].

Примером описанного стрип-детектора является детектор для измерений на 225 МэВ элек-

тронном пучке (ХФТИ, г. Харьков, Украина), который содержал 38 стрипов с шагом 400 мкм, шириной p^+ -области 350 мкм и зазором между стрипами 50 мкм. Длина стрипов 40 мм. С помощью этого стрип-детектора было проведено ряд экспериментов, в том числе снят спектр упругого рассеяния пучка электронов на углеродной мишени ^{12}C . Угол рассеяния электронов составлял 35° , пленка углерода имела толщину 147 мг/см^2 [9]. Спектр, полученный на стрип-детекторе, приведен на рис. 1 [9], энергия пика упруго рассеянных электронов соответствует рассчитанной величине.



Рис. 1. Спектр энергии электронов с первоначальной энергией 225 МэВ, рассеянных на мишени ^{12}C .

3. Технология изготовления кремниевых микростриповых детекторов

3.1. Технология планарных детекторов с прямой связью с p-n переходами

В рассмотренных выше детекторах сигнал выводится непосредственно с p-n-перехода через контакт к нему (прямая связь). Технология их изготовления известна из литературы, например [10].

Приведенная в работе [10] технология изготовления стрип-детекторов с ионно-имплантированными p-n-переходами была модифицирована нами с целью улучшения параметров и возможности использования на технологической линии серийного производства ИС и была реализована при изготовлении ряда стрип-детекторов.

Детекторы изготавливались на пластинах кремния n-типа зонной плавки (FZ) ориентацией $\langle 111 \rangle$ с начальной концентрацией носителей $\sim 3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ и с временами жизни неосновных носителей заряда около 1 мс, диаметр пластин 76 мм (или 100 мм), толщина пластин 300 - 400 мкм. После выращивания пассивирующего окисла (толщина SiO_2 - (0,15 - 0,2) мкм, $T = (850 - 950)^\circ\text{C}$, атмосфера с добавлением HCl) осуществлялось формирование p^+ -n переходов ионной имплантацией бора с энергией $E = 25$ -

- 30 кэВ и дозой имплантации $\sim 5 \cdot 10^{14} \text{ ион/см}^2$. Отличием данной технологии от известной является то, что имплантация бора осуществляется через слой окисла толщиной около 500 Å, с целью утоньшения p^+ -n перехода, предотвращения от загрязнений активной области в технологическом процессе, а также предотвращения каналирования ионов. После имплантации поврежденный и «загрязненный» тонкий окисел стравливался и выращивался новый окисел для формирования контактных окон (отличием от известной технологии является отступ контактных окон на 5 - 10 мкм от края пассивирующего (толстого) SiO_2 и минимизация их площади. Имплантация фосфора в обратную сторону пластины осуществлялась для формирования n^+ -слоя ($E=60 \text{ кэВ}$, $D = 5 \cdot 10^{15} \text{ ион/см}^2$). Температура послеимплантационного отжига в одном варианте была 650°C , в другом - 950°C в течение 30 мин в азоте. На p^+ - и n^+ -слои наносился слой алюминия (Al) толщиной 1 мкм для формирования омических контактов. Еще одним отличием от известных технологий является нанесение пассивирующей пленки фосфоросиликатного стекла (ФСС) после формирования слоя металла с контактами для дополнительной стабилизации характеристик и защиты детекторов.

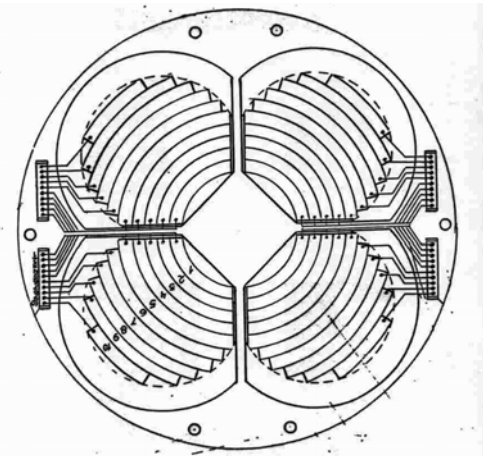


Рис. 2. Кольцевой детектор для измерения угловых распределений частиц. Максимальный диаметр стрипов 133,8 мм, минимальный - 34 мм. Размер окна для пучка в центре 30 × 30 мм.

По приведенной технологии нами были изготовлены описанные выше детекторы [9] и ряд других, в том числе кольцевой детектор (см. таблицу) для экспериментов на ионных пучках в университете Лоувейна, Бельгия (рис. 2). На кольцевом детекторе были проведены измерения угловых распределений пучка рассеянных радиоактивных ионов ^6He с энергией 14 МеВ на мишени ^{208}Pb . На рис. 3 показаны спектры энергии рассеянных ионов ^6He , зарегистрированные

кольцеобразными стрипами углового стрип-детектора [11]. Номера стрипов и величины углов рассеяния приведены на фрагментах рис. 3.

Большому номеру стрипа на рис. 3 соответствует больший радиус кольца и больший угол рассеяния регистрируемых частиц.

Кремниевые координатно-чувствительные микростриповые детекторы для регистрации ионизирующих излучений и частиц в физике высоких энергий и ядерной физике, разработанные и изготовленные в Украине

Параметры	Тип детектора				
	1	2	3	Кольцевой	Прототип ЛНСб
Площадь активной области, мм ²	16 × 40	42 × 43	2 × (52 × 26)	8900	20 × 66
Число стрипов (элементов)	38	128	2 × 8	4 × 10	64
Ширина стрипа, мкм	350	280	2900	4900	48, 60, 72
Межстриповый зазор, мкм	50	50	100	100	192, 180, 168
Шаг стрипов, мкм	400	330	3000	5000	240
Поликремниевые резисторы на кристалле детектора	-	-	-	-	+
Интегрированные переходные емкости на детекторе	-	-	-	-	+
Толщина детектора, мкм	340	300	300	300	300
Напряжение полного обеднения, В	70	70	70	70	60 - 80

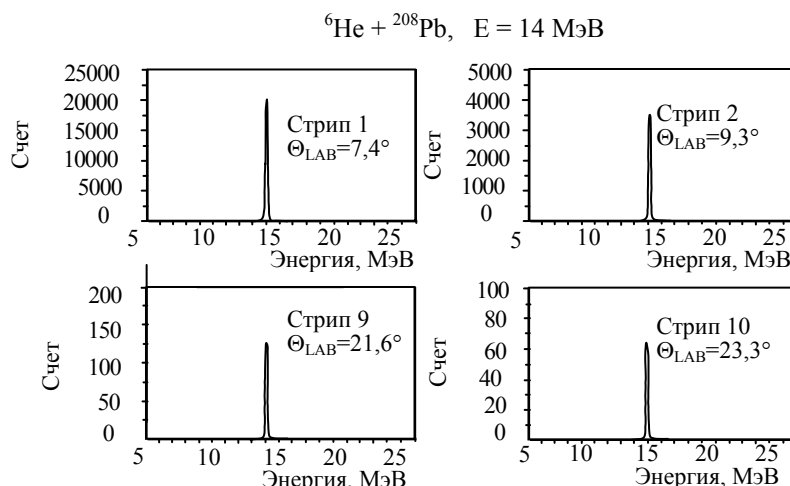


Рис. 3. Примеры спектров рассеяния пучка ионов ${}^6\text{He}$ с энергией 14 МэВ на мишени ${}^{208}\text{Pb}$ для различных углов рассеяния, зарегистрированные кольцевым детектором (для стрипов № 1, 2, ..., 10).

По описанной технологии был изготовлен 16-элементный детектор с прямой связью с p-n переходами, использовавшийся для регистрации фрагментов деления в работе [12] (см. таблицу, тип 3). Схема эксперимента показана на рис. 4. Спектры энергии фрагментов деления ${}^{252}\text{Cf}$ показаны на рис. 5 для одного стрипового элемента. Видна асимметрия деления по энергии (два пика близки к теоретическим). Левый пик соответствует тяжелым фрагментам деления, правый пик – легким фрагментам. На этом же детекторе проведены измерения временного разрешения, результаты которого показаны на рис. 6 [12]. Было достигнуто временное разрешение детектора 0,4 нс для альфа-частиц и 1,1 нс для фрагментов.

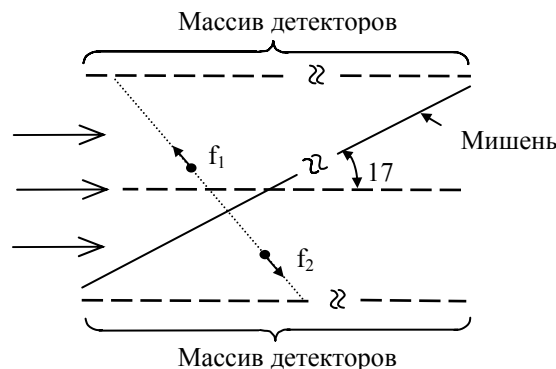


Рис. 4. Схематическое изображение, обозначающее положение мишени и массива детекторов. f_1 и f_2 соответствуют делению фрагментов, излученных в противоположных направлениях.

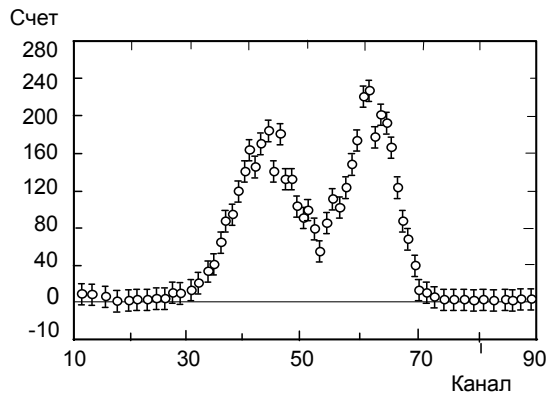


Рис. 5. Спектры энергии фрагментов деления ^{252}Cf , измеренные 16-канальным стрип-детектором. Ширина стрипа 2,9 мм, зазор между стрипами 0,1 мм, длина стрипов 52 мм.

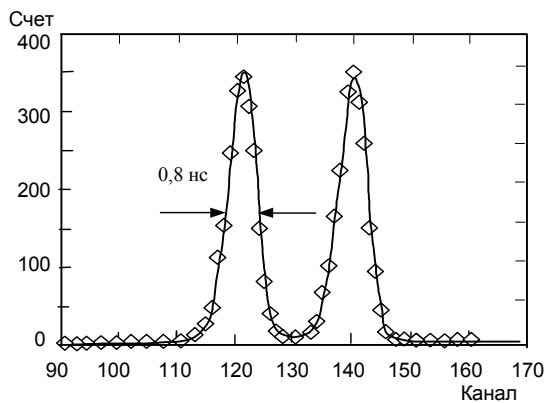


Рис. 6. Моделирование регистрации фрагментов деления стрип-детектором с помощью всплеск светодиода.

3.2. Технология изготовления стрип-детекторов с емкостной связью с р-п переходами, резисторами и переходными конденсаторами на кремниевом кристалле

Как видно из [9, 11 - 13], детекторы, изготовленные по предложенной нами технологии, показали очень хорошие спектрометрические и координатно-временные характеристики.

Впоследствии появилась усовершенствованная технология, позволяющая формировать на кремниевом чипе высокоомные резисторы и переходные конденсаторы, что значительно уменьшило трудоемкость и габариты переходных плат считывающей электроники, позволило улучшить шумовые параметры каналов электроники за счет устранения внешних соединений между детекторами и резисторами смещения, получить емкостную связь с р-п-переходом и другие преимущества. Однако усложнение технологии привело к росту числа дефектов и нами была предложена модифицированная технология, позволяющая уменьшить число дефектов и дефектных стрипов. Основным отличием этой

технологии является то, что в процессе формирования р⁺-областей методом имплантации бора использовалась маска из толстого SiO₂ без применения маскирования фоторезистом, который снимался перед имплантацией бора. Это позволило уменьшить дефектность структуры. Кроме того, нами применялось формирование п⁺-областей методом имплантации фосфора для создания геттерирующего слоя на лицевой поверхности пластины и создания контакта к подложке на лицевой стороне кристалла [13]. В этом технологическом блоке также использовалась маска из толстого SiO₂. Использовалась также описанная выше имплантация через защитный слой тонкого SiO₂ с последующим его травлением и выращиванием нового SiO₂.

На рис. 7 схематически показан технологический процесс изготовления стрип-детекторов с резисторами и переходными конденсаторами на кремниевом кристалле. Для формирования резисторов нами был использован слой поликремния, который специально для этого наносился на пластину после формирования р-п-переходов. Номинал резисторов определялся как их геометрией, так и энергией, и дозой ионной имплантации примеси при легировании поликремниевого слоя. Переходные конденсаторы формировались с помощью двухслойного диэлектрика SiO₂ + Si₃N₄, поверх которого формировался алюминиевый электрод по всей площади р⁺-области стрипа, являющийся верхней обкладкой конденсатора. Нижней обкладкой конденсатора является р⁺-область стрипа.

Структурная схема детектора, изготовленного по технологии, представленной на рис. 7, приведена схематически в разрезе вдоль стрипа на рис. 8, где соответствующими стрелками с цифрами обозначены структурные элементы стрип-детектора: поликремниевый резистор 13 в виде змейки соединен контактами с р⁺-областью стрипа 2 с одной стороны и с шиной смещения 15 – с другой стороны. Падение напряжения на резисторе может измеряться на контактной площадке 14, предназначенной для измерений («DC pad»). Диэлектрик конденсатора двухслойный и состоит из слоя SiO₂ (5) и слоя Si₃N₄ (11). Двухслойный диэлектрик обеспечивает бездефектную структуру диэлектрика на большой площади, благодаря чему конденсаторы стрипов имеют воспроизводимые параметры при числе стрипов, составляющем сотни и даже тысячи элементов. Импульсный сигнал со стрипа снимается с алюминиевой обкладки конденсатора 12, имеющей контактную площадку 12 («AC pad»). Контактные площадки «AC pad» служат для разварки стрипов, чтобы обеспечить контактирование с

входами предусилителей, на которые подаются импульсные сигналы от стрипов. Описанная структура и технология реализована на прототи-

пе микрострипового детектора для эксперимента LHCb (см. таблицу), фрагмент которого показан на рис. 9.

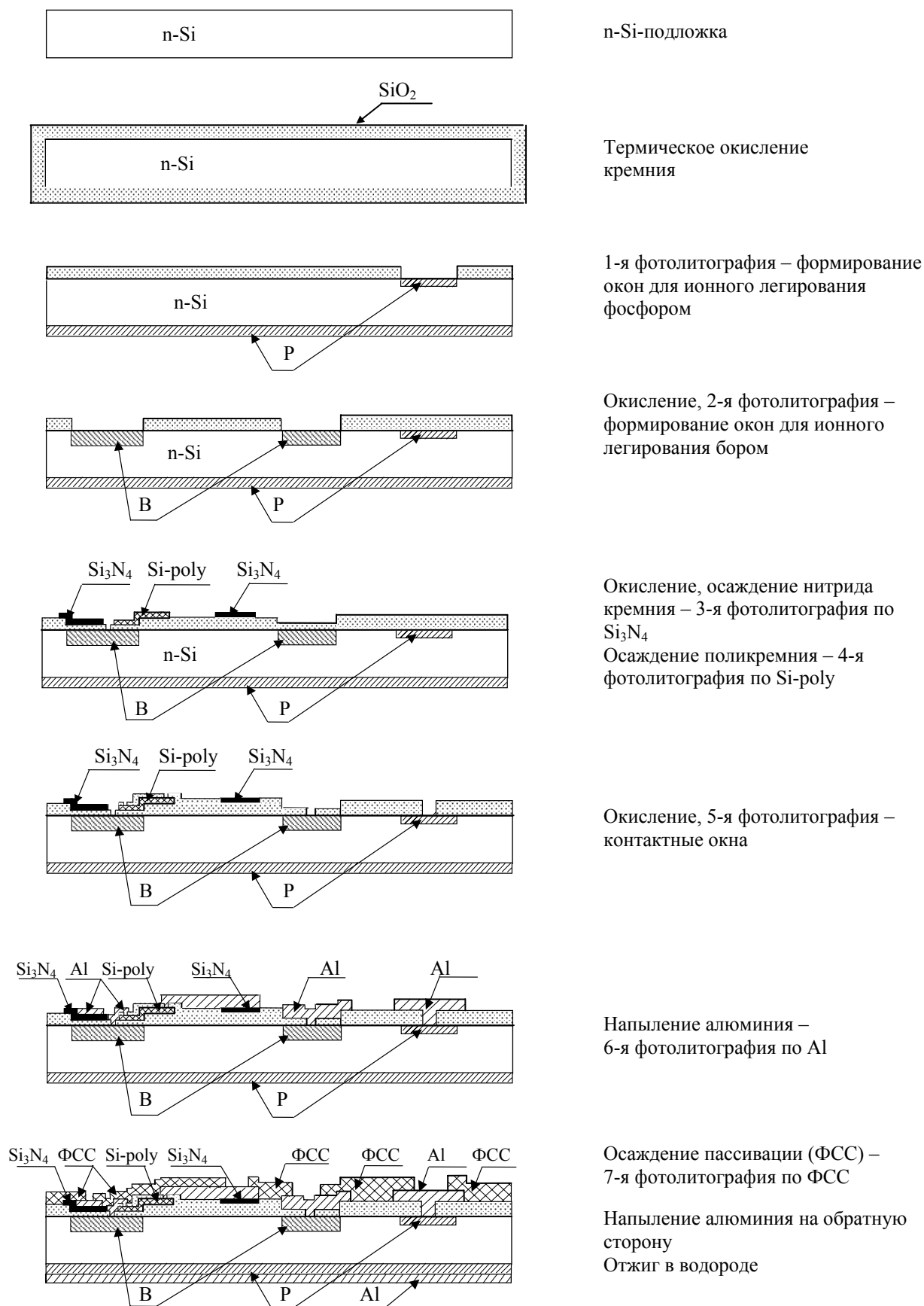


Рис. 7. Технология изготовления стрип-детекторов с резисторами и переходными емкостями на кремниевом кристалле.

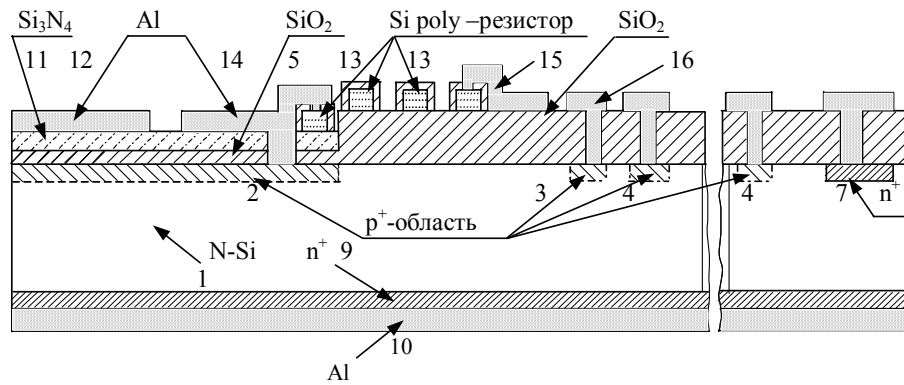


Рис. 8. Схематическое изображение детектора с ионно-имплантированными поликремниевыми резисторами и конденсаторами с диэлектрическим слоем $\text{SiO}_2 + \text{Si}_3\text{N}_4$ на кристалле.

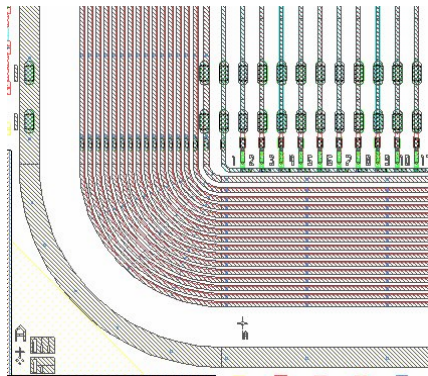


Рис. 9. Фрагмент прототипа микрострипового детектора для эксперимента LHCb.

Прототип детектора LHCb имел три секции стрипов с разным отношением ширины стрипа W к шагу стрипа P . В секции 1 ширина стрипа составляла 48 мкм ($W/P = 0,2$), в секции 2 - 60 мкм ($W/P = 0,25$) и в секции 3 - 72 мкм ($W/P = 0,3$). Шаг стрипов P был фиксированным для всех трех секций и составлял 240 мкм, общее количество стрипов в детекторе 64. Кроме того, были заложены два варианта конструкции стрипов: первый вариант, когда алюминий стрипа перекрывал область прилегающего толстого окисла на 8 мкм, второй вариант, когда алюминий не покрывал (отстоял от толстого окисла SiO_2) на 2 мкм. Активная область детектора окружена защитными p^+ -кольцами, из которых первое кольцо является активным (на него подается напряжение смещения), а остальные кольца пассивные и не имеют контактных площадок (см. рис. 9). В нижней части стрипов расположены поликремниевые резисторы и шина смещения, а также нижний ряд контактных площадок типа «DC pad» и верхний ряд контактных площадок типа «AC pad».

Для определения пространственного разрешения и эффективности реконструкции треков описанного детектора использовались пи-мезоны с энергией 9 ГэВ и мюоны с энергией 120 ГэВ.

Реконструкция треков этих частиц дает пространственное разрешение детектора 50 - 70 мкм [14], что согласуется с расчетным для данной геометрии. Эффективность реконструкции треков составляла 95 - 99,9 %. Было установлено, что спад эффективности до 95 % наблюдается в межстриповом пространстве, а с увеличением отношения ширины стрипа к шагу стрипов (W/P) наблюдается возрастание эффективности реконструкции треков [14]. Установлено также, что эффективность возрастает с увеличением приложенного напряжения. Эти результаты использованы при разработке детекторов внутреннего трека LHCb.

Потеря эффективности реконструкции треков происходит за счет падения отношения сигнал/шум ($C/\text{Ш}$) до уровня, когда существенная часть полезных событий смешивается с фоновыми. Современные микростриповые детекторы имеют максимальные значения $C/\text{Ш}$ в пределах 20 [4] - 25 [6], что позволяет достичь эффективности реконструкции треков, приближающейся к 100 %. Величины $C/\text{Ш}$ для всех трех типов описываемого прототипа микрострипового детектора LHCb измерялись на источнике ^{106}Ru и имеют наиболее вероятные значения $C/\text{Ш} = 21, 19,5$ и $18,5$ для $W/P = 0,2, 0,25$ и $0,3$ соответственно [14] для необлученных образцов детекторов.

Одной из важнейших характеристик стрип-детектора является его радиационная стойкость при облучении частицами высокой энергии. Известно [4, 8], что при этом возникают радиационные повреждения и дефекты, приводящие к увеличению токов утечки (рис. 10), например $2 \text{ мкА/см}^2/\text{Мрад}$ [4, 5], и к ухудшению эффективности детектора [4, 5, 14].

Одним из возможных путей повышения радиационной стойкости детекторов является использование специального «окиснированного кремния» с повышенным содержанием кислорода ($\geq 10^{17} \text{ см}^{-3}$) в кремнии [15]. Нами были использованы пластины окиснированного кремния

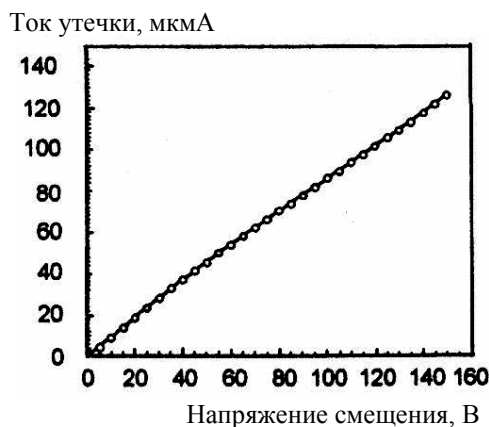


Рис. 10. Суммарный ток утечки прототипа детектора LHCb как функция напряжения смещения после облучения дозой 2 Мрад (протоны 120 ГэВ). Для необлученных детекторов ток утечки < 1 мкА.

(изготовитель "SINTEF") для изготовления прототипов детектора LHCb. Сравнение характеристик облученных детекторов на кремнии FZ $(3 - 5) \cdot 10^3$ Ом·см и аналогичном оксигенированном кремнии показало, что при уровнях радиационной нагрузки до 2 Мрад (протоны с энергией 120 ГэВ) наблюдалось уменьшение отношения С/Ш примерно до 12 (согласуется с данными [4]), соответственно наблюдался спад эффективности реконструкции треков до 95 %, причем этот спад не зависит от степени окисления исходного кремния [14]. Кроме того, детекторы из оксигенированного кремния имеют такие же электрические параметры, как и детекторы из неоксигенированного кремния, т.е. операции оксигенирования не повлияли на основные электрофизические параметры детектора.

Выводы

1. Разработаны технологии изготовления кремниевых планарных координатно-чувствительных детекторов на высокоомном кремнии, а именно:

технология детекторов с прямой связью с р-п переходами;

технология детекторов с емкостной связью с р-п переходами, включающих резисторы и переходные конденсаторы на кремниевом кристалле.

Разработанные технологии обеспечивают получение детекторов, имеющих высокие электрофизические параметры:

низкие токи утечки ($1 - 10$ нА/см²) на кремнии зонной плавки с удельным сопротивлением $(3 - 5) \cdot 10^3$ Ом·см;

бездефектную структуру детектора на больших площадях ($1 - 20$ см² и более) при большом количестве элементов детектора ($10 - 10^3$ стрипов);

однородность параметров элементов детектора при количестве элементов ($10 - 10^3$ стрипов);

воспроизводимость параметров детекторов от пластины к пластине и от партии к партии;

высокую радиационную стойкость (например, при уровне дозовых нагрузок 2 Мрад и выше детектор остается работоспособным, соотношение С/Ш остается не ниже 12, а эффективность реконструкции треков частиц снижается на 20 - 25 %).

Разработанные технологии адаптированы к технологии серийного производства ИС и обеспечивают возможность массового производства детекторов на технологических линейках по производству ИС.

2. Детекторы, изготовленные из оксигенированного кремния, имеют такие же электрофизические параметры, как и детекторы из обычного кремния, и до радиационных нагрузок порядка 2 Мрад не проявляют отличий в эффективности реконструкции треков частиц.

3. Произведены детекторы различного типа для ряда экспериментов в физике высоких энергий и ядерной физике на технологических линейках по производству серийных ИС.

4. Показано, что разработанные, изготовленные и протестированные микростриповые кремниевые детекторы для ряда экспериментов обеспечивают надежную регистрацию полезных событий на фоне шума (соотношение С/Ш не менее 20 для необлученных образцов) и высокое пространственное разрешение (для геометрии представленных конструкций значения разрешений согласуются с расчетными, их типичные значения - десятки микрон), что позволяет эффективно реконструировать треки продуктов ядерных реакций при взаимодействии встречных пучков высокоэнергетических частиц в других реакциях и взаимодействиях, в том числе и при радиационных нагрузках в несколько мегарад и выше.

Автор выражает благодарность сотрудникам ИЯИ НАН Украины В. М. Пугачу, Ю. Н. Павленко за плодотворное сотрудничество и предоставленные материалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акимов Ю.К., Игнатъев О.В., Калинин А.И., Кушнуров В.Ф.* Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 344с.
2. *Lutz G.* Semiconductor radiation detectors. - Springer, 1999. - 350 p.
3. *Перевертайло В.Л.* Создание элементной базы для ядерно-физического и радиационного приборостроения на основе кремниевой интегральной технологии // Тр. Пятой междунар. науч.-практ. конф. "Современные информационные и электронные технологии", Одесса, 17 - 21 мая 2004 г. - С. 200.
4. *Re V., Kirkby D., Bruinsma M. et al.* Lessons Learned From BaBar Silicon Vertex Tracker, Limits, and Future Perspectives of the Detector // IEEE Trans. on Nuclear Science. - 2005. - Vol. 52, No. 3. - P. 787 - 792.
5. *Bettarini S., Bondioli M., Calderini G. et al.* Measurement of the Charge Collection Efficiency after Heavy Non-Uniform Irradiation in BaBar Silicon Detector // Ibid. - No. 4. - P. 1054 - 1060.
6. *Segneri G.* Results of the Tests of a CMC tracker Inner Barrel Sub-system With a 25 ns Beam // Ibid. - P. 1182 - 1186.
7. *Allport P.P., Casse G., Losano M. et al.* Performance of P-Type Micro-Strip Detectors after Irradiation to $7.5 \times 10^{15} \text{ p} \cdot \text{cm}^2$ // Ibid. - No. 5. - P. 1903 - 1906.
8. *Spieler H.* Radiation Detectors and Signal Processing // Introduction: Vertex Detection in High Energy Physics. Okt. 8 - 12, 2001, Univ. Heidelberg. - P. 28 - 34.
9. *Evseev I.G., Rosenfeld A.B., Perevertaylo V.L. et al.* Testing of the silicon strip detectors by 225 MeV electron beam // Proc. of the third Kiev's International School on Nuclear Physics "New Trends in Nuclear Physics", Kiev, June 22 - July 1, 1992. - P. 472 - 478.
10. *Kemmer J.* Improvement of Detector Fabrication by the Planar Process // Nucl. Inst. and Methods. - 1984. - Vol. 226. - P. 89 - 93.
11. *Nemez O.F., Pavlenko Yu.N., Pugatch et al.* Silicon annular strip detector // Proc. of International symposium of atomic nuclear physic, Moscow, 16 - 19 June, 1998. - P. 346.
12. *Likhachev V.P., Perevertaylo V.L., Dias J.F. et al.* Silicon strip detectors for fission // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. - 1996. - Vol. A376. - P. 455 - 461.
13. *Перевертайло В.Л.* Характеристики і технологія виготовлення кремнієвих планарних р-і-n фотодіодів для сцинтиляційних детекторів // Електроніка і зв'язь. Тематический выпуск «Проблеми електроніки». - 2007. - Ч. 1. - С. 15 - 23.
14. *Lehner F., Pugatch V.* Description and Characterization of Inner Tracker Silicon Prototype Sensors. - LHCb Note - 2001 - 036, CERN, Geneva, 2001. - 11 p.
15. *Lindstrom G., Ahmed M., Albergo S. et al.* Radiation hard silicon detectors - developments by RD48 (ROSE) collaboration // Nuclear Instrum. and Methods in Physics Research. - 2001. - Vol. A466. - P. 308 - 326.

РОЗРОБКА ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНІЄВИХ КООРДИНАТНО-ЧУТЛИВИХ ДЕТЕКТОРІВ ДЛЯ ФІЗИКИ ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ ТА ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ

В. Л. Перевертайло

Представлено розробки ряду кремнієвих координатно-чутливих детекторів частинок і випромінювань для експериментів у фізиці високих енергій та ядерній фізиці, проведених колабораціями HERA-B, LHCb, ALICE і науковими установами Європи та України. Детектори було спроектовано за допомогою вітчизняних програмних засобів проектування інтегральних схем і виготовлено на технологічних лінійках по виготовленню серійних кремнієвих ІС, що дає змогу здійснювати масовий випуск. При проведенні цих робіт розроблено ряд технологій виготовлення кремнієвих детекторів різного призначення та методик вимірювання їх електрофізичних параметрів. Випробування й дослідження координатно-чутливих детекторів показали, що вони забезпечують надійну реєстрацію корисних подій на фоні шуму (співвідношення сигнал/шум не менш 20 для неопромінених зразків) і високу просторову роздільну здатність (для геометрії представлених конструкцій типові значення - десятки мікрон), у тому числі й при радіаційних навантаженнях у декілька мегарад і вище.

DEVELOPMENT AND CHARACTERISTICS OF SILICON COORDINATE-SENSITIVE DETECTORS FOR HIGH ENERGY PHYSICS AND NUCLEAR PHYSICS

V. L. Perevertaylo

Developments of various silicon coordinate-sensitive detectors of particles and radiations for experiments in high energy physics and nuclear physics which are carried out by HERA-B, LHCb, ALICE collaborations and scientific establishments in Europe and Ukraine are presented. Detectors were designed with the help of custom software designed on the integrated circuits and manufactured at technological lines for commercial silicon IC that allow mass production. At realization of these works a number of technologies of silicon detectors production for various purpose and techniques of measurement of their electrophysical parameters were developed. Tests and studies of coordinate-sensitive detectors were carried out. It has been shown that they are providing reliable registration of useful events (a signal/noise ratio not less than 20 for non-irradiated samples) and high spatial resolution (for geometry of designs presented typical value - tens microns), also at the radiation load of few megarad and higher.

Поступила в редакцию 24.04.07,
после доработки – 04.04.08.