

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Комлева Алексея Степановича на тему: «Релаксация намагниченности в объектах различной размерности на основе сплава FeRh» по специальности 1.3.12 – Физика магнитных явлений

В диссертационной работе А.С. Комлева представлены всесторонние исследования параметров магнитного фазового перехода первого рода соединений на основе FeRh. Акцент исследований сделан на анализе релаксационного поведения намагниченности вблизи температуры фазового перехода. **Актуальность** выбранной темы связана с перспективами практического использования материалов с магнитным фазовым переходом в электротехнике, микроэлектронике и спинтронике. Кроме того, актуальность обусловлена наличием фундаментальной взаимосвязи между электронной, решеточной и магнитной подсистемами сплавов на основе FeRh, которые определяют механизмы роста ферромагнитной фазы в процессе фазового перехода. Для детального понимания ответственных за длительную релаксацию намагниченности механизмов выбранного сплава FeRh необходимо знание особенностей его кристаллического строения, параметров фазового перехода из антиферромагнитного в ферромагнитное состояние, специфику кинетики роста ферромагнитной фазы и изменения ее микромагнитной структуры. Исходя из поставленных в диссертации цели и задач были удачно выбраны методы их решения. Широкий круг используемых экспериментальных методик позволил достоверно охарактеризовать структурные и магнитные свойства исследуемых объектов (объемных сплавов, тонких пленок, наночастиц сплавов на основе FeRh). Предложенные теоретические модели бесспорно имеют научную новизну, позволили предсказать и объяснить ряд экспериментально наблюдаемых эффектов, связанных с особенностями кинетики роста ферромагнитной фазы вблизи температуры фазового перехода.

Диссертационная работа Комлева А.С. представляет собой законченное оригинальное научное исследование в области физики магнитных явлений, состоит из введения, пяти глав, описывающих оригинальные результаты работы, перечня основных результатов и выводов, списка литературы из 124 наименований.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы работы, отображены ее новизна и практическая значимость.

Первая глава посвящена анализу текущего состояния исследований особенностей фазового перехода в сплавах на основе FeRh и перспектив практических приложений материалов с магнитными фазовыми переходами. Большое внимание уделено анализу опубликованных исследований, связанных с изучением длительной релаксации намагниченности в сплавах на основе FeRh, а также роли микроструктурных особенностей данного материала на параметры фазового перехода. Помимо рассмотрения известных экспериментальных результатов автор диссертации перечисляет основные теоретические модели, при помощи которых

возможно описать магнитные фазовые переходы, приведены достоинства и недостатки каждой из них.

Во второй главе представлены изучаемые в работе образцы, методики их исследования, протоколы экспериментальных исследований, а также предлагаемые феноменологические модели. Стоит отметить, что протоколы измерения временных зависимостей намагниченности оригинальны и позволяют получать результаты с высокой степенью воспроизводимости. Предложенные феноменологические модели являются взаимодополняющими, так как одна из них описывает особенности поведения макроскопических свойств, а другая позволяет сделать вывод о роли взаимосвязи между структурными и магнитными свойствами на микроскопическом уровне.

Третья глава посвящена изучению магнитных свойств объемных сплавов и тонких пленок на основе сплава железа-родия вблизи температур фазового перехода. На основе представленных результатов соискатель сделал выводы о влиянии микроструктурных особенностей сплава на температуру фазового перехода, намагниченность насыщения, эффективную константу магнитной анизотропии, ширину температурного гистерезиса, величину изменения энтропии при переходе из антиферромагнитного в ферромагнитное состояние. Особое внимание было уделено изучению кинетики фазового перехода в выбранных объектах. Диссертантом предложена модель, способная рассчитывать температурные зависимости намагниченности при различных скоростях нагрева, результаты которой демонстрируют высокую степень согласованности с экспериментом. Из этой же модели предсказывается значительное увеличение времени релаксации намагниченности вблизи температуры фазового перехода, что также было обнаружено в эксперименте. С микроскопической точки зрения значительное время релаксации намагниченности объясняется за счет возникновения локальных механических напряжений в сплаве, появляющихся в результате структурных изменений материала. Данный вывод подкрепляется проведенными численными расчетами и обилием экспериментальных результатов.

В главе 4 явным образом продемонстрированы особенности изменения микромагнитной структуры в процессе фазового перехода, которые возникают в тонких пленках сплава FeRh. Стоит отметить, что представленные диссертантом систематические исследования данного явления объясняют ряд представленных ранее в литературе экспериментальных фактов. В частности, в данной главе явно продемонстрировано, что рост ферромагнитной фазы и изменение ее микромагнитной структуры в процессе магнитного фазового перехода первого рода в сплавах на основе FeRh при температурном воздействии происходят изотропно, в случае инициирования фазового перехода внешним магнитным полем наблюдается анизотропия данных процессов.

Пятая глава посвящена изучению магнитных и структурных свойств наночастиц сплава на основе FeRh. Представленные всесторонние исследования выбранного образца позволяют установить причины значительного уменьшения

температуры фазового перехода из антиферромагнитного состояния в ферромагнитное. В диссертации закономерно определено, что суперпарамагнитный эффект является доминирующим механизмом, который определяет релаксационные особенности сплава вблизи комнатной температуры. Анализ влияния размерных эффектов на параметры фазового перехода имеет значительную ценность при миниатюризации разрабатываемых на основе подобных материалов устройств.

Исследования, представленные в обсуждаемой диссертационной работе, пронизаны единой логикой изложения и направлены на решение поставленных задач. Полученные выводы нетривиальны и апробированы в опубликованных рецензируемых статьях, представлены на крупных международных конференциях. Положения, выносимые на защиту, являются оригинальными и отражают основную суть работы. Наличие данных фактов повышает **степень обоснованности** научных положений.

Достоверность и новизна полученных результатов обусловлены широким использованием экспериментальных и расчетных методик, которые взаимодополняют друг друга. Во всех главах приводятся непротиворечивые между собой и с уже известными результатами структурные и магнитные данные для исследуемых образцов. Рассматриваются модернизированные теоретические модели, результаты расчета которых коррелируют с экспериментом.

В работе объемом 123 страницы неизбежны некоторые недостатки

- 1) Рис. 12 с результатами рентгеноструктурного анализа было бы целесообразнее вынести в третью главу диссертации.
- 2) Оценку температуры Кюри, приведенную на рис. 15, корректнее выполнять с использованием кривых Белова-Аррота.
- 3) Очевидно, что при магнитоструктурном переходе вклад в изменение энтропии дает как магнитная, так и структурная подсистема. Проводились ли оценки этих вкладов в изменение энтропии (рис. 18)?
- 4) В формуле 11 адиабатическое изменение температуры обозначено как $\Delta T_{ad,max}$. Непонятно, какой смысл вкладывается в "max". Также непонятно, как определялась температура фазового перехода T_0 , т.к. переход имеет ярко выраженный гистерезисный характер (рис. 6б).
- 5) При перечислении сплавов и соединений, в которых наблюдаются магнитные фазовые переходы (раздел 1.3), допущено ряд неточностей. Так, утверждается, что переход из ферромагнитного состояния в антиферромагнитное или спиральное упорядочение наблюдается в $CrS_{1,17}$ и в $Mn_{2-x}Cr_xSb$, соответственно. В действительности этот переход происходит из ферромагнитного состояния. Кроме этого, насколько мне известно, в $MnSn_2$ переход происходит между двумя антиферромагнитными состояниями, а в Mn_3Ge магнитный фазовый переход 1-го рода не наблюдается. Также не совсем понятно, что имеется в виду под словосочетанием «сплавы на основе $Ni_{50}Mn_{35}In_{15}$ » (почему, например, не на основе $Ni_{50}Mn_{36}In_{14}$?) и почему здесь не упомянуты другие т.н.

метамангнитные сплавы с памятью формы на основе нестехиометрических составов сплавов Гейслера Ni_2MnSb и Ni_2MnSn , а также сплава Гейслера Ni_2MnGa . Кроме этого, я не смог найти статьи, посвященных изучению магнитных фазовых переходов 1-го рода в $Mn_{0.9}Li_{0.1}Se$ и Cr_3As , так что было бы целесообразным привести ссылки на соответствующие источники.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.12 – Физика магнитных явлений (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Комлев Алексей Степанович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – «Физика магнитных явлений».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук

профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов
НИТУ МИСИС

ХОВАЙЛО Владимир Васильевич

03 июня 2024 г.

Контактные данные:

тел.: +7(926)374-3260 , e-mail: khovaylo@misis.ru.

Специальность, по которой официальным оппонентом

защита диссертация: 01.04.11 – физика магнитных явлений

Адрес места работы:

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1

НИТУ МИСИС,

Тел.: -; e-mail: khovaylo@misis.ru

ПОДПИСЬ _____
Проректор по безопасности
и общим вопросам
НИТУ МИСИС _____ Саев

