

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

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С. Огнев

23 мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Интегральная электроника»

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

Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Интегральная электроника» 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.

1. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата

Дисциплина «Интегральная электроника» 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 «Интегральная электроника» 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 ОП бакалавриата

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:

Код компетенции	Формулировка компетенции	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-1	способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Знать: <ul style="list-style-type: none">• основные этапы развития микроэлектроники и направления создания интегральных микросхем;• физические принципы работы основных функциональных элементов ИС: биполярного, полевого и МДП – транзисторов, тиристоров, пассивных элементов;• основные технологические этапы изготовления ИС различного типа, особенности интегрального исполнения для биполярных и униполярных элементов ИС;• характерные масштабы величин, владеть терминологией, знать основные физические формулы и константы относящиеся к этому

		разделу физики и их размерность.
		Уметь: <ul style="list-style-type: none"> • 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.
		Владеть навыками: <ul style="list-style-type: none"> • решения типовых задач микроэлектроники, связанных с построением и расчетом основных компонентов и элементов ИС; • самостоятельной работы с различными источниками информации по тематике курса; • поиска и использования частной справочной информации для решения учебных задач и применения в сфере профессиональной деятельности

4. Объем, структура и содержание дисциплины

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

4.1. Структура дисциплины

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Предмет и технологические основы интегральной электроники	7	4	10		1		3	Фронтальный опрос.
2	Элементы интегральных схем. ИМС на биполярных и униполярных транзисторах. Элементы цифровых ИМС	7	10	18		3		6	Фронтальный опрос. Контрольная работа

3	Типы интегральных схем. Качество и надежность интегральных микросхем. Функциональная микроэлектроника и оптоэлектроника.	7	4	8		1		4	Фронтальный опрос.
						2	0,5	33,5	Экзамен
	Всего		18	36		7	0,5	46,5	

4.2 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Предмет и технологические основы интегральной электроники	<p>1.1. <i>Предмет микроэлектроники. Основные положения и принципы микроэлектроники.</i> \ 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> 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> 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> Эпитаксиально - планарные транзисторы с изоляцией <i>p-n</i> переходами. Изопланарные транзисторы. Многоэмитерные 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> Конструктивно - технологические разновидности МДП транзисторов. Транзисторы с самосовмещенными затворами. Комплементарные</p>

		<p>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>2.3. <i>Пассивные элементы в ИМС на биполярных и МДП транзисторах.</i> Интегральные резисторы и конденсаторы. Тестовые элементы. Охранные элементы. Знаки совмещения и контактные площадки.</p> <p>2.4. <i>Логические элементы ИМС на биполярных транзисторах.</i> Классификация и основные параметры логических элементов. Элементы транзисторно - транзисторной логики. Элементы эмиттерно - связанной логики. Элементы интегрально - инжекционной логики. Принципы функционирования.</p> <p>2.5. <i>Логические элементы ИМС на полевых транзисторах.</i> Инвертор на <i>n</i>-канальных и КМДП транзисторах. Логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ.</p> <p>2.6. <i>Элементы памяти ИМС.</i> 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>3.1. <i>Типы интегральных схем</i> Цифровые ИМС. Триггеры. Микропроцессоры. Структура микропроцессоров. Микропроцессорные комплекты. Запоминающие устройства. Операционные усилители. Базовые матричные кристаллы. Программируемые логические матрицы.</p> <p>3.2. <i>Качество и надежность интегральных микросхем.</i> 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>3.3. <i>Методы контроля качества, и испытаний ИМС.</i> 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>3.4. <i>Функциональная микроэлектроника и оптоэлектроника.</i> Обработка, хранение и передача информации на основе интеграции физических явлений в твердотельных структурах. Элементы акустоэлектроники. Элементы молекулярной электроники.</p>

5. 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.

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- – для формирования текстовых и графических материалов промежуточной и текущей аттестации – программы Microsoft Office, графический редактор Inkscape;
- – для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next");
- – для поиска учебной литературы в сети интернет –автоматизированная библиотечная информационная система "Google Академия " (<https://scholar.google.ru>).

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

1. Ефимов И. Е., Козырь И. Я., Горбунов Ю. И. Микроэлектроника: Проектирование, виды микросхем, функциональная микроэлектроника: Учебное пособие для приборостроительных спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1987.

2. Коледов Л. А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учеб. для вузов. - М.: Радио и связь, 1989.
3. Сугано Т., Икома Т., Такэиси Э. – Введение в микроэлектронику. М.: Мир., 1988
4. Валиев К.А, Орликовский А.А. – Полупроводниковые интегральные схемы памяти на биполярных транзисторных структурах М.: 1979
5. Маллер Р., Кейминс Т. Элементы интегральных схем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989.
6. Микроэлектроника. Под. ред Л.А.Коледова
7. Технология СБИС. В 2-х кн. Под ред. С.Зи. М.: 1983
8. Зи. С – Физика полупроводниковых приборов. В 2-х томах. М.: 1984
9. Таруи Я. – Основы технологии СБИС. М.: 1985
10. Терехов В.А.. Задачник по электронным приборам. Учебное пособие. – СПб, Лань, 2003. – 278 с.
11. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника. – М.: Высшая шк., 1991. – 351с.
12. Бурбаева Н.В., Днепрова Т.С Сборник задач по полупроводниковой электронике.- М.: Физматлит, 2006. – 168 с.

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).
 2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (<http://www.edu.ru> (раздел Учебно-методическая библиотека) или по прямой ссылке <http://window.edu.ru/library>).
 3. Научная электронная библиотека (elibrary.ru) и поисковые системы (www.yandex.ru, www.google.ru, www.gigapedia.org)
 4. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» (www.biblioclub.ru).
 5. Сайт ФТИ им А.Ф.Иоффе РАН (www.ioffe.ru) и другие интернет ресурсы с соответствующей тематикой
 6. Интернет ресурсы ведущих отечественных и зарубежных компаний по производству изделий микроэлектроники.
- Специального программного обеспечения не требуется.

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

Аудитории, оборудованные для проведения лекций, практических, лабораторных занятий и консультаций, фонд научной библиотеки университета, компьютеры с доступом в Интернет, оборудование для демонстраций электронных мультимедийных презентаций, лабораторное оборудование Центра коллективного пользования «Диагностика микро и наноструктур».

Автор:

Доцент базовой кафедры нанотехнологий в электронике, к.ф.-м.н. _____ А.Б.Чурилов
(подпись)

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Интегральная электроника»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,
характеризующих этапы формирования компетенций**

**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, 10-12]

Примеры задач для контрольной работы

Полупроводники

- 1.1. В образец чистого кремния введены донорные атомы фосфора с концентрацией 10^{16} 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} 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°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 р-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 двуокси кремния после каждой из следующих операций, проводимых последовательно:
- 60 мин при 1100°C в сухом O_2 и HCl (добавляется достаточное количество HCl , чтобы увеличить скорость окисления на 10% по сравнению со скоростью окисления в чистом O_2);
 - 2 ч при 1000°C в пирогенном водяном паре (при 1 атм);
 - 6 ч при 1000°C в сухом O_2 .

Контактные явления

- 4.1. Резкий кремниевый p-n-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 ϕ_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 В .
- 4.2. Рассмотрим резкие кремниевые p-n-переходы с очень сильным односторонним легированием и примесными концентрациями 10^{15} , 10^{16} , 10^{17} и 10^{18} 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} 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} 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 безрефлексивным

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-p-n транзисторов и их электрофизические параметры. Паразитные транзисторы в биполярных ИС.
13. Интегральные микросхемы на биполярных транзисторах. Эпитаксиально - планарные транзисторы с изоляцией p-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 p-n-p 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).

2. Перечень компетенций, этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкалы оценивания

2.1 Шкала оценивания сформированности компетенций и ее описание

Оценивание уровня сформированности компетенций в процессе освоения дисциплины осуществляется по следующей трехуровневой шкале:

Пороговый уровень - предполагает отражение тех ожидаемых результатов, которые определяют минимальный набор знаний и (или) умений и (или) навыков, полученных студентом в результате освоения дисциплины. Пороговый уровень является обязательным уровнем для студента к моменту завершения им освоения данной дисциплины.

Продвинутый уровень - предполагает способность студента использовать знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности, полученные при освоении дисциплины, для решения профессиональных задач. Продвинутый уровень превосходит пороговый уровень по нескольким существенным признакам.

Высокий уровень - предполагает способность студента использовать потенциал интегрированных знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, полученных при освоении дисциплины, для творческого решения профессиональных задач и самостоятельного поиска новых подходов в их решении путем комбинирования и использования известных способов решения применительно к конкретным условиям. Высокий уровень превосходит пороговый уровень по всем существенным признакам.

3. Методические рекомендации преподавателю по процедуре оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Целью процедуры оценивания является определение степени овладения студентом ожидаемыми результатами обучения (знаниями, умениями, навыками и (или) опытом деятельности).

Процедура оценивания степени овладения студентом ожидаемыми результатами обучения осуществляется с помощью методических материалов, представленных в разделе «Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций»

3.1 Критерии оценивания степени овладения знаниями, умениями, навыками и (или) опытом деятельности, определяющие уровни сформированности компетенций

Пороговый уровень (общие характеристики):

- владение основным объемом знаний по программе дисциплины;
- знание основной терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы без существенных ошибок;
- **владение** инструментарием дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- **способность самостоятельно** применять типовые решения в рамках рабочей программы дисциплины;
- **усвоение основной** литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- **знание** базовых теорий, концепций и направлений по изучаемой дисциплине;
- **самостоятельная работа** на практических и лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, **достаточный уровень культуры** исполнения заданий.

Продвинутый уровень (общие характеристики):

- **достаточно** полные и систематизированные знания в объеме программы дисциплины;
- использование основной терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- **владение** инструментарием дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- **способность** самостоятельно решать сложные задачи (проблемы) в рамках рабочей программы дисциплины;
- **усвоение основной и дополнительной** литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- **умение ориентироваться в базовых** теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- **самостоятельная работа** на практических и лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, **высокий уровень культуры** исполнения заданий.

Высокий уровень (общие характеристики):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины;

- точное использование терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать **обоснованные** выводы;
- **безупречное владение** инструментарием дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- **способность** самостоятельно и творчески решать сложные задачи (проблемы) в рамках рабочей программы дисциплины;
- **полное и глубокое усвоение основной и дополнительной** литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- **умение ориентироваться в основных** теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- **активная самостоятельная работа** на практических и лабораторных занятиях, **творческое** участие в групповых обсуждениях, **высокий уровень культуры** исполнения заданий.

3.2 Описание процедуры выставления оценки

В зависимости от уровня сформированности каждой компетенции по окончании освоения дисциплины студенту выставляется оценка. Для дисциплин, изучаемых в течение нескольких семестров, оценка может выставляться не только по окончании ее освоения, но и в промежуточных семестрах. Вид оценки («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», «зачтено», «незачтено») определяется рабочей программой дисциплины в соответствии с учебным планом.

Оценка «отлично» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована на высоком уровне.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на продвинутом уровне.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, у которого хотя бы одна компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «зачет» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, у которого хотя бы одна компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована ниже, чем на пороговом уровне.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Интегральная электроника»

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.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

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.

Также для подбора учебной литературы можно рекомендовать следующие интернет-ресурсы:

1. **Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»** (www.biblioclub.ru) - электронная библиотека, обеспечивающая доступ к наиболее

востребованным материалам-первоисточникам, учебной, научной и художественной литературе ведущих издательств (*регистрация в электронной библиотеке – только в сети университета. После регистрации работа с системой возможна с любой точки доступа в Internet.).

2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (<http://window.edu.ru/library>).

Целью создания информационной системы "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (ИС "Единое окно ") является обеспечение свободного доступа к интегральному каталогу образовательных интернет-ресурсов и к электронной библиотеке учебно-методических материалов для общего и профессионального образования.

Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" создана по заказу Федерального агентства по образованию в 2005-2008 гг. Главной разработчик проекта - Федеральное государственное автономное учреждение Государственный научно-исследовательский институт информационных технологий и телекоммуникаций (ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика") www.informika.ru.

ИС "Единое окно" объединяет в единое информационное пространство электронные ресурсы свободного доступа для всех уровней образования в России. Разделы этой системы:

Электронная библиотека – является крупнейшим в российском сегменте Интернета хранилищем полнотекстовых версий учебных, учебно-методических и научных материалов с открытым доступом. Библиотека содержит более 30 000 материалов, источниками которых являются более трехсот российских вузов и других образовательных и научных учреждений. Основу наполнения библиотеки составляют электронные версии учебно-методических материалов, подготовленные в вузах, прошедшие рецензирование и рекомендованные к использованию советами факультетов, учебно-методическими комиссиями и другими вузовскими структурами, осуществляющими контроль учебно-методической деятельности.

Интегральный каталог образовательных интернет-ресурсов содержит представленные в стандартизированной форме метаданные внешних ресурсов, а также содержит описания полнотекстовых публикаций электронной библиотеки. Общий объем каталога превышает 56 000 метаописаний (из них около 25 000 - внешние ресурсы). Расширенный поиск в "Каталоге" осуществляется по названию, автору, аннотации, ключевым словам с возможной фильтрацией по тематике, предмету, типу материала, уровню образования и аудитории.

Избранное. В разделе представлены подборки наиболее содержательных и полезных, по мнению редакции, интернет-ресурсов для общего и профессионального образования.

Библиотеки вузов. Раздел содержит подборки сайтов вузовских библиотек, электронных каталогов библиотек вузов и полнотекстовых электронных библиотек вузов.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

1. Личный кабинет (http://lib.uniyl.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) 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) 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.