

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Куриченко Владислава Леонидовича
на тему «Разработка методов получения наноструктурированных
высокоанизотропных магнитных материалов на основе 3d-переходных металлов
для производства постоянных магнитов», представленной на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика
конденсированного состояния», состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 22 ноября 2022 года.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС»
19.09.2022 г., протокол № 4.

Диссертация выполнена на кафедре Функциональных наносистем и
высокотемпературных материалов (ФНСиВТМ) Федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный
исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»),
Министерство образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – Карпенков Дмитрий Юрьевич, кандидат физико-
математических наук, работает доцентом кафедры Функциональных наносистем и
высокотемпературных материалов (ФНСиВТМ) в Федеральном государственном
автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный
исследовательский технологический университет «МИСиС».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС»
(протокол № 4 от 19.09.2022 г.) в составе:

1. Костишин Владимир Григорьевич - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии материалов электроники НИТУ «МИСиС» – председатель комиссии;
2. Дзидзигури Элла Леонтьевна - доктор технических наук, профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов (ФНСиВТМ) НИТУ «МИСиС»;
3. Панина Лариса Владимировна - доктор физико-математических наук, профессор кафедры технологии материалов электроники (ТМЭ) НИТУ «МИСиС»;
4. Перов Николай Сергеевич - доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой магнетизма, отделения Физики твердого тела, Физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова;
5. Таскаев Сергей Валерьевич - доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики конденсированного состояния, Физического факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет»;

В качестве ведущей организации утвержден ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- методом циклирования окислительно-восстановительной реакции были получены наночастицы FeNi, содержащие фазу тетраэнита со структурой $L1_0$ в количестве 10 вес. %. Использование наночастиц позволило увеличить содержание искомой фазы в образцах после обработки за счет увеличения скорости диффузии атомов на поверхности и увеличения относительного содержания последних.
- впервые была оценена возможность получения монокристаллов тетрагональной фазы FeNi $L1_0$ методом азотирования и деазотирования. Было установлено, что для оптимизации получения промежуточной фазы нитрида FeNiN, которая служит прекурсором для фазы тетраэнита, путем отжига в атмосфере газообразного аммиака необходимо обеспечить следующие условия: i) элементный состав монокристаллов должен быть близок к эквиаtomному; ii) размер частиц должен быть менее 20 мкм; iii) форма частиц должна быть близкой к сферической.
- были разработаны методики синтеза наночастиц CuAu/FeNi со структурой «ядро-оболочка» путем одновременного восстановления из раствора. Установлен механизм тетрагонализации кристаллической решетки оболочки при использовании наномодификаторов со структурой $L1_0$ в качестве ядра. Установлено, что для получения наночастиц со структурой «ядро-оболочка» CuAu/FeNi с целью тетрагонализации решетки оболочки необходимо использовать агент с меньшей восстановительной способностью. При этом, основным механизмом тетрагонализации решетки оболочки при использовании наномодификаторов со структурой $L1_0$ является не эпитаксиальный рост фазы, а увеличение параметра решетки оболочки в одном направлении за счёт её искажения.
- по результатам микромагнитного моделирования обменно-связанных композитов на основе анизотропных наночастиц со структурой «ядро-оболочка» были предложены два подхода к увеличению их магнитных свойств: 1) увеличение количества обменно-связанных спинов на поверхности раздела фаз и уменьшение расстояния между наностержнями, что приведет к уменьшению вклада от анизотропии формы отдельного элемента массива анизотропных наночастиц; 2) использование немагнитной фазы между наностержнями и оптимизация расстояния между ними для увеличения анизотропных свойств массива наностержней за счёт вклада от анизотропии формы каждого элемента.
- были синтезированы нанокомпозиты состава Co/Co₃O₄ в виде массива наностержней с толщиной приповерхностной оксидной фазы 13 нм. Исследовано влияние текстуры на магнитные свойства данных нанокомпозитов. Было установлено, что текстурирование наностержней позволяет увеличить анизотропию и коэрцитивную силу образцов в два раза. При этом, в текстурированных образцах обменно-связанных композитов, полученных после дополнительного окисления наностержней наблюдалось значение поля обменного смещения величиной -60 Э. В нетекстурированном образце эта величина оказалась равной -35 Э.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- установлен механизм тетрагонализации кристаллической решетки фазы оболочки при синтезе наночастиц CuAu/FeNi со структурой «ядро-оболочка» с использованием наномодификаторов CuAu с тетрагональной решеткой $L1_0$.

- по результатам микромагнитного моделирования и экспериментальных исследований предложены подходы для получения обменно-связанных нанокompозитов и максимизации их магнитных свойств за счёт формирования текстуры и оптимизации морфологических характеристик.
- впервые экспериментально исследовано влияние текстуры в обменно-связанных нанокompозитах состава $\text{Co}/\text{Co}_3\text{O}_4$ на их магнитные свойства и величину однонаправленной обменной анизотропии.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- показано, что для максимизации содержания фазы тетраэенита в наночастицах FeNi после обработки методом циклирования окислительно-восстановительных реакций необходимо увеличивать в них долю поверхности.
- определены факторы, лимитирующие процесс получения монокристаллов тетрагональной фазы FeNi $L1_0$ методом азотирования и топотактической экстракции.
- разработаны методики синтеза наночастиц CuAu/FeNi со структурой «ядро-оболочка» путем одновременного восстановления из раствора при помощи этиленгликоля и боразана, которые обладают различной восстановительной способностью.

Достоверность и обоснованность полученных в диссертационной работе экспериментальных данных и выводов основывается на физическом обосновании проведённых экспериментов, использовании современного оборудования, воспроизводимости экспериментальных данных, сопоставлением результатов исследования с результатами, полученными другими авторами в данной области исследования.

Личный вклад соискателя состоит в том, что соискателем был проведен аналитический обзор литературы по проблематике работы, а именно, получению материалов для производства замещающих постоянных магнитов на основе 3d-переходных металлов. Выделены перспективные материалы для получения на их основе постоянных магнитов. Описаны различные методы, которые позволяют увеличить магнитные свойства таких материалов: получение тетрагональных сплавов, тетрагональное искажение решеток, использование анизотропии формы и обменно-связанных композитов. Разработаны методы, используемые в работе, а также проведена экспериментальная работа. Обработаны данные измерений, сделаны выводы и написаны публикации по результатам работы.

По материалам диссертации соискателем опубликовано 2 статьи в журналах, проиндексированных в базе данных Web of Science/Scopus, 11 тезисов докладов в сборниках трудов конференций и 1 патент РФ.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Куриченко Владислава Леонидовича соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней

проводятся экспериментальные и теоретические исследования изменения магнитных свойств материалов на основе 3d-переходных металлов в том числе при их различной кристаллографической текстуре. В частности, предложены подходы для получения обменно-связанных нанокompозитов и максимизации их магнитных свойств за счёт формирования текстуры и оптимизации морфологических характеристик. Было исследовано влияние текстуры в обменно-связанных нанокompозитах состава $\text{Co}/\text{Co}_3\text{O}_4$ на их магнитные свойства и величину однонаправленной обменной анизотропии, что было дополнительно подтверждено по результатам микромагнитного моделирования.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Куриченко Владиславу Леонидовичу ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 5 (пяти) человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 5, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии



В.Г. Костишин

22.11.2022г.