

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

## **ОПТИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Методические указания по самостоятельной работе  
по дисциплине «Оптическое материаловедение»

2018

Кистенева М.Г.

Оптическое материаловедение = Оптическое материаловедение: Методические указания по самостоятельной работе по дисциплине «Оптическое материаловедение» /М.Г. Кистенева; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск: ТУСУР, 2018. – 23 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.

## Содержание

1 Введение.....	5
Раздел 1 Введение .....	6
<b>1.1 Содержание раздела.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Методические указания по изучению раздела .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Вопросы для самопроверки .....</b>	<b>6</b>
Раздел 2 Прохождение оптического излучения через оптические материалы.....	6
<b>2.1 Содержание раздела.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Методические указания по изучению раздела .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Вопросы для самопроверки .....</b>	<b>7</b>
Раздел 3 Кристаллическое состояние вещества .....	7
<b>3.1 Содержание раздела.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2 Методические указания по изучению раздела .....</b>	<b>8</b>
<b>3.3 Вопросы для самопроверки .....</b>	<b>8</b>
Раздел 4 Нелинейные оптические кристаллы .....	8
<b>4.1 Содержание раздела.....</b>	<b>8</b>
<b>4.2 Методические указания по изучению раздела .....</b>	<b>8</b>
<b>4.3 Вопросы для самопроверки .....</b>	<b>8</b>
Раздел 5 Оптическое бесцветное неорганическое стекло .....	9
<b>5.1 Содержание раздела.....</b>	<b>9</b>
<b>5.2 Методические указания по изучению раздела .....</b>	<b>9</b>
<b>5.3 Вопросы для самопроверки .....</b>	<b>9</b>
Раздел 6 Органическое стекло .....	9
<b>6.1 Методические указания по изучению раздела .....</b>	<b>10</b>
<b>6.2 Вопросы для самопроверки .....</b>	<b>10</b>
Раздел 7 Стекла с особыми свойствами.....	10
<b>7.1 Методические указания по изучению раздела .....</b>	<b>10</b>
<b>7.2 Вопросы для самопроверки .....</b>	<b>10</b>
Раздел 8 Современные тенденции развития оптического материаловедения ....	10
<b>8.1 Природные фотонные кристаллы группы «Опал».....</b>	<b>10</b>
Раздел 9 Лабораторные работы.....	11

Раздел 10 Практические занятия.....	12
<b>10.1 Темы практических занятий .....</b>	<b>12</b>
<b>10.2 Темы контрольных работ.....</b>	<b>12</b>
Раздел 11 Примеры тестовых опросов .....	13
<b>11.1 Кристаллическое состояние вещества.....</b>	<b>13</b>
<b>11.2 Нелинейные оптические материалы и эффекты в них.....</b>	<b>16</b>
<b>11.3 Оптическое стекло .....</b>	<b>19</b>
<b>11.4 Фотонные кристаллы и метаматериалы .....</b>	<b>21</b>
Рекомендуемая литература.....	22

## 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), 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 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. Классификация оптических материалов. Эволюция термина «оптический материал», роль оптических материалов в оптоинформатике и голографии.

### **1.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Введение» следует обратить внимание на главные 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. Понятие «оптические материалы».
2. Как классифицируются оптические материалы?
3. Современный этап развития оптики.
4. Каковы современные тенденции развития оптических материалов?
5. Применение оптических материалов.

## **Раздел 2 Прохождение оптического излучения через оптические материалы**

### **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.

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

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.

### **2.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении этого раздела следует обратить внимание на механизмы формирования оптических свойств, на взаимозависимость оптически констант. Для лучшего понимания других разделов важно понять суть процессов дифракции, дисперсии, поляризации.

При изучении вопросов, связанных с процессами поглощения 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.

При изучении процессов отражения и преломления света 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.

### 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. Собственное поглощение.
10. Край собственного поглощения.
11. Прямые и непрямые межзонные переходы.
12. Правило Урбаха.
13. Спектральная зависимость коэффициента поглощения.
14. Экситоны. Экситонное поглощение.
15. Примесное поглощение.
16. Поглощение света при возбуждении колебаний кристаллической решетки.
17. Рекомбинация и захват электронов и дырок в полупроводниках.
18. Что такое отражение света?
19. Что такое коэффициент отражения?
20. Эффект полного внутреннего отражения.
21. Отражение на границе раздела двух прозрачных сред. Формулы Френеля.
22. Закон Брюстера.
23. От чего зависит угол Брюстера?

## Раздел 3 Кристаллическое состояние вещества

### 3.1 Содержание раздела

Природные и синтетические кристаллы, их структура. Типы кристаллических решеток. Параметры кристаллической решетки. Анизотропия свойств кристаллов. Индексы Миллера. Дефекты кристаллической решетки. Взаимная связь физических свойств кристаллов. Кристаллы диэлектрики и полупроводники. Их оптические и физико-химические свойства.

### 3.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Кристаллическое состояние вещества» следует обратить внимание на типы кристаллических решеток, какими параметрами характеризуется кристаллическая решетка, как рассчитываются параметры кристаллической решетки. Необходимо понимать, как влияют дефекты кристаллической структуры на оптические и электрические свойства кристаллов.

### 3.3 Вопросы для самопроверки

1. Природные и синтетические кристаллы, их структура.
2. Типы химических связей.
3. Типы кристаллических решеток.
4. Параметры кристаллической решетки.
2. Анизотропия кристаллов.
3. Кристаллографические направления и плоскости.
4. Индексы Миллера.
5. Дефекты кристаллической решетки.
6. Точечные дефекты.
7. Центры окраски.
8. Линейные дефекты.
9. Оптические поликристаллы
10. Стеклокристаллические материалы

## Раздел 4 Нелинейные оптические кристаллы

### 4.1 Содержание раздела

Диэлектрики. Поляризация. Поляризованность. Виды поляризации. Сегнетоэлектрики. Пьезоэлектрики. Пироэлектрические кристаллы. Акустооптические материалы. Жидкие кристаллы. Материалы для генерации второй гармоники. Применение нелинейных оптических материалов в устройствах оптоэлектроники.

### 4.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Нелинейные оптические кристаллы» следует обратить на процессы поляризации диэлектриков. Важно знать, какие материалы относят к числу нелинейных, их основные свойства и как изменяются их оптические параметры в зависимости от метода и интенсивности воздействия на кристалл электрических полей, оптического излучения, температуры и др.

### 4.3 Вопросы для самопроверки

1. Что такое диэлектрики?
2. Что такое поляризация диэлектриков?
3. Виды поляризации.
4. Какие вещества называются сегнетоэлектриками?
5. Что такое домены?

6. Что такое кривая поляризации?
7. Что такое прямой и обратный пьезоэлектрические эффекты?
8. Классификация и свойства жидких кристаллов.
9. Применение жидких кристаллов.
10. Как принципиально устроен акустооптический элемент на поверхностных акустических волнах?
11. Принцип генерации второй гармоники.
12. Какие материалы применяются для генерации второй гармоники.

## **Раздел 5 Оптическое бесцветное неорганическое стекло**

### **5.1 Содержание раздела**

Явление стеклования и природа стеклообразного состояния, на сырьевой состав стекла, оптические характеристики, диаграмма Аббе, номенклатура бесцветных оптических стёкол, нормируемые показатели качества оптического стекла, оптические, механические и химические свойства стекол.

### **5.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Оптическое бесцветное неорганическое стекло» следует обратить внимание оптические характеристики стекол, на марки стекол, их физико-химические свойства.

### **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. Нормируемые показатели качества 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.

## **Раздел 6 Органическое стекло**

Органическое стекло. Основные свойства. Технология получение органического стекла. Применение.

## 6.1 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Органическое стекло» следует обратить внимание на основные свойства органического стекла и области его применения.

### 6.2 Вопросы для самопроверки

1. Механические свойства органического стекла.
2. Оптические свойства органического стекла.
3. Технология получения органического стекла.
4. Применения органического стекла.

## Раздел 7 Стекла с особыми свойствами

Цветное оптическое стекло. Причины появления окраски стекол. Спектральные характеристики цветных стекол. Фотохромное стекло. Инфракрасное стекло. Стеклокристаллические материалы.

### 7.1 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Стекла с особыми свойствами» следует обратить внимание на причины, на спектральные характеристики цветного оптического стекла. Важно знать основные свойства фотохромных и инфракрасных стекол.

### 7.2 Вопросы для самопроверки

1. Окрашивание стекол молекулярными красителями.
2. Окрашивание стекол металлами в коллоидном состоянии.
3. Окрашивание полупроводниками в коллоидном состоянии.
4. Окрашивание, вызванное облучением.
5. Соляризация.
6. Свойства фотохромных стекол.
7. Инфракрасные стекла.
8. Ситаллы.

## Раздел 8 Современные тенденции развития оптического материаловедения

Фотонные кристаллы. Классификация фотонных кристаллов. Методы получения. Основные свойства и область применения. «Положительное» и «отрицательное» преломление света в веществе. Получение и применение материалов с отрицательным показателем преломления.

Важно изучить основные свойства и способы получения фотонных кристаллов и материалов с отрицательным показателем преломления.

### 8.1 Природные фотонные кристаллы группы «Опал»

13. Понятие решетки фотонного кристалла
14. Классификация фотонных кристаллов
15. Свойства фотонных кристаллов
16. Характеристики фотонного кристалла

17. Методы изготовления фотонных кристаллов
18. Методы исследования фотонных кристаллов
19. Теория фотонных запретных зон
20. Литографические методы создания фотонного кристалла
21. Области применения фотонных кристаллов
22. «Положительное» и «отрицательное» преломление света
23. Как получают материалы с отрицательным коэффициентом преломления.
24. Где применяются материалы с отрицательным коэффициентом преломления.
25. Суперлинзы.

## **Раздел 9 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. Исследование дефектов в кристаллах.
2. Измерение показателя преломления оптического стекла рефрактометрическим методом.
3. Измерение коэффициента пропускания цветного оптического стекла.
4. Исследование кинетических свойств фотохромных стекол.

## **Раздел 10 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.

### **10.1 Темы практических занятий**

Темы практических занятий приведены ниже:

1. Прохождение оптического излучения через оптические материалы.
2. Кристаллическое состояние вещества.
3. Нелинейные оптические кристаллы.
4. Оптическое бесцветное неорганическое стекло.
5. Органическое стекло.
6. Стекла с особыми свойствами.
7. Современные тенденции развития оптического материаловедения.

На практических занятиях проводятся тестовые опросы и контрольные работы.

### **10.2 Темы контрольных работ**

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 три задачи, выбранные из предложенных задач для самостоятельного решения (задачи представлены в методическом указании к практическим занятиям по дисциплине «Оптическое материаловедение»).

## Раздел 11 Примеры тестовых опросов

### 11.1 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<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub> 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?

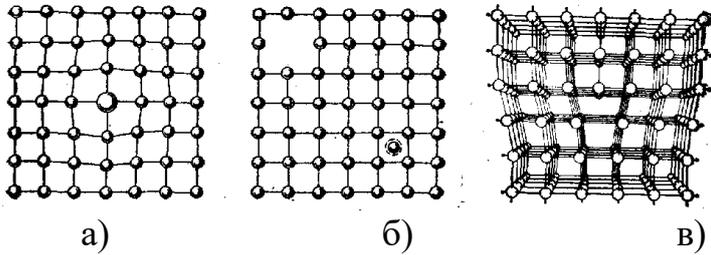
10. Как называются и к какому типу относятся дефекты, обусловленные тепловыми колебаниями атомов решетки?

Их наличие приводит к (выберите все верные варианты)

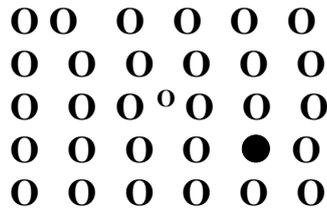
- 1) нарушению принципа плотной упаковки атомов

- 2) искажению регулярности решетки
- 3) смещению атомов в междоузельное пространство
- 4) смещению атомов относительно положения равновесия

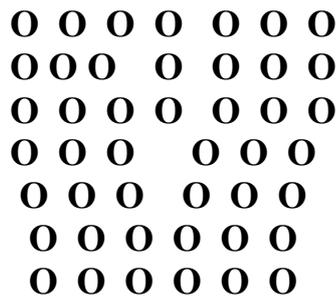
11. Укажите и назовите дефекты, показанные на этих рисунках



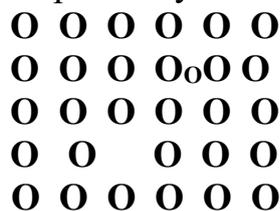
12. Наличие дефектов приводит к..... регулярности решетки (вставьте нужное слово). На рисунке показана схема кристаллической решетки. Стрелкой указать на дефект и дать ему правильное название.



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 .....

## 11.2 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  $45^\circ$
- 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  $45^\circ$
- 10) по винтовой линии

### 11.3 Оптическое стекло

1. Перечислить нормируемые показатели качества зеркальной оптики
2. К гомогенным фотохромным стеклам относятся

- 1) щелочные стекла
- 2) натриевосиликатные стекла, содержащие ионы  $\text{Ce}^{3+}$  и  $\text{Eu}^{2+}$
- 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.

#### 11.4 Фотонные кристаллы и метаматериалы

1. Фотонные кристаллы по характеру изменения коэффициента преломления можно разделить на .....

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

#### Рекомендуемая литература

1. Оптическое материаловедение: Учебное пособие / Симонова Г. В., Кистенева М. Г. – 2013. – 148 с. URL: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2992>.
2. Оптические свойства твердых тел: Учебное пособие 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» / Симонова Г. В., Кистенева М. Г. - 2016. 126 с.: URL: <http://edu.tusur.ru/publications/5935>
3. Введение в нелинейную оптику: Учебное пособие / Шандаров С. М. - 2012. 41 с.: URL: <http://edu.tusur.ru/publications/2059>.
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. **(28)**
5. Курс общей физики: учебное пособие для втузов: В 3 т. / И. В. Савельев. - 7-е изд., стереотип. - СПб.: Лань, 2007 -. - (Лучшие классические учебники) (Классическая учебная литература по физике) (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0629-6. Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - СПб.: Лань, 2007. - 496 с.: ил., портр., табл. - Предм. указ.: с. 493-496. - ISBN 978-5-8114-0631-9. **(148)**
6. Епифанов Г.И. Физика твердого тела: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 288 с. – ISBN: 978-5-8114-1001-9. URL: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2023](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2023).