
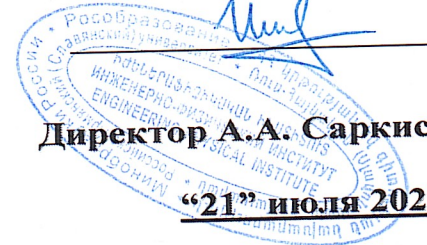


**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)
УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:


Директор А.А. Саркисян
«21» июля 2023г.



Инженерно-физический институт

Кафедра: Общей физики и квантовых наноструктур

Автор(ы): д.ф.-м.н., профессор Казарян Эдуард Мушегович

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.В.ДВ.03.02 «Научные основы преподавания оптики наноструктур»

Направление: 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

**Основная образовательная программа магистратуры:
«Квантовая и оптическая электроника»**

1. Аннотация:

Оптические методы исследования полупроводниковых соединений являются мощным инструментом, позволяющим определить зонное строение изучаемых образцов. С учетом того, что полупроводники могут быть как прямозонными, так и не прямозонными, возникает необходимость изучения соответственно прямых и непрямых переходов в полупроводниках. Примечательно, что на сегодняшний день детально развиты как классическая, так и квантовая теории оптических свойств полупроводников. В предлагаемом курсе изучаются особенности оптических свойств полупроводниковых соединений. При этом рассматривается также влияние внешних полей на процессы поглощения в полупроводниках.

Цель преподавания дисциплины:

ознакомление студентов с оптическими явлениями, имеющими место в полупроводниках, а также с механизмами внутризонных и межзонных (прямых и непрямых) переходов в вышеуказанных системах. Подготовка будущих специалистов в области микро и оптоэлектроники с необходимым знанием теоретических и прикладных знаний.

Учебная задача: дать представление студентам о характере оптических переходов в полупроводниках, а также начальную информацию о функционировании оптоэлектронных приборов нового поколения (гетероструктурные лазеры, диоды и т. д.).

Основные методы проведения занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа.

Список литературы содержит 11 наименований книг и монографий отечественных и зарубежных авторов. Этот список поможет студентам освоить и создать свой профессиональный исследовательский инструментарий, обеспечить целостность обучения.

Краткое содержание курса: Дисперсионное соотношение Крамерса-Кронига. Механизмы поглощения света в полупроводниках. Внутризонное поглощение света в полупроводниках. Межзонное поглощение. Расчет матричного элемента перехода. Прямые разрешенные переходы. Запрещенные переходы. Экситонное поглощение. Дискретный спектр. Непрямые оптические переходы. Магнетопоглощение в полупроводниках. Поглощение в электрическом поле. Электроны и дырки в полупроводниках. Эффект Франца-Келдыша. Поляритоны.

2. Требования к исходным уровням знаний и умений студентов

Знать:

Оптика, Физика полупроводников, Полупроводниковая оптика

Уметь:

Проводить теоретические расчеты для оптических явлений (межзонных и внутризонных) для массивного полупроводника

Владеть:

Теория поля, квантовая механика, статистическая физика, квантовая теория твердого тела.

3. Цель и задачи дисциплины

Основная цель изучаемой дисциплины — ознакомление студентов с оптическими явлениями, имеющими место в полупроводниках, а также с механизмами внутризонных и межзонных (прямых и непрямых) переходов в вышеуказанных системах. Подготовка будущих специалистов в области микро и оптоэлектроники с необходимым знанием теоретических и прикладных знаний.

4.1. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

Иметь представления о специфике оптических процессов имеющих место в полупроводниках.

Уметь:

Уметь интерпретировать результаты оптических измерений, а также теоретических расчетов искомых оптических характеристик различных прямозонных и не прямозонных структур.

Владеть:

Навыками для реализации численного моделирования оптических процессов, протекающих в полупроводниках.

4.2 Взаимосвязь с другими дисциплинами специальности:

Квантовые наноструктуры во внешних полях; Квантоворазмерные структуры наноэлектроники.

5. Трудоемкости дисциплины и видов учебной работы по учебному плану

Виды учебной работы	Всего (ак. час)
<i>Общая трудоемкость изучения дисциплины, в т.ч.:</i>	72 (2 кр.)
1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	18
1.1. Лекционные занятия	18
1.2. Семинарские занятия	-
1.3. Практические занятия	-
1.4. Лабораторные работы	-
2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	54
2.1. Контактная самостоятельная работа	-
2.2. Бесконтактная самостоятельная работа	54
<i>Итоговый контроль</i>	<i>Зачет</i>

12. Распределение весов по формам контроля

Веса и формы контролей	Вес формы текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля			Вес формы промежуточного контроля и результирующей оценки текущего контроля в итоговой оценке промежуточного контроля			Веса итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточного контроля	Вес результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Реферат						1		
Тест								
Курсовая работа								
Лабораторные работы								
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках соответствующих промежуточных контролей						0		
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	
Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							1	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								1
Вес оценки экзамена/зачета в результирующей оценке итогового контроля								0
	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

7. Содержание дисциплины

7.1 Тематический план и трудоемкости аудиторных занятий

7.1 Тематический план и трудоемкости аудиторных занятий

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекционные занятия (ак. часов)	Семинарские занятия	Практические занятия (ак. часов)	Лабораторные работы (ак. часов)
1	2	3	4	5	6
Введение					
<u>Раздел 1. Макроскопическая теория оптики изотропных сред.</u>					
<i>Тема 1.1. Уравнения Максвелла, векторный потенциал, калибровочные преобразования.</i>		1			
<i>Тема 1.2. Теория Лоренца-Зинера.</i>		0.5			
<i>Тема 1.3. Дисперсия диэлектрической проницаемости.</i>		0.5			
<i>Тема 1.4. Аналитические свойства диэлектрической проницаемости. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Правило сумм.</i>		1			
<u>Раздел 2. Микроскопическая теория оптических свойств полупроводников.</u>					
<i>Тема 2.1. Особенности энергетических зон полупроводников. Механизмы поглощения света в полупроводниках.</i>		1			
<i>Тема 2.2. Гамильтониан электрона в кристаллах в поле электромагнитной волны. Энергия возмущения.</i>		1			
<i>Тема 2.3. Межзонное поглощение света, связанное с прямыми переходами. Разрешенные и запрещенные переходы.</i>		1			
<i>Тема 2.4. Учет влияния кулоновского взаимодействия электрона и дырки на поглощение света при прямых переходах.</i>		1			
<i>Тема 2.5. Межзонное поглощение света, связанное с непрямыми переходами (фононный механизм поглощения).</i>		1			
<i>Тема 2.6. Поглощение света в полупроводниках с участием примесных центров.</i>		1			
<u>Раздел 3. Оптические явления, обусловленные свободными носителями тока</u>					
<i>Тема 3.1. Классический плазменный резонанс, плазменная частота, время релаксации.</i>		1			
<i>Тема 3.2. Поглощение света на свободных носителях. Соотношение Хагена-Рубенса</i>		1			
<u>Раздел 4. Поглощение света во внешних полях</u>					
<i>Тема 4.1. Межзонное поглощение света в квантующем магнитном поле (прямые и не прямые переходы).</i>		1			
<i>Тема 4.2. Межзонное поглощение света в скрещенных электрическом и магнитном полях.</i>		1			
<i>Тема 4.3. Поглощение света в полупроводниках в однородном электрическом поле (эффект Франца-Келдыша).</i>		1			
<i>Тема 4.4. Эффект вращения Фарадея.</i>		1			
<u>Раздел 5. Взаимодействие света с кристаллической решеткой.</u>					
<i>Тема 5.1 Однофононный резонанс.</i>		1			
<i>Тема 5.2. Поляритон. Плазмон-фононный Резонанс</i>		1			
<i>Тема 5.3. Многофононное поглощение света</i>					
<i>Тема 5.4. Рассеяние света колебаниями решетки. Комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана-Ландсберга). Рассеяние на акустических фононах Манделштама-Бриллюэна).</i>		1			
ИТОГО	18	18	-	-	-

7.2 Содержание разделов и тем дисциплины

МАКРОСКОПИЧЕСКАЯ И МИКРОСКОПИЧЕСКАЯ ТЕОРИИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Введение

Предмет дисциплины и ее задачи.

Раздел 1. Макроскопическая теория оптики изотропных сред

Тема 1.1. Уравнения Максвелла, векторный потенциал, калибровочные преобразования

Уравнения Максвелла для немагнитных сред. Калибровочные преобразования для векторного потенциала. Взаимодействие излучения с твердым телом. ([1] гл. 7 §1).

Тема 1.2. Теория Лоренца-Зинера.

Тема 1.3. Дисперсия диэлектрической проницаемости.

Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты. Комплексная функция диэлектрической проницаемости. Диэлектрическая проницаемость при очень больших частотах. ([1] гл. 7 §1, [2])

Тема 1.4. Аналитические свойства диэлектрической проницаемости. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Правило сумм.

Аналитические свойства функции диэлектрической проницаемости. Связь между действительной и мнимой частями функции диэлектрической проницаемости. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Сила осциллятора. Правило сумм ([1] гл. 7 §1, [2])

Раздел 2. Микроскопическая теория оптических свойств полупроводников

Тема 2.1. Особенности энергетических зон полупроводников. Механизмы поглощения света в полупроводниках.

Оптические коэффициенты и связь их с диэлектрической проницаемостью. Классификация механизмов поглощения света в полупроводниках. ([1] гл. 7 §§1, 2).

Тема 2.2. Гамильтониан электрона в кристаллах в поле электромагнитной волны. Энергия возмущения.

Оператор импульса электрона в поле световой волны. Сравнение значений волновых векторов фотона и электрона. Матричный элемент энергии возмущения. ([1] гл. 7 §2 п. 2, [2][3])

Тема 2.3. Межзонное поглощение света, связанное с прямыми переходами. Разрешенные и запрещенные переходы.

Край поглощения, ее связь с энергетической зонной структурой полупроводника. Расчет матричного элемента перехода. Разрешенные и запрещенные переходы. ([1] гл. 7 §2, [3])

Тема 2.4. Учет влияния кулоновского взаимодействия электрона и дырки на поглощение света при прямых переходах

Закон сохранения волнового вектора при образовании экситона. Экситонное поглощение. Коэффициенты поглощения при разрешенных и запрещенных переходах. Правила отбора ([1] гл. 7 §§2 п. 3, [3])

Тема 2.5. Межзонное поглощение света, связанное с непрямыми переходами (фононный механизм поглощения)

Полупроводники с непрямыми зонами. Каналы переходов электронов в непрямозонных полупроводниках ([1] гл. 7 §§ 3 п. 1)

Тема 2.6. Поглощение света в полупроводниках с участием примесных центров

Донорные и акцепторные уровни. Коэффициенты поглощения при наличии примесных центров. ([3])

ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ВО ВНЕШНИХ ПОЛЯХ.

Раздел 3. Оптические явления, обусловленные свободными носителями тока

Тема 3.1. Классический плазменный резонанс, плазменная частота, время релаксации.

Классический плазменный резонанс, плазменная частота, время релаксации. Спектры плазменного отражения, анализ экспериментальных данных. Определение эффективных масс для разных законов дисперсии. ([13], гл.5 § 7, гл.8 §2).

Тема 3.2. Поглощение света на свободных носителях. Соотношение Хагена-Рубенса

Поглощение света на свободных носителях. Соотношение Хагена-Рубенса. Сечение поглощения, роль разных механизмов рассеяния. Оптические переходы между различными ветвями зоны проводимости и валентной зоны ([1] гл. 7 § 4, [3] гл. 8 § 6)

Раздел 4. Поглощение света во внешних полях

Тема 4.1. Межзонное поглощение света в квантующем магнитном поле и (прямые не прямые переходы).

Теория межзонного поглощения в квантующем магнитном поле. Прямые и не прямые переходы. Коэффициент поглощения, правила отбора ([1] гл. 7 § 7 п. 1.)

Тема 4.2. Межзонное поглощение света в скрещенных электрическом и магнитном полях.

Теория межзонного поглощения в скрещенных электрическом и магнитном полях. Коэффициент поглощения, правила отбора ([1] гл. 7 § 7 п. 2.)

Тема 4.3. Поглощение света в полупроводниках в однородном электрическом поле (эффект Франца-Келдыша.)

Теория поглощения света в полупроводниках в однородном электрическом поле (эффект Франца-Келдыша). Правила отбора ([1] гл. 7 § 8, [5] гл. 8 § 8-46)

Тема 4.4. Эффект вращения Фарадея.

Явление Фарадея для свободных носителей со скалярной эффективной массой ([1] гл. 7 § 6).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТА С КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКОЙ. ОПТИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ.

Раздел 5. Взаимодействие света с кристаллической решеткой.

Тема 5.1. Однофононный резонанс

([3] гл.7 § 3, [4], гл.9, §77)

Тема 5.2. Поляритон, Плазмон-фононный резонанс.

Квазичастица поляритон — фонон оптической ветви плюс фотон. ([1] гл. 7 § 5)

Тема 5.3. Многофононное поглощение света.

([3] гл.7 § 4, [4], гл.9, §78)

Тема 5.4. Рассеяние света колебаниями решетки. Комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана-Ландсберга). Рассеяние на акустических фононах (Мандельштама-Бриллюэна)

([4], гл.9, §79)

7.3 Экзаменационные вопросы

1. Теория Лоренца-Зинера.
2. Дисперсия диэлектрической проницаемости.
3. Аналитические свойства диэлектрической проницаемости.
4. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Правило сумм.
5. Особенности энергетических зон полупроводников. Механизмы поглощения света в полупроводниках.
6. Гамильтониан электрона в кристаллах в поле электромагнитной волны. Энергия возмущения.
7. Межзонное поглощение света, связанное с прямыми переходами. Разрешенные и запрещенные переходы.

8. Экситонное поглощение. Правила отбора.
9. Межзонное поглощение света, связанное с непрямыми переходами (фононный механизм поглощения).
10. Поглощение света в полупроводниках с участием примесных центров.
11. Классический плазменный резонанс, плазменная частота, время релаксации. Определение эффективных масс для разных законов дисперсии.
12. Поглощение света на свободных носителях. Соотношение Хагена-Рубенса.
13. Межзонное поглощение света в квантующем магнитном поле (прямые и не прямые переходы).
14. Межзонное поглощение света в скрещенных электрическом и магнитном полях, правила отбора.
15. Поглощение света в полупроводниках в однородном электрическом поле (эффект Франца-Келдыша). Правила отбора.
16. Эффект вращения Фарадея для свободных носителей.
17. Однофононный резонанс.
18. Поляритон. Плазмон-фононный резонанс.
19. Квазичастица поляритон — фонон оптической ветви плюс фотон.
20. Многофононное поглощение света.
21. Рассеяние света колебаниями решетки. Рассеяние Рамана-Ландсберга. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна.

8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины 8.1.

Рекомендуемая литература

а) Основная литература

- [1] Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М., Наука, 1978.
- [2] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М., Наука, 1982.
- [3] Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М., Мир, 1966.
- [4] О.Маделунг, Теория твердого тела, М.,Наука,1980
- [5] Бассани Ф., Пастори Паравичини Дж. Электронные состояния и оптические переходы в твердых телах. М., Наука, 1982.
- [6] Воробьев Л.Е. и др., Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах. Санкт-Петербург, изд. СПбГТУ, 2000.
- [7] Демиховский И.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М., "Логос", 2000.
- [8] Singh J. Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures. Cambridge Univ. Press, 2003.

б) Дополнительная литература

- [9] Грибковский В.П. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках. Минск, 1975.

- [10] Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. М., Мир, 1973.
[11] Смит Р. Полупроводники. М, Мир, 1982.

8.2. Программные средства освоения дисциплины

Mathematica 5.1 и Mathematica 6.0.

8.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Компьютер, проектор, слайдоскоп.