

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

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



ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру по специальности
01.04.04 - Физическая электроника

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:


Абрамов И. И. – д.ф.-м.н, профессор, профессор кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР

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 “Физическая электроника”.

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

- Эмиссионная электроника
- Полупроводниковая электроника и микроэлектроника
- Наноэлектроника
- Функциональная электроника
- Сенсорная электроника
- Силовая электроника
- Физические основы вакуумной и плазменной электроники.

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам экзаменуемого

Экзаменуемый должен знать:

- физические закономерности работы электровакуумных приборов;
- физические основы работы полупроводниковых приборов;
- особенности функционирования приборов на квантовых эффектах;
- основы функциональной электроники;
- физические основы вакуумной и плазменной электроники;

должен уметь:

- рассчитывать основные характеристики работы электровакуумных приборов;
- определять режимы работы полупроводниковых приборов;
- описывать физические процессы, характерные для силовых полупроводниковых приборов.

3. Содержание программы

Раздел 1. Эмиссионная электроника

Тема 1.1. Термоэлектронная эмиссия (ТЭЭ). Работа выхода. Основное уравнение ТЭЭ. Термоэмиссионный метод прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Вакуумный диод с термокатодом и его вольтамперная характеристика.

Тема 1.2. Эмиссия под воздействием частиц. Взаимодействие электронов подпороговых энергий с твердым телом. Упругие взаимодействия, сечения процессов. Спектры вторичных электронов. Оже-электроны. Электронно-стимулированная десорбция.

Тема 1.3. Взаимодействие атомных частиц с твердым телом. Распыление. Механизмы распыления. Формула Зигмунда для коэффициента распыления. Вторичная ионная эмиссия. Коэффициент вторичной ионной эмиссии. Рассеяние ионов низких и средних энергий. Обратное резерфордское рассеяние. Ионно-электронная эмиссия. Потенциальная и кинетическая эмиссия. Ионно-фотонная эмиссия.

Тема 1.4. Электровакуумные приборы на основе горячей и холодной эмиссии электронов.

Раздел 2. Полупроводниковая электроника и микроэлектроника

Тема 2.1. Физические основы электроники твердого тела. Особенности динамики электрона в идеальном твердом теле. Волновая функция, квазиимпульс, зоны Бриллюэна, зонный энергетический спектр, закон дисперсии. Энергетический спектр электрона в кристалле во внешних полях (электрическом и магнитном).

Тема 2.2. Статистика носителей заряда в полупроводниках. Обоснование применения статистики Ферми-Дирака к электронам в твердом теле (идеальном). Статистика примесных состояний. Невырожденные и вырожденные полупроводники.

Тема 2.3. Явления переноса заряда в твердом теле.

Тема 2.4. Неравновесные носители заряда в полупроводниках и диэлектриках. Генерация и рекомбинация. Механизмы рекомбинации. Диффузия и дрейф неравновесных носителей, соотношение Эйнштейна. Плотность тока и градиент уровня Ферми. Уравнение непрерывности.

Тема 2.5. Контактные явления. Различные типы контактов. Контакт твердое тело – вакуум. Контакт металл – полупроводник. Диоды Шоттки. Диодная и диффузионная теории выпрямления.

Тема 2.6. Электронно-дырочный переход. Количественная теория инжекции и экстракции неосновных носителей. Выпрямление с помощью р-п переходов. Статическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) р-п перехода. Туннельный эффект в р-п переходах. Основные представления о полупроводниковых гетеропереходах, их применение.

Тема 2.7. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение и испускание света полупроводниками. Механизмы поглощения. Поглощение и отражение электромагнитных волн свободными носителями заряда. Спонтанное и вынужденное излучение. Полупроводниковые лазеры. Фотоэффект в р-п переходах. Солнечные батареи. Преобразование электрических сигналов в световые.

Тема 2.8. Интегральные микросхемы (ИМС). Элементы ИМС: транзисторы, диоды, резисторы, конденсаторы в составе ИМС. Классификация ИМС по конструктивно-технологическому и функциональному решению. Цифровые и аналоговые ИМС.

Раздел 3. Наноэлектроника

Тема 3.1. Особенности энергетического спектра электронов в системах пониженной размерности. Прохождение электронов через многобарьерные квантовые структуры. Энергетический спектр сверхрешеток. Классификация сверхрешеток.

Тема 3.2. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр систем пониженной размерности.

Тема 3.3. Распределение квантовых состояний в системах пониженной размерности.

Тема 3.4. Экранирование электрического поля в структурах пониженной размерности. Приповерхностная область пространственного заряда (ОПЗ).

Тема 3.5. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе. Энергетический спектр электронов в постоянном однородном магнитном поле. Проводимость двумерного электронного газа. Дробный квантовый эффект Холла.

Тема 3.6. Особенности процессов переноса носителей заряда. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных приборах. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности. Ассиметричные структуры в магнитном поле. Эффект Ааронова-Бома.

Тема 3.7. Туннелирование через квантоворазмерные структуры. Туннелирование через двухбарьерную структуру с квантовой ямой. ВАХ многослойных структур.

Тема 3.8. Одноэлектроника. Физические основы одноэлектроники. Практическая реализация одноэлектронных приборов.

Тема 3.9. Спинтроника. Эффект гигантского магнитосопротивления. Туннельное магнитосопротивление. Спинтронные приборы.

Раздел 4. Функциональная электроника

Тема 4.1. Магнетоэлектроника. Цилиндрические магнитные домены. Магнитные запоминающие устройства: на ферритах и на тонких пленках.

Тема 4.2. Акустоэлектроника: взаимодействие электронов с длинноволновыми акустическими колебаниями решетки, акустоэлектрический эффект, усиление ультразвуковых волн. Акустоэлектрические явления на поверхностных волнах и их практические применения – малогабаритные линии задержки, усилители и генераторы электрических колебаний.

Тема 4.3. Молекулярная электроника. Основные принципы молекулярной электроники. Электронные возбуждения, используемые для передачи и хранения информации в молекулярных системах. Приборы молекулярной электроники.

Тема 4.4. Криоэлектроника. Электронные свойства твердых тел (металлы, диэлектрики, полупроводники) при низких температурах. Явление сверхпроводимости. Эффект Мейснера. Особенности туннелирования в условиях сверхпроводимости. Высокотемпературная сверхпроводимость. Свойства и параметры высокотемпературных сверхпроводников. Макроскопические квантовые эффекты сверхпроводимости. Квантование магнитного потока. Эффект Джозефсона. Типы джозефсоновских переходов. Аналоговые устройства на эффектах Джозефсона.

Раздел 5. Сенсорная электроника

Тема 5.1. Активные и пассивные сенсоры. Классификация сенсоров по принципу действия (физические, химические, биологические). Основные виды датчиков: температурные, оптические, давления, влажности, газовые. Материалы для сенсорики, сенсорика и нанотехнологии.

Тема 5.2. Физические сенсоры. Физические основы работы температурных датчиков. Основы работы датчиков давления. Основы работы датчиков влажности и газовых анализаторов. Твердотельные газовые датчики. Физические основы работы магнитных датчиков. Интегральные магнитные датчики. Фоточувствительные системы на основе структур «органика на неорганике».

Тема 5.3. Химические сенсоры. Определение химического сенсора. Классификация химических сенсоров: электрохимические, оптические, массчувствительные, теплочувствительные, биосенсоры.

Тема 5.4. Биосенсоры. Физические и химические явления, используемые для создания биосенсоров.

Тема 5.5. Микросенсорика. Микро-электро-механические (МЭМС) и микро-опто-электро-механические системы (МОЭМС). Нано-электро-механические системы (НЭМС).

Тема 5.6. Методы и средства для регистрации заряженных частиц. Газовые ионизационные детекторы частиц, трековые детекторы на основе органических и неорганических материалов, кремниевые поверхностно-барьерные детекторы.

Раздел 6. Силовая электроника

Тема 6.1. Физические процессы, характерные для силовых полупроводниковых приборов. Перенос носителей заряда в сильных электрических полях. Лавинный пробой планарного р-n перехода. Особенности ВАХ силовых диодов. Переходные процессы в силовых диодах.

Тема 6.2. Мощные биполярные транзисторы. Особенности ВАХ мощных транзисторов. Их частотная характеристика. Переходные процессы. Высокочастотные транзисторы. Тепловые свойства транзисторов. Нестабильность характеристик.

Тема 6.3. Мощные полевые транзисторы с затвором в виде р-п перехода. Мощные МОП-транзисторы.

Тема 6.4. Тиристор и его ВАХ.

Тема 6.5. Силовые оптоэлектронные приборы. Силовая солнечная энергетика.

Раздел 7. Физические основы вакуумной и плазменной электроники

Тема 7.1. Процессы взаимодействия мощных электронных потоков с электромагнитными полями.

Тема 7.2. Релятивистская сильноточная электроника СВЧ. Катоды со взрывной эмиссией.

Тема 7.3. Черенковские, ондуляторные, магнитотормозные релятивистские генераторы и усилители.

Тема 7.4. Формирование и фокусировка сильноточных электронных потоков в вакуумной плазме.

Литература

1. Жеребцов И.П. Основы электроники. Л.: энергоатомиздат, 1985.
2. Миллер Р. Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц. М.: Мир, 1984.
3. Епифанов Е.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника. М.: Высш. Шк., 1986.
4. Сушков А.Д. Вакуумная электроника. Физико-технические основы. С-Пб: Изд. Лань, 2004.
5. Куделев М.В. Плазменная релятивистская СВЧ электроника. М.: МГТУ им. Баумана, 2002.
6. В.Е. Борисенко, А.Л. Данилюк, А.И.Воробьева, Е.А.Уткина, Нанoeлектроника: Теория и практика (Бином, М., 2013).
7. Основы электроники и цифровой схемотехники: учебное пособие / Н. В. Суханова. - Воронеж : ВГУИТ, 2017. - 95 с.
8. Основы силовой электроники: от азов к вершинам мастерства / Шустов М. А. - Москва : Наука и техника, 2017. - 335 с.
9. Твердотельная электроника: учебное пособие для высших учебных заведений по направлению подготовки бакалавров, магистров 010700 "Физика" и специальности 010701 "Физика" / В. Гуртов. - 3-е изд., дополненное. - Москва : Техносфера, 2008. - 510 с.
10. Олфрей, Г.Ф. Физическая электроника / Г. Ф. Олфрей ; пер. с англ. В. И. Гайдука. - М. : Мир, 1966. - 316 с.

11. Физическая электроника : сборник статей / ред. М. А. Еремеев. - Л. : ЛПИ, 1975. - 133 с. : ил. - (Труды ЛПИ. № 345)
12. Физическая электроника : сборник статей / отв. ред. Б. М. Степанов. - М. : Наука, 1976. - 236 с.
13. Шимони, К. Физическая электроника / К. Шимони ; пер. с нем. Ю. Н. Сурского и Н. М. Фонштейн ; под ред. В. И. Раховского . - М. : Энергия, 1977. - 607 с. : ил.
14. Физическая электроника : республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 24. - Львов : Вища школа, 1982. - 164 с.
15. Физическая электроника : республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 26. - Львов : Вища школа, 1983. - 136 с.
16. Физическая электроника : республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 27. - Львов : Вища школа, 1983. - 142 с.
17. Физическая электроника : республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 28. - Львов : Вища школа, 1984. - 120 с.
18. Физическая электроника : республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 29. - Львов : Вища школа, 1984. - 136 с.
19. Физическая электроника : республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 30. - Львов : Вища школа, 1985. - 136 с.
20. Физическая электроника : республиканский межведомственный научно-технический сборник . Вып. 32 / отв. ред. И. Д. Набитович . - Львов : Вища школа, 1986. - 130 с. : ил.
21. Физическая электроника : республиканский межведомственный научно-технический сборник . Вып. 36 / отв. ред. И. Д. Набитович . - Львов : Вища школа, 1988. - 141 с. : ил.
22. Физическая электроника : республиканский межведомственный научно-технический сборник . Вып. 37 / отв. ред. И. Д. Набитович . - Львов : Вища школа, 1988. - 126 с. : ил.
23. Физическая электроника : республиканский межведомственный научно-технический сборник . Вып. 38 / отв. ред. И. Д. Набитович . - Львов : Вища школа, 1989. - 134 с. : ил.