

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

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
3	3	108	8	40	0		24	0	Э
Итого	3	108	8	40	0	0	24	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются основные физические принципы построения и функционирования сенсорных элементов и систем, способных к глубокой обработке полученных сигналов в виде электромагнитного излучения ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов, к учету нелинейностей и влияний окружения, к рациональному изменению режимов работы в зависимости от обстоятельств. Описаны функциональные схемы простых и сложных сенсоров, приведена их классификация и параметры эффективности. Рассмотрены различные виды оптических сенсоров, объясняются физические принципы их действия. Приведены многочисленные примеры их применения. Изложены подходы к проектированию сенсоров, раскрыты принципы построения и важнейшие технические характеристики их основных конструктивных узлов, комплектующих, программного построения, описаны способы селекции полезных сигналов. Очерчены направления дальнейшего развития сенсорных систем на основе автономности и распределенности.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дать основные физические представления о принципах построения и функционирования современных устройств на основе оптических сенсорных технологий, примерах их применения, возможностях и перспективах применения оптических сенсорных систем.

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

Профессиональный модуль, дисциплина по выбору

### 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		
выбор оптимального метода и разработка программ экспериментальных	фундаментальные и прикладные научно-исследовательские разработки в области	ПК-3 [1] - способен разрабатывать фотонное устройство на основе элементной	3-ПК-3[1] - Знать: элементную базу и устройства фотоники ;

исследований и измерений с выбором технических средств и обработкой результатов	фотоники и оптоинформатики	базы, выбирать необходимое оборудование и способ контроля параметров устройства  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	У-ПК-3[1] - Уметь: приобретать и использовать новые знания в своей предметной области; предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач в своей предметной области ; В-ПК-3[1] - Владеть: основными методами и способами контроля параметров устройств фотоники
производственно-технологический			
оценка технологичности конструкторских решений, разработка технологических процессов сборки и контроля элементов, устройств и систем	элементная база, системы и технологии интегральной, волоконной и градиентной оптики, а также микрооптики элементная база полупроводниковых, волоконных и планарных лазеров элементная база, системы, материалы, методы и технологии, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации элементная база и системы преобразования и отображения информации элементная база и системы на основе наноразмерных и фотоннокристаллических структур	ПК-8 [1] - способен разрабатывать технологические процессы производства и контроля качества оптических материалов, оптического волокна и покрытий, а также оптических элементов и устройств различного назначения  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004	З-ПК-8[1] - Знать: требования, предъявляемые к оптическим материалам, оптическим волокнам и покрытиям, а также к оптическим элементам и устройствам различного назначения; основные технологические процессы и методы контроля качества, используемые при изготовлении оптических материалов, оптических волокон и покрытий ; У-ПК-8[1] - Уметь: проводить концептуальную проработку типовых технологических процессов производства и контроля качества оптических материалов, оптического

			волокна и покрытий, а также оптических элементов и устройств различного назначения; формулировать и обосновывать параметры, режимы и условия реализации разрабатываемых технологических процессов ; В-ПК-8[1] - Владеть: методами оптических и оптико-физических измерений
--	--	--	--

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>3 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	4/20/0		25	КИ-8	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Второй раздел	9-16	4/20/0		25	КИ-16	З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		8/40/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 3 Семестр</b>				50	Э	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3,

							З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8
--	--	--	--	--	--	--	------------------------------

\* – 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>3 Семестр</i>	8	40	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	4	20	0
1 - 2	<b>Тема 1</b> Основные понятия. Сенсор и датчик. Функциональная схема простого сенсора. Активные и пассивные сенсоры. Сенсорно-компьютерные системы. Интеллектуальные сенсоры и их классификация по назначению, точности, габаритам и массе, принципу действия и природе первичного сигнала. Комбинированные сенсоры. Предел обнаружения, чувствительность и селективность. Практические занятия: классификация по назначению, точности, габаритам и массе, принципу действия, природе первичного сигнала, измеряемой величине. Решение задач на предел обнаружения, чувствительность и селективность.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Тема 2</b> Классификация оптических сенсоров. Светоизлучающие и светоприемные комплектующие сенсоров. Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Оптические схемы сенсоров. Изоляторы, соединительные и разделительные фильтры, модуляторы, устройства для сдвига частоты света. Основные материалы для оптики. Параметры качества и требования к показателям качества пассивных оптических элементов. Практические занятия: определение оптимальных оптических схем, основных материалов для оптических элементов, показателей, характеризующих качество оптических элементов. классификация сенсоров.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Тема 3</b> Спектрофотометрические сенсоры. Сенсорная реализация неинвазивных технологий для измерения содержания	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		

	гемоглобина, кровенаполнения, глюкозы, хлорофилла на основе рассеяния и отражения. Люминесцентные сенсоры. Сенсоры с люминесцентными маркерами на основе красителей и квантовых точек. Селективная модификация поверхности. Практические занятия: расчет параметров люминесцентных сенсоров по детектированию практически важных объектов	0	0	0
7 - 8	<b>Тема 4</b> Поверхностный плазмонный резонанс и его применение для построения сенсоров. Виды кривой ППР. ППР для биохимического анализа. ППР-сенсоры с параллельным и расходящимся пучком. Промышленные ППР-сенсоры. Съёмные рецепторные чипы. Волоконно-оптические ППР-сенсоры. Практические занятия: Поверхностный плазмонный резонанс и его применение для построения сенсоров. Виды кривой ППР. ППР для биохимического анализа. ППР-сенсоры с параллельным и расходящимся пучком. Промышленные ППР-сенсоры. Съёмные рецепторные чипы. Волоконно-оптические ППР-сенсоры.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Второй раздел</b>	4	20	0
9 - 10	<b>Тема 5</b> Волоконные сенсоры на основе измерения интенсивности света для регистрации температуры, давления, ускорения, концентрации химических веществ. Абсолютные и относительные энкодеры. Оптоэлектрические переключатели и лучеводы. Поляризационные сенсоры для регистрации магнитного и электрического полей, давления и ускорения. Сенсоры на основе сдвига частоты света. Практические занятия: волоконные сенсоры на основе измерения интенсивности света для регистрации температуры, давления, ускорения, концентрации химических веществ. Расчет параметров абсолютных и относительных энкодеров. Оптоэлектрические переключатели и лучеводы. Поляризационные сенсоры для регистрации магнитного и электрического полей, давления и ускорения. Сенсоры на основе сдвига частоты света	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	<b>Тема 6</b> Сенсоры на основе волоконно-чувствительных оптических элементов, работающих на изменении фазы, вращения плоскости поляризации, изменения потерь, рассеяния. Волоконно-оптические интерферометры. Волоконно-оптические гироскопы. Практические занятия: сенсоры на основе волоконно-чувствительных оптических элементов, работающих на изменении фазы, вращения плоскости поляризации, изменения потерь, рассеяния. Волоконно-оптические интерферометры. Волоконно-оптические гироскопы.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	<b>Тема 7</b> Сенсоры на основе фотонных кристаллов и их применение для высокочувствительного детектирования нитроорганических соединений. Биолюминесцентные сенсоры. Мультисенсорные технологии. «Smart-dust»	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0

	концепция создания полностью автономных распределенных сенсорных систем: от идеи до практической реализации. Практические занятия: сенсоры на основе фотонных кристаллов и их применение для высокочувствительного детектирования нитроорганических соединений. Расчет параметров. Биолюминесцентные сенсоры расчет параметров и проектирование. Мультисенсорные технологии.			
15 - 16	<b>Тема 8</b> Элементная база интеллектуальных сенсоров: усилители, микроконтроллеры, память, микрокомпьютеры, интерфейс. Этапы проектирования и программирования интеллектуальных сенсоров. Тенденции развития сенсорных технологий: новые материалы, методики применения. Развитие электронных систем обработки сенсорных сигналов. Беспроводная передача информации. Интеграция в диагностические системы для прикладных применений. Практические занятия: этапы проектирования и программирования интеллектуальных сенсоров. Тенденции развития сенсорных технологий: новые материалы, методики применения. Развитие электронных систем обработки сенсорных сигналов. Беспроводная передача информации. Интеграция в диагностические системы для прикладных применений.	Всего аудиторных часов		
		1	5	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

#### ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>3 Семестр</i>
1 - 2	<b>Тема 1</b> Тема 1. Основные понятия. Сенсор и датчик. Функциональная схема простого сенсора. Активные и пассивные сенсоры. Сенсорно-компьютерные системы. Интеллектуальные сенсоры и их классификация по назначению, точности, габаритам и массе, принципу действия и природе первичного сигнала. Комбинированные сенсоры. Предел обнаружения, чувствительность и селективность.

3 - 4	<p><b>Тема 2</b></p> <p>Тема 2 Классификация оптических сенсоров. Светоизлучающие и светоприемные комплектующие сенсоров. Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Оптические схемы сенсоров. Изоляторы, соединительные и разделительные фильтры, модуляторы, устройства для сдвига частоты света. Основные материалы для оптики. Параметры качества и требования к показателям качества пассивных оптических элементов.</p>
5 - 6	<p><b>Тема 3</b></p> <p>Тема 3 Спектрофотометрические сенсоры. Сенсорная реализация неинвазивных технологий для измерения содержания гемоглобина, кровенаполнения, глюкозы, хлорофилла на основе рассеяния и отражения. Люминесцентные сенсоры. Хронофлуорометры. Сенсоры с люминесцентными маркерами на основе красителей и квантовых точек. Селективная модификация поверхности. Биолюминесцентные сенсоры. Сцинтилляционные сенсоры. Сенсоры на основе фотонных кристаллов и их применение для высокочувствительного детектирования нитроорганических соединений.</p>
7 - 8	<p><b>Тема 4</b></p> <p>Тема 4 Поверхностный плазмонный резонанс и его применение для построения сенсоров. Виды кривой ППР. ППР для биохимического анализа. ППР-сенсоры с параллельным и расходящимся пучком. Промышленные ППР-сенсоры. Съёмные рецепторные чипы. Волоконно-оптические ППР-сенсоры.</p>
9 - 10	<p><b>Тема 5</b></p> <p>Тема 5 Волоконные сенсоры на основе измерения интенсивности света для регистрации температуры, давления, ускорения, концентрации химических веществ. Абсолютные и относительные энкодеры. Оптоэлектрические переключатели и лучеводы. Поляризационные сенсоры для регистрации магнитного и электрического полей, давления и ускорения. Сенсоры на основе сдвига частоты света.</p>
11 - 12	<p><b>Тема 6</b></p> <p>Тема 6 Сенсоры на основе волоконно-чувствительных оптических элементов, работающих на изменении фазы, вращения плоскости поляризации, изменения потерь, рассеяния. Волоконно-оптические интерферометры. Волоконно-оптические гироскопы.</p>
13 - 14	<p><b>Тема 7</b></p> <p>Тема 7 Радиосенсоры и радиолокаторы. Мобильные телефоны. Радиосенсоры Bluetooth. Широкополосная и нелинейная радиолокация. Радиотелевизионные сенсоры. Мультисенсорные технологии. «Smart-dust» концепция создания полностью автономных распределенных сенсорных систем: от идеи до практической реализации.</p>
15 - 16	<p><b>Тема 8</b></p> <p>Тема 8 Элементная база интеллектуальных сенсоров:</p>

усилители, микроконтроллеры, память, микрокомпьютеры, интерфейс. Этапы проектирования и программирования интеллектуальных сенсоров. Тенденции развития сенсорных технологий: новые материалы, методики применения. Развитие электронных систем обработки сенсорных сигналов. Беспроводная передача информации. Интеграция в диагностические системы для прикладных применений.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При проведении лекций используются наглядные формы демонстрации учебного материала в виде презентаций, а также выступление приглашенных сотрудников кафедры "Физики микро- и наносистем" и других подразделений НИЯУ МИФИ, занимающихся исследованиями в области сенсорных технологий. Студенты в обязательном порядке посещают лекции ведущих мировых ученых, выступающих в НИЯУ МИФИ с лекциями на тему фотоники, нанофотоники и оптики. Проведение семинаров предусматривает проведение дискуссий и выступления студентов с докладами на темы, связанные с оптическими технологиями в сенсорике.

## 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-3	З-ПК-3	Э, КИ-8
	У-ПК-3	Э, КИ-8
	В-ПК-3	Э, КИ-8
ПК-8	З-ПК-8	Э, КИ-16
	У-ПК-8	Э, КИ-16
	В-ПК-8	Э, 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-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
--------------	-------------------------------	-------------	---

90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

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

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.1 , Долгопрудный: Интеллект, 2012
2. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.2 , Долгопрудный: Интеллект, 2012

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 681.5 Д20 Датчики измерительных систем Кн.1 , , М.: Мир, 1992
2. 681.5 Д20 Датчики измерительных систем Кн.2 , , М.: Мир, 1992
3. 681.7 В68 Волоконно-оптические датчики : , Пер.с яп., Ленинград: Энергоатомиздат, 1991

### 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**

1. Демонстрационный проектор (Э-207)

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

В курсе изучаются основные физические принципы построения и функционирования оптических сенсоров широкого спектра применения. При изучении материалов курса в первую очередь необходимо обращать внимание на понимание физических механизмов, лежащих в основе работы сенсоров различных назначений.

Обучающийся, для успешного освоения данного курса, должен знать:

- высшую математику в соответствии с основными разделами курса высшей математики в университетском объеме;
- разделы курса теоретической физики в части квантовой механики, статистической физики, физики твердого тела, теории поля;
- курс общей физики,
- курс физической оптики,
- основы электротехники и электроники.

По окончании курса у студента должно сформироваться понимание технологических приемов и требований, применяемых при разработке и производстве существующих и перспективных оптических сенсорных элементов, направлений развития и методы реализации сенсорики в различных областях человеческой деятельности, основных физических механизмов функционирования описанных в курсе лекций сенсоров, навыков решения задач на расчет основных параметров сенсорных элементов.

### **а) ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.1, Долгопрудный: Интеллект, 2012
2. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.2, Долгопрудный: Интеллект, 2012

### **б) ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. Т.Окоси и др. Волоконно-оптические датчики. Ленинград: Энергоатомиздат, 1991.
2. Аш Ж. и др.: Датчики измерительных систем: В 2-х книгах: Пер. с франц. М.: Мир, 1992.
3. Булушев А.Г. и др. Волоконно-оптические интерферометры. Тр. ин-та общ. физики. АН СССР, 1990.

### **в) ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При работе над первой частью курса от студента требуется запомнить основные определения - чувствительности, динамического диапазона, линейности, предела обнаружения, селективности, разрешения, а также уметь классифицировать оптические сенсоры по природе первичного информационного сигнала на спектрофотометрические, люминесцентные, поляризационные, интерферометрические, на основе поверхностного плазмонного резонанса. Необходимо представлять особенности конкретной реализации каждого типа сенсоров и их современные научно-технические характеристики.

Второй раздел посвящен условиям и областям применения уже существующих сенсоров, а также разработке новых устройств на их основе. Следует владеть конкретными примерами реализации оптических сенсорных технологий. Отдельное внимание необходимо уделить основным этапам разработки сенсоров, начиная с постановки задачи, через стадии эскизного и технического проекта, изготовления конструкторской документации и заканчивая испытаниями.

Многие из магистрантов закончили региональные университеты, в которых уровень преподавания курса «Общей физики» сильно отличается от стандарта НИЯУ МИФИ. Поэтому при изложении материала, помимо прочего, необходимо особое внимание уделить вводным разделам. Лекции должны сопровождаться наглядным иллюстративным материалом, в частности, с использованием компьютерных технологий. Следует уделить особое внимание практическим расчетам, выполняемым самими студентами при работе над текущими заданиями. Допускается использование студентами справочных материалов, необходимых для проведения численных расчетов. Формулировку практических заданий следует выполнять подробно, а так же допускать использование интернет-ресурсов при работе над заданиями.

Автор(ы):

Котковский Геннадий Евгеньевич, к.ф.-м.н.