

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Твердотельная микро- и нанoeлектроника

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И**  
**НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**


Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10.01.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 2;
Часов (всего) по учебному плану:	72 часа
Лекции	3 семестр - 16 часов;
Практические занятия	3 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	3 семестр - 39,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;

**Москва 2021**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70caf8f

(подпись)


И.Н.  
Мирошникова

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f


(подпись)

А.Д. Баринов

(расшифровка подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70caf8f

(подпись)

И.Н.  
Мирошникова

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования полученных знаний при создании приборов современной электроники и нанoeлектроники

### Задачи дисциплины

- Освоение способности учитывать физические основы полупроводниковых приборов современной электроники и нанoeлектроники;
- Развитие способности аргументированно выбирать информацию о принципах действия основных полупроводниковых приборов современной электроники и нанoeлектроники, особенностях приборов, изготовленных из различных полупроводниковых материалов.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов и / или интегральных схем	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники	знать: - Современные тенденции развития нанoeлектроники.
ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов и / или интегральных схем	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание методов контроля производства и исследования полупроводниковых структур	знать: - Методы контроля производства и исследования полупроводниковых структур; - Принципы работы устройств нанoeлектроники.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Твердотельная микро- и нанoeлектроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Физику полупроводников
- уметь Объяснить характеристики основных полупроводниковых приборов

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Вопросы масштабирования и предельные возможности получения СБИС на кремнии	8	3	2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение лекционного материала</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение литературы: [1] С. 60 – 61; [2] С. 7-19; 109 – 111; 177- 188.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], с. 4-19</p>	
1.1	Повышение интеграции	4		1	-	1	-	-	-	-	-	2	-		
1.2	Использование МДП транзисторов	4		1	-	1	-	-	-	-	-	2	-		
2	Нанолитография	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-		<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение литературы: [1] С. 128-145; 103 – 123; 128 - 132 [2] С. 69- 72; 74- 76; 83 - 88;</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение лекционного материала</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], с. 66-89 [5], с. 17-32</p>
2.1	Совершенствование фотолитографии	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-		
2.2	Нанолитография	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-		
3	Квантово-размерные структуры	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-		
3.1	Квантово-размерные структуры на основе гетеропереходов	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-		<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение лекционного материала</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение литературы: [1] С. 11 – 21; 41 – 45; 51-60 [2] С. 111 - 120</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с. 321-350 [4], с. 300-340</p>

4	Технологические методы создания КРС	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение лекционного материала
4.1	Технологические методы создания КРС	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение литературы: [1] С. 67- 84; 112 – 115; 236 – 242; 255 – 264; [2] С. 29 - 40; 49 - 54; 59 – 65; <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], с. 36-49
5	Будущее транзисторов	4	1	-	1	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b>
5.1	Будущее транзисторов	4	1	-	1	-	-	-	-	-	2	-	Изучение литературы: [1] С. 21- 27; 61 – 63; [2] С. 188 – 196; 212 - 219 <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение лекционного материала <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], с. 200-234
6	Оптоэлектронные приборы на основе КРС	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение лекционного материала
6.1	Оптоэлектронные приборы на основе КРС	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение литературы: [2] С. 316 – 319; [3] С. 282 - 286 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], с. 76-98
7	Спинтроника	4	1	-	1	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b>
7.1	Основы спинтроники и ее применение	4	1	-	1	-	-	-	-	-	2	-	Изучение литературы: [1] С. 33- 38; 267 – 296; 301 – 318; [2] С. 148 – 152; 205 – 211; 233 – 249 <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение лекционного материала <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [5], с. 264-298
8	Молекулярная электроника и биоэлектроника	8	2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение лекционного материала
8.1	Молекулярная электроника	4	1	-	1	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение литературы: [2] С. 152 – 161; 270 - 297

8.2	Нейроны и нейронные сети	4		1	-	1	-	-	-	-	-	2	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [5], с. 231-263
	Зачет с оценкой	18.0		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>72.0</b>		<b>16</b>	-	<b>16</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>22</b>	<b>17.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>72.0</b>		<b>16</b>	-	<b>16</b>	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>39.7</b>			

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Вопросы масштабирования и предельные возможности получения СБИС на кремнии

##### 1.1. Повышение интеграции

Повышение интеграции и уменьшение размеров элементов интегральных схем (ИС).. Физические ограничения пределов масштабирования..

##### 1.2. Использование МДП транзисторов

Преимущественное использование МДП транзисторов и взаимосвязанность масштабирования их размеров и параметров. Короткоканальные МДП транзисторы на кремнии и особенности физики их работы..

#### 2. Нанолитография

##### 2.1. Совершенствование фотолитографии

Экономические аспекты технологии ИС и совершенствование фотолитографии для получения приборов с размерами 0,1-0,25 мкм. Маски с фазовым сдвигом. Использование внеосевого освещения при масках с фазовым сдвигом..

##### 2.2. Нанолитография

Оптимизация выбора и предельные возможности электронной, рентгеновской литографии, литографии с использованием ионного пучка. Принципы работы сканирующего туннельного микроскопа и сканирующего атомно-силового микроскопа. Использование туннельного микроскопа для получения структур с нанометровыми размерами. Резисты для нанолитографии. Ионно лучевое легирование. Принципы работы. Фокусированное ионно-лучевое травление резистов. Получение субмикронных размеров..

#### 3. Квантово-размерные структуры

##### 3.1. Квантово-размерные структуры на основе гетеропереходов

Квантово-размерные структуры на основе гетеропереходов. Физические свойства квантовых ям, квантовых решеток, квантовых проволок и квантовых боксов. Энергетическое строение и плотности квантовых состояний. Типы композиционных сверхрешеток. пири-сверхрешетки. Физика резонансного туннелирования в КРС. Выбор материалов для создания квантово-размерных структур (КРС)..

#### 4. Технологические методы создания КРС

##### 4.1. Технологические методы создания КРС

Молекулярно-лучевая эпитаксия. Парофазная эпитаксия из металлоорганических соединений (МОС ПФЭ). Гибридные методы. Технология получения квантовых ям и квантовых сверхрешеток. Методы получения квантовых проволок и квантовых боксов. СВЧ приборы на основе КРС..

#### 5. Будущее транзисторов

##### 5.1. Будущее транзисторов

Транзисторы на горячих электронах (НЕМТ-транзисторы). Сравнение с транзисторами на арсениде галлия с барьером Шоттки. Предельные возможности. Вопросы баллистического переноса в транзисторах с туннелированием горячих электронов (Tunnelling Hot Electron Transfer Amplifiers – ТНЭТА). Квантовые боксы и одноэлектронные транзисторы..

## 6. Оптоэлектронные приборы на основе КРС

### 6.1. Оптоэлектронные приборы на основе КРС

Инжекционные лазеры. Физика работы и переход от приборов с p-n переходом к приборам с гетеропереходом и приборам на квантовых ямах, квантовых проволоках и квантовых боксах. Оптимизация конструкции и параметров. Лазеры с градиентным изменением коэффициента преломления материала в областях электронного и оптического ограничения. Лазерные диоды с распределенным брегговским отражателем. Фотоприемники на основе КРС. Лавинные фотодиоды. Фотодиоды на резонансном туннелировании, твердотельные фотоумножители. Лазерные усилительные диоды и модуляторы оптического излучения на КРС..

## 7. Спинтроника

### 7.1. Основы спинтроники и ее применение

Физические основы спинтроники. Магниторезисторы и датчики считывания с магнитных дисков. Элементы памяти на слоистых магнитных наноструктурах..

## 8. Молекулярная электроника и биоэлектроника

### 8.1. Молекулярная электроника

Электропроводность и передача информации в молекулах. Молекулярные кристаллы и полимеры. Молекулярные выпрямители и переключатели. Молекулярные проволоки. Молекулярные транзисторы и интегральные схемы..

### 8.2. Нейроны и нейронные сети

Нейроны и нейронные сети. Биосенсоры..

## **3.3. Темы практических занятий**

1. Молекулярная электроника и биоэлектроника;
2. Спинтроника;
3. Оптоэлектронные приборы на основе КРС;
4. Будущее транзисторов;
5. Технологические методы создания КРС;
6. Квантово-размерные структуры;
7. Нанолитография;
8. Вопросы масштабирования и предельные возможности получения СБИС на кремнии.

## **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

## **3.5 Консультации**

### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Разбор сложных тем

#### Текущий контроль (ТК)

1. Разбор типовых ошибок КМ
2. Разбор типовых ошибок КМ
3. Разбор типовых ошибок КМ
4. Разбор типовых ошибок КМ



5. Разбор типовых ошибок КМ
6. Разбор типовых ошибок КМ
7. Разбор типовых ошибок КМ

**3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**  
Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)								Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7	8		
<b>Знать:</b>											
Современные тенденции развития нанoeлектроники	ИД-1пк-1	+					+				Тестирование/Контрольная работа № 1 Тестирование/Контрольная работа № 2 Контрольная работа/Контрольная работа № 3 Контрольная работа/Контрольная работа № 4
Принципы работы устройств нанoeлектроники	ИД-2пк-1	+		+				+	+	+	Тестирование/Контрольная работа № 1 Тестирование/Контрольная работа № 2 Контрольная работа/Контрольная работа № 3 Контрольная работа/Контрольная работа № 4
Методы контроля производства и исследования полупроводниковых структур	ИД-2пк-1		+		+						Тестирование/Контрольная работа № 1 Тестирование/Контрольная работа № 2

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **3 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа № 1 (Тестирование)
2. Контрольная работа № 2 (Тестирование)
3. Контрольная работа № 3 (Контрольная работа)
4. Контрольная работа № 4 (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

Оценка за освоение дисциплины определяется как: оценка, полученная на основании семестровой и зачётной составляющих согласно системе БАРС

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова . – 4-е изд., стер . – М. : Лань-Пресс, 2010 . – 400 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-0922-8 .;
2. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии : учебное пособие для старших курсов вузов / В. Л. Миронов, Ин-т физики микроструктур Рос. акад. наук . – М. : Техносфера, 2004 . – 144 с. – (Мир физики и техники) . - ISBN 5-948360-34-2 .;
3. Зебрев, Г. И. Физические основы кремниевой наноэлектроники : учебное пособие / Г. И. Зебрев . – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011 . – 240 с. – (Нанотехнологии) . - ISBN 978-5-9963-0181-2 .;
4. Шалимова К. В.- "Физика полупроводников", (4-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2022 - (384 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/210524>;
5. Наноэлектроника: теория и практика : учебное пособие для вузов по специальностям "Микро- и наноэлектронные технологии и системы" и "Квантовые информационные системы" / В. Е. Борисенко, [и др.] . – 2-е изд. перераб. и доп . – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013 . – 366 с. – (Учебник для высшей школы) . - ISBN 978-5-9963-1015-9 ..

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-302, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой	стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для консультирования	К-109/1, Кабинет сотрудников каф. "ЭиН"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол для работы с документами, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, стол для совещаний, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, оборудование для экспериментов, компьютер персональный, документы, книги, учебники, пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	К-115, Склад каф. "ЭиН"	стеллаж, инвентарь учебный

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники

(название дисциплины)

#### 3 семестр

#### Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольная работа № 1 (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа № 2 (Тестирование)
- КМ-3 Контрольная работа № 3 (Контрольная работа)
- КМ-4 Контрольная работа № 4 (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	Вопросы масштабирования и предельные возможности получения СБИС на кремнии					
1.1	Повышение интеграции		+	+	+	+
1.2	Использование МДП транзисторов		+	+	+	+
2	Нанолитография					
2.1	Совершенствование фотолитографии		+	+		
2.2	Нанолитография		+	+		
3	Квантово-размерные структуры					
3.1	Квантово-размерные структуры на основе гетеропереходов		+	+	+	+
4	Технологические методы создания КРС					
4.1	Технологические методы создания КРС		+	+		
5	Будущее транзисторов					
5.1	Будущее транзисторов		+	+	+	+
6	Оптоэлектронные приборы на основе КРС					
6.1	Оптоэлектронные приборы на основе КРС		+	+	+	+
7	Спинтроника					

7.1	Основы спинтроники и ее применение	+	+	+	+
8	Молекулярная электроника и биоэлектроника				
8.1	Молекулярная электроника	+	+	+	+
8.2	Нейроны и нейронные сети	+	+	+	+
Вес КМ, %:		25	25	25	25