

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

Кафедра электронных приборов

ОПТИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

2012

Кистенева М.Г.

Оптическое материаловедение = Оптическое материаловедение: Методические указания по самостоятельной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / 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 электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. – 34 с.

Цель курса «Оптическое материаловедение» состоит в том, чтобы дать студентам представление об основных типах оптических материалов, сравнивая их по области применения, эксплуатационным параметрам, физико-химическим свойствам. Для оптических стекол и кристаллов разного назначения подробно рассматриваются особенности структуры, определяющие их оптические параметры.

Задача курса заключается в том, чтобы научить студентов:

- ориентироваться в многообразии оптических материалов и их свойств,
- объяснить природу специфики разных материалов,
- дать представление о физико-химических принципах разработки кристаллов и стекол.

В ходе выполнения работ у студентов формируются:

- готовность формулировать цели и задачи научных исследований (ПК-10);
- способность предлагать пути решения, выбирать методику и средства проведения научных исследований (ПК-11);
- готовность вести исследования основных физико-химических свойств оптических стёкол и кристаллов, применять методики прогнозирования оптических и физико-химических параметров новых материалов (ПК-19).

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Оптическое материаловедение».

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Оптическое материаловедение».

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

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
«__» _____ 2012 г.

ОПТИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

Разработчик

_____ М.Г. Кистенева
«__» _____ 2012 г

Содержание

Введение.....	6
Раздел 1 Классификация оптических материалов	7
1.1 Содержание раздела	7
1.2 Методические указания по изучению раздела	7
1.3 Вопросы для самопроверки	7
Раздел 2 Распространение оптического излучения при прохождении через вещество	7
2.1 Содержание раздела	7
2.2 Методические указания по изучению раздела	8
2.3 Вопросы для самопроверки	8
Раздел 3. Оптические стёкла	8
3.1 Содержание раздела	8
3.2 Методические указания по изучению раздела	8
3.3 Вопросы для самопроверки	8
Раздел 4. Кристаллическое состояние вещества.....	9
4.1 Содержание раздела	9
4.2 Методические указания по изучению раздела	9
4.3 Вопросы для самопроверки	9
Раздел 5. Широкозонные оптические кристаллы	9
5.1 Содержание раздела	9
5.2 Методические указания по изучению раздела	10
5.3 Вопросы для самопроверки	10
Раздел 6. Узкозонные полупроводниковые кристаллы.....	10
6.1 Содержание раздела	10
6.2 Методические указания по изучению раздела	10
6.3 Вопросы для самопроверки	11
Раздел 7. Нелинейные оптические материалы и эффекты в них	11
7.1 Содержание раздела	11
7.2 Методические указания по изучению раздела	11
7.3 Вопросы для самопроверки	11
Раздел 8. Стеклокристаллические материалы.....	12
8.1 Содержание раздела	12
8.2 Методические указания по изучению раздела	12
8.3 Вопросы для самопроверки	12
Раздел 9. Эпитаксиальные технологии.	12
9.1 Содержание раздела	12
9.2 Методические указания по изучению раздела	12
9.3 Вопросы для самопроверки	13
Раздел 10. Фотонные кристаллы и мета кристаллы	13
10.1 Содержание раздела	13
10.2 Методические указания по изучению раздела	13
10.3 Вопросы для самопроверки.....	13

Методы исследования фотонных кристаллов	13
Раздел 11. Материалы с отрицательным показателем преломления	14
11.1 Содержание раздела	14
11.2 Методические указания по изучению раздела	14
11.3 Вопросы для самопроверки	14
Раздел 12. Современные тенденции развития оптических материалов	14
12.1 Содержание раздела	14
12.2 Методические указания по изучению раздела	14
12.3 Вопросы для самопроверки	15
13 Лабораторные работы	15
14 Практические занятия	16
15 Подготовка к контрольной работе	16
15.1 Теоретические вопросы для тестового опроса	17
16 Тестовые вопросы	20
16.1 Стекла	20
16.2 Кристаллическое состояние вещества	22
16.3 Нелинейные оптические материалы и эффекты в них	25
16.4 Фотонные кристаллы и мета материалы	29
Заключение	30
Рекомендуемая литература	31

Введение

Цель курса «Оптическое материаловедение» состоит в том, чтобы дать студентам представление об основных типах оптических материалов, сравнивая их по области применения, эксплуатационным параметрам, физико-химическим свойствам. Для оптических стекол и кристаллов разного назначения подробно рассматриваются особенности структуры, определяющие их оптические параметры.

Задача курса заключается в том, чтобы научить студентов:

- ориентироваться в многообразии оптических материалов и их свойств,
- объяснить природу специфики разных материалов,
- дать представление о физико-химических принципах разработки кристаллов и стекол.

Дисциплина «Оптическое материаловедение» входит в профессиональный цикл основной образовательной программы по направлению подготовки «Фотоника и оптоинформатика». Данная дисциплина является отправной точкой для изучения дисциплины «Основы фотоники».

В результате изучения дисциплины студент должен:

- *знать*: основы оптического материаловедения, классификацию оптических материалов и их применение в фотонике и оптоинформатике;
- *уметь*: осуществлять рациональный выбор материалов для изготовления изделий приборостроения и обосновывать его как с технической, так и с экономической точек зрения; проводить испытания по определению оптических свойств оптических материалов; использовать данные об оптических материалах для прогнозирования оптических и физико-химических свойств новых материалов фотоники;
- *владеть*: навыками работы со справочной литературой и базами данных при выборе оптических материалов.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- готовность формулировать цели и задачи научных исследований (ПК-10);
- способность предлагать пути решения, выбирать методику и средства проведения научных исследований (ПК-11);
- готовность вести исследования основных физико-химических свойств оптических стёкол и кристаллов, применять методики прогнозирования оптических и физико-химических параметров новых материалов (ПК-19).

Раздел 1 Классификация оптических материалов

1.1 Содержание раздела

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 «Классификация оптических материалов» следует обратить внимание 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. Как классифицируются оптические материалы?
2. Какие марки стекол Вы знаете?
3. Как различаются спектральные характеристики некоторых стекол?
4. Что понимается под несиликатными стеклами?
5. Какие дефекты стекла Вы знаете и причины их появления?
6. Какова связь термооптических постоянных с аберрациями оптической системы?
7. Каковы нормируемые показатели качества стекла для волоконно-оптических элементов?
8. Каковы физико-механические свойства оптических материалов и методы их измерения?
9. Какие кристаллы и поликристаллы для генерации лазерного излучения Вы знаете?
10. Каковы современные тенденции развития оптических материалов?

Раздел 2 Распространение оптического излучения при прохождении через вещество

2.1 Содержание раздела

Основные законы распространения света. Механизмы формирования оптических свойств конденсированных сред: оптические постоянные вещества фундаментальное поглощение света при изменении электронных состояний, поглощение при изменении колебательных состояний, роль обертонов, примесное поглощение, активированные материалы, центры окраски. Волновая и электромагнитная природа света. Дифракция света. Распространение света в неоднородной среде. Поляризация света. Взаимодействие света с веществом.

2.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Распространение оптического излучения при прохождении через вещество» следует обратить внимание на механизмы формирования оптических свойств, на поглощение света при изменении электронных и колебательных состояний, на примесное поглощение и центры окраски. Для лучшего понимания других разделов важно понять суть процессов дифракции, дисперсии, поляризации.

2.3 Вопросы для самопроверки

1. Каковы основные законы распространения света?
2. Как принципиально устроен интерферометр?
3. Дифракция и дифракционная решетка.
4. Полное внутреннее отражение света
5. Степень поляризации света
6. Вращение плоскости поляризации
7. Эффекты Керра и Фарадея
8. Связь дисперсии с поглощением
9. Нормальная и аномальная дисперсия
10. Фазовая и групповая скорости света

Раздел 3 Оптические стёкла

3.1 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. Органическое стекло. Цветное оптическое стекло. Фотохромное стекло. Инфракрасное бескислородное стекло.

3.2 Методические указания по изучению раздела

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

3.3 Вопросы для самопроверки

1. Типы и марки и спектры пропускания бесцветного оптического стекла
2. Стекла серии "0", серии "100". Особенности их свойств
3. Несиликатные стекла. Их оптические свойства

4. Система нормируемых параметров. Параметры, характеризующие качество стекла.
5. Диаграмма Аббе
6. Влияние свилей на качество изображения и разрешающую способность
7. Категории стекла по показателю ослабления светового потока
8. Термооптические, атермальные и фотоупругие свойства стекла
9. Механизм разрушения стекла водой и влагой атмосферы
10. Группы устойчивости силикатных и несиликатных стекол к воздействию влажной атмосферы

Раздел 4 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. Дефекты кристаллической решетки.
3. Взаимная связь физических свойств кристаллов.
4. Оптические и физико-химические свойства кристаллов диэлектриков и полупроводников.
5. Оптические поликристаллы
6. Стеклокристаллические материалы
7. Сегнетоэлектрики.
8. Пьезоэлектрики.
9. Акустооптические материалы.
10. Кристаллы для генерации лазерного излучения.

Раздел 5 Широкозонные оптические кристаллы

5.1 Содержание раздела

Методы выращивания кристаллов, анизотропия поглощения и

излучения света, сопоставление оксидных и галоидных кристаллов, кристаллы для фотолитографии.

5.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Широкозонные оптические кристаллы» следует обратить внимание на сопоставление ширины запрещенной зоны различных кристаллов. Следует обратить внимание на материалы с малой шириной запрещенной зоны, используемые для формирования кристаллов. Например Алмаз (ширина запрещенной зоны 5,2 эВ), нитрид бора (4,6 эВ), оксид алюминия (7 эВ), хлорид натрия (9 эВ). Важно видеть особенность междууровневых переходов, на роль примесных центров в формировании излучения кристалла.

5.3 Вопросы для самопроверки

1. Какие кристаллы принято называть широкозонными?
2. Какие материалы используются для получения широкозонных кристаллов?
3. Приведите методы выращивания широкозонных кристаллов
4. Приведите некоторые кристаллы с большой шириной запрещенной зоны
5. Излучательные и безызлучательные переходы
6. Метастабильные переходы в широкозонном кристалле
7. Приведите схему релаксационного процесса в полупроводнике
8. Какие активные ионы используются в широкозонных оптических кристаллах.
9. Какова длина волны может быть получена на широкозонных кристаллах?
10. Неодимовые стеклянные лазеры

Раздел 6 Узкозонные полупроводниковые кристаллы

6.1 Содержание раздела

Кремний и его место в современных высоких технологиях. Специфика и технологии получения узкозонных кристаллов. Технология эпитаксии. Связь между проводимостью и оптическими параметрами кристаллов.

6.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Узкозонные полупроводниковые кристаллы» следует обратить внимание на материалы с малой шириной запрещенной зоны, используемые для формирования полупроводниковых оптических материалов. Это полупроводники на основе кремния (ширина

запрещенной зоны 1,12 эВ), германия (0,66 эВ), арсенида галлия (1,42 эВ), антимонида индия (0,17 эВ). Следует сравнить варианты заполнения зон электронами для проводников, диэлектриков и полупроводников.

6.3 Вопросы для самопроверки

1. Какие кристаллы принято называть узкозонными?
2. Какие материалы используются для получения узкозонных кристаллов?
3. Приведите методы выращивания узкозонных кристаллов.
4. Какие активные ионы используются в узкозонных оптических кристаллах?
5. Какова длина волны может быть получена в лазерах на узкозонных кристаллах?
6. Какова связь между проводимостью и оптическими параметрами кристаллов?
7. Как проводится эпитаксия?
8. Приведите примеры применения арсенида галлия
9. Какова связь между скоростью электронов и волной де Бройля?
10. Понятие перекрытия энергетических зон

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.

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.

7.3 Вопросы для самопроверки

1. Как классифицируются эффекты в нелинейной оптике?
2. Что конкретно отличает сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, акустооптические материалы.
3. Перечислите несколько нелинейных эффектов в кристаллах
4. Принцип генерации второй гармоники
5. Какие вещества называются сегнетоэлектриками?
6. Что такое спонтанная поляризация?

7. Что такое домены?
8. Как принципиально устроен акустооптический элемент на поверхностных акустических волнах?
9. Какие эффекты основаны на зависимости коэффициента преломления от интенсивности падающего пучка?
10. Двух пучковое взаимодействие световых волн в кристалле

Раздел 8 Стеклокристаллические материалы

8.1 Содержание раздела

Технологические приёмы получения стеклокристаллических материалов. Оптические ситаллы, оптическая керамика, фотохромные материалы

8.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Стеклокристаллические материалы» следует обратить внимание на технологические приёмы получения стеклокристаллических материалов, особенности их применения в оптике.

8.3 Вопросы для самопроверки

1. Какие стеклокристаллические материалы Вы знаете?
2. Как получается оптическая керамика?
3. Оптические ситаллы. Марки ситаллов
4. Где применяются ситаллы?
5. Явление фотохромизма
6. Фотохромное стекло. Свойства, методы получения
7. Приведите свойства, присущие фотохромным материалам
8. Как меняется интенсивность и спектральные характеристики фотохромных материалов после воздействия излучения?
9. Что понимается под кинетическими свойствами фотохромных стекол?
10. Взаимосвязь различных параметров фотохромных материалов

Раздел 9. Эпитаксиальные технологии.

9.1 Содержание раздела

Эпитаксиальные технологии для конструирования материала с заданным набором значений энергии и оптическим спектром; квантовые ямы, проволоки и точки.

9.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Эпитаксиальные технологии» следует

обратить внимание на особенность реализации различных видов эпитаксий. Важно понять, что с уменьшением толщин нанослоев начинают проявляться эффекты, не наблюдаемые в традиционной микроэлектронике: пирозэффект, пьезоэффект, фотоиндуцированный эффект, эффект самоискривления пучка и мн. др.

9.3 Вопросы для самопроверки

1. Каковы параметры структур, выращенных методом эпитаксии?
2. Виды эпитаксий и условия их реализации
3. Технология формирования квантового транзистора
4. Понятие квантовой ямы
5. Постоянные и временные квантовые точки
6. Управляемые и неуправляемые квантовые точки
7. Квантовые проволоки
8. Схема формирования одноэлектронного транзистора
9. Модель представления кристалла как электронного газа с набором стоячих электронно-колебательных волн.
10. Литография в формировании одноэлектронного транзистора

Раздел 10. Фотонные кристаллы и мета кристаллы

10.1 Содержание раздела

Классификация фотонных кристаллов. Методы получения. Основные свойства и область применения.

10.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Фотонные кристаллы» следует обратить внимание на периодичность формирования решетки кристалла, как основного свойства подобных кристаллов.

10.3 Вопросы для самопроверки

1. Природные фотонные кристаллы группы «Опал»
2. Понятие решетки фотонного кристалла
3. Классификация фотонных кристаллов
4. Свойства фотонных кристаллов
5. Характеристики фотонного кристалла
6. Методы изготовления фотонных кристаллов
7. Методы исследования фотонных кристаллов
8. Теория фотонных запретных зон
9. Литографические методы создания фотонного кристалла
10. Области применения фотонных кристаллов

Раздел 11. Материалы с отрицательным показателем преломления

11.1 Содержание раздела

«Положительное» и «отрицательное» преломление света в веществе. Получение и применение материалов с отрицательным коэффициентом преломления.

11.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Материалы с отрицательным показателем преломления» следует обратить внимание на вращение вектора поляризации и его связь с параметрами излучения, проходящего через кристалл.

11.3 Вопросы для самопроверки

1. Как получают материалы с отрицательным коэффициентом преломления.
2. Где применяются материалы с отрицательным коэффициентом преломления.
3. Поясните принцип вращения вектора поляризации
4. Приведите модель описания вращения световой волны
5. Левые и правые изотропные среды
6. Перенос энергии вектором поляризации
7. Дисперсия
8. Суперлинзы
9. «Положительное» и «отрицательное» преломление света
10. Фазовая и групповая скорость световой волны

Раздел 12. Современные тенденции развития оптических материалов

12.1 Содержание раздела

Наноструктурирование. Нанокристаллические материалы. Полифункциональность, миниатюризация оптических элементов, объединение и смешение понятий «оптический материал» и «оптический элемент».

12.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Современные тенденции развития оптических материалов» следует обратить внимание на проработку периодических материалов по данной тематике.

12.3 Вопросы для самопроверки

1. Строение нанокристаллических материалов на базе углерода
2. Методы миниатюризации оптических элементов
3. Оптоэлектронные элементы как вариант смешения оптических материалов и оптических элементов
4. Твердотельные приемники изображения
5. Системы оптического многоканального анализа
6. Технология формирования оксидных углеродных нановолокон конденсацией в аргонокислородной среде
7. Нанопорошки. Методы получения
8. Аппаратура для анализа наноструктур
9. Карбид кремния. Перспективы в оптоэлектронике
10. Стеклопъезокерамика

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

14 Практические занятия

На практических занятиях студенты рассматривают варианты задач. Целью занятий является углубление понимания процессов, происходящих при распространение 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. Распространение оптического излучения при прохождении через вещество
3. Кристаллическое состояние вещества
4. Линейные и нелинейные оптические материалы (диэлектрики)
5. Мини-конференция (обсуждение докладов, сделанных студентами на конференциях)
6. Представление презентаций и защита рефератов

На практических занятиях проводятся тестовые опросы и контрольные работы.

15 Подготовка к контрольной работе

15.1 Темы

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

1. Распространение оптического излучения при прохождении через вещество
2. Кристаллическое состояние вещества
3. Линейные и нелинейные оптические материалы (диэлектрики)

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 «Оптическое материаловедение».

15.1 Теоретические вопросы для тестового опроса

15.1.1 Вопросы по теме «Распространение оптического излучения при прохождении через вещество»

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

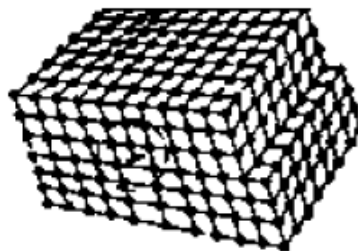
Взаимодействие света с веществом

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.

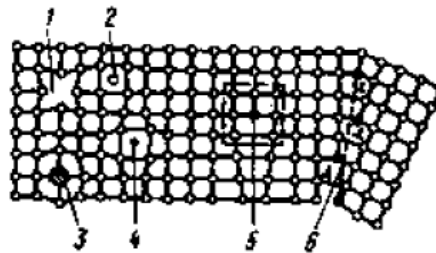
15.1.2 Вопросы по теме «Кристаллическое состояние вещества»

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.

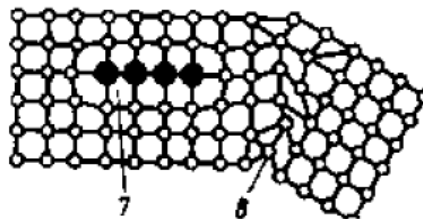
18. Природа ковалентной связи.
19. Что из себя представляют динамические дефекты?
20. Что из себя представляет точечный дефект кристаллической решетки?
21. Что из себя представляет линейный дефект кристаллической решетки?
22. Что из себя представляют объемные дефекты?
23. Типы дислокаций.
24. Что из 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.

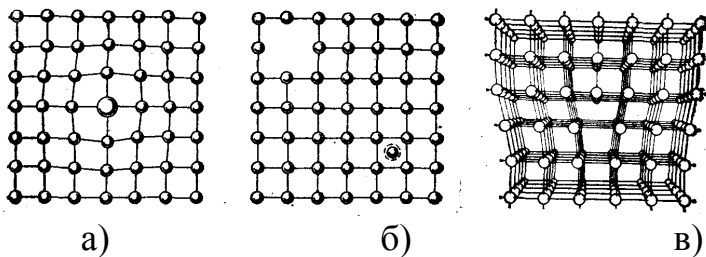
Какое состояние является более устойчивым – аморфное или кристаллическое?

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

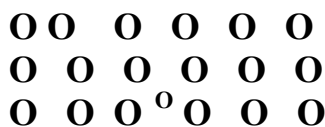
Их наличие приводит к (выберите все верные варианты)

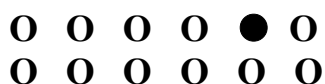
- 1) нарушению принципа плотной упаковки атомов
- 2) искажению регулярности решетки
- 3) смещению атомов в междоузельное пространство
- 4) смещению атомов относительно положения равновесия

11. Укажите и назовите дефекты, показанные на этих рисунках

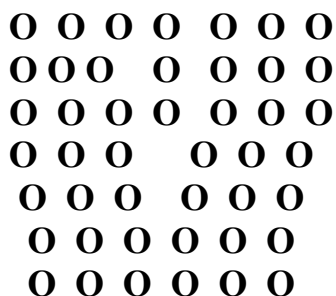


12. Наличие дефектов приводит к..... регулярности решетки (вставьте нужное слово). На рисунке показана схема кристаллической решетки. Стрелкой указать на дефект и дать ему правильное название.

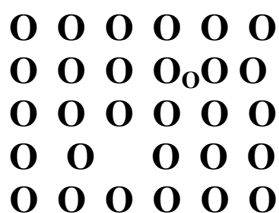




13. Наличие дефектов приводит к.....
регулярности решетки (вставьте нужное слово). На рисунке показана
схема кристаллической решетки. Стрелкой указать на дефект и дать ему
правильное название.



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. Классификация оптических материалов по области применения
2. Типы и марки бесцветного оптического стекла
3. Классификация стекол по типам
4. Спектральная область пропускания силикатных стекол
5. Стекла серии "0", серии "100". Особенности их свойств
6. Несиликатные стекла. Их оптические свойства
7. Система нормируемых параметров. Параметры, характеризующие качество стекла
8. Основные оптические постоянные
9. Показатель преломления и средняя дисперсия
10. Однородность партии по показателю преломления и средней дисперсии, классы однородности
11. Свильность стекла. Категории и классы свильности

12. Влияние свилей на качество изображения и разрешающую способность
13. Двойное лучепреломление. Причины возникновения
14. Показатель ослабления. Составляющие ослабления светового потока. Категории стекла по показателю ослабления
15. Твердость по сошлифованию. Ее роль в процессах механической обработки стекла
16. Термооптические свойства
17. Атермальные стекла
18. Фотоупругие свойства стекла
19. Механизм разрушения стекла водой и влагой атмосферы
20. Группы пятнаемости силикатного и несиликатного стекла
21. Группы устойчивости силикатных и несиликатных стекол к воздействию влажной атмосферы
22. Типы налетоопасных стекол
23. Способы защиты стекла от налетов
24. Стекла прозрачные в ИК области
25. Стеклообразователи бескислородных стекол
26. Марки кварцевого стекла, их отличительные особенности
27. Марки ситаллов. Нормируемые показатели качества
28. Полимерные материалы. Типы и марки полимеров, используемых в оптическом приборостроении. Их свойства. Области применения
29. Природные и синтетические кристаллы, их структура.
30. Дефекты кристаллической решетки.
31. Взаимная связь физических свойств кристаллов.
32. Кристаллы диэлектрики и полупроводники. Их оптические и физико-химические свойства
33. Стеклокристаллические материалы
34. Сегнетоэлектрики.
35. Пьезоэлектрики.
36. Акустооптические материалы.
37. Кристаллы для генерации лазерного излучения.
38. Материалы для генерации второй гармоники
39. Эпитаксиальные технологии.
40. Фотонные кристаллы.
41. Материалы с отрицательным показателем преломления.
42. Наноструктурирование. нанокристаллические материалы.
43. Полифункциональность, миниатюризация оптических элементов

Рекомендуемая литература

1. 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.

2. Материалы электронной техники: Задачи и вопросы: Учебное пособие для вузов / Б. Л. Антипов, В. С. Сорокин, В. А. Терехов. - 2-е изд. - СПб. : Лань, 2003. - 208 с.

3. Материалы электронной техники: Учебник для вузов / Владимир Васильевич Пасынков, Валерий Сергеевич Сорокин. - 4-е изд., стереотип. - М. : ДМК, 2002 ; СПб. : Лань, 2002. - 368 с.

4. Меланхолин Н.М. Методы исследования оптических свойств кристаллов М.: Наука, 1970.

5. Немилов С.В. Оптическое материаловедение: Оптические стекла: Учебное пособие, курс лекций // СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 175 с.

6. 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., Игнатьев А.И., Каева Е.С., Маколкина Е.Н., Рохмин А.С., Ульяшенко А.М.// СПб: СПбГУ ИТМО, 2005. – 73 с.

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.

8. 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.

9. Современная кристаллография, Т.4. Физические свойства кристаллов. Шувалов П.А. и др. – М.: Наука, 1981.

10. Справочник технолога-оптика /Под ред. Окатова М.А. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.; Политехника,, 2004. – 679 с.

11. Исследование дефектов в кристаллах: Методические указания к лабораторным работам для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / Г.В. Симонова, А.С. Акрестина, М.Г. Кистенева. - Томск: ТУСУР, 2012. – 9 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

12. Измерение показателя преломления оптического стекла рефрактометрическим методом: Методические указания к лабораторным работам для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / Г.В. Симонова, А.С. Акрестина, М.Г. Кистенева. - Томск : ТУСУР, 2012. – 16 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

13. Исследование кинетических свойств фотохромных стекол: Методические указания к лабораторным работам для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / Г.В. Симонова, А.С. Акрестина, М.Г. Кистенева. - Томск : ТУСУР, 2012. – 13 с. Препринт.

<http://edu.tusur.ru/training/publications>

14. Измерение коэффициента пропускания цветного оптического стекла: Методические указания к лабораторным работам для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / Г.В. Симонова, А.С. Акрестина, М.Г. Кистенева. - Томск : ТУСУР, 2012. – 15 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

15. Основы материаловедения: Методические указания к практическим занятиям для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / А.С. Акрестина, М.Г. Кистенева. - Томск: ТУСУР, 2012. – 27 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

16. ГОСТ 23136-93. Материалы оптические. Параметры.

17. ГОСТ 3514-94. Стекло оптическое бесцветное. Технические условия.

18. Журналы: “Физика и химия обработки материалов”, “Электронная промышленность”

19. Реферативные журналы: ”Электроника”, “Физика”, “Химия”.

Учебное пособие

Кистенева М.Г.

Оптическое материаловедение

Методические указания по самостоятельной работе

Усл. печ. л. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40