

**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: Нанотехнология в электронике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ**  
**ПОЛУПРОВОДНИКОВ**


<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.01.13
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	7 семестр - 3; 8 семестр - 3; всего - 6
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	216 часов
<b>Лекции</b>	7 семестр - 32 часа; 8 семестр - 28 часа; всего - 60 часов
<b>Практические занятия</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Лабораторные работы</b>	8 семестр - 14 часов;
<b>Консультации</b>	7 семестр - 2 часа; 8 семестр - 2 часа; всего - 4 часа
<b>Самостоятельная работа</b>	7 семестр - 73,5 часа; 8 семестр - 63,5 часа; всего - 137,0 часа
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> Контрольная работа Лабораторная работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
Экзамен	7 семестр - 0,5 часа;
Экзамен	8 семестр - 0,5 часа;
	всего - 1,0 час

Москва 2019

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Попов А.И.
	Идентификатор	Ra710b7a6-PopovAI-113a0ed6

(подпись)


А.И. Попов

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Холодный Д.С.
	Идентификатор	R0bac9dac-KholodnyDS-6393810f


(подпись)

Д.С. Холодный

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Славинский А.З.
	Идентификатор	R99b3b9ab-SlavinskyAZ-c08f5214

(подпись)

А.З. Славинский

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение особенностей физики материалов, у которых отсутствует дальний порядок в расположении атомов (аморфных, стеклообразных и нанокристаллических полупроводников), для последующего применения полученных знаний при конструировании и исследовании приборов на основе этих материалов

### Задачи дисциплины

- освоение способности учитывать особенности физики неупорядоченного конденсированного состояния вещества, атомной и электронной структуры неупорядоченных полупроводников;

- освоение методов исследования и моделирования структуры и свойств различных классов неупорядоченных полупроводников, а также методов управления свойствами этих материалов;

- развитие способности эффективно использовать особенности свойств и эффекты, наблюдающиеся в неупорядоченных полупроводниках, при последующих разработках и исследованиях приборов и устройств на основе этих 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	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов	знать: - классификацию твёрдых тел с точки зрения атомной структуры и зонной теории; - классификацию приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников; - особенности электронной структуры, электрических, оптических и фотоэлектрических свойств неупорядоченных полупроводников; - методы исследования атомной структуры и управления свойствами неупорядоченных полупроводников; - физику работы приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников; - методы расчёта и проектирования приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников; - методы исследования и технологические методы изготовления приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников.  уметь: - применять методы и средства измерений физических свойств неупорядоченных полупроводников; - применять методы расчёта и моделирования атомной структуры

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		неупорядоченных полупроводников; - собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по неупорядоченным полупроводникам; - аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментальных исследований неупорядоченных полупроводников.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

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

Базируется на уровне среднего общего образования.

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 6 зачетных единиц, 216 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	Атомная структура неупорядоченных полупроводников	34	7	16	-	-	-	-	-	-	-	18	-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение материала по теме раздела Изучение литературы: [1] с. 32-79 или [2] с. 21-64 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 32-79 [3], 13-38</p>
1.1	Определение и классификация неупорядоченных материалов.	8		4	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
1.2	Атомная структура некристаллических полупроводников	16		8	-	-	-	-	-	-	-	8	-	
1.3	Результаты структурных исследований неупорядоченных полупроводников.	10		4	-	-	-	-	-	-	-	6	-	
2	Электронная структура и свойства неупорядоченных полупроводников	24		12	-	-	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение материала по теме раздела Изучение литературы: [1] с. 32-79 или [2] с. 21-64; [1] с. 80-99 или [2] с. 71-86; [1] с. 99-112, 144-159 или [2] с. 85-96, 98-109 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 80-111 [3], 41-68</p>
2.1	Электронная структура и дефекты в неупорядоченных полупроводниках.	8		4	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
2.2	Электрофизические, оптические и фотоэлектрические свойства неупорядоченных	16		8	-	-	-	-	-	-	-	8	-	

	полупроводников													
3	Методы управления свойствами неупорядоченных полупроводников	14		4	-	-	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение материала по теме раздела Изучение литературы: [1] с. 113-143 или [2] с. 111-153; [1] с. 160-171 или [2] с. 214-228; [2] с. 65-67, 84-85, 96-97 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 113-142 [3], 69-90</p>
3.1	Управление свойствами неупорядоченных полупроводников	6		2	-	-	-	-	-	-	4	-		
3.2	Фотоиндуцированные изменения свойств неупорядоченных полупроводников	4		1	-	-	-	-	-	-	3	-		
3.3	Молекулярные органические полупроводники	4		1	-	-	-	-	-	-	3	-		
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>32</b>	-	-	-	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>40</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>32</b>	-	-	<b>2</b>	-	-	-	<b>0.5</b>	<b>73.5</b>		
4	Технологические особенности получения плёнок неупорядоченных полупроводников. Носители оптической информации на основе неупорядоченных полупроводников.	26	8	14	4	-	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение материала по теме раздела Изучение литературы: [1] с. 172-204 или [2] с. 155-185; [1] с. 206-231 или [2] с. 187-213, 229-240 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 172-204 [3], 91-114 [4], 9-49</p>
4.1	Технологические особенности получения плёнок неупорядоченных полупроводников.	8		6	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
4.2	Носители оптической информации на основе неупорядоченных полупроводников	18		8	4	-	-	-	-	-	-	6	-	

5	Тонкоплёночные фотоэлектрические преобразователи	22		6	6	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение материала по теме раздела Изучение литературы: [1] с. 232-244 или [2] 241-266 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 232-244 [2], 241-266
5.1	Фотоэлектрические преобразователи на основе неупорядоченных полупроводников	22		6	6	-	-	-	-	-	-	10	-	
6	Электронные приборы на основе неупорядоченных полупроводников.	24		8	4	-	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Изучение материала по теме раздела Изучение литературы: [1] с. 260-266 или [2] 292-300; [1] с. 214-260 или [2] с. 267-292 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 244-265 [2], 267-300
6.1	Тонкоплёночные транзисторы на неупорядоченных полупроводниках	6		2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
6.2	Электронные приборы на основе неупорядоченных полупроводников.	4		2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
6.3	Память на фазовых переходах в неупорядоченных полупроводниках.	14		4	4	-	-	-	-	-	-	6	-	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>28</b>	<b>14</b>	-	-	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>30</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>28</b>	<b>14</b>	-	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>63.5</b>			
	<b>ИТОГО</b>	<b>216.0</b>	-	<b>60</b>	<b>14</b>	-	<b>4</b>	-	-	<b>1.0</b>	<b>137.0</b>			

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Атомная структура неупорядоченных полупроводников

##### 1.1. Определение и классификация неупорядоченных материалов.

Место дисциплины в подготовке бакалавров по направлению «Электроника и наноэлектроника». Определение неупорядоченного состояния вещества. Классификации неупорядоченных материалов. Термодинамические уровни стабильности неравновесных систем. Стеклообразные материалы и стеклообразование, критерии стеклообразования. Изготовление халькогенидных стёкол..

##### 1.2. Атомная структура некристаллических полупроводников

Атомная структура материалов. Понятие ближнего, среднего и дальнего порядка в расположении атомов. Геометрические и энергетические характеристики упорядочения. Модели среднего порядка. Методы исследования атомной структуры неупорядоченных полупроводников. Прямые методы (дифракционные и метод тонкой структуры края собственного рентгеновского поглощения – EXAFS). Современное развитие дифракционных методов. Функция радиального распределения атомов. Электронная микроскопия высокого разрешения. Методы колебательной спектроскопии (метод спектроскопии инфракрасного поглощения и метод комбинационного рассеяния). Косвенные методы исследования атомной структуры некристаллических полупроводников.. Моделирование атомной структуры. Моделирование атомной структуры некристаллических полупроводников. Физическое и компьютерное моделирование. Методы компьютерного моделирования: топологический метод, метод молекулярной динамики, метод Монте-Карло, градиентный метод..

##### 1.3. Результаты структурных исследований неупорядоченных полупроводников.

Некристаллический селен. Молекулярные модели стеклообразного селена. Атомная структура некристаллического селена, бинарных халькогенидных стеклообразных полупроводников, аморфного кремния и гидрогенизированного аморфного кремния, материалов на основе аморфного углерода..

#### 2. Электронная структура и свойства неупорядоченных полупроводников

##### 2.1. Электронная структура и дефекты в неупорядоченных полупроводниках.

Электронная структура неупорядоченных полупроводников. Локализованные состояния – определения и природа. Строение энергетических зон. Модели Губанова, Коуэна-Фриче-Овшинского, Мотта-Дэвиса. Запрещённая зона подвижности. Фиксация уровня Ферми. Дефекты в неупорядоченных полупроводниках. Гипотеза Андерсона. Модель D+ - D- центров. Модель пар с переменной валентностью. Квазимолекулярные дефекты. Дефекты на атомах халькогенов и пниктидов. Дефекты на атомах кремния и в гидрогенизированном аморфном кремнии..

##### 2.2. Электрофизические, оптические и фотоэлектрические свойства неупорядоченных полупроводников

Электрофизические свойства некристаллических полупроводников. Механизмы электрической проводимости. Прыжковая проводимость. Проводимость с переменной длиной прыжка. ТермоЭДС и эффект Холла. Дрейфовая подвижность носителей заряда. Оптические свойства. Спектральные зависимости оптических констант некристаллических полупроводников. Край Урбаха. Определение ширины запрещенной зоны в неупорядоченных полупроводниках. Фотоэлектрические свойства. Квантовый выход. Зависимость фотопроводимости от температуры, длины волны излучения, интенсивности светового потока и электрического поля.



### 3. Методы управления свойствами неупорядоченных полупроводников

#### 3.1. Управление свойствами неупорядоченных полупроводников

Причины слабой чувствительности свойств неупорядоченных полупроводников к донорным и акцепторным примесям. Легирование гидрогенизированного аморфного кремния. Роль водорода. Зависимость свойств от уровня легирования. Механизм легирования. Химическая модификация свойств плёнок халькогенидных стеклообразных полупроводников. Инверсия знака проводимости в объёмных халькогенидных стеклообразных полупроводниках. Структурная модификация свойств некристаллических полупроводников. Четыре уровня структурной модификации. Модификация свойств на уровне ближнего порядка в расположении атомов. Модификация свойств на уровне среднего порядка. Критерий эффективности структурной модификации. Модификация на уровнях морфологии и подсистемы дефектов. Структурная модификация и стабильность свойств неупорядоченных полупроводников. Химическая модификация атомной структуры неупорядоченных полупроводников.

#### 3.2. Фотоиндуцированные изменения свойств неупорядоченных полупроводников

Фотоструктурные превращения в халькогенидных стеклообразных полупроводниках. Фотоиндуцированные изменения оптических констант и химических свойств халькогенидных стеклообразных полупроводников. Реверсивная и нереверсивная составляющие изменения свойств. Зависимости эффекта от химического состава, длины волны излучения и температуры. Конфигурационная модель эффекта. Фотостимулированное ускорение диффузии металлов в халькогенидные стеклообразные полупроводники. Механизм и разрешающая способность процесса..

#### 3.3. Молекулярные органические полупроводники

Определения. Строение молекул органических материалов. Сопряженные химические связи. Полупроводниковые свойства органических материалов. Перенос заряда в органических полупроводниках..

### 4. Технологические особенности получения плёнок неупорядоченных полупроводников. Носители оптической информации на основе неупорядоченных полупроводников.

#### 4.1. Технологические особенности получения плёнок неупорядоченных полупроводников.

Технологические особенности получения плёнок халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП). Методы дискретного испарения, испарения из квазизамкнутого объема, соиспарения, ионно-плазменного распыления. Получение плёнок ХСП с заданными химическим составом и атомной структурой. Конструкции установок. Получение плёнок  $a - Si:H$  методом разложения силана в плазме тлеющего разряда. Основные проблемы и пути их решения. Виды и конструкции технологических установок. Пленки нанокристаллического гидрогенизированного кремния. Получение плёнок твёрдых растворов на основе  $a - Si:H$ . Другие методы получения плёнок  $a - Si:H$  (CVD-метод, каталитическое осаждение, ионно-плазменное распыление)..

#### 4.2. Носители оптической информации на основе неупорядоченных полупроводников

Приборы на основе некристаллических полупроводников. Виды устройств для записи и обработки оптической информации на основе неупорядоченных полупроводников. Электрофотографический процесс. Копировальные аппараты и принтеры. Требования и основные характеристики электрофотографических носителей информации. Цветная печать. Пути улучшения характеристик электрофотографического процесса.

Электрорентгенография. Видиконы. Возможности повышения фоточувствительности. Сверхвысокочувствительные видиконы: проблемы и их решения. Фототермопластические носители информации. Носители оптической информации на основе фотоструктурных превращений в ХСП и фотостимулированной диффузии металлов в ХСП. Фото-, электроно- и рентгенорезисты. Носители оптической информации на основе фазовых переходов 1-го рода. Устройство и классификация оптических дисков. Диски с многократной записью информации. Пути и пределы увеличения плотности записи информации. Пути развития..

### 5. Тонкоплёночные фотоэлектрические преобразователи

#### 5.1. Фотоэлектрические преобразователи на основе неупорядоченных полупроводников

Развитие цивилизации и потребление энергии. Нетрадиционные методы преобразования энергии. Место фотоэлектрики в мире и в России. Тонкоплёночные фотоэлектрические преобразователи (ФЭП). ФЭП на основе  $a - Si:H$ : особенности конструирования и пути повышения КПД, триплеты. Эффект Стеблера-Вронского. НИТ технология фотоэлектрических преобразователей. Фотоэлектрические преобразователи на органических полупроводниках. ФЭП на основе металлорганики со структурой перовскита. Тонкоплёночная солнечная энергетика в России.

### 6. Электронные приборы на основе неупорядоченных полупроводников.

#### 6.1. Тонкоплёночные транзисторы на неупорядоченных полупроводниках

Излучающие твердотельные дисплеи. Конструкции и схемы управления. Создание цветного изображения. Тонкоплёночные транзисторы на основе гидрогенизированного аморфного кремния. Конструкции, основные характеристики. Матрицы тонкоплёночных полевых транзисторов на основе  $a - Si:H$ . Технологический процесс их изготовления. Жидкокристаллические дисплеи, дисплеи на органических светодиодах, другие области применения. Вертикальный ТПТ, высоковольтный ТПТ..

#### 6.2. Электронные приборы на основе неупорядоченных полупроводников.

Излучающие твердотельные дисплеи. Конструкции и схемы управления. Создание цветного изображения. Тонкоплёночные транзисторы на основе гидрогенизированного аморфного кремния. Конструкции, основные характеристики. Матрицы тонкоплёночных полевых транзисторов на основе  $a - Si:H$ . Технологический процесс их изготовления. Жидкокристаллические дисплеи, дисплеи на органических светодиодах, другие области применения. Вертикальный ТПТ, высоковольтный ТПТ..

#### 6.3. Память на фазовых переходах в неупорядоченных полупроводниках.

Эффекты переключения и памяти в халькогенидных стеклообразных полупроводниках. Механизмы порогового и бистабильного переключения. Первое и второе поколения интегральных схем энергонезависимой памяти на фазовых переходах. Анализ конструктивных особенностей первого и второго поколений и их влияние на надёжность хранения информации. Достигнутые характеристики. Многоуровневые элементы. Перспективы и проблемы..

### **3.3. Темы практических занятий**

не предусмотрено

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. СПЕКТРАЛЬНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА;

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ДИСКОВ МЕТОДАМИ ТУННЕЛЬНОЙ И АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ;
3. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ.

### **3.5 Консультации**

#### *Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)*

1. Консультация по материалу раздела
2. Консультация по материалу раздела
3. Консультация по материалу раздела
4. Консультация по материалу раздела

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

1. Консультация по материалу раздела
2. Консультация по материалу раздела

### **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	
<b>Знать:</b>								
методы исследования и технологические методы изготовления приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников	ИД-1ПК-1				+			Контрольная работа/Контрольная работа № 6. Носители оптической информации и фоторезисты на основе неупорядоченных полупроводников  Контрольная работа/Контрольная работа № 7. Фотоэлектрические преобразователи и жидкокристаллические дисплеи
методы расчёта и проектирования приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников	ИД-1ПК-1				+	+	+	Контрольная работа/Контрольная работа № 6. Носители оптической информации и фоторезисты на основе неупорядоченных полупроводников  Контрольная работа/Контрольная работа № 7. Фотоэлектрические преобразователи и жидкокристаллические дисплеи  Лабораторная работа/Лабораторная работа № 1. Температурная зависимость электропроводности аморфных полупроводников  Лабораторная работа/Лабораторная работа № 5. Определение характеристик оптических дисков методами туннельной и атомно-силовой микроскопии  Лабораторная работа/Лабораторная работа № 7. Спектральная чувствительность и вольт-амперная характеристика солнечного элемента
физику работы приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников	ИД-1ПК-1				+	+		Контрольная работа/Контрольная работа № 6. Носители оптической информации и фоторезисты

								на основе неупорядоченных полупроводников Контрольная работа/Контрольная работа № 7. Фотоэлектрические преобразователи и жидкокристаллические дисплеи
методы исследования атомной структуры и управления свойствами неупорядоченных полупроводников	ИД-1ПК-1	+						Контрольная работа/Контрольная работа № 1. Определение, классификация и атомная структура неупорядоченных полупроводников
особенности электронной структуры, электрических, оптических и фотоэлектрических свойств неупорядоченных полупроводников	ИД-1ПК-1		+	+				Контрольная работа/Контрольная работа № 2. Методы и результаты исследования и моделирования атомной структуры неупорядоченных полупроводников Контрольная работа/Контрольная работа № 3. Электронная структура и свойства неупорядоченных полупроводников Контрольная работа/Контрольная работа № 4. Методы управления свойствами неупорядоченных полупроводников
классификацию приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников	ИД-1ПК-1					+		Контрольная работа/Контрольная работа № 5. Технологические особенности получения плёнок неупорядоченных полупроводников
классификацию твёрдых тел с точки зрения атомной структуры и зонной теории	ИД-1ПК-1	+		+				Контрольная работа/Контрольная работа № 1. Определение, классификация и атомная структура неупорядоченных полупроводников Контрольная работа/Контрольная работа № 4. Методы управления свойствами неупорядоченных полупроводников
<b>Уметь:</b>								
аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментальных исследований неупорядоченных полупроводников	ИД-1ПК-1		+	+				Контрольная работа/Контрольная работа № 1. Определение, классификация и атомная структура неупорядоченных полупроводников

							Контрольная работа/Контрольная работа № 4. Методы управления свойствами неупорядоченных полупроводников
собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по неупорядоченным полупроводникам	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>	+		+			Контрольная работа/Контрольная работа № 2. Методы и результаты исследования и моделирования атомной структуры неупорядоченных полупроводников  Контрольная работа/Контрольная работа № 4. Методы управления свойствами неупорядоченных полупроводников
применять методы расчёта и моделирования атомной структуры неупорядоченных полупроводников	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>	+					Контрольная работа/Контрольная работа № 2. Методы и результаты исследования и моделирования атомной структуры неупорядоченных полупроводников
применять методы и средства измерений физических свойств неупорядоченных полупроводников	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>			+			Контрольная работа/Контрольная работа № 2. Методы и результаты исследования и моделирования атомной структуры неупорядоченных полупроводников

#### **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: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа № 1. Определение, классификация и атомная структура неупорядоченных полупроводников (Контрольная работа)
2. Контрольная работа № 2. Методы и результаты исследования и моделирования атомной структуры неупорядоченных полупроводников (Контрольная работа)
3. Контрольная работа № 3. Электронная структура и свойства неупорядоченных полупроводников (Контрольная работа)
4. Контрольная работа № 4. Методы управления свойствами неупорядоченных полупроводников (Контрольная работа)

###### **8 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа № 5. Технологические особенности получения плёнок неупорядоченных полупроводников (Контрольная работа)
2. Контрольная работа № 6. Носители оптической информации и фоторезисты на основе неупорядоченных полупроводников (Контрольная работа)
3. Контрольная работа № 7. Фотоэлектрические преобразователи и жидкокристаллические дисплеи (Контрольная работа)

Форма реализации: Защита задания

1. Лабораторная работа № 1. Температурная зависимость электропроводности аморфных полупроводников (Лабораторная работа)
2. Лабораторная работа № 5. Определение характеристик оптических дисков методами туннельной и атомно-силовой микроскопии (Лабораторная работа)
3. Лабораторная работа № 7. Спектральная чувствительность и вольт-амперная характеристика солнечного элемента (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

###### Экзамен (Семестр №7)

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

###### Экзамен (Семестр №8)

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

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

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

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1 Печатные и электронные издания:

1. Попов, А. И. Учебное пособие по курсу "Технология полупроводниковых элементов": Кремний и германий в полупроводниковом приборостроении / А. И. Попов, Н. И. Михалев ; Ред. В. А. Филиков ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – 1989 . – 120 с.;
2. Popov, A. Disordered Semiconductors. Physics and Application / A. Popov . – 2-nd ed . – Singapore : Pan Stanford Publishing, 2018 . – 328 p. - ISBN 978-981-4774-37-6 .;
3. Popov, A. Disordered Semiconductors. Physics and Application / A. Popov . – Singapore : Pan Stanford Publishing, 2011 . – 201 p. - ISBN 978-981-4241-76-2 .;
4. А. А. Лепешев- "Плазменное напыление аморфных и нанокристаллических материалов", Издательство: "Сибирский федеральный университет (СФУ)", Красноярск, 2013 - (224 с.) <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364031>.

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Windows / Операционная система семейства Linux;
2. Gwyddion;
3. Libre Office.

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

1. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
2. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
3. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Е-306, Лаборатория квантовой электроники	парта со скамьей, стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, экран, оборудование специализированное, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-306, Лаборатория квантовой электроники	парта со скамьей, стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, экран, оборудование специализированное, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-306, Лаборатория квантовой электроники	парта со скамьей, стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, экран, оборудование специализированное, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-306, Лаборатория квантовой электроники	парта со скамьей, стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, экран, оборудование специализированное, учебно-наглядное пособие
Помещения для самостоятельной работы	Е-316, Лаборатория каф. "ФТЭМК"	стол, шкаф для одежды, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, оборудование специализированное, компьютер персональный, принтер
Помещения для консультирования	Е-306, Лаборатория	парта со скамьей, стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, экран, оборудование



	квантовой электроники	специализированное, учебно-наглядное пособие
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-302/1, Склад "ФТЭМК"	стол

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Физика и технология неупорядоченных полупроводников

(название дисциплины)

#### 7 семестр

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

- КМ-1 Контрольная работа № 1. Определение, классификация и атомная структура неупорядоченных полупроводников (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа № 2. Методы и результаты исследования и моделирования атомной структуры неупорядоченных полупроводников (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа № 3. Электронная структура и свойства неупорядоченных полупроводников (Контрольная работа)
- КМ-4 Контрольная работа № 4. Методы управления свойствами неупорядоченных полупроводников (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Атомная структура неупорядоченных полупроводников					
1.1	Определение и классификация неупорядоченных материалов.		+	+		+
1.2	Атомная структура некристаллических полупроводников		+			
1.3	Результаты структурных исследований неупорядоченных полупроводников.			+		
2	Электронная структура и свойства неупорядоченных полупроводников					
2.1	Электронная структура и дефекты в неупорядоченных полупроводниках.			+	+	+
2.2	Электрофизические, оптические и фотоэлектрические свойства неупорядоченных полупроводников		+			+
3	Методы управления свойствами неупорядоченных полупроводников					
3.1	Управление свойствами неупорядоченных полупроводников			+		
3.2	Фотоиндуцированные изменения свойств неупорядоченных полупроводников		+	+	+	+
3.3	Молекулярные органические полупроводники		+	+		+
Вес КМ, %:			25	25	25	25

## 8 семестр

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

- КМ-5 Контрольная работа № 5. Технологические особенности получения плёнок неупорядоченных полупроводников (Контрольная работа)
- КМ-6 Контрольная работа № 6. Носители оптической информации и фоторезисты на основе неупорядоченных полупроводников (Контрольная работа)
- КМ-7 Контрольная работа № 7. Фотоэлектрические преобразователи и жидкокристаллические дисплеи (Контрольная работа)
- КМ-8 Лабораторная работа № 1. Температурная зависимость электропроводности аморфных полупроводников (Лабораторная работа)
- КМ-9 Лабораторная работа № 5. Определение характеристик оптических дисков методами туннельной и атомно-силовой микроскопии (Лабораторная работа)
- КМ-10 Лабораторная работа № 7. Спектральная чувствительность и вольт-амперная характеристика солнечного элемента (Лабораторная работа)

### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9	КМ-10
		Неделя КМ:	4	8	12	13	13	13
1	Технологические особенности получения плёнок неупорядоченных полупроводников. Носители оптической информации на основе неупорядоченных полупроводников.							
1.1	Технологические особенности получения плёнок неупорядоченных полупроводников.			+	+			
1.2	Носители оптической информации на основе неупорядоченных полупроводников		+	+	+	+	+	+
2	Тонкоплёночные фотоэлектрические преобразователи							
2.1	Фотоэлектрические преобразователи на основе неупорядоченных полупроводников			+	+	+	+	+
3	Электронные приборы на основе неупорядоченных полупроводников.							
3.1	Тонкоплёночные транзисторы на неупорядоченных полупроводниках			+	+	+	+	+
3.2	Электронные приборы на основе неупорядоченных полупроводников.			+	+	+	+	+
3.3	Память на фазовых переходах в неупорядоченных полупроводниках.			+	+	+	+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	7	9	9