

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН

академик РАН

Никитов Сергей Аполлонович

« 26 » сентября 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации 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

Актуальность темы диссертации

Актуальность диссертационной работы А.А. Семянниковой определяется тем, что в качестве объектов исследования выступают материалы, на протяжении последних лет привлекающие внимание научного сообщества и обладающие рядом необычных свойств, которые имеют как фундаментальную, так и практическую значимость. В частности, в данных материалах может быть реализована высокая степень поляризации носителей заряда по спину.

Структура и основное содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы.

Во **введении** автор обосновывает актуальность диссертационной работы, формулирует цель и задачи и аргументирует научную новизну исследований.

В **первой главе** автор проводит обзор современного состояния исследований сплавов Гейслера на основе кобальта. Рассматривается структура, электронные и магнитные свойства сплавов Гейслера в состояниях полуметаллического ферромагнетика и спинового бесщелевого полупроводника.

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

для проведения измерений электросопротивления, намагниченности, оптических постоянных и эффекта Холла.

Третья глава посвящена анализу результатов изучения электронных и магнитных свойств сплавов Гейслера Co_2YSi ($Y = \text{Ti}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Fe}$). Автором были проведены измерения электрических, магнитных и оптических свойств, а также эффекта Холла. Автором проведено разделение нормальной и аномальной составляющих эффекта Холла, по однозонной модели сделана оценка концентрации и подвижности основных носителей заряда. Полученные экспериментальные данные подтверждаются расчетами электронной зонной структуры исследуемых сплавов. При изменении числа валентных $3d$ -электронов в сплавах Гейслера Co_2YSi ($Y = \text{Ti}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Fe}$) обнаружены закономерности поведения электронных транспортных, магнитных и оптических свойств, и их корреляция с плотностью электронных состояний на уровне Ферми.

В **четвертой главе** исследуются сплавы Гейслера Co_2MnZ ($Z = \text{Al}, \text{Ga}, \text{Ge}, \text{Si}, \text{Sn}$) при изменении Z -компонентов, то есть p -элементов. Автор приводит результаты измерения электросопротивления, намагниченности, сопротивления Холла, оптических постоянных. Также проводился анализ вклада нормального и аномального коэффициентов Холла, оценены концентрация и подвижность носителей тока. Результаты эксперимента сопоставляются с данными по электронной зонной структуре. Сделан вывод, что в сплавах Co_2MnZ в зависимости от изменения Z -компоненты существуют устойчивые закономерности поведения электронных и магнитных характеристик и их взаимосвязь с плотностью электронных состояний вблизи уровня Ферми.

В **заключении** перечислены основные результаты и выводы диссертационной работы, соответствующие поставленным задачам. На защиту выносятся сформулированные в диссертации три научных положения.

Научная новизна результатов диссертационной работы

Впервые установлены закономерности поведения остаточного электросопротивления, нормального и аномального эффекта Холла, оптической проводимости, а также спонтанной намагниченности с особенностями электронной структуры сплавов Гейслера Co_2YSi ($Y = \text{Ti}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Fe}$) при варьировании Y -компоненты, т.е. при изменении числа валентных $3d$ -электронов, и Co_2MnZ ($Z = \text{Al}, \text{Ga}, \text{Ge}, \text{Si}, \text{Sn}$) в зависимости от изменения Z -компоненты, то есть p -элементов.

Достоверность результатов и обоснованность выводов

Достоверность результатов подтверждается воспроизводимостью экспериментальных данных и их сопоставимостью с литературными данными в случаях, когда такие данные имеются.

Практическая значимость полученных результатов

Полученные автором результаты могут быть использованы при разработке новых материалов для спинтроники и микроэлектроники, а также имеют фундаментальную важность для прогнозирования высокой степени спиновой поляризации носителей заряда в сплавах Гейслера.

Замечания по диссертационной работе

Вместе с тем по диссертации имеется ряд вопросов и замечаний:

1. В диссертации подробно рассматриваются состояния полуметаллического ферромагнетика и спинового бесщелевого полупроводника. Наблюдаются ли такие состояния в исследуемых сплавах?

2. Почему в диссертации выбраны именно эти значения спиновой поляризации сплавов? Есть в литературе другие значения?

3. В диссертации не приводятся зависимости намагниченности исследуемых сплавов от температуры. Проводились ли такие исследования?

4. Работа хорошо оформлена, но тем не менее в тексте встречаются опечатки, например, обозначения единицы измерения Тесла как Т, вместо общепринятого Тл.

Отмеченные недостатки не затрагивают основных выводов и результатов диссертации, не снижают их ценности и не ставят под сомнение их значимость.

Заключение

Диссертационная работа А.А. Семянниковой обладает внутренним единством и является завершенной научно-квалификационной работой. Изложение литературных данных и собственных результатов достаточно грамотно и полно. Автореферат соответствует содержанию диссертации, отражает основные результаты диссертационной работы.

Диссертация «Электронные и магнитные свойства сплавов Гейслера на основе кобальта» полностью соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Семянникова Алена

Александровна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа была доложена и обсуждена на заседании научно-квалификационного семинара Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук по направлению «Физика твердого тела, магнитных и акустических явлений», протокол № 1 от 26 сентября 2023 г.

Председатель

научно-квалификационного семинара

доктор физико-математических наук,
профессор, главный научный сотрудник,
заведующий лабораторией магнитных явлений
в микроэлектронике ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

Шавров Владимир Григорьевич

Секретарь

научно-квалификационного семинара

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник лаборатории магнитных явлений
в микроэлектронике ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

Каманцев Александр Павлович

125009, г. Москва, ул. Моховая, 11, корп. 7, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН);
тел.: +7 (495) 629-35-06; E-mail: shavrov@cplire.ru

Шавров ВГ
Подпись гр. Каманцева А.П.
удостоверяется
Сей. ин. ка...
Подпись

Григорьева

С отрывом оригинала

28.09.2023

Г.А. Семенов

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**по диссертации Семянниковой Алены Александровны
«Электронные и магнитные свойства сплавов Гейслера на основе
кобальта», представленной на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.3.8. - Физика
конденсированного состояния.**

Организация:

Полное название: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук

Сокращённое название: ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН

Контактные данные:

Юридический адрес: 125009, г. Москва, ул. Моховая, 11, стр.7

Телефон: +7 (495) 629-33-87

Факс: +7 (495) 629-36-78

Адрес официального сайта в сети Интернет: www.cplire.ru

Адрес электронной почты: ire@cplire.ru

Директор: академик Сергей Аполлонович Никитов

Основные направления научной деятельности:

1. Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости;
2. Физическое материаловедение: новые материалы и структуры, в том числе фуллерены, нанотрубки, графены, другие наноматериалы, а также метаматериалы;
3. Элементная база микроэлектроники, наноэлектроники и квантовых компьютеров, материалы для микро- и наноэлектроники, нано- и микросистемная техника, твердотельная электроника;
4. Осуществление экспериментальных разработок в области радиотехники, радиофизики, электроники и информатики.

Список избранных научных трудов работников организации по специальности диссертации за 2019-2023 годы:

1. Kamantsev A.P., Amirov A.A., Zaporozhets V.D., Griбанov I.F., Golovchan A.V., Valkov V.I., Pavlukhina O.O., Sokolovskiy V.V., Buchelnikov V.D., Aliev A.M., Koledov V.V. EFFECT OF MAGNETIC FIELD AND HYDROSTATIC PRESSURE ON METAMAGNETIC ISOSTRUCTURAL PHASE TRANSITION AND MULTICALORIC RESPONSE OF FE49RH51 ALLOY. *Metals*. 2023. V. 13. P. 956. DOI: 10.3390/met13050956 (IF = 3.006, Q1)

2. Li F., Zhao D., Liu J., Kamantsev A., Dilmieva E., Koshkid'ko Yu., Zhu C., Ma Li, Zhen C., Hou D. ENTROPY CHANGE OF MAGNETOSTRUCTURAL TRANSFORMATION AND MAGNETOCALORIC PROPERTIES IN A NI50MN18.5GA25CU6.5 HEUSLER ALLOY. *Materials Research Bulletin*. 2023. V. 158. P. 112050. DOI: 10.1016/j.materresbull.2022.112050 (IF = 5.768, Q1)

3. Kuznetsov D.D., Kuznetsova E.I., Mashirov A.V., Loshachenko A.S., Danilov D.V., Mitsiuk V.I., Kuznetsov A.S., Shavrov V.G., Koledov V.V., Ari-Gur P. MAGNETOCALORIC EFFECT, STRUCTURE, SPINODAL DECOMPOSITION AND PHASE TRANSFORMATIONS HEUSLER ALLOY NI-MN-IN. *Nanomaterials*. 2023. V.13, № 8. P. 1385. DOI: 10.3390/nano13081385 (IF = 5.635, Q1)

4. Ari-Gur P., Madiligama A., Felner I., Tsindlekht M.I., Ren Y., Brown D.W., Shavrov V., Koledov V., Mashirov A., Kayani A. THE NATURE OF THE METAMAGNETIC TRANSITION IN HEUSLER ALLOY NI44.9MN43IN12.1 STUDIED FOR MAGNETIC REFRIGERATION APPLICATION. *Materials Science and Engineering: B*. 2022. V. 283. P. 115796. DOI: 10.1016/j.mseb.2022.115796 (IF = 7.175, Q1)

5. Koshkidko Y.S., Cwik J., Rogacki K., Dilmieva E.T., Kamantsev A.P., Mashirov A.V., Shavrov V.G., Koledov V.V., Khovaylo V.V., Mejia C.S., Zagrebin M.A., Sokolovskiy V.V., Buchelnikov V.D., Ari-Gur P., Bhale P. MAGNETOCALORIC EFFECT AND MAGNETIC PHASE DIAGRAM OF NI-MN-GA HEUSLER ALLOY IN STEADY AND PULSED MAGNETIC FIELDS. *Journal of Alloys and Compounds*. 2022. V. 904. P. 164051. DOI: 10.1016/j.jallcom.2022.164051 (IF = 6.672, Q1)

6. Madiligama A., Ari-Gur P., Ren Y., Shavrov V.; Ge Y., George J. Musabirov I., Koledov V. MARTENSITIC AND INTER-MARTENSITIC TRANSFORMATIONS IN MAGNETOCALORIC NI_{2.15}MN_{0.85}GA HEUSLER ALLOY. IEEE Transactions on Magnetics. 2022. V. 58, № 9. P. 2502006. DOI: 10.1109/TMAG.2021.3102948 (IF = 2.475, Q2)

7. Kuznetsov D.D., Mashirov A.V., Shavrov V.G., Koledov V.V., Kuznetsova E.I., Loshachenko A.S., Danilov D.V., Shandryuk G.A. IN SITU TEM STUDY OF PHASE TRANSFORMATIONS IN NONSTOICHIOMETRIC NI₄₆MN₄₁IN₁₃ HEUSLER ALLOY. Physics of the Solid State. 2022. V. 64. № 1. P. 15-21. DOI: 10.1134/S1063783422010115 (IF = 0.643, Q4)

8. Musabirov I.I., Safarov I.M., Galejev R.M., Afonichev D.D., Mulyukov R.R., Gaifullin R.Y., Kalashnikov V.S., Dilmieva E.T., Koledov V.V., Taskaev S.V. INFLUENCE OF MULTI-AXIAL ISOTHERMAL FORGING ON THE STABILITY OF MARTENSITIC TRANSFORMATION IN A HEUSLER NI-MN-GA ALLOY. Transactions of the Indian Institute of Metals. 2021. V. 74. P. 2481–2489. DOI: 10.1007/s12666-021-02349-9 (IF = 1.743, Q2)

9. Gamzatov A.G., Aliev A.M., Batdalov A.B., Khizriev S.K., Kuzmin D.A., Kamantsev A.P., Kim D.-H., Yen N.H., Dan N.H., Yu S.-C. DYNAMICS OF THE MAGNETOCALORIC EFFECT IN CYCLIC MAGNETIC FIELDS IN NI₅₀MN₃₅AL₂SN₁₃ RIBBON SAMPLE. Journal of Materials Science. 2021. V. 56. № 27. P. 15397-15406. DOI: 10.1007/s10853-021-06257-7 (IF = 4.725, Q1)

10. Mashirov A.V., Kamantsev A.P., Kuznetsov D.D., Koledov V.V., Shavrov V.G. SURFACE ENERGY UPON THE MARTENSITIC PHASE TRANSITION IN MICROSIZED SAMPLES OF NI-MN-GA-CU HEUSLER ALLOY. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2021. V. 85. № 7. P. 751-754. DOI: 10.3103/S1062873821070145 (IF = 0.475, Q3)

11. Khovaylo V.V., Taskaev S.V., Karpenkov D.Yu., Skokov K.P., Buchelnikov V.D., Sokolovskiy V.V., Dilmieva E.T., Koledov V.V., Koshkid'Ko Yu.S., Shavrov V.G., Bobrovskij I., Dyakonov A., Chatterjee R., Vasiliev A.N. MAGNETOCALORIC PROPERTIES OF NI₂+XMN₁-XGA WITH COUPLED MAGNETOSTRUCTURAL PHASE TRANSITION. Journal of Applied Physics. 2020. V. 127. № 17. P. 173903. DOI: 10.1063/5.0003327 (IF = 3.033, Q2)

12. Dilmieva E.T., Koshkid'ko Y.S., Koledov V.V., Shavrov V.G., Cwik J., Khovaylo V.V., Sampath V. ROLE OF MAGNETIC AND TEMPERATURE CYCLING ON MARTENSITE FORMATION IN NI_{2.19}MN_{0.81}GA SINGLE CRYSTALS OF A HEUSLER ALLOY. Journal of Applied Physics. 2020. V. 127. № 17. P. 175103. DOI: 10.1063/5.0003287 (IF = 3.033, Q2)

13. Aliev A.M., Batdalov A.B., Khanov L.N., Mashirov A.V., Dil'mieva E.T., Koledov V.V., Shavrov V.G. DEGRADATION OF THE MAGNETOCALORIC EFFECT IN NI_{49.3}MN_{40.4}IN_{10.3} IN A CYCLIC MAGNETIC FIELD. Physics of the Solid State. 2020. V. 62. № 5. P. 837-840. DOI: 10.1134/S1063783420050030 (IF = 0.643, Q4)

14. Koshkid'ko Yu.S., Dilmieva E.T., Cwik J., Rogacki K., Kowalska D., Kamantsev A.P., Koledov V.V., Mashirov A.V., Shavrov V.G., Valkov V.I., Golovchan A.V., Sivachenko A.P., Shevyrtalov S.N., Rodionova V.V., Shchetinin I.V., Sampath V. GIANT REVERSIBLE ADIABATIC TEMPERATURE CHANGE AND ISOTHERMAL HEAT TRANSFER OF MNAS SINGLE CRYSTALS STUDIED BY DIRECT METHOD IN HIGH MAGNETIC FIELDS. Journal of Alloys and Compounds. 2019. V. 798. P. 810-819. DOI: 10.1016/j.jallcom.2019.05.246 (IF = 6.672, Q1)

15. Kuchin D.S., Dilmieva E.T., Kamantsev A.P., Koledov V.V., Mashirov A.V., Shavrov V.G., Koshkid'ko Y.S., Cwik J., Rogacki K., Khovaylo V.V. DIRECT MEASUREMENT OF SHAPE MEMORY EFFECT FOR NI₅₄MN₂₁GA₂₅, NI₅₀MN_{41.2}IN_{8.8} HEUSLER ALLOYS IN HIGH MAGNETIC FIELD. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2019. V. 482. P. 317-322. DOI: 10.1016/j.jmmm.2019.02.087 (IF = 2.871, Q2)

Зам. директора по научной работе
ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН,
д.ф.-м.н.



О.В. Бутов

Зав. лаборатории
магнитных явлений в микроэлектронике
ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН
д.ф.-м.н., профессор

В.Г. Шавров