

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

Кафедра электронных приборов

МАТЕРИАЛЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ

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

2012

Кистенева Марина Григорьевна
Шварцман Григорий Исаакович

Материалы нелинейной оптики и динамической голографии =
Материалы нелинейной оптики и динамической голографии:
Методические указания по самостоятельной работе для студентов
направления «Фотоника и оптоинформатика» / М.Г. Кистенева, Г.И.
Шварцман 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. – 18 с.

Цель курса «Материалы нелинейной оптики и динамической
голографии» состоит в том, чтобы дать студентам знания и навыки,
необходимые при разработке технологии получения материалов для
нелинейной оптики, элетрооптики и подготовка специалистов в области
создания и обеспечения функционирования устройств динамической
голографии.

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся
по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Материалы
нелинейной оптики и динамической голографии».

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.

МАТЕРИАЛЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ

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

Разработчик

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

Содержание

Введение.....	5
Раздел 1 Классификация нелинейных оптических материалов	6
Содержание раздела.....	6
1.2 Методические указания по изучению раздела.....	6
1.3 Вопросы для самопроверки.....	6
Раздел 2 Физические свойства монокристаллических материалов	6
2.1 Содержание раздела.....	6
2.2 Методические указания по изучению раздела.....	7
2.3 Вопросы для самопроверки.....	7
Раздел 3 Способы синтеза соединений на основе оксидов ниобия, тантала и титана.....	7
3.1 Содержание раздела.....	7
3.2 Методические указания по изучению раздела.....	7
3.3 Вопросы для самопроверки.....	8
Раздел 4 Кристаллы семейства титанилфосфата калия КТР	8
4.1 Содержание раздела.....	8
4.2 Методические указания по изучению раздела.....	8
4.3 Вопросы для самопроверки.....	8
Раздел 5 Широкозонные полупроводниковые материалы	9
5.1 Содержание раздела.....	9
5.2 Методические указания по изучению раздела.....	9
5.3 Вопросы для самопроверки.....	9
Раздел 6 Использование фоторефрактивных материалов в динамической голографии	9
6.1 Содержание раздела.....	9
6.2 Методические указания по изучению раздела.....	10
6.3 Вопросы для самопроверки.....	10
7 Практические занятия.....	10
8 Темы для самостоятельного изучения	11
9 Тестовые вопросы	11
Заключение	16
Рекомендуемая литература	17

Введение

Цель курса «Материалы нелинейной оптики и динамической голографии» 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 нелинейных оптических материалов и физико-химических свойств свойств,
- дать необходимые знания по технологии производства нелинейно-оптических и электрооптических кристаллов, методам их легирования для получения материалов с требуемыми свойствами и методами послеростовой обработки кристаллов,

Дисциплина «Материалы нелинейной оптики и динамической голографии» относится к циклу специальных дисциплин специализированной подготовки магистров по направлению 200600.68 «Фотоника и оптоинформатика» при реализации магистерской программы «Фотоника волноводных, нелинейных и периодических структур».

Изучение дисциплины "Материалы нелинейной оптики и динамической голографии" базируется на использовании знаний, полученных при изучении следующих дисциплин: "Физика", "Химия", "Оптическая физика", "Оптическое материаловедение", "Физика твердого тела", "Основы фотоники", "Голографические методы в фотонике и оптоинформатике", "Физические основы квантовой и оптической электроники", "Приборы квантовой электроники и фотоники", "Когерентная и нелинейная оптика", "Оптические и акустооптические методы обработки информации", "Взаимодействие оптического излучения с веществом", из цикла базовой подготовки бакалавров по направлению «Фотоника и оптоинформатика».

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать: основные виды кристаллов, используемых для создания преобразователей лазерного излучения, параметрических генераторов света, оптических модуляторов, и их свойства; группы кристаллов, используемых для формирования динамических голограмм за счет явления фоторефракции;

уметь: осуществлять рациональный выбор материалов, используемых в нелинейной оптике, электрооптике, динамической голографии, в зависимости от предъявляемых к ним технических требований ;

владеть: навыками разработки маршрутной карты технологического процесса роста кристаллов на затравку из высокотемпературного раствора и расплава и навыками организации процессов входного контроля

параметров выращенного кристалла и выходного контроля параметров оптических элементов, изготовленных из него.

Раздел 1 Классификация нелинейных оптических материалов

Содержание раздела

Классификация нелинейных оптических материалов и нелинейно-оптических эффектов. Принципы отбора веществ, перспективных для применения в динамической голографии.

1.2 Методические указания по изучению раздела

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

1.3 Вопросы для самопроверки

1. Как классифицируются нелинейные оптические материалы?
2. Где применяются нелинейные оптические материалы?
3. Как классифицируются нелинейно-оптические эффекты?
4. Как различаются спектральные характеристики нелинейных оптических материалов?
5. Каковы физико-механические свойства нелинейных оптических материалов и методы их измерения?
6. Какие кристаллы и поликристаллы, используемые в динамической голографии, Вы знаете?
7. Каковы принципы отбора веществ, перспективных для применения в динамической голографии?
8. Каковы современные тенденции развития нелинейных оптических материалов?

Раздел 2 Физические свойства монокристаллических материалов

2.1 Содержание раздела

Кристаллы – преобразователи одного вида энергии в другой. Лазерные, акустические, нелинейно-оптические, полупроводниковые, сегнетоэлектрические, магнитные кристаллы и их применение. Монокристаллические материалы УФ-ИК диапазонов.

2.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Физические свойства монокристаллических материалов» следует обратить внимание на механизмы преобразования одного вида энергии в другой, на оптические свойства лазерных, акустических, нелинейно-оптических, полупроводниковых, сегнетоэлектрических, магнитных кристаллов, знать, что сегнетоэлектрические, пьезоэлектрические, электрооптические и акустооптические кристаллы.

2.3 Вопросы для самопроверки

1. Каковы основные принципы нелинейного взаимодействия электромагнитной волны с веществом?
2. Какие кристаллы используются для преобразования лазерного излучения?
3. Сегнетоэлектрические кристаллы.
4. Пьезоэлектрические кристаллы
5. Электрооптические кристаллы
6. Акустооптические кристаллы
7. Нелинейно-оптических компонент на основе периодически поляризованных структур.
8. Преобразования ближнего инфракрасного излучения диодного лазера в ультрафиолетовый, синий и зеленый оптический спектр
9. Преобразование оптического излучения на кристаллах с кубической нелинейностью
10. Электрооптические и нелинейно-оптические свойства широкого класса кристаллов щелочноземельных ниобатов и танталатов

Раздел 3 Способы синтеза соединений на основе оксидов ниобия, тантала и титана

3.1 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.

3.2 Методические указания по изучению раздела

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

кристаллов.

3.3 Вопросы для самопроверки

1. Способы выращивания кристаллов ниобата лития.
2. Свойства монокристаллов ниобата лития.
3. Методы исследования состава и дефектности кристаллов ниобата лития
4. Методики исследования доменной структуры в кристаллах ниобата лития
5. Способы выращивания кристаллов танталата лития
6. Свойства монокристаллов танталата лития
7. Способы выращивания монокристаллов танталата лития.
8. Дефекты структуры кристаллов танталата лития.

Раздел 4 Кристаллы семейства титанилфосфата калия КТР

4.1 Содержание раздела

Нелинейные кристаллы семейства КТР. Бораты лития, бария. Водорастворимые нелинейные кристаллы KDP (KH_2PO_4) и иодаты лития. Раствор-расплавный метод выращивания кристаллов семейства КТР и боратов.

4.2 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 (KH_2PO_4) и иодатов лития, способы их выращивания структуру и дефекты кристаллической решетки кристаллов.

4.3 Вопросы для самопроверки

1. Оптические свойства кристаллов КТР.
2. Способы выращивания кристаллов КТР.
3. Исследование влияния на оптическую и нелинейно-оптическую однородность кристаллов КТР технологических параметров ростового процесса.
4. Изготовление нелинейных элементов из кристаллов КТР и их характеристики.
5. Использование кристаллов КТР для высокоэффективного нелинейного преобразования излучения твердотельных лазеров.
6. Оптические свойства кристаллов KDP (KH_2PO_4).
7. Способы выращивания кристаллов KDP (KH_2PO_4).

8. Использование кристаллов дидейтерофосфата калия для нелинейных и электрооптических приложений.

9. Использование кристаллов пентобарата калия и дигидрофосфата калия для преобразования лазерного излучения в третью и четвертую гармоники

Раздел 5 Широкозонные полупроводниковые материалы

5.1 Содержание раздела

Прогресс в выращивании и изучении широкозонных полупроводниковых материалов: карбид кремния (SiC), политипизм, методы получения различных политипов SiC, выращивание кристаллов SiC из растворов в расплавах, растворители, фазовая диаграмма Si-C; нитрид галлия (GaN), получение гидротермальным методом.

5.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Широкозонные полупроводниковые материалы» следует обратить внимание на оптические свойства широкозонных полупроводниковых материалов, таких как карбид кремния, нитрид галлия. Следует обратить внимание на способ выращивания кристаллов SiC из растворов в расплавах и получение гидротермальным методом кристаллов GaN. Важно разобраться в фазовой диаграмме Si-C.

5.3 Вопросы для самопроверки

1. Каковы особенности структуры нелинейно-оптических широкозонных кристаллов?
2. Каковы основные свойства и области применения нелинейно-оптических широкозонных кристаллов?
3. Оптические свойства карбида кремния.
4. Выращивание кристаллов SiC из растворов в расплавах.
5. Методы получения различных политипов SiC.
6. Фазовая диаграмма Si-C
7. Оптические свойства нитрида галлия.
8. Получение гидротермальным методом кристаллов GaN
9. Оптические свойства кристаллов класса силленитов.
10. Методы выращивания кристаллов класса силленитов.

Раздел 6 Использование фоторефрактивных материалов в динамической голографии

6.1 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. Фазовые переходы и сегнетоэлектрическое переключение как способ управления характеристиками фоторефрактивной голографической записи.

6.2 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.

6.3 Вопросы для самопроверки

1. Что такое фоторефрактивный эффект?
2. Механизм возникновения фоторефракции?
3. Фоторефрактивный эффект в кристаллах $ZnGeP_2$.
4. Фоторефрактивный эффект в кристаллах класса силленитов.
5. Фоторефрактивные голограммы в кристаллах класса силленитов.
6. Фоторефрактивный эффект в кристаллах ниобата лития.
7. Влияние легирования на фоторефрактивные свойства кристаллов ниобата лития.
8. Фазовые переходы в кристалле ниобата лития.

7 Практические занятия

Практические занятия проводятся в виде семинаров. Студенту заранее выдается список вопросов по теме практического занятия, ответы на которые он должен подготовить самостоятельно. При изучении этих вопросов студент должен пользоваться не только учебниками и учебными пособиями, но и научными статьями, часть из которых дает преподаватель, а другую часть студент должен найти самостоятельно. Непосредственно на практическом занятии студенты должны отвечать на предложенные вопросы, вести дискуссию с преподавателем и друг с другом. В конце занятия преподаватель оценивает работу каждого студента.

Темы практических занятий приведены ниже:

1. Физические свойства нелинейных кристаллов
2. Кристаллы на основе оксидов ниобия, тантала и титана

3. Нелинейные кристаллы титанилфосфата калия (КТР)
4. Широкозонные полупроводниковые материалы
5. Широкозонные полупроводниковые материалы

8 Темы для самостоятельного изучения

Темы для самостоятельного изучения обобщают приобретенные знания и позволяют студенту самостоятельно решать задачи. Тематика самостоятельных работ предполагает углубленное изучение нижепредложенных тем.

1. Электрооптические модуляторы
2. Кристаллы для параметрической генерации света
3. Материалы для интегральной оптики
4. Фотоиндуцированные эффекты в кристаллах
5. Магнитооптические материалы и элементы

9 Тестовые вопросы

9.1 Физические свойства монокристаллических материалов

1. Электрооптический эффект обусловлен
 - 1) изменением показателя преломления под действием света;
 - 2) изменением показателя преломления под действием электрического поля;
 - 3) изменением показателя преломления под действием механического напряжения;
 - 4) изменением показателя преломления под действием температуры.

2. Диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектриков
 - 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. Температура Кюри – это температура,
 - 1) при которой происходит зарождение и рост новых доменов;
 - 2) выше которой исчезает спонтанная поляризация;
 - 3) при которой изменяется направления вектора спонтанной поляризации;
 - 4) при которой диэлектрическая проницаемость достигает максимального значения;
 - 5) выше которой происходит перестройка кристаллической решетки;
 - 6) при которой отсутствует остаточная поляризация.

4. Необходимым условием наличия пьезоэффекта в кристалле является

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

5. При обратном пьезоэлектрическом эффекте деформация диэлектрика

- 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 приложенного механического напряжения.

6. Направления электрических моментов ячеек сегнетоэлектрика внутри одного домена в отсутствии электрического поля

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

9.2 Способы синтеза соединений на основе оксидов ниобия, тантала и титана

1. Параметры, на которые при выращивании кристаллов методом Чохральского обращают внимание, это

- 1) параметр решетки кристалла;
- 2) скорость вращения кристалла;
- 3) плотность кристалла;
- 4) скорость вытягивания кристалла;
- 5) осевой градиент температуры в зоне кристаллизации.

2. Кристаллы ниобата лития выращиваются

- 1) методом Бриджмена;
- 2) гидротермальным методом;

- 3) методом Чохральского;
- 4) методом кристаллизации из раствора;

3. Дефектами структуры кристаллов ниобата лития являются

- 1) дислокации;
- 2) ростовая полосчатость;
- 3) двойникование;
- 4) границы зерен;
- 5) ячеистая структура.

4. Монодоменизация включает в себя

- 1) нагрев до температуры, превосходящей температуру Кюри;
- 2) нагрев до температуры, не превосходящей температуру Кюри;
- 3) выдержку под действием поля при заданной температуре;
- 4) охлаждение под действием поля до температуры, ниже температуры Кюри на 40°C и последующее охлаждение при выключенном поле до комнатной температуры;
- 5) охлаждение при выключенном поле до комнатной температуры.

5. Отличие процесса монодоменизации кристаллов ниобата и танталата лития

- 1) более высокая температура Кюри у кристаллов ниобата лития по сравнению с кристаллами танталата лития;
- 2) более низкая температура Кюри у кристаллов ниобата лития по сравнению с кристаллами танталата лития;
- 3) разная симметрия кристаллов;
- 4) разная структура доменов у этих кристаллов;
- 5) разная величина коэрцитивной силы.

6. Способами формирования регулярных доменных структур в процессе послеростовой электротермической обработки являются

- 1) переполяризация постоянным электрическим полем;
- 2) переполяризация переменным электрическим полем;
- 3) переполяризация при воздействии света;
- 4) термоэлектрическая переполяризация.

9.3 Кристаллы семейства титанилфосфата калия (КТР)

1. Кристаллы КТР имеют

- 1) кубическую структуру;
- 2) гексагональную структуру;
- 3) орторомбическую структуру;
- 4) тетрагональную структуру;

5) моноклинную структуру.

2. Кристаллы КТР выращиваются

- 1) методом Бриджмена;
- 2) из водных растворов;
- 3) из раствора в расплаве;
- 4) гидротермальным методом;
- 5) методом Чохральского.

3. Электрические и оптические свойства кристаллов КТР определяются

- 1) высокой температурой Кюри;
- 2) присутствием макродефектов структуры;
- 3) присутствием точечных дефектов и примесей;
- 4) отсутствием оптически активных центров.

4. Кристаллы KDP выращиваются

- 1) методом Бриджмена;
- 2) из водных растворов;
- 3) гидротермальным методом;
- 4) методом Чохральского.

5. Выращивание кристаллов иодата лития проводят методом

- 1) методом Чохральского;
- 2) методом Бриджмена;
- 3) изотермического испарения растворителя;
- 4) из водных растворов.

6. Кристаллы бората бария выращиваются

- 1) методом Бриджмена;
- 2) из водных растворов;
- 3) гидротермальным методом;
- 4) кристаллизации из раствора в расплаве;
- 5) методом Чохральского.

9.4 Широкозонные полупроводниковые материалы

1. К широкозонным полупроводникам относят полупроводники с шириной запрещенной зоны

- 1) с шириной запрещенной зоны выше 1 эВ;
- 2) с широкой зоной проводимости;
- 3) с широкой валентной зоной;
- 4) с шириной запрещенной зоны выше 2 эВ.

2. Карбид кремния выращивается методом

- 1) из раствора в расплаве;
- 2) химического осаждения паров;
- 3) гидротермальным методом;
- 4) изотермического испарения растворителя.

3. Основные политипы карбида кремния имеют кристаллическую структуру

- 1) кубическую;
- 2) тетрагональную;
- 3) типа цинковой обманки;
- 4) ромбическую;
- 5) гексагональную.

4. К основным свойствам карбида кремния можно отнести

- 1) малая механическая прочность;
- 2) стойкость к износу, термическому и химическому воздействию;
- 3) низкая теплопроводность;
- 4) очень высокая степень твердости при низкой плотности
- 5) высокая теплопроводность и стойкость к коррозии

5. Нитрид галлия имеет кристаллическую решетку

- 1) типа алмаза;
- 2) типа вюрцита;
- 3) кубическую;
- 4) моноклинную.

6. Нитрид галлия получают методом

- 1) из раствора в расплаве;
- 2) химического осаждения паров;
- 3) гидротермальным методом;
- 4) изотермического испарения растворителя.

9.5 Использование фоторефрактивных материалов в динамической голографии

1. Фоторефрактивный эффект заключается в

- 1) изменении коэффициента поглощения под действием света;
- 2) изменении показателя преломления под действием света;
- 3) изменении показателя преломления под действием деформации;
- 4) изменении показателя преломления под действием температуры.

2. Основной причиной фоторефракции является

- 1) пьезоэлектрический эффект;
- 2) магнитооптический эффект;
- 3) электрооптический эффект, вызванный полем пространственного заряда.

3. Фоторефрактивными свойствами обладают кристаллы

- 1) хлорида натрия;
- 2) алмаза;
- 3) ниобата лития;
- 4) ниобата стронция;
- 5) силленитов.

4. Дифракционная эффективность фазовых голограмм в фоторефрактивных кристаллах зависит от

- 1) удельного сопротивления материала;
- 2) толщины кристалла;
- 3) величины приложенного напряжения к кристаллу;
- 4) коэффициента диффузии;
- 5) от длины волны падающего света.

5. Для изучения фоторефрактивного эффекта используют методы

- 1) голографический;
- 2) измерения коэффициента поглощения;
- 3) модуляции интенсивности света;
- 4) Поляризационно-оптический.

6. Дифракционная решетка в фоторефрактивном кристалле возникает при

- 1) деформации кристалла;
- 2) периодически неоднородном распределении интенсивности света при взаимодействии двух оптических лучей;
- 3) изменении температуры кристалла.

Заключение

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

1. Классификация нелинейных оптических материалов по области применения и нелинейно-оптических эффектов
2. Сегнетоэлектрики
3. Пьезоэлектрики
4. Акустооптические материалы
5. Электрооптические материалы
6. Магнитные кристаллы
7. Кристаллы для генерации лазерного излучения

8. Механизм преобразование одного вида энергии в другую с помощью нелинейных оптических кристаллов.
9. Способы выращивания кристаллов на основе оксидов ниобия, тантала и титана.
10. Дефекты структуры кристаллов на основе оксидов ниобия, тантала и титана.
11. Основные свойства кристаллов на основе оксидов ниобия, тантала и титана.
12. Монодоменизация в сегнетоэлектрических кристаллах
13. Способы выращивания нелинейных кристаллов титанилфосфата калия (КТР)
14. Электрические и оптические свойства кристаллов титанилфосфата калия (КТР)
15. Способы выращивания нелинейных кристаллов KDP
16. Основные свойства кристаллов KDP
17. Способы выращивания нелинейных кристаллов иодата лития
18. Основные свойства кристаллов иодата лития
19. Способы выращивания нелинейных кристаллов боратов
20. Основные свойства кристаллов боратов
21. Способы выращивания нелинейных кристаллов карбида кремния
22. Основные политипы карбида кремния
23. Основные свойства кристаллов карбида кремния
24. Способы выращивания нелинейных кристаллов нитрида галлия
25. Основные свойства кристаллов нитрида галлия
26. Фоторефрактивный эффект
27. Основные фоторефрактивные материалы
28. Методы изучения фоторефрактивного эффекта
29. Методы повышения дифракционной эффективности голограмм в фоторефрактивных кристаллах

Рекомендуемая литература

1. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики / А.А. Блистанов; М. МИСИС, 2000
2. Кузьминов, Ю.С. Электрооптический и нелинейнооптический кристалл ниобата лития - М.: Наука. - 1987. - 264 с.
3. Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. - СПб.: Наука. - 1992. - 320 с.
4. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике : Монография / М. П. Петров, С. И. Степанов, А. В. Хоменко; ред.: В. В. Брыксин ; Российская Академия наук, Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе. - СПб. : Наука, 1992. - 317[3] с.
5. Шандаров С.М., Шандаров В.М., Мандель А.Е., Буримов Н.И.

Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах: монография. Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР, 2007. - 241[1] с. - ISBN 978-5-86889-426-8.

Кистенева М.Г., Шварцман Г.И.

Материалы нелинейной оптики и динамической голографии

Методические указания по самостоятельной работе

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