

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института физики  
им. Л.В. Киренского СО РАН



### ОТЗЫВ

ведущей организации Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН –  
обособленного подразделения ФИЦ КИЦ СО РАН

на диссертацию Могиленец Юлии Александровны на тему «Монокристаллические структуры на основе бората железа: синтез и изучение внутрикристаллических полей», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Ю.А. Могиленец посвящена синтезу и исследованию серии кристаллов слабо ферромагнитного бората железа  $\text{FeVO}_3$  и разбавленных боратов  $\text{Fe}_x\text{Me}_{1-x}\text{VO}_3$  ( $\text{Me} = \text{Ga}, \text{Al}, \text{Sc}$ ) а также пленок  $\text{FeVO}_3$  на монокристаллической подложке  $\text{GaVO}_3$ . **Актуальность** работы обусловлена тем, что простые решетка и магнитная структура, высокая температура Нееля, узкие линии электронного магнитного резонанса, прозрачность в видимой области спектра делают борат железа и разбавленные соединения на его основе уникальными объектами для

исследований и приложений. Эти кристаллы являются модельными для многочисленных экспериментальных и теоретических исследований, включая исследование обменного взаимодействия и взаимодействия Дзялошинского в обширном семействе слабых ферромагнетиков. О новизне работы свидетельствуют предложенные и реализованные новые режимы синтеза монокристаллов раствор-расплавным методом, обеспечившие получение крупных высококачественных монокристаллов бората железа, разработка технологии синтеза и синтез серии монокристаллов диамагнитно-разбавленных боратов, разработка технологии и синтез пленки бората железа на монокристаллической подложке, впервые полученные результаты исследования электронного магнитного резонанса в железо-галлиевом борате с широким диапазоном концентраций Fe и Ga, а также, а также моделирование магнитных свойств этого семейства кристаллов с применением оригинального алгоритма.

Представленная диссертация четко структурирована, состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы. Объем диссертации составляет 140 страниц машинописного текста, включая 54 рисунка и 28 таблиц. Библиография содержит 122 наименования. Во введении обосновывается актуальность и значимость исследования, сформулированы цель и задачи работы, основные положения, выносимые на защиту. Первая глава традиционно представляет собой обзор литературы по теме диссертации. Далее следуют три главы, содержащие оригинальные результаты.

В качестве наиболее важных результатов отметим следующие.

– Разработаны новые технологические режимы раствор-расплавного синтеза монокристаллов  $\text{FeBO}_3$  и  $\text{FexMe}_{1-x}\text{BO}_3$  ( $\text{Me} = \text{Ga}, \text{Al}, \text{Sc}$ ), позволяющие гарантированно получать крупные совершенные монокристаллы при экономии ресурсов и реактивов. Достигнута повторяемость результатов кристаллизаций, увеличен выход кристаллов. Особо следует отметить синтез серии монокристаллов  $\text{FexGa}_{1-x}\text{BO}_3$  с различными значениями  $x$ , то есть с

различной степенью диамагнитного разбавления. Метод диамагнитного разбавления позволяет управлять свойствами магнитно-концентрированного материала, замещая парамагнитные ионы железа диамагнитными. В результате происходит трансформация магнитных свойств, механизмы формирования которых имеют разную природу и, возможно, разную концентрационную зависимость, что дает принципиальную возможность эти механизмы изучать. Синтез диамагнитно-разбавленных кристаллов  $\text{Fe}_x\text{Me}_{1-x}\text{VO}_3$  и их исследование способствуют не только использованию линейки диамагнитно-разбавленных боратов в качестве модельного объекта для изучения природы формирования различных эффектов, наблюдаемых в  $\text{FeVO}_3$ , но и расширению возможностей практических применений бората железа и монокристаллов на его основе в различных областях науки и техники.

– Развита методика и впервые синтезированы тонкие магнитные пленки  $\text{FeVO}_3$  на изоструктурной диамагнитной подложке. Это достижение позволит выполнять фундаментальные исследования природы поверхностного магнетизма, в частности, в случае тонких пленок появляется возможность изучать поверхностную магнитную анизотропию без влияния объемного магнетизма.

– Синтезированы монокристаллы  $\text{GaVO}_3:\text{Ni}$  и обнаружен концентрационный структурный фазовый переход при возрастании концентрации никеля. Осуществление синтеза кристалла  $\text{GaVO}_3:\text{Ni}$  открывает возможность выяснить роль ионов никеля в формировании эффектов фотомагнитной памяти и индуцированной светом динамической неустойчивости доменной структуры, возникающих в борате железа при его допировании ионами никеля. **К сожалению, пороговая концентрация** никеля не определена. По-видимому, это задача на будущее.

– Получены спектры электронного магнитного резонанса для серии диамагнитно разбавленных кристаллов бората железа  $\text{Fe}_x\text{Me}_{1-x}\text{VO}_3$  в широком диапазоне концентраций, включая  $x=1$ , для различных температур.

Это позволило проследить переход от антиферромагнитного резонанса в неразбавленном кристалле к парамагнитному резонансу в изолированных ионах железа в кристаллах с сильным диамагнитным разбавлением, получить температурные и концентрационные зависимости поля Дзялошинского, изотропной и анизотропной энергетических щелей для монокристаллов  $\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{VO}_3$ , а также для пленки бората железа на диамагнитной подложке в интервале температур 4-300 К. Получен еще ряд закономерностей.

– Результаты компьютерного моделирования концентрационной зависимости плотности энергии обменного взаимодействия и взаимодействия Дзялошинского в диамагнитно-разбавленных монокристаллах  $\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{VO}_3$  с беспорядочным (случайным) распределением ионов железа и галлия по узлам кристаллической решетки. В расчетах используется хорошо известный численный метод Монте-Карло, позволяющий рассматривать различные случайные процессы и системы с беспорядком и находить интересующие статистические средние. Использование данного метода вполне соответствует объекту и задачам исследования, что обеспечивает достоверность полученных результатов. На основе численного моделирования делается вывод об уменьшении констант обменного взаимодействия и взаимодействия Дзялошинского при увеличении степени диамагнитного разбавления, что согласуется с экспериментально наблюдаемым уменьшением поля Дзялошинского  $H_D$ . Показано, что уменьшение  $H_D$ , наблюдаемое при снижении концентрации магнитных ионов в  $\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{VO}_3$ , реализуется, в том числе, за счет уменьшения среднего магнитного момента иона железа  $\mu$  при переходе  $\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{VO}_3$  в парамагнитное состояние. **В данном заключении допущена небрежность** в использовании понятий и определений, а именно: под  $\mu$  следует понимать намагниченность (среднее значение магнитного дипольного момента единицы объема вещества), поскольку величина среднего магнитного момента ионов железа при нормальном давлении остается фиксированной и соответствует основному высоко-спиновому  ${}^6A_{1g}$  состоянию ионов  $\text{Fe}^{3+}$ . Кроме того, как видно из рис. 4.12 (рис.8 автореферата),  $\mu$  обращается в нуль при  $x = 0.19$ , близкому к

критическому значению порога перкалляции для трехмерных систем. Подобного рода небрежности допущены и в автореферате диссертации. Например, неоднократно употребляется словосочетание «металлическая решетка диамагнитно-разбавленного монокристалла  $Fe_xGa_{1-x}VO_3$ ». По всей видимости, речь идет о подрешетке железа с изоморфным замещением ионов железа на диамагнитные ионы галлия, поскольку металлическая решётка характерна для веществ с металлической связью.

Отмечая достоинства диссертационной работы, ее практическую значимость и научную новизну, следует указать на некоторые спорные положения и высказать замечания, часть из которых уже была приведена выше.

Не описано, как получены фотографии, приведенные на рис. 2.19, соответствующие разным этапам образования пленки бората железа. Или на каждом этапе процесс прерывался, образец извлекался из печи, или процесс каким-то образом записывался *in-situ*?

Согласно данным параграфа 2.3.1. (табл. 2.7), элементный состав синтезированных кристаллов  $Fe_xGa_{1-x}VO_3$  весьма существенно отличается от состава шихты, в частности, содержание железа в кристалле выше, чем в шихте. Поэтому, анализируя концентрационные зависимости физических параметров кристаллов следовало бы использовать реальные концентрации компонент, а не то, что было в шихте. Так, минимальная концентрация железа в кристалле, согласно таблице 2.7, составляет  $x=0.82$  при  $x=0.55$  в шихте, и так далее. В тоже время на рис. 3.1 указано минимальное значение  $x=0.003$ . Непонятно какие значения  $x$  указаны на рисунках в главе 3 – соответствующие кристаллу или шихте. В главе 2 не упоминается о синтезе образцов с такими низкими концентрациями железа, какие указаны на рисунках в главе 3. Кем и как были изготовлены такие образцы? Кстати, в этом случае следует говорить не о диамагнитно разбавленном магнитном кристалле, а о диамагнитном кристалле с примесью.

Материал диссертации изложен очень хорошо, правильным русским языком, практически без опечаток. Можно указать только несколько неудачных выражений: «величина свойства» (стр. 7, 1), «кристаллическое качество» (стр. 32), «метод раствор расплавной кристаллизации ... является спонтанным», не метод спонтанный, а сама кристаллизация (стр. 34)..

Сделанные замечания не умаляют достоинств работы. Очевидно, что диссертанткой выполнен очень большой объем исследований и полученные при этом результаты являются новыми, представляющими научную и практическую значимость, выводы и защищаемые положения обоснованы. Достоверность полученных результатов подтверждается их воспроизводимостью и согласием с результатами, полученными другими методами, представленными в мировой литературе, а также широкой апробацией результатов на всероссийских и международных конференциях.

Результаты диссертации могут быть использованы в различных научных организациях, где занимаются синтезом и исследованием магнитных монокристаллов и тонких пленок, в том числе, в Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий», МГУ им. М.В. Ломоносова, Институте физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Институте физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Дальневосточном федеральном университете.

Результаты в полной мере изложены в 13 научных статьях в изданиях из перечня ВАК РФ, которые проиндексированы в науко-метрических системах Web of Scince и Scopus, а также в большом количестве сборников Российских и Международных конференций. Могиленец Ю.А. является соавтором 4 патентов. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Заключая отзыв, можно констатировать, что рецензируемая диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на современном научном уровне, и по своему

содержанию, объему, новизне, научной и практической значимости результатов полностью отвечает критериям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. №842, а ее автор Могиленец Юлия Александровна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния. .

Отзыв составлен

д.ф.-м.н., главным научным сотрудником

лаборатории физики магнитных явлений И.С. Эдельман

и

к.ф.-м.н., старшим научным сотрудником

лаборатории физики магнитных явлений Ю.С. Орловым

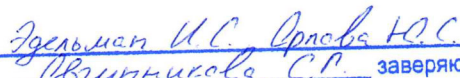
Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании семинара отдела физики магнитных явлений Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН протокол № 9 от «18» октября 2022 г.

Заведующий лабораторией физики

магнитных явлений

профессор, д.ф.-м.н.  /С.Г. Овчинников

30.10.2022 \_\_\_\_\_ /

Подпись  Эдельман И.С. Орлова Ю.С. заверяю  
Ученый секретарь \_\_\_\_\_  
Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского  
отделения Российской академии наук - обособленное  
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИФ СО РАН)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

