

### Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: **Оптические явления в полупроводниках** (Лектор д.ф.-м.н., профессор Казанский А.Г., кафедра полупроводников физического факультета МГУ, e-mail: kazanski@phys/msu.ru, тел.: +7(495) 939-41-718)

2. Уровень высшего образования – **магистратура**

3. Направление подготовки: **03.04.02 Физика (магистратура)**

4. Аннотация:

Цель – дать фундаментальные представления об оптических явлениях в полупроводниках, рассмотреть теоретические основы оптики полупроводников, важнейшие данные об экспериментах по оптическим свойствам полупроводников. Основы даются в объеме, необходимом для понимания свойств приборов полупроводниковой оптоэлектроники. Результат изучения – знание фундаментальных основ оптических явлений в полупроводниках, умение применить их в теоретических и экспериментальных исследованиях, а также в разработках приборов оптоэлектроники. В курсе рассматриваются оптические явления, связанные с композитными квазичастицами, явления рассеяния и генерации электромагнитного излучения. Дается представление о комбинационном рассеянии и получаемой с его помощью информации. Рассматривается изменение оптических свойств полупроводников при воздействии на них электрического и магнитного полей.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 10 часов занятия семинарского типа, 2 часа групповых консультаций, 2 часа индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия: для начала освоения данной дисциплины должны быть освоены «Электромагнетизм», «Оптика», «Введение в квантовую физику», «Квантовая теория», «Атомная структура полупроводников», «Физика полупроводников»

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, ч асы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них						Всего	Всего
			Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.*	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.		
<b>Основные представления об электромагнитном</b>	<b>10</b>	2	2				<b>4</b>	4	2	<b>6</b>

<p><b>излучение в материальной среде.</b> Линейная оптика. Поперечные, продольные и поверхностные волны. Законы отражения, преломления и поглощения света. Понятие об элементарных лоренцовских осцилляторах. <b>Сила</b> осциллятора, <b>Соотношение</b> Клаузиуса-Мозотти, <b>соотношение</b> Гельмгольца-Кетлера. Спектральная зависимость мнимой и действительной части диэлектрической проницаемости <b>в</b> случае вклада <b>в</b> поглощение различных типов осцилляторов.</p>									
<p><b>Гибридные квазичастицы.</b> Два подхода описания взаимодействия света и вещества. Квантовомеханическое правило «non-crossing rule». Понятие о поляритонах – гибридных квазичастицах. Фононные поляритоны. Продольные и поперечные фононные поляритоны. Экситоны большого радиуса (экситоны Ванье) и малого радиуса (экситоны Френкеля). Два подхода при рассмотрении распространения поляризации, связанной с экситонами. Продольные и поперечные экситоны. Экситонные поляритоны.</p>	<b>8</b>	2	1	1		<b>4</b>	2	2	<b>4</b>
<p><b>Понятие о плазмон-поляритонах.</b> Закон дисперсии электромагнитных волн при взаимодействии с газом свободных носителей. Закон дисперсии для поперечных электромагнитных волн. Условия</p>	<b>18</b>	6	2	1	1	<b>10</b>	4	4	<b>8</b>

<p>существования продольных электрических волн, связанных с электронной системой. Объемные плазменные колебания. Закон дисперсии плазмонов. Время жизни плазмонов. Поверхностные плазмоны-поляритоны на границе двух сред (металла с диэлектриком). Поверхностные электромагнитные волны. Их поляризация и «локализация». Условия существования поверхностных электромагнитных волн. Длина пробега поверхностных плазмонов. Закон дисперсии поверхностных плазмон-поляритонов. Возбуждение поверхностных плазмон-поляритонов. Неполное внутреннее отражение Локализованные плазмоны. Металлический шар с диаметром, меньшим длины волны, в электромагнитном поле. Объемные, поверхностные и локализованные плазмоны.</p>									
<p><b>Рассеяние света в полупроводниках.</b> Упругое рассеяние (Релеевское рассеяние, рассеяние Ми). Неупругое рассеяние. Рассеяние света акустическими фонами- рассеяние Мандельштама-Бриллюена. Рассеяние света оптическими фонами- комбинационное рассеяние Лансберга-Рамана. Классический и квантовомеханический подход к теории рамановского рассеяния. Гигантское рамановское рассеяние</p>	<b>10</b>	2	1		1	<b>4</b>	4	2	6
<p><b>Оптические эффекты в полупроводниках в электрическом и в</b></p>	<b>16</b>	4	2		1 1	<b>8</b>	4	4	<b>8</b>

<b>магнитном полях.</b> Электрооптические эффекты в полупроводниках. Эффект Франца-Келдыша. Эффект Зинера. Эффект Покельса. Эффект Керра. Магнитооптические эффекты в полупроводниках. Влияние магнитного поля на поглощение - циклотронный резонанс. Влияние магнитного поля на показатель преломления - эффект Фарадея. Эффект Фойгта.										
<b>Спектроскопия излучения.</b> Спонтанное и вынужденное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Соотношение Росбрека-Шокли. Неравновесное излучение. Люминесценция. Межзонная излучательная рекомбинация. Зависимость люминесценции от уровня возбуждения и легирования. Излучательная рекомбинация на донорно-акцепторных примесях и при переходах зона-примесь. Экситонная люминесценция	8	2	2			4	2	2	4	
Промежуточная аттестация	2					2	2			
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>36</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>36</b>

\* Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Литература из перечня основной и дополнительной (пункт 9), доступная в библиотеке и в интернете, а также презентации лекций и список тем для самостоятельной работы в электронном виде

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

Типовые вопросы:

- 1) Электромагнитные волны в вакууме. Фазовая и групповая скорости.
- 2) Электромагнитные волны в среде. Линейная оптика. Поляритонное соотношение.
- 3) Поперечные продольные и поверхностные волны.
- 4) Элементарные осцилляции
- 5) Взаимодействие электромагнитной волны с системой осцилляторов.
- 6) Соотношение Гельмгольца-Кетлера. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты в случае взаимодействия электромагнитной волны с различными типами осцилляторов.
- 7) Понятие о поляритонах. Гибридные квазичастицы
- 8) Фононные поляритоны
- 9) Взаимодействие электромагнитной волны с газом свободных электронов
- 10) Закон дисперсии электромагнитных волн при взаимодействии с газом свободных носителей

- 11) Объемные плазменные колебания. Закон дисперсии плазмонов
- 12) Плазмоны на границе металла с вакуумом (на границе двух сред).
- 13) Возбуждение поверхностных плазмонов-поляритонов. Неполное внутреннее отражение
- 14) Локализованные плазмоны
- 15) Люминесценция. Соотношение Росбрека-Шокли
- 16) Рассеяние света. Рамановское рассеяние
- 17) Оптические явления в полупроводниках, находящихся в электрическом поле.
- 18) Оптические явления в полупроводниках, находящихся в магнитном поле

#### 9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

##### Основная литература

1. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. Физика полупроводников. М., Наука, 1988 (1990)
2. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. М. Наука 1978
3. П. Ю, М. Кардона. Основы физики полупроводников. М., Физматлит, 2002.
4. К. Зеегер. Физика полупроводников. М., Мир, 1977.
5. Ю.И. Уханов. Оптика полупроводников. М., Наука, 1977.
6. Ж.И. Панков. Оптические процессы в полупроводниках. М., Мир, 1973.
7. Т. Мосс, Г. Баррелл, Б. Эллис. Полупроводниковая оптоэлектроника. М., Мир, 1976.
8. П.К. Кашкаров, В.Ю. Тимошенко. Оптика твердого тела и системы пониженной размерности. М. Пульс. 2008.

##### Дополнительная литература

1. П. Гроссе. Свободные электроны в твердых телах. М. Мир, 1982.
2. Я. Тауц. Оптические свойства полупроводников в видимой и ультрафиолетовой областях спектра. УФН, т.93, в. 3, 1968, стр. 501-534.
3. К. Klingshirn. Semiconductor Optics. Springer, 2012.
4. Chihiro Hamaguchi. Basic Semiconductor Physics. Springer. 2001.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:  
Сайт кафедры полупроводников <http://semiconductors.phys.msu.ru/>

#### 11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Основными видами аудиторной работы студентов являются лекции и семинарские занятия. В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на семинарское занятие и указания на самостоятельную работу.

Семинарские занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, решения стандартных и нестандартных задач различной степени сложности, а также для контроля преподавателем степени подготовленности студентов по изучаемой дисциплине.

Семинар предполагает свободный обмен мнениями по избранной тематике. Он начинается со вступительного слова преподавателя, формулирующего цель занятия и характеризующего его основную проблематику. Затем, как правило, заслушиваются сообщения студентов, либо студентам предлагается ознакомиться с нормативными документами. Обсуждение сообщения или изученных материалов совмещается с рассмотрением намеченных вопросов. Сообщения, предполагающие анализ публикаций по отдельным вопросам семинара, заслушиваются обычно в середине занятия. Поощряется выдвижение и обсуждение альтернативных мнений. Завершающий этап предполагает разбор задач по изучаемой теме. При подготовке к семинару студенты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя. Кроме указанных тем студенты вправе, по согласованию с преподавателем, избирать и другие интересные их темы.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости).

1. Чтение лекций с использованием слайд-презентаций, электронного курса лекций, графических объектов, видео-аудио- материалов
2. Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.
3. Представление результатов практических заданий (рефератов, проектов) с использованием слайд-презентаций, графических объектов, видео- аудио- материалов.
4. ИТ обработка данных при выполнении проекта

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Доска, персональный компьютер, проектор, набор презентаций

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ  
КОМПЕТЕНЦИИ,  
И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ**

Планируемые результаты обучения (показатели освоения компетенции)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<b>ЗНАТЬ:</b> Основные представления о взаимодействии электромагнитного излучения с веществом и о гибридных квазичастицах.	Отсутствие навыков	Фрагментарное знание основных представлений о взаимодействии электромагнитного излучения с веществом и о гибридных квазичастицах.	В целом успешное, но не систематическое знание и понимание основных представлений о взаимодействии электромагнитного излучения с веществом и о гибридных квазичастицах	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных представлений о взаимодействии электромагнитного излучения с веществом и о гибридных квазичастицах	Полноценное знание основных представлений о взаимодействии электромагнитного излучения с веществом и о гибридных квазичастицах
<b>УМЕТЬ:</b> решать актуальные задачи по определению особенностей оптических явлений, возникающих при взаимодействии электромагнитного излучения с полупроводниками	Отсутствие навыков	Фрагментарное умение решать актуальные задачи по определению особенностей оптических явлений, возникающих при взаимодействии электромагнитного излучения с полупроводниками	В целом успешное, но не систематическое умение решать актуальные задачи по определению особенностей оптических явлений, возникающих при взаимодействии электромагнитного излучения с полупроводниками.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение решать актуальные задачи по определению особенностей оптических явлений, возникающих при взаимодействии электромагнитного излучения с полупроводниками	Полноценное умение решать актуальные задачи по определению особенностей оптических явлений, возникающих при взаимодействии электромагнитного излучения с полупроводниками.
<b>ВЛАДЕТЬ:</b> современными методами расчета законов дисперсии гибридных квазичастиц, формирующихся при взаимодействии электромагнитного излучения с полупроводниками	Отсутствие навыков	Фрагментарное умение применять современные методы расчета законов дисперсии гибридных квазичастиц, формирующихся при взаимодействии электромагнитного излучения с полупроводниками.	В целом успешное, но не систематическое умение применять современные методы расчета законов дисперсии гибридных квазичастиц, формирующихся при взаимодействии электромагнитного излучения с полупроводниками.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы расчета законов дисперсии гибридных квазичастиц, формирующихся при взаимодействии электромагнитного излучения с полупроводниками.	Полноценное умение применять современные методы расчета законов дисперсии гибридных квазичастиц, формирующихся при взаимодействии электромагнитного излучения с полупроводниками..

**Примечания:**

Категории «знать», «уметь», «владеть» применяются в следующих значениях:

«знать» – воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты.

«уметь» – решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения;

«владеть» – решать усложненные задачи на основе приобретенных знаний, умений и навыков, с их применением в нетипичных ситуациях, формируется в процессе получения опыта деятельности.

Требования к входному уровню знаний, умений, владений и планируемые результаты обучения могут включать не все указанные категории с учетом специфики компетенции.