

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Методические указания по самостоятельной работе
по дисциплинам «Оптические свойства твердых тел» для магистров
направления подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»
программы академической магистратуры «Проектирование и
технология микро- и наноэлектронных средств»

Кистенева М.Г.

Оптические свойства твердых тел = Оптические свойства твердых тел: Методические указания по самостоятельной работе по дисциплине «Оптические свойства твердых тел» для магистров направления подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» программы академической магистратуры «Проектирование и технология микро- и наноэлектронных средств» /М.Г. Кистенева; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА. – Томск: ТУСУР, 2016. – 31 с.

Целью данного пособия является формирование представления у студентов о механизмах и наблюдаемых закономерностях взаимодействия электромагнитной волны с твердым телом (металлами, полупроводниками и диэлектриками, в том числе пониженной размерности), об оптических свойствах твердых тел, приобретение практических навыков по расчету оптических характеристик твердых тел.

Задачи изучения дисциплины: раскрыть теоретические и методологические основы механизмов поглощения и отражения света в металлах, полупроводниках и диэлектриках, сформировать общие представления о том, что исследование оптических свойств является в настоящее время одним из основных методов экспериментального исследования твердых тел.

В ходе выполнения заданий у студентов формируются следующие компетенции:

-способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом **(ОК-2)**;

-готовность к активному общению с коллегами в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности **(ОК-3)**;

-способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения **(ОПК-1)**;

-способность использовать результаты освоения дисциплин программы магистратуры **(ОПК-2)**;

-готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач **(ПК-1)**;

-готовность осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени **(ПК-3)**;

-способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов **(ПК-4)**.

Предназначено для магистров направления подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» программы академической магистратуры «Проектирование и технология микро- и наноэлектронных средств».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой КУДР
_____ А.Г. Лоцилов
«__» _____ 2016 г.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Методические указания по самостоятельной работе по дисциплине
«Оптические свойства твердых тел» для магистров направления подготовки
11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» программы академической
магистратуры «Проектирование и технология микро- и наноэлектронных
средств»

Разработчик

_____ М.Г. Кистенева
«__» _____ 2016 г

Содержание

| | |
|---|----|
| 1 Введение..... | 7 |
| Раздел 1 Введение | 8 |
| 1.1 Содержание раздела..... | 8 |
| 1.2 Методические указания по изучению раздела..... | 8 |
| 1.3 Вопросы для самопроверки..... | 8 |
| Раздел 2 Прохождение оптического излучения через вещество..... | 8 |
| 2.1 Содержание раздела..... | 8 |
| 2.2 Методические указания по изучению раздела..... | 8 |
| 2.3 Вопросы для самопроверки..... | 9 |
| Раздел 3 Поглощение света в диэлектриках и полупроводниках | 9 |
| 3.1 Содержание раздела..... | 9 |
| 3.2 Методические указания по изучению раздела..... | 9 |
| 3.3 Вопросы для самопроверки | 9 |
| Раздел 4 Отражение и преломление на границе раздела двух сред..... | 10 |
| 4.1 Содержание раздела..... | 10 |
| 4.2 Методические указания по изучению раздела..... | 10 |
| 4.3 Вопросы для самопроверки | 10 |
| Раздел 5 Оптическое бесцветное неорганическое стекло. Цветное оптическое стекло..... | 10 |
| 5.1 Содержание раздела..... | 10 |
| 5.2 Методические указания по изучению раздела..... | 11 |
| 5.3 Вопросы для самопроверки..... | 11 |
| Раздел 6 Кристаллическое состояние вещества..... | 11 |
| 4.1 Содержание раздела..... | 11 |
| 4.2 Методические указания по изучению раздела..... | 11 |
| 4.3 Вопросы для самопроверки..... | 12 |
| Раздел 7 Нелинейные оптические материалы и эффекты в них..... | 12 |
| 7.1 Содержание раздела..... | 12 |
| 7.2 Методические указания по изучению раздела..... | 12 |
| 7.3 Вопросы для самопроверки..... | 12 |
| 13 Лабораторные работы | 13 |

| | | |
|------|--|----|
| 14 | Практические занятия | 14 |
| 15 | Подготовка к контрольной работе..... | 14 |
| 15.1 | Теоретические вопросы для тестового опроса..... | 15 |
| 16 | Тестовые вопросы | 18 |
| 16.1 | Стекла | 18 |
| 16.2 | Кристаллическое состояние вещества | 20 |
| 16.3 | Нелинейные оптические материалы и эффекты в них..... | 23 |
| 16.4 | Фотонные кристаллы и мета материалы..... | 27 |
| | Заключение..... | 28 |
| | Рекомендуемая литература..... | 29 |

1 Введение

Целью данного пособия является формирование представления у студентов о механизмах и наблюдаемых закономерностях взаимодействия электромагнитной волны с твердым телом (металлами, полупроводниками и диэлектриками, в том числе пониженной размерности), об оптических свойствах твердых тел, приобретение практических навыков по расчету оптических характеристик твердых тел.

Задачи изучения дисциплины: раскрыть теоретические и методологические основы механизмов поглощения и отражения света в металлах, полупроводниках и диэлектриках, сформировать общие представления о том, что исследование оптических свойств является в настоящее время одним из основных методов экспериментального исследования твердых тел.

В ходе выполнения заданий у студентов формируются следующие компетенции:

-способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом (ОК-2);

-готовность к активному общению с коллегами в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности (ОК-3);

-способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения (ОПК-1);

-способность использовать результаты освоения дисциплин программы магистратуры (ОПК-2);

-готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач (ПК-1).

-готовность осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени (ПК-3);

-способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов (ПК-4).

В итоге выполнения заданий студент должен:

– *знать*: основные закономерности взаимодействия оптического излучения с твердым телом, в том числе твердыми материалами пониженной размерности; их спектральные и поляризационные особенности; основные классы оптических материалов; принципы разработки новых оптических материалов.

– *уметь*: выбирать, адаптировать и модифицировать модели, описывающие оптические свойства твердых тел, рассчитывать основные оптические характеристики твердых тел.

– *владеть*: навыками выбора методов исследования, обобщения и интерпретации результатов исследования оптических свойств твердых тел.

Раздел 1 Введение

1.1 Содержание раздела

Историческая справка, основные понятия и терминология. Основные законы оптики. Классификация оптических материалов. Эволюция термина «оптический материал», роль оптических материалов в оптоинформатике. Физико-механические свойства оптических материалов.

1.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Введение» следует обратить внимание на основные оптические явления, на главнейшие этапы развития оптических теорий, на критерии классификации оптических материалов, на физико-механические свойства оптических материалов. Это связано с тем, что оптические материалы меняют свои свойства при малейшем изменении параметров внешней среды.

1.3 Вопросы для самопроверки

1. Закон прямолинейного распространения света.
2. Закон независимости световых пучков.
3. Закон отражения света от зеркальной поверхности.
4. Закон преломления света.
5. Корпускулярная теория света.
6. Волновая теория света.
7. Принцип Гюйгенса-Френеля.
8. Современный этап развития оптики.
9. Как классифицируются оптические материалы?
10. Каковы современные тенденции развития оптических материалов?

Раздел 2 Прохождение оптического излучения через вещество

2.1 Содержание раздела

Основные законы распространения света. Взаимодействие света с веществом. Уравнения Максвелла. Механизмы формирования оптических свойств конденсированных сред. Скорость света. Оптические константы среды: показатель преломления, диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кронига.

2.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Прохождение оптического излучения через вещество» следует обратить внимание на механизмы формирования оптических

свойств, на взаимозависимость оптически констант. Для лучшего понимания других разделов важно понять суть процессов дифракции, дисперсии, поляризации.

2.3 Вопросы для самопроверки

1. Виды и диапазон электромагнитного излучения.
2. Уравнения Максвелла.
3. Скорость света.
4. Фазовая и групповая скорости света.
5. Оптические постоянные.
6. Комплексный показатель преломления.
7. Дисперсия показателя преломления.
8. Нормальная и аномальная дисперсия
9. Диэлектрическая проницаемость материала.
10. Каковы основные законы распространения света?

Раздел 3 Поглощение света в диэлектриках и полупроводниках

3.1 Содержание раздела

Поглощение света в диэлектриках и полупроводниках. Собственное поглощение. Прямые и непрямые межзонные переходы. Край собственного поглощения. Правило Урбаха. Примесное поглощение света. Экситонное поглощение. Экситоны.

3.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Поглощение света в диэлектриках и полупроводниках» следует обратить внимание на механизмы поглощения света в твердом теле, зависимость коэффициента поглощения от длины волны света. Важно понять механизм и особенности примесного поглощения света.

3.3 Вопросы для самопроверки

1. Собственное поглощение.
2. Край собственного поглощения.
3. Прямые и непрямые межзонные переходы.
4. Правило Урбаха.
5. Спектральная зависимость коэффициента поглощения.
6. Экситоны.
7. Экситонное поглощение.
8. Примесное поглощение.
9. ИК-поглощение глубокими уровнями.

10. Поглощение света при возбуждении колебаний кристаллической решетки.
11. Рекомбинация и захват электронов и дырок в полупроводниках.
12. Связь дисперсии с поглощением.

Раздел 4 Отражение и преломление на границе раздела двух сред

4.1 Содержание раздела

Отражение и преломление света на границе раздела сред. Полное внутренне отражение. Поляризация света. Формулы Френеля. Поляризация при отражении и преломлении света на границе двух диэлектриков. Закон Брюстера.

4.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Отражение и преломление на границе раздела двух сред» следует обратить внимание на механизмы отражения света в твердом теле, возможность поляризации света при отражении. Важно понимать, что такое поляризация света.

4.3 Вопросы для самопроверки

1. Что такое отражение света?
2. Что такое коэффициент отражения?
3. Эффект полного внутреннего отражения.
4. Отражение на границе раздела двух прозрачных сред.
5. Формулы Френеля.
6. Закон Брюстера.
7. От чего зависит угол Брюстера?
8. Угловая зависимость коэффициентов отражения.
9. Что такое преломление света?
10. Что такое абсолютный и относительный показатель преломления?

Раздел 5 Оптическое бесцветное неорганическое стекло. Цветное оптическое стекло

5.1 Содержание раздела

Явление стеклования и природа стеклообразного состояния, структура стекол и методы ее исследования, оптические характеристики, диаграмма Аббе, физико-химические свойства и номенклатура бесцветных оптических стёкол, классификация стеклообразующих систем по химическому составу, основные

процессы технологии синтеза стёкол. Цветное оптическое стекло. Фотохромное стекло.

5.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Оптические стёкла» следует обратить внимание на сырьевой состав стекла, на марки стекол, их оптические характеристики.

5.3 Вопросы для самопроверки

1. Производство оптического стекла.
2. Типы и марки и спектры пропускания бесцветного оптического стекла.
3. Дефекты оптического стекла.
4. Оптические постоянные стекла.
5. Система обозначений и классификация стекол.
6. Несиликатные стекла. Их оптические свойства
7. Система нормируемых параметров. Параметры, характеризующие качество стекла.
8. Диаграмма Аббе
9. Влияние свилей на качество изображения и разрешающую способность
10. Физико-механические свойства стекол.
11. Термооптические, атермальные и фотоупругие свойства стекла
12. Химическая устойчивость.
13. Цветное оптическое стекло.
14. Спектральные характеристики цветного оптического стекла.
15. Фотохромное стекло.

Раздел 6 Кристаллическое состояние вещества

4.1 Содержание раздела

Природные и синтетические кристаллы, их структура. Дефекты кристаллической решетки. Взаимная связь физических свойств кристаллов. Кристаллы диэлектрики и полупроводники. Их оптические и физико-химические свойства. Нормируемые показатели качества основных типов кристаллов. Оптические поликристаллы (керамика).

4.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Кристаллическое состояние вещества» следует обратить внимание на структуру и дефекты кристаллической решетки кристаллов. Следует обратить внимание на взаимная связь физических свойств кристаллов.

4.3 Вопросы для самопроверки

1. Природные и синтетические кристаллы, их структура.
2. Типы кристаллических решеток.
3. Параметры кристаллической решетки.
2. Взаимная связь физических свойств кристаллов.
3. Оптические и физико-химические свойства кристаллов диэлектриков и полупроводников.
4. Анизотропия кристаллов.
5. Кристаллографические направления и плоскости.
6. Индексы Миллера.
7. Дефекты кристаллической решетки.
8. Точечные дефекты.
9. Центры окраски.
10. Линейные дефекты.
11. Оптические поликристаллы
12. Стеклокристаллические материалы

Раздел 7 Нелинейные оптические материалы и эффекты в них

7.1 Содержание раздела

Сегнетоэлектрики. Пьезоэлектрики. Акустооптические материалы. Кристаллы для генерации лазерного излучения. Материалы для генерации второй гармоники. Классификация фотонных кристаллов. Методы получения. Основные свойства и область применения. «Положительное» и «отрицательное» преломление света в веществе. Получение и применение материалов с отрицательным коэффициентом преломления.

7.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Нелинейные оптические материалы и эффекты в них» следует обратить внимание на изменение оптических параметров материалов в зависимости от метода и интенсивности воздействия на кристалл электрических полей, оптического излучения, температуры и мн. др. Важно изучить основные свойства и способы получения фотонных кристаллов и материалов с отрицательным показателем преломления.

7.3 Вопросы для самопроверки

1. Как классифицируются эффекты в нелинейной оптике?
2. Перечислите несколько нелинейных эффектов в кристаллах
3. Принцип генерации второй гармоники
4. Какие вещества называются сегнетоэлектриками?
5. Что такое домены?

6. Как принципиально устроен акустооптический элемент на поверхностных акустических волнах?
7. Природные фотонные кристаллы группы «Опал»
8. Понятие решетки фотонного кристалла
9. Классификация фотонных кристаллов
10. Свойства фотонных кристаллов
11. Характеристики фотонного кристалла
12. Методы изготовления фотонных кристаллов
13. Методы исследования фотонных кристаллов
14. Теория фотонных запрещенных зон
15. Литографические методы создания фотонного кристалла
16. Области применения фотонных кристаллов
17. «Положительное» и «отрицательное» преломление света
18. Как получают материалы с отрицательным коэффициентом преломления.
19. Где применяются материалы с отрицательным коэффициентом преломления.
20. Суперлинзы.

13 Лабораторные работы

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их. Вся работа при выполнении лабораторной работы разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента и обработка результатов.

В процессе домашней подготовки студент проверяет качество усвоения проработанного материала по вопросам для самоконтроля, относящимся к изучаемой теме. Без проведения такой предварительной подготовки к лабораторной работе студент не допускается к выполнению эксперимента.

Помимо домашней работы студенты готовятся к выполнению эксперимента также на рабочем месте: они знакомятся с установкой, уточняют порядок выполнения работы, распределяют рабочие функции между членами бригады. В ходе аудиторной подготовки преподаватель путем собеседования выявляет и оценивает степень готовности каждого студента к проведению эксперимента и знание им теоретического материала. Студенты, не подготовленные к выполнению работы или не представившие отчеты по предыдущей работе, к выполнению новой работы могут быть не допущены и все отведенное время для лабораторной работы должны находиться в лаборатории, изучать по рекомендованной литературе тот материал, с которым они не познакомились дома. К выполнению работы они могут быть допущены только после собеседования и в часы сверх расписания по договоренности с преподавателем. Все пропущенные лабораторные работы по уважительным или неуважительным причинам могут быть выполнены в конце семестра на дополнительных занятиях.

Второй этап работы – проведение эксперимента в лаборатории. На этом

этапе очень важно, чтобы студент выполнил самостоятельно и грамотно необходимые измерения и наблюдения, укладываясь в отведенное для этого время. При организации своей работы для проведения эксперимента целесообразно исходить из рекомендаций, изложенных в руководствах для выполняемой лабораторной работы.

На последнем этапе работы студент производит обработку данных измерений и анализ полученных результатов.

Отчет студента по работе должен быть индивидуальным. Анализ результатов является важной частью отчета.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Измерение показателя преломления оптического стекла рефрактометрическим методом.
2. Измерение коэффициента пропускания цветного оптического стекла.

14 Практические занятия

На практических занятиях студенты рассматривают варианты задач. Целью занятий является углубление понимания процессов, происходящих при распространении света в неоднородной среде, эффекте полного внутреннего отражения как частном случае закона преломления. Уделяется внимание поляризации света, кристаллическому состоянию вещества, линейным и нелинейным оптическим материалам (диэлектрикам).

Перед практическими занятиями студент должен повторить лекционный материал, ответив на вопросы для самоконтроля по необходимой теме, а также просмотреть рекомендации по решению типичных задач этой темы. Темы практических занятий приведены ниже:

1. Посещение Музея оптики: интерактивная образовательная экспозиция СПбГУ ИТМО (<http://www.optimus.edu.ru/ru>).
2. Взаимодействие оптического излучения с веществом. Скорость света. Оптические константы среды.
3. Поглощение света.
4. Отражение и преломление света на границе двух сред.
5. Оптическое бесцветное неорганическое стекло.
6. Кристаллические материалы.
7. Представление презентаций и защита рефератов

На практических занятиях проводятся тестовые опросы и контрольные работы.

15 Подготовка к контрольной работе

15.1 Темы

Студенты выполняют четыре контрольных работы. Контрольные работы проводятся по следующим темам:

1. Прохождение оптического излучения через вещество.
2. Поглощение света в диэлектриках и полупроводниках.

3. Отражение и преломление света на границе раздела двух сред.
4. Кристаллическое состояние вещества

При выполнении контрольной работы каждому студенту выдается индивидуальное задание, включающее в себя теоретическую часть (тестовый опрос) и три задачи, выбранные из предложенных задач для самостоятельного решения (задачи представлены в методическом указании к практическим занятиям по дисциплине «Оптические свойства твердых тел».

15.1 Теоретические вопросы для тестового опроса

15.1.1 Вопросы по темам «Прохождение оптического излучения через вещество», «Поглощение света в диэлектриках и полупроводниках», «Отражение и преломление света на границе раздела двух сред»

Волновая и электромагнитная природа света. Интерференция света.

1. Оптические постоянные вещества
2. Когерентность и монохроматичность световых волн
3. Способы получения когерентных источников
4. Оптическая длина пути
5. Интерференция при отражении и преломлении в тонких пластинках
6. Просветление оптики
7. Интерферометры.

Дифракция света

1. Условия наблюдения дифракции
2. Принцип гюйгенса-френеля
3. Метод зон Френеля
4. Дифракция в параллельных лучах от одной щели
5. Дифракционная решетка
6. Дифракционные спектры
7. Дисперсия и разрешающая способность оптических приборов
8. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллах
9. Формула вульфа-брэгга.

Распространение света в неоднородной среде

1. Отражение и преломление света на границе двух сред
2. Закон снеллиуса-декарта
3. Полное внутреннее отражение
4. Предельный угол полного внутреннего отражения

Поляризация света

1. Естественный и поляризованный свет
2. Степень поляризации света
3. Поляризация при отражении и преломлении
4. Закон Брюстера

5. Двойное лучепреломление
6. Поляроиды и поляризационные призмы
7. Закон Малюса
8. Оптическая активность
9. Вращение плоскости поляризации
10. Пластинки в $1/4$ и $1/2$ длины волны
11. Искусственная анизотропия
12. Эффекты Керра и Фарадея

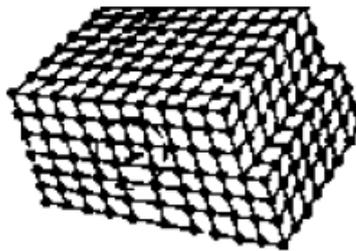
Взаимодействие света с веществом

1. Дисперсия света
2. Электронная теория дисперсии
3. Нормальная и аномальная дисперсия
4. Связь дисперсии с поглощением
5. Фазовая и групповая скорости света
6. Закон поглощения Бугера
7. Излучение Вавилова - Черенкова. Фотоны.

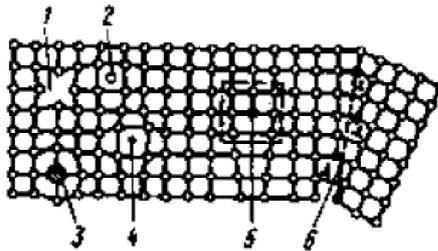
15.1.2 Вопросы по теме «Кристаллическое состояние вещества»

1. Почему свойства кристаллов анизотропны?
2. Поликристаллические материалы являются: А) анизотропными; Б) изотропными.
3. В чем состоит существенная разница между строением аморфных и кристаллических тел?
4. Перечислите основные типы ячеек кристаллических решеток.
5. Что понимается под кристаллографическими направлениями и плоскостями и как они обозначаются?
6. Чем характеризуются размеры кристаллических решеток?
7. Что называют параметрами решетки?
8. Что называют периодом решетки?
9. Что называют энергией решетки?
10. Что называют координационным числом кристаллической решетки?
11. Что называют атомным радиусом?
12. Что такое базис решетки?
13. Что понимается под кристаллографическими направлениями и плоскостями и как они обозначаются?
14. Как определяются индексы плоскости?
15. Как определяется коэффициент компактности решетки?
16. Классификация кристаллов в зависимости от типа физических сил, действующих между частицами кристалла?
17. Природа ионной связи.
18. Природа ковалентной связи.
19. Что из себя представляют динамические дефекты?

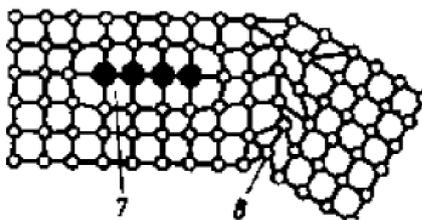
20. Что из себя представляет точечный дефект кристаллической решетки?
21. Что из себя представляет линейный дефект кристаллической решетки?
22. Что из себя представляют объемные дефекты?
23. Типы дислокаций.
24. Что из себя представляет винтовая дислокация?
25. Какой дефект способствует повышению прочности кристаллического материала?
26. Определить дефект. Каково влияние этого дефекта на свойства материала?



27. Определить дефект. Каково влияние этого дефекта на свойства материала?



28. Определить дефект. Каково влияние этого дефекта на свойства материала?



15.1.3 Вопросы по теме «Линейные и нелинейные оптические материалы (диэлектрики)»

1. Что такое свободные и связанные заряды?
2. Что такое поляризация?
3. Что является количественной характеристикой поляризации?
4. Что такое линейные и нелинейные диэлектрики?
5. Что такое диэлектрическая проницаемость?
6. Что представляет собой упругая поляризация? Какие виды упругой поляризации существуют?

7. В каких диэлектриках наблюдаются упругие виды поляризации?
 8. Что представляет собой релаксационная поляризация? Какие виды релаксационной поляризации существуют?
 9. В каких диэлектриках существует релаксационная поляризация?
 10. В каких диэлектриках возможна миграционная поляризация?
 11. Как зависит диэлектрическая проницаемость от температуры для диэлектриков с электронно-упругой поляризацией и для диэлектриков с релаксационной поляризацией? Что такое температурный коэффициент диэлектрической проницаемости?
 12. Чем определяется поверхностная электропроводность твердых диэлектриков?
 13. Как влияет влага на удельное объемное и удельное поверхностное сопротивление диэлектриков?
 14. Что такое диэлектрические потери?
 15. Какие виды потерь существуют в диэлектриках?
 16. Что такое тангенс угла диэлектрических потерь?
 17. Как зависит тангенс угла диэлектрических потерь от температуры и частоты для диэлектриков с упругими и релаксационными видами поляризации?
 18. Какие вещества называются сегнетоэлектриками?
 19. Что такое спонтанная поляризация?
 20. Что такое домены?
 21. Что такое кривая поляризованности?
 22. Как зависит диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектриков от температуры? Что такое точка Кюри?
 23. Что такое пьезоэлектрики?
 24. Что такое прямо и обратный пьезоэффект? Что такое пьезомодуль?
 25. Что такое электреты? Какие существуют виды электретов? Где применяются электреты?
- Что такое жидкие кристаллы? Как классифицируются жидкие кристаллы по виду симметрии? Где применяются жидкие кристаллы

16 Тестовые вопросы

16.1 Стекла

1. Перечислить нормируемые показатели качества зеркальной оптики
2. К гомогенным фотохромным стеклам относятся
 - 1) щелочные стекла
 - 2) натриевосиликатные стекла, содержащие ионы Ce^{3+} и Eu^{2+}
 - 3) молибденовое стекло
 - 4) кварцевое стекло.
3. К гетерогенным фотохромным стеклам относятся

- 1) щелочные стекла
- 2) кварцевое стекло
- 3) силикатные стекла
- 4) стекла, активированные чувствительными микрокристаллами.

4. Причины появления окраски стекол

- 1) шлифовка стекол
- 2) воздействие на силикатные стекла кислотами
- 3) введение оксидов металлов, изменяющих структуру стекла в процессе варки
- 4) введение мела.

5. К спектральным характеристикам цветных стекол относятся

- 1) коэффициент пропускания
- 2) оптический коэффициент напряжения
- 3) оптическая плотность
- 4) показатель поглощения
- 5) температурный коэффициент линейного расширения
- 6) показатель преломления

6. Марки кварцевого стекла

7. Классификация окрашенных стекол

8. К основным промышленным видам стекла относятся

- 1) кальциево-натриевое стекло
- 2) калиево-кальциевое стекло
- 3) смарт-стекло
- 4) калийно-свинцовое стеклоцветное стекло

9. К основным маркам ситалла относятся

- 1) литиевые;
- 2) натриевые;
- 3) борно-бариевые,
- 4) магниевые;
- 5) титановые;
- 6) молибденовые.

10. Щелочное стекло отличается от кварцевого стекла:

- 1) тем, что в его основу в качестве примеси входят окислы щелочного металла
- 2) тем, что его основу составляют окислы щелочного металла
- 3) особой термообработкой, позволяющей получить химически стойкий материал для хранения щелочей
- 4) большей прозрачностью в области ультрафиолета

5) более низкой температурой размягчения

6) большей прочностью

Выберите два верных варианта

11. Название "молибденовое стекло" связано с тем, что

1) основу стекла составляет оксид молибдена

2) содержание молибдена в этом стекле свыше 30% (атомных)

3) в этом силикатном стекле молибден является примесью замещения для атомов кремния

4) температурный коэффициент расширения этого силикатного стекла близок к температурному коэффициенту расширения молибдена

5) в качестве катализатора при синтезе этого стекла используется молибден

6) максимум прозрачности этого стекла соответствует длине волны возбуждения атома молибдена.

Выберите один правильный из всех предложенных вариантов.

16.2 Кристаллическое состояние вещества

1. Какой вид связи (напишите название связи) осуществляется в молекуле HCl и какие из перечисленных свойств межатомных связей могут ей соответствовать? Отметьте возможные варианты.

1) насыщаемая;

2) ненасыщаемая;

3) направленная;

4) ненаправленная;

5) полярная;

6) неполярная.

2. Какой вид связи (напишите название связи) осуществляется в молекуле H_2O и какие из перечисленных свойств межатомных связей могут ей соответствовать? Отметьте возможные варианты.

1) насыщаемая;

2) ненасыщаемая;

3) направленная;

4) ненаправленная.

5) полярная;

6) неполярная.

3. Какой вид связи (напишите ее название) осуществляется в молекуле O_2 и какие из перечисленных свойств связей могут ей соответствовать? Отметьте все возможные варианты.

1) насыщаемая;

2) ненасыщаемая;

- 3) направленная;
- 4) ненаправленная;
- 5) полярная;
- 6) неполярная.

4. Какой вид связи (напишите название связи) осуществляется в молекуле NaCl и какие из перечисленных свойств межатомных связей могут ей соответствовать? Отметьте все возможные варианты.

- 1) насыщаемая;
- 2) ненасыщаемая;
- 3) направленная;
- 4) ненаправленная;
- 5) полярная;
- 6) неполярная.

5. Какие силы участвуют в процессе образования ковалентной связи? Выберите нужные варианты.

- 1) индукционная сила
- 2) сила Лорентца
- 3) кулоновские электростатические силы
- 4) силы обменного взаимодействия
- 5) дипольно-ориентационная сила.

В каких веществах существует чистая ковалентная связь?

6. Какой вид связи возникает между двумя полярными молекулами? Какой вид связи возникает между полярной и неполярной молекулой? Какой вид химической связи возникает при взаимодействии неполярных молекул? К какому классу относятся эти виды связи?

7. В кристаллах в расположении молекул наблюдается (выберите верные варианты)

- 1) ближний порядок,
- 2) хаотическое расположение молекул,
- 3) дальний порядок,
- 4) строгая периодичность.

Такое расположение молекул обусловлено соблюдением принципа (вставьте нужные слова).

8. Наиболее плотно упакованная простая кристаллическая решетка может иметь (отметьте все верные варианты):

- 1) кубическую гранцентрированную структуру;
- 2) кубическую объемноцентрированную структуру;
- 3) сфероидальную структуру;
- 4) гексагональную структуру;
- 5) ромбическую структуру.

9. Нахождение тела в аморфном состоянии может быть вызвано следующими причинами (отметьте все возможные варианты):

- 1) низкая температура плавления вещества;
- 2) резкая закалка вещества;
- 3) слабые силы химической связи между молекулами;
- 4) нарушение принципа плотной упаковки атомов;
- 5) большое количество дефектов в материале;
- 6) особая форма молекул;
- 7) отсутствие полярных межатомных связей.

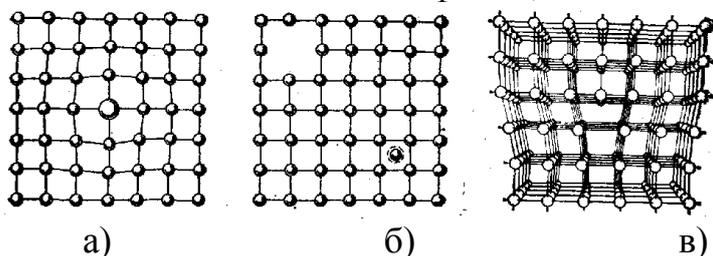
Какое состояние является более устойчивым – аморфное или кристаллическое?

10. Как называются и к какому типу относятся дефекты, обусловленные тепловыми колебаниями атомов решетки?

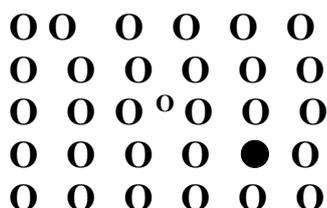
Их наличие приводит к (выберите все верные варианты)

- 1) нарушению принципа плотной упаковки атомов
- 2) искажению регулярности решетки
- 3) смещению атомов в междоузельное пространство
- 4) смещению атомов относительно положения равновесия

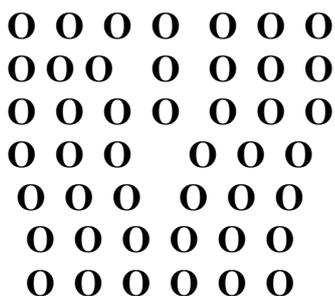
11. Укажите и назовите дефекты, показанные на этих рисунках



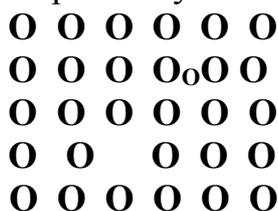
12. Наличие дефектов приводит к..... регулярности решетки (вставьте нужное слово). На рисунке показана схема кристаллической решетки. Стрелкой указать на дефект и дать ему правильное название.



13. Наличие дефектов приводит к..... регулярности решетки (вставьте нужное слово). На рисунке показана схема кристаллической решетки. Стрелкой указать на дефект и дать ему правильное название.



14. Наличие дефектов приводит к.....
регулярности решетки (вставьте нужное слово). На рисунке показана схема кристаллической решетки. Стрелкой укажите на дефекты и дайте им название.



15. Назовите основные параметры решетки.

Период решетки – это

Атомный радиус – это

Координационное число – это

16.3 Нелинейные оптические материалы и эффекты в них

1. Нелинейными называются диэлектрики, у которых наблюдается

1) нелинейная зависимость плотности тока от напряженности электрического поля

2) нелинейная зависимость поляризованности от напряженности электрического поля

3) нелинейная зависимость концентрации ионов в диэлектрике от напряженности электрического поля

4) нелинейная зависимость заряда диэлектрика от напряженности поля

5) нелинейная зависимость поляризованности от концентрации ионов в диэлектрике.

Выберите два тождественных с физической точки зрения варианта.

2. Диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектриков выберите верный вариант)

1) не зависит от напряженности электрического поля

2) зависит от напряженности поля только при переменном напряжении

3) не зависит от напряженности поля в области слабых полей и изменяется с ростом поля в области средних и сильных полей

4) зависит от величины коэрцитивной силы.

3. Наличие остаточной поляризации на петле гистерезиса в сегнетоэлектриках обусловлено (выберите верный вариант)

- 1) большой величиной электрического поля, приложенного к сегнетоэлектрику
- 2) процессами упругой поляризации в сегнетоэлектриках
- 3) необратимыми (из-за наличия стопорящих центров) процессами смещения доменных границ
- 4) большой величиной коэрцитивной силы.

4. Максимальное значение диэлектрической проницаемости в сегнетоэлектрике наблюдается (выберите верный вариант)

- 1) при температуре, превышающей температуру Кюри
- 2) в сегнетоэлектриках с узкой петлей гистерезиса
- 3) при температуре, равной температуре Кюри
- 4) в условиях слабого поля при обратимом смещении доменных границ.

5. Направления электрических моментов ячеек сегнетоэлектрика внутри одного домена в отсутствие электрического поля (выберите верный вариант)

- 1) разупорядочены, и суммарный электрический момент домена равен нулю
- 2) определяются смещением зарядов за счет процессов релаксационной поляризации
- 3) сонаправлены, и домен поляризован до насыщения при температуре, выше температуры Кюри
- 4) сонаправлены, и домен поляризован до насыщения при температуре, ниже температуры Кюри.

6. Температура Кюри – это температура, при которой (выберите верные варианты)

- 1) происходит зарождение и рост новых доменов
- 2) происходит изменение направления вектора спонтанной поляризации
- 3) диэлектрическая проницаемость достигает максимального значения
- 4) происходит перестройка кристаллической решетки
- 5) отсутствует остаточная поляризация.

7. Кривая поляризации – это зависимость (выберите верный вариант)

- 1) поляризованности сегнетоэлектрика от температуры
- 2) диэлектрической проницаемости от напряженности электрического поля
- 3) поляризованности от напряженности электрического поля
- 4) остаточной поляризованности от напряженности электрического поля
- 5) поляризованности от частоты электрического поля.

8. Максимальное значение диэлектрической проницаемости в сегнетоэлектрике наблюдается (выберите верный вариант)

- 1) при температуре, превышающей температуру Кюри
- 2) в сегнетоэлектриках с узкой петлей гистерезиса
- 3) при температуре, равной температуре Кюри
- 4) в условиях слабого поля при обратимом смещении доменных границ.

9. Нелинейный участок на кривой поляризации сегнетоэлектриков обусловлен (выберите верные варианты)

- 1) процессами релаксационной поляризации
- 2) необратимым смещением границ доменов
- 3) процессами упругой поляризации
- 4) процессом переориентации электрических моментов доменов
- 5) перестройкой кристаллической структуры при увеличении напряжения.

10. Необходимым условием наличия пьезоэффекта в кристалле является (выберите верный вариант)

- 1) наличие в нем плоскости симметрии
- 2) отсутствие центра симметрии
- 3) наличие ионов кремния и кислорода
- 4) наличие спонтанной поляризации
- 5) отсутствием вращательной оси симметрии 4-го порядка.

11. Электретное состояние в термоэлектретах достигается при (выберите верный вариант)

- 1) нагреве диэлектрика до температуры плавления в отсутствие электрического поля
- 2) охлаждении диэлектрика до низких температур при воздействии электрического поля
- 3) нагреве диэлектрика до температуры плавления и последующем охлаждении его при воздействии электрического поля
- 4) нагреве сегнетоэлектрика до температуры Кюри при воздействии электрического поля.

Какой заряд (гомо- или гетерозаряд) формируется на диэлектрике в результате такого механизма?

12. При обратном пьезоэлектрическом эффекте деформация диэлектрика (выберите верный вариант)

- 1) зависит от напряженности поля по квадратичному закону
- 2) не зависит от направления напряженности электрического поля
- 3) линейно зависит от приложенного механического напряжения
- 4) линейно зависит от напряженности электрического поля

13. Какой необходимой особенностью обладает кристаллическая структура пьезоэлектрика? Варианты ответов

- 1) наличием ковалентных связей
 - 2) наличием ионных связей
 - 3) наличием вращательной оси симметрии 3-го порядка
 - 4) отсутствием вращательной оси симметрии 4-го порядка
 - 5) наличием всех видов симметрии куба
 - 6) отсутствием центра симметрии
 - 7) наличием ионов кремния и кислорода
 - 8) наличием спонтанной поляризации
- Выберите верный вариант

14. Коэрцитивная сила – это (отметьте верный вариант)

- 1) напряженность электрического поля, при которой диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрика обращается в ноль
- 2) напряженность электрического поля, при которой происходит перестройка кристаллической решетки сегнетоэлектрика
- 3) напряженность электрического поля, при которой поляризованность сегнетоэлектрика равна нулю
- 4) напряженность поля, при которой поляризованность сегнетоэлектрика достигает насыщения.

15. При линейном электрооптическом эффекте показатель преломления

- 1) зависит от напряженности поля по квадратичному закону
- 2) не зависит от направления напряженности электрического поля
- 3) линейно зависит от напряженности электрического поля
- 4) линейно зависит от интенсивности света.

16. Жидкий кристалл ...типа, имеющий структуру совокупности нитей, вытянутых в одном направлении, и обладающий положительной диэлектрической анизотропией, помещен в межобкладочное пространство конденсатора. Действие постоянного напряжения на обкладках приводит к возрастанию емкости и ориентации осей молекул ... по отношению к плоскостям обкладок.

Для данного предложения выберите требуемые слова, приведенные ниже

- 1) нематического
- 2) кубического
- 3) смектического
- 4) ромбоэдрического
- 5) холестерического
- 6) тетраэдрического
- 7) параллельно
- 8) перпендикулярно
- 9) под углом 45°
- 10) по винтовой линии

17. Жидкий кристалл ... типа молекулы которого создают структуру совокупности параллельных плоскостей, и обладающий отрицательной диэлектрической анизотропией, помещен в межобкладочное пространство конденсатора. Действие постоянного напряжения на обкладках приводит к возрастанию емкости и ориентации осей молекул ... по отношению к плоскостям обкладок.

Для данного предложения выберите требуемые слова, приведенные ниже.

- 1) нематического
- 2) кубического
- 3) смектического
- 4) ромбоэдрического
- 5) холестерического
- 6) тетраэдрического
- 7) параллельно
- 8) перпендикулярно
- 9) под углом 45°
- 10) по винтовой линии

16.4 Фотонные кристаллы и мета материалы

1. Классификация фотонных кристаллов – это

2. Фотонные кристаллы – это

1) материал, структура которого характеризуется периодическим изменением коэффициента пропускания в пространственных направлениях

2) материал, структура которого характеризуется периодическим изменением показателя преломления в пространственных направлениях

3) фотонными кристаллами принято называть среды, у которых диэлектрическая проницаемость периодически меняется в пространстве с периодом, допускающим брэгговскую дифракцию света

4) многослойные диэлектрические материалы.

3. Метаматериалы – это материалы

1) с отрицательным удельным сопротивлением

2) с отрицательным показателем преломления

3) в которых групповая и фазовая скорости имеют одинаковые направления

4) в которых групповая и фазовая скорости имеют противоположные направления:

4. В метаматериалах

1) лучи падающего и преломленного света находятся по одну сторону от нормали;

- 2) величина относительной диэлектрической проницаемости меньше нуля, а величина относительной магнитной проницаемости больше нуля;
- 3) величина относительной диэлектрической проницаемости больше нуля, а величина относительной магнитной проницаемости меньше нуля;
- 4) величина относительной диэлектрической проницаемости и относительной магнитной проницаемости имеют отрицательное значение

Заключение

В итоге изучения тем студент должен твердо, как минимум знать следующие вопросы.

1. Основные законы оптики.
2. Основные оптические константы материала.
3. Коэффициенты отражения, пропускания и поглощения.
4. Закон Бугера.
5. Механизмы поглощения в твердом теле.
6. Полное внутреннее отражение.
7. Закон Брюстера.
8. Классификация оптических материалов по области применения.
9. Типы и марки бесцветного оптического стекла
10. Классификация стекол по типам
11. Спектральная область пропускания силикатных стекол
12. Система нормируемых параметров. Параметры, характеризующие качество стекла
13. Основные оптические постоянные
14. Показатель преломления и средняя дисперсия
15. Однородность партии по показателю преломления и средней дисперсии, классы однородности
16. Свильность стекла. Категории и классы свильности
17. Влияние свилей на качество изображения и разрешающую способность
18. Двойное лучепреломление. Причины возникновения
19. Показатель ослабления. Составляющие ослабления светового потока. Категории стекла по показателю ослабления
20. Твердость по сошлифованию. Ее роль в процессах механической обработки стекла
21. Термооптические свойства
22. Фотоупругие свойства стекла
23. Механизм разрушения стекла водой и влагой атмосферы
24. Группы пятнаемости силикатного и несиликатного стекла
25. Группы устойчивости силикатных и несиликатных стекол к воздействию влажной атмосферы
26. Типы налетоопасных стекол
27. Способы защиты стекла от налетов

28. Стекла прозрачные в ИК области
29. Стеклообразователи бескислородных стекол
30. Марки кварцевого стекла, их отличительные особенности
31. Природные и синтетические кристаллы, их структура.
32. Дефекты кристаллической решетки.
33. Взаимная связь физических свойств кристаллов.
34. Кристаллы диэлектрики и полупроводники. Их оптические и физико-химические свойства
35. Стеклокристаллические материалы
36. Сегнетоэлектрики.
37. Пьезоэлектрики.
38. Акустооптические материалы.
39. Кристаллы для генерации лазерного излучения.
40. Материалы для генерации второй гармоники
41. Фотонные кристаллы.
42. Материалы с отрицательным показателем преломления.

Рекомендуемая литература

1. Оптические свойства твердых тел: Учебное пособие по дисциплине «Оптические свойства твердых тел» для магистров направления подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника» программы академической магистратуры «Проектирование и технология микро- и нанoeлектронных средств» / Кистенева М. Г., Симонова Г. В. – 2016. – 126 с.. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/training/publications/5935>.
2. Оптическое материаловедение: Учебное пособие / Симонова Г. В., Кистенева М. Г. – 2013. – 148 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2992>.
3. Оптическое приборостроение: Учебное пособие для вузов / И. Г. Половцев, Г. В. Симонова; ред.: И. В. Самохвалов; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. – Томск: Издательство Томского университета, 2004. ISBN 5-94621-148-X.
4. Оптика: Учебное пособие для вузов / Г. С. Ландсберг. - 6-е изд., стереотип. - М.: Физматлит, 2006. - 848 с.: ил., табл. - Предм. указ.: с. 844-848. - ISBN 5-9221-0314-8.
5. Оптические свойства полупроводников / Ю. И. Уханов; ред.: В. М. Тучкевич. - М.: Наука, 1977. - 366[2] с.
6. М.Н. Либенсон. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Конспект лекций под редакцией В.П. Вейко. Часть I. Поглощение лазерного излучения в веществе / М.Н. Либенсон, Е.Б. Яковлев, Г.Д. Шандыбина // <http://books.ifmo.ru/file/pdf/335.pdf>

7. Никоноров Н.В. Оптическое материаловедение: Основы прочности оптического стекла: Учебное пособие, курс лекций / Никоноров Н.В., Евстропьев С.К. // СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 102 с. URL: <http://books.ifmo.ru/book/pdf/622.pdf>.
8. Немиллов С.В. Оптическое материаловедение: Оптические стекла: Учебное пособие, курс лекций // СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 175 с. URL: <http://books.ifmo.ru/book/pdf/831.pdf>.
9. Никоноров Н.В. Оптическое материаловедение. Ч.1: Оптические свойства и дефекты кристаллов: Учебное пособие к выполнению лабораторных работ по курсу «Оптическое материаловедение» / Никоноров Н.В., Пржеvusкий А.К., Асеев В.А., Игнатъев А.И., Каева Е.С., Маколкина Е.Н., Рохмин А.С., Ульяшенко А.М.// СПб: СПбГУ ИТМО, 2005. – 73 с. URL: <http://books.ifmo.ru/book/pdf/87.pdf>.
10. Вильчинская С.С. Оптические материалы и технологии: учебное пособие / С.С. Вильчинская, В.М. Лисицын; Томский политехнический университет – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 107 с. URL: http://portal.tpu.ru/departments/otdel/publish/catalog/2011/departments/ifvt/metod/avtor/ifvt_vilchinskaya_Opticheskie_materialy_i_tehnologii.pdf.
11. Епифанов Г.И. Физика твердого тела: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 288 с. – ISBN: 978-5-8114-1001-9. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2023.
12. Савельев И.В. Курс физики. В 3-х тт. Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. - 320 с. - ISBN: 978-5-8114-0684-5. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=708.

