



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП

Крайнова Г.С.

« 15 » сентября 2017 г.

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заведующий кафедрой  
физики низкоразмерных структур

Саранин А.А.

« 15 » сентября 2017 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Материалы и элементы квантовой и оптической электроники

**Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Форма подготовки очная**

курс 4 семестр 7  
лекции 54 час.  
практические занятия 36 час.  
лабораторные работы \_\_\_\_ час.  
в том числе с использованием МАО лек. \_\_\_\_ /пр. 18 /лаб. \_\_\_\_ час.  
всего часов аудиторной нагрузки 90 час.  
в том числе с использованием МАО 18 час.  
самостоятельная работа 90 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 36 час.  
контрольные работы 7 семестр  
курсовая работа / курсовой проект \_\_\_\_ 7 \_\_\_\_ семестр  
зачет \_\_\_\_ семестр  
экзамен 7 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования ДВФУ № ОС-11.03.04-16/1-2016.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики низкоразмерных структур, протокол № 1 от «15» сентября 2017 г.

Заведующий кафедрой Саранин А.А.  
Составитель: д.ф.-м.н., Ромашко Р.В.

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## ABSTRACT

**Bachelor's degree in 11.03.04 Electronics and Nanoelectronics**

**Course title: Materials and elements of quantum and optical electronics**

**Variable part of Block, 5 credits**

**Instructor:** R.V.Romashko, doctor of physical and mathematical sciences, Professor of the General and experimental physics department, School of Natural Sciences of Far Eastern Federal University.

### **Learning outcomes:**

SPC-2 ability to reasonably choose and implement in practice an effective method of experimental study of parameters and characteristics of devices, circuits, devices and installations of electronics and nanoelectronics for various functional purposes;

SPC-4 the ability to conduct a comprehensive study on different experimental settings in a mutually reinforcing manner with further analysis and theoretical modeling of the obtained data;

SPC-9 ability to perform works on technological preparation of production of materials and products of electronic equipment.

**Course description:** Learning the basics of mathematical modeling in MathCAD.

### **Main course literature:**

1. Romashko R.V. Materials and elements of quantum and optical electronics. – Vladivostok: Publishing house of Far Eastern State Technical University, 2008. – 175 p.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:384588&theme=FEFU>.

2. Sorokin V.S. et al. Materials and elements of electronic equipment: Conductors, semiconductors, dielectrics. – M. : Akademiya, 2006. – 384 p.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:384588&theme=FEFU>.

3. Ignatov A.N. Optoelectronics and nanophotonics. – SPb. : Lan, 2011. – 539 p. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=684](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=684).

4. Epifanov G.I. Solid state physics. – SPb. : Lan, 2011. – 288 p.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2023](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2023).
5. Majer V.V. Light in an optically inhomogeneous medium.– M. : Fizmatlit, 2007. – 231 c. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2696](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2696).

**Form of final knowledge control: exam.**

## **Аннотация дисциплины**

### **«Материалы и элементы квантовой и оптической электроники»**

Рабочая программа учебной дисциплины «Материалы и элементы квантовой и оптической электроники» разработана для студентов 4 курса по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», в соответствии с требованиями ОС ВО ДВФУ по данному направлению.

Дисциплина «Материалы и элементы квантовой и оптической электроники» входит в дисциплины по выбору вариативной части модуля Б1.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 5 зачетные единицы, 180 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (54 час.), практические занятия (36 час.), самостоятельная работа студента (90 час, в том числе на подготовку к экзамену 36 час.). Дисциплина реализуется на 4 курсе в 7 семестре.

**Цель:** изучение закономерностей изменения физических свойств оптических материалов при явлениях фотоупругости, фотоакустики, фоторефракции, термооптики.

#### **Задачи:**

– формирование у студентов знаний о методах расчетной оценки параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии;

– формирование у студентов навыков применения методов расчетной оценки параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии;

– формирование у студентов знаний о методах экспериментального исследования параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии;

– формирование у студентов навыков применения методов экспериментального исследования параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии;

– формирование у студентов знаний о методах анализа и систематизации результатов экспериментальных исследований параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии;

– формирование у студентов навыков применения методов анализа и систематизации результатов экспериментальных исследований параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии.

Для успешного изучения дисциплины «Материалы и элементы квантовой и оптической электроники» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

– способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);

– способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);

– способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий (ОПК-6).

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции.

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-2 способность аргументированно выбирать и реализовывать на	Знает	методы экспериментального исследования параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии

практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	Умеет	экспериментально определять основные параметры оптических материалов при внешнем воздействии
	Владеет	навыками экспериментального исследования параметров оптических материалов при внешнем воздействии
ПК-4 способность проводить комплексные исследования на различных экспериментальных установках взаимодополняющими методами с последующим анализом и теоретическим моделированием полученных данных	Знает	принципы и методики применения экспериментальных установок с применением материалов и элементов квантовой и оптической электроники
	Умеет	создавать и применять экспериментальные установки с применением материалов и элементов квантовой и оптической электроники
	Владеет	навыками построения и применения экспериментальных установок с применением материалов и элементов квантовой и оптической электроники с последующим анализом полученных результатов
ПК-9 способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	Знает	методики технологической подготовки производства материалов и элементов квантовой и оптической электроники
	Умеет	осуществлять подготовку производства материалов и элементов квантовой и оптической электроники
	Владеет	навыками подготовки производства материалов и элементов квантовой и оптической электроники

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Материалы и элементы квантовой и оптической электроники» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: мозговой штурм, дискуссия.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

**Лекционные занятия (54 час.)**

## **Раздел I. Определение основных понятий и терминов материалов и элементов квантовой и оптической электроники (6 час.)**

### **Тема 1. Перспективы использования достижений в области разработки современных оптических материалов в научных исследованиях, приборостроении, технике (2 час.).**

Структура дисциплины и ее связь с другими дисциплинами учебного плана. Задачи дисциплины. Свет как инструмент воздействия на материалы. Исторические справки об ученых, занимавшихся данной проблемой. Оптические материалы и их характеристики. Покрытия и пленки: просветляющие, отражающие, фильтрующие, поляризующие, типы зеркальных покрытий.

### **Тема 2. Перспективы развития области разработки материалов квантовой и оптической электроники (2 час.).**

Возможности расширения областей использования лазерного излучения УФ, видимого, ИК диапазонов спектра при его взаимодействии с конденсированными средами.

## **Раздел II. Природные и искусственные кристаллы (2 час.).**

### **Тема 3. Природные и искусственные кристаллы.**

Природные и искусственные кристаллы. Анизотропные оптические материалы и их применение. Кристаллы для твердотельных лазеров, их оптические, механические и термические характеристики.

## **Раздел III. Фотоупругость (8 час.).**

### **Тема 4. Метод фотоупругости. Упругие деформации (2 час.).**

Метод фотоупругости Упругие деформации как результат воздействия механических напряжений (сжатие и/или растяжение). Нормальные и касательные напряжения при чистом растяжении. Деформации, связанные с чистым однородным растяжением. Связь между напряжениями и деформациями. Деформация эллипсоида показателя преломления. Пьезооптические коэффициенты, фотоупругие постоянные.

### **Тема 5. Фотоупругость и поляризация (2 час.).**

Естественное и искусственное двулучепреломление. Закон Брюстера. Поляризация при отражении и преломлении. Поляризационно-оптические методы и устройства. Закон Малюса. Призма Глана-Томсона, призма Николя. Оптическая разность хода и фаз.

### **Тема 6. Фотоупругость жидких кристаллов (ЖК) (2 час.).**

Жидкие кристаллы, их типы, области применения. Фотоупругость жидких кристаллов (ЖК). Директор ЖК. Нематические ЖК. Аппроксимация Рапини для энергии связи ЖК с поверхностью подложки. Формула Франка для объемной упругой энергии ЖК. Численные оценки модулей упругости ЖК.

### **Тема 7. Примеры применения явления фотоупругости ЖК (2 час.).**

Примеры применения явления упругости нематической ЖК мезофазы. Расчет фазовой задержки реальной нематической ЖК-ячейки по экспериментально полученным данным.

## **Раздел IV. Акустооптика (6 час.)**

### **Тема 8. Основные достижения акустооптики. Ультразвук (2 час.).**

Предмет акустооптики. Частоты акустооптики. Основные достижения акустооптики. Ультразвук. Методы генерации ультразвука. Влияние акустического поля в конденсированной среде на распространение света. Дифракция монохроматического света на периодическом распределении показателя преломления, создаваемом бегущей или стоячей акустической волной. Дифракция Рамана-Ната и дифракция Брэгга на ультразвуке. Связь эффективности дифракции в  $m$ -ом порядке с изменением одного или нескольких из следующих параметров: угла падения света, длины волны света, длины волны звука, амплитуды и ширины пучка ультразвука.

### **Тема 9. Акустооптические модуляторы. Дефлекторы (2 час.).**

Акустооптические модуляторы. Способы повышения быстродействия акустооптических модуляторов. Дефлекторы, их назначение и характеристики. Акустолюминесценция – новое явление акустооптики.

#### **Тема 10. Акустолюминесценция (2 час.).**

Виды люминесценции кристаллов. Собственно-дефектная акустолюминесценция и ее основные характеристики. Практическое использование акустолюминесценции.

#### **Раздел V. Термооптика (4 час.).**

#### **Тема 11. Воздействие изменений температуры на элементы оптических приборов (2 час.).**

Воздействие изменений температуры на элементы оптических приборов. Термооптические характеристики материалов, их физический смысл, значения. Термомеханическая прочность. Температурные изменения оптической длины пути. Температурный коэффициент показателя преломления. Оптический резонатор с термдеформированным элементом.

#### **Тема 12. Стекла. (2 час.).**

**Оптические стекла, кварцевое оптическое стекло, лазерные стекла.** Техническая классификация стекол. Теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность оптических стекол. Оптическая плотность стекла. Явление двойного лучепреломления в стеклах. Стекла ИК-диапазона спектра.

#### **Раздел VI. Фоторефракция (10 час.)**

#### **Тема 13. Общие представления об электрооптических эффектах в конденсированных средах (2 час.).**

**Нелинейные оптические материалы. Эффект Поккельса. Эффект Керра.**

#### **Тема 14. Механизмы записи и считывания изображения в ФРК (2 час.).**

Фотогенерация носителей электрического заряда. Формирование полей фотозарядов. Дрейфовый и дифракционный механизмы записи изображения. Считывание изображения.

**Тема 15. Пространственно-временные модуляторы света на основе фоторефрактивных кристаллов (2 час.).**

Пространственно-временные модуляторы света (ПВМС) на фоторефрактивных материалах.

**Тема 16. Пространственно-временные модуляторы света на основе ЖК (2 час.).**

Жидкокристаллические ПВМС с электрическим и оптическим управлением. Конструкция и режимы работы ЖК ПВМС на просвет и отражение. Влияние природы и параметров фотослоя ЖК ПВМС на основные характеристики модулятора: разрешение, быстродействие, чувствительность. Способы оптимизации динамических характеристик ЖК ПВМС. Расчет временных параметров ЖК устройств.

**Тема 17. Применение пространственно-временных модуляторов света для задач лазерной физики (2 час.).**

Применение ЖК ПВМС для задач лазерной физики. Коррекция фазовых аберраций с помощью ЖК ПВМС.

**Раздел VII. Воздействие лазерного излучения на материалы (16 час.).**

**Тема 18. Проблема взаимодействия лазерного излучения с веществом (2 час.).**

Проблема взаимодействия лазерного излучения с веществом. Лазерное возбуждение. Испарение и разрушение материалов.

**Тема 19. Дефекты при пробое в твердых телах (2 час.).**

Характер дефектов при пробое. Примесные центры в твердом теле и их влияние на порог пробоя.

**Тема 20 Воздействие лазерного излучения на полупроводниковые материалы (2 час.).**

Полупроводники как оптические материалы. Зонная структура, прямые и не прямые переходы. Явления переноса.

**Тема 21. Полупроводниковые элементы квантовой и оптической электроники (2 час.).**

Материалы для инжекционных полупроводниковых излучателей и фотоприемников. Материалы для образования МОП и МДП структур. Гетероструктуры, сверхрешетки. Фоторезистор, фотодиод, светодиод, солнечные элементы, полупроводниковые лазеры.

**Тема 22. Нелинейные эффекты (2 час.).**

Нелинейные эффекты. Нелинейные восприимчивости. Самофокусировка лазерного излучения. Многофотонное поглощение.

**Тема 23. Фуллерены (2 час.).**

Новые нелинейные среды. Фуллерены. Методы получения фуллеренов. Растворимость фуллеренов, их спектральные, фотопроводящие и теплофизические свойства. Оптические свойства фуллеренов. Сечение поглощения переходов с основного и возбужденного состояний молекулы фуллерена. Сенсбилизация органических материалов фуллеренами. Влияние комплексообразования на нелинейное поглощение фуллеренсодержащих сред.

**Тема 24. Взаимодействие лазерного излучения с фуллереносодержащими материалами (2 час.).**

Проявление эффекта оптического ограничения лазерного излучения в фуллеренсодержащих материалах. Спектральный, энергетический и временной диапазоны взаимодействия лазерного излучения с фуллеренсодержащими средами. Запись тонких дифракционных решеток в фуллеренсодержащих средах. Светоиндуцированное изменение показателя преломления. Светоиндуцированное рассеяние.

**Тема 25. Применение фуллеренсодержащих сред в лазерной физике и медицине (2 час.).**

Фуллеренсодержащие материалы для модуляции, пассивной записи информации и преобразования по частоте лазерного излучения. Особенности использования фуллеренсодержащих структур в ИК-диапазоне спектра. Применение фуллеренсодержащих сред в лазерной физике и медицине.

**Раздел VIII. Элементы интегральной и волоконной оптики, микрооптики и микроэлектроники (4 час.)**

**Тема 26. Элементы интегральной и волоконной оптики, микрооптики и микроэлектроники (4 час.)**

Элементы интегральной и волоконной оптики, микрооптики и микроэлектроники, конструктивное исполнение, характеристики. Элементы компьютерной оптики.

**II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

**Практические занятия (36 час.).**

**Занятие 1. Анализ механических напряжений в поляризованном свете на примере деформации стержня (6 час.).**

1. Упругие деформации как результат воздействия механических напряжений (сжатие и/или растяжение).
2. Деформации, связанные с чистым однородным растяжением.
3. Связь между напряжениями и деформациями.
4. Деформация эллипсоида показателя преломления.
5. Пьезооптические коэффициенты, фотоупругие постоянные.
6. Фотоупругость и поляризация.
7. Анализ механических напряжений в поляризованном свете на примере деформации стержня.

## **Занятие 2. Расчет акустооптического deflectора (6 час.).**

1. Акустооптические модуляторы.
2. Способы повышения быстродействия акустооптических модуляторов.  
Дефлекторы, их назначение и характеристики.
3. Акустолюминесценция – новое явление акустооптики.

## **Занятие 3. Расчет тепловой линзы в лазерном стекле (4 час.).**

Воздействие изменений температуры на элементы оптических приборов.

1. Термооптические характеристики материалов, их физический смысл, значения.
2. Термомеханическая прочность.
3. Температурные изменения оптической длины пути.
4. Температурный коэффициент показателя преломления.
5. Оптический резонатор с термомодеформированным элементом.

## **Занятие 4. Расчет апохроматического объектива (4 час.).**

1. Техническая классификация стекол.
2. Теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность оптических стекол.
3. Оптическая плотность стекла.
4. Явление двойного лучепреломления в стеклах.
5. Стекла ИК-диапазона спектра.

## **Занятие 5. Модуляция света на основе электрооптических эффектов (4 час.).**

1. Пространственно-временные модуляторы света (ПВМС) на фоторефрактивных материалах.
2. Жидкокристаллические ПВМС с электрическим и оптическим управлением. Конструкция и режимы работы модуляторов.
3. Способы оптимизации динамических характеристик модуляторов.

## **Занятие 6. Методы модуляции добротности в лазерах (4 час.).**

1. Электрооптические затворы.
2. Акустооптические модуляторы добротности.

**Занятие 7. Преобразование энергии в полупроводниковых оптоэлектронных элементах (4 час.).**

1. Типы полупроводниковых оптоэлектронных элементов.
2. Преобразование энергии в различных типах полупроводниковых оптоэлектронных элементов

**Занятие 8. Самофокусировка световых пучков в нелинейных оптических средах. Формирование солитонов. (4 час.).**

1. Взаимодействие лазерного излучения с нелинейными оптическими средами.
2. Самофокусировка световых пучков в нелинейных оптических средах.
3. Формирование солитонов.

**III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Материалы и элементы квантовой и оптической электроники» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы;
- задания для подготовки к практическим занятиям.

**IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Определение основных понятий и терминов материалов и элементов квантовой и оптической электроники	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 1-2
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
2	Природные и искусственные кристаллы	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопрос 3
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
3	Фотоупругость	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 4 - 7
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
4	Акустооптика	ПК-2, ПК-4	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 8 - 12
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
5	Термооптика	ПК-2, ПК-4	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 13 - 15
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
6	Фоторефракция	ПК-9	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 16 - 22
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
7	Воздействие лазерного излучения на материалы	ПК-9	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 23 - 27
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
8	Элементы интегральной и волоконной оптики,	ПК-2, ПК-9	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 28 - 30

	микрооптики и микроэлектроники		умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
--	--------------------------------	--	----------------	-------------	--

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Материалы и элементы квантовой и оптической электроники: учебно-методический комплекс /Р. В. Ромашко. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного технического университета, 2008. – 175 с. (20 экз.)

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:384588&theme=FEFU>.

2. Материалы и элементы электронной техники: Т. 1: учебник; в 2 т. /В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева: Проводники, полупроводники, диэлектрики. – М. : Академия, 2006. – 384 с. (20 экз.)

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:384588&theme=FEFU>.

3. Игнатов, А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс] : учебное пособие. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2011. – 539 с. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=684](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=684).

4. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учебное пособие. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2011. – 288 с. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2023](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2023).

5. Майер, В.В. Свет в оптически неоднородной среде: учебные исследования. [Электронный ресурс] : . – Электрон. дан. – М. : Физматлит, 2007. – 231 с. – Режим доступа:

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2696](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2696).

## Дополнительная литература

1. Материалы и элементы электронной техники: Т.2: учебник; в 2 т. /В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева: Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники. – М.: Академия, 2006. – 384 с. (20 экз.).

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:385384&theme=FEFU>.

## Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://window.edu.ru/resource/228/59228> Пржеvusкий А.К. Оптическое материаловедение: Моделирование оптических материалов и процессов: Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. - 125 с.

2. <http://window.edu.ru/resource/740/63740> Федоров А.В. Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур: Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. - 195 с.

3. <http://window.edu.ru/resource/733/58733> Арбузов В.И. Фоточувствительные и радиационно-стойкие материалы. Часть 1. Основы радиационного оптического материаловедения: Учебное пособие по выполнению лабораторного практикума. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. - 36 с.

## VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Приступить к освоению дисциплины следует в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы учебной дисциплины (РПУД). Обратит внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, практические занятия) планируется самостоятельная работа, результаты которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все аудиторные и самостоятельные задания необходимо выполнять и предоставлять на оценку в

соответствии с планом-графиком.

### **Использование материалов учебно-методического комплекса**

Для успешного освоения дисциплины следует использовать содержание разделов учебно-методического комплекса дисциплины (УМКД): рабочей программы, лекционного курса, материалов практических занятий, методических рекомендаций по организации самостоятельной работы студентов, глоссария, перечня учебной литературы и других источников информации, контрольно-измерительных материалов (тесты, опросы, вопросы зачета), а также дополнительных материалов.

### **Рекомендации по подготовке к лекционным и практическим занятиям**

Успешное освоение дисциплины предполагает активное участие студентов на всех этапах ее освоения. Изучение дисциплины следует начинать с проработки содержания рабочей программы и методических указаний.

При изучении и проработке теоретического материала студентам необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- перед очередной лекцией просмотреть конспект предыдущего занятия;
- при самостоятельном изучении темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПУД литературные источники. В случае, если возникли затруднения, обратиться к преподавателю в часы консультаций или на практическом занятии.

Основной целью проведения практических занятий является систематизация и закрепление знаний по изучаемой теме, формирование умений самостоятельно работать с дополнительными источниками информации, аргументировано высказывать и отстаивать свою точку зрения.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо:

- повторить теоретический материал по заданной теме;
- продумать формулировки вопросов, выносимых на обсуждение;

- использовать не только конспект лекций, но и дополнительные источники литературы, рекомендованные преподавателем.

При подготовке к текущему контролю использовать материалы РПУД (Приложение 2. Фонд оценочных средств).

При подготовке к промежуточной аттестации, использовать материалы РПУД (Приложение 2. Фонд оценочных средств).

На самостоятельную работу выносятся подготовка к практическим занятиям.

При подготовке к практическим занятиям необходимо ознакомиться с материалами из основной и дополнительной литературы, выучить основной теоретический материал по теме, при необходимости, воспользоваться литературой на русском языке и/или источниками в информационно-телекоммуникационной сети "Интернет".

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Учебная лаборатория, анализатор спектров с диапазоном частот от 3 Гц до 13,6 ГГц N9030A-513, высоковольтный источник питания 3 кВ.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
по дисциплине «Материалы и элементы квантовой и оптической  
электроники»  
Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника  
Форма подготовки очная**

**Владивосток  
2015**

## 1. План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1.	В течение семестра	Изучение разделов теоретической части курса	22 час.	Собеседование (УО-1)
2.	В течение семестра	Подготовка к практическим занятиям	22 час.	Тест (ПР-1) Контрольная работа (ПР-2)
3.	Вторая половина семестра	Выполнение курсовой работы	10 час.	Собеседование (УО-1)
4.	В течение семестра	Подготовка к экзамену	36 час.	Экзамен

## 2. Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Самостоятельная работа студентов включает в себя четыре вида работ: изучение разделов теоретической части курса, подготовка к практическим занятиям, выполнение курсовой работы и подготовка к экзамену.

Изучение разделов теоретической части курса и подготовка к практическим занятиям осуществляется студентом в период между посвященной данной теме лекцией и соответствующим практическим занятием. Задание и литературу для изучения разделов теоретической части курса преподаватель сообщает в конце лекции. Подготовка к практическим занятиям осуществляется студентом по лекциям и литературе, использовавшейся при изучении разделов теоретической части курса.

Предусмотрено выполнение курсовой работы: «Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Погкельса». Курсовая работа выполняется по темам, представленным в приложении 2.

Подготовку к экзамену рекомендуется осуществлять в течение семестра непосредственно после окончания изучения очередной темы по вопросам, представленным в приложении 2. Каждый экзаменационный билет комплекта для итоговой аттестации содержит два теоретических вопроса и задачу. На подготовку к ответу на экзамене предусмотрено 45 минут. В экзаменационных вопросах кроме темы вопроса указаны основные сведения, которые должен сообщить студент при ответе по билету.

### **3. Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Контроль выполнения работы по изучению разделов теоретической части курса осуществляется на практических занятиях выборочно в форме собеседования. Оформление ответов на вопросы не требуется.

Контроль выполнения работы по подготовке к практическим занятиям осуществляется на практических занятиях в форме теста или контрольной работы. На тестировании ответы оформляются на листе бумаги с указанием ФИО и номера группы студента. Студент проставляет номер вопроса и букву, соответствующую выбранному варианту ответа.

Контрольные работы завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Контрольные работы охватывают четыре основных раздела курса, представляющиеся наиболее важными с точки зрения промежуточного контроля знаний студентов. Каждая контрольная работа содержит не менее четырех вариантов заданий. Общее время выполнения контрольной работы 45 минут. Вопросы к контрольным работам представлены в приложении 2.

### **4. Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

Критерии оценивания теста:

90-100 % тестовых вопросов верны – «отлично»;

60-80 % – «хорошо»;

40-50% – «удовлетворительно»;

0-30 % – «неудовлетворительно».

Критерии оценивания контрольной работы:

ответ на два вопроса без ошибок – «отлично»;

ответ на два вопроса с одной ошибкой – «хорошо»;

ответ на два вопроса с двумя ошибками – «удовлетворительно»;

ответ только на один вопрос или на два вопроса с более чем двумя ошибками – «неудовлетворительно».

При получении оценки «неудовлетворительно» считается, что студент не прошел текущий контроль. В этом случае проводится повторный контроль на консультации.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Материалы и элементы квантовой и оптической**  
**электроники»**  
**Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника**  
**профили «Квантовая и оптическая электроника», «Нанотехнологии в**  
**электронике»**  
**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2015**

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
	ПК-2 способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	Знает
Умеет		экспериментально определять основные параметры оптических материалов при внешнем воздействии
Владеет		навыками экспериментального исследования параметров оптических материалов при внешнем воздействии
ПК-4 способность проводить комплексные исследования на различных экспериментальных установках взаимодополняющими методами с последующим анализом и теоретическим моделированием полученных данных	Знает	принципы и методики применения экспериментальных установок с применением материалов и элементов квантовой и оптической электроники
	Умеет	создавать и применять экспериментальные установки с применением материалов и элементов квантовой и оптической электроники
	Владеет	навыками построения и применения экспериментальных установок с применением материалов и элементов квантовой и оптической электроники с последующим анализом полученных результатов
ПК-9 способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	Знает	методики технологической подготовки производства материалов и элементов квантовой и оптической электроники
	Умеет	осуществлять подготовку производства материалов и элементов квантовой и оптической электроники
	Владеет	навыками подготовки производства материалов и элементов квантовой и оптической электроники

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства	
			текущий контроль	промежуточная аттестация

1	Определение основных понятий и терминов материалов и элементов квантовой и оптической электроники	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 1-2
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
2	Природные и искусственные кристаллы	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопрос 3
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
3	Фотоупругость	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 4 - 7
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
4	Акустооптика	ПК-2, ПК-4	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 8 - 12
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
5	Термооптика	ПК-2, ПК-4	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 13 - 15
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
6	Фоторефракция	ПК-9	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 16 - 22
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
7	Воздействие лазерного излучения на материалы	ПК-9	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 23 - 27
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
8	Элементы интегральной и волоконной оптики, микрооптики и микроэлектроники	ПК-2, ПК-9	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 28 - 30
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	

## Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ПК-2 способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	Знает	методы экспериментального исследования параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии	воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты	способность показать базовые знания и основные умения в области: методы экспериментального исследования параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии
	Умеет	экспериментально определять основные параметры оптических материалов при внешнем воздействии	выполнять типичные задания по экспериментальному исследованию параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии	способность применить знания и практические умения при выполнении типичных заданий по экспериментальному исследованию параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии
	Владеет	навыками экспериментального исследования параметров оптических материалов при внешнем воздействии	самостоятельно осуществлять экспериментальные исследования параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом,	способность применить фактическое и теоретическое знание, практические умения при проведении самостоятельных

			световом) воздействии	экспериментальн ых исследований параметров оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии
ПК-4 способность проводить комплексные исследования на различных экспериментал ьных установках взаимодоплня ющими методами с последующим анализом и теоретическим моделирование м полученных данных	Знает	принципы и методики применения эксперименталь ных установок с применением материалов и элементов квантовой и оптической электроники	воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты	способность показать базовые знания и основные умения в области применения экспериментальн ых установок с применением материалов и элементов квантовой и оптической электроники
	Умеет	создавать и применять эксперименталь ные установки с применением материалов и элементов квантовой и оптической электроники	решать типичные задания по созданию и применению экспериментальн ых установок с применением материалов и элементов квантовой и оптической электроники	способность применить знания и практические умения при выполнении типичных заданий по созданию и применению экспериментальн ых установок с применением материалов и элементов квантовой и оптической электроники
	Владеет	навыками построения и применения эксперименталь ных установок с применением материалов и элементов квантовой и оптической	самостоятельно осуществлять построение и применять экспериментальн ые установки с применением материалов и элементов квантовой и	способность применить фактическое и теоретическое знание, практические умения при проведении самостоятельны х

		электроники с последующим анализом полученных результатов	оптической электроники, а также анализировать полученные результаты	экспериментальных исследований с использованием экспериментальных установок с применением материалов и элементов квантовой и оптической электроники, анализировать полученные результаты
ПК-9 способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	Знает	методики технологической подготовки производства материалов и элементов квантовой и оптической электроники	воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты	способность показать базовые знания по основным методикам технологической подготовки производства материалов и элементов квантовой и оптической электроники
	Умеет	осуществлять подготовку производства материалов и элементов квантовой и оптической электроники	выполнять задания по технологической подготовке производства приборов физической оптики	способность применить знания и практические умения при выполнении заданий по технологической подготовке производства материалов и элементов квантовой и оптической электроники
	Владеет	навыками подготовки производства материалов и элементов квантовой и оптической электроники	выполнять усложненные задания в нетипичных ситуациях по технологической подготовке производства приборов	способность применить фактическое и теоретическое знание, практические умения при выполнении усложненных

			физической оптики	заданий по технологической подготовке производства материалов и элементов квантовой и оптической электроники
--	--	--	-------------------	--

**Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

**Оценочные средства для промежуточной аттестации**

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

**Критерии выставления оценки студенту на зачете по дисциплине "Материалы и элементы квантовой и оптической электроники "**

Баллы (рейтинговой оценки)	Оценка зачета (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86 -100	«отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
76 - 85	«хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

61 -75	«удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
0 -60	«неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного «не материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### Вопросы к экзамену

1. Свет, как инструмент воздействия на материал.
2. Перспективы использования достижений в области разработки современных оптических материалов в научных исследованиях, приборостроении, технике.
3. Перспективы развития области разработки материалов квантовой и оптической электроники.
4. Метод фотоупругости. Упругие деформации
5. Фотоупругость и поляризация.
6. Фотоупругость жидких кристаллов (ЖК).
7. Примеры применения явления фотоупругости ЖК.
8. Основные достижения акустооптики.
9. Ультразвук.
10. Акустооптические модуляторы.
11. Дефлекторы
12. Акустолюминесценция
13. Воздействие изменений температуры на элементы оптических приборов.

14. Термооптические характеристики материалов
15. Стекла. Характеристики, параметры, типы.
16. Общие представления об электрооптических эффектах в конденсированных средах.
17. Эффект Поккельса.
18. Эффект Керра.
19. Механизмы записи и считывания изображения в ФРК
20. Пространственно-временные модуляторы света на основе фоторефрактивных кристаллов.
21. Пространственно-временные модуляторы света на основе ЖК.
22. Применение пространственно-временные модуляторы света для задач лазерной физики.
23. Проблема взаимодействия лазерного излучения с веществом.
24. Дефекты при пробое в твердых телах.
25. Воздействие лазерного излучения на полупроводниковые материалы.
26. Полупроводниковые элементы квантовой и оптической электроники.
27. Нелинейные эффекты.
28. Фуллерены.
29. Взаимодействие лазерного излучения с фуллереносодержащими материалами.
30. Применение фуллереносодержащих сред в лазерной физике и медицине.

## **1. Вопросы для контрольных работ**

### **Контрольная работа № 1.**

#### **Вариант 1.**

1. Корпускулярно-волновой дуализм света. Перечислите эффекты, в которых свет ведет себя как волна, и эффекты, в которых свет ведет себя как поток квантов.

2. Призма Николя
3. Стопа Столетова

### **Вариант 2.**

1. Параметры световой волны. Основные принципы управления ими.
2. Компенсатор Бабине.
3. Закон Брюстера.

### **Вариант 3.**

1. Оптические параметры материалов. Эффекты воздействия света на вещество
2. Поляроиды на основе дихроизма.
3. Компенсатор Бабине-Солейла

### **Вариант 4.**

1. Корпускулярно-волновой дуализм света. Перечислите эффекты, в которых свет ведет себя как волна, и эффекты, в которых свет ведет себя как поток квантов.
2. Естественное двулучепреломление
3. Ромб Френеля.

### **Вариант 5.**

1. Оптические параметры материалов. Эффекты воздействия света на вещество.
2. Поляризация света. Типы поляризации.
3. Призма Глана-Томсона.

## **Контрольная работа №2.**

### **Вариант 1.**

1. Фотоупругость.

2. Оптический модулятор на основе ЖК-ячейки
3. Частично поляризованный свет с компонентами, поляризованной по кругу ( $I_k$ ) и естественной ( $I_e$ ), проходит через четвертьволновую пластинку Q и анализатор (призму Николя) P. При вращении последнего найдено, что  $(I_{\max}/I_{\min}) = 3$ . Найдите отношение  $I_k/I_e$ .

### Вариант 2.

1. Исследование механических напряжений в поляризованном свете.
2. Объемная упругая энергия ЖК.
3. На ячейку Керра, помещенную между скрещенными поляризаторами, подается переменное напряжение  $U=U_0\cos(\Omega t)$ . Постройте график интенсивности прошедшего через систему света с длиной волны  $\lambda = 500$  нм, если  $U_0 = 3,3$  кВ, расстояние между пластинами конденсатора  $d = 1$  мм, длина конденсатора  $l = 10$  см. Постоянная Керра равна  $10^{-18}$  м<sup>2</sup>В<sup>-2</sup>. Ориентация поляризатора P перпендикулярна пластинам конденсатора

### Вариант 3.

1. Эффект Поггеля. Модуляторы света на его основе
2. Типы жидких кристаллов. Вектор-директор
3. Между скрещенными поляроидами P и A помещена кристаллическая пластинка Q, вырезанная параллельно оптической оси так, что ее ось составляет угол  $45^\circ$  с главными плоскостями николей. Рассчитайте минимальную толщину пластинки, при которой линия  $\lambda_1 = 660$  нм будет максимально ослаблена, а линия с  $\lambda_2 = 410$  нм максимально усилена, если разница показателей преломления  $n_e - n_o = 0,01$ .

### Вариант 4.

1. Деформация ЖК
2. Эффект Керра. Модуляторы света на его основе.

3. Поляризованный по кругу свет интенсивностью  $I_0$  падает на стопку из трех поляризаторов. Первый и последний из них скрещены, а главная плоскость среднего образует угол  $\varphi$  с главной плоскостью первого. Определите интенсивность на выходе из системы.

### **Контрольная работа №3.**

#### **Вариант 1.**

1. Дифракция Брэгга на акустической волне.
2. Оптические параметры стекол

#### **Вариант 2.**

1. Дифракция Рамана-Ната на ультразвуке
2. Устранение вторичного спектра в апохроматах

#### **Вариант 3.**

1. Акустооптические дефлекторы
2. Термомеханическая прочность оптических материалов

#### **Вариант 4.**

1. Акустооптические модуляторы.
2. Классификация оптических стекол

#### **Вариант 5.**

1. Методы генерации ультразвука
2. Температурный коэффициент показателя преломления

### **Контрольная работа №4.**

#### **Вариант 1.**

1. Формирование поля пространственного заряда в фоторефрактивных кристаллах
2. Фотодиод.
3. Нелинейные восприимчивости
4. Фуллерены. Их свойства

#### **Вариант 2.**

1. Запись, считывание и стирание фоторефрактивной голограммы
2. Фоторезистор.
3. Самофокусировка лазерного излучения
4. Светоиндуцированное изменение показателя преломления фуллеренов

#### **Вариант 3.**

1. Пространственно временной модулятор PROM
2. Светодиод.
3. Оптический пробой
4. Светоиндуцированное рассеяние

#### **Вариант 4.**

1. Пространственно временной модулятор PRIZ
2. Полупроводниковая гетероструктура
3. Двухфотонное поглощение
4. Оптические ограничители лазерного излучения на фуллеренах.

#### **Вариант 5.**

1. Адаптивная интерферометрия. Лазерный ультразвук.
2. Прямые и не прямые переходы в полупроводниках
3. Самодефокусировка лазерного излучения
4. Применение фуллеренсодержащих сред в лазерной физике и медицине

**Оценочные средства для текущей аттестации**

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется преподавателем.

### 3. Перечень тем курсовых работ

1. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле CdTe
2. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле GaAs
3. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле GaP
4. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле  $\beta$ -ZnS
5. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле ZnSe
6. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле ZnTe
7. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$
8. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$
9. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$
10. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле CdS
11. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле CdSe

12. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле ZnO
13. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле  $\beta$ -ZnS
14. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле LiIO<sub>3</sub>
15. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле LiNbO<sub>3</sub>
16. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле LiTaO<sub>3</sub>
17. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле AgGaS<sub>2</sub>
18. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле CsH<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub> (CDA)
19. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (KDP)
20. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле KD<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (KD·P)
21. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле (NH<sub>4</sub>)H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (ADP)
22. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле (NH<sub>4</sub>)D<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (AD·P)
23. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле BaTiO<sub>3</sub>
24. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле KTa<sub>0,35</sub>Nb<sub>0,65</sub>O<sub>3</sub> (KTN)
25. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле Ba<sub>0,25</sub>Sr<sub>0,75</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>
26. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле  $\beta$ -HfO<sub>3</sub>

27. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле  $\text{KNbO}_3$
28. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле  $\text{KIO}_3$
29. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле  $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$
30. Расчет электрооптического модулятора на основе эффекта Поккельса в кристалле  $\text{Cs}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$