

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
1	3	108	8	24	0		40	0	Э
Итого	3	108	8	24	0	0	40	0	

## АННОТАЦИЯ

Целью курса является изучение физических основ современной лазерной технологии. Рассматриваются физические процессы взаимодействия лазерного излучения с металлами, полу-проводниками и другими непрозрачными средами, принципы построения лазерных технологических установок, устройство мощных лазеров. Обсуждаются проблемы и перспективы лазерных технологий в металловедении, микроэлектронике, лазерной химии, контроле технологических процессов и др

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Курс введен в связи с постоянно развивающимся внедрением различных лазерных технологических процессов во все области промышленности и в научные исследования. Курс связывает теоретические знания, полученные студентами при изучении фундаментальных дисциплин, физики твердого тела и квантовой электроники с решением прикладных задач науки и техники. Знание курса обеспечивает глубокое понимание процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом, позволяет правильно выбрать тот или иной лазер и сконструировать установку для проведения конкретной технологической операции, способствует скорейшему внедрению теоретических знаний, накопленных выпускниками кафедры в практику.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данная дисциплина относится к числу специализирующих и может читаться после курсов физики твердого тела и взаимодействия излучения с веществом, или подобных.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
формулирование задачи и плана научного	процессы взаимодействия лазерного излучения	ПК-1.1 [1] - способен разрабатывать новые методы лазерной	З-ПК-1.1[1] - Знать: современные методы и физические

<p>исследования в области лазерной физики, техники и лазерных технологий на основе проведения библиографической работы с применением современных информационных технологий; построение математических моделей объектов исследования, выбор алгоритма решения задачи; теоретические и экспериментальные исследования в области физики лазеров, взаимодействия лазерного излучения с веществом, лазерных технологий; разработка методов лазерной диагностики сред и объектов, лазерных медицинских технологий и технологий обработки материалов; оптических информационных технологий; разработка лазерных приборов и технологических систем различного назначения проведение оптических, фотометрических, электрических измерений с выбором технических средств и обработкой результатов; оформление отчетов, статей, рефератов на базе современных</p>	<p>с веществом, включая биологические объекты; лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения; элементная база лазерной техники, технологий и систем управления и транспорта лазерного излучения; математические модели объектов исследования; методы лазерно-физических измерений</p>	<p>диагностики сред и объектов, лазерные медицинские технологии и технологии обработки материалов; оптические информационные технологии</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>принципы, лежащие в основе лазерной диагностики сред и объектов, лазерных технологий; У-ПК-1.1[1] - Уметь: применять знания о методах лазерной диагностики, лазерных технологиях в профессиональной деятельности; В-ПК-1.1[1] - Владеть: навыками решения задач, связанных с разработкой новых методов лазерной диагностики, новых лазерных технологий</p>
--	---	--	---

<p>средств редактирования и печати в соответствии с установленными требованиями</p>			
<p>формулирование задачи и плана научного исследования в области лазерной физики, техники и лазерных технологий на основе проведения библиографической работы с применением современных информационных технологий; построение математических моделей объектов исследования, выбор алгоритма решения задачи; теоретические и экспериментальные исследования в области физики лазеров, взаимодействия лазерного излучения с веществом, лазерных технологий; разработка методов лазерной диагностики сред и объектов, лазерных медицинских технологий и технологий обработки материалов; оптических информационных технологий; разработка лазерных приборов и технологических систем различного назначения проведение оптических, фотометрических,</p>	<p>процессы взаимодействия лазерного излучения с веществом, включая биологические объекты; лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения; элементная база лазерной техники, технологий и систем управления и транспорта лазерного излучения; математические модели объектов исследования; методы лазерно-физических измерений</p>	<p>ПК-1.3 [1] - способен применять знания основ лазерной спектроскопии, в том числе высокого спектрального и временного разрешения; физических эффектов при распространении лазерного излучения в нелинейных и диспергирующих средах; физических основ взаимодействия лазерного излучения с металлами, диэлектриками и полупроводниками, биологическими тканями; принципов и методов когерентно-оптических преобразований, хранения и обработки оптической информации при разработке лазерных систем и инновационных лазерных технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>З-ПК-1.3[1] - Знать: основы лазерной спектроскопии, в том числе высокого спектрального и временного разрешения; физические эффекты при распространении лазерного излучения в нелинейных и диспергирующих средах; физические основы взаимодействия лазерного излучения с металлами, диэлектриками и полупроводниками, биологическими тканями; принципы и методы когерентно-оптических преобразований, хранения и обработки оптической информации ; У-ПК-1.3[1] - Уметь: применять знания основ лазерной спектроскопии, в том числе высокого спектрального и временного разрешения; физических эффектов при распространении лазерного излучения в нелинейных и диспергирующих средах; физических основ взаимодействия лазерного излучения с металлами, диэлектриками и полупроводниками, биологическими</p>

<p>электрических измерений с выбором технических средств и обработкой результатов; оформление отчетов, статей, рефератов на базе современных средств редактирования и печати в соответствии с установленными требованиями</p>			<p>тканями; принципов и методов когерентно-оптических преобразований, хранения и обработки оптической информации при разработке лазерных систем и инновационных лазерных технологий ; В-ПК-1.3[1] - Владеть: навыками решения задач, связанных с разработкой лазерных систем и инновационных лазерных технологий</p>
<p>формулирование задачи и плана научного исследования в области лазерной физики, техники и лазерных технологий на основе проведения библиографической работы с применением современных информационных технологий; построение математических моделей объектов исследования, выбор алгоритма решения задачи; теоретические и экспериментальные исследования в области физики лазеров, взаимодействия лазерного излучения с веществом, лазерных технологий; разработка методов лазерной диагностики сред и объектов, лазерных</p>	<p>процессы взаимодействия лазерного излучения с веществом, включая биологические объекты; лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения; элементная база лазерной техники, технологий и систем управления и транспорта лазерного излучения; математические модели объектов исследования; методы лазерно-физических измерений</p>	<p>ПК-1.4 [1] - способен ставить экспериментальные задачи и проводить экспериментальные исследования в области взаимодействия излучения с веществом, лазерной диагностики и лазерных технологий; применять современные средства измерений, средства управления экспериментом, сбора и обработки данных</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>З-ПК-1.4[1] - Знать: основные методы экспериментальных исследований с применением лазеров, методы сбора и обработки данных; У-ПК-1.4[1] - Уметь: ставить экспериментальные задачи и проводить экспериментальные исследования в области взаимодействия излучения с веществом, лазерной диагностики и лазерных технологий; применять современные средства измерений, средства управления экспериментом, сбора и обработки данных; В-ПК-1.4[1] - Владеть: навыками проведения экспериментальных исследований в области лазерной физики и лазерных</p>

<p>медицинских технологий и технологий обработки материалов; оптических информационных технологий; разработка лазерных приборов и технологических систем различного назначения проведение оптических, фотометрических, электрических измерений с выбором технических средств и обработкой результатов; оформление отчетов, статей, рефератов на базе современных средств редактирования и печати в соответствии с установленными требованиями</p>			<p>технологий, применения современных средств измерений</p>
<p>формулирование задачи и плана научного исследования в области лазерной физики, техники и лазерных технологий на основе проведения библиографической работы с применением современных информационных технологий; построение математических моделей объектов исследования, выбор алгоритма решения задачи; теоретические и экспериментальные исследования в области физики лазеров,</p>	<p>процессы взаимодействия лазерного излучения с веществом, включая биологические объекты; лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения; элементная база лазерной техники, технологий и систем управления и транспорта лазерного излучения; математические</p>	<p>ПК-1 [1] - способен выбирать оптимальный метод и разрабатывать программы экспериментальных исследований лазерных приборов, систем, комплексов и технологий; проводить оптические, фотометрические и электрические измерения с выбором необходимых технических средств и обработкой полученных результатов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>З-ПК-1[1] - Знать: основные методы исследований лазерных приборов, систем, комплексов и технологий; источники и приёмники оптического излучения; элементную базу лазерной техники; области применения лазерной техники и лазерных технологий; ; У-ПК-1[1] - Уметь: выбирать необходимые технические средства для проведения оптических, фотометрических и электрических</p>

<p>взаимодействия лазерного излучения с веществом, лазерных технологий; разработка методов лазерной диагностики сред и объектов, лазерных медицинских технологий и технологий обработки материалов; оптических информационных технологий; разработка лазерных приборов и технологических систем различного назначения проведение оптических, фотометрических, электрических измерений с выбором технических средств и обработкой результатов; оформление отчетов, статей, рефератов на базе современных средств редактирования и печати в соответствии с установленными требованиями</p>	<p>модели объектов исследования; методы лазерно-физических измерений</p>		<p>измерений; обрабатывать полученные экспериментальные результаты ; В-ПК-1[1] - Владеть: навыками проведения оптических, фотометрических и электрических измерений, обработки экспериментальных данных</p>
<p><b>проектно-конструкторский</b></p>			
<p>анализ состояния научно технической проблемы, составление технического задания; постановка цели и задач проектирования лазерной техники и лазерных технологий на основе подбора и изучения литературных и патентных источников; разработка</p>	<p>Лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; элементная база лазерной техники, технологий, систем управления и транспорта лазерного излучения</p>	<p>ПК-1.5 [1] - способен ставить задачи по проектированию лазеров и оптических систем для инновационных применений в технологии, диагностике и научных исследованиях; использовать инновационные лазерные разработки в технологии, диагностике сред и для</p>	<p>З-ПК-1.5[1] - Знать: современный уровень развития лазерной техники и лазерных технологий; У-ПК-1.5[1] - Уметь: ставить задачи по проектированию лазеров и оптических систем для применений в технологии, диагностике и научных исследованиях;</p>

<p>функциональных и структурных схем лазерной техники и лазерных технологий с определением их физических принципов действия, структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы;</p> <p>проектирование и конструирование лазерных приборов, систем, комплексов и технологий с использованием средств компьютерного проектирования, проведением проектных расчетов и технико-экономического обоснования.</p>		<p>оптических измерений, владеть лазерными методами обработки материалов;</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>использовать инновационные лазерные разработки в технологии, диагностике сред и для оптических измерений,;</p> <p>В-ПК-1.5[1] - Владеть: лазерными методами обработки материалов, навыками проектирования лазерных систем, применения лазеров в технологии, для диагностики сред и оптических измерений,</p>
<p>анализ состояния научно технической проблемы, составление технического задания; постановка цели и задач проектирования лазерной техники и лазерных технологий на основе подбора и изучения литературных и патентных источников;</p> <p>разработка функциональных и структурных схем лазерной техники и лазерных технологий с определением их физических принципов действия, структур и установлением технических</p>	<p>Лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; элементная база лазерной техники, технологий, систем управления и транспорта лазерного излучения</p>	<p>ПК-3 [1] - способен разрабатывать функциональные и структурные схемы приборов и систем лазерной техники с определением их физических принципов действия, структурно-логических связей и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-3[1] - Знать: физические принципы действия приборов и систем лазерной техники, ; У-ПК-3[1] - Уметь: проводить сравнительный анализ изделий-аналогов; формулировать технические требования на отдельные блоки, узлы и элементы приборов и систем лазерной техники; разрабатывать и исследовать новые способы и принципы функционирования приборов и систем лазерной техники ; В-ПК-3[1] - Владеть: методами анализа и</p>

<p>требований на отдельные блоки и элементы; проектирование и конструирование лазерных приборов, систем, комплексов и технологий с использованием средств компьютерного проектирования, проведением проектных расчетов и технико-экономического обоснования.</p>			<p>расчета ожидаемых параметров разрабатываемых приборов и систем лазерной техники.</p>
<p>производственно-технологический</p>			
<p>проектирование, разработка и внедрение лазерных технологических процессов и процессов контроля качества приборов, систем и элементов лазерных комплексов; руководство работами по доводке и освоению техпроцессов производства лазерных приборов, систем и комплексов; руководство монтажом, наладкой, испытаниями и сдачей в эксплуатацию опытных образцов лазерных комплексов</p>	<p>Лазерные технологии, использующие взаимодействие электромагнитного излучения с веществом в т.ч. медицинские, микро- и нанотехнологии; технологии производства элементов лазерной техники, материалов и приборов</p>	<p>ПК-6 [1] - способен проектировать, разрабатывать и внедрять технологические процессы и режимы производства, осуществлять контроль качества лазерных приборов, систем, комплексов и их элементов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.037</p>	<p>З-ПК-6[1] - Знать: типичные требования, предъявляемые к качеству лазерных приборов, систем и их элементов; основные технологические процессы, используемые для изготовления лазерной техники ; У-ПК-6[1] - Уметь: анализировать технические требования, предъявляемые к разрабатываемым технологическим процессам и режимам производства; проводить концептуальную и проектную проработку типовых технологических процессов и режимов производства; формулировать и обосновывать параметры, режимы и условия реализации разрабатываемых технологических процессов ;</p>

			В-ПК-6[1] - Владеть: современными методами и приборами метрологического обеспечения технологических процессов и режимов производства
проектирование, разработка и внедрение лазерных технологических процессов и процессов контроля качества приборов, систем и элементов лазерных комплексов; руководство работами по доводке и освоению техпроцессов производства лазерных приборов, систем и комплексов; руководство монтажом, наладкой, испытаниями и сдачей в эксплуатацию опытных образцов лазерных комплексов	Лазерные технологии, использующие взаимодействие электромагнитного излучения с веществом в т.ч. медицинские, микро- и нанотехнологии; технологии производства элементов лазерной техники, материалов и приборов	ПК-7 [1] - способен руководить работами по доводке и освоению лазерных технологий и техпроцессов производства лазерных приборов, систем и комплексов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.037	З-ПК-7[1] - Знать: элементную базу, используемую в изделиях лазерной техники; оптические материалы и технологии, в т.ч. для лазерной техники; основы и принципы оптических измерений; основные лазерные технологии ; У-ПК-7[1] - Уметь: рассчитывать параметры и характеристики лазерных приборов и систем; выбирать элементы лазерных приборов и систем; выбирать контрольно-измерительную аппаратуру; обосновывать предлагаемые технические решения. ; В-ПК-7[1] - Владеть: методами лазерных измерений; методами работы с научно-технической литературой и информацией.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
<i>I Семестр</i>							
1	Лазерные технологические процессы	1-8	4/12/0		25	КИ-8	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, 3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, 3-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
2	Лазерные технологические установки	9-16	4/12/0		25	КИ-16	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, 3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, 3-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-6,

							У-ПК-6, В-ПК-6, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		8/24/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b>				50	Э	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, З-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, З-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, З-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	8	24	0
<b>1-8</b>	<b>Лазерные технологические процессы</b>	4	12	0
1	<b>Введение</b> Классификация лазерных технологических процессов	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

2	<b>Физические процессы передачи энергии лазерного излучения металлам при поглощении</b> Физические процессы передачи энергии лазерного излучения металлам при поглощении. Характерные времена энергетической релаксации при взаимодействии лазерного излучения с металлами.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Механизмы поглощения лазерного излучения полупроводниковыми материалами</b> Механизмы поглощения лазерного излучения полупроводниковыми материалами	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Поглощающая и отражательная способности металлов</b> Пространственно-временные характеристики лазерного излучения, как источника тепла	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Дифференциальное уравнение теплопроводности</b> Дифференциальное уравнение теплопроводности (постановка задачи, начальные и краевые условия для лазерного излучения, как источника тепла). Дифференциальное уравнение теплопроводности (решение в одномерном случае).	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Критические плотности мощности лазерного излучения</b> Характерные скорости нагрева металла при поглощении лазерного излучения. Характерные скорости охлаждения металла при поглощении лазерного излучения. Градиент температуры при нагреве металла лазерным излучением (для решения одномерной задачи). Нелинейные задачи нагрева металла при поглощении лазерного излучения.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Физические свойства лазерной плазмы</b> Физические свойства лазерной плазмы	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Методы исследования</b> Физические методы исследования взаимодействия мощного лазерного излучения с веществом	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Лазерные технологические установки</b>	4	12	0
9	<b>Структурные схемы лазерных технологических установок</b> Структурные схемы лазерных технологических установок. Проблемы фокусировки мощного лазерного излучения. Проекционный способ обработки поверхности лазерным излучением. Оптические абберации. Оптические системы и оптические материалы лазерных технологических установок.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Лазерные технологические установки на основе твердотельных лазеров</b> Лазерные технологические установки на основе твердотельных лазеров. Квантроны. Осветители. Активные элементы твердотельных лазерных технологических установок. Диодная накачка.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Волоконные лазеры.			
11	<b>Классификация мощных газовых лазеров</b> К.П.Д. мощных СО2 лазеров. Лазерные технологические установки на основе непрерывных СО2 лазеров с диффузионным охлаждением. Лазерные технологические установки на основе быстропротеочных СО2 лазеров с продольной прокачкой. Лазерные технологические установки на основе быстропротеочных СО2 лазеров с поперечной прокачкой. Лазерные технологические установки на основе импульсных и импульсно-периодических СО2 лазеров.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 14	<b>Лазерная технология полупроводников</b> Классификация лазерных технологических процессов в микроэлектронике. Лазерные операции подготовительного уровня. Лазерная очистка поверхности, геттерирование, улучшение свойств поверхности. Лазерные операции основного уровня: получение силицидов, окисление, травление. Лазерные операции основного уровня: импульсный лазерный отжиг, лазерное легирование. Физические модели импульсного лазерного отжига полупроводников. Лазерное напыление тонких пленок. Лазерные операции завершающего уровня: скрайбирование, подгонка. Применение лазеров в технологии монтажа печатных плат.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Лазерная химия</b> фотофизические и фотохимические процессы. Лазерное разделение изотопов. Разделение изотопов для атомной энергетики.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Используются презентации, обсуждения последних научных работ, новые модели в данной области. Обязательным условием успешного освоения дисциплины является самостоятельная работа студентов, выполнение индивидуальных заданий, работа с литературой.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-1.1	З-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-1.3	З-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-1.4	З-ПК-1.4	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.4	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.4	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-1.5	З-ПК-1.5	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.5	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.5	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-6	З-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89			B
75-84			C
70-74			D

65-69	3 – «удовлетворительно»		
60-64			Е
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«Не зачтено»	Ф

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. ЭИ E91 Laser Processing of Engineering Materials: Principles, Procedure and Industrial Application : , Ceng , Fimmm John C. Ion , Eur. Ing. , : Elsevier, 2005
2. ЭИ S96 Principles of Lasers : , Svelto, Orazio. , Boston, MA: Springer US, 2010
3. 621.38 Л25 Квантовая электроника : курс лекций, Ларкин А.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
4. ЭИ Л25 Квантовая электроника : курс лекций, Ларкин А.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
5. ЭИ М50 Лазерная технология : , Менушенков А.П., Москва: МИФИ, 2008
6. ЭИ О-75 Основы физических процессов в плазме и плазменных установках : учебное пособие для вузов, Жданов С.К. [и др.], Москва: МИФИ, 2007
7. 621.37 М50 Физические основы лазерной технологии : учебное пособие, Менушенков А.П., Неволин В.Н., Петровский В.Н., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010

8. ЭИ М50 Физические основы лазерной технологии : учебное пособие для вузов, Менушенков А.П., Неволин В.Н., Петровский В.Н., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 535 М50 Лабораторная работа "Лазерная технология" : , Менушенков А.П., Жиряков Б.М., Петровский В.Н., М.: МИФИ, 2006
2. 621.39 С14 Методы выделения структурных признаков изображений : , Кан В.Н., Садыков С.С., Самандаров И.Р., Ташкент: Фан, 1990
3. 621 М87 Мощные газоразрядные СО<sub>2</sub>-лазеры и их применение в технологии : , Григорьянц А.Г. [и др.], М.: Наука, 1984
4. 533 О-75 Основы физических процессов в плазме и плазменных установках : учебное пособие для вузов, Жданов С.К. [и др.], Москва: МИФИ, 2007
5. 621.37 Р33 Промышленные применения лазеров : , Реди Дж., М.: Мир, 1981
6. 537 К31 Релаксационные колебания в лазерах : , Кащенко С.А., Григорьева Е.В., Москва: Либроком, 2013
7. 533 Ц93 Физические основы плазменной и лазерной технологий : Учеб. пособие, Цыбин А.С., Москва: МИФИ, 2002
8. 621.9 В26 Физические процессы при лазерной обработке материалов : , Веденов А.А., Гладуш Г.Г., М.: Энергоатомиздат, 1985

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

### **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Курс состоит из двух взаимосвязанных частей. Первая часть посвящена изучению физических процессов взаимодействия мощного лазерного излучения с металлами, полупроводниками и другими непрозрачными средами. В этой части студент получает новые знания на базе ранее изученных курсов теоретической физики, квантовой электроники и

физики твердого тела. При изучении этой части курса необходимо твердо усвоить основные понятия, характеризующие свойства лазерного излучения: расходимость, когерентность, монохроматичность, временные характеристики, возможность достижения высоких плотностей мощности. Необходимо глубоко понимать процессы передачи энергии от лазерного излучения металлам, полупроводникам и диэлектрикам. Следует досконально разобраться в ограничениях, которые накладывает запрет Паули на взаимодействие свободных электронов в металлах с фотонами, легко оценивать соотношения между характерными энергетическими параметрами, определяющими взаимодействие лазерного излучения с металлами: энергией кванта  $h\nu$ , энергией Ферми  $E_F$  и температурой  $kT$ . Знать характерные частоты электрон-фотонного взаимодействия, электрон-электронной, электрон-фононной и фонон-фононной релаксации. Важно разобраться в типах механизмов поглощения лазерного излучения полупроводниковыми материалами, понимать причины смены механизмов поглощения в полупроводниках под действием лазерного излучения. Следует хорошо изучить постановку задачи уравнения теплопроводности при нагреве металла лазерным излучением в линейном случае, понимать особенности лазерного излучения, как источника тепла, понимать, какие изменения в аналитическое решение задачи вносит учет нелинейностей различных типов. Знать принципиальные схемы установок для экспериментального изучения физических процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом.

Вторая часть курса посвящена обсуждению лазерного технологического оборудования и описанию технологических процессов в микроэлектронике и в лазерной химии. Здесь необходимо ознакомиться с основными принципиальными схемами устройства лазерных технологических установок, принципами фокусировки мощного лазерного излучения, методами обработки поверхности в фокальной плоскости и в плоскости изображения, принципами построения проекционных лазерных систем, типами линзовых aberrаций. Следует изучить особенности работы мощных лазеров на твердом теле, хорошо понимать отличия лазерных активных элементов с тремя и четырьмя рабочими уровнями причины возникновения эффекта «тепловой линзы». Знать преимущества и недостатки ламповой и диодной накачки, принципы работы волоконного лазера. Необходимо иметь представление об устройстве мощных лазеров на углекислом газе, знать физические причины ограничения мощности лазеров с диффузионным охлаждением и быстропрокачных лазеров. Следует изучить возможности применения лазерного излучения в полу-проводниковой технологии. Необходимо понимать физику таких процессов, как лазерная очистка поверхности, геттерирование, получение силицидов, импульсный лазерный отжиг после ионной имплантации, лазерное легирование, лазерное напыление тонких пленок.

Необходимо глубоко понимать процессы резонансного возбуждения атомов и молекул лазерным излучением. Важно разобраться в механизмах фотохимического и фотофизического процессов лазерного разделения изотопов. Следует понимать, на какой ступени процесса происходит селекция нужного изотопа. Нужно знать, какие из методов лазерного разделения изотопов перспективны для промышленного масштабирования. Необходимо хорошо понимать физические причины преодоления нарушения эквидистантности колебательных уровней вследствие ангармонизма при процессе многофотонной диссоциации молекул. Следует разобраться, какой из методов наиболее подходит для разделения изотопов в атомной энергетике. Нужно понимать, почему метод многофотонной диссоциации молекул, имеющий промышленное значение для разделения изотопов серы неэффективен для разделения изотопов урана. Нужно уметь обосновать энергетическое преимущество лазерного разделения изотопов урана в сравнении с традиционными методами. Следует понимать, как с помощью лазерного

излучения можно синтезировать новые соединения и получать особо чистые вещества. Следует иметь представление о развитии направлений использования лазерного излучения в технологических целях.

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

В первой части курса, посвященной изучению физических процессов взаимодействия мощного лазерного излучения с металлами, полупроводниками и другими непрозрачными средами следует опираться на знания студентов, полученные на базе ранее изученных курсов теоретической физики, квантовой электроники и физики твердого тела. При преподавании этой части курса необходимо дать основные понятия, характеризующие свойства лазерного излучения: расходимость, когерентность, монохроматичность, временные характеристики, возможность достижения высоких плотностей мощности. Необходимо глубоко разъяснить процессы передачи энергии от лазерного излучения металлам, полупроводникам и диэлектрикам. Следует подчеркнуть ограничения, которые накладывает запрет Паули на взаимодействие свободных электронов в металлах с фотонами, дать соотношения между характерными энергетическими параметрами, определяющими взаимодействие лазерного излучения с металлами: энергией кванта  $h\nu$ , энергией Ферми  $E_F$  и температурой  $kT$ , дать определение характерных частот электрон-фотонного взаимодействия, электрон-электронной, электрон-фононной и фонон-фононной релаксации. Важно объяснить студентам отличия различных типов механизмов поглощения лазерного излучения полупроводниковыми материалами, причины смены механизмов поглощения в полупроводниках под действием лазерного излучения. Следует подробно объяснить постановку задачи уравнения теплопроводности при нагреве металла лазерным излучением в линейном случае, особенности лазерного излучения, как источника тепла, изменения в аналитическое решение задачи за счет нелинейностей различных типов. Привести принципиальные схемы установок для экспериментального изучения физических процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом.

Во второй части курса основное время посвятить обсуждению лазерного технологического оборудования и описанию технологических процессов в микроэлектронике и в лазерной химии. Здесь необходимо познакомить студентов с основными принципиальными схемами устройства лазерных технологических установок, принципами фокусировки мощного лазерного излучения, методами обработки поверхности в фокальной плоскости и в плоскости изображения, принципами построения проекционных лазерных систем, типами линзовых аббераций. Следует изложить особенности работы мощных лазеров на твердом теле, отличия лазерных активных элементов с тремя и четырьмя рабочими уровнями причины возникновения эффекта «тепловой линзы», преимущества и недостатки ламповой и диодной накачки, принципы работы волоконного лазера. Необходимо дать представление об устройстве мощных лазеров на углекислом газе, обсудить физические причины ограничения мощности лазеров с диффузионным охлаждением и быстропрокачных лазеров. Следует подробно представить возможности применения лазерного излучения в полупроводниковой технологии. Необходимо подчеркнуть физические особенности таких процессов, как лазерная очистка поверхности, геттерирование, получение силицидов, импульсный лазерный отжиг после ионной имплантации, лазерное легирование, лазерное напыление тонких пленок.

Необходимо понятно изложить процессы резонансного возбуждения атомов и молекул лазерным излучением. Важно подчеркнуть преимущества и недостатки механизмов фотохимического и фотофизического процессов лазерного разделения изотопов. Следует дополнительно обсудить, на какой ступени процесса происходит селекция нужного изотопа, какие из методов лазерного разделения изотопов перспективны для промышленного масштабирования. Необходимо подробно остановиться на физических причинах преодоления нарушения эквидистантности колебательных уровней вследствие ангармонизма при процессе многофотонной диссоциации молекул. Следует дать сравнительный анализ методов и показать, какой из методов наиболее подходит для разделения изотопов в атомной энергетике. Нужно объяснить, почему метод многофотонной диссоциации молекул, имеющий промышленное значение для разделения изотопов серы неэффективен для разделения изотопов урана. Следует обосновать энергетическое преимущество лазерного разделения изотопов урана в сравнении с традиционными методами. Следует продемонстрировать, как с помощью лазерного излучения можно синтезировать новые соединения и получать особо чистые вещества. В завершение курса необходимо дать представление о развитии направлений использования лазерного излучения в технологических целях.

Автор(ы):

Менушенков Алексей Павлович, д.ф.-м.н.,  
профессор