

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

**Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Наименование образовательной программы: Теоретическая и прикладная светотехника**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Актуальные проблемы современной электроники**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

А.Н. Туркин

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Снетков В.Ю.
	Идентификатор	Rb7ba3433-SnetkovVY-42adae29

В.Ю.  
Снетков

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Боос Г.В.
	Идентификатор	R4494501d-BoosGeorV-031c67c1

Г.В. Боос

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

- ПК-1 Способен осуществлять метрологическое сопровождение производства, проектирование и конструирование световых приборов и их составных частей
- ИД-3 Реализует техническое сопровождение проектов световых приборов и их составных частей

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ (Знать: основные параметры классических светодиодных источников света) (Тестирование)
2. КМ (Знать: основные параметры перспективных светодиодных источников света) (Тестирование)
3. КМ (Знать: тенденции и перспективы) (Тестирование)
4. КМ (Уметь: выбирать светодиодные источники освещения исходя из необходимых параметров) (Тестирование)
5. КМ (Уметь: умеет осуществлять расчёты, исследования, проектирование и конструирование) (Тестирование)

## БРС дисциплины

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	3	6	9	12	16
Физические основы работы полупроводниковых источников света						
Явление люминесценции. Электролюминесценция. Энергетический и квантовый выход люминесценции. Типы излучения в твердом теле. Р-n-переходы в светоизлучающих диодах. Электрические свойства светодиода. Вольт-амперные характеристики светодиода. Оптические характеристики светодиодов. Внутренний и внешний квантовый выход излучения, коэффициент полезного действия (к.п.д.) светодиода. Спектр излучения светодиода. Угол вывода излучения. Пространственное распределение излучения светодиода. Температурная зависимость спектральной характеристики в области высоких энергий, длины волны максимума излучения, электрического сопротивления. Измерение температуры	+					

р-n-перехода по величине прямого напряжения.					
Конструкция и назначение основных элементов светодиодов					
Назначение и свойства основных элементов светодиодов: светодиодного чипа, корпуса светодиода, оптических систем. Типовые характеристики современных светодиодных чипов и светодиодов. Обеспечение теплового режима работы светодиода. Основные виды и конструктивные мощных светодиодов, сборка «чип на плате». Технология изготовления современных светодиодов. Светодиоды на основе GaN. Светодиоды на основе SiC и Si. Светодиоды белого света		+			
Конструкция светодиодных светильников. Электроника в светодиодной светотехнике					
Виды светодиодных светильников, светодиодные лампы. Отражатели и рассеиватели светодиодного светильника. Спектры излучения светодиодного светильника. Обеспечение теплового режима светодиодного светильника. Источники питания к светодиодному источнику света. Виды источников питания. Требования, предъявляемые источникам питания светодиодов. Драйверы для светодиодов. Интеллектуальное освещение. Аналоговое и цифровое управление светодиодным светильником. Динамические характеристики светодиодов			+	+	
Перспективные технологии развития классических светодиодных систем					
Особенности обеспечения высокой эффективности, длительности срока службы и качества света при крупносерийном производстве светодиодов. Светодиодные модули, работающие на переменном токе (AC-LED). Высоковольтные светодиоды (HV-LED).			+		
Органические светодиоды					
Технология изготовления органических светодиодов (OLED). Физические характеристики OLED. Типы OLED. Органические полевые транзисторы (OFET). Комбинация органических транзисторов и диодов (OLET). Амбиполярный OLET, униполярный OLET. OLED с пассивной матрицей, с активной матрицей (AMOLED). Дegrадация OLED. Оптимизация OLED. Материалы электродов для OLED.					+
Перспективные светодиоды					
Дендримерные люминофоры. Металлоорганические эмиссионные материалы. OLED на квантовых точках. Светодиодные устройства ионных комплексов. Зарядоуправляемые материалы. OLED на квантовых точках. Лазерные светодиоды.					+
Вес КМ:	20	20	20	20	20

§Общая часть/Для промежуточной аттестации§

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-3ПК-1 Реализует техническое сопровождение проектов световых приборов и их составных частей	<p>Знать:</p> <p>тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники</p> <p>основные параметры классических светодиодных источников света</p> <p>основные параметры перспективных светодиодных источников света</p> <p>Уметь:</p> <p>выбирать светодиодные источники освещения исходя из необходимых параметров</p> <p>умеет осуществлять расчёты, исследования, проектирование и конструирование источников излучения, пускорегулирующих</p>	<p>КМ (Знать: основные параметры классических светодиодных источников света) (Тестирование)</p> <p>КМ (Знать: основные параметры перспективных светодиодных источников света) (Тестирование)</p> <p>КМ (Уметь: выбирать светодиодные источники освещения исходя из необходимых параметров) (Тестирование)</p> <p>КМ (Уметь: умеет осуществлять расчёты, исследования, проектирование и конструирование) (Тестирование)</p> <p>КМ (Знать: тенденции и перспективы) (Тестирование)</p>

		аппаратов и систем управления освещением	
--	--	---	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

**КМ-1. КМ (Знать: основные параметры классических светодиодных источников света)**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент отвечает на вопросы письменной работы

**Краткое содержание задания:**

Студент отвечает на вопросы письменной работы

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: основные параметры классических светодиодных источников света</p>	<p>1.Приведите определение люминесценции. а) Люминесценция – спонтанное избыточное над тепловым излучение света с длительностью полусвечения большей периода световой волны. б) Люминесценция – целенаправленное тепловое излучение света с длительностью полусвечения большей периода световой волны. в) Люминесценция – спонтанное избыточное над тепловым излучение света с длительностью полусвечения меньшей периода световой волны. г) Люминесценция – спонтанное избыточное тепловое излучение света с длительностью полусвечения большей периода световой волны.</p> <p>2.Приведите классическое определение энергетического выхода. а) Отношение поглощённой энергии к излучённой энергии. б) Отношение излучённой энергии к поглощённой энергии. в) Произведение излучённой энергии на поглощённую энергию. г) Величина энергии, испущенной образцом.</p> <p>3.Приведите классическое определение квантового выхода. а) Отношение поглощённого числа квантов энергии к испущенному количеству квантов излучения. б) Отношение испущенного числа квантов энергии к поглощённому количеству квантов излучения. в) Произведение поглощённого числа квантов энергии на испущенное количество квантов излучения. г) Количество испущенных квантов излучения.</p> <p>4.Приведите определение квантового выхода электролюминесценции (ЭЛ). а) Квантовый выход ЭЛ – число фотонов</p>
---	---

	<p>люминесцентного излучения, приходящихся на каждый электрон, прошедший через люминофор.</p> <p>б) Квантовый выход ЭЛ – число фотонов люминесцентного излучения, прошедших через люминофор, приходящихся на каждый электрон, прошедший через люминофор.</p> <p>в) Квантовый выход ЭЛ – число электронов, прошедших через люминофор, приходящихся на каждый фотон люминесцентного излучения, прошедший через люминофор.</p> <p>г) Квантовый выход ЭЛ – мощность люминесцентного излучения, приведённая к числу испущенных фотонов.</p> <p>5. Приведите определение внешнего квантового выхода электролюминесценции (ЭЛ).</p> <p>а) Внешний квантовый выход ЭЛ определяется как отношение интегрального числа квантов света, вышедших через поверхность образца, к числу электронов, прошедших через люминофор.</p> <p>б) Внешний квантовый выход ЭЛ определяется как отношение дифференциального числа квантов света, вышедших через поверхность образца, к числу электронов, прошедших через люминофор.</p> <p>в) Внешний квантовый выход ЭЛ определяется как отношение интегрального числа электронов, вышедших через поверхность образца, к числу квантов света, прошедших через люминофор.</p> <p>г) Внешний квантовый выход ЭЛ определяется как отношение интегрального числа квантов света, вышедших через поверхность образца, к числу электронов, вышедших через поверхность образца.</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:*

**КМ-2. КМ (Знать: основные параметры перспективных светодиодных источников света)**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 20**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент отвечает на вопросы письменной работы

**Краткое содержание задания:**

Студент отвечает на вопросы письменной работы

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: основные параметры перспективных светодиодных источников света</p>	<p>1. Дайте определение инжекционной люминесценции.</p> <p>а) Энергетический выход больше квантового. б) Квантовый выход больше энергетического. в) Энергетический и квантовый выход равны. г) Энергетический выход много меньше квантового.</p> <p>2. Чем отличается типовая ВАХ идеального и реального диодов?</p> <p>а) У идеального диода существует асимптота по контактной разности потенциалов, ВАХ реального диода пересекает эту асимптоту. б) У реального диода существует асимптота по контактной разности потенциалов, ВАХ идеального диода пересекает эту асимптоту. в) ВАХ реального диода и идеального диода пересекают линию контактной разности потенциалов, но ВАХ реального диода всегда лежит выше по току, чем ВАХ идеального диода после пересечения линии контактной разности потенциалов. г) ВАХ реального диода и идеального диода пересекают линию контактной разности потенциалов, но ВАХ идеального диода всегда лежит выше по току, чем ВАХ реального диода после пересечения линии контактной разности потенциалов.</p> <p>3. Опишите качественно процесс реабсорбции (перепоглощения).</p> <p>а) При поглощении света полупроводником электроны могут перейти в возбужденное состояние, например из валентной зоны в зону проводимости, после чего, неравновесные электронно-дырочные пары рекомбинируют, выделяя фотон, который повторно может быть поглощен, не успев покинуть твердое тело. б) При поглощении света полупроводником электроны в валентной зоне многократно увеличивают свою скорость; сталкиваясь с атомами кристаллической решетки, электроны передают свою энергию атомам, выделяя фотон, который повторно может быть поглощен, не успев покинуть твердое тело. в) При поглощении света полупроводником электроны в зоне проводимости многократно увеличивают свою скорость; сталкиваясь с атомами кристаллической решетки, электроны передают свою энергию атомам, выделяя фотон, который повторно</p>
--	---

может быть поглощен, не успев покинуть твёрдое тело.

г) При поглощении света полупроводником дырки в валентной зоне многократно увеличивают свою скорость; сталкиваясь с атомами кристаллической решётки, электроны передают свою энергию атомам, выделяя фотон, который повторно может быть поглощен, не успев покинуть твёрдое тело.

4. Поясните принцип введения примесей в подложки диффузией из газовой фазы.

а) В замкнутой ёмкости, откуда предварительно откачан воздух, располагаются пластины полупроводника; в камеру запускают инертный газ с примесью газа - диффузанта; система нагревается до температуры, при которой процесс диффузии станет достаточно эффективным.

б) В замкнутой ёмкости, откуда предварительно откачан воздух, располагаются пластины полупроводника; в камеру запускают кислород с примесью газа - диффузанта; система охлаждается ниже комнатной температуры, при которой процесс диффузии станет достаточно эффективным.

в) Ёмкость, в которой располагаются пластины полупроводника, продувается воздухом; в камеру запускают газ - диффузанта; система нагревается до температуры, при которой процесс диффузии станет достаточно эффективным.

г) Ёмкость, в которой располагаются пластины полупроводника, изолируется от окружающей среды и наполняется газом - диффузантом так, чтобы атмосферное давление внутри камеры было выше атмосферного на порядок.

5. Какова связь цвета излучения светодиода и ширины запрещённой зоны материала, из которого светодиод сделан?

а) Неравновесные электроны и дырки рекомбинируют по механизму зона — зона, по этой причине длина волны излучённого кванта примерно равна ширине запрещённой зоны.

б) Неравновесные электроны и дырки в светодиоде рекомбинируют через ловушки, по этой причине длина волны излучённого кванта не связана с шириной запрещённой зоны.

в) Неравновесные электроны и дырки в светодиоде рекомбинируют по механизму зона — зона, по этой причине длина волны излучённого кванта равна половине ширины запрещённой зоны.

г) Неравновесные электроны и дырки в светодиоде рекомбинируют по механизму зона — зона, по этой причине длина волны излучённого кванта равна четверти ширины запрещённой зоны.

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания:

**КМ-3. КМ (Уметь: выбирать светодиодные источники освещения исходя из необходимых параметров)**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент отвечает на вопросы

**Краткое содержание задания:**

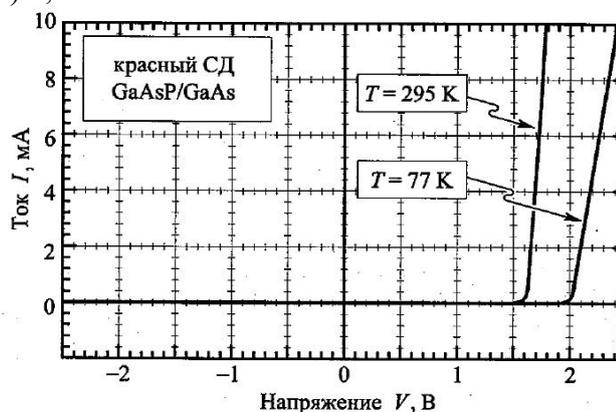
Ответить на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: выбирать светодиодные источники освещения исходя из необходимых параметров

1. Для приведённых ВАХ светодиода определите контактную разность потенциалов при комнатной температуре

- а) 1,6 В
- б) 1,5 В
- д) 2 В
- г) 2,1 В

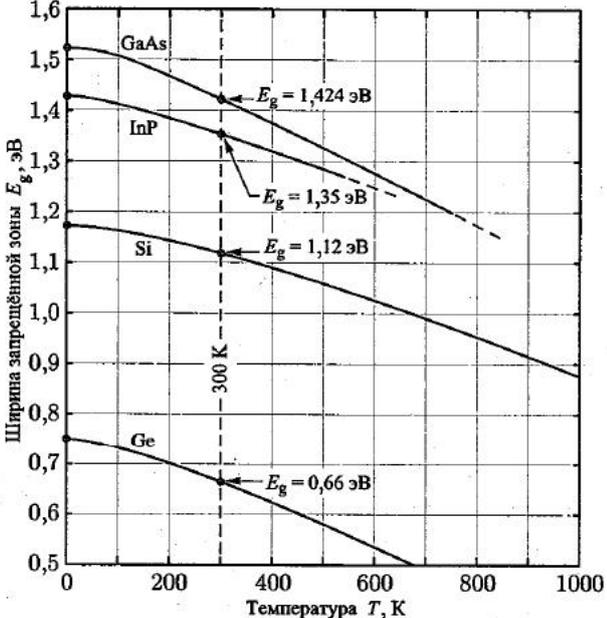


2. Перед вами стоит задача сделать светодиод, максимум спектра которого 555 нм. Какова должна быть ширина запрещённой зоны полупроводника в идеальном случае?

- а) 2,2 эВ
- б) 2 эВ
- в) 2,5 эВ
- г) 3 эВ

3. Четыре светодиода включено последовательно. Используется ограничительный резистор 1 кОм. На открытом светодиоде падает 2 В. Какова должна быть мощность резистора, если напряжение питания 10 В. Мощность резистора выбрать из типового ряда.

- а) 0,05 Вт
- б) 5 мВт

	<p>в) 0,5 Вт  г) 5 Вт  4. Четыре светодиода включено последовательно. Номинальный ток одного светодиода 1 мА. На открытом светодиоде падает 2 В. Выберите номинал ограничительного резистора при коэффициенте запаса 0,75, если напряжение питания 10 В. Резистор выбрать из номинального ряда E12.  а) 2,7 кОм.  б) 2,7 Ом  в) 2 Ом  г) 2 кОм</p>																				
<p>Уметь: умеет осуществлять расчёты, исследования, проектирование и конструирование источников излучения, пускорегулирующих аппаратов и систем управления освещением</p>	<p>1. Приведены зависимости ширины запрещённой зоны от температуры. Какой из перечисленных материалов подходит для создания инфракрасного светодиода, если тот будет работать при комнатной температуре?  а) GaAs.  б) InP.  в) Si.  г) Ge.  д) Все материалы подходят.</p>  <table border="1"> <caption>Data from the graph: Width of the forbidden zone (<math>E_g</math>) vs. Temperature (<math>T</math>)</caption> <thead> <tr> <th>Material</th> <th><math>E_g</math> at 0 K (eV)</th> <th><math>E_g</math> at 300 K (eV)</th> <th><math>E_g</math> at 1000 K (eV)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GaAs</td> <td>~1.52</td> <td>1.424</td> <td>~0.85</td> </tr> <tr> <td>InP</td> <td>~1.42</td> <td>1.35</td> <td>~0.75</td> </tr> <tr> <td>Si</td> <td>~1.18</td> <td>1.12</td> <td>~0.65</td> </tr> <tr> <td>Ge</td> <td>~0.75</td> <td>0.66</td> <td>~0.55</td> </tr> </tbody> </table>	Material	$E_g$ at 0 K (eV)	$E_g$ at 300 K (eV)	$E_g$ at 1000 K (eV)	GaAs	~1.52	1.424	~0.85	InP	~1.42	1.35	~0.75	Si	~1.18	1.12	~0.65	Ge	~0.75	0.66	~0.55
Material	$E_g$ at 0 K (eV)	$E_g$ at 300 K (eV)	$E_g$ at 1000 K (eV)																		
GaAs	~1.52	1.424	~0.85																		
InP	~1.42	1.35	~0.75																		
Si	~1.18	1.12	~0.65																		
Ge	~0.75	0.66	~0.55																		

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 100

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания:

**КМ-4. КМ (Уметь: умеет осуществлять расчёты, исследования, проектирование и конструирование)**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** 111

**Краткое содержание задания:**

1111

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: умеет осуществлять расчёты, исследования, проектирование и конструирование источников излучения, пускорегулирующих аппаратов и систем управления освещением</p>	<p>1.Свет нормально падает на границу воздух — покрытие. Рассчитайте коэффициент пропускания, если показатель преломления покрытия 1.5. Показатель преломления воздуха принять за 1.</p> <p>а) 64% б) 74% в) 84% г) 94%</p> <p>2.Свет нормально падает на границу воздух — покрытие. Рассчитайте коэффициент отражения, если показатель преломления покрытия 1.5. Показатель преломления воздуха принять за 1.</p> <p>а) 4% б) 5% в) 6% г) 7%</p> <p>3.Показатель преломления полупроводника 3.5, рассчитайте долю выходящего излучения (по мощности). Показатель преломления воздуха принять за 1.</p> <p>а) 2% б) 3% в) 4% г) 5%</p> <p>4.Показатель преломления полупроводника 3.5, рассчитайте угол полного внутреннего отражения. Показатель преломления воздуха принять за 1, расчёты проводить в радианах.</p> <p>а) 0,2 б) 0,3 в) 0,4 г) 0,5</p> <p>5.Светодиод подключен последовательно к сети 220В с использованием последовательного защитного диода и ограничительного резистора. Какое должно быть напряжение пробоя защитного диода?</p> <p>а) 400В</p>
---	--

	б) 220В в) 100В г) 300В
--	-------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 100*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:*

**КМ-5. КМ (Знать: тенденции и перспективы)**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты отвечают на вопросы теста

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы теста

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники</p>	<p>1.Аналогом какой зоны полупроводника выступает LUMO в OLED? а) Зоны проводимости б) Валентной зоны в) Запрещённой зоны г) Свободной зоны</p> <p>2.Каковы особенности оценки долговечности OLED? а) При выработке ресурсы OLED не выходят из строя полностью: спектр светодиода “заваливается” в красную область спектра. б) При выработке ресурсы OLED сгорает. в) При выработке ресурсы OLED теряет красную и синию компоненты спектра. г) При выработке ресурсы OLED начинают мерцать.</p> <p>3.По какой причине в современных OLED не используют однослойную структуру? а) Однослойная структура уступает многослойной структуре по яркости, долговечности, энергетической эффективности. б) Однослойная структура слишком хрупкая, что усложняет эксплуатацию. в) Однослойная структура слишком хрупкая, что приводит к малому по сравнению с многослойной</p>
--	---

	<p>структурой выходу годных.</p> <p>г) Однослойная структура не позволяет создавать светодиоды белого света.</p> <p>4.Каким образом светодиоды типа AC-LED могут работать напрямую от сети переменного тока без использования драйвера?</p> <p>а) В светодиодах этого типа вместо флуоресценции используется фосфоресценция, при этом период остаточного свечения превышает полупериод переменного сигнала.</p> <p>б) В конструкцию светодиода добавляют конденсатор.</p> <p>в) В конструкцию светодиода добавляется катушка индуктивности.</p> <p>г) Светодиод указанного типа может работать в режиме электрического пробоя при обратном смещении.</p> <p>5.Какими средствами можно перестраивать спектр излучения светодиодов с квантовыми точками?</p> <p>а) Спектр излучения зависит от размеров квантовых точек.</p> <p>б) Спектр излучения зависит от прикладываемого напряжения.</p> <p>в) Спектр излучения определяется количеством квантов в плёнке с квантовыми точками.</p> <p>г) Спектр излучения зависит от концентрации квантовых точек в плёнке.</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

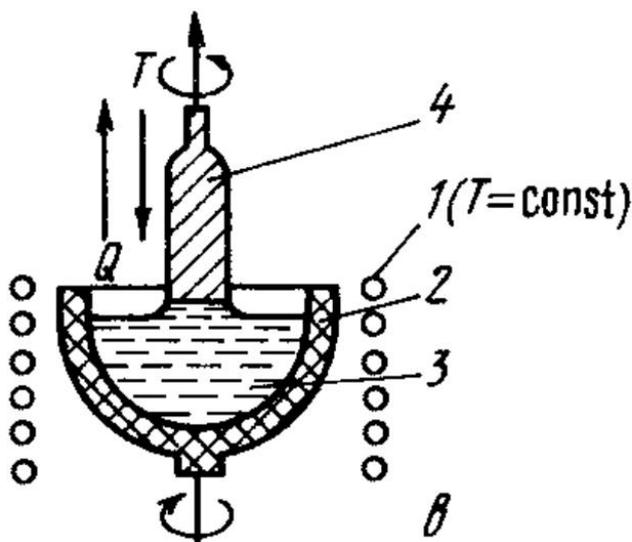
## Пример билета

Теоретические вопросы

1. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) идеального и реального диодов. Зависимость ВАХ диода от температуры. Принцип встроенной в светодиод на этапе производства защиты от перенапряжений.
2. Конструкция DIP – корпуса мало мощного светодиода, COB – корпуса мощного светодиода. Особенности эксплуатации полимеров, применяемых для изготовления полимерной линзы для светодиода. Диаграммы направленности для параболического светодиода, планарного светодиода (с Ламбертовским распределением), светодиода полусферической формы. Полимерные и поликарбонатные линзы для светодиодов.

Практическое задание

1. На рисунке показана структура технологической установки. Укажите, какие элементы указаны на рисунке цифрами? Каково их функциональное назначение?



## Процедура проведения

Студент готовит ответ на билет 1 час. По окончании подготовки отвечает на билет устно

## I. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3ПК-1 Реализует техническое сопровождение проектов световых приборов и их составных частей

## Вопросы, задания

1. Люминесценция, мономолекулярная люминесценция, рекомбинационная люминесценция, антистоксова люминесценция. Зависимость цвета излучения светодиода от ширины запрещенной зоны полупроводника. Типовые спектры пропускания, отражения и поглощения полупроводника. Энергетический и квантовый выход. Типовые зависимости интенсивности и яркости излучения светодиода от температуры.

- Интенсивность света, возбужденного импульсным сигналом. Инжекционная люминесценция. Реабсорбции (перепоглощение) в светодиоде.
2. Основные этапы производства полупроводников для светодиодов. Выращивание монокристаллического слитка полупроводника методом Чохральского. Очистка монокристаллических слитков. Введения примесей в полупроводниковые подложки диффузией из газовой фазы. Эпитаксия, выращивание эпитаксиальных слоёв методом жидкофазной и газифазной эпитаксии. Основные преимущества и недостатки различных подложек, используемых для производства светодиодов.
  3. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) идеального и реального диодов. Зависимость ВАХ диода от температуры. Принцип встроенной в светодиод на этапе производства защиты от перенапряжений.
  4. Методы измерения интенсивности люминесценции, яркости люминесценции, спектра люминесценции, координат цветности люминесценции.
  5. Закон Снеллиуса. Угол полного внутреннего отражения. Закон Френеля, принцип действия полимерной линзы для светодиода.
  6. Конструкция DIP – корпуса маломощного светодиода, COB – корпуса мощного светодиода. Особенности эксплуатации полимеров, применяемых для изготовления полимерной линзы для светодиода. Диаграммы направленности для параболического светодиода, планарного светодиода (с Ламбертовским распределением), светодиода полусферической формы. Полимерные и поликарбонатные линзы для светодиодов.
  7. Расчёта рабочей точки диода. Питание светодиода через интегральный стабилизатор. Питание светодиода от сети 220 В. Питание светодиода через драйвер.
  8. Физические основы работы и структура двухцветного, трёхцветного, четырёхцветного светодиода белого света. Светодиоды с преобразователями спектра. Люминофоры в конструкции светодиодов, ближнее и дальнее расположение люминофора. Составы, применяемые для изготовления светодиодных люминофоров. Однородность излучения люминофора. Светодиод белого света на базе ультрафиолетового светодиода. Полупроводниковые преобразователи спектра. Светодиоды с красителями.
  9. Особенности массового производства светодиодов. Сортировка светодиодов по «бинам» и «китам».
  10. Органические светодиоды (OLED). LUMO и HOMO. Энергетическая диаграмма и структура многослойного органического светодиода. Однослойные и многослойные OLED. Органические светодиоды белого света. Управление питанием светодиодов, светодиодные матрицы, PMOLED и AMOLED. Деграция OLED, схемотехнические методы замедления деграции.
  11. Технология изготовления OLED, трафаретная печать, изготовление OLED вакуумными методами, жидкофазными методами. Рулонная печать. Материалы для OLED, анодные и катодные материалы, молекулярные, металлорганические эмиссионные слои.

### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1. Приведите определение люминесценции

Ответы:

- a) Люминесценция – спонтанное избыточное над тепловым излучение света с длительностью полусвечения большей периода световой волны.
- b) Люминесценция – целенаправленное тепловое излучение света с длительностью полусвечения большей периода световой волны.
- c) Люминесценция – спонтанное избыточное над тепловым излучение света с длительностью полусвечения меньшей периода световой волны.
- d) Люминесценция – спонтанное избыточное тепловое излучение света с длительностью полусвечения большей периода световой волны.

Верный ответ: a)

2. Приведите классическое определение энергетического выхода.

Ответы:

а) Отношение поглощённой энергии к излучённой энергии. б) Отношение излучённой энергии к поглощённой энергии. в) Произведение излучённой энергии на поглощённую энергию. г) Величина энергии, испущенной образцом.

Верный ответ: а)

3. Приведите классическое определение квантового выхода.

Ответы:

а) Отношение поглощённого числа квантов энергии к испущенному количеству квантов излучения. б) Отношение испущенного числа квантов энергии к поглощённому количеству квантов излучения. в) Произведение поглощённого числа квантов энергии на испущенное количество квантов излучения. г) Количество испущенных квантов излучения.

Верный ответ: а)

4. Приведите определение квантового выхода электролюминесценции (ЭЛ).

Ответы:

а) Квантовый выход ЭЛ – число фотонов люминесцентного излучения, приходящихся на каждый электрон, прошедший через люминофор. б) Квантовый выход ЭЛ – число фотонов люминесцентного излучения, прошедших через люминофор, приходящихся на каждый электрон, прошедший через люминофор. в) Квантовый выход ЭЛ – число электронов, прошедших через люминофор, приходящихся на каждый фотон люминесцентного излучения, прошедший через люминофор. г) Квантовый выход ЭЛ – мощность люминесцентного излучения, приведённая к числу испущенных фотонов.

Верный ответ: а)

5. Приведите определение внешнего квантового выхода электролюминесценции (ЭЛ).

Ответы:

а) Внешний квантовый выход ЭЛ определяется как отношение интегрального числа квантов света, вышедших через поверхность образца, к числу электронов, прошедших через люминофор. б) Внешний квантовый выход ЭЛ определяется как отношение дифференциального числа квантов света, вышедших через поверхность образца, к числу электронов, прошедших через люминофор. в) Внешний квантовый выход ЭЛ определяется как отношение интегрального числа электронов, вышедших через поверхность образца, к числу квантов света, прошедших через люминофор. г) Внешний квантовый выход ЭЛ определяется как отношение интегрального числа квантов света, вышедших через поверхность образца, к числу электронов, вышедших через поверхность образца.

Верный ответ: а)

6. Дайте определение инжекционной люминесценции.

Ответы:

а) Энергетический выход больше квантового. б) Квантовый выход больше энергетического. в) Энергетический и квантовый выход равны. г) Энергетический выход много меньше квантового.

Верный ответ: а)

7. Чем отличается типовая ВАХ идеального и реального диодов?

Ответы:

а) У идеального диода существует асимптота по контактной разности потенциалов, ВАХ реального диода пересекает эту асимптоту. б) У реального диода существует асимптота по контактной разности потенциалов, ВАХ идеального диода пересекает эту асимптоту. в) ВАХ реального диода и идеального диода пересекают линию контактной разности потенциалов, но ВАХ реального диода всегда лежит выше по току, чем ВАХ идеального диода после пересечения линии контактной разности потенциалов. г) ВАХ реального диода и идеального диода пересекают линию контактной разности потенциалов, но ВАХ

идеального диода всегда лежит выше по току, чем ВАХ реального диода после пересечения линии контактной разности потенциалов.

Верный ответ: а)

8.Опишите качественно процесс реабсорбции (перепоглощения).

Ответы:

а) При поглощении света полупроводником электроны могут перейти в возбужденное состояние, например из валентной зоны в зону проводимости, после чего, неравновесные электронно-дырочные пары рекомбинируют, выделяя фотон, который повторно может быть поглощен, не успев покинуть твёрдое тело. б) При поглощении света полупроводником электроны в валентной зоне многократно увеличивают свою скорость; сталкиваясь с атомами кристаллической решётки, электроны передают свою энергию атомам, выделяя фотон, который повторно может быть поглощен, не успев покинуть твёрдое тело. в) При поглощении света полупроводником электроны в зоне проводимости многократно увеличивают свою скорость; сталкиваясь с атомами кристаллической решётки, электроны передают свою энергию атомам, выделяя фотон, который повторно может быть поглощен, не успев покинуть твёрдое тело. г) При поглощении света полупроводником дырки в валентной зоне многократно увеличивают свою скорость; сталкиваясь с атомами кристаллической решётки, электроны передают свою энергию атомам, выделяя фотон, который повторно может быть поглощен, не успев покинуть твёрдое тело.

Верный ответ: а)

9.Поясните принцип введения примесей в подложки диффузией из газовой фазы

Ответы:

а) В замкнутой ёмкости, откуда предварительно откачан воздух, располагаются пластины полупроводника; в камеру запускают инертный газ с примесью газа - диффузанта; система нагревается до температуры, при которой процесс диффузии станет достаточно эффективным. б) В замкнутой ёмкости, откуда предварительно откачан воздух, располагаются пластины полупроводника; в камеру запускают кислород с примесью газа - диффузанта; система охлаждается ниже комнатной температуры, при которой процесс диффузии станет достаточно эффективным. в) Ёмкость, в которой располагаются пластины полупроводника, продувается воздухом; в камеру запускают газ - диффузанта; система нагревается до температуры, при которой процесс диффузии станет достаточно эффективным. г) Ёмкость, в которой располагаются пластины полупроводника, изолируется от окружающей среды и наполняется газом - диффузантом так, чтобы атмосферное давление внутри камеры было выше атмосферного на порядок.

Верный ответ: а)

10.Какова связь цвета излучения светодиода и ширины запрещённой зоны материала, из которого светодиод сделан.

Ответы:

а) Неравновесные электроны и дырки рекомбинируют по механизму зона — зона, по этой причине длина волны излучённого кванта примерно равна ширине запрещённой зоны. б) Неравновесные электроны и дырки в светодиоде рекомбинируют через ловушки, по этой причине длина волны излучённого кванта не связана с шириной запрещённой зоны. в) Неравновесные электроны и дырки в светодиоде рекомбинируют по механизму зона — зона, по этой причине длина волны излучённого кванта равна половине ширины запрещённой зоны. г) Неравновесные электроны и дырки в светодиоде рекомбинируют по механизму зона — зона, по этой причине длина волны излучённого кванта равна четверти ширины запрещённой зоны.

Верный ответ: а)

11.Показатель преломления полупроводника 3.5, рассчитайте угол полного внутреннего отражения. Показатель преломления воздуха принять за 1, расчёты проводить в радианах.

Ответы:

a) 0,2 b) 0,3 c) 0,4 d) 0,5

Верный ответ: a)

12. Показатель преломления полупроводника 3,5, рассчитайте долю выходящего излучения (по мощности). Показатель преломления воздуха принять за 1.

Ответы:

a) 2% b) 3% c) 4% d) 5%

Верный ответ: a)

13. Свет нормально падает на границу воздух — покрытие. Рассчитайте коэффициент отражения, если показатель преломления покрытия 1,5. Показатель преломления воздуха принять за 1.

Ответы:

a) 4% b) 5% c) 6% d) 7%

Верный ответ: a)

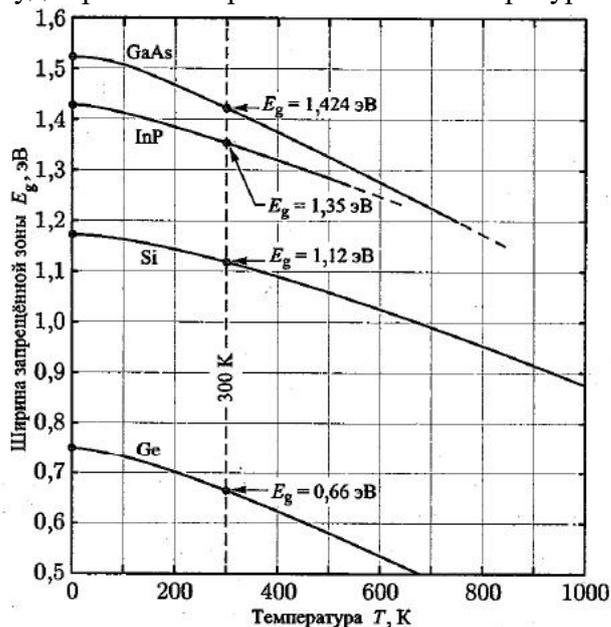
14. Свет нормально падает на границу воздух — покрытие. Рассчитайте коэффициент пропускания, если показатель преломления покрытия 1,5. Показатель преломления воздуха принять за 1.

Ответы:

a) 64% b) 74% c) 84% d) 94%

Верный ответ: a)

15. Приведены зависимости ширины запрещенной зоны от температуры. Какой из перечисленных материалов подходит для создания инфракрасного светодиода, если тот будет работать при комнатной температуре?



Ответы:

a) GaAs. b) InP. c) Si. d) Ge. e) Все материалы подходят.

Верный ответ: e)

16. Четыре светодиода включено последовательно. Номинальный ток одного светодиода 1 мА. На открытом светодиоде падает 2 В. Выберите номинал ограничительного резистора при коэффициенте запаса 0,75, если напряжение питания 10 В. Резистор выбрать из номинального ряда E12.

Ответы:

a) 2,7 кОм. b) 2,7 Ом c) 2 Ом d) 2 кОм

Верный ответ: a)

17. Четыре светодиода включено последовательно. Используется ограничительный резистор 1 кОм. На открытом светодиоде падает 2 В. Какова должна быть мощность

резистора, если напряжение питания 10 В. Мощность резистора выбрать из типового ряда.

Ответы:

a) 0,05 Вт b) 5 мВт c) 0,5 Вт d) 5 Вт

Верный ответ: a)

18. Светодиод подключен последовательно к сети 220В с использованием последовательного защитного диода и ограничительного резистора. Какое должно быть напряжение пробоя защитного диода?

Ответы:

a) 400В b) 220В c) 100В d) 300В

Верный ответ: a)

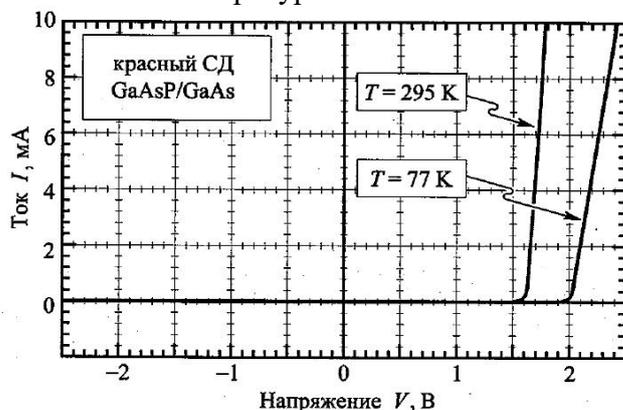
19. Перед вами стоит задача сделать светодиод, максимум спектра которого 555 нм. Какова должна быть ширина запрещенной зоны полупроводника в идеальном случае?

Ответы:

a) 2,2 эВ b) 2 эВ c) 2,5 эВ d) 3 эВ

Верный ответ: a)

20. Для приведенных ВАХ светодиода определите контактную разность потенциалов при комнатной температуре



Ответы:

a) 1,6 В b) 1,5 В c) 2 В d) 2,1 В

Верный ответ: a)

## II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его

выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины.

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который: а) не ответил на вопросы экзаменационного билета и не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из билета; б) не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из экзаменационного билета и другой задачи на тот же раздел дисциплины, выданной взамен нее; в) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

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