



UZ0101612

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

INIS-UZ--082

На правах рукописи

УДК 539.1.074+543.42

Муллагалиева Фануза Галлиевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ**

ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРИИ ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Handwritten signature

32 / 19

Handwritten mark

Ташкент –2001 г.

Работа выполнена в научно-производственном объединении
“Академасоб” Академии наук Республики Узбекистан.

Научный руководитель: доктор технических наук А.Я.Яфасов

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук, профессор У.С. Салимбаев

Доктор технических наук Ю.Н. Коблик

Ведущая организация: НИИПФ Национального Университета Узбекистана

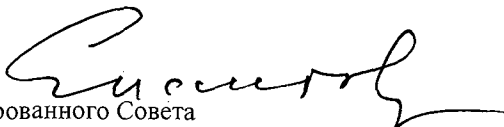
Защита состоится “13” марта 2001 г. в 11 часов на заседании
Специализированного Совета ДК 015.15.02 Института ядерной физики
Академии наук Республики Узбекистан по адресу:

702132, г.Ташкент, пос.Улугбек.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института
ядерной физики АН РУ.

Автореферат разослан “10” февраля 2001 г.

Ученый секретарь Специализированного Совета
доктор физико-математических наук, профессор



Е.И. Исмаатов

Актуальность темы.

Спектрометрия ядерного излучения с помощью полупроводниковых детекторов (ППД) зародилась в начале 60-х годов. Начиная с 1965 года ППД разрабатываются в Узбекистане – в ОКБ ПО «ФОТОН», с 1969 г. - в ФТИ, ИЯФ АН РУ, ОКБ ФТИ, с 80-х годов – в НПО «Академасоб».

Сфера применения ППД разнообразна: от решения классических задач ядерной спектрометрии до управляемого термоядерного синтеза и исследования радиационных поясов Земли, от медицинской томографии до приборов для безконтактного измерения объема ЛВЖ, рентгеносканов на пунктах пропуска и т.д. С разработкой новых «детекторных» материалов (HgJ_2 , CdSe) и совершенствованием технологии классических (Si , Ge , GaAs , CdTe) появляются новые возможности улучшения эксплуатационных параметров ППД, расширяется круг решаемых с их помощью задач.

Из всех задач спектрометрии ядерного излучения наиболее актуальным является создание специализированных приборов для научных исследований, для работы в измерительных и диагностических системах с использованием уникального оборудования, например, ускорителей, токамаков, стеллараторов, электронно-зондовых установок, время-пролетных спектрометров. Такие приборы, как правило, разрабатываются с учетом конкретных условий планируемых физических экспериментов и предполагают оптимальные технические и технологические решения для реализации совокупности эксплуатационных параметров, необходимых для обеспечения выполнения конкретной задачи.

Целью диссертационной работы было разработка базовой технологии изготовления специализированных кремниевых dE/dx и E детекторов ионизирующего излучения, создание на ее основе прецизионных токовых детекторов ультрамягкого рентгеновского излучения, телескопических систем для спектрометрии заряженных частиц, бикристалльных детекторов тепловых нейтронов, спектрометров α - и β - излучения и использование их для решения

задач ядерной физики и прикладной ядерной спектрометрии. Для выполнения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи.

1. Исследовать процесс динамического травления в технологии dE/dx детекторов и разработать технологию изготовления тонких (50-200 мкм) и сверхтонких пролетных детекторов ($w < 10$ мкм) с высокой степенью плоскопараллельности границ чувствительной области и минимальной толщиной мертвого слоя входного и выходного окон.

2. Исследовать вопросы оптимизации входного окна и тыльного контакта, конструкции E- детекторов с полностью обедненной областью объемного заряда и разработать технологию изготовления спектрометров-телескопов, предназначенных для работы в условиях высокого вакуума.

3. Исследовать возможности использования кремниевых ППД в токовом режиме для диагностики поведения пристеночной плазмы и в качестве датчика системы управления в исследовательских установках управляемого термоядерного синтеза (УТС).

4. Исследовать возможности создания высокоэффективных бикристалльных ППД нейтронов, включающих детекторы-модули с полностью обедненной областью объемного заряда и ${}^6\text{Li}$ конверторы.

5. Создать базовую технологию изготовления кремниевых ППД и на ее основе обосновать и разработать рациональную технологию производства X, β , ρ , d и α -спектрометров для решения различных задач ядерной физики и прикладной ядерной спектрометрии.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований были: Si-детекторы ядерного излучения на основе p-n, p-i-n и гетеро - структур, процессы изготовления dE/dx и E детекторов, спектрометры α , d , ρ , β , X и n - излучения, специфика применения их в различных ядерно-физических экспериментах.

В процессе выполнения работы были использованы методы планарной и Si(Li) технологии изготовления детекторов излучения, электрофизические и

спектрометрические методы исследования их свойств, современные методы исследования характеристик ядерного излучения и элементарных частиц.

На защиту выносятся:

-разработка, создание и применение кремниевых токовых детекторов ультрамягкого рентгеновского излучения, телескопических систем для спектрометрии заряженных частиц, бикристалльных детекторов тепловых нейтронов, X, β , ρ , d и α -спектрометров для решения различных задач ядерной физики и прикладной ядерной спектрометрии;

-технологические режимы, обеспечивающие: в процессе динамического травления сверхтонких кремниевых пластин высокую степень их плоскопараллельности, минимальную толщину мертвого слоя входного и выходного окон детекторов излучения, изготовление детекторных модулей и сборок, характеризующихся высокой эффективностью регистрации ядерного излучения;

-результаты использования кремниевых ППД для диагностики высокотемпературной плазмы по рентгеновскому излучению в исследовательских установках управляемого термоядерного синтеза (УТС), в решении задач ядерной спектрометрии, исследовании загрязненности почвы и атмосферного воздуха α -радионуклидами .

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1.Разработана технология получения сверхтонких ($<10\text{мкм}$) dE/dx детекторов ядерного излучения на основе динамического травления тонких ($<150\text{мкм}$) кремниевых пластин с применением специальной оснастки.

2.Показано, что поверхностно-барьерные кремниевые детекторы «без мертвого слоя», используемые в токовом режиме, позволяют проводить оперативную диагностику высокотемпературной плазмы и выполнять функции датчика контроля стабильности работы исследовательских установок управляемого термоядерного синтеза.

3. Разработана конструкция и технология изготовления бикристалльного детектора сэндвич-структуры, обеспечивающего эффективность регистрации тепловых нейтронов не менее 31%.

4. Созданы кремниевые телескопы-спектрометры заряженных частиц, включающие 4 типа dE/dx и E детекторов-модулей с полностью обедненной областью объемного заряда и оконечные ППД, позволяющие исследовать в течение длительного времени в условиях Космоса спектры заряженных частиц в интервале энергий $0,05\sqrt{M} < E < 30\sqrt{M}$ МэВ, где M- масса частиц в а.е.м.

5. Разработаны кремниевые детекторы β - и α - излучения естественных радионуклидов, оптимизированные для измерения их концентрации в аэрозолях и порошковых пробах (почвах, грунтах, стройматериалах, минеральном сырье).

Практическая ценность диссертационной работы состоит в том, что все разработанные типы детекторов доведены до стадии позаказного их выпуска, конкурентоспособны на внешнем рынке и обеспечили замещение аналогичной импортной продукции.

Практическое применение результатов исследований. В период с 1983 г. по 2000 г. изготовлено и поставлено Заказчикам св. 1000 ППД и БД, в т.ч. 200 БД ультрамягкого рентгеновского излучения в токовом режиме, 20 БД с 8- и 12 полосными детекторами рентгеновского излучения, 50 β -спектрометров, 22 телескопа заряженных частиц, 80 ДМ площадью по 3см^2 и 12 - по 60см^2 каждый для низкофонных установок, 10 бикристалльных ДТН, а также св. 800 ППД α , β , X и n - излучения. Они используются для контроля температуры плазмы на установках УТС Т-10, Т-13, Т-3М, Т-ЛМ, «Ливень», «Туман-3», ТСП, Т-15, при решении спектрометрических задач на ускорителях в НИИЯФ МГУ, ИЯФ АН РК, ИЯФ АН РУ, ФИАН, МИФИ, в электронно-зондовых установках, для исследования радиационных поясов Земли и контроля безопасности работы космонавтов на КЛА, в роботизированных комплексах типа РТК-300 – РТК-600 и решения других научных и прикладных задач.

Вклад автора в разработку проблемы. Диссертационная работа выполнена в соответствии с постановлениями директивных органов по темам «Призвание АН», «Призвание-2АН», «Интербол», «Прогноз-2СО», «Кварк», «Комплекс» и заданий №№ 27.4, 27.5, 4.2.2.4, 4.2.2.5, 3.6.2.9, 5.6.5.2.6 ГНТП Республики Узбекистан в 1994-2000 гг., по которым автор являлся ответственным исполнителем. Все новые научные результаты, технологические приемы создания детекторов ядерного излучения, получены и реализованы на практике автором; конструкции блоков детектирования разработаны с представителями Заказчиков совместно, равно как и проведение натуральных исследований и испытаний готовых изделий.

Апробация полученных результатов. Основные результаты работ докладывались на XXXIV, XXXV, VI, II, I международных конференциях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Дубна-1984 г., Киев-1985 г., Дубна - 1995, 1999 гг, С-Петербург – 2000 г., Вс. конф. по радиационной физике п/п и диэлектриков, Ташкент – 1984 г., межд. конф. «Актуальные проблемы ограничения облучения населения от природных источников ионизирующего излучения «Радон – 2000», Пушкино, 2000 г., II конф. «Радиоизотопы и их применение», Ташкент – 2000 г.

По материалам диссертации опубликовано 16 работ, получено 1 авторское свидетельство на изобретение.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка цитированной литературы и приложений, изложена на 135 страницах, из которых 96 страниц текста, 28 рисунков, 13 таблиц и список литературы из 99 наименований.

Содержание работы.

Во введении показана актуальность проблемы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, защищаемые положения, основные полученные результаты, их достоверность, апробация работы.

В 1 Главе диссертации представлены технология изготовления dE/dx детекторов заряженных частиц, в том числе, - с применением прецизионного динамического травления, и технология изготовления детекторов полного поглощения энергии частиц. Методами Оже- и протонной спектроскопии исследована структура входного и выходного окон кремниевых детекторов. Обнаружена повышенная концентрация фтора и углерода в приповерхностной области выходного окна ППД, сравнимая на глубине $<50\text{Å}$ с концентрацией алюминия и кислорода; в распределении кислорода обнаружены три пика: в приповерхностной области, на глубине 300Å и на границе Al-Ge. Для структуры Au-Si распределения Au, O и Si имеют классический вид и согласуются с литературными данными, рис. 1.

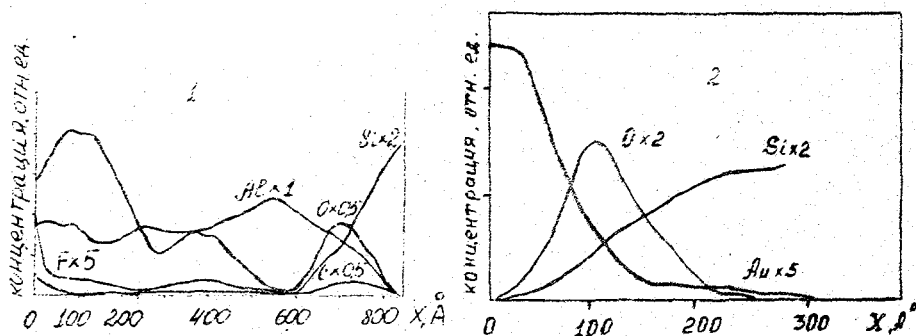


Рис.1. Распределение концентрации элементов по глубине ППД со стороны входного окна: 1- ППД с гетеропереходом, 2- ППД с поверхностным барьером.

Исследования распределения технологических примесей в MC детекторов показали, что толщина оксидного слоя переменной стехиометрии SiO_x , где $0 < x < 2$, составляет в зависимости от режимов обработки поверхности кристаллов от 20 до 55 нм; максимум в распределении кислорода в направлении, нормальном к поверхности входного окна ППД, располагается на глубине 10-30 нм.

Измерения толщины MC детекторов с помощью атомарно-молекулярных пучков водорода с энергиями до 100 кэВ/а.е.м., показали, что во всех случаях

эффективная толщина МС меньше максимальной глубины распределения кислорода в приповерхностной области ППД, рис.2.

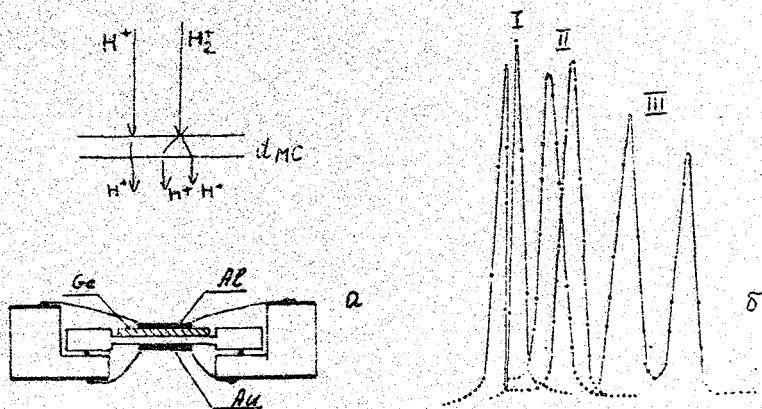


Рис.2. а)-зондирование МС детекторов с помощью атомарно-молекулярных пучков водорода; б)-спектры H^+ и H_2^+ с различных ППД: I-№182, $U=15В$, $T=300^{\circ}К$, $E=100кэВ$, $d_{MC}=6$ кэВ; II-№16, $d_{MC}=12$ кэВ, III-№94, $d_{MC}=32$ кэВ.

То есть, в зависимости от стехиометрии SiO_x в приповерхностной области входного окна ППД, имеет место частичное собирание с нее неравновесного заряда, индуцируемого ионизирующим излучением, которое вносит дополнительный вклад в общую амплитуду импульса, вырабатываемую детектором, снижая тем самым «дефект амплитуды». Таким образом, показано, что во всех случаях эффективная толщина МС меньше толщины оксидного слоя кремния.

Глава II диссертации посвящена разработке и применению спектрометров ультрамягкого рентгеновского излучения в установках УТС. Одним из основных каналов получения информации о характеристиках и поведении высокотемпературной (ВТ) плазмы в установках УТС является спектроскопия ее рентгеновского излучения в диапазоне энергий от 0,1 до 10 кэВ. Характеристики рентгеновского излучения плазмы зависят от концентрации электронов, электронной температуры и зарядового состояния ионов примесей.

Экспоненциальная зависимость интенсивности излучения от температуры T_e приводит к тому, что небольшое изменение T_e сильно меняет интенсивность излучения плазмы, что позволяет изучать колебания и устойчивость горячей области плазменного шнура с помощью ППД. Для исследования временных флуктуаций плазмы с $T_e < 1 \text{ кэВ}$ требуются детекторы со сверхтонкими МС и быстродействием не хуже $\sim 10^{-9} \text{ с}$.

Были разработаны поверхностно-барьерные и ионнолегированные кремниевые детекторы «без мертвого слоя», в том числе 8- и 12-полосные ППД.

Для исследования электронной температуры и устойчивости плазменного шнура в установках УТС «Токамак» была сконструирована и изготовлена специальная камера, в которую помещались ППД различных производителей и система сменных фильтров из алюминиевой фольги толщиной от 2 до 20 мкм, рис.3., причем, детекторы нацеливались в одну локальную область плазменного шнура.

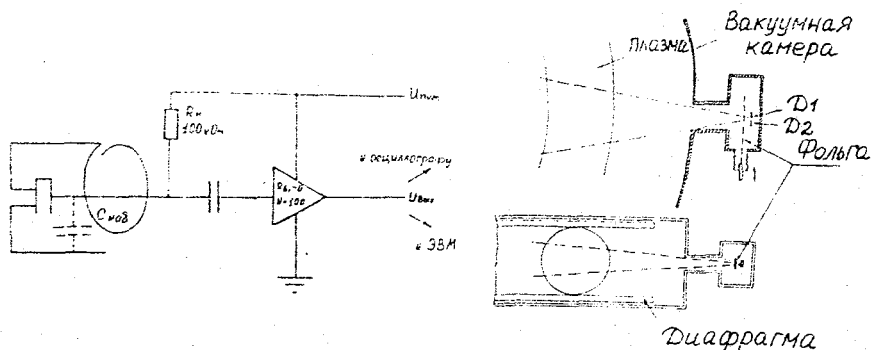


Рис.3. Камера-обскура и схема включения ППД.

Измерялась величина ослабления интенсивности рентгеновского излучения, прошедшего через Al поглотитель различной толщины:

$$K_{1,2} = \frac{\int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{h\nu}{T_e}\right) \cdot \exp(-\mu_1 d_1) \cdot \theta d\nu}{\int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{h\nu}{T_e}\right) \exp(-\mu_2 d_2) \cdot \theta d\nu} = f(T_e, \mu_1, \mu_2, d_1, d_2) \quad (1)$$

где $\mu_{1,2}$ – линейный коэффициент поглощения фольги в зависимости от энергии кванта, $d_{1,2}$ – толщина поглотителя, θ – спектральная чувствительность детектора.

Так как μ , d , θ – известные величины, заранее рассчитав кривую $k_{1,2}(h\nu)$, можно по экспериментальному определенному ослаблению найти соответствующую температуру T_e . На рис.4 приведены шумовые характеристики (а) и сигналы (б,в) от детекторов, разработанных в НПО «Академасбоб» (верхние кривые) и российского производства (нижние кривые), полученные с использованием Al поглотителей толщиной 2 и 4 мкм.

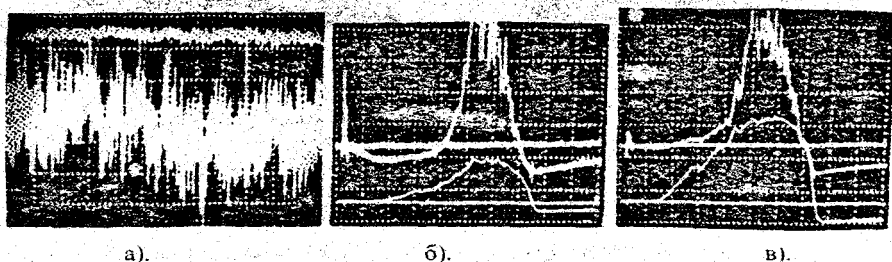


Рис.4. Сравнительные характеристики ППД: а-шумы, б,в- сигналы.

В обоих случаях на верхних кривых видна тонкая структура поведения ВТ плазмы во времени, причем с увеличением толщины поглотителя относительная информативность верхних кривых существенно возрастает, что свидетельствует о возникающей принципиальной возможности расширения температурного диапазона исследования поведения плазмы в область низких температур. Чувствительность их сопоставима с чувствительностью детекторов фирм Ortec, United Detector Technology, Tennelec, Conrad Corporation, которая в области энергии квантов 4-9 кэВ при наблюдении плазмы через бериллиевое окно толщиной 25 мкм составляет $\sim (4.3 - 4.4) \times 10^{-17}$ Кл/кэВ, снижаясь до $(0.2 - 0.3) \times 10^{-17}$ Кл/кэВ при $E_c = 1$ кэВ и фактически до нуля при $E_c = 0.085 - 0.090$ кэВ.

На рис.5а показаны сравнительные снимки осциллограмм разрядов токамака Т-13, выполненные с помощью разработанных ППД (нижняя кривая)

и фирмы Conrad Corporation (верхняя кривая). Сравнение показывает, во-первых, согласие экспериментальных данных, полученных с помощью обеих детекторов, во-вторых, более высокое энергетическое и временное разрешение первого детектора, и, наконец, самое важное – расширение энергетического диапазона регистрации квантов в первом случае в область низких энергий, вплоть до 40-80эВ.

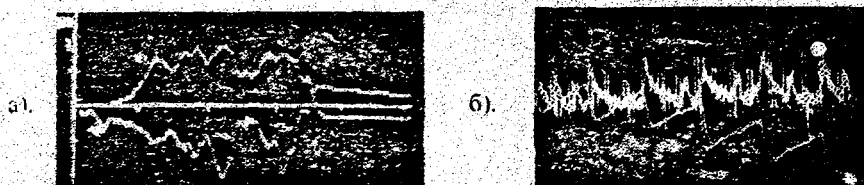


Рис.5а. Сравнительные снимки осциллограмм разрядов токамака Т-13.

На установке Т-10 с помощью таких детекторов впервые удалось выделить характерные пилообразные колебания интенсивности рентгеновского излучения с относительной амплитудой 1%, рис.5б, предшествующие, как показали дальнейшие исследования, резкому сбросу температуры плазмы. Так как охлаждение локальных областей плазменного шнура сопровождается осцилляциями сигнала с ППД и с момента начала охлаждения до срыва тока проходит значительное время, достигающее микросекунд, быстрый (< 3 нс) сигнал с детектора может быть использован для организации системы обратной связи подавления неустойчивостей и реализации высоких температур, необходимых для протекания управляемой термоядерной реакции. По аналогичной технологии были разработаны и изготовлены 8- и 12 полосные позиционно-чувствительные детекторы, позволяющие, кроме того, получать профили электронной температуры по сечению плазмы.

Наблюдения за ППД в течение 10^7 с (120 суток) непрерывной работы в вакууме $4 \cdot 10^{-7}$ торр, из них $\sim 5 \cdot 10^6$ с с плазмой, когда детекторы находятся при давлении водорода $\sim 5 \cdot 10^{-1}$ торр, показали стабильность параметров и отсутствие признаков старения и деградации.

В III главе диссертационной работы рассмотрены многомодульные детекторы - полупроводниковые каскадные телескопические системы для спектрометрии заряженных частиц, космических лучей, бикристалльные детекторы тепловых нейтронов, особенности конструкции и технологии ППД и КТС космического применения, их эксплуатационные характеристики, а также перспективные одномодульные многоцелевые телескопические системы.

Каскадные телескопические системы строились по модульному принципу и состояли из 4-х типов ППД: 1- $dE/dx(E)$ - детекторов толщиной 8-20мкм, 2- $dE/dx(E)$ -детекторов толщиной 100-300мкм, 3 -детекторов толщиной 2-2,5 мм и 4-оконечных ППД, включавшихся на антисовпадения с остальными для ограничения верхней границы спектрометрии заряженных частиц. Диаметр чувствительной области ППД составлял от 12 до 28 мм соответственно. Кроме того, в ряде случаев в качестве антисовпадательных использовались ППД прямоугольной формы, с размерами чувствительной области 18x32x1мм, которые устанавливались на боковых сторонах телескопа. На рис.6 представлены типичные спектры α -излучения изотопа ^{239}Pu для dE/dx детекторов и электронов внутренней конверсии ^{207}Bi для E-детекторов. Оптимальное рабочее напряжение составляет: для детекторов 1 и 2-го типов $1-6U_{\text{по}}$, где $U_{\text{по}}$ -напряжение полного обеднения, для 3- 200-400 В, для 4->50В. Потери энергии в МС детекторах всех типов при облучении α - частицами ^{239}Pu с энергией 5,159 МэВ не превышали 15 кэВ.

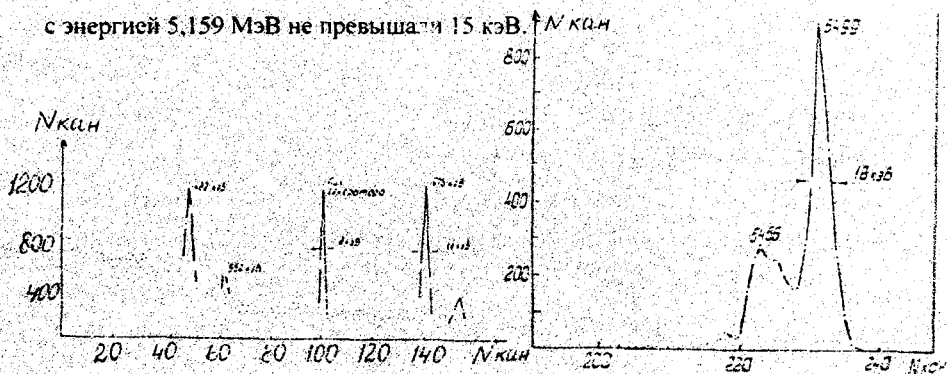


Рис.6. Спектры α -излучения изотопа ^{239}Pu для dE/dx детекторов и ЭВК ^{207}Bi для E-детекторов.

КТС обеспечивают решение широкого класса задач при исследованиях спектрального состава тяжелых заряженных частиц в ядерной физики и прикладной ядерной спектрометрии, способны работать в течение длительного времени в условиях Космоса. С минимальной конфигурацией КТС позволяют проводить измерения характеристик частиц в интервале энергий $0,05\sqrt{M} < E < 30\sqrt{M}$ МэВ, где M- масса частиц в а.е.м.

Рассмотрены особенности регистрации тепловых нейтронов с помощью датчиков, включающих: полупроводниковые детекторные модули (ДМ) и ${}^6\text{Li}$ - либо ${}^3\text{He}$ - ${}^3\text{H}$ конверторы. Регистрация ТН основана на следующих двух реакциях:



Для быстрых нейтронов $\sigma \sim 1/v_n$, где v_n - скорость нейтрона.

На рис.7 показана кинематика взаимодействия нейтрона с веществом конвертора - ${}^6\text{Li}$ (а), энергетические потери вторичных частиц в защитной пленке (б), вероятность взаимодействия ТН с веществом конвертора в зависимости от его толщины (в).

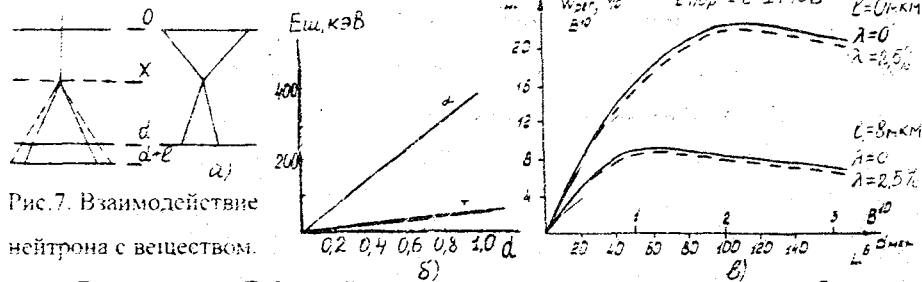


Рис. 7. Взаимодействие нейтрона с веществом.

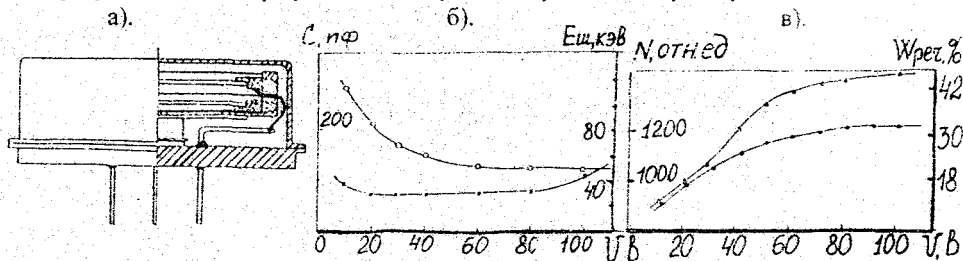
Для реальных ДМ линейные размеры площади чувствительной области намного больше ее толщины и толщины конверторов, краевыми эффектами, упругим взаимодействием, влиянием конструкционных материалов корпуса ППД на нейтронный пучок можно пренебречь. В этом случае эффективность регистрации нейтронов равна:

$$\xi(E) = N(\sigma_{n,\alpha} + \sigma_{n,p}) \psi(E)_{КМСР}(E_{Д}) \quad (4)$$

где N — число ядер ${}^6\text{Li}$ либо ${}^6\text{Li} + {}^3\text{He}$ на см^2 поперечного сечения конвертора, $\sigma_{\text{в.а}}$, $\sigma_{\text{н.р}}$ — сечение реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$ и ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ соответственно, $k_{\text{мс}}$ — коэффициент, учитывающий потери вторичного излучения в мертвом слое ДМ, $\psi(E)$ — геометрический фактор, учитывающий поглощение вторичных частиц в конверторе и угол падения их на поверхность входного окна ДМ, $\rho(E_{\text{д}})$ — отношение числа импульсов, превышающих установленный уровень дискриминации к полному числу импульсов, возникающих на выходе ДМ.

В работе предложен и технологически реализован бикристалльный полупроводниковый детектор тепловых нейтронов, включающий два кремниевых кристалла — детекторных модуля (ДМ), работающие в режиме полного обеднения чувствительной области ($>40\text{В}$), толщиной ~ 200 мкм и три ${}^6\text{Li}$ — конвертора (с концентрацией 92%) толщиной 120 мкм, собранные в чередующем порядке в виде сэндвича. При необходимости минимизации толщины активной области сэндвич-детектора — общей толщины всех конверторов и ДМ с учетом изолирующих прокладок, она может составлять не более $d_{\text{общ}} = 0,9-1,0$ мм. Для повышения эффективности регистрации ТН сэндвич помещался в герметичную металлическую капсулу, наполненную ${}^3\text{He}$ под давлением 3 атм. На рис.8. представлен бикристалльный детектор тепловых нейтронов: а) — устройство БДТН в разрезе; б, в) — электрофизические и радиометрические характеристики. В режиме полного обеднения чувствительной области ДМ ($U \geq 80\text{В}$) эффективность регистрации ТН бикристалльным детектором составляет св.31%.

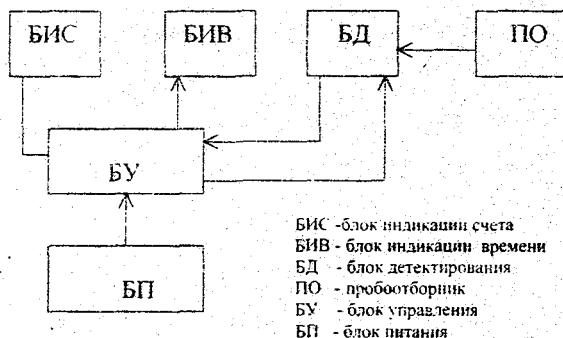
Рис.8. Бикристалльный детектор тепловых нейтронов: а) — устройство БДТН в разрезе; б, в) — электрофизические и радиометрические характеристики



Рассмотрены перспективы использования созданных ДТН во время-пролетных спектрометрах. Заменяя ^3He другим инертным газом, можно использовать ДТН в составе время-пролетных спектрометров (ВПС) для исследования энергетических спектров нейтронов. При обычной длине базы ВПС $L > 1\text{ м}$ и $d_{\text{общ}} < 1\text{ мм}$ соотношение $d_{\text{общ}}/L < 0,1\%$.

В IV главе исследованы вопросы разработки и применения ППД в качестве спектрометров для исследований некоторых радиационных характеристик окружающей среды, в частности, - полупроводниковые спектрометры α и β - излучения аэрозолей и возможности измерения с помощью них радона, торона и дочерних продуктов распада. Принцип работы их основан на регистрации α и β - частиц дочерних продуктов распада (ДПР) изотопов радона, находящихся на аэрозолях, осажденных на аэрозольном фильтре типа АФА-РСП-5-20, рис.9.

Рис.9. Блок-схема ПП радонмера.



Предусмотрено в зависимости от модификации один, либо три канала регистрации α -частиц от изотопов $\text{RaC} + \text{RaC}^* + \text{ThC}$; $\text{RaC} + \text{ThC}$; ThC и время измерения активности фильтра 1, 2, 5, 10 мин.

Диаметр чувствительной области ППД 25-50 мм, уровень собственного фона, не более 0,001 имп/с, диапазон измерения ОА радона в воздухе - от 4 до $5 \cdot 10^4$ Бк/м³, эффективность регистрации по препарату ^{230}Pu , типа ЗП9 - 39,6%, площадь фильтра - 20см², скорость отбора пробы 0,1 - 4л/с, погрешность, не более 25%. Эффективность счета α -частиц от фильтра в реальной геометрии

измерений составляет не менее: в канале 1 для RaA - 32%, RaC - 33% и ThC - 33%; в канале 2 для RaA - 31%, ThC - 32%; в канале 3 для ThC - 28%.

Основные изотопы радона и ДПР испускают α -частицы с энергиями в диапазоне от 5,3045 МэВ (^{210}Po) до 8,7849 МэВ (^{212}Po), причем только два изотопа – ^{212}Bi (6,050 и 6,090 МэВ) и ^{218}Po (6,002 МэВ) испускают α -частицы с близкими энергиями, отличающимися на 1,5%, у остальных она составляет 3 % и более. Учитывая, что период полураспада ^{218}Po и ^{212}Bi отличаются в 20 раз (3,05 мин. и 60,55 мин. соответственно), при радоновых исследованиях энергетическое разрешение ППД в 150–200 кэВ вполне достаточно для обеспечения массовых экспресс-анализов радиоактивных аэрозолей. Это существенно облегчает задачу, так как для измерения малых количеств α -активных веществ предпочтительно использовать детекторы большой площади. Созданные приборы позволяют, в зависимости от концентрации ДПР в воздухе, затрачивать от 2 до 4 минут на одно измерение для ППД с $S=20\text{ см}^2$ и до 15 минут - для ППД с $S=5\text{ см}^2$. При анализе аэрозолей по β -излучению время измерения возрастает до нескольких часов.

В заключение главы приведены характеристики полупроводникового альфа-радиометра порошковых проб и результаты его применения в анализе рудных месторождений, отвалов и хвостохранилищ.

Выводы

1. Разработана технология изготовления специализированных кремниевых dE/dx и E детекторов ионизирующего излучения, на основе которой созданы и нашли применение для решения задач ядерной физики и прикладной ядерной спектроскопии прецизионные токовые детекторы ультрамягкого рентгеновского излучения, телескопические системы для спектроскопии заряженных частиц, бикристалльные детекторы тепловых нейтронов, спектрометры α - и β -излучения.

2. Исследованы вопросы оптимизации входного окна и тыльного контакта, конструкции E-детекторов с полностью обедненной областью

объемного заряда, процесс динамического травления в технологии получения сверхтонких пролетных dE/dx детекторов с высокой степенью плоскопараллельности границ чувствительной области и минимальной толщиной мертвого слоя входного и выходного окна.

3. Исследования характеристик разработанных ППД и спектрометров и применение их в ядерной спектрометрии и прикладной ядерной физике показали:

-возможности использования кремниевых ППД в токовом режиме для диагностики поведения пристеночной плазмы и в качестве датчика системы управления в исследовательских установках управляемого термоядерного синтеза (УТС);

-Сикристалльные детекторы, включающие 2 детектора-модуля с полностью обедненной областью объемного заряда и 3 ${}^6\text{Li}$ (92%) конвертора плотностью 0.54 г/см^3 и толщиной 120 микрон обеспечивают эффективность регистрации тепловых нейтронов не менее 31%;

-кремниевые телескопы-спектрометры заряженных частиц, включающие 4 dE/dx и E детекторы-модули с полностью обедненной областью объемного заряда и оконечные ППД позволяют исследовать длительное время в условиях Космоса спектры заряженных частиц в интервале энергий $0,05\sqrt{M} < E < 30\sqrt{M}$ МэВ, где M- масса частиц в а.е.м;

-кремниевые одно- и многомодульные детекторы являются оптимальными для измерения концентрации α - и β - активных радионуклидов в аэрозолях, а также почвах и грунтах, строительных материалах, минеральном сырье.

4. Разработанные полупроводниковые детекторы, блоки детектирования и спектрометры конкурентоспособны на внешнем рынке и обеспечили замещение аналогичной импортной продукции.

Достоверность полученных результатов обеспечена применением аттестованного метрологического оборудования, подтверждена соответствием полученных экспериментальных данных проведенным расчетам и модельным

представлениям, практической реализацией спектрометрических характеристик разработанных приборов ядерной физики.

Основные результаты диссертации опубликованы
в следующих работах

1. Азимов С.А., Муллағалиева Ф.Г., Шейна Н.М., Яфасов А.Я. Высокоэффективный полупроводниковый детектор тепловых нейтронов. // Приборы и техника эксперимента, М., Изд-во «Наука», 1985 г., №4, стр.46-48.

2. Малаева В.Т., Муминов Р.А., Муллағалиева Ф.Г., Яфасов А.Я. Особенности защиты ППД органическими полимерами. // В сб.ст. «Фотоэлектрические и кинетические явления в неоднородных полупроводниках и полупроводниковых пленках». Ташкент, Изд-во «ФАН», 1982г., стр.36-43.

3. Малаева В.Т., Муминов Р.А., Муллағалиева Ф.Г., Сохорева В.В., Яфасов А.Я. Диэлектрические покрытия для низкотемпературной пассивации полупроводниковых детекторов, там же, стр. 31-35.

4. Малаева В.Т., Заугольников Е.Г., Муллағалиева Ф.Г., Сафина В.Т., Яфасов А. Влияние поверхностного заряда на шумовые и спектрометрические характеристики dE/dx ионно-имплантированных детекторов. // Москва, ЦНИИ «Электроника», МРС ВИМИ «Техника, технология, экономика», сер. «ЭР», №8087/82, №5.

5. Азимов С.А., Муминов Р.А., Муллағалиева Ф.Г., Яфасов А.Я. Устройство для идентификации заряженных частиц. // Авт. св. №1230429 от 08.01.86 г.

6. Акимов В.А., Винокурова Л.М., Муллағалиева Ф.Г. Радон в Ташкентских квартирах. // Материалы конф. «Радон-2000», Пушкино, 17-20 апреля 2000 г., с.18-20.

7. Азимов С.А., Муллағалиева Ф.Г., Яфасов А.Я. Полупроводниковые телескопы для космических исследований. //Тезисы XXXV Сессии по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Л., Наука, 1985 г., с. 376 .

8. Азимов С.А., Муминов Р.А., Муллағалиева Ф.Г., Осипова Н.В., Рыкова Н.П., Яфасов А.Я. Особенности характеристик ППД, используемых в установках типа «Токамак». //Тезисы докладов Вс. Конф. По радиационной физике полупроводников, Изд-во «ФАН», Ташкент, 1984 г., с.15.

9. Богомолова Т.А., Винокурова Л.М., Лейдерман Е.А., Муллағалиева Ф.Г., Осипова Н.В., Рыкова Н.П. Полупроводниковые каскадные детектирующие системы для космических исследований. //Тезисы докладов республиканской н/т конференции «Актуальные проблемы общественных, естественных и технических наук», Ташкент, «ФАН», 1982 г., стр.30.

10. Муминов Р.А., Богомолова Т.А., Лейдерман Е.А., Муллағалиева Ф.Г., Рыкова Н.П., Яфасов А.Я. Полупроводниковые детекторы для телескопических систем. // «Атомная энергия», 1986, т.61, вып.1, с.48-50

11. Винокурова Л.М., Мирахмедова Н.М., Муллағалиева Ф.Г. Яфасов А.Я. Альфа-радиометр почв. //Тезисы докладов II Сессии по ядерной спектроскопии и структуре ядра, Дубна, 1999 г., с. 171.

12. Ен З., Подъячев В.Н., Мирахмедова Н.М., Муллағалиева Ф.Г. Яфасов А.Я. Инструментальный радономониторинг. //Тезисы докладов II Сессии по ядерной спектроскопии и структуре ядра, Дубна, 1999 г., с. 173.

13. Муллағалиева Ф.Г. Токовые детекторы ультрамягкого рентгеновского излучения. //Тезисы докладов I Сессии по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, г.Санкт-Петербург, 2000 г., с. 367.

14. Винокурова Л.М., Муллағалиева Ф.Г., Оже-спектроскопия лицевой поверхности кремниевых детекторов. //Тезисы докладов I Сессии по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, г.Санкт-Петербург, 2000 г., с. 368.

15. Yafasov A. Ya, Akimov V.A., Zaredinov D.A., Mullagalieva F.G., Vinokurova L.M., Yafasov A. A , Some Peculiarities of Radon Fields Behaviour in

Living Premises. // II Conference "Radioisotopes and Their Application", Tashkent, 3-5 October, 2000, p.51-52.

16.Акимов В.А., Винокурова Л.М., Муллағалиева Ф.Г., Яфасов А.А.
Радон в Ташкентских квартирах. //Экологические вести, 2000 г., №4, с.47-49

17.Винокурова Л.М., Муллағалиева Ф.Г., Яфасов А.А.
Полупроводниковые детекторы для рентгеновской спектроскопии
высокотемпературной плазмы. // УФЖ, 2000 г. №5, с.372-377.

ҚИСҚАЧА МАЗМУНИ

Ядровий нурланиш спектрометрияси учун махсус кремнийли детекторларнинг тадбиқ қилиниши. ишлаб чиқарилиши ва қўлланилиши.

Муллагалиева Фануза

Кириш туйнуқлари ва ташки алоқаларни оптималлаш. dE/dx конструкциялари ва E - детекторларнинг хажм зарядларининг тўлиқ кучсизланиш соҳалари. ўта юпка қолдирилган оралиқ. сезги соҳаларининг юқори даражали текис параллел чегарали. қириш ва чиқиш туйнуқларининг энг кам қалинликдаги кераксиз қатламли dE/dx детекторларини олиш технологиясида динамик ишлов бериш жараёнлари масалалари тадбиқ қилинди.

Ядро физикаси. амалий ядро спектрометрияси ва космик нурлар масалаларини ечиш учун қуйидагилар яратилди ва қўллана бошланди:

- девор ёнидаги плазмаларни диагностика қилиш учун 0,04-10 кэВ диапазондаги прецизион токли кремнийли ультраюмшоқ бошқарув системасининг қабул қилувчи ва узатувчи қурилмаси сифатида:

- зарядланган зарраларнинг кремнийли телескоп - спектрометрлари, шу жумладан, хажмий зарядларининг тўлиқ кучсизланган соҳалари ва охириги ППДларни камраб олган, dE/dx ва E детектор - модуллар. Космос шароитида энергиянинг $0,05\sqrt{M} < E < 30\sqrt{M}$ МэВ, (бу ерда M - зарралар оғирлиги, а.е.м. да бўлган интервалида зарядланган зарралар спектрларини тадбиқ қилишга имкон берадиган);

- рўйхатга олиш самарадорлиги 31% дан юқори бўлган, оралиқ қолдирилган спектрометрларни қўллаш вақтида $d/L < 0,1\%$ ни таъминлайдиган иссиқлик нейтронларнинг бикристалли детекторлари:

- аэрозолларда ҳамда тупроқ, кирилиш материаллари ва минерал хомашёларда α - ва β - актив радионуклидлар концентрациясини ўлчаш учун мўлжалланган, α - ва β - нурланишли кремнийли бир ва қўп модулли спектрометрлар.

THE SUMMARY

RESEARCH, DEVELOPMENT AND APPLICATION SPECIALIZED SILICON DETECTORS FOR SPECTROMETRY OF A NUCLEAR RADIATION

Mullagalieva F.G.

The problems of optimisation of the source window and back contact, construction dE/dx and E - of detectors with completely poor area of a volumetric charge, processes of dynamic etching in technology of deriving hyperfine fly dE/dx detectors with high degree of flat-parallelism of the boundaries of sensing area and minimum thickness of dead stratum of the source and target window are investigated.

The following are created and have found an use for problem solving of nuclear physics, applied nuclear spectrometry and space rays:

- precision current silicon detectors of a ultra soft X-radiation in a range 0,04-10 keV for diagnostics of wall of plasma and as the gauge of a control system for research aims of controlled thermonuclear synthesis;

- silicon telescopes – spectrometers of charged particles including dE/dx and E the detector - modules with completely poor area of a volumetric charge and final semiconductor detectors, permitting to investigate in conditions of space spectra of charged particles in an interval of energies $0,05\sqrt{M} < E < 30\sqrt{M}$ MeV, where M - a mass of particles in atomic unit of mass;

- bicrystal detectors of thermal neutrons with efficiency of registration above 31% ensuring for want of application in time - fly the spectrometers $d/L < 0,1$ %;

- silicon one and multimodular spectrometers α - and β - of a radiation intended for a measurement to the concentration α - and β - of active radionuclides in aerosols, and also soils and grounds, building materials, mineral raw material.

Отпечатано на ротапринтере ИЯФ АН РУ
702132, п. Улугбек, Мирзо-Улугбекского р-на, г. Ташкента
Издательский отдел ИЯФ АН РУ

Заказ №

Тираж 100 экз.

Уч. изд. л. 1,5

Редактор: З. Фазылова

Подписано в печать

8.02.2002