

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Римского Григория Семеновича  
«КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ )»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.04.07 – физика конденсированного состояния

### 1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которой она представлена к защите.

Объектом исследования диссертационной работы Римского Григория Семеновича «Кристаллическая структура, магнитные и электрические свойства твердых растворов  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ )» являлись поликристаллические материалы твердых растворов систем  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ ), предметом исследования - кристаллическая структура, магнитные и электрические свойства и их взаимосвязь с типом и концентрацией замещающего катиона. В совокупности с полученными результатами, отраженными в выводах и выносимых на защиту положениях, это позволяет утверждать, что диссертационная работа соответствует отрасли физико-математических наук, специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, поскольку посвящена актуальному направлению физики конденсированного состояния.

### 2. Актуальность темы диссертации.

Интенсивное развитие электроники и ее многочисленных направлений стимулирует поиск и детальное исследование новых перспективных материалов, обладающих совокупностью свойств, позволяющих, с одной стороны, значительно улучшить параметры существующих устройств, а с другой – создать элементы принципиально нового типа. В этой связи весьма привлекательными являются многокомпонентные материалы, в состав которых входит три и более химических элемента, характеризующиеся большим разнообразием диапазона изменений микроструктуры, электрофизических и магнитных свойств по сравнению с элементарными и бинарными материалами. Среди них заметное место занимают твердые растворы  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ ) кубической структуры (пространственная группа  $F\bar{4}3m$ ). Они имеют гигантское магнитосопротивление и магнитокалорический эффект, эффекты обменного смещения, памяти формы и, следовательно, обладают широкой областью

применения. Одним из перспективных для практического использования является  $\text{NiMnSb}$ , который благодаря ожидаемой 100%-ной спиновой поляризации, позволяет использовать его в качестве материала для инжекции поляризованных электронов в устройствах спинтроники.

В связи с изложенным выше, актуальность диссертационной работы Римского Григория Семеновича, посвященной установлению закономерностей изменения кристаллической структуры, магнитных и электрических свойств в зависимости от типа и концентрации катионов замещения, сомнений не вызывает, как с научной, так и практической точки зрения. Кроме того, тематика проведенных исследований соответствует приоритетным научным направлениям Республики Беларусь на 2021 – 2025 гг.

### **3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту.**

Диссертационная работа Римского Григория Семеновича представляет собой комплексное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Новизна работы определяется развитием такого направления физики конденсированного состояния, как получение новых научных знаний на основании результатов экспериментальных и теоретических исследований физических свойств материалов твердых растворов  $\text{Ni}_{1-x}\text{Me}_x\text{MnSb}$  ( $\text{Me} = \text{Ti}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Co}$ ). Это позволяет разработать новые концепции, а также модели структурного упорядочения, с учетом которых возможно получение новых функциональных материалов с заданными физическими свойствами.

Полученные научные результаты диссертационной работы являются новыми и вносят вклад в расширение представлений о процессах формирования и физических свойствах полугейслеровских соединений со структурой типа  $C1_b$  и описываемые общей формулой  $\text{XYZ}$  (где  $X$  и  $Y =$  металлы с частично заполненными  $3d$ - или  $4d$ - электронными оболочками;  $Z =$  металлоиды). К ним можно отнести:

- впервые получены поликристаллические материалы твердых растворов  $\text{Ni}_{1-x}\text{Me}_x\text{MnSb}$  ( $\text{Me} = \text{Ti}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Co}$ ) и выполнено комплексное исследование их структурных и физических свойств;

- показано, что твердые растворы  $\text{Ni}_{1-x}\text{Me}_x\text{MnSb}$  имеют ограниченную растворимость и обладают кубической симметрией (пространственная группа  $F\bar{4}3m$ ). В системе  $\text{Ni}_{1-x}\text{Me}_x\text{MnSb}$  ( $\text{Me} = \text{Fe}, \text{Co}$ ) обнаружен фазовый переход из пространственной группы  $F\bar{4}3m$  в  $Fm\bar{3}m$ . Определены параметры кристаллической решетки и установлены закономерности изменения их от концентрации замещающих катионов;

- определены основные магнитные характеристики твердых растворов систем  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ ) и установлена их связь с кристаллической структурой, концентрацией и типом замещающего катиона в широком интервале температур и магнитных полей;

- методом нейтронной дифракции в широком интервале температур уточнена кристаллическая и определена магнитная структура твердых растворов систем  $Ni_{0,90}Me_{0,10}MnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ ). В низкотемпературном диапазоне обнаружено возникновение антиферромагнитной компоненты магнитной структуры. Выполнен расчет электронной плотности состояний систем  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ ) и показано, что магнитные моменты замещающих катионов ориентированы антипараллельно магнитным моментам катионов марганца;

- впервые исследованы температурные зависимости электросопротивления, магниторезистивного эффекта и коэффициента Зеебека твердых растворов систем  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ ). Установлено, что замещение катионов никеля катионами титана, ванадия и хрома приводит к увеличению величины удельного электросопротивления.

Следует также отметить, что научная новизна представленных в работе результатов определяется комплексным подходом автора к установлению физико-химических закономерностей синтеза твердых растворов  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$ , исследованию закономерностей изменения их кристаллической структуры и физических свойств в зависимости от режимов получения и разработкой научных основ создания новых материалов.

Степень новизны полученных результатов и научных положений, выносимых на защиту, подтверждается публикациями в рецензируемых научных изданиях и сборниках материалов научных конференций.

#### **4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Обоснованность положений, результатов и выводов диссертационной работы сомнений не вызывает, так как она подтверждается всесторонней проверкой, сопоставлением результатов расчетов с экспериментальными данными. Результаты выполненных исследований имеют законченный характер, сформулированы достаточно корректно, проверены и подтверждены экспериментально, апробированы на научно-технических конференциях различного ранга, отражены в зарубежных реферируемых журналах. Достоверность результатов, представленных в диссертационной работе, обеспечивается использованием методов исследования, хорошо

апробированных в физике конденсированного состояния, их грамотной реализацией в экспериментальных методиках, отсутствием противоречий между результатами, полученными разными методами.

## **5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию.**

Научная значимость результатов заключается в получении новых знаний и установлении закономерностей синтеза твердых растворов систем  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ ) и их взаимосвязи с условиями получения и физическими свойствами объектов исследования. Полученные результаты имеют фундаментальный характер и могут использоваться как справочная информация для технологов и разработчиков элементной базы электроники.

Практическая значимость заключается в разработке и оптимизации методов формирования твердых растворов  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  с физическими характеристиками, удовлетворяющими требованиям для использования в устройствах микро- и нанoeлектроники. Диссертационная работа представляет практический интерес для использования как одного из технологического этапа производства приборов на предприятиях соответствующего профиля (НПО «Интеграл», ООО «Планар» и др.).

Экономическая значимость работы заключается в возможности перехода к новым технологиям получения твердых растворов систем  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ ), отличающихся сниженными энергозатратами и себестоимостью, так как методы не требуют сложного технологического оборудования. Значимость также заключается в возможности использования полученных материалов твердых растворов для инъекции поляризованных электронов в устройствах спинтроники, отвечающих требованиям экологической безопасности и низко затратной промышленности.

Социальная значимость результатов заключается в возможности их использования для подготовки специалистов в области физики твердого тела многокомпонентных материалов в высших учебных заведениях Республики Беларусь. Это подтверждается актом внедрения в учебный процесс на кафедре «Защита информации» факультета инфокоммуникаций Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники по дисциплине «Архитектура и технология сверхбыстрых интегральных схем».

## **6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати.**

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 23 работы, в том числе 7 статей в рецензируемых научных журналах в соответствии с п. 19 «Положения о присуждении ученых степеней и

присвоении ученых званий в Республике Беларусь», 7 статей в сборниках материалов конференций и 9 тезисов докладов на международных и республиканских конференциях. Общий объем опубликованных печатных работ составляет 4,3 авторских листа.

## **7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК.**

Оформление диссертационной работы соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Республики Беларусь к кандидатским диссертациям. Содержание работы изложено логически последовательно, грамотным научным языком. При изложении материала в работе использованы общепринятые в физике конденсированного состояния термины. Выводы и положения, выносимые на защиту, сформулированы корректно. Диссертация состоит из перечня условных обозначений и сокращений, введения, общей характеристики работы, шести глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и двух приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 121 страницу, включая 49 рисунков на 21 странице текста, 16 таблиц на 8 страницах, библиографический список на 12 страницах, содержащий 92 наименования использованных источников и 23 наименования публикаций соискателя, 2 приложения на 5 страницах.

Автореферат диссертационной работы достаточно полно отражает основное содержание работы.

## **8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует.**

Анализ диссертации и автореферата Римского Григория Семеновича позволяет сделать вывод об умении соискателя решать поставленные научные задачи с использованием современных методик исследований, грамотно и последовательно излагать полученные результаты. Уровень научных результатов, представленных в диссертации, указывает на то, что соискатель является сформировавшимся специалистом высокой квалификации в области физики конденсированного состояния и заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

## **9. Замечания по диссертационной работе.**

1. Литературный обзор проведен в основном по зарубежным источникам. Недостаточно внимания уделено анализу библиографических источников авторов, представляющих страны СНГ и публикаций за последние 5 лет.

2. В главе 1 следовало бы более расширено описать существующие методы получения твердых растворов систем  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ ).

3. В диссертации и автореферате не приводятся погрешности измерения химического состава исследуемых твердых растворов.

4. В подразделе "Основные научные результаты диссертации" заключения по работе не отражены результаты исследования химического состава твердых растворов систем  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ ), используемые для разработки рекомендаций по практическому применению результатов.

5. Имеются некоторые замечания по тексту и оформлению иллюстративного материала, затрудняющие восприятие результатов диссертационной работы, такие, например, как:

- желательно было бы по тексту приводить размерность параметров кристаллической решетки в одних и тех же единицах (нм или ангстремы);

- не совсем корректное название рисунка 3.8 (стр. 62), содержащего изображение поверхности исследуемых твердых растворов  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$ , а не поперечного сечения материалов;

- по тексту диссертации имеются не значительные опечатки и не расставленные знаки препинания.

Необходимо, однако, отметить, что приведенные выше замечания не затрагивают основных положений и выводов, содержащихся в диссертационной работе, и не снижают ценности полученных результатов.

## 10. Заключение.

Диссертационная работа Римского Григория Семеновича «Кристаллическая структура, магнитные и электрические свойства твердых растворов  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$ )», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, соответствует специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, является завершенной самостоятельно выполненной квалификационной работой, соответствующей требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в соответствии с требованиями Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, а ее автор заслуживает присвоения искомой степени за новые научно-обоснованные результаты, включающие:

- установление областей существования твердых растворов  $Ni_{1-x}Ti_xMnSb$  ( $x \leq 0,25$ ),  $Ni_{1-x}V_xMnSb$  ( $x \leq 0,2$ ),  $Ni_{1-x}Cr_xMnSb$  ( $x \leq 0,15$ ),  $Ni_{1-x}Fe_xMnSb$  ( $x \leq 0,80$ ) и  $Ni_{1-x}Co_xMnSb$  ( $x = 0 - 1$ ), особенностей формирования кристаллической структуры, характера концентрационных зависимостей параметров

элементарной ячейки;

- определение фундаментальных физических параметров магнитной структуры (намагниченности насыщения, температуры Кюри, величины и направления магнитных моментов ионов) в исследованных твердых растворах в широком интервале температур и магнитных полей; установление факта наличия дальнего ферромагнитного порядка в твердых растворах  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = V, Cr, Fe, Co$ ) и обнаружение слабой антиферромагнитной компоненты, обусловленной антипараллельной ориентацией магнитных моментов замещающих катионов;

- определение электрических характеристик твердых растворов  $Ni_{1-x}Me_xMnSb$  ( $Me = Ti, V, Cr$ ) (удельное электросопротивление, магнитосопротивление, коэффициент Зеебека) и установление закономерностей их изменения в зависимости от температуры, что может быть использовано в качестве справочной информации при разработке и проектировании электронных устройств.

В совокупности, полученные результаты вносят существенный вклад в развитие физики конденсированного состояния в области синтеза новых многокомпонентных материалов для устройств микро- и нанoeлектроники.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,  
заведующий лабораторией физики  
полупроводников Государственного  
научно-производственного  
объединения «Научно-практический центр  
Национальной академии наук Беларуси  
по материаловедению»

В.Ф. Гременок

