

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
оптики и спектроскопии


подпись

Овчинников О.В.

21.06.2023г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.02.01 Устройства нанофотоники

1. Код и наименование направления подготовки: 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки: Перспективные материалы и устройства фотоники
3. Квалификация выпускника: магистр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы: Смирнов Михаил Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 20.06.2023
8. Учебный год: 2023/2024 Семестр(ы): 1

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целью освоения учебной дисциплины является: формирование профессиональной компетенции в области физических основ функционирования устройств нанофотоники, их конструкций, параметров и характеристик, физических явлений, лежащих в основе их работы.

Задачи учебной дисциплины:

- сформировать знания об электролюминесцентных излучателях, фотокатализаторах на основе наночастиц, наноструктурированных био- и химических сенсорах, полупроводниковых детекторах электромагнитного излучения, наноструктурированных системах фотовольтаики;

- овладеть приемами конструирования конструкции устройств нанофотоники, их параметры и характеристики, физические явления, лежащие в основе их работы;

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: учебная дисциплина Б1.В.ДВ.02.01 «Устройства нанофотоники» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока Б1, дисциплины по выбору

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК – 1	Способен к анализу состояния научно-технической проблемы и постановке цели и задач проводимых научных исследований на основе подбора и изучения литературных и патентных источников	ПК – 1.2.	Проводит поиск и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по созданию материалов и разработке устройств фотоники	Знать: конструкции, параметры и характеристики приборов и устройств нанофотоники и методы их моделирования; Уметь: проводить информационный поиск в рамках поставленной научно-исследовательской задачи, планировать и осуществлять экспериментальные и теоретические исследования в области оптоэлектроники; Владеть: навыками обобщения и систематизированного представления информации
ПК – 3	Способен выбирать научно-исследовательское и технологическое оборудование с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств нанофотоники	ПК – 3.2.	Решая различные профессиональные задачи, применяет знания физических принципов работы приборов квантовой электроники и фотоники, базовых технологических процессов создания наноматериалов и устройств нанофотоники	Знать: физические явления, лежащие в основе работы оптоэлектронных приборов, и физические законы, их описывающие; Уметь: применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования приборов и устройств плазменной, твердотельной и оптической электроники Владеть: навыками обработки и оценки погрешности результатов измерений

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 3 ЗЕТ / 108 ч.

Форма промежуточной аттестации: зачёт с оценкой.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			№ 1 ч.
Аудиторные занятия		30	30
в том числе:	лекции	30	30
	практические	-	-
	лабораторные	-	-
Самостоятельная работа		78	78
Форма промежуточной аттестации			<i>Зачет с оценкой</i>
Итого:		108	108

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.	Введение в нанофотонику	Классификация низкоразмерных объектов. Оптические свойства наноматериалов: металлические кластеры, полупроводниковые кластеры, квантовые ямы, квантовые точки. Использование квантоворазмерных эффектов для создания источников излучения.	Онлайн-курс «Б1.В.ДВ.02.01 Устройства нанофотоники» https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=11609
2.	Нанoeлектронные лазеры	Нанoeлектронные лазеры с горизонтальными резонаторами. Нанoeлектронные лазеры с вертикальными резонаторами. Оптические модуляторы	
3.	Нанoeлектронные устройства на жидких кристаллах	Общие сведения. Электрооптический модулятор. Светоклапанные модуляторы. Плоские телевизоры, дисплеи и светоклапанные модуляторы видеопрокторов. Жидкокристаллические дисплеи широкого применения.	
4.	Излучающие приборы на основе органических наноматериалов	Общие сведения. Органические светодиоды. Технологии получения органических светодиодов. Получение цветного изображения в OLED-дисплеях. Использование MEMS-ключей вместо транзисторов в AMOLED. Состояние разработок устройств и систем на основе органических светодиодов.	
5.	Фотоприемные нанoeлектронные приборы	Фотоприемники на квантовых ямах. Фотоприемники на основе квантовых точек	
6.	Фотоматрицы широкого применения	Общие сведения. Характеристики матриц. Типы матриц по применяемой технологии. Методы получения цветного изображения в фотоматрицах	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практ.	Лабор.	Сам. работа	Всего

1.	<i>Введение в нанофотонику</i>	5		13	18
2.	<i>Наноэлектронные лазеры</i>	5		13	18
3.	<i>Наноэлектронные устройства на жидких кристаллах</i>	5		13	18
4.	<i>Излучающие приборы на основе органических наноматериалов</i>	5		13	18
5.	<i>Фотоприемные наноэлектронные приборы</i>	5		13	18
6.	<i>Фотоматрицы широкого применения</i>	5		13	18
	Итого:	30		78	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Основными этапами освоения дисциплины являются: Основными этапами освоения дисциплины являются:

- 1) Лекции. В ходе лекционных занятий студенту необходимо вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.
- 2) Самостоятельная работа студента. Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.
- 3) Подготовка к аттестации. В ходе подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации студенту рекомендуется активно использовать электронный образовательный портал Moodle – электронная среда дисциплины, с предоставлением презентаций лекций, заданий для выполнения практических работ, дополнительного теоретического материала и нормативно-правовых документов по темам и перечней вопросов для подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации. Также студенту рекомендуется использовать весь набор методов и средств современных информационных технологий для изучения отечественной и зарубежной литературы по дисциплине, оценки и анализа ее текущего состояния и перспектив развития. Ему предоставляется возможность работать в компьютерных классах факультета (313а аудитория), иметь доступ к Интернет-ресурсам и электронной почте, использовать имеющиеся на кафедре оптики и спектроскопии физического факультета информационные технологии, использовать ресурсы Зональной научной библиотеки ВГУ, в том числе электронно-библиотечные системы.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	<i>Игнатов, А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника : учебное пособие / А. Н. Игнатов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 596 с. — ISBN 978-5-8114-5149-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/133479. — Режим доступа: для авториз. пользователей.</i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	<i>Кульчин, Ю. Н. Современная оптика и фотоника нано- и микросистем / Ю. Н. Кульчин. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2016. — 440 с. — ISBN 978-5-9221-1646-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/91158 (дата обращения: 09.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.</i>
2.	<i>Носов, Ю.Р. Оптоэлектроника / Ю. Р. Носов. — М. : Советское радио, 1977. — 230, [2] с.</i>
3.	<i>Оптоэлектроника / О.Н. Ермаков [и др.] .— М. : Янус-К, 2010- .— (Электроника в техническом университете. Прикладная электроника / под общ. ред. И.Б.Федорова) .— ISBN 978-5-8037-0505-5.</i>
4.	<i>Карих, Е.Д. Оптоэлектроника: Учеб. пособие для студ. специальностей "Радиофизика", "Физическая электроника" вузов / Е.Д. Карих. — Минск : БГУ, 2000. — 262, [1] с. — ISBN 985-445-277-8 : 30.00.</i>
5.	<i>Страховский Г.М., Основы квантовой электроники / Г.М. Страховский, А.В. Успенский - М. :</i>

	<i>Высшая школа, 1973. - 312 с.</i>
6.	<i>Ярив А. Квантовая электроника / А. Ярив - М. : Советское радио, 1980. - 488 с.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
7.	ЭБС Лань – https://e.lanbook.com/

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	<i>Давыдов, В. Н. Физические основы оптоэлектроники : учебно-методическое пособие / В. Н. Давыдов. — Москва : ТУСУР, 2011. — 111 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/10880 (дата обращения: 09.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.</i>
2.	<i>Онлайн-курс «Б1.В.ДВ.02.01 Устройства нанофотоники» https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=11609</i>

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

В учебном процессе используются традиционные и дистанционные образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные занятия. Преобладающими методами и приемам обучения являются: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ – демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения контрольных вопросов); информационные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Организационная структура лекционного занятия: 1. Формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса. 2. Разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы. 3. Рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах. 4. Заключение, формулировка выводов. 5. Озвучивание темы следующего занятия.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или “МООК ВГУ” (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton), электронная почта.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Специализированная мебель, проектор, ноутбук, экран WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ», MathWorks TotalAcademicHeadcount.

19. Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Введение в нанофотонику	ПК-1 ПК-3	ПК-1.2, ПК-3.2	<i>Вопросы, тесты, задачи</i>
2.	Нанозлектронные лазеры	ПК-1 ПК-3	ПК-1.2, ПК-3.2	<i>Вопросы, тесты, задачи</i>
3.	Нанозлектронные устройства на жидких кристаллах	ПК-1 ПК-3	ПК-1.2, ПК-3.2	<i>Вопросы, тесты, задачи</i>
4.	Излучающие приборы на основе органических наноматериалов	ПК-1 ПК-3	ПК-1.2, ПК-3.2	<i>Вопросы, тесты, задачи</i>

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
5.	Фотоприемные нанoeлектронные приборы	ПК-1 ПК-3	ПК-1.2, ПК-3.2	<i>Вопросы, тесты, задачи</i>
6.	Фотоматрицы широкого применения	ПК-1 ПК-3	ПК-1.2, ПК-3.2	<i>Вопросы, тесты, задачи</i>
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Комплект КИМ

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы, тесты, задачи. Типовые задания теста, вопросы и задачи для проведения аттестации представлены в Приложении 1 к рабочей программе дисциплины.

20.1. Текущая аттестация Письменный ответ на задание, которое включает в себя пять тестовых заданий, теоретический вопрос и 2 задачи.

Пример контрольно-измерительного материала для текущей аттестации. Время выполнения 45 мин.

Контрольно-измерительный материал № 1

Задание 1. Укажите правильные ответы.

1. К низкоразмерным объектам относятся:

- а) микрокристаллы
- б) квантовые точки
- в) квантовые ямы
- г) квантовые нити
- д) монокристаллы

2. Энергетический спектр полупроводниковых квантовых точек представляет собой:

- а) дискретный набор уровней
- б) непрерывную полосу разрешённых энергий
- в) дискретно-непрерывный набор энергий
- г) постоянную величину

3. Плотность состояний полупроводниковых квантовых точек представляет собой:

- а) непрерывную функцию пропорциональную $N(E) = E^{1/2}$
- б) набор дельта-функций
- в) произвольную непрерывную функцию
- г) постоянную величину

4. В каком количестве измерений ограничено движение носителей заряда в квантовых ямах:

- а) в одном измерении
- б) в двух измерениях
- в) в трёх измерениях
- г) не ограничено

5. В каком количестве измерений ограничено движение носителей заряда в квантовых нитях:

- а) в одном измерении
- б) в двух измерениях
- в) в трёх измерениях
- г) не ограничено

Задание 2. Дайте развернутый ответ по вопросу: Электрооптический модулятор.

Задание 3. Решите задачу: Рассчитайте ток светоизлучающего диода на квантовых ямах для длины волны излучения 595 нм, если его КПД равен 0.5, а испускаемая мощность равна 1 Вт? Ответ записать с точностью до двух знаков.

Задание 4. Решите задачу: Рассчитайте коэффициент полезного действия полупроводникового вертикального лазера, если его рабочий ток составляет 1 А, рабочая длина волны 660 нм, а оптическая мощность равна 0.5 Вт? Ответ записать в процентах

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения письменных заданий используется балльная шкала:

1) тестовые задания:

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

2) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи:

- 2 балла – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);
- 1 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;
- 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).

3) ответ на теоретический вопрос:

• _____ 2 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• _ 1 балл – обучающийся частично владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• _____ 0 баллов – обучающийся не владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований

В зависимости от набранного балла за работу, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

от 13 до 15 баллов – «отлично»;

от 10 до 12 баллов – «хорошо»;

от 5 до 9 баллов – «удовлетворительно»;

от 0 до 4 баллов – «неудовлетворительно».

20.2. Промежуточная аттестация

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине – зачет с оценкой. Оценки вносятся в аттестационную ведомость. по результатам работы обучающихся в течение семестра на заключительном занятии.

Пример контрольно-измерительный материала для промежуточной аттестации:

Контрольно-измерительный материал № 1. (Время подготовки ответа 30 минут, время устного ответа 10 мин)

Задание 1. Дайте развернутый ответ по вопросу. Фотоматрицы широкого применения.

Задание 2. Дайте развернутый ответ по вопросу: Нанозлектронные лазеры с вертикальными резонаторами.

Задание 3. Решите задачу: Рассчитайте коэффициент полезного действия полупроводникового вертикального лазера, если его рабочий ток составляет 0.65 А, энергия кванта излучения 1.95 эВ, а оптическая мощность равна 0.55 мВт? Ответ записать в виде числа с точностью до двух знаков.

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения письменных заданий используется балльная шкала:

1) ответ на теоретический вопрос:

- _____ 5 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

- _ 3 балл – обучающийся частично владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

- _____ 0 баллов – обучающийся не владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований

2) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи:

- 5 балла – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);

- 3 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;

- 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).

В зависимости от набранного балла за работу, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

от 13 до 15 баллов – «отлично»;

от 10 до 12 баллов – «хорошо»;

от 5 до 9 баллов – «удовлетворительно»;

от 0 до 4 баллов – «неудовлетворительно».

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень типовых заданий для проведения текущих и промежуточных аттестаций

Типовые тестовые задания

1. К низкоразмерным объектам относятся:

- а) микрокристаллы
- б) квантовые точки
- в) квантовые ямы
- г) квантовые нити
- д) монокристаллы

2. Энергетический спектр полупроводниковых квантовых точек представляет собой:

- а) дискретный набор уровней
- б) непрерывную полосу разрешённых энергий
- в) дискретно-непрерывный набор энергий
- г) постоянную величину

3. Плотность состояний полупроводниковых квантовых точек представляет собой:

- а) непрерывную функцию пропорциональную $N(E) = E^{1/2}$
- б) набор дельта-функций
- в) произвольную непрерывную функцию
- г) постоянную величину

4. В каком количестве измерений ограничено движение носителей заряда в квантовых ямах:

- а) в одном измерении
- б) в двух измерениях
- в) в трёх измерениях
- г) не ограничено

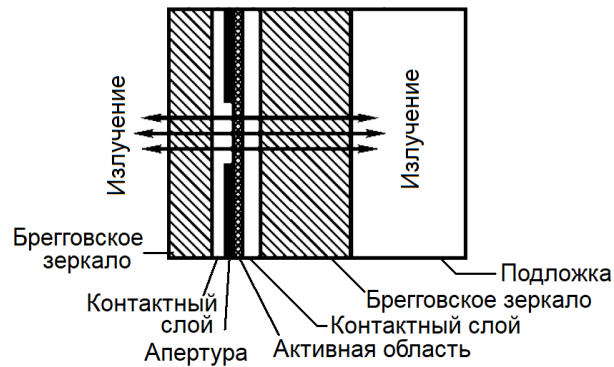
5. В каком количестве измерений ограничено движение носителей заряда в квантовых нитях:

- а) в одном измерении
- б) в двух измерениях
- в) в трёх измерениях
- г) не ограничено

6. Для чего предназначен электрооптический модулятор:

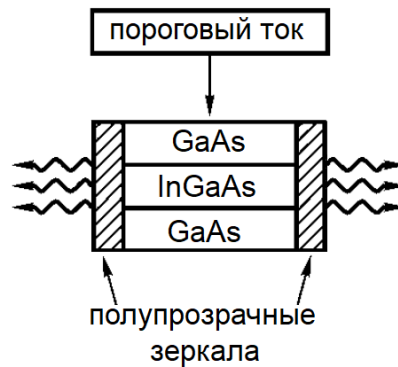
- а) для управления интенсивностью излучения
- б) для управления фазой излучения
- в) для управления частотой излучения
- г) для управления расходимостью пучка

7. Оптическая схема какого устройства изображена на рисунке



- а) фотодиод
- б) светодиод
- в) лазер с вертикальным резонатором
- г) лазер с горизонтальным резонатором

8. Оптическая схема какого устройства изображена на рисунке



- а) фотодиод
- б) светодиод
- в) лазер с вертикальным резонатором
- г) лазер с горизонтальным резонатором

Задачи

1. Рассчитайте число испускаемых фотонов в секунду вертикальным гетеролазером, если его мощность равна $W = 1$ Вт, а длина волны излучения 1064 нм? Ответ записать с точностью до двух знаков.
2. Рассчитайте число испускаемых фотонов в секунду полупроводниковым наногетеролазером, если его мощность равна $W = 100$ мВт, а энергия кванта излучения $E = 1.02$ эВ? Ответ записать с точностью до двух знаков.
3. Рассчитайте ток фотодиода на квантовых ямах, если его квантовая эффективность равна 1 , и он освещается излучением с длиной волны 620 нм и мощностью 56 мкВт? Ответ записать с точностью до двух знаков.
4. Рассчитайте ток светоизлучающего диода на квантовых ямах для длины волны излучения 595 нм, если его КПД равен 0.5 , а испускаемая мощность равна 1 Вт? Ответ записать с точностью до двух знаков.

5. Рассчитайте коэффициент полезного действия полупроводникового вертикального лазера, если его рабочий ток составляет 1 А, рабочая длина волны 660 нм, а оптическая мощность равна 0.5 Вт? Ответ записать в процентах

6. Рассчитайте коэффициент полезного действия полупроводникового вертикального лазера, если его рабочий ток составляет 0.72 А, энергия кванта излучения 1.5 эВ, а оптическая мощность равна 250 мВт? Ответ записать в виде числа с точностью до двух знаков.

7. Рассчитайте коэффициент полезного действия полупроводникового вертикального лазера, если его рабочий ток составляет 1.05 А, рабочая длина волны 532 нм, а оптическая мощность равна 0.55 Вт? Ответ записать в процентах

8. Рассчитайте коэффициент полезного действия полупроводникового вертикального лазера, если его рабочий ток составляет 0.65 А, энергия кванта излучения 1.95 эВ, а оптическая мощность равна 0.55 мВт? Ответ записать в виде числа с точностью до двух знаков.

Вопросы к зачету:

1. Классификация низкоразмерных объектов.
2. Оптические свойства наноматериалов: металлические кластеры, полупроводниковые кластеры, квантовые ямы, квантовые точки
3. Оптические свойства наноматериалов: металлические кластеры, полупроводниковые кластеры, квантовые ямы, квантовые точки.
4. Использование квантово-размерных эффектов для создания источников излучения.
5. Электрооптический модулятор.
6. Светоклапанные модуляторы.
7. Оптические модуляторы.
8. Нанoeлектронные лазеры с горизонтальными резонаторами.
9. Нанoeлектронные лазеры с вертикальными резонаторами.
10. Органические светодиоды. Технологии получения органических светодиодов.
11. Получение цветного изображения в OLED-дисплеях. Использование MEMS-ключей вместо транзисторов в AMOLED.
12. Состояние разработок устройств и систем на основе органических светодиодов.
13. Фотоприёмные нанoeлектронные приборы.
14. Фотоматрицы широкого применения.