

**Г О У В П О Р О С С И Й С К О - А Р М Я Н С К И Й (С Л А В Я Н С К И Й)
У Н И В Е Р С И Т Е Т**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:

Директор А.А.Саркисян

15.06.2021г. N18



Инженерно-физический институт

Кафедра: Квантовая и оптическая электроника

Автор: д-р физ.-мат.наук Папоян Арам Вардгесович

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.Б.14 Квантовая и оптическая электроника

Направление: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

ЕРЕВАН 2021

Структура и содержание УМКД

1. Аннотация

1.1. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления).

Квантовая и оптическая электроника - одно из наиболее быстро развивающихся направлений современной электроники. Она базируется на достижениях квантовой теории, оптики, физики твердого тела и полупроводниковой техники. В курсе излагаются физические основы процессов усиления и генерации электромагнитного излучения, рассматриваются принципы работы и основные характеристики приборов квантовой и оптической электроники. Знания, приобретаемые студентами в рамках этой дисциплины, необходимы для освоения дисциплин «Дополнительные главы квантовой электроники», «Элементы квантовой и оптической информатики», «Спектроскопия» и «Нелинейная оптика и нелинейная спектроскопия», преподаваемых в магистратуре.

1.2. Требования к исходным уровням знаний, умений и навыков студентов для прохождения дисциплины (что должен знать, уметь и владеть студент для прохождения данной дисциплины)

Студенты для прохождения данного курса должны знать основы оптики, квантовой механики, атомной физики, физики твердого тела, физики полупроводников.

1.3. Предварительное условие для прохождения (дисциплина(ы), изучение которых является необходимой базой для освоения данной дисциплины)

Для успешного освоения данного курса студенты должны иметь необходимую базу по оптике, квантовой механике и электродинамике, физике твердого тела, кристаллографии, физике полупроводников, комплексному анализу и математической физике.

2. Содержание

2.1. Цели и задачи дисциплины.

Основная цель изучаемой дисциплины - дать представление о фундаментальных физических процессах, лежащих в основе оптической и квантовой электроники, рассмотреть принцип действия, особенности конструкций, требования к активным материалам и элементам, возможности и технические характеристики приборов и устройств оптической электроники, подготовить будущих специалистов к теоретически грамотному их применению и дальнейшему изучению специальной литературы по отдельным вопросам данной отрасли.

Учебная задача: дать представление студентам о фундаментальных физических процессах взаимодействия резонансного электромагнитного излучения с атомами и молекулами, усиления и генерации электромагнитного излучения, оптических явлениях в диэлектрических кристаллах и полупроводниках, принципах работы различных типов лазеров и других устройств квантовой и оптической электроники.

2.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины (какие компетенции - знания, умения и навыки - должны быть сформированы у студента ПОСЛЕ прохождения данной дисциплины).

В результате изучения дисциплины студент должен:

- 1) Иметь представления о месте оптической и квантовой электроники в современной науке и технике и областях применения соответствующих приборов.
- 2) Знать и уметь использовать физическую сущность процессов, протекающих при взаимодействии электромагнитного (оптического) излучения с веществом, возможности и технические характеристики приборов и устройств квантовой и оптической электроники.
- 3) Иметь навыки оценки и измерения параметров материалов и устройств квантовой и оптической электроники.

2.3 Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и кредитах)

2.3.1 Объем дисциплины и виды учебной работы

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	252(7 кр)
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	90
1.1.1. Лекции	54
1.1.2. Практические занятия	-
1.1.3. Лабораторные работы	36
1.1. Самостоятельная работа, в т. ч.:	120
1.2.1. Контактная самостоятельная работа	-
1.2.2. Бесконтактная самостоятельная работа	120
Итоговый контроль	Экзамен 42

2.3.2 Распределение объема дисциплины по темам и видам учебной работы

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции (ак. часов)	Практ. занятия (ак. часов)	Семинары (ак. часов)	Лабор. (ак. часов)
1	2=3+6	3	4	5	6
Модуль 1.					
Введение	1	1	-	-	-
Раздел 1. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и молекулами	23	11	-	-	12
Тема 1. Способы описания электромагнитного излучения	2	2	-	-	-
Тема 2. Энергетические состояния атомов и молекул	3	3	-	-	-
Тема 3. Спонтанное и индуцированное излучение	10	4	-	-	6
Тема 4. Оптические характеристики вещества	8	2	-	-	6
Раздел 2. Усиление и генерация электромагнитного излучения	6	6	-	-	-
Тема 5. Принцип работы лазеров и мазеров	2	2	-	-	-
Тема 6. Оптические резонаторы	2	2	-	-	-
Тема 7. Одномодовая и многомодовая генерация	2	2	-	-	-
Раздел 3. Свойства, распространение и преобразование лазерных пучков	10	4	-	-	6
Тема 8. Свойства лазерных пучков	10	4	-	-	6
Раздел 4. Линейная кристаллооптика	11	5	-	-	6
Тема 9. Оптика изотропных сред I	8	2	-	-	6
Тема 10. Оптика анизотропных сред II	3	3	-	-	-
Модуль 2.					
Раздел 5. Нелинейная оптика	10	4	-	-	6
Тема 11. Нелинейные оптические эффекты	10	4	-	-	6
Раздел 6. Оптические явления в однородных полупроводниках и гетероструктурах	9	9	-	-	-
Тема 12. Оптические переходы в полупроводниках	3	3	-	-	-
Тема 13. Люминесценция полупроводников	3	3	-	-	-

Тема 14. Гетеропереходы в полупроводниках	3	3	-	-	-
Раздел 7. Газовые лазеры	8	8	-	-	-
Тема 15. Общая характеристика газовых лазеров, He-Ne и ионные лазеры	3	3	-	-	-
Тема 16. Лазеры на парах металлов	2	2	-	-	-
Тема 17. Молекулярные лазеры	3	3	-	-	-
Раздел 8. Твердотельные и жидкостные лазеры	5	5	-	-	-
Тема 18. Твердотельные лазеры	3	3	-	-	-
Тема 19. Жидкостные лазеры	2	2	-	-	-
Раздел 9. Полупроводниковые лазеры	8	2	-	-	6
Тема 20. Полупроводниковые лазеры	8	2	-	-	6
ИТОГО	90	54	-	-	36

2.3.3. Содержание разделов и тем дисциплины

Модуль 1

Введение

Предмет дисциплины и ее задачи. Особенности оптической электроники. Стандартная терминология, основные понятия и определения. Краткий исторический очерк. Преимущества оптического диапазона связи. ([1] Вв.1-3)

Раздел 1. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и молекулами

Тема 1. Способы описания электромагнитного излучения

Способы описания электромагнитного излучения. Световые лучи. Принцип Ферма. Элементы квантовой теории излучения. Фотон и его основные свойства. Фотонные коллективы. Квантовые системы. Атом водорода. Квантовые числа. ([1] гл. 1, §§ 1.1, гл. 2, §§ 2.1)

Тема 2. Энергетические состояния атомов и молекул

Энергетические состояния атомов и молекул. Квантовые числа. Символика энергетических состояний атомов. Молекулярные уровни. Вращательные и колебательные уровни. Квантовые переходы. Вероятность перехода. Матричный элемент. Дипольное приближение. Правила отбора для электронных переходов. ([1] гл. 1, §§ 1.2-1.3, гл. 2, §§ 2.2)

Тема 3. Спонтанное и индуцированное излучение

Спонтанное и индуцированное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Уширение спектральных линий. Механизмы уширения. Однородное и неоднородное уширение. ([1] гл.2, §§ 2.3-2.5)

Тема 4. Оптические характеристики вещества

Рассеяние света. Оптические характеристики вещества. Комплексный показатель преломления. Показатель поглощения. Соотношения Крамерса-Кронинга. ([1] гл. 2 §2.6 гл. 4 §4.1)

Раздел 2. Усиление и генерация электромагнитного излучения

Тема 5. Принцип работы лазеров и мазеров

Принцип работы лазеров и мазеров. Инверсия населенностей. Возбуждение активного вещества - накачка. Методы накачки. Кинетические уравнения. Двух-, трех-, и четырехуровневые схемы работы. Пороговая мощность источника накачки. ([1] гл. 3 §3.1-3.2)

Тема 6. Оптические резонаторы

Оптические резонаторы. Добротность резонатора. Потери в оптических резонаторах. Собственные типы колебаний - моды. Требования к резонаторам оптического диапазона. Типы резонаторов. Конфокальные резонаторы. Спектральные характеристики и распределение поля. Условие устойчивости. Неустойчивые резонаторы. Селекция аксиальных и неаксиальных типов колебаний. ([1] гл. 3 §3.3)

Тема 7. Одномодовая и многомодовая генерация

Условие самовозбуждения лазеров. Пороговая энергия накачки по генерации. Насыщения усиления. Одномодовая и многомодовая генерация. Нестационарная генерация. Модуляция добротности резонатора. Гигантские импульсы. Методы модуляции добротности. Синхронизация мод и сверхкороткие лазерные импульсы. ([1] гл. 3 §3.4-3.5)

Раздел 3. Свойства лазерных пучков

Тема 8. Свойства лазерных пучков

Монохроматичность. Поляризация. Когерентность. Пространственная и временная когерентность. Направленность лазерного излучения. Яркость. Энергетическая и фотометрическая яркость. ([1] гл. 3 §3.6)

Раздел 4. Линейная кристаллооптика

Тема 9. Оптика анизотропных сред I

Оптика изотропных сред. Прохождение света через границу раздела двух сред. Особенности распространения света в тонких слоях. Диэлектрические волноводы. Волноводные моды. Ввод и вывод излучения в волноводы. ([1] гл. 4 §4.1, §4.8)

Тема 10. Оптика анизотропных сред II

Оптика анизотропных сред. Тензор диэлектрической проницаемости. Оптическая индикатриса. Естественное двулучепреломление. Электрооптические эффекты Покельса и Керра. Магнитооптические эффекты. Упругооптические эффекты. ([1] гл. 4 §4.1, §4.2)

Модуль 2

Раздел 5. Нелинейная оптика

Тема 11. Нелинейные оптические эффекты

Нелинейная поляризуемость кристалла и нелинейные оптические эффекты. Генерация гармоник. Условие фазового синхронизма. Параметрическое преобразование и параметрическая генерация света. Вынужденное комбинационное рассеяние и рассеяние Манделштамма-Бриллюэна. Оптический пробой. Самофокусировка света. Двухфотонное поглощение света. ([1] гл. 5 §5.1-5.4)

Раздел 6. Оптические явления в однородных полупроводниках и гетероструктурах

Тема 12. Оптические переходы в полупроводниках

Оптические переходы в полупроводниках. Правила отбора и законы сохранения. Экситонные эффекты. Особенности зонной структуры и оптических свойств полупроводниковых соединений. Оптическое поглощение в твердых растворах и сильнолигированных полупроводниках. ([1] гл. 4 §4.3-4.4)

Тема 13. Люминесценция полупроводников

Люминесценция полупроводников. Квазиуровни Ферми. Механизмы излучательной рекомбинации. Связь спектров поглощения и люминесценции. Квантовый выход и эффективность люминесценции. Фотоэлектрические эффекты в однородных кристаллах. Фотоэлектрические эффекты в неоднородных структурах и p-n-переходах. ([1] гл. 4 §4.5-4.6)

Тема 14. Гетеропереходы в полупроводниках

Гетеропереходы в полупроводниках. Свойства гетеропереходов. Эффект односторонней инжекции. Эффект сверхинжекции. Эффект широкозонного окна. Волноводный эффект. Фотоэлектрические эффекты в p-n гетеропереходах и в варизонных структурах. Оптические эффекты в сверхтонких слоях. ([1] гл. 4 §4.8)

Раздел 7. Газовые лазеры

Тема 15. Общая характеристика газовых лазеров, He-Ne и ионные лазеры

Общая характеристика и особенность газовых лазеров. Процессы в газовом разряде. Особенности устройства газоразрядных лазеров. Гелий-неоновый лазер. Ионные лазеры. Аргоновый лазер. ([2] лекц. 13,14)

Тема 16. Лазеры на парах металлов

Лазеры на самоограниченных переходах. Лазер на парах меди. Гелий-кадмиевый лазер. ([2] лекц. 14)

Тема 17. Молекулярные лазеры

Молекулярные лазеры. Газоразрядные CO₂ –лазеры с продольным и поперечным разрядом. Газодинамические лазеры. Эксимерные и химические лазеры. ([2] лекц. 15-18)

Раздел 8. Твердотельные и жидкостные лазеры

Тема 18. Твердотельные лазеры

Общая характеристика и особенности твердотельных лазеров. Активные материалы. Требования к матрицам. Требования к активаторам. Рубиновый лазер. Лазеры на кристаллах и стеклах, активированных неодимом. ([2] лекц. 19,20)

Тема 19. Жидкостные лазеры

Общая характеристика и особенности жидкостных лазеров. Лазеры на органических красителях. Перестройка частоты жидкостных лазеров. ([2] лекц. 22)

Раздел 9. Полупроводниковые лазеры

Тема 20. Полупроводниковые лазеры

Общая характеристика и особенность полупроводниковых лазеров. Требования к активным материалам. Лазеры с электронной и оптической накачкой. Инжекционные лазеры на гетеропереходах. Гетеролазеры с распределенной обратной связью. Перестраиваемые полупроводниковые ИК-лазеры. ([2] лекц. 24-25)

2.4 Распределение весов по формам контроля

Формы контролей	Весы форм текущих контролей в результирующих оценках текущих контролей			Весы форм промежуточных контролей в оценках промежуточных контролей			Весы оценок промежуточных контролей и результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей			Весы итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточных контролей	Весы результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1 ¹	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Вид учебной работы/контроля											
Контрольная работа											
Тест					0.4	0.4					
Курсовая работа											
Лабораторные работы		0.5	0.5								
Письменные домашние задания											
Реферат											
Эссе											
Устный опрос		0.5	0.5		0.6	0.6					
<i>Другие формы (Указать)</i>											
Весы результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								0.5	0.5		
Весы оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								0.5	0.5		
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей										0	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей										0.5	
Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей										0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля											0.4
Вес оценки экзамена/зачета в результирующей оценке итогового контроля											0.6
	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

¹ Учебный Модуль

3.Теоретический блок

3.1 Материалы по теоретической части курса

3.1.1; 3.1.2. Учебники и Учебные пособия

а) Основная литература

- [1] Пихтин А.Н. Физические основы квантовой электроники и оптоэлектроники.- М.: "Высшая школа", 1983.- 304 с.
- [2] Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике.- М.: "Наука", Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.- 336 с.

б) Дополнительная литература

- [3] Звелто О. Принципы лазеров. М.: "Мир", 1984.- 400 с.
- [4] Страховский Г.М., Успенский А.В. Основы квантовой электроники.- М.: "Высшая школа", 1979.- 303 с.
- [5] Ярив А. Введение в оптическую электронику.- М.: "Высшая школа", 1983.- 398 с.
- [6] Тарасов Л.В. Введение в квантовую оптику.- М.: "Высшая школа", 1987.- 304 с.
- [7] Рябов С.Г., Торопкин Г.Р., Усольцев И.Ф. Приборы квантовой электроники.- М.: "Радио и связь", 1985.- 280 с.
- [8] Носов Ю.Р. Оптоэлектроника.- М.: "Советское радио", 1989.-360 с.
- [9] Основы оптоэлектроники. Суэмацу Я., Катаока С., Кисино К. и др.; Пер. с яп. М.: "Мир", 1988.- 288 с.

3.1.3. Краткий конспект лекций

Лекции читаются в форме РРТ презентации; файлы (краткие аннотации по каждой теме) предоставляются студентам

3.1.4. Электронные материалы

Электронные версии основных учебников предоставляются студентам в начале курса лекций

3.1.5. Глоссарий/ терминологический словарь

Термины объясняются по ходу лекций

4.Практический блок

4.1 Планы практических и семинарских занятий

План практических занятий совпадает с лекционным планом. Целью практических занятий является закрепление материала, представленного на лекциях (см. п. 2.3.3).

4.2 Планы лабораторных работ и практикумов

- Изучение спектров поглощения и флуоресценции атомов рубидия (1.3)
- Опыты по лазерному просвечиванию и визуализации сильно-поглощающих и рассеивающих объектов (1.4)
- Изучение свойств излучения гелий-неонового лазера (7.1)
- Исследование интерференционных явлений при отражении монохроматического излучения от плоско-параллельной стеклянной пластины (4.1)
- Опыты по спектроскопии насыщенного поглощения в парах щелочных металлов (5.1)

- Практические навыки работы с перестраиваемым по частоте одночастотным диодным лазером (9.1)

4.3. Материалы по практической части курса

4.3.1. Учебно-методические пособия

См. п. 3.1

4.3.6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Компьютерная техника и программные продукты, проектор, слайдоскоп, лабораторные установки.

5. Материалы по оценке и контролю знаний

5.1 *Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей*

Текущий и промежуточный контроли проводятся путем устного опроса, а также тестов (вопросы с 4 вариантами ответов). Образец варианта теста:

19. Какая предельная интенсивность может быть достигнута в максимуме интерференции двух когерентных пучков с одинаковой интенсивностью I ?
- а). $2 I$
 - б). $4 I$
 - в). $8 I$
 - г). нет ограничений

5.2 *Перечень экзаменационных вопросов*

Экзаменационные вопросы

1. Способы описания электромагнитного излучения. Световые лучи. Принцип Ферма.
2. Элементы квантовой теории излучения. Фотон и его основные свойства. Фотонные коллективы. Квантовые системы.
3. Атом водорода. Квантовые числа.
4. Энергетические состояния атомов. Символика энергетических состояний атомов.
5. Молекулярные состояния. Колебательные и вращательные уровни.
6. Квантовые переходы. Вероятность перехода. Матричный элемент.
7. Спонтанное и индуцированное излучение. Коэффициенты Эйнштейна.
8. Дипольное излучение. Правила отбора для электронных переходов.
9. Уширение спектральных линий. Механизмы уширения. Однородное и неоднородное уширение.
10. Рассеяние света.
11. Оптические характеристики вещества. Комплексный показатель преломления. Показатель поглощения. Соотношения Крамерса-Кронинга.
12. Принцип работы лазеров и мазеров. Инверсия населенностей.
13. Возбуждение активного вещества (накачка). Методы накачки. Кинетические уравнения. Двух-, трех- и четырехуровневые схемы. Пороговая мощность.
14. Оптические резонаторы. Добротность резонатора. Потери в резонаторах. Собственные типы колебаний- моды. Требования к резонаторам.

15. Типы резонаторов. Спектральные характеристики и распределение поля. Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Селекция мод.
16. Условие самовозбуждения лазеров. Пороговая энергия накачки. Насыщение усиления. Одномодовая и многомодовая генерация.
17. Нестационарная генерация. Модуляция добротности резонатора. Гигантские импульсы. Синхронизация мод и сверхкороткие лазерные импульсы.
18. Свойства лазерного излучения: монохроматичность, когерентность, направленность, яркость.
19. Диэлектрические волноводы. Волноводные моды. Ввод и вывод излучения в волноводы.
20. Оптика анизотропных сред. Тензор диэлектрической проницаемости. Оптическая индикатриса. Естественное двулучепреломление.
21. Электрооптические эффекты Покейльса и Керра. Магнитооптические эффекты. Упругооптические эффекты.
22. Нелинейная поляризуемость кристалла и нелинейные оптические эффекты.
23. Генерация гармоник. Условие фазового синхронизма.
24. Параметрическое преобразование и параметрический генератор света.
25. Прочие нелинейно-оптические эффекты: ВКР, ВРМБ, самофокусировка, оптическое просветление, оптический пробой, двухфотонное поглощение.
26. Оптические переходы в полупроводниках.
27. Оптическое поглощение в кристаллах. Механизмы поглощения.
28. Фотоэлектрические эффекты в однородных кристаллах.
29. Люминесценция полупроводников. Квазиуровни Ферми, механизмы излучательной релаксации.
30. Гетеропереходы в полупроводниках. Оптические эффекты в неоднородных структурах.
31. Общая характеристика газовых лазеров. Гелий-неоновый лазер.
32. Ионные лазеры. Аргонный лазер.
33. Лазеры на самоограниченных переходах (лазеры на парах металлов). Эксимерные и химические лазеры.
34. Молекулярные лазеры. Непрерывные CO₂ лазеры.
35. Импульсные CO₂ лазеры. Газодинамические лазеры.
36. Газовые лазеры на электронных переходах в молекулах. Азотный лазер.
37. Общая характеристика лазеров на твердом теле.
38. Рубиновый и неодимовый лазеры.
39. Лазеры на красителях.
40. Полупроводниковые лазеры.

5.3 Образцы экзаменационных билетов

Экзаменационный билет №

1. Уширение спектральных линий. Механизмы уширения. Однородное и неоднородное уширение.
2. Рубиновый и неодимовый лазеры.

5.4 Банк тестовых заданий для самоконтроля*

См. п. 5.3.

6. Методический блок

6.1. Методика преподавания, обоснование выбора данной методики

Каждая лекция подготавливается в виде презентации, завершается кратким резюме всех затронутых вопросов и ответом преподавателя на вопросы студентов. Электронный файл лекции передается студентам. Следующая лекция начинается с краткого устного опроса по теме предыдущей лекции. При этом оцениваются не только ответы студентов, но и удачные вопросы, которые они задают. Подобный подход способствует закреплению пройденного материала.