

Программа
краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных работников
высшей школы
по направлению
«Нанотехнологии в фотонике и оптоэлектронике,
компонентная база и устройства»
на базе учебного курса

«Нанофотоника и дифракционная оптика в телекоммуникациях»

Цель: изучение физических принципов построения и методологических основ применения нанофотонных устройств в области телекоммуникаций

Категория слушателей: преподаватели и научные работники высшей школы

Срок обучения: 36 часов

Форма обучения: с частичным отрывом от работы

Режим занятий: 7 часов в день

Целью данного курса является ознакомление с физическими принципами построения и методологических основ применения нанофотонных устройств в телекоммуникациях. На примере фотонных кристаллов, фотонно-кристаллических волокон, активных и пассивных устройств субволновой нанофотоники, использования линейных и нелинейных явлений демонстрируются возможности преодоления дифракционного предела и совершенствования количественных и качественных характеристик «коротких» телекоммуникационных систем.

На примере программных пакетов моделирования модуляционных систем оптической манипуляции наночастицами и двухчастотной рефлектометрии селективных нанофотонных устройств проводится лабораторный практикум по развитию практических навыков мониторинга нанофотонных устройств на различных стадиях их жизненного цикла.

Требования к уровню освоения учебного курса

Преподаватели должны:

- Знать:
 - принципы построения нанофотонных устройств;
 - методологию их применения в телекоммуникационных системах;
 - структуру нанофотонных телекоммуникационных устройств и систем.
- Иметь навыки:
 - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области телекоммуникационной нанофотоники;

- включать приобретенные знания о телекоммуникационной нанофотонике в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках;
- переносить полученные знания о телекоммуникационной нанофотонике на смежные предметные области и к использованию этих знаний для построения междисциплинарных методических разработок.
- Иметь представление:
 - о теоретических моделях нанофотонных процессов и технологий;
 - о характере нелинейных явлений нанофотоники;
 - о возможных механизмах синтеза нанофотонных структур;
 - о законах и уравнениях субволновой нанофотоники;
 - о методах мониторинга нанофотонных устройств и систем.

Научные работники должны:

- 1.Знать:
 - принципы построения нанофотонных устройств;
 - методологию их применения в телекоммуникационных системах;
 - структуру нанофотонных телекоммуникационных устройств и систем.
 - теоретические модели нанофотонных процессов и технологий;
 - законах и уравнения субволновой нанофотоники.
- 2.Иметь навыки:
 - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области телекоммуникационной нанофотоники;
 - планирования и проведения исследований и экспериментов с использованием устройств телекоммуникационной нанофотоники;
 - генерировать новые плодотворные научно-технические и инновационные идеи с использованием технологий телекоммуникационной нанофотоники;
 - переносить полученные знания о телекоммуникационной нанофотонике на смежные предметные области и к использованию этих знаний для создания новых объектов техники и технологии и для инновационной деятельности.
- 3.Иметь представление:
 - о характере нелинейных явлений нанофотоники;
 - о возможных механизмах синтеза нанофотонных структур;
 - о методах мониторинга нанофотонных устройств и систем.

Учебный курс «Нанофотоника и дифракционная оптика в телекоммуникациях» состоит из дистанционной и очной частей.

Дистанционная часть учебного образовательного курса обеспечивает слушателя необходимым объёмом знаний по выбранной тематике, включая подготовку слушателя к проведению лабораторного практикума. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному посещению лаборатории в Казанском государственном техническом университете им. А.Н.Туполева.

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложены физические принципы построения и методологические основы применения нанофотонных устройств в телекоммуникациях. На примере фотонных кристаллов, фотонно-кристаллических волокон, активных и пассивных устройств субволновой нанофотоники, использования линейных и нелинейных явлений демонстрируются возможности преодоления дифракционного предела и совершенствования количественных и качественных характеристик «коротких» телекоммуникационных систем.

Теоретическая часть учебного курса состоит из пяти лекций:

Лекция №1. Введение в нанофотонику, дифракционную оптику и их приложения в телекоммуникационных технологиях.

Нанофотоника. Дифракционная оптика. Нанофотоника и дифракционная оптика для телекоммуникаций. Исторический очерк. Основные определения. Основные научные направления и задачи исследования (дорожная карта). Проблема дифракционного предела. Дифракционные оптические элементы. Фотонные кристаллы. Нанолазеры. Оптический захват и манипулирование. Плазмоника. Материалы нанофотоники.

Лекция №2. Фотонные кристаллы и устройства телекоммуникаций на их основе.

Фотонные кристаллы. Классификация. Одномерные, двумерные и трехмерные фотонные кристаллы. Фотонно-кристаллические устройства размерности 2,5D. Пассивные фотонно-кристаллические устройства: коллиматоры, линзы, поляризаторы, сплиттеры, фильтры. Активные фотонно-кристаллические устройства: лазеры, модуляторы, роутеры.

Лекция №3. Фотонно-кристаллические волокна и их применения в телекоммуникационных технологиях.

Фотонно-кристаллические волокна. Классификация. Характеристики фотонно-кристаллических волокон: модовые, дисперсионные, энергетические и спектральные характеристики, характеристики двулучепреломления. Фотонно-кристаллические волокна с запрещенной зоной. Пассивные устройства на фотонно-кристаллических волокнах. Активные устройства на фотонно-кристаллических волокнах: генераторы суперконтинуума, волоконные лазеры, нелинейные преобразователи.

Лекция №4. Субволновая нанофотоника: теория, квантовые точки, нелинейные явления и плазмоны.

Оптическое рассеяние на наноструктурах. Субволновая нанофотоника. Прямая и обратная задачи. Квантовые точки. Лазеры и фотоприемники на квантовых точках. Нелинейные явления в устройствах нанофотоники. Плазмоника. Метаматериалы. Плазмонный резонанс. Поверхностная плазмонная интерференция. Плоский волновод. Щелевой плазмонный волновод. Распространение света в плазмонных проводниках. Информационные плазмонные сети и датчики.

Лекция №5. Мониторинг нанофотонных телекоммуникационных систем на различных стадиях их жизненного цикла

Микроскопия ближнего поля. Сканирующие микроскопы туннельного, рефлектометрического, безапертурного типа. Оптическая манипуляция наночастицами. Оптические «пинцеты». Модуляционные системы. Интерферометрические системы. Модуляционные методы. Методы телевидения в оценке спектра размеров наночастиц. Нанорефлектометрия. Двухчастотная рефлектометрия избирательных наноструктур.

Очная (экспериментальная) часть учебного курса заключается в изучении принципов мониторинга нанофотонных телекоммуникационных устройств на различных стадиях жизненного цикла. Основные задания на лабораторный практикум заключаются в освоении моделирующих программ для изучения:

- лазерных фотоэлектрических спектрометров наночастиц субволнового размера; принципов формирования «оптического пинцета» и его модуляционной разновидности; определения отклика наночастиц различного размера;

- принципов многочастотного мониторинга спектральных характеристик селективных нанофотонных структур и его разновидности на базе симметричной двухчастотной

рефлектометрии; определении характеристик моделей различных устройств, заложенных в библиотеке программного обеспечения и влияния на них различных параметров.

Методические рекомендации по реализации учебной программы

На дистанционную и очную части учебного курса отводится по 18 часов соответственно. Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса находится на сайте www.nanoobr.ru. Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются **тестовые вопросы** для самопроверки и **контрольные вопросы**.

Тестовые вопросы к курсу

«Нанопотоника и дифракционная оптика в телекоммуникациях»

Лекция №1. Введение в нанопотонику, дифракционную оптику и их приложения в телекоммуникационных технологиях

1. Отметьте, требования каких технологий телекоммуникаций определяют развитие нанопотоники и дифракционной оптики?

А. Волоконно-оптическая связь
В. Развитие помехоустойчивых протоколов связи

Б. Системы хранения информации
Г. Технологии изготовления устройств передачи, приема и канальной обработки информации

2. Каковы дифракционный предел и требования дорожной карты по плотности хранимой информации (б/см²)?

А. $(0,1 \text{ и } 1,5) \times 10^9$
В. $(0,1 \text{ и } 1,5) \times 10^{11}$

Б. $(0,1 \text{ и } 1,5) \times 10^{10}$
Г. $(0,1 \text{ и } 1,5) \times 10^{12}$

3. Каковы дифракционный предел и требования дорожной карты по размеру телекоммуникационных устройств передачи, приема и обработки канальной информации в «коротких» системах связи (мкм)?

А. $(0,8 \text{ и } 0,008) \times 10^{-3}$
В. $(0,8 \text{ и } 0,008) \times 10^{-1}$

Б. $(0,8 \text{ и } 0,008) \times 10^{-2}$
Г. $(0,8 \text{ и } 0,008) \times 10^0$

4. Каковы дифракционный предел и требования дорожной карты по толщине линии достижимой при фотолитографии (нм)?

А. $(90 \text{ и } 9) \times 10^0$
В. $(90 \text{ и } 9) \times 10^{-2}$

Б. $(90 \text{ и } 9) \times 10^{-1}$
Г. $(90 \text{ и } 9) \times 10^{-3}$

5. Каковы дифракционный предел и требования дорожной карты по емкости DRAM, изготовленных с помощью фотолитографии (Гб)?

А. 16 и 256

Б. 64 и 1024

6. Каким элементам, эффектам и технологиям нанофотоники, указанным ниже, вы можете дать определения после усвоения материала лекции?

- А. Фотонные кристаллы
- В. Квантовые точки
- Д. Оптический пинцет

- Б. Микроскопия ближнего поля
- Г. Кремниевая фотоника
- Е. Плазмон

Лекция №2. Фотонные кристаллы и устройства телекоммуникаций на их основе

1. Фотонные кристаллы какой размерности Вы можете отнести к виртуальным?

- А. 1D
- В. 2,5D

- Б. 2D
- Г. 3D

2. К фотонным кристаллам какой размерности относится брэгговское зеркало?

- А. 1D
- В. 2,5D

- Б. 2D
- Г. 3D

3. Какой технологический прием позволяет применять брэгговские зеркала в нанофотонике?

- А. Чирпирование зон зеркал
- В. Изменение угла падения на зеркало

- Б. Формирование резонатора между зеркалами
- Г. Гауссова модуляция коэффициента преломления

4. Увеличение размерности резонаторной камеры фотонных 2D кристаллов приводит к?

- А. Увеличению полуширины излучаемых мод
- В. Увеличению числа излучаемых мод

- Б. Увеличению расстояния между излучаемыми модами
- Г. Увеличению амплитуды излучаемых мод

5. Структуру каких пассивных устройств телекоммуникаций наноразмерного масштаба на фотонных 2D кристаллах вы представляете себе после усвоения материала лекции?

- А. Фильтр ввода/вывода
- В. Коннектор-коллиматор
- Д. Сплиттер

- Б. Фотонно-кристаллические линзы
- Г. Делитель поляризации
- Е. Резонатор

6. Структуру каких активных устройств телекоммуникаций наноразмерного масштаба на фотонных 2D кристаллах вы представляете себе после усвоения материала лекции?

А. Лазер
В. Перестраиваемый фильтр

Б. Модулятор
Г. Роутер

7. Под размерностью 2,5D подразумевается структура фотонных кристаллов, объединяющая следующие структуры:

А. Вертикальную и горизонтальную 1D
В. 2D и горизонтальную 1D

Б. 2D и вертикальную 1D
Г. 2D, горизонтальную и вертикальную 1D

Лекция №3. Фотонно-кристаллические волокна и их применения в телекоммуникационных технологиях

1. В фотонно-кристаллических волокнах одномодовый режим сохраняется для

А. Длин волн диапазона С
В. Длины волны соответствующей диаметру сердцевины

Б. Всех длин волн
Г. Длин волн диапазона L

2. Фотонно-кристаллические волокна имеют нулевую или аномальную дисперсию для длин волн диапазона

А. 0,8
В. 1,5

Б. 1,3
Г. Всех диапазонов

3. Каков характер дисперсионного наклона фотонно-кристаллических волокон для диапазона 1,3-1,5 мкм?

А. Постоянный
В. Экспоненциальный

Б. Знакопеременный
Г. Логарифмический

4. Какими из ниже указанных характеристик излучения можно управлять в фотонно-кристаллических волокнах?

А. Поляризация
В. Двулучепреломление

Б. Дисперсия
Г. Ширина спектра пропускания

5. Какая структура отверстий используется для формирования фотонно-кристаллических волокон?

А. Квадратная
В. Треугольная
Д. Пятиугольная

Б. Прямоугольная
Г. Шестиугольная
Е. Восьмиугольная

6. Потери на распространение в фотонно-кристаллических волокнах с уменьшением коэффициента заполнения оболочки?

- А. Уменьшаются
- В. Увеличиваются

- Б. Остаются неизменными
- Г.

7. Структуру каких систем нанотелекоммуникаций на основе фотонно-кристаллических волокон вы себе представляете после освоения материалов лекций?

- А. Генератор суперконтинуума
- В. Волоконный лазер

- Б. Транспорт наночастиц
- Г. Нелинейный преобразователь

Лекция №4. Субволновая нанофотоника: теория, квантовые точки, нелинейные явления и плазмоны

1. Основное отличие субволновой нанофотоники от волновой заключается в независимости параметров ближнего поля от:

- А. Размера частиц
- В. Апертуры

- Б. Длины волны исходного излучения
- Г. Диаметра пучка исходного излучения

2. Какие из указанных ниже объектов напоминают вам квантовую точку или ее поведение?

- А. ПЗС
- В. Черная дыра

- Б. Атом
- Г. Стоячая волна

3. Какие из приведенных ниже устройств на квантовых точках вы представляете себе после освоения материала лекций?

- А. Лазер
- В. Фотоприемник

- Б. Модулятор
- Г. Роутер

4. Какие из приведенных ниже нелинейных явлений могут быть использованы в телекоммуникационной фотонике?

- А. Фазовая самомодуляция
- В. Нелинейные виды рассеяния

- Б. Трех- и четырехволновое смешение
- Г. Эффект Керра

5. В каких областях телекоммуникационных технологий могут быть использованы уникальные свойства плазмонов?

- А. Передача информации в чипах
- В. Микроскопия ближнего поля

- Б. Литография
- Г. Мультиплексирование

Лекция №5. Мониторинг нанофотонных телекоммуникационных систем на различных стадиях их жизненного цикла

1. Сканирующий микроскоп ближнего поля это?

- | | |
|---------|--------|
| A. PSTM | Б. AM |
| В. SNOM | Г. ASM |

2. В каком методе микроскопии используется забор пробы света при полном отражении от объекта контроля?

- | | |
|---------|--------|
| A. PSTM | Б. AM |
| В. SNOM | Г. ASM |

3. О каких методах мониторинга нанофотонных устройств в процессе их изготовления кроме микроскопии вы имеете представление после освоения материала лекции?

- | | |
|----------------------|--------------------|
| A. Рефлектометрия | Б. Интерферометрия |
| В. Оптический пинцет | Г. Рефрактометрия |

4. На анализе каких характеристик доставленного через зонд двухчастотного рефлектометрического излучения определяются параметры избирательных нанофотонных устройств в процессе эксплуатации?

- | | |
|-----------------------------------|---|
| A. Разности амплитуд составляющих | Б. Коэффициента модуляции огибающей |
| В. Разности фаз составляющих | Г. Разности фаз между огибающими входного и выходного излучений |

5. Изменением каких характеристик излучений в оптическом пинцете определяются параметры манипуляции положением наночастиц?

- | | |
|---------------|--|
| A. Полярность | Б. Формирование специальных мод с помощью дифракционных оптических элементов |
| В. Амплитуда | Г. Длина волны |

Контрольные вопросы для проверки материала в количестве 25 вопросов

1. Нанофотоника: терминология, основные подходы к определению предмета исследований, нанофотоника в телекоммуникациях.
2. Дорожная карта: основные тенденции развития нанофотоники для телекоммуникаций
3. Телекоммуникационные системы наноразмерного масштаба

4. Классификация устройств нанофотоники с точки зрения телекоммуникационных технологий
5. Основы мониторинга нанофотонных телекоммуникационных систем
6. Классификация фотонно-кристаллических структур
7. Одномерные фотонные кристаллы
8. Двухмерные фотонные кристаллы
9. Пассивные устройства нанофотонных телекоммуникаций на фотонных кристаллах
10. Активные устройства нанофотонных телекоммуникаций на фотонных кристаллах
11. Классификация фотонно-кристаллических волокон
12. Одномодовые фотонно-кристаллические волокна
13. Фотонно-кристаллические волокна с запрещенной зоной
14. Пассивные устройства нанофотонных телекоммуникаций на фотонно-кристаллических волокнах
15. Активные устройства нанофотонных телекоммуникаций на фотонно-кристаллических волокнах
16. Отличия субволновой нанофотоники от волновой, предмет исследований, перспективы развития
17. Квантовые точки и принципы их применения в устройствах нанофотонной телекоммуникации
18. Лазеры и фотоприемники на квантовых точках
19. Нелинейные явления и их применения в устройствах нанофотонных телекоммуникаций
20. Плазмоника, плазмоны, поляритоны, приложение в системах телекоммуникаций
21. Мониторинг нанофотонных устройств и систем на различных стадиях жизненного цикла
22. Микроскопия ближнего поля
23. Оптическое манипулирование наночастицами и нановолокнами, контроль чистоты производственных помещений
24. Рефлектометрия нанофотонных устройств
25. Двухчастотная симметричная рефлектометрия селективных устройств нанофотоники

В конце очной части учебного курса слушатели готовят отчеты по **темам контрольных рефератов**, которые используются для контроля степени усвоения всего учебного курса на базе экспериментальных результатов и их обработки с применением знаний из дистанционной части курса.

Темы контрольных рефератов по курсу
«Нанофотоника и дифракционная оптика в телекоммуникациях»

1. Нанофотоника в телекоммуникациях.
2. Фотонные кристаллы и наноэлементы на их основе.

3. Фотонно-кристаллические волокна и их применение в наноразмерных телекоммуникациях.
4. Квантовые точки и их применение в наноразмерных телекоммуникациях.
5. Плазмоны и их применение в наноразмерных телекоммуникациях.
6. Нелинейные явления нанофотоники.
7. Микроскопия ближнего поля.
8. Оптическая манипуляция наночастицами и нановолокнами.
9. Интегральные схемы наноразмерных устройств для телекоммуникаций.
10. Рефлектометрия наноразмерных устройств.

Учебно-тематический план

№	Название учебного курса и лекций	Всего, час.	в том числе (указать часы)			Форма контроля
			Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение с преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	Самостоятельная работа. Подготовка ответов на контрольные вопросы	Очный практикум или другое практическое задание	
	« <u>Нанофотоника и дифракционная оптика в телекоммуникациях</u> »	36 ч.	15 ч.	3 ч.	18 ч.	Контрольные вопросы (электронная зачётка) Реферат
1.	Лекция 1: Введение в нанофотонику, дифракционную оптику и их приложения в телекоммуникационных технологиях		3 ч.	0,6 ч.		
2.	Лекция 2: Фотонные кристаллы и устройства телекоммуникаций на их основе		3 ч.	0,6 ч.		
3.	Лекция 3: Фотонно-кристаллические волокна и их применения в телекоммуникационных технологиях		3 ч.	0,6 ч.		
4.	Лекция 4: Субволновая нанофотоника: теория, квантовые точки, нелинейные явления и плазмоны		3 ч.	0,6 ч.		
5.	Лекция 5: Мониторинг наноразмерных телекоммуникационных систем на различных стадиях их жизненного цикла		3 ч.	0,6 ч.	+	
	Итоговый контроль			Контрольные вопросы (электронная зачётка)	Реферат	

**Список литературы (основной и дополнительной),
а также других видов учебно-методологических материалов и пособий,
необходимых для изучения
(конспектов лекций, видеолекций, лазерных дисков и др.)**

в количестве - 8

1. *Морозов О.Г.* Нанопотоника и дифракционная оптика для телекоммуникаций. Конспект лекций. Казань, ЗАО «Новое знание», 2009. – 208 с. (в печати)
2. *Iizuka K.*. Elements of Photonics. V.II. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York, 2002. - 1197 p.
3. *Rigneault Hervé et al.* Nanophotonics. ISTE Ltd, London, 2006. – 324 p.
4. *Novotny L. and Hecht B.* Principles of nano-optics. Cambridge University Press, Cambridge, 2006. – 539 p.
5. *Ohtsu M. et al.* Principles of nanophotonics. Taylor and Francis Group, Boca Rayton, 2008. – 222 p.
6. *Айбатов Д.Л., Морозов О.Г., Польский Ю.Е.* Основы рефлектометрии. Учебное пособие. 2-е изд. Казань, ЗАО «Новое знание», 2007. – 212 с.
7. *Ohtsu M. et al.* Progress in nano-electro-optics IV: characterization of nano-optical materials and optical near-field interactions. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005. – 206 p.
8. *Chakraborty T.* Quantum Dots. Drezden, 1999. – 348 p.
9. *J. Poulton, R. Palmer, A. M. Fuller, T. Greer, J. Eyles, W. J. Dally, and M. Horowitz,* "A 14-mW 6.25-Gb/s transceiver in 90-nm CMOS," *IEEE J. Solid-State Circuits* **42**(12), 2745-2757 (2007).

**Полное содержание лекций в электронной дистанционной части
учебного курса на сайте www.nanoobr.ru**