

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра квантовой электроники**



**Рабочая программа дисциплины  
КРЕМНИЕВАЯ ФОТОНИКА**

Направление подготовки **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения **Очная**

| Семестр                                                                     | Общий<br>объем | Виды учебных занятий (в часах)                    |                         |                           |                                                            | Промежуточная аттестация (в часах)                            |                                                   |       |                               |         |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------|-------------------------------|---------|
|                                                                             |                | Контактная работа обучающихся<br>с преподавателем |                         |                           | Самостоятельная ра-<br>бота, не включая пе-<br>риод сессии | Самостоятельная<br>подготовка к проме-<br>жуточной аттестации | Контактная работа<br>обучающихся с преподавателем |       |                               |         |
|                                                                             |                | Лекции                                            | Практические<br>занятия | Лабораторные за-<br>нятия |                                                            |                                                               | Консультации                                      | Зачет | Дифференциро-<br>ванный зачет | Экзамен |
| 1                                                                           | 2              | 3                                                 | 4                       | 5                         | 6                                                          | 7                                                             | 8                                                 | 9     | 10                            | 11      |
| 1                                                                           | 72             | 16                                                | 16                      |                           | 18                                                         | 18                                                            | 2                                                 |       |                               | 2       |
| Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них:<br>- контактная работа 36 часов |                |                                                   |                         |                           |                                                            |                                                               |                                                   |       |                               |         |
| Компетенции ПК-1                                                            |                |                                                   |                         |                           |                                                            |                                                               |                                                   |       |                               |         |

Руководитель программы  
д.ф.-м.н.

И.Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

## Содержание

|                                                                                                                                                                |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....                  | 3 |
| 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы:.....                                                                                                | 3 |
| 3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем ..... | 4 |
| 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....    | 4 |
| 5. Перечень учебной литературы.....                                                                                                                            | 6 |
| 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.....                                                                          | 6 |
| 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....                                             | 6 |
| 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....                                            | 6 |
| 9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....                                                    | 6 |
| 10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....                                                         | 7 |

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Кремниевая фотоника» является базовой в образовательной магистерской программе «Квантовые информационные технологии», содержит одну часть четырехсеместрового цикла и необходим для овладения методами создания интегрированных оптических систем.

Целью курса является овладение базовыми понятиями и основными теоретическими и экспериментальными методами современной кремниевой фотоники.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

| Результаты освоения образовательной программы (компетенции)                                                                                                                                                                               | Индикаторы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ПК-1</b> Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. | <b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.<br><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. | <b>Знать</b> основные принципы волновой оптики и свойства оптических мод, особенности распространения оптических волн в высококонтрастных структурах кремний на изоляторе (КНИ), созданных в рамках кремниевой технологии, основы кремниевой нанофотоники, основы современных фотонных технологий, предназначенных для телекоммуникаций, сенсоров, микроволновой (радио) фотоники.<br><b>Уметь</b> самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области кремниевой фотоники с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий, моделировать распространение излучения в оптических волноводах, интегрированных в кремниевые наноструктуры.<br><b>Владеть</b> методами современных фотонных технологий, предназначенных для телекоммуникаций, сенсоров, микроволновой (радио) фотоники, и множества других приложений, методами анализа параметров пассивных и активных оптических элементов. |

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы:

Дисциплина «Кремниевая фотоника» реализуется в 1 семестре 1-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Изложение материала опирается на знание студентами математики (математического анализа, функционального анализа,

методов математической физики) и физических дисциплин (знание электродинамики, геометрической, волновой и электромагнитной оптики, квантовой механики, физики конденсированного состояния, а также оптики и физики лазеров). Методы кремниевой фотоники широко используются для создания интегральных оптических систем. Этим определяется глубокая взаимосвязь данного курса с другими курсами, изучаемыми магистрантами кафедры квантовой электроники, в том числе с курсами «Полупроводниковая элементная база квантовой информатики», «Введение в физическое квантовое программирование» и «Квантовая электродинамика сверхпроводящих Джозефсоновских кубитов». Курс предшествует выполнению квалификационной работы студента по данной специализации, так как дает ему необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения научных исследований в рамках подготовки его квалификационной работы.

### 3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем

Трудоемкость дисциплины составляет: 2 зачётные единицы, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – экзамен.

| №  |  | Вид деятельности                     | Семестр |
|----|--|--------------------------------------|---------|
|    |  |                                      | 1       |
| 1  |  | Лекции, ч                            | 16      |
| 2  |  | Практические занятия, ч              | 16      |
| 3  |  | Лабораторные занятия, ч              | -       |
| 4  |  | Занятия в контактной форме, ч из них | 36      |
| 5  |  | аудиторных занятий, ч                | 32      |
| 6  |  | в электронной форме, ч               | -       |
| 7  |  | консультаций, час.                   | 2       |
| 8  |  | промежуточная аттестация, ч          | 2       |
| 9  |  | Самостоятельная работа, час.         | 36      |
| 10 |  | Всего, ч                             | 72      |

### 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

#### Программа и основное содержание лекций (16 часов)

##### 1. Введение в кремниевую фотонику. (4 часа)

Кремниевые оптические волноводы. Основные типы оптических волноводов, используемых в кремниевой фотонике. Оптические потери в кремниевых волноводах. Двойное лучепреломление в кремниевых волноводах. Элементы связи оптического волокна с малоразмерными кремниевыми оптическими волноводами.

##### 2. Кремниевые оптические устройства. (3 часа)

Пассивные кремниевые оптические устройства (решетка и адиабатические элементы связи, интерферометры Маха-Цендера и кольцевые резонаторы, оптические модуляторы, фильтры и

мультиплексоры). Разделение оптических волноводных пучков. Кремниевые оптические резонаторные структуры. Фотонные кристаллы. Перестройка длины волны оптического фильтра в кремниевой фотонике. Оптические свойства и возможное применение сегментированных периодических решеток в кремниевой фотонике.

### **3. Оптические модуляторы и источники. (3 часа)**

Оптические модуляторы в кремниевых интегрально-оптических структурах. Оптические источники в кремниевых интегрально-оптических структурах. Внешняя эффективность работы лазерного источника оптического излучения. Детектирование оптического излучения в кремниевой фотонике. Интегрально-оптические фотодетекторы.

### **4. Интеграция элементов кремниевой фотоники. (3 часа)**

Интеграция разнородных оптоэлектронных компонентов на единой кремниевой подложке. Оптическое пересечение малоразмерных кремниевых волноводов. Гибридная интеграция элементов III-V на кремнии. Компоновка элементов кремниевой фотоники.

### **5. Современные исследования в кремниевой фотонике. (3 часа)**

Перспективы создания интегральных оптических схем. Проблема скорости передачи данных. Оптическое преобразование сигналов. Применение кремниевой фотоники для телекоммуникаций.

## **Программа практических занятий (16 часов)**

### **1. Введение в кремниевую фотонику. (4 часа).**

Изучение основных интегрально-оптических схем. Расчет основных параметров волноводов. Расчет критических углов. Расчет распределения электромагнитных полей в волноводах.

### **2. Кремниевые оптические устройства. (3 часа)**

Волноводные моды. ТЕ- и ТМ-моды. Расчет параметров пассивных кремниевых оптических устройств (решетка и адиабатические элементы связи, интерферометры Маха-Цендера и кольцевые резонаторы, оптические модуляторы, фильтры и мультиплексоры). Расчет условия для разделения оптических волноводных пучков. Фотонные кристаллы и расчет параметров решеток Брэгга. Перестройка длины волны оптического фильтра в кремниевой фотонике.

### **3. Оптические модуляторы и источники. (3 часа)**

Расчет схем ввода излучения в оптическое волокно. Расчет параметров оптических модуляторов в кремниевых интегрально-оптических структурах. Анализ условий применения различных оптических источников в кремниевых интегрально-оптических структурах. Внешняя эффективность работы лазерного источника оптического излучения. Расчет параметров детекторов оптического излучения в кремниевой фотонике.

### **4. Интеграция элементов кремниевой фотоники. (3 часа)**

Оптические схемные соединения. Расчет параметров связанных оптических волноводов. Анализ различных подходов к компоновке элементов кремниевой фотоники. Невзаимные оптические соединения. Основные конфигурации оптических коммутаторов.

### **5. Современные исследования в кремниевой фотонике. (3 часа)**

Микроэлектромеханические системы. Полупроводниковые фотонные коммутаторы. Коммутация с использованием солитонов.

## **Самостоятельная работа студентов (36 часов)**

| Перечень занятий на СРС                                      | Объем, час |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях | 2          |
| Решение задач                                                | 16         |
| Подготовка к экзамену                                        | 18         |

## **5. Перечень учебной литературы.**

1. Салех, Бахаа Е. А. Оптика и фотоника. Принципы и применения: [учебное пособие: в 2 т.] / Б. Салех, М. Тейх; пер. с англ. В.Л. Дербова. Долгопрудный: Интеллект, 2012.; 25 см. Т.1. 2012. 759 с.: ил., [4] л. ил. ISBN 978-5-91559-038-9. (3 экз)
2. Салех, Бахаа Е. А. Оптика и фотоника. Принципы и применения: [учебное пособи: в 2 т.] / Б. Салех, М. Тейх; пер. с англ. В.Л. Дербова. Долгопрудный: Интеллект, 2012.; 25 см. Т.2. 2012. 780 с.: ил., [8] л. ил. ISBN 978-5-91559-135-5. (3 экз)
3. Панов, М. Ф. Физические основы фотоники: учебное пособие / М. Ф. Панов, А. В. Соломонов. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 564 с. — ISBN 978-5-8114-2319-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212564>

## **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.**

1. G T Reed & AP Knights, "Кремниевая фотоника: Введение" (Silicon Photonics: An Introduction" (Wiley 2004)

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

### **7.1 Современные профессиональные базы данных**

Не используются

### **7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MSOffice.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### ***Текущий контроль***

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем контроля посещения лекционных и практических занятий, опросом в начале каждой лекции и практического занятия по пройденному материалу, проверкой решения задач студентами.

#### ***Промежуточная аттестация***

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области кремниевой фотоники в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в устной форме.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### **Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины**

Таблица 10.1

| <b>Индикатор</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>Результат обучения по дисциплине</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Оценочные средства</b>              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. | <b>Знать</b> основные принципы волноводной оптики и свойства оптических мод, особенности распространения оптических волн в высококонтрастных структурах кремний на изоляторе (КНИ), созданных в рамках кремниевой технологии, основы кремниевой нанофотоники, основы современных фотонных технологий, предназначенных для телекоммуникаций, сенсоров, микроволновой (радио) фотоники. | Опрос в начале каждой лекции, экзамен. |

|                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <p><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> | <p><b>Уметь</b> самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области кремниевой фотоники с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий, моделировать распространение излучения в оптических волноводах, интегрированных в кремниевые наноструктуры.<br/> <b>Владеть</b> методами современных фотонных технологий, предназначенных для телекоммуникаций, сенсоров, микроволновой (радио) фотоники, и множества других приложений, методами анализа параметров пассивных и активных оптических элементов.</p> | <p>Опрос в начале каждой лекции, экзамен.</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|

## 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Кремниевая фотоника».

Таблица 10.2

| Критерии оценивания результатов обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Шкала оценивания                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| <p><u>Сдача заданий:</u><br/>выполнено и сдано не менее 90% задач в течение семестра</p> <p><u>Экзамен:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- дан развернутый ответ на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена (или средняя оценка за две потоковые контрольные работы) не ниже «хорошо»,</li> <li>– точность и корректность применения терминов и понятий;</li> <li>- умение делать выводы и обобщения,</li> <li>– наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.</li> </ul> <p>В ответах на вопросы обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.</p> | <p><i>Отлично</i></p>           |
| <p><u>Сдача заданий:</u><br/>выполнено и сдано не менее 80% задач в течение семестра</p> <p><u>Экзамен:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- дан правильный ответ на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена (или средняя оценка за две потоковые контрольные работы) не ниже «удовлетворительно»,</li> <li>– наличие правильных ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.</li> </ul> <p>В ответах на вопросы обучающийся мог допустить незначительные ошибки.</p>                                                                                                               | <p><i>Хорошо</i></p>            |
| <p><u>Сдача заданий:</u><br/>выполнено и сдано не менее 70% задач в течение семестра</p> <p><u>Экзамен:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- дан правильный ответ на один вопрос билета и оценка на письменной части экзамена (или хотя бы одна из двух оценок за потоковые контрольные работы) не ниже «удовлетворительно»,</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p><i>Удовлетворительно</i></p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| – наличие правильных ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.                                                                                                                                                                                        |                            |
| <u>Сдача заданий:</u><br>сдано менее 60% задач в течение семестра<br><u>Экзамен:</u><br>- не даны правильные ответы на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена «неудовлетворительно»,<br>– не отвечает на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. | <i>Неудовлетворительно</i> |

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### Задачи для самостоятельного решения

10.2.1.1. Свет, имеющий в свободном пространстве длину волны 870 нм, направляется тонкой плоской пленкой толщины 2 мкм с показателем преломления 1,6, которую окружает среда с показателем преломления 1,4. Определите критический угол, числовую апертуру и минимальный угол прием для света, падающего из воздуха.

10.2.1.2. Прямоугольный диэлектрический волновод имеет квадратное сечение площадью 0.01 кв.мм. и числовую апертуру 0.1. Постройте график числа ТЕ мод как функции частоты излучения.

10.2.1.3. Определите длину волновода, при которой он действует, как 50% делитель.

10.2.1.4. Определите коэффициенты связи между двумя идентичными пластинчатыми волноводами толщиной 0,5 мкм, расстояние между которыми 1 мкм, показатели преломления 1,48, в среде с показателем преломления 1,46 при длине волны 850 нм. Считайте, что оба волновода работают на ТЕ-моды  $cm=0$ .

10.2.1.5. Какова наибольшая толщина планарного симметричного диэлектрического волновода с показателями преломления 1,5 и 1,46, для которого существует только одна ТЕ-мода на длине волны 1300 нм?

10.2.1.6. В планарном симметричного диэлектрического волновода с показателями преломления 1,5 и 1,46, для которого существует только одна ТЕ-мода на длине волны 1300 нм, толщина слоя при этом максимальна. Какого число мод, если при той же толщине слоя заменить длину волны на 850 нм?

10.2.1.7. Постройте график ТЕ-моды  $cm=0$  для пластинчатого волновода со следующими параметрами: показатели преломления 1,48 и 1,46, толщина 0,5 мкм, длина волны 850 нм. Определите фактор ограничения.

10.2.1.8. Электрооптический интерферометр Маха-Цендера используется в качестве перекрестного коммутатора. Приложение полуволнового напряжения приводит к фазовому сдвигу на  $\pi$ . Если коммутатор установлен в параллельное состояние при напряжении, равном нулю, какое напряжение нужно приложить для его переключения в перекрестное состояние?

#### Примеры билетов к экзамену

### **Билет 1**

1. Главный тип оптических волноводов, используемых в кремниевой фотонике? Основные свойства волноводов кремниевой фотоники.
2. Физическая природа и особенности оптических потерь в кремниевых волноводах.

### **Билет 2**

1. Причина и особенности двойного лучепреломления в кремниевой фотонике.
2. Эффективное соединение малоразмерного кремниевого волновода с оптическим волокном.

### **Билет 3**

1. Пассивные оптические элементы кремниевой фотоники.
2. Разделение оптических волноводных пучков на два пучка, распространяющихся в двух раздельных волноводах.

### **Билет 4**

1. Главное применение интерферометра Маха-Цендера в кремниевой фотонике.
2. Оптический демультиплексор на основе кремниевой фотоники.

### **Билет 5**

1. Резонаторные структуры в кремниевой фотонике.
2. Свойства фотонных кристаллов, используемых в кремниевой фотонике.

### **Билет 6**

1. Оптические модуляторы в системах кремниевой фотоники.
2. Источники оптического излучения на основе кремниевой фотоники.

### **Билет 7**

1. Основные физические эффекты, от которых зависит внешняя эффективность работы лазерного источника оптического излучения.
2. Регистрация мощности оптического излучения в кремниевом волноводе

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.