

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики**

В.В. Иванов

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Материалы квантовой электроники
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра квантовой электроники
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Г.М. Зверев, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой электроники 29.05.2020

Аннотация

Курс "Материалы квантовой электроники" предусматривает ознакомление слушателей с основами выбора и принципами использования материалов квантовой электроники и подготовка к изучению других специализированных курсов по квантовой электронике.

Задачи курса:

- приобретение слушателями теоретических и конкретных знаний о свойствах активных и пассивных материалов, используемых при создании газовых, твердотельных и полупроводниковых лазеров и приборов на их основе, физических принципах, лежащих в основе подбора таких материалов;
- приобретение знаний в области особенностей получения материалов квантовой электроники с заданными свойствами, необходимыми для создания лазеров различных типов и различного назначения.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- принципы формирования электронных уровней изолированных атомов, молекул, примесных кристаллов и полупроводников
- схему энергетических уровней атома водорода и его спектр
- идеи формирования электронных оболочек многоэлектронных атомов
- схему энергетических уровней неон - гелиевого лазера и его особенности
- особенности спектров элементов с незаполненными d- и f- оболочками и их использование в лазерах
- свойства основных материалов для твердотельных лазеров: рубина, алюмо- иттриевого граната с неодимом, корунда с титаном
- специфику использования полупроводников для генерации лазерного излучения
- примеры эффективных волоконных лазеров с диодной накачкой
- примеры использования лазерных материалов для генерации УФ видимого и ИК излучения

Уметь:

- выбирать необходимые материалы для разработки лазеров различного назначения
- использовать различные материалы для создания оптических схем, трактов, вспомогательных элементов, в том числе многослойных диэлектрических зеркал, фотоприемников, в лазерных приборах различного назначения
- оценивать возможности использования различных материалов квантовой электроники в поставленных задачах

Владеть:

- навыками работы с научно-технической литературой в области материалов квантовой электроники
- математическим аппаратом, необходимым для проведения исследований различных материалов
- методами оптических измерений свойств материалов квантовой электроники

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Роль активных, нелинейных, управляющих материалов в лазерах различных типов
2. Спектральные свойства атомов, молекул и кристаллов. Атом водорода
3. Многоэлектронные атомы. Спектральные термы. Тонкая структура термов
4. Периодическая система элементов. Элементы переходных групп с частично незаполненными оболочками
5. Эффекты Штарка и Зеемана
6. Уширение спектральных линий
7. Активные материалы для твердотельных лазеров (ТТЛ)
8. Безызлучательная релаксация электронных уровней и передача энергии возбуждения
9. Физические свойства лазерных кристаллов

10. Многослойные диэлектрические покрытия
11. Материалы для полупроводниковых лазеров
12. Жидкости в квантовой электронике
13. Специфика требований к материалам ТТЛ с диодной накачкой
14. Материалы для фемтосекундных лазеров
15. Среды для УФ и ВУФ лазеров

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление слушателей с основами выбора и принципами использования материалов квантовой электроники и подготовка к изучению других специализированных курсов по квантовой электронике.

Задачи дисциплины

- приобретение слушателями теоретических и конкретных знаний о свойствах активных и пассивных материалов, используемых при создании газовых, твердотельных и полупроводниковых лазеров и приборов на их основе, физических принципах, лежащих в основе подбора таких материалов;
- приобретение знаний в области особенностей получения материалов квантовой электроники с заданными свойствами, необходимыми для создания лазеров различных типов и различного назначения.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принципы формирования электронных уровней изолированных атомов, молекул, примесных кристаллов и полупроводников;
- схему энергетических уровней атома водорода и его спектр;
- идеи формирования электронных оболочек многоэлектронных атомов;
- схему энергетических уровней неон - гелиевого лазера и его особенности;
- особенности спектров элементов с незаполненными d- и f- оболочками и их использование в лазерах;
- свойства основных материалов для твердотельных лазеров: рубина, алюмо- иттриевого граната с неодимом, корунда с титаном;
- специфику использования полупроводников для генерации лазерного излучения;
- примеры эффективных волоконных лазеров с диодной накачкой;
- примеры использования лазерных материалов для генерации УФ видимого и ИК излучения.

уметь:

- выбирать необходимые материалы для разработки лазеров различного назначения;
- использовать различные материалы для создания оптических схем, трактов, вспомогательных элементов, в том числе многослойных диэлектрических зеркал, фотоприемников, в лазерных приборах различного назначения;
- оценивать возможности использования различных материалов квантовой электроники в поставленных задачах.

владеть:

- навыками работы с научно-технической литературой в области материалов квантовой электроники;
- математическим аппаратом, необходимым для проведения исследований различных материалов;
- методами оптических измерений свойств материалов квантовой электроники.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Роль активных, нелинейных, управляющих материалов в лазерах различных типов	4			2
2	Спектральные свойства атомов, молекул и кристаллов. Атом водорода	6			2
3	Многоэлектронные атомы. Спектральные термы. Тонкая структура термов	6			2
4	Периодическая система элементов. Элементы переходных групп с частично незаполненными оболочками	6			4
5	Эффекты Штарка и Зеемана	4			2
6	Уширение спектральных линий	2			2
7	Активные материалы для твердотельных лазеров (ТТЛ)	2			1
8	Безызлучательная релаксация электронных уровней и передача энергии возбуждения	4			1
9	Физические свойства лазерных кристаллов	4			2
10	Многослойные диэлектрические покрытия	4			2
11	Материалы для полупроводниковых лазеров	4			2
12	Жидкости в квантовой электронике	4			2
13	Специфика требований к материалам ТТЛ с диодной накачкой	4			2
14	Материалы для фемтосекундных лазеров	4			2
15	Среды для УФ и ВУФ лазеров	2			2
Итого часов		60			30
Подготовка к экзамену		0 час.			

Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.
--------------------	--------------------

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Роль активных, нелинейных, управляющих материалов в лазерах различных типов

Роль активных. нелинейных, управляющих и других сред и материалов в лазерах различных типов.

2. Спектральные свойства атомов, молекул и кристаллов. Атом водорода

Спектральные свойства различных атомов, молекул и кристаллов. Атом водорода. Уровни энергии и волновые функции. Правила отбора. Тонкая структура спектральных линий атома водорода. Спектры водородоподобных ионов.

3. Многоэлектронные атомы. Спектральные термы. Тонкая структура термов

Многоэлектронные атомы. Самосогласованное поле. Электростатическое и спин-орбитальное взаимодействие электронов в атомах. Спектральные термы. Тонкая структура термов.

4. Периодическая система элементов. Элементы переходных групп с частично незаполненными оболочками

Спектры многоэлектронных атомов. Атом гелия. Периодическая система элементов. Обзор спектров элементов различных групп периодической системы. Роль элементов с незаполненными d и f-оболочками как активных ионов твердотельных лазеров.

5. Эффекты Штарка и Зеемана

Взаимодействие атомов с внешними электрическим и магнитным полями. Эффекты Штарка и Зеемана. Расщепление спектральных линий.

6. Уширение спектральных линий

Уширение спектральных линий переходов в атомах в газообразном и конденсированном состояниях. Уширение линий в кристаллах.

7. Активные материалы для твердотельных лазеров (ТТЛ)

Активные материалы для твердотельных лазеров: рубин, алюмо-иттриевый гранат с неодимом, корунд с титаном и др. Основные особенности.

Семестр: 8 (Весенний)

8. Безызлучательная релаксация электронных уровней и передача энергии возбуждения

Безызлучательная релаксация энергии возбуждения в активированных кристаллах. Её роль в лазерах. Безызлучательная передача энергии возбуждения от одних ионов (атомов) другим. Кристаллы, коактивированные хромом и неодимом как активные элементы твердотельных лазеров. Концентрационное тушение люминесценции.

9. Физические свойства лазерных кристаллов

Основные физические свойства кристаллов для твердотельных лазеров: теплопроводность, термооптические характеристики, стойкость к лазерному излучению.

10. Многослойные диэлектрические покрытия

Показатель преломления прозрачных материалов. Многослойные диэлектрические покрытия в лазерах различных типов. Методы их получения.

11. Материалы для полупроводниковых лазеров

Металлы, полупроводники и диэлектрики. Особенности их спектральных и физических свойств. Материалы для полупроводниковых лазеров, структуры и конструкции таких лазеров, основные параметры и перспективы.

12. Жидкости в квантовой электронике

Жидкости в квантовой электронике: неорганические неодим-содержащие соединения, растворы органических красителей, охлаждающие жидкости. Лазерные стёкла, активированные неодимом и эрбием. Лазеры на стеклах. Волоконно-оптические лазеры и усилители.

13. Специфика требований к материалам ТТЛ с диодной накачкой

Материалы для лазеров с диодной накачкой: специфика накачки, требования к материалам. Особенности лазеров с диодной накачкой.

14. Материалы для фемтосекундных лазеров

Лазерные материалы для генерации фемтосекундных импульсов: титан-сапфир, форстерит, гранат с хромом +4.

15. Среды для УФ и ВУФ лазеров

Лазерные материалы для УФ и ВУФ лазеров.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

доска, маркеры, компьютер и мультимедийное оборудование (проектор).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Л.Н.Курбатов. Оптоэлектроника видимого и ИК диапазонов спектра. М., МФТИ, 1999, 320 с.
2. Г.М.Зверев, Ю.Д.Голяев. Лазеры на кристаллах и их применение. М., «Радио и Связь», 1994, - 312 с.
3. В.Г.Дмитриев, Л.В.Тарасов Прикладная нелинейная оптика. М. Наука 2004г.
4. Волоконно-оптические датчики. Под ред. Э. Удда. М. «Техносфера», 2008. – 520с.

Дополнительная литература

1. Н.В.Карлов. Лекции по квантовой электронике. М., «Наука» 1988. 336с.
2. П.Г.Крюков. Фемтосекундные импульсы. М. Физматлит. 2008. 208с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

на лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

- 1) посещение всех лекций, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении лекций;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лекции.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра квантовой электроники
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 7 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: Г.М. Зверев, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Материалы квантовой электроники» обучающийся должен:

знать:

- принципы формирования электронных уровней изолированных атомов, молекул, примесных кристаллов и полупроводников;
- схему энергетических уровней атома водорода и его спектр;
- идеи формирования электронных оболочек многоэлектронных атомов;
- схему энергетических уровней неон - гелиевого лазера и его особенности;
- особенности спектров элементов с незаполненными d- и f- оболочками и их использование в лазерах;
- свойства основных материалов для твердотельных лазеров: рубина, алюмо- иттриевого граната с неодимом, корунда с титаном;
- специфику использования полупроводников для генерации лазерного излучения;
- примеры эффективных волоконных лазеров с диодной накачкой;
- примеры использования лазерных материалов для генерации УФ видимого и ИК излучения.

уметь:

- выбирать необходимые материалы для разработки лазеров различного назначения;
- использовать различные материалы для создания оптических схем, трактов, вспомогательных элементов, в том числе многослойных диэлектрических зеркал, фотоприемников, в лазерных приборах различного назначения;
- оценивать возможности использования различных материалов квантовой электроники в поставленных задачах.

владеть:

- навыками работы с научно-технической литературой в области материалов квантовой электроники;
- математическим аппаратом, необходимым для проведения исследований различных материалов;
- методами оптических измерений свойств материалов квантовой электроники.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы для подготовки к дифференцированному зачету:

1. Роль активных, нелинейных, управляющих материалов в лазерах различных типов
2. Спектральные свойства атомов, молекул и кристаллов. Атом водорода
3. Многоэлектронные атомы. Спектральные термы. Тонкая структура термов

4. Периодическая система элементов. Элементы переходных групп с частично незаполненными оболочками
5. Эффекты Штарка и Зеемана
6. Уширение спектральных линий
7. Активные материалы для твердотельных лазеров (ТТЛ)
8. Безызлучательная релаксация электронных уровней и передача энергии возбуждения
9. Физические свойства лазерных кристаллов
10. Многослойные диэлектрические покрытия
11. Материалы для полупроводниковых лазеров
12. Жидкости в квантовой электронике
13. Специфика требований к материалам ТТЛ с диодной накачкой
14. Материалы для фемтосекундных лазеров
15. Среды для УФ и ВУФ лазеров

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);

- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;

- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.