

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук Дмитриенко Владимира Евгеньевича на диссертацию Дубицкого Ильи Семеновича «Поведение локальной намагниченности в ферромагнитных инвертированных опалах в магнитном поле: микромагнитное моделирование и эксперимент», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Наша нынешняя технологическая цивилизация всё больше зависит от наноразмерных элементов электроники, создание и совершенствование которых определяет направление и скорость её развития. В последние годы к полупроводниковой электронике добавились ещё оптоэлектроника и спинтроника, использующие огромное разнообразие оптических и магнитных материалов, которые необходимо создавать, исследовать и применять. Рассматриваемая диссертация И.С. Дубицкого как раз и находится на стыке оптических и магнитных материалов, поэтому её актуальность и практическая значимость представляется несомненной. Эта работа посвящена исследованию ферромагнитных инвертированных опалов, которые получают при заполнении пустот в опалоподобных искусственных материалах ферромагнитными металлами. Пространственная периодичность таких структур оказывается в оптическом диапазоне длин волн, а их магнитные свойства весьма нетривиальны и зависят от структуры и симметрии кристаллической решётки опалов. Количественно эти магнитные свойства могут быть поняты только при совместном использовании теоретического моделирования и экспериментального изучения различными методами.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Полный объём диссертации составляет 153 страницы с 56 рисунками. Список литературы содержит 293 наименования.

Во введении обсуждается актуальность исследований, проводимых в рамках диссертационной работы, формулируются цели и задачи работы, определяются объекты исследований. Обосновывается научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Описывается структура и содержание работы.

Первая глава диссертации фактически является вводной и содержит весьма обстоятельное и квалифицированное описание научных исследований, посвященных инвертированным опалам, что является несомненным достоинством данной работы. В

автореферате автор почему-то называет этот обзор кратким.

Во второй главе изложены сведения по изготовлению образцов и экспериментальным методам исследования, которые весьма разнообразны. Описаны особенности синтеза инвертированных опалов, достаточно внимания уделено описанию малоуглового рассеяния рентгеновского излучения и нейтронов в стандартной и скользящей геометриях, а также магнитометрии, в том числе магнитно-силовой микроскопии.

В третьей главе подробно представлен метод микромагнитного моделирования, который является основой данной диссертационной работы. Обстоятельно описаны структурные и магнитные конфигурации, встречающиеся в инвертированных опалах на уровне элементарной ячейки этих кристаллов. Обсуждается важность деформации микросфер для возникновения магнитной решётки. Определены границы применимости правила спинового льда в изучаемых инвертированных опалах. Вычислена величина неколлинеарной полю компоненты намагниченности, возникающей при приложении магнитного поля вдоль сравнительно низкосимметричного кристаллографического направления [211]. Приведены результаты расчётов распределения намагниченности для ряда конкретных случаев.

В четвертой главе проведено детальное сравнение результатов микромагнитных расчетов и экспериментальных данных, полученных при помощи магнитометрии и малоуглового рассеяния нейтронов. Интерпретация экспериментов по рассеянию выполнена с помощью вычисления Фурье-компонент распределения намагниченности в элементарной ячейке. Следует подчеркнуть, что при сравнении в микромагнитной модели не применялись какие-либо свободные подгоночные параметры.

В пятой главе магнитные свойства поверхности инвертированных опалов исследовались при помощи магнитно-силовой микроскопии. Результаты измерений были успешно интерпретированы посредством микромагнитного моделирования. Исследования инвертированных опалов методом магнитно-силовой микроскопии ранее не проводились.

Все главы подытоживаются соответствующими основными выводами. Моделирование и экспериментальные результаты хорошо проиллюстрированы рисунками и графическими материалами.

Научная новизна

Работа содержит большое число новых результатов эксперимента и моделирования.

Наиболее значимые из них:

- Доказано, что инвертированные опалы на основе никеля и кобальта относятся к классу трёхмерных спиновых льдов.
- С помощью микромагнитного моделирования показано, что во внешнем магнитном поле, приложенном вдоль направления [211] кубической структуры, в инвертированных опалах возникает компонента намагниченности, направленная перпендикулярно полю. Ее появление является следствием выполнения правила спинового льда.
- Впервые проведены исследования поверхности инвертированных опалов методом магнитно-силовой микроскопии.

Практическая значимость

Представленная работа обладает всеми свойствами фундаментального исследования, в ней сочетаются моделирование и экспериментальное исследование. Установленные в результате выполнения данной работы факты и закономерности вносят значительный вклад в современные представления о физике ферромагнитных инвертированных опалов. Полученные экспериментальные результаты могут быть востребованы в научных лабораториях, занимающихся проблемами магнетизма и его связью с кристаллографической структурой, и в будущем могут быть использованы при разработке современных устройств хранения и обработки информации, а также спинтронных устройств.

Апробация работы.

Соискателем за период 2015 – 2017 гг. по результатам работы опубликовано 5 статей в журналах, индексируемых международными библиографическими базами данных Web of Science и Scopus, а также национальной библиографической базой данных научного цитирования РИНЦ. Основные результаты были представлены на российских и международных конференциях.

Степень достоверности полученных результатов

Обоснованность и достоверность основных результатов и выводов диссертации обеспечиваются корректностью постановки задач работы, использованием современных методик моделирования в сочетании с высоким уровнем оборудования, полностью соответствующего технике современного эксперимента. Моделирование и эксперимент дополняют друг друга, и поэтому для научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, характерна внутренняя непротиворечивость.

Замечания по диссертационной работе

Следует отметить следующие небольшие недостатки представленной работы:

1. В использованном в работе моделировании локальных магнитных свойств слабо используется симметрия задачи, которая позволила бы улучшить получение и понимание результатов. В автореферате симметрия вообще не упоминается, а в диссертации она упоминается только при описании экспериментальных данных. Между тем глобальная и локальная симметрии спиновых структур и спинового льда могут быть весьма нетривиальными, и жаль, что этим фактам не было уделено должного внимания.
2. В любых магнитных структурах нарушается обращение времени, и было бы интересно использовать соответствующие теоретические и экспериментальные методы для исследования этого явления в ферромагнитных инвертированных опалах.

Заключение

Диссертация И.С. Дубицкого представляет собой результат микромагнитного моделирования и экспериментального исследования локальной намагниченности ферромагнитных инвертированных опалов в магнитных полях. В результате выполнения работы были получены важные данные, позволяющие выявить нетривиальные закономерности в изменении свойств ферромагнитных инвертированных опалов в зависимости от кристаллографического направления приложенного поля. Экспериментальная часть требовала от диссертанта высокой квалификации в магнитных измерениях и в использовании рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей. Сделанные выше замечания, касающиеся уточнения решаемых в диссертации задач, никак не влияют на общую оценку данной научно-квалификационной работы. Высокий уровень диссертации подтверждается уровнем журналов, в которых опубликованы статьи диссертанта. Публикации в научной печати полностью отражают основные результаты работы. Автореферат с достаточной полнотой отражает основное содержание диссертационной работы.

Считаю, что представленная диссертационная работа И.С. Дубицкого «Поведение локальной намагниченности в ферромагнитных инвертированных опалах в магнитном поле: микромагнитное моделирование и эксперимент», по актуальности решаемых в ней задач, степени достоверности, научной новизне и практической значимости результатов, полностью

отвечает требованиям ВАК к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук (п. 9 Положения о присуждении учёной степени, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013, ред. от 30.07.2014), а её автор – Дубицкий Илья Семёнович несомненно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент

Доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник отдела теоретических исследований Института кристаллографии им. А.В. Шубникова Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» РАН



В.Е. Дмитриенко

119333, Москва,

Ленинский проспект, дом 59

Тел.: +7-499-135-6240

e-mail: dmitrien@crys.ras.ru

Подпись заверяю.

Ученый секретарь ФНИЦ

"Кристаллография и фотоника" РАН,

кандидат физико-математических наук



М.Г. Просеков



«15» мая 2018 г.