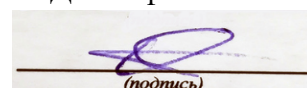


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова**

Базовая кафедра нанотехнологий в электронике  
в ЯФ ФГБУН «Физико-технологический институт» РАН

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



(подпись)

И. С. Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Микроэлектроника»**

Направление подготовки  
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль)  
«Интегральная электроника и наноэлектроника»

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «30» марта 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол № 5 от « 25 » апреля 2023 года

Ярославль

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Микроэлектроника» является изучение основных теоретических, экспериментальных и технологических методов построения элементов электронных схем в интегральном исполнении, физических принципов создания на их основе интегральных микросхем, изучение основных конструктивных и электрических характеристик и методов оценки их качества и надежности.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Микроэлектроника» является одной из основных дисциплин профессионального цикла. Теоретической основой микроэлектроники, наряду с фундаментальными дисциплинами (квантовая механика, статистическая физика, физика полупроводников и тонких плёнок и др.), являются физика поверхности полупроводников, физика граничных явлений в полупроводниковых структурах, а также радио- и схемотехнические дисциплины. Экспериментальной основой микроэлектроники является планарная (кремниевая) технология, позволяющая на базе известных методов и приёмов (окисление, фотолитография, диффузия и др.) в едином цикле реализовывать большое число приборов и компонентов, т.е. на практике осуществить принцип интеграции. В результате освоения дисциплины «Микроэлектроники» слушатели получают представление об основных направлениях создания интегральных схем (ИС) и особенностях их построения на биполярных и полевых транзисторах, а также знакомятся с методами создания схем различного функционального назначения в интегральном исполнении.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

| Формируемая компетенция (код и формулировка)  | Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)                                | Перечень планируемых результатов обучения   |
|---|--|---|
| <b>Общепрофессиональные компетенции</b>   |  |   |
| ПК-5<br>Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники | ИД_ПК-5.1. Знает физические характеристики материалов и изделий электронной техники. | <b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• основные этапы развития микроэлектроники и направления создания интегральных микросхем;</li><li>• физические принципы работы основных функциональных элементов ИС: биполярного, полевого и МДП – транзисторов, тиристоров, пассивных элементов;</li><li>• основные технологические этапы изготовления ИС различного типа, особенности интегрального исполнения для биполярных и униполярных элементов ИС;</li><li>• характерные масштабы величин, владеть</li></ul> |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | терминологией, знать основные физические формулы и константы относящиеся к этому разделу физики и их размерность.  |
|  | ИД_ПК-5.2. Знает технологические процессы создания материалов, приборов и устройств электроники и нанoeлектроники. | <b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• применять знания, полученные при изучении дисциплины для изучения вопросов, связанных с теоретическими, экспериментальными и технологическими аспектами разработки и изготовления ИС, использовать для этого методы и знания полученные при изучении других физических и математических дисциплин.</li> </ul>   |
|  | ИД_ПК-5.3. Осуществляет настройку приборов и оборудования в соответствии с правилами настройки и эксплуатации.     | <b>Владеть навыками:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решения типовых задач микроэлектроники, связанных с построением и расчетом основных компонентов и элементов ИС;</li> <li>• самостоятельной работы с различными источниками информации по тематике курса;</li> <li>• поиска и использования частной справочной информации для решения учебных задач и применения в сфере профессиональной деятельности</li> </ul> |

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 академических часов.

| №<br>п/п | Темы (разделы)<br>дисциплины,<br>их содержание  | Семестр | Виды учебных занятий,<br>включая самостоятельную<br>работу студентов,<br>и их трудоемкость<br>(в академических часах) |              |              |              |                             |                           | Формы текущего<br>контроля успеваемости<br><br>Форма промежуточной<br>аттестации<br>(по семестрам)<br><br>Формы ЭО и ДОТ<br>(при наличии) |
|----------|---|---------|---|--------------|--------------|--------------|-----------------------------|---------------------------|---|
|          |   |         | Контактная работа   |              |              |              |                             | самостоятельная<br>работа |   |
|          |   |         | лекции  | практические | лабораторные | консультации | аттестационные<br>испытания |                           |   |
| 1        | Предмет и технологические основы микроэлектроники   | 7       | 8   | 1            |              | 1            |                             | 2                         | Задания для самостоятельной работы ЭУК в LMS Moodle   |
| 2        | Элементы интегральных схем. ИМС на биполярных и униполярных транзисторах. Элементы цифровых ИМС | 7       | 22  | 14           |              | 3            |                             | 10                        | Задания для самостоятельной работы ЭУК в LMS Moodle<br>Контрольная работа №1  |

|   |  |   |           |           |  |          |            |             |   |
|---|--|---|-----------|-----------|--|----------|------------|-------------|---|
|   |  |   |           |           |  |          |            |             | Контрольная работа №2                               |
| 3 | Типы интегральных схем. Качество и надежность интегральных микросхем. Функциональная микроэлектроника и оптоэлектроника. | 7 | 4         | 2         |  | 1        |            | 4           | Задания для самостоятельной работы ЭУК в LMS Moodle |
|   |  |   |           |           |  | 2        | 0,5        | 33,5        | Экзамен   |
|   | <b>Всего</b>   |   | <b>34</b> | <b>17</b> |  | <b>7</b> | <b>0,5</b> | <b>49,5</b> |   |

### Содержание разделов дисциплины

| № п/п | Наименование раздела дисциплины   | Содержание раздела   |
|-------|---|--|
| 1.    | Предмет и технологические основы микроэлектроники   | <p>1.1. <i>Предмет микроэлектроники. Основные положения и принципы микроэлектроники.</i> \</p> <p>Методология микроэлектроники: технологическая, конструктивная и функциональная интеграция. Классификация ИМС, термины, определения. Базовые технологические процессы производства ИС. Сверхбольшие интегральные микросхемы.</p> <p>1.2. <i>Пределы микроэлектроники.</i></p> <p>Факторы ограничивающие предельные размеры микроэлектронных приборов. Фундаментальные физические ограничения; Законы скейлинга. Квантовые и туннельные ограничения. Ограничения функционирования. Пределы миниатюризации, обусловленные технологическими процессами.</p> <p>1.3. <i>Основные направления создания ИМС.</i></p> <p>Полупроводниковые ИМС. Физические и технологические основы формирования локальных областей с заданными свойствами в объеме и на поверхности полупроводника. Проблема изоляции элементов в ИМС, сопоставление различных способов изоляции. Принципы работы и основные характеристики биполярных и МДП транзисторов интегральных микросхем.</p> |
| 2.    | Элементы интегральных схем. ИМС на биполярных и униполярных транзисторах. Элементы цифровых ИМС | <p>2.1. <i>Интегральные микросхемы на биполярных транзисторах.</i></p> <p>Эпитаксиально - планарные транзисторы с изоляцией <i>p-n</i> переходами. Изопланарные транзисторы. Многоэмиттерные транзисторы. Транзисторы с диодом Шоттки. Транзисторы с поликремниевыми шинами. Горизонтальные <i>p-n-p</i> транзисторы. Схемы основных технологических процессов изготовления ИМС на биполярных транзисторах и профили создаваемых структур.</p> <p>2.2. <i>Интегральные микросхемы на МДП-транзисторах.</i></p> <p>Конструктивно - технологические разновидности</p>  |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   |   | <p>МДП транзисторов. Транзисторы с самосовмещенными затворами. Комплементарные МДП микросхемы. Параметры и характеристики транзисторов с коротким каналом. Технологические маршруты производства ИМС на МДП транзисторах с использованием поликремниевых затворов и многоуровневой коммутационной разводки.</p> <p><i>2.3. Пассивные элементы в ИМС на биполярных и МДП транзисторах.</i><br/>Интегральные резисторы и конденсаторы. Тестовые элементы. Охранные элементы. Знаки совмещения и контактные площадки.</p> <p><i>2.4. Логические элементы ИМС на биполярных транзисторах.</i><br/>Классификация и основные параметры логических элементов. Элементы транзисторно - транзисторной логики. Элементы эмиттерно - связанной логики. Элементы интегрально - инжекционной логики. Принципы функционирования.</p> <p><i>2.5. Логические элементы ИМС на полевых транзисторах.</i><br/>Инвертор на <i>n</i>-канальных и КМДП транзисторах. Логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ.</p> <p><i>2.6. Элементы памяти ИМС.</i><br/>Элементы памяти статического типа. Элементы памяти динамического типа. Элементы памяти программируемых постоянных запоминающих устройств. Полупроводниковые микросхемы памяти.</p> |
| 3 | <p>Типы интегральных схем. Качество и надежность интегральных микросхем. Функциональная микроэлектроника и оптоэлектроника.</p> | <p><i>3.1. Типы интегральных схем</i><br/>Цифровые ИМС. Триггеры. Микропроцессоры. Структура микропроцессоров. Микропроцессорные комплекты. Запоминающие устройства. Операционные усилители. Базовые матричные кристаллы. Программируемые логические матрицы.</p> <p><i>3.2. Качество и надежность интегральных микросхем.</i><br/>Основные понятия теории качества. Показатели качества и надежности. Виды и механизмы отказов ИМС. Механизмы отказов межсоединений планарных структур. Механизмы отказов при радиационных воздействиях.</p> <p><i>3.3. Методы контроля качества, и испытаний ИМС.</i><br/>Тестовый контроль и контроль функционирования. Оптические, электронномикроскопические и масс-спектрометрические методы контроля. Классификация испытаний. Климатические испытания ИМС. Механические испытания ИМС. Оценка и пути повышения надежности ИМС.</p> <p><i>3.4. Функциональная микроэлектроника и оптоэлектроника.</i><br/>Обработка, хранение и передача информации на основе интеграции физических явлений в твердотельных структурах. Элементы</p>  |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | акустоэлектроники. Элементы молекулярной электроники. |
|--|--|---|

## 5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Академическая лекция** (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

**Практическое занятие** – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

**Консультации** – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

**Электронный учебный курс «Физика полупроводников и низкоразмерных систем» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ**, в котором:

- представлены тексты конспектов лекций в виде презентаций по всем темам дисциплины;
- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

## 6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются: для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- графический редактор Inkscape (Freeware);
- графический редактор GIMP (Freeware);
- Adobe Acrobat Reader;

**7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

**а) основная литература**

1. Аваев Н. А., Наумов Ю.Е., Фролкин В.Т. – Основы микроэлектроники : Учебник для вузов. М.: 1991
2. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. - М-СПб.: Лаборатория базовых знаний, 2001.

**б) дополнительная литература**

3. Коледов Л. А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учеб. для вузов. - М.:Радио и связь, 1989.
4. Зи. С – Физика полупроводниковых приборов. В 2-х томах. М.: 1984
5. Терехов В.А.. Задачник по электронным приборам. Учебное пособие. – СПб, Лань, 2003. – 278 с. [https://e.lanbook.com/book/76831#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/76831#book_name)

**8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- лабораторное оборудование Центра коллективного пользования «Диагностика микро и наноструктур»
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор:

Доцент базовой кафедры нанотехнологий в электронике  
в ЯФ ФГБУН ФТИАН им. К. А. Валиева РАН, к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ А.Б.Чурилов  
(подпись)

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Микроэлектроника»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущего контроля успеваемости  
и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущей  
аттестации**

При проведении практических занятий и подготовке материалов контрольных мероприятий используются задания и задачи из пособий [5, 1, 2]

**Примеры задач для контрольной работы**

**Полупроводники**

- 1.1. В образец чистого кремния введены донорные атомы фосфора с концентрацией  $10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Предположим, что атомы фосфора распределены в кремнии равномерно. Атомная масса фосфора равна 31.
  - а) Чему равно удельное сопротивление образца при 300 К?
  - б) Какую долю по массе составляют донорные примеси?
  - в) Если в добавление к фосфору введены  $10^{17} \text{ см}^{-3}$  атомов бора, распределенных равномерно, то каковы результирующее удельное сопротивление и тип проводимости (будет ли материал иметь проводимость р-или n-типа)?
  - г) Изобразить диаграмму энергетических зон для случая в и указать положение уровня Ферми.
- 1.2. Найти равновесные концентрации электронов и дырок и положение уровня Ферми в кремнии при  $27^\circ\text{C}$ , если кремний содержит следующие концентрации легирующих примесей, создающих мелкие уровни:
  - а)  $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  атомов бора,
  - б)  $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  атомов мышьяка и  $2,9 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  атомов бора.
- 1.3. Образец кремния n-типа имеет равномерную концентрацию  $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$  атомов мышьяка, а образец кремния p-типа имеет  $N_a = 10^{15} \text{ см}^{-3}$  атомов бора. Для каждого полупроводникового материала определить:
  - а) Температуру, при которой ионизирована половина примесных атомов. Предполагается, что все подвижные электроны и дырки поступают от легирующих примесей.
  - б) Температуру, при которой собственная концентрация  $n_i$  превосходит концентрацию примесей в 10 раз.
  - в) Равновесную концентрацию неосновных носителей при 300 К. Предполагается, что примеси полностью ионизированы.

- г) Положение уровня Ферми относительно края валентной зоны  $E_v$  в каждом материале при 300 К. Положение уровня Ферми, если оба типа примесей имеются в одном образце.

### Технология

- 2.1. Кристалл кремния должен быть выращен по методу Чохральского. Перед началом выращивания кристалла к 10 кг расплавленного кремния, находящимся в тигле, добавляют 1 мг фосфора.
- Какова начальная концентрация легирующей примеси в твердой фазе в первый момент выращивания кристалла?
  - Какова концентрация легирующей примеси на поверхности кристалла кремния, после того как 5 кг расплава перешло в твердую фазу? (Коэффициент сегрегации  $C_s/C_l$  для фосфора в кремнии равен 0,3.)
- 2.2. Пластина из кремния, выращенного по методу Чохральского, нагревается в атмосфере азота до высокой температуры с целью испарения кислорода из участков пластины, расположенных вблизи поверхности. Затем она прогревается при низкой температуре, с тем чтобы остальной кислород выделился из кристаллической решетки в виде «кластеров». Объяснить, как и почему этот процесс улучшает электрические свойства приборов, впоследствии изготавливаемых на пластине.
- 2.3. Кремниевая пластина окисляется несколько раз в процессе изготовления ИС. Найти результирующую толщину двуокиси кремния после каждой из следующих операций, проводимых последовательно:
- 60 мин при  $1100^\circ\text{C}$  в сухом  $\text{O}_2$  и  $\text{HCl}$  (добавляется достаточное количество  $\text{HCl}$ , чтобы увеличить скорость окисления на 10% по сравнению со скоростью окисления в чистом  $\text{O}_2$ );
  - 2 ч при  $1000^\circ\text{C}$  в пирогенном водяном паре (при 1 атм);
  - 6 ч при  $1000^\circ\text{C}$  в сухом  $\text{O}_2$ .

### Контактные явления

- 4.1. Резкий кремниевый р-п-переход имеет примесные концентрации  $N_a = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  и  $N_d = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ .
- Рассчитать встроенный потенциал  $\phi_i$  при комнатной температуре.
  - С помощью приближения обеднения рассчитать ширину слоя объемного заряда и максимальное электрическое поле для напряжений на переходе  $V_a = 0$  и  $-10 \text{ В}$ .
- 4.2. Рассмотрим резкие кремниевые р-п-переходы с очень сильным односторонним легированием и примесными концентрациями  $10^{15}$ ,  $10^{16}$ ,  $10^{17}$  и  $10^{18} \text{ см}^{-3}$  со слаболегированной стороны. Определить как функцию концентрации длину области, обедненной подвижными носителями, для которой максимальное электрическое поле еще не превышает поле пробоя, показанное на рисунке 4.2.1. Какие напряжения на переходах соответствуют этим длинам?



Рис. 4.2.1 Зависимость критических электрических полей лавинного и туннельного пробоя в кремнии от примесной концентрации.

- 4.3. Рассчитать величину встроенного электрического поля в квазинейтральной области с экспоненциальным распределением примеси  $N = N_0 \exp(-x/\lambda)$ . Пусть поверхностная примесная концентрация равна  $10^{18} \text{ см}^{-3}$ , а  $\lambda = 0,4 \text{ мкм}$ . Сравнить это поле с максимальным полем в обедненной области резкого p-n-перехода с концентрациями акцепторов и доноров с разных сторон перехода  $10^{18}$  и  $10^{15} \text{ см}^{-3}$  соответственно.

## 1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

### Примеры тестовых заданий

Плотность упаковки ИМС это –

1. отношение числа элементов к объему микросхемы без учета выводов
2. число элементов или простых компонентов на кристалле микросхемы
3. число функциональных ячеек в кристалле
4. отношение числа элементов к числу функциональных ячеек в кристалле

В какой из перечисленных микросхем все элементы выполнены в объеме кристалла полупроводника

1. тонкопленочной
2. гибридной
3. полупроводниковой

В отличие от аналоговых, цифровые ИМС

1. обрабатывают сигналы, описываемые непрерывными функциями
2. предназначены для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции
3. выполнены по тонкопленочной технологии

Наличие паразитного p-n-p транзистора приводит к

1. увеличению коэффициента передачи по току основного транзистора
2. уменьшению базового тока основного транзистора
3. увеличению коэффициента инжекции эмиттера

Какое свойство арсенида галлия не позволяет создавать на его основе МДП транзисторы?

1. высокая подвижность электронов
2. малая критическая напряженность электрического поля
3. высокое значение плотности поверхностных состояний

Области  $p^+$  типа, формируемые под изолирующими областями в транзисторе с комбинированной изоляцией, необходимы для

1. улучшения частотных свойств транзистора
2. предотвращения возникновения проводящего канала между отдельными элементами ИМС
3. увеличения напряжения пробоя эмиттерного перехода транзистора

Горизонтальный p-n-p транзистор в отличие от вертикального транзистора структуры n-p-n:

1. обладает внутренним электрическим полем в базовой области
2. обладает более высоким значением коэффициента передачи по току
3. является бездрейфовым

П-образная форма канала МДП транзисторов при проектировании ИМС используется с целью

1. экономии площади
2. увеличения быстродействия
3. увеличения подвижности носителей в канале

Базовый элемент (инвертор) ИМС на основе комплементарной пары транзисторов выполнен из

1. МДП транзистора с индуцированным каналом р-типа и МДП транзистора со встроенным каналом n-типа
2. двух МДП транзисторов с индуцированными каналами n- и р- типа
3. двух МДП транзисторов с индуцированным каналом n-типа

На стоковых ВАХ МДП транзисторов с коротким каналом, по сравнению с ВАХ обычных МДП транзисторов:

1. меньше значения напряжения насыщения
2. на участке насыщения наблюдается более резкий рост тока стока
3. напряжения сток-исток, при которых еще сохраняется участок насыщения ВАХ, существенно выше

### **Список вопросов к экзамену:**

1. Предмет микроэлектроники. История и основные этапы развития микроэлектроники. Современное состояние и направления развития микроэлектроники. Международное разделение труда в электронной промышленности.
2. Предмет микроэлектроники. Основные термины и определения микроэлектроники. Классификация и основные типы интегральных схем (ИС). Иерархия ИС.
3. Базовые технологические процессы производства ИС. Общая характеристика технологического цикла и оценка стоимости производства ИС. Подготовительная стадия производства ИС.
4. Технологические основы микроэлектроники. Эпитаксия: жидкостная, газофазная, молекулярно - пучковая. Легирование полупроводников: диффузия и имплантация.
5. Технологические основы микроэлектроники. Термическое окисление. Травление. Нанесение тонких пленок. Методы получения структур на основе полупроводников, металлов и диэлектриков.
6. Пределы микроэлектроники. Закон Мура. Факторы ограничивающие предельные размеры микроэлектронных приборов. Фундаментальные физические ограничения и законы скейлинга. Пределы, обусловленные технологическими процессами.
7. Микролитография. Технология и материалы литографии. Контактная печать и печать с зазором. Проекционная печать. Взрывная литография.
8. Современная литография для КМОП технологи. УФ литография, электронно-лучевая литография. Ионно-пучковая проекционная литография.
9. Основные направления создания ИМС. Полупроводниковые ИМС. Физические и технологические основы формирования локальных областей с заданными свойствами в объеме и на поверхности полупроводника. Планарная и объемная технологии производства ИС.
10. Проблема изоляции элементов в ИМС, сопоставление различных способов изоляции.
11. Принципы работы и основные характеристики биполярных транзисторов. Биполярный транзистор в интегральном исполнении. Симметричные и асимметричные конфигурации транзисторов.
12. Основные параметры слоев интегральных n-р-n транзисторов и их электрофизические параметры. Паразитные транзисторы в биполярных ИС.
13. Интегральные микросхемы на биполярных транзисторах. Эпитаксиально - планарные транзисторы с изоляцией р-n переходами. Распределение примесей в биполярном транзисторе ИС.
14. Транзисторы со сверхтонкой базой. Изопланарные транзисторы. Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы.
15. Транзисторы с барьером Шоттки. Транзисторы с поликремниевыми шинами. Горизонтальные р-n-р транзисторы.

16. Интегральные микросхемы на МДП-транзисторах. Преимущества и недостатки МДП ИС перед биполярной технологией. Основные направления применения МДП в ИС. Разновидности униполярных транзисторов.
17. Структура и принцип действия полевого (МДП) транзистора.
18. Емкость МДП структуры. Источники зарядов в окисле. Основные разновидности, структуры и условные обозначения МДП-транзисторов.
19. Параметры и характеристики МДП транзисторов. Варианты включения МДП транзисторов в ИС.
20. МДП транзистор как элемент ИС. Инвертор.
21. конструктивно технологические разновидности МДП транзисторов. Диффузионный и вертикальный МДП транзисторы. Транзисторы с самосовмещенными затворами.
22. ИМС на МДП-транзисторах с использованием поликремниевых затворов и многоуровневой коммутационной разводки.
23. Комплементарные МДП микросхемы. Основные технологические этапы производства КМДП.
24. Параметры и характеристики транзисторов с коротким каналом.
25. Элементы памяти на основе МДП транзисторов с плавающим затвором.
26. Пассивные элементы в ИМС на биполярных и МДП-транзисторах. Интегральные резисторы и конденсаторы. Тестовые элементы. Охранные элементы. Знаки совмещения и контактные площадки.
27. Методы контроля качества, и испытаний ИМС. Тестовый контроль и контроль функционирования. Оптические, электронно-микроскопические и масс-спектрометрические методы контроля.
28. Функциональная микроэлектроника. Общая характеристика основных физических явлений и материалов используемых в функциональной микроэлектронике.
29. Схемотехническая и топологическая реализации основных логических функций ИМС (на примере любого типа логики и типа активных элементов).

### **Правила выставления оценки на экзамене.**

В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу дается не менее 1 часа.

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

**Оценка «Отлично»** выставляется студенту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом физики полупроводников; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Студент дает развернутые, полные и четкие ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует терминологию физики полупроводников и физики конденсированного состояния

**Оценка «Хорошо»** выставляется студенту, ответ которого на экзамене в целом соответствуют указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

**Оценка «Удовлетворительно»** выставляется студенту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагаются в терминах физики полупроводников, но при этом допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент

затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

**Оценка «Неудовлетворительно»** выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется также студенту, который взял экзаменационный билет, но отвечать отказался.

Допускается возможность один раз поменять экзаменационный билет, но при этом итоговая оценка автоматически снижается на один балл.

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на выполнение самостоятельной работы. В ходе лекций обучающимся рекомендуется:

- вести конспектирование учебного материала;
- обращать внимание на определения понятий, формулировки законов и их математическое выражение, положения, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации по их применению;
- задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений.

Для успешного овладения курсом необходимо посещать все лекции, так как тематический материал взаимосвязан между собой. В случаях пропуска занятия студенту необходимо самостоятельно изучить материал и ответить на контрольные вопросы по пропущенной теме во время индивидуальных консультаций. Следует помнить, что лекционный конспект является не материалом для подготовки, а скорее развернутым планом для дальнейшей самостоятельной проработки материала

Практические занятия – это одна из активных форм учебного процесса. Большая часть тем дисциплины носит практический характер, т.е. предполагает решение задач, анализ практических ситуаций. При подготовке к практическим занятиям обучающемуся необходимо освоить теоретическую основу по теме практического занятия, быть готовым к дискуссионному обсуждению.

Индивидуальное домашнее задание или контрольная работа представляют собой изложение в письменном виде результатов теоретического анализа или решение задачи по определенной теме. При необходимости проводятся консультации по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы и проведения расчетов, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде проверки выполнения заданий для внеаудиторного решения и контрольной работы.

Для самостоятельной работы особенно рекомендуется использовать учебную литературу, с подробно разобранными решениями задач по всем изучаемым разделам. Помимо рекомендуемых в списке основной и дополнительной литературы к таковым можно отнести:

1. Зебрев Г.И. Сборник задач по курсу Основы микроэлектроники / Москва: МИФИ, 2003. — 45 с.
2. Гуртов В.А., Ивашенков О.Н. Сборник задач по микрооптоэлектронике / Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. - 37 с.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

**1. Личный кабинет** ([http://lib.uniylar.ac.ru/opac/bk\\_login.php](http://lib.uniylar.ac.ru/opac/bk_login.php)) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб. и метод. пособия, тексты лекций и т.д.) Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.

## **2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ**

([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/паролю.

## **3. Электронная картотека «Книгообеспеченность»**

([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_bookreq\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php)) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека «Книгообеспеченность» доступна в сети университета и через Личный кабинет.