

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан
А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Основы фотоники

по направлению подготовки

12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

Направленность (профиль) подготовки:
Приборы и устройства нанофотоники

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
А.П. Коханенко

Председатель УМК
А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблемы, формулировать задачи, определять пути их решения и оценивать эффективность выбора и методов правовой защиты результатов интеллектуальной деятельности с учетом специфики исследований и разработки приборов и систем, технологий производства оптических сред, материалов и устройств фотоники и оптоинформатики.

ОПК-3 Способен приобретать и использовать новые знания в своей предметной области на основе информационных систем и технологий, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач.

ПК-1 Способен к анализу состояния научно-технической проблемы, технического задания и постановке цели и задач проводимых научных исследований на основе подбора и изучения литературных и патентных источников.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Представляет современную научную картину мира, выявляет естественнонаучную сущность проблемы

ИОПК 1.2 Формулирует задачи, определяет пути их решения и оценивает эффективность выбора

ИОПК 3.1 Осуществляет информационный поиск и использует новые знания в своей предметной области

ИОПК 3.2 Предлагает новые идеи и подходы к решению инженерных задач с использованием информационных систем и технологий

ИПК 1.1 Составляет план поиска научно-технической информации по разработке оптических систем связи

ИПК 1.2 Проводит поиск и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по разработке оптических систем связи

ИПК 1.3 Представляет информацию в систематизированном виде, оформляет научно-технические отчёты

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины **Современные проблемы фотоники** являются:

- ознакомление обучающихся с современными проблемами в области фотоники и их практическом применении при создании новых элементов фотоники;
- формирование системы взглядов на роль нанoeлектроники и нанofотоники в развитии современного приборостроения.

2. Место дисциплины в структуре магистерской программы

Данная дисциплина относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины (модули) профессионального цикла магистерской программы **Приборы и устройства нанofотоники**».

Для освоения дисциплины студент должен обладать:

- способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- способностью владеть методикой разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в области микро и нанoeлектроники;
- способностью оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследования;
- способностью проектировать нанoeлементы и наноустройства фотоники, основанные на различных физических принципах действия;

– способностью разрабатывать элементы и устройства фотоники и оптоинформатики на основе существующей элементной базы нанофотоники и наноэлектроники.

От студента требуется знания из общей физики, физики твердого тела, квантовой механики, нелинейной оптики и оптического материаловедения, приобретенные в процессе бакалаврской подготовки.

Освоение данной дисциплины необходимо для проведения научно-исследовательской работы в области фотоники, включая нанофотонику.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Способность к абстрактному мышлению, обобщению, анализу, систематизации и прогнозированию (ОК-1);

способность действовать в нестандартных ситуациях, нести ответственность за принятые решения (ОК-2);

способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-3);

способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки (ОПК-1);

способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы (ОПК-2);

способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере (ОПК-3);

готовность обосновать актуальность целей и задач проводимых научных исследований (ПК-1);

способность владеть методикой разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере (ПК-2);

способность оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследования (ПК-3);

способность владеть навыками компьютерного моделирования информационных сигналов и систем, синтеза кодов, количественного анализа характеристик информационных систем (ПК-4);

способность владеть приемами практического решения задач выбора и оценки эффективности различных архитектурных и структурных решений при компьютерном моделировании (ПК-5);

способность применять современные методики исследования основных физико-химических свойств оптических стекол и кристаллов, методики прогнозирования оптических и физико-химических параметров новых материалов (ПК-7);

способность разрабатывать фотонное устройство на основе элементной базы, выбирать необходимое оборудование и способ контроля параметров устройства (ПК-8);

способность владеть процедурами защиты интеллектуальной собственности (ПК-10);

способность готовить и согласовывать технические задания на проектные разработки (ПК-12);

способность участвовать в монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов (ПК-17);

способность оценивать инновационно-технологические риски при внедрении новых технологий (ПК-21);

готовность обосновать актуальность целей и задач проводимых научных исследований в области разработки, производства и эксплуатации приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурированных материалов, а также контроля их параметров (ПСК-1);

способность владеть методикой разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в области разработки, производства и

эксплуатации приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурированных материалов, а также контроля их параметров (ПСК-2);

способность оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследования в области разработки, производства и эксплуатации приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурированных материалов, а также контроля их параметров (ПСК-3);

способность применять современные методики исследования и прогнозирования оптических и физико-химических свойств наноструктурированных материалов (ПСК-4);

способность разрабатывать фотонное устройство, использующее элементную базу на основе наноструктурированных материалов, выбирать необходимое оборудование и способ контроля параметров устройства (ПСК-5);

способность участвовать в монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов, использующих элементную базу на основе наноструктурированных материалов (ПСК-7).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:**

базовые концепции физики низкоразмерных фотонных систем как междисциплинарной дисциплины, развивающейся на самом передовом рубеже современной физики твердого тела и оптики;

основные закономерности взаимодействия фотонов с низкоразмерными системами;

основные направления практического применения уникальных физических характеристик наноструктур в фотонике.

- **Уметь:**

строить математические модели низкоразмерных фотонных систем и анализировать эти модели;

рассчитывать оптические свойства фотонных структур,

адекватно интерпретировать и обобщать полученные результаты.

- **Владеть:**

методами оценки параметров реализуемых устройств нанофотоники;

методами проектирования приборов наноэлектроники и нанофотоники.

4. Структура и содержание дисциплины

1. Оптика фотонов.

Фотон. Энергия фотона. Поляризация фотона. Положение фотона. Импульс фотона. Интерференция фотона. Временная локализация фотона. Поток фотонов. Средний поток фотонов. Случайность потока фотонов. Статистика числа фотонов. Случайное разбиение фотонных потоков. Квантовые состояния света. Когерентные состояния света. Сжатые состояния света.

2. Фотоны и атомы.

Уровни энергии. Атомы. Молекулы. Твердые тела. Заселенность уровней энергии. Распределение Больцмана. Распределение Ферми-Дирака. Взаимодействие фотонов с атомами. Взаимодействие одномодового света с атомом. Спонтанное излучение. Вынужденное излучение и поглощение. Уширение линий. Усиленное спонтанное излучение. Лазерное охлаждение атомов и лазерные ловушки. Люминесценция и рассеяние света. Виды люминесценции. Фотолюминесценция. Рассеяние света.

3. Оптика резонаторов.

Резонаторы с плоскими зеркалами. Моды резонатора. Внеосевые моды резонатора. Резонаторы со сферическими зеркалами. Удержание лучей. Гауссовы моды. Резонансные частоты. Моды Гаусса-Эрмита. Конечные апертуры и дифракционные потери. Дву- и трехмерные резонаторы. Двумерные прямоугольные резонаторы. Круговые резонаторы и моды шепчущей галереи. Трехмерные резонаторы в виде прямоугольной полости.

Микрорезонаторы. Прямоугольные микрорезонаторы. Резонаторы в виде микростолбиков, микродисков и микроторов. Микросферические резонаторы. Фотонно-кристаллические микрорезонаторы.

4. Оптика волноводов.

Планарные зеркальные волноводы. Планарные диэлектрические волноводы. Волноводные моды. Распределения полей. Дисперсионные соотношения и групповые скорости. Двумерные волноводы. Фотонно-кристаллические волноводы. Оптическая связь в волноводах. Устройства ввода. Связанные волноводы. Периодические волноводы. Металлические волноводы с размерами меньше длины волны (плазмоники).

5. Оптика фотонных кристаллов.

Оптика многослойных диэлектрических сред. Матричная теория многослойной оптики. Эталон Фабри-Перо. Решетка Брэгга. Одномерные фотонные кристаллы. Моды Блоха. Матричная оптика периодических сред. Фурье-оптика периодических сред. Границы между периодическими и однородными средами. Двумерные и трехмерные фотонные кристаллы. Двумерные фотонные кристаллы. Трехмерные фотонные кристаллы.

6. Оптика полупроводников.

Полупроводники. Энергетические зоны и носители заряда. Полупроводниковые материалы. Концентрации электронов и дырок. Генерация, рекомбинация и инжекция. Переходы. Гетеропереходы. Квантово-размерные структуры. Взаимодействие фотонов с носителями заряда. Взаимодействие фотонов с объемными полупроводниками. Межзонные переходы в объемных полупроводниках. Поглощение, испускание и усиление в объемных полупроводниках. Взаимодействие фотонов с квантово-размерными структурами. Показатель преломления.

7. Полупроводниковые источники фотонов.

Светоизлучающие диоды. Инжекционная электролюминесценция. Характеристики СИД. Материалы и структуры устройств. Полупроводниковые оптические усилители. Усиление и ширина полосы. Накачка. Гетероструктуры. Структуры с квантовыми ямами. Сверхлюминесцентные диоды. Лазерные диоды. Усиление, обратная связь и генерация. Мощность и коэффициент преобразования. Спектральные и пространственные характеристики. Квантово-размерные лазеры и лазеры с микрорезонаторами. Квантово-размерные лазеры. Лазеры с микрорезонаторами. Материалы и структуры устройств.

8. Полупроводниковые детекторы фотонов.

Фотоприемники. Внешний и внутренний фотоэффект. Общие свойства. Фотопроводники. Собственные полупроводники. Примесные материалы. Гетероструктуры. Фотодиоды. *p-n*-Фотодиод. *p-i-n*-Фотодиод. Гетероструктуры. Лавинные фотодиоды. Принципы действия. Усиление и токовая чувствительность. Время отклика. Лавинные диоды для регистрации одиночных фотонов (SPAD). Матричные детекторы. Шум в фотодетекторах. Фотоэлектронный шум. Шум усиления. Шум схемы. Отношение сигнал-шум и обнаружительная способность приемника. Частота появления ошибочных битов и обнаружительная способность приемника. Фотоприемники на основе квантово-размерных структур. Солнечные элементы на наногетероструктурах.

9. Оптические межсоединения и коммутаторы.

Оптические межсоединения. Межсоединения в свободном пространстве на основе рефракции и дифракции. Волноводные межсоединения. Невзаимные оптические межсоединения. Оптические межсоединения в микроэлектронике. Фотонные коммутаторы. Архитектуры пространственных коммутаторов. Конструкции оптических пространственных коммутаторов. Полностью оптические пространственные коммутаторы. Коммутаторы с разделением по длине волны. Коммутаторы с разделением по времени. Коммутаторы пакетов. Оптические логические элементы. Бистабильные системы. Основы оптической бистабильности. Бистабильные оптические устройства.

10. Волоконно-оптические системы связи.

Волоконно-оптические компоненты. Оптические волокна. Источники для оптических передатчиков. Оптические усилители. Детекторы для оптических приемников. Волоконно-оптические системы связи. Эволюция волоконно-оптических систем связи. Эксплуатационные показатели оптических волоконных систем. Системы, ограниченные по ослаблению и дисперсии. Компенсация ослабления и дисперсии и управление ими. Солитонная оптическая связь. Модуляция и мультиплексирование. Модуляция. Мультиплексирование. Мультиплексирование с разделением по длине волны (WDM). Волоконно-оптические сети. Топологии сетей и коллективный доступ. Сети, использующие мультиплексирование с разделением по длине волны (WDM). Когерентная оптическая связь.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы 108 часов

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	Лаб. работы	семинары	Самост. работа	
1	Оптика фотонов	2	1	2	-	2	4	Устный опрос
2	Фотоны и атомы	2	1-2	2	-	2	4	Устный опрос
3	Оптика резонаторов	2	2-4	1	-	2	4	Устный опрос
4	Оптика волноводов	2	4-6	1	-	2	3	Устный опрос
5	Оптика фотонных кристаллов	2	6-8	1	-	2	3	Устный опрос
6	Оптика полупроводников	2	8-10	1	-	2	3	Устный опрос
7	Полупроводниковые источники фотонов	2	10-12	1	-	4	3	Устный опрос
8	Полупроводниковые детекторы фотонов	2	12-14	1	-	4	3	Устный опрос
9	Оптические межсоединения и коммутаторы	2		1	-	2	3	Устный опрос
10	Волоконно-оптические системы связи	2		1	-	2	6	Устный опрос
ИТОГО				12	-	24	36	

5. Образовательные технологии

При реализации дисциплины используются проблемные лекции и лекции-дискуссии. При проведении семинаров предусматривается участие ведущих специалистов НОЦ «Функциональные материалы радио- и оптоэлектроники», лаборатории центра превосходства НИЧ ТГУ «Наноэлектроника и нанофотоника».

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Видами самостоятельной работы обучающегося по данной дисциплине являются:

- подготовка ответов на контрольные вопросы;
- подготовка докладов на семинарах;
- подготовка к зачету.

Темы семинаров

1. Свойства фотонов.
2. Взаимодействие фотона с атомом.
3. Свойства микрорезонаторов. Фотонные микрорезонаторы.
4. Фотонно-кристаллические волноводы.
5. Двумерные и трехмерные фотонные кристаллы.
6. Взаимодействие фотонов с квантово-размерными структурами.
7. Лазеры с микрорезонаторами. Квантово-размерные лазеры.
8. Фотоприемники на основе квантово-размерных структур. Солнечные элементы на наногетероструктурах.
9. Фотонные коммутаторы.
10. Солитонная оптическая связь.

Перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы

1. Определите энергию и импульс фотона по длине волны излучения.
2. Какие виды распределений описывают фотонный поток.
3. Как описывается поляризация фотона.
4. Как определяется вероятность наблюдения фотона.
5. Как определяются спиновый и орбитальный импульс фотона.
6. Каково соотношение неопределенности между энергией и временем регистрации фотона.
7. Определите по формуле уровни энергии водородоподобного атома.
8. Определите по формуле вращательные и колебательные уровни энергии двухатомной молекулы.
9. Нарисуйте зонную диаграмму полупроводника.
10. Введите понятие и нарисуйте квантовые ямы и сверхрешетки в полупроводниках.
11. Какие распределения используются в статистике носителей заряда в полупроводниках.
12. Какие оптические переходы характеризуют поглощение, спонтанное и вынужденное излучение и в чем их различие.
13. Поясните виды уширений спектральных линий.
14. Назовите виды люминесценции излучения.
15. Какие виды оптических резонаторов известны.
16. Рассчитайте резонансные частоты резонаторов.
17. Назовите источники потерь резонаторов.
18. Какие соотношения описывают межмодовое расстояние и спектральную ширину в резонаторе.
19. Какие существуют типы двумерных и трехмерных резонаторов.
20. В чем различие существующих видов микрорезонаторов.
21. Нарисуйте распределение поля в различных модах зеркального волновода.
22. Определите следующие параметры зеркального волновода: число мод, частота отсечки.
23. В чем отличие характеристик планарных диэлектрических от зеркальных волноводов.
24. Какие виды двумерных волноводов известны.
25. Нарисуйте дисперсионную диаграмму фотонного кристалла.
26. Определите различие одномерных, двумерных и трехмерных фотонных кристаллов.
27. Введите понятие фотонной запрещенной зоны.
28. Какие существуют энергетические зоны в полупроводниках.

29. Определите квазиуровни Ферми по заданным концентрациям электронов и дырок.
30. Напишите выражение для рекомбинационного времени жизни в полупроводнике.
31. Рассчитайте собственные значения энергии в бесконечно глубокой квантовой яме шириной d .
32. В чем различие множественных квантовых ям и сверхрешеток.
33. Нарисуйте зонные диаграммы квантовых проводов и точек.
34. Чем определяются внутренний и внешний квантовый выход светодиодов.
35. Какие механизмы рекомбинации носителей заряда известны.
36. Нарисуйте конструкции светоизлучающих диодов.
37. Какие виды накачки светодиодов употребляются на практике.
38. Опишите конструктивные особенности лазеров на квантовых ямах, точках, проволоках.
39. Опишите принципы действия квантово-каскадного лазера и лазера с микрорезонатором.
40. Каковы отличия в принципе действия фотонных детекторов и тепловых приемников.
41. Каковы основные параметры фотоприемников.
42. Назовите источники шумов в фотодетекторах.
43. Чем ограничена предельная обнаружительная способность фотодетектора.
44. Какие существуют невзаимные оптические соединительные устройства.
45. Охарактеризуйте волноводные межсоединения.
46. Приведите конструкции схемных оптических межсоединений.
47. Какие виды оптических маршрутизаторов известны.
48. Каковы основные параметры фотонных коммутаторов.
49. Опишите основные конфигурации оптических коммутаторов.
50. Опишите фундаментальные ограничения полностью оптических коммутаторов.
51. Каковы основы оптической бистабильности.
52. Какие бистабильные оптические устройства известны.
53. Охарактеризуйте микроструктурные и фотонно-кристаллические волокна.
54. Оптическая связь на основе солитонов.

Перечень вопросов к зачету

1. Параметры фотона: энергия, поляризация, импульс.
2. Параметры фотона: положение, интерференция, временная локализация.
3. Уровни энергии атомов, молекул, твердых тел.
4. Взаимодействие одномодового света с атомом.
5. Вынужденное и спонтанное излучение и поглощение света.
6. Лазерное охлаждение атомов и лазерные ловушки.
7. Люминесценция и рассеяние света.
8. Моды резонатора с плоскими зеркалами. Внеосевые моды.
9. Моды и резонансные частоты резонатора со сферическими зеркалами.
10. Сравнительное описание двумерных, круговых и трехмерных резонаторов.
11. Типы микрорезонаторов; сравнение их характеристик.
12. Свойства зеркальных волноводов.
13. Моды и поля в планарных диэлектрических волноводах.
14. Фотонно-кристаллические волноводы.
15. Оптическая связь в волноводах: устройство ввода, связанные волноводы, периодические волноводы.
16. Квантово-размерные структуры в полупроводниках: уровни энергии, плотность состояний. Сравнение с объемными полупроводниками.
17. Взаимодействие фотонов с квантово-размерными структурами. Сравнение с объемными полупроводниками.
18. Светоизлучающие диоды.

19. Полупроводниковые оптические усилители.
20. Лазерные диоды.
21. Нанолазеры и лазеры с микрорезонаторами.
22. Фотопроводниковые детекторы.
23. Фотодиоды: $p-i-n$, гетероструктуры. Лавинные фотодиоды.
24. Лавинные фотодиоды для регистрации одиночных фотонов.
25. Шумы в фотодетекторах. Обнаружительная способность и частота появления ошибочных битов.
26. Оптические межсоединения: невзаимные, волноводные.
27. Пассивные оптические маршрутизаторы.
28. Фотонные коммутаторы.
29. Оптические логические элементы.
30. Волоконно-оптические компоненты.
31. Волоконно-оптические системы связи.
32. Волоконно-оптические сети.
33. Модуляция и мультиплексирование ВОСС.
34. Когерентная оптическая связь.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. Оптика и фотоника. Принципы и применение. Пер. с англ.: Учебное пособие. В 2 т. Т. 1 / Б. Салех, М. Тейх – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 760 с.
2. Оптика и фотоника. Принципы и применение. Пер. с англ.: Учебное пособие. В 2 т. Т. 2 / Б. Салех, М. Тейх – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 784 с.
3. [Высокоэнергетичная плазменная электроника и фотоника Ч. 1 / Ю. А. Журавлев, Н. Н. Пилюгин, Ю. Ю. Протасов.](#) – Москва: Янус-К. 2010. – 767 с.
4. [Фотоника биоминеральных и биомиметических структур и материалов / Ю. Н. Кульчин, С. С. Вознесенский, А. В. Безвербный, В. П. Дзюба.](#) – Москва: Физматлит. 2011. – 223 с.
5. [Физические основы полупроводниковой фотоэлектроники: учебное пособие / А. В. Войцеховский, И. И. Ижнин, В. П. Савчин, Н. М. Вакив.](#) – Томск: Издательский Дом ТГУ. 2013. – 560 с.
6. [Конструирование точных \(оптических\) приборов: учебное пособие / С. М. Латыев.](#) – Санкт-Петербург: Лань. 2015. – 554 с.
7. [Фотоэлектроника Ч. 1 / В. А. Астапенко, С. М. Мовнин, Ю. Ю. Протасов; под общ. ред. И. Б. Федорова.](#) – Москва: Янус-К. 2010. – 653 с.
8. [Фотоэлектроника Ч. 2 / В. А. Астапенко, С. М. Мовнин, Ю. Ю. Протасов ; под общ. ред. И. Б. Федорова.](#) – Москва: Янус-К. 2011. – 663 с.
9. [Оптоэлектроника Ч. 1 / О. Н. Ермаков, А. Н. Пихтин, Ю. Ю. Протасов, с. А. Тарасов; под общ. ред. И. Б. Федорова.](#) – Москва: Янус-К. 2010. – 699 с.
10. [Оптоэлектроника Ч. 2 / О. Н. Ермаков, А. Н. Пихтин, Ю. Ю. Протасов, с. А. Тарасов; под общ. ред. И. Б. Федорова.](#) – Москва: Янус-К. 2011. – 611 с.
11. [Оптоэлектроника и нанофотоника: учебное пособие / А. Н. Игнатов.](#) – Санкт-Петербург: Лань. 2011. – 538 с.

б) дополнительная литература

1. Ильин В.И., Мусихин С.Ф., Шик А.Я. Варизонные полупроводники и гетероструктуры. – СПб.: Наука, 2000. – 100 с.
2. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика наноразмерных систем. – СПб.: Наука, 2001. – 160 с.

3. Воробьев Л.Е., Ивченко Е.Л., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А. Оптические свойства наноструктур. Учебное пособие. – СПб.: Наука, 2001. – 188 с.
4. Воробьев Л.Е., Данилов С.Н., Зегря Г.Г., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А., Ясенович И.Н., Берегулин Е.В. Фотоэлектрические явления в полупроводниках и размерно-квантовых структурах. Учебное пособие. – СПб.: Наука, 2001. – 248 с.
5. Гапоненко С.В., Розанов Н.Н., Ивченко Е.Л., Федоров А.В., Бонч-Бруевич А.М., Вартанян Т.А., Пржибельский С.Г. Оптика наноструктур. – СПб.: Недра, 2005. – 326 с.
6. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. – М.: Техносфера, 2004. – 592 с.
7. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2005. - 336 с.
8. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005. – 134 с.
9. Кравченко А.Ф., Овсяк В.Н. Электронные процессы в твердотельных системах пониженной размерности. – Новосибирск: НГУ, 2000. – 448 с.
10. Войцеховский А.В., Кульчицкий Н.А., Средин В.Г. Оптоэлектронные приборы на квантово-размерных структурах. Учебное пособие. – М.: Изд. Мин. обороны, 2000. – 176 с.
11. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанoeлектроники. Учебное пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2004. – 496 с.

в) интернет ресурсы

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>;
2. Электронная библиотека ТГУ: <http://www.lib.tsu.ru/ru>;
3. Электронный ресурс SPIE Digital Library: <http://www.spiedigitallibrary.org>;
4. Электронный ресурс ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com/>;
5. Электронный ресурс SpringerLink: <http://link.springer.com/>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

При освоении дисциплины используются видеофильмы и презентации по отдельным разделам дисциплины, компьютерные классы РФФ ТГУ с доступом к ресурсам Научной библиотеки ТГУ, в том числе отечественным и зарубежным периодическим изданиям, и сети Интернет.