

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**  
**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

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	4	144	16	32	0		60	0	Э
Итого	4	144	16	32	0	0	60	0	

## АННОТАЦИЯ

Учебная задача курса «Физические основы органической электроники» дать основные физические представления о построении и функционировании элементов на базе органических материалов, а также устройств широкого спектра применения на их основе.

В курсе «Физические основы органической электроники» рассматриваются основы теории химической связи, особое внимание уделяется отличию органических полупроводников от неорганических и принципам формирования электронной и дырочной проводимости в элементах на основе сопряженных полимеров. Подробно рассматриваются современные электропроводящие полимерные наносистемы, а также оптоэлектронные приборы на их основе. Дается представление о нанокompозитах на основе органических полупроводников и таких наноструктур, как фуллерены, нанотрубки, полупроводниковые нанокристаллы. Рассматриваются органические тонкопленочные транзисторы и интегральные схемы на их основе.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины "Физические основы органической электроники" является получение знаний о современных материалах и устройствах органической электроники: органических проводниках и полупроводниках, нанокompозитах на их основе.

### 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			
анализ состояния научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства,	ПК-7 [1] - способен анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора,	З-ПК-7[1] - Знать: современное состояние научно-технических проблем в области электроники и

<p>литературных и патентных источников</p>	<p>установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>	<p>изучения и анализа литературных и патентных источников</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>нанoeлектроники ; У-ПК-7[1] - Уметь: анализировать состояние научно-технической проблемы путём изучения и анализа литературных и патентных источников.; В-ПК-7[1] - Владеть: навыками сбора научно-технической информации, необходимой для проведения исследований.</p>
<p>проектно-конструкторский</p>		<p>ПК-9 [1] - способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.003</p>	<p>З-ПК-9[1] - Знать: государственные стандарты, нормативы, законы физики и методы технологии в области приборов и систем электронной техники. ; У-ПК-9[1] - Уметь: применять компьютерные технологии и методы автоматизированного проектирования</p>
<p>проектирование приборов и элементной базы твердотельной электроники и нанoeлектроники в соответствии с техническим заданием</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое</p>		

	<p>оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>		<p>устройств, приборов и систем электронной техники; В-ПК-9[1] - Владеть: навыками проектирования устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований.</p>
--	---	--	--

#### 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>1 Семестр</i>						
1	Теория химической связи	1-8	8/16/0		25	КИ-8	3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
2	Свойства органических полупроводников	9-16	8/16/0		25	КИ-16	3-ПК-9, У-ПК-9, В-

							ПК-9
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9

\* – 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>	16	32	0
<b>1-8</b>	<b>Теория химической связи</b>	8	16	0
	<b>Тема 1</b> Развитие исследований свойств проводимости органических материалов и органической электроники. Роль органической электроники и оптоэлектроники в современной электронике. Элементы симметрии и операции с ними. Алгебра элементов симметрии. Симметрия молекул. Принадлежность молекул к различным группам симметрии.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 2</b> Основы теории представлений. Групповые преобразования молекулярных волновых функций. Вырожденные колебательные и электронные состояния. Молекулярные радиационные переходы с точки зрения симметрии. Электронные молекулярные термы. Связывающие и разрыхляющие электронные состояния. Одноэлектронные молекулярные состояния, их свойства симметрии. Молекулярные оболочки. Взаимосвязь молекулярной оболочки и электронного терма.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 3</b>	Всего аудиторных часов		

	Взаимосвязь атомарных и молекулярных орбиталей. Связывающие и разрыхляющие свойства $\sigma$ и $\pi$ -электронов. Решение уравнения Шредингера для иона молекулы водорода. Метод молекулярных пар и молекулярных орбиталей, роль спина. Решение уравнения Шредингера для метода молекулярных пар.	2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 4</b> Основы теории направленной валентности. $\sigma$ и $\pi$ -электроны. Волновые функции. Электронные состояния. Обобщение $\pi$ - электронов. Теория размерного квантования применительно к многоатомным молекулам. Схема Яблонского для многоатомных молекул. Синглетные и триплетные состояния. Устойчивые и разлетные термы. Излучательная и безызлучательная релаксация. Люминесценция, флюоресценция и фосфоресценция многоатомных молекул	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Свойства органических полупроводников</b>	8	16	0
	<b>Тема 5</b> Квантовый выход флуоресценции и фосфоресценции. Радиационное время жизни, кинетика люминесценции. Сопряженные связи и электропроводность. Роль обобщенных электронов. Свойства проводимости молекулярных кристаллов.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 6</b> Зависимость проводимости от температуры. Полупроводниковые свойства полимеров. Туннелирование и прыжковая проводимость. Фотопроводимость. Органический диод и транзистор. ВАХ. Основные физические и технические и эксплуатационные характеристики органических транзисторов. Области применений органических транзисторов. TFT – транзисторы.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 7</b> Гетероструктуры на основе органических полупроводников. Понятие о электронных и дырочных слоях. Контакты. Токи в органических светодиодах. КПД. Технология изготовления органических светодиодов. Гетероструктуры для органической фотовольтаики. Контакты. ВАХ. КПД солнечных ячеек на основе органических полупроводников.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 8</b> Наноконпозиты на основе органических полупроводников, фуллеренов, углеродных нанотрубок и полупроводниковых квантовых точек. Технология получения органических наноконпозитов. Светодиоды и фотовольтаические элементы на основе наноконпозитов.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
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>1 Семестр</i>
	<b>Тема 1</b> Развитие исследований свойств проводимости органических материалов и органической электроники. Роль органической электроники и оптоэлектроники в современной электронике
	<b>Тема 2</b> Элементы симметрии и операции с ними. Алгебра элементов симметрии. Симметрия молекул. Принадлежность молекул к различным группам симметрии.
	<b>Тема 3</b> Основы теории представлений. Групповые преобразования молекулярных волновых функций. Вырожденные колебательные и электронные состояния. Молекулярные радиационные переходы с точки зрения симметрии.
	<b>Тема 4</b> Электронные молекулярные термы. Связывающие и разрыхляющие электронные состояния. Одноэлектронные молекулярные состояния, их свойства симметрии. Молекулярные оболочки. Взаимосвязь молекулярной оболочки и электронного терма.
	<b>Тема 5</b> Взаимосвязь атомарных и молекулярных орбиталей. Связывающие и разрыхляющие свойства $\sigma$ и $\pi$ -электронов. Решение уравнения Шредингера для иона молекулы водорода.
	<b>Тема 6</b> Метод молекулярных пар и молекулярных орбиталей, роль спина. Решение уравнения Шредингера для метода молекулярных пар.
	<b>Тема 7</b> Основы теории направленной валентности. $\sigma$ и $\pi$ -электроны. Волновые функции. Электронные состояния. Обобществление $\pi$ - электронов. Теория размерного квантования применительно к многоатомным молекулам.
	<b>Тема 8</b> Схема Яблонского для многоатомных молекул. Синглетные и триплетные состояния. Устойчивые и

	разлетные термы. Излучательная и безызлучательная релаксация. Люминесценция, флюоресценция и фосфоресценция многоатомных молекул
	<b>Тема 9</b> Квантовый выход флуоресценции и фосфоресценции. Радиационное время жизни, кинетика люминесценции.
	<b>Тема 10</b> Сопряженные связи и электропроводность. Роль обобщенных электронов. Свойства проводимости молкулярных кристаллов.
	<b>Тема 11</b> Зависимость проводимости от температуры. Полупроводниковые свойства полимеров. Туннелирование и прыжковая проводимость. Фотопроводимость.
	<b>Тема 12</b> Органический диод и транзистор. ВАХ. Основные физические и технические и эксплуатационные характеристики органических транзисторов. Области применений органических транзисторов. TFT – транзисторы.
	<b>Тема 13</b> Гетероструктуры на основе органических полупроводников. Понятие о электронных и дырочных слоях. Контакты. Токи в органических светодиодах. КПД. Технология изготовления органических светодиодов.
	<b>Тема 14</b> Гетероструктуры для органической фотовольтаики. Контакты. ВАХ. КПД солнечных ячеек на основе органических полупроводников.
	<b>Тема 15</b> Нанокompозиты на основе органических полупроводников, фуллеренов, углеродных нанотрубок и полупроводниковых квантовых точек. Технология получения органических нанокompозитов. Светодиоды и фотовольтаические элементы на основе нанокompозитов.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Используются современные предметно- и личностно-ориентированные образовательные технологии, компьютерные технологии.

## 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
-------------	---------------------	----------------------------

		<b>(КП 1)</b>
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-8
	У-ПК-7	Э, КИ-8
	В-ПК-7	Э, КИ-8
ПК-9	З-ПК-9	Э, КИ-16
	У-ПК-9	Э, КИ-16
	В-ПК-9	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. ЭИ К 44 Квантовая и оптическая электроника : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ И 26 Оптоэлектроника и нанофотоника : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2020
3. 678 П50 Полимерные нанокompозиты : , Москва: Техносфера, 2011
4. 544 P21 Структура полимеров - от молекул до наноансамблей : , Долгопрудный: Интеллект, 2009
5. 620 Д93 Углеродные нанотрубки : строение, свойства, применения, П. Н. Дьячков, Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2006

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 53 М31 Введение в физику наноструктур : учебное пособие для вузов, М. М. Маслов, Л. А. Опенев, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

### **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**

При изучении курса «Физические основы органической электроники» студент должен твердо усвоить основные представления о методах исследования и физических принципах построения технологий в области органической электроники и нанофотоники.

Курс состоит из следующих основных частей: теория химической связи; фотофизика и спектроскопия сложных органических и биоорганических молекул; электрофизические свойства, фотопроводимость органических молекул, молекулярных кристаллов и полимеров; приборы органической электроники и фотоники.

При изучении раздела «Теория химической связи» студент должен твердо усвоить систематику электронных состояний, освоить методы теории симметрии применительно к электронным волновым функциям в случае двухатомных молекул, а также квантово-

механические методы расчета электронных термов в простейших случаях. Для лучшего усвоения раздела необходимо повторить некоторые темы молекулярной спектроскопии, в частности понятие электронного терма, принцип Франка-Кондона, правила отбора электронно-колебательных переходов и т.п. Поскольку большое методологическое значение в теории строения молекул и молекулярной спектроскопии играет теория симметрии, необходимо также повторить основные положения теории точечных групп и решать задачи, предложенные по этой теме преподавателем.

Фотофизика и спектроскопия сложных органических молекул. В результате изучения этого раздела студент должен усвоить схему Яблонского для энергетических уровней сложных органических молекул, твердо знать элементарные фотопроцессы, резонансное поглощение флюоресценцию, фосфоресценцию, а также безызлучательные процессы – внутреннюю конверсию, колебательную релаксацию, интеркомбинационную конверсию, уметь рассчитывать населенности нижних энергетических уровней при резонансном возбуждении молекулы мощным лазерным излучением. Для усвоения понятий синглетных и триплетных термов полезно повторить теорию двухэлектронного атома (атома гелия), которая подробно излагается в курсе «Атомная спектроскопия».

Последний раздел курса - приборы органической электроники и фотоники. Он представляет особый интерес для студентов, поскольку они узнают о последних достижениях органической нанофотоники, о приборах которые выпускаются в настоящее время, о ведущих фирмах, присутствующих на рынке. В результате изучения этого раздела студент должен усвоить физические принципы получения электролюминесценции органических соединений. Знать физические и технологические принципы построения светодиодных гетероструктур ( OLED), уметь рассчитать квантовую и энергетическую эффективность органического светодиода.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

При изложении теории химической связи необходимо основываться на курсе, посвященном строению молекул и электронно-колебательным спектрам. При этом желательно, пусть даже коротко, повторить понятие электронного терма, принцип Франка-Кондона, правила отбора электронно-колебательных переходов и т.п. Поскольку большое методологическое значение в теории строения молекул и молекулярной спектроскопии играет теория симметрии, необходимо также напомнить основные положения теории точечных групп. Рассмотрение синглетных и триплетных термов полезно провести с применением теории двухэлектронного атома (атома гелия). Преподаватель должен последовательно изложить физические причины высокой проводимости сначала молекул бензольного ряда (бензол, нафталин, антрацен и т.д.), затем молекулярных кристаллов, состоящих из молекул с сопряженными связями, а затем и полимеров. Необходимо рассмотреть электролюминесценцию органических соединений, принципы строения и технологии создания органических светодиодов, а также фотовольтаических преобразователей. Важно также познакомить студентов с современной физикой и технологией создания наногибридных и био- наногибридных материалов, а также с оптоэлектронными приборами и системами на их основе.

Автор(ы):

Чистяков Александр Александрович, д.ф.-м.н., с.н.с.