

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ имени академика Г.М.АБДУЛЛАЕВА**

На правах рукописи

РАМИЗ ГАСЫМ оглу ВЕЛИЕВ

**ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
СОЕДИНЕНИЯХ $TiCr(Mn,Fe,Co,Ga,In)S_2(Se_2)$**

2220.01 - Физика полупроводников

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора наук по физике

БАКУ – 2016

Работа выполнена в Институте Физики имени академика Г.М.Абдуллаева Национальной Академии Наук Азербайджана

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук, проф. **Э.А. Эйвазов**

Доктор физико-математических наук, проф. **Э.М. Годжаев**

Доктор физико-математических наук, проф. **Т.М. Панахов**

Ведущая организация: Бакинский Государственный Университет, Институт физических проблем

Защита диссертации состоится «___» _____ 2016г. в «___» часов на заседании Диссертационного Совета D 01.011 при Институте Физики имени академика Г.М.Абдуллаева НАН Азербайджана

Адрес: Az-1143, г.Баку, пр. Г.Джавида 131
e-mail: director@physics.ab.az

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Физики имени академика Г.М. Абдуллаева НАН Азербайджана

Автореферат разослан «___» _____ 2016 года

Ученый секретарь
Диссертационного
Совета D 01.011
д.ф-м.н., профессор

Д.Г.Араслы

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Актуальность темы. Поиск и исследование сильноанизотропных (слоистых, цепочечных и слоисто-цепочечных) сегнетомагнитоактивных полупроводниковых соединений и сплавов является актуальной проблемой физики полупроводников, так как сильная анизотропия сил химической связи между атомными комплексами в низкосимметричной кристаллической структуре таких кристаллов, в некоторых случаях (структура содержит слоистые, цепочечные или и слоистые, и цепочечные построения) предопределяет специфические особенности (сегнетоэлектрики-полупроводники, политипизм, существенно влияющий на характер и температурное положение ФП, сосуществование соразмерного и несоизмерного ФП, сосуществование сегнето- и антисегнетоэлектрического ФП, слабое сегнетоэлектричество, существование в параэлектрической области сегнетоэлектрика солитонной решетки, электрентные состояния, суперионная проводимость, суперпарамагнетизм, полупроводниковые квазинизкоразмерные атомные магнитоупорядоченные структуры и влияние магнитного ФП на характер и тип проводимости в таких структурах). Благодаря перечисленным особенностям эти кристаллы становятся объектами для модельных представлений.

Сегнетомагнитоактивные сплавы, в которых сосуществуют сегнетоэлектрическое и магнитное упорядочения, проявляют магнитоэлектрический эффект, который отличается появлением дипольной поляризации при приложении магнитного поля и появлением намагниченности, когда к кристаллу прилагается электрическое поле. Отсюда следует, что исследование этого эффекта в сегнетомагнитоактивных кристаллах позволяет создать многофункциональные элементы в полупроводниковых приборах, в которых возможно будет управлять электрическими параметрами с помощью магнитного поля и магнитными параметрами посредством электрического поля.

Кроме того, при определенных молярных соотношениях сегнетоэлектрика и магнитоактивного (ферро-, антиферро-, ферри-) магнетика, на полевых зависимостях намагниченности гомогенных сегнетомагнитоактивных сплавов могут наблюдаться сегнетоферро- или сегнетоферромагнитный гистерезис и суперпарамагнитный гистерезис, т.е. в одном сплаве будут существовать два элемента памяти.

Магнитоактивные полупроводниковые соединения, в кристалло-

химическую формулу которых входят 3d-переходные химические элементы периодической системы Д.И. Менделеева, благодаря сочетанию в них магнитных и полупроводниковых свойств, находят широкое применение в фото- и магнитоэлектрических преобразователях, в электронно-вычислительных устройствах, в связи с чем привлекают внимание многих исследователей. Поиск новых сильноанизотропных полупроводниковых магнитоактивных соединений на основе халькогенидов 3d-металлов, в магнитном отношении обладающих различными природами магнитного ФП, способствует дальнейшему развитию теории магнитоупорядоченных халькогенидных полупроводников.

Исследование влияния магнитного ФП на характер и тип проводимости в спонтанно-намагниченных кристаллах является одной из центральных проблем в физике магнитных явлений в твердых телах, в частности, в полупроводниках. Эта проблема стала более значимой в связи с появлением сильноанизотропных (цепочечных и слоистых) магнитоупорядоченных соединений, в которых экспериментально обнаруживаются особенности, вытекающие из модели Изинга-Гейзенберга.

Цель диссертации заключалась в выявлении природы ФП и возможности сосуществования сегнетоэлектрического и магнитного ФП в системах $TlInS_2-TlCr(Mn,Fe,Co)S_2$, $TlGaSe_2-TlCr(Mn,Fe,Co)Se_2$, $TlGaSe_2-TlCr(Fe,Co)S_2$, $TlInS_2-TlFeSe_2$, а также установлении характера и типа проводимости в слоистых соединениях $TlCr(Mn,Co)S_2(Se_2)$ и влиянии магнитного ФП на них.

В качестве **объектов исследований** был выбран широкий круг кристаллов типа $TlMeX_2$ (где $Me=Cr, Mn, Fe, Co, Ga, In$; $X=S, Se$), обладающих низкосимметричной кристаллической структурой. Выбор объектов исследований, прежде всего, определяется тем, что к началу наших исследований для ряда соединений уже были накоплены некоторые экспериментальные данные, свидетельствующие о заметном влиянии особенностей кристаллической структуры на магнитные, диэлектрические, тепловые и электрические свойства этих кристаллов. Однако эти данные были неполны, иногда противоречивы, и не укладывались в рамки существующих модельных представлений, не был проведен систематический анализ полученных результатов, не учитывалась реальная кристаллическая структура вышеуказанных соединений, в которых при целенаправленном варьировании химического состава в одном

сплаве можно получить состояние сосуществования сегнетоэлектрического и магнитного ФП.

Основные задачи. Для достижения намеченной цели были поставлены и выполнены следующие задачи:

1. Провести измерения температурных зависимостей удельной намагниченности и магнитной восприимчивости слоистых соединений $\text{TlCr}(\text{Mn,Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$ в интервале температур 77-300К.

2. Провести систематический анализ имеющихся в литературе результатов экспериментальных исследований полупроводниковых сильноцепочечных антиферромагнетиков TlFeS_2 и TlFeSe_2 с учетом их реальной кристаллической структуры.

3. Выбрать методику исследований и изучить температурные зависимости коэффициентов электропроводности и термо-э.д.с. слоистых соединений $\text{TlCr}(\text{Mn,Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$ в интервале температур 77-400К.

4. Изучить температурные зависимости действительной части диэлектрической проницаемости монокристаллических образцов слоистых соединений TlInS_2 и TlGaSe_2 .

5. Методом ДТА исследовать диаграммы состояния систем TlInS_2 - $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{S}_2$, TlGaSe_2 - $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{Se}_2$, TlGaSe_2 - $\text{TlCr}(\text{Fe,Co})\text{S}_2$ и TlInS_2 - TlFeSe_2 .

Выполнение поставленных задач осуществлялось комплексом современных экспериментальных методов исследований с применением информационно-коммуникационных технологий.

Научная новизна проведенных исследований:

1. Установлено, что природа магнитного ФП в слоистых соединениях TlCrS_2 и TlCrSe_2 является квазидвумерно-ферромагнитной.

2. Выявлено, что поведение температурных зависимостей коэффициентов электропроводности и термо-э.д.с. TlCrS_2 , TlCrSe_2 , TlMnS_2 и TlMnSe_2 соответствует полупроводниковому характеру с р-типом проводимости.

3. Обнаружено влияние магнитного ФП на характер и тип проводимости в TlCrS_2 , TlCrSe_2 и выявлен механизм влияния подтверждающий квазидвумерно-ферромагнитную природу ФП в них.

4. Установлено, что природа магнетизма в слоистых соединениях TlMnS_2 и TlMnSe_2 является изотропно-трехмерной антиферромагнитной.

5. Проведенный анализ имеющихся в литературе результатов экспериментальных исследований сильноцепочечных полупроводников-

антиферромагнетиков TlFeS_2 , TlFeSe_2 , охватывающий шесть методик (статическая магнитная восприимчивость, магнитная нейтронография, низкотемпературная адиабатическая калориметрия, электронно-парамагнитный резонанс, электрофизическая методика и метод Мессбауэра), позволил заключить, что каждый из этих антиферромагнетиков обладает двумя температурами Нееля (T_{N3D} и T_{N1D}), характеризующими соответственно дальний (T_{N3D}) и ближний (T_{N1D}) магнитный порядок, при этом $T_{\text{N1D}} \gg T_{\text{N3D}}$. Квазиодномерное антиферромагнитное упорядочение в TlFeS_2 , TlFeSe_2 устанавливается между температурами T_{N3D} и T_{N1D} . Ниже T_{N3D} в $\text{TlFeS}_2(\text{Se}_2)$ имеет место трехмерное неколлинеарное антиферромагнитное упорядочение. Дано объяснение проявлению суперпарамагнитных свойств в окрестности одномерной температуры Нееля (T_{N1D}) квазиодномерных антиферромагнетиков TlFeS_2 и TlFeSe_2 .

6. Установлено, что природа магнитного ФП в слоистых соединениях TlCoS_2 и TlCoSe_2 является изотропно-трехмерной ферримагнитной.

7. Выявлено, что поведение температурных зависимостей коэффициентов электропроводности и термо.-э.д.с. TlCoS_2 соответствует полуметаллическому характеру.

8. Обнаружено влияние ферримагнитного ФП на характер и тип проводимости в TlCoS_2 и выявлен механизм влияния, подтверждающий изотропно-трехмерную ферримагнитную природу ФП в нем.

9. Методом ДТА в системах TlInS_2 - $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{S}_2$, TlGaSe_2 - $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{Se}_2$, TlGaSe_2 - $\text{TlCr}(\text{Fe,Co})\text{S}_2$, TlInS_2 - TlFeSe_2 определены области гомогенного и гетерогенного сосуществования сегнетоэлектрического и магнитного ФП.

Научно-практическая значимость проведенных исследований.

Результаты диссертации могут быть полезны при интерпретации магнитных и электронных эффектов в слоистых и цепочечных магнитоупорядоченных соединениях, объяснении магнитных явлений в квазинизкоразмерных магнитных системах. Квазидвумерные ферромагнетики TlCrS_2 и TlCrSe_2 могут быть базовыми материалами для спинтроники.

Спонтанно-намагниченные магнетики $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$ перспективны как базовые материалы для нанотехнологии, благодаря которой эти магнетики могут быть приведены в однодоменное состояние (ультрамелкие магнитные частицы) или в тонкие магнитные пленки. В однодоменном состоянии вышеперечисленные магнетики могут быть использованы в компьютерной технике.

Основные научные положения, выдвигаемые на защиту:

- исходя из слоистости кристаллической структуры соединений TlCrS_2 , TlCrSe_2 и основываясь на научных предпосылках модели Изинга-Гейзенберга, выявлена природа магнитного ФП изоструктурных слоистых соединений TlCrS_2 и TlCrSe_2 , оказавшаяся квазидвумерно-ферромагнитной;

- основываясь на экспериментально определенных температурных зависимостях коэффициентов электропроводности и термо-э.д.с. квазидвумерных ферромагнетиков TlCrS_2 и TlCrSe_2 , установлен полупроводниковый характер переноса заряда в них;

- обнаруженные аномалии на температурных зависимостях коэффициентов электропроводности и термо-э.д.с. квазидвумерных ферромагнетиков TlCrS_2 , TlCrSe_2 объясняются влиянием ферромагнитного ФП на характер и тип проводимости в этих соединениях, обосновывается механизм этого влияния;

- основываясь на научных положениях модели Изинга-Гейзенберга, на примере полупроводниковых квазиодномерных антиферромагнетиков TlFeS_2 и TlFeSe_2 , выдвигаются научные предположения о том, что для всех поликристаллических полупроводниковых антиферромагнетиков, обладающих в низкосимметричной кристаллической структуре цепочечными построениями, лишь тогда можно говорить об «одномерности» их атомной магнитной структуры (спиновой системы), когда температурная зависимость статической магнитной восприимчивости $\chi(T)$ имеет две температуры Нееля T_{N3D} и T_{N1D} , характеризующие соответственно дальний и ближний магнитный порядок, при этом должно выполняться условие $T_{N1D} \gg T_{N3D}$. На температурной зависимости теплоемкости таких антиферромагнетиков, исследованной в адиабатическом калориметре, должна наблюдаться аномалия с явным отклонением от λ -типа. Величина экспериментального эффективного магнитного момента квазиодномерного антиферромагнетика должна быть меньше его теоретического значения. На температурной зависимости коэффициента термо-э.д.с. полупроводниковых квазиодномерных антиферромагнетиков температурная область изменения знака носителей заряда должна совпадать с выявленной из зависимости $\chi(T)$ температурной областью T_{N1D} , т.е. должно иметь место влияние ближнего магнитного порядка на перенос заряда в таких антиферромагнетиках. Наконец, в месбауэровских спектрах в окрестности температуры

T_{NID} будут проявляться особенности, характеризующие суперпарамагнитные свойства квазиодномерных антиферромагнетиков;

- интерпретация экспериментальных результатов, свидетельствующих об антиферромагнитной природе обменного взаимодействия в слоистых соединениях TlMnS_2 и TlMnSe_2 , проведена на основе их кристаллической структуры, которую можно представить как последовательно чередующиеся слои ионов - $\text{S}^{2-}(\text{Se}^{2-})$ - Tl^{1+} - $\text{S}^{2-}(\text{Se}^{2-})$ - Mn^{3+} - $\text{S}^{2-}(\text{Se}^{2-})$ -, параллельные базисной плоскости и перпендикулярные кристаллографической оси \bar{c} . В слоях, содержащих ионы Mn^{3+} , вследствие прямого обменного взаимодействия между ионами марганца, осуществляется ферромагнитное упорядочение, т.е. слои ионов Mn^{3+} представляют собой двумерные ферромагнетики. Между собой эти слои связаны более слабыми, вследствие косвенного обменного взаимодействия между ионами марганца, силами антиферромагнитного типа. Сосуществование двух обменных взаимодействий – ферромагнитного (внутри слоев) и антиферромагнитного (между слоями) приводит к результирующему антиферромагнитному обменному взаимодействию в TlMnS_2 и TlMnSe_2 ;

- основываясь на температурных зависимостях коэффициентов электропроводности и термо-э.д.с. антиферромагнетиков TlMnS_2 и TlMnSe_2 , установлен их полупроводниковый характер с p-типом проводимости;

- интерпретация экспериментальных результатов, свидетельствующих о ферромагнитной природе обменного взаимодействия в слоистых соединениях TlCoS_2 и TlCoSe_2 , проведена на основе их кристаллической структуры, которую можно представить как последовательно чередующиеся слои ионов - $\text{S}^{2-}(\text{Se}^{2-})$ - Tl^{1+} - $\text{S}^{2-}(\text{Se}^{2-})$ - Co^{3+} - $\text{S}^{2-}(\text{Se}^{2-})$ -, параллельные базисной плоскости и перпендикулярные кристаллографической оси \bar{c} . В слоях, содержащих ионы Co^{3+} , вследствие прямого обменного взаимодействия между ионами кобальта, осуществляется ферромагнитное упорядочение, т.е. слои ионов Co^{3+} представляют собой двумерные ферромагнетики. Между собой эти слои связаны более слабыми, вследствие косвенного обменного взаимодействия между ионами кобальта, силами антиферромагнитного типа. Сосуществование двух обменных взаимодействий – ферромагнитного (внутри слоев) и антиферромагнитного (между слоями) приводит к результирующему ферромагнитному обменному взаимодействию в TlCoS_2 и TlCoSe_2 ;

- основываясь на температурных зависимостях коэффициентов

электропроводности и термо-э.д.с. ферримагнетика TlCoS_2 , в нем установлен полуметаллический характер проводимости;

- выявленные на температурных зависимостях коэффициентов электропроводности и термо-э.д.с. ферримагнетика TlCoS_2 особенно объясняются влиянием ферримагнитного ФП на характер и тип проводимости в TlCoS_2 с обоснованием механизма влияния;

- на основе научных положений метода ДТА выявлены **контуры научного направления** диссертационной работы «Фазовые переходы (упорядоченные состояния) и их сосуществование в системах TlInS_2 - $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{S}_2$, TlGaSe_2 - $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{Se}_2$, TlGaSe_2 - $\text{TlCr}(\text{Fe,Co})\text{S}_2$, TlInS_2 - TlFeSe_2 ».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 37 научных работ, из них 28 статей (в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Азербайджанской Республики -10 статей) и 9 материалов конференций. Количество публикаций с моноавторством – 8.

Апробация работы. Основные материалы диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях: XII и XIII Международных конференциях «Тройные и многокомпонентные соединения» (Тайвань, 2000г., Франция, 2002г.), Международной конференции «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах» (Россия, 2002г.), V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (Россия, 2005г.), III Международной конференции технических и физических проблем энергетики (Турция, 2006г.), Республиканской конференции «Современные проблемы физики металлов» (Азербайджан, 2006г.), Международных научных конференциях «Актуальные проблемы физики твердого тела» (Белоруссия, 2009г. и 2013г), III Республиканской конференции «Современные проблемы физики» (Азербайджан, 2009г.).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, основных результатов и выводов, изложена на 291 странице, включая 73 рисунка, 5 таблиц и список цитируемой литературы из 190 наименований.

Первая глава носит обзорный характер по физическим свойствам соединений $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co,Ga,In})\text{S}_2(\text{Se}_2)$, обладающих низкосимметричной кристаллической структурой. При этом в основном рассматривались те публикации, в которых экспериментальные результаты объяснялись с

учетом отличительных особенностей кристаллической структуры соединений $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co,Ga,In})\text{S}_2(\text{Se}_2)$. Как видно из приведенного обзора, тройные дисульфиды и диселениды $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co,Ga,In})\text{S}_2(\text{Se}_2)$ представляют собой обширный класс сильноанизотропных (слоистых, цепочечных и слоисто-цепочечных) соединений с физическими свойствами, охватывающими почти всю современную физику твердого тела. В частности, среди них имеются: сегнетоэлектрики–полупроводники (TlInS_2 , TlGaSe_2); политипизм, существенно влияющий на характер и температурное положение ФП (TlInS_2 , TlGaSe_2); сосуществование сегнето- и антисегнетоэлектрического ФП (TlInS_2 , TlGaSe_2); слабое сегнетоэлектричество (TlInS_2 , TlGaSe_2); ферромагнетики-полупроводники (TlCrS_2 , TlCrSe_2); ферримагнетики [TlCoS_2 - полуметалл, TlCoSe_2 - металлический ход зависимости $\sigma_3(T)$]; антиферромагнетики-полупроводники (TlMnS_2 , TlMnSe_2 , TlFeS_2 , TlFeSe_2); интеркалирование ($\text{TlGaS}_2\langle\text{Li}^+\rangle$); полупроводниковые квазинизкоразмерные магнитноупорядоченные соединения (TlCrS_2 , TlCrSe_2 , TlFeS_2 , TlFeSe_2); суперионная проводимость (TlInSe_2); суперпарамагнетизм (TlFeS_2 , TlFeSe_2); электретные состояния (TlGaSe_2); неупорядоченные структуры (параэлектрическое и парамагнитное состояния в TlInS_2 , TlGaSe_2 и TlCrS_2 , TlCrSe_2 , TlMnS_2 , TlMnSe_2 , TlFeS_2 , TlFeSe_2 , TlCoS_2 , TlCoSe_2 соответственно); существование в параэлектрической области сегнетоэлектрика солитонной решетки (TlInS_2).

Однако, при целенаправленном варьировании химического состава вышеуказанных соединений, в одном сплаве можно получить состояние сосуществования сегнетоэлектрического и магнитного ФП (сегнетомагнетики).

Из вышеизложенного резюме обзорной главы логически вытекает **научное направление** диссертационной работы «Фазовые переходы (упорядоченные состояния) и их сосуществование в системах $\text{TlInS}_2\text{-TlCr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{S}_2$, $\text{TlGaSe}_2\text{-TlCr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{Se}_2$, $\text{TlGaSe}_2\text{-TlCr}(\text{Fe,Co})\text{S}_2$, $\text{TlInS}_2\text{-TlFeSe}_2$ ».

Во второй главе, прежде всего, излагаются принципы поиска новых полупроводников-аналогов. Поиск новых полупроводников, как правило, ведется в направлении расширения кристаллоструктурной группы известных полупроводников. Такой подход привлекателен тем, что строгие закономерности в изменениях важнейших физических параметров полупроводников, необходимые для управления ими, имеют место в рамках

конкретной кристаллической структуры. Предлагаются некоторые рациональные пути поиска сложных полупроводников-аналогов.

Усложнение химического состава соединения, в рамках определенного кристаллоструктурного типа, часто приводит к появлению новых особенностей сложных фаз, которые существенно дополняют теоретические основы физики твердого тела. Свидетельство этого – резюме обзорной главы по физическим свойствам сложных соединений $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co,Ga,In})\text{S}_2(\text{Se}_2)$, обладающих низкосимметричной кристаллической структурой.

Далее во второй главе излагается эффективный способ получения сложных соединений с летучими компонентами, разработанный в применении к тугоплавким халькогенидам элементов I, II и III групп, а также 3d- и 4f-групп металлов периодической системы химических элементов (метод высокотемпературного синтеза).

Каждый синтезированный сплав должен быть исследован методом ДТА, поэтому во второй главе также излагаются научные основы исследования индивидуальных двухкомпонентных сплавов и построения диаграмм состояния. Описывается режим получения, термо- и рентгенографический анализы кристаллов $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$ и TlInS_2 , TlGaSe_2 . Следует отметить, что атомная магнитная структура спонтанно-намагниченного кристаллического соединения формируется его кристаллической структурой, поэтому первостепенную важность приобретают рентгенографические исследования: определение типа кристаллической структуры, сингонии (системы) и параметров элементарной ячейки (ЭЯ) кристаллической решетки, которые в совокупности позволили бы предположить, к какой – слоистой или цепочечной структуре может быть отнесен конкретный кристалл типа TlMeX_2 , где Me – 3d-металл; X=S, Se, Te.

Известно, что кристаллическая структура твердого тела имеет 230 пространственных групп симметрии (ПГС), а атомная упорядоченная магнитная структура – 1751 ПГС, т.е. атомная магнитная структура (спиновая система) спонтанно-намагниченного кристаллического твердого тела в достаточной степени свободна от кристаллической структуры, хотя и формируется ею.

Выращивание монокристаллов слоистых соединений TlGaSe_2 и TlInS_2 производилось из поликристаллических слитков, помещенных в

специальные кварцевые ампулы с оттянутым в виде конуса дном с целью уменьшения количества центров кристаллизации. Ампулы после откачки воздуха до остаточного давления $\sim 10^{-3}$ Па запаивались и выращивание осуществлялось методом Бриджмена со скоростью передвижения фронта кристаллизации ~ 1 мм/час. Монокристаллы TlGaSe_2 и TlInS_2 были, соответственно, красно-рубинового и оранжево-желтого цвета и легко скалывались по плоскости спайности.

В третьей главе описываются примененные экспериментальные методы измерения намагниченности, парамагнитной восприимчивости, электропроводности, коэффициента термо-э.д.с. поликристаллических образцов $\text{TlCr}(\text{Mn},\text{Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$ и действительной части диэлектрической проницаемости монокристаллических образцов TlInS_2 и TlGaSe_2 .

Для исследования температурной зависимости намагниченности образцов, специально подготовленных из синтезированных соединений $\text{TlCr}(\text{Mn},\text{Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$, применялся маятниковый магнитометр типа Доменикалли, позволяющий проводить измерения намагниченности образцов в широком температурном интервале. При этом в межполюсном пространстве электромагнита за счет разного диаметра полюсов создается градиент магнитного поля с цилиндрической симметрией. Чтобы градиент был постоянным, полюсный наконечник большего диаметра имеет сферическую выемку. Градиент магнитного поля в межполюсном пространстве остается постоянным вне зависимости от напряженности поля. В главе подробно описывается устройство магнитометра с его составными частями, и излагаются основные физические принципы работы маятникового магнитометра.

Исследования температурной зависимости парамагнитной восприимчивости синтезированных соединений $\text{TlCr}(\text{Mn},\text{Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$ проводились методом Фарадея на магнитоэлектрических весах. Суть метода Фарадея заключается в измерении механической силы, действующей на образец в неоднородном магнитном поле. Вследствие того, что градиент магнитного поля в направлении, перпендикулярном направлению магнитного поля неизвестен, то определение абсолютной величины магнитной восприимчивости образца, специально подготовленного из синтезированного магнетика, вытекает из сравнения силы, действующей на исследуемый образец и силы, действующей на эталонный образец с известной восприимчивостью. Для измерения силы, действующей на образец в

магнитном поле, использовались магнитоэлектрические весы, основанные на принципе автокомпенсации. В главе приводится общий вид и электрическая схема установки для измерения парамагнитной восприимчивости синтезированных соединений $\text{TlCr}(\text{Mn},\text{Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$.

Подробно рассмотрены факторы, определяющие погрешность при измерении намагниченности и парамагнитной восприимчивости. При минимальной массе 10^{-5} кг для веществ с высокой намагниченностью максимальная относительная ошибка будет приблизительно 1%, и она уменьшается линейно при увеличении массы исследуемого образца. Точность измерений на маятниковом магнитометре достаточно высокая, особенно в области низких температур. Относительная ошибка измерений абсолютных значений парамагнитной восприимчивости $\sim 3\%$.

Измерения электропроводности и коэффициента термо-э.д.с. магнитоактивных соединений $\text{TlCr}(\text{Mn},\text{Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$ проводились зондовым методом по компенсационной схеме при постоянном токе. Экспериментальные образцы имели форму прямоугольного параллелепипеда, омические контакты наносились электролитическим осаждением меди на торцах образцов. Погрешность при определении величины электропроводности синтезированных магнитоупорядоченных соединений $\text{TlCr}(\text{Mn},\text{Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$ не превышала 2%, а коэффициента термо-э.д.с. -4%.

В главе также подробно описывается экспериментальная установка, на которой исследовалась температурная зависимость действительной части диэлектрической проницаемости монокристаллических образцов слоистых соединений TlGaSe_2 и TlInS_2 . Заготовки для образцов вырезались из монокристаллического слитка с помощью алмазной пилы и представляли собой прямоугольные параллелепипеды с гранями, ориентированными по кристаллографическим направлениям. Плоскопараллельность граней и доводка их до оптического качества поверхности осуществлялись шлифовкой образцов с помощью алмазных порошков с различным диаметром зерен. Грани полярного среза, перпендикулярные монокристаллическим слоям TlGaSe_2 и TlInS_2 , покрывались электропроводящей серебряной пастой. Электроды наносились на поверхность указанных граней после предварительного обезжиривания их ацетоном, а затем и спиртом-ректификатором. Действительная часть диэлектрической проницаемости образцов вычислялась

по формуле плоского конденсатора с учетом паразитной емкости установки ~ 6 пф. Чувствительность измерения емкости составляет $\sim 0,01$ пф, а температуры $0,01$ К. Погрешность, допускаемая методикой, не превышает $0,1\%$. Учитывается только емкостная часть погрешности (эту величину автоматически выдает прибор Е7-8).

Четвертая глава начинается с рассмотрения теоретических предпосылок проявления низкоразмерного эффекта в магнитных системах. Если уменьшать размеры ферромагнитного образца, дробя его в мелкий порошок, то размеры его частиц постепенно могут стать соизмеримыми с равновесными размерами домена. Основной причиной этого является то, что при уменьшении размеров частицы удельный вес поверхностной энергии граничных слоев между доменами возрастает, и она становится сравнимой или даже больше, чем объемная энергия собственного магнитного поля образца, лишенного магнитной структуры областей с замкнутым магнитным потоком. Таким образом, в результате дробления материала наступает такой момент, когда весь объем образца занимает один домен, а это означает, что возникает однодоменное состояние, т.е. частица превращается в миниатюрный постоянный магнит.

При уменьшении размеров однодоменных частиц и при сохранении в них самопроизвольной намагниченности (если температура остается ниже точки Кюри) начинает расти вероятность тепловых флуктуаций в направлениях магнитного момента \vec{M} частицы. Тепловые флуктуации магнитного момента \vec{M} становятся весьма вероятными, когда средняя тепловая энергия $k_B T$ делается сравнимой или большей энергии магнитной анизотропии $k_{\text{эфф}} V$, где $k_{\text{эфф}}$ – константа суммарной магнитной анизотропии, а V – объем частицы. В типичных ферро- или ферри-магнитных веществах тепловые флуктуации становятся заметными в частицах, линейные размеры которых меньше, чем $5-10$ нм. Совокупности таких частиц ведут себя по отношению к воздействию внешнего магнитного поля и температуры подобно парамагнитному газу молекул с той лишь разницей, что в газе в результате тепловых флуктуаций (столкновений) изменяют ориентацию сами молекулы вместе со своими магнитными моментами, а однодоменные частицы остаются неподвижными, меняется лишь ориентация их магнитного момента \vec{M} под действием тепловых флуктуаций. Несмотря на это различие, эффект в

обоих случаях оказывается качественно одинаковым, поэтому и ввели особый термин «суперпарамагнетизм» для поведения систем однодоменных частиц в магнитном поле (при выполнении условия $k_B T \geq k_{\text{эфф}} V$). В суперпарамагнетиках элементарными носителями магнетизма являются не отдельные молекулы, а их совокупности – макрочастицы, содержащие до 10^3 - 10^6 атомов. В суперпарамагнитном состоянии в системе однодоменных магнитных частиц возникает неустойчивость ее намагниченности, при этом магнитные моменты атомов остаются параллельными друг другу, а вектор суммарного магнитного момента \vec{M} системы флуктуирует вдоль направления легчайшего намагничивания. Поэтому ультрамелкие магнитные частицы могут перемагничиваться даже в отсутствие внешнего магнитного поля, так как тепловая энергия становится сравнимой по величине с энергией магнитной анизотропии, удерживающей суммарный вектор магнитного момента системы ультрамелких магнитных частиц в направлении легчайшего намагничивания. Неель выявил, что ультрамелкие частицы антиферромагнетиков (~5нм) также обладают особыми магнитными свойствами, похожими на суперпарамагнетизм, поскольку в них происходит нарушение полной компенсации моментов магнитных подрешеток, и они ведут себя при этом как ультрамелкие ферромагнитные частицы в состоянии суперпарамагнетизма.

В настоящее время уделяется большое внимание изучению микромагнитной структуры (равновесного распределения намагниченности) низкоразмерных магнитных систем, особенность которых состоит в том, что один их размер лежит в нанометрическом диапазоне. Одним из примеров низкоразмерных магнитных систем являются тонкие магнитные пленки (ТМП), толщина которых значительно меньше, чем два других их размера. В ТМП проявляются отличительные особенности в виде нарушения трансляционной симметрии в одном из направлений. Это сопровождается появлением ряда присущих только этим системам магнитных явлений. Например, в тонких ферромагнитных пленках (ТФМП) наблюдается изменение доменной структуры и структуры доменных границ, граничные слои которых пронизывают всю толщину пленки. Характер магнитной структуры ТФМП существенно отличен от такового в массивных образцах. Имеются различные способы получения ТФМП. Наиболее распространенным является метод напыления в вакууме.

В последние годы интерес к изучению квазинизкоразмерных магнитных систем усилился в связи с тем, что были синтезированы магнитоактивные соединения, которые можно рассматривать как аналоги модельных низкоразмерных магнитных систем. Физические свойства реальных сильноанизотропных магнитоактивных кристаллов существенно зависят от размерности их атомной упорядоченной магнитной структуры (спиновой системы) и могут быть описаны в рамках модельных теорий. Модель Изинга гласит, что идеальная одномерная магнитная система не имеет спонтанной намагниченности при температуре $T > 0\text{K}$, т.е. при ненулевых температурах магнитное упорядочение в одномерной магнитной системе существовать не может. Формально дальний магнитный порядок в такой системе устанавливается только при температуре 0K . В двумерной модели Изинга возможен ФП в магнитоупорядоченное состояние при $T > 0\text{K}$. По модели же Гейзенберга в идеальных одномерной и двумерной магнитных системах при $T > 0\text{K}$ не может быть спонтанной намагниченности.

Однако, как показывают экспериментальные исследования, реальные магнитоупорядоченные кристаллы, в низкосимметричной кристаллической структуре которых могут быть выделены одномерные или двумерные построения из близко расположенных парамагнитных ионов, при понижении температуры всегда переходят в трехмерное магнитоупорядоченное состояние. Причиной этого перехода является отклонение от принятой в моделях идеальности, которое обусловлено присутствием слабого, но конечного обменного взаимодействия между цепочками или плоскостями. Поведение квазинизкомерных спиновых систем (атомных магнитных структур) в высокотемпературной парамагнитной области, в окрестности магнитного ФП и в области низких температур имеет специфические особенности, резко отличающие их от поведения изотропно-трехмерных спиновых систем. Например, на температурной зависимости теплоемкости квазинизкоразмерных атомных магнитных структур (спиновых систем), исследованных в адиабатическом калориметре, наблюдается аномалия с явным отклонением от λ – типа. Этот экспериментальный факт предопределяет заметно большее по величине значение парамагнитной температуры Кюри (T_c^p) квазидвумерного ферромагнетика по сравнению с температурой ферромагнитного ФП (T_c), определенной из температурной зависимости намагниченности (специ-

фическая особенность в окрестности ферромагнитного ФП квазидвумерного ферромагнетика). Для изотропно-трехмерных ферромагнетиков различие между температурами, характеризующими дальний и ближний магнитный порядок, невелико и составляет 3-5% от температуры, характеризующей ближний магнитный порядок. Температурная зависимость магнитной восприимчивости квазинизкоразмерного антиферромагнетика в парамагнитной области температур характеризуется наличием широкого максимума, который определяет сильно развитый ближний магнитный порядок при $T_{\max} \gg T_{N3D}$ (T_{N3D} — трехмерная температура Нееля, характеризующая дальний магнитный порядок квазинизкоразмерного антиферромагнетика).

С понижением температуры, когда начинают играть роль корреляции между спинами, находящимися в различных цепочках или плоскостях, поведение квазинизкоразмерного антиферромагнетика становится трехмерным и наблюдается переход в трехмерное антиферромагнитное состояние. Трехмерная температура Нееля T_{N3D} определяется по экспериментальным температурным зависимостям магнитной восприимчивости $\chi(T)$ как температура, при которой производная $d\chi/dT$ максимальна. В квазинизкомерных антиферромагнетиках T_{N3D} всегда меньше $T_{N1D}(T_{\max})$, характеризующей ближний магнитный порядок в квазиодномерных антиферромагнетиках и всегда меньше $T_{N2D}(T_{\max})$, характеризующей ближний магнитный порядок в квазидвумерных антиферромагнетиках. Эта разница увеличивается при снижении размерности антиферромагнитной структуры (с уменьшением J'), т.е. при приближении антиферромагнитной системы к идеальной. Отметим, что квазиодномерное или квазидвумерное антиферромагнитное упорядочение устанавливается между температурами T_{N3D} и T_{N1D} или T_{N3D} и T_{N2D} , а ниже T_{N3D} в обоих случаях имеет место трехмерное неколлинеарное антиферромагнитное упорядочение. При этом $T_{N3D} \ll T_{N1D}$ или $T_{N3D} \ll T_{N2D}$.

Надо отметить, что благодаря отличительным особенностям кристаллической структуры, полупроводниковые квазиодномерные антиферромагнетики $TiFeS_2$, $TiFeSe_2$ в данное время по своим магнитным свойствам наиболее близки к идеальным одномерным магнитным системам. Каждый из этих антиферромагнетиков обладает двумя температурами Нееля (T_{N3D} и T_{N1D}), характеризующими соответственно дальний (T_{N3D}) и ближний (T_{N1D}) магнитный порядок, при этом $T_{N1D} \gg T_{N3D}$. Квазиодномерное антиферромагнитное упорядочение в $TiFeS_2$, $TiFeSe_2$

устанавливается между температурами T_{N3D} и T_{N1D} . Ниже T_{N3D} в обоих соединениях имеет место трехмерное неколлинеарное антиферромагнитное упорядочение. Это обстоятельство позволяет заключить, что в квазидвумерных антиферромагнетиках $TiFeS_2$ и $TiFeSe_2$ существуют широкие температурные интервалы транспорта магнитоупорядоченных спинов (спинтроника).

Проведенные нами экспериментальные исследования температурных зависимостей удельной намагниченности и парамагнитной восприимчивости изоструктурных слоистых соединений $TiCrS_2$, $TiCrSe_2$ позволили сделать вывод, что природа магнитного фазового перехода в этих соединениях является квазидвумерно-ферромагнитной. Об этом свидетельствуют магнитные характеристики $TiCrS_2$, $TiCrSe_2$. Различие между температурами, характеризующими дальний (T_C) и ближний (T_C^P) магнитный порядок, в $TiCrS_2$ и $TiCrSe_2$ достаточно большое, и составляет $\sim 20\%$ и $\sim 15\%$ от T_C^P , соответственно. Эта специфическая особенность в окрестности ферромагнитного ФП $TiCrS_2$ и $TiCrSe_2$ соответствует модели Изинга-Гейзенберга для квазидвумерных ферромагнитных систем. Для изотропно-трехмерных ферромагнетиков различие между температурами, характеризующими дальний и ближний магнитный порядок, невелико и составляет 3-5% от температуры, характеризующей ближний магнитный порядок. Рассчитанные из парамагнитной области магнитной восприимчивости $TiCrS_2$ и $TiCrSe_2$ экспериментальные эффективные магнитные моменты оказались равными $3,26\mu_B$ и $3,05\mu_B$, соответственно. Достаточно большое отклонение $\mu_{эфф}^{эксп}$ $TiCrS_2$ и $TiCrSe_2$ от теоретического значения $\mu_{эфф}^{теор} = 3,85\mu_B$ также указывает на наличие квазидвумерного ферромагнитного упорядочения в парамагнитной области слоистых ферромагнетиков $TiCrS_2$ и $TiCrSe_2$, т.к. $\mu_{эфф}^{эксп}$ рассчитывалось из парамагнитной области $TiCrS_2$ и $TiCrSe_2$, где ферромагнитная структура (спиновая система) обоих соединений находится в разупорядоченном (хаотическом) состоянии, и поэтому при проявлении квазидвумерного упорядочения в парамагнитной области ферромагнетиков $TiCrS_2$, $TiCrSe_2$ величины $\mu_{эфф}^{эксп}$ должны быть меньше $\mu_{эфф}^{теор}$.

В четвертой главе приводятся также результаты магнитных исследований слоистых соединений $TiMnS_2(Se_2)$ и $TiCoS_2(Se_2)$, которые позволили установить природу магнитных ФП в этих соединениях, соответственно антиферромагнитную и ферримагнитную.

Пятая глава посвящена электрическим свойствам магнитоупорядоченных соединений $TiCr(Mn,Co)S_2(Se_2)$. Перенос заряда в реальных кристаллических соединениях осуществляется через зонные электронные энергетические состояния (зонная теория твердого тела), возникающие в кристаллах вследствие отклонения их структуры от идеальности (наличие врожденных структурных дефектов, дислокаций, неконтролируемых примесей), т.е. нарушения периодичности кристаллической решетки приводят к появлению электронных энергетических уровней в запрещенной зоне полупроводника или диэлектрика. Соответствующие этим уровням волновые функции быстро убывают с расстоянием, т.е. описывают состояние электрона, локализованного в непосредственной близости от дефекта решетки. Для металлов, где существенны электронные переходы в пределах одной зоны (валентной), дефекты решетки служат дополнительными центрами рассеяния электронов и влияют только на подвижность свободных носителей заряда, т.е. в экспериментальных образцах с металлическим температурным характером проводимости проявляется слабая (протяженная) локализация в процессе переноса заряда. В диэлектриках же и кристаллах с полупроводниковым характером проводимости проявляется сильная локализация. При этом перенос заряда осуществляется путем прыжков носителей заряда между локализованными состояниями, энергетически расположенными в запрещенной зоне.

Исследование температурных зависимостей электрических параметров: коэффициентов электропроводности (σ_3), термо-э.д.с. (S) и Холла (R) кристаллических экспериментальных образцов необходимо для получения информации о характере электропроводимости, о типе носителей заряда, их подвижности, концентрации. Кроме того, исследование электрических свойств низкосимметричных кристаллических структур, в которых имеются слоистые или цепочечные построения, весьма актуальны, т.к. их электрические свойства будут существенно зависеть от основных (базовых) кристаллографических направлений. Особенно актуальны исследования температурных зависимостей электрических параметров слоистых и цепочечных магнитоупорядоченных

полупроводниковых кристаллов, обладающих различной природой магнитного ФП, где возможно влияние магнитного ФП на характер и тип проводимости в таких магнетиках, т.е. весьма актуально выявление механизма взаимодействия магнитной и электронной подсистем кристаллической структуры конкретного слоистого или цепочечного полупроводникового спонтанно-намагниченного магнетика, как в произвольном, так и в основных кристаллографических направлениях.

Четырехзондовым компенсационным методом изучены температурные зависимости электропроводности и коэффициента термо-э.д.с. слоистых соединений $\text{TlCr}(\text{Mn,Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$ в интервале температур 77-400К.

Выявлено, что характер температурной зависимости электропроводности изоструктурных соединений TlCrS_2 и TlCrSe_2 является полупроводниковым с p-типом проводимости. На температурной зависимости электропроводности TlCrSe_2 наблюдается аномалия и отсутствие таковой на температурной зависимости электропроводности TlCrS_2 . На температурной зависимости коэффициента термо-э.д.с. TlCrS_2 наблюдается аномалия и отсутствие таковой на температурной зависимости коэффициента термо-э.д.с. TlCrSe_2 . Эти аномалии объясняются влиянием ферромагнитного ФП на характер и тип проводимости в квазидвумерных ферромагнетиках TlCrS_2 , TlCrSe_2 и выдвигается механизм этого влияния. Выявлено, что характер температурной зависимости электропроводности TlMnS_2 и TlMnSe_2 является полупроводниковым, а TlCoS_2 и TlCoSe_2 соответственно полуметаллическим и металлическим. На температурных зависимостях как электропроводности, так и коэффициента термо-э.д.с. TlCoS_2 наблюдается аномалия, которая объясняется влиянием ферромагнитного ФП на характер и тип проводимости в ферромагнетике TlCoS_2 . При этом температура (~115К), при которой наблюдается аномалия, лежит в интервале температур существования ближнего магнитного порядка ферромагнетика TlCoS_2 , т.е. во флуктуационной области перехода TlCoS_2 из ферромагнитного упорядочения в парамагнитное состояние. Это обстоятельство позволяет утверждать, что природа магнитного ФП в TlCoS_2 является изотропно-трехмерной ферромагнитной. Следует отметить, что электрические и магнитные исследования соединения TlCoS_2 обнаруживают хорошее согласие.

В шестой главе приведены температурные зависимости действительной части диэлектрической проницаемости слоистых соединений TlInS_2 и TlGaSe_2 , которые выявили, что эти соединения являются

сегнетоэлектриками с температурами Кюри, равными соответственно $\sim 202,4\text{К}$ и $\sim 114\text{К}$. Ставится проблема сосуществования сегнетоэлектрического (TlInS_2 , TlGaSe_2) и квазидвумерно-ферромагнитного (TlCrS_2 , TlCrSe_2); сегнетоэлектрического (TlInS_2 , TlGaSe_2) и антиферромагнитного (TlMnS_2 , TlMnSe_2); сегнетоэлектрического (TlInS_2 , TlGaSe_2) и квазиодномерно-антиферромагнитного (TlFeS_2 , TlFeSe_2); сегнетоэлектрического (TlInS_2 , TlGaSe_2) и ферромагнитного (TlCoS_2 , TlCoSe_2) упорядоченных состояний.

Для решения поставленной физической проблемы необходимо было, прежде всего, методом ДТА определить молярные области гомогенного и гетерогенного сосуществования перечисленных упорядочений в системах $\text{TlInS}_2\text{-TlCr(Mn,Fe,Co)S}_2$, $\text{TlGaSe}_2\text{-TlCr(Mn,Fe,Co)Se}_2$, $\text{TlGaSe}_2\text{-TlCr(Fe,Co)S}_2$, $\text{TlInS}_2\text{-TlFeSe}_2$, что и было произведено. Тем самым были выявлены **контуры научного направления** диссертационной работы «Фазовые переходы (упорядоченные состояния) и их сосуществование в системах $\text{TlInS}_2\text{-TlCr(Mn,Fe,Co)S}_2$, $\text{TlGaSe}_2\text{-TlCr(Mn,Fe,Co)Se}_2$, $\text{TlGaSe}_2\text{-TlCr(Fe,Co)S}_2$, $\text{TlInS}_2\text{-TlFeSe}_2$ ».

Следует отметить, что лаборатория «Кристаллофизика» Института Физики НАН Азербайджана сотрудничает с Научно-практическим центром по материаловедению НАН Белоруссии. В 2013 году была опубликована совместная статья: Шелег А.У., Чумак В.А., Гуртовой В.Г., Лобановский Л.С., Мустафаева С.Н., Керимова Э.М. Кристаллографические и магнитные характеристики твердых растворов системы $\text{Tl(InS}_2)_{1-x}(\text{FeSe}_2)_x$ // Вестн НАН Беларуси, серия физика-математических наук, 2013, №4, с.38-42. Авторы данной работы исследовали температурную зависимость намагниченности твердых растворов $(\text{TlInS}_2)_{1-x}(\text{TlFeSe}_2)_x$, $0,005 \leq x \leq 0,01$, отмечая, что с увеличением содержания ионов железа в твердых растворах намагниченность экспериментальных образцов увеличивается при низких температурах. Результаты своих исследований авторы объясняют неконтролируемыми стехиометрическими отклонениями химического состава образцов. По нашему мнению, причина увеличения намагниченности твердых растворов при низких температурах заключается в следующем: по мере увеличения молярного содержания квазиодномерного антиферромагнетика TlFeSe_2 в базовом сегнетоэлектрике TlInS_2 , в нем формируется однодоменная система антиферромагнетика TlFeSe_2 . В доменах возможны нарушения компенсации магнитных моментов, и в этом случае домены ведут себя

как ультрамелкие ферромагнитные частицы в состоянии суперпарамагнетизма. Именно это обстоятельство приводит к увеличению намагниченности твердых растворов. К сожалению, авторами указанной статьи не были проведены магнитные исследования твердого раствора $(\text{TlInS}_2)_{1-x}(\text{TlFeSe}_2)_x$, где $x=0,015$, хотя кристаллографические характеристики этого состава в работе приводятся. По нашему мнению, магнитные исследования образцов $(\text{TlInS}_2)_{1-x}(\text{TlFeSe}_2)_x$, где $x \geq 0,015$, показали бы при низких температурах сегнетоферромагнитный гистерезис, а выше комнатной температуры - суперпарамагнитный гистерезис.

Следует отметить, что в изучаемых нами твердых растворах на полевых зависимостях намагниченности также будут наблюдаться два гистерезиса. Например, в твердых растворах $(\text{TlInS}_2)_{1-x}(\text{TlCrS}_2)_x$ и $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlCrSe}_2)_x$, где $x \leq 0,02$, при низких температурах - сегнетоферромагнитный, а выше комнатной - суперпарамагнитный гистерезис. А в твердых растворах $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlMnSe}_2)_x$, $(\text{TlInS}_2)_{1-x}(\text{TlFeSe}_2)_x$, $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlFeSe}_2)_x$, $(\text{TlInS}_2)_{1-x}(\text{TlCoS}_2)_x$, $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlCoSe}_2)_x$, где $x \leq 0,02$, при низких температурах - сегнетоферромагнитный, а выше комнатной - суперпарамагнитный гистерезис.

Кроме того, и на полевых зависимостях намагниченности твердых растворов с двойным замещением, т.е. как катион-катионным, так и анион-анионным, будут наблюдаться два гистерезиса. В $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlCrS}_2)_x$, где $x \leq 0,02$, при низких температурах - сегнетоферромагнитный, а выше комнатной - суперпарамагнитный гистерезис. В $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlFeS}_2)_x$, $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlCoS}_2)_x$ и $(\text{TlInS}_2)_{1-x}(\text{TlFeSe}_2)_x$, где $x \leq 0,02$, при низких температурах - сегнетоферромагнитный, а выше комнатной - суперпарамагнитный гистерезис.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Методом высокотемпературного синтеза были получены поликристаллы $\text{TlCr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$ и TlGaSe_2 , TlInS_2 . Проведены их термо- и рентгенографические исследования. Методом Бриджмена выращены монокристаллы соединений TlGaSe_2 , TlInS_2 .
2. Природа ферромагнитного ФП в изоструктурных соединениях TlCrS_2 и TlCrSe_2 является квазидвумерно-ферромагнитной, так как различие между температурами, характеризующими дальний (T_c) и ближний (T_c^p) магнитный порядок в TlCrS_2 и TlCrSe_2 , достаточно

большое и составляет $\sim 20\%$ и 15% от T_c^p , соответственно. Эта специфическая особенность в окрестности ферромагнитного ФП $TiCrS_2$, $TiCrSe_2$ соответствует модели Изинга-Гейзенберга для квазидвумерных ферромагнитных систем. Экспериментальные значения эффективных магнитных моментов $TiCrS_2$ и $TiCrSe_2$ оказались равными примерно $3,26\mu_B$ и $3,05\mu_B$, соответственно.

3. Характер температурных зависимостей электропроводности $TiCrS_2$ и $TiCrSe_2$ полупроводниковый, так как в них с увеличением температуры наблюдается возрастание электропроводности. Излом на температурной зависимости электропроводности $TiCrSe_2$ обусловлен влиянием ферромагнитного ФП на перенос заряда в нем. Положительные численные значения коэффициента термо-э.д.с. ферромагнитных полупроводников $TiCrS_2$ и $TiCrSe_2$ растут практически во всем исследованном температурном интервале. Этот факт является следствием того, что валентные 3d-электроны остаются локализованными и в парамагнитной области $TiCrS_2$, $TiCrSe_2$. Температурная зависимость коэффициента термо-э.д.с. $TiCrS_2$ в окрестности температуры 340K проходит через максимум, который обусловлен делокализацией валентных 3d-электронов.
4. Влияние магнитного ФП на характер и тип проводимости в ферромагнетиках $TiCrS_2$, $TiCrSe_2$ подтверждает полученный из магнитных исследований вывод о том, что природа магнитного ФП в этих соединениях является квазидвумерно-ферромагнитной.
5. Природа магнетизма в соединениях $TiMnS_2$ и $TiMnSe_2$ является антиферромагнитной, вследствие того, что температурные зависимости обратной парамагнитной восприимчивости этих соединений соответствуют закону Кюри-Вейсса с экстраполяцией в область отрицательных температур.
6. Характер температурных зависимостей электропроводности антиферромагнетиков $TiMnS_2$ и $TiMnSe_2$ полупроводниковый. В окрестности 300K резкое возрастание электропроводности $TiMnS_2$ обусловлено подключением электронов к переносу заряда, в результате чего имеет место смешанный тип проводимости. Коэффициент термо-э.д.с. $TiMnSe_2$ во всем исследованном температурном интервале имеет положительный знак и увеличивается с повышением температуры, то есть в $TiMnSe_2$ доминирует p-тип проводимости.

7. Температурные зависимости обратной парамагнитной восприимчивости изоструктурных соединений TlCoS_2 и TlCoSe_2 имеют характерный гиперболический вид, что указывает на ферримагнитную природу магнитного ФП в этих соединениях.
8. Ферримагнитный ФП влияет на механизм переноса заряда в TlCoS_2 , так как при $T < 115\text{K}$ валентные $3d$ -электроны локализованы в ферримагнитном упорядочении. При $T > 115\text{K}$ эти электроны делокализуются, подключаются к процессу переноса заряда и проводимость в TlCoS_2 осуществляется на энергетических уровнях, лежащих в узком энергетическом интервале $0,01 \div 0,1\text{эВ}$ вдоль уровня Ферми. Поэтому d -энергетическая полоса ферримагнетика TlCoS_2 практически свободна от электронов.
9. Вследствие электрон-фононного взаимодействия электроны из ниже лежащих энергетических полос переходят на многочисленные свободные уровни d -полосы TlCoS_2 и далее подключаются к процессу переноса заряда. Этим обстоятельством объясняется незначительное увеличение электропроводности в интервале температур $250\text{-}325\text{K}$ на температурной зависимости электропроводности TlCoS_2 и, соответственно, увеличение количества электронов проводимости, о чем свидетельствует резкий спад отрицательных значений на температурной зависимости коэффициента термо-э.д.с. TlCoS_2 выше температуры 350K . Благодаря влиянию ферримагнитного ФП поведение температурной зависимости электропроводности TlCoS_2 носит полуметаллический характер.
10. Температурная зависимость действительной части диэлектрической проницаемости монокристалла TlInS_2 характеризуется аномалиями при температурах $206,3\text{K}$ связанную с ФП в несоизмеримую фазу и $202,4\text{K}$ - с ФП в соизмеримую сегнетоэлектрическую фазу. Перегиб в окрестности 201K представляет собой температурную область сосуществования остатков нераспавшихся солитонов несоизмеримой фазы и доменов низкотемпературной сегнетоэлектрической фазы. Температурная зависимость действительной части диэлектрической проницаемости монокристалла TlGaSe_2 характеризуется аномалиями при температурах $117,2\text{K}$ связанную с ФП в несоизмеримую фазу и 114K - с ФП в соизмеримую сегнетоэлектрическую фазу.
11. В системах $\text{TlInS}_2 - \text{TlCr(Mn,Fe,Co)S}_2$, $\text{TlGaSe}_2 - \text{TlCr(Mn,Fe,Co)Se}_2$, $\text{TlGaSe}_2 - \text{TlCr(Fe,Co)S}_2$, $\text{TlInS}_2 - \text{TlFeSe}_2$ по данным ДТА определены

области гомогенного и гетерогенного сосуществования сегнетоэлектрического и магнитного ФП. Тем самым выявлены **контуры научного направления** диссертационной работы «Фазовые переходы (упорядоченные состояния) и их сосуществование в системах $TlInS_2-TlCr(Mn,Fe,Co)S_2$, $TlGaSe_2-TlCr(Mn,Fe,Co)Se_2$, $TlGaSe_2 - TlCr(Fe,Co)S_2$, $TlInS_2 - TlFeSe_2$ ».

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Садыхов Р.З., Керимова Э.М., Асадов Ю.Г., Велиев Р.К. Магнитные свойства слоистых соединений $TlCoS_2$ и $TlCoSe_2$ // ФТТ, 2000, т.42, вып.8, с.1449-1450.
2. Sadikhov R.Z., Kerimova E.M, Veliev R.K., Asadov Yu.G. Magnetic properties of $TlCoS_2$ and $TlCoSe_2$ compounds with low-dimensional structure / 12-th International conference on ternary and multinary compounds, Book of abstracts, 13-17 March, Taiwan, National Tsing Hua University, Hsinchu, 2000, p.2-76.
3. Керимова Э.М., Садыхов Р.З., Велиев Р.Г. Взаимодействие $TlSe$ с $CoSe$ и магнитные свойства $TlCoSe_2$ // Изв. РАН, серия «Неорганические материалы», 2001, т.37, №2, с.180-181.
4. Sadikhov R.Z., Kerimova E.M, Asadov Yu.G., Veliev R.K. Magnetic properties of $TlMnS_2$ and $TlMnSe_2$ compounds // Fizika, 2001, cild 7, №4, s.45-46.
5. Керимова Э.М., Асадов Ю.Г., Велиев Р.Г., Гасанов А.И. Синтез и рентгенофазовый анализ новых соединений $TlMnS_2(Se_2,Te_2)$ // АМЕА ХӨВӨРЛӨР, fiz.-riyaz. və texnika elmləri seriyası, 2002, cild 22, №2, s.60-63.
6. Велиев Р.Г., Сеидов Мир-Гасан Ю., Сеидов Ф.М., Керимова Э.М., Мамедов Т.Г. Сегнетомагнитоактивные кристаллы $TlGa_{1-x}(Cr,Fe,Co)_xSe_2$ / Международная конференция «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах» (Сборник трудов) 11-14 сентября 2002, Россия, Махачкала, с.359-360.
7. Sadikhov R.Z., Kerimova E.M, Veliev R.K., Jabbarov A.I. Magnetic and electrical properties of $TlMnS_2$ and $TlMnSe_2$ layered compounds / 13-th International conference on ternary and multinary compounds, Book of abstracts, 14-18 October, France, Paris, 2002, p.98.
8. Велиев Р.Г., Сеидов Мир-Гасан Ю., Сеидов Ф.М., Керимова Э.М., Мамедов Т.Г. Диаграмма состояния и свойства фаз системы

- TlGaSe₂-TlCoSe₂ // Изв. РАН, серия «Неорган. материалы», 2003, т.39, вып.7, с.805-807.
9. Veliyev R.G., Seyidov M.-G.Yu., Kerimova E.M., Sadikhov R.Z., Jabbarov A.I. The phase diagram and magnetodielectric properties of the homogeneous phases of TlInS₂-TlCoS₂ and TlGaSe₂-TlCoSe₂ systems // Fizika, 2004, cild 10, №1-2, s.62-65.
 10. Керимова Э.М., Абдурагимов А.А., Асадов Ю.Г., Велиев Р.Г., Садыхов Р.З. Фазовый переход в слоистом ферромагнетике TlCrS₂ / V Национальная конференция по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования наноматериалов и наносистем (РСНЭ НАНО-2005), тезисы докладов, 14-19 ноября, ИК РАН, Российская Федерация, Москва, 2005, с.217.
 11. Kerimova E.M., Veliyev R.G., Sadikhov R.Z., Jabbarov A.I. Electric conductivity and magnetic susceptibility of Tl(Cr,Mn,Co)S₂ layered compounds / TPE-06 3-rd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, May 29-31, 2006, Turkey, Ankara, Book of reports, p.607-609.
 12. Велиев Р.Г., Садыхов Р.З., Керимова Э.М., Джаббаров А.И. Магнитные и электрические свойства слоистых ферримагнетиков TlCoS₂ и TlCoSe₂ / Beynəlxalq elmi-praktik konfransı "Metallar fizikasının müasir problemləri" (26-27 oktyabr, 2006, Azərbaycan, Bakı), Materialları, 2007, s.128-132.
 13. Велиев Р.Г., Садыхов Р.З., Сеидов Ф.М., Керимова Э.М., Асадов Ю.Г., Джаббаров А.И. Диаграмма состояния системы TlSe-MnSe и некоторые физические свойства соединения TlMnSe₂ // АМЕА, ХƏВƏRLƏR, fiz.-riyaz. və texnika elmləri seriyası, 2007, cild 27, №2, s.125-129.
 14. Велиев Р.Г., Сеидов М.-Г.Ю., Садыхов Р.З., Сеидов Ф.М., Керимова Э.М., Джаббаров А.И. Магнетодиелектрические свойства гомогенных фаз в полупроводниковых кристаллах (TlInS₂)_{1-x}(TlMnS₂)_x, (TlGaSe₂)_{1-x}(TlMnSe₂)_x // Fizika, 2007, cild 13, №1-2, s.238-242.
 15. Велиев Р.Г., Садыхов Р.З., Асадов Ю.Г., Керимова Э.М., Джаббаров А.И. Намагниченность, парамагнитная восприимчивость и электропроводность слоистых антиферромагнетиков TlMnS₂, TlMnSe₂ // Кристаллография, 2008, т.53, вып.1, с.131-134.
 16. Veliev R.G., Seyidov F.M., Jabbarov A.I. State diagram of TlInS₂-

- TiCrS₂, TiGaSe₂-TiCrSe₂ systems and electric properties of layered compounds TiCrS₂, TiCrSe₂ // Fizika, 2008, cild 14, №1, s.43-45.
17. Велиев Р.Г., Керимова Э.М., Сеидов Ф.М., Садыхов Р.З. Диаграмма состояния систем TlInS₂-TiFeS₂, TiGaSe₂-TiFeSe₂ и магнитная восприимчивость TiFeS₂, TiFeSe₂ // Fizika, 2008, cild 14, №3, s. 14-16.
 18. Велиев Р.Г. Влияние магнитного фазового перехода на перенос заряда в слоистом ферримагнетике TiCoS₂ // Fizika, 2008, cild 14, №3, s.21-24.
 19. Veliyev R.G. Paramagnetic susceptibility and electrical conduction of layered magnets Tl(Cr,Mn,Co)S₂ // Fizika, 2009, cild 15, №1, s.70-72.
 20. Велиев Р.Г., Керимова Э.М., Садыхов Р.З., Асадов Ю.Г., Джаббаров А.И. Рентгенографический анализ, магнитная восприимчивость и электропроводность TiCoS₂, TiCoSe₂ // Fizika, 2009, cild 15, №2, s.111-114.
 21. Велиев Р.Г., Садыхов Р.З., Керимова Э.М., Асадов Ю.Г., Джаббаров А.И. Магнитные и электрические свойства слоистых магнетиков Tl(Cr,Mn,Co)Se₂ // ФТП, 2009, т.43, вып.2, с. 163-166.
 22. Велиев Р.Г., Садыхов Р.З., Керимова Э.М., Асадов Ю.Г., Джаббаров А.И. Влияние магнитного фазового перехода на перенос заряда в слоистых полупроводниковых ферромагнетиках TiCrS₂, TiCrSe₂ // ФТП, 2009, т.43, вып.9, с.1175-1178.
 23. Велиев Р.Г., Садыхов Р.З., Керимова Э.М., Асадов Ю.Г., Джаббаров А.И. Электрофизические и магнитные свойства слоистых полупроводниковых ферромагнетиков TiCrS₂, TiCrSe₂ // Изв. РАН, серия «Неорганич. материалы», 2009, т.45, вып.5, с.528-533.
 24. Veliyev R.G. Phase relations and phase magnetodielectrical properties in TlInS₂-Tl(Cr,Mn,Co)S₂ systems // Fizika, 2009, cild 15, №4, s.67-70.
 25. Керимова Э.М., Велиев Р.Г., Сеидов Мир-Гасан Ю., Гасанов Н.З., Сеидов Ф.М., Садыхов Р.З., Исаева А.А. Фазовые соотношения и магнетодиэлектрические свойства фаз в системах TlInS₂-TiFeS₂, TlInS₂-TiFeSe₂ / ФТТ-2009, «Актуальные проблемы физики твердого тела», Сборник докладов Международной научной конференции, 20-23 октября 2009, Белоруссия, Минск, т.2, с.130-132.
 26. Велиев Р.Г., Керимова Э.М., Сеидов Ф.М., Садыхов Р.З., Гасанов Н.З. Диаграмма состояния систем TlS-FeS, TlSe-FeSe и некоторые физические свойства полупроводниковых соединений TiFeS₂, TiFeSe₂ / Республиканская конференция «Современные проблемы

- физики» (Материалы III конференции) 17-18 декабря 2009, Азербайджан, Баку, БГУ, с.186-187.
27. Велиев Р.Г. Магнитная восприимчивость соединений типа $TlMeX_2$ ($Me=3d$ -металл; $X=S, Se, Te$), обладающих низкосимметричной кристаллической структурой // АМЕА ХƏВƏRLƏR, fiz.-riyaz. və texnika elmləri seriyası, 2010, cild 30, №2, s.40-44.
 28. Велиев Р.Г., Керимова Э.М., Сеидов Ф.М., Садыхов Р.З., Гасанов Н.З. Диаграмма состояния систем $TlS-FeS, TlSe-FeSe$ и о магнитных свойствах соединений $TlFeS_2, TlFeSe_2$ // АМЕА ХƏВƏRLƏR, fiz.-riyaz. və texnika elmləri seriyası, 2010, cild 30, №5, s.56-61.
 29. Veliyev R.G., Seyidov M.Yu., Gasanov N.Z., Seyidov F.M. The magneto-dielectric properties of compounds and alloys in the systems of $TlInS_2-TlFeS_2, TlInS_2-TlFeSe_2$ // J.Alloys Comp., 2010, vol.506, No.2, p.800-803.
 30. Veliyev R.G. Molar relations and magnetodielectric properties of homogeneous alloys in the systems of $TlGaSe_2-Tl(Cr,Mn,Co)Se_2$ // Trends in Inorgan. Chem., 2010, vol.12, p.25-30.
 31. Veliyev R.G. The magneto-dielectric properties of condensed materials in the systems of $TlInS_2-TlCr(Fe,Co)S_2, TlGaSe_2-TlCr(Fe,Co)Se_2$ // Fizika (Azerb. J. Phys.), 2010, vol.16, №2, p.321-327.
 32. Велиев Р.Г., Садыхов Р.З., Керимова Э.М., Асадов Ю.Г., Гасанов Н.З. О магнитном фазовом переходе в слоистых соединениях $TlCrS_2, TlCrSe_2$ // АМЕА ХƏВƏRLƏR, fiz.-riyaz. və texnika elmləri seriyası, 2011, cild 31, №2, s.7-11.
 33. Велиев Р.Г., Сеидов Мир-Гасан Ю., Керимова Э.М., Садыхов Р.З., Сеидов Ф.М., Асадов Ю.Г., Гасанов Н.З. Фазовые соотношения и магнетодиелектрические свойства фаз в системах $TlGaSe_2-TlCrS_2(Se_2)$ // АМЕА ХƏВƏRLƏR, fiz.-riyaz. və texnika elmləri seriyası, 2011, cild 31, №5, s.106-112.
 34. Велиев Р.Г. О магнитном фазовом переходе в сильноцепочечных полупроводниковых соединениях $TlFeS_2, TlFeSe_2$ // ФТП, 2011, т.45, вып.2, с.162-165.
 35. Велиев Р.Г. О суперпарамагнетизме в квазиодномерных полупроводниковых антиферромагнетиках $TlFeS_2, TlFeSe_2$ // ФТП, 2012, т.46, вып. 10, с.1286-1287.
 36. Veliyev R.G., Seyidov Mir-Hasan Yu., Kerimova E.M., Sadykhov R.Z., Asadov Yu.G., Seyidov F.M., Gasanov N.Z. Phase transitions and their

co-existence in $\text{TlGaSe}_2\text{-TlCrS}_2(\text{Se}_2)$ systems // Bull. Mater. Sci., 2013, vol.36, No.4, p.693-698.

37. Veliyev R.G., Seyidov Mir-HasanYu., Seyidov F.M., Sadykhov R.Z., Gasanov N.Z., Kerimova E.M. Phase transitions and their co-existence in the $\text{TlGaSe}_2\text{-TlCoS}_2$ system / ФТТ-2013, «Актуальные проблемы физики твердого тела», сборник докладов Международной научной конференции, 15-18 октября 2013, Белоруссия, Минск, т.1, с.121-123.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Veliyev' or similar, with a horizontal line underneath.

VƏLİYEV RAMİZ QASIM OĞLU

TICr(Mn,Fe,Co,Ga,In)S₂(Se₂)YARIMKEÇİRİCİ BİRLƏŞMƏLƏRİNDƏ FAZA KEÇİDLƏRİ

X Ü L A S Ə

TICr(Mn,Fe,Co)S₂(Se₂) və TlInS₂, TlGaSe₂ polikristalları yüksək temperaturlu sintez üsulu ilə alınmışdır. Alınmış kristallarının köməyi ilə termo - və rentgenoqrafik tədqiqatların aparılmasına nail olunmuşdur. TlInS₂, TlGaSe₂ birləşmələrinin monokristalları Bricmen üsulu ilə becərdirilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, TICrS₂, TICrSe₂, TlMnS₂ və TlMnSe₂ birləşmələrinin elektrik keçiriciliyinin mahiyyəti p – tipli yarımkeçiriciliklidir; TICoS₂ isə yarımmetaliklidir, TICoSe₂ isə n – tipli metaliklidir.

TICrS₂, TICrSe₂ və TICoS₂ birləşmələrin elektrik keçiriciliklərinə maqnit faza keçidin təsiri aşkar olunmuşdur.

Müəyyən edilib ki, TlInS₂ və TlGaSe₂ – seqnetoelektrik, TICrS₂(Se₂) – kvazi-iki-ölçülü ferromaqnetik, TlMnS₂(Se₂) – antiferromaqnetik, TlFeS₂(Se₂) – kvazi-bir-ölçülü antiferromaqnetik, TICoS₂(Se₂) – ferrimaqnetikdirlər.

Bununla əlaqədar olaraq seqnetoelektrik (TlInS₂, TlGaSe₂) və kvazi-iki-ölçülü ferromaqnetik (TlCrS₂, TICrSe₂); seqnetoelektrik (TlInS₂, TlGaSe₂) və antiferromaqnetik (TlMnS₂, TlMnSe₂); seqnetoelektrik (TlInS₂, TlGaSe₂) və kvazi-bir-ölçülü antiferromaqnetik (TlFeS₂, TlFeSe₂); seqnetoelektrik (TlInS₂, TlGaSe₂) və ferrimaqnetik (TlCoS₂, TICoSe₂) maddələrin ərintilərində hər iki halın eyni zamanda mövcudluğu problemi qarşıya çıxarılır.

Differensial – termoqrafik analiz üsulu ilə TlInS₂ - TICr(Mn,Fe,Co)S₂, TlGaSe₂ - TICr(Mn,Fe,Co)Se₂, TlGaSe₂ - TICr(Fe,Co)S₂, TlInS₂ - TlFeSe₂ sistemlərində homogen (bərk məhlullar) və heterogen (evtektik ərintilər) molyar oblastlarında göstərilən seqnetoelektrik və maqnit faza keçidlərinin (nizamlı halların) eyni zamanda mövcud olması aşkar olunur.

Alınan elmi nəticələr və aparılan tədqiqat nəticəsində bir sıra mühüm elmi problemlərin gələcəkdə həl edilməsi kimi məsələlərin müəyyən edilməsi dissertasiyanın elmi istiqamətinin geniş olması və böyük tətbiqi əhəmiyyət daşımasına dəlalət edir.

VELIYEV RAMIZ GASIM OGLU

PHASE TRANSITIONS IN SEMICONDUCTOR COMPOUNDS $\text{TICr}(\text{Mn,Fe,Co,Ga,In})\text{S}_2(\text{Se}_2)$

SUMMARY

Using of high-temperature synthesis method the $\text{TICr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{S}_2(\text{Se}_2)$ and $\text{TlInS}_2, \text{TlGaSe}_2$ polycrystals were prepared. These polycrystals have been exposed to thermo- and rentgenographic analyzes. Using of Brijmen method the single crystals of TlInS_2 and TlGaSe_2 compounds were grown.

It was shown that $\text{TICrS}_2, \text{TICrSe}_2, \text{TiMnS}_2$ and TiMnSe_2 are semiconductors with p-type of conductivity; TlCoS_2 is semimetal, TlCoSe_2 is metal with n-type of conductivity.

The influence of magnetic phase transitions on character and type of conductivity in the $\text{TICrS}_2, \text{TICrSe}_2, \text{TlCoS}_2$ compounds was found.

Our investigations revealed that TlInS_2 and TlGaSe_2 are segnetoelectrics, $\text{TICrS}_2(\text{Se}_2)$ – kvazi-two-dimensional ferromagnets, $\text{TiMnS}_2(\text{Se}_2)$ – antiferromagnets, $\text{TlFeS}_2(\text{Se}_2)$ – kvazi-one-dimensional antiferromagnets, $\text{TlCoS}_2(\text{Se}_2)$ – ferrimagnets.

The problem of co-existence of segnetoelectric ($\text{TlInS}_2, \text{TlGaSe}_2$) and kvazi-two-dimensional ferromagnets ($\text{TICrS}_2, \text{TICrSe}_2$); segnetoelectric ($\text{TlInS}_2, \text{TlGaSe}_2$) and antiferromagnets ($\text{TiMnS}_2, \text{TiMnSe}_2$); segnetoelectric ($\text{TlInS}_2, \text{TlGaSe}_2$) and kvazi-one-dimensional antiferromagnets ($\text{TlFeS}_2, \text{TlFeSe}_2$); segnetoelectric ($\text{TlInS}_2, \text{TlGaSe}_2$) and ferrimagnets ($\text{TlCoS}_2, \text{TlCoSe}_2$) was formulated.

Using of differensial-thermographic analyses method areas of homogeneous and heterogeneous co-existence of segnetoelectric and magnetic phase transitions (ordering conditions) in the $\text{TlInS}_2 - \text{TICr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{S}_2, \text{TlGaSe}_2 - \text{TICr}(\text{Mn,Fe,Co})\text{Se}_2, \text{TlGaSe}_2 - \text{TICr}(\text{Fe,Co})\text{S}_2, \text{TlInS}_2 - \text{TlFeSe}_2$ systems were determined.

Sifariş № 18. Tirajı 100 nüsxə

Azərbaycan MEA Geologiya və Geofizika İnstitutu

«Nafta-Press» nəşriyyatı

Bakı, H.Cavid pr. 119, Tel.: 539-39-72

AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
Akademik H.M. ABDULLAEV adına FİZİKA İNSTİTUTU

Əlyazması hüququnda

RAMİZ QASIM OĞLU VƏLİYEV

**TICr(Mn,Fe,Co,Ga,In)S₂(Se₂)YARIMKEÇİRİCİ
BİRLƏŞMƏLƏRİNDƏ FAZA KEÇİDLƏRİ**

2220.01 - Yarımkəçiricilər fizikası

Fizika üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

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

BAKI – 2016