

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор  
\_\_\_\_\_ С. К. Дик  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в магистратуру  
по специальности 1-41 80 03  
“Нанотехнологии и наноматериалы в электронике”

Минск 2017

Программа составлена на основании учебных программ дисциплин Физика конденсированного состояния.

Наноструктуры и технология их формирования.

Нанотехнологии и наноматериалы электронике

### **СОСТАВИТЕЛИ:**

Борисенко В. Е. д-р физ. - мат. наук, профессор, зав. кафедрой МНЭ;  
Колосницын Б. С., канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры МНЭ;  
Короткевич А.В., канд. техн. наук, доцент, декан ФРЭ; Позняк А.А., канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры химии; Уткина Е.А., канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры МНЭ, Бондаренко В.П., канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры МНЭ, Черных А.Г., канд. техн. наук, доцент, доценты кафедры МНЭ.

### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ**

Кафедрой микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (протокол № 9 от « 22 » мая 2017 г.)

Заведующий кафедрой МНЭ \_\_\_\_\_

В. Е. Борисенко

## Содержание программы

Цель вступительного экзамена в магистратуру

Вступительный экзамен в магистратуру по специальности 1-41 80 03 “Нанотехнологии и наноматериалы в электронике” проводится с целью определения теоретической и практической готовности соискателя к поступлению в магистратуру в соответствии с образовательными программами высшего образования.

Список дисциплин, вынесенных на вступительный экзамен:

Физика конденсированного состояния.

Наноструктуры и технология их формирования.

Нанотехнологии и наноматериалы в электронике

Список вопросов по каждой дисциплине:

### ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

#### Тема 1. Основы физики конденсированного состояния

Агрегатные состояния вещества, конденсированное состояние, твёрдое тело. Строение кристаллов, дефекты. Обозначение узлов, направлений и плоскостей в кристаллах. Основы зонной теории твердых тел, зонная структура основных полупроводниковых материалов (Si, Ge,  $A^3B^5$ ). Донорные и акцепторные примеси. Энергетический спектр электронов на поверхности твердого тела. Концентрация свободных носителей заряда в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Диффузионный и дрейфовые токи в полупроводниках. Соотношение Эйнштейна. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках. Диэлектрики, их классификация. Электронная, дырочная, ионная проводимости диэлектриков. Комплексная диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь. Внешняя и внутренняя работа выхода. Гетеропереходы. Магнитные материалы, их классификация. Комплексная магнитная проницаемость и потери в магнитных материалах.

#### Тема 2. Фундаментальные электронные явления в низкоразмерных структурах

Квантовое ограничение (классификация низкоразмерных структур по критерию проявления квантового ограничения в них на квантовые точки, квантовые шнуры и квантовые пленки). Интерференционные эффекты в переносе носителей заряда. Баллистический транспорт носителей заряда. Квантование проводимости низкоразмерных проводников. Квантовый эффект Холла (интегральный и дробный). Одноэлектронное туннелирование. Резонансное туннелирование носителей заряда. Спин-зависимый транспорт носителей заряда.

Литература по дисциплине «Физика конденсированного состояния»

Основная

1. Борисенко В. Е., Воробьева А. И., Данилюк А. Л., Уткина Е. А. Нанoeлектроника. Теория и практика. – М.: Бином, 2013. – 366 с.
2. Borisenko V. E., Ossicini S. What is What in the Nanoworld. – Weinheim: Wiley-VCH, 2012. – 601 p.
3. Щука А. А. Нанoeлектроника. – М.: Физматкнига, 2007.
4. Davies J. H. The Physics of Low-Dimensional Semiconductors: An Introduction. – Cambridge: Cambridge University Press, 1998. – 422 p.
5. Gaponenko S. V. Introduction to Nanophotonics. – Cambridge: Cambridge University Press, 2010. – 484 p.

#### Дополнительная

1. E. L. Wolf. Quantum Nanoelectronics. – Weinheim: Wiley-VCH, 2009. – 456 p.
2. Bandyopadhyay S., Cahay M. Introduction to Spintronics. – Broken Sound Parkway: CRC, 2008.
3. Грибковский В. П. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках. – Мн.: Наука и техника, 1997.
4. Ferry D. K., Goodnick S. M. Transport in Nanostructures. – Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
5. Хакен Х. Квантовополевая теория твердого тела. – М.: Наука, 1980. – 240 с.

## НАНОСТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

### Тема 1. Термодинамические системы, параметры, процессы

Законы термодинамики. Характеристические термодинамические функции: энтальпия, энтропия, свободная энергия Гельмгольца и Гиббса. Критерии направленности процессов в термодинамических системах. Химический потенциал. Фундаментальные уравнения состояния. Термодинамические условия фазового равновесия. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Диаграммы состояния и их основные виды, построение Т-х диаграмм состояния.

### Тема 2. Электрохимические процессы

Условия протекания электрохимических процессов. Электродные потенциалы, классификация электродов. Катодное осаждение металлов. Анодное окисление металлов и полупроводников. Коррозия материалов.

Литература по дисциплине «Наноструктуры и технология их формирования»

#### Основная

1. Эткинс П., де Паула Дж. Физическая химия. В 3-х частях. – М.: Мир, 2007. – 496 с.

2. Стромберг А. Г., Семченко Д. П. Физическая химия / Под ред. А. Г. Стромберга. – М.: Высшая школа, 2009. – 527 с.
3. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1986.

#### Дополнительная

1. Поклонский Н.А., Вырко С.А., Поденок С.Л. Статистическая физика полупроводников. Курс лекций. М., КомКнига, 2005.
2. Еремин В. В., Каргов С. И., Успенская И. А., Кузьменко Н. Е., Лунин В. В. Основы физической химии. Теория и задачи. –М.: Высшая школа, 2005. – 480 с.
3. Физическая химия. В 2 кн. / Под ред. К. С. Краснова. – М.: Высшая школа, 2001. – 519 с.

## НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Тема 1. Формирование пленок нанометровой толщины, гетероструктур и наноструктурированных покрытий

Молекулярно-лучевая эпитаксия. Химическое осаждение из газовой фазы. Вакуумные, ионные и ионно-плазменные методы осаждения. Химическое и электрохимическое осаждение в жидких средах.

Тема 2. Формирование наноструктур с использованием сканирующих зондов

Физические основы и особенности использования сканирующих туннельных и атомно-силовых зондовых устройств для формирования наноструктур. Атомная инженерия. Локальное окисление полупроводников и металлов. Локальное химическое и электрохимическое осаждение материалов из газовой и жидкой фаз.

Тема 3. Нанолитография

Литография с использованием высокоэнергетичных фотонов, остросфокусированных потоков электронов и ионов. Зондовая нанолитография. Нанопечать.

Тема 4. Саморегулирующиеся процессы

Атомарная и молекулярная самосборка. Формирование пленок Лэнгмюра-Блоджетт. Самоорганизация в объеме и на поверхности твердых тел. Золь-гель технология.

Тема 5. Формирование и свойства материалов с естественным наноструктурированием

Углеродсодержащие наноструктуры – графен, фуллерены, углеродные нанотрубки, алмазоподобные структуры и их производные. Нанопористые структуры из полупроводников и оксидов металлов.

Тема 6. Молекулярные наноструктуры.

Органические молекулы. Супермолекулы. Биомолекулы: нуклеиновые кислоты, белки, ферменты, биомолекулярные комплексы. Мицеллы и липосомы.

Тема 7. Методы исследования наноструктур и наноматериалов.

Просвечивающая электронная микроскопия, автоэлектронная и автоионная микроскопия, зондовая микроскопия, дифракционный анализ, спектральный анализ.

Литература по дисциплине  
«Нанотехнологии и наноматериалы электронике»

Основная

1. Борисенко В. Е., Воробьева А. И., Данилюк А. Л., Уткина Е. А. Нанoeлектроника. Теория и практика – М.: Бином, 2013. – 366 с.
2. Гаврилов С. А., Белов А. Н. Электрохимические процессы в технологии микро- и нанoeлектроники. – М.: Высшее образование, 2009.
3. Анищик В. М., Борисенко В. Е., Жданок С. А., Толочко Н. К., Федосюк В. М. Наноматериалы и нанотехнологии. – Минск: Издательский центр БГУ, 2008. – 375 с.
4. Неволин В. Зондовые нанотехнологии в электронике. – М.: Техносфера, 2005.
5. Nanoelectronics and Information Technology / Edited by R. Waser. – New York: Wiley, 2005. – 995 p.

Дополнительная

1. Старостин В. В. Материалы и методы нанотехнологии. – М.: Бином, 2008. – 432 с.
2. Рыжонков Д. И., Лёвина В. В., Дзидзигури Э. Л. Наноматериалы. – М.: Бином, 2008. – 365 с.
3. Handbook of Nanotechnology / Edited by V. Bhushan. – Berlin Heidelberg: Springer, 2007.
4. Старостин В. В. Материалы и методы нанотехнологии. – М.: Бином, 2008. – 432 с.
5. Рыжонков Д. И., Лёвина В. В., Дзидзигури Э. Л. Наноматериалы. – М.: Бином, 2008. – 365 с.
6. Handbook of Nanotechnology / Edited by V. Bhushan. – Berlin Heidelberg: Springer, 2007.
7. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / Под ред. Л. Ченга, К. Плога. – М.: Мир, 1989. – 584 с.