

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 27.10.2023 12:14:44

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Введение в органическую электронику

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация

Инженер-исследователь

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

3 ЗЕТ

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 8

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

57

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 8 (4.2) | | Итого | |
|---|---------|-----|-------|-----|
| | Неделя | | | |
| Вид занятий | УП | РП | УП | РП |
| Лекции | 17 | 34 | 17 | 34 |
| Практические | 34 | 17 | 34 | 17 |
| Итого ауд. | 51 | 51 | 51 | 51 |
| Контактная работа | 51 | 51 | 51 | 51 |
| Сам. работа | 57 | 57 | 57 | 57 |
| Итого | 108 | 108 | 108 | 108 |

Программу составил(и):

к.х.н., доц., Постников Валерий Анатольевич

Рабочая программа

Введение в органическую электронику

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-23_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Протокол от г., №

Руководитель подразделения Оганов Артем Ромаевич, д.ф.-м.н., профессор

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

| | |
|-----|--|
| 1.1 | Сформировать представления о материалах органической электроники, методах их формирования и исследованиях структуры и свойств. |
|-----|--|

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| | | |
|------------|---|------------|
| Блок ОП: | | Б1.В.ДВ.22 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | Материалы для биомедицины | |
| 2.1.2 | Междисциплинарные задачи материаловедения | |
| 2.1.3 | Методы испытания магнитных материалов | |
| 2.1.4 | Мехатроника | |
| 2.1.5 | Нanomатериалы в современной твердотельной электронике | |
| 2.1.6 | Порошковая металлургия и процессы обработки материалов | |
| 2.1.7 | Спектрофотометрические методы оценки качества кристаллов | |
| 2.1.8 | Физика и техника высоких давлений | |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: | |
| 2.2.1 | Высокотемпературные и сверхтвердые покрытия | |
| 2.2.2 | Дифракционные и микроскопические методы | |
| 2.2.3 | Дифракционные методы исследования неупорядоченных структур | |
| 2.2.4 | Кристаллы в квантовой электронике | |
| 2.2.5 | Магнитомягкие материалы: технологии получения и обработки | |
| 2.2.6 | Неразрушающий контроль и методы диагностики материалов | |
| 2.2.7 | Огнеупорные материалы | |
| 2.2.8 | Оптические элементы лазерных систем | |
| 2.2.9 | Основы физической, биоорганической и коллоидной химии | |
| 2.2.10 | Углеродные, углерод-углеродные и углерод-карбидокремниевые материалы | |
| 2.2.11 | Управление качеством материалов и экспертиза металлопродукции | |
| 2.2.12 | Фазовые превращения при получении металлов и соединений | |
| 2.2.13 | Алмазные поликристаллические материалы | |
| 2.2.14 | Гибридные наноструктурные материалы | |
| 2.2.15 | Магнитные свойства функциональных материалов | |
| 2.2.16 | Магнитотвердые материалы: технологии получения и обработки | |
| 2.2.17 | Медицинская химия | |
| 2.2.18 | Металловедение реакторных материалов | |
| 2.2.19 | Нелинейные кристаллы | |
| 2.2.20 | Солнечная энергетика | |
| 2.2.21 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.22 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.23 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.24 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.25 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.26 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.27 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.28 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы | |

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ**

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/ | Семестр / Курс | Часов | Формируемые индикаторы компетенций | Литература и эл. ресурсы | Примечание | КМ | Выполняемые работы |
|-------------|---|----------------|-------|------------------------------------|--------------------------|------------|----|--------------------|
|-------------|---|----------------|-------|------------------------------------|--------------------------|------------|----|--------------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|---|--|-------------------|--|--|--|
| | Раздел 1. Раздел 1. Введение. Строение органических молекул | | | | | | | |
| 1.1 | Лекция 1. Введение в предмет органической электроники (ОЭ). Основные исторические вехи развития ОЭ. Материалы ОЭ и их классификация. Оптоэлектронные устройства на основе органических полупроводников. Основные задачи ОЭ. Преимущества и недостатки материалов ОЭ. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.2 | | | |
| 1.2 | Лекция 2. Строение органических молекул. Способы представления органических молекул. Формулы Льюиса образования ковалентных связей. Донорно-акцепторный тип связей. Электронные смещения в химических связях: насыщенные и сопряженные системы. Типы сопряженных систем. Шкала электроотрицательности элементов. Эффект сопряжения. Резонансные структуры по Полингу. Ароматичность. /Лек/ | 8 | 2 | | Л1.1Л2.45 | | | |
| 1.3 | Лекция 3. Квантово-механическое описание молекул. Потенциальная энергия двухатомных молекул. Принцип неопределенности В. Гейзенберга. Соотношение де Бройля. Волновая функция и уравнение Шредингера. Интерпретация волновой функции. Основное состояние атома водорода. Атомные орбитали. Уровни энергии в атомах. /Лек/ | 8 | 2 | | Л1.1 Л1.1 Л1.1 | | | |
| 1.4 | Решение уравнения Шредингера для простых случаев: а – свободный электрон; б – электрон в потенциальном ящике; в – потенциальный барьер. /Пр/ | 8 | 2 | | Л1.1 Л1.2 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|---|--|---|--|-----|----|
| 1.5 | Лекция 4. Методы волновых функций для атомов и молекул. Вариационный принцип. Метод молекулярных орбиталей (МО). Молекулярный ион водорода. Образование внутримолекулярных связей: связывающие и разрыхляющие МО. Гибридизация АО в молекуле углерода. Полярность орбиталей и дипольный момент молекул. Сопряженные короткие молекулы, олигомеры и полимеры (примеры). /Лек/ | 8 | 2 | | Л1.1Л2.26 Л2.27 Л2.28 Л2.34 Л1.1 Л2.38 Л2.46 | | | |
| 1.6 | Методы поиска волновых функций для атомов и молекул. Определение дипольного момента молекул. /Пр/ | 8 | 2 | | Л1.4Л1.1 Л1.1 Л1.1 | | КМ1 | |
| 1.7 | Функционализация органических молекул различными периферийными группами заместителей. /Ср/ | 8 | 4 | | Л2.11 Л1.1 Л2.45 | | | Р1 |
| | Раздел 2. Раздел 2. Органическая кристаллохимия | | | | | | | |
| 2.1 | Лекция 5. Принципы органической КХ. Характерные длины внутри- и межмолекулярных связей, типы и энергетика межмолекулярных связей в органических кристаллах. Расчет объемов молекул по известным объемам молекулярных инкрементов (примеры некоторых молекул). Модельные потенциалы ван-дер-ваальсовых межмолекулярных взаимодействий. Статические и динамические модели молекул в кристаллических структурах. Водородная связь в кристаллах. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.46 | | | |
| 2.2 | Кристаллохимические расчеты. Анализ потенциалов межмолекулярных взаимодействий. /Пр/ | 8 | 2 | | Л2.21 Л2.22 Л2.23 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|--|-------------|--|-----|--|
| 2.3 | Лекция 6. Принципы органической кристаллохимии. Упаковка низкосимметричных молекул в кристалле. Принцип плотной упаковки. Пр. гр. симметрии, наиболее распространенные среди органических кристаллов. Плотнейшие и предельно плотные пр. гр. для органических кристаллов. Примеры кристаллических структур на основе ароматических и линейных алифатических соединений. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.23 Л2.46 | | | |
| 2.4 | Лекция 7. Точечны симметрии органических молекул. Понятие группы. Абстрактные группы порядка $n = 2, 3, 4, 5 \dots$ Группы подстановок. Подгруппы. Изоморфизм групп. Таблица Кэли. Элементы симметрии. Символика Шенфлиса. Примеры точечных групп молекул. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.39 Л2.47 | | | |
| 2.5 | Точечные группы симметрии органических молекул. Анализ симметрии органических молекул с помощью групп подстановок. Таблица Кэли. Подгруппы. /Пр/ | 8 | 2 | | Л2.47 | | | |
| 2.6 | Лекция 8. Кристаллы на основе линейных сопряженных молекул. Центросимметричные и нецентросимметричные молекулы. Кристаллическая упаковка и анизотропия роста кристаллов. Кристаллы с ориентационным беспорядком молекул. Влияние концевых групп заместителей в составе сопряженной молекулы на упаковку в кристалле и физико-химические свойства. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.23 Л2.46 | | КМ2 | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|---|--|---------------------------------|--|--|----|
| 2.7 | Строение кристаллов наиболее известных органических полупроводниковых соединений: фуллерены; конденсированные ароматические системы (тетрацен, пентацен, типс-пентацен, рубрен и др.); TCNQ; дистирил-бензол и его производные, а также другие известные материалы с дырочным и электронным типом основных носителей. /Ср/ | 8 | 3 | | Л1.1 | | | |
| 2.8 | Органические сопряженные полимеры: аморфные и кристаллические. /Ср/ | 8 | 2 | | Л2.6 Л2.20 Л2.48 | | | |
| 2.9 | Метод поверхности Хиршфельда в органической кристаллохимии /Ср/ | 8 | 3 | | | | | P2 |
| | Раздел 3. Раздел 3. Рост органических кристаллов. Фазовое поведение кристаллов | | | | | | | |
| 3.1 | Лекция 9. Равновесная форма кристалла и принцип Гиббса – Кюри – Вульфа. Поверхностные свойства кристаллов. Термодинамика зародышеобразования кристаллов из растворов и пара с учетом анизотропии поверхностной энергии в рамках классической теории. Методы выращивания кристаллов линейных сопряженных молекул. Влияние длины линейной молекулы на растворимость и энтальпию сублимации. Методы парового физического транспорта. Особенности роста кристаллов из растворов. Растворимость и методы её определения. Преимущества и недостатки растворных и паровых методов роста кристаллов. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.21 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.46 | | | |
| 3.2 | Лекция 10. Мезоморфизм органических кристаллов – жидко-кристаллическое состояние (ЖК). Нематические, смектические и холестерические ЖК. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.17 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|--|-------------|--|-----|----|
| 3.3 | Лекция 11. Полиморфизм органических кристаллов. Определение полиморфизма для орг. кристаллов. Конформационный полиморфизм. Термодинамический подход. Фазовая РТ-диаграмма и правило фаз Гиббса. Термодинамика полиморфных переходов. Энантиотропные и монокотропные превращения. Правила для энантиотропных и монокотропных переходов. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.23 Л2.46 | | | |
| 3.4 | Формирование тонких органических слоев на подложках. Осаждения методом центрифугирования. Напыление вакуумным термическим способом. Осаждение из капли медленно испаряющегося раствора. Другие методы нанесения тонких активных органических слоев на подложки. Морфология и свойства тонких органических слоев. Методы исследования структуры тонких органических пленок. /Ср/ | 8 | 5 | | Л2.40 Л2.42 | | | |
| 3.5 | Метод спектроскопии для исследования структуры и оптических свойств тонких органических пленок. /Ср/ | 8 | 4 | | Л2.13 Л2.14 | | | |
| 3.6 | Анизотропный характер межмолекулярной связи в органических кристаллах и его влияние на кристаллизацию и свойства. /Ср/ | 8 | 4 | | Л2.46 | | | |
| 3.7 | Методы выращивания объемных органических кристаллов из расплавов. /Ср/ | 8 | 2 | | Л2.25 | | | |
| 3.8 | Паровые методы выращивания органических кристаллов. /Ср/ | 8 | 2 | | Л2.42 | | КМЗ | РЗ |
| | Раздел 4. Раздел 4. Электрические свойства органических полупроводников | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|---|--|----------------------------|--|--|--|
| 4.1 | Лекция 12. Электрическая проводимость и сопротивление материалов. Классическая электронная зонная модель. Энергия Ферми и концентрация носителей заряда. Энергия Ферми свободного электронного газа. Концентрация носителей заряда в полупроводниках; закон действующих масс. Примесные уровни энергии в легированных полупроводниках. Подвижность носителей электрических зарядов. Электроны и дырки. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.26 Л2.28 Л2.29 Л2.34 | | | |
| 4.2 | Лекция 13. Подвижность в области собственной проводимости. Подвижность в органических полупроводниках. Подвижность в неупорядоченных системах. Зонный и прыжковый механизмы проводимости в органических полупроводниках. Фотопроводимость орг. полупроводников. Контактные явления на границе металл – полупроводник. Омические и неомические контакты. Классическая кинетическая теория проводимости металлов. Проводимость металлов с учетом квантовой теории. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.5 Л2.18 Л2.19 | | | |
| 4.3 | Перенос зарядов в органических полупроводниковых материалах. /Пр/ | 8 | 2 | | Л2.5 Л2.16 Л2.19 | | | |
| 4.4 | Лекция 14. Методы исследования электрических свойств органических полупроводников. Время – пролетный метод: вертикальный и горизонтальный. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.16 | | | |
| 4.5 | Время-пролетный метод. /Ср/ | 8 | 2 | | Л2.16 Л2.32 Л2.35 | | | |

| | | | | | | | | |
|------|--|---|---|--|-------------------------------------|--|-----|----|
| 4.6 | Лекция 15. Методы исследования электрических свойств органических полупроводников. Метод полевого транзистора: элементарная теория полевого транзистора; вольтамперные характеристики. Геометрия изготовления органических полевых транзисторов. Преимущества и недостатки той или иной геометрии изготовления полевого транзистора в исследованиях свойств тонких пленок и монокристаллов органических полупроводников. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.16 Л2.31 Л2.35 Л2.37 Л2.41 | | | |
| 4.7 | Метод полевого транзистора. /Пр/ | 8 | 2 | | Л2.7 Л2.8 Л2.9 | | КМ4 | |
| 4.8 | Исследование электрических характеристик органических полупроводников методом эффекта Холла. /Ср/ | 8 | 4 | | Л2.30 Л2.31 | | | |
| 4.9 | Органические светоизлучающие устройства. Светодиод. Светотранзистор. /Ср/ | 8 | 4 | | Л2.9 | | | |
| 4.10 | Формирование диэлектрических пленок из дипараксилена и его аналогов методом парового химического транспорта для изготовления полевых транзисторов в конфигурации с верхним затвором для исследования электрических свойств крупных органических кристаллов. /Ср/ | 8 | 2 | | | | | Р4 |
| | Раздел 5. Раздел 5. Спектрально-люминесцентные свойства органических полупроводников | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|---|--|-------------------------------------|--|--|--|
| 5.1 | Лекция 16. Типы люминесценции. Физические процессы, возникающие при взаимодействии света с веществом. Флуоресценция и фосфоресценция. Возможные фотофизические процессы дезактивации молекулы: излучательные и безызлучательные. Классификация люминесценции по механизму элементарного процесса. Поглощение света: типы электронных переходов. Мультиплетность. Синглетные и триплетные состояния. Вероятность переходов. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Сила осцилляторов. Дипольный момент перехода. Правила отбора при электронных переходах. Принцип Франка – Кондона. Спектры поглощения газов и конденсированных сред. Формы полос поглощения и переходы между уровнями энергии электронов в молекуле. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.14 Л2.43 | | | |
| 5.2 | Органическая фотовольтаика. /Ср/ | 8 | 4 | | Л1.1Л2.14 Л2.43 | | | |
| 5.3 | Анализ спектров поглощения и люминесценции. Определение оптических характеристик тонких органических пленок из эллипсометрических измерений. /Пр/ | 8 | 3 | | Л2.10 Л2.12 Л2.14 Л2.43 Л2.44 | | | |
| 5.4 | Лекция 17. Излучение света. Диаграмма Яблонского. Излучательные и безызлучательные переходы. Основные характеристики молекулярной люминесценции. Основные законы люминесценции: 1 – закон Стокса; 2 – правило Левшина; 3 – правило Каши. Кинетика люминесценции. Спектры люминесценции и возбуждения люминесценции. Квантовый выход люминесценции. /Лек/ | 8 | 2 | | Л2.43 | | | |
| 5.5 | Лекция 17. Эксимеры и эксиплексы. Механизмы тушения люминесценции. /Ср/ | 8 | 2 | | Л2.10 Л2.12 Л2.44 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|---|--|----------------------|--|-----|----|
| 5.6 | Закон Бугера-Ламберта-Бера. Сила осцилляторов. Дипольный момент перехода. /Пр/ | 8 | 2 | | Л2.10 Л2.12 Л2.44 | | КМ5 | |
| 5.7 | Спектральные особенности растворов и кристаллов. /Ср/ | 8 | 4 | | Л2.14 Л2.43 | | | |
| 5.8 | Лазер на основе органических кристаллов. /Ср/ | 8 | 4 | | Л1.1 | | | |
| 5.9 | Сцинтилляционные свойства органических полупроводниковых кристаллов. /Ср/ | 8 | 2 | | | | | Р5 |

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

| Код КМ | Контрольное мероприятие | Проверяемые индикаторы компетенций | Вопросы для подготовки |
|--------|-------------------------|------------------------------------|---|
| КМ1 | Контрольная работа | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Способы представления органических молекул. Формулы Льюиса образования ковалентных связей. Донорно-акцепторный тип связей. Электронные смещения в химических связях: насыщенные и сопряженные системы. 2. Типы сопряженных систем. Шкала электроотрицательности элементов. Эффект сопряжения. Резонансные структуры по Полингу. 3. Потенциальная энергия двухатомных молекул. Принцип неопределенности В. Гейзенберга. Соотношение де Бройля. Волновая функция и уравнение Шредингера. Интерпретация волновой функции. 4. Основное состояние атома водорода. Атомные орбитали. Уровни энергии в атомах. 5. Решение уравнения Шредингера для простых случаев: а – свободный электрон; б – электрон в потенциальном ящике; в – потенциальный барьер. 6. Методы поиска волновых функций для атомов и молекул. Вариационный принцип. 7. Методы поиска волновых функций для атомов и молекул. Метод молекулярных орбиталей (МО). Молекулярный ион водорода. 8. Образование внутримолекулярных связей: связывающие и разрыхляющие МО. Гибридизация АО в молекуле углерода. 9. Полярность орбиталей и дипольный момент молекул. 10. Сопряженные короткие молекулы, олигомеры и полимеры в органической электронике (Примеры и важные |

| | | | |
|-----|---------------------|--|--|
| КМ2 | Контрольная работа | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Характерные длины внутри- и межмолекулярных связей, типы и энергетика межмолекулярных связей в органических кристаллах. 2. Модельные потенциалы ван-дер-ваальсовых межмолекулярных взаимодействий. Статические и динамические модели молекул в кристаллических структурах. 3. Водородная связь в кристаллах. Типы водородной связи. Влияние на свойства кристаллов. 4. Упаковка низкосимметричных молекул в кристалле. Принцип плотной упаковки. Пр. гр. симметрии, наиболее распространенные среди органических кристаллов. 5. Точечные группы симметрии органических молекул. Символика Шенфлиса. 6. Кристаллы на основе линейных сопряженных молекул: centrosymmetric и неcentrosymmetric молекулы; Кристаллическая упаковка и анизотропия роста кристаллов. 7. Кристаллы с ориентационным беспорядком молекул. 8. Влияние концевых групп заместителей в составе сопряженной линейной молекулы на упаковку в кристалле и физико-химические свойства. |
| КМ3 | Контрольная работа | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Равновесная форма кристалла и принцип Гиббса – Кюри – Вульфа. Поверхностные свойства кристаллов. 2. Термодинамика зародышеобразования кристаллов из растворов и пара с учетом анизотропии поверхностной энергии в рамках классической теории. 3. Методы выращивания кристаллов линейных сопряженных молекул. Влияние длины линейной молекулы на растворимость и энтальпию сублимации. 4. Фазовые равновесия и фазовая диаграмма. Правило фаз Гиббса. Растворимость кристаллов и методы её определения. 5. Жидко-кристаллическое состояние (ЖК). Нематические, смектические и холестерические ЖК. 6. Полиморфизм органических кристаллов. Конформационный полиморфизм. Термодинамический подход. Фазовая РТ-диаграмма и правило фаз Гиббса. 7. Полиморфизм органических кристаллов. Термодинамика полиморфных переходов. Энантиотропные и монотропные превращения. Правила для энантиотропных и монотропных переходов. |
| КМ4 | Контроль ная работа | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Электрическая проводимость и сопротивление материалов. Классическая электронная зонная модель. 2. Энергия Ферми и концентрация носителей заряда. Энергия Ферми свободного электронного газа. 3. Концентрация носителей заряда в полупроводниках; закон действующих масс. Примесные уровни энергии в легированных полупроводниках. Подвижность носителей электрических зарядов. Электроны и дырки. 4. Подвижность в области собственной проводимости. Подвижность в органических полупроводниках. Подвижность в неупорядоченных системах. Зонный и прыжковый механизмы проводимости в органических полупроводниках. 5. Фотопроводимость орг. полупроводников. Фотоэлектрический эффект в органических полупроводниках. 6. Контактные явления на границе металл – полупроводник. Омические и неомические контакты. 7. Классическая кинетическая теория проводимости металлов. Проводимость металлов с учетом квантовой теории. 8. Методы исследования электрических свойств органических полупроводников. Время – пролетный метод: вертикальный и горизонтальный. 9. Методы исследования электрических свойств органических полупроводников. Метод полевого транзистора: элементарная теория полевого транзистора; вольтамперные характеристики. Геометрия изготовления органических полевых транзисторов. 10. Исследования электрических свойств методом эффекта Холла. Холловская и дрейфовая подвижность зарядов. |

| | | | |
|-----|--------------------|--|--|
| КМ5 | Контрольная работа | | <ol style="list-style-type: none"> 1. Типы люминесценции. Физические процессы, возникающие при взаимодействии света с веществом. Флуоресценция и фосфоресценция. 2. Возможные фотофизические процессы дезактивации молекулы: излучательные и безызлучательные. Классификация люминесценции по механизму элементарного процесса. 3. Поглощение света: типы электронных переходов. Мультиплетность. Синглетные и триплетные состояния. Вероятность переходов. Сила осцилляторов. Дипольный момент перехода. 4. Закон Бугера-Ламберта-Бера. 5. Правила отбора при электронных переходах. Принцип Франка – Кондона. Спектры поглощения газов и конденсированных сред. Формы полос поглощения и переходы между уровнями энергии электронов в молекуле. 6. Излучение света. Диаграмма Яблонского. Излучательные и безызлучательные переходы. 7. Основные характеристики молекулярной люминесценции. Основные законы люминесценции: 1 – закон Стокса; 2 – правило Левшина; 3 – правило Каши. 8. Кинетика люминесценции. Спектры люминесценции и возбуждения люминесценции. Квантовый выход люминесценции. |
|-----|--------------------|--|--|

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

| Код работы | Название работы | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы |
|------------|-----------------|------------------------------------|--|
| Р1 | Реферат | | Темы рефератов: <ol style="list-style-type: none"> 1. Функционализация сопряженных молекул алкильными и триметилсилильными концевыми заместителями. 2. Функционализация сопряженных молекул фтор-содержащими терминальными заместителями. 3. Преимущества и недостатки полимеров и коротких молекул в материаловедении органической электроники. 4. Разработка и внедрение новых соединений на основе графена, фуллеренов и нанотрубок. 5. Конденсированные ароматические соединения и их производные в органической электронике. 6. От молекулы к устройству: основные этапы получения и внедрения в ОЭ новых материалов. 7. Недостатки и преимущества органических соединений как материалов электроники и фотоники. |
| Р2 | Реферат | | Темы рефератов: <ol style="list-style-type: none"> 1. Особенности упаковки кристаллов на основе линейных сопряженных молекул. 2. Дископические молекулы и кристаллы на их основе. 3. Применение метода поверхности Хиршфельда в анализе кристаллических структур органических соединений. 4. Плотные и рыхлые кристаллические упаковки на основе сопряженных молекул: влияние конформации и терминальных групп заместителей 5. Конформационная гибкость органических молекул и кристаллическая структура на их основе. 6. Упорядочивающие и разупорядочивающие факторы молекулярного строения в структуре органического кристалла. 7. Отношения между молекулярной симметрией и симметрией пр. гр. органического кристалла. 8. Беспорядки в органических кристаллах. |

| | | | |
|----|---------|--|---|
| P3 | Реферат | | <p>Темы рефератов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Возможности внедрения методов роста органических кристаллов в промышленное производство. 2. Монокристаллы и поликристаллические пленки: достоинства и недостатки. 3. Выращивание крупномасштабных органических полупроводниковых кристаллов: существующие подходы и главные проблемы. 4. Ультратонкие монокристаллические пленки на основе органических полупроводниковых молекул. 5. Перспективы формирования масштабных тонкопленочных монокристаллов на подложках методами роста из пара. 6. Перспективы формирования масштабных тонкопленочных монокристаллов на подложках методами роста из раствора. 7. Применение расплавных методов роста органических кристаллов. |
| P4 | Реферат | | <p>Темы рефератов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Сопряженные полимеры и короткие молекулы (олигомеры) для разработки устройств ОЭ. 2. Механизмы проводимости сопряженных полимеров. 3. Механизмы проводимости в кристаллах на основе сопряженных молекул. 4. Электрические свойства монослойных кристаллических пленок. 5. Пути повышения структурного совершенства тонких кристаллических пленок на основе органических полупроводников с целью улучшения их кристаллических характеристик. 6. Органические монокристаллы и поликристаллы: функциональные достоинства и недостатки в работе устройств ОЭ. 7. Проблемы электронной проводимости в органических полупроводниковых материалах. 8. Сенсорные устройства на основе тонкопленочных органических материалах. 9. Анизотропия электрических свойств в органических полупроводниковых кристаллах. 10. Проблемы органической фотовольтаики. 11. Светоизлучающие диоды и транзисторы на основе органических полупроводниковых соединений. 12. Перспективные органические молекулы для оптоэлектроники. |
| P5 | Реферат | | <p>Темы рефератов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Перспектива создания лазера на органическом кристалле. 2. Светодиоды на основе органических полупроводников. 3. Светоизлучающие транзисторы на основе органических полупроводников. 4. Органические скантеры. 5. Применение органических сопряженных молекул в фотонных технологиях. |

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзамен не предусмотрен

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Студент получает оценку за зачет на основании средней оценки по всем работам и контрольным мероприятиям, выполняемым в течении семестра, по следующей методике:

"отлично" - более 85 %;

"хорошо" - от 75% до 85 %;

"удовлетворительно" - от 50 % до 75 %;

"неудовлетворительно" - менее 50 % либо при невыполнении хотя бы одной работы из перечня работ, выполняемых по дисциплине

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Л1.1 | Матвеев А. Н. | Квантовая механика и строение атома | Электронная библиотека | Москва: Высшая школа, 1965 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|---|--|---|------------------------|--|
| Л1.2 | Иродов И. Е. | Задачи по квантовой физике | Электронная библиотека | Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015 |
| Л1.3 | Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П. | Основы кристаллофизики: Учеб. пособие для физ. спец. вузов | Библиотека МИСиС | М.: Наука, 1979 |
| Л1.4 | Крашенинин В. И., Кузьмина Л. В., Газенаур Е. Г. | Квантовая химия: учебное пособие | Электронная библиотека | Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2019 |
| 6.1.2. Дополнительная литература | | | | |
| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
| Л2.1 | Китайгородский А. И. | Кристаллы: научно- популярное издание | Электронная библиотека | Москва, Ленинград: Государственное издательство технико- теоретической литературы, 1950 |
| Л2.2 | Китайгородский А. И. | Строение вещества: научно- популярное издание | Электронная библиотека | Москва, Ленинград: Государственное издательство технико- теоретической литературы, 1950 |
| Л2.3 | Китайгородский А. И. | Рентгеноструктурный анализ | Электронная библиотека | Москва, Ленинград: Государственное издательство технико- теоретической литературы, 1950 |
| Л2.4 | Крашенинин В. И., Газенаур Е. Г., Кузьмина Л. В. | Квантовая химия и квантовая механика в применении к задачам: учебное пособие | Электронная библиотека | Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2012 |
| Л2.5 | Займан Д. М., Бонч- Бруевич В. Д. | Электроны и фононы. Теория явлений переноса в твердых телах: монография | Электронная библиотека | Москва: Изд-во иностр. лит., 1962 |
| Л2.6 | Закирова Л. Ю., Хакимуллин Ю. Н. | Химия и физика полимеров: учебное пособие | Электронная библиотека | Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2012 |
| Л2.7 | Сильвашко С. А. | Лабораторный практикум по дисциплине «Электротехника, электроника и схемотехника»: учебное пособие | Электронная библиотека | Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2012 |
| Л2.8 | Яруллин Р. Б., Яруллин Р. Б., Галеева Р. А. | Электротехника и электроника: лабораторный практикум: практикум | Электронная библиотека | Уфа: Уфимский государственный университет экономики и сервиса, 2014 |
| Л2.9 | Федоров С. В., Бондарев А. В. | Электроника: учебник | Электронная библиотека | Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2015 |
| Л2.10 | Прингсхейм П., Фогель М., Феофилов П. П. | Люминесценция жидких и твердых тел и ее практическое применение: монография | Электронная библиотека | Москва: Государственное издательство иностранной литературы, 1948 |
| Л2.11 | Робертс Д., Касерио М., Несмеянов А. Н. | Основы органической химии: учебник | Электронная библиотека | Москва: Мир, 1978 |
| Л2.12 | Агеян В. Ф., Григорьева Н. Р. | Люминесценция полупроводниковых кристаллов: учебное пособие | Электронная библиотека | Санкт-Петербург: Издательство Санкт- Петербургского Государственного Университета, 2016 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|-------|---|---|------------------------|--|
| Л2.13 | Агранович В. М., Гинзбург В. Л. | Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов: монография | Электронная библиотека | Москва: Наука, 1965 |
| Л2.14 | Зоммерфельд А., Ельяшевич М. А. | Оптика | Электронная библиотека | Москва: Издательство иностранной литературы, 1953 |
| Л2.15 | Давыдов В. Н. | Физические основы оптоэлектроники: учебное пособие | Электронная библиотека | Томск: ТУСУП, 2013 |
| Л2.16 | Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. | Физика полупроводников | Электронная библиотека | Москва: Наука, 1977 |
| Л2.17 | Чандрасекар С., Веденов А. А., Чистяков И. Г. | Жидкие кристаллы: монография | Электронная библиотека | Москва: Мир, 1980 |
| Л2.18 | Киттель Ч. | Введение в физику твердого тела | Электронная библиотека | Москва: Наука, 1978 |
| Л2.19 | Займан Д. | Принципы теории твердого тела | Электронная библиотека | Москва: Мир, 1974 |
| Л2.20 | Хакимуллин Ю. Н., Закирова Л. Ю. | Химия и физика полимеров: физические состояния полимеров: учебное пособие | Электронная библиотека | Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2017 |
| Л2.21 | Шаскольская М. П. | Кристаллография: учеб. пособие для студ. высш. техн. учеб. заведений | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1984 |
| Л2.22 | Келли А., Гровс Г., Шаскольская М. П. | Кристаллография и дефекты в кристаллах | Библиотека МИСиС | М.: Мир, 1974 |
| Л2.23 | Бокий Г. Б. | Кристаллохимия | Библиотека МИСиС | М.: Наука, 1971 |
| Л2.24 | Нейланд О. Я. | Органическая химия: учебник для студ. хим. спец. вузов | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1990 |
| Л2.25 | Козлова О. Г., Белов Н. В. | Рост кристаллов: учеб. пособие для геолог. и химико-технол. спец. вузов | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МГУ, 1967 |
| Л2.26 | Сивухин Д. В. | Т. 3: Электричество | Библиотека МИСиС | , 1977 |
| Л2.27 | Савельев И. В. | Механика. Молекулярная физика и термодинамика: учеб. пособие | Библиотека МИСиС | , 2012 |
| Л2.28 | Савельев И. В. | Т.2: Электричество и магнетизм | Библиотека МИСиС | , 2002 |
| Л2.29 | Сивухин Д. В. | Электричество | Библиотека МИСиС | , 1996 |
| Л2.30 | Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. | Физика полупроводников: учеб. пособие для физ. спец. вузов | Библиотека МИСиС | М.: Наука, 1977 |
| Л2.31 | Шалимова К. В. | Физика полупроводников: учебник для вузов по спец. 'Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы' | Библиотека МИСиС | М.: Энергия, 1976 |
| Л2.32 | Шалимова К. В. | Физика полупроводников: учебник для вузов по спец. 'Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы' | Библиотека МИСиС | М.: Энергия, 1971 |
| Л2.33 | Жуховицкий А. А., Шварцман Л. А. | Физическая химия: Учебник для студ. металлург. спец. вузов | Библиотека МИСиС | М.: Металлургия, 1987 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|-------|---|--|------------------------|---|
| Л2.34 | Калашников С. Г. | Электричество: учеб. пособие для студ. ун-тов | Библиотека МИСиС | М.: Наука, 1970 |
| Л2.35 | Горбачев Владимир Васильевич, Мартынов Валерий Николаевич, Скипетров Евгений Павлович, Спицына Лариса Григорьевна, Ладыгин Евгений Александрович | Физика полупроводников и методы измерения их параметров: лаб. практикум для студентов спец. 0604, 0629, 0643 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1983 |
| Л2.36 | Белашенко Давид Кириллович, Гущина Елизавета Ивановна, Жуховицкий Александр Абрамович | Физическая химия: Разд.: Основы квантовой механики и теории химической связи: Метод. указания для выполнения дом. работ для студ. спец. 0643 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1982 |
| Л2.37 | Кольцов Геннадий Иосифович, Диденко Сергей Иванович, Орлова Марина Николаевна | Физика полупроводниковых приборов. Расчет параметров биполярных приборов: сб. задач | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2012 |
| Л2.38 | Обвинцева Нина Юрьевна, Рычкова Ольга Владимировна | Физика. Молекулярная физика и термодинамика (N 2750): сб. задач | Электронная библиотека | М.: [МИСиС], 2016 |
| Л2.39 | Курош А. Г. | Теория групп: монография | Электронная библиотека | Москва: Физматлит, 2011 |
| Л2.40 | Акчурина Р. Х., Мармалюк А. А. | МОС-гидридная эпитаксия в технологии материалов фотоники и электроники: практическое пособие | Электронная библиотека | Москва: Техносфера, 2018 |
| Л2.41 | Спицына Лариса Григорьевна | Физика полупроводников и диэлектриков: метод. указания к выполнению дом. заданий и курсовых работ для студ. спец. 20.02 | Электронная библиотека | М.: Учеба, 1989 |
| Л2.42 | Соколов И. А., Крапухин В. В. | Технология многослойных структур для микроэлектроники. Разд.: Выращивание кристаллов для подложек, газофазная и жидкофазная эпитаксия: Учеб. пособие для курсового проектирования для студ. спец. 0643, 0604 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1984 |
| Л2.43 | Ельяшевич М. А. | Атомная и молекулярная спектроскопия: монография | Электронная библиотека | Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962 |
| Л2.44 | Феофилов П. П. | Поляризованная люминесценция атомов, молекул и кристаллов: монография | Электронная библиотека | Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959 |
| Л2.45 | Несмеянов А. Н. | Избранные труды, 1959-1969: Элементоорганическая химия: монография | Электронная библиотека | Москва: Наука, 1970 |
| Л2.46 | Китайгородский А. И. | Органическая кристаллохимия: монография | Электронная библиотека | Москва: Издательство Академии Наук СССР, 1955 |

| | | | | |
|-------|---------------------|--|------------------------|---|
| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
| Л2.47 | Александров П. С. | Введение в теорию групп: монография | Электронная библиотека | Москва: Едиториал УРСС, 2004 |
| Л2.48 | Глиздинская Л. В. | Органические полимеры: методы получения, применение: учебное пособие | Электронная библиотека | Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского (ОмГУ), 2019 |

6.3 Перечень программного обеспечения

| | |
|-----|----------------------|
| П.1 | Microsoft PowerPoint |
|-----|----------------------|

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

| Ауд. | Назначение | Оснащение |
|--------------------------------|--|---|
| Любой корпус Мультимедийная | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus |
| Любой корпус Мультимедийная | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus |
| Читальный зал №3 (Б) | | комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus. |

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

При конспектировании лекций в конспект следует заносить всё, что рекомендует преподаватель. Изучение и отработка прослушанных лекций без промедления значительно экономит время и способствует лучшему усвоению материала. Студентам рекомендуется с самого начала освоения данного курса работать с литературой и предлагаемыми заданиями. При этом актуализируются имеющиеся знания, а также создается база для усвоения нового материала, возникают вопросы, ответы на которые студент получает в аудитории.

При освоении данного курса студент должен пользоваться библиотекой вуза, а также электронными базами учебной литературы, в соответствии с настоящей программой.