

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им.И.И.МЕЧНИКОВА

На правах рукописи

АБДЕЛЬ МОНЕМ АБДЕЛЬ ВАХАБ ИБРАГИМ

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТОК И ГАММА ОБЛУЧЕНИЯ НА
СВОЙСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК $CdGa_2S_4$.

01.04.10 -Физика полупроводников и диэлектриков

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Одесса - 1996

621.315.5
534.226

ЛНБ ім. В. Стефаника



00330528 (L)

Диссертацией есть рукопись.

Работа выполнена на кафедре экспериментальной физики
Одесского госуниверситета им. И.И. Мечникова

Научный руководитель: канд. физ.-мат.наук, доцент
В.Т.Мак

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук, профессор
Кив А.Е.
кандидат физико-математических наук,
доцент Солошенко В.И.

Ведущая организация: Институт ядерных исследований.
НАН Украины.

Защита диссертации состоится "13" февраля 1996 г.
в "14" часов на заседании Специализированного совета,
шифр Д 05.01.07 по физико-математическим наукам
(физика) в Одесском госуниверситете им. И.И.Мечникова
(270100, г.Одесса, ул.Петра Великого, 2)

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке

Одесского госуниверситета

Автореферат разослан "12" января 1996 г.

Ученый секретарь Специализированного совета

кандидат физико-математических наук,

доцент

Федчук А.П

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последнее время уделяется пристальное внимание веществам из класса тройных полупроводниковых соединений $A^{II}B_2^{III}C_4^{VI}$, кристаллизующимся в сложных кристаллических структурах. Соединения $A^{II}B_2^{III}C_4^{VI}$ обладают широкими областями прозрачности, высокими значениями нелинейной восприимчивости, оптической активностью, высокой фоточувствительностью и интенсивной люминесценцией. Эти достоинства в сочетании с большой шириной запрещенной зоны E_g (до ~ 4 эВ) определяют перспективность использования соединений $A^{II}B_2^{III}C_4^{VI}$ в оптоэлектронике. На основе указанных соединений получены электрофотографические слои, разработаны переключающие устройства, спектральные фильтры, фотоприемники и другие приборы. Исключительный интерес представляет их слабая чувствительность к примесям, высокая устойчивость к воздействию ионизирующего излучения и высокоэнергетических частиц.

Особый интерес представляет $CdGa_2S_4$, являющийся типичным представителем соединений $A^{II}B_2^{III}C_4^{VI}$. В этом материале при возбуждении быстрыми электронами получено стимулированное излучение при 0,9 эВ. На основе монокристаллических пластин $CdGa_2S_4$ разработаны фоторезистивные и поверхностно-барьерные детекторы КВ излучения, имеющие П-образную характеристику. У них возможно смешать длинноволновое крыло спектра на 20-30 нм изменением приложенного поля. Их применяют как дозиметры в ультрафиолетовом диапазоне. Важным с прикладной точки зрения является эффект переключения с памятью, обнаруженный в соединениях группы $A^{II}B_2^{III}C_4^{VI}$, который позволяет совершать до 10^5 и более циклов переключения на соответствующих приборах.

Тиогаллат кадмия, характеризуется яркой фотолюминесценцией, высокой фоточувствительностью и большой шириной запрещенной зоны (3,77 эВ при 10 К). Этот материал уже сейчас используется для изготовления приемников ультрафиолетового и рентгеновского излучения, узкополосных

фильтров с перестраиваемой полосой пропускания, удвоителей частоты. В то же время остаются совсем неизученными возможности поликристаллических пленок тиогаллата кадмия (как и соединений $A^{II}B_2^{III}C_4^{VI}$ в целом), хотя перспективность их использования в пленочной микроэлектронике не вызывает сомнения.

Учитывая уникальные свойства тиогаллата кадмия, представляется перспективным его использование для создания элементов оптоэлектроники - фоторезисторов, чувствительных к свету в ультрафиолетовой области спектра, радиационно-стойких фотоэлектрических преобразователей энергии, электролюминесцентных панелей, детекторов ядерных излучений и т.п.

Для решения проблемы практического использования пленок тиогаллата кадмия необходимо всестороннее исследование их свойств, поскольку до настоящего времени они совершенно неизучены. Такие исследования требуют комплексного подхода, включающего в себя изучение воздействия различных внешних факторов (температуры, атмосферы, облучения) на важнейшие свойства пленок. Поскольку электрофизические, фотоэлектрические и фотолюминесцентные свойства материала определяются спектром присутствующих в нем дефектов, то актуальным является проблема идентификации дефектов структуры пленок тиогаллата кадмия, определения параметров дефектов и установления возможностей управления спектром дефектов.

Неизученным является вопрос структурного совершенства и управления структурой поликристаллических пленках тиогаллата кадмия. Имеющиеся в литературе сведения позволяют прогнозировать возможность совершенствования структуры пленок тиогаллата кадмия как с помощью термоотжига, так и под воздействием облучения.

Происходящие при различных технологических операциях (термоотжиг, облучения) перестройки дефектов структуры изменяют свойства пленок тиогаллата кадмия. Вновь созданные при этом дефекты обладают различной стабильностью и могут перестраиваться в полях ядерных излучений, что влечет за собой изменения радиационной стойкости материала.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о том, что проблемы идентификации структуры дефектов в пленках тиогаллата кадмия, определения параметров дефектов, управления спектром дефектов и кристаллической структурой пленок с помощью термоотжига и облучения в настоящее время являются актуальными и совершенно неизученными.

Целью диссертации является установление природы собственных дефектов в поликристаллических пленках тиогаллата кадмия, разработка методик управления фотоэлектрическими и фотолюминесцентными свойствами материала, чувствительного к свету в ультрафиолетовой части спектра, определение условий при которых пленки CdGa_2S_4 обладают наибольшей радиационной стойкостью, а также разработана методов управления структурой пленок с помощью термоотжига и гамма облучения.

Научная новизна.

1. Установлены три стадии изохронного отжига, определяющие свойства поликристаллических пленок тиогаллата кадмия.
2. Обнаружено оптическое гашение фотопроводимости и установлены природа и феноменологические параметры очувствляющих центров.
3. Обнаружены и исследованы две узкие полосы фотолюминесценции в ультрафиолетовой области спектра при 3,35 эВ (I_1) и 3,31 эВ (I_2).
4. Установлена донорно-акцепторная природа широкой (500-1000 нм) полосы фотолюминесценции в пленках тиогаллата кадмия.
5. Впервые установлена возможность управления кристаллической структурой пленок сульфида и тиогаллата кадмия с помощью отжига и гамма облучения.
6. Впервые исследовано влияние гамма облучения на спектр дефектов структуры в поликристаллических пленках тиогаллата кадмия.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1. Разработаны методики исследований и отжига дефектов в поликристаллических тонких пленках тиогаллата кадмия.

2. Определено энергетическое положение и рекомбинационные параметры чувствительных центров.
3. Установлена, связь между радиационной стойкостью пленок тиогаллата кадмия и характером термического воздействия на них.
4. Определена природа дефектов, ответственных за примесную фотопроводимость и за полосы фотолюминесценции в ультрафиолетовой области спектра.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Темновая проводимость в высокотемпературной области контролируется донорными центрами с энергией активации $(0,8 \pm 0,1) \text{ эВ}$, концентрация которых не изменяется под действием термообработок и гамма облучения.
2. Создаваемые при отжиге донорные дефекты с энергией активации $(0,3 \pm 0,05) \text{ эВ}$, являются междоузельными атомами галлия, а энергия активации процесса их образования составляет $(1,4 \pm 0,1) \text{ эВ}$.
3. Чувствительными центрами в пленках тиогаллата кадмия являются антиструктурные дефекты Ga_{Cd} и Cd_{Ga} . Энергетический уровень дефекта Cd_{Ga} расположен на $0,5 \text{ эВ}$ выше потолка валентной зоны, а отношение коэффициентов рекомбинации электронов и дырок γ_n/γ_p для него равно $1,7 \times 10^5$.
4. Полосы фотолюминесценции в ультрафиолетовой области спектра при $3,35 \text{ эВ}$ и $3,31 \text{ эВ}$ обусловлены донорно-акцепторной рекомбинацией на дефектах $[\text{Ga}_i\text{S}_i]$. Расстояния между соответствующими донорами и акцепторами равны $1,65 \text{ нм}$ и $2,2 \text{ нм}$.
5. Применение термообработок с целью повышения фоточувствительности пленок тиогаллата кадмия приводит к резкому уменьшению их радиационной стойкости.
6. Гамма облучение дозами до 10^2 Ги приводит к изменению кристаллической структуры пленок CdS . Кристаллическая структура пленок тиогаллата кадмия при дозах облучения вплоть до 10^6 Ги нечувствительна к облучению.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на V Международной Конференции по физике и технологии тонких пленок (г. Ивано - Франковск - 1995), и на семинарах кафедры экспериментальной физики Одесского Госуниверситета.

Публикации. Основные результаты работы изложены в шести публикациях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав с выводами, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 158 страниц машинописного текста, 45 рисунков и списка цитированной литературы, насчитывающего 163 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, ее новизна, практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава является обзорной. В ней рассматриваются механизмы взаимодействия гамма - облучения с полупроводниками. Проанализирована роль точечных дефектов, создаваемых облучением, в формировании свойств полупроводникового материала. Радиационные дефекты могут быть эффективными центрами рекомбинации и прилипания электронов и дырок, а также рассеивающими центрами для подвижных зарядов; донорными или акцепторными дефектами, изменяющими положение уровня Ферми, центрами поглощения света и люминесценции, парамагнитными центрами и т.д. Поэтому введение радиационных дефектов приводит к изменению времени жизни неравновесных носителей тока, изменению их концентрации и подвижности, появлению новых или изменению существовавших до облучения полос в оптических спектрах, изменению теплопроводности облученных материалов, изменению параметров решетки кристалла, появлению нелинейности вольт - амперных характеристик и многим другим изменениям в свойствах материалов.

Рассмотрены имеющиеся в литературе сведения об электрических и фотоэлектрических свойствах титгаллата кадмия, кристаллических структур соединений типа титгаллата кадмия. Обсуждается влияние отжига и облучения на свойства соединений $A^{II}B_2C_4^{VI}$. Отмечается, что при

облучении соединения со стехиометрическими вакансиями (CdGa_2S_4 и др.) должны обладать высокой радиационной стойкостью. Механизм эффекта радиационной устойчивости полупроводников со стехиометрическими вакансиями может быть связан либо с высокой степенью компенсации дефектов, возникающих в таком полупроводнике при облучении, либо с другой, более вероятной, причиной: радиационная стойкость кристаллов со стехиометрическими вакансиями обусловлена неустойчивостью как точечных дефектов, так и комплексов радиационных дефектов в структурах, где количество собственных стехиометрических вакансий есть величина порядка концентрации атомов компонентов кристалла.

Вторая глава посвящена описанию методов исследований основных электрических и фотоэлектрических характеристик поликристаллических пленок CdGa_2S_4 . Описана установка, предназначенная для исследования температурных зависимостей темновой проводимости и эффекта Холла, которые позволяют получать величины энергии активации дефектов в кристалле. Описана также установка для исследования спектров люминесценции, спектрального распределения и оптического гашения фотопроводимости тригаллата кадмия. Исследование оптического гашения фотопроводимости позволило получить сведения о положении энергетических уровней дефектов, захватывающих неосновные носители. Описанная установка для регистрации спектров люминесценции и ее возбуждения в диапазоне длин волн от 337 до 1200 нм позволила осуществить следующие режимы работы: автоматическую запись спектров флуоресценции и фосфоресценции при импульсном возбуждении монохроматическим светом с длиной волны от 337 до 1200 нм; автоматическую запись спектров флуоресценции и фосфоресценции при импульсном возбуждении излучением азотного лазера ($\lambda = 337$ нм); наблюдение влияния дополнительной инфракрасной подсветки на интенсивность люминесценции в режимах флуоресценции и фосфоресценции; автоматическую запись спектров относительно квантового выхода флуоресценции и фосфоресценции.

Изложены сведения об отжиге радиационных дефектов в полупроводниках и предложены некоторые методы для определения энергии активации отжига и порядка реакции. Также приведен обзор литературы, посвященной изучению влияния отжига на свойства CdS, который в значительной степени близок по своим свойствам к CdGa₂S₄.

Третья глава посвящена технологии получения поликристаллических пленок тиогаллата кадмия. В основу технологии получения пленок CdGa₂S₄ был положен метод выращивания - электронно - лучевого распыления поликристаллического тиогаллата кадмия с последующим его осаждением на подогреваемые ситалловые подложки. Процесс напыления состоял из многократно повторяемых циклов напыления слоя толщиной 0.02 - 0.025 мкм и последующей его бомбардировки ионами аргона с энергией 500 эВ. Число циклов было таким, что толщина пленок CdGa₂S₄ составляла 1.2 - 2 мкм.

Рассмотрены результаты отжига поликристаллических пленок CdGa₂S₄ в вакууме или в воздухе и выделены три стадии изохронного отжига дефектов, определяющих свойства пленок. Исследование оптического гашения фотопроводимости показало, что в отожженных пленках при 773 К есть две полосы оптического гашения. Длинноволновые границы ОГФ коротковолновой и длинноволновой полос равняются, соответственно, 610 и 800 нм. Полосы оптического гашения фотопроводимости в исследуемых пленках связываются с оптическими переходами дырки из уровня Ga_{Cd} в валентную зону (полоса с длинноволновой границей гашения 610 нм) и с переходами дырки из уровня Ga_{Cd} на уровень Cd_{Ga} с последующим термическим ее возбуждением в валентную зону (полоса с длинноволновой границей гашения 800 нм).

Показано, что на первой стадии отжига (температура до 640 К) энергия активации темновой проводимости не изменяется и составляет (0,3 ± 0,05) эВ и (0,8 ± 0,1) эВ в низкотемпературной и в высокотемпературной областях соответственно. На первой стадии отжига образуются вакансии кадмия ответственные за полосу фотопроводимости при 460 нм и образуются компенсирующие акцепторы Cd_{Ga}, которые являются центрами

фоточувствительности. Энергия активации процесса образования центров Cd_{Ga} составляет $(0,8 \pm 0,1)$ эВ а кинетика отжига - первого порядка.

Показано, что на третьей стадии отжига энергия активации темновой проводимости составляет $(0,3 \pm 0,1)$ эВ, энергия активации образования этих дефектов составляет $(1,4 \pm 0,1)$ эВ и кинетика отжига - первого порядка.

В спектрах фотолюминесценции пленок обнаружено две узкие полосы излучения в ультрафиолетовой области спектра при 3, 35 (I_1) и 3,31 (I_2) эВ, информация о которых отсутствует в опубликованной литературе. Интенсивность излучения неотожженных пленок в этих полосках была приблизительно в 10-20 раз меньше, чем в отожженных при 760 К 15 минут.

Исследования фотолюминесценции в длинноволновой части спектра показали наличие значительного количества центров рекомбинации, благодаря которым наблюдаются широкие полосы свечения в области 500-1000 нм. Эти полосы присутствуют при возбуждении собственно-поглошенным светом с длиной волны $\lambda = 337$ нм или светом из полосы примесного поглощения с $\lambda = 440$ нм, как у исходных, так и в отожженных при разных режимах пленках тиогаллата кадмия. Интенсивность ФЛ в спектральной области 500-1000 нм растет на первой стадии отжига. Этот рост коррелирует с ростом времени жизни неравновесных носителей тока. При дальнейшем отжиге пленок на второй стадии общая интенсивность ФЛ монотонно уменьшается одновременно с уменьшением времени жизни неравновесных носителей заряда и увеличивается на третьей стадии отжига, когда растет время жизни носителей заряда.

Смещение положения максимума ФЛ в длинноволновую сторону спектра при увеличении длины волны возбуждающего света от 337 нм до 440 нм или при наличии временной задержки между моментами возбуждения и регистрации фосфоресценции без изменения интенсивности возбуждающего света и длины его волны позволяет утверждать, что фотолюминесценция в области 500-1000 нм обусловлена рекомбинацией на ДА парах, пространственное распределение которых определяется условиями отжига или облучения.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния гамма облучения на электрофизические и фотоэлектрические свойства пленок тиагаллата кадмия.

Изменения темновой проводимости и фотопроводимости неотожженных пленок начинаются только после облучения дозой гамма фотонов 10^6 Ги, в то же время, у отожженных пленок указанные параметры начинают изменяться при дозах, более, чем на три порядка величины, меньших.

Исследования термостимулированной проводимости неотожженных и отожженных при 773 К пленок тиагаллата кадмия до и после гамма облучения показало наличие в них квазинепрерывно расположенных в запрещенной зоне ловушек.

Главной особенностью в изменениях спектров ФЛ в области (0,5-1)мкм после гамма облучения является смещение максимумов излучения в направлении больших длин волн. Закономерным является также увеличение интенсивности ФЛ в максимуме ее спектрального распределения при отжиге и при облучении. Так, после 15 минутного отжига интенсивность ФЛ в максимуме кривой спектрального распределения (СР) увеличивается в 2 раза. После облучения неотожженной и отожженной пленок дозой гамма фотонов 10^4 Ги соответствующие интенсивности увеличиваются в 3 и 4 раза относительно интенсивности ФЛ в максимуме кривой СР. Дальнейшее увеличение дозы гамма облучения приводит к увеличению интенсивности фотолюминесценции в длинноволновой области спектра как неотожженных, так и отожженных пленок $CdGa_2S_4$. При этом, в спектре ФЛ неотожженных пленок появляются свечения при длинах волн больше, чем 650 нм. В области же длин волн 550-650 нм интенсивность ФЛ неотожженных пленок при увеличении дозы гамма-фотонов от 10^4 до 10^6 Ги почти не изменяется. Интенсивность ФЛ отожженных пленок при увеличении дозы гамма-фотонов от 10^4 до 10^6 Ги увеличивается в 10 раз.

Показано, что при облучении гамма фотонами ^{60}Co в поликристаллических пленках тиагаллата кадмия образуются донорно - акцепторные ДА пары типа $[Ga_i S_i]$, независимо от начального состояния пленки. В то же время, благодаря незначительному изменению времени

жизни неравновесных носителей заряда в неотожженных пленках после облучения интенсивность фотолюминесценции в ультрафиолетовых полосах значительно растет. В отоженных же пленках время жизни неравновесных носителей заряда в результате облучения сильно уменьшается, что вызывает уменьшение интенсивности исследуемых полос фотолюминесценции.

Сравнение спектров фотолюминесценции неотожженных и отоженных пленок тиогаллата кадмия показывает, что гамма облучение достаточно эффективно вводит ДА пары, в которых компоненты разделены на значительные расстояния, мало изменяя концентрацию ДА пар с близкоразмещенными компонентами. Более того, эта эффективность значительно выше при облучении отоженных при 773 К пленок, чем неотожженных.

Пятая глава посвящена влиянию гамма облучения на структуру тонких пленок CdS и $CdGa_2S_4$.

Показано, что после гамма облучения в пленках CdS увеличиваются размеры кристаллитов, в 1,5-2 раза. Появление после облучения в пленках кристаллитов серы свидетельствует, очевидно, о том, что аморфная фаза отоженных пленок содержит S. При гамма облучении атомы из аморфной фазы приобретают, вследствие увеличения концентрации высокоэнергетических электронов, высокую подвижность, благодаря чему происходит рост кристаллитов сульфида кадмия и серы. Появление кристаллической серы может пролить свет на значительный круг явлений, которые наблюдаются при гамма облучении пленок сульфида кадмия, например, на особенности спектрального распределения фотопроводимости, релаксационные процессы и т.п. Эти явления могут иметь решающее значение для надежности изделий пленочной микроэлектроники, которые используются в полях ядерных излучений.

Исследование рентгеновского фазового анализа пленок $CdGa_2S_4$ показало, что как в исходных, так и в отоженных пленках $CdGa_2S_4$ при температурах, отвечающих первой и второй стадиям отжига, дифрактограммы практически не изменяются: на них не появляются рефлексы, соответствующие кристаллической фазе $CdGa_2S_4$. Однако после отжига при 760 К 15 минут на рентгendifрактограмме появляются

рефлексы, характерные для $CdGa_2S_4$. В то же время эти рефлексы появляются также у отожженных при 760 К, облученных дозами гамма фотонов 10^6 Ги.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы, обсуждается ее практическая значимость и перспективы дальнейших исследований по данной теме.

Основные результаты работы:

1. Установлены три стадии изохронного отжига исследуемых пленок. Определены величины энергий активации темновой проводимости на этих стадиях и установлено, что энергии образования очувствляющих центров и основных донорных уровней, соответствующих первой и второй стадиям отжига, равны соответственно $0,8 \pm 0,1$ и $1,4 \pm 0,1$ эв.

2. При отжиге пленок тиогаллата кадмия создаются центры медленной рекомбинации, которые представляют собой антиструктурные дефекты Cd_{Ga} и Ga_{Cd} и ответственны за полосы гашения при 610 и 800 нм.

3. Неотожженные пленки $CdGa_2S_4$ имеют более высокую радиационную устойчивость к гамма-излучению по сравнению с отожженными пленками.

4. Изменения фоточувствительности пленок $CdGa_2S_4$ связаны с изменениями концентрации дефектов Ga_{Cd} и Cd_{Ga} и комплексов $(Ga_{Cd} - Cd_{Ga})$ только в отожженных при 773 К пленках тиогаллата кадмия. В неотожженных пленках тиогаллата кадмия при облучении фоточувствительность почти не изменяется.

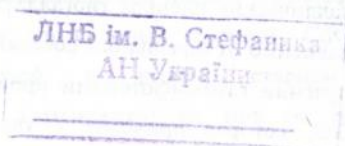
5. Обнаружено наличие двух узких полос фотолюминесценции тиогаллата кадмия в ультрафиолетовой области спектра при 3,35 эВ (I_1) и 3,31 эВ (I_2). Показано, что компонентами донорно-акцепторных пар, отвечающих за полосы ФЛ, являются пространственно разделенные доноры Ga_i и акцепторы S_i . Установлено, что при облучении гамма фотонами ^{60}Co в поликристаллических пленках тиогаллата кадмия образуются ДА пары типа $[Ga_i S_i]$ независимо от начального состояния пленки.

6. При облучении гамма-фотонами происходит перекристаллизация тонких пленок CdS , которая приводит к увеличению размеров кристаллитов. Отжиг CdS -поликристаллов не изменяет их структуру. При отжиге

поликристаллических пленок тиогаллата кадмия происходит их перекристаллизация. Облучения гамма фотонами дозами до 10^6 Ги неотожженных и отоженных при 760 К пленок тиогаллата кадмия не изменяет их кристаллической структуры.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

1. Мак В.Т, Ибрагим А.А. Некоторые фотоэлектрические свойства поликристаллических пленок тиогаллата кадмия. ФТП.-1994.-т.-28.-с.1714-1717.
2. Мак В.Т, Ибрагим А.А.. Исследование природы собственных дефектов в поликристаллических пленках $CdGa_2S_4$. Неорган. матер.-1995.- т.31.-с. 524-528.
3. Мак В.Т, Ибрагим А.А. Влияние гамма облучения на фотоэлектрические свойства тонких пленок теогаллата кадмия. ЖТФ.-1995.-т. 65.-с. 179-182.
4. Мак В.Т, Ибрагим А.А. Дефектообразование в поликристаллических пленках тиогаллата кадмия при термообработках. V Междун. конф. по физике и технологии тонких пленок. Ив. - Франковск. Тез. докл.,Ив. - Франковск, 1995, с. 131.
5. Мак В.Т, Ибрагим А.А. Дефектообразование в поликристаллических пленках тиогаллата кадмия при гамма облучении. V Междун. конф. по физике и технологии тонких пленок. Ив. - Франковск. Тез. докл., Ив. - Франковск. 1995, с. 132.
6. Мак В.Т, Ибрагим А.А. О природе центров ультрафиолетовой фотолюминесценции поликристаллических пленок теогаллата кадмия. Письма в ЖТФ.- 1995.- Вып.-18 - с 166-168.



Подп.к печ.26.12.95 Бумага финская Заказ 851 Тираж 100

Отдел оперативной полиграфии ОЦНТЭИ
Украина, 270011, г.Одесса, ул.Ришельевская,28

276529

AB 33.800

AB 33.800