

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
«Казанский физико-технический
институт им. Е.К. Завойского»,
Казанского научного центра
Российской академии наук
420029, Российская Федерация,
Республика Татарстан,
г. Казань, Сибирский тракт, 10/7

профессор РАН, д.ф.-м.н. Калачев А.А.

« 06 » апреля 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Фрейдмана Александра Леонидовича «Экспериментальное исследование прямого и обратного магнитоэлектрического эффекта в монокристаллах $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ и $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ », представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Актуальность темы

Соединения, включающие редкоземельные и d-элементы, являются в настоящее время одними из наиболее исследуемых материалов с точки зрения как их уникальных физических свойств, так и с точки зрения их перспективного применения в спинтронике, компьютерных и телекоммуникационных технологиях, и др. Диссертационная работа А.Л. Фрейдмана посвящена изучению прямого и обратного магнитоэлектрических эффектов в монокристаллах алюмобората гольмия и ферробарата самария $\text{RM}_3(\text{BO}_3)_4$ ($\text{R}=\text{Ho}, \text{Sm}$). Наличие связи магнитной и электрической подсистем в мультиферроиках в идеале предоставляет возможность с помощью электрического поля управлять магнитными свойствами материала и, наоборот, осуществлять модуляцию электрических свойств магнитным полем. Таким образом, исследование монокристаллов $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ и $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ обусловлено не только фундаментальными научными причинами, но и возможным практическим применением.

Монокристаллы $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ обладают гигантским магнитоэлектрическим эффектом. В данном соединении не наблюдается магнитное и

сегнетоэлектрическое упорядочение, что требует тщательного экспериментального исследования. Интерес к монокристаллам ферробарата самария $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ обусловлен тем, что среди всех ферроборатов с одним типом редкоземельного иона в нем были обнаружены наибольший магнитоэлектрический эффект и гигантский магнитодиэлектрический эффект.

В связи с этим, проведенные А.Л. Фрейдманом исследования магнитоэлектрических свойств монокристаллов $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ и $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ являются актуальными как в фундаментальном, так и в прикладном аспектах.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой и авторской литературы. Общий объем работы составляет 102 страницы, включая 35 рисунков, 4 таблицы и библиографию из 69 наименований.

В первой главе проанализированы группы симметрии кристаллов, в которых могут наблюдаться магнитоэлектрические эффекты, приведены обзор литературы и основные результаты исследований влияния редкоземельного иона на свойства ферроборатов, а также особенности магнитных и диэлектрических свойств $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ и $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$. Следует отметить, что обзор и анализ литературы являются достаточно полными и глубокими, материал систематизирован и изложен профессиональным языком.

Во второй главе приводится описание методики измерений прямого и обратного магнитоэлектрических эффектов, подробно рассмотрен метод, предложенный Астровым. Автор диссертации разработана и собрана измерительная ячейка для измерения намагниченности во внешнем электрическом поле, электрической поляризации во внешнем магнитном поле и диэлектрической проницаемости в температурном диапазоне от 4.2K до 350K и магнитном поле до 70кЭ. Рассмотрены особенности конструкции и режима работы измерительной установки. Была проведена калибровка установки, путем сравнения величины магнитного момента и силы тока в компенсирующей катушке с известными значениями, полученными для $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$.

Проведенная автором модернизация вибрационного магнитометра позволила провести измерения магнитоэлектрических эффектов на монокристаллах

$\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ и $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ и получить детальное и исчерпывающее представление о физических свойствах исследуемых соединений.

В третьей главе описаны результаты измерений намагниченности, обратного и прямого магнитоэлектрических эффектов, диэлектрической проницаемости монокристалла алюмобората гольмия. Наблюдались температурная и полевая зависимости электрической поляризации во внешних магнитных полях 40, 50, 60 кОе. В диссертации предложена эмпирическая модель, описывающая расположение 4f-оболочки в кристаллическом поле лигандов, в различных магнитных полях. Сделан вывод о механизме появления электрического дипольного момента, объясняющий разные знаки продольного и поперечного магнитоэлектрического эффекта в $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$.

В четвертой главе приведены оригинальные измерения намагниченности как функции электрического поля в монокристалле $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$. Определены линейный и квадратичный вклады в магнитоэлектрический эффект. Высказано предположение, что прикладываемое переменное электрическое поле возбуждает в образце пьезоэлектрический эффект и электрострикцию, отвечающие за наблюдение первой и второй гармоники, соответственно.

Научная новизна и достоверность защищаемых положений

Диссертантом впервые получена установка, позволяющая проводить измерения магнитоэлектрического эффекта как функции магнитного поля до 70 кОе, в диапазоне температур от 4.2 К - 350 К, с амплитудой электрического поля до 1.5 кВ/см. Впервые проведены измерения магнитоэлектрического эффекта в монокристаллах $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ и $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ при направлении магнитного поля вдоль осей x- и y-. Впервые установлено, что изменение амплитуды колебаний намагниченности вдоль оси y- регистрируется во внешних магнитных и электрических полях, тогда как для наблюдения поляризации достаточно приложить внешнее магнитное поле в монокристалле $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$.

На защиту вынесено четыре научных положения. Защищаемые положения достаточно полно отражают достигнутые результаты.

Первое защищаемое научное положение касается исследования магнитоэлектрического эффекта в монокристалле $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$. Научная новизна этого положения заключается в том, что была впервые определена линейная

зависимость магнитоэлектрического эффекта от внешнего электрического поля, впервые установлено, что зависимость от внешнего магнитного поля имеет максимум.

Второе защищаемое научное положение получено на основании анализа магнитодиэлектрического эффекта в монокристалле $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$. Впервые полученные экспериментальные зависимости свидетельствуют об увеличении диэлектрической проницаемости кристалла при конфигурации магнитное поле параллельно оси u , электрическое поле параллельно оси x , и уменьшение диэлектрической проницаемости при конфигурации магнитное поле параллельно оси u , электрическое поле параллельно оси x при увеличении магнитного поля.

Третье защищаемое научное положение объясняет механизм возникновения магнитоэлектрического эффекта в монокристалле $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$. Качественно он обусловлен сильной спин-орбитальной связью, приводящей к изменению распределения электронной плотности 4f-оболочки в магнитном поле, в результате чего появляются электростатические силы и магнитострикция.

Четвертое защищаемое научное положение основано на исследовании магнитоэлектрического эффекта в монокристалле $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$. Обнаружено, что Первая гармоника магнитоэлектрического эффекта имеет линейную зависимость, а вторая гармоника имеет квадратичную зависимость по магнитному полю. Результаты получены впервые и обладают научной и практической значимостью.

Достоверность полученных данных подтверждается использованием современного аттестованного оборудования, согласием с экспериментальными результатами других авторов и непротиворечивостью известным физическим моделям.

Практическая значимость работы

Разработанная и собранная автором диссертации экспериментальная установка позволит проводить исследования магнитодиэлектрического эффекта монокристаллических соединений.

Выполненные в ходе работы исследования вносят вклад в понимание механизма магнито диэлектрического эффекта в кристаллах алюмобората гольмия. Информация об особенностях прямого и обратного магнитоэлектрического

эффектах способствует поиску соединений с гигантским магнитоэлектрическим эффектом при высоких температурах.

Вопросы и замечания:

1. В диссертации показаны температурные зависимости намагниченности монокристалла $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ в различных магнитных полях от 1kOe до 90 KOe (рис. 3.1 стр.64), но не рассмотрена магнитная восприимчивость, не показано как она меняется в различных магнитных полях, нет аппроксимации экспериментальных зависимостей законом Кюри-Вейсса, хотя сделан вывод о том, что во всем температурном диапазоне вещество является парамагнетиком, несмотря на то, что зависимость намагниченности от магнитного поля нелинейная, в магнитном поле выше 20kOe выходит практически на насыщение при температуре 4.2K, что говорит о суперпарамагнитном поведении образца.
2. На полученных экспериментальных графиках (например, рис.4.1) треугольниками обозначены точки, полученные линейной аппроксимацией. Каким образом автор подбирал гипотетические параметры данной линейной аппроксимации? Параметры линейной зависимости не приведены, экспериментальные ошибки не указаны.
3. В тексте диссертации не рассматривается возможное влияние магнитной структуры и особенностей упорядочения ионов самария и железа, поля анизотропии на температурно-полевою зависимость магнитоэлектрической восприимчивости (рис.4.5) для монокристалла и $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$, в которой наблюдается максимум в полях примерно 7.5 kOe.

Общее заключение

Диссертационная работа Фрейдмана Александра Леонидовича отличается новизной и достоверностью полученных результатов, а также практической значимостью. Результаты исследования опубликованы в журналах из перечня ВАК и были представлены на научных конференциях. Автореферат отражает содержание диссертации.

Результаты, полученные диссертантом, могут быть использованы в работах коллективов, изучающих магнитоэлектрические свойства монокристаллов, в

частности на кафедрах физических факультетов Казанского, Брянского и Московского университетов. Кроме этого, полученные в диссертации результаты могут быть использованы в научных учреждениях РАН: Институте спектроскопии РАН, Институте физики им. А.М. Прохорова РАН, Институт кристаллографии им. А.В. Шубкова РАН, Институте физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН, Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе РАН.

Диссертация Фрейдмана А.Л. «Экспериментальное исследование прямого и обратного магнитоэлектрического эффекта в монокристаллах $\text{HoAl}_3(\text{BO}_3)_4$ и $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ » отвечает всем требованиям ВАК, в том числе п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям физико-математического профиля, соответствует специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, а сам диссертант – Александр Леонидович Фрейдман – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертационная работа была доложена и обсуждена на расширенном научном семинаре лаборатории радиоспектроскопии диэлектриков Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН. Отзыв заслушан и одобрен на заседании Ученого Совета Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН, протокол № 12 от 06 апреля 2016 г.

Ведущий научный сотрудник
лаборатории радиоспектроскопии
диэлектриков Казанского физико-
технического института
им. Е.К. Завойского,
доктор физ.-мат. наук, доцент
420029, г. Казань, Сибирский тракт 10/7
КФТИ КазНЦ РАН
REremina@yandex.ru

Зав. лаборатории радиоспектроскопии
диэлектриков Казанского физико-
технического института
им. Е.К. Завойского,
доктор физ.-мат. наук, профессор
420029, г. Казань, Сибирский тракт 10/7
КФТИ КазНЦ РАН
tarasov@kfti.knc.ru



Еремина Рушана Михайловна.



Тарасов Валерий Федорович

