

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

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и социальным вопросам

А. А. Хмыль

« 26 » 05 2014 г.

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в магистратуру по специальности 1-41 80 01
«Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты,
микро- и наноэлектроника и приборы на квантовых эффектах»

Минск, 2014

Программа составлена на основании типовых учебных программ дисциплин «Полупроводниковые приборы и элементы интегральных микросхем»; «Физика твердого тела»; «Наноэлектроника», «Информационные технологии в проектировании интегральных микросхем».

СОСТАВИТЕЛИ:

Борисенко В.Е. д.ф.-м.н, профессор, зав. кафедрой МНЭ; Колосницын Б.С., к.т.н., профессор, профессор каф. МНЭ; Петрович В.А. к.т.н., доцент, доцент каф. МНЭ; Котов Д.А. к.т.н., доцент каф. МНЭ; Мигас Д.Б., д.ф.-м.н., профессор каф.МНЭ.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ

Кафедрой микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (протокол № 11 от « 26 » мая 2014 г.)

Заведующий кафедрой МНЭ

В.Е.Борисенко

Раздел 1. Физика твердого тела

Тема 1. Природа химической связи в твердых телах

Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных 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. Роль донорных и акцепторных примесей.

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.

Тема 4. Электропроводность полупроводников

Носители заряда в электрическом поле. Взаимодействие носителей заряда с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Уравнение непрерывности. Лавинное умножение носителей заряда в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна.

Тема 5. Оптические свойства полупроводников

Поглощение и испускание света в полупроводниках.

Тема 6. Термоэлектрические явления в полупроводниках

Термо- и гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла.

Тема 7. Гетеропереходы

Уравнение Пуассона. Контакт металл-полупроводник. Омический и выпрямляющий электронно-дырочный переходы.

Раздел 2. Приборы твердотельной электроники

Тема 1. Полупроводниковые диоды

Основные параметры и характеристики диодов, их зависимость от температуры и режима. Эквивалентные схемы. 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. Распределение потока носителей в активном нормальном режиме работы. Эффект Эрли и его следствия. Основные

параметры и характеристики транзисторов, их зависимость от температуры и режима. Эквивалентные схемы и математические модели транзистора: Эберса Мола, Линвилла, зарядовая. Импульсные и частотные свойства транзисторов. Работа транзистора при высоком уровне инжекции. Виды пробоя транзистора. Мощные транзисторы. СВЧ транзисторы.

Тема 3. Тиристоры

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

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

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

Тема 5. МОП-транзисторы

Идеальная и реальная МОП-структуры. Величина порогового напряжения и пути ее регулирования. Параметры. Физическая эквивалентная схема и частотные свойства. Эффекты, связанные с малыми размерами транзистора. Мощные СВЧ МОП-транзисторы. МДП 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. Биполярные ТТЛ, ЭСЛ и И²Л-схемы, КНИ с p - и n -каналами, КМОП-схемы.

Тема 7. Приборы с зарядовой связью

Принцип действия, основные параметры и области применения.

Тема 8. Датчики

Термоэлектрические и гальваномагнитные полупроводниковые приборы. Твердотельные датчики, включая микроэлектронные преобразователи информации.

Раздел 3. Нанoeлектроника и приборы на квантовых эффектах

Тема 1. Физические основы нанoeлектроники

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. Моделирование атомных конфигураций в наноструктурах.

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, углеродные нанотрубки.

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

Баллистический и квазibalлистический транспорт. 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.

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

Раздел 4. Технология изготовления интегральных микросхем

Тема 1. Планарная технология

Формирование эпитаксиальных слоев. Термическое окисление кремния. Диффузионное легирование полупроводников. Ионное легирование материалов. Формирование разделительных областей элементов интегральных микросхем.

Тема 2. Формирование пленок металлов, полупроводников и диэлектриков

Нанесение пленок термическим испарением в вакууме, ионным и ионно-плазменным распылением, химическим осаждением из газовой фазы. Химическое и электрохимическое осаждение материалов. Анодное окисление металлов и полупроводников.

Тема 3. Формирование топологии элементов интегральных микросхем

Фотолитография. Электронно-лучевая литография и рентгенография. Жидкостное травление металлов, полупроводников, диэлектриков. Плазмохимические и ионно-плазменные методы обработки полупроводниковых, диэлектрических и металлических слоев.

Тема 4. Проектирование конструкции и технологии изготовления интегральных микросхем

Физико-математическое моделирование и проектирование приборов и систем микроэлектроники. Уровни компьютерного проектирования приборов и систем микроэлектроники. Методы и средства компьютерного проектирования приборов и систем микро- и наноэлектроники. Моделирование аналоговых, цифровых и аналого–цифровых схем в среде пакетов PCAD, PSPICE, Design Center, Cadence. Сквозное проектирование технологии/прибора/схемы в среде программного комплекса компании Silvaco. Статистический анализ и оптимизация технологических параметров изготовления изделий микроэлектроники. Локальные и глобальные флуктуации технологических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

К разделу 1

Основная

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1986.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела: в 2 т. – М.: Мир, 1979.
3. Панков Н. Оптические процессы в полупроводниках. – М.: Мир, 1983.
4. Аваев Н.А. Основы микроэлектроники. – М.: Сов. Радио, 1991.
5. Поклонский Н.А., Вырко С.А., Поденок С.Л. Статистическая физика полупроводников. Курс лекций. М., КомКнига, 2005, -258 с.

Дополнительная

Павлов В.П., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. – М.: Высшая школа, 1985. – 384 с.; Нижний Новгород, НТУ им.Н.И. Лобачевского, 1993.-490с.

1. Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников. М.: Радио, 1977.
2. Грибковский В.П. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках. – Мн.: Наука и техника, 1975.
3. Волчѣк С.А., Петрович В.А. Оптические свойства твердых тел. Лабораторный практикум по курсу «Физика твердого тела», Минск.: БГУИР, 2006.

К разделу 2

Основная

1. Алексеенко А.Т. Основы микросхемотехники.-М.: Лаборатория базовых 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. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия: пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 632 с.

Дополнительная

1. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. –М.: Лаборатория базовых знаний, 2004.
2. Россато Л. Физическая электроника и микроэлектроника. – М.: Высшая школа, 1991.
3. Абрамов И.И. Моделирование физических процессов в элементах кремниевых интегральных микросхем. – Мн.: БГУ, 1999. – 189 с.
4. Колосницын Б.С. Электронные приборы на основе полупроводниковых соединений. – Мн.: БГУИР, 2006 г. – 102 с.

К разделу 3

Основная

1. Борисенко В. Е., Воробьева А. И., Данилюк А. Л. Уткина Е.А. Нанoeлектроника. Теория и практика – М., Бинoм, 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.

Дополнительная

1. Хакен Х. Квантовополевая теория твердого тела. – М.: Наука, 1980.-240 с.
2. Абрамов И.И., Новик Е.Г. Численное моделирование металлических одноэлектронных транзисторов. – Мн.: Бестпринт, 2000. – 164 с.
3. Ferry D.K., Goodnick S.M. Transport in Nanostructures.-Cambridge University Press. – Cambridge, 1997.
4. Валиев К.А., Кокина А.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальности. – Ижевск: НИЦ РХД, 2001. – 352 с.

К разделу 4

Основная

1. Моро У. Микролитография. В 2 т. – М.: Мир, 1990.
2. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля/Д. Брандон, У. Каплан – Москва: Техносфера, 2006.-378 с.
3. Рындин Е.А. Субмикронные интегральные схемы: элементная база и проектирование./Е.А. Рындин, Б.Г.Коноплев. - Таганрог, 2001.-146 с.
4. Нанотехнологии/ С. Пул, Ф.Оуэнс – Москва: Техносфера, 2005-286с.
5. Campbell, S. The science and engineering of microelectronic fabrication./ S. Campbell-New York: Oxford university press, 2001.- 603 p.
6. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования и проектирования печатных плат DESIGN CENTER. – М.: Радио и связь, 1996, 268 с.
7. Нелаев В.В., Стемпицкий В.Р. Основы САПР в микроэлектронике. Моделирование технологии и прибора. – Мн.: БГУИР, 2008, 220 с.
8. Нелаев В.В., Стемпицкий В.Р. Проектирование технологии интегральных схем. Программа SSUPREM IV. Учебное пособие. – Мн.: БГУИР, 2004, 102 с.

9. Нелаев В.В., Стемпицкий В.Р. Статистический анализ и оптимизация технологических параметров изготовления интегральных микросхем. Учебно-методическое пособие. – Мн.: БГУИР, 2002, 39 с.

Дополнительная

1. Химическая обработка и технологии интегральных микросхем / В.П. Василевич, А.М. Кисель, А.Б. Медведева, В.И. Плебанович, Ю.А. Родионов. – Полоцк: ПГУ, 2001. – 260 с.
2. Rabaey, J. Digital Integrated Circuits: A Design Perspective, second edition/ J.Rabaey, A.Chandrakasan, B.Nikolic. – New York: Prentice Hall, 2003. – 747 p.
3. Goddard, W.Handbook of nanoscience, engineering, and technology/W.A. Goddard,D.W.Brenner, S.E.Lyshevski, G.J.Iafrate. – New York: CRC Press, 2003. – 709 p.
4. Bhushan, B.Handbook of nanotechnology. B. Bhushan. – Berlin: Springer-Verlag, 2004. – 1222 p.
5. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия для материаловедения/Д.Синдо, Т.Оикава – Москва: Техносфера, 2005. – 260 с.