

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ ССР МОЛДОВА
МОЛДАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени В.И. ЛЕНИНА

Для служебного пользования
Экз. №
На правах рукописи

КОВАЛЕВ ЛЕОНИД ЕВГЕНЬЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОНОВЫХ ПРИМЕСНО-ДЕФЕКТНЫХ
СОСТОЯНИЙ В СЕЛЕНИДЕ ЦИНКА

Специальность 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

Кишинев - 1990 г.

Диссертационная работа выполнена на кафедре физики полупроводников Молдавского государственного университета им. В.И.Ленина

Научный руководитель: Лауреат Государственной премии СССР,
кандидат физико-математических наук,
доцент
КОРОТКОВ В.А.

Официальные оппоненты: Лауреат Государственной премии СССР,
доктор физико-математических наук,
профессор
ШМАРЦЕВ Ю.В.

доктор физико-математических наук,
профессор
ЖЕРУ И.И.

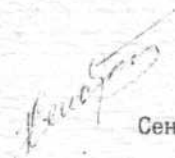
Ведущая организация: Институт полупроводников АН УССР

Защита диссертации состоится 25 декабря 1990 года в 14.00 на заседании Специализированного совета К.062.01.04 по присуждению ученой степени кандидата физико-математических наук в Молдавском ордена Трудового Красного Знамени государственном университете им. В.И.Ленина (277014, г. Кишинев, ул. Садовая, 60).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 24 ноября 1990 года.

Ученый секретарь Специализированного
Совета,
кандидат физико-математических наук,
доцент


Сенокосов С.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Соединения A^2B^6 , в частности селенид цинка, известны рядом ценных свойств (большая вероятность излучательной рекомбинации при наличии прямых оптических переходов, высокий квантовый выход фотолюминесценции, высокая фоточувствительность и т.д.), используемых при создании устройств для оптоэлектроники.

Большинство интересных и важных свойств твердых тел – в том числе электрических, оптических и механических – определяется не столько характеристиками идеального кристалла, сколько нарушениями этой идеальной структуры.

Свойства кристаллов $ZnSe$, прошедших технологическую обработку и используемых в приборах оптоэлектроники в сильной степени зависят от свойств исходных кристаллов с различным набором фоновых примесей и собственных дефектов, поэтому представляет большой интерес исследование специально легированного $ZnSe$.

Имеющиеся в материале дефекты могут приводить к возникновению одного или более локализованных электронных состояний в запрещенной зоне полупроводника. Поскольку дефекты играют роль центров рекомбинации, изменяется время жизни носителей; рекомбинация электрона из зоны проводимости с дыркой из валентной зоны происходит с участием глубокого центра. Эта рекомбинация может быть излучательной и безызлучательной.

Для фоточувствительного и излучающего материала, каким является $ZnSe$, весьма интересным представляется изучение совместно с фотоэлектрическими и фотолюминесцентными методами исследование спектров электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) с использованием оптического возбуждения, способного изменить зарядовое состояние дефекта, а, следовательно, и его парамагнитные свойства. ЭПР – один из мощных и весьма эффективных методов изучения состояний в кристаллах. Дефекты проявляются в парамагнитных свойствах, если имеется неспаренный электрон, связанный на дефекте. Неспаренный электрон может появиться в результате оптического возбуждения кристалла и тогда после помещения в магнитное поле его уровень расщепляется и возникает поглощение, обусловленное переходами между расщепленными уров-

нями. В присутствии дефектов изменяются колебательные моды. Дефект локально возмущает колебательный спектр и может вызывать появление локализованных колебательных мод и в этом случае особое значение приобретает исследование инфракрасного поглощения $ZnSe$.

Актуальным при изучении примесно-дефектных состояний является использование таких методов исследования как вторичная ионная масс-спектрометрия (ВИМС) и электронная оже-спектрометрия (ЭОС), позволяющие определить элементный состав основных примесей.

Для высокоомных материалов, к которым относится $ZnSe$ с фоновыми примесями, дополнительная информация может быть получена методами диэлектрической спектроскопии.

Высокая чувствительность дефектов к термическим обработкам влияет на изменение свойств материалов в зависимости от условий их получения и дальнейшей обработки. В связи с этим важным для науки и для практического использования является исследование влияния различного рода отжигов на примесно-дефектный состав кристаллов $ZnSe$.

Цель работы. Комплексное исследование роли собственных дефектов и примесей в формировании энергетического спектра высокоомных кристаллов $ZnSe$ с фоновыми примесями и отожженных в жидких цинке или висмуте.

Для достижения поставленной цели ставились следующие задачи:

- разработать способы определения положения локальных энергетических уровней в запрещенной зоне полупроводника, основанные на исследовании возбужденных состояний в селениде цинка;
- провести комплексное исследование высокоомного $ZnSe$ методами фотопроводимости, фотолюминесценции, электронного парамагнитного резонанса, вторичной ионной масс-спектрометрии, электронной оже-спектрометрии, ИК поглощения, диэлектрической спектроскопии;
- исследовать влияние высокотемпературных термообработок в жидких цинке и висмуте на примесно-дефектные состояния в селениде цинка.

Научная новизна результатов исследований состоит в следующем:

- впервые в условиях возбуждения примесно-дефектных состояний в селениде цинка получены экспериментальные результаты, позволяющие связать всплесковую релаксацию фототока, фотоемкости и спектральную память фотопроводимости с $3d$ -примесями, в частности, железом и его неоднородным распределением по кристаллу;
- предложены новые способы определения энергетического положения локальных уровней в запрещенной зоне полупроводника, основанные на исследовании, после предварительного оптического возбуждения, спектров: фототока, фотоемкости и "сечения фотоионизации";
- впервые в рамках предложенной двухуровневой модели были оценены характерные времена рекомбинации в селениде цинка, после предварительного оптического возбуждения центров;
- впервые обнаружена поляризационная зависимость фототока высокоомного $ZnSe$, по-видимому, связанная с анизотропией функции генерации фотоэлектронов;
- впервые исследованы методами диэлектрической спектроскопии высокоомные кристаллы $ZnSe$. Выполнен анализ диэлектрических характеристик в рамках нового "недебаевского" много-частичного подхода в предположении матричного характера распределения примесно-дефектных состояний в кристалле;
- впервые проведен комплексный сравнительный анализ влияния термообработок в расплавах цинка и висмута на спектр примесно-дефектных состояний в $ZnSe$. Обнаружено, что обе термообработки приводят к улучшению "качества" кристаллов, что проявляется в спектрах фотолюминесценции и ЭПР. Отжиг в жидком висмуте, исходя из комплексного исследования, является при этом более эффективным. Отжиг в жидком цинке приводит к увеличению числа F -центров за счет вакансий селена в объеме кристаллов. В сравнении исследован элементный состав примесей методами ВИМС и ЭОС.

Практическая значимость результатов работы состоит в том, что:

- разработаны новые способы исследования спектров локальных центров высокоомных фоточувствительных полупроводников

на основе измерения спектральных зависимостей всплесковых релаксаций фототока, фотоемкости и "сечения фотоионизации". Получены положительные решения по 3 заявкам на изобретение;

-- получена информация о природе явления спектральной памяти фотопроводимости, которая может быть использована в технологии изготовления оптоэлектронных приборов, в основе работы которых будет лежать данное явление;

- показано, что отжиг в жидком висмуте кристаллов $ZnSe$ с фоновыми примесями способствует упорядочению кристаллической структуры материала и может быть использован для создания образцов селенида цинка с заданными оптическими, фотоэлектрическими и люминесцентными свойствами.

Положения, выносимые на защиту:

1. Релаксация фототока и фотоемкости со всплеском и спектральная память фотопроводимости в условиях возбуждения примесно-дефектных состояний в селениде цинка связаны с присутствием в нем примесей группы железа, неоднородно распределенных в объеме кристалла.

2. Способы исследования спектральных зависимостей фототока, фотоемкости и "сечения фотоионизации" после предварительного оптического возбуждения, позволяющие выявить глубокие центры фоточувствительности и захвата и определить их энергетическое положение в запрещенной зоне полупроводника.

3. В спектре характерных времен релаксации наблюдаются две линии, связанные с уровнями, имеющими энергии активации 1,14; 1,06 эВ и являющиеся эффективными каналами рекомбинации.

4. В качестве фоновых примесей высокоомных монокристаллов селенида цинка без специального легирования обнаружены следующие элементы с концентрацией не менее 10^{17} см⁻³: Al , Cr , Mn , Fe , In и Te . Отжиг кристаллов $ZnSe$ с фоновыми примесями в жидком цинке приводит к проявлению вакансий селена в виде F -центров, а отжиг в жидком висмуте способствует упорядочению кристаллической структуры и приводит к определяющему вкладу основной фоновой примеси замещения марганца в двухзарядном состоянии в спектрах фотолюминесценции и ЭПР.

Апробация работ. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на XI Всесоюзной конференции по физике полупроводников (г. Кишинев, 1988); на Всесоюзной конференции "Фотоэлектрические явления в полупроводниках" (г. Ташкент, 1989); на II республиканской конференции молодых исследователей "Молодежь и современная наука" (г. Кишинев, 1989); на VI Всесоюзном совещании "Физика, химия и технология люминофоров" (г. Ставрополь, 1989); на XII Всесоюзной конференции по физике полупроводников (г. Киев, 1990).

Публикации: По материалам диссертации опубликовано 8 научных работ, получено три положительных решения по заявкам на изобретение.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, общих выводов, приложения, содержит 109 страниц машинописного текста, 51 рисунок, 2 таблицы и списка литературы, включающего 125 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы настоящего исследования, формулируются цель и задачи, решение которых составляет основное содержание работы, ее научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации является обзорной. В ней дан комплексный анализ сведений о фотоэлектрических, люминесцентных и парамагнитных свойствах селенида цинка. Несмотря на довольно значительное число работ по исследованию фотопроводимости и люминесценции $ZnSe$, единое мнение относительно энергетического спектра и природы центров в материале отсутствует. Исходя из литературных данных делается вывод, что только совместное применение различных методов исследования, таких как фотопроводимость, люминесценция, ЭПР и др., может дать более полные сведения о примесно-дефектном спектре селенида цинка. В обзоре приводятся данные о некоторых параметрах центров в $ZnSe$, определенные разными методами.

Также в главе рассмотрено влияние различных термообработок на свойства селенида цинка. Наряду с известными высокотемпературными отжигами в цинке и селене, а также в других средах, используемых для легирования, интересной и малоизученной является термообработка в расплавах висмута.

Рассматриваются физические механизмы, приводящие к всплеску фототока на релаксационных кривых в полупроводниках. Показано, что подобного рода релаксации фототока могут вызываться рядом причин, к основным из которых относятся: перезарядка локальных уровней в запрещенной зоне полупроводника; перестройка локальных центров в результате фотохимических реакций в полупроводниках; рекомбинация в неоднородном полупроводнике.

На основании проведенного обзора литературных данных сформулированы основные задачи диссертационной работы.

Во второй главе дается характеристика исследуемых образцов, обосновываются и описываются различные термообработки кристаллов селенида цинка. Описываются такие характеристики исследуемых кристаллов как темновое сопротивление, кристаллическая структура плоскости скола, определенная из рентгеноструктурного анализа, концентрация основных носителей и их подвижность.

Даны описание методики ЭОС и результаты исследования данным методом элементного анализа поверхности монокристаллов $ZnSe$ с фоновыми примесями. На поверхности свежего скола были обнаружены "загрязнения", обусловленные кислородом и углеродом, которые удаляются в сверхвысоком вакууме (10^{-10} Торр) посредством ионной пушки или неодимового лазера.

Описываются такие термообработки, как низкотемпературный отжиг, отжиг в жидком цинке и висмуте. Обосновывается выбор сред для отжига.

Исследован примесной состав образцов селенида цинка с фоновыми примесями, а также прошедших отжиг в жидких цинке и висмуте методом ВИМС. Описана доработка серийного прибора МЛ-7201М, позволяющая исследовать высокоомные материалы. Обнаружено наличие в исследованных образцах основных фоновых примесей хрома, марганца, железа, индия

и теллура с концентрациями более 10^{17} см^{-3} .

Высокоомные кристаллы селенида цинка изучались методами диэлектрической спектроскопии. В рамках новой "недебаевской" многочастичной модели в предположении матричного характера исследуемых образцов определен усредненный потенциальный барьер.

Третья глава посвящена исследованию фотоэлектрических характеристик высокоомного ZnSe с фоновыми примесями. Описана базовая экспериментальная установка. Изучено влияние низкотемпературного отжига на фотоэлектрические свойства селенида цинка.

Исследованы спектры и кинетика фототока ZnSe в условиях возбуждения примесно-дефектных состояний в запрещенной зоне. Показано, что величина всплески на кривой релаксации фототока после предварительного оптического возбуждения зависит от приложенного к образцу напряжения. В рамках предложенной двухуровневой модели, объясняющей явление "спектральной памяти" фотопроводимости оценены характерные времена рекомбинации при условии неравновесного состояния уровней в запрещенной зоне селенида цинка. Из спектральной зависимости $I/\tau = f(\lambda)$ найдены два уровня с энергиями $E_a = 1,14$ и $1,06$ эВ, которые являются эффективными каналами рекомбинации.

Разработаны три методики определения положения локальных энергетических уровней в запрещенной зоне полупроводника при условии его предварительного оптического возбуждения, в результате которого создается неравновесное состояние, заключающееся в перезарядке локальных уровней. В результате этого наблюдается всплеск на кривых релаксации фототока, отражающий неравновесное зарядовое состояние на локальных уровнях. Критерием этого состояния является добавочная концентрация фотоносителей, которая пропорциональна разности площадей под обычной и всплесочной кривых релаксации фототока ΔS . Измерения спектральных зависимостей ΔS от длины волны предварительного освещения при фиксированных длинах волны регистрации всплески фототока и спектральных зависимостей ΔS от длины волны регистрации при фиксиро-

ванных длинах волн возбуждения дает информацию о положении локальных уровней в запрещенной зоне. Данным способом были исследованы кристаллы $ZnSe$ с фоновыми примесями и обнаружены локальные уровни в запрещенной зоне, лежащие ниже дна зоны проводимости на расстояниях 2,61; 2,53; 2,46; 2,41; 2,36; 2,30; 2,19 и 2,10 эВ. Обычные спектральные зависимости фототока не выявили положение этих локальных уровней.

Следующая методика заключается в снятии спектральных зависимостей релаксации "сечения фотоионизации" центра в неравновесном состоянии. Описана экспериментальная установка. Показаны кинетики релаксации интенсивности и обратной интенсивности света в условиях постоянства фототока после предварительного оптического возбуждения. Релаксация обратной интенсивности имеет форму "всплеска", величина которого регистрируется на спектральных зависимостях, используемых для определения положения локальных уровней в запрещенной зоне.

В третьем предлагаемом способе в качестве измеряемой величины используется "всплеск" на кривой релаксации фотоемкости после предварительного возбуждения. В общем случае изменение фотоемкости может быть обусловлено комплексом явлений, среди которых для рассматриваемого случая полупроводника с широким набором локальных энергетических уровней в запрещенной зоне существенным является изменение числа бестоковых поляризующих центров, связанных с локализованными носителями. В связи с этим измерение спектральных зависимостей "всплеска" фотоемкости является независимым эффективным методом определения положения локальных энергетических уровней. Были сняты спектральные зависимости "всплеска" фотоемкости $ZnSe$ и проведен сравнительный анализ со спектральной зависимостью "всплеска" фототока. Фотоемкостный метод обладал большой информативностью.

На высокоомных образцах $ZnSe$ с фоновыми примесями обнаружена поляризационная зависимость фототока, связанная, по-видимому, с анизотропией функции генерации фотоэлектронов.

В четвертой главе исследована излучательная рекомбинация в кристаллах $ZnSe$ при лазерном возбуждении. Анализ спектров фотолюминесценции селенида цинка в диапазоне энергий 1,6 – 2,9 эВ показал, что в кристаллах с различными наборами фоновых примесей наблюдаются полосы с максимумами при 2,786; 2,69; 2,38 эВ при температуре $T = 4,2$ К и 2,796; 2,707; 2,03 эВ при $T = 83$ К. При исследовании задержанных во времени спектров фотолюминесценции в контуре полосы 2,03 эВ выделено две полосы с максимумами при 2,14 и 1,94 эВ. Обнаруженные полосы, связанные с фоновыми примесями, как правило, входят в ассоциативные комплексы с участием собственных дефектов.

Установлено, что термообработка кристаллов селенида цинка в расплаве висмута, как и отжиг в расплаве цинка приводит к экстракции примесей и залечиванию собственных дефектов. Отжиг в жидком висмуте приводит к выделению полосы внутрицентрального излучения марганца с максимумом при 2,14 эВ из широкой линии с максимумом около 2,03 эВ при уменьшении интенсивности линии 1,94 эВ.

Показано, что полоса излучения с максимумом при 1,94 эВ, по-видимому, обусловлена внутрицентровыми переходами и связана с присутствием в кристаллах $ZnSe$ изовалентной примеси теллура, входящего в сложный комплекс $[V_{Zn}^{--}Te^{\circ}Zn_i^{+}]^{-}$ или $[V_{Zn}^{--}Te^{\circ}Al_{Zn}^{+}]^{-}$ с учетом присутствия в кристаллах алюминия.

Обнаружено неоднородное распределение примесей по объему кристалла, проявляющееся в зависимости спектра излучения от места возбуждения фотолюминесценции. Выявлено наличие оксидных фаз ZnO , неоднородно распределенных по кристаллу.

В пятой главе рассмотрены спектры ЭПР и ИК-поглощения кристаллов $ZnSe$ с фоновыми примесями и прошедших термообработки в расплавах цинка и висмута.

Обнаружено, что в зависимости от набора фоновых примесей в исходных кристаллах наблюдались следующие парамагнитные центры: ионы Mn^{2+} и F-центры; ионы Mn^{2+} , Fe^{3+} и дефект с $g = 1,925$; и фосфор.

Наличие в исходных кристаллах хорошо наблюдаемых парамагнитных центров Mn^{2+} позволило сопоставить результаты отжига в жидких цинке и висмуте по влиянию на спектры ЭПР. Отжиг в жидком висмуте приводит к улучшению структуры кристаллического поля, что приводит к сужению линий в спектре ЭПР Mn^{2+} , более четкому наблюдению тонкого и сверхтонкого взаимодействия Mn^{2+} и уменьшению числа F -центров в кристалле. Отжиг в расплаве цинка приводит к увеличению концентрации F -центров.

Исходя из исследования спектров ЭПР с применением оптического возбуждения, установлено, что ответственным за появление всплеска на релаксационных кривых фототока высокоомного с фоновыми примесями $ZnSe$ является примесь железа, находящаяся в двух зарядовых состояниях Fe^{2+} и Fe^{3+} , переходящих друг в друга при освещении образцов светом из различных областей спектра. При оптическом возбуждении из области собственного поглощения увеличивается число ионов и проявляется примесь фосфора. Фоточувствительными являются также F -центры и дефект с $g = 1,925$. Полученные данные свидетельствуют о сложном характере взаимодействия примесно-дефектной системы в $ZnSe$ при воздействии оптического возбуждения.

Так же исследовалось влияние облучения рентгеновскими лучами на различные парамагнитные центры. Все фоточувствительные центры в исследуемых кристаллах $ZnSe$ (Fe^{3+} , F -центры, фосфор и дефект с $g = 1,925$) проявляли чувствительность к воздействию рентгеновских лучей. Кроме того установлено, что под воздействием рентгеновского облучения уменьшается число ионов Mn^{2+} .

В заключении обобщаются данные, полученные различными методиками и делаются выводы по результатам работы.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

I. Впервые показано, что кривые релаксации фототока и фотоемкости со всплеском в условиях предварительного возбуждения примесно-дефектных состояний в высокоомном $ZnSe$, . . . , связаны с присутствием в качестве фоновой примеси железа,

неоднородно распределенного по объему кристалла.

2. Предложены три новых способа исследования спектра примесно-дефектных состояний в запрещенной зоне полупроводника, основанные на измерении спектральных зависимостей фототока, фотоемкости и "сечения фотоионизации" после предварительного оптического возбуждения.

3. В рамках предложенной двухуровневой модели впервые были оценены характерные времена рекомбинации в селениде цинка после предварительного оптического возбуждения примесных состояний. Из спектральных зависимостей этих времен выявлены два центра эффективной рекомбинации с энергиями активации 1,14 и 1,06 эВ.

4. В разного типа высокоомных монокристаллах $ZnSe$ обнаружены следующие фоновые примеси: Al , Cr , Mn , Fe , In , O и Te . Методом ВИС выявлены Al , Cr , Mn , Fe , In и Te . В спектрах ЭПР проявились Mn^{2+} и Fe^{3+} , в спектрах излучения — комплексы с участием Al и Te : $[V_{Zn}^{--}Te^{\circ}Zn_i^{+}]^{-}$ или $[V_{Zn}^{--}Te^{\circ}Al_{Zn}^{+}]^{-}$. Методом ЭОС из спектров фотолюминесценции выявлен кислород. Уровень с энергией $E_{Vi} = 1,05$ эВ связывается с центром безызлучательной рекомбинации Fe^{3+} .

5. Установлено, что термообработка селенида цинка в расплаве цинка приводит к увеличению числа F -центров.

6. Обнаружено, что отжиг кристаллов $ZnSe$ с фоновыми примесями в расплаве висмута приводит к упорядочению кристаллической структуры. Это проявляется в сужении и уменьшении числа линий в спектрах фотолюминесценции, в более четком выявлении тонкого и сверхтонкого взаимодействия ионов Mn^{2+} в спектрах ЭПР с одновременным сужением линий, а также в уменьшении числа вакансий селена в виде F -центров.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Влияние низкотемпературного отжига на фотоэлектрические свойства кристаллов селенида цинка / В.А.Коротков, Л.В.Маликова, А.В.Симашкевич, Л.Е.Ковалев// Изв. АН МССР. Сер. физ.-техн. и мат. наук. - 1983. - №3. - С. 69-71.

2. Кинетика нестационарной фотопроводимости в высокоомных полупроводниках/О.С.Горя, Л.Е.Ковалев, В.А.Коротков, Л.В.Маликова, А.В.Симашкевич// XI Всесоюзная конференция по физике полупроводников. - Кишинев, 1989.-Т.3.- С. 15-16.

3. Способ определения ширины запрещенной зоны и положения локальных энергетических уровней в запрещенной зоне полупроводников / В.А.Коротков, Л.В.Маликова, А.В.Симашкевич, О.С.Горя, Л.Е.Ковалев, С.М.Попов // Полож. реш. №4438996/25 от 30.06.89. ДСП.

4. Способ определения положения локальных энергетических уровней в запрещенной зоне полупроводника / В.А.Коротков, Л.Е.Ковалев, Л.В.Маликова, А.В.Симашкевич // Полож. реш. № 4604171/25 от 24.08.89. ДСП.

5.Способ определения ширины запрещенной зоны и положения локальных энергетических уровней в запрещенной зоне полупроводника / В.А.Коротков, Л.В.Маликова, А.В.Симашкевич, Л.Е.Ковалев // Полож. реш. № 4685447/25 от 20.11.89. ДСП.

6. Вспышечная релаксация фототока в монокристаллах селенида цинка/О.С.Горя, Л.Е.Ковалев, В.А.Коротков, Л.В.Маликова, А.В.Симашкевич// Бесоюзная конференция "Фотоэлектрические явления в полупроводниках".-Ташкент, 1989.-С. 23-24.

7. Исследование фотолуминесценции монокристаллов широкозонных $A^{2}B^{6}$ методом разрешенных во времени спектров/В.А.Будяну, Л.Е.Ковалев, В.А.Коротков, Л.В.Маликова, С.М.Попов, К.Д.Сушкевич// VI Всесоюзное совещание "Физика, химия и технология люминофоров".-Ставрополь, 1989.-С.

8. Спектральная память фотопроводимости высокоомного $ZnSe$ /О.С.Горя, Л.Е.Ковалев, В.А.Коротков, Л.В.Маликова, А.В.Симашкевич// ФТП.-1989.-Т.23,-В.11.-С. 2090-2093.

9. Ковалев Л.Е., Попов С.М. Спектры и кинетика фотолуминесценции монокристаллов селенида цинка// П Республиканская конференция молодых исследователей "Молодежь и современная наука".-Кишинев, 1989.- С.

10. Разрешенные во времени спектры фотолуминесценции монокристаллов селенида и сульфида цинка /О.С.Горя, Л.Е.Ковалев, В.А.Коротков, Л.Л.Кулюк, Л.В.Маликова, С.М.Попов // Электронные процессы в кристаллах и тонких слоях. - Кишинев: Штиинца, 1990.- С. 59-62.

II. Исследование возбужденных состояний в селениде цинка
методом ЭПР / О.С.Горя, В.Н.Вфимов, Л.Е.Ковалев, В.А.Коротков,
К.Д.Сушкевич // XII Всесоюзная конференция по физике полупро-
водников. - Киев, 1990.-Ч.І.-С. 247-248.

Л.Е.Ковалев

КОВАЛЕВ Леонид Евгеньевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОНОВЫХ ПРИМЕСНО-ДЕФЕКТНЫХ
СОСТОЯНИЙ В СЕЛЕНИДЕ ЦИНКА

Специальность 01.04.10 - физика полупроводников и
диэлектриков

(а в т о р е ф е р а т)

Подписано в печать 21.11.90. Формат 60x84 1/16. Ротапринт,
Печ.л.І,О. Уч.-изд.л.О,8. Заказ І7 ДСП. Тираж 100. Бесплатно.

Молдавский государственный университет.
277014. Кишинев-І4, ул.Садовая, 60.

Отдел оперативной полиграфии Молдавского госуниверситета.
277014. Кишинев-І4, ул.М.Когалничану, 65-а.