

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 26.10.2023 14:24:49  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**  
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)»**

---

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**ДИСЦИПЛИНЫ**

**«МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»**

**для подготовки бакалавров**

**по направлению**

**11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»**

**по профилю**

**«Физическая электроника»**

Санкт-Петербург

2022

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.ф.-м.н., доцент Михайлов Н.И.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭТ  
07.06.2022, протокол № 6

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФЭЛ, 16.06.2022, протокол № 03/22

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра	ФЭТ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	4
Курс	4
Семестр	7
<b>Виды занятий</b>	
Лекции (академ. часов)	34
Лабораторные занятия (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	34
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	86
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	58
Всего (академ. часов)	144
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Экзамен (курс)	4

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»**

Основной целью изучения дисциплины "Микро-и наноэлектроника" является изучение основных характеристик и параметров интегральных структур и микросхем на их основе. В дисциплине рассматривается классификация интегральных микросхем по технологическим, функциональным, элементным признакам, преимущества и недостатки различных видов ИМС. Изучаются базовые элементы и схемотехнические структуры традиционной микроэлектроники, как на основе кремниевой электроники, так и на основе широкозонных полупроводников и гетероструктур, а также перспективные элементы наноэлектроники, их конструкторско-технологические особенности, физические принципы работы, функциональные и схемотехнические возможности. Рассматриваются физические и технологические факторы, определяющие предельные возможности современной микро и наноэлектроники. Особое внимание уделяется фундаментальным ограничениям на плотность размещения элементов и оптимизации степени интеграции микросхем.

## **SUBJECT SUMMARY**

### **«MICRO-AND NANOELECTRONICS»**

The main goal of studying the discipline "Micro-and nanoelectronics" is to study the main characteristics and parameters of integrated structures and microcircuits based on them. The discipline considers the classification of integrated circuits for technological, functional, elemental features, advantages and disadvantages of different types of IC. Basic elements and circuit structures of traditional microelectronics are studied, both on the basis of silicon electronics and on the basis of wide-band semiconductors and heterostructures, as well as promising elements of nanoelectronics, their design and technological features, physical principles of operation,

functional and circuitry capabilities. The physical and technological factors that determine the ultimate capabilities of modern micro and nanoelectronics are considered. Particular attention is paid to the fundamental limitations on the density of the placement of elements and optimization of the degree of integration of microchips.

## **3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **3.1 Цели и задачи дисциплины**

1. Целью данной дисциплины является формирование у учащегося знаний, умений и навыков в области микро-и наноэлектроники.
2. Задачей дисциплины является формирование у студентов компетенций, связанных с основами функционирования базовых элементов и схемотехнических структур традиционной микро-и наноэлектроники.
3. В результате освоения дисциплины учащиеся получают знания о современных направлениях развития микро-и наноэлектроники, физических и технологических ограничениях на предельные параметры устройств интегральной микро-и наноэлектроники, конструкторско-технологических особенностях и физических принципах работы базовых структурных элементов, их функциональных и схемотехнических возможностях.
4. В результате освоения дисциплины будут сформированы умения, позволяющие осуществлять анализ основных конструкторско-технологических решений, используемых при создании интегральных схем, обладать знаниями и умениями выбрать необходимые активные и пассивные структуры для создания элементов микро-и наноэлектроники, а также технологические приемы производства интегральных микросхем. Количественно и качественно оценивать параметры активных элементов, анализировать свойства и предельные возможности различных типов интегральных схем и устройств микро и наноэлектроники.
5. В результате освоения дисциплины учащиеся приобретут навыки экспериментальных исследований, компьютерного моделирования базовых интегральных структур и элементов.

### **3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Материалы электронной техники»
2. «Квантовая механика и статистическая физика»
3. «Компоненты электронной техники»
4. «Введение в современные технологии микро-и нанoeлектроники»
5. «Физико-химические основы технологии изделий электроники и нанoeлектроники»
6. «Аналоговая схемотехника»
7. «Микроволновая электроника»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Производственная практика (производственно-технологическая практика)»
2. «Производственная практика (преддипломная практика)»
3. «Физические основы функциональной электроники»

### 3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

<b>Код компетенции/ индикатора компетенции</b>	<b>Наименование компетенции/индикатора компетенции</b>
ПК-8	Способен к эксплуатации измерительного, диагностического, технологического оборудования
<i>ПК-8.1</i>	<i>Знает функциональные возможности электронного оборудования</i>
<i>ПК-8.3</i>	<i>Владеет навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования</i>
ПК-9	Способен осуществлять настройку, поверку и контроль электронного оборудования
<i>ПК-9.1</i>	<i>Знает принципы поверки, настройки и калибровки измерительной и тестовой аппаратуры</i>



## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Содержание разделов дисциплины

#### 4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	1				0
2	Основные этапы развития интегральной микроэлектроники.	2	2	1		1
3	Интегральные схемы на основе биполярных транзисторных структур.	4	4	2		8
4	Интегральные схемы на основе полевых транзисторных структур.	3	3	1		7
5	Базовые элементы ИС на основе широкозонных полупроводников и гетероструктур.	4	4	2		8
6	Интегральные схемы памяти.	4	4	2	1	7
7	Микропроцессоры и программируемые интегральные схемы.	5	5	3		7
8	Интегральные схемы функциональной микроэлектроники	5	6	3		10
9	Основные направления развития элементной базы ианоэлектроники.	5	6	3		10
10	Заключение	1				0
	Итого, ач	34	34	17	1	58
	Из них ач на контроль	0	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	144/4				

#### 4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Структура, содержание и задачи дисциплины.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
2	Основные этапы развития интегральной микроэлектроники.	Основные понятия и определения микроэлектроники. Терминология микроэлектроники. Важнейшие исторические вехи микроэлектроники. Интегральные схемы -основа микроэлектроники. Классификация ИС и базовых элементов микроэлектроники. Пассивные и активные элементы полупроводниковых и гибридных интегральных схем. Основные технологические этапы изготовления современных ИС, особенности планарной технологии. Предельные возможности классической микроэлектроники и перспективные направления развития современной микро-и наномикроэлектроники. Прогнозы развития полупроводниковой технологии.
3	Интегральные схемы на основе биполярных транзисторных структур.	Особенности конструкции и технологии создания биполярных транзисторных структур для ИС. Физические процессы в субмикронных биполярных транзисторных структурах. Основные типы ИС на основе биполярных транзисторных структур. Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторные структуры. Транзисторные структуры для схем интегральной инжекционной логики (ИЭЛ). Логическая ячейка на элементах с инжекционным питанием. Транзисторно-транзисторные структуры и элементы с эмиттерной связью как основа для построения логических интегральных микросхем среднего и высокого быстродействия.
4	Интегральные схемы на основе полевых транзисторных структур.	Разновидности полевых транзисторных структур ИС. Особенности конструкции и технологии создания МДП транзисторных структур для ИС. Физические процессы в субмикронных МДП транзисторных структурах. Масштабная миниатюризация МДП транзисторов. Ограничения по степени миниатюризации. Основные типы ИС на основе МДП транзисторных структур. Базовые элементы логических и аналоговых ИС. Особенности конструкции и технологии создания КМОП ИС. Особенности реализации МДП транзисторных структур на основе гетероструктур.
5	Базовые элементы ИС на основе широкозонных полупроводников и гетероструктур.	Элементы ИС на основе гетеропереходов. Биполярные гетеротранзисторы. Транзисторы на двумерном электронном газе (НЕМТ). Полевые транзисторы с затвором Шоттки (ПТШ). Технологические особенности изготовления ПТШ на основе соединений АЗВ5. Методы самосовещания и самоформирования при изготовлении элементов ИС. Основные типы ИС на основе полевых транзисторов с затвором Шоттки. Особенности реализации СВЧ ИС: активные и пассивные элементы схемы, вопросы согласования импедансов, электромагнитная связь. Область применения ИС СВЧ: спутниковая связь и телевидение, сотовая связь, РЛС-различного назначения.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
6	Интегральные схемы памяти.	Элементы памяти на биполярных и МДП-структурах. Классификация запоминающих устройств. Бистабильные ячейки и триггеры. Динамические и статические оперативные запоминающие устройства. Полупроводниковые структуры для постоянных запоминающих устройств. Интегральные схемы памяти на основе транзисторных структур с плавающим затвором, физическая структура, особенности работы. Flash память. Элементы памяти на основе новых материалов и физических явлениях.
7	Микропроцессоры и программируемые интегральные схемы.	Структура микропроцессора. Сравнение микропроцессоров по типу и числу используемых интегральных схем. Кэш-память и другие элементы процессоров. Особенности микросхемных схем. используемых в чипсетах со временных персональных компьютеров. Микросхемные схемы (тэги) и системы радиочастотной идентификации (RFID). Частоты и стандарты RFID, отличия в устройстве тэгов и систем RFID. Антенны и тэги RFID. Применение RFID. Базовый матричный кристалл. Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Программируемые (коммутируемые) логические блоки, их устройство и принципы функционирования. Схемы элементов ПЛИС. Принципы программирования ПЛИС. Системы на кристалле (СнК). Аналоговые и логические СнК. Элементы СнК, выходные каскады и другие функциональные блоки. Микропроцессорные, контроллерные и иные СнК. Лаборатории на кристаллах, основные типы и применение.
8	Интегральные схемы функциональной микроэлектроники	Интегральные схемы на основе приборов с зарядовой связью. ПЗС-матрицы для формирования изображений, принцип действия, конструкторско-технологические особенности реализации. Формирование цветного изображения с помощью ПЗС. Светочувствительные матрицы на основе КМОП ИС. Активный пиксель на основе КМОП структур. Волны пространственного заряда (ВПЗ) в полупроводниковых структурах АЗВ5 как основа для создания устройств функциональной микроэлектроники. Усилитель бегущей волны. Функциональные элементы на основе ВПЗ. Устройства на поверхностных акустических волнах (ПАВ): принцип действия, основные элементы конструкции, область применения.

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
9	Основные направления развития элементной базы микроэлектроники.	Ограничения и предельные возможности полупроводниковой микроэлектроники и перспективные направления развития микроэлектроники. Принципы построения нанотранзисторов. Проблемы, связанные с проектированием и моделированием элементов и приборов на основе наноструктур. Функциональные элементы ИС на основе наноразмерных структур. Одноэлектронные наноструктуры. Квантовые проводники и квантовые точки. Углеродные нанотрубки. Конструкции одноэлектронного транзистора. Интегральные логические элементы и элементы памяти на основе одноэлектронных структур. Проблемы построения интегральных устройств на основе одноэлектронных транзисторов. Перспективные направления развития микроэлектроники: Биомикроэлектроника - базовая архитектура бионических наноструктур, функциональные элементы биомикроэлектроники. Спинволновая микроэлектроника - магнитные полуметаллы, магнитные полупроводники, эффект гигантского магнитосопротивления и его практическое применение, магнитная память. Органическая микроэлектроника - органические проводящие и полупроводящие материалы; устройства органической микроэлектроники: органические датчики, фотодиоды «гальванические элементы, органический транзистор и устройство памяти.
10	Заключение	Общие перспективы развития микро- и микроэлектроники

## 4.2 Перечень лабораторных работ

<b>Наименование лабораторной работы</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
1. Компьютерное моделирование полупроводниковых структур, содержащих барьер Шоттки (ПТШ)	4
2. Компьютерное моделирование элемента интегральных схем на МДП-структурах.	5
3. Компьютерное моделирование интегральной схемы усилителя на волнах пространственного заряда	4
4. Исследование АЧХ интегральной схемы усилителя бегущей волны	4
Итого	17

## 4.3 Перечень практических занятий

<b>Наименование практических занятий</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
1. Условные обозначения и маркировка ИС на корпусе и кристалле. Классификация ИС.	2

<b>Наименование практических занятий</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
2. Физические и технологические ограничения интеграции и миниатюризации. Вазовые технологические процессы в производстве ИС.	3
3. Основные типы ИС на основе биполярных транзисторных структур.	3
4. Особенности конструкции и технологии создания КМОП ИС.	3
5. Транзисторные структуры интегральных схем на основе гетероструктур.	3
6. Особенности реализации СВЧ ИС.	3
7. Интегральные схемы памяти на основе транзисторных структур с плавающим затвором, физическая структура, особенности работы. Flash память.	3
8. Особенности применения материала GaAs в высокочастотной электронике.	3
9. Транзисторные структуры ИС.	3
10. Устройства функциональной электроники: ПЗС, ПАВ.	3
11. Функциональные элементы ИС на основе наноразмерных структур	3
12. Перспективные направления развития нанoeлектроники	2
Итого	34

#### **4.4 Курсовое проектирование**

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

#### **4.5 Реферат**

Реферат не предусмотрен.

#### **4.6 Индивидуальное домашнее задание**

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

#### **4.7 Доклад**

Доклад не предусмотрен.

#### **4.8 Кейс**

Кейс не предусмотрен.

#### **4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Самостоятельное изучение студентами теоретических основ дисциплины обеспечено необходимыми учебно-методическими материалами (учебники, учебные пособия, конспект лекций и т.п.), выполненными в печатном или электронном виде.

Изучение студентами дисциплины сопровождается проведением регулярных консультаций преподавателей, обеспечивающих практические занятия по дисциплине, за счет бюджета времени, отводимого на консультации (внеаудиторные занятия, относящиеся к разделу «Самостоятельные часы для изучения

дисциплины»).

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	7
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	8
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	8
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>58</b>

## 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библи.
Основная литература		
1	Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы : учебное пособие для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин, 2023. -480 с. -Текст : электронный.	неогр.
2	Кондрашов, Александр Викторович. Контакты в структурах полупроводниковой микроэлектроники : электрон. учеб. пособие / А. В. Кондрашов, Н. И. Михайлов, В. В. Перепеловский, 2020. -1 эл. опт. диск (CD-ROM).	неогр.
3	Кондрашов, Александр Викторович. Элементы микро-и наноэлектроники : электрон. лаб. практикум / А. В. Кондрашов, Н. И. Михайлов, В. В. Перепеловский, 2020. -1 эл. опт. диск (CD-ROM).	неогр.
4	Вендик, Орест Генрихович. Микроэлектроника : Конспект лекций / О.Г. Вендик, С.П. Зубко, 2003. -127 с.	92
5	Степаненко, Игорь Павлович. Основы микроэлектроники : [Учеб. пособие для вузов] / И.П. Степаненко, 2003. -488 с.	30
6	Барыбин, Анатолий Андреевич. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлениям 550700 и 654100 "Электроника и микроэлектроника" подгот. бакалавров, магистров и диплом. специалистов / А.А. Барыбин, 2006. -423 с.	197
7	Александров, Олег Викторович. Технологические процессы изготовления СБИС : учеб. пособие / О.В. Александров, 2005. -56 с.	31
8	Перепеловский, Вадим Всеволодович. Разработка электронных устройств в среде Synopsys® Sentaurus TCAD : лаб. практикум / В.В. Перепеловский, Н.И. Михайлов, В.В. Марочкин, 2010. -45 с.	64
Дополнительная литература		
1	Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов [Текст] : в 2 кн. Кн. 2, 1984. -455 с.	105
2	Барыбин, Анатолий Андреевич. Волны в тонкопленочных полупроводниковых структурах с горячими электронами [Текст] : рекомендовано Мин.образования / А. А. Барыбин, 1986. -288 с.	4
3	Иванов, Борис Викторович. Исследование полупроводниковых приборов : электрон. учеб. пособие / Б. В. Иванов, А. Е. Синева, А. Д. Тупицын, 2019. -1 эл. опт. диск (CD-ROM).	неогр.
4	Марголин В. И. Введение в нанотехнологию : учебник / В. И. Марголин, В. А. Жабрив, Г. Н. Лукьянов, В. А. Тупик, 2022. -464 с. -Текст : электронный.	неогр.



№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библи.
5	Марголин, Владимир Игоревич. Физические основы микроэлектроники : учеб. для вузов по специальности "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" направления подгот. "Проектирование и технология электронных средств" / В.И. Марголин, В.А. Жабрев, В.А. Тупик, 2008. -399 с.	143
6	Арсенид галлия в микроэлектронике / У. Уиссмен, У. Френсли, У. Дункан [и др.] ; под ред. Н. Айнспрука, У. Уиссмена ; пер. с англ., под ред. В. Н. Мордковича, 1988. -555 с.	5
7	Красильников, Владимир Александрович. Введение в физическую акустику [Текст] : учеб. пособие для физ. специальностей вузов / В.А. Красильников, В.В. Крылов ; под ред. В.А. Красильникова, 1984. -400 с.	122

## 5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Электронные компоненты и радиодетали для радиолюбителей <a href="http://chipinfo.ru">http://chipinfo.ru</a>

## 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=14863>

## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Микро- и наноэлектроника» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

#### Экзамен

<b>Оценка</b>	<b>Описание</b>
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

## Особенности допуска

Учащийся допускается к экзамену в случае достаточного количества посещенных занятий (не менее 80% лекционных занятий), выполнения всех практических занятий и лабораторных работ.

Экзамен проводится по билетам.

## 6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Базовые логические элементы ИС на К-МОП транзисторах: элемент «И-НЕ»-электрическая схема, принцип действия, основные характеристики.
2	Базовые логические элементы ИС на МДП транзисторах. Элемент «ИЛИ-НЕ»на основе однотипных транзисторных структур: электрическая схема, принцип действия, основные характеристики.
3	Базовые логические элементы ИС на МДП транзисторах. Элементы «ИЛИ-НЕ», «И-НЕ» на основе однотипных транзисторных структур: электрическая схема, принцип действия, основные характеристики.
4	Базовый элемент СВЧ ИС -полевой транзистор с барьером Шотки (ПТШ): структура, принцип действия. Нормально открытый и нормально закрытый ПТШ.
5	Базовый элемент СВЧ ИС -полевой транзистор с барьером Шотки (ПТШ): структура, принцип действия, причины высокой подвижности электронов.
6	Базовый элемент СВЧ ИС -полевой транзистор с высокой подвижностью электронов (НЕМТ). Структура, особенности конструкции, причины высокой подвижности электронов.
7	Базовый элемент современных ИС -МДП транзистор с субмикронными размерами: ограничение подвижности и дрейфовой скорости электронов в сильных электрических полях.
8	Базовый элемент современных ИС -МДП транзисторов с индуцированным каналом: пороговое напряжение, электрическая прочность.
9	Базовый элемент современных ИС -МДП транзисторов с индуцированным каналом: ток насыщения, крутизна, быстродействие.
10	Инвертор на основе К-МОП транзисторов. Электрическая схема, принцип действия, основные характеристики.
11	Инвертор на основе однотипных МДП транзисторов. Электрическая схема и основные характеристики.
12	Интегральные схемы памяти динамического типа (DRAM). Принцип действия, операции : «хранение», «запись», «считывание».
13	Интегральные схемы памяти статического типа (SRAM). Электрическая схема, принцип действия, операции : «хранение», «запись», «считывание».

14	Классификация ИС по степени интеграции. Закон Мура. Прогноз развития микроэлектроники на ближайшие годы. (ITRS – International Technology
15	Классификация ИС по типу элементов и технологии. Базовые транзисторные структуры интегральных схем. Структура, особенности работы.
16	Классификация ИС по функциональному назначению: цифровые и аналоговые ИС, требования к активным элементам.
17	К-МОП матрицы в качестве светочувствительных элементов (APS-Active Pixel Sensor). Принцип действия, схема, сравнение характеристик с ПЗС.
18	Логические элементы «И-НЕ» и «ИЛИ-НЕ» на однотипных МДП транзисторах.
19	Масштабная микроминиатюризация интегральных схем. Основные принципы. Современные проблемы уменьшения МДП структур.
20	Основные методы формирования цветного изображения в ПЗС матрицах. Трехматричные системы, матрицы с мозаичными фильтрами.
21	Основные направления развития микроэлектроники. Классификация ИС: степень интеграции, гибридные и монокристаллические ИС.
22	Основные технологические процессы при изготовлении полупроводниковых ИС. Отличие технологии интегральных схем на основе биполярных и МДП структур.
23	Основные технологические процессы при изготовлении полупроводниковых ИС. Получение рисунка ИС с помощью литографии. Физический предел разрешающей способности литографии.
24	Основные этапы развития микроэлектроники. Причины интенсивного развития микроэлектроники. Функциональная электроника.
25	Особенности конструкции КМОП инверторов. Борьба с эффектом защелкивания
26	Особенности МДП транзисторов с субмикронными размерами: влияние геометрических размеров на пороговое напряжение.
27	Особенности МДП транзисторов с субмикронными размерами: влияние эффекта «горячих» электронов на параметры транзистора.
28	Отличие технологии интегральных схем на основе биполярных и МДП структур.
29	Перспективные энергонезависимые элементы памяти для ИС на основе новых структур: M-RAM, CB-RAM. Электрическая схема, структура.
30	Перспективные энергонезависимые элементы памяти на основе новых структур: SONOS. Структура, принцип действия, энергетическая диаграмма.
31	Приборы с зарядовой связью (ПЗС). Принцип действия, основные элементы конструкции, временные масштабы процессов в ПЗС. Максимальная и минимальная тактовые частоты.
32	Приборы с зарядовой связью (ПЗС). Принцип действия, основные элементы конструкции, перемещение заряда в ПЗС – 3х фазная система.
33	Сравнительная характеристика кремния и арсенида галлия как материала для современной микроэлектроники.
34	Технологические особенности создания ПТШ на арсениде галлия. Достоинства и недостатки арсенида галлия.
35	Усилитель бегущей волны как базовый элемент функциональной СВЧ микроэлектроники: принцип действия, элементы конструкции
36	Функциональная микро и наноэлектроника. Распространение волн пространственного заряда в усилителе бегущей волны. Влияние диффузии и граничных условий на амплитудно-частотную характеристику.

37	Энергонезависимые элементы памяти для ИС на основе мемристоров (Re-RAM). Структура, принцип действия, перспективы.
38	Энергонезависимые элементы памяти на основе МДП структур. Конструкция, принцип действия, основные характеристики. Флеш -память.
39	Энергонезависимые элементы памяти: E2 P ROM – flash-память. Архитектура NOR, NAND, многоуровневые ячейки (MLC).
40	Энергонезависимые элементы памяти: E2 P ROM – flash-память. Операции «запись», «стирание», «хранение» -пояснить с помощью энергетических диаграмм.

## Форма билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

---

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Дисциплина **Микро- и наноэлектроника ФЭЛ**

1. Логические элементы «И-НЕ» и «ИЛИ-НЕ» на одноступенчатых МДП транзисторах..
2. Энергонезависимые элементы памяти для ИС на основе мемристоров (Re-RAM). Структура, принцип действия, перспективы.
3. Задача.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.А. Семенов

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

### 6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	<p>Основные этапы развития интегральной микроэлектроники.</p> <p>Интегральные схемы на основе биполярных транзисторных структур.</p> <p>Интегральные схемы на основе полевых транзисторных структур.</p> <p>Базовые элементы ИС на основе широкозонных полупроводников и гетероструктур.</p> <p>Интегральные схемы памяти.</p> <p>Микропроцессоры и программируемые интегральные схемы.</p> <p>Интегральные схемы функциональной микроэлектроники</p> <p>Основные направления развития элементной базы микроэлектроники.</p>	
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		Практическая работа
10	<p>Основные этапы развития интегральной микроэлектроники.</p> <p>Интегральные схемы на основе биполярных транзисторных структур.</p> <p>Интегральные схемы на основе полевых транзисторных структур.</p> <p>Базовые элементы ИС на основе широкозонных полупроводников и гетероструктур.</p> <p>Интегральные схемы памяти.</p> <p>Микропроцессоры и программируемые интегральные схемы.</p> <p>Интегральные схемы функциональной микроэлектроники</p> <p>Основные направления развития элементной базы микроэлектроники.</p>	
11		
12		Отчет по лаб. работе
13	<p>Основные этапы развития интегральной микроэлектроники.</p> <p>Интегральные схемы на основе биполярных транзисторных структур.</p> <p>Интегральные схемы на основе полевых транзисторных структур.</p> <p>Базовые элементы ИС на основе широкозонных полупроводников и гетероструктур.</p> <p>Интегральные схемы памяти.</p> <p>Микропроцессоры и программируемые интегральные схемы.</p> <p>Интегральные схемы функциональной микроэлектроники</p> <p>Основные направления развития элементной базы микроэлектроники.</p>	
14		
15		
16		Коллоквиум

### 6.4 Методика текущего контроля

**на лекционных занятиях**

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80 % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

### **на лабораторных занятиях**

- Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты

В процессе обучения по дисциплине «**Микро- и нанoeлектроника**» студент обязан выполнить три лабораторные работы на выбор преподавателя. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение экспериментальных исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. После выполнения лабораторных работ предусматривается проведение коллоквиумов, на которых осуществляется защита лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется *в бригадах по 2 человека*. Оформление отчета студентами осуществляется *в количестве одного отчета на бригаду* в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения экспериментальных исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

Лабораторные работы защищаются студентами индивидуально. Каждый студент получает вопрос по теоретической части, или по процедуре проведения экспериментальных исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите лабораторной работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и уме-

ние объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных экспериментальных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении лабораторной работы.

Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем лабораторным работам, по результатам которой студент получает допуск на экзамен.

#### **на практических (семинарских) занятиях**

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

#### **самостоятельной работы студентов**

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лабораторных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.



## 7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, доска, экран, проектор, ноутбук или компьютер	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, компьютеры; рабочее место преподавателя.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше; 3) LabView
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, меловая или маркерная доска.	
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

## **8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

<b>№ п/п</b>	<b>Дата</b>	<b>Изменение</b>	<b>Дата и номер протокола заседания УМК</b>	<b>Автор</b>	<b>Начальник ОМОЛА</b>