

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

---

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Микроэлектроника и твердотельная электроника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**НАНОЭЛЕКТРОНИКА**

|   |   |
|---|---|
| <b>Блок:</b>  | <b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>                             |
| <b>Часть образовательной программы:</b>   | <b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b> |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>  | <b>Б1.Ч.01.09</b>   |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>  | <b>7 семестр - 3;</b>   |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>   | <b>108 часов</b>  |
| <b>Лекции</b>   | <b>7 семестр - 32 часа;</b>                                     |
| <b>Практические занятия</b>   | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Лабораторные работы</b>  | <b>7 семестр - 16 часов;</b>                                    |
| <b>Консультации</b>   | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>Самостоятельная работа</b>   | <b>7 семестр - 59,7 часа;</b>                                   |
| <b>в том числе на КП/КР</b>   | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Иная контактная работа</b>   | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>включая:</b><br><b>Контрольная работа</b><br><b>Лабораторная работа</b><br><b>Тестирование</b> |   |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>  |   |
| <b>Зачет с оценкой</b>  | <b>7 семестр - 0,3 часа;</b>                                    |

**Москва 2026**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

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

И.Н.  
Мирошникова

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

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

А.Д. Баринов

Заведующий выпускающей  
кафедрой

|   |  |                            |
|---|--|----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                            |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                            |
|   | Владелец   | Зезин Д.А.                 |
|   | Идентификатор                                      | Re7522a00-ZezinDA-ba8dbd73 |

Д.А. Зезин

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Изучение научной основы для осознанного и целенаправленного использования полученных знаний при создании элементов, приборов и устройств микроэлектроники и наноэлектроники.

### Задачи дисциплины

- расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения законов физики низкоразмерных полупроводниковых структур для последующего использования их при создании приборов наноэлектроники, твердотельной электроники и в технологии микро- и наноэлектроники.

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-2 Способен осуществлять расчет и проектирование полупроводниковых приборов и устройств, проводить моделирование и анализ с использованием средств автоматизации проектирования | ИД-1ПК-2 Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов | знать:<br>- физические основы работы приборов наноэлектроники;<br>- эффективные методики экспериментального исследования параметров и характеристик наноструктур различного функционального назначения;<br>- современные тенденции развития наноэлектроники.<br><br>уметь:<br>- аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик структур электроники и наноэлектроники различного функционального назначения. |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Микроэлектроника и твердотельная электроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Основы квантовой физики
- уметь Решать дифференциальные уравнения второго порядка

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 3 зачетных единицы, 108 часов.

| № 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     | Основные понятия нанoeлектроники                       | 16                    | 7       | 4  | -   | -  | -            | - | -   | -  | -  | 12                | -                                 | <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br>Изучение литературы: [1] С. 11-61 или [2] С. 13-28; 109-120; 177-188; [5] С. 27-35<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], 46, 47, 50<br>[2], 7-29, 110-112, 178-189 |   |
| 1.1   | Введение   | 16                    |         | 4  | -   | -  | -            | - | -   | -  | -  | 12                | -                                 |   |   |
| 2     | Подглядываем и создаем                                 | 27                    |         | 4  | 8   | -  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 15                                | -   | <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Повторение материала по методам определения элементного состава: Оже-электронной спектроскопии, рентгеновской и ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии<br><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br>Изучение литературы: 1] С. 64-179; или [2] С. 29-47; 59- 65; 69- 74; 83-88; [3] С. 7-110; [5] С. 59<br><b><u>Проведение исследований:</u></b> Освоение работы на сканирующем туннельном и атомно-силовом микроскопе<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], 58-68<br>[2], 70-89<br>[3], 13-15, 59-67, 81-89, 92-94, 101-110<br>[4], стр. 15-30 |
| 2.1   | Хронология развития микроскопии                        | 5                     |         | 2  | -   | -  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 3                                 | -   |   |
| 2.2   | Методы исследования наноструктур                       | 22                    |         | 2  | 8   | -  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 12                                | -   |   |
| 3     | Нанотехнологии   | 20                    |         | 2  | 8   | -  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 10                                | -   |   |
| 3.1   | Методы получения                                       | 20                    | 2       | 8  | -   | -  | -            | - | -   | -  | -  | 10                | -                                 | <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Изучение лекционного материала  |   |

|     |   |      |   |   |   |   |   |   |   |   |      |   |   |
|-----|---|------|---|---|---|---|---|---|---|---|------|---|---|
|     | наноструктур  |      |   |   |   |   |   |   |   |   |      |   | <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br>Изучение литературы: [2] С. 29-48; 88-96;<br>[5] С. 59-67<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], 51, 58, 68-122<br>[2], 30-70, 89-96, 106-109 |
| 4   | Молекулярная элементная база наноэлектроники              | 4    | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 2    | - | <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br>Изучение литературы: [6] С. 8-19<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>   |
| 4.1 | Квантово-механический взгляд на строение молекул          | 4    | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 2    | - | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], 122-128<br>[2], 125-128, 154-164, 200-206, 270-285, 285-295  |
| 5   | Физика наноструктур                                       | 10.0 | 8 | - | - | - | - | - | - | - | 2.0  | - | <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b>  |
| 5.1 | Квантовая механика – основа физики наноразмерных структур | 2.5  | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 0.5  | - | Повторение материала по основным свойствам полупроводников, гетероструктурам, двумерным, одномерным и нульмерным структурам.  |
| 5.2 | Основные свойства полупроводников                         | 2.5  | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 0.5  | - | <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br>Изучение литературы: [2] С. 120-144.   |
| 5.3 | Гетероструктура   | 2.5  | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 0.5  | - | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>  |
| 5.4 | Углерод – уникальный химический элемент                   | 2.5  | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 0.5  | - | [1], 9-11, 2--25, 13-14, 31-33, 38-46<br>[2], 112-120-144   |
| 6   | Динамика электронов в электромагнитном поле               | 4    | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 2    | - | <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Повторение лекционного материала по эффекту Холла   |
| 6.1 | Эффект Холла  | 4    | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 2    | - | <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br>Изучение литературы: [1] С. 198-210; [5] С. 36-37<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>  |
| 7   | Применение квантово-размерных                             | 14.7 | 4 | - | - | - | - | - | - | - | 10.7 | - | <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Повторение материала по применению  |

|      |   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |
|------|---|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|---|
|      | структур в приборах микро- и наноэлектроники    |     |     |   |   |   |   |   |   |   |     |   | квантово-размерных структур в приборах оптоэлектроники, по приборам на основе баллистического транспорта  |
| 7.1  | Оптические свойства квантоворазмерных структур  | 8.7 | 1   | - | - | - | - | - | - | - | 7.7 | - | <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br>Изучение литературы: [1] С. 216-267, 278-318 или [2] С. 148-152; 184, 188-198; 209-233; 243-248; [5] С. 40-58; 68-76   |
| 7.2  | Баллистическая проводимость                     | 2   | 1   | - | - | - | - | - | - | - | 1   | - | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], 15-20, 47, 48, 149-178, 178-189<br>[2], 190-196, 210-213, 214-226, 316-320   |
| 7.3  | Резонансное туннелирование                      | 2   | 1   | - | - | - | - | - | - | - | 1   | - |   |
| 7.4  | Униполярные транзисторы на «горячих» электронах | 2   | 1   | - | - | - | - | - | - | - | 1   | - |   |
| 8    | Молекулярная электроника                        | 6   | 4   | - | - | - | - | - | - | - | 2   | - | <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Повторение материала по приборам на основе сплошных пленок графена, фуллеренов, углеродных нанотрубок и органических материалов   |
| 8.1  | Строение молекул органических материалов        | 6   | 4   | - | - | - | - | - | - | - | 2   | - | <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br>Изучение литературы: [2] С. 198-205<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[2], 125-128, 200-206, 270-285, 285-295   |
| 9    | Основы спинтроники                              | 1.5 | 0.5 | - | - | - | - | - | - | - | 1   | - | <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Повторение материала по разделу по спиновым эффектам, гигантскому магнитосопротивлению, спин-контролируемому туннелированию и магнитной оперативной памяти MRAM   |
| 9.1  | Основы спинтроники.                             | 1.5 | 0.5 | - | - | - | - | - | - | - | 1   | - | <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br>Изучение литературы: [2] С. 205-209; 233-240; 243-270; [5] С. 76-78<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], 25-28, 189-211, 216-223<br>[2], 150-153, 206-210, 233-240, 241-249 |
| 10   | Квантовые компьютеры                            | 4.5 | 1.5 | - | - | - | - | - | - | - | 3   | - | <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Повторение материала по понятию квантового бита, времени декогерензации,  |
| 10.1 | Квантовые                                       | 1.5 | 0.5 | - | - | - | - | - | - | - | 1   | - |   |



## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Основные понятия нанoeлектроники

#### 1.1. Введение

Этапы большого пути. Основные пути развития кремниевой элементной базы. Развитие электроники. Проблемы масштабирования. Современные тенденции кремниевой технологии..

### 2. Подглядываем и создаем

#### 2.1. Хронология развития микроскопии

Электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия. Растровая электронная микроскопия. Сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия. Сканирующий оптический микроскоп ближнего поля..

#### 2.2. Методы исследования наноструктур

Оже-электронная спектроскопия. Рентгеновская и ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия.

### 3. Нанотехнологии

#### 3.1. Методы получения наноструктур

Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений. Нанотехнологии. Самоорганизация квантовых точек и нитей. Фуллерены, нанотрубки и графен. Основы литографических процессов. Фоторезисты. Электронная литография. Эффекты близости..

### 4. Молекулярная элементная база нанoeлектроники

#### 4.1. Квантово-механический взгляд на строение молекул

Атомные орбитали. Молекулярные орбитали. Молекулярная элементная база нанoeлектроники.

### 5. Физика наноструктур

#### 5.1. Квантовая механика – основа физики наноразмерных структур

Прямоугольная квантовая яма. Прямоугольная квантовая яма конечной глубины. Туннельные эффекты. Квантовый осциллятор..

#### 5.2. Основные свойства полупроводников

Соединения АШВV. Зонная структура полупроводников. Зоны Бриллюэна. Энергетический спектр квантово-размерных структур. Энергетическая диаграмма в  $k(p)$  пространстве. Объем первой зоны Бриллюэна. Понятие эффективной массы. Твердые растворы на основе соединений АШВV..

#### 5.3. Гетероструктура

Гетеропереходы. Плотность квантовых состояний. Трехмерный случай. Двумерный случай. Одномерный случай. Типы низкоразмерных систем. Инверсионные слои в кремниевых структурах. Квантовые нити. Квантовые точки. Сверхрешетки..

5.4. Углерод – уникальный химический элемент  
Графит – графен – графат. Фуллерены, нанотрубки и графен..

### 6. Динамика электронов в электромагнитном поле

#### 6.1. Эффект Холла

Классический эффект Холла. Целочисленный квантовый эффект Холла. Динамика двумерных электронов в сильном магнитном поле. Эффекты локализации и их роль в квантовом эффекте Холла. Дробный квантовый эффект Холла..

### 7. Применение квантово-размерных структур в приборах микро- и нанoeлектроники

#### 7.1. Оптические свойства квантоворазмерных структур

Лазеры с квантовыми ямами и точками. Квантовый каскадный лазер. Фоторезисторы на квантовых ямах. Лавинные фотодиоды. Фоточувствительные пири-структуры.

#### 7.2. Баллистическая проводимость

Приборы на основе баллистического транспорта. Кулоновская блокада. Одноэлектронный транзистор..

#### 7.3. Резонансное туннелирование

Резонансно-туннельные диоды и транзисторы. Полевой транзистор с резонансным туннелированием.

#### 7.4. Униполярные транзисторы на «горячих» электронах

Транзисторы на горячих электронах (НЕМТ-транзисторы)..

### 8. Молекулярная электроника

#### 8.1. Строение молекул органических материалов

Перенос заряда в органических полупроводниках. Графен. Структура энергетических зон графена. Полевые транзисторы на основе сплошных пленок графена. Дефекты в графене. Графан. Фуллерены. Применение фуллеренов. Углеродные нанотрубки. Хиральность. Технологии изготовления УНТ. Механические и "контейнерные" свойства УНТ. Полевые транзисторы на основе УНТ. Аналоги КМДП транзисторов на основе УНТ. Устройства памяти на основе УНТ. Нанoeлектромеханические устройства на основе УНТ.. Органические светодиоды (OLED)..

### 9. Основы спинтроники

#### 9.1. Основы спинтроники.

Спин. Спиновые эффекты. Гигантское магнитосопротивление. Спин-контролируемое туннелирование. Магнитная оперативная память MRAM..

### 10. Квантовые компьютеры

#### 10.1. Квантовые компьютеры

Понятие квантового бита. Время декогеренизации. Возможные конструкции квантового бита.

10.2. Эффект Джозефсона  
Эффект Джозефсона.

10.3. Современные квантовые компьютеры  
Современные квантовые компьютеры.

### **3.3. Темы практических занятий** не предусмотрено

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Изучение принципа работы сканирующего атомно-силового микроскопа;
2. Изучение принципа работы сканирующего туннельного микроскопа;
3. Изготовление зондов для сканирующих зондовых микроскопов.

### **3.5 Консультации**

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Пояснения наиболее сложных тем.
2. Подготовка к контрольной работе, пояснения наиболее сложных тем.
3. Подготовка к контрольной работе, пояснения наиболее сложных тем.
4. Подготовка к контрольной работе, пояснения наиболее сложных тем.
5. Подготовка к контрольной работе, пояснения наиболее сложных тем.
6. Подготовка к контрольной работе, пояснения наиболее сложных тем.
7. Подготовка к контрольной работе, пояснения наиболее сложных тем.
8. Подготовка к контрольной работе, пояснения наиболее сложных тем.

#### Текущий контроль (ТК)

1. Подготовка к лабораторным работам, контрольной работе
2. Консультации по лабораторным работам
3. Подготовка к контрольной работе, пояснения наиболее сложных тем.
4. Пояснение типовых ошибок

### **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<br>(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 | 9 | 10 |   |   |
| <b>Знать:</b>  |                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |
| современные тенденции развития нанoeлектроники   | ИД-1ПК-2         | +   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   | Контрольная работа/Основные понятия нанoeлектроники   |
| эффективные методики экспериментального исследования параметров и характеристик наноструктур различного функционального назначения   | ИД-1ПК-2         |   | + |   |   |   |   |   |   |   |    |   | Лабораторная работа/Атомно-силовой микроскоп<br>Лабораторная работа/Заточка зондов для сканирующих зондовых микроскопов<br>Лабораторная работа/Сканирующий туннельный микроскоп |
| физические основы работы приборов нанoeлектроники  | ИД-1ПК-2         |   |   | + | + | + | + | + | + | + | +  | +                                       | Тестирование/Итоговое тестирование  |
| <b>Уметь:</b>  |                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |
| аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик структур электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения | ИД-1ПК-2         |   | + |   |   |   |   |   |   |   |    |   | Лабораторная работа/Атомно-силовой микроскоп<br>Лабораторная работа/Заточка зондов для сканирующих зондовых микроскопов<br>Лабораторная работа/Сканирующий туннельный микроскоп |

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

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

**7 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Итоговое тестирование (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Основные понятия наноэлектроники (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Атомно-силовой микроскоп (Лабораторная работа)
2. Заточка зондов для сканирующих зондовых микроскопов (Лабораторная работа)
3. Сканирующий туннельный микроскоп (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №7)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

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

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

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

1. 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.;
2. Щука, А. А. Наноэлектроника : учебник для бакалавриата и магистратуры вузов по инженерно-техническим направлениям / А. А. Щука ; общ. ред. А. С. Сигов. – М. : Юрайт, 2017. – 297 с. – (Бакалавр и магистр. Академический курс). – ISBN 978-5-9916-8280-0.;
3. 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.;
4. 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.;
5. 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.;
6. Квантовый эффект Холла : пер. с англ. / М. Кейдж, [и др.] ; ред. Р. Прендж, С. Гирвин. – М. : Мир, 1989. – 404 с.;

7. Шалимова К. В.- "Физика полупроводников", (4-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2010 - (384 с.)  
[https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=648](https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=648).

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

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

### 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/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
12. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
13. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.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   |
|   | А-400, Учебная аудитория "А"                    | парта, стул, доска меловая, экран интерактивный, колонки звуковые, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный       |
|   | Б-305, Учебная аудитория                        | парта со скамьей, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, кондиционер   |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий                   | К-112, Центр зондовых и оптических исследований | стол, стол компьютерный, стул, стол письменный, оборудование для экспериментов, оборудование учебное, компьютер персональный, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации               | К-112, Центр зондовых и оптических исследований | стол, стол компьютерный, стул, стол письменный, оборудование для экспериментов, оборудование учебное, компьютер персональный, кондиционер |
| Помещения для самостоятельной работы                                    | НТБ-302, Читальный зал отдела                   | стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер  |

|  | обслуживания учебной литературой        | персональный   |
|--|---|--|
| Помещения для консультирования                           | К-109/2, Кабинет сотрудников каф. "ЭиН" | стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный, дипломные и курсовые работы студентов |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | К-115, Склад каф. "ЭиН"                 | стеллаж, инвентарь учебный   |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Наноэлектроника

(название дисциплины)

## 7 семестр

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

- КМ-1 Основные понятия наноэлектроники (Контрольная работа)  
 КМ-2 Сканирующий туннельный микроскоп (Лабораторная работа)  
 КМ-3 Атомно-силовой микроскоп (Лабораторная работа)  
 КМ-4 Заточка зондов для сканирующих зондовых микроскопов (Лабораторная работа)  
 КМ-5 Итоговое тестирование (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины   | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|------|
|               |   | Неделя КМ: | 4    | 8    | 12   | 15   | 16   |
| 1             | Основные понятия наноэлектроники                          |            |      |      |      |      |      |
| 1.1           | Введение  |            | +    |      |      |      |      |
| 2             | Подглядываем и создаем                                    |            |      |      |      |      |      |
| 2.1           | Хронология развития микроскопии                           |            |      | +    | +    | +    |      |
| 2.2           | Методы исследования наноструктур                          |            |      | +    | +    | +    |      |
| 3             | Нанотехнологии  |            |      |      |      |      |      |
| 3.1           | Методы получения наноструктур                             |            |      |      |      |      | +    |
| 4             | Молекулярная элементная база наноэлектроники              |            |      |      |      |      |      |
| 4.1           | Квантово-механический взгляд на строение молекул          |            |      |      |      |      | +    |
| 5             | Физика наноструктур                                       |            |      |      |      |      |      |
| 5.1           | Квантовая механика – основа физики наноразмерных структур |            |      |      |      |      | +    |
| 5.2           | Основные свойства полупроводников                         |            |      |      |      |      | +    |
| 5.3           | Гетероструктура   |            |      |      |      |      | +    |
| 5.4           | Углерод – уникальный химический элемент                   |            |      |      |      |      | +    |

|            |  |   |    |    |    |    |
|------------|--|---|----|----|----|----|
| 6          | Динамика электронов в электромагнитном поле                                |   |    |    |    |    |
| 6.1        | Эффект Холла   |   |    |    |    | +  |
| 7          | Применение квантово-размерных структур в приборах микро- и наноэлектроники |   |    |    |    |    |
| 7.1        | Оптические свойства квантоворазмерных структур                             |   |    |    |    | +  |
| 7.2        | Баллистическая проводимость  |   |    |    |    | +  |
| 7.3        | Резонансное туннелирование   |   |    |    |    | +  |
| 7.4        | Униполярные транзисторы на «горячих» электронах                            |   |    |    |    | +  |
| 8          | Молекулярная электроника   |   |    |    |    |    |
| 8.1        | Строение молекул органических материалов                                   |   |    |    |    | +  |
| 9          | Основы спинтроники   |   |    |    |    |    |
| 9.1        | Основы спинтроники.  |   |    |    |    | +  |
| 10         | Квантовые компьютеры   |   |    |    |    |    |
| 10.1       | Квантовые компьютеры   |   |    |    |    | +  |
| 10.2       | Эффект Джозефсона  |   |    |    |    | +  |
| 10.3       | Современные квантовые компьютеры   |   |    |    |    | +  |
| Вес КМ, %: |  | 5 | 15 | 15 | 15 | 50 |