

## О Т З Ы В

**официального оппонента на диссертацию Ждановой Ольги Викторовны «Магнитные свойства, процессы перемагничивания и доменная структура орторомбических магнетиков FeВ и Co<sub>3</sub>В», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 (физика магнитных явлений).**

Актуальность работы О.В. Ждановой, посвященная исследованиям магнитной анизотропии, процессов перемагничивания, магнитных свойств и доменной структуры орторомбических магнетиков, определяет ряд разработанных в ней положений: первое - теоретический анализ магнитокристаллической анизотропии орторомбических магнетиков; второе - установление механизмов перемагничивания в орторомбических магнетиках FeВ и Co<sub>3</sub>В и его связи с ориентацией приложенного магнитного поля; третье - установление закономерностей формирования доменной структуры в орторомбических магнетиках FeВ и Co<sub>3</sub>В.

Основная масса соединений, проявляющих ферромагнитные свойства при комнатной температуре, обладают кубической, тетрагональной или гексагональной кристаллической решеткой. Ферромагнитные материалы с орторомбической кристаллической решеткой в большинстве случаев имеют температуру Кюри значительно ниже 0°С. Вероятно, именно этот фактор обуславливает довольно малое количество информации о магнитных свойствах и характере доменной структуры орторомбических ферромагнетиков. Описание кристаллической и магнитных структур, а также магнитных свойств материалов с орторомбической кристаллической решеткой проведено лишь для небольшой группы ферромагнетиков. Таким образом, тема данной диссертации является весьма актуальной и представляющей научный и практический интерес.

В диссертационной работе получен ряд интересных научных результатов. Так впервые проведен теоретический анализ

магнитокристаллической анизотропии орторомбических магнетиков в рамках феноменологического подхода. Определены положения легких и трудных осей намагничивания, установлено, что их ориентация относительно элементарной ячейки орторомбического кристалла определяется соотношением констант магнитокристаллической анизотропии. Построена магнитная фазовая диаграмма орторомбического магнетика.

Впервые выполнен теоретический анализ кривых намагничивания орторомбических магнетиков в рамках модели фаз Нееля. Установлено, что кривые намагничивания вдоль направления легкого намагничивания и перпендикулярно ему являются линейными. Процесс намагничивания вдоль оси легкого намагничивания осуществляется за счет только процессов смещения доменных границ, а в направлении перпендикулярном оси легкого намагничивания – только вращения вектора  $I_S$ . При ориентации внешнего магнитного поля под произвольным углом к оси легкого намагничивания процесс намагничивания происходит за счет обоих процессов, а кривые намагничивания состоят из линейного участка и участка асимптотического приближения значения намагниченности к насыщению. Для монокристаллов FeV измерены кривые намагничивания вдоль различных кристаллографических направлений. Полученные экспериментальные кривые намагничивания имеют хорошее совпадение с рассчитанными в рамках предложенной в работе модели. Определены величины констант магнитокристаллической анизотропии соединений FeV и  $Co_3V$ .

Впервые исследована доменная структура орторомбических соединений FeV и  $Co_3V$ . Исследование доменной структуры монокристаллов FeV на кристаллографических плоскостях (100), (010) и (001) показало, что основной объем образцов на плоскостях (100) и (001) занимают полосовые домены. Замыкающие домены на плоскости (010) имеют конфигурацию «звездочек», причем в структуре существует выделенное направление в ориентации границ основных доменов, а замыкающие домены имеют правильную форму

ромбов. Также в работе получены картины доменной структуры поликристаллов  $\text{Co}_3\text{V}$ . В некоторых зернах поликристаллов выявляются полосовые или каплевидные домены, а в других наблюдается структура замыкающих доменов в виде ориентированных рядов «звездочек», аналогичная структуре доменов на плоскости (010) монокристаллов  $\text{FeV}$ . Предложена модель конфигурации доменной структуры орторомбических магнетиков. В диссертации приведено подробное описание получения аналитических выражений для расчета поверхностной плотности энергии и ширины доменных границ орторомбических кристаллов. Данные микромагнитные параметры определены для соединений  $\text{FeV}$  и  $\text{Co}_3\text{V}$ .

Несомненным достоинством работы является то, что в ней не только выполнен теоретический анализ магнитной фазовой диаграммы и кривых намагничивания, но и выполнена проверка полученных теоретических результатов на примере орторомбических магнетиков  $\text{FeV}$  и  $\text{Co}_3\text{V}$ , показавший хорошее совпадение теоретических предсказаний и данных магнитных измерений. В работе содержится очень четкое последовательное описание процессов намагничивания. Приведены подробные математические выкладки, позволяющие проверить справедливость полученных результатов.

Следует отметить также широкий спектр использованных в работе экспериментальных методик, особенно методов исследования структуры полученных объектов исследования.

Все это позволяет сделать заключение о достоверности полученных в работе результатов и высокой степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных автором.

Результаты диссертационного исследования Ждановой О.В. имеют существенное практическое значение, так как на их основе возможно прогнозирование магнитных характеристик и расчет микромагнитных параметров других магнитных материалов с орторомбической кристаллической решеткой.

Результаты диссертационной работы изложены в 10 научных публикациях, три из которых опубликованы в журналах из списка ВАК. Автореферат диссертации и публикации полно отражают содержание работы.

Диссертация выполнена на высоком экспериментальном и теоретическом уровне, написана грамотно, хорошо оформлена и в целом производит благоприятное впечатление. Диссертация написана хорошим литературным языком, позволяющим чтение с удовольствием.

Вместе с тем по работе можно сделать следующие замечания:

1. В работе в рамках феноменологического подхода подробно исследована магнитокристаллическая анизотропия орторомбического магнетика, однако было бы полезным дополнительно обсудить физическую природу этого явления в рассматриваемых материалах FeV и Co<sub>3</sub>V.
2. Автором выполнялся рентгеноструктурный анализ образцов, использованных в работе для магнитных измерений и анализа ДС, но сами лауэграммы в работе не представлены, что не позволяет судить о качестве монокристаллов.
3. На рисунке 4.6, полученном с помощью сканирующего электронного микроскопа, кроме микроструктуры виден дополнительный контраст, позволяющий заключить, что этот контраст связан с доменной структурой. В работе только констатируется этот факт, но характер выявленной ДС не анализируется.
4. На странице 76 в скобках неправильно даны ссылки на формулы.
5. Рисунок 4.11 обозначен как «Кривые намагничивания монокристалла FeV», но представляет угловые зависимости удельной намагниченности, что соответствует тексту страницы 109.
6. Часть рисунков обзора содержат надписи на английском языке.

Высказанные замечания носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы О.В.Ждановой,

выполненной на высоком научном уровне и содержащей оригинальные научные результаты, расширяющие наши физические представления о процессах перемагничивания, магнитной кристаллической анизотропии и формировании доменной структуры в орторомбических магнетиках FeV и Co<sub>3</sub>V. Последнее определяет также и практическую значимость работы О.В.Ждановой. Большинство научных результатов работы получены впервые, они обоснованы и достоверны, что обеспечивается их связью с литературными данными и согласованием теоретических результатов с экспериментальными.

Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертации.

Диссертационная работа Ждановой О.В. «Магнитные свойства, процессы перемагничивания и доменная структура орторомбических магнетиков FeV и Co<sub>3</sub>V», полностью соответствует п.7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ для кандидатских диссертаций, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для физики магнитных явлений, а её автор, Жданова Ольга Викторовна, безусловно, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент, профессор

кафедры «Физическое материаловедение»

Национального исследовательского

технологического университета «МИСиС»,

доктор физико-математических наук

 А.С. Лилеев



 ЗАВЕРЯЮ

И.М. ИСАЕВ