

УТВЕРЖДАЮ
Ректор Учреждения Образования
«Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники»,
д. ф.-м. н., профессор
В.А. Богуш
«6» января 2023 г

ОТЗЫВ

оппонирующей организации на диссертационную работу
Римского Григория Семёновича
**«Кристаллическая структура, магнитные и электрические свойства
твёрдых 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 содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Получение полугейслеровских соединений и исследование их магнитных и электрических свойств является одним из актуальных направлений научных исследований в физике конденсированного состояния. Диссертация посвящена исследованию кристаллической структуры, магнитных и электрических свойств твёрдых растворов $Ni_{1-x}Me_xMnSb$ ($Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$) и установлению влияния на эти свойства концентрации и типа замещающего катиона.

В работе использовались современные методы исследований: сканирующая электронная и атомно-силовая микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ, рентгеновская дифракция, гидростатическое взвешивание, пондеромоторный и вибрационный метод, дифракция нейтронов, четырехзондовый метод для измерения электро- и магнитосопротивления, двухзондовый метод измерения коэффициента Зеебека. Экспериментальные результаты анализировались с обоснованным привлечением физических моделей.

Анализируя объекты и цель исследования, решенные задачи и полученные соискателем в исследовании научные результаты, можно заключить, что работа соответствует паспорту специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния и отрасли физико-математические науки.

2. Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости

В процессе работы над диссертацией Римский Григорий Семёнович самостоятельно синтезировал твёрдые растворы и производил обработку

экспериментальных спектров, анализ полученных данных, выявление зависимостей и закономерностей, адаптацию теоретических моделей к объекту исследования и интерпретацию результатов.

Диссертационная работа соискателя содержит новые научно обоснованные экспериментальные данные по изучению закономерностей изменения кристаллической структуры и физических свойств систем твердых растворов $Ni_{1-x}Me_xMnSb$ ($Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$), синтезированных в виде поликристаллических порошков. Полученные в диссертации Г.С. Римского результаты по исследованию кристаллической и магнитной структур, температурных и полевых зависимостей намагниченности, удельного электросопротивления, магнитосопротивления и коэффициента Зеебека исследованных систем твердых растворов на основе $NiMnSb$ имеют важное значение для расширения представлений о физике формирования магнитного упорядочения и электрических свойств в полугейслеровских соединениях, что позволит в будущем получать вещества с требуемыми физическими характеристиками.

Значимость полученных результатов диссертационного исследования подтверждена наличием 7 опубликованных в рецензируемых изданиях авторских научных статей в соответствии с требованиями ВАК РБ.

В соответствии с требованиями ВАК РБ:

3. Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и значимости), за которые соискателю может быть присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук

Диссертационное исследование Г.С. Римского по структуре, объему и методологии исследования соответствует основным нормативным требованиям ВАК Республики Беларусь. Научная значимость выполненного комплексного исследования структурных, магнитных и электрических свойств твердых растворов замещения на основе $NiMnSb$ состоит в установлении закономерностей их изменения в зависимости от концентрации и типа замещающего катиона.

Диссертация Г.С. Римского «Кристаллическая структура, магнитные и электрические свойства твердых растворов $Ni_{1-x}Me_xMnSb$ ($Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$)» является квалифицированным самостоятельным исследованием, в котором поставленные задачи решены на современном научно-исследовательском уровне.

С учетом требований п. 20 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь» констатируем, что Римский Григорий Семенович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния за новые экспериментальные и теоретические результаты, включающие:

- обнаруженное возникновение областей однофазности систем твердых растворов $Ni_{1-x}Me_xMnSb$ ($Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$);

- выявленные закономерности изменения характера магнитного упорядочения, снижения намагниченности насыщения и температуры Кюри в системах твердых растворов $Ni_{1-x}Me_xMnSb$ ($Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$) при увеличении концентрации замещающего катиона в широком интервале температур (4-300 K), что объясняется ослаблением обменных взаимодействий при таком замещении;

- обнаруженное формирование антиферромагнитной компоненты в ферромагнитной матрице в области низких температур в твердых растворах $Ni_{0,90}Me_{0,10}MnSb$ ($Me = V, Cr, Co$) методом дифракции нейтронов;

- обнаруженное усиление отрицательного магнитосопротивления в твердых растворах $Ni_{1-x}Me_xMnSb$ ($Me = Ti, V, Cr$) с увеличением концентрации замещающих катионов ($x=0,15-0,20$), связанное с упорядочением магнитных моментов катионов марганца в магнитном поле, приводящем к снижению рассеяния носителей заряда;

- выявленные закономерности изменения температуры смены знака коэффициента Зеебека в твердых растворах $Ni_{1-x}Me_xMnSb$ ($Me = Ti, V, Cr$), связанные с ростом термически возбужденных дырок (в случае замещения титаном, ванадием и хромом) или электронов (в случае замещения железом и кобальтом), а также с увеличением их подвижностей.

Совокупность названных результатов вносит вклад в развитие физики конденсированного состояния, в частности, физики многокомпонентных полугейслеровских соединений.

Практическая и научная значимость результатов диссертационной работы Римского Г.С. подтверждается их использованием при выполнении ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» подпрограмма «Материаловедение и технологии материалов» Задание 1.04 «Синтез, кристаллическая структура, магнитное упорядочение и электрические свойства новых функциональных материалов, перспективных для применения в микроэлектронике» 2016-2020 гг. (№ гос.рег. 20160303 от 09.03.2016 г.); ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021 – 2025 годы, подпрограмма 8.1. «Физика конденсированного состояния и создание новых функциональных материалов и технологий их получения», задание 1.2.1 «Синтез новых магнитных материалов, перспективных для разработки технических устройств нового поколения» (№ гос. рег. 20210587 от 08.04.2021 г.); проект Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований № Т20Р–204 «Фазовые превращения и обратный магнитокалорический эффект при криогенных температурах в новых функциональных материалах» (№ гос.рег. 20200945 от 17.06.2020 г.); проект Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований № Т21РМ–029 «Структурные аспекты формирования магнитных явлений в полугейслеровских интерметаллидах на основе $MnNiSb$ » (№ гос.рег. 20213147 от 25.08.2021 г.).

4. Рекомендации по возможности использования результатов и выводов диссертации

В последнее время полугейслеровские соединения привлекают к себе внимание в связи с широким разнообразием физических свойств перспективных для практического применения. Такие материалы могут быть использованы, например, при разработке и получении новых материалов для термо- и магниторезистивных элементов. Научные результаты комплексного изучения магнитных и электрических свойств твердых растворов на основе NiMnSb являются необходимой исследовательской базой при разработке моделей и концепций синтеза материалов с заранее известными физическими свойствами. Практическая ориентированность полученных научных результатов подтверждается тем, что они используются в образовательном процессе на кафедре защиты информации УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» при подготовке магистрантов по дисциплине «Архитектура и технология сверхбольших интегральных систем», о чем свидетельствует акт внедрения в учебный процесс.

5. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Диссертация, автореферат и опубликованные материалы по теме диссертации свидетельствуют о высокой научной квалификации соискателя, развитых навыках анализа обширного материала, способности выполнять исследовательские задачи, делать аргументированные научные обобщения и выводы по результатам исследования.

Высокий научный уровень, новизна и актуальность полученных при выполнении диссертации результатов в совокупности с предложенной аргументированной их интерпретацией на основе теоретических моделей, включая компьютерную обработку экспериментальных данных и использование современных методов исследований, а также высокая степень опубликованности результатов позволяют сделать вывод, что научная квалификация Г.С. Римского полностью соответствует требованиям, предъявляемым к квалификации кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

6. Замечания по диссертации

1. При исследовании магнитных свойств полугейслеровских сплавов в большинстве случаев определялся магнитный момент, намагниченность насыщения, температура Кюри, но не оценивались такие магнитные параметры как величина спиновой поляризации, константы магнитной анизотропии, обменная константа, константа Блоха.

2. При расчете с использованием метода *ab initio* отсутствует объяснение выбора значений энергии обрезания и сетки k-точек, а также утверждается, что магнитные моменты замещающих катионов антипараллельно ориентированы магнитным моментам катионов Mn и Ni. Однако не совсем понятно, из каких соображений сделано такое утверждение - по расчетам полной энергии с предустановленными магнитными состояниями или выполнялся очень затратный расчет по поиску ориентации спинов.

3. На рис.6.2б зависимость электрического сопротивления $Ni_{1-x}Ti_xMnSb$ при $x = 0,20$, показывающая его рост при понижении температуры, явно напоминает эффект Кондо, но приведенная интерпретация обходит этот момент и объяснение ограничено только констатацией существования полупроводниковой и металлической фаз (сменой типа проводимости), однако это не коррелирует с измерениями магнитосопротивления для этого соединения, рис. 6.3а.

4. Результаты измерения магнитосопротивления получены только для магнитного поля с индукцией 6 Тл, что не позволяет в полной мере судить о проявлении возможных эффектов, связанных со слабой локализацией и антилокализацией носителей заряда.

5. Одной из основных проблем применения полугейслеровских сплавов в области термоэлектричества является их сравнительно большая теплопроводность, понижение которой способствует улучшению термоэлектрических характеристик. Однако в диссертации отсутствует оценки и обсуждение таких параметров как коэффициент термоэлектрической мощности, термоэлектрическая добротность для исследованных материалов.

Сделанные замечания не умаляют научного и практического значения полученных результатов и не сказываются на общей высокой оценке проведенного исследования.

7. Заключение

Диссертационная работа Г.С. Римского «Кристаллическая структура, магнитные и электрические свойства твердых растворов $Ni_{1-x}Me_xMnSb$ ($Me = Ti, V, Cr, Fe, Co$)» является завершенной квалификационной научно-исследовательской работой и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния. Диссертационная работа содержит новые научно обоснованные результаты в области физики конденсированного состояния. Соискатель Римский Г.С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния за новые научно обоснованные экспериментальные и теоретические результаты, сформулированные в п.3 данного отзыва.

Согласно приказу № 1-О от 3 января 2023 г. диссертационная работа Г.С. Римского и отзыв эксперта, кандидата физико-математических наук, доцента

Данилюка Александра Леонидовича о данной работе были заслушаны и обсуждены на расширенном заседании кафедры микро- и нанoeлектроники УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 8 от 06.01.2023 г.). На заседании соискатель Г.С. Римский выступил с докладом и дал аргументированные ответы на заданные вопросы и сделанные замечания. В заседании приняли участие 11 человек, из них 3 доктора наук, 8 кандидатов наук. Результаты голосования: за — 11, против — нет, воздержался — нет.

Председатель заседания

доктор физико-математических наук, профессор
профессор кафедры микро- и нанoeлектроники

В.Е. Борисенко

Секретарь заседания

ассистент кафедры микро- и нанoeлектроники

О.М. Чернаусик

Эксперт

кандидат физико-математических наук, доцент
доцент кафедры микро- и нанoeлектроники

А.Л. Данилюк