

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 621.315.592

ОБРАЗЦОВА
Ольга Николаевна

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ, ПЛЕНОК AgGaTe_2
И ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ СТРУКТУР НА ИХ ОСНОВЕ

05.27.06 – Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2004

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

д. х. н., профессор
Боднарь Иван Васильевич,
Учреждение образования
«Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники», кафедра химии

Официальные оппоненты

д.ф. – м.н., профессор
Квасов Николай Трофимович,
Учреждение образования
"Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники", кафедра физики

д.т.н., профессор
Добрянский Валерий Михайлович
Учреждение образования
"Белорусский государственный
педагогический университет
имени Максима Танка",
кафедра общей физики

Оппонирующая организация

Научно-исследовательское республи-
канское унитарное предприятие
"Минский научно-исследователь-
ский институт радиоматериалов".

Защита состоится "12" февраля 2004 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.03 при Учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, ауд. 232, 1 уч. корп., т. 239-89-89).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Достижения физики и техники полупроводников в значительной степени определяются поиском и детальным исследованием новых полупроводниковых материалов. К таким материалам относятся тройные соединения типа $A^I B^{III} C^{VI}_2$ (где $A^I - Cu, Ag$; $B^{III} - Al, Ga, In$; $C^{VI} - S, Se, Te$). Указанные соединения являются электронно-химическими аналогами двойных соединений типа $A^I B^{VI}$, которые, в свою очередь, являются электронно-химическими аналогами полупроводников IV группы, таких как кремний и германий. В отличие от Si и Ge соединения $A^I B^{III} C^{VI}_2$ вызывают большой интерес у различных групп исследователей в силу следующих обстоятельств: а) они являются материалами с прямыми межзонными переходами и могут быть получены различного типа проводимости; б) значения ширины запрещенной зоны этих соединений близки к оптимальному для разработок преобразователей солнечного излучения ($E_g = 1.0 - 1.7$ эВ), коэффициент оптического поглощения в пределах спектрального диапазона солнечного излучения достигает больших значений ($\alpha > 10^5$ см⁻¹), что обеспечивает полное поглощение падающего излучения в тонких пленках таких материалов [1-3]. Некоторые из соединений $A^I B^{III} C^{VI}_2$ являются двулучепреломляющими и оптически активными кристаллами ($AgGaS_2, AgGaSe_2, CuAlSe_2$) и на их основе могут быть изготовлены узкополосные оптические светофильтры [4-6].

Из указанной группы материалов значительный интерес представляет тройное соединение $AgGaTe_2$. Кристаллы этого соединения обладают высокой радиационной стойкостью и стабильными электрическими характеристиками и являются перспективными нелинейными материалами для создания перестраиваемых твердотельных ИК лазерных систем, электрооптических модуляторов и других устройств [7-9].

Тройное соединение $AgGaTe_2$ – наименее изученное из группы соединений $A^I B^{III} C^{VI}_2$, что связано с трудностями выращивания его качественных кристаллов. К началу настоящей работы в литературе имелись лишь отдельные разрозненные и часто противоречивые данные о физико-химических свойствах данного соединения. Не была разработана технология выращивания качественных монокристаллов $AgGaTe_2$, пригодных для изучения электронных явлений в них и создания приборов на основе таких кристаллов.

Все вышесказанное определило направление данной работы, задачей которой являлось определение оптимальных режимов синтеза и выращивания качественных монокристаллов и пленок $AgGaTe_2$, исследование их физико-химических, электрических, оптических, тепловых свойств, а также создание поверхностью – барьерных структур на их основе.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнялась в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники в рамках госбюджетной НИР "Вырастить монокристаллы тройных соединений $A^I B^III C^{VI}_2$ ($A^I - Cu, Ag$; $B^III - Al, Ga$; $C^{VI} - S, Se, Te$) и определить их основные фундаментальные физические параметры" (ГБЦ № 97-3008), входившей в республиканскую комплексную программу фундаментальных исследований в области естественных наук "Вещество – 2", а также в рамках НИР по проектам "Исследование спектров фотолюминесценции монокристаллов тройного соединения $AgGaTe_2$ " (ГБЦ № 99-3100В) и "Исследование низкотемпературной фотолюминесценции монокристаллов $AgGaTe_2$, имплантированных ионами водорода" (ГБЦ № 00-3148).

Цель и задачи исследования. Цель исследования – синтез и выращивание оптически однородных монокристаллов и пленок тройного соединения $AgGaTe_2$, установление закономерностей изменения физико-химических, оптических, электрических и теплофизических свойств монокристаллов и пленок указанного соединения, а также создание поперечно – барьерных структур и исследование их фотоэлектрических свойств.

Для достижения поставленной цели работа проводилась в несколько этапов, на каждом из которых решались следующие задачи:

1. Определение оптимальных режимов синтеза и выращивания объемных монокристаллов из расплава методом Бриджмена – Стокбаргера;
2. Определение оптимальных условий осаждения тонких пленок $AgGaTe_2$ стехиометрического состава методом импульсного лазерного испарения;
3. Определение структуры монокристаллов и пленок $AgGaTe_2$ и их основных физико-химических параметров;
4. Установление закономерностей изменения оптических, электрических и теплофизических свойств монокристаллов и пленок $AgGaTe_2$;
5. Исследование влияния ионной имплантации водорода на спектры фотолюминесценции (ФЛ) монокристаллов $AgGaTe_2$;
6. Изготовление поперечно – барьерных структур на основе монокристаллов и пленок $AgGaTe_2$ и исследование их фотоэлектрических свойств.

Объект и предмет исследования. Объектами исследования являются объемные монокристаллы и пленки тройного соединения $AgGaTe_2$, полученные методом Бриджмена – Стокбаргера и методом импульсного лазерного осаждения соответственно, а также поперечно – барьерные структуры, созданные на основе монокристаллов и пленок указанного

соединения. Предмет исследования представляли их физико-химические, оптические, электрические и теплофизические свойства.

Методология и методы проведенного исследования. При выполнении исследований монокристаллов и пленок тройного соединения AgGaTe_2 использованы методики микронзондового рентгеноспектрального, рентгеновского и дифференциально-термического анализов, измерения плотности, спектров отражения (для монокристаллов) и спектров пропускания (для пленок) в области края собственного поглощения, электропроводности, эффекта Холла, теплового расширения, теплопроводности, фотоэлектрических свойств (поверхностно – барьерных структур).

Научная новизна и значимость полученных результатов.

1. Впервые определены оптимальные режимы синтеза и выращивания оптически однородных монокристаллов AgGaTe_2 (метод Бриджмена – Стокбаргера) диаметром 12 мм, длиной 40 – 45 мм и пленок (метод импульсного лазерного осаждения) высокого качества.

2. Для монокристаллов AgGaTe_2 определены параметры элементарной ячейки, температура и характер плавления, плотность, для пленок – параметры элементарной ячейки.

3. Для монокристаллов и пленок AgGaTe_2 по спектрам отражения и спектрам пропускания определены значения энергий межзонных оптических переходов. Рассчитаны величины кристаллического и спин-орбитального расщепления. Показано, что данные величины удовлетворительно согласуются для монокристаллов и пленок AgGaTe_2 .

4. Для монокристаллов AgGaTe_2 проведены температурные измерения электропроводности и эффекта Холла. Установлено, что все исследованные образцы обладали p – типом проводимости, величиной удельного сопротивления $\rho = 0,5\text{--}1,3$ Ом·см, подвижностью носителей $30\text{--}50$ см²/В·с, концентрацией дырок $(2\text{--}8)\cdot 10^{17}$ см⁻³ при 300 К.

5. На монокристаллах AgGaTe_2 впервые исследованы спектры ФЛ до и после облучения ионами водорода дозой 10^{15} см⁻² с энергией 100 эВ в интервале температур 8 – 300 К. Установлено, что интенсивность полос в спектрах ФЛ монокристаллов, имплантированных водородом, выше, чем в неимплантированных, что связано с пассивацией дефектов кристаллической решетки водородом.

6. На ориентированных монокристаллах AgGaTe_2 впервые проведены измерения анизотропии теплопроводности и теплового расширения. Установлено, что указанное соединение обладает небольшой анизотропией теплопроводности, что объясняется значительным тетрагональным сжатием кристаллической решетки в этом соединении. Коэффициент теплового

расширения положителен в направлении, перпендикулярном главной оси кристалла и отрицателен – параллельно этой оси.

7. На монокристаллах и пленках AgGaTe_2 впервые созданы фоточувствительные поверхностно – барьерные структуры и исследованы их свойства.

Практическая значимость полученных результатов.

1. Разработанные режимы выращивания монокристаллов и осаждения пленок тройного соединения AgGaTe_2 позволяют получать оптически однородные качественные объемные монокристаллы и пленки с воспроизводимыми свойствами пригодные для создания широкополосных фотопреобразователей естественного излучения.

2. Результаты исследования физико-химических, оптических, электрических, теплофизических свойств, а также фотоэлектрических свойств поверхностно-барьерных структур имеют фундаментальный характер и могут использоваться как справочные данные.

3. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (г.Минск) в рамках дисциплин «Физико – химические основы микроэлектроники и технологии РЭС», «Основы физики твердого тела» для специальностей 39 02 01 «Моделирование и компьютерное проектирование», 39 02 02 «Проектирование и производство радиоэлектронных средств», 38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности».

Выращенные кристаллы используются в Институте физики твердого тела и полупроводников НАНБ (г.Минск) в качестве мишеней для получения пленок с целью создания тонкопленочных структур в рамках госбюджетной темы "Кристаллофизика - 24"

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Температурные режимы, обеспечивающие синтез и выращивание оптически однородных монокристаллов диаметром 12 мм, длиной 40 – 45 мм и пленок толщиной 0,6 – 0,8 мкм на активной площади 2 см² тройного соединения AgGaTe_2 с воспроизводимыми свойствами.

2. Природа и характер излучательных переходов в AgGaTe_2 , установленная путем исследования фотолуминесценции. Влияние водорода, имплантированного в монокристаллы AgGaTe_2 на спектры ФЛ.

3. Закономерности изменения удельного сопротивления, подвижности, теплопроводности и теплового расширения монокристаллов AgGaTe_2 с температурой.

4. Поверхностно – барьерные структуры In/монокристалл AgGaTe_2 и In/пленка AgGaTe_2 .

Личный вклад соискателя. В диссертационной работе изложены результаты исследований, полученных соискателем лично или в которых соискатель принимал участие в проведении эксперимента, обработке результатов, их обобщении и трактовке, написании статей и отчетов. Участие соавторов заключалось как в проведении совместных исследований по согласованной схеме, так и в обсуждении полученных результатов.

Апробация результатов диссертации. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. 51-ая международная научно-техническая конференция профессоров, преподавателей, научных работников, аспирантов и студентов БГПА, посвященная 75-летию БГПА, "Состояние и перспективы развития науки и подготовки инженеров высокой квалификации в БГПА", г. Минск, 1995.

2. III Республиканская научно-техническая конференция "Новые материалы и технологии", г. Минск, 1998 г.

3. VI Республиканская научная конференция студентов и аспирантов "Физика конденсированных сред", г. Гродно, 1998 г.

4. VII Республиканская научная конференция студентов и аспирантов "Физика конденсированных сред", г. Гродно, 1999 г.

5. XII Международная конференция "Тройные и многокомпонентные соединения", Тайвань, 2000 г.

Опубликованность результатов.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 5 статьях в научных журналах, 2 статьях в сборниках материалов и 3 сборниках тезисов докладов на международных и республиканских конференциях. Общее количество страниц опубликованных материалов – 24.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из общей характеристики работы, пяти глав и заключения. Полный объем диссертации – 97 страниц, из них 38 страниц, занимаемых иллюстрациями. Диссертационная работа содержит 2 таблицы на 2 страницах, ссылки на 109 литературных источников на 7 страницах, 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проанализированы литературные данные в области синтеза и выращивания монокристаллов, получения пленок и исследования свойств тройного соединения AgGaTe_2 . Эти данные показывают, что AgGaTe_2 , как и другие соединения группы $\text{A}^{\text{I}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}^{\text{VI}}_2$ кристаллизуется в структуре халькопирита (пространственная группа $\text{D}_{2d}^{12} - \text{I42m}$), которая

является сверхрешеткой структуры сфалерита.

Анализ литературных данных показал также, что исследования физико-химических, оптических, электрических и других свойств тройного соединения AgGaTe_2 , проведенные различными авторами, значительно отличаются друг от друга, что можно связать с тем, что эти исследования проводились на поликристаллических образцах.

Отсутствие данных об анизотропии основных физико-химических и физических свойств ставит задачу определения оптимальных режимов выращивания однородных монокристаллов и пленок AgGaTe_2 , исследование их основных фундаментальных характеристик, на основании чего можно дать рекомендации их практического использования.

Вторая глава посвящена экспериментальным методам синтеза, выращивания монокристаллов и пленок соединения AgGaTe_2 , а также приведены данные дифференциального термического анализа (ДТА), необходимые для определения условий выращивания монокристаллов, результаты микронзондового рентгеноспектрального и рентгеновского анализов, подтверждающие состав и структуру монокристаллов и пленок AgGaTe_2 .

Исходными веществами для синтезов служили серебро, галлий и теллур с содержанием основного вещества не менее 99.9999 вес.%. Взятые в стехиометрических соотношениях элементарные компоненты ($\text{Ag} : \text{Ga} : \text{Te} = 1 : 1 : 2$), общим весом 15 – 20 г, загружали в кварцевые ампулы диаметром 12 - 16 мм и длиной 120 - 140 мм. Ампулы перед загрузкой в них исходных веществ проходили химико-термическую обработку, состоявшей в травлении сначала в концентрированной плавиковой кислоте, затем в “царской водке” ($\text{HNO}_3 : \text{HCl} = 1 : 3$), после чего их многократно промывали в дистиллированной воде и отжигали в вакууме при 1270 К на протяжении 2 – 3 ч. Для предотвращения взаимодействия шихты с поверхностью внутренней ампулы проводили ее графитизацию. После вакуумирования внутренней ампулы до остаточного давления $\sim 10^{-3}$ Па ее помещали во вторую кварцевую ампулу большего диаметра, которую также вакуумировали. Это предохраняет синтезируемое вещество от окисления на воздухе, если внутренняя ампула при кристаллизации растрескивается. К наружной ампуле снизу приваривали кварцевый стержень, служивший держателем, который присоединяли к вибратору.

Как в процессе нагревания, так и в процессе охлаждения ампулы в печи применяли вибрационное перемешивание. При нагревании перемешивание в значительной мере ускоряет образование соединения, а при охлаждении способствует удалению из расплава газовых включений и образованию плотных слитков, что важно в дальнейшем, при выращивании монокристаллов методом Бриджмена – Стокбаргера.

Температуру в печи повышали со скоростью 50 – 100 К/ч до 1020-1040 К. При достижении температуры в печи 920 К проводилась изотермическая выдержка в течение 2 ч с включением вибрации. Такая выдержка необходима для того, чтобы наиболее летучее вещество – теллур – при этой температуре, когда давление пара его не превышает 1 атм, успело большей частью прореагировать. Дальнейшее нагревание после такой выдержки становится безопасным. Затем температуру печи повышали с такой же скоростью до значений, указанных выше и, образовавшийся расплав, снова выдерживали 2 – 3 ч. После этого температуру в печи понижали со скоростью 50 К/ч до 800 К и печь отключали от сети.

В случае повышения температуры в печи с большими скоростями и без использования вибрационного перемешивания происходило неконтролируемое повышение давление паров теллура в ампуле, что приводило к ее взрыву и потере шихты. Меньшие скорости нагрева значительно увеличивают продолжительность процессов синтеза.

Для выращивания объемных монокристаллов соединения AgGaTe_2 использовался вертикальный вариант направленной кристаллизации расплава (метод Бриджмена – Стокбаргера). Установка для выращивания представляет собой вертикальную трубчатую печь сопротивления с тремя независимыми нагревателями, температуру которых регулировали с помощью прецизионных терморегуляторов РИФ – 101. Кристаллы, полученные однотемпературным методом, перегружали в двойные кварцевые ампулы, причем внутренняя ампула имела небольшую конусность в области расплава и заканчивалась цилиндрическим капилляром, который обеспечивал формирование монокристаллической затравки. Перед загрузкой кристаллов в ампулу проводили ее графитизацию. Для создания значительного температурного градиента на фронте кристаллизации использовалась следующая конструкция. В месте перехода нижней части наружной ампулы на конус приваривали дополнительный отрезок кварцевой трубки, диаметр которой соответствовал диаметру наружной ампулы. Длина приваренного отрезка кварцевой трубки выбирается такой, чтобы ампула в начальном положении в верхней зоне печи перекрывала зону нагрева нижней печи, что позволяет значительно уменьшить конвекционные потоки, возникающие в ростовой установке и возможность создания значительного температурного градиента на фронте кристаллизации.

Откачанную до 10^{-3} Па и запаянную ампулу устанавливали в верхней зоне двухзонной печи. Температуру в зоне расплава поддерживали постоянной и равной 1020 - 1040 К, в зоне отжига – 880 К. Ампулу в печи с расплавом выдерживали в течение ~ 24 ч (для гомогенизации расплава), а затем опускали ее со скоростью ~ 0.12 – 0.26 мм/ч через температурный градиент ~ 40 К/см.

Поскольку, как было установлено с помощью ДТА, расплав соединения AgGaTe_2 склонен к переохлаждению, величина которого

достигает ~ 40 К, были подобраны условия формирования монокристаллической затравки в начальной стадии процесса. Для этого часть расплава (~ 5 мм) закристаллизовывали путем опускания ампулы, после чего движение ампулы приостанавливали и проводили рекристаллизационный отжиг, образовавшейся затравки в течение 72 ч. На сформированную таким образом затравку проводили выращивание монокристаллов AgGaTe_2 . Для этого ампулу с прежней скоростью опускали в нижнюю зону, где при температуре ~ 880 К проводили гомогенизирующий отжиг образовавшихся кристаллов в течение 170 ч. После окончания гомогенизирующего отжига температуру печи понижали со скоростью 5 К/ч до 600 К и печь отключали от сети. Полученные в таких условиях кристаллы были крупноблочными, содержали значительное количество пор и легко разрушались.

С целью создания дополнительного давления на расплав и сведения свободного объема к минимуму в ампуле в дальнейшем, после загрузки синтезированных кристаллов, сверху помещали кварцевый цилиндр, по диаметру совпадающий с диаметром внутренней ампулы. Создание дополнительного давления на расплав в ампуле при использовании указанных выше температурных условий и скорости опускания ампулы, позволило вырастить оптически однородные монокристаллы AgGaTe_2 диаметром 12 мм и длиной 40 -45 мм, что было установлено с помощью микрозондового рентгеноспектрального и рентгеновского анализов.

Пленки тройного соединения AgGaTe_2 получали методом импульсного лазерного испарения. Осаждение пленок AgGaTe_2 проводили в вакуумной камере с помощью лазера, работающего в режиме свободной генерации ($\lambda = 1.06$ мкм, $\tau_{\text{имп}} = 10^{-3}$ с, $E_{\text{имп}} = 150 - 180$ Дж). В качестве подложек использовали химически очищенные стекла Corning 7059, температуру которых поддерживали ~ 660 К. Толщина полученных пленок на активной площади 2 см^2 составляла 0.6 - 0.8 мкм. Полученные пленки были зеркально гладкими и имели хорошую адгезию к поверхности стекла.

Состав полученных кристаллов и пленок тройного соединения AgGaTe_2 устанавливали с помощью микрозондового рентгеноспектрального анализа, который проводили на рентгеновском микроанализаторе "Самса - MBX". Согласно полученным данным, содержание элементов в монокристаллах составляет (Ag : Ga : Te = 25.34 : 23.76 : 50.90), в пленках (Ag : Ga : Te = 26.60 : 24.20 : 49.22), что удовлетворительно (в пределах погрешности метода $\pm 4\%$) согласуется с заданным составом в исходной шихте.

Равновесность и структуру монокристаллов и пленок тройного соединения AgGaTe_2 устанавливали с помощью рентгеновского анализа. Угловые положения линий дифракционного спектра записывали на рентгеновском аппарате ДРОН-3М (медное фильтрованное излучение). На всех снятых дифрактограммах как кристаллов, так и пленок присутствовала система линий, соответствующая структуре халькопирита. Разрешение

высокоугловых линий на снятых дифрактограммах свидетельствует о равновесности выращенных монокристаллов и пленок AgGaTe_2 .

Параметры элементарной ячейки, рассчитанные методом наименьших квадратов по линиям, для которых $2\theta > 60^\circ$, равны: для кристаллов – $a = 6.301 \pm 0.005 \text{ \AA}$, $c = 11.96 \pm 0.01 \text{ \AA}$, для пленок – $a = 6.300 \pm 0.005 \text{ \AA}$, $c = 11.97 \pm 0.01 \text{ \AA}$, что согласуется с известными литературными данными.

По параметрам a и c были рассчитаны осевое отношение c/a и величины тетрагонального искажения (δ), а также позиционный параметр (σ), характеризующий в соединениях $\text{A}^{\text{I}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}^{\text{VI}}_2$ положение атома С по отношению к атомам А и В, и длины связей между атомами А – С (l_{AC}) и В – С (l_{BC}).

В третьей главе представлены результаты исследований оптических свойств монокристаллов и пленок AgGaTe_2 .

На рис. 1 представлены λ -спектры отражения монокристаллов в поляризациях $\vec{E} \perp \vec{c}$ и $\vec{E} \parallel \vec{c}$ при 77 К. Видно, что в поляризации $\vec{E} \parallel \vec{c}$ в спектре λ -отражения наблюдается один пик с энергией $E_1 = 1.360 \pm 0.005$ эВ, в поляризации $\vec{E} \perp \vec{c}$ – два пика с энергиями $E_2 = 1.469 \pm 0.005$ эВ и $E_3 = 2.272 \pm 0.005$ эВ.

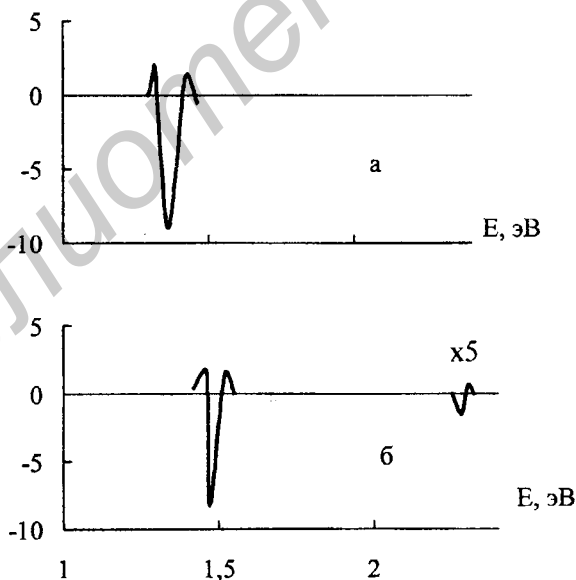


Рис. 1. λ -спектры отражения монокристаллов AgGaTe_2 в поляризациях $\vec{E} \perp \vec{c}$ и $\vec{E} \parallel \vec{c}$ при 77 К.

Известно, что структура края полосы поглощения тройных соединений $A^I B^{III} C^{VI}_2$ определяется наличием трех переходов зона – зона, которые связаны с образованием свободных А -, В - и С - экситонов. Наличие этих переходов обусловлено расщеплением валентной зоны в соединениях этого типа вследствие некубической конфигурации кристаллического поля и спин-орбитального расщепления.

Исходя из полученных данных можно заключить, что пик с энергией E_1 соответствует А - экситону, пик с энергией E_2 связан с расщеплением валентной зоны под действием кристаллического поля и соответствует В - экситону, пик с энергией E_3 обусловлен спин – орбитальным расщеплением валентной зоны и соответствует С - экситону.

С целью определения энергий оптических переходов для пленок соединения $AgGaTe_2$ были измерены спектры оптического пропускания и отражения в области длин волн 0.5 – 2.0 мкм. Энергии межзонных переходов определяли экстраполяцией прямолинейных участков зависимости $(\alpha \cdot \hbar\omega)^2$ от энергии фотона ($\hbar\omega$) до пересечения с осью абсцисс (рис. 2). Полученные значения энергий оптических переходов для $AgGaTe_2$ – $E_A = 1.32 \pm 0.01$ эВ, $E_B = 1.43 \pm 0.01$ эВ, $E_C = 2.24 \pm 0.01$ эВ, что удовлетворительно согласуется с данными, полученными из λ - спектров отражения. Природа энергетических переходов в пленках аналогична переходам в монокристаллах соединения $AgGaTe_2$.

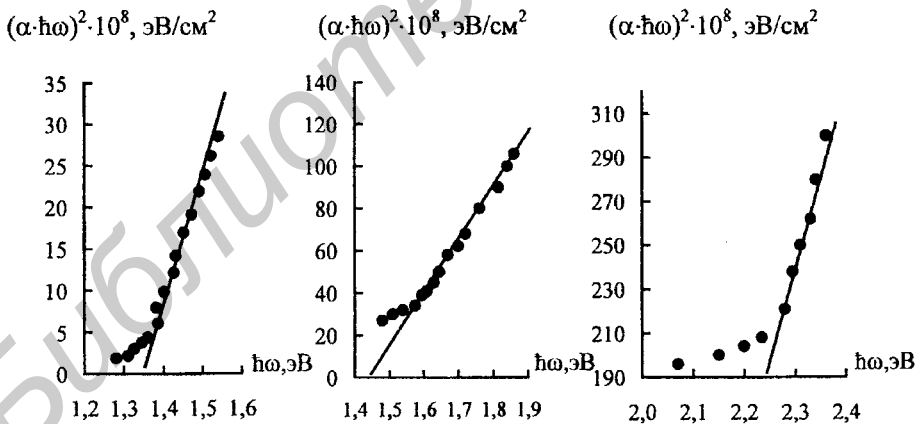


Рис. 2. Зависимости $(\alpha \cdot \hbar\omega)^2$ от $\hbar\omega$ для пленок $AgGaTe_2$ при $T = 293$ К.

На монокристаллах $AgGaTe_2$ неимплантированных и имплантированных ионами водорода исследованы спектры фотолюминесценции (ФЛ) в интервале температур 8 – 300 К. Спектральные

зависимости ФЛ для неимплантированных и имплантированных монокристаллов при 8 К представлены на рис. 3. Видно, что спектр ФЛ обоих кристаллов состоит из доминирующей широкой полосы ($\hbar\omega_1 = 0.867$ эВ) и слабой узкой полосы ($\hbar\omega_2 = 1.338$ эВ). С учетом полос ФЛ в тройных соединениях $A^I B^{III} C^{VI}_2$, можно предположить, что полоса с энергией $\hbar\omega_1$ свидетельствует о наличии в кристаллах дефектов решетки с глубокими уровнями, а узкую полосу с энергией $\hbar\omega_2$ вблизи краевого поглощения, можно приписать экситонным состояниям.

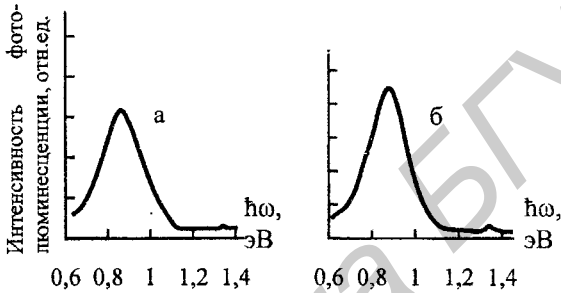


Рис. 3. Спектральные зависимости стационарной фотолуминесценции для неимплантированных (а) и имплантированных водородом (б) монокристаллов $AgGaTe_2$ при 8 К.

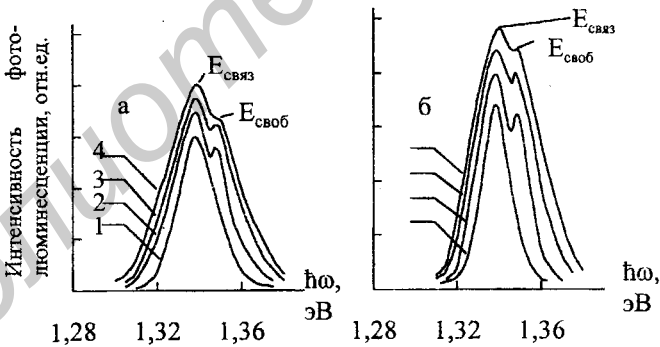


Рис. 4. Спектры фотолуминесценции для неимплантированных (а) и имплантированных водородом (б) монокристаллов $AgGaTe_2$ при различных мощностях возбуждения: 1 – 150 мВт, 2 – 200 мВт, 3 – 300 мВт, 4 – 350 мВт ($T = 8$ К).

Для подтверждения высказанного предположения были сняты спектры ФЛ в зависимости от мощности возбуждения, которые приведены на рис. 4. Видно, что при низких мощностях возбуждения в спектре ФЛ присутствует

только одна полоса с энергией $\hbar\omega_2 = 1.338$ эВ. С повышением мощности возбуждения в спектре появляется новая полоса с максимумом при $\hbar\omega_3 = 1.348$ эВ, интенсивность которой растет с увеличением мощности возбуждения. Указанные полосы можно интерпретировать, вероятнее всего, как связанный (полоса с энергией $\hbar\omega_2$) и свободной экситоны (полоса с энергией $\hbar\omega_3$). Температурные зависимости энергий связанного и свободного экситонов для неимплантированных и имплантированных водородом монокристаллов AgGaTe_2 представлены на рис. 5.

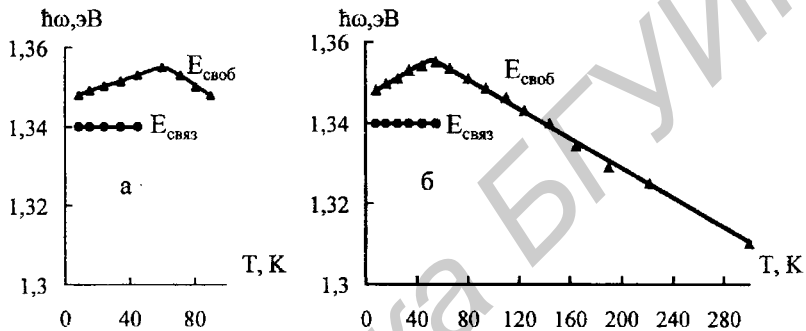


Рис.5. Зависимости энергий свободного и связанного экситонов от температуры (а - для неимплантированных образцов, б - для имплантированных водородом).

Видно, что в интервале температур 8 – 60 К (для обоих типов кристаллов) энергия свободного сначала увеличивается от 1.348 эВ при 8 К до 1.356 эВ при 60 К, после чего она уменьшается до 1.347 эВ при 90 К для неимплантированных кристаллов, и до 1.325 эВ при 220 К, для имплантированных. Такой сложный характер поведения полосы свободного экситона можно объяснить действием двух механизмов: электрон – фононным взаимодействием и изменением параметров элементарной ячейки в тройном соединении AgGaTe_2 . Полоса, соответствующая связанному экситону, энергетически своего положения не меняет.

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что полоса с энергией, равной 1.338 эВ обусловлена рекомбинацией связанного экситона на акцепторный уровень. В пользу высказанного предположения говорит следующий факт. Как было указано выше AgGaTe_2 слегка обогащены серебром и обеднены галлием. Это отклонение от идеальной стехиометрии 1 : 1 : 2 ведет к возникновению электрически активных собственных дефектов. Исходя из химической дефектности соединений со структурой халькопирита, можно заключить что экситон, связанный с Ag_{Ga} или V_{Ga} акцептором, является ответственным за максимум в спектре ФЛ с энергией $\hbar\omega_2 = 1,338$ эВ.

Используя водородоподобное приближение, для свободных экситонов была рассчитана энергия связи экситона по выражению:

$$R = \frac{m^* e^4}{2\hbar^2 \epsilon_0^2}; \quad (1)$$

где m^* - приведенная масса, e - заряд электрона, \hbar - постоянная Планка, ϵ_0 - диэлектрическая постоянная. Для тройного соединения AgGaTe_2 $m^* = 0.129m_0$, $\epsilon_0 = 14.8$. Энергия связи, рассчитанная по (1) составляет $R = 8.0$ мэВ, а ширина запрещенной зоны (E_g), рассчитанная по формуле:

$$E_g = E_{\text{ex}} + \frac{R}{n^2}; \quad (2)$$

равна 1,356 эВ при $T=8$ К.

Таким образом, проявления экситонных состояний в спектрах ФЛ свидетельствует о высоком качестве и совершенстве выращенных монокристаллов AgGaTe_2 .

В четвертой главе представлены результаты исследований электрических и теплофизических свойств монокристаллов и пленок AgGaTe_2

Установлено, что как кристаллы, так и пленки обладают р-типом проводимости. Удельное сопротивление кристаллов составляет $\rho = 0.5 - 1.3$ Ом·см, подвижность дырок $\mu_p = 30 - 50$ см²/В·с, концентрация дырок $p = (2 - 8) \cdot 10^{17}$ см⁻³, для пленок $\rho = (0.8 - 1.2) \cdot 10^2$ Ом·см при температуре $T = 300$ К. Величина ρ в интервале температур 80 - 300 К остается практически неизменной, что характерно и для других соединений типа $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}^{\text{VI}}$. Подвижности дырок (μ_p) с увеличением температуры в интервале 80 - 150 К изменяется слабо, выше 150 К эта зависимость более значительна, что характерно и для других соединений этого типа.

Исследование теплопроводности (χ) проводили абсолютным методом на образцах, ориентированных перпендикулярно и параллельно главной оси кристалла в интервале температур 300 - 600 К (рис. 6).

Видно, что в исследованном интервале температур соединение AgGaTe_2 обладает небольшой анизотропией теплопроводности. В направлении, перпендикулярном главной оси кристалла теплопроводность (χ_{\perp}) при $T=300$ К составляет 2.8 Вт/м, а вдоль оси кристалла $\chi_{\parallel} = 2.5$ Вт/м, что можно объяснить значительным тетрагональным искажением в этом соединении. Установлено, что в области 300 - 380 К теплопроводность описывается обратной зависимостью T^{-1} , что характерно для трехфононных процессов, выше 380 К - функцией вида T^{-n} , где $0 < n < 1$, что обусловлено рассеянием на дефектах кристаллической решетки.

Тепловое расширение монокристаллов AgGaTe_2 измеряли на кварцевом dilatометре на ориентированных образцах в интервале 80 - 600К. Температурные зависимости коэффициентов теплового расширения

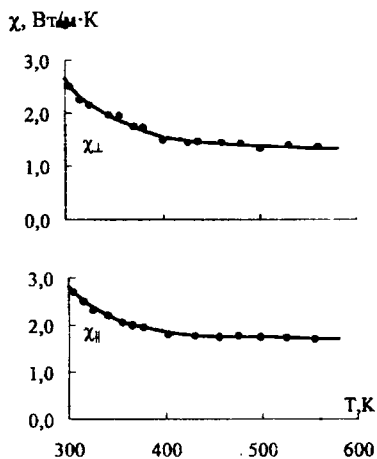


Рис. 6. Температурные зависимости теплопроводности AgGaTe_2 перпендикулярно (χ_{\perp}) и параллельно (χ_{\parallel}) главной оси кристалла.

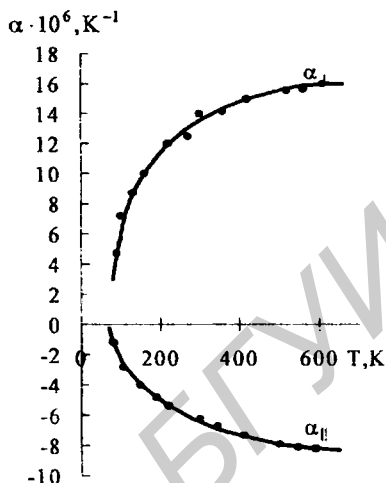


Рис. 7 Температурные зависимости коэффициентов теплового расширения AgGaTe_2 перпендикулярно (α_{\perp}) и параллельно (α_{\parallel}) главной оси кристалла.

монокристаллов AgGaTe_2 перпендикулярно и параллельно главной оси кристалла представлены рис. 7. Видно, что для кристаллов указанного соединения наблюдается значительная анизотропия. Коэффициент теплового расширения перпендикулярно главной оси кристалла (α_{\perp}) положителен, параллельно этой оси (α_{\parallel}) — отрицателен. По абсолютной величине оба коэффициента увеличиваются с ростом температуры. Наиболее значительное изменение обоих коэффициентов наблюдается в интервале температур 77 - 300 К. Выше 300 К рост α_{\perp} и α_{\parallel} замедляется и в области 300 - 600 К слабо зависит от температуры.

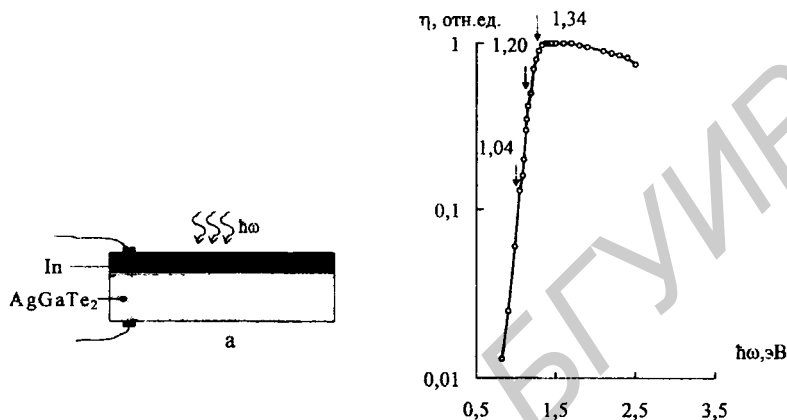
В пятой главе описывается получение поверхностно-барьерных структур $\text{In}/\text{монокристалл AgGaTe}_2$ и $\text{In}/\text{пленка AgGaTe}_2$.

Поверхностно-барьерные структуры были получены вакуумным термическим испарением металлического индия на поверхность сколов монокристаллов и на поверхность осажденных пленок AgGaTe_2 .

При освещении созданных структур возникает фотовольтаический эффект, причем знак фотонапряжения не зависит от геометрии их освещения. Такие структуры обнаруживают выпрямление до 10^2 при напряжениях смещения до 5 В, а вольтовая фоточувствительность достигает 10^2 В/Вт для структур $\text{In}/\text{монокристалл AgGaTe}_2$ и 0,8 В/Вт - для

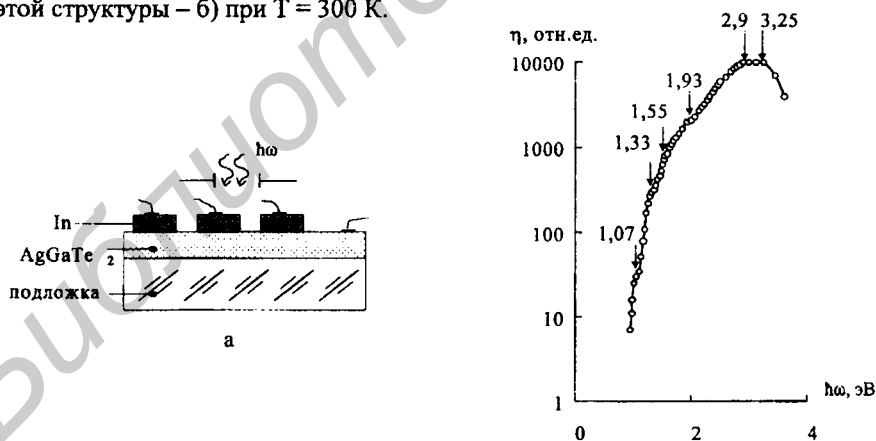
In/пленка AgGaTe_2 .

Спектральные зависимости относительной квантовой эффективности фотопреобразования (η) для созданных структур приведены на рис. 8 и 9.



6

Рис. 8. Структура In / p- AgGaTe_2 (монокристалл) – а) и спектральная зависимость относительной квантовой эффективности фотопреобразования этой структуры – б) при $T = 300$ К.



6

Рис. 9. Структура In / p- AgGaTe_2 (тонкая пленка) – а) и спектральная зависимость относительной квантовой эффективности фотопреобразования этой структуры – б) при $T = 300$ К.

Видно, что для представленных структур спектральная зависимость фоточувствительности относительной квантовой эффективности фотопреобразования постепенно растет в широкой области энергий. Этот рост подчиняется закону $\sqrt{\eta\hbar\omega} \sim \hbar\omega$. Общепринятая в таких случаях экстраполяция $\sqrt{\eta\hbar\omega} \rightarrow 0$ дает одно и то же значение энергии $\hbar\omega_{\sqrt{\eta} \rightarrow 0} \approx 1,06$ эВ для указанных структур. Это обстоятельство, по-видимому, является следствием того, что процесс превращения мишени (монокристалл p-AgGaTe₂) в тонкую пленку протекает без нарушения состава и кристаллической структуры. Для этих структур характерным является высокое значение полуширины спектральных зависимостей η на их полувысоте $\delta_{1/2} = 1,3$ эВ.

Указанные выше поверхностно-барьерные структуры In/монокристалл AgGaTe₂ и In/пленка AgGaTe₂ могут найти применение в качестве широкополосных фотопреобразователей естественного излучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые определены оптимальные режимы выращивания однородных монокристаллов тройного соединения AgGaTe₂ диаметром 12 мм, длиной 40 - 45 мм методом Бриджмена – Стокбаргера и пленок методом импульсного лазерного испарения. Определен состав, структура, плотность, температура плавления для указанных кристаллов и пленок [1,3,6].

2. На ориентированных монокристаллах в поляризованном свете измерены спектры λ - отражения, на пленках – спектры пропускания в области края основной полосы поглощения. По указанным спектрам определены энергии межзонных переходов и рассчитаны величины кристаллического и спин-орбитального расщепления. Установлено, что указанные величины для кристаллов и пленок согласуются друг с другом [1,3,6].

3. На монокристаллах AgGaTe₂ неимплантированных и имплантированных ионами водорода впервые исследованы спектры фотолюминесценции в интервале 8 - 300 К. Установлена природа наблюдаемых полос фотолюминесценции и построены их температурные зависимости. Рассчитаны величины энергии связи свободного экситона и ширина запрещенной зоны тройного соединения AgGaTe₂ [5,10].

4. Исследованы электрические свойства монокристаллов и пленок AgGaTe₂. Установлено, что как кристаллы, так и пленки обладают p – типом проводимости. Удельное сопротивление кристаллов составляет $\rho = 0.5 - 1.3$ Ом·см, подвижность дырок $\mu_p = 30 - 50$ см²/В·с, концентрация дырок

$\rho = (2 - 8) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, удельное сопротивление пленок $\rho = (0.8 - 1.2) \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ при температуре $T = 300 \text{ К}$ [1,3,6].

5. Впервые на ориентированных монокристаллах AgGaTe_2 исследована анизотропия теплопроводности (χ) и теплового расширения (α_L). Установлено, что измеренная теплопроводность является решеточной, причем $\chi_{\perp} > \chi_{\parallel}$. Показано, что коэффициент теплового расширения вдоль направления, параллельного тетрагональной оси кристалла (α_{\parallel}) – отрицателен, в перпендикулярном направлении оси кристалла (α_{\perp}) – положителен, причем с ростом температуры анизотропия теплового расширения увеличивается [3,6].

6. На монокристаллах и пленках AgGaTe_2 впервые созданы фоточувствительные поверхностно – барьерные структуры In/p-AgGaTe_2 и исследованы их фотоэлектрические свойства. Показано, что созданные структуры могут использоваться в качестве широкополосных фотопреобразователей естественного излучения, а с учетом анизотропии монокристаллов AgGaTe_2 в качестве фотоанализаторов линейно-поляризованного излучения [2,4,7,8].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1. Боднарь И.В., Гременок В.Ф., Викторов И.А., Образцова О.Н. Исследование оптических свойств пленок AgGaTe_2 , полученных лазерным осаждением // ЖПС. – 1997.- Т.64, №6.- С.793-796.
2. Рудь В.Ю., Рудь Ю.В., Боднарь И.В., Гременок В.Ф., Образцова О.Н., Сергеев-Некрасов С.Л. Фотовольтаический эффект в поверхностно-барьерных структурах In / тонкие пленки I-III-VI₂ // ФТП. – 1998. – Т.32, №7. – С.829-831.
3. Боднарь И.В., Образцова О.Н. Получение монокристаллов и исследование свойств AgGaTe_2 // Неорг. матер.- 1999.- Т.35, №4.- С.492-494.
4. Боднарь И.В., Гременок В.Ф., Образцова О.Н., Русак Л.В., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В. Фотоэлектрические свойства поверхностно-барьерных структур $\text{In/p-(Cu, Ag)Ga(Se, Te)}_2$. // ЖПС. – 1999. - Т.66, №1. - С.141-144.
5. Фотолюминесценция монокристаллов AgGaTe_2 . / И.В.Боднарь, В.Ф. Гременок, Р.В. Мартин, О.Н. Образцова, М.В. Якушев, А.Е. Хилл, Р.Д. Пилкингтон, Р.Д. Томлинсон // ЖПС, – 2000, – Т.67, №2. – С.222-224.

Статьи в материалах конференций

6. Боднарь И.В., Козора А.Г., Образцова О.Н., Ясюкевич Л.В. Исследование оптических свойств твердых растворов $Cu_xAg_{1-x}InS_2$ // Состояние и перспективы развития науки и подготовки инженеров высокой квалификации в БГПА : Материалы международной 51-ой научно-технической конференции профессоров, преподавателей, научных работников, аспирантов и студентов БГПА, посвященной 75-летию БГПА / БГПА - Минск, 1995. - Ч.4. - С.112-113.
7. Bodnar I.V., Gremenok V.F., Martin R.W., Yakushev M.V., Pilkington R.D., Hill A.E., Faunce C.A., van den Berg J.A., Obratsova O.N., Tomlinson R.D. Photoluminescence studies of low energy hydrogen-implanted $AgGaTe_2$ single crystals. // 12th Int. Conf. on Ternary and Multinary Compounds : Proc. of the conf., Hsin-chu, Taiwan, R.O.C.; March 13-17, 2000. / Jap.J. of Appl. Physics. - 2000. - Vol.39, Suppl. 39-1. - P.114-115.

Тезисы докладов

8. Образцова О.Н. Получение монокристаллов и пленок и исследование физико-химических и физических свойств теллуригаллата серебра.// Физика конденсированных сред: Тез. докл. VI Респ. науч. конф. студентов и аспирантов, Гродно, 22-24 апр. 1998 г. / ГрГУ. - Гродно, 1998. - С.142.
9. Боднарь И.В., Образцова О.Н., Рудь В.Ю., Рудь Ю.В. Поверхностно-барьерные структуры на основе тройного соединения $AgGaTe_2$. // Новые материалы и технологии: Тез. докл. 3-й Респ. науч.-тех. конф., Минск, 21-22 мая 1998г. / Нац. акад. наук РБ. Институт физики твердого тела и полупроводников. - Минск, 1998. - С.126.
10. Образцова О.Н. Поверхностно-барьерные структуры на основе монокристаллов и тонких пленок $AgGaTe_2$ // Физика конденсированных сред: Тез. докл. VII Респ. науч. конф. студентов и аспирантов, Гродно, 5-7 мая 1999г. / ГрГУ. - Гродно, 1999. - С.181-182.

Обр-

РЕЗЮМЕ

Образцова Ольга Николаевна

**СИНТЕЗ И СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ, ПЛЕНОК AgGaTe_2
И ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ СТРУКТУР НА ИХ ОСНОВЕ**

Ключевые слова: монокристаллы AgGaTe_2 , тонкие пленки AgGaTe_2 , оптические свойства, низкотемпературная фотолуминесценция, имплантация водородом, теплопроводность, тепловое расширение, поверхностно-барьерные структуры In/p-AgGaTe_2 .

Объект исследования – монокристаллы и пленки AgGaTe_2 и поверхностно-барьерные структуры на их основе. **Предмет исследования** – их физико-химические, оптические, электрические и теплофизические свойства.

Цель исследования – синтез и выращивание оптически однородных монокристаллов и пленок AgGaTe_2 ; установление закономерностей изменения физико-химических, оптических, электрических и теплофизических свойств монокристаллов и пленок AgGaTe_2 ; создание поверхностно-барьерных структур на их основе и исследование их фотоэлектрических свойств.

Впервые определены оптимальные режимы синтеза и выращивания однородных монокристаллов AgGaTe_2 диаметром 12 мм, длиной 40 – 45 мм и пленок высокого качества, пригодных для создания фотопреобразователей естественного излучения. Для монокристаллов и пленок определены параметры элементарной ячейки, по спектрам отражения и спектрам пропускания рассчитаны значения энергий межзонных оптических переходов, величины кристаллического и спин-орбитального расщепления. Для монокристаллов определены температура и характер плавления, плотность, проведены температурные измерения электропроводности и эффекта Холла.

Впервые для монокристаллов AgGaTe_2 изучены спектры фотолуминесценции до и после облучения ионами водорода дозой 10^{15} см^{-2} с энергией 100 эВ при $T = 8 - 300 \text{ К}$. Установлено пассивирующее влияние имплантации водородом на дефекты кристаллической решетки. Впервые на ориентированных монокристаллах AgGaTe_2 проведены измерения анизотропии теплопроводности и теплового расширения. Впервые на монокристаллах и пленках AgGaTe_2 созданы фоточувствительные поверхностно-барьерные структуры и исследованы их свойства.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс БГУИР. Выращенные кристаллы используются в Институте физики твердого тела и полупроводников НАНБ (г.Минск) в качестве мишеней для получения пленок AgGaTe_2 .

РЭЗЮМЭ

Абразцова Вольга Мікалаеўна

СІНТЭЗ І ЎЛАСЦІВАСЦІ МОНАКРЫШТАЛЁЎ, ПЛЕНАК AgGaTe_2 І ПАВЕРХНЕВА-БАР'ЕРНЫХ СТРУКТУР НА ІХ АСНОВЕ

Ключавыя словы: монакрышталі AgGaTe_2 , тонкія пленкі AgGaTe_2 , аптычныя ўласцівасці, нізкатэмпературная фоталюмінесцэнцыя, імплантацыя вадародам, цеплаправоднасць, цеплавое расшырэнне, паверхнева-бар'ерныя структуры In/p-AgGaTe_2 .

Аб'ект доследу – монакрышталі і плёнкі AgGaTe_2 і паверхнева-бар'ерныя структуры на іх аснове. **Прадмет доследу** – іх фізіка-хімічныя, аптычныя, электрычныя і цеплафізічныя ўласцівасці.

Мэта доследу – сінтэз і вырошчванне аптычна аднародных монакрышталёў і плёнак AgGaTe_2 ; выяўленне заканамернасцяў змены фізіка-хімічных, аптычных, электрычных і цеплафізічных уласцівасцяў монакрышталёў і плёнак AgGaTe_2 ; стварэнне паверхнева-бар'ерных структур на іх аснове і дослед іх фотаэлектрычных уласцівасцяў.

Упершыню вызначаны аптымальныя рэжымы сінтэзу і вырошчвання аднародных монакрышталёў AgGaTe_2 дыяметрам 12 мм, даўжынёй 40 - 45 мм і плёнак высокай якасці, прыдатных для стварэння фотаператваральнікаў натуральнага выпраменьвання. Для монакрышталёў і плёнак вызначаны параметры элементарнай ячэйкі, па спектрах адбіцця і спектрах прапускання разлічаны значэнні энергій міжзонных аптычных пераходаў, велічыні крышталічнага і спін-арбітальнага расшчэплення. Для монакрышталёў вызначаны тэмпература і характар плаўлення, шчыльнасць, праведзены тэмпературныя вымярэнні электраправоднасці і эфекту Хола.

Упершыню для монакрышталёў AgGaTe_2 вывучаны спектры фоталюмінесцэнцыі да і пасля апраменьвання іонамі вадароду дозай 10^{15} см^{-2} з энергіяй 100 эВ пры $T = 8 - 300 \text{ К}$. Выяўлены пасівіруючы ўплыў імплантацыі вадародам на дэфекты крышталічнай рапоўкі. Упершыню на арыентаваных монакрышталях AgGaTe_2 праведзены вымярэнні анізатрапіі цеплаправоднасці і цешлавага расшырэння. Упершыню на монакрышталях і плёнках AgGaTe_2 створаны фотаадчувальныя паверхнева-бар'ерныя структуры і даследаваны іх уласцівасці.

Рэзультаты дысертацыйнай працы ўкаранёны ў навучальны працэс БДУІР. Вырашчаныя крышталі выкарыстоўваюцца ў Інстытуце фізікі цвёрдага цела і паўправаднікоў НАНБ (г. Мінск) у якасці мішэняў для вырабу плёнак AgGaTe_2 .

SUMMARY

Abraztsova Volha M.

SYNTHESIS AND PROPERTIES OF AgGaTe_2 SINGLE CRYSTALS,
THIN FILMS AND SURFACE-BARRIER STRUCTURES ON THEIR BASIS

Keywords: AgGaTe_2 single crystals, AgGaTe_2 thin films, optical properties, low-temperature photoluminescence, hydrogen implantation, thermal conductivity, thermal expansion, surface-barrier structures In/p- AgGaTe_2

The object of the investigation is single crystals and thin films of AgGaTe_2 and surface-barrier structures on their basis. **The subject** of investigation is their physico-chemical, optical, electric and thermophysical properties.

The aim of the work is synthesis and growth of optically homogeneous AgGaTe_2 single crystals and thin films; to determine the regularities of changes of physico-chemical, optical, electric and thermophysical properties of AgGaTe_2 single crystals and thin films; to create surface-barrier structures on their basis and investigate their photoelectric properties.

For the first time the optimum conditions of synthesis and growth of AgGaTe_2 homogeneous single crystals 12 mm in diameter and 40–45 mm length and AgGaTe_2 high-quality thin films, suitable for creation of phototransformers for natural radiation were obtained. For single crystals and thin films the cell parameters were obtained and the energies of interband transitions and crystal and spin-orbit splitting were calculated from reflection and transmission spectra. For single crystals the temperature and the nature of fusion and density were obtained and the temperature measurements of electrical conductivity and Hall effect were carried out.

For the first time photoluminescence spectra for $T=8 - 300$ K of AgGaTe_2 single crystals before and after implantation with a dose of 10^{15} cm^{-2} of 100 eV hydrogen ions were studied. The passivation of traps by hydrogen was established. For the first time the measurements of anisotropy of thermal conductivity and thermal expansion of oriented AgGaTe_2 single crystals were carried out. For the first time photosensitive surface-barrier structures on the basis of AgGaTe_2 single crystals and thin films were prepared and their properties investigated.

The results of this dissertation work were introduced into training process of BSUIR. Grown AgGaTe_2 crystals are used as targets for thin films preparation in the Institute of Physics of Solids and Semiconductors of NAS of Belarus (Minsk).

ОБРАЗЦОВА Ольга Николаевна

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ, ПЛЕНОК AgGaTe_2
И ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ СТРУКТУР НА ИХ ОСНОВЕ

05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников,
материалов и приборов электронной техники

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 05.01.2004.		Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная.	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,3.	Тираж 80 экз.	Заказ 3.

Издатель и полиграфическое исполнение
Учреждение образования

«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия ЛП № 156 от 30.12.2002.
Лицензия ЛВ № 509 от 03.08.2001.
220013, Минск, ул. П.Бровки, 6