

Отзыв
официального оппонента на диссертационную работу
Шаповалова Владимира Антоновича
на тему: «Магниторезонансные свойства соединений с нецентральными
ионами группы железа, обусловленные упругими деформациями»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности
01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Шаповалова В.А. посвящена экспериментальному исследованию влияния упругих деформаций на магниторезонансные свойства соединений. Статические и динамические упругие деформации комплексов с магнитными ионами приводят к многоминимумности формы потенциала кристаллического поля, которая имеет несколько эквивалентных минимумов, разделенных потенциальными барьерами. Соединение содержит магнитнонеэквивалентные положения магнитных ионов, которые проявляются в спектрах электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Исследования ферромагнитного резонанса (ФМР) при упругих деформациях позволяют изучать свойства и магнитострикцию магнитных пленок и их поверхностных слоев.

Оценка результатов исследования, сформулированных в диссертации

В диссертации представлены результаты экспериментальных исследований особенностей трансформации магниторезонансных свойств соединений с разной симметрией структуры при изменении температуры и деформации. Эти особенности изучались в массивных, тонкопленочных и наноразмерных материалах при упругих деформациях различной природы.

Разработан способ контроля локальных магнитных неоднородностей пленок. Предложено регулирование магнитных параметров эпитаксиальной феррит-гранатовой пленки с помощью механических деформаций в плоскости пленки всесторонним радиальным давлением.

Для получения напряженного состояния пленок путем создания пространственно различных давлений разработаны устройства высокого давления.

Напряженное состояние монокристаллических феррит – гранатовых пленок происходит также при наращивания магнитной пленки на монокристаллическую немагнитную подложку, например, из галлий-гадолиниевого граната с кристаллографической плоскостью $\{111\}$. Несоответствие кристаллографических решеток и различные температурные коэффициенты расширения пленки и подложки приводят, как правило, к напряжениям в пленке, которые благодаря магнитострикционному эффекту вносят определенный вклад в одноосную магнитную анизотропию по направлению нормали к плоскости пленки. Величину, знак, а также градиент распределения таких напряжений можно в определенных пределах изменять, варьируя физико-технические условия получения пленки и способ приложения внешних напряжений. Величина механического напряжения пленки обусловлена разностью параметров элементарных ячеек подложки и пленки. В плоскости пленки появляется напряжение растяжения или сжатия, перпендикулярное к поверхности пленки. Величина его максимальна в переходном слое и уменьшается по направлению к поверхности, где становится минимальной.

Таким образом, с помощью механических напряжений (высоких давлений) можно осуществлять проявление поверхностной моды СВР для определения магнитострикции поверхностных слоев пленки. Константа магнитострикции $\lambda_{\text{пленки}}$ меньше константы магнитострикции λ_{surface} , по-видимому, потому, что кристаллическая структура поверхностного слоя пленки отличается от кристаллической структуры ее объема, т.к. с одной стороны поверхностный слой пленки примыкает к объему пленки, а с другой - является границей материала. Т.е. поверхностный слой пленки является более магниточувствительным по сравнению с ее объемом. Результаты исследований свидетельствует о том, что форма, интенсивность и положение поверхностной моды спин - волнового резонанса относительно однородной моды ФМР зависят от напряженного состояния поверхностного слоя пленки. Характер этого состояния обусловлен напряжениями, возникающими на границе пленка-подложка, и градиентом напряжений по толщине пленки.

Ранее для неразрушающего измерения констант магнитострикции широко использовали метод ФМР, который основан на измерении сдвига резонансной линии под действием приложенного к пленке механического напряжения. Этот метод обладает существенными недостатками. Поэтому разработан новый метод измерения констант магнитострикции, который основан на измерении полевой зависимости низкочастотной магнитной восприимчивости при перемагничивании феррит–гранатовых пленок при осевом давлении. Он заключается в одновременном воздействии на магнитную пленку радиочастотного магнитного поля, механических напряжений и поля перемагничивания. Метод позволяет увеличить точность измерения константы магнитострикции по сравнению с ранее применяемыми методами.

Среди основных результатов диссертационной работы Шаповалова В. А., следует отметить следующие:

В пленках манганитов обнаружены поверхностные спиновые волны, обусловленные существованием асимметричных граничных условий на их поверхностях. Данные согласуются с моделью поверхностной неоднородности в теории Пушкарского, в которой поле поверхностной анизотропии воздействует на поверхностные спины.

Поверхностная мода характеризует поверхностный слой пленки, являющийся двумерным дефектом, объем которого весьма мал. Изгибная деформация пленки приводит к многократному увеличению интенсивности поверхностной моды в поверхностном слое.

Достоинством диссертационной работы является полнота проведенного исследования, охватывающего широкий ряд материалов, содержащих магнитные ионы Fe^{3+} и представляющих интерес с точки зрения практического применения. Автором разработана методика исследования многомнимности потенциала кристаллического поля методом ЭПР-спектроскопии в соединениях с различными типами симметрий. Разработаны новые экспериментальные устройства, позволяющие создавать различного типа деформации в структуре

пленка-подложка и проводить измерения ФМР образцов, находящихся в механически напряженном состоянии, при низких температурах.

Эффект проявления поверхностной моды связан с закреплением спинов, формирующих поверхностную моду спектра ФМР. В результате изгиба структуры подложка-пленка появляется угловая деформация, способствующая возникновению и увеличению деформационного градиента по толщине пленки. С ростом линейной деформации повышаются деформационные градиенты и по толщине поверхностного слоя пленки, что способствует усилению закрепления спинов, что проявляется в возрастании интенсивности поверхностной моды.

За образование поверхностной моды ответственен и поверхностный эффект. Около поверхностного слоя пленки, имеющего наноразмеры, изменяются величины модулей, постоянных решеток и т.п. Структура поверхностного слоя имеет наноструктуру. В этом поверхностном слое происходит закрепление спинов, формирующих параметры поверхностной моды спектра ФМР в пленке $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$. Использование в данной работе резонансных методов исследования весьма актуально в связи с необходимостью изучения свойств поверхностного нанослоя.

Показано, что спектр СВР является характеристикой магнитной пленки. Вид и форма линий этого спектра зависят от параметров пленки. В случае если пленка является монокристаллической и обладает высоким сопротивлением, количество линий спектра СВР может достигать нескольких десятков. Линии спектра СВР в этом случае хорошо разрешены и имеют большую величину отношения сигнал–шум. В случае если исследуемые пленки манганитов обладают малым сопротивлением, линии спектра СВР весьма широки, и их амплитуда довольно мала.

Обнаружено, что спектр СВР содержит поверхностную моду, которая не зависит от проводимости материала пленки. Показано, что положение, интенсивность и форма этой моды трансформируются относительно однородной моды при изменении напряженного состояния пленки.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением резонансных методов, апробированных для изучения изменения свойств массивных, тонкопленочных и наноразмерных материалов при упругих деформациях, обоснованным выбором моделей для интерпретации экспериментальных результатов.

Практическая значимость работы определяется тем, что исследование координационных соединений с различной симметрией структуры и с многоминимумным потенциалом кристаллического поля, проявляемым в спектрах ЭПР, позволило автору определить высоту барьера потенциала кристаллического поля и на основании полученных результатов показать возможность построения новых неразрушающих методов аттестации материалов. Автором разработаны новые экспериментальные устройства для создания различного типа деформации в исследуемых системах, позволяющие проводить измерения с помощью магнитного резонанса в области низких температур. Практическая значимость полученных результатов приумножается также тем, что исследуемые соединения с ионами группы железа важны для практических применений.

Личный вклад автора. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают вклад автора в опубликованные работы.

По результатам исследований, изложенных в диссертационной работе Шаповалова В. А., опубликованы 32 научные статьи, 5 авторских свидетельств. Основные положения работы и отдельные результаты докладывались на научных конференциях.

Замечания по диссертационной работе

1. Не проанализирован тип деформаций пленки, приводящий к проявлению поверхностных мод. Тем более, что автором разработаны устройства по созданию разных типов деформаций.

2. Показано увеличение амплитуды поверхностной моды с ростом изгибной деформации. А с ростом деформации в плоскости пленки за счет

разности параметров элементарных ячеек пленки и подложки амплитуда поверхностной моды не изменяется. Необходим анализ полученных результатов.

3. Высота барьера потенциала кристаллического поля определена для двух монокристаллов шпинелей. Для проведения более полного анализа высоты барьера от структуры ближайшего окружения иона Cu^{2+} необходимы исследования и других монокристаллов шпинелей. Тем более что параметры ячеек монокристаллов шпинелей известны. После такого анализа возможна интерпретация высоты барьера кристаллического поля в немонокристаллических соединениях, представленных в диссертации.

Отмеченные недостатки не влияют на главные практические и теоретические результаты диссертации.

Общий вывод

Анализ диссертации Шаповалова В.А. на тему: «Магниторезонансные свойства соединений с нецентральными ионами группы железа, обусловленные упругими деформациями» позволяет сделать заключение, что работа является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором на высоком уровне и с практической значимостью полученных результатов.

Считаю, что диссертация Шаповалова В.А. на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научной задачи, связанной с исследованием магниторезонансных свойств соединений с нецентральными ионами группы железа при упругих деформациях. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Профиль диссертации соответствует формуле специальности 01.04.07 – «Физика

конденсированного состояния», а сама работа по научному уровню, значению и достоверности новых результатов удовлетворяет требованиям ВАК при Министерстве образования и науки ДНР, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Владимир Антонович Шаповалов заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по указанной выше специальности.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник отдела физики
магнитных явлений НИЧ, Донецкий
национальный университет,
ул. Университетская, 24, 83001, ДНР, г. Донецк,
Телефон: +380508649670,
E-mail: juliasiryuk@gmail.com

Юлия Андреевна Сирюк

Подпись Ю. А. Сирюк удостоверяю

Учёный секретарь Донецкий
национальный университета,
к. филол. н.



М. Н. Михальченко