

Российская академия наук
УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ОРДЕНА
ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ
МЕТАЛЛОВ УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

УДК 538.91.911; 538.91.913; 538.91.915
538.94.945; 538.955; 538.97; 539.125.5

Г.р. № 01200958348

Инв. № 2311/2

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Института,
академик РАН



В.В.Устинов

«3» ноября 2009 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ РАССЕЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ ФАЗОВОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НАНО- И КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ИСХОДНОМ И ОБЛУЧЕННОМ СОСТОЯНИЯХ, НА УСУ «ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ВОДОВОДЯНОЙ АТОМНЫЙ РЕАКТОР ИВВ-2М, РЕГ.№ 01-34 (НЕЙТРОННЫЙ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ИНСТИТУТА ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ УРО РАН) , ИВВ-2М (НМК ИФМ)

по теме:

ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ УСУ. ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ ФЦП И ДРУГИХ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСУ

(промежуточный)

Этап второй

Шифр 2009-07-1.8-00-03-024

Государственный контракт от «08» июня 2009 г. № 02.518.11.7119

Научный руководитель,
чл.-корр. РАН

Б.Н.Гощицкий

подпись, дата

19.11.09.

Екатеринбург 2009

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

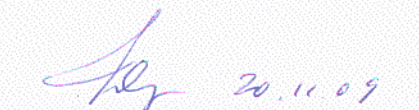
Руководитель темы
член-корр. РАН



подпись, дата

Б.Н. Гощицкий
(Введение, заключение,
1, 2)

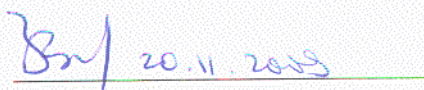
Основные
исполнители темы:
Зав. отделом работ на
атомном реакторе
ИФМ УрО РАН,
д.ф.-м.н., профессор



подпись, дата

Ю.Н. Скрябин
(1, 3, Приложение)

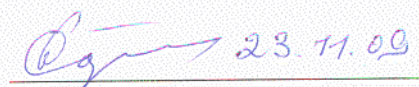
ст. научн. сотр.,
к.ф.-м.н.



подпись, дата

В.И. Бобровский
(2)

ст. научн. сотр.,
к.ф.-м.н.



подпись, дата

С.Г. Богданов
(1.1, 1.2, 1.12)

вед. научн. сотр.,
д.ф.-м.н.



подпись, дата

Э.З. Валиев
(1.2, 1.6, 1.11)

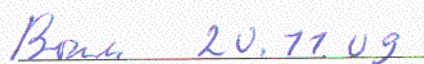
ст. научн. сотр.,
к.ф.-м.н.



подпись, дата

В.И. Воронин
(1.3, 1.7, 1.8, 1.9, 1.11,
1.15)

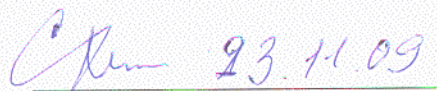
ст. научн. сотр.,
к.ф.-м.н.



подпись, дата

А.П. Вохмянин
(1.1, 1.2, 1.10)

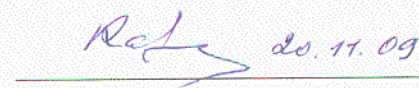
вед. научн. сотр.,
д.ф.-м.н.



подпись, дата

С.Ф. Дубинин
(1.3, 1.5, 1.10, 1.12,
1.13)

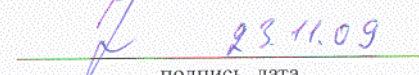
ст. научн. сотр.,
к.ф.-м.н.



подпись, дата

В.А. Казанцев
(1.2, 1.5, 1.10)

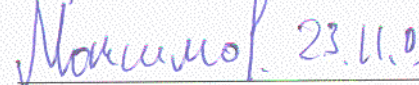
вед. научн. сотр.,
д.ф.-м.н.



подпись, дата

А.Е. Карькин
(1.4, 1.5, 1.9, 1.15)

научн. сотр.,
к.ф.-м.н.



подпись, дата

В.И. Максимов
(1.3, 1.5, 1.10, 1.12)

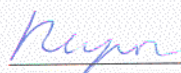
ст. научн. сотр.,
к.ф.-м.н.



подпись, дата

А.Е. Теплых
(1.1, 1.2, 1.10)

ст. научн. сотр.,
к.ф.-м.н.

 23.11.09
подпись, дата

А.Н. Пировов
(1.1, 1.2, 1.3, 1.6, 1.10)

ст. научн. сотр.
к.ф.-м.н.

 23.11.09
подпись, дата

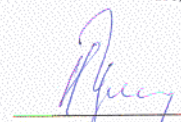
Ю.А.Дорофеев
(1.6, 1.8)

рук. группы,
к.ф.-м.н.

 23.11.09
подпись, дата

В.Д. Пархоменко
(1.5, 1.12, 1.14)

вед. научн. сотр.,
д.ф.-м.н.

 23.11.09
подпись, дата

Ю.Г. Чукалкин
(1.5, 1.13)

ст. научн. сотр.
к.ф.-м.н.

 23.11.09
подпись, дата

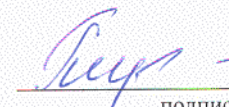
Ю.Н.Михайлов
(1.5, 1.13)

научн. сотр.,
к.ф.-м.н.

 23.11.09
подпись, дата

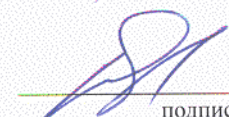
Е.А. Шерстобитова
(1.1, 1.2, 1.10)

ст. научн. сотр.
к.х.н.

 23.11.09
подпись, дата

Н.В.Проскурнина
(1.7, 1.8, 1.9)

ст. научн. сотр.
к.ф.-м.н.

 23.11.09
подпись, дата

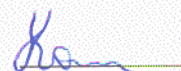
В.В.Щенников
(1.7, 1.8, 1.9, 1.15)

м.н.с.

 23.11.09
подпись, дата

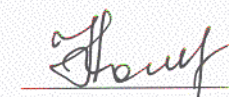
Г.В.Воронцов
(1.7, 1.8, 1.9, 1.15)

м.н.с.

 23.11.09
подпись, дата

И.А.Комаровский
(1.7, 1.8, 1.9, 1.15)

Нормоконтролер

 23.11.09
подпись, дата

Н.А. Гоглева

РЕФЕРАТ

Отчет 30с., 1 прил.

РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ, РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА, ДЕФЕКТЫ, МАГНИТНЫЕ СТРУКТУРЫ, НАНОСТРУКТУРЫ, ТВЕРДЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ, СИСТЕМЫ С СИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ КОРРЕЛЯЦИЯМИ, ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ, ЭЛЕКТРОННЫЕ И РЕШЕТОЧНЫЕ СВОЙСТВА.

В качестве объектов исследования выбраны многокомпонентные сплавы и соединения редкоземельных и переходных металлов; наноструктуры и твердые электролиты; конструкционные материалы и системы с сильными электронными корреляциями после радиационного, термического и барического воздействий. Исследования в широком интервале температур (4.2 – 1000)К, в магнитных полях до 15 Тл и при давлениях до 20 Кбар проводятся на уникальных образцах, приготовленных с использованием оригинальных технологий как в виде однофазных порошков, так и совершенных монокристаллов.

Цель работы:

1. Проведение исследований в области фазового состава и структуры нано- и кристаллических (в том числе, конструкционных различного назначения) материалов.
2. Проведение исследований и обеспечение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, проводимых организациями Российской Федерации, с предоставлением им возможности использования специализированных нейтронных методов, разработанных для УСУ ИВВ-2М для получения фундаментальной научной информации о свойствах материалов различного назначения (магнетиков, иоников, сверхпроводников, полупроводников, диэлектриков, конструкционных сталей).
3. Развитие материально-технической базы УСУ путем дооснащения имеющихся специализированных нейтронографических дифрактометров и спектрометров приобретаемым научным оборудованием для расширения экспериментальных возможностей и обеспечения и развития исследований в форме коллективного пользования.

На втором этапе работ «Проведение работ по модернизации УСУ. Проведение исследований, обеспечение реализации мероприятий ФЦП и др. научных проектов с использованием УСУ» в соответствии с Техническим заданием и Календарным планом проведены:

За счёт средств федерального бюджета:

1. Комплексное изучение фазового состава, решёточных и гальваномагнитных свойств исследуемых материалов.

За счёт внебюджетных средств:

1. Комплексное изучение фазового состава и физико-механических свойств модельных реакторных сплавов и конструкционных материалов.
2. Выполнение мероприятий по модернизации УСУ (закупка и монтаж оборудования).

Результаты первого этапа работы приведены в Промежуточном отчете:

Промежуточный Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование методами рассеяния тепловых нейтронов фазового состава и структуры, определяющих фундаментальные физические и функциональные свойства нано- и кристаллических материалов различного назначения в исходном и облученном состояниях, на УСУ «Исследовательский водо-водяной атомный реактор ИВВ-2М, рег.№ 01-34 (Нейтронный материаловедческий комплекс Института физики металлов УрО РАН) , ИВВ-2М (НМК ИФМ)», этап 1, Инв. ИФМ УрО РАН № 2311/1.

По результатам проведенных научных исследований в 2009 году опубликована 31 статья и сделан 31 доклад на конференциях.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	8
1. Научные исследования	11
1.1 Структура, кислородная нестехиометрия и электрофизические свойства манганитов $\text{Ca}_{1-x-y}\text{Sr}_x\text{La}_y\text{MnO}_{3-\delta}$	11
1.2 Кристаллическая и магнитная структура TbNi_2Mn	11
1.3 Роль электронной зонной структуры решеточных параметров в магнетизме соединений $\text{R}_2\text{Fe}_{17-x}\text{M}_x$ ($\text{R} = \text{Y, Lu, Ce}$; $\text{M} = \text{Si or Al}$)	11
1.4 Влияние нейтронного облучения на свойства сверхпроводящего и нормального состояний соединения FeSe	12
1.5 Радиационное разупорядочение – как метод создания новых структурных и магнитных состояний	12
1.6 Изменение энтропии решетки при магнитном фазовом переходе в ферромагнетиках $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$	13
1.7 Магнитный фазовый переход в Zn -феррите при высоких давлениях	13
1.8 Атомная и субатомная структура твердых растворов оксида циркония и кальция	14
1.9 Наноразмерные деформации решетки в полупроводниках II – VI, легированных 3d-элементами	15
1.10 Магнитная структура соединений $\text{La}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Mn}_2\text{Si}_2$	15
1.11 Магнитная структура и обменные взаимодействия в дейтериде $\text{ErFe}_2\text{D}_{3+x}$	16
1.12 Влияние химического состава на аморфизацию быстрыми нейтронами сплавов на основе никелида титана	16
1.13 Превращения “кристалл - аморфное твердое тело” при облучении быстрыми нейтронами. Закономерности и механизмы	17
1.14 Изменение структуры и физико-механических свойств стали X18H9 после длительного радиационно-термического воздействия	17
1.15 Гальваномагнитные свойства магнетита Fe_3O_4 , облученного быстрыми нейтронами. Свидетельство против Вервеевского механизма зарядового упорядочения.	18
2 Выполнение мероприятий по модернизации УСУ (закупка и монтаж оборудования)	19
3 Сведения об услугах коллективного пользования	20
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	21
Приложение А. Список публикаций	24

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ФМ	- ферромагнетик
АФМ	- антиферромагнетик
БЗС	- быстрозакаленный сплав
B_r	- остаточная магнитная индукция
ИБВ-2М	- Исследовательский водо-водяной атомный реактор ИБВ-2М
ИХПД	- интенсивная холодная пластическая деформация
ИФМ УрО РАН	- Институт физики металлов Уральского отделения Российской академии наук
МУВ	- магнитоупругое взаимодействие
МУРН	- малоугловое рассеяние нейтронов
МНТЦ	- Международный Научно-Технический Центр
ПЧД	- позиционно-чувствительный детектор
λ	- длина волны нейтронов

ВВЕДЕНИЕ

Исследовательский атомный реактор ИВВ-2М (г. Заречный Свердловской обл.) является единственным в Урало-Сибирском регионе, где проводятся прикладные и фундаментальные исследования с использованием потоков быстрых и тепловых нейтронов. В настоящий момент главными направлениями исследований на реакторе ИВВ-2М являются: радиационная физика и радиационное материаловедение, нейтронные исследования конденсированного состояния. В рамках радиационного направления проводятся исследования дефектов, структурных и фазовых превращений, диффузионных процессов и физических свойств твердых тел при высокоэнергетичных излучениях и термических воздействиях. Объектами нейтронных исследований являются сплавы и соединения с сильными электронными корреляциями (в частности, магнетики, сверхпроводники, Кондо-системы и др.). Кроме радиационного и нейтронографического направлений исследований на реакторе ИВВ-2М проводится комплекс мероприятий по модернизации материально-технической базы.

Основанием для проведения НИР по теме: «Исследование методами рассеяния тепловых нейтронов фазового состава и структуры, определяющих фундаментальные физические и функциональные свойства нано- и кристаллических материалов различного назначения в исходном и облученном состояниях, на УСУ «Исследовательский водородный атомный реактор ИВВ-2М, рег.№ 01- 34 (Нейтронный материаловедческий комплекс Института физики металлов УрО РАН), ИВВ-2М (НМК ИФМ)» (шифр «2009-07-1.8-00-03-024»), выполняемой в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы», является Решение Конкурсной комиссии Роснауки № 3 (протокол от «27» мая 2009 г. № 5), по итогам которого заключен государственный контракт от «08» июня 2009 г. № 02.518.11.7119.

Работы в рамках государственного контракта направлены на решение таких актуальных проблем физики твердого тела, как механизмы радиационной повреждаемости материалов, особенности формирования магнитных структур в соединениях переходных металлов, природа суперионного состояния твердых электролитов, структура наноматериалов.

В ходе выполнения проекта методами дифракции и малоуглового рассеяния нейтронов, радиационного разупорядочения и общезначимыми методами будет получена следующая научно-техническая продукция:

- Данные о кристаллической, нанокристаллической и магнитной структурах и особенностях фазовых переходов в сплавах и соединениях;

- Данные об особенностях фазового и структурного состояния веществ, облученных быстрыми нейтронами и гамма-квантами;
- Данные об особенностях решеточных и электронных свойств исследуемых веществ (в том числе, с наведенной радиоактивностью), определяющих их экстремальные свойства;
- Публикации полученных новых фундаментальных данных о структуре и свойствах исследуемых веществ в реферируемых научных журналах.

Содержание основных работ:

1. Синтез и аттестация образцов для исследований.
2. Нейтронографическое изучение особенностей кристаллической и магнитной структур новых твёрдых электролитов, сверхпроводящих пниктидов разного состава и симметрии, быстрозакаленных сплавов $R_2Fe_{14}B$, модельных реакторных сплавов; фазового состава, решёточных и гальваномагнитных свойств исследуемых материалов; реальной кристаллической структуры протон-содержащих оксидов церрата бария, алмазов, легированных бором, окисных магнетиках, особенностей структурного перехода в углеродистых сталях при высоких температурах, микронапряжений в реакторных материалах, в том числе, в облучённых на этапе 1 образцах.
3. Облучение образцов быстрыми нейтронами.
4. Выполнение мероприятий по развитию УСУ.
5. Разработка Программы развития УСУ на 2009-2010 годы.
6. Выполнение работ по обеспечению исследований и оказанию услуг сторонним организациям на УСУ.
7. Обработка полученных результатов.
8. Подготовка публикации результатов.

Такие исследования необходимы для разработки новых радиационно-стойких конструкционных материалов для ядерной и термоядерной энергетики, синтеза новых сорбентов и катализаторов.

Работа проводится коллективом высококлассных специалистов на высоком научно-техническом уровне на экспериментальных установках, своевременно прошедших метрологическую аттестацию.

В соответствии с Техническим заданием и Календарным планом на второй этап было запланировано провести:

За счёт средств федерального бюджета

1. Комплексное изучение фазового состава, решёточных и гальваномагнитных

свойств исследуемых материалов.

За счёт внебюджетных средств

1. Комплексное изучение фазового состава и физико-механических свойств модельных реакторных сплавов и конструкционных материалов.
2. Выполнение мероприятий по модернизации УСУ (закупка и монтаж оборудования).

По результатам проведенных научных исследований в 2009 году опубликована 31 статья и сделан 31 доклад на конференциях.

1 Научные исследования

1.1 Структура, кислородная нестехиометрия и электрофизические свойства манганитов $\text{Ca}_{1-x-y}\text{Sr}_x\text{La}_y\text{MnO}_{3-\delta}$

Методами рентгеновской и нейтронной дифракции установлено, что манганиты $\text{Ca}_{0.6-y}\text{Sr}_{0.4}\text{La}_y\text{MnO}_{3-\delta}$ с молярным содержанием лантана $0 < y \leq 0.1$ имеют орторомбическую структуру, а с содержанием $y=0.15$ – тетрагональную структуру. Проведено исследование влияния катионного состава, температуры, парциального давления кислорода в газовой фазе на содержание кислорода и зарядовое состояние марганца. Отрицательные значения α показывают, что носителями заряда являются электроны. В $\text{Ca}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ при неизменном кислородном составе в диапазоне 350÷850 К ионы Mn^{3+} образуются за счет реакции диспропорционирования $2\text{Mn}^{4+} = \text{Mn}^{3+} + \text{Mn}^{5+}$.

1.2 Кристаллическая и магнитная структура TbNi_2Mn

С помощью анализа Ритвельда для порошковых нейтронных данных уточнена кристаллическая структура TbNi_2Mn . Установлено, что соединение TbNi_2Mn имеет кристаллическую структуру C15b-типа, в которой атомы Mn частично занимают 4a и 16e позиции. Обнаружен магнитный порядок ниже 142 К. Установлено, что магнитные моменты ионов Tb имеют разные значения для 4a и 4e позиций. В позициях 4c момент иона Tb найден равным 5.6 магнетона Бора на ион тербия. Такое низкое значение магнитного момента иона тербия указывает на формирование случайной магнитной анизотропии в этом соединении.

1.3 Роль электронной зонной структуры решеточных параметров в магнетизме соединений $\text{R}_2\text{Fe}_{17-x}\text{M}_x$ ($\text{R} = \text{Y, Lu, Ce}$; $\text{M} = \text{Si or Al}$)

Редкоземельные интерметаллические соединения на основе железа R-Fe привлекают внимание как многообещающие кандидаты для производства постоянных магнитов. Соединения R_2Fe_{17} богаты железом, элементом который имеет высокий атомный момент. Однако они имеют низкую температуру Кюри по сравнению с металлическим железом. Значительные магнитообъемные эффекты и большая положительная спонтанная магнитострикция также присущи этим соединениям и показывают, что магнитные взаимодействия в соединениях R_2Fe_{17} сильно зависят от расстояния. Чтобы лучше понять обменный механизм в $\text{R}_2\text{Fe}_{17-x}\text{M}_x$ ($\text{R} = \text{Y, Lu, Ce}$; $\text{M} = \text{Si or Al}$), исследованы магнитные, электронные, структурные и магнитообъемные свойства этих соединений. Y_2Fe_{17} — коллинеарный ферромагнетик, тогда как $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ и $\text{Lu}_2\text{Fe}_{17}$ - ферромагнетики при низких температурах и геликоидальные антиферромагнетики при высоких температурах. На

основе экспериментальных нейтронографических данных реальной кристаллической структуры были рассчитаны параметры электронной структуры интерметаллических соединений $R_2Fe_{17-x}M_x$ ($R = Y, Lu, Ce$; $M = Si$ or Al). Показано, что параметры электронной зонной структуры должны быть учтены для объяснения магнитных параметров соединений R_2Fe_{17} наряду с традиционными утверждениями о сильных обменных взаимодействиях.

1.4 Влияние нейтронного облучения на свойства сверхпроводящего и нормального состояний соединения FeSe

Исследовано влияние атомного разупорядочения, индуцированного облучением быстрыми нейтронами, на свойства нормального и сверхпроводящего состояний поликристаллических образцов FeSe. Облучение нейтронными флюенсами до $1.25 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$ при температуре облучения $T_{irr} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ приводит к относительно небольшим изменениям температуры сверхпроводящего перехода T_c и электросопротивления ρ . Такое поведение связывается с относительно низкой, достижимой при данной температуре облучения, концентрацией радиационных дефектов из-за более простой, по сравнению с другими слоистыми соединениями этого класса, кристаллической структурой.

1.5 Радиационное разупорядочение – как метод создания новых структурных и магнитных состояний

Соединение Ce_2Fe_{17} является уникальным в ряду соединений Re_2Fe_{17} , где Re – ряд лантаноидов от La до Lu . При температуре ниже 205 K в нем возникает антиферромагнитное состояние, которое при понижении температуры переходит в ферромагнитное при 94 K . После радиационного воздействия, облучения быстрыми нейтронами флюенсом $\Phi = 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$, произошли значительные изменения магнитного состояния: в Ce_2Fe_{17} обнаружили фазовый переход из антиферро- в ферромагнитное состояние с колоссальным ростом температуры Кюри. При последовательном облучении одного и того же образца Ce_2Fe_{17} флюенсами $\Phi = 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$, $10 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$, $15 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ привело к резкому росту антиферромагнитного пика. Для качественного объяснения температурной зависимости магнитной восприимчивости облученных образцов был проведен модельный расчет магнитной восприимчивости антиферромагнетика с двумя магнитными подрешетками. Предложенная модель качественно объясняет рост восприимчивости в точке Нееля существенным уменьшением (по абсолютной величине) отрицательного обменного взаимодействия J_{12} . Показано, что при $J_{12} > 0$ и при дальнейшем увеличении J_{12} в области положительных значений этой величины должен произойти

переход из антиферромагнитного состояния в ферромагнитное. Таким образом, увеличение магнитной восприимчивости и переход антиферромагнетик- ферромагнетик, которые наблюдаются в соединении $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ при облучении, объясняются одной и той же причиной – изменением знака отрицательного обменного взаимодействия между определенными атомами железа. Полученные результаты подтверждают концепцию того, что в образцах $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ магнитное состояние нестабильно из-за максимально коротких Fe-Fe расстояний в кристаллической решетке, сравнимых с критическим расстоянием между ФМ и АФ взаимодействием. Данный вывод подтвержден нейтронографическими исследованиями. Найдено анизотропное расширение решетки. Построение Фурье-карт атомной плотности показало, что это связано с частичным разупорядочением исходной структуры. Наблюдается обмен большого атома церия с гантелями железа и переход части атомов железа в вакантные узлы, которые сопровождаются значительными статическими смещениями атомов из узлов решетки. Анализ межатомных расстояний обнаружил корреляцию их с магнитным состоянием образцов. Полученные результаты подтверждают концепцию того, что в образцах $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ магнитное состояние нестабильно из-за максимально коротких Fe-Fe расстояний в кристаллической решетке, сравнимых с критическим расстоянием между ФМ и АФ взаимодействием.

1.6 Изменение энтропии решетки при магнитном фазовом переходе в ферромагнетиках $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$

Произведен расчет изменения магнитной энтропии и энтропии решетки при включении и выключении магнитного поля для ферромагнетика $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$. Результаты расчета сравнены с экспериментальными данными. Показано, что учет изменения энтропии решетки уменьшает величину магнитокалорического эффекта и позволяет удовлетворительно объяснить экспериментальные данные по магнитокалорическому эффекту для этого ферромагнетика. При расчете решеточной части энтропии принята во внимание зависимость температуры Дебая от объема.

1.7 Магнитный фазовый переход в Zn-феррите при высоких давлениях

Методом нейтронной дифракции изучена структура цинковых ферритов при низких температурах (до 7К) и высоких давлениях (до 44 кбар). Для нейтронографических исследований использовали порошки, полученные из массивных образцов, синтезированных по стандартным режимам, путем измельчения в агатовой ступке. Структурные параметры близки к приводимым обычно в литературе для ZnFe_2O_4 ($Fd3m$, $a = 0,8439$). Нейтронографический эксперимент проводился на дифрактометре ДИСК реактора ИР-8 РНЦ КИ. Для проведения измерений с камерой высокого давления при

низких температурах до 7К использовался специализированный шахтный криостат, изготовленный в ОИЯИ. Полученные к настоящему времени результаты заключаются в следующем: при нормальном давлении и температуре ниже 10К на нейтронограммах возникают слабые антиферромагнитные рефлексy, соответствующие звезде волнового вектора типа $(10\frac{1}{2})$. При повышении давления эти рефлексy сохраняются, и несколько возрастает температура Нееля. При дальнейшем повышении давления они ослабевают и исчезают, но возникают новые отражения, которые можно проиндцировать в исходной ячейке ZnFe_2O_4 (без удвоения). Они соответствуют звезде волнового вектора типа (100) и исчезают при переходе в парамагнитное состояние выше 15К при давлении 44 кбар. Из этих результатов следует, что в ZnFe_2O_4 со структурой нормальной шпинели при повышении давления до 41 кбар имеет место антиферромагнитный фазовый переход с изменением звезды волнового вектора.

1.8 Атомная и субатомная структура твердых растворов оксида циркония и кальция

Диоксид циркония широко используется в практике в качестве компонента керамики, эмалей, стекол, защитных покрытий и пр. Многие соединения этого типа обладают полиморфизмом. При комнатной температуре структура ZrO_2 является моноклинной, а при высоких наблюдается обратимый переход сначала в тетрагональную, а затем (при 2347°C) в кубическую сингонию. Кубическая фаза может быть стабилизирована при низких температурах путем создания вакансий в анионной подрешетке растворением в нем оксидов иттрия, алюминия, кальция, магния и др. Методом рентгеновской и нейтронной дифракции и малоуглового рассеяния нейтронов исследованы твердые растворы системы $\text{ZrO}_2\text{-CaO}$ с содержанием 7, 9,6 и 20 мольных процентов оксида кальция. Синтез образцов выполнен золь-гель методом в фирме «Термоксид» (г. Заречный Свердловской обл.). Все образцы кристаллизуются в кубической фазе (пр. гр. $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$). Структурные линии на дифрактограммах несколько уширены. Кривые малоуглового рассеяния нейтронов характеризуются наличием пика вблизи вектора рассеяния $q = 0,5 \text{ нм}^{-1}$. На наш взгляд, это связано с наличием корреляций в расположении наночастиц твердой фазы в образце. Из экспериментальных сечений рассеяния методом обратного преобразования Фурье численным методом вычислены корреляционные функции плотность-плотность. Определены корреляционные длины и концентрации наночастиц. Из сечения рассеяния на асимптотике оценены удельные поверхности образцов. Исследованные материалы предполагается использовать в качестве сорбентов в атомной энергетике. Полученные в работе параметры субатомной структуры образцов позволяют надеяться, что это может быть осуществимо.

1.9 Наноразмерные деформации решетки в полупроводниках II – VI, легированных 3d-элементами

Высокий интерес к исследованиям физических свойств полупроводников класса A^2B^6 , легированных 3d-ионами, обусловлен, главным образом, возможным их использованием в спинтронике. В наших работах ранее методом дифракции нейтронов и магнитными измерениями было показано, что в диапазоне температур 100 – 300 К структурное состояние монокристаллов $Zn_{1-x}M_xCh$ ($M = Cr, V, Fe, Ni$; $Ch = O, Se$; $x = 0.002-0.04$) является пространственно неоднородным. Искривленные нанообласти имеют эллипсоидальную форму. Направления hkl , вдоль которых ориентированы самые длинные оси эллипсоидов в указанных соединениях, различны. При этом средний размер структурной неоднородности ($L=10$ nm) во всех случаях почти на полтора порядка превышает значения параметров элементарных ячеек исходных соединений. Поэтому, даже при относительно низком уровне легирования поврежденный 3d-ионами объем кристалла является значительным. Было установлено также, что контраст нанообласти в исследованных кристаллах обусловлен поперечными смещениями ионов Ch и Zn . Размеры структурных неоднородностей и их пространственная топология зависят от типа примесного 3d-иона. Например, в $Zn_{1-x}Cr_xSe$ имеют место тетрагональные искажения кластера $M^{2+}Se_4$, а в случае $Zn_{1-x}M_xSe$ ($M = V$ и Ni) реализуется тригональный тип сдвиговых смещений. Источником описанных структурных наноискажений при легировании исходных соединений A^2B^6 являются, по-видимому, ян-теллеровские (ЯТ) деформации решетки относительно 3d- ионов. Результаты начатых нами на дифрактометре ГЭК-76 (Исследовательский реактор ИВВ-2М, г. Заречный) нейтронографических измерений слаболегированных монокристаллов $Zn_{1-x}V_xTe$ ($x=0.0002$) позволяют утверждать о повышенной, по сравнению с другими изученными соединениями $Zn_{1-x}M_xCh$, реакции кристаллической решетки $ZnTe$ на возмущение, вносимое ян-теллеровским ионом. Проводимые нами исследования соединений $Zn_{1-x}V_xTe$ должны не только выявить влияние сорта, концентрации ЯТ- ионов, но и прояснить роль халькогена в формировании структурных свойств полупроводников $Zn_{1-x}M_xCh$.

1.10 Магнитная структура соединений $La_{1-x}Tb_xMn_2Si_2$

Исследования магнитных структур соединений типа RMn_2Si_2 интересны тем, что упорядочение магнитных моментов Mn ионов вдоль тетрагональной оси зависит от межатомного расстояния $Mn - Mn$ в базисной плоскости. Причина такой корреляции до сих пор не выяснена. Мы провели нейтронографические исследования соединений $La_{1-x}Tb_xMn_2Si_2$ и $La_{1-x}Dy_xMn_2Si_2$ и установили, что в этих соединениях реализуется в

зависимости от концентрации x четыре магнитных структуры. Каждая из структур описывается волновым вектором $\mathbf{k}=0$. В случае соединений $\text{La}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Mn}_2\text{Si}_2$ в интервале $0 \leq x \leq 0.1$ имеет место ферромагнитное вдоль c -оси упорядочение магнитных моментов ионов марганца. Увеличение концентрации x до $x=0.2$ сопровождается ферромагнитным упорядочением магнитных моментов диспрозия. Дальнейший рост концентрации x приводит к антиферромагнитному упорядочению моментов марганца вдоль c -оси. При $x=1$ моменты марганцевых ионов упорядочиваются вновь ферромагнитно и антипараллельно моментам ионов диспрозия. Аналогичное упорядочение магнитных моментов ионов Mn обнаружено нами и в соединениях $\text{La}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Mn}_2\text{Si}_2$. Различие состоит, главным образом, в том, что в соединениях с Tb ферромагнитное упорядочение моментов марганца происходит при более низких концентрациях, чем в соединениях с Dy. Это различие обусловлено большей величиной обменного взаимодействия Tb-Mn по сравнению с Dy-Mn, что связано с различием в величине спинов Tb- и Dy- ионов.

1.11 Магнитная структура и обменные взаимодействия в дейтериде $\text{ErFe}_2\text{D}_{3+x}$

Проведено с высоким разрешением нейтронографическое исследование гидрида и дейтерида ErFe_2H_3 ErFe_2D_3 в интервале температур 10 – 450 К, включающем температуру Кюри этих соединений. В парамагнитном состоянии кристаллическая структура обоих соединений описывается пространственной группой F23, являющейся подгруппой симметрии Fd-3m. Атомы водорода и дейтерия занимают частично позиции 48h. Мы установили, что частичное заполнение этой позиции лимитировано электростатическим отталкиванием между атомами H и H (D и D). Магнитные структуры обоих соединений ферромагнитные с волновым вектором $\mathbf{k}=0$. Три основных обменных взаимодействия имеют место: Er-Er, Er-Fe и Fe-Fe взаимодействия. Наиболее сильное из них взаимодействие между спинами железа. Именно это взаимодействие обуславливает основной вклад в температуру Кюри соединения.

1.12 Влияние химического состава на аморфизацию быстрыми нейтронами сплавов на основе никелида титана

Структурное состояние монокристалла $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{47}\text{Fe}_3$, облученного быстрыми нейтронами ($F = 2.5 \times 10^{20} \text{ см}^{-2}$) при температуре 340 К, изучено методом нейтронной дифракции. Сплав такого химического состава был выбран как кандидатный для радиационно-стойких материалов с памятью формы. Установлено, что этот сплав сохраняет свое кристаллическое состояние после облучения, тогда как ранее изученный кристалл $\text{Ti}_{49}\text{Ni}_{51}$ полностью аморфизуется в результате подобного облучения. Детальный

анализ этого структурного состояния облученного тройного сплава позволит вскрыть основные физические причины его радиационной стойкости.

1.13 Превращения “кристалл - аморфное твердое тело” при облучении быстрыми нейтронами. Закономерности и механизмы

На основе анализа физических свойств соединений со структурой граната и перовскита, облученных различными флюенсами быстрых нейтронов, установлены основные закономерности радиационной аморфизации. Показано, что радиационная аморфизация является следствием статистического перераспределения при облучении катионов $3d$ - $4f$ - переходных металлов с существенно различающимися ионными радиусами, по неэквивалентным кристаллографическим позициям (т.е. образования т.н. «антиузельных» дефектов). Значительные неоднородные статические смещения ионов, возникающие при этом процессе, неизбежно ведут к потере трансляционной симметрии. Анализ результатов исследований показывает, что в аморфном состоянии, полученном радиационным способом, сохраняются (разумеется, в искаженном виде) координационные полиэдры, характерные для исходной кристаллической структуры, а средние межионные расстояния Me-O и углы связи Me-O-Me близки к аналогичным величинам в кристалле. Аморфное и кристаллическое состояния в этом случае фактически различаются лишь величиной смещений ионов из положений равновесия и их направленностью. Существенно, что при таком «дисторсионном» механизме аморфизации химический состав и сплошность образца фактически не изменяются. На основе анализа экспериментальных результатов установлены корреляции следующих величин: флюенс $\rightarrow$ концентрация «антиузельных» дефектов $\rightarrow$ величина неоднородных статических смещений ионов. Оценены критические концентрации и величины смещений, при достижении которых происходит аморфизация. Приводятся результаты исследований локальной атомной и магнитной структур радиационно-аморфизованных соединений.

1.14 Изменение структуры и физико-механических свойств стали X18H9 после длительного радиационно-термического воздействия

Условия работы конструкционных материалов для реактора на быстрых нейтронах, характеризуются сочетанием сложных эксплуатационных факторов: высокие температуры, потоки быстрых нейтронов, термомеханические нагрузки, физико-химическое воздействие натриевого теплоносителя. Выбор материалов для корпуса, трубопроводов и внутрикорпусных элементов проводят исходя из механических свойств на длительной временной базе (до $\sim 2 \cdot 10^5$ ч). При этом решающее значение имеет высокая остаточная

прочность и пластичность материала. Как в нашей стране, так и за рубежом для этого применяют сходные по химическому составу аустенитные стали. В данной работе исследовались участки трубы наружного диаметра 95 мм с толщиной стенки 20 мм, изготовленной из стали X18H9 (Cr-18 %, Ni-9 %, Fe-основа), являющейся аналогом стали AISI 304. Она эксплуатировалась внутри корпуса реактора БН-600 в течение $1,3 \cdot 10^5$ ч при температуре 370-375 °С. Образцы для исследований были изготовлены из различных по расположению в активной зоне участков трубы, облученных до повреждающих доз от 1,5 до 21 сна, при скоростях смещений от $3 \cdot 10^{-9}$ до $4 \cdot 10^{-8}$ сна/с.

Определены электросопротивление, модули упругости, намагниченность, радиационное распухание и кратковременные механические свойства материала с различными условиями облучения. Представлены изменения микроструктуры стали, в частности характеристики пористости, в зависимости от повреждающей дозы.

Нейтронное облучение аустенитной стали X18H9 привело:

- к радиационному распуханию до 3 %;
- изменению электросопротивления и модулей упругости до 2 %;
- радиационному упрочнению материала, увеличению предела прочности до 125% и снижению пластичности на (60-80)%.

Установлено, что с увеличением дозы облучения растет намагниченность материала, что связано с появлением ОЦК α -фазы. Увеличение объемной доли ферромагнитной α -фазы происходит до 2,5%.

1.15 Гальваномагнитные свойства магнетита Fe_3O_4 , облученного быстрыми нейтронами. Свидетельство против Вервеевского механизма зарядового упорядочения.

Исследовано влияние нейтронного облучения на электронные свойства синтетических монокристаллов магнетита Fe_3O_4 . Полученные результаты свидетельствуют против общепринятого мнения о том, что переход Вервея связан с зарядовым упорядочением в октаэдрических узлах структуры шпинели.

2 Выполнение мероприятий по модернизации УСУ (закупка и монтаж оборудования)

Приобретен комплект микропроцессорных регуляторов "МЕТАКОН-515-Р0-У-1" (22 штуки). Приборы имеют универсальный измерительный вход для сигналов термопар и выполняют функции пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулирования. Имеют автоматическую настройку параметров ПИД-регулятора, линеаризацию и индикацию результата измерения в градусах Цельсия. Предел допускаемой погрешности составляет 0.1% от диапазона измерения. Передают измеренные значения входных сигналов, а также значений параметров, характеризующих работу прибора, на внешние устройства управления и/или сбора данных по интерфейсу RS-485. Прибор предназначен для модернизации систем регулирования температуры нагрузочных машин и печей для термообработки образцов. Производитель ООО НПФ «КонтрАвт». Ко времени отчета регуляторы установлены на измерительном стенде и запущены в эксплуатацию.

Приобретен программируемый регулятор модели 2408 с усилителем мощности TE10A производства компании Eurotherm. Оборудование предназначено для регулировки температуры в высокотемпературной приставке на нейтронном дифрактометре D-7a. Обеспечивает автоматический температурный режим работы, возможность задания пакета программ, характеризуется надежностью и высокой точностью поддержания температуры. Оборудование смонтировано и находится в стадии отладки.

3 Сведения об услугах коллективного пользования

В 2009 году на пяти экспериментальных установках атомного реактора ИВВ-2М, доступных для внешних пользователей, оказывались услуги в проведении нейтронных исследований кристаллических и магнитных структур, фазовых переходов и возбуждений в металлах, сплавах и соединениях, в том числе, облученных быстрыми нейтронами, а также в проведении облучений материалов и исследовании их гальвано-магнитных свойств до и после облучений. При этом НМК ИФМ УрО РАН осуществляет инженерно-техническое обеспечение работ.

Услуги коллективного пользования регулярно предоставляются следующим организациям УрО РАН в рамках Соглашений, заключенных с ними:

1. Институту химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург,
2. Институту высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург,
3. Институту электрофизики УрО РАН, Екатеринбург,
4. Институту металлургии УрО РАН, Екатеринбург,
5. Уральскому Государственному университету им. А.М.Горького,
6. Институту реакторных материалов.

Внешние пользователи использовали данные, полученные на нейтронных пучках УСУ для выработки рекомендаций по улучшению функциональных свойств протонных проводников, улучшению эксплуатационных свойств существующих жёстких магнитных материалов, созданию новых и улучшению эксплуатационных свойств существующих конструкционных реакторных сталей, в том числе, дисперсно упрочнённых оксидами, созданию нового поколения оптических материалов для конвертации (апконверсии) лазерного излучения ИК диапазона в видимый свет, по оптимизации режимов ионно-лучевой обработки полос промышленных сплавов на основе алюминия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткие выводы

Выполнены все предусмотренные Техническим заданием и Календарным планом работы первого этапа в рамках НИР по теме: «Исследование методами рассеяния тепловых нейтронов фазового состава и структуры, определяющих фундаментальные физические и функциональные свойства нано- и кристаллических материалов различного назначения в исходном и облученном состояниях, на УСУ «Исследовательский водородной атомный реактор ИВВ-2М, рег.№ 01- 34 (Нейтронный материаловедческий комплекс Института физики металлов УрО РАН)», ИВВ-2М (НМК ИФМ)» (шифр «2009-07-1.8-00-03-024»), выполняемой в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы», на основании Решения Конкурсной комиссии Роснауки № 3 (протокол от «27» мая 2009 г. № 5), на основании которого заключен государственный контракт от «08» июня 2009 г. № 02.518.11.7119.

В соответствии с Техническим заданием и Календарным планом на второй этап было запланировано провести:

За счёт средств федерального бюджета

1. Комплексное изучение фазового состава, решёточных и гальваномагнитных свойств исследуемых материалов.

За счёт внебюджетных средств

1. Комплексное изучение фазового состава модельных реакторных сплавов и конструкционных материалов.
2. Мероприятия по модернизации УСУ (закупка и монтаж оборудования).

Краткие результаты комплексного изучения фазового состава, решёточных и гальваномагнитных свойств исследуемых материалов:

1. Установлено, что манганиты $\text{Ca}_{0.6-y}\text{Sr}_{0.4}\text{La}_y\text{MnO}_{3-\delta}$ с содержанием лантана $0 < y \leq 0.1$ имеют орторомбическую структуру, а содержанием $y = 0.15$ – тетрагональную структуру.
2. Установлено, что соединение TbNi_2Mn имеет кристаллическую структуру C_{15b} -типа, в которой атомы Mn частично занимают 4a и 16e позиции. Обнаружен магнитный порядок ниже 142 К.
3. На основе экспериментальных нейтронографических данных реальной кристаллической структуры были рассчитаны параметры электронной структуры интерметаллических соединений $\text{R}_2\text{Fe}_{17-x}\text{M}_x$ ($\text{R} = \text{Y, Lu, Ce}$; $\text{M} = \text{Si or Al}$). Показано,

- что параметры электронной зонной структуры должны быть учтены для объяснения магнитных параметров соединений R_2Fe_{17} наряду с традиционными утверждениями о сильных обменных взаимодействиях.
4. Показано, что облучение поликристаллических образцов FeSe нейтронными флюенсами до $1.25 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$ при температуре облучения $T_{\text{irr}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ приводит к относительно небольшим изменениям температуры сверхпроводящего перехода T_c и электросопротивления ρ .
 5. Установлено, что увеличение магнитной восприимчивости и переход антиферромагнетик- ферромагнетик, которые наблюдаются в соединении Ce_2Fe_{17} при облучении, объясняются одной и той же причиной – изменением знака отрицательного обменного взаимодействия между определенными атомами железа.
 6. Показано, что учет изменения энтропии решетки уменьшает величину магнитокалорического эффекта и позволяет удовлетворительно объяснить экспериментальные данные по магнитокалорическому эффекту для ферромагнетика $La(Fe_{0.88}Si_{0.12})_{13}$.
 7. Установлено, что в $ZnFe_2O_4$ со структурой нормальной шпинели при повышении давления до 41 кбар имеет место антиферромагнитный фазовый переход с изменением звезды волнового вектора.
 8. Определены параметры атомной и субатомной структур твердых растворов оксида циркония и кальция.
 9. Нейтронографическими измерениями слаболегированных монокристаллов $Zn_{1-x}V_xTe$ ($x=0.0002$) установлено существование повышенной, по сравнению с другими изученными соединениями $Zn_{1-x}M_xCh$, реакции кристаллической решетки $ZnTe$ на возмущение, вносимое ян-теллеровским ионом.
 10. Нейтронографическими исследованиями соединений $La_{1-x}Tb_xMn_2Si_2$ и $La_{1-x}Dy_xMn_2Si_2$ установлено, что в этих соединениях реализуется в зависимости от концентрации четыре магнитных структуры.
 11. Определена магнитная структура и найдены три типа обменных взаимодействий в дейтериде $ErFe_2D_{3+x}$.
 12. Исследовано влияние нейтронного облучения на электронные свойства синтетических монокристаллов магнетита Fe_3O_4 . Полученные результаты свидетельствуют против общепринятого мнения о том, что переход Вервея связан с зарядовым упорядочением в октаэдрических узлах структуры шпинели.

Краткие результаты комплексного изучения фазового состава модельных реакторных

сплавов и конструкционных материалов:

1. Установлено, что монокристалл $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{47}\text{Fe}_3$ - радиационно-стойкий материал с памятью формы - сохраняет свое кристаллическое состояние после облучения, тогда как ранее изученный кристалл $\text{Ti}_{49}\text{Ni}_{51}$ полностью аморфизуется в результате подобного облучения.
2. На основе анализа физических свойств соединений со структурой граната и перовскита, облученных различными флюенсами быстрых нейтронов, установлены основные закономерности радиационной аморфизации. Показано, что радиационная аморфизация является следствием статистического перераспределения при облучении катионов $3d$ - $4f$ - переходных металлов с существенно различающимися ионными радиусами, по неэквивалентным кристаллографическим позициям (т.е. образования т.н. «антиузельных» дефектов).
3. Установлены и описаны изменение структуры и физико-механических свойств стали X18N9 после длительного радиационно-термического воздействия.

По результатам проведенных научных исследований на первом этапе в 2009 году опубликована 31 статья и сделан 31 доклад на конференциях.

Список публикаций

Статьи в реферируемых журналах:

1. V. I. Bobrovskii, V. A. Kazantsev, A. V. Mirmelstein, N. V. Mushnikov, N.V. Proskurnina, V. I. Voronin, E. Pomjakushina, K. Konder, A. A. Podlesnyak. Spontaneous and field-induced magnetic transitions in $\text{YBaCo}_2\text{O}_{5.5}$ // JMMM, 2009, vol. 321, pp. 429-437.
2. A. E. Karkin, J. Werner, G. Behr, B.N.Goshchitskii. Neutron-irradiation effects in $\text{LaO}_{0.9}\text{F}_{0.1}\text{FeAs}$ superconductor// Phys. Rev. B, 2009, vol. 80, 174512.
3. A. G. Kuchin, Yu. V. Knyazev, Yu. I. Kuz'min, A. V. Lukoyanov, I. A. Nekrasov, V. I. Anisimov, N. I. Kourov, I. V. Medvedeva, V. I. Voronin. Role of electronic band structure and lattice parameters in magnetism of the $\text{R}_2(\text{Fe},\text{M})_{17}$, $\text{M} = \text{Si, Al}$ compounds// Solid State Phenomena, 2009, vol. 152-153, pp. 41-44.
4. A. Yu. Manakov, Yu. A. Dyadin, A. G. Ogienko, A. V. Kurnosov, E. Ya. Aladko, E. G. Larionov, F. V. Zhurko, V. I. Voronin, I. F. Berger, S. V. Goryainov, A. Yu. Lihacheva, A. I. Ancharov. Phase diagram and high-pressure boundary of hydrate formation in the carbon dioxide-water system// J. Phys. Chem. B, 2009, 113 (20), 7257-7262.
5. A. Mirmelstein, E. Clementyev, O. Kerbel, D. Kozlenko, Yu. Akshentsev, V. Voronin, I. Berger. Pressure effects in CeNi // Journal of Nuclear Materials, 2009, vol. 385, pp.57–59.
6. N. V. Mushnikov, V. S. Gaviko, J. Park, A. N. Pirogov. Crystal and magnetic structure of TbNi_2Mn // Phys. Rev. B, 2009, vol. 79, 184419.
7. J. Park, M. Kang, J. Kim, S. Lee, K.-H. Jang, A. Pirogov, J.-G. Park, C. Lee, S.-H. Park, H. C. Kim. Doping effects of multiferroic manganites $\text{YMn}_{0.9}\text{X}_{0.1}\text{O}_3$ ($\text{X} = \text{Al, Ru, and Zn}$)// Phys. Rev. B, 2009, vol. 79, 064417.
8. A. N. Pirogov, J.-G. Park, A. S. Ermolenko, A. V. Korolev, A. G. Kuchin, S. Lee, Y. N. Choi, J. Park, M. Ranot, J.Yi, E. G. Gerasimov, Yu. A. Dorofeev, A. P. Vokhmyanin. $\text{Tb}_x\text{Er}_{1-x}\text{Ni}_5$ compounds: An ideal model system for competing Ising-XY anisotropy energies// Phys. Rev. B, 2009, vol. 79, 174412.
9. V. Sadykov, N. Mezentseva, V. Muzykantov, D. Efremov, E. Gubanov, N. Sazonova, A. Bobin, E. Paukshtis, A. Ishchenko, V. Voronin, J. Ross, C. Mirodatos, A. van Veen. Real structure - oxygen mobility relationship in nanocrystalline doped ceria-zirconia fluorite-like solid solutions promoted by Pt// Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 2009, Vol. 1122, Materials Research Society 1122-O, p. 05-11.
10. V. V. Shchennikov, S. V. Ovsyannikov, A. E. Karkin, S. Todo, Y. Uwatoko. Galvanomagnetic properties of fast neutron bombarded Fe_3O_4 magnetite: A case against

- charge ordering mechanism of the Verwey transition// Solid State Communications, 2009, vol. 149, p. 759.
11. В. А. Баринов, В. А. Цурин, В. И. Воронин, В. Т. Суриков. Неустойчивость фазы Fe_{23}V_6 при механотермической обработке// ФММ, 2009, том 108, №1, с. 54-62.
 12. В. И. Бобровский. Об учете пространственных эффектов при описании разрешения порошкового нейтронного дифрактометра с плоским монохроматором// Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2009, №1, С.7.
 13. В. И. Бобровский. Описание интегральной интенсивности брэгговских пиков в порошковых нейтронных дифрактометрах с учетом пространственных эффектов// Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2009, №5, С.63.
 14. В. И. Бобровский. Об искажениях формы линии брэгговских пиков в порошковом нейтронном дифрактометре// Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2009, №6, С.22.
 15. А. Л. Бузлуков, А. В. Солонинин, А. В. Скрипов, Е. Ю. Медведев, В. И. Воронин, И. Ф. Бергер. Позиции и подвижность атомов водорода в $\text{Hf}_2\text{CoH}_x(\text{D}_x)$ со структурой типа Ti_2Ni : исследование методами ЯМР и дифракции нейтронов// ФММ, 2009, том 107, в. 1, с. 78-84.
 16. Э. З. Валиев. Энтропия и магнитотепловые эффекты в ферромагнетиках с магнитными фазовыми переходами первого и второго рода// ЖЭТФ, 2009, том 135, в. 2, с. 314-321.
 17. А. П. Вохмянин. Симметричный анализ магнитных структур сплавов квазибинарной системы $\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Sn}_2$ // ФММ, 2009, том 107, в. 2, с. 126-133.
 18. С. Ф. Дубинин, В. И. Соколов, В. Д. Пархоменко, В. И. Максимов, Н. Б. Груздев. Влияние легирования ионами никеля на структурное состояние кристалла оксида цинка// ФТТ, 2009, том 51, в. 10, с. 1905-1908.
 19. Н. В. Казанцева, Н. И. Виноградова, Н. Н. Степанова, А. Н. Пирогов, Е. О. Голикова. Formation of Metastable Phases in a Ni–9.6 wt % Al–6.7 wt % Fe–1 wt % Cr Intermetallic Alloy// FMM, 2009, vol 107, No 4, p. 375.
 20. Н. И. Коуров, А. Ю. Волков, Ю. В. Князев, М. А. Коротин, В. А. Казанцев. Влияние пластической деформации на электронные свойства сплава $\text{Cu}_{60}\text{Pd}_{40}$ // ФТТ, 2009, том 51, в. 2, с. 221-227.
 21. В. Г. Плещев, Н. В. Селезнева, В. И. Максимов, А. В. Королев, А. В. Подлесняк, Н. В. Баранов. Особенности структуры, магнитные свойства и теплоемкость интеркалированных соединений Cr_xTiSe_2 // ФТТ, 2009, т. 51, в. 5, с. 885-891.

22. Д. П. Родионов, И. В. Гервасьева, Ю. М. Хлебникова, В. А. Казанцев, В. А. Сазонова. Creation of Ternary Ni–Cr–W Alloys with a Sharp Cube Texture and a Curie Temperature below 77 K to Produce Epitaxial Substrates for Superconducting Compositions// FMM, 2009, vol. 107, No 2, p. 185.
23. А. А. Титов, А. И. Меренцев, А. Е. Карькин, А. Н. Титов, В. В. Федоренко. Структура и свойства интеркалатного соединения Cu_xTiSe_2 // ФТТ, 2009, том 51, с. 217-220.
24. Т. И. Арбузова, В. И. Воронин, Б. А. Гижевский, С. В. Наумов, В. Л. Арбузов. Неоднородное парамагнитное состояние нанокерамики $\text{LaMnO}_{3+\delta}$ полученной методом ударно-волнового нагружения// ФТТ (принята в печать).
25. S. G. Bogdanov, A. E. Teplykh, J.-G. Park, E. A. Sherstobitova, Yu. N. Skryabin, N. V. Kudrevatykh, N. V. Mushnikov, A. G. Popov, E. G. Gerasimov, V. P. Vyatkin, D. Yu. Vasilenko, A. N. Pirogov. Determination of texture degree in Nd-Fe-B magnets by means of neutron diffraction and magnetic measurements// Статья направлена в JMMM.
26. Э. З. Валиев, В. И. Воронин. Кристаллическая структура, намагниченности подрешеток и спин-переориентационный переход в соединении $\text{Er}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_{2.18}$ // ФТТ (принята в печать).
27. E. G. Gerasimov, Yu. A. Dorofeev, A. N. Pirogov, V. S. Gaviko, N. V. Mushnikov. Magnetic phase transitions in $\text{La}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Mn}_2\text{Si}_2$ ($0 < x < 1$) compounds// J. Phys.: Conference Series (принята в печать).
28. С. Ф. Дубинин, В. И. Максимов, В. Д. Пархоменко. Особенности электронного и магнитного состояния бинарного соединения Y_3Co в системе твердых растворов $(\text{Gd}_{1-x}\text{Y}_x)_3\text{Co}$ // ФТТ (принята в печать).
29. В. Л. Арбузов, Б. Н. Гощицкий, С. Е. Данилов, Ю. Н. Зуев, А. Е. Карькин, В. В. Сагарадзе. Радиационные дефекты и водород в аустенитной и аустенитно-мартенситной сталях при низкотемпературном нейтронном облучении// ФММ (принята в печать).
30. В. Л. Арбузов, Б. Н. Гощицкий, В. В. Сагарадзе, С. Е. Данилов. Накопление и отжиг радиационных дефектов при электронном и нейтронном низкотемпературных облучениях в ODS-сплавах и сплавах Fe-Cr// ФММ (принята в печать).
31. В. В. Сагарадзе, В. А. Шабашов, А. В. Литвинов, В. М. Колосков, В. Д. Пархоменко. Радиационно-индуцированное растворение частиц интерметаллидов Ni_3Me (Ti, Al, Zr) в каскадах смещения в процессе облучения Fe-Ni-Me сплавов нейтронами при 340 K// ФММ (принята в печать).

Доклады на международных и российских конференциях:

1. В.Л. Арбузов, Б.Н. Гощицкий, С.Е. Данилов, Ю.Н. Зуев, А.Е. Карькин, В.В. Сагарадзе. Радиационные дефекты и дейтерий в двухфазной аустенитно-мартенситной стали при низкотемпературном нейтронном облучении// VIII Межд. Уральский семинар “Радиационная физика металлов и сплавов”, Снежинск, февраль-март 2009, с. 17.
2. V.I.Bobrovskii. Neutron diffraction study of internal stresses in materials for nuclear reactor// VIII Межд. Уральский семинар “Радиационная физика металлов и сплавов”, Снежинск, февраль-март 2009, с. 119.
3. V.Bobrovskii, V.Kazantsev, A.Mirmelstein, N.Mushnikov, N.Proskurnina, V.Voronin, A.Podlesnyak. Spontaneous and field-induced magnetic transitions in $\text{RBaCo}_2\text{O}_{5.5}$ // VIII Межд. Уральский семинар “Радиационная физика металлов и сплавов”, Снежинск, февраль-март 2009, с. 55.
4. В.И.Воронин, И.Ф.Бергер, В.В.Сагарадзе, Б.Н.Гощицкий. Влияние предварительной обработки на структурное состояние облученных быстрыми нейтронами интерметаллидов Fe-Ni-Ti// VIII Межд. Уральский семинар “Радиационная физика металлов и сплавов”, Снежинск, февраль-март 2009, с. 36.
5. В.И.Воронин, И.Ф.Бергер, А.Е.Карькин, Э.З.Валиев, Б.Н.Гощицкий. Низкотемпературные исследования магнитного и кристаллического состояния радиационно-разупорядоченного $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ // VIII Межд. Уральский семинар “Радиационная физика металлов и сплавов”, Снежинск, февраль-март 2009, с. 69.
6. А.Е.Карькин, В.И.Воронин, И.Ф.Бергер, В.А.Казанцев, Ю.С.Поносов, В.Г.Ральченко, В.И.Конов, Б.Н.Гощицкий. Электронная структура CVD-алмаза, облученного быстрыми нейтронами// VIII Межд. Уральский семинар “Радиационная физика металлов и сплавов”, Снежинск, февраль-март 2009, с. 69.
7. A. Mirmelstein, E. Clementyev, O. Kerbel, Yu. Akshentsev, D. Kozlenko, V. Voronin, I. Berger, D. Chernyshov, Pressure Effects in CeNi// VIII Международный Уральский Семинар «Радиационная физика металлов и сплавов», 23 февраля- 1 марта, Снежинск, Россия, 2009, с. 55.
8. А.М. Мосин, А.В. Козлов, Е.Н. Щербаков, Ю.Г. Чукалкин, В.Л. Панченко. В.С. Шихалев, П.И. Яговитин. Влияние деформационного воздействия на изменение структуры, физических и магнитных свойств аустенитной стали типа X18H10T// VIII Межд. Уральский семинар “Радиационная физика металлов и сплавов”, Снежинск, февраль-март 2009, с. 19.
9. В.В.Сагарадзе, В.А.Шабашов, А.В.Литвинов, В.М.Колосков, В.Д.Пархоменко. Влияние нейтронного облучения на растворение и выделение интерметаллидов

- Ni₃Me в сталях// VIII Межд. Уральский семинар “Радиационная физика металлов и сплавов”, Снежинск, февраль-март 2009, с. 24.
10. В.Д.Пархоменко, С.Ф.Дубинин, С.Г.Теплоухов. Влияние химического состава на аморфизацию быстрыми нейтронами сплавов на основе никелида титана// VIII Межд. Уральский семинар “Радиационная физика металлов и сплавов”, Снежинск, февраль-март 2009, с. 20.
11. Ю.Г.Чукалкин, Б.Н.Гощицкий. Превращения кристалл - аморфное твердое тело при облучении быстрыми нейтронами: закономерности и механизмы// VIII Межд. Уральский семинар “Радиационная физика металлов и сплавов”, Снежинск, февраль-март 2009, с. 72.
12. В.А.Шабашов, А.Е.Заматовский, С.В.Борисов, А.В.Литвинов, Н.Ф.Вильданова, В.И.Воронин. Моделирование наноструктурного состояния в сплаве Fe-18Cr-8Ni при ионной имплантации и сильной холодной деформации. VIII Межд. Уральский семинар “Радиационная физика металлов и сплавов”, Снежинск, февраль-март 2009, с.114.
13. Е.Н.Щербаков, А.М.Мосин, М.В.Евсеев, В.Л.Панченко, И.А.Портных, Н.В.Глушкова, Ю.Г.Чукалкин, А.В.Козлов. Влияние радиационного воздействия на изменение структуры, физических, механических и магнитных свойств стали X18H9// VIII Межд. Уральский семинар “Радиационная физика металлов и сплавов”, Снежинск, февраль-март 2009, с.41.
14. N. Mironova-Ulmane, A. Kuzmin, J. Grabis, I. Sildos, M. Pärss, V. I. Voronin, Phonon-Magnon coupling in nanosized NiO// International Baltic Sea Conference “Functional materials and nanotechnologies 2009”, Riga, 31 march-3 april, p.61.
15. А.Н.Пирогов, Н.В.Кудреватых, С.Г.Богданов, А.Е.Теплых, А.Г.Попов, В.П.Вяткин, Д.Ю.Василенко. Нейтронографическое определение степени текстуры в постоянных магнитах на основе Nd₂Fe₁₄B// XXI Международная конференция “Новое в магнетизме и магнитных материалах” (НМММ-XXI), Москва, июнь-июль 2009.
16. Смирнова З.И., Марков В.Ф., Воронин В.И., Маскаева Л.Н., Синтез и механизм получения тонких пленок твердых растворов замещения PbSe-SnSe методом ионного обмена// XVII Международная конференция по химической термодинамике в России RCCT 2009, 29 июня - 3 июля, 2009 г. Казань, р.34.
17. E. G. Gerasimov, Yu. A. Dorofeev, A. N. Pirogov, V. S. Gaviko, N. V. Mushnikov. Magnetic phase transitions in La_{1-x}Dy_xMn₂Si₂ (0 < x < 1) compounds// International Conference on Magnetism (ICM2009), July 26-31 2009, Germany. Program and Abstract, p. 347.

18. В.И.Воронин, М.Г.Суркова, Г.Ш.Шехтман, Н.А.Анурова, В.А.Блатов. Использование рассеяния нейтронов для изучения свойств кристаллографических особенностей и механизмов формирования суперионного состояния в KAlO_2 // XII Международный, междисциплинарный симпозиум “Порядок, беспорядок и свойства оксидов” (ODPO-12), 17-22.09.2009, Ростов-на-Дону - п. Лоо, Краснодарский край. Сб. трудов, т. I, с. 157-161.
19. Е. И. Леонидова, А. А. Марков, М. В. Патракеев, И. А. Леонидов, В. Л. Кожевников, А. П. Тютюнник, В. И. Воронин, И. Ф. Бергер. Структура, кислородная нестехиометрия и электрофизические свойства манганитов $\text{Ca}_{1-x-y}\text{Sr}_x\text{La}_y\text{MnO}_{3-\delta}$ // XII Международный, междисциплинарный симпозиум “Порядок, беспорядок и свойства оксидов” (ODPO-12), 17-22.09.2009, Ростов-на-Дону - п. Лоо, Краснодарский край. Сб. трудов, т. II, с. 9-11.
20. А. Е. Карькин, J. Werner, G. Behr, Б. Н. Гощицкий. Эффекты нейтронного облучения в новом сверхпроводнике $\text{LaO}_{0.9}\text{F}_{0.1}\text{FeAs}$ // XII международный, междисциплинарный симпозиум «Порядок, беспорядок и свойства оксидов (ODPO-12), 17-22 сентября 2009 г., Ростов-на-Дону - п. Лоо, Тезисы докладов, с. 245-248.
21. Э.З.Валиев, В.А.Казанцев, Н.В.Мушников. Изменение энтропии решетки при магнитном фазовом переходе в ферромагнетиках $\text{La}(\text{Fe},\text{Si})_{13}$ // Международный, междисциплинарный симпозиум “Среды со структурным и магнитным упорядочением” Multiferroics-2 (23-28.09.2009, Ростов-на-Дону - п. Лоо, Краснодарский край), с. 20-22.
22. В. И. Воронин, А. Е. Карькин, И. Ф. Бергер, Э. З. Валиев, Б. Н. Гощицкий. Радиационное разупорядочение – как метод создания новых структурных и магнитных состояний// Международный, междисциплинарный симпозиум “Среды со структурным и магнитным упорядочением” Multiferroics-2 (23-28.09.2009, Ростов-на-Дону - п. Лоо, Краснодарский край), с. 51-54.
23. А. Е. Карькин, Т. Wolf, А. Н. Васильев, О. С. Волкова, Б. Н. Гощицкий. Влияние нейтронного облучения на свойства сверхпроводящего и нормального состояний соединения FeSe // Международный, междисциплинарный симпозиум «Среды со структурным и магнитным упорядочением» (Multiferroics-2), 23-28 сентября 2009 г. Ростов-на-Дону - п. Лоо, Тезисы докладов, с. 76-79.
24. В. П. Глазков, В. А. Соменков, Ю. Г. Чукалкин. Магнитный фазовый переход в Zn-феррите при высоких давлениях.ФТТ-2009, Актуальные проблемы физики твердого тела// Сб. докладов Международной научной конференции, 20-23 октября 2009 г., Минск, Изд-ль Вараксин А.Н., 2009, т. 1, с. 96-97.
25. А.П.Вохмянин. Симметричный анализ возможных в $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ магнитных структур с

- волновым вектором $k = \mu b_3$ // ФТТ-2009. Актуальные проблемы физики твердого тела. Сб. докладов Международной научной конференции 20-23 октября 2009 г., Минск, Изд-ль Вараксин А.Н., 2009, т. 1, с. 134-136.
26. В.И.Максимов, С.В.Дубинин, В.Д.Пархоменко. Нейтронографическое исследование особенностей атомной структуры и магнитного состояния монокристалла Y_3Co // XLIII Зимняя школа ПИЯФ, Репино Лен. обл., март 2009
27. А.Н.Пирогов, С.Г.Богданов, Ю.А.Дорофеев, Ю.Н.Скрябин, А.Е.Теплых, Н.В.Кудреватых, С.В.Андреев, А.Н.Богаткин. Структурное состояние быстроокаленных сплавов $R_2Fe_{14}B$ ($R = Nd, Y$)// III Всероссийская конференция по наноматериалам (Нано-2009), Екатеринбург, апрель 2009. Тезисы докладов. Уральское изд-во, Екатеринбург, с. 367-368.
28. С.Г.Богданов, Ю.А.Дорофеев, А.Н.Пирогов, Ю.Н.Скрябин, А.Е.Теплых, Л.М.Шарыгин. Атомная и субатомная структура твердых растворов оксида циркония и кальция. Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов// Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии (РСНЭ-НБИК 2009), Москва, Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова РАН, РНЦ Курчатовский институт, 16-21 ноября 2009 г.
29. В.П.Глазков, В.А.Соменков, Ю.Г.Чукалкин. Магнитный фазовый переход в Zn -феррите при высоких давлениях. Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов// Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии (РСНЭ-НБИК 2009), Москва, Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова РАН, РНЦ Курчатовский институт, 16-21 ноября 2009 г.
30. Е.Н. Щербаков, А.М. Мосин, М.В. Евсеев, В.Л. Панченко, И.А. Портных, С.А. Аверин, Л.П. Синельников, А.В. Козлов, Ю.Г. Чукалкин// Тезисы доклада на V Российскую научно-техническую конференцию «Физические свойства металлов и сплавов», Екатеринбург, ноябрь 2009.
31. И.Г.Бродова, В.В.Астафьев, Т.И.Яблонских, В.А.Казанцев. Многокомпонентные композиты на $Al-Si$ основе// Первые Московские чтения по проблемам прочности материалов, 1-3 декабря 2009 г., Москва.