

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и менеджменту качества

_____ Е.Н.Живицкая

" ____ " _____

Регистрационный № УД - _____/р

«Основы твердотельной электроники»

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине
для специальности

1-41 01 04 Нанотехнологии и наноматериалы в электронике

Кафедра микро- и наноэлектроники

Всего часов по дисциплине	360
------------------------------	-----

Зачетных единиц	9,5
-----------------	-----

2015 г.

Учебная программа учреждения высшего образования составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-41 01 04-2013 и учебного плана специальности 1-41 01 04 «Нанотехнологии и наноматериалы в электронике»

Составители:

Б.С.Колосницын, профессор кафедры микро- и наноэлектроники Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук, профессор;

Д.А.Котов, доцент кафедры микро- и наноэлектроники Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук, доцент

Рецензенты

(И.О.Фамилия, должность, ученая степень, ученое звание рецензента или кафедра)

Кафедра защиты информации БГУИР (протокол № 2 от 15.09.2015 г.)

Рассмотрена и рекомендована к утверждению:

Кафедрой микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (протокол № 9 от 16 марта 2015 г.)

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (протокол № ____ от _____)

СОГЛАСОВАНО

Эксперт-нормоконтролер

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

План учебной дисциплины в дневной форме обучения:

Код специальности	Название специальности	Курс	Семестр	Аудиторных часов				Академ. часов на курс. проект	Форма текущей аттестации
				Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия		
1-41 01 04	Нанотехнологии и наноматериалы в электронике	3	5,6	160	96	32	32		Экзамен Экзамен
			5	80	48	32			
			6	80	48		32		

Место учебной дисциплины.

Дисциплина «Основы твердотельной электроники» предназначена для формирования знаний и навыков физико-технологического проектирования полупроводниковых приборов и элементов интегральных микросхем (ИМС) и получения профессиональных знаний студентами специальности 1-41 01 04 «Нанотехнологии и наноматериалы в электронике».

Актуальность изучения учебной дисциплины заключается в освоении физики работы и конструкции полупроводниковых приборов силовой и высокочастотной электроники и элементов интегральных микросхем в системе подготовки обучающихся по специальности 1-41 01 04 «Нанотехнологии и наноматериалы в электронике».

Цель преподавания учебной дисциплины: изучение физических процессов, происходящих в активных элементах твердотельной электроники, а также технологических процессов формирования этих элементов.

Задачи изучения учебной дисциплины:

- освоение физических закономерностей, лежащих в основе технологических приемов создания технологических слоев, технологических и производственных процессов создания изделий твердотельной электроники;
- освоение современных методик анализа технологических процессов;
- изучение физических процессов, происходящих в активных элементах интегральных микросхем, мощных и сверхвысокочастотных (СВЧ) полупроводниковых приборах;
- ознакомление с методиками расчета и схемами измерения параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

В результате изучения учебной дисциплины «Основы твердотельной электроники» формируются следующие компетенции:

академические:

- уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- владеть системным и сравнительным анализом.
- владеть исследовательскими навыками.
- уметь работать самостоятельно.
- владение навыками, связанными с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.
- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности.
- владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации с использованием компьютерной техники.
- владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.
- на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности.

социально-личностные:

- обладать качествами гражданственности.
- иметь способность к социальному взаимодействию.
- обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- владеть навыками здоровьесбережения.
- уметь работать в команде.

профессиональные:

- обеспечивать обучение персонала правилам техники безопасности и осуществлять своевременную проверку знаний.
- вести переговоры с другими заинтересованными участниками.
- владеть современными средствами инфокоммуникаций.
- разрабатывать бизнес-планы создания и освоения новых нанотехнологий и наноматериалов в производстве изделий радиоэлектроники, телекоммуникаций, вычислительной техники, автоматизированных систем управления.
- оценивать конкурентоспособность и экономическую эффективность разрабатываемых нанотехнологий.
- проводить опытно-технологическую работу при освоении новых нанотехнологий, опытно-промышленной проверки и испытаний разрабатываемых наноматериалов и изделий на их основе.
- составлять договора на выполнение научно-исследовательских работ, а также договора о совместной деятельности по освоению новых технологий и

изделий.

- подготавливать проекты лицензионных договоров о передаче прав на использование объектов интеллектуальной собственности.
- выявлять патентную чистоту технических решений и подготавливать предложения по их патентной защите.
- организовывать работу по подготовке научно-технических статей, сообщений, рефератов и заявок на изобретения и лично участие в ней.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- физические процессы, протекающие в полупроводниковых структурах и электронно-дырочных переходах;
- предельные электрические характеристики и области применения полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов;
- физико-топологические и электрические модели элементов интегральных микросхем;
- методы и схемы измерений электрических параметров полупроводниковых приборов.

уметь:

- характеризовать факторы, определяющие параметры полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов;
- характеризовать показатели надежности элементов интегральных микросхем;
- характеризовать области использования изучаемых приборов и элементов.

владеть:

- методиками измерения электрических характеристик полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов;
- навыками использования физико-топологических и электрических моделей полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов для проектирования интегральных микросхем на их основе.

Перечень учебных дисциплин, усвоение которых необходимо
для изучения данной учебной дисциплины.

№ п.п.	Название дисциплины	Раздел, темы
1	Физика	Раздел 2. Молекулярная физика и термодинамика Раздел 3. Электричество и магнетизм Раздел 5. Квантовая физика Раздел 6. Строение и физические свойства вещества
2	Материалы электронной техники и технология их получения	Раздел 1. Особенности строения вещества Раздел 2. Основные материалы электронной техники Раздел 3. Материалы специального назначения Раздел 3. Материалы специального назначения Раздел 5. Формирование пленок
3	Квантовая механика и статистическая физика	Раздел 2. Основные положения квантовой механики Раздел 3. Элементы теории представлений Раздел 4. Применения квантовой механики Раздел 5. Квантовая механика для системы микрочастиц и ее приложения
4	Теория электрических цепей	Основные понятия и законы теории электрических цепей, методы расчета электрических цепей на постоянном токе Основные свойства и эквивалентные параметры электрических цепей при синусоидальных токах Методы расчета электрических цепей при установившемся синусоидальном токе Резонансные явления и частотные характеристики Расчет электрических цепей при периодических несинусоидальных напряжениях и токах
5	Физика конденсированного состояния	Тема 1. Структура конденсированных сред Тема 2. Дефекты в конденсированных средах Тема 3. Динамические свойства конденсированных сред Тема 4. Энергетическая зонная структура конденсированных сред

1. Содержание учебной дисциплины Содержание учебной дисциплины

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
	Введение	Основные технологические принципы, идеология производственных процессов, структура предприятия-изготовителя изделий твердотельной электроники, требования к производственному процессу и инфраструктуре.
Часть 1. Базовые технологические процессы изготовления активных элементов твердотельной электроники		
Раздел 1. Химическая подготовка поверхности технологического слоя		
Тема 1.	Классификация загрязнений поверхности	Классификация загрязнений поверхности. Механические, молекулярные, ионные, металлические.
Тема 2.	Финишная подготовка поверхности	Химическая подготовка пластин, травление в щелочах и кислотах.
Раздел 2. Процессы создания технологического слоя в материале подложки		
Тема 3	Высокотемпературное окисление кремния	Принципы построения, оборудование и особенности процесса высокотемпературного окисления кремния.
Тема 4	Высокотемпературная диффузия	Принципы построения технологии, оборудование и особенности процесса высокотемпературной диффузии.
Тема 5	Ионное легирование	Принципы построения технологии, оборудование и особенности процесса ионной имплантации.
Раздел 3. Процессы создания технологического слоя из внешних источников материала		
Тема 6	Химическое осаждение из парогазовой фазы (CVD-процессы)	Принципы построения, оборудование и особенности процесса осаждение из парогазовой фазы.
Тема 7	Эпитаксиальное осаждение	Принципы построения, оборудование и особенности процесса эпитаксии.
Тема 8	Физическое осаждение из парогазовой фазы	Принципы построения, оборудование и особенности процесса физического осаждения.
Раздел 4. Микролитография		
Тема 9.	Фотолитография	Принципы построения, оборудование и особенности процесса фотолитографии.
Тема 10	Химико-механическая планаризация	Принципы построения, оборудование и особенности процесса химико-механической планаризации.
Тема 11	Неоптические методы литография	Принципы построения, оборудование и особенности процессов неоптической литографии.
Раздел 5	Размерное травление технологического слоя	Принципы построения, оборудование и особенности процесса размерного травления.
Тема 12	Химическое травление диэлектрических, полупроводниковых и металлических материалов	Принципы построения, оборудование и особенности процесса жидкостного травление.
Тема 13	Плазмохимическое и	Принципы построения, оборудование и особенности про-

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
	ионно-лучевое травление технологического слоя	цессов сухого травления.
Тема 14	Глубокое плазмохимическое травление	Принципы построения, оборудование и особенности процесса глубокого плазмохимического травления.
Раздел 5. Электронно-дырочный переход		
Тема 15	Образование электронно-дырочного (p-n) перехода	Образование области пространственного заряда (ОПЗ) p-n-перехода. Высота потенциального барьера. Расчет контактной разности потенциалов. Зависимость контактной разности потенциалов от ширины запрещенной зоны полупроводникового материала, концентрации примесей в p-n- и n-областях и температуры.
Тема 16	Электронно дырочный переход в состоянии теплового равновесия	Зависимости характеристик перехода от координаты. Ширина ОПЗ в состоянии теплового равновесия Резкий несимметричный переход.
Тема 17	Барьерная емкость p-n-перехода	Расчет барьерной емкости p-n-переходов.
Тема 18	Электронно дырочный переход при нарушении равновесия	Электронно дырочный переход при подаче обратного смещения. Ширина ОПЗ и величина барьерной емкости p-n-перехода при $U \neq 0$.
Тема 19	Граничная концентрация неосновных носителей в базе	Вычисление выражения для граничной концентрации неосновных носителей в базе и закон ее распределения.
Тема 20	Распределение концентрации неосновных носителей в базе	Общий случай. Случай тонкой базы. Случай длинной базы.
Тема 21	Аналитические выражения для ВАХ p-n-переходов	Общее выражение. Р-n переход с тонкой базой. Влияние величины обратного напряжения на распределение концентрации неосновных носителей в тонкой базе.
Тема 22	Генерация и рекомбинация носителей в ОПЗ p-n-переходов	Ток генерации. Ток рекомбинации. Ток утечки. Взаимосвязь объема ОПЗ и скорости генерации.
Тема 23	Диффузионная емкость	Распределение концентрации неосновных носителей в тонкой n-базе при прямом смещении p ⁺ -n-перехода. Среднее время диффузии.
Тема 24	Пробой p-n-перехода (диода)	Лавинный пробой. Туннельный пробой.
Тема 25	Переходные процессы в p-n-переходе	Степень влияния эффектов на вид переходных характеристик. Стационарное значение заряда дырок в базе.
Раздел 6. Невыпрямляющий (омический) контакт		

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
Тема 26	Омический контакт	Связь металла и полупроводника. Эффективную плотность состояний у дна зоны проводимости. Сопротивление планарного контакта
Раздел 7. Биполярные транзисторы		
Тема 27	Общие сведения	Дрейфовые и бездрейфовые. Четыре режима работы. Схемы включения транзисторов. Структура биполярного интегрального транзистора n-p-n типа.
Тема 28	Принцип работы и коэффициент передачи тока одномерной идеализированной модели биполярного транзистора (БПТ)	Схема с ОБ. Величина тока рекомбинации. Число Гуммеля для базы. Одномерное представление активной области планарно-эпитаксиального транзистора
Тема 29	Модель Эберса-Молла	Эквивалентная схема, соответствующая модели Эберса-Молла n-p-n-транзистора. Взаимодействием работы двух p-n-переходов. Нормальное и инверсное включение
Тема 30	Распределение потоков носителей в реальной одномерной модели БТ в активном нормальном режиме	Токи, протекающие в p-n-p-транзисторе в активном нормальном режиме. Составляющие тока базы и тока коллектора. Ток эмиттера.
Тема 31	Отклонения от модели Эберса-Молла в реальном транзисторе	Отклонения по току. Отклонение по напряжению.
Тема 32	Статические ВАХ биполярного транзистора	Схема с ОЭ. Физическая эквивалентная схема БТ с ОЭ на низкой частоте. Область насыщения в реальном транзисторе. Статические характеристики.
Тема 33	Импульсные свойства БТ	Переходные процессы при воздействии малого сигнала. Импульсные свойства БТ при малом сигнале. Импульсный режим работы БТ при большом сигнале.
Тема 34	Физические эквивалентные схемы для малого сигнала	Транзисторы в схемах аналоговой техники. Малосигнальная физическая эквивалентная схема транзистора для включения с ОБ. Моделирование транзисторного эффекта.
Тема 35	Характеристические частоты транзистора	Время задержки в каждой из пяти областей транзистора. Характеристические частоты биполярного транзистора. Максимальная частота. Время задержки на определённой области.

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
Тема 36	Пробой транзистора	Смыкание коллекторного и эмиттерного р-п переходов. Лавинный пробой коллекторного р-п перехода. Вторичный пробой.
Раздел 7. Полевые транзисторы		
Тема 37	Общие сведения	Разновидности полевых транзисторов в зависимости от типа канала, конструкторских и технологических особенностей.
Тема 38	МОПтранзисторы	Идеальная МДП-структура. Эффект поля в идеальной МДП-структуре. Реальная МДП-структура. Величина порогового напряжения и пути ее регулирования. Статические ВАХ МОПТ работающего в режиме обогащения. Параметры МОПТ. Физическая эквивалентная схема и частотные свойства МОПТ.
Тема 39	МОПТ с коротким и узким каналами	Подпороговые токи. Уменьшение порогового напряжения. Эффект паразитного биполярного транзистора. Сквозное обеднение канала. Заряд окисла. Оптимизация структуры истоков и стоков. Особенности масштабирования МОПТ.
Раздел 9. Комплементарные МОП схемы		
Тема 40	Общие сведения	Схема КМОП инвертора. Передаточная характеристика по напряжению для КМОП инвертора. Топология КМОП инвертора с карманом p -типа. Мощность отдельной инверторной схемы.
Тема 41	Особенности проектирования КМОП схем с технологической нормой более 0,25мкм	КМОП элементы с карманом n - и p - типа. Оптимальные характеристики КМОП схем.
Тема 42	Защелкивание КМОП структур	Суть явления защелкивания. Примеры сечений КМОП-инвертора с карманами p - и n - типа. Эквивалентная схема, моделирующая эффект защелкивания в КМОП-структуре. Пример комплементарной пары транзисторов использованной в 0,25-мкм технологическом процессе.
Тема 43	Потеря мощности в КМОП БИС	Статическая рассеиваемая мощность. Динамическая рассеиваемая мощность.
Раздел 10. Полевой транзистор с затвором Шоттки		
Тема 44	Пороговое напряжение	Простейшая структура ПТШ. Зависимость барьерного потенциала от материала затвора. Преимущества ПТШ.

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
Тема 45	Статистические ВАХ ПТШ	Статические ВАХ ПТШ: выходная, входная, проходная.
Тема 46	Характеристические частоты транзистора	Эквивалентная электрическая схема ПТШ и физические элементы схемы-структуры. Высокочастотные и низкочастотные характеристики ПТШ и их зависимость от разных факторов.
Тема 47	Современные структуры транзисторов	Буферный, активный <i>p</i> - и <i>n</i> -слои. Современная межэлементная изоляция. Омические контакты стока и истока.
Тема 48	Сравнительная характеристика полевого транзистора с управляющим <i>p</i> - <i>n</i> -переходом и ПТШ	Положительные и отрицательные стороны полевого транзистора с управляющим <i>p</i> - <i>n</i> -переходом. Положительные и отрицательные стороны ПТШ. Сравнения принципа действия.
Раздел 11. Эволюция силовых полупроводниковых приборов		
Тема 49		Сравнительные характеристики диодов на Si, GaAs, SiC, GaN. «За» и «против» МОП и биполярных транзисторов.
Раздел 12. Мощные биполярные структуры		
Тема 50	Структуры транзисторов	Транзистор с одноразовой диффузией.
Тема 51	Свойство полупроводников с высокой концентрацией носителей заряда	Изменение основных электрофизических параметров. Сужение запрещенной зоны.
Тема 52	Влияние высокого уровня легирования на коэффициент усиления по току	Плотность тока неосновных носителей эмиттере <i>n</i> - <i>p</i> - <i>n</i> транзистора. Увеличение коэффициента передачи тока. Число Гуммеля.
Тема 53	Тепловые свойства транзистора	Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность. Максимально допустимая температура переходов. Собственная температура. Появление вторичного пробоя.
Тема 54	Мощные биполярные СВЧ транзисторы	Общие сведения. Электрофизические характеристики различных областей транзисторной структуры. Типы транзисторных структур.
Тема 55	Гетеропереходные биполярные транзисторы	Общие сведения. Термоэлектронно-диффузионная модель.
Раздел 13. МОП-транзисторные структуры		
Тема 56	МОПТ как усилитель мощности	Свойства и характеристики МОПТ. Применение МОПТ.
Тема 57	Мощный МОПТ как ключевой элемент	Идеализированная вольт-амперная характеристика МОП транзистора. Энергетические параметры реальных МОПТ.
Тема 58	Влияние температуры	Изменение подвижности носителей заряда, порогового

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
	на параметры и характеристики МОПТ	напряжения, тока стока, сопротивления транзистора. Тепловой коэффициент. S характеристика.
Тема 59	Геометрия и сравнительный анализ мощных МОПТ	Мощные МОПТ горизонтального (двухмерные) и вертикального (трёхмерные) типа. Сравнительная характеристика МОПТ горизонтального и вертикального типа.
Раздел 14. Биполярный транзистор с изолированным затвором		
Тема 60	Целесообразность создания биполярного транзистора с изолированным затвором	Недостатки биполярных транзисторов. Преимущества и недостатки полевых транзисторов.
Тема 61	Структура биполярного транзистора с изолированным затвором	Сравнительная характеристика БТИЗ и МОПТ. Разрез структуры БТИЗ. Условные графические обозначения, эквивалентные схемы БТИЗ.
Тема 62	Принцип работы БТИЗ	Процесс включения БТИЗ. БТИЗ с вертикальным затвором. Электрические параметры реальных БТИЗ.
Тема 63	Основные параметры	Наиболее важные параметры IGBT (БТИЗ).
Тема 64	Статические вольт-амперные характеристики	Включенное состояние БТИЗ. Активный режим. Выходная характеристика БТИЗ. Область насыщения. Работа при обратном напряжении.
Тема 65	Частотные характеристики транзистора	Паразитные элементы структуры БТИЗ. Эквивалентная схема с паразитными элементами в БТИЗ. Список паразитных емкостей и сопротивлений в БТИЗ. Динамические характеристики БТИЗ.
Раздел 15. Тиристоры		
Тема 66	Диодный тиристор	Конструкция диодного тиристора. Переключение тиристора. Шунтирование эмиттерного перехода.
Тема 67	Триодные тиристоры	Переключение триодного тиристора. Конструкция тиристора. Распределение примесей по объёму прибора. Схемное обозначение триодного тиристора. Требования к материалам изготовления тиристора.
Тема 68	Симметричные тиристоры	Структура симметричного тиристора. Вольт-амперная характеристика симметричного тиристора. Особенности работы тиристора.
Тема 69	Включение тириستоров	Включение с помощью тока управления. Время включения, время задержки по управляющему электроду. Временные зависимости тока управляющего электрода.
Раздел 16. Диоды СВЧ диапазона		
Тема 70	Варактор (варикап)	Структура и принцип действия. Основные параметры. Физическая эквивалентная схема варикапа.
Тема 71	Диод Шоттки	Общие сведения. Энергетическая диаграмма контакта металл – проводник (диода Шоттки). Вольт-амперная характеристика диода Шоттки. Области применения диодов Шоттки. Структура транзистора Шоттки, схематическое изображение. Частотные ограничения диода Шоттки.

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
		Сравнительный анализ функционирования диода Шоттки и диода на р-п переходе. Типы диодов Шоттки.

2. Информационно-методический раздел

2.1 Литература

2.1.1 Основная

1. Степаненко, И. П. Основы микроэлектроники / И. П. Степаненко. – М. : Лаборатория базовых знаний, 2000.
2. Рындин Е. А., Коноплев Т.Г. Субмикронные интегральные схемы : элементная база и проектирование / Е. А. Рындин, Б. Г. Коноплев. – : Таганрог, изд-во ТРТУ, 2001 – 147 с.
3. Моро, У. Микролитография. В 2 ч. / У. Моро ; пер. с англ. – М. : Мир, 1990.
4. Плазменная технология в производстве СБИС / под ред. Н. Айспрука, Д. Брауна ; пер. с англ. – М. : Мир, 1987.
5. Борисенко, В. Е. Нанoeлектроника : учеб. пособие. Ч. 1 : Основы нанoeлектроники / В. Е. Борисенко. – Минск : БГУИР, 2001.
6. Черных, А. Г. Технологические маршруты изготовления ИС : лаб. практикум / А. Г. Черных, С. В. Ригольд. – Минск : БГУИР, 2006.
7. Черных, А. Г. Технология изготовления КМОП-транзисторов : метод. пособие / А. Г. Черных, Д. А. Котов. – Минск : БГУИР, 2008.
8. Черных, А. Г. Маршрутная технология интегральных и больших гибридных интегральных схем : электронный учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-41 01 02 всех форм обуч. Раздел 2 : Маршрутная технология интегральных схем» / А. Г. Черных [Электронный ресурс]. – Минск : БГУИР, 2006. – Режим доступа : www.bsuir.by.
9. Малер, Р. Элементы интегральных схем / Р. Малер, Т. Кейминс. – М. : Мир, 1985.
10. Колосницын, Б. С. Элементы интегральных схем. Физические основы / Б. С. Колосницын. – Минск : БГУИР, 2001.
11. Колосницын, Б. С. Мощные и СВЧ полупроводниковые приборы / Б. С. Колосницын. – Минск: БГУИР, 2008.

2.1.2 Дополнительная

12. Ферри, Д. Электроника ультрабольших интегральных схем / Д. Ферри, Л. Эйкерс, Э. Гринич. – М. : Мир, 1991.
13. Campbell, S. The science and engineering of microelectronic fabrication / S. Campbell. – New York : Oxford university press, 2001.
14. Handbook of nanoscience, engineering and technology / W. A. Goddard [u. o.]. – New York : CRC Press, 2003.
15. Bhushan, B. Handbook of nanotechnology / B. Bhushan. – Berlin : Springer-Verlag, 2004.

16. Колосницын, Б. С. Физика активных элементов интегральных схем / Б. С. Колосницын. – Минск : БГУИР, 1997.

17. Белоус, А. И. Проектирование интегральных микросхем с пониженным энергопотреблением / А. И. Белоус, В. А. Емельянов, В. С. Сякерский. – Минск : Интеграл-полиграф, 2009.

2.2 Перечень компьютерных программ, наглядных и других пособий, методических указаний и материалов, технических средств обучения, оборудования для выполнения лабораторных работ

1. Комплекс программ «Лабораторные работы по базовым технологическим процессам изготовления активных элементов твердотельной электроники».

2. Комплекс программ «Расчет основных электрических параметров активных элементов твердотельной электроники».

2.3 Перечень тем практических занятий, их название

Целью практических занятий является закрепление теоретического курса, приобретение навыков решения задач, активизация самостоятельной работы студентов.

№ темы по п.1	Название практического занятия	Содержание	Обеспеченность по пункту 2.2
20, 23-25	Расчет геометрии и электрических параметров р-п-переходов.	Расчет ширины ОПЗ контактной разности потенциалов, барьерной емкости резкого электронно-дырочного перехода. Расчет прямой и обратной ветвей ВАХ электронно-дырочного перехода	2
30,31	Расчет электрических параметров варикапов и диодов Шоттки	Расчет добротности варикапа на низкой и высокой частотах. Расчет прямой и обратной ветвей ВАХ диодов Шоттки.	2
33,36,37	Расчет основных электрических параметров биполярных транзисторов	Расчет коэффициента инжекции эмиттерного перехода, коэффициента передачи носителей через базу, коэффициент передачи тока эмиттера и коэффициента усиления тока базы. Расчет частоты отсечки мало-мощного и мощного транзистора. Расчет напряжения лавинного пробоя коллекторного р-п перехода и напряжения смыкания эмиттерного и коллекторного р-п переходов	2
41,42,44	Расчет пороговых напряжений и частоты отсечки МОП-транзисторов	Расчет порогового напряжения полевого транзистора с затвором Шоттки. Расчет пороговых напряжений длинноканальных и короткоканальных МОП-транзисторов. Расчет крутизны пологой и крутой части ВАХ. Расчет частоты отсечки МОП-транзисторов	2

2.4 Перечень тем лабораторных занятий, их название

Основная цель проведения лабораторных занятия состоит в закреплении теоретического материала курса, приобретении навыков выполнения эксперимента, обработки экспериментальных данных, анализа результатов, грамотного оформления отчетов.

№ темы по п.1	Наименование лабораторной работы	Содержание	Обеспеченность по пункту 2.2
3	Термическое окисление кремния.	Решается задача выбора реагентов и режимов окисления кремния для получения структуры с заданными параметрами	1
4	Высокотемпературная диффузия.	Решается следующая задача – определяют технологические режимы проведения термодиффузии для получения структуры с заданными параметрами	1
5	Ионное легирование.	Решается обратная инженерная задача – рассчитывается режим ионного легирования по заданным условиям	1
6	Химическое осаждение из парогазовой фазы (CVD-процессы)	При выполнении лабораторной работы решается задача выбора реагентов и режимов химического осаждения для получения заданной структуры.	1
7	Эпитаксиальное осаждение	Решается задача выбора реагентов и режимов наращивания заданного слоя	1
8	Физическое осаждение из парогазовой фазы	При выполнении лабораторной работы решается задача выбора процесса и режимов формирования заданного слоя	1
9	Фотолитография	Решается задача создания топологического рисунка слоев ИС.	1
13	Плазмохимическое и ионно-лучевое травление технологического слоя	При выполнении лабораторной работы решается задача выбора конфигурации процесса и режимов травления для получения заданной структуры.	1

3.1 Учебно-методическая карта учебной дисциплины в дневной форме обучения

Номер раздела, темы по п.1	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Самостоятельная работа, часы	Форма контроля знаний
		ЛК	ПЗ	Лаб. зан.		
Семестр 5						
	Введение	2			2	Текущий контроль
Часть 1.	Базовые технологические процессы изготовления активных элементов твердотельной электроники					
Раздел 1	Химическая подготовка поверхности технологического слоя	4			16	
Тема 1.	Классификация загрязнений поверхности	2			8	Текущий контроль
Тема 2.	Финишная подготовка поверхности подложки	2			8	Текущий контроль
Раздел 2	Процессы создания технологического слоя в материале подложки	8		12	20	
Тема 3.	Высокотемпературное окисление кремния	2		4	6	Защита лабораторной работы
Тема 4.	Высокотемпературная диффузия	2		4	6	Защита лабораторной работы
Тема 5.	Ионное легирование	4		4	8	Защита лабораторной работы
Раздел 3	Процессы создания технологического слоя из внешних источников материала	14		12	22	
Тема 6.	Химическое осаждение из парогазовой фазы (CVD-процессы)	4		4	8	Защита лабораторной работы
Тема 7.	Эпитаксиальное осаждение	4		4	6	Защита лабораторной работы
Тема 8.	Физическое осаждение из парогазовой фазы	6		4	8	Защита лабораторной работы
Раздел 4	Микролитография	12		4	20	
Тема 9.	Фотолитография	6		4	8	Защита лабораторной работы

Номер раздела, темы по п.1	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Самостоятельная работа, часы	Форма контроля знаний
		ЛК	ПЗ	Лаб. зан.		
Тема 10.	Химико-механическая планаризация	2			4	Текущий контроль
Тема 11.	Неоптические методы литография	4			8	Текущий контроль
Раздел 5	Размерное травление технологического слоя	8		4	20	
Тема 12.	Химическое травление диэлектрических, полупроводниковых и металлических материалов	2			6	Текущий контроль
Тема 13.	Плазмохимическое и ионно-лучевое травление технологического слоя	4		4	6	Защита лабораторной работы
Тема 14.	Глубокое плазмохимическое травление	2			8	Текущий контроль
	Текущая аттестация					экзамен
	Итого:	48		32	100	
Семестр 6						
Часть 2.	Физика активных элементов твердотельной электроники					
Раздел 5	Электронно-дырочный переход	14	10		32	
Тема 19.	Образование электронно-дырочного (p-n) перехода	2			4	Текущий контроль
Тема 20.	Расчет параметров p-n-перехода	2	4		4	Решение задач
Тема 21.	Электронно-дырочный переход при нарушении теплового равновесия	1			4	Текущий контроль
Тема 22.	Распределение концентрации неосновных носителей в базе p-n-перехода	2			4	Текущий контроль
Тема 23.	Генерация и рекомбинация носителей заряда в p-n-переходе	2	2		4	Решение задач
Тема 24.	Электронно-дырочный переход при высоком уровне инжекции	2	2		4	Решение задач
Тема 25.	Пробой p-n-перехода	1	2		4	Решение задач
Тема 26.	Частотные свойства p-n- перехода	2			4	Текущий контроль
Раздел 6	Контакты металл–полупроводник	2			6	
Тема 27.	Контакт Шоттки	1			3	Текущий контроль
Тема 28.	Омический контакт	1			3	Текущий контроль

Номер раздела, темы по п.1	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Самостоятельная работа, часы	Форма контроля знаний
		ЛК	ПЗ	Лаб. зан.		
						контроль
Раздел 7	СВЧ полупроводниковые диоды	5	6		12	
Тема 29.	Туннельный диод	2			4	Текущий контроль
Тема 30.	Варикапы	1	2		4	Решение задач
Тема 31.	Диоды Шоттки	2	4		4	Решение задач
Раздел 8	Биполярные транзисторы	15	8		26	
Тема 32.	Общие сведения	2			3	Текущий контроль
Тема 33.	Принцип работы и коэффициенты передачи тока	2	2		4	Решение задач
Тема 34.	Двумерные эффекты в биполярном транзисторе	2			3	Текущий контроль
Тема 35.	Статические вольт-амперные характеристики транзистора	2			4	Текущий контроль
Тема 36.	Пробой транзистора	1	2		3	Решение задач
Тема 37.	Частотные свойства транзистора	2	4		3	Решение задач
Тема 38.	Мощные биполярные транзисторы	2			3	Текущий контроль
Тема 39.	Вторичный пробой и методы минимизации величины напряжения пробоя	2			3	Текущий контроль
Раздел 9	Полевые транзисторы	12	8		24	
Тема 40.	Общие сведения	2			4	Текущий контроль
Тема 41.	Полевой транзистор с затвором Шоттки (ПТШ)	2	2		4	Решение задач
Тема 42.	Полевые транзисторы со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП(МОП)-транзисторы)	2	4		4	Решение задач
Тема 43.	Короткоканальный и узкоканальный МОП-транзисторы	2			4	Текущий контроль
Тема 44.	Мощные МОП-транзисторы	2	2		4	Решение задач
Тема 45.	Комплиментарные металл-окисел-полупроводник (КМОП) структуры	2			4	Текущий контроль
	Текущая аттестация					экзамен
	Итого:	48	32		100	
	Всего:	96	32	32	200	

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ С ДРУГИМИ
УЧЕБНЫМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Перечень учебных дисциплин	Кафедра обеспечивающая учебную дисциплину	Предложения об изменениях в содержании по изучаемой учебной дисциплине	Подпись заведующего кафедрой, обеспечивающей учебную дисциплину с указанием номера протокола и даты заседания кафедры
<p>Компьютерное моделирование, расчет и проектирование изделий микро- и нанoeлектроники</p> <p>Нанoeлектроника</p>	Микро- и нанoeлектроника	Замечаний нет	<p>В.Е.Борисенко</p> <p>Протокол № 9 от 16.03.2015</p>

Заведующий кафедрой
микро- и нанoeлектроники

В.Е.Борисенко