

ББК 22.37
Г24
УДК 539.21

Головкина М.В. Физические основы нанотехнологий, фотоники и оптоинформатики. Конспект лекций. –Самара.: ФГОБУ ВПО ПГУТИ, 2014. -196 с.

Книга представляет собой курс лекций по учебной дисциплине «Физические основы нанотехнологий, фотоники и оптоинформатики», рассматривающий основные явления, принципы и экспериментальные достижения нанофотоники. В книге на высоком физико – математическом уровне описываются вопросы распространения и взаимодействия света в пространственно – ограниченных наноструктурах, рассматриваются свойства различных наноструктурированных материалов, а также вопросы их практического использования.

Для магистрантов, аспирантов, изучающих вопросы оптической связи, а также для инженерно-технических работников.

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор Арефьев А.С.

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

© Головкина М.В., 2014

Список сокращений и обозначений

АСМ – атомная силовая микроскопия,
 ВКР –вынужденное комбинационное рассеяние,
 ГС – гетероструктура,
 КНИ – кремний-на-изоляторе,
 КОНОП – кремний оксид-нитрид-оксид-полупроводник,
 ЛВР – лазеры с вертикальным резонатором,
 МЛЭ – молекулярно-лучевая эпитаксия,
 МОП – металл – оксид –полупроводник,
 МП – магнитный поляритон,
 МОСVD (Metalorganic Chemical Vapour Deposition) – метод осаждения металлоорганических соединений из газообразной фазы,
 ПП – поверхностный плазмон,
 ПМСВ – поверхностные магнитостатические волны,
 СТМ - сканирующая туннельная микроскопия,
 УНТ – углеродная нанотрубка,
 ФЗЗ – фотонная запрещенная зона,
 ФК– фотонный кристалл,
 ФКВ – фотонно-кристаллическое волокно,
 ЭППЗУ - электрически перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство.

Содержание

Введение.....	8
---------------	---

Лекция 1.

Тема 1. Особенности физических взаимодействий в наномасштабах. Квантовая механика нанобъектов

1.1. Особенности физических взаимодействий в наномасштабах	9
1.2. Описание движения наночастиц. Уравнение Шредингера	13
1.3. Собственные функции, собственные значения ..	20
Выводы по теме.....	22
Вопросы и задания для самоконтроля	22

Лекция 2.

Тема 2. Квантование энергии. Наночастица в одномерной потенциальной яме

2.1. Собственные функции, собственные значения ..	23
2.2. Наночастица в одномерной потенциальной яме ..	23
2.3. Частица в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками.....	24
2.4. Локализация электронов в простейших наноструктурах (размерное квантование)	29
2.5. Потенциальный барьер. Туннельный эффект	31
2.6. Применение туннельного эффекта в современных приборах.....	31
Выводы по теме.....	35
Вопросы и задания для самоконтроля	35

Лекция 3.

Тема 3. Квантово – размерные эффекты. Квантовый конфайнмент

3.1. Плотность состояний	37
3.2. Типы квантоворазмерных структур	44
Выводы по теме.....	50
Вопросы и задания для самоконтроля	50

Лекция 4.

Тема 4. Электроны в периодических структурах и квантовый конфайнмент. Блоховские волны

4.1. Дисперсионное уравнение.....	52
4. 2. Электроны в периодических структурах. Теорема Блоха. Зоны Бриллюэна.....	53
4.3. Электрон в периодическом поле кристалла. Эффек- тивная масса	59
Выводы по теме.....	63
Вопросы и задания для самоконтроля	63

Лекция 5.

Тема 5. Квазичастицы

5.1. Квазичастицы	64
5.2. Дырки	65
5.3. Фононы.....	66
5.4. Экситоны.....	69
Выводы по теме.....	75
Вопросы и задания для самоконтроля	76

Лекция 6.

Тема 6. Рассеяние

6.1. Виды рассеяния	77
6.2. Рэлеевское рассеяние	78
6.3. Рассеяние Ми	80
6.4. Рассеяние Мадельштама-Бриллюэна	81
6.5. Комбинационное (рамановское) рассеяние	82
6.6. Расчет параметров рассеяния	84
Выводы по теме	86
Вопросы и задания для самоконтроля	87

Лекция 7.

Тема 7. Фотонные кристаллы

7.1. Классификация фотонных кристаллов	88
7.2. Дисперсионное уравнение для одномерных фотонных кристаллов	96
7.3. Применение фотонных кристаллов	101
Выводы по теме	103
Вопросы и задания для самоконтроля	103

Лекция 8.

Тема 8. Нелинейно –оптические эффекты

8.1. Условия возникновения нелинейных оптических эффектов	104
8.2. Генерация второй гармоники и условие фазового синхронизма	106
8.3. Параметрическое преобразование и параметрические генераторы света	108
8.4. Четырехволновое смешивание	110

Выводы по теме.....	115
Вопросы и задания для самоконтроля	115

Лекция 9.

Тема 9. Применение фотонных кристаллов и гетероструктур

9.1. Квантовые микрорезонаторы	116
9.2. Гетероструктуры с квантовыми ямами	124
Выводы по теме.....	127
Вопросы и задания для самоконтроля	127

Ответы на вопросы и задания для самоконтроля.....	128
Список литературы	133
Глоссарий.....	137

Введение

Данная книга представляет собой курс лекций по дисциплине «Физические основы нанотехнологий, фотоники и оптоинформатики», изучаемой в рамках магистерской программы по направлению 2001700 «Фотоника и оптоинформатика». Данный курс посвящен основным вопросам нанофотоники, возникшей на стыке фотоники, изучающей проблемы распространения света в различных средах, и нанотехнологий, развитие которых дает возможность для создания новых структур с заранее заданными свойствами. Совершенствование техники молекулярно-лучевой эпитаксии позволяет создавать полупроводниковые нано- и гетероструктуры толщиной в несколько атомных слоев. В таких наноструктурах, ограничивающих движение носителей зарядов в одном, двух или трех направлениях, начинают проявляться квантоворазмерные эффекты, приводящие к существенному изменению спектральных характеристик и появлению новых свойств, которые не могут наблюдаться у природных материалов. Данная книга подробно освещает теоретические вопросы, связанные с особенностями распространения света в ограниченных наноструктурах, вопросы размерного квантования, элементы наноплазмоники, а также вопросы практического применения наноструктур. Каждая лекция в конце содержит вопросы и задания для самоконтроля, чтобы читатели могли следить за усвоением изученного материала.

Курс лекций рассчитан на читателя, владеющего математическим анализом, квантовой механикой и физикой твердого тела в объеме, изучаемом в технических университетах, а также знаниями оптической физики и основ оптоинформатики. В свою очередь, знания, полученные в рамках данного курса, используются при изучении курсов по нанооптике, фемтосекундная оптика и фемтотехнологии, оптическим материалам фотоники и оптоинформатики.