

На правах рукописи

УДК 548.571; 548.73; 538.95



АРТЁМОВ ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ

**КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ КРИСТАЛЛОВ CdTe и
GaAs ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА ИЗЛУЧЕНИЙ**

01.04.07 - Физика конденсированного состояния

*Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук*

Москва - 2005

Работа выполнена в Институте кристаллографии имени А.В. Шубникова
Российской академии наук

Научный руководитель:

доктор биологических наук, член-корр. РАН Киселев Николай Андреевич

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук, профессор Петров Виктор Иванович

Кандидат физико-математических наук Галстян Виктор Гайкович

Ведущая организация:

Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов
Российской академии наук, г. Черноголовка

Защита состоится "2" июня 2005 года в "12:30" часов на заседании
Диссертационного совета Д 002.114.01 в Институте кристаллографии им.
А.В. Шубникова РАН по адресу: 119333 Москва, Ленинский проспект, 59.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН

Автореферат разослан "4" мая 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.114.01
кандидат физико-математических наук


В.М. Каневский

2006-4
5275

2140276
3

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

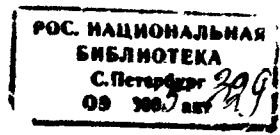
Актуальность проблемы. В последнее время проявляется значительный интерес к полупроводниковым материалам типа $A^{II}B^{VI}$ и $A^{III}B^V$, применяемым для изготовления детекторов рентгеновского и гамма излучения, которые используются в медицине, биологии, для неразрушающего контроля и анализа, а также в космической физике и других областях техники. К таким материалам в первую очередь относятся CdTe и GaAs. Радиационные детекторы на их основе работают при комнатной температуре, это выгодно отличает их от детекторов, работающих лишь при температуре жидкого азота. Следует отметить, что не менее важным является применение CdTe в электрооптических приборах.

Несмотря на видимое сходство (кристаллическое строение, ширина запрещенной зоны), проблема получения детекторных приборов на кристаллах GaAs и CdTe различна. За последние десятилетия были разработаны надежные методы получения однородного бездефектного монокристаллического GaAs, чего нельзя сказать о CdTe. Тем не менее, CdTe в перспективе видится более привлекательным вследствие более высоких значений атомного номера и диффузионной длины неосновных носителей заряда. Однако чисто технологические ограничения в достижении большой диффузионной длины носителей заряда и высокого сопротивления этих кристаллов затрудняют их широкое применение в качестве детекторов. К тому же монокристаллы CdTe, выращенные существующими методами, характеризуются неоднородностью микроструктуры (двойники, преципитаты, малоугловые границы и др.), а также электрических и физических свойств, что также снижает качество детекторов.

Можно выделить два основных направления решения проблемы получения детекторных кристаллов с необходимыми свойствами:

1. отработка режимов роста и посткристаллизационного охлаждения кристаллов с высоким структурным совершенством (особенно для CdTe);
2. выращивание толстых эпитаксиальных слоев высокого качества с низким содержанием примесей, дефектов структуры и высоким сопротивлением (особенно для GaAs).

Поэтому выбор в качестве исследуемых объектов полуизолирующих монокристаллов CdTe, которые получены новым, принципиально отличным методом и для которых нехарактерны классические дефекты микроструктуры, и гомоэпитаксиальных структур типа p^+-n-p^+ на основе GaAs отвечает упомянутым основным направлениям и актуален.



Цель и основные задачи работы:

- 1 комплексное исследование методами растровой и просвечивающей электронной микроскопии микроструктуры выращенных методом Обреимова-Шубникова полуизолирующих кристаллов CdTe и их транспортных характеристик;
- 2 оптимизация технологии выращивания кристаллов на основе результатов данных исследований;
- 3 изучение диффузионных p-n переходов с целью получения детекторов рентгеновского и гамма излучений на базе монокристаллов CdTe;
- 4 локальное качественное исследование внутреннего встроенного поля гомоэпитаксиальных p'-n-p'-n структур на основе GaAs для определения его характера и эффективности сбора инжектированных носителей.

Научная новизна работы заключается в том, что монокристаллы CdTe, полученные методом Обреимова-Шубникова с применением техники самозатравления и ступенчатого посткристаллизационного охлаждения, основанного на фазовых переходах в этих кристаллах, впервые были исследованы методами катодоллюминесценции (КЛ) и наведенного тока (НТ). Благодаря этим исследованиям выявлены принципиальные преимущества ступенчатого охлаждения. Были получены новые данные о совершенстве микроструктуры кристаллов CdTe нетипичные для кристаллов, выращенных из раствора. Также методами КЛ и НТ впервые исследовались гомоэпитаксиальные структуры на основе GaAs, работающие в качестве детекторов рентгеновского и гамма излучений. Проведенные исследования позволили впервые оценить характер распределение электрического поля в данном типе структур и предложить модель лавинного умножения.

Практическое значение

На основе комплексного исследования методами КЛ, НТ, просвечивающей электронной микроскопии монокристаллов CdTe, полученных в разных экспериментальных условиях, отработан режим посткристаллизационного охлаждения. Это позволило воспроизводимо получать кристаллы с улучшенными структурными, транспортными и оптическими характеристиками, что способствовало, наряду с получением полупроводниковых слитков большого диаметра, разработке промышленной технологии получения монокристаллов CdTe. Создана методика локального исследования детекторных фотовольтаических эпитаксиальных структур на основе GaAs методами НТ и КЛ, выявляющая картину распределения встроенных в обедненной области полей и позволяющая повысить выход годных детекторов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Результаты исследований методами КЛ и НТ полуизолирующих монокристаллов CdTe, выращенных методом Обреимова-Шубникова

Полученные данные по распределению дефектов в монокристаллах CdTe, выращенных в различных условиях, способствовали усовершенствованию методики получения кристаллов теллурида кадмия с совершенной структурой и высокими стабильными электрофизическими параметрами.

- Разработка измерительного стенда для исследования полупроводниковых детекторных кристаллов.
- Закономерности образования дефектов, выявляемых методом КЛ. При применении ступенчатого охлаждения и управлении отклонением состава от стехиометрии концентрация дефектов уменьшается на два порядка, дислокации не собираются в малоугловые границы и границы блоков, отсутствуют преципитаты.
- Результаты исследования гомоэпитаксиальной структуры на основе GaAs методами НТ и КЛ. Встроенное поле занимает всю активную область p-GaAs, оно неоднородно и обладает высокой эффективностью сбора неосновных носителей заряда.

Личный вклад автора

Автором был разработан и изготовлен специальный измерительный стенд на базе коммерческого РЭМ, позволяющий проводить исследования полупроводниковых кристаллов методами КЛ и НТ. Автор провел все эксперименты на всех этапах от изготовления образцов до обработки результатов исследований и измерений.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на молодёжном конкурсе научных работ ИКРАН, в 2001 году; на международных и национальных конференциях: X Национальной конференции по росту кристаллов, ИКРАН, Москва, 2002 г.; XIX Российской конференции по электронной микроскопии, Черноголовка, 2002 г.; 6^{ом} Международном совещании по оценке и контролю полупроводниковых соединений и технологий (EXMATEC 2002), Будапешт, Венгрия, 2000 г.; XIII Российском симпозиуме по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам, Черноголовка, 2003 г.; X Международной конференции по дефектам: поиск, отображение и физика в полупроводниках (DRIP X), Баг-сюр-Мер, Франция, 2003 г.; XX Российской конференции по электронной микроскопии, Черноголовка, 2004 г.; XI Национальной конференции по росту кристаллов, Москва, 2004 г.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ, из них 4 статьи и 6 тезисов докладов.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов и списка литературы. Объем диссертации составляет 107 страниц, включая 54 рисунка и 7 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 117 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследований, изложены новизна и практическая ценность работы.

Первая глава представляет обзор литературы по теме диссертации. Вначале описана конструкция полупроводникового детектора. Введена классификация полупроводниковых детекторов. Далее описаны основные требования, предъявляемые к материалам полупроводниковых детекторов, такие как высокий атомный номер Z , как можно меньшее значение энергии образования электронно-дырочных пар ϵ , высокое удельное сопротивление ρ , обладание хорошими транспортными характеристиками, совершенная микроструктура.

Также выполнен сравнительный анализ физических характеристик детекторов на основе классических материалов, таких как Si и Ge, и более перспективных, с высоким значением Z на основе CdTe и GaAs.

Далее описана сложность и проблематика в получении кристаллического CdTe. Рассмотрены и кратко описаны современные методы получения полуизолирующего CdTe для детекторов рентгеновского излучения, проанализированы их достоинства и недостатки. Описана проблема самокомпенсации высокоомных кристаллов, легированных хлором. Дана характеристика и структура преципитатов, встречающихся очень часто в этих кристаллах. Обоснован выбор нового метода Обреимова-Шубникова, используемого в этой работе.

Рассмотрена также проблематика GaAs, который обладает иными физическими свойствами, нежели кристаллы CdTe. В настоящее время широко применяют полуизолирующий GaAs, полученный методом Чохральского (LEC). Описаны основные недостатки данных детекторов. В настоящее время наметился переход к эпитаксиальной технологии.

Дается обзор литературы по методам НТ и КЛ, применяемым в РЭМ. Проанализированы их основные характеристики, информация, которая может быть получена, методики определения диффузионной длины неосновных носителей заряда, описана применяемая аппаратура.

Приводится краткое описание методик приготовления образцов для просвечивающей электронной микроскопии.

Вторая глава посвящена описанию экспериментальной установки на базе РЭМ Philips™ SEM 515 для проведения исследований методом КЛ и НТ. Приведены конструкции держателей (рис.2) и специального усилителя.

Описаны методики приготовления образцов для данных исследований и просвечивающей электронной микроскопии.

Дано подробное описание применяемого метода Обреимова-Шубникова для роста кристаллов, конструкции печи [1], режимов роста и принципов ступенчатого охлаждения. В настоящей работе исследовались монокристаллы CdTe, выращенные в Институте кристаллографии РАН по методике проф. Ю.М. Иванова с применением ступенчатого охлаждения. В основе принципа ступенчатого посткристаллизационного охлаждения лежит информация о трех фазовых переходах, обнаруженных в CdTe в результате дилатометрических исследований [2]. После кристаллизации слиток охлаждается не классически монотонно с постоянной скоростью (20 °C/час), а специальным образом. В районе температур фазовых переходов (рис.1) кристалл резко быстро охлаждается (со скоростью 60-90°C/час) и выдерживается в монофазной области в течение 20 часов [3].

Наличие переходов первого рода в кристаллах CdTe при высоких температурах приводит к генерации в кристаллах напряжений, которые в свою очередь стимулируют полигонизацию дислокаций и выход теллуровых преципитатов, ухудшающих микроструктуру. В связи с этим важно создать условия, при которых кристалл охлаждается в интервале фазовых переходов с высокой скоростью. Однако, как показано в работе [1], высокая скорость охлаждения приводит к нестабильности во времени электрических свойств (старению) кристалла. Поэтому необходимо после фазового перехода осуществить выдержку при постоянной температуре.

Исследовались кристаллы трех основных типов:

- Кристаллы, выращенные в кварцевом тигле при монотонном охлаждении;
- кристаллы, выращенные в кварцевом тигле при ступенчатом охлаждении;
- кристаллы, выращенные в тигле из стеклоглелерода или нитрида бора при ступенчатом охлаждении.

Также был применен нетипичный для CdTe метод регулирования состава посредством “создания давления ненасыщенного пара летучего элемента” [1].

Третья глава посвящена непосредственному изучению кристаллов CdTe, полученных методом Обреимова-Шубникова, и отработке технологии выращивания кристаллов с минимальным количеством дефектов, пригодных для изготовления детекторов рентгеновского излучения и гамма излучений. Для этой цели исследовались кристаллы трех типов (табл.1): монотонно охлажденные в кварцевом тигле, ступенчато охлажденные в кварцевом тигле, ступенчато охлажденные в тиглях из стеклоглелеродном или нитрида борном. Кристаллы первого типа характеризуются большим количеством блочных границ, размеры кристаллитов составляют 5-50 мкм, дислокации собраны в малоугловые границы (рис.3а). Плотность дислокаций более 10^6 см^{-2} .

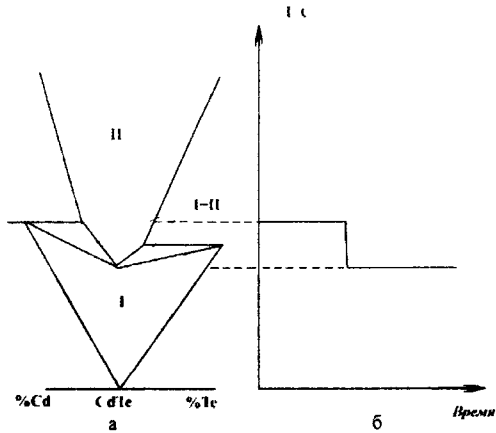
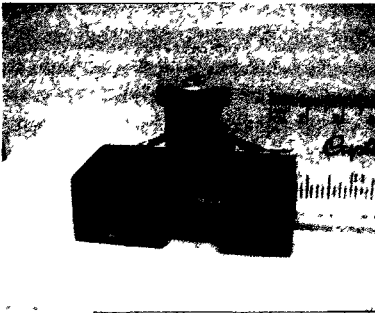
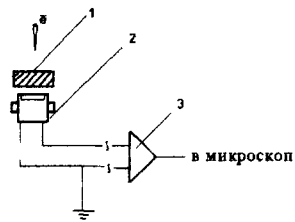


Рис. 1 Фрагмент фазовой диаграммы Cd-Te и схема посткристаллизационного ступенчатого охлаждения слитка.
 I – область существования фазы I, II – область существования фазы II, I+II – область сосуществования двух фаз



а



б

Рис.2. Изображение (а) и схема (б) держателя образцов для исследований методом интегральной КЛ (напросвет).

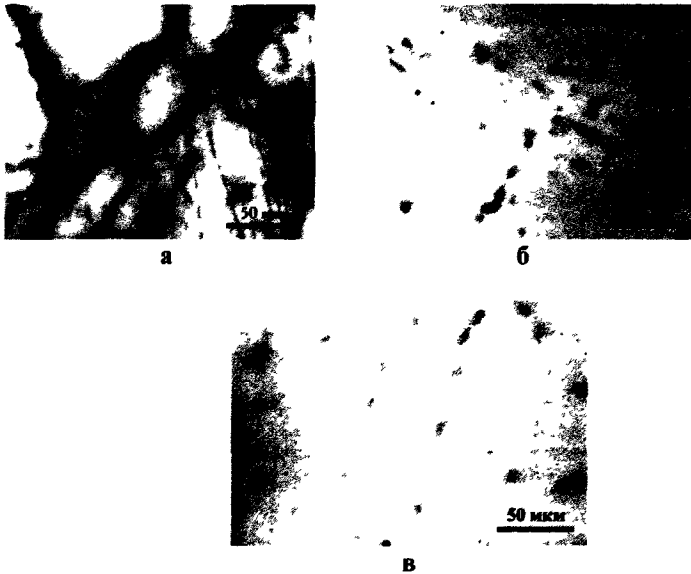


Рис.3. РЭМ - изображения поверхности сколов (в режиме интегральной КЛ кристаллов CdTe первого (а), второго (б) и третьего (в) типов).

Следует отметить низкое сопротивление кристаллов, обусловленное большим количеством собственных точечных дефектов (вакансий Cd) из-за отсутствия компенсирующего легирования хлором. Здесь вероятно также наблюдается сегрегация точечных дефектов на границах кристаллитов, в результате кристаллы обладают интенсивной КЛ. Применение ступенчатого охлаждения в корне меняет ситуацию (рис 3б) - блочные границы исчезают или слабо выражены.

Однако кварцевый тигель оказывает влияние на структуру кристалла, в некоторых случаях даже при применении ступенчатого охлаждения возможно появление границ блоков, особенно на участках кристалла близких к кварцевым стенкам тигля. К тому же ограничен диаметр слитка.

Кристаллы третьего типа лишены недостатков первых двух (рис.3в). Кристаллы, выращенные в тиглях из стеклоуглерода и нитрида бора, характеризуются структурным совершенством и большим диаметром - до 110 мм. Применение специального компенсирующего легирования хлором позволило получить высокоомные кристаллы с удельным сопротивлением до 10^9 Ом·см. На основе этих кристаллов в дальнейшем изготавливались детекторные структуры.

Преципитаты теллура - один из самых распространенных дефектов в CdTe. В кристаллах, выращенных с применением ступенчатого охлаждения и

стехиометрического состава, они практически не выявлялись. В связи с тем, что в работе подбиралась оптимальная концентрация легирующего хлора, преципитаты микронного размера обнаруживались лишь в кристаллах с концентрацией хлора более 10^{19} см^{-3} . Оптимальная концентрация хлора порядка 10^{18} см^{-3} , в результате получают кристаллы с высоким удельным сопротивлением и не содержащие преципитатов теллура. Также исследование методом просвечивающей электронной микроскопии не выявило преципитатов нанометрового размера.

Далее была определена диффузионная длина неосновных носителей заряда для полученных кристаллов методом наведенного тока. Для этой цели на низкоомных кристаллах изготавливались барьеры Шоттки путем химического осаждения золота, а на высокоомных кристаллах с удельным сопротивлением $10^7 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и выше создавались p-n переходы, которые в дальнейшем применялись для диодных детекторных структур. В результате проведенных исследований было показано, что кристаллы с наибольшим сопротивлением и совершенством по микроструктуре обладают и самой высокой диффузионной длиной (табл.2), из которой определена важная транспортная характеристика полупроводниковых кристаллов $\mu\tau$ (произведение подвижности на время жизни неосновных носителей заряда), равная $1,6 \cdot 10^4 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1}$ для электронов. Теоретическая толщина активного слоя детектора h , полностью собирающего заряд, вычисляется, исходя из соотношения:

$$h = \mu\tau E, \quad (1)$$

где E – напряженность поля. Таким образом, при толщине детектора в 1 мм и приложенному напряжению 100 В, $h = 1,54 \text{ мм}$. Полученная величина $\mu\tau$ достаточна для изготовления таких детекторов, толщиной 1 или 2 мм.

На основе наиболее удачных кристаллов были изготовлены диодные детекторные структуры путем диффузионного легирования поверхностного слоя индием. Наряду с определением $\mu\tau$ методом НТ контролировалась глубина залегания полученных p-n переходов (рис.3). Эта величина является важным параметром, т.к. необходимо получить наиболее оптимальную глубину p-n перехода. Слишком маленькая глубина порядка нескольких десятков микрон ведет к выходу на поверхность p-n перехода при механической обработке детекторных кристаллов, в то же время слишком большая область n-типа тоже нежелательна из-за снижения ее сопротивления в результате легирования. Исследование p-n переходов в зависимости от температуры диффузии и времени, позволило получить детекторные диодные структуры размерами $5 \times 5 \times 2 \text{ мм}$ и $5 \times 5 \times 1 \text{ мм}$. Определена токовая чувствительность детекторов, а также определены спектральные и счетные характеристики при облучении гамма-квантами изотопов Cs^{137} , Co^{60} , Am^{241} . Кристаллы толщиной 1 мм и при обратном смещении 200 В на спектральных характеристиках обнаруживают пики. Это показывает возможность работы полученных детекторов в качестве спектрометров в диапазоне энергии гамма-излучения 30- 600 кэВ (рис.4).

Табл. 1 Характеристики образцов CdTe , выращенных в разных условиях.

Номер образца	Тип охлаждения	Материал тигля	Уровень легирования, см^{-3}	Тип проводимости	Удельное сопротивление, Ом·см	Микроструктура, плотность дефектов, см^{-2}
S-24	Ступенчатое	Кварц	$4,8 \cdot 10^{18}$	n-тип	$0,5-2 \cdot 10^6$	Хаотично расположенные дефекты, плотность порядка 10^4
S-26	Монотонное	Кварц	-	p-тип	$7 \cdot 10^3-3 \cdot 10^4$	Блочные границы, полигонизация, плотность более 10^6
S-28	Монотонное	Кварц	-	p-тип	10^3	Блочные границы, полигонизация, плотность более 10^6
S-31	Ступенчатое	Кварц	$5,8 \cdot 10^{18}$	p-тип	$5 \cdot 10 \cdot 10^3$	Хаотично расположенные дефекты, плотность порядка 10^2
S-32	Ступенчатое	Кварц	Cl $4,8 \cdot 10^{18}$ Zn 1,8 % Se 1,8 %	p-тип	10^6	Хаотично расположенные дефекты, плотность порядка 10^2
S-36	Монотонное	Кварц	$5 \cdot 10^{18}$	p-тип	300	Полигонизация, плотность порядка 10^5
S-37	Ступенчатое	Кварц	$3,8 \cdot 10^{18}$	p-тип	10^9	Полигонизация, двойники плотность порядка 10^2
S-40	Ступенчатое	Кварц	$5 \cdot 10^{17}$	n-тип	120-180	Блочность, дефекты, плотность $5 \cdot 10^3$
C-33	Ступенчатое	Нитрид бора	$1,93 \cdot 10^{19}$	p-тип	$5 \cdot 10^8$	Большое количество двойников и преципитатов, дефектов более 10^6
C-34	Ступенчатое	Нитрид бора	$3,85 \cdot 10^{18}$	p-тип	10^8	Хаотично расположенные дефекты, плотность порядка 10^2
C-35	Ступенчатое	Стеклоуглерод	$5,8 \cdot 10^{18}$	p-тип	$1,3 \cdot 10^8-3 \cdot 10^9$	Хаотично расположенные дефекты, плотность порядка 10^4
C-59	Ступенчатое	Стеклоуглерод	$4,5 \cdot 10^{18}$	n-тип	$6 \cdot 10^6-2 \cdot 10^7$	Хаотично расположенные дефекты, плотность порядка 10^4
C-64	Ступенчатое	Стеклоуглерод	$2 \cdot 10^{17}$	p-тип	$2 \cdot 10^3-2 \cdot 10^3$	Хаотично расположенные дефекты, плотность порядка 10^4

Табл. 2. Сравнительные характеристики и диффузионная длина неосновных носителей заряда в кристаллах CdTe.

Номер образца	Удельное сопротивление, Ом·см	Характер микроструктуры	Диффузионная длина неосновных носителей заряда, мкм
S-24	$0,5-2 \cdot 10^6$	Совершенные по микроструктуре кристаллы, плотность дефектов 10^4 см^{-2}	3
S-40	120	Блочные кристаллы, дислокации собираются в малоугловые границы	1
C-59	$6 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$	Совершенные по микроструктуре кристаллы, плотность дефектов 10^5 см^{-2}	5
C-35	$1,3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$	Совершенные по микроструктуре кристаллы, плотность дефектов 10^4 см^{-2}	20

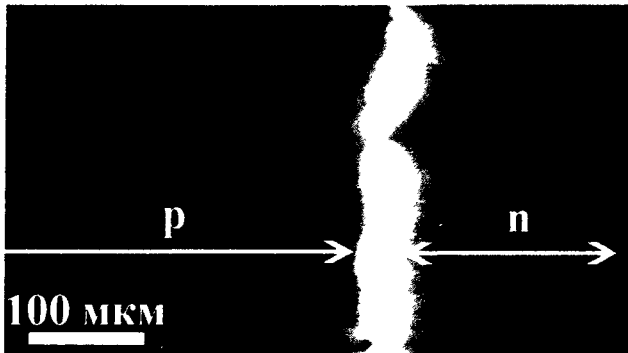


Рис.3. РЭМ микрофотография диодной структуры на основе монокристалла CdTe, полученная в режиме НТ

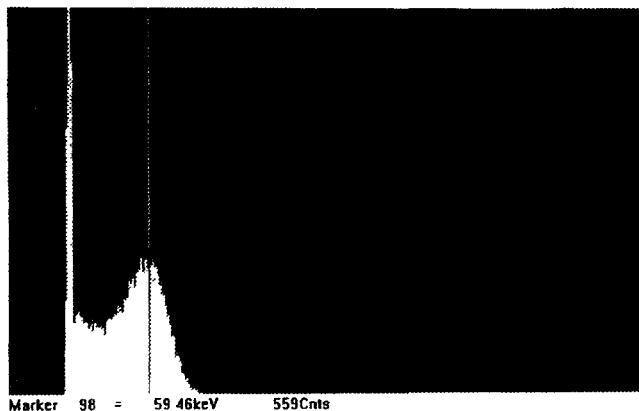


Рис 4 Спектр гамма-излучения источника Am^{241} , снятый при облучении детектора на основе образца С-35 толщиной 1 мм при обратном смещении 200 В.

В четвертой главе приведены результаты исследований многослойной гомоэпитаксиальной структуры на основе GaAs, работающей в фотовольтагическом режиме. Эпитаксиальные структуры GaAs ($p^+-n-n-p^+$), которые исследовались в настоящей работе, были выращены с помощью газофазовой эпитаксии с использованием системы $\text{AsCl}_3+\text{Ga}+\text{H}_2$. В качестве подложки использовались пластины высоколегированного (до 10^{17} см^{-3}) монокристаллического n-GaAs с ориентацией (100) диаметром 50 мм и толщиной 500 мкм. Эпитаксиальный слой p^+ - GaAs, легированный цинком, имел толщину 2-5 мкм. Активный слой n-GaAs имел толщину 60-100 мкм и содержал два типа легирования: первый тип – компенсационная лигатура, для создания необходимого высокого сопротивления слоя, вторая – донорная с концентрацией от 10^{13} до 10^{11} см^{-3} для создания встроенного поля. Слой n-GaAs – буферный, толщиной 5 мкм (уровень легирования 10^{18} см^{-3}), он препятствует образованию дефектов в активном слое n-GaAs.

На основе данной структуры конструируется специальная детекторная система посредством фотолитографии и химического травления, состоящая из 1024 отдельных пикселей, каждый из которых детектирует ионизирующее излучение и участвует в формировании изображения. Размер пикселей может колебаться от 1 мм до 200 мкм в зависимости от требований и размеров исследуемого объекта.

Важнейшими характеристиками детекторных структур является конфигурация, размер и величина встроенного поля, которое определяет дрейфовую эффективность сбора рожденных электронно-дырочных пар.

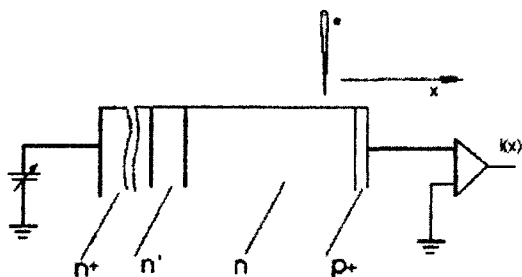


Рис. 5. Схема эксперимента в методе НТ.

В данной работе основным методом исследования профиля встроенного поля – метод НТ. В связи с тем, что глубина проникновения первичных электронов в обычном РЭМ с ускоряющим напряжением 30 кВ для арсенида галлия не превосходит 5 мкм, в качестве исследуемых объектов были выбраны поперечные сколы пластин арсенида галлия с нанесенными эпитаксиальными слоями (рис.5).

В качестве дополнительных методов исследований использовались сканирующая интегральная КЛ и снятие вольтфарадных характеристик.

В настоящей работе исследовались 4 вида образцов с различным типом легирования подложки (с углеродом, оловом и теллуром). Обнаружено, что каждому виду соответствует своя кривая НТ. Уровень сигнала на части образцов очень низкий, а у образцов с подложкой, легированной теллуром, в активной области n-GaAs содержатся области с почти нулевым сбором заряда, что объясняет плохую работу этих детекторов. Наиболее удачная структура ЭТ-380 (с подложкой легированной углеродом). Она обладает наиболее высоким уровнем сигнала в НТ. КЛ-изображение в целом соответствуют заявленной структуре, толщина активного слоя n-GaAs 70 мкм. Кривая НТ лучше соответствует ожидаемому распределению поля для резкого p-n перехода. Пик кривой НТ расположен близко к слою p⁺-GaAs, но в то же время уровень сигнала в активном слое n остается высоким (рис.6). Наблюдается область размером 30-40 мкм с практически 100 % эффективностью сбора заряда (рис. 7.) Эта структура, как наиболее удачная в данном случае, исследовалась, на изменение формы кривой НТ в зависимости от подачи обратного смещения. Использовались напряжения 5 В, 10 В, 15 В, 17 В. Подача обратного смещения больше 17 В вызывает пробой структуры. Обнаружено постепенное «растягивание» кривой в ширину как к подложке, так и к области p⁺- GaAs образца, пик кривой, где наблюдается максимальный уровень сбора носителей, уширяется и смещается к подложке (26 мкм при 0 В до 55 мкм при 17 В). Все эти данные хорошо согласуются с исследованиями по измерению эффективности сбора носителей при облучении этой структуры α-частицами различных энергий).

Обнаруживается прирост эффективности сбора носителей на 20 % по сравнению с нулевым смещением.



а



б

Рис 6 Изображения поверхности поперечного скола многослойной гомоэпитаксиальной структуры на основе GaAs и профиль сигнала этого изображения в РЭМ (а) – в режиме НТ, (б) – в режиме интегральной КЛ)

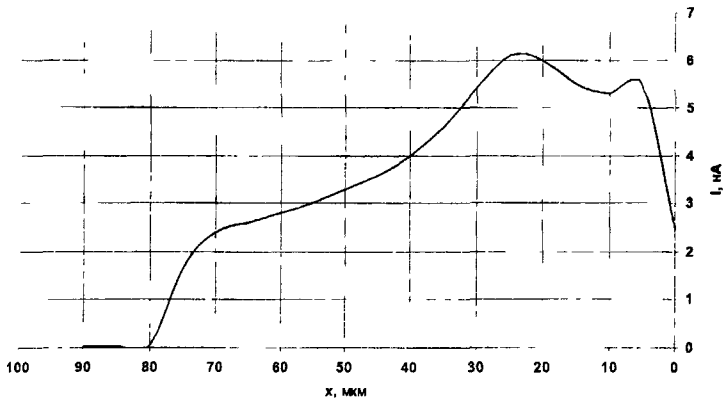


Рис. 7. Кривая НТ для структуры ЭТ-380 (ток в наноамперах).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На базе коммерческого РЭМ Philips SEM 515 создан специальный измерительный автоматизированный комплекс для исследования полупроводниковых кристаллов методами КЛ и НТ.
2. С использованием КЛ исследована микроструктура монокристаллов CdTe, полученных модифицированным методом Обреимова-Шубникова. Установлены закономерности формирования дефектов при различных условиях роста: применение ступенчатого охлаждения кристаллов значительно улучшает микроструктуру (отсутствуют блочные границы, сетка дислокаций носит хаотичный характер).
3. Исследование структуры этих кристаллов методом ВРЭМ не выявило преципитатов теллура нанометрового размера, которые характерны для кристаллов CdTe, полученных другими методами. При нарушении условий роста и стехиометрии в кристаллах обнаружены преципитаты микронного размера, декорирующие двойниковые границы.
4. С помощью метода НТ определена диффузионная длина неосновных носителей заряда, исследованы барьерные и диодные структуры, применяемые в качестве детекторов. Исследована глубина залегания диффузионных р-п переходов, позволившая установить аномально большую скорость диффузии, что объясняется междоузельной диффузией в компенсированном кристалле.
5. Методами НТ и КЛ изучена электрическая активность принципиально новой $p^+-n-p^+-n^+$ - структуры на основе GaAs. Исследована конфигурация встроенного поля этой структуры, позволяющая ей работать без приложенного обратного смещения. Установлено, что во всех образцах поле распределено неравномерно, но занимает всю активную область n-GaAs.

6 Методом НТ оценена эффективность сбора неосновных носителей заряда. Установлено, что величина обратного смещения для данной структуры не превышает 20 В. При больших значениях возникает пробой данной структуры. Подача обратного смещения приводит к увеличению области объемного заряда в 1,5 раза, что ведет к увеличению эффективности сбора.

7 На p^+-n-n^+ - структуре на основе GaAs с подложкой, легированной теллуром, выявлена причина их плохой работы – активная область n-GaAs очень неоднородна и содержит области с практически нулевым сбором заряда. Выявлено большое количество электрически активных дефектов в подложке, легированной теллуром.

ЦИТИРУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Иванов Ю.М. Выращивание монокристаллов с использованием эффекта самозатравления // Неорганические материалы. 1998. Т. 34. №9. С. 1062-1068.
- 2 Ivanov Yu. M., Polyakov A. N., Kanevsky V. M., Pashaev E. M. and Horvath Zs. J. Detection of polymorphous transformation in CdTe by dilatometry // Phys. Stat Sol. (c) N 3 2003. P. 889-892.
3. Koyama A., Hirano R. CdTe crystal or CdZnTe crystal and method for preparing the samples // US Patent 6,299,680. 2001.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Артёмов В.В., Каневский В.М., Иванов Ю.М. Исследование структуры кристаллов CdTe методами просвечивающей и растровой электронной микроскопии // Тезисы докладов XIX Российской конференции по электронной микроскопии. Черногловка. 2002. С. 134.
2. Иванов Ю.М., Каневский В.М., Чудаков В.С., Артёмов В.В., Пашаев Э.М., Поляков А.Н. Получение беспреципитатных полужизолирующих монокристаллов CdTe оптического качества // Тезисы докладов X Национальной конференции по росту кристаллов. Москва. ИК РАН. 2002. С. 79.
3. Ivanov Yu. M., Kanevsky V.M., Artemov V.V., Polyakov A.N., Abramets Yu. V., Pashaev E.M., Dvoryankin V.F., Kudryashov A.A., and Horvath Zs. J. Preparation of the CdTe Single Crystal Wafers for X-ray Detectors // Book of Abstracts 6th International Workshop on Expert Evaluation & Control of Compound Semiconductor Materials & Technologies. Budapest, Hungary. 2002. P.68.
4. Ivanov Yu. M., Kanevsky V.M., Dvoryankin V.F., Artemov V.V., Polyakov A.N., Kudryashov A.A., Pashaev E.M., and Horvath Zs. J. The possibilities of using semi-insulating CdTe crystals as detecting material for X-ray imaging radiography // Phys. Stat Sol. (c). No. 3 2003. P. 840-844

5. Артёмов В.В., Каневский В.М., Иванов Ю.М. Исследование структуры кристаллов CdTe методами просвечивающей и растровой электронной микроскопии // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2003. №3. С. 96-98.
6. Артёмов В.В., Иванов Ю.М., Дворянкин В.Ф., Телегин А.А. Исследование структур на основе CdTe и GaAs, используемых в качестве детекторов рентгеновского и гамма излучений, методами сканирующей катодолуминесценции и наведенного тока // Тезисы докладов XIII Российского симпозиума по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам. Черноголовка 2003. С.89
7. Артёмов В.В., Иванов Ю.М., Каневский В. М., Поляков А.Н. Исследование дефектов в кристаллах CdTe методом интегральной катодолуминесценции // Тезисы докладов XX Российской конференции по электронной микроскопии. Черноголовка 2004. С.71.
8. Ivanov Yu. M., Artemov V. V., Kanevsky V. M., Polyakov A. N., Chudakov V. S., Pashaev E. M. and Senin R. A. Production of structurally perfect single crystals of CdTe and CdZnTe // The European Physical Journal Applied Physics. Special Issue: DRIP X. 2004. V 27 No. 1-3 (July-September) P. 371
9. Иванов Ю.М., Артёмов В.В., Каневский В.М., Поляков А.Н., Чудаков В.С., Пашаев Э.М., Сенин Р.А. Получение структурно-совершенных кристаллов CdTe. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2004. №9. С. 12-16
10. Иванов Ю.М., Каневский В.М., Поляков А.Н., М.Д. Зенкова, Артёмов В.В., Бычков Е.Б., Чудаков В.С., Пашаев Э.М., Акчуриин М.Ш., Асадчиков В.Е. Рост и исследование монокристаллов CdTe// Тезисы докладов XI Национальной конференции по росту кристаллов. Москва, ИК РАН. 2004. С.135.

Принято к исполнению 25/04/2005
Исполнено 26/04/2005

Заказ № 801
Тираж: 100 экз..

ООО «11-й ФОРМАТ» ИНН 7726330900
Москва, Балаклавский пр-т, 20-2-93
(095) 747-64-70
www.autoreferat.ru

№ - 82 17

РНБ Русский фонд

2006-4

5275