##### Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_М.В.Давыдов

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2023 г.

ПРОГРАММА

собеседования с иностранными гражданами, поступающими

в магистратуру на специальности

7-06-0713-01 «Микро- и наноэлектроника» и

7-06-0717-01«Нанотехнологии и наноматериалы»

Минск, 2023

Программа составлена на основании учебных программ дисциплин «Материалы и компоненты электронной техники», «Физика конденсированного состояния», «Полупроводниковые приборы и элементы интегральных микросхем», «Наноэлектроника».

**СоставителИ**:

Борисенко В.Е. доктор физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры МНЭ; Мигас Д.Б., д-р физ.-мат.наук, доцент, заведующий кафедрой МНЭ,

Шульгов В.В., старший преподаватель каф. МНЭ; Уткина Е. А. канд. хим. наук, доцент каф. МНЭ;

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ

Кафедрой микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (протокол № 8 от 24 января 2022 г.)

Заведующий кафедрой МНЭ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Д.Б.Мигас

Содержание программы

По дисциплине «Материалы и компоненты электронной техники»

Тема 1. Основные свойства диэлектриков

Электропроводность диэлектриков. Поляризация. Диэлектрические потери. Электрическая прочность диэлектриков. Особенности свойств тонкопленочных диэлектриков.

Тема 2. Неорганические диэлектрические материалы

Классификация неорганических диэлектрических материалов. Керамика. Установочная керамика. Высокочастотная конденсаторная керамика. Низкочастотная конденсаторная керамика. Высокотемпературная сверхпроводящая керамика. Стекла. Ситаллы.

Тема 3. Органические диэлектрические материалы

Полиэтилен, полистирол, фторопласт, полиимиды, полиэфирные смолы, эпоксидные смолы, эластомеры.

Композиционные порошковые пластмассы. Волокнообразные диэлектрики, лаки, клеи, битумы, компаунды. Состав, свойства, использование в изделиях электронной техники.

Тема 4. Активные диэлектрики

Сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, электреты. Спонтанная поляризация, причины возникновения. Состав, получение, основные свойства, использование в диэлектрических приборах.

Тема 5. Основные  свойства полупроводниковых материалов

Особенности электропроводности полупроводниковых материалов.

Зависимость электропроводности полупроводников от внешних воздействий. Требования, предъявляемые к современным полупроводниковым материалам, которые используются в электронной технике.

Тема 6. Элементарные полупроводники

Германий, кремний, их основные свойства. Методы получения, очистка, применение.

Тема 7. Полупроводниковые соединения

Основные представители и свойства соединений АШВV, АПВVI, АIVBIV, Применение этих материалов в электронной технике.

Тема 8. Основные свойства проводниковых материалов

Природа электропроводности металлов и ее связь с надежностью изделий электронной техники. Удельное сопротивление металлов и сплавов. Термоэлектрические свойства проводников. Температурный коэффициент линейного расширения. Особенности свойств металлов в тонких слоях.

Тема 9. Материалы с высокой проводимостью

Медь, алюминий, серебро, золото. Сплавы на основе меди и алюминия. Материалы низкотемпературной сверхпроводимости: сверхпроводники первого и второго рода.

Тема 10. Материалы с высоким удельным сопротивлением

Материалы высокого удельного сопротивления. Материалы для резисторов; сплавы для термопар, для нагревательных приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пасынков В.В. Материалы электронной техники : учебник / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин. - 3-е изд. - СПб. : Лань, 2001. - 368 с. - ISBN 5-8114-0409-3 : 4250.
2. Воробьева А.И. Материалы электронной техники [+ электр. вариант] : учебное пособие [доп. МО РБ] / А. И. Воробьёва, Е. А. Уткина. - Мн. : БГУИР, 2007. - 226 с. - ISBN 978-985-488-106-5 : 17821-00.
3. Антипов Б. Л. Материалы электронной техники : задачи и вопросы : учебник для студентов вузов / Б. Л. Антипов, В. С. Сорокин, В. А. Терехов. - 3-е изд., стер. - СПб. : Лань ; М. ; Краснодар, 2003. - 208 с. : ил. - ISBN 5-8114-0410-7 : 5040-00.
4. Золотухин И.В., Калинин Ю.Е., Стогней О.В. Новые направления физического материаловедения: Учебное пособие - Воронеж: Воронежский университет, 2000.

По дисциплине «Физика конденсированного состояния»

Тема 1. Природа химической связи в твердых телах

Симметрия и структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Электрофизические характеристики основных полупроводниковых материалов микроэлектроники: Si, GaAs, Ge.

Тема 2. Зонная теория твердого тела

Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Эффективная масса электрона. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси в полупроводниках.

Тема 3. Рекомбинация и генерация неосновных носителей заряда

Рекомбинация «зона-зона» и рекомбинация через примеси и дефекты (рекомбинация Холла-Шокли-Рида). Диффузионная длина пробега и время жизни носителей заряда. Поверхностная рекомбинация. Типы генерации подвижных носителей заряда.

Тема 4. Электропроводность полупроводников

Носители заряда в электрическом поле. Взаимодействие свободных носителей заряда с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Диффузия и дрейф свободных носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Уравнение непрерывности. Эффект Холла.

Тема 5. Оптические свойства полупроводников

Поглощение света в полупроводниках. Испускание света полупроводниками.

Тема 6. Термоэлектрические явления в полупроводниках

Термомагнитные эффекты. Гальваномагнитные эффекты.

Литература

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1986.
2. Аваев Н.А. Основы микроэлектроники. – М.: Сов. Радио, 1991.
3. Поклонский Н.А., Вырко С.А., Поденок С.Л. Статистическая физика полупроводников. Курс лекций. М., КомКнига, 2005, - 258 с.
4. Современная физика: конденсированное состояние. В.К.Воронов, А.В.Подоплелов, Москва, URSS, 2008, - 336 с.
5. Павлов В.П., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. – М.: Высшая школа, 1985. – 384 с.; Нижний Новгород, НТУ им.Н.И. Лобачевского, 1993.-490с.

По дисциплине «Полупроводниковые приборы и элементы интегральных микросхем»

Тема 1. Полупроводниковые диоды

Основные параметры и характеристики диодов, их зависимость от температуры и режима измерения. Эквивалентные схемы диодов. Импульсные и частотные свойства диодов. Физико-топологические модели диодов. Туннельные и обращенные диоды. Лавинно-пролетные диоды. Диоды Шоттки.

Тема 2. Биполярные транзисторы

Структура и принцип действия биполярных транзисторов. Распределение потока носителей заряда в активном нормальном режиме работы биполярного транзистора. Эффект Эрли и его следствия. Основные параметры и характеристики биполярных транзисторов, их зависимость от температуры и режима измерения. Эквивалентные схемы и математические модели биполярного транзистора: Эберса Мола, Линвилла, зарядовая. Импульсные и частотные свойства биполярных транзисторов. Работа биполярного транзистора при высоком уровне инжекции. Виды пробоя биполярного транзистора. Мощные биполярные транзисторы. СВЧ биполярные транзисторы.

Тема 3. Тиристоры

Двух- и трехэлектродные тиристоры, принцип их действия и классификация. Основные параметры и характеристики тиристоров.

Тема 4. Канальные транзисторы: полевые транзисторы с управляющим *p‑n‑*переходом и затвором Шоттки

Принцип действия канальных транзисторов. Модуляция глубины канала. Основные электрические параметры и характеристики канальных транзисторов. Эквивалентные схемы канальных транзисторов. Частотные и импульсные свойства канальных транзисторов.

Тема 5. МОП-транзисторы

Идеальная и реальная МОП-структуры. Величина порогового напряжения и пути ее регулирования. Параметры МОП-транзисторов. Физическая эквивалентная схема и частотные свойства МОП-транзисторов. Эффекты, связанные с малыми размерами МОП‑транзистора. Мощные СВЧ МОП‑транзисторы. Транзисторы со встроенным каналом. МНОП-структуры. Физико-топологические модели МОП-транзисторов.

Тема 6. Интегральные микросхемы

Классификация интегральных микросхем по конструктивно-технологическому и функциональному признакам. Цифровые и аналоговые микросхемы. Полупроводниковые запоминающие устройства и микропроцессоры.

Тема 7. Датчики

Термоэлектрические преобразователи внешнего воздействия. Гальваномагнитные преобразователи внешнего воздействия. Микро- и наноэлектромеханические датчики.

Литература

1. Алексеенко А.Т. Основы микросхемотехники.-М.: Лаборатория знаний, 2004
2. Колосницын Б.С. Элементы интегральных схем. Физические основы. – Мн.: БГУИР, 2001. – 138 с.
3. Колосницын Б.С. Мощные и СВЧ полупроводниковые приборы – Мн: БГУИР, 2008. -150 с.
4. Абрамов И.И. Лекции по моделированию интегральных схем. Москва – Ижевск: НИЦ РХД, 2005. – 152 с.
5. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004.

По дисциплине «Наноэлектроника»

Тема 1. Физические основы наноэлектроники

Квантовое ограничение и основные типы низкоразмерных структур – квантовые точки, шнуры, пленки. Туннелирование носителей заряда. Баллистический транспорт носителей заряда. Спиновые эффекты.

Элементы низкоразмерных структур – свободная поверхность и границы раздела. Сверхрешетки. Периодические квантовые колодцы. Дельта-легированные структуры. Модуляционно-легированные структуры.

Тема 2. Технологические методы формирования наноразмерных структур

Химическое осаждение из газовой фазы с использованием металлоорганических соединений. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Электронно-лучевая литография. Атомная инженерия с использованием сканирующего туннельного и атомного силового микроскопов. Методы зондовой инженерии. Нанолитографические методы. Наноструктурированные материалы – пористый кремний, пористые оксиды металлов, углеродные наноструктуры.

Тема 3. Особенности переноса носителей заряда в наноразмерных структурах и электронные приборы на их основе

Баллистический и квазибаллистический транспорт носителей заряда. Электрическое сопротивление наноразмерного многополюсника. Квантовый эффект Холла: целочисленный и дробный. Интерференционные транзисторы. Баллистические выпрямители и транзисторы.

Одноэлектронное туннелирование в условиях кулоновской блокады, явления в однобарьерной и двухбарьерной структурах. Электронные приборы на одноэлектронном туннелировании**.** Резонансное туннелирование. Диоды и транзисторы на эффекте резонансного туннелирования.

Тема 4. Спинтроника

Физические основы спинтроники. Эффект гигантского магнитосопротивления. Спин-контролируемое туннелирование носителей заряда. Приборы спинтроники.

Литература

1. Борисенко В. Е., Воробьева А. И., Данилюк А. Л. Уткина Е.А. Наноэлектроника. Теория и практика – М., Бином, 2013, 366 с.
2. Borisenko V.E., Ossicini S. What is What in the Nanoworld.- Wiley-VCH, Weinheim, 2012.-601 с.
3. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. – М.: Мир, 1989. – 240 с.
4. Davies J.H. The Physics of Low-Dimensional Semiconductors: An Introduction. Cambridge University Press, Cambridge, 1998.