

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ОРГАНИЧЕСКАЯ ФОТОВОЛЬТАИКА (ORGANIC PHOTOVOLTAICS)**

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	5	180	8	40	0	96	0	Э
Итого	5	180	8	40	0	96	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе излагаются основные современные теоретические представления о процессах генерации, переноса и рекомбинации носителей заряда в неупорядоченных органических материалах, основные экспериментальные результаты и описание основных экспериментальных методов, физические основы функционирования электронных приборов на основе органических материалов. Особое внимание уделено принципам работы органических светодиодов и фотовольтаических элементов (солнечных батарей).

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Органическая фотовольтаика» являются:

Изучение основных теоретических концепций и понятий, касающихся процессов генерации, переноса и рекомбинации носителей заряда в неупорядоченных органических материалах (полупроводниках и диэлектриках) для применений в электронике.

Знакомство с основными экспериментальными методами и результатами исследования генерации, переноса и рекомбинации.

Знание основных физических процессов, определяющих характеристики светодиодов, фотовольтаических элементов и других базовых элементов органической электроники

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

Для успешного усвоения данной дисциплины студент должен владеть математическим аппаратом, необходимым для решения дифференциальных уравнений, представлениями о физике атомов и молекул, физике твёрдого тела из курса общей физики, владеть понятийным аппаратом и методами решения задач теории электромагнитного поля, квантовой механики, статистической физики, физики полупроводников. Предполагается предварительное изучение следующих дисциплин:

Дифференциальные и интегральные уравнения

Общая физика (электричество и магнетизм)

Общая физика (атомная физика)

Теория поля

Квантовая механика

Теоретическая физика: статистическая физика

### 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			
разработка рабочих планов и программ проведения научных исследований и технических разработок, подготовка отдельных заданий для исполнителей	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое 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.	ПК-1 [1] - способен формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1[1] - Знать: современное состояние, тенденции и перспективы развития электроники, наноэлектроники и смежных областей науки и техники. ; У-ПК-1[1] - Уметь: формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники, наноэлектроники, физики конденсированных сред и других смежных областей науки и техники; В-ПК-1[1] - Владеть: навыками обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач в области электроники и наноэлектроники

<p>анализ состояния научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, 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>ПК-1.1 [1] - Способен применять представления, концепции и модели физики конденсированного состояния в самостоятельной научно-исследовательской работе в области электроники и нанoeлектроники</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-1.1[1] - Знать основные сведения из физики конденсированного состояния, в особенности физики полупроводников, имеющие отношения к принципам функционирования приборов электроники и нанoeлектроники; У-ПК-1.1[1] - Уметь применять представления, концепции и модели физики конденсированного состояния в самостоятельной научно-исследовательской работе в области электроники и нанoeлектроники; В-ПК-1.1[1] - Владеть основными экспериментальными и теоретическими методами физики конденсированного состояния, используемым для исследования материалов и приборов электроники и нанoeлектроники</p>
<p>анализ состояния научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические</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></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</p>

	<p>процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и микроэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и микроэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>	<p>Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>путём изучения и анализа литературных и патентных источников.; В-ПК-7[1] - Владеть: навыками сбора научно-технической информации, необходимой для проведения исследований.</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/ Практи. (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	Первый раздел	1-8	4/20/0	Т-7 (16)	25	КИ-8	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-

							1.1, У- ПК- 1.1, В- ПК- 1.1, 3-ПК- 7, У- ПК-7, В- ПК-7
2	Второй раздел	9-16	4/20/0	к.р-13 (21)	25	КИ-16	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 1.1, У- ПК- 1.1, В- ПК- 1.1, 3-ПК- 7, У- ПК-7, В- ПК-7
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		8/40/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b>				50	Э	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 1.1, У- ПК- 1.1, В- ПК- 1.1, 3-ПК- 7, У- ПК-7,

							В-ПК-7
--	--	--	--	--	--	--	--------

\* – сокращенное наименование формы контроля

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

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Т	Тестирование
КИ	Контроль по итогам
к.р	Контрольная работа
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	8	40	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	4	20	0
1 - 2	<b>Типы, особенности и основные электронные свойства органических материалов</b> Основные классы органических материалов, их значение в электронике. Отличительные особенности рассматриваемых материалов: структурный беспорядок, низкая собственная проводимость, прыжковый характер проводимости. Молекулярные состояния электронов. П- и $\sigma$ - связи. Беспорядок и его природа в различных классах органических материалов. Локализованные и делокализованные состояния. Критерий Андерсона. Край подвижности и ловушки. Качественное рассмотрение спектра энергетических состояний электронов и дырок.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Экспериментальные методы и основные результаты исследования переноса носителей заряда</b> Измерение времени пролёта. Нормальный и дисперсионный транспорт. Нестационарная радиационная электропроводность. Переходная электролюминесценция. Зависимость подвижности от температуры, напряжённости поля и концентрации носителей заряда.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Прыжковый транспорт носителей заряда</b> Транспортный уровень, его температурная зависимость для экспоненциального и гауссова распределения прыжковых центров. Зависимость прыжковой проводимости от температуры и концентрации носителей. Модель многократного захвата и освобождения	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Генерация и рекомбинация носителей в органических полупроводниках. Органическая электроника</b> Токи, ограниченные объёмным зарядом. Инжекция Фаулера- Нордгейма и Ричардсона-Шоттки.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Фотогенерация и геминальная рекомбинация. Вычисление вероятности разделения геминальной пары в моделях Пула-Френкеля и Онзагера- Брауна. Вычисление константы бимолекулярной рекомбинации			
<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>	4	20	0
9 - 10	<b>Преобразование солнечной энергии. Органические фотовольтаические устройства</b> Энергоэффективность фотовольтаики, добротность. Отношение между структурой и свойствами. Принцип работы органического солнечного элемента. Переход Шоттки. P-n переход. Объёмный гетеропереход.	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	<b>Функциональные слои органического солнечного элемента</b> Транспортный слой дырок – функция барьер для электронов у фотоанода. Транспортный слой электронов– барьер для дырок и фотокатода. Оптимальный фазовый состав объемного гетероперехода	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	<b>Физика электронных процессов при поглощении света фотоактивными молекулами</b> Спектроскопия электронного поглощения и фотолюминесценции. Спиновые состояния электронов и молекул, синглетные и триплетные состояния молекулы. Релаксация возбужденных экситонов. Состояние с переносом заряда в донорно-акцепторной системе. Рекомбинация связанной пары. Генерация свободных носителей заряда. Энергетические состояния верхней заполненной молекулярной орбитали (ВЗМО) и нижней свободной молекулярной орбитали (НСМО). Напряжение оторванной цепи и связь с ВЗМО и НСМО фотоактивных молекул	Всего аудиторных часов		
		1	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	<b>Стабильность органических солнечных батарей. Продвинутое типы солнечных ячеек.</b> Проблема стабильности в органических солнечных ячейках. Наночастицы, плазмоника, обратная конверсия, мультиэкситонная генерация и тандемная технология для улучшения свойств органических солнечных ячеек	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>I Семестр</i>
1 - 2	<p><b>Типы, особенности и основные электронные свойства органических материалов</b></p> <p>Основные классы органических материалов, их значение в электронике. Отличительные особенности рассматриваемых материалов: структурный беспорядок, низкая собственная проводимость, прыжковый характер проводимости. Молекулярные состояния электронов. П- и <math>\sigma</math>- связи. Беспорядок и его природа в различных классах органических материалов. Локализованные и делокализованные состояния. Критерий Андерсона. Край подвижности и ловушки. Качественное рассмотрение спектра энергетических состояний электронов и дырок.</p>
3 - 4	<p><b>Экспериментальные методы и основные результаты исследования переноса носителей заряда</b></p> <p>Измерение времени пролёта. Нормальный и дисперсионный транспорт. Нестационарная радиационная электропроводность. Переходная электролюминесценция. Зависимость подвижности от температуры, напряжённости поля и концентрации носителей заряда.</p>
5 - 6	<p><b>Прыжковый транспорт носителей заряда</b></p> <p>Транспортный уровень, его температурная зависимость для экспоненциального и гауссова распределения прыжковых центров. Зависимость прыжковой проводимости от температуры и концентрации носителей. Модель многократного захвата и освобождения</p>
7 - 8	<p><b>Генерация и рекомбинация носителей в органических полупроводниках. Органическая электроника</b></p> <p>Токи, ограниченные объёмным зарядом. Инжекция Фаулера- Нордгейма и Ричардсона-Шоттки. Фотогенерация и геминальная рекомбинация. Вычисление вероятности разделения геминальной пары в моделях Пула-Френкеля и Онзагера- Брауна. Вычисление константы бимолекулярной рекомбинации</p>
9 - 10	<p><b>Преобразование солнечной энергии. Органические фотовольтаические устройства</b></p> <p>Энергоэффективность фотовольтаики, добротность. Отношение между структурой и свойствами. Принцип работы органического солнечного элемента. Переход Шоттки. P-n переход. Объёмный гетеропереход.</p>
11 - 12	<p><b>Функциональные слои органического солнечного элемента</b></p> <p>Транспортный слой дырок – функция барьер для электронов у фотоанода. Транспортный слой электронов – барьер для дырок и фотоанода. Оптимальный фазовый состав объёмного гетероперехода</p>
13 - 14	<p><b>Физика электронных процессов при поглощении света фотоактивными молекулами</b></p> <p>Спектроскопия электронного поглощения и</p>

	фотолюминесценции. Спиновые состояния электронов и молекул, синглетные и триплетные состояния молекулы. Релаксация возбужденных экситонов. Состояние с переносом заряда в донорно-акцепторной системе. Рекомбинация связанной пары. Генерация свободных носителей заряда. Энергетические состояния верхней заполненной молекулярной орбитали (ВЗМО) и нижней свободной молекулярной орбитали (НСМО). Напряжение оторванной цепи и связь с ВЗМО и НСМО фотоактивных молекул
15 - 16	<b>Стабильность органических солнечных батарей. Продвинутое типы солнечных ячеек.</b> Проблема стабильности в органических солнечных ячейках. Наночастицы, плазмоника, обратная конверсия, мультиэкситонная генерация и тандемная технология для улучшения свойств органических солнечных ячеек

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- лекции по курсу традиционного типа, на некоторых лекциях применяется компьютерный проектор для иллюстраций сложных устройств, систем и процессов;
- Практические (семинарские) занятия – решение задач студентами.
- самостоятельная работа студентов
- использование онлайн-курса "Органическая электроника" в объеме 1 з.ед.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

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

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16, Т-7, к.р-13
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16, Т-7, к.р-13
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16, Т-7, к.р-13
ПК-1.1	З-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-16, Т-7, к.р-13
	У-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-16, Т-7, к.р-13
	В-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-16, Т-7, к.р-13
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16, Т-7, к.р-13
	У-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16, Т-7, к.р-13
	В-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16, Т-7, к.р-13

## 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 О-72 Organic-Inorganic Halide Perovskite Photovoltaics : From Fundamentals to Device Architectures, Cham: Springer International Publishing, 2016
2. ЭИ Т82 Transport Processes in Macroscopically Disordered Media : From Mean Field Theory to Percolation, New York, NY: Springer New York, 2016

3. 620 Л12 Лабораторный практикум "Компьютерное моделирование наноструктур" : , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

4. 538 Н62 Нестационарные процессы переноса и рекомбинации носителей заряда в тонких слоях органических материалов : учебное пособие, В. Р. Никитенко, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. И N11 Organic and inorganic nanostructures : , A. Nabok, Boston: Artech house, 2005

2. 537 Ш66 Электронные свойства легированных полупроводников : , Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос, М.: Наука, 1979

3. 530 М85 Электронные процессы в некристаллических веществах : , Н. Мотт; Пер.с англ., Москва: Мир, 1974

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

Курс включает в себя лекционные и практические занятия. Для успешного освоения курса полезно вспомнить некоторые темы из курса Квантовой механики и Физики полупроводников, в частности, основы зонной теории. На занятиях рассматриваются теоретические аспекты физики неупорядоченных органических полупроводников, а также решаются соответствующие задачи, в том числе и в интерактивной форме (обсуждение). Поощряется активное участие в обсуждении задач, а также умение своевременно задавать вопросы для прояснения всех непонятных моментов по пройденному материалу. Помимо лекционных и семинарских занятий курс «Органическая фотовольтаика» включает в себя самостоятельную работу студентов. Данное время отводится для самостоятельной переработки и повторения материала, выполнения домашних заданий, устранения долгов, накопленных во время семестра, а также для самостоятельной подготовки к сдаче теоретического материала (экзамен). Во время самостоятельной подготовки к сдаче теоретического материала студенты учатся работать с научной литературой.

Итоговые баллы складываются из: 1) результатов тестового опроса и контрольной; 2) результатов контроля посещаемости; 3) результатов оценки работы студента в интерактивном режиме.

Получение положительной оценки по каждой проверочной работе (тестовый опрос и контрольная) является необходимым условием получения итоговой положительной оценки. В случае пропуска или получения отрицательной оценки самостоятельная работа должна быть переделана и сдана во время зачетной недели в конце семестра. Положительная оценка (аттестация) каждого раздела необходима для допуска к экзамену.

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

Курс логически разбит на несколько взаимосвязанных частей. В первом разделе (1-8 недели) рассматриваются основные понятия и экспериментальные результаты, касающиеся общих свойств органических неупорядоченных материалов и устройств на их основе, во втором (9-16 недели) – описание физических процессов и характеристик органических фотовольтаических устройств. Преподавателю обязательно следует указать все источники литературы, из которых берётся информация на лекциях. Важно, чтобы информация была донесена до студентов в чёткой и ясной форме. Укажем, на что необходимо обратить особое внимание при раскрытии каждой из тем, перечисленных в программе дисциплины.

Тема 1. Типы, особенности и основные электронные свойства органических материалов.

Характерные особенности беспорядка в сопряжённых полимерах, молекулярно-допированных полимерах, органических стёклах. Общие свойства рассматриваемых материалов: слабость межмолекулярного взаимодействия и, как следствие, локализация всех электронных (дырочных) состояний. Как следствие, прыжковый характер транспорта. Низкая концентрация собственных (равновесных) подвижных носителей заряда.

Тема 2. Экспериментальные методы и основные результаты исследования переноса носителей заряда.

Метод измерения времени пролёта, нестационарная радиационная электропроводность, метод CELIV. Температурная и полевая зависимость подвижности, аномальная дисперсия носителей заряда. Дисперсионный режим переноса при достаточно низких температурах.

Тема 3. Аналитические и численные методы описания прыжкового переноса носителей заряда.

Гауссова модель беспорядка. Концепция транспортного уровня и описание прыжкового транспорта на основе формализма модели многократного захвата.

Тема 4. Генерация и рекомбинация носителей в органических полупроводниках. Органическая электроника.

Образование молекулярных возбуждений (экситонов) как промежуточная стадия фотогенерации и рекомбинации носителей заряда. Вычисление вероятности разделения геминальной пары в моделях Пула-Френкеля и Онзагера- Брауна. Вычисление константы бимолекулярной рекомбинации. Многослойные тонкоплёночные органические гетероструктуры.

Тема 5. Преобразование солнечной энергии. Органические фотовольтаические устройства.

Энергоэффективность фотовольтаики, добротность. Отношение между структурой и свойствами. Принцип работы органического солнечного элемента. Переход Шоттки. P-n переход. Объёмный гетеропереход.

Тема 6. Функциональные слои органического солнечного элемента.

Транспортный слой дырок – функция барьер для электронов у фотоанода. Транспортный слой электронов – барьер для дырок и фотокатода. Оптимальный фазовый состав объёмного гетероперехода.

Тема 7. Физика электронных процессов при поглощении света фотоактивными молекулами.

Спектроскопия электронного поглощения и фотолюминесценции. Спиновые состояния электронов и молекул, синглетные и триплетные состояния молекулы. Релаксация возбужденных экситонов. Состояние с переносом заряда в донорно-акцепторной системе. Рекомбинация связанной пары. Генерация свободных носителей заряда. Энергетические состояния верхней заполненной молекулярной орбитали (ВЗМО) и нижней свободной молекулярной орбитали (НСМО). Напряжение оторванной цепи и связь с ВЗМО и НСМО фотоактивных молекул.

Тема 8. Стабильность органических солнечных батарей. Продвинутое типы солнечных ячеек.

Проблема стабильности в органических солнечных ячейках. Наночастицы, плазмоника, обратная конверсия, мультиэкситонная генерация и тандемная технология для улучшения свойств органических солнечных ячеек.

При проведении занятий преподавателю следует обращать внимание на их активность. При этом, полезно опрашивать не только активных студентов, поскольку в противном случае есть риск того, что остальная часть группы не усвоит материал. На все возникающие вопросы лучше всего давать ответы, ссылаясь на определённый источник, который студент может подробнее изучить дома самостоятельно.

Следует обращать внимание на то, чтобы материал, прочитанный на лекциях, и решённые на семинарах задачи позволяли студенту в полном объёме справиться с тестовым опросом и контрольной работой

Автор(ы):

Никитенко Владимир Роленович, д.ф.-м.н.

Саунина Анна Юрьевна