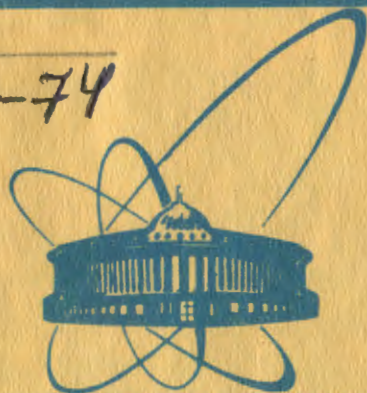


0-74



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований

дубна

4665/2-81

14/9-81

13-81-467

Б.П.Осипенко

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
В ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

1981

Несмотря на то, что прошло два десятилетия с тех пор, как полупроводниковые детекторы начали использоваться в науке и технике, круг задач, решаемых с их помощью, постоянно расширяется, отсюда и неослабный интерес к работам по совершенствованию детекторов и методов их использования.

В прошлом пятилетии были завершены разработки технологии изготовления полупроводниковых детекторов для спектрометрии радиоактивных нуклидов и продуктов ядерных реакций низких энергий /1/.

Энергетическое разрешение разработанных и изготовленных в ОИЯИ детекторов близко к предельному. Изготавливались детекторы самых различных типов и размеров. Для иллюстрации представим в виде таблиц некоторые характеристики типовых детекторов /табл. 1, 2/.

Таблица 1

Поверхностно-барьерные кремниевые детекторы

Размеры	Энергетическое разрешение		Температура при измерении
	$E_{\alpha} = 5486$ кэВ лучшее среднее	$E_{\beta} = 975,6$ кэВ /кэВ/	
50 мм ² х0,5мм	13	18	комнатная
100 мм ² х0,7мм	16	20	—"-"-"-"-"
800 мм ² х0,5мм	25	35	—"-"-"-"-"
2400 мм ² х0,7мм	80	100	—"-"-"-"-"

В работах /2,3/ сообщалось, что для спектрометрии мягких гамма-квантов и электронов конверсии изготавливались поверхностно-барьерные и имплантированные детекторы из компенсированного литием германия. В настоящее время появилась возможность использовать для этих целей сверхчистый германий.

Таблица 2

Si(Li) - детекторы

Размеры	Энергетическое разрешение			Температура измерения
	$E_{\alpha}=5486$ кэВ /кэВ/	$E_{\beta}=975,6$ кэВ /кэВ/	$\Delta_{\gamma}=6,4$ кэВ /эВ/	
50мм ² х5мм	18	10	-	комнатная t° жидкого азота
100мм ² х4мм	20	12	-	комнатная
"_"_"_"_"_"_"	-	-	200	t° жидкого азота
800мм ² х3,5мм	35	18	-	комнатная

В табл. 3 приведены разрешения по энергиям некоторых детекторов из сверхчистого германия.

Однородный по объему материал, даже если разностная концентрация не очень мала / $\sim 10^{11}$ /, вполне пригоден для изготовления качественных детекторов.

Необходимое рабочее напряжение, как правило, более чем в два раза превышает напряжение, которое требуется для того, чтобы "растянуть" чувствительную область на всю толщину кристалла.

Ge(Li) -детекторы по-прежнему изготавливаются самых различных размеров и конфигураций. В технологии изготовления таких детекторов^{4/} заметных изменений не было. Велись работы по модернизации технологического оборудования. Начиная с этого года, мы намерены полностью перейти на работу со сверхчистым германием.

Для измерения ионизационных потерь заряженных частиц, помимо традиционных, разработана технология изготовления детекторов на основе эпитаксиальных пленок толщиной $5 \div 20$ мкм. Опыт работы с серийными эпитаксиальными слоями показал, что выход хороших детекторов из этих пленок низкий, нужны специальные более высокоомные и однородные пленки.

Однородность толщины эпитаксиальных пленок и тонких детекторов измеряется путем просвечивания образца красным лазерным

Таблица 3

Размер	Энергия γ -излучения					
	5,9 кэВ /эВ/	13,9 кэВ /эВ/	59,6 кэВ /эВ/	122 кэВ /эВ/	1333 кэВ /кэВ/	$E = 975,6$ кэВ /кэВ/
50мм ² х8 мм	200 ÷	280 ÷ 350	380 ÷ 400	÷500	1,6	1,55 ÷ 1,6
100мм ² х8 мм	240÷300	280+350	380+400	480 ÷ 500	1,6	1,55 ÷ 1,6

Таблица 4

Размер Si(Li) -дет.	ρ кремния р-типа /Ом.см/	t отжига после нейтр. легирования (°C)	ρ кремния п-типа после отжига /Ом см/	Энергетическое разрешение	
				$E_a = 5486$ кэВ $E_\beta = 975,6$ кэВ /кэВ/	/кэВ/
100 мм ²	8000	650 /2 ч/	800	18	-
-"-"-"	2700	800 /1 ч/	130000	22	14
-"-"-"	10000	800 /1 ч/	500	20	-

лучом, который затем попадает на фотоприемник. Сигнал с фотоприемника через логарифмический усилитель подается на вход "У" графопостроителя. Вход "Х" связан с устройством для перемещения образца. Строки устанавливаются подачей постоянного напряжения на вход "У" графопостроителя со специального делителя. Графопостроитель вычерчивает картину рельефа всей поверхности измеряемого образца.

Большое место в наших разработках занимали позиционно-чувствительные детекторы. Изготавливались они с различными резистивными слоями: напыленными, диффузионными и имплантированными. Детекторы были однокоординатные^{5/} и двухкоординатные. Подавляющее большинство детекторов имеет энергетическое и позиционное разрешение, близкое к расчетному. Изготавливались также позиционные радиальные детекторы.

Для измерения характеристик была разработана и изготовлена специальная вакуумная камера, в которой с пульте управления с помощью микродвигателей можно перемещать коллимированный источник заряженных частиц или импульсов света в заданную точку над детектором. Положение источника показывает цифровой индикатор с точностью 0,1 мм. Кроме того, камера оснащена термохолодильником, позволяющим проводить измерения образца в интервале температур от комнатной до -40°C .

Основной трудностью в изготовлении позиционно-чувствительных детекторов нужных размеров является малодоступность высокоомного очень однородного кремния большого размера. Это вынудило нас заняться разработкой метода получения однородного высокоомного кремния n -типа путем нейтронного легирования более доступного чистого и однородного кремния p -типа^{6/}.

Предварительные эксперименты показали, что такая задача вполне разрешима. В табл. 4 приведены некоторые предварительные результаты этих работ.

В последние годы все чаще создаются установки для физических исследований на пучках пионов и протонов, в которых в качестве детектирующих систем наряду с другими используются и полупроводниковые спектрометры.

Обычно высокого энергетического разрешения достигают с помощью магнитных спектрометров или полупроводниковых детекторов, работающих в режиме полного поглощения. Однако для магнитных спектрометров трудно достигнуть высокого энергетического разрешения в широком интервале измеряемых энергий, а режим полного поглощения для полупроводниковых детекторов оказывается непригодным для спектрометрии отрицательных пионов, так как в результате ядерного захвата энергоделиение в детекторе, где произошла остановка, становится неопределенным.

Если же полупроводниковый спектрометр изготовить слоистым, можно совместить его высокие спектрометрические свойства при

работе в режиме полного поглощения для стабильных частиц с возможностью измерять энергию отрицательных пионов в режиме "напролет" /7/.

Слоистая структура спектрометра позволяет выделить детектор, в котором произошла остановка, и для определения энергии пользоваться показаниями предшествующих детекторов.

Опыт работы с многослойными спектрометрами показал возможность их широкого использования для идентификации и измерения энергии продуктов взаимодействия на пучках заряженных частиц /8/. Одновременно он показал и их слабые стороны - необходимость точного знания размеров "мертвых" и чувствительных слоев каждого детектора и возможность потери ранее полученной информации в случае отказа одного из детекторов. Это вызвало необходимость разработки методов измерения толщины детекторов и их "мертвых" слоев.

Определение геометрических характеристик детекторов на пучке протонов - трудоемкая и дорогостоящая работа. Поэтому для этой цели использовались радиоактивные источники ^{207}Bi и ^{106}Ru . С помощью специально изготовленных, с хорошей плоскопараллельностью, кремниевых фильтров, позволяющих набирать стопки от 100 мкм до 4,5 мм, строились калибровочные кривые для заданных условий и по сдвигу пиков электронов внутренней конверсии или срезу непрерывного спектра определялась толщина с точностью не хуже 10 мкм.

Так как надежность работы детекторов в многослойном спектрометре приобретает одно из решающих значений, были возобновлены разработки методов защиты детекторов от влияния внешней среды /9/. Хорошие результаты получены при использовании спиртового раствора некоторых сортов светлой канифоли в смеси с кле-ем БФ-6. Насыщенный раствор канифоли в смеси с БФ-6 /50:50/ разбавляется этиловым спиртом до вязкости, удобной для нанесения с помощью тонкой пипетки. Образец устанавливается на специальную центрифугу и с помощью пипетки на вращающийся образец наносится спиртовой раствор канифоли и БФ-6 таким образом, чтобы защитный тонкий слой полностью покрывал небольшой ободок электрода и р-р переход. После сушки токи детектора заметно снижаются. Для иллюстрации в табл. 5 приведем вольтамперные характеристики двух детекторов до защиты и после защиты.

Детекторы с защитным покрытием не меняют характеристик после отпотевания или кратковременного нахождения в водопроводной воде.

Так как телескопы набираются иногда из нескольких десятков различных полупроводниковых детекторов и геометрические характеристики каждого детектора вводятся в программу обработки экспериментальных данных, то выход из строя хотя бы одного детектора в спектрометре может привести к потере экспериментального материала. Чтобы исключить такие потери, разрабаты-

Таблица 5

Детектор с большим током

U см /В/	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400
до защиты	1,7	2,1	2,6	3,0	3,3	3,5	4,6	6,5	нестабильный ток			
после защиты	0,17	0,21	0,23	0,25	0,27	0,35	0,45	0,62	0,88	1,35	1,6	2,3

Детектор с малым током

U см /В/	10	20	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400
до защиты	0,14	0,18	0,2	0,22	0,24	0,3	0,37	нестабильный ток				
после защиты	0,076	0,089	0,095	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,165	0,175	0,19	0,22

ваются специальные системы на основе микропроцессора, которые будут постоянно контролировать работоспособность каждого детектора и в случае ухудшения его работы предупреждать экспериментатора, а в случае невозможности его дальнейшей работы в системе - отключать и выдавать команду на коррекцию программы обработки, в которой отключенный детектор будет учитываться как кремниевый замедлитель.

Многослойные спектрометры включают в себя самые различные детекторы: поверхностно-барьерные толщиной от 100 до 700 мкм и кольцевые; кремний-литиевые толщиной от 1 до 4 мкм и позиционно-чувствительные.

Часть детекторов /мониторные счетчики и кольцевые детекторы/ обслуживает логическую часть системы, остальные выдают необходимую информацию о изучаемом событии.

В настоящее время изготавливаются детекторы для многослойных спектрометров с рабочей поверхностью 8 см². В ближайшее время предполагается значительно увеличить рабочие площади.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вылов Ц., Осипенко Б.П., Чумин В.Г. ЭЧАЯ, 1978, т. 9, вып.6, с. 1351-1459.
2. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, Р6-8378, Дубна, 1974.
3. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, 13-10056, Дубна, 1976.
4. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, Р13-6759, Дубна, 1972.
5. Бельцаж Е., Осипенко Б.П., Сандуковский В.Г. ОИЯИ, 13-12766, Дубна, 1979.
6. Горнов М.Г. и др. ОИЯИ, 13-12567, Дубна, 1979.
7. Акимов Ю.К. и др. ПТЗ, 1980, №1, с. 69-73.
8. Горнов М.Г. и др. ОИЯИ, 13-12921, Дубна, 1979.
9. Крацикова И. и др. ОИЯИ, 13-6016, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 июля 1981 года.