

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

## **МАТЕРИАЛЫ НЕЛИНЕЙНОЙ И ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОПТИКИ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ**

Методические указания по самостоятельной работе  
по дисциплинам «Материалы нелинейной оптики», «Материалы  
интегральной оптики», «Материалы нелинейной оптики и  
динамической голографии»

Кистенева М.Г.

Материалы нелинейной и интегральной оптики и динамической голографии = Материалы нелинейной и интегральной оптики и динамической голографии: Методические указания по самостоятельной работе по дисциплинам «Материалы нелинейной оптики», «Материалы интегральной оптики», «Материалы нелинейной оптики и динамической голографии» /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. – 11 с.

Основные методические рекомендации касаются организации самостоятельной работы студентов и направлены на расширение и углубление знаний и умений по дисциплинам «Материалы нелинейной оптики», «Материалы интегральной оптики», «Материалы нелинейной оптики и динамической голографии».

## Содержание

1 Введение.....	5
2 Классификация нелинейных оптических материалов и материалов интегральной оптики. ....	6
2.1 Содержание раздела.....	6
2.2 Методические указания по изучению раздела.....	6
2.3 Вопросы для самопроверки.....	6
3 Распространение света в диэлектрических волноводах. Материалы и методы формирования планарных и канальных волноводно-оптических элементов...	6
3.1 Содержание раздела.....	6
3.2 Методические указания по изучению раздела.....	6
3.3 Вопросы для самопроверки.....	7
4 Элементы кристаллооптики .....	7
4.1 Содержание раздела.....	7
4.2 Методические указания по изучению раздела.....	7
4.3 Вопросы для самопроверки.....	7
5 Физические свойства монокристаллических материалов. Нелинейные оптические эффекты .....	8
5.1 Содержание раздела.....	8
5.2 Методические указания по изучению раздела.....	8
5.3 Вопросы для самопроверки.....	8
6 Кристаллы семейства титанилфосфата калия (КТР).....	8
6.1 Содержание раздела.....	8
6.2 Методические указания по изучению раздела.....	8
6.3 Вопросы для самопроверки.....	8
7 Способы синтеза соединений на основе оксидов ниобия, тантала и титана.	9
7.1 Содержание раздела.....	9
7.2 Методические указания по изучению раздела.....	9
7.3 Вопросы для самопроверки.....	9
8 Фоторефрактивные кристаллы. Использование фоторефрактивных материалов в динамической голографии.....	9
8.1 Содержание раздела.....	9
8.2 Методические указания по изучению раздела.....	10

8.3 Вопросы для самопроверки.....	10
9 Материалы для генерации когерентного излучения .....	10
9.1 Содержание раздела.....	10
9.2 Методические указания по изучению раздела.....	10
9.3 Вопросы для самопроверки.....	10
Рекомендуемая литература .....	11

## 1 Введение

Основные методические рекомендации касаются организации самостоятельной работы студентов по дисциплинам «Материалы нелинейной оптики», «Материалы интегральной оптики», «Материалы нелинейной оптики и динамической голографии». Целью этих дисциплин является формирование представлений об основных типах оптических материалов, используемых в нелинейной и интегральной оптике и в динамической голографии.

Задачи изучения дисциплин: научить студентов ориентироваться в областях применения материалов нелинейной и интегральной оптике и динамической голографии, и их свойств, знать природу материалов, уметь формулировать основные физико-химические принципы разработки кристаллов для интегрально-оптических приборов и устройств.

Самостоятельная работа студентов включает в себя: подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим, семинарским, лабораторным занятиям) и выполнение соответствующих заданий; самостоятельную работу над отдельными темами учебных дисциплин в соответствии с учебно-календарными планами; подготовку к практикам и выполнение предусмотренных ими заданий.

## **2 Классификация нелинейных оптических материалов и материалов интегральной оптики.**

### **2.1 Содержание раздела**

Классификация нелинейных оптических материалов, материалов интегральной оптики. Принципы отбора материалов, перспективных для применения в динамической голографии.

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

При изучении раздела «Классификация нелинейных оптических материалов и материалов интегральной оптики» следует обратить внимание на критерии классификации нелинейных оптических материалов и материалов интегральной оптики, на их физико-механические свойства. Это связано с тем, что нелинейные оптические материалы и материалы интегральной оптики являются активными материалами и меняют свои свойства при внешних воздействиях на них.

### **2.3 Вопросы для самопроверки**

1. Как классифицируются нелинейные оптические материалы?
2. Где применяются нелинейные оптические материалы?
3. Как классифицируются материалы интегральной оптики?
4. Где применяются материалы интегральной оптики?
5. Что такое нелинейная восприимчивость?
6. Квадратично-нелинейные среды.
7. Кубично-нелинейные среды.
8. Каковы современные тенденции развития нелинейных оптических материалов и материалов интегральной оптики?

## **3 Распространение света в диэлектрических волноводах. Материалы и методы формирования планарных и канальных волноводно-оптических элементов**

### **3.1 Содержание раздела**

Прохождение света через границу раздела двух сред. Формулы Френеля. Особенности распространения света в тонких слоях. Волноводы. Диэлектрический волновод. Планарный оптический волновод. Канальные оптические волноводы: основные типы канальных волноводов. Моды оптических волноводов. Связь между волноводами. Методы диффузии, ионного обмена, ионной имплантации в формировании волноводно-оптических элементов в диэлектрических кристаллических материалах.

### **3.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Распространение света в диэлектрических волноводах» следует обратить внимание на особенности распространения

света в тонких слоях, на процессы отражения и преломления на границе двух сред с разными показателями преломления. Необходимо разобраться, как рассчитывать коэффициенты отражения и пропускания при прохождении света через границу раздела двух сред с помощью формул Френеля. Важно знать методы диффузии, ионного обмена, ионной имплантации в формировании волноводно- оптических элементов.

### 3.3 Вопросы для самопроверки

1. Что такое коэффициент отражения?
2. Что такое показатель преломления?
3. Что такое полное внутреннее отражение?
4. Что определяют формулы Френеля?
5. Что такое волновод?
6. Что из себя представляют диэлектрические волноводы?
7. Какие материалы используются для изготовления диэлектрических волноводов?
8. Что такое оптические волокна?
9. Что такое планарный оптический волновод?
10. Что такое канальный оптический волновод?
11. Что такое мода волновода?

## 4 Элементы кристаллооптики

### 4.1 Содержание раздела

Оптика анизотропных сред. Тензор диэлектрической проницаемости. Оптическая индикатриса. Электрооптические эффекты. Магнитооптические эффекты. Акустооптические эффекты

### 4.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Элементы кристаллооптики» следует обратить внимание на то, как распространяется свет в анизотропных кристаллах, как влияет анизотропия кристаллов на тензор диэлектрической проницаемости. Необходимо рассмотреть электрооптический, магнитооптический, акустооптический и фотоупругий эффекты.

### 4.3 Вопросы для самопроверки

1. В чем проявляется анизотропия кристаллов?
2. Что описывает тензор диэлектрической проницаемости?
3. Что такое двойное лучепреломление света?
4. Для чего применяется оптическая индикатриса?
5. В чем суть электрооптического эффекта?
6. Что такое акустооптический эффект?
7. Опишите фотоупругий эффект.
8. Что такое магнитооптический эффект?

## **5 Физические свойства монокристаллических материалов. Нелинейные оптические эффекты**

### **5.1 Содержание раздела**

Методы выращивания монокристаллов. Влияние симметрии кристаллов на их свойства. Электрическая поляризация кристаллов. Сегнетоэлектрики. Пьезоэлектрический эффект. Люминесценция. Фотохромизм. Фоторефракция. Генерация второй гармоники.

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

При изучении раздела «Физические свойства монокристаллических материалов. Нелинейные оптические эффекты» следует изучить методы выращивания кристаллов. Необходимо обратить внимание на влияние симметрии кристаллов на их свойства, а также на основные нелинейные оптические эффекты.

### **5.3 Вопросы для самопроверки**

1. Опишите основные методы выращивания кристаллов?
2. Что такое анизотропия кристаллов?
3. Что такое поляризация диэлектриков?
4. Основные свойства сегнетоэлектриков.
5. В чем заключается пьезоэлектрический эффект?
6. Что такое фотохромный эффект?
7. Что такое фоторефрактивный эффект?
8. Как осуществляется генерация второй гармоники?

## **6 Кристаллы семейства титанилфосфата калия (КТР)**

### **6.1 Содержание раздела**

Нелинейные кристаллы семейства КТР. Бораты лития, бария. Водорастворимые нелинейные кристаллы KDP ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) и иодаты лития. Раствор-расплавный метод выращивания кристаллов семейства КТР и боратов.

### **6.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Кристаллы семейства титанилфосфата калия (КТР)» следует обратить внимание на основные свойства кристаллов семейства титанилфосфата калия, водорастворимых нелинейных кристаллов KDP ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) и иодатов лития, способы их выращивания структуру и дефекты кристаллической решетки кристаллов.

### **6.3 Вопросы для самопроверки**

1. Какими способами выращиваются кристаллы КТР?
2. Какие основные оптические свойства кристаллов КТР?

3. Где применяются кристаллы КТР?
4. Какие основные оптические свойства кристаллов KDP?
5. Какими способами выращиваются кристаллы KDP?
6. Где применяются кристаллы KDP?
7. Какие основные дефекты кристаллов КТР?

## **7 Способы синтеза соединений на основе оксидов ниобия, тантала и титана**

### **7.1 Содержание раздела**

Кристаллы на основе оксидов ниобия, тантала и титана. Описание монокристаллов по справочнику. Методы выращивания кристаллов ниобатов, танталатов. Дефекты структуры кристаллов ниобатов и танталатов. Двойникование. Монодоменизация кристаллов.

### **7.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Способы синтеза соединений на основе оксидов ниобия, тантала и титана» следует обратить внимание на основные физические и оптические свойства, методы выращивания кристаллов ниобатов, танталатов лития, методы исследования состава, дефектности и доменной структуры этих кристаллов.

### **7.3 Вопросы для самопроверки**

1. Какими способами выращиваются кристаллы ниобата лития?
2. Какие основные оптические свойства кристаллов ниобата лития?
3. Какие основные методы исследования состава и дефектности кристаллов ниобата лития?
4. Как исследуется доменная структура в кристаллах ниобата лития?
5. Какими способами выращиваются кристаллы танталата лития?
6. Какие основные дефекты кристаллов танталата лития?
7. Где применяются кристаллы ниобата и танталата лития?

## **8 Фоторефрактивные кристаллы. Использование фоторефрактивных материалов в динамической голографии**

### **8.1 Содержание раздела**

Фоторефрактивный эффект в кислородно-октаэдрических кристаллах. Основные причины фоторефракции. Фоторефракция в практически важных кристаллах: ниобат лития, ниобат бария-стронция, ниобат бария-натрия, ниобат калия, кристаллы класса силленитов. Фазовые переходы и сегнетоэлектрическое переключение как способ управления характеристиками фоторефрактивной голографической записи.

## 8.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Использование фоторефрактивных материалов в динамической голографии» следует обратить внимание на сущность фоторефрактивного эффекта, причины его возникновения. Рассмотреть основные особенности фоторефрактивного эффекта в таких кристаллах, как ниобат лития, ниобат бария-стронция, ниобат бария-натрия, ниобат калия, фоторефрактивный эффект в кислородно-октаэдрических кристаллах. Важно уяснить значение фазовых переходов и сегнетоэлектрического переключения как способа управления характеристиками фоторефрактивной голографической записи.

## 8.3 Вопросы для самопроверки

1. Что такое фоторефрактивный эффект?
2. Каков механизм возникновения фоторефракции?
3. Какие материалы обладают фоторефрактивным эффектом?
4. Какие особенности фоторефрактивного эффекта в кристаллах силленитов?
5. Как используется фоторефрактивный эффект?
6. Какие особенности фоторефрактивного эффекта в кристаллах ниобата лития?

## 9 Материалы для генерации когерентного излучения

### 9.1 Содержание раздела

Требования, предъявляемые к лазерным материалам. Свойства основных лазерных материалов: алюмоиттриевого граната, галлий-скандий-гадолиниевого граната, алюмината иттрия, калий-неодим-фосфатного стекла. Материалы, используемые для мини-лазеров.

### 9.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Материалы для генерации когерентного излучения» следует обратить внимание на требования, предъявляемые к лазерным материалам, на их основные свойства. Необходимо знать, какие материалы применяются в качестве активной среды в лазерах.

### 9.3 Вопросы для самопроверки

1. Что такое когерентное излучение?
2. Какие основные требования применяются к лазерным материалам?
3. Что такое вынужденное излучение?
4. Какие материалы применяются в качестве активной среды в лазерах?
5. От чего зависит длина волны излучения лазера?
6. Какие материалы применяются в мини-лазерах?

## Рекомендуемая литература

1. Введение в нелинейную оптику: Учебное пособие / Шандаров С. М. - 2012. 41 с.: URL: <http://edu.tusur.ru/publications/2059> (дата обращения: 08.06.2018).
2. Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах: монография / С. М. Шандаров [и др.]; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР, 2007. - 241[1] с.: - ISBN 978-5-86889-426-8. **(64)**
3. Взаимодействие световых волн на отражательных голографических решетках в кубических фоторефрактивных кристаллах: сборник статей / Е. Ю. Агеев [и др.]; ред.: С. М. Шандаров, А. Л. Толстик ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР, 2007. - 99[1] с.: ил. - - Библиогр. в конце ст. – ISBN 978-5-86889-464-0. **(82)**
4. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Н. Игнатов; ред. С. В. Макаров; рец.: А. М. Копылов, И. А. ДЕРЕБЕЗОВ; худож. Е. А. Власова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Электрон. текстовые дан. - СПб.: Лань, 2017. - on-line: ил., рис., табл. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 578-584. – ISBN 978-5-8114-1136-8 URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/95150/#3> (дата обращения: 08.06.2018).
5. Розеншер, Э. Оптоэлектроника: Пер. с фр. / Э. Розеншер, Б. Винтер; ред. пер. О. Н. Ермаков. - М.: Техносфера, 2006. - 588[4] с.: ил. - (Мир электроники; VII - 04). – ISBN 5-94836-031-8. **(40)**
6. 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)**