

Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)
14.579.21.0038

Название проекта

Разработка технологии получения высококоэрцитивных наноструктурированных магнитотвёрдых материалов на основе азотсодержащих интерметаллических соединений редкоземельных металлов с переходными металлами группы железа.

Тематическое направление

Индустрия наносистем

Исполнитель

Закрытое акционерное общество "Ассоциация Аэрокосмических Инженеров"

Цели и задачи исследования

Цель:

Разработка композиций и лабораторной технологии получения наноструктурированных магнитотвёрдых материалов (МТМ) на основе интерметаллических соединений редкоземельных металлов (РЗМ) с переходными металлами группы железа, обладающих остаточной намагниченностью (B_r) не менее 1,20 Тл и коэрцитивной силой (H_{ci}) более 720 кА/м.

Задачи исследования:

1 Разработка композиций и лабораторной технологии получения наноструктурированных МТМ на основе интерметаллических соединений РЗМ с переходными металлами группы железа, обладающих остаточной намагниченностью (B_r) не менее 1,20 Тл и коэрцитивной силой (H_{ci}) более 720 кА/м, в том числе:

1.1 Проведение в материалах на основе сплавов интерметаллических соединений РЗМ с переходными металлами группы Fe систематического исследования влияния параметров процессов гидрирования и (или) азотирования на структуру и магнитные свойства синтезируемых МТМ.

1.2 Развитие существующей феноменологической модели процесса синтеза МТМ на основе гидридов и (или) нитридов сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B, а также разработка научных основ лабораторной технологии получения наноструктурированных МТМ на основе гидридов и (или) нитридов для постоянных магнитов.

1.3 Разработка лабораторной технологии получения высококоэрцитивных наноструктурированных МТМ на основе гидридов и (или) нитридов сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B, обладающих остаточной намагниченностью (B_r) не менее 1,20 Тл и коэрцитивной силой (H_{ci}) более 720 кА/м.

2 Разработка эскизной конструкторской документации и изготовление макета лабораторной термогазобарической установки (ЛТГБУ) для гидрирования и азотирования сплавов РЗМ с переходными металлами группы железа.

Актуальность и новизна исследования

Актуальность проекта определяется запросом инновационных секторов экономики (микро- и наноэлектроника, медицинская и авиационно-космическая

техника, автомобилестроение, электротехника и др.) и, как следствие, повышенным вниманием исследователей и разработчиков МТМ к проблемам разработки новых композиций и методов получения высокоэнергетических постоянных магнитов, сочетающих высокие эксплуатационные свойства и экономические характеристики и показатели.

На сегодняшний день наиболее высокие магнитные свойства достигнуты на РЗМ МТМ, получаемых с использованием традиционных методов порошковой металлургии. Однако эти МТМ практически достигли своего теоретического предела (BH)_{max}, кроме того, стоимость единицы запасенной в них энергии, учитывая резкий скачок цен на РЗМ в конце 2010 – начале 2011 года, также существенно увеличилась. Известные способы и технологии получения МТМ не решают вышеназванных проблем или решают неудовлетворительно. Именно это обуславливает всё возрастающее внимание исследователей к МТМ с нанокристаллической структурой (НМТМ). Метод механоактивации является перспективным методом синтеза НМТМ.

Новизна предлагаемого проекта заключается в том, что методами механоактивации с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B синтезируются новые МТМ с высокими гистерезисными свойствами и на основе полученных экспериментальных данных разрабатывается лабораторная технология их получения. При этом выполнены систематических исследований влияния различных параметров (состава сплавов, условия гидрирования/дегидрирования, азотирования) на процессы синтеза этих МТМ методами механоактивации.

Описание исследования

В соответствии с целями настоящего исследования выполнялись следующие работы:

- 1) Проведение анализа научно-технической литературы, нормативно-технической документации и других материалов, относящихся к разрабатываемой теме, и составление аналитического обзора, а также проведение сравнительной оценки эффективности возможных направлений исследований, выбор оптимальных вариантов решения задачи, в том числе методов и средств изучения структуры и свойств высококоэрцитивных МТМ, синтезированных с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования.
- 2) Проведение патентных исследований по ГОСТ Р 15.011-96.
- 3) Получение новых научных результатов, включая:
 - разработку составов МТМ на основе сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B с высококоэрцитивными (ВКС) характеристиками и их синтез;
 - изготовление и исследование исследовательских образцов ВКС НМТМ на основе сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B, синтезированных с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования, предназначенные для разработки лабораторной технологии получения ВКС МТМ на основе наноструктурированных сплавов указанных систем, включая разработку технологических решений и научных основ указанных процессов, в том числе:
 - (а) исследование взаимодействия водорода и азота с выбранными сплавами, изучение возможности синтеза гидридонитридов сплавов;

(б) прямое измерение количества теплоты, выделяемого при гидрировании сплавов, расчет значений термодинамических функций;

(в) определение влияния режимов гидрирования, азотирования и измельчения на фазовый состав, структуру и морфологию порошков;

- описание механизмов формирования высококоэрцитивного состояния в НМТМ на основе сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B, синтезированных с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования;

- получение исследовательских образцов МТМ, синтезированных с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования, на основе сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B;

- проведение фазово-структурных исследований исследовательских образцов МТМ, включая рентгеноструктурный анализ, просвечивающую и сканирующую электронную микроскопию, мёссбауэровскую спектроскопию;

- измерение гистерезисных свойств исследовательских образцов МТМ.

4) Разработка лабораторных методик:

- проведения процесса гидрирования сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B;

- проведения процесса азотирования сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B;

- фазово-структурного анализа МТМ на основе сплавов РЗМ с переходными металлами группы железа, синтезированных с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования;

- измерения гистерезисных свойств ВКС МТМ, полученных с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования.

5) Разработка лабораторного регламента на процесс получения с использованием процессов:

- гидрирования и азотирования ВКС НМТМ на основе сплавов системы Nd-Fe-B;

- азотирования или гидрирования и азотирования высококоэрцитивных наноструктурированных МТМ на основе сплавов системы Sm-Fe.

6) Изготовление:

- экспериментальных образцов ВКС НМТМ на основе сплавов системы Nd-Fe-B с использованием процессов азотирования или гидрирования и азотирования;

- экспериментальных образцов ВКС НМТМ на основе сплавов системы Sm-Fe.

7) Проведение исследовательских испытаний экспериментальных образцов высококоэрцитивных НМТМ на основе сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B, синтезированных с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования, по разработанной Программе и методикам.

- 8) Разработка эскизной конструкторской документации и изготовление макета ЛТГБУ для гидрирования и азотирования сплавов РЗМ с переходными металлами группы железа, включая:
- изготовление приспособления для обеспечения реализации лабораторной технологии получения МТМ на основе сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B;
 - разработку Программы и методики испытания макета ЛТГБУ;
 - проведение испытания макета ЛТГБУ.
- 9) Разработка технических требований и предложений по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера.
- 10) Проведение оценки полноты решения задачи и достижения поставленных целей, а также ТЭО рыночного потенциала полученных результатов.
- 11) Подготовка проекта ТЗ на проведение ОТП по теме: «Разработка опытно-промышленной технологий получения с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования высококоэрцитивных магнитотвёрдых материалов на основе наноструктурированных и/или нанокпозиционных сплавов РЗМ с переходными металлами группы железа для нового поколения композиционных постоянных магнитов».

Результаты исследования

1. На основании анализа литературных данных выбраны три ключевых направления работ: (а) исследование порошков нитридов, в том числе композиционных, на основе сплавов Sm-Fe; (б) исследование быстрозакалённых сплавов Nd-Fe-B; (в) исследование наноструктурированных порошков сплавов Nd-Fe-B после HDDR-обработки, а также определены способы решения поставленных задач на каждом из указанных направлений и методы и средства изучения структуры и магнитных свойств порошков МТМ на основе сплавов Sm-Fe и Nd-Fe-B.

2. Осуществлена разработка научных основ процессов гидрирования и азотирования, исследованы закономерности формирования высококоэрцитивного состояния в НМТМ на основе сплавов Sm-Fe и Nd-Fe-B, синтезированных с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования. В том числе, выполнены комплексные исследования структуры, фазового состава и магнитных свойств порошков сплавов Sm-Fe после азотирования. Проведён ДСК анализ системы $Sm_2Fe_{17} - H_2$. Проведены исследования по изучению влияния различных сред на процессы измельчения быстрозакалённых сплавов системы Nd-Fe-B после различных видов газотермической обработки и определены оптимальные условия синтеза высококоэрцитивных порошков. Выполнены исследования многослойных плёнок $Sm_2Fe_{17}/\alpha-Fe$ с чередующимися не менее 5 и 10 раз парами слоёв толщиной 15/15 нм и 10/10 нм соответственно, не имеющие аналогов в мире.

3. На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований проведено экспериментальное определение оптимальных

технологических решений для получения высококоэрцитивных НМТМ на основе сплавов Sm-Fe и Nd-Fe-B, синтезируемых с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования.

4. Разработаны лабораторные методики:

- гидрирования сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B;
- азотирования сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B;
- фазово-структурного анализа МТМ на основе сплавов РЗМ с переходными металлами группы железа, синтезированных с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования;
- измерения гистерезисных свойств высококоэрцитивных МТМ, полученных с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования.

5. Разработаны лабораторные регламенты на процессы получения с использованием процессов:

- гидрирования и азотирования высококоэрцитивных НМТМ на основе сплавов Nd-Fe-B;
- азотирования или гидрирования и азотирования высококоэрцитивных НМТМ на основе сплавов Sm-Fe.

6. Выполнены исследования рынка лабораторных установок для гидрирования и азотирования сплавов, а также имеющейся патентной информации о конструкциях такого рода установок. Определена компоновка, уточнены технические характеристики, разработано ТЗ на проектирование и эскизная конструкторская документация, изготовлен макет ЛТГБУ для гидрирования и азотирования сплавов РЗМ с переходными металлами группы железа, включая:

- изготовление приспособления для обеспечения реализации лабораторной технологии получения МТМ на основе сплавов Sm-Fe и Nd-Fe-B;
- разработку Программы и методики испытания макета ЛТГБУ;
- проведение испытания макета ЛТГБУ.

7. Разрабатывается проект ТЗ на проведение ОТП по теме: «Разработка опытно-промышленной технологий получения с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования высококоэрцитивных магнитотвёрдых материалов на основе наноструктурированных и/или нанокпозиционных сплавов РЗМ с переходными металлами группы железа для нового поколения композиционных постоянных магнитов».

Практическая значимость исследования

1. Разработанные высококоэрцитивные НМТМ на основе сплавов систем Sm-Fe и Nd-Fe-B с повышенными, по сравнению с известными аналогами, гистерезисными характеристиками и технологии их получения с использованием процессов гидрирования и (или) азотирования, обеспечивают качественный прорыв в развитии отечественного материаловедения МТМ и предназначены для использования при производстве существующей и/или проектировании образцов

новой техники и/или продукции электронной, радиоэлектронной, радиотехнической промышленности, приборостроения, медицины и бытовой техники, в том числе, приводов и магнитных муфт, стартеров и генераторов, центрифуг, турбодвигателей, датчиков перекачивающих насосов, прецизионных приборных систем авиационных и космических объектов, систем локации и акустики, магнитных систем для различного типа протезов, омагничивателей и т.п. В частности, применение анизотропных магнитопластов с повышенной (ВН)тах на основе разрабатываемых МТМ обеспечит миниатюризацию двигателей, генераторов, различных магнитоэлектрических устройств и приборов.

2. Созданная в рамках проекта эскизная конструкторская документация и экспериментальный образец (макет) ЛТГБУ для гидрирования и азотирования сплавов РЗМ с переходными металлами группы железа могут быть использованы при разработках новых и совершенствовании существующих технологий изготовления: (а) МТМ на основе сплавов РЗМ с ПМ группы железа с высокими гистерезисными характеристикам; (б) функциональных материалов, в том числе наноматериалов, с особыми электрическими, физико-химическими и тепловыми свойствами, а также (в) станут основой создания масштабируемой автоматизированной ТГБУ для применения в научно-исследовательской практике (физическое материаловедение функциональных материалов) и наукоёмких секторах экономики (микро- и наноэлектроника, возобновляемая энергетика, биохимия, медицина и др.).

3. Полученные в рамках исследования результаты использованы при разработке проектов учебно-методических материалов и программ их внедрения в образовательный процесс Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и НИТУ «МИСиС».