

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Институт технологий и инженерной механики  
Кафедра микро- и наноэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

директор института технологий и  
инженерной механики

  
«18»  2023 г. Могильная Е.П.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
«ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С  
ВЕЩЕСТВОМ»**

По направлению подготовки: 11.04.04 Электроника и наноэлектроника  
Магистерская программа «Электронные микроволновые и квантовые  
приборы и устройства»

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Взаимодействие когерентного излучения с веществом» по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника. – 26 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Взаимодействие когерентного излучения с веществом» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22.09.2017 года № 959.

СОСТАВИТЕЛИ:

к.т.н., доцент Войтенко В.А.;

к.т.н., доцент Войтенко Г.О.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры микро- и нанoeлектроники «14» 04 2023 г., протокол № 9.

Заведующий кафедрой

микро- и нанoeлектроники  Войтенко В. А.

Переутверждена: «\_\_» \_\_\_\_ 202\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_.

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики «18» 04 2023 г., протокол № 3.

Председатель учебно-методической

комиссии института технологий и инженерной механики  С. Н. Ясуник

© Войтенко В.А., Войтенко Г.О., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

## 1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель дисциплины – формирование достаточного уровня знаний в области современных методов и средств лазерной технологии, выработка умения проводить инженерные оценки и расчеты лазерных технологических процессов и систем, поставить экспериментальный технологический процесс и грамотно эксплуатировать лазерные технологические установки.

Задачи: изучение процессов технологии лазерной обработки различных материалов; математическое моделирование процессов и объектов на базе современных пакетов автоматизированного проектирования и исследований; приобретение навыков разработки технологических режимов обработки различных материалов; проведение экспериментальных исследований взаимодействия лазерного излучения с веществом; проведение измерений по заданным методикам с выбором технических средств и обработкой результатов.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП ВО. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Дисциплина «Взаимодействие когерентного излучения с веществом» входит в вариативную часть профессионального блока дисциплин.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знания физики и химии, физики конденсированного состояния, основ нанoeлектроники; умения проводить измерения физических величин и обработку результатов измерений.

Содержание дисциплины основано на знаниях дисциплин подготовки бакалавра «Математика», «Физика», «Квантовая механика и статистическая физика», «Физика конденсированного состояния», «Нанoeлектроника» и служит основой для освоения дисциплин «Лазеры в микро- и нанoeлектронике», «Применение квантовых и оптических приборов».

## 3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ПК-1. Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также	ПК-1.1. Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники, физические процессы, протекающие в микроволновых и	Знать: принципы построения и функционирования изделий оптоэлектроники, общую характеристику нагревания лазерным излучением, тепловые эффекты в

<p>смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач</p>	<p>квантовых приборах и устройствах.  ПК-1.2. Умеет рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники.  ПК-1.3. Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и наноэлектроники.</p>	<p>конденсированных средах, общую характеристику механизмов лазерного разрушения; основные особенности температурной кинетики при лазерном воздействии на металлы, теплофизику перехода от нагрева к испарению, одномерную задачу о лазерном нагреве с испарением, физические основы и практическую реализацию взаимодействия когерентного излучения с веществом;</p>
		<p>Уметь: рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий оптоэлектроники и лазерной техники; объяснять возможности и области применения современных лазеров; анализировать перспективные методы и технологии создания современных источников когерентного излучения; составить план теоретических и экспериментальных исследований применительно к конкретной задаче лазерной технологии;</p>
		<p>Владеть: навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий оптоэлектроники и лазерной техники; навыками выбора методов и средств для реализации взаимодействия когерентного излучения с веществом; навыками поиска, изучения и анализа литературных и патентных источников;</p>

## 4. Структура и содержание дисциплины

### 4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	150 (5 зач. ед)	-
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	70	-
Лекции	28	-
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	28	-
Лабораторные работы	14	-
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса ( <i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i> )	-	-
Самостоятельная работа студента (всего)	110	-
Форма аттестации	зачет	-

### 4.2. Содержание разделов дисциплины

#### Тема 1. Лазерный нагрев материалов.

Общая характеристика нагревания лазерным излучением. Тепловые эффекты в конденсированных средах. Основные особенности температурной кинетики при лазерном воздействии на металлы. Теплопроводностные механизмы отвода тепла. Уравнение теплопроводности, начальное и граничные условия. Термические эффекты, сопровождающие лазерный нагрев. Термомеханические эффекты. Фазовые переходы в твердом состоянии (лазерное упрочнение). Эмиссионные процессы. Основные особенности лазерной активации процессов аррениусовского типа. Лазерное окисление. Диффузионно-химические явления. Экзотермические эффекты при импульсном лазерном воздействии на металлы. Линейные режимы лазерного нагрева. Понятие температуры электронной и решеточной подсистем. Нагрев полупространства экспоненциально спадающим с глубиной тепловым источником. Нагрев металла импульсным излучением постоянной мощности. Нагрев материала лазерным пучком с гауссовым профилем. Нагрев материала постоянным лазерным излучением, луч сфокусирован в пятно круглого сечения. Влияние временной зависимости интенсивности лазерного излучения. Лазерный нагрев тонких слоев и пленок. Нагрев материалов в интерференционном лазерном поле. Особенности нагрева материала движущимся световым пятном. Нелинейные режимы лазерного нагрева. Нагрев с учетом температурной зависимости поглотительной способности. Изменение поглотительной способности окисляющихся материалов при

лазерном нагревании. Тепловая неустойчивость. Интерференционные явления в окисном слое. Лазерное плавление поверхности. Вакансионная модель плавления.

## **Тема 2. Лазерное разрушение поглощающих материалов.**

Общая характеристика механизмов лазерного разрушения. Механическое низкотемпературное разрушение хрупких материалов. Разрушение упругими напряжениями. Разрушение остаточными напряжениями. Химические механизмы разрушения. Высокотемпературные механизмы с участием испарения. Поляритонный механизм формирования лазерно-индуцированного поверхностного рельефа. Лазерное испарение. Кинетика испарения плоской поверхности. Испарение в вакуум и среду с противодавлением. Температурная граница перехода от нагрева к испарению. Теплофизика перехода от нагрева к испарению. Одномерная задача о лазерном нагреве с испарением. Установление стационарного режима. Определение квазистационарных параметров. Зависимость температуры и скорости лазерного разрушения от плотности светового потока. Вытеснение расплава избыточным давлением паров. Свойства лазерного пара и плазмы, их влияние на процесс разрушения.

## **Тема 3. Современные представления об оптическом пробое прозрачных сред.**

Физические представления об оптическом пробое идеальных диэлектриков. Оптический пробой газов. Оптический пробой идеально чистых твердых тел. Тепловой механизм оптического пробоя реальных сред. Основные экспериментальные закономерности и особенности оптического пробоя и разрушения оптически неоднородных сред. Тепловая неустойчивость. Статистическая концепция оптического пробоя. Размерная зависимость порога пробоя.

## **Тема 4. Воздействие сверхкоротких лазерных импульсов на материалы.**

Двухтемпературная модель при сверхкоротком воздействии. Особенности экспериментального изучения воздействия фемтосекундных лазерных импульсов на материалы. Особенности разлета вещества при фемтосекундном лазерном воздействии. Плавление при воздействии сверхкоротких лазерных импульсов. Термическое плавление с высокими скоростями. Нетермическое плавление. Фотофизическая абляция. Уплотнение электронного газа и кулоновский взрыв в поверхностном слое проводника. Формирование лазерно-индуцированного поверхностного рельефа при воздействии сверхкоротких лазерных импульсов. Механизм образования поверхностных периодических структур при воздействии сверхкоротких импульсов. Резонансная дифракция на плоской поверхности с периодической модуляцией оптических свойств. Формирование периодического профиля

поля температур. Эволюция периодических поверхностных структур в расплавленном поверхностном слое. Силовое действие сверхкоротких импульсов на прозрачные диэлектрики.

#### 4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Лазерный нагрев материалов.	8	-
2	Лазерное разрушение поглощающих материалов.	6	-
3	Современные представления об оптическом пробое прозрачных сред.	6	-
4	Воздействие сверхкоротких лазерных импульсов на материалы.	6	-
<b>Итого:</b>		<b>28</b>	<b>-</b>

#### 4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Принцип действия твердотельного технологического лазера. Лазерная маркировка металлических материалов.	4	
2	Лазерная маркировка, лазерная резка полимерного материала.	4	
3	Расчет скорости сканирования лазерного луча при обработке металлической пленки из заданного материала	2	
4	Лазерный нагрев материалов.	4	
5	Лазерное разрушение поглощающих материалов.	4	
6	Современные представления об оптическом пробое прозрачных сред.	4	
7	Воздействие сверхкоротких лазерных импульсов на материалы.	4	
<b>Итого:</b>		<b>28</b>	

#### 4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Основы работы с твердотельным технологическим лазером	2	
2	Лазерная маркировка металлических материалов	2	
3	Лазерная маркировка полимерного материала	2	
4	Лазерная резка полимерного материала	2	
5	Лазерная обработка металлической пленки	2	
6	Оптический пробой прозрачных сред	4	
<b>Итого:</b>		<b>14</b>	

#### 4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1	Лазерный нагрев материалов	подготовка к тестированию	12	
2	Основы работы с твердотельным технологическим лазером	подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	17	
3	Лазерное разрушение поглощающих материалов	подготовка к тестированию	12	
4	Лазерная маркировка металлических материалов	подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	10	
5	Современные представления об оптическом пробое прозрачных сред	подготовка к тестированию	12	
6	Лазерная маркировка полимерного материала	подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	10	
7	Воздействие сверхкоротких лазерных импульсов на материалы	подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	12	
8	Лазерная резка полимерного материала	подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	7	
9	Определение скорости сканирования лазерного луча при обработке металлической пленки из заданного материала	подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	18	
<b>Итого:</b>			<b>110</b>	

#### **4.7. Курсовые работы/проекты.**

Не предусмотрены учебным планом.

### **5. Образовательные технологии**

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и предполагающие последовательное и целенаправленное выдвижение перед студентом познавательных задач, разрешение которых позволяет студентам активно усваивать знания (используются поисковые методы; постановка познавательных задач);

технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;



технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки;

технологии модульного обучения, дающие возможность обеспечения гибкости процесса обучения, адаптации его к индивидуальным потребностям и особенностям обучающихся (применяются, как правило, при самостоятельном обучении студентов по индивидуальному учебному плану);

технологии дифференцированного обучения, обеспечивающие возможность создания оптимальных условий для развития интересов и способностей студентов, в том числе и студентов с особыми образовательными потребностями, что позволяет реализовать в культурно-образовательном пространстве университета идею создания равных возможностей для получения образования;

технологии активного (контекстного) обучения, с помощью которых осуществляется моделирование предметного, проблемного и социального содержания будущей профессиональной деятельности студентов (используются активные и интерактивные методы обучения) и т.д.

Максимальная эффективность педагогического процесса достигается путем конструирования оптимального комплекса педагогических технологий и (или) их элементов на личностно-ориентированной, деятельностной, диалогической основе и использования необходимых современных средств обучения.

## **6. Формы контроля освоения дисциплины.**

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем, ведущими лабораторные работы и практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- контрольные вопросы к практическим занятиям;
- вопросы к лабораторным работам;
- тесты;
- вопросы к зачету.

Фонды оценочных средств, включающие контрольные вопросы, вопросы коллоквиумов, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты текущей и промежуточной аттестации обучающихся по данной дисциплине, помещаются в приложении к рабочей программе в соответствии с «Положением о фонде оценочных средств».

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины проходит в форме зачета. Студентам, выполнившим 75% текущих и контрольных мероприятий на «отлично», а остальные 25 % на «хорошо», имеют право на получение итоговой отличной оценки.

В экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по национальной шкале, приведенной в таблице.

Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
Обучающийся глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	зачтено
Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	
Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.	
Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы	не зачтено

## 7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

### а) Основная литература:

1. Пахомов И.И., Квантовая теория излучения. Взаимодействие излучения с веществом [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / И.И. Пахомов, А.М. Хорохоров. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 34 с. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - Режим доступа : [http://www.studentlibrary.ru/book/bauman\\_0453.html](http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0453.html)

2. Трубецков Д.И., Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков [Электронный ресурс] / Трубецков Д.И., Храмов А.Е. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 648 с. - ISBN 5-9221-0200-1 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - Режим доступа : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922102001.html>

### б) Дополнительная литература:

1. Менушенков А.П. Физические основы лазерной технологии [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Менушенков А.П., Неволин В.Н., Петровский В. - М.:НИЯУ "МИФИ", 2010. - 212 с. ISBN 978-5-7262-1252-4 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/566261>

2. Шрайбер Г. Инфракрасное излучение в электронике [Электронный ресурс] / Г. Шрайбер; Пер. с франц. - Москва : ДМК Пресс, 2009. - 240 с.: ил. - (В помощь радиолюбителю). - ISBN 5-94074-019-7. - Текст : электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/406718>

3. Волощенко П.Ю. Электро- и радиотехнические модели технологии когерентной электроники [Электронный ресурс]: Монография / Волощенко П.Ю. - Таганрог: Южный федеральный университет, 2016. - 110 с.: ISBN 978-5-9275-2281-1 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/996118>

4. Захаров Н.С. Тепловые, гидродинамические и плазменные эффекты при взаимодействии лазерного излучения с веществом [Электронный ресурс]: Монография / Захаров Н.С., Урлин В.Д., Шенцев Н.И. - Саров: ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ", 2004. - 425 с.: ISBN 5-9515-0037-0 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/951371>

в) Методические рекомендации/указания:

1. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Взаимодействие когерентного излучения с веществом». Лабораторные работы №№ 1-6 / Сост.: Войтенко В.А., Комаров Н.В., Савицкий И.В. Луганск: Изд-во ГОУВПО ЛНР «Луганский национальный университет им. В.Даля», 2017. – 22 с.

2. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Взаимодействие когерентного излучения с веществом» / Сост.: Войтенко В.А., Комаров Н.В. – Луганск: Изд-во ГОУВПО ЛНР «Луганский национальный университет им. В.Даля», 2018. – 23 с.

г) Интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>

Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Далевский педагогический портал – <http://ped.dahluniver.ru/>

**Электронные библиотечные системы и ресурсы**

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Университетская библиотека On-line – <http://www.biblioclub.ru>

Научная электронная библиотека eLIBRARY – <http://elibrary.ru>

**Информационный ресурс библиотеки образовательной организации**

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

**Научные журналы**

"GNU Scientific Library" (GSL - библиотека для научных вычислений проекта GNU): <http://www.gnu.org/software/gsl>.

Система схемотехнического моделирования LTSpice IV. Краткое руководство: <http://zpostbox.ru/ltspice.html>.

Электронные компоненты: <http://www.elitan.ru/>.

Навигатор по профессиональным электронным ресурсам – [http://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/nav\\_ei.htm](http://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/nav_ei.htm)

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лекционные занятия проводятся с использованием комплекта электронных презентаций в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук).

Лабораторные работы проводятся с использованием некомпьютеризированных и компьютеризированных лабораторных стендов, пакета специализированных компьютерных программ, компьютерной математической среды MatLab.

Рабочие места преподавателя и студентов в учебной лаборатории оснащены компьютерами с доступом в Интернет, предназначенными для работы в указанных специализированных компьютерных программах и средах.

Программное обеспечение:

<b>Функциональное назначение</b>	<b>Бесплатное программное обеспечение</b>	<b>Ссылки</b>
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	<a href="https://www.libreoffice.org/">https://www.libreoffice.org/</a> <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice">https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice</a>
Операционная система	UBUNTU 19.04	<a href="https://ubuntu.com/">https://ubuntu.com/</a> <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu">https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu</a>
Браузер	Firefox Mozilla	<a href="http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx">http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx</a>

Браузер	Opera	<a href="http://www.opera.com">http://www.opera.com</a>
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	<a href="http://www.mozilla.org/ru/thunderbird">http://www.mozilla.org/ru/thunderbird</a>
Файл-менеджер	Far Manager	<a href="http://www.farmanager.com/download.php">http://www.farmanager.com/download.php</a>
Архиватор	7Zip	<a href="http://www.7-zip.org/">http://www.7-zip.org/</a>
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	<a href="http://www.gimp.org/">http://www.gimp.org/</a> <a href="http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8">http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8</a> <a href="http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP">http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP</a>
Редактор PDF	PDFCreator	<a href="http://www.pdfforge.org/pdfcreator">http://www.pdfforge.org/pdfcreator</a>
Аудиоплеер	VLC	<a href="http://www.videolan.org/vlc/">http://www.videolan.org/vlc/</a>

## 8. Оценочные средства по дисциплине

### Паспорт

фонда оценочных средств по учебной дисциплине

«Взаимодействие когерентного излучения с веществом»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ПК-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и	ПК-1.1. ПК-1.2. ПК-1.3.	Тема 1 Лазерный нагрев материалов	1
				Тема 2 Лазерное разрушение	1

		перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач		поглощающих материалов	
				Тема 3 Современные представления об оптическом пробое прозрачных сред	1
				Тема 4 Воздействие сверхкоротких лазерных импульсов на материалы	1

### Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ПК-1	ПК-1.1. ПК-1.2. ПК-1.3.	Знать: принципы построения и функционирования изделий оптоэлектроники, общую характеристику нагревания лазерным излучением, тепловые эффекты в конденсированных средах, общую характеристику механизмов лазерного разрушения; основные особенности температурной	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Практическое занятие 1, Лабораторная работа 1	Контрольные вопросы к практическим занятиям, вопросы к лабораторным работам, тесты, вопросы к зачету

			<p>кинетики при лазерном воздействии на металлы, теплофизику перехода от нагрева к испарению, одномерную задачу о лазерном нагреве с испарением, физические основы и практическую реализацию взаимодействия когерентного излучения с веществом;</p> <p>Уметь:</p> <p>рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий оптоэлектроники и лазерной техники;</p> <p>объяснять возможности и области применения современных лазеров;</p> <p>анализировать перспективные методы и технологии создания современных источников когерентного излучения;</p> <p>составить план теоретических и экспериментальных исследований применительно к конкретной задаче</p>		
--	--	--	--	--	--

			<p>лазерной технологии;  Владеть:  навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий оптоэлектроники и лазерной техники;  навыками выбора методов и средств для реализации взаимодействия когерентного излучения с веществом;  навыками поиска, изучения и анализа литературных и патентных источников;</p>		
--	--	--	--	--	--

**Фонды оценочных средств по дисциплине «Взаимодействие когерентного излучения с веществом»**

**Контрольные вопросы к практическим занятиям:**

1. Перечислите тепловые эффекты, возникающие в конденсированных средах.
2. Каковы основные особенности температурной кинетики при лазерном воздействии на металлы?
3. Раскройте теплопроводностные механизмы отвода тепла.
4. Запишите уравнение теплопроводности, начальное и граничные условия.
5. Какие термические эффекты сопровождают лазерный нагрев?
6. Какие термомеханические эффекты сопровождают лазерный нагрев?
7. Как происходят фазовые переходы в твердом состоянии (лазерное упрочнение)?
8. Каковы особенности лазерной активации процессов аррениусовского типа?
9. Как происходит лазерное окисление?
10. Какие диффузионно-химические явления происходят при лазерном воздействии на материалы?



- 11.Какие экзотермические эффекты имеют место при импульсном лазерном воздействии на металлы?
- 12.Что значит температура электронной и решеточной подсистем?
- 13.Каковы особенности нагрева полупространства экспоненциально спадающим с глубиной тепловым источником?
- 14.Каковы особенности нагрева металла импульсным излучением постоянной мощности?
- 15.Каковы особенности нагрева материала лазерным пучком с гауссовым профилем?
- 16.Каковы особенности нагрева материала постоянным лазерным излучением, луч сфокусирован в пятно круглого сечения?
- 17.Каковы особенности лазерного нагрева тонких слоев и пленок?
- 18.Каковы особенности нагрева материалов в интерференционном лазерном поле?
- 19.Каковы особенности нагрева материала движущимся световым пятном?
- 20.Как изменяется поглощательная способность окисляющихся материалов при лазерном нагревании?
- 21.Что значит тепловая неустойчивость?
- 22.Какие происходят интерференционные явления в окисном слое?
- 23.Как происходит лазерное плавление поверхности?
- 24.Поясните вакансионную модель плавления.
- 25.Приведите классификацию механизмов лазерного разрушения.
- 26.Как происходит механическое низкотемпературное разрушение хрупких материалов?
- 27.Как происходит разрушение упругими напряжениями?
- 28.Как происходит разрушение остаточными напряжениями?
- 29.Каковы химические механизмы разрушения?
- 30.Каковы высокотемпературные механизмы разрушения материалов с участием испарения?
- 31.В чем состоит поляритонный механизм формирования лазерно-индуцированного поверхностного рельефа?
- 32.Как происходит лазерное испарение?
- 33.Опишите кинетику испарения плоской поверхности.
- 34.Как происходит испарение в вакуум и среду с противодействием?
- 35.От чего зависит температурная граница перехода от нагрева к испарению?
- 36.Опишите теплофизику перехода от нагрева к испарению.
- 37.Сформулируйте одномерную задачу о лазерном нагреве с испарением.
- 38.Какие определяют квазистационарные параметры?
- 39.Какова зависимость температуры и скорости лазерного разрушения от плотности светового потока?
- 40.Как происходит вытеснение расплава избыточным давлением паров?
- 41.Каковы свойства лазерного пара и плазмы и их влияние на процесс разрушения?

42. Как происходит оптический пробой газов?
43. Как происходит оптический пробой идеально чистых твердых тел?
44. Опишите тепловой механизм оптического пробоя реальных сред.
45. Каковы особенности оптического пробоя и разрушения оптически неоднородных сред?
46. Что такое тепловая неустойчивость?
47. Опишите статистическую концепцию оптического пробоя.
48. Какова размерная зависимость порога пробоя?
49. Опишите двухтемпературную модель при сверхкоротком воздействии.
50. Каковы особенности экспериментального изучения воздействия фемтосекундных лазерных импульсов на материалы?
51. Каковы особенности разлета вещества при фемтосекундном лазерном воздействии?
52. Как происходит плавление при воздействии сверхкоротких лазерных импульсов?
53. Как происходит термическое плавление с высокими скоростями?
54. Как происходит нетермическое плавление?
55. Что такое фотофизическая абляция?
56. Как происходит уплотнение электронного газа и кулоновский взрыв в поверхностном слое проводника?
57. Как происходит формирование лазерно-индуцированного поверхностного рельефа при воздействии сверхкоротких лазерных импульсов?
58. Опишите механизм образования поверхностных периодических структур при воздействии сверхкоротких импульсов.
59. Как происходит резонансная дифракция на плоской поверхности с периодической модуляцией оптических свойств?
60. Как происходит формирование периодического профиля поля температур?
61. Как происходит эволюция периодических поверхностных структур в расплавленном поверхностном слое?
62. Каково силовое действие сверхкоротких импульсов на прозрачные диэлектрики?

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольные вопросы к практическим занятиям

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ представлен на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией)
4	Ответ представлен на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности)

3	Ответ представлен на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией)
2	Ответ представлен на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов отвечать)

### **Вопросы к лабораторным работам:**

1. Общая характеристика нагревания лазерным излучением.
2. Тепловые эффекты в конденсированных средах.
3. Основные особенности температурной кинетики при лазерном воздействии на металлы.
4. Теплопроводностные механизмы отвода тепла.
5. Уравнение теплопроводности, начальное и граничные условия.
6. Термические эффекты, сопровождающие лазерный нагрев.
7. Термомеханические эффекты.
8. Фазовые переходы в твердом состоянии (лазерное упрочнение).
9. Эмиссионные процессы.
10. Основные особенности лазерной активации процессов аррениусовского типа.
11. Лазерное окисление.
12. Диффузионно-химические явления.
13. Экзотермические эффекты при импульсном лазерном воздействии на металлы.
14. Линейные режимы лазерного нагрева.
15. Понятие температуры электронной и решеточной подсистем.
16. Нагрев полупространства экспоненциально спадающим с глубиной тепловым источником.
17. Нагрев металла импульсным излучением постоянной мощности.
18. Нагрев материала лазерным пучком с гауссовым профилем.
19. Нагрев материала постоянным лазерным излучением, луч сфокусирован в пятно круглого сечения.
20. Влияние временной зависимости интенсивности лазерного излучения.
21. Лазерный нагрев тонких слоев и пленок.
22. Нагрев материалов в интерференционном лазерном поле.
23. Особенности нагрева материала движущимся световым пятном.
24. Нелинейные режимы лазерного нагрева.
25. Нагрев с учетом температурной зависимости поглощательной способности.
26. Изменение поглощательной способности окисляющихся материалов при лазерном нагревании.
27. Тепловая неустойчивость.
28. Интерференционные явления в окисном слое. Лазерное плавление поверхности.
29. Вакансионная модель плавления.

30. Общая характеристика механизмов лазерного разрушения.
31. Механическое низкотемпературное разрушение хрупких материалов.
32. Разрушение упругими напряжениями.
33. Разрушение остаточными напряжениями.
34. Химические механизмы разрушения.
35. Высокотемпературные механизмы с участием испарения.
36. Поляритонный механизм формирования лазерно-индуцированного поверхностного рельефа.
37. Лазерное испарение.
38. Кинетика испарения плоской поверхности.
39. Испарение в вакуум и среду с противодействием.
40. Температурная граница перехода от нагрева к испарению.
41. Теплофизика перехода от нагрева к испарению.
42. Одномерная задача о лазерном нагреве с испарением.
43. Установление стационарного режима.
44. Определение квазистационарных параметров.
45. Зависимость температуры и скорости лазерного разрушения от плотности светового потока.
46. Вытеснение расплава избыточным давлением паров.
47. Свойства лазерного пара и плазмы, их влияние на процесс разрушения.
48. Физические представления об оптическом пробое идеальных диэлектриков.
49. Оптический пробой газов.
50. Оптический пробой идеально чистых твердых тел.
51. Тепловой механизм оптического пробоя реальных сред.
52. Основные экспериментальные закономерности и особенности оптического пробоя и разрушения оптически неоднородных сред.
53. Тепловая неустойчивость.
54. Статистическая концепция оптического пробоя.
55. Размерная зависимость порога пробоя.
56. Двухтемпературная модель при сверхкоротком воздействии.
57. Особенности экспериментального изучения воздействия фемтосекундных лазерных импульсов на материалы.
58. Особенности разлета вещества при фемтосекундном лазерном воздействии.
59. Плавление при воздействии сверхкоротких лазерных импульсов.
60. Термическое плавление с высокими скоростями.
61. Нетермическое плавление.
62. Фотофизическая абляция.
63. Уплотнение электронного газа и кулоновский взрыв в поверхностном слое проводника.
64. Формирование лазерно-индуцированного поверхностного рельефа при воздействии сверхкоротких лазерных импульсов.

65. Механизм образования поверхностных периодических структур при воздействии сверхкоротких импульсов.
66. Резонансная дифракция на плоской поверхности с периодической модуляцией оптических свойств.
67. Формирование периодического профиля поля температур.
68. Эволюция периодических поверхностных структур в расплавленном поверхностном слое.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству вопросы к лабораторным работам

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответы представлены на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 90-100% вопросов)
4	Ответы представлены на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности, правильные ответы даны на 75-89% вопросов)
3	Ответы представлены на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 50-74% вопросов)
2	Ответы представлены на неудовлетворительном уровне или не представлены (студент не готов отвечать или правильные ответы даны менее чем на 50% вопросов)

### Тесты:

- Металлы сильно отражают падающее излучение в областях спектра:
  - инфракрасной.
  - ультрафиолетовой.
  - видимой.
- Скин-слой имеет толщину порядка:
  - 1 мкм.
  - 1 мм.
  - 1 см.
- В ультрафиолетовом диапазоне с излучением взаимодействуют электроны:
  - свободные.
  - валентные.
  - внутренних оболочек атомов.

4. Распространение электромагнитных волн в однородной и изотропной среде, обладающей проводимостью, исследуют с помощью уравнений:

- А) Максвелла.
- Б) Дирака.
- В) Гельмгольца.

5. Диэлектрическая проницаемость металлов отрицательна в области:

- А) отражения.
- Б) преломления.
- В) поглощения.

6. Проникновение электромагнитной волны вглубь металла на значительную величину происходит, если имеет место:

- А) низкочастотный нормальный скин-эффект.
- Б) высокочастотный нормальный скин-эффект.
- В) аномальный скин-эффект.

7. В собственных полупроводниках поглощение света определяется, в основном:

- А) свободными электронами.
- Б) связанными электронами.
- В) фононами.

8. Селективное поглощение носителями тока в кристаллах Ge является поглощением:

- А) электронами.
- Б) дырками.
- В) экситонами.

#### Критерии и шкала оценивания по оценочному средству тесты

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Тесты выполнены на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100% тестов)
4	Тесты выполнены на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89% тестов)
3	Тесты выполнены на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74% тестов)
2	Тесты выполнены на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50% тестов)

#### Оценочные средства для промежуточной аттестации (зачет)

1. Общая характеристика нагревания лазерным излучением.

2. Основные особенности температурной кинетики при лазерном воздействии на металлы.
3. Термические эффекты, сопровождающие лазерный нагрев.
4. Термомеханические эффекты.
5. Фазовые переходы в твердом состоянии (лазерное упрочнение).
6. Эмиссионные процессы.
7. Основные особенности лазерной активации процессов аррениусовского типа.
8. Лазерное окисление.
9. Диффузионно-химические явления.
10. Экзотермические эффекты при импульсном лазерном воздействии на металлы.
11. Линейные режимы лазерного нагрева.
12. Лазерный нагрев тонких слоев и пленок.
13. Нагрев материалов в интерференционном лазерном поле.
14. Особенности нагрева материала движущимся световым пятном.
15. Нелинейные режимы лазерного нагрева.
16. Нагрев с учетом температурной зависимости поглотательной способности.
17. Изменение поглотательной способности окисляющихся материалов при лазерном нагревании.
18. Тепловая неустойчивость.
19. Интерференционные явления в окисном слое.
20. Лазерное плавление поверхности.
21. Вакансионная модель плавления.
22. Механическое низкотемпературное разрушение хрупких материалов.
23. Разрушение упругими напряжениями.
24. Разрушение остаточными напряжениями.
25. Химические механизмы разрушения.
26. Высокотемпературные механизмы с участием испарения.
27. Поляритонный механизм формирования лазерно-индуцированного поверхностного рельефа.
28. Лазерное испарение.
29. Испарение в вакуум и среду с противодействием.
30. Особенности экспериментального изучения воздействия фемтосекундных лазерных импульсов на материалы.
31. Особенности разлета вещества при фемтосекундном лазерном воздействии.
32. Плавление при воздействии сверхкоротких лазерных импульсов.
33. Термическое плавление с высокими скоростями.
34. Нетермическое плавление.
35. Фотофизическая абляция.
36. Уплотнение электронного газа и кулоновский взрыв в поверхностном слое проводника.

- 37.Формирование лазерно-индуцированного поверхностного рельефа при воздействии сверхкоротких лазерных импульсов.
- 38.Механизм образования поверхностных периодических структур при воздействии сверхкоротких импульсов.
- 39.Резонансная дифракция на плоской поверхности с периодической модуляцией оптических свойств.
- 40.Формирование периодического профиля поля температур.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (зачет)

Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
Обучающийся глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	зачтено
Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	
Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.	
Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы	не зачтено



### Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)