

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

Факультет нано- и биомедицинских технологий

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методической работе,

профессор

Е.Г. Елина

2016 г.



Рабочая программа дисциплины

Магнитные материалы и структуры для электроники и наноэлектроники

Направление подготовки магистратуры
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Профили подготовки магистратуры
«Функциональные и интеллектуальные материалы и структуры для
электроники и биомедицины»

Квалификация (степень) выпускника

Магистр

Форма обучения

Очная

Саратов, 2016

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Магнитные материалы и структуры для электроники и наноэлектроники» является формирование у студентов комплекса общепрофессиональных и профессиональных знаний и умений в области разработки технологии создания и методов исследования физических свойств магнитных материалов и структур для электроники и наноэлектроники, формирования навыков выбора технологий получения магнитных микро- и наноструктур, методов их диагностики и анализа влияния параметров технологических процессов на свойства магнитных материалов и структур для разработок устройств электроники и наноэлектроники на физических принципах спинтроники и магноники.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и углубление теоретических и практических знаний об основных группах магнитных материалов и основных физических явлениях, связанных с возбуждением магнов и транспортом поляризованных по спину электронов и использующихся для создания устройств электроники и наноэлектроники;
- изучение физических явлений, наблюдающихся в микро- и наноструктурах на основе магнитных материалов при протекании спинового тока и распространении спиновых волн;
- формирование умений по результатам анализа требований к параметрам электронных и наноэлектронных устройств правильно выбирать материал и параметры наноструктуры, определять технологические методы получения наноструктур;
- формирование владений методами и навыками экспериментального и теоретического исследования магнитных наноструктур и свойств материалов;
- создание у студентов заинтересованности в непрерывном расширении кругозора и углублении знаний в области магнитных материалов и наноструктур для электроники и наноэлектроники.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Магнитные материалы и структуры для электроники и наноэлектроники» изучается студентами очной формы обучения факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ, обучающимися по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» и профилю «Функциональные и интеллектуальные материалы и структуры для электроники и биомедицин», в течение 3 учебного семестра и является обязательной дисциплиной вариативной части. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по дисциплинам «Моделирование свойств материалов и процессов», «Методы исследования, экспертиза материалов и процессов» и подготавливает студентов к

выполнению научно-исследовательской работы и выпускной квалификационной работы.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины.

В результате прохождения дисциплины «Магнитные материалы и структуры для электроники и нанoeлектроники» формируются следующие компетенции: ОПК-9, ПК-4.

ОПК-9. Способность к самостоятельному освоению новых методов исследования и изменению научного, научно-педагогического и производственного профиля своей профессиональной деятельности

ПК-4. Способность использовать на практике современные представления, о влиянии микро- и нано-структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, энергетическими частицами и излучением.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- знать: физическую сущность явлений, происходящих в устройствах электроники и нанoeлектроники на основе магнитных материалов; знать процесс, происходящие в магнитных материалах при их взаимодействии с окружающей средой, полями, энергетическими частицами и излучением;
- уметь сформировать требования к параметрам магнитных материалов, их микро- и наноструктуре, а также к технологиям создания магнитных наноструктур для электроники и нанoeлектроники; самостоятельно осваивать новые научные направления своей профессиональной деятельности;
- владеть новыми методами исследования и измерения параметров магнитных материалов и наноструктур для электроники и нанoeлектроники, а также технологическими методами изготовления.

4. Структура и содержание дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	практические	семинары	СРС	
1	Введение	3	1	1	2	2	6	Выборочный опрос

2	Тема 1.	3	2	1	0	2	6	Выборочный опрос
3	Тема 2.	3	3	1	0	2	6	Контрольная работа
4	Тема 3.	3	4-6	2	6	5	6	Отчет по результатам лабораторной работы
5	Тема 4.	3	7-9	3	6	5	6	Отчет по результатам лабораторной работы
6	Тема 5.	3	10-12	3	6	5	6	Отчет по результатам лабораторной работы
7	Тема 6.	3	13-14	3	6	5	6	Выборочный опрос
	Итого			14	26	26	42	Экзамен (36)

Содержание дисциплины

1. Введение

Задачи и значение дисциплины "Магнитные материалы и структуры для электроники и нанoeлектроники". Природа магнетизма веществ, обменное взаимодействие, магнитная анизотропия, диполь-дипольное взаимодействие. Основное состояние, внутренне эффективное поле, ферромагнетики, антиферромагнетики, ферриты. Магнитные домены и магнитная память. Магнитные наночастицы.

2. Тема 1

Понятие спинового транспорта, магниторезистивные эффекты, типы магниторезистивных структур, эффекты при протекании спин-поляризованного тока в магнитных наноструктурах

3. Тема 2

Уравнение движение магнитного момента, ферромагнитный резонанс, спиновые волны, закон дисперсии, групповая скорость.

4. Тема 3.

Основные эффекты при распространении волн в периодических структурах. Брэгговские резонансы. Магнонные кристаллы, магнитные метаматериалы.

5. Тема 4.

Вакуумные технологии получения магнитных пленок, молекулярно-лучевая эпитаксия, магнетронное распыления, методы диагностики параметров магнитных пленок

6. Тема 5.

Технологии изготовления магнитных наноструктур, фото-, импринт-, электронная литография, взрывная литография, ионное травление, травление фокусированным ионным пучком. Методы диагностики параметров наноструктур

7. Тема 6.

Технология изготовления и магниторезистивные свойства структуры на

основе углеродных нанотрубок и магнитных пленок. Устройства спинтроники и магноники на основе магнитных материалов и наноструктур.

Перечень лабораторных работ:

1. Магнетронное распыление пленок ферромагнитных металлов.
2. Измерение анизотропного магнитосопротивления в магнитных микроструктурах. Влияние отжига на величину анизотропного магнитосопротивления. Зависимость магнитосопротивления от температур.
3. Измерение спектра ФМР магнитных пленок и микроструктур. Влияние полей размагничивания на спектр ФМР.
4. Влияние Брэгговских резонансов на спектры передачи магнонных кристаллов. Дефектные моды в магнонных кристаллах.
5. Измерение петель гистерезиса магнитных пленок и структур на их основе. Определение параметров пленок из петель гистерезиса.
6. Изучение морфологии поверхности и магнитной структуры с помощью атомно-силовой, туннельной и магнитно-силовой микроскопии.
7. Молекулярно-лучевая эпитаксия пленок ферромагнитных металлов
8. Фотолитография магнитных микроструктур.
9. Импринт литография магнитных наноструктур.
10. Создание наноструктур фокусированным ионным лучом
11. Ионное травление пленок ферромагнитных металлов.
12. Создание туннельных барьеров методом локального анодного окисления.

Примерная тематика практических занятий (семинаров)

1. Плотность энергии ферромагнетика. Виды магнитных взаимодействий. Основное состояние ферромагнетика. Доменная структура. Особенности основного состояния магнитных наночастиц и наноразмерных структур. Методы микромагнитного моделирования основного состояния и динамики намагниченности магнитных наночастиц.
2. Методы экспериментального исследования распределения намагниченности и спиновой динамики в наночастицах: сканирующая зондовая микроскопия, пространственно-временные магнитооптические методы Керра и Бриллюэновского рассеяния, метод широкополосного ферромагнитного резонанса.
3. Зонная структура ферромагнитных металлов. Двухтоковая модель Мота. Уравнение для плотности тока в ферромагнитном металле, магниторезистивные эффекты. Спиновый транспорт в магнитных наноструктурах, туннельные магниторезистивные структуры. Методы измерения магнитосопротивления.
4. Уравнение Ландау-Лифшица движения магнитного момента. Ферромагнитный резонанс. Спиновые волны, магноны, закон дисперсии спиновых волн, групповая скорость, время задержки. Размерные

резонансы в магнитных структурах. Методы измерения параметров СВЧ устройств на основе спиновых волн.

5. Магнитные периодические структуры: магнитные сверхрешетки, магнетонные кристаллы, магнитные метаматериалы. Особенности спинового транспорта в магнитных сверхрешетках, осциллирующее обменное взаимодействие, ферромагнитная и антиферромагнитная связь в магнитных сверхрешетках. Брэгговские резонансы в магнетонных кристаллах. Зонная структура спектра магнетонов. Дефектные моды.
6. Вакуумные методы осаждения пленок магнитных материалов, молекулярно-лучевая эпитаксия, магнетронное и термическое распыление. Методы диагностики микроструктуры, элементного состава и морфологии магнитных пленок: дифракция быстрых и медленных электронов, Ожэ-спектроскопия, рентгеноструктурный анализ, сканирующая зондовая и электронная микроскопия.
7. Методы измерения магнитных параметров магнитных пленок и наноструктур: ферромагнитный резонанс, магнитооптические методы, вибромагнитометрия, температурные зависимости магнитосопротивления.
8. Технологические методы изготовления микро- и наноструктур: оптическая, электронная и импринт литография, ионное и жидкостное химическое травление, травление сфокусированным ионным пучком, зондовая литография (метод локального анодного окисления).
9. Магнитные наноструктуры на основе углеродных нанотрубок и пленок ферромагнитных металлов. Методы получения углеродных нанотрубок. Методы интеграции углеродных нанотрубок и ферромагнитных электродов. Магниторезистивные эффекты в структурах на основе углеродных нанотрубок и магнитных пленок

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

В преподавании дисциплины «Магнитные материалы и структуры для электроники и наноэлектроники» используются следующие образовательные технологии:

- семинарские занятия;
- лабораторные занятия;
- самостоятельная внеаудиторная работа;
- дискуссии на заданную тему.

Основной упор в занятиях делается на лабораторных и практических занятиях связанных с проведением технологических работ и экспериментальных исследований, проводимых сотрудниками кафедры технологии материалов на базе СФ ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

При проведении семинаров используется ПК и мультимедийный проектор. На семинарах проводятся экспресс-опросы по пройденному материалу и дискуссии на тему, предложенную для самостоятельной проработки.

При реализации программы дисциплины «Магнитные материалы и структуры для электроники и нанoeлектроники» студентам предлагается выполнить не менее 4 лабораторных работ из предлагаемого выше списка. Подробные описания лабораторных работ имеются в лабораториях базовой кафедры технологии материалов.

Методы обучения, применяемые при изучении дисциплины, способствуют закреплению и совершенствованию знаний, овладению умениями и получению навыков в области современного материаловедения и разработки наноструктур для разработки устройств электроники и нанoeлектроники на принципах спинтроники и магноники. Содержание учебного материала диктует выбор методов обучения:

- информационно-развивающие: объяснение, демонстрация, решение проблемных задач, самостоятельная работа с рекомендуемой литературой;

- проблемно-поисковые и исследовательские: самостоятельная проработка предлагаемых проблемных вопросов по дисциплине и участие в проведении научных исследований сотрудниками базовой кафедры.

При проведении части практических (семинарских) занятий в форме учебной дискуссии по методу «круглого стола» проводится детальный анализ вопросов физики магнитных наноструктур, технологии их получения, методов диагностики.

Предусмотрено участие студентов в работе научных семинаров и конференций в СФ ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

При проведении лабораторных занятий проводится детальный анализ (индивидуально и в форме «круглого стола») вопросов технологии, свойств и применения магнитных материалов и наноструктур в соответствии с приведенным ниже списком тем (по выбору преподавателя).

Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья;
- использование индивидуальных графиков обучения;
- использование дистанционных образовательных технологий.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Самостоятельная работа студентов в объеме 42 часов по дисциплине «Магнитные материалы и структуры для электроники и наноэлектроники» проводится в течение всего периода изучения дисциплины и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к семинарам и лабораторным работам, к контрольной работе, в выполнении заданий преподавателя.

Самостоятельная работа студентов подразумевает работу под руководством преподавателей (консультации и помощь при выполнении домашних заданий) и индивидуальную работу студента в компьютерном классе или библиотеке.

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала аудиторных занятий разбирать вопросы, для каждого очередного семинара, по непонятым деталям консультироваться у преподавателя, читать соответствующую литературу;

- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать рекомендуемую основную и дополнительную литературу;

- при подготовке к контрольной работе пользоваться конспектами и рекомендованной литературой;

- задания, которые даются преподавателем, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время контрольной работы и экзамена.

Вопросы и задания для самоконтроля при выполнении самостоятельной работы

10. Источники намагниченности веществ. Спиновые и орбитальный магнитный моменты. Обменное взаимодействие. Ферромагнетики, антиферромагнетики, ферриты. Плотность магнитной энергии ферромагнетика. Понятие инвариантности энергии относительно преобразования времени и координат.
11. Эффективное магнитное поле в ферромагнетиках. Магнитная кристаллографическая анизотропия, поля размагничивания. Магнитные домены, петля гистерезиса, коэрцитивная сила, остаточная намагниченность, магнитомягкие и магнито жесткие материалы.
12. Уравнение для плотности тока ферромагнитных металлов. Поляризация электронов по спину. Зонная модель ферромагнитных металлов. Двухтоковая модель для ферромагнитных металлов. Спиновый транспорт. Магнитосопротивление, анизотропное магнитосопротивление.
13. Магнитные слоистые структуры. Осциллирующий обмен, гигантское магнитосопротивление, туннельное магнитосопротивление. Магнитные считывающие головки для жестких дисков на основе гигантского магнитосопротивления.
14. Уравнение движения магнитного момента. Спиновые волны, магноны.

Оптические и акустические магноны. Релаксация спиновых волн. Линеаризация уравнения движения намагниченности. Ферромагнитный резонанс. Волноведущие структуры спиновых волн. Уравнение Уокера. Электродинамические граничные условия. Условие на закрепление спинов. Дисперсионное уравнение для спиновых волн в волноведущих структурах. Групповая и фазовая скорости, время задержки сигнала, принципы фильтрации сигнала. Требования к материалам для СВЧ устройств на основе магнитных пленок.

15. Магнитные колебания и волны в магнитных микро- и наноструктурах. Магнонные кристаллы, магнитные метаматериалы. Устройства обработки информации СВЧ на принципах магноники.
16. Вакуумные технологии получения пленок ферромагнитных металлов для электроники и наноэлектроники. Требования к магнитным параметрам, микроструктуре и морфологии ферромагнитных пленок. Влияние технологических параметров на магнитные свойства, микроструктуру и морфологию пленок ферромагнитных металлов. Методы определения микроструктуры, морфологии и элементного состава тонких пленок.
17. Методы создания магнитных микро- и наноструктур на основе ферромагнитных пленок. Литографические методы. Методы травления. Требования к интерфейсу и толщине немагнитной прослойки в магнитных туннельных переходах. Влияния площади туннельного перехода на параметры магниторезистивных туннельных структур. Методы измерения магнитосопротивления.
18. Методы получения ориентированных углеродных нанотрубок, магниторезистивные структуры на основе пленок ферромагнитных металлов, углеродных нанотрубок и графена.

В ходе изучения дисциплины проводится один письменный экспресс-опрос на тему «Магниторезистивные эффекты в магнитных пленках и наноструктурах на их основе».

В ходе изучения дисциплины студенты выполняют одну контрольную работу на тему «Микромагнитное моделирование основного состояния и анизотропного магнитосопротивления магнитных микроструктур».

При подготовке к контрольной работе необходимо использовать материал прочитанных лекций, а также программу микромагнитного моделирования OOMMF (Object Oriented Micromagnetic Modeling Framework) User's Guide, Version 1.0, edited by M. Donahue and D. Porter, in Interagency Report NISTIR 6376, National Institute of Standards and Technology 1999., программа и ее описание находятся в свободном доступе в интернете.

Задания для выполнения контрольной работы «Микромагнитное моделирование основного состояния и анизотропного магнитосопротивления магнитных микроструктур»:

1. Записать выражение для плотности магнитной энергии ферромагнитной пленки. Объяснить следствия инвариантности плотности энергии ферромагнетика по отношению к преобразованиям времени и координат.

2. Записать выражение для плотности тока в ферромагнитном металле. Выделить члены ответственные за анизотропное магнитосопротивление. Сформулировать двухтоковую модель Мотта для ферромагнитных металлов.

3. Написать уравнение движение намагниченности в форме Ландау-Лифшица. Охарактеризовать характер движения намагниченности. Определить направление прецессии. Охарактеризовать отклик магнитного момента на импульс магнитного поля в диссипативной среде.

4. Сформулировать физические принципы положенные в основу микромагнитного моделирования на базе программы ООММФ. Сформулировать подход к оценке анизотропного магнитосопротивления магнитной микроструктуры на основе расчета распределения намагниченности в основном состоянии.

Вопросы для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины (в форме экзамена)

1. Источники намагниченности веществ.
2. Основные виды взаимодействия в магнитных средах. Плотность энергии ферромагнетика. Типы магнитного упорядочивания. Прямой и косвенный обмен.
3. Поляризованные по спину электроны в ферромагнитных металлах. Зонная структура ферромагнитных металлов. Двухтоковая модель Мотта для проводимости ферромагнетиков. Длина свободного пробега электрона по импульсу и по спину.
4. Уравнение для плотности тока в ферромагнитных металлах. Виды магниторезистивных эффектов в ферромагнитных металлах.
5. Магнитные слоистые структуры на основе ферромагнитных и нормальных металлов. Осциллирующий обмен. Гигантское магнитосопротивление. Вентильный эффект.
6. Магнитные структуры на основе ферромагнитных и диэлектрических пленок. Туннельное магнитосопротивление.
7. Магниторезистивные структуры на основе углеродных нанотрубок и ферромагнитных пленок. Длина пробега электрона по спину в углеродных нанотрубках.
8. Уравнение движение намагниченности. Линеаризация уравнения движения. Ферромагнитный резонанс. Формула Киттеля для ФМР в ограниченных телах.
9. Спиновые волны (магноны). Уравнения Уокера для магнитостатического потенциала. Закон дисперсии спиновых волн. Масса магнона.

10. Спектр спиновых волн в пленочных волноводах. Квантование спектра спиновых волн. Групповая и фазовая скорости спиновых волн.
11. Спиновые волны в магнитных периодических структурах. Брэгговские резонансы. Магнонные кристаллы и магнитные метаматериалы.
12. Особенности основного состояния магнитных наночастиц. Доменная структура наночастиц и решеток на их основе. Направления легкого и трудного намагничивания и их связь с осями симметрии магнитных решеток. Анизотропное магнитосопротивление магнитных решеток.
13. Квантование спектра в магнитных наночастицах с неоднородным основным состоянием. Локализованные моды.
14. Вакуумные методы осаждения пленок ферромагнитных металлов. Влияние технологических режимов на микроструктуру, морфологию поверхности и магнитные параметры пленок ферромагнитных металлов.
15. Литографические методы изготовления наноструктур (фото-, электронно-лучевая и импринт литография).
16. Методы контроля микроструктуры, морфологии и состава ферромагнитных пленок.
17. Создание туннельных переходов методом локального анодного окисления.

7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

3 семестр

Таблица 1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
3	5	30	10	25	0	0	30	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

Лекции

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 5 баллов

Лабораторные занятия

Контроль выполнения лабораторных заданий в течение одного семестра - от 0 до 30 баллов.

Практические занятия

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 10 баллов.

Самостоятельная работа

Контрольная работа – от 0 до 25 баллов.

Автоматизированное тестирование

Не предусмотрено.

Другие виды учебной деятельности

Не предусмотрено

Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по данной дисциплине проводится в форме экзамена.

При проведении промежуточной аттестации:

ответ на «отлично» оценивается от 21 до 30 баллов;

ответ на «хорошо» оценивается от 11 до 20 баллов;

ответ на «удовлетворительно» оценивается от 6 до 10 баллов;

ответ на «неудовлетворительно» оценивается от 0 до 5 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 3 семестр по дисциплине «Магнитные материалы и структуры для электроники и наноэлектроники» составляет 100 баллов.

Пересчет полученной студентом суммы баллов по данной дисциплине в оценку (экзамен) осуществляется в соответствии с таблицей 2.1.

Таблица 2.1 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Магнитные материалы и структуры для электроники и наноэлектроники» в оценку (экзамен):

86-100 баллов	«отлично»
76-85 баллов	«хорошо»
61-75 баллов	«удовлетворительно»
0-60 баллов	«не удовлетворительно»

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) основная литература:

Экземпляры всего: 4

1. Рамбиди Н. Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н. Г. Рамбиди, А. В. Берёзкин. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 454 с.

Экземпляры всего: 70

2. Рыжонков Д. И. Наноматериалы : учеб. пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2008. – 365 с.

Экземпляры всего: 47

3. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники : [в 2 ч.]. Ч. 1 / А. А. Раскин, В. К. Прокофьева. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. - 163 с.

Экземпляры всего: 45

4. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. - 2-е изд., испр. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 414 с.

Экземпляры всего: 45

5. Елисеев А. А. Функциональные наноматериалы : учеб. пособие / А. А. Елисеев, А. В. Лукашин ; под ред. Ю. Д. Третьякова. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 452 с.

Экземпляры всего: 35

б) дополнительная литература:

1. Теоретическая физика учеб. пособие : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. - (Теоретическая физика ; т. 8: Электродинамика сплошных сред. - 4-е изд., стер. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 651, [5] с.

Экземпляры всего: 48

2. М. И. Каганов Природа магнетизма. / М. И. Каганов, В. М. Цукерник. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. - 191, [1] с. : ил. - (Библиотечка "Квант" ; вып. 16)

3. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника. Мировые достижения - 2008 год : сборник / под ред. П. П. Мальцева. - М. : Техносфера, 2008. - 430 с.

Экземпляры всего: 11

4. Пантелеев, В. Г. Компьютерная микроскопия / В. Г. Пантелеев, О. В. Егорова, Е. И. Клыкова. - М.: Техносфера, 2005. - 303 с.

Экземпляры всего: 5

5. Хартманн У. Очарование нанотехнологии (Fascination Nanotechnology) / У. Хартманн ; пер. с нем. Т. Н. Захаровой ; под ред. Л. Н. Патрикеева. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2008. - 173 с.

Экземпляры всего: 10

6. Пул Ч. П. (мл.). Нанотехнологии : учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 3-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2007. - 375 с.

Экземпляры всего: 5

7. Старостин В. В. Материалы и методы нанотехнологии : учеб. пособие / В. В. Старостин ; под общ. ред. Л. Н. Патрикеева. - М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2008. - 431 с.

Экземпляры всего: 3

8. Дугин А. Н. Современные магнитные материалы: учеб. пособие по курсу "Материаловедение" для студентов машиностроит. и приборостроит. специальностей / А. Н. Дугин, И. Д. Кособудский, В. П. Севостьянов. - Саратов: Приволж. кн. изд-во, 2003. - 74 с.

Экземпляры всего: 1

9. Белая книга по нанотехнологиям. Исследования в области наночастиц, наноструктур и нанокompозитов в Российской Федерации : по материалам Первого Всерос. совещ. учёных, инженеров и производителей в области нанотехнологий / Координац. совет по развитию нанотехнологий, Комис. РАН по нанотехнологиям ; сост.: В. И. Аржанцев [и др.]. - М. : Изд-во ЛКИ, 2008. - 327 с.

Экземпляры всего: 1

10. Нанотехнологии : азбука для всех / Н. С. Абрамчук [и др.] ; под ред. Ю. Д. Третьякова. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 367 с.

Экземпляры всего: 1

11. Кларк Э. Р. Микроскопические методы исследования материалов / Э. Р. Кларк, К. Н. Эберхардт ; пер. с англ. С. Л. Баженова ; Ин-т синтет. полимер. материалов им. Е. Н. Ениколопова РАН. - М. : Техносфера, 2007. - 371 с.

Экземпляры всего: 1

12. Наноматериалы, нанотехнологии и области их применения : рек. список науч. и науч.-попул. лит. за 2000-2006 гг. / Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского, Зон. науч. б-ка им. В. А. Артисевич ; сост.: Г. А. Колокольникова, М. М. Стольниц ; науч. ред. Д. А. Усанов. - Саратов : [б. и.], 2008. - 39 с.

Экземпляры всего: 10



в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) Windows XP/7
- 2) Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
- 3) Microsoft Office профессиональный 2010
- 4) Программа микромагнитного моделирования OOMMF (Object Oriented Micromagnetic Modeling Framework). Программа и ее описание находятся в свободном доступе в интернете. <http://math.nist.gov/oommf/>
- 5) Зональная научная библиотека им. В.А. Артисевич Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского. – Режим доступа: <http://library.sgu.ru/>
- 6) Официальный сайт научного книжного центра «ФИЗМАТКНИГА» – группы организаций, задачей которых является издание и распространение литературы по естественным наукам; преимущественно физико-математическим. <http://www.fizmatkniga.ru/>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Занятия по дисциплине «Магнитные материалы и структуры для электроники и наноэлектроники» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, наглядными демонстрационными материалами, мультимедийными установками, в лабораториях базовой кафедры технологии материалов, оснащенных технологическим и аналитическим оборудованием и измерительными стендами.

При проведении лабораторных работ используется следующее оборудование:

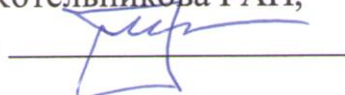
1. Двухлучевой электронно-ионный микроскоп AURIGA
2. Оборудование для регистрации топографии поверхности Dektak 150+
3. Установка совмещения и экспонирования MJB4 с опцией для наноимпринт литографии
4. Центрифуга для нанесения фоторезистов SM-180BT.
5. Шкаф химический, вытяжной металлический ЛАБ-1200 ШВОТ
6. Оптический инспекционный микроскоп Olimpus MX51(Обзор в проходящем и отраженном свете; светлое/темное поле, поляризация; Цифровая камера с программным обеспечением для осуществления съемки и обработки изображений на компьютере)
7. Зондовый мультимодовый (AFM, STM, MFM) сканирующий микроскоп Solver P47 NT-MDT
8. прецизионные электроплитки HP-20D, для сушки фоторезиста
9. холодильник для хранения реактивов
10. Чистая комната, площадью 32 кв. м в которой размещено оборудование поименованное в пунктах 1-9
11. Установка ионного травления на базе пушки Кауфмана, Vico
12. Установки (4шт.) магнетронного (на постоянном токе и ВЧ) и термического распыления пленочных покрытий на базе вакуумных универсальных постов ВУП-5
13. Установка молекулярно-лучевой эпитаксии на базе электронного спектрометра ЭС2301, в составе напылительной камеры (с 4-мя кнудсеновскими ячейками, дифрактометром быстрых электронов и масс-спектрометром), шлюзовой/загрузочной камеры, аналитической камеры с установленным дифрактометром медленных электронов и Ожэ-спектрометром. Вакуум 0,001 Па.
14. Дифрактометр рентгеновский общего назначения (ДРОН-4) для рентгеноструктурного анализа материалов
15. Установка криогенная замкнутого цикла Janis-350, для измерения вольт-амперных характеристик в широком диапазоне температур (7-300 К)
16. Вибромагнетометр ВМ-1
17. Спектрометр электронного парамагнитного резонанса (СЭПР-1) на частоту 9.9 ГГц.
18. Зондовая СВЧ-станция.
19. СВЧ оборудование (векторный анализатор цепей, анализатор спектра, осциллографы, СВЧ генераторы и др.) для измерения СВЧ параметров микро- и наноструктур в диапазоне 0.01-7 ГГц.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» и учебным планом профиля «Функциональные и интеллектуальные материалы и структуры для электроники и биомедицин»

Автор

профессор кафедры технологии материалов на
базе ФГБУН Института радиотехники и электроники
им В.А. Котельникова РАН,

д.ф.-м.н.



Филимонов Ю.А.

Программа одобрена на заседании кафедры технологии материалов на базе ФГБУН Института радиотехники и электроники им В.А. Котельникова от 6.09.2016 года, протокол № 19.

Подписи:

Зав. базовой кафедры технологии материалов на
базе ФГБУН Института радиотехники и электроники
им В.А. Котельникова РАН,

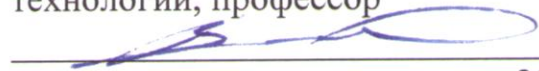
профессор



Ю.А. Филимонов

« 06 » сентября 2016 г.

Декан факультета нано- и биомедицинских
технологий, профессор



С.Б. Вениг

« _____ » _____ 2016 г.