

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н., доцента Кудасова Юрия Бориславовича на диссертационную работу Семянниковой Алены Александровны «**Электронные и магнитные свойства сплавов Гейслера на основе кобальта**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Исследование электронных и магнитных свойств сплавов Гейслера на основе кобальта представляет значительный фундаментальный и практический интерес, потому что в сплавах Гейслера с высокой температурой Кюри может быть реализована высокая степень поляризации носителей заряда по спину при комнатной температуре. Такого рода материалы сейчас находят все более широкое применение, в частности, в перспективных элементах спиновой электроники, что определяет **актуальность** настоящей работы.

Диссертация состоит из введения, 4 глав (включающих литературный обзор, методику эксперимента и две оригинальные главы), заключения. Текст диссертации занимает 110 страниц. Список литературы содержит 72 наименования.

Во **введении** указана актуальность исследований, сформулированы цель и задачи исследования, отмечается научная новизна и практическая значимость представляемой работы, достоверность результатов; представлены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** приводится обзор научной литературы, проанализировано современное состояние теоретических и экспериментальных исследований сплавов Гейслера на основе кобальта.

Во **второй главе** представлены методы синтеза сплавов, приготовления образцов и результаты аттестации исследуемых соединений Гейслера Co_2YSi , Co_2MnZ ($Y = \text{Ti, V, Cr, Mn, Fe}$; $Z = \text{Al, Ga, Ge, Si, Sn}$). Рассматриваются

экспериментальные методики, используемые в ходе исследований, а также оборудование для проведения измерений электрических, магнитных, оптических свойств и эффекта Холла.

В **третьей главе** приводятся результаты исследования свойств сплавов Гейслера Co_2YSi ($Y = \text{Ti, V, Cr, Mn, Fe}$). В ходе работы были проведены измерения электрических, магнитных, оптических свойств и эффекта Холла. Проведено разделение нормальной и аномальной составляющих эффекта Холла, сделана оценка концентрации и подвижности основных носителей заряда. Полученные экспериментальные данные сопоставлены с результатами расчетов электронной зонной структуры этих соединений. Обнаружены закономерности поведения электронных транспортных и оптических свойств, а также магнитных характеристик систем сплавов Гейслера Co_2YSi ($Y = \text{Ti, V, Cr, Mn, Fe}$) при варьировании Y -компоненты, т.е. при изменении числа валентных $3d$ -электронов.

Четвертая глава посвящена исследованию сплавов Гейслера Co_2MnZ ($Z = \text{Al, Ga, Ge, Si, Sn}$). Проведены измерения электросопротивления, намагниченности, сопротивления Холла, оптических постоянных. Проведена оценка нормального и аномального коэффициентов Холла, концентрации и подвижности носителей тока. Экспериментальные данные сопоставляются с результатами расчетов электронной зонной структуры. Установлено, что в сплавах Co_2MnZ в зависимости от изменения Z -компоненты, то есть p -элементов, существуют устойчивые закономерности поведения электронных и магнитных характеристик и их взаимосвязь с плотностью электронных состояний вблизи уровня Ферми.

В **заключении** сформулированы выводы по результатам диссертационной работы о взаимосвязи структурных, магнитных и электронных характеристик при изменении составов сплавов Гейслера. Выводы соответствуют поставленным задачам.

Научная новизна диссертационной работы обусловлена полученными в ходе экспериментальной работы новыми результатами: установлены взаимосвязи электросопротивления, эффекта Холла, оптических свойств, а также магнитных

характеристик с особенностями электронной структуры сплавов Гейслера Co_2YSi ($Y = \text{Ti, V, Cr, Mn, Fe}$) и Co_2MnZ ($Z = \text{Al, Ga, Ge, Si, Sn}$) при варьировании состава.

Достоверность результатов обеспечивается воспроизводимостью экспериментальных данных, использованием известных и хорошо апробированных методов экспериментальных исследований и сопоставлением с литературными данными.

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что они могут быть использованы при разработке новых материалов для спинтроники. Сопоставление электронных и магнитных свойств позволяет предсказать наличие высокой степени спиновой поляризации в соединениях без проведения сложных и дорогостоящих экспериментов и создать базу для проведения дальнейших исследований.

Основные результаты **апробированы** на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в семи статьях в научных журналах, входящих в перечень ВАК.

Работа имеет глубокий комплексный характер: была выращена большая серия образцов, выполнены их аттестация и разнообразные экспериментальные исследования, проведен теоретический анализ результатов. В целом работа производит очень хорошее впечатление.

Следует отметить некоторые **недостатки диссертационной работы**:

1. Следующее утверждение при обсуждении температурной зависимости удельного сопротивления Co_2MnZ представляется спорным (на стр.80): *«Для всех сплавов системы Co_2MnZ результат подгонки дает отрицательный знак коэффициента A (таблица 3.1), который связан с наличием щели на уровне Ферми для одного направления спина, как видно на рисунке 4.9, т.е. «полупроводниковый» вклад в сопротивление начинает играть определяющую роль»*. Т.е. при низкой температуре зависимость становится полупроводниковой, поскольку для одной проекции спина имеется щель на уровне Ферми. Однако, (а) на рис. 4.9 видно, что щель в этих соединениях имеет порядок 0.5 эВ или даже больше, а переход к

полупроводниковому поведению происходит при $T=10$ К, 30 К и 50 К для $Z=Si, Ga$ и Al , соответственно, т.е. на существенно меньшем масштабе энергии. Кроме того, (б) если бы в одном канале (проекции спина) проводимости была бы щель, а в другом – ее отсутствие, то при низкой температуре проводимость должна была бы иметь металлический характер, т.е. при низкой температуре носители заряда со спином, соответствующим целевому спектру, практически не дают вклада в проводимость, и она полностью определяется носителями заряда со спином, соответствующие бесщелевому спектру. Таким образом, возможно, немонотонная зависимость может возникать из-за рассеяния на магнитных неоднородностях (что обсуждалось автором) или корреляционными эффектами, например, типа Кондо-эффекта.

2. Странно звучит утверждение там же на стр.80: «Эксперимент показывает, что при очень низких температурах ($T < 15$ К) сопротивление Co_2MnSi и Co_2MnGa не достаточно хорошо описывается формулой (3.1), поэтому для этих соединений на рисунке 4.2 приведена зависимость в диапазоне $15 \text{ К} \leq T \leq 50 \text{ К}$ ». Иначе говоря, эксперимент расходится с теорией при $T < 15$ К, поэтому мы его не показываем. Было бы лучше представить полную экспериментальную зависимость и, возможно, обсудить причины расхождения с формулой (3.1).

Указанные замечания являются незначительными, поскольку не затрагивают достоверность положений, представленных к защите, и не снижают общей положительной оценки работы. **Диссертация соответствует пункту 1 Паспорта специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.**

Заключение

Диссертация Семянниковой Алены Александровны «Электронные и магнитные свойства сплавов Гейслера на основе кобальта» является научно-квалификационной работой и соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (в редакции от 11.09.2021 №1439 с изменениями от 29.12.2022, 07.03.2023), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор представленной работы, Семянникова Алена Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Главный научный сотрудник Научно-производственного центра физики
ФГУП Российский федеральный ядерный центр - ВНИИЭФ,

доктор физ.-мат. наук, доцент

Ю.Б. Кудасов

«25» сентября 2023 г.

Почтовый адрес: 607190, Нижегородская область, г. Саров, просп. Мира, 37

Тел.: +7 (83130) 27239

E-mail: kudasov@ntc.vniief.ru

Подпись Ю.Б. Кудасова заверяю

Директор НПЦФ

ФГУП Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ,

доктор физ.-мат. наук

А.А. Тренькин

С отзавом ознакомлена.
11.10.2023

✓ / А.А. Семянникова

Сведения об официальном оппоненте

ФИО: Кудасов Юрий Бориславович

Ученая степень, звание: доктор физико-математических наук, доцент.

Научная специальность: 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Полное наименование организации: ФГУП Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ.

Должность: главный научный сотрудник Научно-производственного центра физики

Почтовый адрес: 607190, Нижегородская область, г. Саров, просп. Мира, 37

Тел.: +7 (83130) 27239

E-mail: kudasov@ntc.vniief.ru

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация

1. Y.B. Kudasov, M.V. Logunov; R.V. Kozabaranov, I.V. Makarov, V.V. Platonov; O.M. Surdin, D.A. Maslov, A.S. Korshunov, I.S. Strelkov, A.I. Stognij, V.D. Selemir, S.A. Nikitov, Giant widening of interface magnetic layer in almost compensated iron garnet, Appl. Phys. Lett. 120, 122403 (2022).
2. Y. Kudasov, R. Kozabaranov, The origin of fine structure in magnetization curve of alpha-CoV₂O₆. EPJ Web of Conferences 185, 03002 (2018).
3. G.R. Hearne, E. Carleschi, W.N. Sibanda, P. Musyimi, G. Diguët, Y.B. Kudasov, D.A. Maslov, A.S. Korshunov, Coexistence of site- and bond-centered electron localization in the high-pressure phase of LuFe₂O₄, Phys. Rev. B. 93, 105101 (2016).
4. Ю.Б. Кудасов, Топологические зоны в металле с геликоидальным магнитным порядком, ФТТ 65, 937 (2023)
5. Ю.Б. Кудасов, Р.В. Козабаранов, Вариационная модель низкоразмерного магнетика, ФТТ 62, 1514 (2020)

Сведения удостоверяю:

Директор НПЦФ

ФГУП Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ,

доктор физ.-мат. наук

А.А. Тренькин

