

На правах рукописи

МЕТАНЕТ АХМЕД кызы МЕХРАБОВА

**ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА, ЭНЕРГИЯ
ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ ХАЛЬКОГЕНИДОВ А^{II-IV}В^{VI} И
ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИХ
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

2225.01. – Радиационное материаловедение

2220.01 – Физика полупроводников

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
доктора физических наук

Баку - 2018

Диссертация выполнена в Институте Радиационных Проблем и
Институте Физики им. Г.М.Абдуллаева НАНА

Научные консультанты:

д.ф.м.н., проф. Идаят Рагим оглы Нуриев
д.ф.м.н., проф. Гусеин Сурхай оглы Оруджев

Официальные оппоненты:

д.ф.м.н., проф. Бахшали Имамкулу оглы Кулиев
д.ф.м.н., проф. Керим Рагим оглы Аллахвердиев
д.ф.м.н., проф. Рауф Мадат оглы Сардарлы

Ведущая организация: Бакинский Государственный Университет,
кафедра «Физика твердого тела»

Защита состоится «__» _____ 2018 г. в ____ часов на
заседании Диссертационного совета D.01.221 при Институте
Радиационных Проблем НАНА

Адрес: AZ-1143, г.Баку, ул.Б.Вагабзаде, 9
e-mail: director-irp@science.az

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
Радиационных Проблем НАНА

Автореферат разослан “__” “_____” 2018 года

Ученый секретарь
Диссертационного Совета
D.01.221, д.х.н., проф.

Теймур Нематулла оглы Агаев

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Халькогениды полупроводников II-IV группы успешно применяются в микроэлектронике, оптоэлектронике и спинтронике. На их основе были созданы ряд приборов, в том числе солнечные элементы, радиационные детекторы, ИК детекторы, фотоприемники, оптические изоляторы и т.д. Развитие науки и техники ставит большие требования в приборостроении на кристаллическую структуру и совершенство используемого материала, что связано с изменением их физических свойств в условиях внешних возмущений. Поэтому, в последние годы исследование электронной зонной структуры, электропроводности, чувствительности к внешним воздействиям, вопросы дефектообразования перешли на передний план.

Для решения этих задач теоретические расчеты являются перспективным методом исследования, так как в интерпретации экспериментальных результатов и в осуществлении полезных предсказаний теоретические расчеты являются самым эффективным методом в современной физике. В настоящее время для квантово-механических расчетов физико-химических свойств многоатомных систем "из первых принципов" (*ab initio*) удачно используется метод Теории Функционала Плотности (DFT- Density Functional Theory), который позволяет исследовать свойства полупроводников в широком диапазоне внешних возмущений. Преимущество данного метода в том, что без привлечения дополнительных эмпирических предположений, не используя экспериментальных данных, можно с большой точностью вычислять электронный и фононный спектры, плотность состояний, основные физические параметры, а также энергию дефектообразования, зная только состав и структуру кристалла. Эти расчеты позволяют добиться усовершенствования параметров полупроводников и получить совершенные кристаллы для приборостроения.

В последние десятилетия широко исследуются полумагнитные полупроводники (ПМП). Они содержат в себе свойства обычных и магнитных полупроводников. Наличие в составе этих полупроводников элементов с магнитными свойствами дает возможность создать на их основе структуры, управляемые внешним магнитным полем. ПМП вошли в историю обнаружением в них гигантского Фарадеевского вращения в слабых магнитных полях.

Особый интерес представляют ПМП халькогенидов II и IV группы, получаемые легированием ионами марганца (Mn). На основе массивных кристаллов ПМП $Cd_{1-x}Mn_xTe$ изготовлены детекторы ионизирующего излучения, которые по физическим параметрам превосходят всех своих аналогов, проводятся работы по созданию солнечных элементов на основе тонких пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$.

В последние годы низкоразмерные полупроводниковые структуры являются объектом исследований многих ученых и передовых научных центров мира. Этот интерес объясняется не только фундаментальным аспектом уникальных свойств, но и новым и широким спектром их прикладных возможностей. Развитие этих областей в свою очередь диктует науке постоянной и быстрой инновации, уменьшение размеров и улучшение параметров приборов. В этом смысле использование эпитаксиальных тонких пленок с высоким кристаллическим совершенством и с чистой, зеркальной поверхностью в выше перечисляемых областях считается важным фактором и представляет большое научно-практическое значение. Оптоэлектронные приборы, изготовленные на основе эпитаксиальных пленок отличаются улучшенными параметрами, по сравнению с массивными кристаллами, а также структуры на основе тонких пленок обходятся дешевле, быстрее и проще. По электрофизическим и оптическим параметрам эпитаксиальные пленки ПМП, полученные термическим вакуумным напылением не уступают, а в ряде случаев даже превосходят лучшие объемные монокристаллы. Требованием современной электроники является получение эпитаксиальных пленок с заданными свойствами, свободных от различного рода нежелательных поверхностных состояний, так как приборы создаются на однородно чистых, зеркально гладких поверхностях. С этой точки зрения эпитаксиальные пленки являются идеальным материалом для приборостроения. Такие образцы практически невозможно получить из объемных монокристаллов.

Важной задачей является изучение механизма дефектообразования эпитаксиальных пленок халькогенидов $A^{II-IV}B^{VI}$, определение влияния ионизирующего излучения на физические свойства, с целью изготовления различных приборов на их основе.

Получение радиационностойких и радиационночувствительных материалов со стабильными электрическими и оптическими характеристиками является одним из актуальных проблем современной физики. Это связано с развитием науки, ядерной

энергетики, полетами в космос, экологией, государственной безопасностью и т.д. При определенных условиях материалы подвергаясь сильнейшему воздействию ионизирующего излучения изменяют свои физические свойства за счет образования в них радиационных дефектов. Поэтому необходимо, чтобы приборы создавались на основе материалов, стойкими к ионизирующей радиации.

С другой стороны, радиационное излучение оказывает разрушающее воздействие на окружающую среду. Для выявления вредного воздействия радиационного излучения на окружающую среду, на человеческую жизнь, а также для защиты их от этого воздействия, необходимо определить уровень дозы облучения. Чтобы определить дозу облучения и нейтрализовать воздействие радиации на окружающую среду и живые организмы, необходимо выявить свойства радиационного излучения и для оценки его безопасности важно создать высокоэффективные дозиметры, регистрирующие ионизирующее излучения в широком энергетическом диапазоне.

В литературе имеются работы, посвященные изучению процессов радиационного дефектообразования (РД) в объемных кристаллах. Однако, нет однозначных моделей образования и эволюции РД в халькогенидах и их эпитаксиальных пленках, что затрудняет дальнейшее использование этих материалов в радиационной технологии. Кроме того, практически не проводились исследования процессов радиационного дефектообразования в эпитаксиальных пленках $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$. В связи с выше изложенными, исследование механизма образования и эволюции РД в указанных халькогенидах, а также их эпитаксиальных пленках, является актуальной задачей. При этом большое значение приобретает вопрос влияния состава материала на процессы РД и исследование влияния ионизирующего излучения на электрофизические, фотоэлектрические и оптические свойства эпитаксиальных пленок. С этой точки зрения предлагаемая работа представляет научно-практический интерес.

Целью диссертационной работы является расчет электронной структуры дефектных полупроводников $\text{A}^{\text{II-IV}}\text{B}^{\text{VI}}$, определение закономерностей механизма дефектообразования, выяснение влияния ионизирующего излучения на морфологию поверхности и физические свойства, выявление возможностей создания приборов различного назначения на их основе.

Для достижения поставленной цели проведены следующие работы:

- проведены теоретические расчеты электронной структуры идеальных и дефектных полупроводников $\text{Cd(Pb)}_x\text{Te}$ ($x=0.01\div 0.25$), GaS, GaSe, InSe,
- теоретически вычислены энергии дефектообразования и пороговые энергии для полупроводников $\text{Cd(Pb)}_x\text{Te}$, GaS, GaSe, InSe,
- методом Конденсации Молекулярных Пучков (КМП) в вакууме 10^{-4} Па выращены структурно совершенные эпитаксиальные пленки $\text{Cd(Pb)}_x\text{Te}$ с требуемым химическим составом ($x=0.01-0.1$), толщиной и электрофизическими параметрами,
- проведено комплексное исследование кристаллической структуры, морфологии поверхности, электрофизических, фотоэлектрических и оптических свойства эпитаксиальных пленок $\text{Cd(Pb)}_x\text{Te}$,
- исследованы влияние γ - и электронного излучения на электрофизические, фотоэлектрические и оптические свойства эпитаксиальных пленок $\text{Cd(Pb)}_x\text{Mn}_x\text{Te}$ в зависимости от концентрации атомов Mn и толщины пленки,
- выявлены прикладные возможности эпитаксиальных пленок халькогенидов $\text{A}^{\text{II,IV}}\text{B}^{\text{VI}}$ и структур на их основе.

Научная новизна.

1. Из первых принципов рассчитаны электронная структура дефектных ПМП $\text{Cd(Pb)}_x\text{Mn}_x\text{Te}$, ($x=0.01\div 0.25$). Определено, что наличие дефектов, типа вакансии, междоузельный атом, Френкеловская пара в кристаллической ячейке $\text{Cd(Pb)}_x\text{Mn}_x\text{Te}$ приводят к изменению ширины запрещенной зоны, образованию локальных уровней в запрещенной зоне, образованию дополнительных магнитных моментов, к смещению уровня Ферми и магнитных свойств.
2. Рассчитаны энергии дефектообразования в ПМП $\text{Cd(Pb)}_x\text{Mn}_x\text{Te}$ в различных зарядовых состояниях из первых принципов, а также полупроводников GaS, GaSe, InSe, определены пороговые энергии. Выявлено, что энергии дефектообразования и пороговая энергия у халькогенидов II и III группы больше, чем у халькогенидов IV группы.
3. Методами Связывающих Орбиталей (СО) и Линейной Комбинации Атомных Орбиталей (ЛКАО) вычислены энергетические уровни в

полупроводниках GaS, GaSe, InSe для вакансии аниона, катиона и анионного и катионного замещения. Определено, что анионная или катионная вакансия в полупроводниках приводят к образованию локальных уровней в запрещенной зоне и в валентной зоне. Установлено, что атомы с малым ионным радиусом и соответствующей координацией, замещаемые в дефектные полупроводники GaS, GaSe, InSe восстанавливают исходные свойства кристалла. Атомы с другой координацией и большим ионным радиусом создают дополнительные дефекты и локальные уровни.

4. Установлено, что при температуре подложки $T_n=300\text{K}$ выращенные тонкие пленки $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ на стеклянных подложках имеют поликристаллическую структуру в смеси с аморфной фазой, а на слюдяных подложках поликристаллическую. Увеличение T_n ($T_n \geq 470\text{K}$) приводит к получению поликристаллических пленок с кубической структурой на стеклянных подложках, а выше 570K начинается эпитаксиальный рост на всех подложках.
5. Показано, что облучение эпитаксиальных пленок $\text{Cd}(\text{Pb})_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ γ -квантами при дозах $D_\gamma < 25\text{кГр}$ или электронным потоком ($E=4.5\text{МэВ}$) $\Phi \leq 10^{15}\text{см}^{-2}$ приводит к уменьшению проводимости, которое связано с образованием локальных уровней в запрещенной зоне. С дальнейшим повышением дозы облучения электропроводность растет, происходит компенсация этих уровней.
6. Показано, что облучение γ -квантами ($E=1.17\text{МэВ}$, $E=1.33\text{МэВ}$) эпитаксиальных пленок $\text{Cd}(\text{Pb})_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ дозой $D_\gamma=25\text{кГр}$ приводит к значительным изменениям фотопроводимости.
7. Установлено, что увеличение количества Mn в эпитаксиальных пленках $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, а также облучение их γ -квантами при дозе $D_\gamma \leq 0.3\text{кГр}$, приводит к изменению коэффициента поглощения и смещению края спектра, что связано с изменением ширины запрещенной зоны. Подобные закономерности наблюдаются и в эпитаксиальных пленках $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, облученных электронным потоком $\Phi \leq 10^{16}\text{см}^{-2}$.
8. Установлены оптимальные условия получения эпитаксиальных пленок $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ с совершенной кристаллической структурой и гетеропереходов (ГП) $\text{CdTe}/\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ и $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}/\text{PbTe}_{1-y}\text{Se}_y$ методом КМП, в едином технологическом цикле, без нарушения вакуума. Изготовлены фотопреобразователи, фотодетекторы и детекторы ионизирующего излучения на их основе.

Практическая значимость. Полученные результаты на основе расчетов дает возможность определить оптимальные параметры халькогенидов $A^{II-IV}B^{VI}$ для эффективного применения их в различных областях приборостроения, таких как детекторы радиационного излучения, солнечные элементы, фотодетекторы нового поколения и т.д., а также при решении необходимых технических задач. В диссертационной работе из первых принципов рассчитаны энергии дефектообразования, которые определяют условия радиационной стойкости данных материалов, что были утверждены в экспериментальных работах диссертации.

Результаты диссертационной работы полезны для подготовки высококвалифицированных специалистов в области радиационного материаловедения, физики твердого тела, физики полупроводников.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Расчеты из первых принципов электронной структуры, плотности состояний, энергии дефектообразования $Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe$ ($0.01 \leq x \leq 0.25$) для различных зарядовых состояний в зависимости от энергии Ферми,
2. Расчеты зонной структуры GaS, GaSe, InSe методами CO и ЛКАО, определение энергий дефектообразования и пороговой энергии,
3. Режим синтеза и условия выращивания эпитаксиальных пленок твердых растворов $Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe$ ($0.01 \leq x \leq 0.1$).
4. Влияние концентрации Mn на электрофизические, оптические и фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок $Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe$ ($0.01 \leq x \leq 0.1$),
5. Влияние ионизирующего излучения на электрические, оптические и фотоэлектрических свойств эпитаксиальных пленок $Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe$ ($0.01 \leq x \leq 0.1$),
6. Оптимальный режим получения радиационноустойких и радиационночувствительных эпитаксиальных пленок $Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe$ ($0.01 \leq x \leq 0.1$),
7. Условия получение ГП на основе эпитаксиальных пленок $CdTe/Cd_{1-x}Mn_xTe$ и $Pb_{1-x}Mn_xTe/PbTe_{1-y}Se_y$ для изготовлении фотопреобразователей, фотодетекторов и детекторов ионизирующего излучения на их основе.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались на следующих конференциях: III Intern. conf. «Technical and physical problems in power engineering», TPE-2006 (Ankara, Turkey, 2006); IV Euroasian conf. “Nuclear science and its

application” (Baku, Azerbaijan, 2006); VI Intern. conf. “Nuclear and radiation physics”, (Kazakhstan, 2007); Респуб. науч. конф. посвященная 100 летию Гасана Алиева “Влияние производства нефти-газа на радиозэкологическое состояние Абшеронского полуострова» (Баку, Азербайджан, 2007); I Респуб. конф. «Современные проблемы физики» (Баку, Азербайджан, 2007); V Euroasian conf. «Nuclear science and its application» (Ankara, Turkey, 2008); “Nüvə enerjisinin gələcəyin enerji təminatənda rolu” Beynəlxalq konf. (Bakı, Azərbaycan, 2008); IV научно-практический семинар Центра Научных Инноваций НАНА «Применение новых информационных технологий к информационному обеспечению научно- исследовательских работ» (Баку, Азербайджан, 2009); 7-я Междунар. конф. “Ядерная и Радиационная физика” (Казakhstan, 2009); II Научно-теоретическая конф. «Кооперация: история и реальность» (Баку, Азербайджан, 2009); Intern. conf. “Structural analysis of advanced materials” (Tarbes, France 2009); «Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi perspektivləri» Beynəlxalq konf. (Bakı, Azərbaycan, 2009); «Polymer Networks Group» 20th conf., (Goslar, Germany, 2010); “Radiasiya və ətraf mühit” Respub. konf. (Bakı, Azərbaycan, 2010); «Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi perspektivləri» Beynəlxalq konf. (Bakı, Azərbaycan, 2010); WSEAS – Euroment - Euroasian Intern. Conf., Vouliagmeni (Athens, Greece, December 29-31, 2010); 4th Intern. conf. «Environmental and geological science and engineering» (Barcelona, Spain, September 15-17, 2011); 2nd Inter. conf. «Urban sustainability, cultural sustainability, green development, green structures and clean cars» (Prague, Czech Republic, September 26-28, 2011); Intern. conf. “Sensors and Signals” (Catania, Sicily, Italy November 3-5, 2011); 4th Intern. conf. “Perspectives of Peaceful Use of Nuclear Energy” (Baku, Azerbaijan, 2011); 10th WSEAS Intern. conf. “Circuits, Systems, Electronics, Control and Signal Processing” (Montreux, Switzerland, 29-31 December, 2011); 14th WSEAS Intern. conf. “Mathematical methods, computational techniques and intelligent systems” (Porto, Portugal, July 1-3, 2012); VI Eurasian conf. “Nuclear Science and its Application”, VIII Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies. (Samarkand, Uzbekistan, September 25-28, 2012); 5th Intern. conf. “Perspectives of Peaceful Use of Nuclear Energy” (Baku, Azerbaijan, 2012); 5th WSEAS Intern. conf. “Nanotechnology” (Cambridge, UK, February 20-22, 2013); 8th conf. “Radiation Research and its Practical Aspects” (Baku, Azerbaijan, 2013); Intern.conf. “Actual problems of Physics” (Baku, Azerbaijan, 2013);

plenary speaker, 8th Intern. conf. “Circuits, systems, signal and telecommunications” (Tenerife, Spain January 10-12, 2014); VII Eurasian conf. “Nuclear science and its application” (Baku, Azerbaijan, 21-24 October, 2014); Междун. научно-техн. конф ORION-2014, Москва, Россия, 2014); XXV Российская конф. по электронной микроскопии, Москва, Россия, 2-6 июнь 2014); VII Eurasian conf. on “Nuclear Science and Its Application” (Baku, 21-24 October, 2014); invited speaker, SPIE Conf. “Photonics, Devices and Systems VI” (Prague, Czech Republic, 2015); XIX Российский симпозиум “Растровая электронная микроскопия и аналитические методы исследования твердых тел” (Черноголовка, Россия, 1-4 июня 2015); XXIV Междун. научно-техн. конф. «Фотоэлектроника и приборы ночного видения» (Москва, Россия, 24-27 мая 2016); XXVI Российская конф. “Электронная микроскопия» (Москва, Россия, 30 мая - 3 июня 2016); “Metallar fizikasinin müasir problemləri” prof. Tahir Pənahovun 80 illik yubileyinə həsr edilmiş V Beynəlxalq elmi - praktik konf. (Bakı, Azərbaycan, 2016); I Российский кристаллографический конгресс (Москва, 21-26 ноября, 2016); IX Eurasian conf. “Nuclear Sciences and its applications” (Kazakhstan, 2017); Azərbaycan Demokratik Respublikasının 100 illiyinə həsr olunmuş Beynəlxalq elmi-texniki konf. (Sumqayıt, 2018); Междун. научно-техн. конф. и школа. “Фотоэлектроника и Приборы ночного видения” (Москва, НПО «Орион», 2018).

Публикации. По результатам проведенных исследований опубликовано 77 работ. Из них 27 статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК, а остальные – материалы и тезисы международных и республиканских конференций.

Достоверность результатов работы. При исследованиях использовались известные теоретические и экспериментальные методы, а достоверность полученных результатов проверялась сопоставлением с имеющимися литературными данными.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 385 страницах, 207 страниц компьютерного текста, состоит из введения, 5-ти глав и выводов. Список литературы содержит 295 наименований. Работа иллюстрирована 155 рисунками и содержит 38 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту. Кратко изложено основное содержание диссертации.

В первой главе диссертационной работы проведены расчеты из первых принципов электронной структуры (ЭС) идеальных и дефектных полупроводников CdTe и $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0.01-0.25$) методом DFT в приближении плотности локализованных спинов с учетом потенциала Hubbard-U (LSDA + U) на базе double zeta double polarized (DZDP) в программе Atomistix ToolKit (АТК). Определено что, при расчетах выбирая псевдопотенциал FN1 и обменно-корреляционный функционал PZ, на основе базиса DZDP, с помощью LSDA + U можно получить электронную структуру, а также значение ширину запрещенной зоны, соответствующие экспериментальным данным.

Была проведена релаксация и оптимизация атомной структуры, рассчитаны зонная структура электронов, плотность состояний (ПС), полная энергия, магнитные моменты (ММ), число электронов, определена уровень Ферми, а также вычислены энергии дефектообразования и пороговая энергия.

Для сравнительных анализов вначале расчёты были проведены для CdTe из 8 и 64 атомов. Из графиков ПС установили, что верхние уровни валентной зоны, которые расположены в области $[-5; 0]$ eV, в основном происходят из 5p-состояний атомов Te, а нижние уровни зоны проводимости, которые расположены в области $[5; 0]$ в основном происходят из 5s-состояний атомов Cd. Рассчитанное значение ширины запрещенной зоны составляла $E_g=1.53$ эВ в алгоритме FFT, $E_g=1,64$ эВ в алгоритме Multigrid. Полная энергия суперячейки Cd32Te32 составляла $E_{tot}=-68285.96$ эВ.

Были проведены расчеты для дефектных (вакансия, междоузельный атом, Френкеловская пара) суперячеек Cd32Te32. Установлено, что дефекты в полупроводниках приводят к образованию ММ, изменению ширина запрещенной зоны, образованию локальных уровней в запрещенной зоне, смещению уровня Ферми. Расчеты выполнены с точностью $0.001\mu_B$.

Рассчитаны ЭС, ПС, ММ, число валентных электронов для суперячейки Cd30Mn2Te32 и его дефектных состояний как в

ферромагнитной (ФМ), так и в антиферромагнитной (АФМ) фазе. Рассмотрели кристаллическую ячейку из 16×512 атома. Выявили, что ПС суперячейки $\text{Cd}_{30}\text{Mn}_2\text{Te}_{32}$ состоит из 3 частей в валентной зоне: 1) верхняя часть валентной зоны в основном формируется от p -орбиталей атомов Te с некоторым вкладом s -орбиталей атомов Cd, 2) средняя часть образовалась от d -орбиталей атомов Mn и s -орбиталей атомов Cd, которые расположены ниже максимума валентной зоны на 7эВ, 3) основной пик при 10эВ ниже максимума валентно зоны образовался в основном от s -орбиталей атомов Te. Нижняя часть – дно зоны проводимости формируется от s -орбиталей атомов Cd и p -орбиталей атомов Te. Пик на ~ 2 эВ выше минимума зоны проводимости, образуется в основном из d -орбиталей атомов Mn.

Были рассчитаны ширина запрещенной зоны для $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, которые составляют для $x=0.042$ - $E_g=1.58$ эВ в ФМ фазе и $E_g=1.61$ эВ в АФМ фазе, для $x=0.063$ - $E_g=1.62$ эВ в ФМ фазе и $E_g=1.73$ эВ в АФМ фазе, для $x=0.25$ - $E_g=1.86$ эВ в ФМ фазе и $E_g=1.92$ эВ в АФМ фазе (рис.1), что совпадают с нашими экспериментальными данными. Определено что, с увеличением количества Mn ширина запрещенной зоны линейно растет, но происходит незначительное уменьшение параметра решётки. Наличие атомов Mn в составе $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, приводит к образованию ММ, который равен $\mu=5.113\mu_B$. Сравнение полных энергий для ФМ и АФМ показывает, что АФМ фаза является более стабильным. Общая сумма электронов составляла 556.

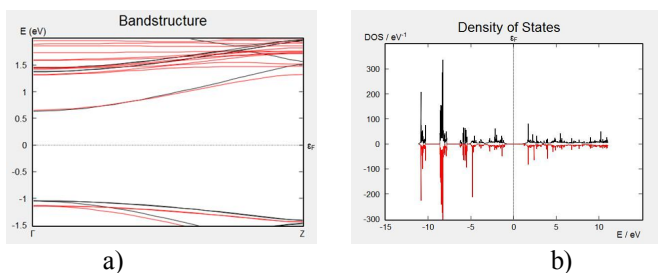


Рис.1 $\text{Cd}_{30}\text{Mn}_2\text{Te}_{32}$, в ФМ фазе, $E_g=1.62$ эВ а)ЭС, с) ПС

Из первых принципов рассчитана электронная структура дефектных суперячеек $\text{Cd}_{30}\text{Mn}_2\text{Te}_{32}$ (рис.2). Выявлено, что вакансия атома Cd V_{Cd} образует три локальные уровни, а вакансия атома Te V_{Te} один локальный уровень в запрещенной зоне. Помимо двух атомов

Mn, вакансии Te (Cd) образуют ММ. Сравнение полных энергий в ФМ и АФМ фазах показывает, что ФМ фаза является более стабильной. Уровень Ферми при вакансии Cd в обеих магнитных фазах, а при вакансии Te в ФМ фазе перемещается к валентной зоне.

Междоузельный атом Cd I_{Cd} в суперячейке Cd30Mn2Te32 приводит к образованию одного локального уровня в запрещенной зоне, а междоузельный атом Te I_{Te} двух локальных уровня в ФМ фазе. Ширина запрещенной зоны при I_{Cd} увеличивается в АФМ фазе. При I_{Cd} уровень Ферми в ФМ фазе перемещается к зоне проводимости. Основной вклад в ММ помимо двух атома Mn дает I_{Cd} и I_{Te} в ФМ фазе. Для I_{Cd} ФМ, а для I_{Te} АФМ фаза является более стабильной.

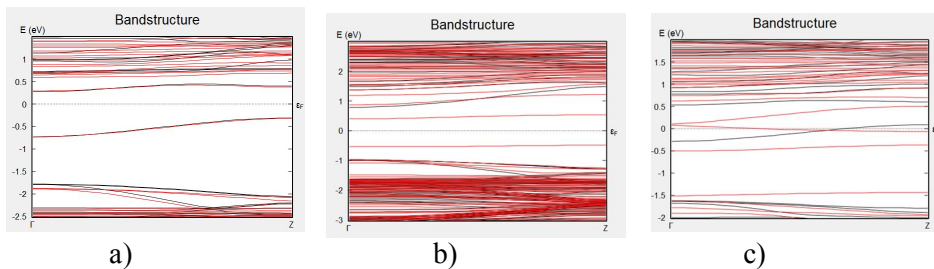


Рис.2 Электронная структура Cd30Mn2Te32 в ФМ фазе
а) V_{Te} , б) I_{Te} в) FP_{Te}

Френкеловская пара FP_{Te} в суперячейке Cd30Mn2Te32 приводит к образованию в запрещенной зоне четырех локальных уровня в АФМ фазе и трех локальных уровня в ФМ фазе, а FP_{Cd} одного локального уровня в АФМ фазе и двух локальных уровня в ФМ фазе. Ширина запрещенной зоны увеличивается. Основной вклад в ММ дает два атома Mn и FP_{Te} в ФМ фазе. АФМ фаза является более стабильной при наличии FP_{Cd} .

В диссертационной работе вычислены энергии дефектообразования (ЭДО), для суперячеек $Cd_{1-x}Mn_xTe$ из 16–512 атомов. ЭДО был определен для различных зарядовых состояний. Точность результатов контролировалась путем экстраполяции для различных суперячеек для различных зарядовых состояний, и по схеме Makov-Payne (рис.3).

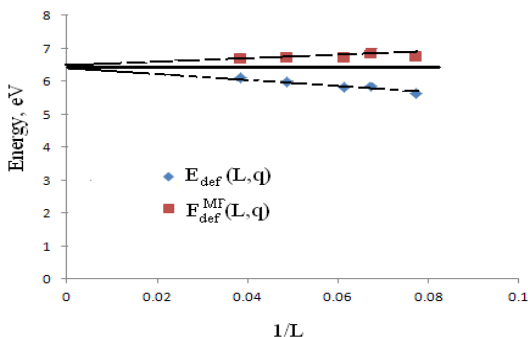


Рис.3 $E_d(L, q)$ для V_{Te} для суперячеек из 32, 64, 96, 128, 256 и 512 атомов (синие ромбики) и рассчитанные энергии по схеме Makov-Payne $E_d^{\text{MP}}(L, q)$ (красные квадратики) для зарядового состояния $q=2$

Определены пороговые энергии дефектообразования. Для V_{Te} ЭДО составлял $E_d=6.4\text{эВ}$, а пороговая энергия $E_f=467\text{кэВ}$.

Таким образом, выявлено, что дефекты в $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ приводит к увеличению ширины запрещенной зоны, образованию глубоких уровней в запрещенной зоне и магнитных моментов около дефектов, перемещению уровня Ферми к валентной зоне или к зоне проводимости, переходу от ФМ к АФМ фазе и обратно.

Во второй главе были проведены расчеты из первых принципов электронной структуры идеальных и дефектных суперячеек PbTe и $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.01-0.25$) при комнатной температуре в рамках DFT в приближении LSDA на базисе DZDP в программе ATK. Была проведена оптимизация кристаллической структуры и релаксация атомов, рассчитаны ЭС, ПС, полная энергия, ММ, число электронов, определена уровень Ферми, а также вычислены ЭДО и пороговые энергии.

Расчеты ЭС и ПС для $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.06$) проводились для АФМ и ФМ фаз на $2 \times 2 \times 2$ гриде k - точек в зоне Бриллюэна включая Γ точку. Ширина запрещенной зоны для $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.06$) составляло $E_g=0.428\text{эВ}$, а полная энергия $E_{\text{tot}}=-38799.7\text{эВ}$ в ФМ фазе и $E_g=0.527\text{эВ}$, $E_{\text{tot}}=-38799.7\text{эВ}$ в АФМ фазе (рис.4).

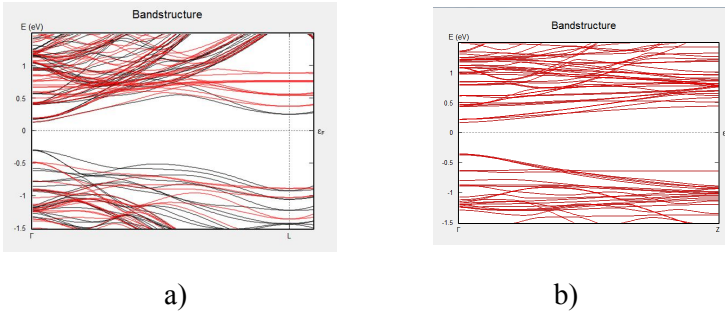


Рис.4 Электронная структура $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, $x=0.06$
 а) ФМ фаза, б) АФМ фаза

Из анализа парциальных плотностей электронных состояний (PDOS) выявили, что нижняя часть – дно зоны проводимости в основном образуется $6p$ -орбиталью Pb и $3d$ -орбиталью Mn, а максимум – верхняя часть валентной зоны – $5p$ -орбиталью Te и $3d$ -орбиталью Mn с некоторым вкладом $6p$ -орбиталей Pb. Помимо этого, верхняя часть зоны проводимости, которая находится на ~ 5 эВ выше минимума зоны проводимости, образуется в основном из $4s$ - и $5p$ -орбиталей атомов Mn и $5p$ -орбиталей Te. Нижняя часть валентной зоны, которая составляет ~ 7 эВ ниже максимума валентной зоны образовался в основном от $6s$ -орбиталей атомов Pb. Экстремумы зон расположены в одной и той же точке k -пространства, в точке Γ зоны Бриллюэна. Они вырождены только по спину и почти зеркально отображают друг друга. Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными.

Проводились расчеты для суперячеек $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ из 16-512 атомов, определены ширины запрещенной зоны, полные энергии в ФМ и АФМ фазах, ММ, уровень Ферми. Установлено, что с уменьшением концентрации Mn в составе $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ происходит уменьшение ширины запрещенной зоны и незначительное увеличение параметров решетки, что утверждается нашими экспериментальными результатами и литературными данными.

Рассчитаны ЭС дефектных суперячеек $\text{Pb}_{30}\text{Mn}_2\text{Te}_{32}$. В случае вакансии атома Pb V_{Pb} в суперячейке $\text{Pb}_{30}\text{Mn}_2\text{Te}_{32}$ в АФМ фазе ширина запрещенной зоны не меняется, вакансия атома Te V_{Te} в АФМ

фазе приводит к увеличению ширины запрещенной зоны. Локальные уровни в запрещенной зоне не образуются.

С внедрением междоузельного атома Pb I_{Pb} в Pb₃₀Mn₂Te₃₂ в АФМ фазе образуются две локальные уровни, а при междоузельном атоме Te I_{Te} один локальный уровень в запрещенной зоне. Ширина запрещенной зоны увеличивается.

В случае Френкеловской пары FP_{Te} в АФМ Pb₃₀Mn₂Te₃₂ в запрещенной зоне не появляются локальные уровни, а в случае FP_{Pb} в АФМ фазе в запрещенной зоне образуются две локальные уровни. Ширина запрещенной зоны увеличивается.

Рассчитаны ЭДО и пороговая энергия Pb_{1-x}Mn_xTe из первых принципов. Для Френкеловской пары ЭДО составила $E_{\bar{d}} = 2.81$ эВ, а пороговая энергия $E_i = 146$ кэВ.

По полученным результатам можно прийти к выводу, что дефекты в Pb_{1-x}Mn_xTe приводят к увеличению ширины запрещенной зоны, образованию локальных уровней в запрещенной зоне, перемещению уровня Ферми.

В третьей главе определена ЭС дефектных и примесных полупроводников халькогенидов III группы. Расчеты для анионной и катионной вакансии и примесей проводились на основе теории Функции Грина, методами СО и ЛКАО. Рассчитаны энергетические уровни дефектов (вакансий) и их компенсированных состояний, образованных в запрещенной и валентной зоне. Установлен механизм дефектообразования и восстановления исходных свойств дефектных полупроводников. Определено, что при компенсации вакансий атомом элемента той же подгруппы, с соответствующей координацией, ионный радиус которого меньше ионного радиуса замещенного атома, локальные уровни, образованные вакансией полностью исчезают. Таким образом, атомы с малым ионным радиусом и соответствующей координацией, замещаемые в дефектные полупроводники восстанавливают исходное состояние кристалла. Атомы с другой координацией и большим ионным радиусом создают дополнительные дефекты и локальные уровни.

Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными и разработанная методика позволяет варьировать основные физические свойства слоистых полупроводников путем легирования (радиационного, термического и т.д.), заранее выбирая примесный атом. В работе предлагается модель определения энергии смещения, пороговой энергии и концентрации

радиационных дефектов. Выявлено, что ЭДО и пороговая энергия у халькогенидов II и III группы больше, чем у халькогенидов IV группы.

Изучен процесс накопления носителей заряда в структурах металл – InSe (GaSe, GaS), определены оптимальные значения, толщины образца, напряженности электрического поля, приложенного к контактам и энергии фотонов падающего света, при которых можно обеспечить эффективную работу структуры.

В четвертой главе исследованы влияние γ -излучения на электрофизические, оптические и фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0.01-0.1$) в зависимости от толщины образцов, концентрации Mn и дозы γ -облучения.

Для выращивания эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,01\div 0,1$) использовались синтезированные образцы их твердых растворов соответствующих составов. Кристаллическая структура синтезированных твердых растворов изучалась рентгенодифрактометрическим методом на рентгеновской установке Bruker XRD D8 Advance. Исследования показали, что данные твердые растворы кристаллизуются на решётке цинковой обманки CdTe (кубический, сфалерит) параметр которых меняется в пределах $a=6,481\div 6,467\text{\AA}$ в зависимости от состава. Кристаллическое совершенство синтезированных твердых растворов $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0.01\div 0.1$) были исследованы ЭПР методом. при комнатной температуре в ЭПР спектрометре фирмы “Bruker” EMX/lus. Полученные спектры указывает на то, что ионы Mn^{2+} однородно внедрились в матрицу соединения.

Эпитаксиальные пленки $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0.01\div 0.1$) были получены на стеклянной и слюдяной подложках методом КМП с паромасляной откачкой и азотной ловушкой с рабочим давлением остаточных газов $(1\div 2)10^{-4}\text{Па}$. Применением дополнительного источника паров Te в процессе роста и регулированием температуры определены оптимальные условия получения эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0.01\div 0.1$) с совершенной структурой и чистой, гладкой поверхностью, без включения второй фазы.

Кристаллическая структура пленок исследовалась методами электронографии, рентгенодифрактометрии, а морфология поверхности электронной микроскопии. Установлено, что на стеклянных и слюдяных подложках эпитаксиальные пленки

$Cd_{1-x}Mn_xTe$ растут плоскостью (111) кубической гранецентрированной решетки.

Определено, что при температуре подложки $T_n=300K$ полученные пленки $Cd_{1-x}Mn_xTe$ на стеклянных подложках имеют поликристаллическую структуру в смеси с аморфной фазой, а на слюдяных подложках поликристаллическую. Увеличение T_n ($T_n \geq 470K$) приводит к получению поликристаллических пленок с кубической структурой на стеклянных подложках, выше 570K начинается эпитаксиальный рост на обеих подложках.

Исследовалась влияние γ -излучения ($E=1.17MэВ$, $E=1.33MэВ$) на кристаллическую структуру эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$. Исследования показали, что влияние облучения проявляет себя на дифрактограммах, полученных от этих пленок после облучения. При облучении дозой $D_\gamma < 200Гр$, происходит изменение в рентгендифрактометрических спектрах, интенсивность рефлексов меняются, появляются новые отражения со слабой интенсивностью в определенных кристаллографических направлениях.

Исследовано влияние γ -излучения на электрофизические, фотоэлектрические и оптические свойства эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0.01 \div 0.1$) на слюдяных и стеклянных подложках. Исследовались ВАХ исходных и облученных γ -квантами образцов эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$, толщиной $d=1-22\mu m$ на слюдяной и стеклянной подложках при $T_n=300 K$.

В исходных образцах $Cd_{1-x}Mn_xTe$ в ВАХ наблюдается сначала омический участок $J \sim U$, затем квадратичный $J \sim U^2$ и дальше

кубический $I \sim U^3$. При облучения образцов γ -квантами дозой до

$D_\gamma < 400Гр$, происходит параллельный сдвиг кривой в сторону уменьшения тока во всей исследованной области напряжения. Характер зависимости не меняется, наблюдается омическая и квадратичная ловушечная область. Наблюдаемый характер показывает, что при облучении пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ малыми дозами в запрещенной зоне образуется ряд глубоких уровней, которые принимают часть электронов, что приводит к уменьшению проводимости. При дозе облучения $D_\gamma=400Гр$, проводимость растет, омический участок ВАХ удлиняется, уменьшается квадратичный

участок, за ним наблюдается быстрый рост, появляется безловушечный квадратичный участок. Дальнейшее облучение дозой $D_\gamma \leq 1.5 \text{ кГр}$, приводит к резкому уменьшению проводимости. При дозах облучения $D_\gamma = 25 \text{ кГр}$ снова растет проводимость (рис.5).

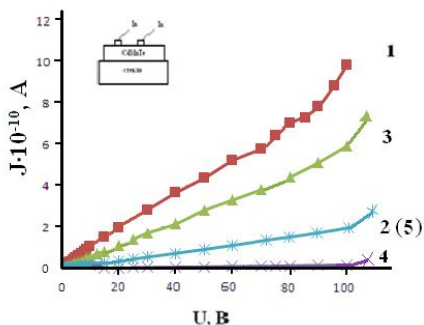
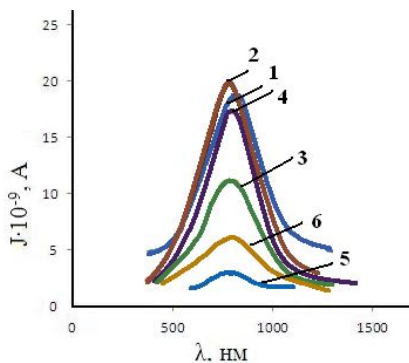


Рис.5 ВАХ эпитаксиальных пленок $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.07$), $d=15 \text{ мкм}$ на стеклянных подложках 1) $D_\gamma=0$, 2) $D_\gamma=100 \text{ Гр}$, 3) $D_\gamma=400 \text{ Гр}$, 4) $D_\gamma=1.5 \text{ кГр}$, 5) $D_\gamma=25 \text{ кГр}$

Исследовано влияние γ -излучения на ФП эпитаксиальных пленок $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.05$, $x=0.07$) с толщиной $d=1 \text{ мкм}$ и $d=15 \text{ мкм}$, на слюдяных и стеклянных подложках при $T=300 \text{ К}$. В исходных образцах в спектре ФП эпитаксиальных пленок $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ имеется широкая полоса, спектральный диапазон охватывает область длин волн $\lambda=400 \text{ нм}-1400 \text{ нм}$. Максимуму ФП соответствует $\lambda=780 \text{ нм}$ для $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, $x=0.05$, и $\lambda=768 \text{ нм}$ для $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, $x=0.07$. С увеличением толщины пленки ФП увеличивается.

Облучение эпитаксиальных пленок $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ при малых дозах $D_\gamma=100 \text{ Гр}$ приводит к увеличению ФП, а также к незначительному смещению максимума ФП (рис.6). Такое поведение связано с увеличением концентрации медленных центров рекомбинации (г-центры), в состав которых входят дефекты типа вакансии Te , и влиянием мелких уровней прилипания на время жизни неравновесных дырок. Электроны захваченные быстрыми центрами рекомбинации (s-центры), переходят на г-центры и увеличивают время жизни дырок что приводит к возрастанию фототока.

Дальнейшее увеличение дозы облучения γ -квантами до $D_\gamma < 25 \text{ кГр}$ привело к уменьшению фоточувствительности тонких пленок. Уменьшение фоточувствительности при более высоких дозах указывает на возникновение большого количества центров рекомбинации в запрещенной зоне с большим сечением захвата для носителей тока. Такое изменение фоточувствительности после облучения γ -квантами связано в основном с перестройкой дефектных запрещенной изменением дырочного центров



основном с собственных уровней в зоне и степени заполнения

чувствительности. При облучении дозой $D_\gamma = 25 \text{ кГр}$ происходит увеличение ФП. Значительное изменение фотопроводимости эпитаксиальных пленок $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ при комнатной температуре после облучение ионизирующим излучением, дает возможность создать на их основе детекторов ионизирующего излучения.

Рис.6 ФП эпитаксиальных пленок $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.07$, $d=15 \text{ мкм}$) на стеклянных подложках при $U=4 \text{ В}$, $J=1.7 \cdot 10^{-9} \text{ А}$, $T_n=653 \text{ К}$, $T_u=1173 \text{ К}$
 1) $D_\gamma=0$, 2) $D_\gamma=100 \text{ Гр}$, 3) $D_\gamma=200 \text{ Гр}$, 4) $D_\gamma=300 \text{ Гр}$, 5) $D_\gamma=2.5 \text{ кГр}$,
 6) $D_\gamma=25 \text{ кГр}$

Исследовано также влияние γ -излучения на спектры поглощения и пропускания эпитаксиальных пленок $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ состава $x=0.01\div 0.1$, на стеклянных и слюдяных подложках, толщиной пленки $d=1\div 22\text{мкм}$. Спектры регистрировались на спектрофотометре UV-Visible SPECORD 210 PLUS в области длин волн $\lambda=190\text{--}1100\text{нм}$. Установлено, что эпитаксиальные пленки $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, $x=0.07$ толщиной пленки $d=15\text{мкм}$ поглощают свет до длины волны $\lambda=765\text{нм}$, после чего происходит резкий спад оптического спектра поглощения. При $\lambda>765\text{нм}$ поглощение начинает плавно падать. Дальше материал становится прозрачным. Из оптических спектров поглощения были определены ширины запрещенной зоны эпитаксиальных пленок $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, которые соответствовали нашим теоретическим расчетам. Определено, что увеличение толщины пленки приводит к увеличению коэффициента поглощения. Влияние γ -излучения на оптические свойства пленок CdMnTe показали, что край собственного поглощения меняется, происходит изменение ширины запрещенной зоны, коэффициента поглощения, и коэффициент пропускания, что можно объяснить появлением локальных уровней от дефектов в кристаллической структуре.

Исследованы возможности создания фоточувствительных ГП на основе эпитаксиальных пленок $n\text{-CdTe}$ и $p\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.4$, $x=0.5$). Определены оптимальные условия получения ГП: температура испарителя менялась в пределах $T_u=1000\text{K}\text{--}1200\text{K}$, скорость конденсации $v=14\text{--}16\text{\AA}/\text{сек}$, температура подложки $T_n=640\text{--}670\text{K}$ для $n\text{-CdTe}$ и $v=18\text{--}20\text{A}/\text{сек}$, $T_n=470\text{--}520\text{K}$ для $p\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$.

Для изучения механизма токопрохождения в ГП $n\text{-CdTe}/p\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ были исследованы темновые ВАХ при комнатной температуре, определены сопротивления ГП. ВАХ резко несимметричны, прямые токи при смещении 1В превышают обратные.

Световая ВАХ ГП стекло с $\text{SnO}_2\text{-}n\text{-CdTe}/p\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te-Ni}$ были получены при различных освещенностях. Освещение вызывает независимый от напряжения фототок, что характерно для переходов с незначительными генерационно-рекомбинационными процессами в области пространственного заряда.

Исследование спектрального распределения фоточувствительности показало, что ГП $\text{CdTe}/\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ чувствительны в области длин волн $\lambda=0.5\text{--}0.9\text{мкм}$. Полоса фоточувствительности в коротковолновой области спектра

определяется поглощением света в $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.5$), а резкий спад длинноволнового края спектра обусловлен поглощением в CdTe . В процессе получения ГП с меньшим содержанием Mn характеристика сдвигается в длинноволновую область, что указывает на уменьшение ширины запрещенной зоны в выращенном слое.

Таким образом, ГП $\text{CdTe}/\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ могут быть использованы в качестве солнечных элементов, фотоприемников и детекторов ионизирующего излучения.

В пятой главе исследованы влияние γ - и электронного излучения на электрофизические, оптические и фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок ПМП $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.01-0.06$) в зависимости от толщины образцов, концентрации Mn в составе кристалла и дозы ионизирующего облучения.

Установлено, что при температуре подложки $T_n=663\div 673\text{K}$, температуре дополнительного источника $T_{Te}=420\div 430\text{K}$ и при скоростях конденсации $v_k=8\div 10\text{\AA}/\text{с}$ можно получить эпитаксиальные пленки n -типа проводимости толщиной $d=0,5\div 1\text{мкм}$, выращенные в плоскости (111) параллельной подложке. Увеличение температуры подложки и скорости конденсации приводит к утолщению пленок. Используя дополнительный компенсационный источник Te добились получения совершенных пленок с чистой гладкой поверхностью.

Исследована морфология поверхности эпитаксиальных пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.01$, $x=0.04$) до и после облучения γ - квантами дозой $D_\gamma=10\div 25\text{кГр}$ и мощности $dD_\gamma/dt=0.40\text{Гр}/\text{с}$ методом АСМ на установке СЗМУ-Л15. Выявлено, что динамика изменения рельефа поверхности образцов зависит от концентрации Mn в составе $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ и дозы облучения. Установлено, что облучение эпитаксиальных пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ γ -квантами при дозах $D_\gamma\leq 25\text{кГр}$ приводит к изменению морфологии поверхности эпитаксиальных пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, сопровождаясь уменьшением размеров кристалликов. При дозах облучения выше $D_\gamma>25\text{кГр}$ происходит ухудшение морфологии поверхности пленок.

В ВАХ исходных образцов при температуре $T=80-210\text{K}$ наблюдается линейная часть, квадратичная част и часть быстрого роста тока. Хотя характер кривых не меняется, но происходит параллельный сдвиг в сторону увеличения тока по всей исследованной области напряжений с увеличением температуры до $T=210\text{K}$. Линейный участок наблюдается в области полей $E=10-$

10^2 В/см, а квадратичный $E=10^2-10^3$ В/см. Увеличение температуры приводит к уменьшению квадратичного участка и пороговое напряжение перехода от закона Ома к квадратичному, смещается к более низким значениям напряжений. Резкий рост тока наблюдается при полях $E>10^3$ В/см, который объясняется ионизацией локальных уровней в электрическом поле.

Образцы облучались потоком быстрых электронов $\Phi \leq 7 \cdot 10^{17} \text{см}^{-2}$ ($E=4.5$ МэВ) на линейном ускорителе ЭЛУ-6.при азотной температуре. После облучения эпитаксиальных пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.04$) потоком быстрых электронов дозой $\Phi=10^{15} \text{см}^{-2}$ при $T=80\text{K}$, характер зависимостей не меняется, значение тока уменьшается. При облучении потоком электронов $\Phi=5 \cdot 10^{15} \text{см}^{-2}$, происходит параллельный сдвиг в сторону увеличения тока, значение тока увеличивается. Омическая область ВАХ удлиняется, уменьшается квадратичная область, за ним наблюдается резкий рост. При облучении образцов потоком электронов $\Phi=2 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$, квадратичная область переходит в кубическую, соответствующую ловушечному квадратичному участку. Значение тока больше других. Появляется безловушечная квадратичная область. С дальнейшим ростом дозы облучения до $\Phi=7 \cdot 10^{17} \text{см}^{-2}$ значение тока уменьшается, снова наблюдается ловушечная квадратичная область (рис.7).

На основе полученных результатов можно прийти к выводу, что при облучении кристаллов до $\Phi=10^{15} \text{см}^{-2}$ радиационные дефекты приходят к самокомпенсации и проводимость стремится к собственной. При $\Phi=5 \cdot 10^{15} \text{см}^{-2}$ происходит распад нейтральных комплексов, проводимость увеличивается, а при $\Phi=7 \cdot 10^{17} \text{см}^{-2}$ ток уменьшается.

Для исследования влияния быстрых электронов на электропроводность, образцы облучались при комнатной температуре потоками быстрых электронов $\Phi \leq 10^{16} \text{см}^{-2}$ с и снимались температурные зависимости электропроводности образцов. При дозе облучения $\Phi=2 \cdot 10^{15} \text{см}^{-2}$ электропроводность образцов уменьшается, а далее растет с повышением дозы облучения. Уменьшение проводимости после облучения связано с образованием локальных уровней в запрещенной зоне и с увеличением запрещенной зоны. Уменьшение концентрации дырок при низких дозах облучения связано с компенсацией уровня $E_v-0.05$ эВ, который относится ионизованному состоянию собственного акцептора. Дальнейший рост

электропроводности с повышением дозы облучения обусловлен заполнением локальных уровней. (рис.8)

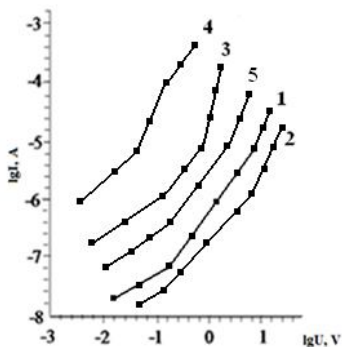


Рис.7. ВАХ тонких пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$, $x=0.04$ при $T=80K$, $1. \Phi=0$; $2. \Phi=10^{15} \text{ см}^{-2}$; $3. \Phi=5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$; $4. \Phi=2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$; $5. \Phi=7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$

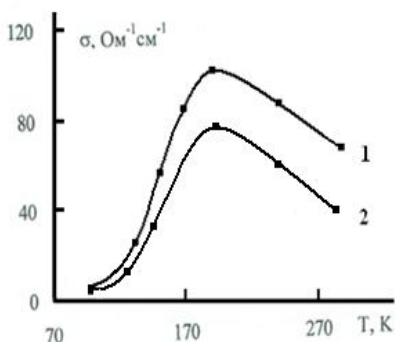


Рис.8. Температурные зависимости электропроводности эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0.02$) $1) \Phi=0$; $2) \Phi=2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$

С целью выяснения стабильности радиационных дефектов исследовано влияние отжига на температурные зависимости удельного сопротивления $\rho(T)$ эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0.05$) облученных γ -квантами дозой $D_\gamma=4.9 \text{ кГр}$ в интервале температур $T=270 \div 500K$. Облучение привело к увеличению удельного сопротивления, при этом характер зависимости и наклон кривой не менялся. Дальше проводился изохронный отжиг, длительность первого нагрева облученного образца составляла 1 час, второй отжиг проводился через 3 часа. Измерения после каждой ступени отжига,

проводились при температуре $T=450\text{K}$. В результате отжига наблюдается частичное восстановление удельного сопротивления эпитаксиальных пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.05$), облученного γ -квантами при дозе $D_\gamma=4.9\text{ кГр}$, т.е. происходит частичный отжиг радиационных дефектов. Полученная величина энергии активизации отжига E_a , определенная по изотермам, удовлетворительно совпадает со значением энергии активации для необлученного образца $E_a=0.065\text{эВ}$.

Процесс объясняется тем, что при облучении ($D_\gamma=4.9\text{ кГр}$) в полупроводнике появляются ловушки с очень малым сечением захвата для основных носителей заряда, так как неосновные носители заряда не могут находиться в этих ловушках на долгое время. Для выхода из ловушек электронам необходима энергия активации 0.065эВ . С нагреванием образца электроны освобождаются из ловушек, рекомбинируют с дырками, что приводит к уменьшению концентрации дырок. Уменьшение концентрации дырок при облучении связано с компенсацией уровня 0.065эВ , который принадлежит ионизированному состоянию собственного акцептора. Уменьшение концентрации дырок приводит к уменьшению электропроводности, тем самым увеличивается удельное сопротивление. После первого отжига удельное сопротивление незначительно уменьшается, после второго отжига происходит дальнейшее уменьшение удельного сопротивления и тем самым полупроводник частично восстанавливает исходное состояние.

Изучена ФП тонких пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ для концентраций Mn $x=0.01\div 0.06$ при температуре $T=80\text{K}$. Характер спектров ФП в тонких пленках $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ не меняются, но максимумы смещаются в сторону более коротких волн по мере увеличения количества марганца: $\lambda_{max}=5.4\text{мкм}$ для $x=0.01$, $\lambda_{max}=4.1\text{мкм}$ для $x=0.03$, $\lambda_{max}=3.44\text{мкм}$ для $x=0.05$. Из спектров ФП были определены значения ширины запрещенной зоны E_g для составов $x=0.1\div 0.6$, которые имели хорошее согласие с теоретическими результатами и литературными данными. Установлено, что с увеличением дозы облучения до $D_\gamma=10\text{кГр}$ фоточувствительность образца увеличивается (рис.9). Дальнейшее увеличение дозы облучения до $D_\gamma=25\text{кГр}$ приводит к незначительному уменьшению фоточувствительности.

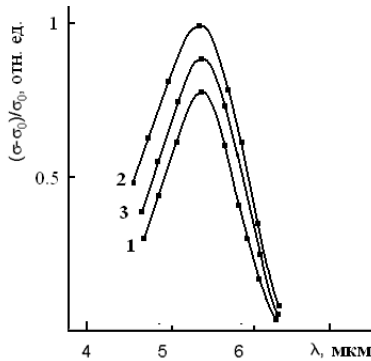


Рис.9 Спектр фоточувствительности эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0.01$) при $T=80K$ 1) $D_\gamma=0$, 2) $D_\gamma=10kГр$, 3) $D_\gamma=25kГр$

Исследовано также влияние γ -излучения на оптические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0.01, 0.04$). Спектр оптического поглощения исходного кристалла до облучения находится в области фундаментального поглощения $\lambda=2.5-6.5\mu m$.

Из оптических спектров по краю собственного поглощения определены значения ширины запрещенной зоны для разных концентраций Mn в эпитаксиальных пленках $Pb_{1-x}Mn_xTe$, которые имели хорошее согласие с значениями E_g полученными из спектров фотопроводимости и нашими теоретическими результатами. Показана, что край собственного поглощения перемещается в сторону коротких волн с увеличением концентрации Mn, которое происходит из-за увеличения ширины запрещенной зоны.

При облучении образцов потоком электронов $\Phi \leq 10^{15} \text{cm}^{-2}$ происходит уменьшение коэффициента поглощения (рис. 10).

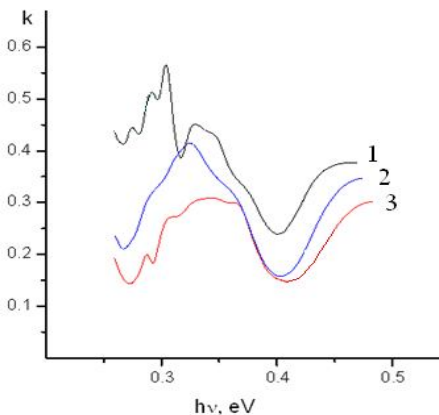


Рис.10. Зависимости коэффициента поглощения эпитаксиальных пленок $\text{Pb}_{0.99}\text{Mn}_{0.01}\text{Te}$ от энергии фотонов облученной потоком электронов: 1) $\Phi_1=0$, 2) $\Phi_2=10^{15} \text{ см}^{-2}$, 3) $\Phi_3=5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$

Край оптического поглощение перемещается в коротковолновую область, что приводит к увеличению ширины запрещенной зоны от $E_g=0.35\text{эВ}$ до $E_g=0.38\text{эВ}$.

Спектры отражения $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.01$, $x=0.04$) до и после облучения γ -квантами дозой $D=205\text{Гр}$ были исследованы на спектрофотометре Spesord -71 IR в диапазоне $4600\div 650\text{см}^{-1}$ ($\lambda=2.2\div 15 \text{ мкм}$) при комнатной температуре. Оптическое поглощение происходит в области $\nu=2000 \text{ см}^{-1}$. Установлено, что концентрация Mn влияет на спектры отражения, так как с увеличением концентрации Mn спектр незначительно смещается в область больших энергий (рис.11).

Сравнительное изучение оптических данных исходных и облученных эпитаксиальных пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x=0.01\div 0.04$) показывает, что $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ с содержанием Mn $x=0.04$ наиболее эффективны в качестве ИК детекторов в области доз γ -облучения $D_\gamma=100\text{-}205\text{Гр}$ и электронного облучения при потоке электронов $\Phi=10^{15}\div 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

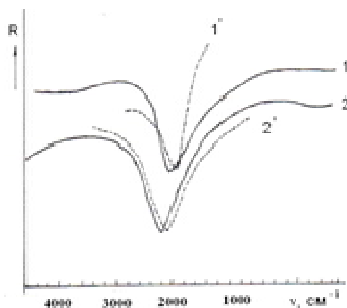


Рис.11 ИК спектры отражения в образцах $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ до и после γ -облучения: 1 ($x=0.04$) и 2 ($x=0.01$) - до облучения, 1' и 2' - после облучения, $D_\gamma=205 \text{ Гр}$.

Из проведенных исследований по оптическим свойствам эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ можно прийти к выводу, что изменяя как количество Mn, так и дозу облучения в пленке можно управлять оптическими свойствами исследованных образцов.

Исследованы возможности создания изопериодических фоточувствительных ГП $n-Pb_{1-x}Mn_xTe/p-PbTe_{1-y}Se_y$ на основе эпитаксиальных пленок твердых растворов $Pb_{1-x}Mn_xTe$, $PbTe_{1-y}Se_y$ различных химических составов. Выявлено, что полученные ГП фоточувствительны в ИК-области спектра.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Впервые из первых принципов рассчитаны электронная структура идеальных и дефектных полумагнитных полупроводников $Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe$, ($x=0.01\div 0.25$). Определено, что дефекты, типа вакансии, междоузельный атом, Френкеловская пара в кристаллической ячейке $Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe$ приводят к изменению ширины запрещенной зоны, образованию дополнительных магнитных моментов, локальных уровней в запрещенной зоне, к смещению уровня Ферми и изменению магнитных свойств, которые были подтверждены экспериментально.
2. Впервые были рассчитаны энергии дефектообразования в ПМП $Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe$ в различных зарядовых состояниях в зависимости от энергии Ферми из первых принципов, а также полупроводников GaS, GaSe, InSe, определены пороговые энергии, которые были подтверждены экспериментально. Выявлено, что энергии дефектообразования и пороговая энергия у халькогенидов II и III группы больше, чем у халькогенидов IV группы.
3. Методами СО и ЛКАО вычислены энергетические уровни в полупроводниках GaS, GaSe, InSe для вакансии аниона, катиона и анионного и катионного замещения. Определено, что анионная или катионная вакансия в полупроводниках приводят к образованию локальных уровней в запрещенной зоне и разрешенной зоне внутри валентной зоны. Установлено, что атомы с малым ионным радиусом и соответствующей координацией, замещаемые дефекты полупроводников GaS, GaSe, InSe восстанавливают исходные свойства кристалла. Атомы с другой координацией и большим ионным радиусом создают дополнительные дефекты и локальные уровни.

4. Методом КМП в вакууме 10^{-4} Па, с применением дополнительного компенсирующего источника паров Те во время роста на подложках стекло, слюда, BaF_2 выращены структурно совершенные эпитаксиальные пленки $\text{Cd}(\text{Pb})_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, $x=0.01\div 0.1$ с чистой, гладкой поверхностью.
5. Установлено, что при температуре подложки $T_n=300\text{K}$ полученные пленки $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ на стеклянных подложках имеют поликристаллическую структуру в смеси с аморфной фазой, а на слюдяных подложках поликристаллическую. Увеличение температуры подложки $T_n\geq 470\text{K}$ приводит к получению поликристаллических пленок с кубической структурой на стеклянных подложках, а выше температуры $T_n\geq 570\text{K}$ начинается эпитаксиальный рост на всех подложках.
6. Выявлено влияние γ -излучения ($E=1.17\text{МэВ}$, $E=1.33\text{МэВ}$) на морфологию поверхности и кристаллическую структуру эпитаксиальных пленок $\text{Cd}(\text{Pb})_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$. С помощью АСМ и рентгендифрактометрических исследований определено, что облучение образцов дозой $D_\gamma < 25\text{кГр}$ приводит к изменению размеров кристалликов и кристаллической структуры, которое было подтверждено теоретически.
7. Установлено, что облучение эпитаксиальных пленок $\text{Cd}(\text{Pb})_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ γ -квантами при дозах $D_\gamma < 25\text{кГр}$ или электронным потоком ($E=4.5\text{МэВ}$) $\Phi \leq 10^{15}\text{см}^{-2}$ приводит к уменьшению проводимости, которое связано с образованием локальных уровней в запрещенной зоне. С дальнейшим повышением дозы облучения электропроводность растет, происходит компенсация этих уровней.
8. Показано, что облучение γ -квантами эпитаксиальных пленок $\text{Cd}(\text{Pb})_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ дозой $D_\gamma = 25\text{кГр}$ приводит к значительным изменениям фотопроводимости, что дает основание создать на их основе детекторы ионизирующего излучения.
9. Установлено, что увеличение количества Mn в эпитаксиальных пленках $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, а также облучение их γ -квантами при дозе $D_\gamma \leq 0.3\text{кГр}$, приводит к изменению коэффициента поглощения и смещению края спектра, что связано с изменением ширины запрещенной зоны. Подобные закономерности наблюдаются и в эпитаксиальных пленках $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, облученных электронным потоком $\Phi \leq 10^{16}\text{см}^{-2}$, которое было подтверждено теоретически.

10. Установлены оптимальные условия получения гетеропереходов CdTe/Cd_{1-x}Mn_xTe и Pb_{1-x}Mn_xTe/PbTe_{1-y}Se_y методом КМП, в едином технологическом цикле, без нарушения вакуума. Изготовлены фотопреобразователи, фотодетекторы и детекторы ионизирующего излучения на их основе.

Практическое значение

В рамках диссертации полученные результаты позволили решить важную научную проблему, имеющую практическое значение:

- управление структурой энергетических зон халькогенидов Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe с помощью концентрации Mn, а также GaS, GaSe, InSe с помощью примесей;

- управление электропроводностью, и фотопроводимостью, типом проводимости магнитными свойствами и шириной запрещенной зоны кристаллов Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe при помощи облучения ионизирующей радиацией;

- используя данные электронной структуры и фотоэлектрических свойств можно создать солнечные элементы, фотодетекторы и детекторы ионизирующего излучения высокой чувствительности на основе эпитаксиальных пленок Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe и структур на их основе

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Мадатов Р.С., Мехрабова М.А., Шекили Ш.П., Гасанов Н.Г. Порогообразование радиационных дефектов в слоистых полупроводниках типа A³B⁶ // Milli Aviasiya Akademiyasının elmi əsərləri, 2004, №2, с.150-155
2. Мехрабова М.А., Джахангирли З.А. Электронная структура дефектных и примесных полупроводников A³B⁶ // АМЕА Хəбərləг, 2005, №5, с.180-184
3. Джахангирли З.А., Мехрабова М.А. Расчет электронной структуры вакансий в GaSe методом функции Грина // Известия Высших Учебных Заведений, Физика, Томск, 2006, №11, с.8-12

4. Мадатов Р.С., Мехрабова М.А., Аббасов Ф.П., Сулейманов С.С. Быстродействующие детекторы γ - облучения на основе Au-Si // АМЕА Хəбərləр, 2007, №5, s.47-50.
5. Mehrabova M.A. Calculation of electronic structure of vacancies and their replacements in semiconductors $A^{III}B^{VI}$ // Radioprotection, 2008, v.43, №5, p.134,
<https://www.radioprotection.org/articles/radiopro/abs/2008/05/000024/000024.html>,
<http://www.radioprotection.org/articles/radiopro/pdf/2008/05/000024.pdf>
6. Мехрабова М.А. Фотоэлектрические процессы в детекторах рентгеновского и γ -излучения на основе Au- A^3B^6 // АМЕА Хəбərləр, 2009, №5, s.103-107
7. Мехрабова М.А. Взаимодействие радиационных дефектов с примесями в слоистых полупроводниках A^3B^6 // Доклады НАНА, Баку, 2009, №4, s.78-87
8. Мехрабова М.А. Термодинамические и электронные свойства двумерного электронного газа с разогревом // Альтернативная Энергетика и Экология, 2010, №6, с.130-135
9. Мехрабова М.А. Detectors in Barrier Structures of Metal-Lamellar Semiconductors // Key Engineering Materials, Trans Tech Publications, Switzerland, 2010, v.464, p.1-10,
<http://www.scientific.net/KEM.446.1>
10. Mehrabova M.A. Thermodynamic and electronic properties of hot electrons in a quantum well // NANA, J.Fizika, 2010, №3-4, s.117-121
11. Мехрабова М.А., Мадатов Р.С. Расчет электронной структуры вакансий и их компенсированных состояний в полупроводниках A^3B^6 // ФТП, Россия, 2011, т.45, в.8, с.1031-1037,
<http://journals.ioffe.ru/ftp/2011/08/page-1031.html.ru>
- Mehrabova M.A., Madatov R.S. Calculation of the electron structure of vacancies and their compensated states in III-VI semiconductors // Semiconductors, Russian, 2011, v.45, №8, p.998-1005
12. Мадатов Р.С., Наджафов А.И., Тагиев Т.Б., Газанфаров М.Р., Мехрабова М.А. Влияние ионизирующего излучения на механизм токопрохождения в монокристаллах $TlInSe_2$ // ФТТ, 2011, т.53, в.11, с.2097-2101, <http://journals.ioffe.ru/ftt/2011/11/page-2097.html.ru>
 Madatov R.S., Najafov A.I., Tagiyev T.B., Gazanfarov M.P., Mehrabova M.A. The impact of ionizing radiation on the mechanism

- of current transition in TlInSe₂ monocrystals // Physics of Solid State, 2011, v.45, №11, p. 2097-2101
13. Mehrabova M.A., Nuriyev I.R. Influence of ionizing radiation on crystal structure and electrophysical properties of Pb_{1-x}Mn_xTe(Se) thin films // International Journal of Energy and Environment, NAUN, 2012, v. 6, p.549-556
 14. Mehrabova M.A., Nuriyev I.R., Ismayilov T.G. Photo- and electroluminescence properties of Pb_{1-x}Mn_xTe (Se,S) thin films // International Journal of Systems Applications, Engineering and Development, 2012, Issue 1, v.6, p.130-136, <http://www.universitypress.org.uk/journals/saed>
 15. Mehrabova M.A., Nuriyev I.R., Orujov H.S. Electron structure and optical properties of Cd_{1-x}Mn_xTe thin films // International Journal of Materials, 2014, v.1, p.63-70
 16. Mehrabova M.A., Orujov H.S., Hasanov N.H. Ab initio study of defects in CdMnTe: Electronic structure and related properties // Science PG International Journal of materials science and applications, 2014, 3(6-1), p.24-32
 17. Mehrabova M.A., Nuriyev H.R., Taghiyev T.B., et.al. Impact of γ -irradiation on structure and electrophysical properties of CdMnTe. Science PG International Journal of materials science and applications, 2014, 3(6-1), p.20-23
 18. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Назаров А.М., Садыгов Р.М. Морфология поверхности эпитаксиальных пленок Cd_{1-x}Mn_xTe // АМЕА Хəбərlər, 2015, №2, с.53-56
 19. Mehrabova M.A., Nuriyev H.R., Orujov H.S., et. al. Defect formation energy for charge states and electrophysical properties of CdMnTe // Invited paper, Proc. SPIE Photonics, Devices and Systems VI. 2015, v.9450, p.9450Q-1-10
 20. Nuriyev H.R., Mehrabova M.A., Nazarov A.M., Sadigov R.M., et. al. Epitaxial photosensitive heterojunctions CdTe/Cd_{1-x}Mn_xTe // Journal of Radiation Researches, 2015, v.2, №1, p. 26-34
 21. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Назаров А.М., Садыгов Р.М. Структурно совершенные эпитаксиальные пленки Pb_{1-x}Mn_xTe, PbTe_{1-x}Se_x и фоточувствительные гетеропереходы на их основе // АМЕА Хəбərlər, №5, 2016, с.34-37
 22. Нуриев И.Р., Назаров А.М., Mehrabova M.A., Садыгов Р.М. Особенности роста, структура и морфология поверхности

- эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ // Журнал Неорганические Материалы, 2016, т.52, №9, с.1-4
23. Mehrabova M. A. Impact of electron-beam radiation on electrical properties of $Pb_{1-x}Mn_xTe$ epitaxial films // Science PG, Nuclear science, 2016, 1(1), p. 1-5
 24. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Назаров А.М., Садыгов Р.М., Гасанов Н.Г. Рост, структура и морфология поверхности эпитаксиальных пленок $CdTe$ // ФТП, 2017, v.51, №1, p.36-39
Nuriyev H.R., Mehrabova M.A., Nazarov A.M., Sadigov R.M., Hasanov N.H. On the growth, structure, and surface morphology of epitaxial $CdTe$ films // Semiconductors, 2017, v.51, 1, p.34-37
 25. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Гасанов Н.Г., Керимова Т.И., Электрофизические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0.01\div 0.05$) облученных ионизирующим излучением // АМЕА Хəбərлər, 2017, №2, №5, s.58-63
 26. Mehrabova M.A. Defect formation energy, impact of ionizing radiation on physical properties of II-IV group chalcogenides // Journal of Radiation Researches, 2017, v.4, №1, p.43-56
 27. Нуриев И.Р., Мехрабова М. А., Гасанов Н.Г. Структура и морфология поверхности эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Mn_xSe$ // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2018, № 5, с. 98–101
 28. Мадатов Р.С., Мехрабова М.А., Наджафов А.И. Расчет пороговой энергии образования радиационных дефектов в слоистых полупроводниках / IV Международная научно-техническая конференция: Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе. Баку-Сумгаит, Азербайджан, 2003, с.195-196
 29. Madatov R.S., Mehrabova M.A. Radiation defects in A^3B^6 type layer semiconductors / III Euroasian conference: Nuclear science and its application. Uzbekistan, 2004, p.294
 30. Mehrabova M.A., Jahangirli Z.A. Electronic structure of vacancies in $GaSe$ / TPE-2006, III International conference: Technical and physical problems in power engineering. Ankara, Turkey, 2006, p.629-633
 31. Madatov R.S., Mehrabova M.A., Abbasov F.R., Suleymanov S.S. Fast acting detectors for γ - quanta on the Au-Si / The IV euroasian conference: Nuclear science and its application. Baku, Azerbaijan, 2006, p.145-146
 32. Madatov R.S., Mehrabova M.A., Abbasov F.R., Suleymanov S.S. Rapid detectors for γ - quanta on the Au-Si / The IV Euroasian

- conference: Nuclear science and its application. Reports, Baku, Azerbaijan, 2006, p.236-238.
33. Мадатов Р.С., Мехрабова М.А., Аббасов Ф.П., Гасымов Г.М. Новое поколение детекторов на основе Au-Si / Республиканская научная конференция посвященная 100 летию Гасана Алиева: Влияние производства нефти-газа на радиоэкологическое состояние. 2007, с.78.
 34. Madatov R.S., Mehrabova M.A. Electronic structure of defect semiconductors A^3B^6 / V Euroasian conference: Nuclear science and its application, Turkey, 2008, p.169
 35. Madatov R.S., Mehrabova M.A., Hasanov N.H.. A study of carrier collection in GaS –based x-ray and γ - ray detectors by photoelectric method / V Euroasian conference: Nuclear science and its application, Turkey, 2008, p.258.
 36. Madatov R.S., Mehrabova M.A., Tagiyev T.B. et. al. X-ray, electron and γ -irradiation detectors in barrier structures of metal-lamellar semiconductor / Beynəlxalq konfrans: Nüvə enerjisinin gələcəyin enerji təminatında rolu, 2008, s.60-61
 37. Mehrabova M.A. Detectors in barrier structures of metal- lamellar semiconductors / International conference: Structural analysis of advanced materials. Tarbes, France, 2009, p.65
 38. Мехрабова М.А. Электронные свойства гетеропереходов на основе полупроводниковых соединений / Beynəlxalq konfrans: Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi perspektivləri. Azərbaycan, Bakı, 2009, с.42
 39. Мехрабова М.А. Энергия смещения и пороговая энергия в слоистых полупроводниках / Respublika konfransı: Radiasiya və ətraf mühit. Bakı, 2010, s.36
 40. Mehrabova M.A. Investigations of hot electrons in a quantum well / WSEAS International. conference. Vouliagmeni, Athens, Greece, 2010, December 29-31, p.74-82,
<http://www.wseas.us/conferences/2010/vouliagmeni/VouliagmeniProgram.doc>
 41. Mehrabova M.A. Thermo-electromotive force of hot electrons in a quantum well / 20th International conference, Polymer Networks Group, Germany, Goslar, 2010, p.146
 42. Мехрабова М.А. Концентрация радиационных дефектов возникающих при облучении Si быстрыми частицами / Beynəlxalq

konfrans: Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi perspektivləri. Azərbaycan, Bakı, 2010, s.66

43. Mehrabova M.A., Nuriyev I.R., Mamishova R.M., Kerimova T.I. The influence of irradiation on electrophysical and optical properties of $Pb_{1-x}Mn_xTe(Se)$ thin films / 10th WSEAS International conference: Circuits, systems, electronics, control and signal processing. Switzerland, Montreux, 2011, 29-31 December, p.116-119, <http://www.wseas.us/conferences/2011/montreux/ProgramMontreux.pdf>
44. Мехрабова М.А. Модель дефектообразования в слоистых полупроводниках при облучении ионизирующей радиацией / XXII Международная конференция: Физика диэлектриков. Санкт-Петербург, 2011, С.8.13, p.260-262, <http://physics.herzen.spb.ru/conference/icd/program2011.pdf>
45. Mehrabova M.A., Ismayilov T.G., Nuriyev I.R. Magnitooptic properties of the $Pb_{1-x}Mn_xTe$ semimagnetic semiconductors' thin films / 2nd International conference: Urban sustainability, cultural sustainability, green development, green structures and clean cars. Prague, Czech Republic, 2011, September 26-28, p.23-27, <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2047900>
<http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Prague/AICT/AICT-02.pdf?CFID=66299522&CFTOKEN=43673813>
46. Mehrabova M.A., Nuriyev I.R., Mamishova R.M., Kerimova T.I. Obtaining and investigation of $Pb_{1-x}Mn_xTe(Se,S)$ semimagnetic semiconductor nanolayers sensitive to infrared rays / WSEAS International conference: Sensors and Signals. Italy, Catania, Sicily, 2011. November 3-5, p.325, <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Catania/Catania-57.pdf>,
<http://www.wseas.us/books/2011/Catania/CATANIA.pdf>,
<http://www.wseas.us/conferences/2011/catania/ProgramCatania.pdf>
47. Mehrabova M.A., Nuriyev I.R., Ismayilov T.G., Mamishova R.M., Kerimova T.I. Investigation of $Pb_{1-x}Mn_xTe(Se,S)$ semimagnetic semiconductor nanolayers for infrared technology / 4th International conference: Perspectives of peaceful use of nuclear energy. Azerbaijan, Baku, 2011, p. 66-68
48. Mehrabova M.A., Nuriyev I.R., Ismayilov T.G., Mamishova R.M., Kerimova T.I. Photosensitive structures on the basis of thin films of semimagnetic semiconductors $Pb_{1-x}Mn_xTe$ / 4th International

- conference: Perspectives of peaceful use of nuclear energy. Azerbaijan, Baku, 2011, p.69-70
49. Mehrabova M.A., Nuriyev I.R. Influence of γ -irradiation on crystal structure of $Pb_{1-x}Mn_xSe$ thin films / 14th WSEAS International conference: Mathematical methods, computational techniques and intelligent systems. Portugal, Porto, 2012, July 1-3, p. 117-121, <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2012/Porto/FWREM/FWREM-21.pdf>
<http://www.wseas.us/conferences/2012/porto/ProgramPorto.pdf>
 50. Mehrabova M.A., Nuriyev I.R., Kerimova T.I., Mamishova R.M. The influence of ionizing radiation on photoelectrical properties of $Pb_{1-x}Mn_xTe(Se)$ thin films / Joint Conference - VI Eurasian conference: Nuclear science and its application, VIII conference: Modern problems of nuclear physics and nuclear technologies. Uzbekistan, Samarkand, 2012, September 25-28, p.195-197
 51. Mehrabova M.A., Nuriyev H.R., Ismailov T.H., Hasanli R.N. $Cd_{1-x}Mn_xTe$ semiconductor radiation detectors for medical applications / 5th International conference: Perspectives of peaceful use of nuclear energy. Azerbaijan, Baku, 2012, p.37
 52. Ismailov T.H., Mehrabova M.A., Ismailov E.H. New approach for preparation of diluted magnetic semiconductor nanocrystals / 5th International conference: Perspectives of peaceful use of nuclear energy. Azerbaijan, Baku, 2012, p.38
 53. Mehrabova M.A., Nuriyev I.R., Kerimova T.I., Poladova V.N. Impact of accelerated electron beams on photoelectrical and optical properties of $Pb_{1-x}Mn_xTe$ thin films / 5th WSEAS International conference: Nanotechnology. UK, Cambridge, 2013, 20-22 February, p. 305-309, <http://wseas.org/wseas/cms.action?id=2367>
 54. Mehrabova M.A., Nuriyev I.R., Hasanli R.N. Obtaining of perfect $Cd_{1-x}Mn_xTe$ epitaxial thin films and their use potentials / 5th WSEAS International conference: Nanotechnology. Cambridge, UK, 2013, February 20-22, p.316-320, <http://wseas.org/wseas/cms.action?id=2367>
 55. Оруджев Г.С., Мехрабова М.А. Первопринципное исследование энергетической зонной структуры CdTe / 8th conference: Radiation research and its practical aspects. Azerbaijan, Baku, 2013, p.39-40
 56. Нуриев Г.Р., Мехрабова М.А, Назаров А.М., Садыгов Р.М. Технология получения тонких пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ / 8th conference: Radiation research and its practical aspects. Azerbaijan, Baku, 2013, p.41-42

57. Мехрабова М.А., Нуриев Г.Р., Гасымов Р.С., Дадашов З.Х., Гусейнов Н.И. ЭПР исследование синтезированных твердых растворов $Cd_{1-x}Mn_xTe$ / 8th conference: Radiation research and its practical aspects. Azerbaijan, Baku, 2013, p.43-44
58. Мехрабова М.А., Нуриев Г.Р., Гаджиева Н.Н., Гусейнов Н.И., Гасанлы Р.Н. Оптические спектры тонких пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ / 8th conference: Radiation research and its practical aspects. Azerbaijan, Baku, 2013, p.45-46
59. Мехрабова М.А., Нуриев Г.Р., Оруджев Г.С., Назаров А.М., Садыгов Р.М., Гусейнов Н.И. Исследование электронной структуры тонких пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ / International conference: Actual problems of physics. Azerbaijan, Baku, 2013, p.68-73
60. Керимова Т.И., Мехрабова М.А., Нуриев И.Р. Эпитаксиальные пленки $Pb_{1-x}Mn_xTe$ модифицированные γ -лучами / 9-я международная конференция: Ядерная и радиационная физика. Казахстан, Алматы, 2013, 24-27 сентября, с.88
61. Mehrabov M.A., Electrophysical and optical investigation of $Cd_{1-x}Mn_xTe$ epitaxial thin films / 8th International conference: Circuits, systems, signal and telecommunications. Spain, Tenerife, 2014, 10-12 January, p.12, plenary speaker. <http://wseas.org/cms.action?id=6533>
62. Mehrabova M.A., Nuriyev I.R., Huseynov N.I., Nazarov A.M., Sadigov R.M., Hasanli R.N. Thin films of $Cd_{1-x}Mn_xTe$ solid solutions / 8th International conference: Circuits, systems, signal and telecommunications. Spain, Tenerife, 2014, 10-12 January, p.152-156
63. Mehrabova M.A., Orujov H.S., Poladova V.N. First principles calculations for the electronic structure of $Cd_{1-x}Mn_xTe$ diluted magnetic semiconductors / 8th International conference: Circuits, systems, signal and telecommunications. Spain, Tenerife, 2014, 10-12 January p.177-182
64. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Назаров А.М., et. al. Структура и морфология поверхности эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ / XXV Российская конференция: Электронная микроскопия. Россия, Москва, 2014, 2-6 июнь, с.122-123
65. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Назаров А.М., Садыгов Р.М. Структурно совершенные эпитаксиальные пленки $Cd_{1-x}Mn_xTe$ и р-п гомопереходы на их основе / Конференция ORION. Москва, 2014, с.507-510
66. Mehrabova M.A., Orujov H.S., Hasanli R.N. Defect formation energy for charge states of $CdMnTe$ / VII Eurasian conference: Nuclear

- science and its application. Azerbaijan. Baku, 2014, 21-24 October, p.171-174
67. Mehrabova M.A., Nuriyev H.R., Tagiyev T.B., et. al. Influence of γ -irradiation on electrophysical properties of CdMnTe / VII Eurasian conference: Nuclear science and its application. Azerbaijan, Baku, 2014, 21-24 October, p.175-176
 68. Nuiyev H.R., Mehrabova M.A., Kerimova T.I. Influence of accelerated electrons on temperature dependence of electroconductivity of $Pb_{1-x}Mn_xTe$ thin films / VII Eurasian conference: Nuclear science and its application. Azerbaijan, Baku, 2014, 21-24 October, p.207-208
 69. Нуриев И.Р., Назаров А.М., Мехрабова М.А., Садыгов Р.М. Морфология поверхности пленок CdTe / XIX Российский симпозиум: Растровая электронная микроскопия и аналитические методы исследования твердых тел. Черногловка, 2015, 1-4 июня, с.332-333
 70. Мехрабова М.А., Нуриев И.Р., Керимова Т.И., Гасанов Н.Г. Электронная структура и оптические свойства облученных кристаллов $Pb_{1-x}Mn_xTe$ / Prof. Tahir Pənahovun 80 illik yubileyinə həsr edilmiş V Beynəlxalq elmi və praktik konfrans: Metallar fizikasinin müasir problemləri. Azərbaycan, Bakı, 2016, s.197-202
 71. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Аллахъяров Э.А., et. al. Структура и фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ / Prof. Tahir Pənahovun 80 illik yubileyinə həsr edilmiş V Beynəlxalq elmi və praktik konfrans: Metallar fizikasinin müasir problemləri. Azərbaycan, Bakı, 2016, s.282-285
 72. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Назаров А.М., Садыгов Р.М., et. al. Изопериодические фоточувствительные гетеропереходы $Pb_{1-x}Mn_xTe$ / $PbTe_{1-x}Se_x$ / XXIV Международная научно-техническая конференция: Фотоэлектроника и приборы ночного видения. Москва, 2016, 24–27 мая, с.507-511
 73. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А. Назаров А.М., Садыгов Р.М., et. al. Влияние ионизирующих излучений на морфологию поверхности эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xTe$ / XXVI Российская конференция: Электронная микроскопия. Москва, 2016, 30 мая-3 июня, с.526-527
 74. Nuriyev I.R., Mehrabova M.A., Tagiyev T.B., Hasanov N.H., et. al. Impact of gamma-irradiation on electrical properties of $Cd_{1-x}Mn_xTe$

- epitaxial films / Eurasian conference: Nuclear sciences and its applications. Kazakhstan, 2017, September, p.192-193
75. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Назаров А.М., Гасанов Н.Г., et. al. Особенности роста и морфологии поверхности эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ / 2-й Международный форум по электронно-лучевым технологиям для микроэлектроники: Техноюнити, ЭЛТМ, Москва, 2017, с.152
 76. Мехрабова М.А., Нуриев И.Р., Оруджев Г.С., Керимова Т.И., Абдуллаева А.А. ЭПР исследования твердых растворов $Cd_{1-x}Mn(Fe)_xTe$ / Azərbaycan Demokratik Respublikasının 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Sumqayıt, 2018
 77. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Назаров А.М. и др. Особенности роста и влияние ионизирующего излучения на фотопроводимость эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Mn(Fe)_xTe$ / Международная научно-техническая конференция и школа по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Москва, НПО «Орион», 2018

**A^{II-IV}B^{VI} HALKOGENİDLƏRİNİN ELEKTRON QURULUŞU,
DEFEKTƏMƏLƏGƏLMƏ ENERJISI VƏ İONLAŞDIRICI
ŞÜALARIN ONLARIN FİZİKİ XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ**

XÜLASƏ

Dissertasiya işinin məqsədi defektli A^{II-IV}B^{VI} yarımkəçiricilərin elektron quruluşunun hesablanması, defektəmələgəlmə mexanizminin qanunauyğunluqlarının müəyyən edilməsi, ionlaşdırıcı şüaların səthin morfologiyasına, fiziki xassələrinə təsirinin öyrənilməsi və onlar əsasında müxtəlif təyinatlı cihazların hazırlanması imkanlarının araşdırılmasından ibarətdir.

İlk dəfə olaraq təməl prinsiplərdən ideal və defektli (vakansiya, düyünlərərası atom, Frenkel cütü) Cd(Pb)Te və Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe yarımkəçiricilərinin Sıxlıq Funksionalı Nəzərittəsi metodu ilə və həmçinin anion, kation vakansiyalı və aşqaranmış GaS, GaSe, InSe yarımkəçiricilərinin Qrin Funksiyası nəzəriyyəsi əsasında Rabitə Orbitalları və AOXK metodları ilə elektron quruluşu hesablanmışdır. Hal sıxlığı, tam enerji, maqnit momentləri elektronların sayı, Fermi səviyyəsi, defektəmələgəlmə enerjisi və astana enerjiləri müəyyən edilmişdir.

Hesablamalar göstərmişdir ki, II-IV – qrup halkqgenidlərdə defektlər qadağan olunmuş zonanın eninin böyüməsinə, qadağan olunmuş zona və valent zonanın daxilində lokal səviyyələrin yaranmasına, Fermi səviyyəsinin sürüşməsinə, defektlərin ətrafında maqnit momentlərinin əmələ gəlməsinə, ferromaqnit fazadan antiferromaqnit fazaya və əksinə keçidlərin baş verməsinə səbəb olur.

Müəyyən olunmuşdur ki, III – qrup halkqgenidlərdə vakansiyaları həmin altqrupdan olan, eyni koordinasiyaya malik və kiçik ion radiuslu atomlarla kompensə etdikdə, onların yaratdığı lokal səviyyələr tamamilə yox olur və kristalın ilkin xassələri bərpa olunur. Fərqli koordinasiyalı və böyük ion radiuslu atomlar isə əlavə lokal səviyyələr yaradırlar.

Dissertasiya işində nümunənin qalınlığı, Mn-in konsentrasiyası və şüalanma dozəsindən asılı olaraq γ -şüalanmanın Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe, x=0.01÷0.1 epitaksial təbəqələrinin kristal quruluşuna, səthinin morfologiyasına və elektrfiziki, optik. fotoelektrik xassələrinə təsiri tədqiq olunmuşdur. Epitaksial təbəqələr Molekulyar Dəstədən Kondensasiya

metodu ilə $(1\div 2)10^{-4}$ Pa vakuumda slyuda, BaF_2 monokristal kövhələri və şüşə altlıqları üzərində alınmışdır. Böyümə prosesində əlavə Te mənbəyindən istifadə etməklə mükəmməl krustal quruluşlu və təmiz, hamar səthə malik epitaksial təbəqələrin alınmasının optimal rejimi müəyyən edilmişdir.

Göstərilmişdir ki, altlığın temperaturunun $T_a=300K$ qiymətində şüşə altlıqlar üzərində polikristal və amorf quruluşa malik təbəqələr alınır, slyuda altlıqlar üzərində isə alınan təbəqələr yalnız polikristal quruluşa malik olurlar. Altlığın temperaturunun $T_a=670K$ qiymətində kubik quruluşa malik sfalerit tipli (111) kristalloqrafik istiqamətində epitaksial təbəqələr alınır.

Müəyyən olunmuşdur ki, $Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe$ epitaksial təbəqələrini $D_\gamma \leq 25\kappa Qr$ dozada γ - kvantlarla ($E=1.17MəB$, $E=1.33MəB$) şüalandırıldıqda rentgendifraktometrik və AQM spektrlərdə dəyişikliklər müşahidə olunur. Belə ki, rentgendifraktometrik spektrlərdə bəzi reflekslərin intensivlikləri azalır və səthdən alınmış AQM spektrlərində isə hissəciklərin ölçülərinin kiçilməsi müşahidə olunur. $D_\gamma \geq 25\kappa Qr$ dozada şüalanma nəticəsində təbəqələrin səthin morfologiyası korlanır.

Altlığın temperaturunun $T_a=300K$ qiymətində $D_\gamma \leq 25\kappa Qr$ dozada, γ - kvantlarla şüalanmadan sonra $Cd_{1-x}Mn_xTe$ epitaksial təbəqələrinin və azot temperaturunda $\Phi \leq 7 \cdot 10^{17} sm^{-2}$ elektron seli ilə şüalandırılmış $Pb_{1-x}Mn_xTe$ epitaksial təbəqələrinin VAX və fotokeçiriciliyində əhəmiyyətli dəyişikliklər aşkar olunmuşdur ki, bu da onlar əsasında ionlaşdırıcı şüa detektorlarının hazırlanması imkanlarını üzə çıxarır.

Müəyyən edilmişdir ki, epitaksial təbəqələrin şüalandırılması optik parametrlərə də təsir edir və məxsusi udulma sərhəddinin sürüşməsinə gətirir ki, bu da öz növbəsində qadağan olunmuş zonanın qiymətinə təsir göstərir. Beləliklə, həm Mn atomlarının miqdarını, həm şüalanma dozasını dəyişməklə tədqiq olunan yarımkeçiricilərin xassələrini idarə etmək olur.

$n-CdTe/p-Cd_{1-x}Mn_xTe$ və $n-Pb_{1-x}Mn_xTe/p-PbTe_{1-x}Se_x$ nazik təbəqəli heteroqəçidlər əsasında fotoçevirici, fotoqəbuledici və ionlaşdırıcı şüa detektorlarının hazırlanması imkanları müəyyən edilmişdir.

Matanat Ahmed Mehrabova

**ELEKTRON STRUCTURE, DEFECT FORMATION ENERGY OF
CHALCOGENIDES $A^{II-IV}B^{VI}$ AND IMPACT OF IONIZING
RADIATION ON THEIR PHYSICAL PROPERTIES**

SUMMARY

The purpose of the thesis is to calculate the electronic structure of defective $A^{II-IV}B^{VI}$ semiconductors, to determine the regularities of defect formation mechanism, to clarify the effect of ionizing radiation on the surface morphology, the physical properties, and to identify the possibilities for creating various devices based on them.

For the first time it has been calculated the electronic structure of the ideal and defective semiconductors $Cd(Pb)Te$ and $Cd(Pb)_{1-x}Mn_xTe$ by the DFT method in the Atomistix ToolKit program, as well as of the semiconductors GaS , $GaSe$, $InSe$ with anion, cation vacancy or impurity on the base of Green function theory, by the Bond Orbital and LCAO methods. The density of states, total energy, magnetic moments, number of electrons, Fermi level, defect formation energies and threshold energies were defined.

It has been defined, that defects in II-IV group halcogenides lead to an increase in the band gap, to formation of local levels in the band gap and valence band, displacement of Fermi level, to formation of magnetic moments near the defects, to transition from ferromagnetic phase to the antiferromagnetic and vice versa.

The electronic structure of local defects - vacancies as well as their compensated states in II-IV group halcogenides have been determined on the basis of the theory of Green function and bond orbital model. Band gap energy levels have been determined; change of electronic density in semiconductors GaS , $GaSe$, $InSe$ with anion and cation vacancies and compensation of these vacancies has been calculated. It has been established that at compensation of vacancies by the atom of the element in the same subgroup with the same tetrahedral coordination the ionic radius of which is less than the ionic radius of the replaces atom, the local levels formed at compensation of vacancies completely disappear. Using this mechanism it is possible to restore the parameters of the crystal and also to improve its characteristics.

The influence of γ -irradiation on the crystal structure, surface morphology, electrophysical, optical and photoelectric properties of $\text{Cd(Pb)}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ epitaxial films is studied depending on the sample thickness, Mn concentration and irradiation dose. Epitaxial films were obtained on a mica and BaF_2 monocrystalline films and glass substrates in a vacuum $(1\div 2)10^{-4}\text{Pa}$ by the Molecular Beams Condensation method. It is determined the optimal conditions to obtain of epitaxial films with perfect structure and a clean, smooth surface by using of additional Te source.

It was determined that at a substrate temperature of $T_{sub}=300\text{ K}$, the films obtained on glass substrates have polycrystalline and amorphous structure, and on mica substrates polycrystalline structure. At the substrate temperature of $T_{sub}=670\text{K}$, there were grown epitaxial films with a cubic structure (zinc blende) in the crystalline plane of (111).

It has been established changes in x-ray diffractometer and AFM spectra after irradiation of $\text{Cd(Pb)}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ epitaxial films by γ -irradiation ($E=1.17\text{MeV}$, $E=1.33\text{MeV}$) of $D_\gamma \leq 25\text{kGy}$ doses. It is observed that the intensities of some reflexes are reduced in the x-ray spectra, and the particle size reduce in the AFM spectra. Above the 25kGy dose deterioration of surface morphology occurs.

The significant changes in the VAC and the photoconductivity of $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ epitaxial films after irradiation by γ -quanta at doses $D_\gamma \leq 25\text{kGy}$ at $T_{sub}=300\text{K}$ and $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ epitaxial films by electron fluxes of $\Phi \leq 7 \cdot 10^{17}\text{cm}^{-2}$ at nitrogen temperature make it possible to create detectors of ionizing radiation on their basis.

It has been established that irradiation of epitaxial films also leads to a change in the optical parameters, the edge of intrinsic absorption is shifted, which affects the band gap. Thus, by changing both the manganese concentration and the irradiation dose, it is possible to control the properties of the samples.

The possibilities of creating photosensitive heterojunctions based on $n\text{-CdTe}/p\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ and $n\text{-Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}/p\text{-PbTe}_{1-x}\text{Se}_x$ epitaxial films are determined, which can be used as photoconverters, photodetectors and detectors of ionizing radiation.

Format 60x80 ¹/₁₆ 2,75 ş.ç.v.
AMEA-nın mətbəəsində çap olunub.
Sayı: 100 nüsxə.

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
RADİASİYA PROBLEMLƏRİ İNSTİTUTU**

Əlyazması hüququnda

MƏTANƏT ƏHMƏD qızı MEHRABOVA

**A^{II-IV}B^{VI} HALKOGENİDLƏRİNİN ELEKTRON QURULUŞU,
DEFEKTƏMƏLƏGƏLMƏ ENERJISI VƏ İONLAŞDIRICI
ŞÜALARIN ONLARIN FİZİKİ XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ**

**2225.01- Radiasiya materialşünaslığı
2220.01 - Yarımqeçiricilər fizikası**

Fizika üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

Bakı - 2018