

## ОТЗЫВ

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

Исследование Могиленец Юлии Александровны лежит в области получения и всестороннего изучения материалов с определенными специфическими свойствами. Современные технологии хранения, передачи и обработки больших объемов данных требуют новых магнитных материалов, обладающих уникальными сочетаниями структурных характеристик, магнитных, оптических, резонансных и др. свойств. Такие материалы с заранее заданными свойствами могут быть использованы как в области практических применений, например, в современных датчиках магнитных полей, температуры, давления, или в качестве монохроматоров для синхротронных технологий нового поколения, так и в области фундаментальных исследований: в качестве модельных объектов при изучении природы внутрикристаллических взаимодействий. На основе  $\text{FeVO}_3$  может быть получена линейка диамагнитно разбавленных монокристаллов  $\text{Fe}_x\text{Me}_{1-x}\text{VO}_3$ , где парамагнитный ион  $\text{Fe}^{3+}$  изоморфно замещается диамагнитным  $\text{Me}^{3+}$ . Изучение трансформации магнитной структуры при увеличении степени диамагнитного разбавления в таких рядах важно для изучения природы отдельных механизмов (одноионного и магнитодипольного), определяющих магнитную анизотропию в борате железа, т.к. они имеют различные концентрационные зависимости. Получение тонких пленок  $\text{FeVO}_3$  на изоструктурной диамагнитной подложке и всестороннее изучение свойств таких структур позволит изучать явление поверхностный магнитной анизотропии отдельно, без влияния объемного магнетизма. Актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью получения монокристаллических структур на основе  $\text{FeVO}_3$  высокого структурного совершенства, а также возможностью изучения отдельных механизмов, формирующих различные эффекты, возникающие в  $\text{FeVO}_3$  при добавлении тех или иных замещающих ионов.

**Научная новизна** диссертационного исследования заключается в разработке технологии синтеза нового функционального материала – пленки  $\text{FeVO}_3$  на изоструктурной диамагнитной подложке; усовершенствовании методики раствор-расплавной кристаллизации монокристаллических структур на основе бората железа, а именно, разработке уникальных температурных режимов гомогенизации раствор-расплава, кристаллизации и соответствующих им скоростных режимов работы кристаллодержателя, что существенно повышает эффективность кристаллизаций. Впервые при синтезе изоструктурных борату железа монокристаллов  $\text{GaVO}_3$ , допированных никелем установлено, что превышение концентрации Ni в шихте влечет образование  $\text{NiGa}_2\text{O}_4$ . Автором разработан алгоритм выявления в монокристаллах  $\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{VO}_3$  изолированных нано-размерных скоплений ионов железа – кластеров, которые исключаются из расчета при численном моделировании концентрационных зависимостей констант обменного взаимодействия,  $E_{\text{mix}}$ , и взаимодействия Дзялошинского,  $D_{\text{mix}}$ . Впервые показано, что уменьшение значения поля Дзялошинского при уменьшении  $x$  в  $\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{VO}_3$ , связано не только с исключением из взаимодействия нано-размерных немагнитных кластеров, но и с уменьшением среднего магнитного момента иона железа при переходе в парамагнитное состояние.

Среди **практически значимых** результатов следует отметить:

- Установлены оптимальные сочетания параметров раствор-расплавной кристаллизации при синтезе монокристаллических структур  $\text{Fe}_x\text{Me}_{1-x}\text{VO}_3$  ( $\text{Me} = \text{Ga}, \text{Al}, \text{Sc}$ ), позволяющие получать образцы крупных размеров удовлетворительного качества.
- Разработанные способы восстановления раствор-расплава при синтезе  $\text{FeVO}_3$  позволяют значительно экономить ресурсы и в то же время улучшить результативность кристаллизаций.
- Подробно описана разработанная технология эпитаксиального синтеза магнитной пленки  $\text{FeVO}_3$  на изоструктурной прозрачной диамагнитной подложке.
- Методом АФМР получены магнитные характеристики синтезированных образцов  $\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{VO}_3$  ( $x = 0,65; 0,75; 0,85$ ) и пленки  $\text{FeVO}_3$  на диамагнитной подложке. Показано, что при увеличении степени диамагнитного разбавления  $\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{VO}_3$  температура Нееля, величины поля Дзялошинского и энергетических щелей убывают. Для пленки  $\text{FeVO}_3$  температура Нееля и поле Дзялошинского близки к значениям,

определенным для монокристаллов  $\text{FeVO}_3$ , а величина изотропной энергетической щели значительно больше, что связано с искажениями кристаллической решетки пленки, вызванными рассогласованием параметров пленка-подложка.

- Разработанная модель численного расчета концентрационных зависимостей некоторых констант, характеризующих внутрикристаллические взаимодействия в тригональных кристаллах  $\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{VO}_3$  позволяет удовлетворительно описать результаты АФМР-экспериментов.

- В работе показано, что уменьшение поля Дзялошинского в монокристаллах  $\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{VO}_3$ , связанное со снижением концентрации ионов железа, обусловлено не только «выключением» из взаимодействия нанокластеров, но и уменьшением среднего магнитного момента ионов железа, возникающего вследствие перехода  $\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{VO}_3$  в парамагнитное состояние при  $x < 20$  и температуре отличной от нуля.

**Достоверность и обоснованность** проведенного исследования обеспечивается не только адекватным выбором современных методик и использованием высокоточного оборудования, но и согласием полученных результатов с результатами, полученными другими методами, о чем в тексте приводятся соответствующие ссылки. Значимость работы подтверждается тем, что основные научные результаты получены при поддержке ряда грантов РФФИ. Материалы, представленные в диссертационной работе, прошли **апробацию** на всероссийских и международных научных конференциях среди специалистов по вопросам физики магнитных явлений и физики конденсированного состояния, опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в наукометрические базы данных SCOPUS и Web of Science; а также патентах РФ.

Результаты работы могут быть использованы в научно-исследовательских организациях, занимающихся синтезом материалов с заданными свойствами, а также исследованиями в области магнитных явлений, физики конденсированного состояния и проблем материаловедения, и в ВУЗах при разработке учебных программ.

Несомненным **достоинством** представленной диссертационной работы является то, что она решает несколько разноплановых задач: разработку технологии и синтез монокристаллических структур на основе  $\text{FeVO}_3$  со специфическими, заранее заданными свойствами; исследование химического состава, кристаллической структуры и структурного совершенства

синтезированных материалов; интерпретацию результатов проведенных магниторезонансных экспериментов; теоретический анализ и численное моделирование концентрационных зависимостей магнитных характеристик синтезированных материалов. Представленная работа является логически завершенной, в то же время открывает новые направления в области получения диамагнитно разбавленных материалов и исследований их магнитных свойств.

При ознакомлении с диссертационной работой возникли следующие **вопросы и замечания:**

1. Анализ магнитной структуры в главе 1 следовало бы привести более развернуто, а не ограничиваться только лишь выражением (1.4).
2. При исследовании синтезированных монокристаллов  $Fe_xMe_{1-x}VO_3$  в главе 2 приведены довольно подробные сведения о химическом составе (см. таб. 2.7; 2.10), в то время как кривые качания, свидетельствующие о качестве монокристаллов, показаны для единичных случаев (см. рис. 2.8; 2.11) и описана общая тенденция.
3. Несмотря на то, что монокристалл  $GaVO_3$  по формальным признакам является наиболее подходящим для использования в качестве подложки для пленки  $FeVO_3$ , наверное, можно протестировать другие изоструктурные  $FeVO_3$  диамагнитные кристаллы, например,  $AlVO_3$ ; или попробовать подобрать примесь для  $GaVO_3$ , чтобы добиться совпадения параметров пленка-подложка.
4. Хотелось бы получить более подробные рассуждения о наблюдаемом уменьшении поля Дзялошинского в области низких температур для диамагнитно разбавленных монокристаллов  $Fe_xGa_{1-x}VO_3$  (см. рис. 3.9).
5. В главе 4 сказано, что «... для монокристаллов  $Fe_{0.2}Ga_{0.8}VO_3$  удалось определить следующие виды кластеров...» (см. стр. 114-115), а остальные ионы железа каким образом сгруппированы? Следует ли при вычислении констант обменного взаимодействия и взаимодействия Дзялошинского исключить из суммирования и их вклад тоже?

Приведенные выше замечания не ставят под сомнение основные выводы диссертационной работы и не влияют на оценку достоверности, важности и новизны представленных в ней результатов. Таким образом, диссертация Могиленец Ю.А. является научно-квалификационной работой, в которой описаны новые технологические приемы синтеза монокристаллов

$\text{Fe}_x\text{Me}_{1-x}\text{VO}_3$  (Me = Ga, Al, Sc) и магнитных пленок  $\text{FeVO}_3$  направленные на повышение результативности кристаллизаций, а также улучшение структурных характеристик получаемых кристаллов, проведены комплексные исследования синтезированных образцов, разработан метод численного расчета концентрационных зависимостей констант, характеризующих внутрикристаллические взаимодействия в тригональных кристаллах  $\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{VO}_3$ , позволяющий описать данные магниторезонансных экспериментов, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

**Официальный оппонент:**

д.ф.-м.н., профессор РАН, доцент кафедры фотоники и физики микроволн физического факультета ФГБОУ ВО «Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова»

16.11.22

(дата)



(подпись)

Белотелов В.И.

Белотелов Владимир Игоревич (специальность 01.04.03 – Радиофизика)  
Адрес: Ленинские горы, д. 1, стр. 2, физический факультет  
Телефон: 8-926-733-71-89  
E-mail: belotelov@physics.msu.ru

Подпись Белотелова В.И.

заверяю:

Декан физического  
факультета МГУ им. М.В.  
Ломоносова  
д.ф.-м.н., профессор



Сысоев Н.Н.