

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники»


Проректор по научной работе БГУИР
В.Р. Семпицкий
2023 г.

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру по специальности
05.16.08 - Нанотехнологии и наноматериалы

Минск 2023

Программа составлена на основании типовых учебных планов первой ступени образования по специальностям 1 - 41 01 02 "Микро- и нанoeлектронные технологии и системы", 1 - 41 01 03 "Квантовые информационные системы", 1 – 41 01 04 «Нанотехнологии и наноматериалы в электронике» и второй ступени высшего образования по специальностям 1 – 41 80 01 «Микро- и нанoeлектроника» и 1 - 41 80 03 «Нанотехнологии и наноматериалы».


СОСТАВИТЕЛИ:

Борисенко В. Е. – д.ф.-м.н, профессор, профессор кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР

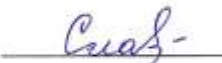
Мигас Д. Б. – д.ф.-м.н, доцент, зав. кафедрой микро- и нанoeлектроники БГУИР

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ

Рассмотрена и рекомендована к утверждению на заседании кафедры микро- и нанoeлектроники (протокол № 11 от 13 марта 2023 г.)

Заведующий кафедрой МНЭ  Д.Б.Мигас

Одобрена и рекомендована к утверждению методической комиссией факультета радиотехники и электроники (протокол № 7 от 16 марта 2023 г.)

Председатель  О. В. Славинская

1. Цели и задачи программы

Целью программы является установление объема и уровня профессиональных знаний поступающего в аспирантуру на специальность “Нанотехнологии и наноматериалы в электронике”.

Задачи, обеспечивающие достижение этой цели, включают изучение следующих основных разделов, включенных в программу:

- физика низкоразмерных систем
- физико-химические основы нанотехнологий
- нанотехнологии в электронике
- наноматериалы в электронике.

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам экзаменуемого

Экзаменуемый должен знать:

- физические закономерности, определяющие свойства и поведение низкоразмерных систем
- физико-химические основы нанотехнологий
- основные нанотехнологические процессы для электроники
- основные наноматериалы для электроники
- особенности использования нанотехнологий и наноматериалов в производстве изделий электронной техники;

должен уметь:

- определять физические и химические характеристики структур и материалов, используемых при изготовлении изделий электронной техники, и их технологичность
- рассчитывать основные характеристики нанотехнологических процессов и наноматериалов
- проектировать процессы изготовления изделий электронной техники с использованием нанотехнологий и наноматериалов.

3. Содержание программы

Раздел 1. Физика низкоразмерных систем

Тема 1.1. 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), баллистический транспорт носителей

заряда, туннелирование, спиновые эффекты. Методы моделирования электронных свойств низкоразмерных структур.

Тема 1.2. Энергетический спектр электронов на поверхности твердого тела. Состояния в области пространственного заряда. Концентрация носителей заряда и изгиб зон. Захват и рекомбинации носителей заряда с участием поверхностных электронных состояний.

Тема 1.3. Особенности переноса носителей заряда через низкоразмерные структуры: баллистический транспорт и интерференционные эффекты, квантование проводимости низкоразмерных проводников, квантовый эффект Холла (интегральный и дробный), одноэлектронное и резонансное туннелирование, спин-зависимый транспорт носителей заряда.

Тема 1.4. Оптические свойства низкоразмерных структур. Рекомбинация носителей заряда и люминесценция в низкоразмерных структурах.

Раздел 2. Физико-химические основы нанотехнологий

Тема 2.1. Термодинамические системы, параметры, процессы. Характеристические термодинамические функции: энтальпия, энтропия, свободная энергия Гельмгольца и Гиббса. Критерии направленности процессов в закрытых и открытых термодинамических системах. Химический потенциал. Фундаментальные уравнения состояния.

Тема 2.2. Кинетика и термодинамика электрохимических процессов. Явления поляризации и деполяризации. Поляризация и перенапряжение при электролизе.

Тема 2.3. Кинетика и термодинамика коррозионных процессов. Фазовые переходы и равновесия. Уравнение Клапейрона–Клаузиуса, закон Нернста–Шилова, правило фаз Гиббса. Р-Т диаграммы состояния однокомпонентных систем. Т-х диаграммы состояния бинарных систем с образованием конгруэнтно- и инконгруэнтно плавящихся соединений, твердых растворов замещения неограниченной и ограниченной растворимости.

Тема 2.4. Саморегулирующиеся процессы. Самоорганизация в объемных материалах. Самоорганизация при эпитаксии. Самосборка.

Раздел 3. Нанотехнологии в электронике

Тема 3.1. 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 3.2. 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 3.3. Нанолитография. Литография с использованием высокоэнергетичных фотонов, остросфокусированных потоков электронов и ионов. Зондовая нанолитография. Нанопечать.

Раздел 4. Наноматериалы в электронике

Тема 4.1. Формирование и свойства материалов с естественным наноструктурированием. Углеродсодержащие наноструктуры – фуллерены, углеродные нанотрубки, алмазоподобные структуры и их производные. Графен. Нанопористые сверхпроводники, проводники, полупроводники и диэлектрики.

Тема 4.2. Молекулярные наноструктуры. Органические молекулы. Супермолекулы. Биомолекулы: нуклеиновые кислоты, белки, ферменты, биомолекулярные комплексы. Мицеллы и липосомы.

Тема 4.3. Методы исследования наноструктур и наноматериалов: просвечивающая электронная микроскопия, автоэлектронная и автоионная микроскопия, зондовая микроскопия, дифракционный анализ, спектральный анализ.

Литература

1. Борисенко В. Е., Воробьева А. И., 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, 2008. – 522 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.
6. Стромберг А. Г., Семченко Д. П. Физическая химия / Под ред. А. Г. Стромберга. – М.: Высшая школа, 2009. – 527 с.
7. Неволин В. Зондовые нанотехнологии в электронике. – М.: Техносфера, 2005. – 324 p.
8. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю.А. Чаплыгина.— М.: Техносфера, 2005. – 448 с.
9. Нанотехнологии в электронике. Вып. 2 / под ред. Ю. А. Чаплыгина. - Москва : Техносфера, 2013. - 688 с.
10. Киреев, В. Ю. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография - процессы и оборудование : [учебно-справочное руководство] / В. Ю. Киреев. - Долгопрудный : Интеллект, 2016. - 320 с.
11. Лозовский, В. Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность : учебное пособие / В. Н. Лозовский, Г. С. Константинова,

- С. В. Лозовский. - Санкт-Петербург : Лань, 2008. - 336 с. : ил. - Книги и методические пособия. - ISBN 978-5-8114-0827-6
12. Рыбалкина, М. Нанотехнологии для всех. Большое в малом / М. Рыбалкина. - Москва : Nanotechnology News Network, 2005. - 434 с.
13. Солнцев, Ю. П. Нанотехнологии и специальные материалы : учебное пособие / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин ; под ред. Ю. П. Солнцева. - Санкт-Петербург : Химиздат, 2007. - 176 с. : ил.