



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2013-24

ЛДС

А.П. Воробьёв, С.Н. Головня, С.А. Горохов, И.С. Лобанов,

Е.В. Лобанова, С.Ю. Молодцова

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино

Д.Е. Карманов, М.М. Меркин

*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва*

**Система контроля качества изготовления
полупроводниковых микрополосковых
детекторов в ГНЦ ИФВЭ**

Направлено в ПТЭ

Протвино 2013

Аннотация

Воробьёв А.П. и др. Система контроля качества изготовления полупроводниковых микрополосковых детекторов в ГНЦ ИФВЭ: Препринт ИФВЭ 2013-24. – Протвино, 2013. - 14 с., 11 рис., библиогр.: 5.

В ГНЦ ИФВЭ создана система контроля качества изготовления полупроводниковых детекторов, используемых для оснащения экспериментальных установок полупроводниковыми трековыми детекторами. На примере тестирования полупроводниковых детекторов, изготовленных для модернизации установки СВД, описан набор используемых процедур контроля качества детекторов. Представлены результаты тестирования группы детекторов, подготовленных для установки СВД.

Abstract

Vorobiev A.P. et al. The quality assurance system for production of semiconductor microstrip detectors at IHEP: IHEP Preprint 2013-24. – Protvino, 2013. – p. 14, figs. 11, refs.: 5.

The quality assurance system for production of the semiconductor microstrip detectors, used as track detectors in experimental installations, created at IHEP. On the example of testing of the semiconductor detectors, produced for modernisation of the SVD setup, the set of procedures used in assurance system is described. The test results of the set number of the detectors, prepared for the SVD setup are presented.

Введение

В настоящее время в ГНЦ ИФВЭ ведётся модернизация полупроводниковой трековой системы установки СВД в эксперименте по исследованию околопорогового рождения очарованных частиц (Эксперимент SERP-E-184 [1]). Существующая полупроводниковая система [2] была изготовлена много лет назад и не отвечает современным задачам эксперимента. В состав новой системы войдут микрополосковые кремниевые детекторы размером $60 \times 60 \text{ мм}^2$ с шагом ~ 56 микрон (8 плоскостей) и детекторы размером $30 \times 30 \text{ мм}^2$ с шагом ~ 28 микрон (8 плоскостей). На каждом детекторе расположены 1024 канала регистрации частиц.

Микрополосковые детекторы СВД представляют собой матрицы из линейных p^+n -переходов (полосок) шириной ~ 10 микрон и длиной $\sim 60(30)$ мм, расположенных параллельно друг другу с постоянным шагом. Каждая полоска подключена к своему каналу многоканального зарядочувствительного усилителя. Основные элементы микрополоскового детектора и подключение его к электронике показаны на рис. 1.

Принцип действия кремниевых детекторов основан на регистрации первичной ионизации, вызванной прохождением заряженной частицы через материал детектора. Часть энергии частицы расходуется в кремнии на ионизацию атомов вещества детектора вдоль трека частицы. В результате вдоль трека образуется область высокой концентрации свободных носителей заряда, т.н. электронно-дырочных пар. В чувствительной

области детектора носители заряда разделяются электрическим полем, приложенным к p^+n -переходу в обратном направлении, после чего положительно заряженные дырки переходят в p^+ -область и собираются на верхней структуре прибора, а электроны — дрейфуют в поле к задней стороне детектора. При этом возникает импульс тока, длительность которого определяется временем сбора носителей заряда. Этот импульс затем усиливается зарядочувствительным усилителем, фильтруется от наводок, после чего определяется его амплитуда.

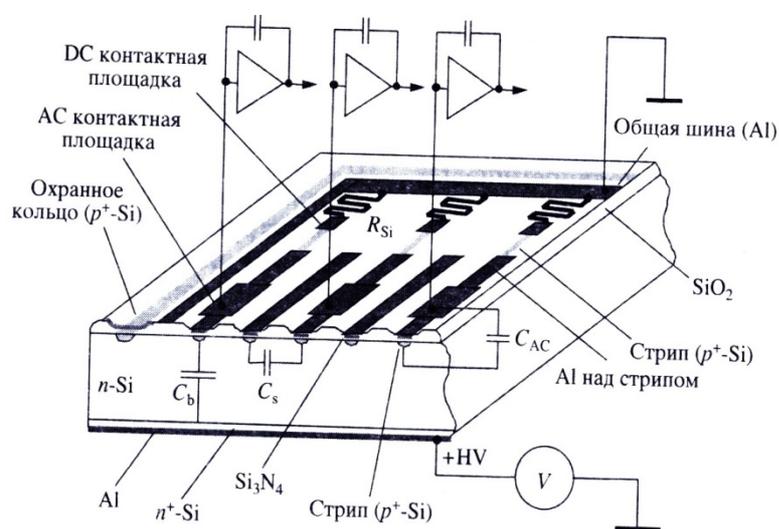


Рис. 1. Основные элементы микрополоскового детектора. Рисунок из работы [3].

Топологическая схема детекторов СВД была разработана в НИИЯФ МГУ (г. Москва) [4]. Детекторы изготовлены в НИИ Материаловедения (г. Зеленоград) [5]. Производство микрополосковых детекторов большой площади является сложной задачей — в технологической цепочке имеется около 100 операций, поэтому при изготовлении трековых систем необходим контроль качества детекторов, как на этапе изготовления детекторов, так и на этапе их подготовки к сопряжению с электроникой обработки сигналов. Для этих целей на полупроводниковых пластинах вместе с детекторами

размещается несколько тестовых структур. Вид этих пластин для детекторов СВД приведён на рис. 2.

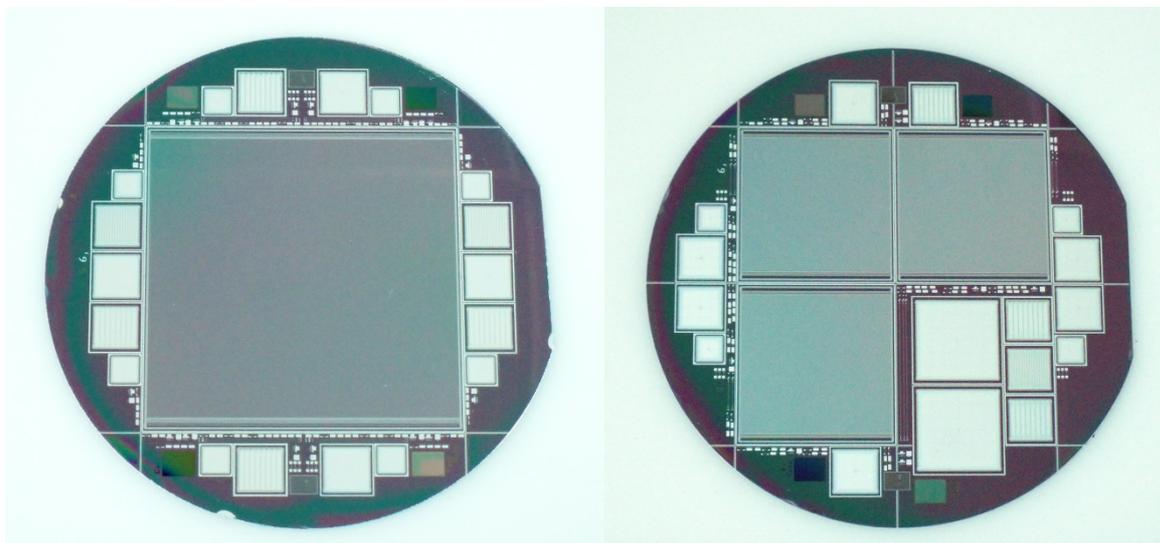


Рис. 2. Фотография пластин с детекторами (слева один детектор площадью $60 \times 60 \text{ мм}^2$, справа три детектора площадью $30 \times 30 \text{ мм}^2$) и тестовыми структурами.

Измерения, выполняемые на пластинах, делятся на две категории:

1. Измерение тестовых структур (выборочное) для оценки качества технологической цепочки изготовления детекторов.
2. Измерение параметров полномасштабных детекторов, для отбраковки детекторов перед их монтажом в модули.

Участок тестирования полупроводниковых детекторов. Лаборатории детектирующих систем

Для изготовления детектирующих систем с использованием полупроводниковых детекторов в Лаборатории детектирующих систем ГНЦ ИФВЭ в 2007-2008 годах организован Сектор производства детектирующих диагностических систем. В своём составе Сектор имеет «чистое» помещение класса ISO 6,7 (летом - 7, зимой — 6) общей площадью $\sim 80 \text{ м}^2$. Общий вид этого помещения показан на рис. 2.



Рис. 2. Фотография общего вида «чистого» помещения. Рабочее место с установкой А-5 - на переднем плане слева.

Полы в помещении выполнены из специального пластика, с решёткой заземления под ним, для исключения возможности возникновения электростатических разрядов. Имеется система кондиционирования для поддержания необходимой температуры и влажности. В помещении поддерживается небольшой избыток давления для предотвращения поступления пыли извне. Помещение оснащено соответствующей аппаратурой для измерения всех этих параметров. Для контроля качества изготовления полупроводниковых детекторов используется следующее оборудование:

- полуавтоматическая зондовая установка (модернизированный зонд А-5);
- Keithley 6487 (пикоамперметр с источником до 505 В);
- измерительная система Keithley4200-SCS;
- Agilent 4263В(измеритель LCR 20-1000 Гц);
- микроскоп МБИ-15 с увеличением до 1500 крат, с РС и ССD камерой;

Зондовая установка А-5 оснащена современной электроникой управления и связана с РС через RS-232 порт. Управляющая программа написана на языке С с использованием пакета LabWindows. Карты обмера детекторов заносятся в управляющую программу для автоматического измерения всего детектора. Имеется также ручной режим

обмера. Микроскоп зондовой установки может быть оснащён CCD камерой. Зондовая установка помещена в металлический светозащитный бокс, имеющий вентиляцию и контроль температуры в зоне предметного столика (в зоне измерений). Детекторы фиксируются на предметном столике зондовой установки вакуумными присосками.

На рис. 3 приведены фотографии рабочего места с зондовой установкой и измерительной аппаратурой.



Рис. 3. Фотографии зондовой установки А-5.

На участке имеются боксы для сухого хранения полупроводниковых детекторов на воздухе и в азотной атмосфере.

Визуальный контроль детекторов

Пластины с детекторами проходят визуальный контроль с использованием микроскопов, оснащённых CCD камерами для обнаружения царапин по рабочей площади детектора, трещин и/или сколов по краям детекторов после процедуры дисковой резки на установке АДТ. Визуальным контролем выявлялись также дефекты металлизации элементов микрополоскового детектора. На рис. 4 приведена фотография с примерами таких дефектов.

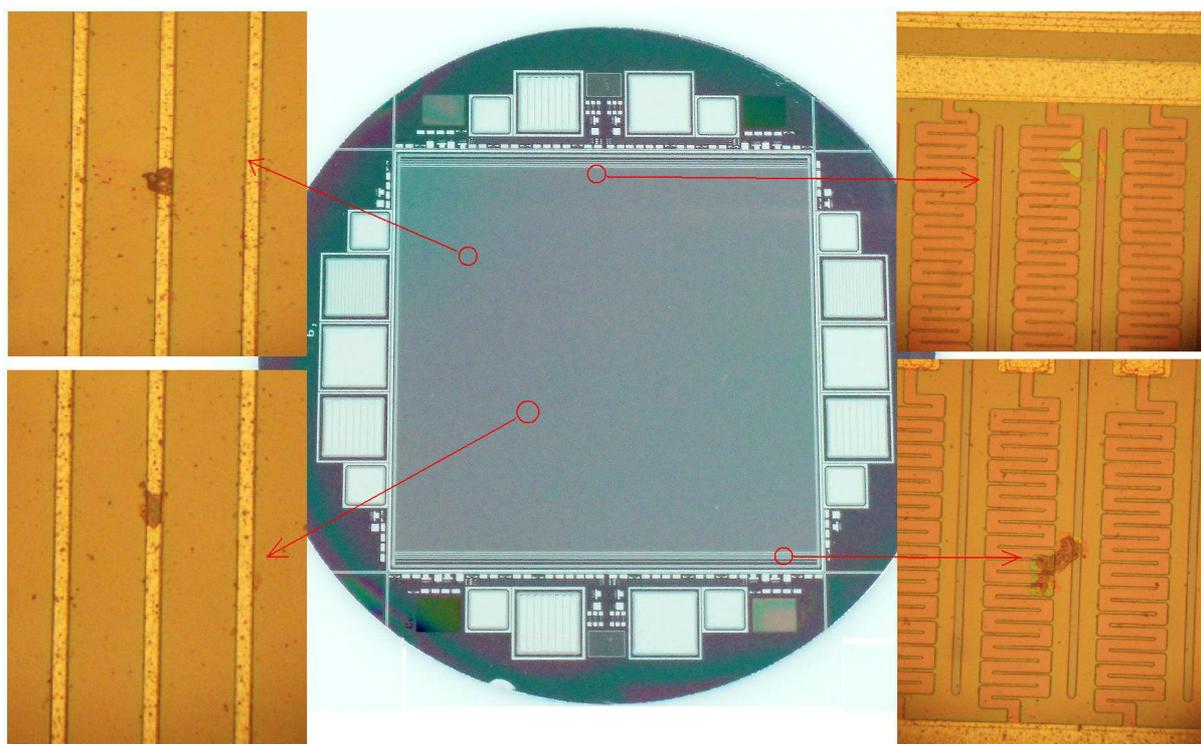


Рис. 4. Фотография детектора с детализацией дефектов (разрыв двух стрипов, дефект двух резисторов). Снимки дефектов сделаны на микроскопе МБИ - 15.

Электрические измерения

В процессе изготовления полупроводниковых детекторов практикуется большой набор тестовых процедур, особенно на начальном этапе производства микрополосковых детекторов. Эти процедуры выполняются изготовителем детекторов - НИИ Материаловедения (г. Зеленоград). В ГНЦ ИФВЭ выполняется ограниченный набор электрических измерений, по методике, описанной в работе [3], который позволяет отбраковать детекторы непригодные к использованию в экспериментальной установке. Для вершинного детектора установки СВД, после тщательного анализа, основанного на накопленном опыте разработки п/п детектирующих система а также эксплуатации п/п детекторов Сотрудничеством СВД, были выбраны четыре вида тестовых измерений, а именно:

- Проверка структуры детектора на напряжение полного обеднения, которая проводится на образце сопровождения, расположенном на каждой полупроводниковой

пластине. В случае, если детектор не достигает полного обеднения он подлежит отбраковке как непригодный по исходному материалу.

- Проверка общего (темнового) тока утечки на полномасштабном детекторе. В случае если ток утечки имеет значительную величину, то детектор имеет большое число “пробитых” каналов. Дальнейшее его использование возможно с определёнными ограничениями.

- Измерение вольтамперных характеристик (I-V) каждого канала позволяет найти каналы с большим током утечки.

- Проверка сопротивления разделительных конденсаторов. Каждый пробитый и/или с большим током утечки конденсатор равносителен неработающему каналу детектора. Поэтому такие каналы в дальнейшем не подсоединяются к электронике сбора данных.

Напряжение полного обеднения

Для измерения напряжения полного обеднения измерялась C-V характеристика образца с использованием прецизионного источника напряжения и RLC-метра. Измерительные входы RLC-метра для защиты от попадания высокого напряжения подключались через размещённые в специальном коммутационном устройстве разделительные конденсаторы, выходы источника напряжения для ограничения тока при коротком замыкании, а также для исключения влияния выходных цепей источника питания на результат измерения подключены через токоограничивающие резисторы в 1 МОм. Для связи RLC-метра с коммутационным устройством использовался коаксиальный кабель.

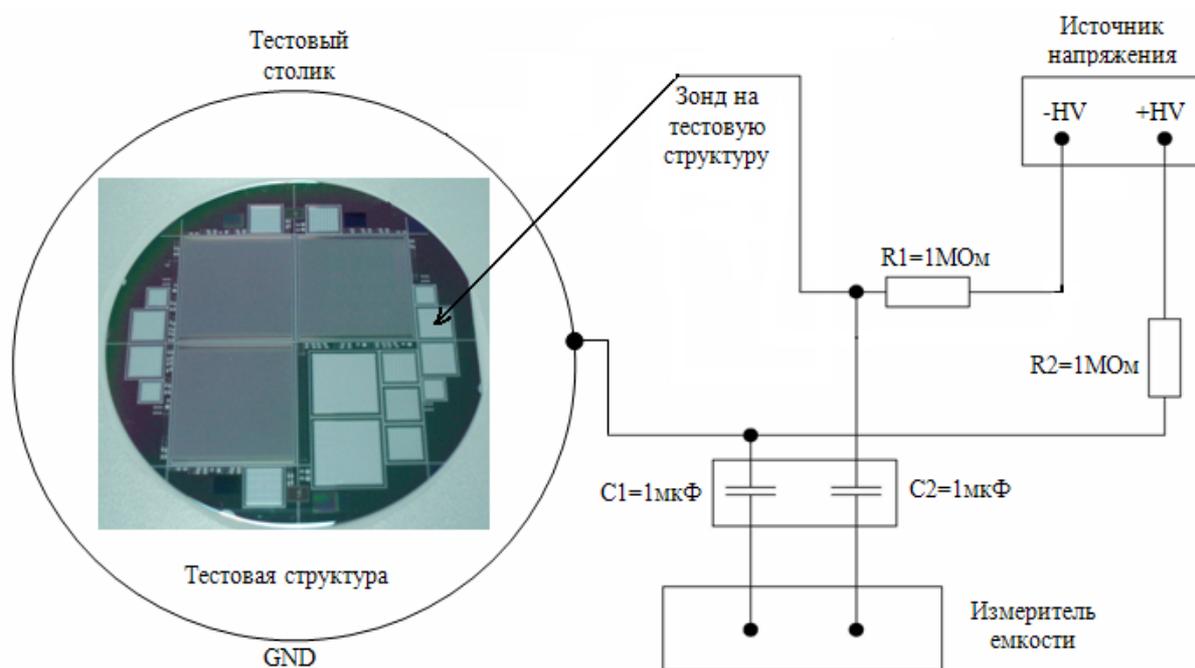


Рис. 5. Схема измерения напряжения полного обеднения.

Измерения выполнялись на специальной тестовой структуре, находящейся на одной пластине с детектором. Измерения проводятся между подложкой и контактной площадкой тестовой структуры. Измеряется емкость в диапазоне напряжений от $U=0$ В до $U=150$ В, что заведомо перекрывает диапазон рабочих напряжений детектора. По данным измерений строится график зависимости ёмкости детектора от приложенного к нему напряжения смещения. При построении графика $1/C^2 - V$ чётко прослеживаются два практически прямолинейных участка – последовательное обеднение рабочей области детектора с последующим выходом на плато. Точка пересечения линейных аппроксимаций этих участков даёт величину напряжения полного обеднения. Пример одного из таких графиков приведён ниже (рис. 6).

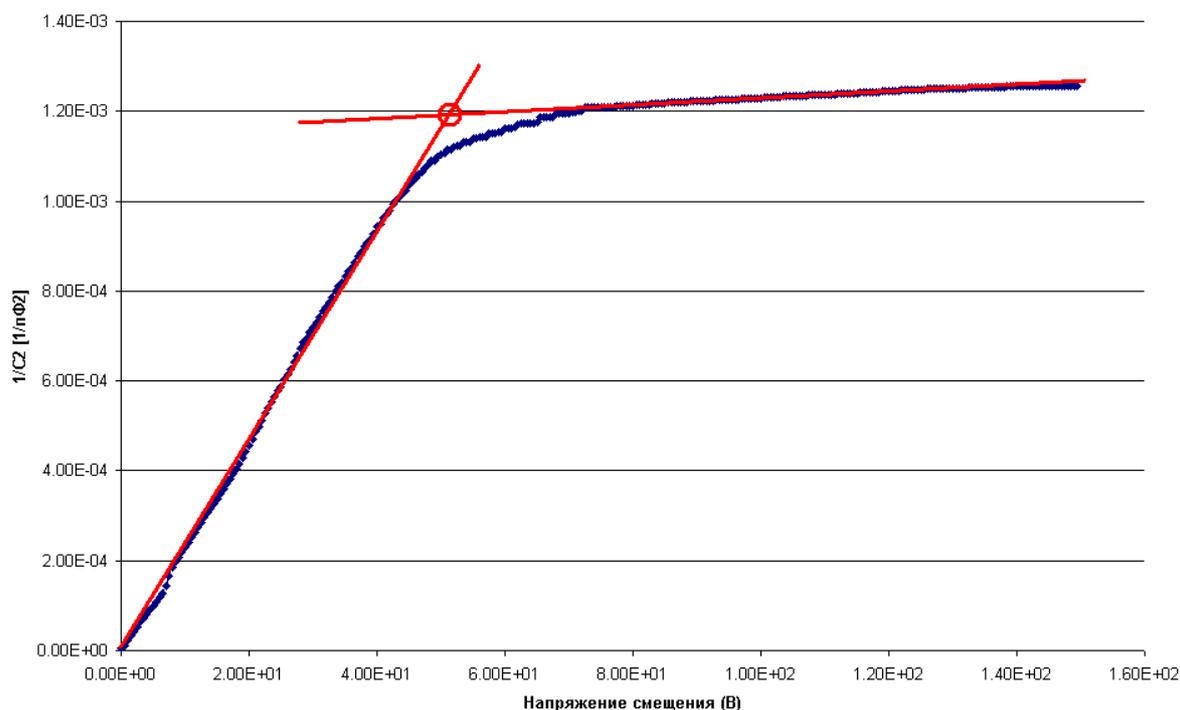


Рис. 6. Вольт – фарадная характеристика детектора.

Анализ полученных результатов показывает, что полное обеднение детектора достигается при напряжениях смещения 55 – 65 вольт, что близко к ожидаемому значению в 70 вольт.

Измерение зависимости общего тока сенсора от приложенного напряжения

Общий ток утечки детектора (темновой ток) является важной характеристикой детектора, характеризующий как чистоту материала, так и качество изготовления детектора. Измерения проводятся между подложкой детектора и общей шиной смещения, что имитирует рабочий режим детектора в составе экспериментальной установки. Пробои, замыкания и повышенный темновой ток не допускаются.

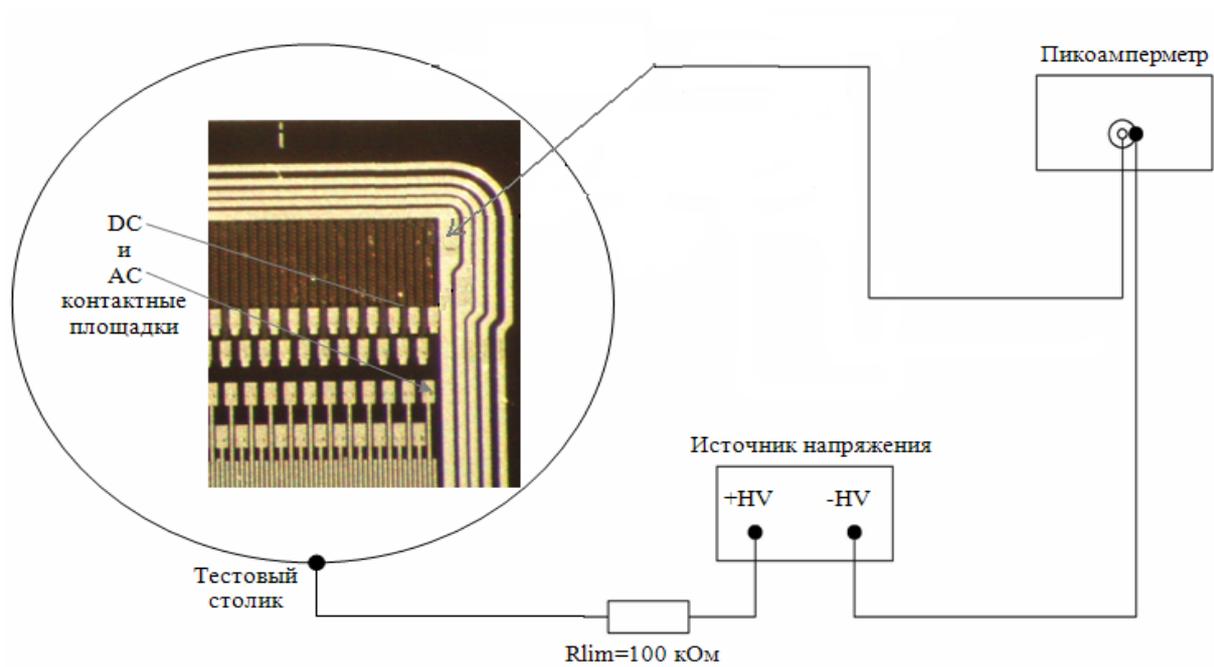


Рис. 7. Схема измерения общего тока утечки детектора.

По результатам измерений строится график зависимости темнового тока от приложенного к детектору напряжения смещения. Образец подобного графика приведён ниже (рис. 8).

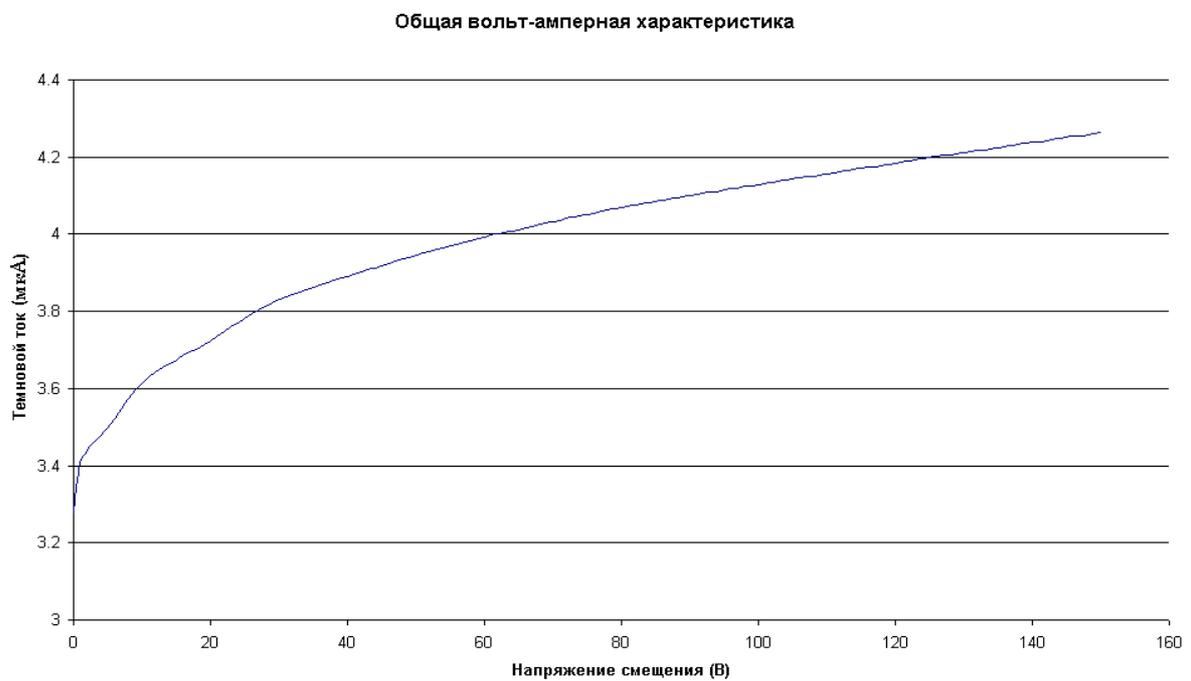


Рис. 8. Зависимость темнового тока детектора от приложенного к детектору напряжения.

На графике зависимости темнового тока детектора от приложенного к детектору напряжения видно, что характер вольтамперной характеристики в области напряжения полного обеднения не имеет особенностей.

Измерение тока утечки каждой микрополоски (стрипа) при рабочем напряжении

Для проверки индивидуальных стрипов, а также поликремниевых резисторов проводится поканальное измерение I-V характеристики для каждого из стрипов. Особенностью метода, применённого в ИФВЭ, является возможность одновременного контроля целостности как стрипа, так и соединённого с ним поликремниевого резистора. Измерения проводятся между подложкой детектора и контактными площадками, гальванически связанными со стрипом (рис. 9).

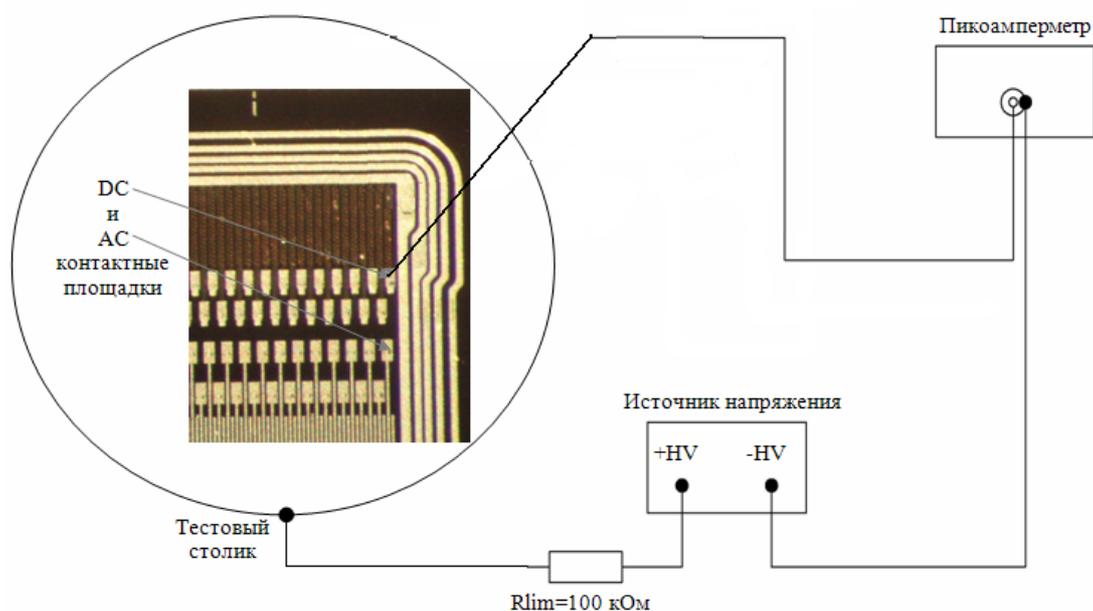


Рис. 9. Схема измерения тока утечки микрополосок.

Этот тест – самый длительный по времени, полная проверка детектора может потребовать несколько суток непрерывных измерений. На нижеприведённом графике (рис. 10) показаны зависимости темновых токов микрополосок от приложенного к ним напряжения смещения.

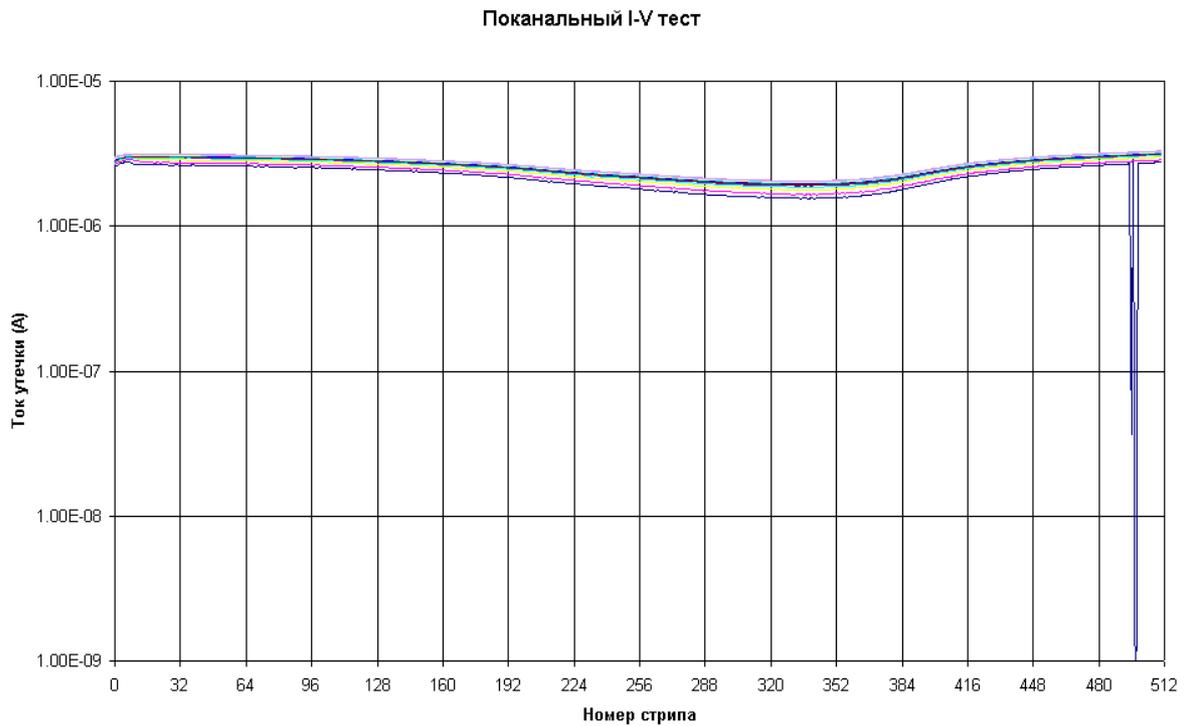


Рис. 10. Зависимости темновых токов микрополосок от приложенного напряжения смещения.

На графике показаны кривые, соответствующие приложенному к контактной площадке детектора напряжению смещения в диапазоне от 10 до 150 вольт с шагом в 10 вольт. Отчётливо заметны два дефектных стрипа с оборванными контактами между стрипом и линией подачи смещения. Видна высокая степень однородности материала детектора. Также виден эффект изменения темнового тока от времени (измерения шли в течение суток).

Измерение тока утечки разделительного конденсатора

Для проверки целостности разделительных конденсаторов проводится измерение тока утечки конденсатора при подаче на них напряжения, заведомо превышающее рабочее. Впоследствии ток пересчитывается в омическое сопротивление диэлектрического слоя, разделяющего стрип и верхний проводник, являющийся обкладками конденсатора. Схема теста практически полностью повторяет схему для измерения вольт-амперных характеристик стрипов за одним исключением – контактная игла устанавливается

на площадку, связанную с конденсатором. Измерения сопротивления разделительных конденсаторов проводились при различных напряжениях в диапазоне от 10 до 50 вольт. На рис. 11 показаны сопротивления разделительных конденсаторов для микрополосок при поданном на них напряжении 50 В.

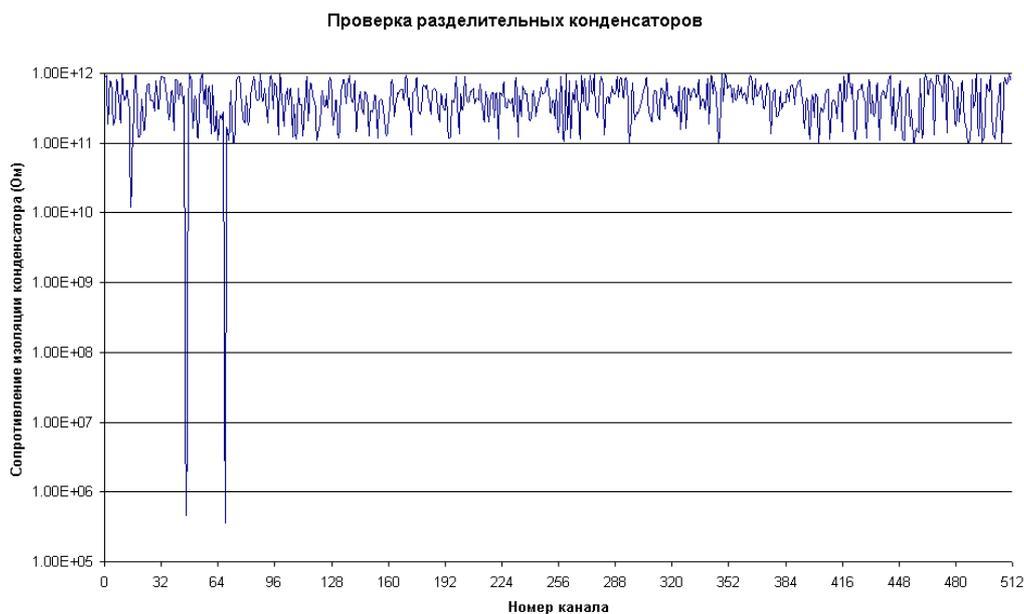


Рис. 11. Пример измерения сопротивления разделительных конденсаторов.

На представленном графике однозначно идентифицируются два стрипа, имеющие повреждённые разделительные конденсаторы, а также один стрип, имеющий разделительный конденсатор с сопротивлением диэлектрического слоя, на порядок меньше, чем соседних стрипов.

Суммарные результаты контроля качества микрополосковых детекторов, изготовленных для установки СВД

Результаты тестирования кристаллов п/п детекторов для установки СВД приведены в таблице 1.

Таблица 1.

	Размер детектора	Количество детекторов	Количество стрипов	Количество стрипов с пробитым конденсатором	Количество стрипов, имеющих разрыв	Количество пробитых стрипов	% дефектных стрипов
1	60x60 мм ² шаг 56 мкм	16	16384	33	11	0	0,26
2	30x30 мм ² шаг 28 мкм	11	11284	90	1	0	0,8

Как показали измерения, качество изготовленных в НИИ Материаловедения (г. Зеленоград) [5]. детекторов вполне удовлетворительное. Детекторы могут быть использованы для модернизации вершинного детектора установки СВД. Стрипы, имеющие дефекты и помеченные при проведении тестов, не будут подключены к считывающей электронике при изготовлении модулей детекторов.

Список литературы

- [1] Е. Н. Ардашев и др. Препринт ИФВЭ 96-98, Протвино, 1996.
<http://web.ihep.su/library/pubs/prep1996/ps/96-98.pdf>
- [2] Е.Н. Ардашев и др. Вершинный микростриповый детектор установки СВД для экспериментов на ускорителе ИФВЭ, Приборы и техника эксперимента, 2007 №5 с.75-92.
- [3] П.Ф. Ермолов и др. Методика массового тестирования односторонних микростриповых детекторов, ПТЭ 2002, №2, с.54-67.
- [4] М.М. Меркин. Разработка, создание и применение кремниевых детекторов в физике высоких энергий и физике космических лучей. Докторская диссертация, 2012.
- [5] www.niimv.ru

Рукопись поступила 17 декабря 2013 г.

А.П. Воробьёв и др.

Система контроля качества изготовления полупроводниковых микрополосковых детекторов
в ГНЦ ИФВЭ.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати 24.12.2013. Формат 60 × 84/16. Цифровая печать.

Печ.л. 1,12. Уч.–изд.л. 1,54. Тираж 80. Заказ 5. Индекс 3649.

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ

142281, Протвино Московской обл., пл. Науки, 1.

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2013-24 ИФВЭ, 2013
