

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

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 4

от 23.07.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ОСНОВЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ОПТО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

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, экз./зач./КР/КП
1	4	144	8	32	0		68	0	Э
Итого	4	144	8	32	0	0	68	0	

## АННОТАЦИЯ

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

В курсе «Основы органической опто- и наноэлектроники» 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 "Основы органической опто- и наноэлектроники" является получение знаний о современных материалах и устройствах органической электроники: органических проводниках и полупроводниках, нанокompозитах на их основе, а также органических электронных и оптоэлектронных устройствах (транзисторах, светодиодах и фотовольтаических элементах)

### 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			
<p>разработка рабочих планов и программ проведения научных исследований и технических разработок, подготовка отдельных заданий для исполнителей; сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования, выбор методик и средств решения задачи; разработка методики, проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов; использование физических эффектов при разработке новых методов исследований и изготовлении макетов измерительных систем; разработка физических и математических моделей, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере; подготовка научно-технических отчетов, обзоров, рефератов, публикаций по результатам выполненных исследований, подготовка и представление докладов на научные конференции и семинары; фиксация и защита объектов интеллектуальной собственности</p>	<p>материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, математические модели</p>	<p>ПК-7 [1] - способен анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-7[1] - Знать: современное состояние научно-технических проблем в области электроники и 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>
проектно-конструкторский			
<p>авторское сопровождение разрабатываемых устройств, приборов и систем электронной техники на этапах проектирования и производства; проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных</p>	<p>электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования</p>	<p>ПК-9 [1] - способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований</p>	<p>З-ПК-9[1] - Знать: государственные стандарты, нормативы, законы физики и методы технологии в области приборов и систем электронной техники. ;</p>

требований; подготовка технических заданий на выполнение проектных работ;	, диагностическое и технологическое оборудование	<i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004	У-ПК-9[1] - Уметь: применять компьютерные технологии и методы автоматизированно о проектирования устройств, приборов и систем электронной техники; В-ПК-9[1] - Владеть: навыками проектирования устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований.
---	--	---	---

#### 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	Введение, химическая связь, теория симметрии	1-8	4/16/0		25	КИ-8	З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
2	Органические полупроводники и их свойства	9-16	4/16/0		25	КИ-16	З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		8/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b>				50	Э	З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, З-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>	8	32	0
<b>1-8</b>	<b>Введение, химическая связь, теория симметрии</b>	4	16	0
	<b>Тема 1</b> История развития исследований свойств проводимости органических материалов и органической электроники. Проводящие полимеры. Рынок и перспективы органической электроники. Основные классы сопряженных полимеров. Полимерные полупроводники. Органические полупроводящие материалы и методы их переработки. Требования к функциональным материалам для органической электроники. Проводящие полимерные дисперсии PEDOT-PSS. Варьирование проводимости и аспекты применения PEDOT-PSS в различных устройствах.	Всего аудиторных часов		
		1	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 2</b> Элементы симметрии и операции с ними. Алгебра элементов симметрии. Точечные группы и их свойства. Симметрия молекул. Принадлежность молекул к различным группам симметрии. Электронные молекулярные термы. Связывающие и разрыхляющие электронные состояния. Свойства симметрии электронных состояний. Одноэлектронные молекулярные состояния, их свойства симметрии. Молекулярные оболочки. Взаимосвязь молекулярной оболочки и электронного терма.	Всего аудиторных часов		
		1	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 3</b> Взаимосвязь атомарных и молекулярных орбиталей. Симметрия 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. Ковалентная связь. Основы теории направленной валентности. Примеры. Молекула бензола. $\sigma$ и $\pi$ - электроны. Волновые функции. Электронные состояния. Обобществление $\pi$ - электронов. Теория размерного квантования применительно к многоатомным молекулам. Большая молекула, как наносистема.	Всего аудиторных часов		
		1	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 4</b> Схема Яблонского для многоатомных молекул.	Всего аудиторных часов		
		1	4	0

	Синглетные и триплетные состояния. Устойчивые и разлетные термы. Излучательная и безызлучательная релаксация. Люминесценция, флюоресценция и фосфоресценция многоатомных молекул. Правила отбора.	Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Органические полупроводники и их свойства</b>	4	16	0
	<b>Тема 5</b> Квантовый выход флюоресценции и фосфоресценции. Радиационное время жизни, кинетика люминесценция. Экспериментальная техника измерения кинетики люминесценции.	Всего аудиторных часов		
		1	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<b>Тема 6</b> Органический диод и транзистор. Вольт-амперная характеристика. Основные физические и технические характеристики. Основные эксплуатационные характеристики органических транзисторов. Области применений органических транзисторов. TFT – транзисторы. Сопряженные связи и электропроводность. Роль обобщенных электронов. Свойства проводимости молекулярных кристаллов. Свойства проводимости органических полимеров. Зависимость проводимости от температуры. Полупроводниковые свойства полимеров. Туннелирование и прыжковая проводимость. Фотопроводимость	Всего аудиторных часов		
		1	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. Вольт-амперные характеристики. КПД солнечных ячеек на основе органических полупроводников	Всего аудиторных часов		
		1	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		
		1	4	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 современные предметно- и личностно-ориентированные образовательные 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 (ЖП 1)
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-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64	2 – «неудовлетворительно»	«Не зачтено»	F
Ниже 60			

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:

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

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 «Основы органической опто- и наноэлектроники» 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».

Электрофизические свойства, фотопроводимость органических молекул, молекулярных кристаллов и полимеров – центральный раздел курса, поэтому студент должен уделить ему особое внимание. Он основывается на теории химической связи, в частности, на свойствах обобществленных  $\pi$ -электронов. Необходимо освоить физические принципы формирования электропроводности для органических молекул с сопряженными связями, для молекулярных кристаллов таких молекул и, наконец, полимеров. Особое внимание нужно уделить туннелированию и прыжковой проводимости.

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. Студент также должен знать физические и технологические принципы создания солнечных элементов на основе органических гетероструктур, а также на основе наногибридных и био- наногибридных материалов.

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

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), которая подробно излагается студентам в курсе «Атомная спектроскопия». Электрофизические свойства, фотопроводимость органических молекул, молекулярных кристаллов и полимеров – центральный раздел курса. Он основывается на теории химической связи, в частности, на свойствах обобществленных  $\pi$  – электронов. 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. 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 этом разделе 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 бионаногибридных материалов, а также с оптоэлектронными приборами и системами на их основе.

Автор(ы):

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