

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ****НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ****«МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»****ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ИРЭ)**

---

**1. Направление подготовки: 210100 Электроника и микроэлектроника**

**Модуль подготовки**

**Квалификация выпускника: магистр**

**Форма обучения: очная**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ****"МИКРОЭЛЕКТРОНИКА"**

<b>Цикл:</b>	<b>профессиональный</b>	
<b>Часть цикла:</b>	<b>базовая</b>	
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>ИРЭ; М2.3</b>	
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>216</b>	
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>6</b>	<b>1 семестр –2; 2 семестр - 4</b>
<b>Лекции</b>	<b>64 час</b>	<b>1 и 2 семестры</b>
<b>Практические занятия</b>		

<b>Лабораторные работы</b>	<b>48 час</b>	<b>1 и 2 семестры</b>
<b>Расчетные задания, рефераты</b>		
<b>Объем самостоятельной работы по учебному плану (всего)</b>	<b>90 час</b>	
<b>Экзамены</b>	<b>14</b>	<b>2 семестр</b>
<b>Курсовые проекты (работы)</b>		

**Москва - 2012**

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью дисциплины является** изучение методов конструирования и современной технологии изготовления биполярных и униполярных элементов сверхбольших и ультрабольших интегральных микросхем (СБИС и УБИС).

По завершению освоения данной дисциплины студент способен и готов:

- самостоятельно проводить расчет основных типов активных элементов цифровых и аналоговых интегральных микросхем, проводить выбор требуемых технологических процессов, самостоятельно принимать решения в рамках своей профессиональной компетенции (ОК-7);
- анализировать различного рода рассуждения, публично выступать, аргументировано вести дискуссию и полемику (ОК-12);
- привлекать для решения возникающих в ходе профессиональной деятельности проблем соответствующий физико-математический аппарат (ПК-7), методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-2);
- анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт в области современной микро- и нанoeлектроники (ПК-6);
- использовать информационные технологии в своей предметной деятельности (ПК-10);
- использовать информацию о новых конструктивных решениях, технологических процессах и новых видах технологического оборудования для совершенствования технологии производства изделий полупроводниковой техники (ПК-17).

**Задачами дисциплины являются:**

- ознакомить студентов с основными конструктивно-технологическими особенностями производства современных СБИС и УБИС, методиками расчета основных характеристик и параметров интегральных микросхем (ИМС);
- научить студентов критически анализировать принятые при производстве ИМС конкретные конструктивно-технологические решения, их достоинства и недостатки;
- обучить студентов навыкам выполнения расчетов основных характеристик и параметров активных элементов ИМС;
- познакомить студентов с методологией проведения расчета топологии ИМС, расчета комплектов шаблонов для технологического процесса изготовления биполярного транзистора;
- ознакомить студентов с особенностями конструктивно-технологических решений, используемых при создании СБИС субмикронного размера.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Дисциплина относится к базовой части профессионального цикла М2.3 основной образовательной программы подготовки магистров по профилю «Микроэлектроника и твердотельная электроника» направления 210100 «Электроника и наноэлектроника».

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Материалы электронной техники», «Твердотельная электроника», «Физические основы электроники», «Технология производства интегральных микросхем» и учебно-производственной практике.

Знания, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной магистерской диссертационной работы, изучении дисциплин «Моделирование технологических процессов и компонентов электронной техники», «Технология полупроводниковых приборов и интегральных схем», а также освоения программы магистерской подготовки «Методы исследования наноматериалов и проектирования структур наноэлектроники».

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения учебной дисциплины обучающиеся должны демонстрировать следующие результаты образования:

### Знать:

- основные конструктивно-технологические решения, используемые при производстве современных биполярных и униполярных ИМС;
- основные тенденции в развитии микроэлектроники субмикронных размеров;
- технологические процессы, применяемые при производстве современных интегральных микросхем, влияние основных технологических факторов на характеристики и параметры биполярных и полевых транзисторов, создаваемых при производстве УБИС (ПК-10);
- источники научно-технической информации (научные и реферативные журналы, сайты Интернет), освещающие современные конструктивные разработки элементной базы и топологии УБИС и СБИС и применяемые при этом технологические решения (ОК-7, ПК-6, ПК-17).

### Уметь:

- применять методы анализа и выбирать адекватные конструктивно-технологические решения при создании ИМС нового поколения;
- самостоятельно разбираться в нормативных документах, методиках расчетов и применять их для решения поставленной задачи (ОК-7);

- использовать современные информационные технологии, базы данных и пакеты прикладных программ при проведении расчетов параметров и характеристик полупроводниковых изделий (ПК-10, ПК-19);
- анализировать научно-техническую информацию, изучать передовой отечественный и зарубежный опыт (ПК-38).

**Владеть:**

- методиками расчета основных электрических характеристик и параметров базовых элементов биполярных и униполярных ИМС;
- терминологией в области производства и применения изделий полупроводниковой техники и интегральных микросхем (ОК-2);
- навыками дискуссии по профессиональной тематике (ОК-12);
- навыками поиска и применения полученной научной информации в области микро- и наноэлектроники (ПК-6);
- информацией о влиянии технологических параметров производства и топологических норм современных интегральных микросхем на их электрические и экономические характеристики (ПК-17).

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единицы, 216 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины. Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	Всего часов на раздел	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по разделам)
				лк	пр	лаб	сам.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Роль микро- и нанoeлектроники в научно-техническом прогрессе. Системы классификация изделий электронной техники	4	1	2			2	Тест на знание терминологии
2	Создание межэлементной изоляции в ИМС с применением обратно-смещенного р-п перехода	6	1	4			2	Тест: преимущества и недостатки метода изоляции обратно-смещенным р-п переходом
3	Создание межэлементной изоляции U- и V-образными канавками, диэлектрическая и комбинированная изоляция	12	1	4		4	4	Тест: расчет площадей, занимаемых межэлементной изоляцией
4	Особенности применения биполярных структур в	8	1	4			4	Тест: биполярные структуры в логических схемах

	логических схемах: ТТЛ, ЭСЛ и И <sup>2</sup> Л.							
5	Проектирование комплекта шаблонов транзисторной ячейки на примере ЭСЛ-вентиля	12	1	4		4	4	Контрольная работа
6	Проектирование топологии транзисторных ячеек на примере И <sup>2</sup> Л-вентиля	12	1	4		4	4	Тест: расчет топологии трехтранзисторной ячейки
7	Горизонтальный р-n-p транзистор, транзистор с барьером Шоттки. Интегральные диоды и стабилитроны. Пассивные элементы БИС	8	1	4			4	Тест: активные и пассивные элементы БИС
8	Униполярные приборы. Пороговое напряжение, учет влияния различных факторов на его величину	12	1	4		4	4	Тест: Расчет порогового напряжения МОП структуры
9	МОП ПТ с алюминиевым и поликремниевым затворами	8		4			4	Тест: преимущества и недостатки метода самосовмещения
10	Диффузионные МОП ПТ. Комплементарные структуры, КМОП-инвертор. Структуры с управляющим р-n переходом. МЕР-структуры	8		4			4	Контрольная работа

	Зачет	6	1				6	
	Итого за 1 семестр:	96		38		16	42	
11	УБИС субмикронных размеров. Проблемы короткого канала. Варианты конструктивно-технологического решения проблем субмикронных УБИС	12	2	4		4	4	Тест: короткоканальные эффекты в МОП ПТ
12	Особенности характеристик полевых транзисторов для применения в аналоговых схемах. Транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ-структуры). Биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT)	10	2	4		4	2	Тест: методы увеличения подвижности электронов в канале
13	Энергонезависимые элементы памяти. Передачный вентиль. Статические и динамические запоминающие устройства, ЗУ с произвольной выборкой. Гексагональный транзистор. ПЗС-	12	2	4		4	4	Тест: применение МОП ПТ в ячейках памяти, применение ПЗС структур



	структуры.							
14	Диэлектрические и Защитные пленки, методы нанесения, свойства: поликремний, диоксид кремния, нитрид кремния, оксинитрид.	12	2	4		4	4	Тест: проблемы воспроизведения рельефа поверхности при нанесении тонких пленок
15	Металлизация ИМС. Вакуумные методы, применяемые металлы. Применение силицидов металлов. Топология БИС, ограничения на рисунок металлизации. Оценка качества топологии.	12	2	4		4	4	Контрольная работа
16	Сборка и герметизация ИМС. Требования к корпусам.	12	2	4		4	4	Тест: монтаж и сборка ИМС
17	Воспроизведение ступенчатого рельефа поверхности подложки. Создание многоуровневой системы металлизации на основе алюминия и меди.	12	2	4		4	4	Тест: методы воспроизведения рельефа поверхности. Многоуровневая металлизация
18	Новые типы энергонезависимой памяти: флэш-память, фазиинверсная память, фазиинверсная МЭМС-	14	2	6		4	4	Тест: Современные типы энергонезависимой памяти

	память, магниторезистивное ОЗУ							
19	Введение в наноэлектронику. Квантовые точки, квантовые нити. Квантовый компьютер.	8	2	6			2	Контрольная работа
	Экзамен	16	2				16	устный.
	Итого за 2 семестр:	120		40	--	32	48	
	Итого:	216		78	--	48	90	

## 4.2 Содержание лекционно-практических форм обучения

### 4.2.1. Лекции

#### І семестр

##### *1. Роль микро- и наноэлектроники в научно-техническом прогрессе. Системы классификация изделий электронной техники*

Первые исследования полупроводниковых материалов. Основные вехи развития радиоэлектроники, изобретение полупроводникового транзистора (У. Браттейн, В. Шокли и Д.Бардин). Развитие технологии дискретных полупроводниковых приборов. Создание первой интегральной микросхемы (ИМС) – начало развития твердотельной микроэлектроники. Основные преимущества применения ИМС в схемотехнике. Принципиальная необходимость использования межэлементной изоляции в ИМС. Пленочные, гибридные и полупроводниковые интегральные схемы. Существующие системы классификации интегральных микросхем (по назначению, сложности, конструктивно-технологическим отличиям и т.д.), принятая система обозначений.

##### *2,3. Создание межэлементной изоляции в ИМС с применением обратно-смещенного p-n перехода*

Необходимость применения межэлементной изоляции. Метод изоляции элементов ИМС обратно-смещенным p-n переходом (на примере формирования кремниевого p-p-n

транзистора): блоки технологических операций по созданию скрытого и эпитаксиального слоев, изолирующих областей, эмиттерной, базовой и коллекторной областей, металлизации, выбор диффузантов, технологических методов и режимов проведения операций. Недостатки используемого метода межэлементной изоляции.

*4,5. Создание межэлементной изоляции U- и V-образными канавками, диэлектрическая и комбинированная изоляция*

Метод изоляции с использованием V-образных канавок: анизотропное травление поверхности кремния, окисление боковых стенок канавок, заполнение поликремнием. Оценка площади, занимаемой на поверхности чипа межэлементной изоляцией. Фотостимулированное анизотропное травление полупроводниковых материалов, использование метода для формирования U-образных канавок, технология создания изолирующих канавок. Сравнительный анализ площадей, занимаемых на поверхности чипа межэлементной изоляцией при использовании трех методов. Диэлектрическая изоляция, КНИ структуры. Комбинированная изоляция. Варианты конструктивно-технологических решений при создании межэлементной изоляции.

*6,7. Особенности применения биполярных структур в логических схемах: TTL, ЭСЛ и И<sup>2</sup>Л*

Особенности применения биполярных структур в логических схемах. TTL структуры, работа схемы инвертора, недостатки схемы. Работа логической схемы с эмиттерными связями: задание режимов работы транзистора, преимущества и недостатки. Работа ЭСЛ-вентиля. Преимущества интегральной инжекционной логики. Совмещение областей «горизонтального» и «вертикального» транзисторов, роль инжекторной области. Особенности конструкции вентиля. Сравнительный анализ характеристик логических вентилях различных семейств.

*8,9. Проектирование комплекта шаблонов транзисторной ячейки на примере ЭСЛ-вентиля*

Проектирование комплекта шаблонов для изготовления транзистора ЭСЛ-вентиля (расчет шаблонов, применяемых при создании эмиттерно-базовых и коллекторных областей, областей межэлементной изоляции, допуски на горизонтальную диффузию легирующих примесей областей, ее последующую разгонку в ходе технологического процесса, допуски на совмещение шаблонов, требования к проектированию контактных областей). Определение размеров транзисторной ячейки. Оптимизация топологии расположения транзисторных ячеек на поверхности пластины из условий минимальной задержки сигналов в межсоединениях, требования к трассировке электропроводящих дорожек.

*10,11. Проектирование топологии транзисторных ячеек на примере И<sup>2</sup>Л-вентиля*

Этапы преобразования логической схемы на базе И<sup>2</sup>Л-вентилей в принципиальную электрическую схему. Выбор топологии транзисторных ячеек для И<sup>2</sup>Л-вентилей на поверхности пластины, использование совмещения областей горизонтальных транзисторов с областями многоколлекторных «вертикальных» и единого для всех транзисторов инжекторного желоба. Оптимизация расположения и конструктивного исполнения транзисторов из соображений минимального времени переключения.

*12,13. Горизонтальный p-n-p транзистор, транзистор с барьером Шоттки. Интегральные диоды и стабилитроны. Пассивные элементы БИС*

Паразитные структуры интегрального n-p-n транзистора, создание подложечного n-p-n транзистора, оценка электрических параметров. Транзистор с барьером Шоттки: конструкция, особенности работы, вольтамперные характеристики. Использование различных комбинаций переходов транзистора для создания интегральных диодов и стабилитронов. Зависимость характеристик диода от выбранного варианта конструктивного решения. Температурная стабильность параметров интегральных стабилитронов. Интегральные конденсаторы и индуктивные элементы. Основные пути решения проблемы задержки в распространении сигнала.

*14,15. Униполярные приборы. Пороговое напряжение, учет влияния различных факторов на его величину*

Основные типы полевых транзисторов, особенности применения в цифровых схемах. Структура и свойства диоксида кремния, свойства и влияние переходного слоя на границе с кремнием. Пороговое напряжение. Расчет порогового напряжения слоистой структуры кремний – окисел – металл в модели сильной инверсии. Учет различия в работах выхода материала и влияния заряда поверхностных состояний на величину порогового напряжения.

*16,17. МОП ПТ с алюминиевым и поликремниевым затворами*

Конструкция и характеристики полевого транзистора с алюминиевым затвором. Ошибки совмещения, возникновение и влияние паразитных емкостей на время переключения прибора. Конструкция полевого транзистора с затвором из поликремния, технология изготовления прибора (технология самосовмещения). Расчет изменения порогового напряжения полевого транзистора из-за различия в работах выхода алюминия и поликремния. Создание изолирующих (охранных) областей для межэлементной изоляции приборов.

*18,19. Диффузионные МОП ПТ. Комплементарные структуры, КМОП-инвертор. Структуры с управляющим p-n переходом. МЭП-структуры*

Метод двойной диффузии для получения короткого канала методами традиционной технологии. КМОП инвертор, расчет основных характеристик. Конструктивно-технологические отличия приборов, рассчитанных на рабочие напряжения до 5 и свыше 5 В. Эффект защелкивания, использование для борьбы с ним ограничителей перенапряжения и КНД технологии. Полевые структуры с управляющим р-n переходом и переходом металл-полупроводник.

## II семестр

### *1,2. УБИС субмикронных размеров. Проблемы короткого канала. Варианты конструктивно-технологического решения проблем субмикронных УБИС*

Проблемы, возникшие при переходе к субмикронным размерам. Физические ограничения, возникающие из-за эффекта короткого канала: снижение подвижности, проблема поддержания соотношения порогового и рабочего напряжений, возрастание мощности переключения, увеличения подпорогового тока и потерь. Существующие методы решения проблемы короткого канала: создание области слабо легированного стока (LDD), создание ореола (halo), использование ретроградного (резко неоднородного) распределения примеси, применение подзатворного диэлектрика с высоким  $\epsilon$ , использование напряженного кремния, КНД и КНИ-структуры, FIN-структуры, полевые приборы с тройным и окольцовывающим затворами. Структуры типа «кремний-ни-на-чем»

### *3,4,5. Особенности характеристик полевых транзисторов для применения в аналоговых схемах. Транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT-структуры).*

#### *Биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT)*

Противоречивость требований, предъявляемых к МОП ПТ, предназначенным для работы в аналоговых и цифровых ИМС. Требования к сохранению соотношения порогового напряжения и напряжения питания. Повышение нагрузочной способности, требования к малым нелинейным искажениям, согласованности характеристик приборов при ряде применений. Методы снижения влияния горячих электронов на долговременную нестабильность характеристик. Гетеропереходные СВЧ транзисторы на двумерном электронном газе. Конструкция и особенности работы транзистора с высокой подвижностью электронов. Биполярный транзистор с изолированным затвором: биполярный силовой канал и полевой канал управления. Обозначения, эквивалентная схема. Различные варианты конструктивного исполнения транзистора, этапы развития силовых IGBT структур.

----- ■

*6,7,8. Энергонезависимые элементы памяти. Передаточный вентиль. Статические и динамические запоминающие устройства, ЗУ с произвольной выборкой. Гексагональный транзистор. ПЗС-структуры*

Перепрограммируемые постоянные запоминающие устройства, назначение классификация. МДОП-транзистор: конструкция, принцип работы, характеристики. Лавинно-инжекционный МОП ПТ: конструкция, принцип работы, особенности характеристик. Двухзатворный МДП-транзистор: конструкция, принцип работы, особенности характеристик. Последовательное соединение передаточного вентиля с инвертором. Схема динамического регистра. Регистр долговременного хранения. Статические и динамические ЗУПВ. Работа схемы статического ЗУПВ на шести транзисторах. Однотранзисторная динамическая ячейка памяти. Работа схемы динамического ЗУПВ на трех транзисторах. Конструкция и характеристики гексагонального транзистора. Работа схемы ПЗС с трехтактным питанием затворов секции переноса.

*9,10. Защитные пленки, методы нанесения и свойства: поликремний, диоксид кремния, нитрид кремния, оксинитрид. Воспроизведение ступенчатого рельефа поверхности*

Назначение диэлектрических и поликремниевых тонких пленок. Пиролитические и газофазные методы осаждения, влияние режимов осаждения на свойства. Осаждение поликремния, легирование пленок, влияние технологических режимов на степень легирования и структуру пленок поликремния, особенности травления. Пленки диоксида кремния: методы осаждения, реакции, назначение и свойства фосфорносиликатного и боросиликатного стекол. Особенности свойств пленок нитрида кремния, методы осаждения; пленки оксинитрида. Оптические свойства защитных пленок, их влияние на литографические процессы. Особенности воспроизведения ступенчатого рельефа на поверхности ИМС, влияние технологических параметров процесса и геометрии рельефа на качество осаждаемых пленок.

*11,12. Металлизация ИМС. Вакуумные методы, применяемые металлы. Применение силицидов металлов. Топология БИС, ограничения на рисунок металлизации. Оценка качества топологии*

Использование тонких металлических пленок для создания токопроводящих дорожек ИМС. Физические и электрические свойства массивных и тонкопленочных образцов. Зависимость свойств от толщины и структуры тонких пленок, методов и режимов осаждения. Основные методы нанесения металлических пленок, вакуумные методы осаждения, зависимость свойств пленок от технологии. Основные металлы, используемые при создании

металлизации, возникновение интерметаллических соединений, «пурпурная чума». Свойства алюминия, преимущества и недостатки использования, влияние остаточных атомов хлора (и его соединений) на срок службы алюминиевой разводки в условиях присутствия следов влаги. Преимущества использование силицидов металлов, их свойства, методы нанесения или создания. Основные принципы создания рисунка металлизации, существующие ограничения. Критерии оценки качества трассировки. Многоуровневая металлизация, применение меди, технология выравнивания (шлифовки) лицевой поверхности ИМС.

#### *13,14. Сборка и герметизация ИМС. Требования к корпусам*

Ручная и автоматизированная сборка ИМС, требования к герметизации приборов. Варианты монтажа микрокристалла на кристаллодержатель, дефекты монтажа, влияние операции на надежность эксплуатации. Присоединение проволочных выводов к контактным площадкам микрокристалла и выводам корпуса. Используемые материалы и технологии. Недостатки метода «шарик-клин». Особенности методов автоматизированной сборки на ленточных носителях, типы лент. Столбчатые и балочные выводы, методы создания столбиков на кристалле, монтаж методом перевернутого кристалла, преимущества и недостатки метода. Влияние выбора корпуса на паразитные емкость и индуктивность ИМС, частотные характеристики. Герметизация корпуса, влияние температуры, влажности и давления окружающей среды на надежность-эксплуатационные характеристики.

#### *15,16. Многоуровневая металлизация ИМС*

Требование увеличения быстродействия ИМС. Факторы, влияющие на время задержки прохождения сигнала. Необходимость перехода к многоуровневой (10 -12 уровней) металлизации. Технология создания многоуровневой металлизации на основе алюминия. Усложнение технологического процесса изготовления ИМС. Необходимость перехода от алюминиевой к медной металлизации в ИМС с топологической нормой 90 и менее нанометров. Технологические особенности создания многоуровневой металлизации на основе меди.

#### *17,18. Современные типы энергонезависимой памяти*

Флеш-память NOR и NAND типов, организация записи/считывания данных, многоуровневая система организации хранения и резервирования данных, надежность и ресурс работы. Фазоинверсная память, развитие идей Овшинского на современном этапе. Фазоинверсная МЭМС-память, перспективы увеличения плотности записи информации за счет уменьшения диаметра зонда до 3-5 нм и размеров ячейки до 15X15 нм. Магниторезистивное ОЗУ (MRAM-память), использование эффекта магнитного туннельного перехода, время

изменения ориентации магнитного поля порядка 1 нс, недостатки устройства – большие тки записи, малая плотность монтажа (топологическая норма – 180 нм); переход к устройствам с новым принципом записи информации – спин-преобразование вращательного момента (STT) позволяет снизить токи записи, увеличить плотность монтажа. Сегнетоэлектрическое ОЗУ (FRAM-память).

*19,20. Введение в наноэлектронику. Квантовые точки, квантовые нити. Квантовый компьютер*

Наноэлектроника, как новая область науки, техники и технологии, ее междотраслевой характер. Проявление квантовых закономерностей в наном мире. Движение заряда в квантово-ограниченной наноразмерной структуре. Нуль-мерные, одномерные и двумерные квантовые структуры. Одноэлектронный транзистор. Переключающие устройства на квантовых и молекулярных шнурах (нитях). Квантовые точки, кубиты, запутанные состояния, квантовый компьютер. Экраны на основе органических светодиодов.

-----

4.2.2. Практические занятия рабочим планом не предусмотрены

### **4.3. Лабораторные работы**

#### **1 семестр**

- № 1. Исследование статического режима работы цифрового инвертора на биполярном транзисторе
- № 2. Исследование статических характеристик КМОП-инвертора.
- № 3. Исследование и расчет порогового напряжения МОП-структуры с металлическим затвором.
- № 4. Исследование и расчет порогового напряжения МОП-структуры с затвором из поликремния.

#### **2 семестр**

- № 1. Исследование морфологии тонких пленок, полученных ВЧ распылением, на электронно-оптическом микроскопе Phenom.
- № 2. Процесс получения наночастиц оксидов титана и олова методом помола.
- № 3. Исследование распределения наночастиц оксидов металлов по размерам методом светодинамического рассеяния.



- № 4. Исследование работы вторичного источника питания.
- № 5. Исследование работы Г- и Т-образных LC фильтров вторичного источника питания.
- № 6. Разработка комплекта шаблонов биполярного транзистора: коллекторная и изолирующие области, металлизация.
- № 7. Разработка комплекта шаблонов биполярного транзистора: эмиттерно-базовая области.
- № 8. Исследование элементного состава тонких пленок металлов с использованием блока EDAX просвечивающего электронного микроскопа.

**4.4. Расчетные задания** *«Расчетные задания учебным планом не предусмотрены».*

**4.5. Курсовые проекты и курсовые работы:** *«Курсовой проект (курсовая работа) учебным планом не предусмотрен».*

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Лекционные занятия** проводятся в форме лекций с представлением сложного демонстрационного материала в виде заранее подготовленного раздаточного материала по теме лекции и файлов в редакторе Word. Для части материала, в котором представлена конкретная сложная проблема, проводится обсуждение путей ее возможного решения с дальнейшим изложением существующих путей решения.

**Практические занятия.** Учебным планом не предусмотрены.

**Самостоятельная работа** включает подготовку к тестам и контрольным работам, подготовку к зачету и экзамену.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для текущего контроля успеваемости используются различные виды тестов, контрольные работы, устный опрос, работа у доски. Для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины используется дифференцируемый зачет.

Аттестация по дисциплине – зачет и экзамен.

Оценка за освоение дисциплины, определяется как *оценки, полученные в ходе зачета и экзамена по дисциплине.*

В приложение к диплому вносится экзаменационная оценка за 2 семестр

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1. Литература:**

#### **а) основная литература:**

1. Технология СБИС: в 2-х кн. Пер. с англ./ под ред. Зи С. – М., Мир, 1986.- кн.1 - 404 с., кн. 2 – 453 с.
2. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. – СПб., изд. «Лань», 2001. – 368 с.
3. У.Тилл, Дж. Лаксон. Интегральные схемы: материалы, приборы, изготовление. Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 501 с.
4. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: учебное пособие для вузов/ 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. - 488с.

#### **б) дополнительная литература:**

1. Нанотехнологии в электронике/ под ред. Ю.А. Чаплыгина – М.: Техносфера, 2005 г. – 483
2. Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. М.: «изд. Машиностроение-1» 2003, - 112 с.
3. Щука А.А. Нанoeлектроника. – М.: Физмат, 2007. – 306 с.

### **7.2. Электронные образовательные ресурсы:**

1. Учебно-контролирующий комплекс по электротехническим материалам, кафедра Физики и технологии электротехнических материалов и электротехнологических комплексов /В.Н. Бородулин, К.В. Елизаров, А.А. Сутченков, А.И. Тихонов. Под ред. Тихонова А.И.

<http://ftemk.mpei.ac.ru/UKK/UKK.htm>

#### **а) лицензионное программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

[www.nano.gov/](http://www.nano.gov/)

[www.chipinfo.ru](http://www.chipinfo.ru),

<http://www.eecs/berkly.edu>

#### **б) другие:** научные и обзорные статьи периодических изданий

1. журнал «Электроника: Наука, Технология, Бизнес». с 2006 г. по н.в.
2. журнал «Нано- и микросистемная техника». С 2005 г. по н.в.

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для обеспечения освоения дисциплины необходимо наличие учебной аудитории, снабженной мультимедийными средствами для представления презентаций лекций.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и с учетом рекомендаций  
ПрООП ВПО по направлению подготовки: **210100 Электроника и нанoeлектроника**  
и профилю: **Электроника и микроэлектроника**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

к.т.н., доцент

Гордеев В.Н.

**"СОГЛАСОВАНО":**

Директор ИРЭ

д.т.н. профессор

Замолодчиков В.Н.

**"УТВЕРЖДАЮ":**

Зав. кафедрой *ФЭМАЭК*

д.т.н., профессор

Серебрянников С.В.