

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук Блинова Михаила Ильича
на тему: «Магнитотранспортные свойства сплавов на основе Ni-Mn
в области магнитоструктурных переходов»
по специальности 01.03.12 (01.04.11) - «Физика магнитных явлений»

В последние годы значительный интерес учёных во всём мире вызывает поиск и исследование новых твёрдотельных соединений и сплавов, демонстрирующих яркие эффекты влияния внешних полей (включая магнитные поля) на их структуру и физические свойства. Часто эти эффекты связаны с появлением различных типов фазовых превращений. Предложены амбициозные идеи их широкого применения для создания нового уровня технологий в таких актуальных областях, как робототехника, медицина, энергетика.

Развитие нанотехнологии и поиск новых магнитных материалов привёл к открытию эффекта гигантского магнитосопротивления в мультислоях, что явилось толчком к систематическим исследованиям гетерогенных магнитных систем. Поэтому закономерно, что в последние годы был обнаружен целый ряд структур и состояний, обладающих уникальными и полезными свойствами (спин-вентильные сэндвичи, гранулированные сплавы, системы с туннельными контактами, нанокомпозиты). Были открыты новые эффекты, такие как, инверсное гигантское магнитосопротивление в мультислоях и композитах, гигантский аномальный эффект Холла в нанокомпозитах и колоссальный эффект Холла в манганитах.

В отличие от исследований явлений переноса в кристаллах, не содержащих атомов переходных элементов, в кристаллах переходных и редкоземельных элементов, их сплавах и соединений имеет место быть наличие добавочных факторов, связанных с существованием незаполненных электронных оболочек в атомах. Существование магнитного порядка в этих кристаллах приводит к аномальным эффектам при движении носителей электрического тока во внешних электрических и магнитных полях. Тепловые флуктуации в системе “магнитных” электронов способствуют появлению нового механизма рассеяния носителей тока, связанного с их обменным взаимодействием. Существование намагниченности приводит к снятию спинового вырождения носителей тока и к появлению зависимости характеристик их спектра от величины спонтанной намагниченности. В ряде

случаев, например, при образовании магнитных подрешёток из-за пространственной симметрии кристалла, последний эффект может привести к снятию пространственного вырождения, появлению новых границ Бриллюэна, к существенному изменению спектра и плотности состояний носителей тока.

В связи с этим, наибольший интерес представляют исследования кинетических эффектов в таких переходных металлах и сплавах, в которых реализуется многообразие магнитных структур и магнитных состояний.

Целью диссертационной работы М.И. Блинова было исследование физических процессов при фазовых переходах в сплавах на основе Ni-Mn и функциональных свойств, связанных с этими переходами. Изучалось влияние температуры, магнитного поля и состава сплава на магнитные и гальваномагнитные свойства сплавов.

Диссертационная работа М.И. Блинова состоит из введения, шести глав, заключения и списка цитируемой литературы (87 наименований). Работа изложена на 113 страницах и содержит 41 рисунок и 3 таблицы.

Во введении сформулированы: актуальность выбранной проблемы, цель работы, её научная новизна и практическая значимость.

Первая глава диссертационной работы посвящена описанию гальваномагнитных явлений, обзору публикаций, связанных с рассмотрением магнитотранспортных свойств проводников, включая электрическое сопротивление, магнитосопротивление, эффект Холла (в том числе аномальный эффект Холла). В этой главе содержится информация о магнитокалорическом эффекте, который использовался автором при изучении фазовых магнитных переходах.

Во второй главе представлена информация об исследованных объектах (методы приготовления и аттестация), возможностях экспериментальных установок и методик (разработанных автором) обработки экспериментальных результатов. Как следует из содержания материалов данной главы: обоснованность и достоверность полученных в диссертационной работе результатов обеспечена использованием современных экспериментальных методов изготовления образцов и их структурной аттестации, использованием апробированных методов изучения магнитных (вибрационный магнитометр «Lake Shore», магнитокалорический комплекс «MagEg MMS 801»), магнитотранспортных свойств сплавов (измерительный комплекс «Кинетика»), воспроизводимостью результатов, а также большим объёмом представленного фактического материала.

В третьей, четвёртой, пятой и шестой главах представлены материалы экспериментальных исследований магнитных, (включая

магнитокалорические), магнитотранспортных свойств сплавов на основе Ni-Mn.

Третья глава целиком посвящена изложению результатов экспериментальных исследований сплавов $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{35}\text{In}_{15-x}\text{B}_x$ ($x = 0,5 - 2$ ат%). Проведено исследование магнитных свойств всех образцов серии, определены характерные температуры магнитных фазовых переходов, после чего образцы были изучены с помощью измерения магнитокалорического эффекта и гальваномагнитных свойств. Исследования показали наличие двух стабильных ферромагнитных фаз с отличающимися характеристиками. Разность в величине проводимости обеих фаз также привела к росту значения магнитосопротивления, превышающего 10%.

Используя авторскую методику разделения вкладов, М.И. Блинов показал, что у сплавов с содержанием бора 0,5 и 0,75 ат.% коэффициент нормального эффекта Холла меняет знак при магнитоструктурном переходе, что свидетельствует о смене знака эффективного заряда носителей тока. При этом коэффициент аномального эффекта Холла претерпевал ранее не наблюдавшийся в данном классе магнитных материалов скачок. Исследования температурной зависимости электрического сопротивления изученных сплавов показали не выполнение правила Муиджи.

Четвёртая глава посвящена изложению результатов экспериментальных исследований магнитных и гальваномагнитных свойств плёнки состава $\text{Ni}_{47,3}\text{Mn}_{30,6}\text{Ga}_{22,1}$.

Исследования зависимостей намагниченности материала от температуры и величины магнитного поля позволили установить наличие магнитоструктурного перехода, а также признаки остаточной низкотемпературной структурной фазы в области высоких температур, выше температуры перехода в парамагнитное состояние. Исследование электрического сопротивления также позволило определить фазовый переход при высоких температурах, выше температуры Кюри.

Из-за немонотонного изменения эффекта Холла при монотонном росте намагниченности были использованы численные методы аппроксимации результатов, которые позволили разделить вклады в эффект Холла.

Пятая глава содержит результаты экспериментальных исследований магнитных и магнитотранспортных свойств плёнки $\text{Ni}_{49,7}\text{Fe}_{17,4}\text{Ga}_{28,7}\text{Co}_{4,2}$. Результаты исследований показали, что в то время, когда магнитные характеристики практически не проявляют явных признаков магнитоструктурного перехода, магнитосопротивление и эффект Холла

претерпевают типичные для ферромагнетиков изменения при фазовом переходе.

Шестая глава диссертационной работы посвящена экспериментальным исследованиям поведения намагниченности, электрического сопротивления, магнитосопротивления и эффекта Холла при изменении температуры и величины магнитного поля сплава $\text{Ni}_{49}\text{BiMn}_{35}\text{In}_{15}$. Был зафиксирован индуцированный магнитным полем (5 кЭ) магнитоструктурный переход при температуре 190 К. Все исследованные в эксперименте характеристики сплава претерпевают изменения. В парамагнитной области температур обнаружены нелинейные зависимости эффекта Холла от величины магнитного поля, что может указывать на возможность наличия связи между низкотемпературной фазой и состоянием выше температуры Кюри.

К наиболее значимым результатам диссертационной работы можно отнести следующие.

1. Важным преимуществом полученных в диссертационной работе результатов является проведение исследований намагниченности, электрического сопротивления, магнитосопротивления, эффекта Холла и магнитокалорических измерений на одних и тех же образцах, что безусловно способствует лучшему пониманию взаимосвязи исследований, т.к. все изученные сплавы являются в исходном состоянии неупорядоченными сплавами, свойства которых зависят от их предыстории.
2. По результатам исследования эффекта Холла (нормальный эффект Холла) в сплавах системы $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{35}\text{In}_{15-x}\text{B}_x$ ($x = 0,5 - 2$ ат%) обнаружена смена знака эффективных носителей тока при этом переходе. Также зафиксирована аномалия в поведении коэффициента аномального эффекта Холла вблизи этого магнитоструктурного перехода.
3. В сплавах $\text{Ni}_{47,3}\text{Mn}_{30,6}\text{Ga}_{22,1}$ и $\text{Ni}_{49}\text{BiMn}_{35}\text{In}_{15}$ экспериментально установлена немонотонная зависимость эффекта Холла от величины внешнего магнитного поля, что является необычным для поведения магнитоупорядоченных веществ. В парамагнитной области температур обнаружен структурный переход между слабомагнитными состояниями, особенностью которого является - более высокотемпературное состояние проявляет свойства структурного состояния, наблюдаемого при криогенных температурах.
4. При комплексных исследованиях плёнки состава $\text{Ni}_{49,7}\text{Fe}_{17,4}\text{Ga}_{28,7}\text{Co}_{4,2}$ продемонстрировано, что исследования магнитосопротивления и эффекта Холла являются более информативными по сравнению с результатами исследования намагниченности и электрического

сопротивления в областях предмартенситного и мартенситного переходов.

5. Разработана оригинальная методика разделения вкладов от нормального и аномального эффектов Холла в случае нескольких механизмов рассеяния носителей тока в объёмных и плёночных ферромагнитных материалах с помощью численных методов.

Полученные в диссертационной работе экспериментальные результаты, разработанные оригинальные методы и подходы представляют интерес для широкого круга специалистов, работающих в области физики магнитных явлений. Результаты работы могут представлять интерес для научно-исследовательских организаций, таких как ЧелГУ, ИФМ УрО РАН, ЮУрГУ, МФТИ, НИТУ «МИСиС», ТвГУ, ИОФАН и др.

По диссертационной работе есть следующие замечания.

1. Структурные свойства (рисунки 2.1-2.4) обсуждаются очень кратко. Не приводится соотношение фаз, размер кристалличности, и .т.д.
2. Рисунок 3.1. На графиках есть 3 типа кривых. Было бы логично представить для них пояснения. Рост намагниченности с температурой при нагреве в слабом магнитном поле объясняется «увеличением спонтанной намагниченности размагниченного образца под действием температурных флуктуаций индивидуальных магнитных моментов». Это утверждение ничем не подкреплено и остается неясным.
3. Используются термины «слабомагнитное», «сильномагнитное» состояния. Иногда в скобках указывается «ферромагнитное», «парамагнитное». Есть ли необходимость в использовании таких неконкретных терминов?
4. Указывается, что сплав $Ni_{50}Mn_{35}In_{14.25}B_{0.75}$ обладает наиболее низкой температурой магнитоструктурного перехода. Однако, как следует из рисунка 3.3., этот переход проходит в значительном интервале температур. С чем это связано и как это может повлиять на изучаемые эффекты?

Технические замечания

В тексте имеется значительное количество грамматических и стилистических ошибок. Приведу несколько примеров:

Стиль: «Современные, ранее неисследованные материалы также представляют множество новых свойств». Если они не исследованы, то как известны их свойства?

«В настоящее время интерес к данным явлениям развитием направления спинтроники и потенциального применения в качестве основы для

магниторезистивной энергонезависимой памяти» Здесь определено что-то пропущено.

Кажется, что нет необходимости приводить в диссертации фотографии коммерческих приборов (Рис.2.5-VSM, Рис. 2.6- MagEgMMS, Рис. 2.7- Транспортные свойства) и технические спецификации. Если есть желание обсудить принцип работы, то можно привести принципиальную схему.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает всем требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.03.12 (01.04.11) - «Физика магнитных явлений» (по естественным наукам), а также критериям, определённым пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям №5,6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Блинов Михаил Ильич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.12 (01.04.11) - «Физика магнитных явлений».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры Технологии материалов электроники
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования “Национальный исследовательский технологический
университет “МИСиС”

Панина Лариса Владимировна

30.11.2021

Контактные данные:

тел.: 7(926)0765513, e-mail: drlpanina@gmail.com

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.11-физика магнитных явлений

Адрес места работы:

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС», Институт новых материалов и нанотехнологий,
Кафедра технологии материалов электроники
Тел.: +7(495)955 00 32, сайт: <http://misis.ru/>

Подпись сотрудника
кафедры Технологии материалов электроники
НИТУ «МИСиС»
Л.В. Паниной удостоверяю:

Проректор по науке и инновациям

Филонов М.Р.