

**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: Светотехника и источники света

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ДИОДЫ**

<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.01.06</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>7 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</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>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>7 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2021**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

**Преподаватель**

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Туркин А.Н.
	Идентификатор	R766ebd66-TurkinAN-98474307

(подпись)

**А.Н. Туркин**

(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	Григорьев А.А.
	Идентификатор	R28090f70-GrigoryevAA-7e2fdc05

(подпись)

**А.А. Григорьев**

(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	Боос Г.В.
	Идентификатор	R4494501d-BoosGeorV-031c67c1

(подпись)

**Г.В. Боос**

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Изучение явления электролюминесценции, являющегося физической основой работы полупроводниковых источников излучения - светоизлучающих диодов и лазеров, их оптических и электрических свойств, изучение основ использования светодиодов в осветительных приборах и ознакомление с основными принципами разработки осветительных устройств со светодиодами

### Задачи дисциплины

- приобретение навыков использования теоретических и эмпирических, классических и современных исследований;
- обучение основам физики полупроводников;
- освоение студентами информации о физических основах полупроводниковых источников излучения;
- ознакомление студентов с характеристиками и параметрами различных осветительных приборов со светодиодами;
- приобретение навыков применения осветительных приборов со светодиодами;
- ознакомление обучающихся с основными методами проектирования светотехнических установок на основе светодиодов;
- ознакомление студентов с рынком светодиодных осветительных устройств в России и в мире.

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 осуществлять проектирование, расчёты и конструирование, измерение параметров светотехнического оборудования, осваивать теоретическую и прикладную фотометрию	ИД-4 <sub>ПК-1</sub> Проектирование и расчет составных частей светового прибора - источников излучения и пускорегулирующих аппаратов	знать: - физические основы работы светодиодов; - основные принципы работы со светодиодными источниками света и осветительными приборами на их основе.  уметь: - дать объяснение механизмам излучения в полупроводниковых светодиодах; - проводить исследования светодиодных источников света осветительных приборов на их основе.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Светотехника и источники света (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, 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 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	Основы физики полупроводников	15	7	4	-	3	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Подготовка курсового проекта:</u></b> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей:</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Основы физики полупроводников". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы физики полупроводников"</p> <p><b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование:</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Основы</p>	
1.1	История развития технологии полупроводниковых светодиодов. Основы физики полупроводников, типы проводимости.	8		2	-	2	-	-	-	-	-	-	4		-
1.2	Полупроводниковый р-п переход, принципы работы светодиодов. Рекомбинация носителей в полупроводниках. Излучательная рекомбинация, безызлучательная рекомбинация.	7		2	-	1	-	-	-	-	-	-	4		-



													<p>так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Основы физики полупроводников" материалу.</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие:</p> <p><b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы:</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Основы физики полупроводников"</p> <p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[6], 5-50</p>
2	Оптические характеристики светодиодов.	21	6	-	3	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции.</p>
2.1	Оптические характеристики светодиодов. Спектр излучения.	7	2	-	1	-	-	-	-	-	4	-	<p>Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется</p>

2.2	Угол вывода излучения. Пространственное распределение излучения. Кривая светораспределения. Ламбертовское распределение излучения.	7		2	-	1	-	-	-	-	-	4	-	индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: <b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяются следующие материалы: <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Оптические характеристики светодиодов." <b><u>Подготовка курсового проекта:</u></b> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей:
2.3	Корпуса светодиодов из прозрачных материалов. Температурная зависимость интенсивности излучения.	7		2	-	1	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Оптические характеристики светодиодов." материалу. <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Оптические характеристики светодиодов." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.





													контрольной работе <b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b> Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 40-100
3	Электрические свойства светодиодов.	14	4	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка реферата:</u></b> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты: <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Электрические свойства светодиодов.". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Электрические свойства светодиодов." <b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование:
3.1	Электрические свойства светодиодов. Вольтамперная характеристика (ВАХ). Отклонения от идеальных ВАХ. Паразитные сопротивления. Влияние гетеропереходов на сопротивление устройств.	7	2	-	1	-	-	-	-	-	4	-	
3.2	Потери носителей в двойных гетероструктурах. Избыточная концентрация носителей в активной области двойных гетероструктур. Ограничивающие слой. Напряжение на диоде.	7	2	-	1	-	-	-	-	-	4	-	



													<p>необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Электрические свойства светодиодов." материалу.</p> <p><b><u>Подготовка курсового проекта:</u></b> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей:</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие:</p> <p><b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяются следующие материалы:</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Электрические свойства светодиодов."</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [5], 40-100</p>
4	Влияние температуры на параметры светодиодов	14	4	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Влияние температуры на параметры светодиодов и подготовка к контрольной работе</p>
4.1	Температура р-п перехода. Влияние	7	2	-	1	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> В рамках</p>

	температуры активной области кристалла на параметры светодиода. Определение температуры носителей по наклону спектральной характеристики в области высоких энергий.													реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты: <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Влияние температуры на параметры светодиодов". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Влияние температуры на параметры светодиодов" <b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Влияние температуры на параметры светодиодов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: <b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b> Задание связано с углубленным изучением
4.2	Зависимость длины волны в максимуме спектра излучения от температуры р-п перехода. Определение температуры р-п перехода по положению максимума спектра излучения.	7	2	-	1	-	-	-	-	-	4	-		



														<p><b>задания:</b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие:</p> <p><b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы:</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Влияние температуры на параметры светодиодов"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 30-90</p>
5	Вывод излучения из светодиодных кристаллов	14	4	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Вывод излучения из светодиодных кристаллов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p>	
5.1	Вывод излучения из светодиодных кристаллов. Структуры с высоким коэффициентом вывода излучения. Поглощение полупроводниками излучения с энергией кванта меньше ширины запрещенной зоны. Двойные гетероструктуры. Светодиоды с кристаллами разной геометрии.	7	2	-	1	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Вывод излучения из светодиодных кристаллов". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания</p>	
5.2	Применение текстурированной	7	2	-	1	-	-	-	-	-	4	-		

	<p>поверхности.          Применение контактов разной геометрической формы. Технология выращивания светодиодных кристаллов на прозрачных подложках. Метод перевернутого монтажа кристаллов.</p>																		<p>и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:  <u><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b></u> Изучение дополнительного материала по разделу "Вывод излучения из светодиодных кристаллов"  <u><b>Проведение эксперимента:</b></u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование:  <u><b>Подготовка курсовой работы:</b></u> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания:  <u><b>Подготовка к контрольной работе:</b></u> Изучение материалов по разделу Вывод излучения из светодиодных кристаллов и подготовка к контрольной работе  <u><b>Подготовка доклада, выступления:</b></u> Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты:  <u><b>Подготовка домашнего задания:</b></u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Вывод излучения из светодиодных кристаллов" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--





														[1], 300-350
6	Характеристики светодиодов	14	4	-	2	-	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания:</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Характеристики светодиодов и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b> Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты:</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Характеристики светодиодов" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов</p>
6.1	Динамические характеристики светодиодов. Время нарастания и спада сигналов, полоса пропускания в теории линейных цепей. Время нарастания и спада оптического сигнала при большой емкости светодиодов. Время нарастания и спада оптических сигналов при малой емкости светодиодов.	7	2	-	1	-	-	-	-	-	-	4	-	
6.2	Зависимость напряжения от времени спада и нарастания оптических сигналов. Уход носителей из активной области. Формирование тока.	7	2	-	1	-	-	-	-	-	-	4	-	



													<p>"Характеристики светодиодов"  <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Характеристики светодиодов". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:  <u>Подготовка реферата:</u> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:  <u>Изучение материалов литературных источников:</u>  [2], 350-400</p>
7	Применение светодиодов в освещении	15.7	6	-	2	-	-	-	-	-	7.7	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u>  Повторение материала по разделу "Применение светодиодов в освещении"</p>
7.1	Светодиоды разных областей спектра свечения	7	2	-	1	-	-	-	-	-	4	-	<p><u>Проведение исследований:</u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы:</p>
7.2	Применение светодиодов в осветительных приборах и системах освещения.	8.7	4	-	1	-	-	-	-	-	3.7	-	<p><u>Подготовка реферата:</u> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:  <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания</p>





	Зачет с оценкой	0.3		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>32</b>	-	<b>16</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>59.7</b>	-	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>32</b>	-	<b>16</b>	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>59.7</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. Основы физики полупроводников

1.1. История развития технологии полупроводниковых светодиодов. Основы физики полупроводников, типы проводимости.

История развития технологии полупроводниковых светодиодов. Элементы зонной теории твердого тела. Уравнение Шредингера электрона в периодическом поле. Функции Блоха. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны. Классификация твердых тел. Полупроводники. Проводимость полупроводников, донорные и акцепторные примеси, легирование.

1.2. Полупроводниковый p-n переход, принципы работы светодиодов. Рекомбинация носителей в полупроводниках. Излучательная рекомбинация, безызлучательная рекомбинация.

Распределение носителей по уровням энергии. Способы получения излучения. Фотолюминесценция. Электролюминесценция. Полупроводниковые источники света. Светодиод и лазерный диод. Энергия излучения светодиода. Распределение носителей в гомогенных p-n переходах. Распределение носителей в двойных гетероструктурах. Квантовый выход излучения и КПД светодиода.

#### 2. Оптические характеристики светодиодов.

2.1. Оптические характеристики светодиодов. Спектр излучения.

2.2. Угол вывода излучения. Пространственное распределение излучения. Кривая светораспределения. Ламбертовское распределение излучения.

2.3. Корпуса светодиодов из прозрачных материалов. Температурная зависимость интенсивности излучения.

#### 3. Электрические свойства светодиодов.

3.1. Электрические свойства светодиодов. Вольтамперная характеристика (ВАХ). Отклонения от идеальных ВАХ. Паразитные сопротивления. Влияние гетеропереходов на сопротивление устройств.

3.2. Потери носителей в двойных гетероструктурах. Избыточная концентрация носителей в активной области двойных гетероструктур. Ограничивающие слои. Напряжение на диоде.

#### 4. Влияние температуры на параметры светодиодов

4.1. Температура p-n перехода. Влияние температуры активной области кристалла на параметры светодиода. Определение температуры носителей по наклону спектральной характеристики в области высоких энергий.

4.2. Зависимость длины волны в максимуме спектра излучения от температуры р-п перехода. Определение температуры р-п перехода по положению максимума спектра излучения.

### 5. Вывод излучения из светодиодных кристаллов

5.1. Вывод излучения из светодиодных кристаллов. Структуры с высоким коэффициентом вывода излучения. Поглощение полупроводниками излучения с энергией кванта меньше ширины запрещенной зоны. Двойные гетероструктуры. Светодиоды с кристаллами разной геометрии.

5.2. Применение текстурированной поверхности. Применение контактов разной геометрической формы. Технология выращивания светодиодных кристаллов на прозрачных подложках. Метод перевернутого монтажа кристаллов.

### 6. Характеристики светодиодов

6.1. Динамические характеристики светодиодов. Время нарастания и спада сигналов, полоса пропускания в теории линейных цепей. Время нарастания и спада оптического сигнала при большой емкости светодиодов. Время нарастания и спада оптических сигналов при малой емкости светодиодов.

6.2. Зависимость напряжения от времени спада и нарастания оптических сигналов. Уход носителей из активной области. Формирование тока.

### 7. Применение светодиодов в освещении

7.1. Светодиоды разных областей спектра свечения

ИК-светодиоды, видимые светодиоды, УФ-светодиоды. Цветные изображения с помощью светодиодов. Получение белого цвета с помощью светодиодов. Белые светодиоды. Отношение интенсивностей в белом светодиоде. Световая отдача белого светодиода..

7.2. Применение светодиодов в осветительных приборах и системах освещения.

Применение светодиодов в осветительных приборах и системах освещения. Схемы питания и управление светодиодами. Конструктивные особенности световых приборов со светодиодами..

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

1. Угол вывода излучения. Пространственное распределение излучения (2 часа).;
2. Динамические характеристики светодиодов, время нарастания и спада сигналов (1 час).;
3. Вывод излучения из светодиодных кристаллов. Структуры с высоким коэффициентом вывода излучения (1 час).;
4. Влияние температуры активной области кристалла на параметры светодиода (2 часа).;



5. Расчет температуры р-п перехода (2 часа).;
6. Квантовый выход излучения и КПД светодиода (2 часа).;
7. Вольтамперная характеристика (ВАХ). Напряжение на диоде (2 часа).;
8. Электрические свойства светодиодов (2 часа).;
9. Оптические характеристики светодиодов. Спектр излучения. Энергия излучения светодиода (2 часа)..

#### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

#### **3.5 Консультации**

#### **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		
<b>Знать:</b>										
основные принципы работы со светодиодными источниками света и осветительными приборами на их основе	ИД-4ГК-1							+	+	Контрольная работа/Характеристики светодиодов. Применение светодиодов в светотехнике
физические основы работы светодиодов	ИД-4ГК-1	+	+							Контрольная работа/Основы физики полупроводников. Оптические свойства светодиодов
<b>Уметь:</b>										
проводить исследования светодиодных источников света осветительных приборов на их основе	ИД-4ГК-1						+			Контрольная работа/Вывод излучения из светодиодных кристаллов
дать объяснение механизмам излучения в полупроводниковых светодиодах	ИД-4ГК-1			+	+					Контрольная работа/Электрические свойства светодиодов. Влияние температуры на параметры светодиодов

## **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: Письменная работа

1. Вывод излучения из светодиодных кристаллов (Контрольная работа)
2. Основы физики полупроводников. Оптические свойства светодиодов (Контрольная работа)
3. Характеристики светодиодов. Применение светодиодов в светотехнике (Контрольная работа)
4. Электрические свойства светодиодов. Влияние температуры на параметры светодиодов (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №7)*

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. Шуберт, Ф. Светодиоды : пер. с англ. / Ф. Шуберт . – 2-е изд . – М. : Физматлит, 2008 . – 496 с. - ISBN 978-5-922108-51-5 .;
2. Справочная книга по светотехнике / Ред. Ю. Б. Айзенберг . – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : [б. и.], 2008 . – 952 с. - ISBN 5-87789-051-4 .;
3. Бонч-Бруевич, В. Л. Физика полупроводников : Учебное пособие для физических специальностей вузов / В. Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников . – М. : Наука, 1990 . – 688 с.;
4. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов : В 2 кн. Кн.1 : пер. с англ. / С. Зи . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Мир, 1984 . – 456 с.;
5. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов : В 2 кн. Кн.2 : пер. с англ. / С. Зи . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Мир, 1984 . – 456 с.;
6. А. И. Лебедев- "Физика полупроводниковых приборов", Издательство: "Физматлит", Москва, 2008 - (488 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68403>.

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

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции.

### 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/>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Е-511, Аудитория кафедры "Светотехника"	стол, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-511, Аудитория кафедры "Светотехника"	стол, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-624, Лаборатория кафедры "Светотехники"	стол, стул, техническая аппаратура, инвентарь специализированный, стенд лабораторный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-511, Аудитория кафедры "Светотехника"	стол, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет
Помещения для самостоятельной работы	Е-508, Компьютерный класс по курсам «Компьютерная обработка изображений», «Теория оптико-электронных систем»	стол, стул, книги, учебники, пособия
Помещения для консультирования	Е-511, Аудитория кафедры "Светотехника"	стол, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-628, Прочее каф. "Светотех."	стол, стул, шкаф

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Светоизлучающие диоды

(название дисциплины)

## 7 семестр

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

- КМ-1 Основы физики полупроводников. Оптические свойства светодиодов (Контрольная работа)
- КМ-2 Электрические свойства светодиодов. Влияние температуры на параметры светодиодов (Контрольная работа)
- КМ-3 Вывод излучения из светодиодных кристаллов (Контрольная работа)
- КМ-4 Характеристики светодиодов. Применение светодиодов в светотехнике (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	16
1	Основы физики полупроводников					
1.1	История развития технологии полупроводниковых светодиодов. Основы физики полупроводников, типы проводимости.		+			
1.2	Полупроводниковый p-n переход, принципы работы светодиодов. Рекомбинация носителей в полупроводниках. Излучательная рекомбинация, безызлучательная рекомбинация.		+			
2	Оптические характеристики светодиодов.					
2.1	Оптические характеристики светодиодов. Спектр излучения.		+			
2.2	Угол вывода излучения. Пространственное распределение излучения. Кривая светораспределения. Ламбертовское распределение излучения.		+			
2.3	Корпуса светодиодов из прозрачных материалов. Температурная зависимость интенсивности излучения.		+			
3	Электрические свойства светодиодов.					
3.1	Электрические свойства светодиодов. Вольтамперная характеристика (ВАХ). Отклонения от идеальных ВАХ. Паразитные сопротивления. Влияние гетеропереходов на сопротивление устройств.			+		
3.2	Потери носителей в двойных гетероструктурах. Избыточная концентрация носителей в активной области двойных гетероструктур. Ограничивающие слои. Напряжение на диоде.			+		

4	Влияние температуры на параметры светодиодов				
4.1	Температура р-п перехода. Влияние температуры активной области кристалла на параметры светодиода. Определение температуры носителей по наклону спектральной характеристики в области высоких энергий.		+		
4.2	Зависимость длины волны в максимуме спектра излучения от температуры р-п перехода. Определение температуры р-п перехода по положению максимума спектра излучения.		+		
5	Вывод излучения из светодиодных кристаллов				
5.1	Вывод излучения из светодиодных кристаллов. Структуры с высоким коэффициентом вывода излучения. Поглощение полупроводниками излучения с энергией кванта меньше ширины запрещенной зоны. Двойные гетероструктуры. Светодиоды с кристаллами разной геометрии.			+	
5.2	Применение текстурированной поверхности. Применение контактов разной геометрической формы. Технология выращивания светодиодных кристаллов на прозрачных подложках. Метод перевернутого монтажа кристаллов.			+	
6	Характеристики светодиодов				
6.1	Динамические характеристики светодиодов. Время нарастания и спада сигналов, полоса пропускания в теории линейных цепей. Время нарастания и спада оптического сигнала при большой емкости светодиодов. Время нарастания и спада оптических сигналов при малой емкости светодиодов.				+
6.2	Зависимость напряжения от времени спада и нарастания оптических сигналов. Уход носителей из активной области. Формирование тока.				+
7	Применение светодиодов в освещении				
7.1	Светодиоды разных областей спектра свечения				+
7.2	Применение светодиодов в осветительных приборах и системах освещения.				+
Вес КМ, %:		25	25	25	25