

## МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение  
высшего образования«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
ОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

Документ подписан электронной подписью  
 Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-ae0-5584d3fd4820  
 Владелец: Троян Павел Ефимович  
 Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019  
 «5» 10 2016 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника»

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 3 Семестр 5

Учебный план набора 2016 года и последующих лет.

Распределение рабочего времени:

| №   | Виды учебной работы                          | Семестр 1 | Семестр 2 | Семестр 3 | Семестр 4 | Семестр 5 | Семестр 6 | Семестр 7 | Семестр 8 | Всего | Единицы |
|-----|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|---------|
| 1.  | Лекции                                       |           |           |           |           | 36        |           |           |           | 36    | часов   |
| 2.  | Лабораторные работы                          |           |           |           |           | -         |           |           |           | -     | часов   |
| 3.  | Практические занятия                         |           |           |           |           | 18        |           |           |           | 18    | часов   |
| 4.  | Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)    |           |           |           |           | -         |           |           |           | -     | часов   |
| 5.  | Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)         |           |           |           |           | 54        |           |           |           | 54    | часов   |
| 6.  | Из них в интерактивной форме                 |           |           |           |           | 8         |           |           |           | 8     | часов   |
| 7.  | Самостоятельная работа студентов (СРС)       |           |           |           |           | 54        |           |           |           | 54    | часов   |
| 8.  | Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)             |           |           |           |           | 108       |           |           |           | 108   | часов   |
| 9.  | Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена |           |           |           |           | 36        |           |           |           | 36    | часов   |
| 10. | Общая трудоемкость (Сумма 8,9)               |           |           |           |           | 144       |           |           |           | 144   | часов   |
|     | (в зачетных единицах)                        |           |           |           |           | 4         |           |           |           | 4     | ЗЕ      |

Экзамен 5 семестр

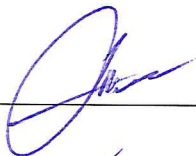
Томск 2016

### Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) направления 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. № 218, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от « 8 » 09 2016 г., протокол № 73.

**Разработчик:**

Доцент кафедры ФЭ

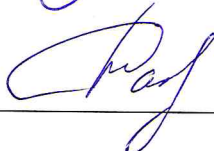


/

А.А. Жигальский

**Заведующий кафедрой**

Профессор кафедры ФЭ

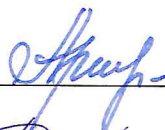


/

П.Е. Троян

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки.

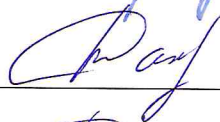
Декан ФЭТ



/

А.И. Воронин

Зав. профилирующей  
кафедрой ФЭ



/

П.Е. Троян

Зав. выпускающей  
кафедрой ФЭ



/

П.Е. Троян

**Эксперты:**

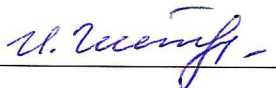
Председатель методической  
комиссии факультета ФЭТ



/

И.А. Чистоедова

Председатель методической  
комиссии кафедры ФЭ



/

И.А. Чистоедова

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

| Вид учебной работы                             | Всего часов | Семестры   |
|--|-------------|------------|
|  |             | 5          |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>              | <b>54</b>   | <b>54</b>  |
| В том числе:                                   |             |            |
| Лекции   | 36          | 36         |
| Практические занятия                           | 18          | 18         |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b>          | <b>54</b>   | <b>54</b>  |
| В том числе:                                   |             |            |
| Подготовка к практическим занятиям (семинарам) | 18          | 18         |
| Подготовка к контрольным работам               | 24          | 24         |
| Выполнение индивидуального задания             | 12          | 12         |
| <b>Вид промежуточной аттестации</b>            | <b>36</b>   | <b>36</b>  |
| Экзамен  | 36          | 36         |
| <b>Общая трудоемкость, час</b>                 | <b>144</b>  | <b>144</b> |
| <b>Зачетные Единицы</b>                        | <b>4</b>    | <b>4</b>   |

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

| № п/п        | Наименование раздела дисциплины                                  | Лекции    | Практические занятия | Самост. работа студента | Всего час  | Формируемые компетенции (ОК, ОПК, ПК, ПСК) |
|--------------|--|-----------|----------------------|-------------------------|------------|--|
| 1.           | Введение, цели и задачи дисциплины                               | 2         | 0                    | 2                       | 4          | ОПК-2, ПК-8                                |
| 2.           | Основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах | 8         | 6                    | 12                      | 26         | ОПК-2, ПК-8                                |
| 3.           | Кинетика гетерогенных процессов                                  | 2         | 2                    | 8                       | 12         | ОПК-2, ПК-8                                |
| 4.           | Процессы измельчения, разделения и очистки веществ               | 6         | 4                    | 10                      | 20         | ОПК-2, ПК-8                                |
| 5.           | Механизмы и кинетика роста кристаллов                            | 6         | 4                    | 10                      | 20         | ОПК-2, ПК-8                                |
| 6.           | Физико-химические основы легирования кристаллов                  | 8         | 2                    | 4                       | 14         | ОПК-2, ПК-8                                |
| 7.           | Методы получения некристаллических и композиционных материалов   | 4         | 0                    | 8                       | 12         | ОПК-2, ПК-8                                |
| <b>ИТОГО</b> |  | <b>36</b> | <b>18</b>            | <b>54</b>               | <b>108</b> |  |

##### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

| № п/п | Наименование разделов  | Содержание разделов  | Трудоемкость (час.) | Формируемые компетенции (ОК, ОПК, ПК, ПСК) |
|-------|--|--|---------------------|--|
| 1.    | Введение, цели и задачи дисциплины                               | Основные проблемы и задачи курса. Основные определения. Классификация технологических процессов. Общая классификация материалов по составу свойствам и техническому назначению.  | 2                   | ОПК-2, ПК-8                                |
| 2.    | Основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах | Массо - и теплопередача в неподвижной среде. Теплопроводность. Тепловое излучение. Конвекция. Основы кинетики процессов массопередачи. Электроперенос. Перенос вещества в вакууме. Явления на границе раздела фаз. Основы газодинамики. Динамическая и кинематическая вязкость вещества. Динамический, диффузионный и тепловой пограничные слои. | 8                   | ОПК-2, ПК-8                                |
| 3.    | Кинетика гетерогенных процессов                                  | Классификация химических реакций. Равновесие в химико-технологических процессах. Кинетика химических процессов.  | 2                   | ОПК-2, ПК-8                                |
| 4.    | Процессы измельчения, разделения и очистки                       | Способы измельчения и рассеивания твердых тел. Общая характеристика чистоты вещества. Сорбционные процессы. Сущность ионного обмена. Хроматография. Процессы жид-  | 6                   | ОПК-2, ПК-8                                |

|    |  |  |   |             |
|----|--|--|---|-------------|
|    | ки веществ   | костной экстракции. Принцип очистки кристаллизацией. Перегонка через газовую фазу. Очистка веществ с помощью химических транспортных реакций. Электрохимические методы разделения и очистки. Другие методы.  |   |             |
| 5. | Механизмы и кинетика роста кристаллов                          | Образование кристаллических зародышей и стеклование. Поверхностная кинетика роста кристаллов. Влияние примесей на процессы роста кристаллов. Получение кристаллов из жидкой, паровой и твердой фаз. Метод вытягивания кристаллов из расплавов. Метод зонной плавки. Выращивание кристаллов из растворов. Получение профильных монокристаллов. Разновидности эпитаксиальных процессов. Эпитаксия кремния. | 6 | ОПК-2, ПК-8 |
| 6. | Физико-химические основы легирования кристаллов                | Радиационное легирование. Кристаллизация расплава, содержащего легирующую примесь. Распределение примесей в выращиваемых кристаллах. Коэффициент распределения примеси. Методы получения однородно легированных кристаллов. Расчет распределения примесей при процессах кристаллизации. Методы выравнивания состава кристаллов.  | 8 | ОПК-2, ПК-8 |
| 7. | Методы получения некристаллических и композиционных материалов | Строение, свойства и виды стекол. Получение силикатных стекол. Получение стеклокристаллических материалов. Силталлы. Строение и состав керамических материалов. Закономерности процесса формования заготовок керамических изделий. Полимерные композиции.  | 4 | ОПК-2, ПК-8 |

### 5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

| № п/п                            | Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | № № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин |   |   |   |   |   |   |
|----------------------------------|---|--|---|---|---|---|---|---|
|                                  |   | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <b>Предшествующие дисциплины</b> |   |  |   |   |   |   |   |   |
| 1.                               | математика  | -  | + | + | + | + | + | + |
| 2.                               | физика  | +  | + | + | + | + | + | + |
| 3.                               | химия   | -  | + | + | + | + | + | + |
| 4.                               | физика конденсированного состояния  | +  | + | + | + | + | + | + |
| 5.                               | материалы электронной техники   | +  | + | + | + | + | + | + |
| <b>Последующие дисциплины</b>    |   |  |   |   |   |   |   |   |
| 1.                               | основы технологии электронной компонентной базы                                   | +  | + | + | + | + | + | + |
| 2.                               | процессы микро- и нанотехнологий  | +  | + | + | - | + | + | + |
| 3.                               | методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем               | +  | + | + | + | + | + | + |

### 5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Перечень компетенций | Виды занятий |    |     | Формы контроля   |
|----------------------|--------------|----|-----|--|
|                      | Л            | ПЗ | СРС |  |
| ОПК-2                | +            | +  | +   | Опрос на лекции, отчет по практической работе, защита индивидуального задания, контрольная работа, экзамен |
| ПК-8                 | +            | +  | +   | Опрос на лекции, отчет по практической работе, защита индивидуального задания, контрольная работа, экзамен |

## 6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

### Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

| Методы | Формы   | Лекции (час) | Практические занятия (час) | Всего |
|--------|---|--------------|----------------------------|-------|
|        | <i>Работа в команде</i>                             |              | 4                          | 4     |
|        | <i>Опрос на лекциях</i>                             | 2            |                            | 2     |
|        | <i>Презентация с видео и раздаточным материалов</i> | 2            |                            | 2     |
|        | Итого интерактивных занятий                         | 4            | 4                          | 8     |

## 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Не предусмотрено

## 8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика практических занятий   | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК |
|-------|----------------------|---|---------------------|------------------------------|
| 1.    | 2                    | Расчет коэффициентов динамической, кинематической вязкости и взаимодиффузии | 2                   | ОПК-2, ПК-8                  |
| 2.    | 2                    | Газодинамика в трубчатом реакторе   | 2                   | ОПК-2, ПК-8                  |
| 3.    | 2                    | Динамический, диффузионный и тепловой пограничные слои                      | 2                   | ОПК-2, ПК-8                  |
| 4.    | 3                    | Кинетика гетерогенных процессов Сорбционные процессы                        | 2                   | ОПК-2, ПК-8                  |
| 5.    | 4                    | Перегонка через газовую фазу  | 2                   | ОПК-2, ПК-8                  |
| 6.    | 4                    | Жидкостная экстракция   | 2                   | ОПК-2, ПК-8                  |
| 7.    | 5                    | Фазовые равновесия в расплавах  | 2                   | ОПК-2, ПК-8                  |
| 8.    | 5                    | Эпитаксиальные процессы   | 2                   | ОПК-2, ПК-8                  |
| 9.    | 6                    | Распределение примесей в выращиваемых кристаллах                            | 2                   | ОПК-2, ПК-8                  |

## 9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика самостоятельной работы (детализация)  | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК | Контроль выполнения работы     |
|-------|----------------------|--|---------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1.    | 2 – 7                | Подготовка к практическим занятиям (семинарам) | 18                  | ОПК-2, ПК-8                  | Отчеты по практическим работам |
| 2.    | 2 – 7                | Подготовка к контрольным работам               | 24                  | ОПК-2, ПК-8                  | Результаты контрольных работ   |
| 3.    | 2 – 7                | Выполнение индивидуального задания             | 12                  | ОПК-2, ПК-8                  | Защита индивидуальных заданий  |
| 4.    | 2 – 7                | Подготовка и сдача экзамена                    | 36                  | ОПК-2, ПК-8                  | Оценка на экзамене             |

Тематика индивидуальных заданий, контрольных работ и вопросы для подготовки к экзамену приведены в приложении к данной рабочей программе.

## 10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Не предусмотрено

## 11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля дисциплины

| Элементы учебной деятельности               | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|---|--|---|---|------------------|
| Активная работа на практических занятиях    | 3  | 3   | 4   | 10               |
| Контрольная работа 1                        | 15   |   |   | 15               |
| Выполнение и защита индивидуального задания |  | 15  |   | 15               |
| Контрольная работа 2                        |  | 15  |   | 15               |
| Контрольная работа 3                        |  |   | 15  | 15               |
| <b>Итого максимум за период:</b>            | <b>18</b>                                      | <b>33</b>                                   | <b>19</b>   | <b>70</b>        |
| Сдача экзамена (максимум)                   |  |   |   | 30               |
| <b>Нарастающим итогом</b>                   | <b>18</b>                                      | <b>51</b>                                   | <b>70</b>   | <b>100</b>       |

В экзаменационных билетах содержится 2 теоретических вопроса (по 15 баллов каждый).

Таблица 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

| Баллы на дату контрольной точки                       | Оценка |
|---|--------|
| ≥ 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ        | 5      |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 4      |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 3      |
| < 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ        | 2      |

Таблица 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка (ГОС)                          | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен | Оценка (ECTS)           |
|---------------------------------------|--|-------------------------|
| 5 (отлично) (зачтено)                 | 90 – 100   | A (отлично)             |
| 4 (хорошо) (зачтено)                  | 85 – 89  | B (очень хорошо)        |
|                                       | 75 – 84  | C (хорошо)              |
|                                       | 70 – 74  | D (удовлетворительно)   |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено)       | 65 – 69  |                         |
| 2 (неудовлетворительно), (не зачтено) | 60 – 64  | E (посредственно)       |
|                                       | Ниже 60 баллов   | F (неудовлетворительно) |

## 12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 12.1 Основная литература

12.1.1. Жигальский А. А. Технология материалов электронной техники: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2012. – 152 с. – [электронный ресурс]. – [http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii\\_kompleks%20disciplin/Jigalsky/%D0%96%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%90%D0%90\\_-\\_%D0%A2%D0%9C%D0%AD%D0%A2.zip](http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Jigalsky/%D0%96%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%90%D0%90_-_%D0%A2%D0%9C%D0%AD%D0%A2.zip)

### 12.2 Дополнительная литература

12.2.1. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов: Учебник для вузов / Ю. М. Таиров, В. Ф. Цветков. – 3-е изд., стереотип. – СПб.: Лань, 2002. – 424 с. (212)

### 12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

12.3.1. Жигальский А. А. Технология материалов электронной техники: Учебно-методическое пособие по практической и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2012. – 50 с. – [электронный ресурс]. – [http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii\\_kompleks%20disciplin/Jigalsky/%D0%96%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%90%D0%90\\_-\\_%D0%A2%D0%9C%D0%AD%D0%A2.zip](http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Jigalsky/%D0%96%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%90%D0%90_-_%D0%A2%D0%9C%D0%AD%D0%A2.zip)

12.3.2. Математический пакет MathCad или Mathematica.

12.3.3. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.

#### **12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

12.4.1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: <http://www.ph4s.ru/>

12.4.2. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/>

12.4.3. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: <http://elibrary.ru>

12.4.4. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/>

#### **13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для реализации программы учебной дисциплины требуется аудитория, оснащенная мультимедийным проектором.

## МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение  
высшего образования«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ  
 Директор департамента образования  
 (Проректор по учебной работе)  
 \_\_\_\_\_ П.Е. Троян  
 « 5 » \_\_\_\_\_ 10 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
 ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 3 Семестр 5

Учебный план набора 2016 года и последующих лет.

Экзамен 5 семестр

Разработчики:

Доцент кафедры ФЭ \_\_\_\_\_ / А. А. Жигальский

Доцент кафедры ФЭ \_\_\_\_\_ / Е. В. Саврук

Томск 2016



## 1. ВВЕДЕНИЕ

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе учебной дисциплины «Технология материалов микро- и нанoeлектроники» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по учебной дисциплине «Технология материалов микро- и нанoeлектроники» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Технология материалов микро- и нанoeлектроники» компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

| Код   | Формулировка компетенции   | Этапы формирования компетенции  |
|-------|--|---|
| ОПК-2 | способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат | <i>знать</i> основные процессы, протекающие в химико-технологических системах;<br><i>знать</i> явления переноса на границе раздела фаз;<br><i>знать</i> физико-химические основы распределения примесей в материалах;<br><i>уметь</i> рассчитывать процессы массо- и теплопередачи;<br><i>уметь</i> проводить основные термодинамические расчеты для основных бинарных систем;<br><i>владеть</i> методами описания и расчета параметров и характеристик материалов, оборудования и процессов электронной техники  |
| ПК-8  | способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники  | <i>знать</i> процессы разделения и очистки веществ;<br><i>знать</i> основные закономерности процессов синтеза стеклообразных, стеклокерамических и керамических материалов;<br><i>знать</i> взаимосвязь условий получения материалов с их механическими, физико-химическими и электрофизическими свойствами;<br><i>уметь</i> разрабатывать и планировать технологические процессы разделения, очистки и кристаллизации веществ;<br><i>уметь</i> моделировать основные технологические процессы получения материалов с заданными свойствами;<br><i>владеть</i> методами описания и расчета параметров и характеристик материалов, оборудования и процессов электронной техники |

## 2. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

### 2.1 Компетенция ОПК-2

**ОПК-2** способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Содержание этапов формирования компетенции, виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

| Состав            | Знать  | Уметь   | Владеть  |
|-------------------|--|---|--|
| Содержание этапов | <i>знает</i> естественнонаучную сущность проблем, лежащих в основе фундаментальных явлений тепло- и массопереноса, химической кинетики, процессов затвердевания тел;<br><i>знает</i> физико-математический аппарат, описывающий явления тепло- и массопереноса, химической кинетики; | <i>умеет</i> использовать физико-математический аппарат для расчета процессов тепло- и массопереноса, химического равновесия, термодинамического подхода к процессам затвердевания тел. | <i>владеет</i> навыками решения естественнонаучных проблем с использованием физико-математического аппарата для описания и расчета технологических процессов и характеристик материалов. |

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| <b>Виды занятий</b>                     | Лекции;<br>Практические занятия;<br>Групповые консультации   | Практические занятия;<br>Индивидуальное задание;<br>Самостоятельная работа                                    | Практические занятия<br>Индивидуальное задание;<br>Самостоятельная работа                                     |
| <b>Используемые средства оценивания</b> | Опросы на лекциях;<br>Практические задания (защита);<br>Контрольные работы;<br>Индивидуальное задание (защита);<br>Экзамен | Практические задания (выполнение, оформление);<br>Индивидуальное задание (выполнение, оформление);<br>Экзамен | Практические задания (выполнение, оформление);<br>Индивидуальное задание (выполнение, оформление);<br>Экзамен |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

| Показатели и критерии                        | Знать   | Уметь   | Владеть  |
|--|---|---|--|
| <b>Отлично (высокий уровень)</b>             | обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости | обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем | контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы   |
| <b>Хорошо (базовый уровень)</b>              | знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области                                   | обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования  | берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем |
| <b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b> | обладает базовыми общими знаниями   | обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач  | работает при прямом наблюдении   |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Показатели и критерии            | Знать   | Уметь  | Владеть   |
|----------------------------------|---|--|---|
| <b>Отлично (высокий уровень)</b> | <i>понимает</i> физико-химические основы распределения примесей в материалах;<br><i>аргументирует</i> выбор метода анализа распределения примесей в материалах;<br><i>физически аргументирует</i> выбор и план решения задачи;<br><i>графически иллюстрирует</i> задачу | <i>свободно применяет</i> методы решения нетиповых задач;<br><i>умеет</i> физико-математически описывать распределения примесей в материалах;<br><i>умеет</i> рассчитывать процессы массо- и теплопередачи | <i>свободно владеет</i> разными способами представления физической информации в графической и математической форме;<br><i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде;<br><i>демонстрирует способность</i> корректно давать оценку проделанной работе;<br><i>владеет</i> методами описания и расчета параметров и характеристик материалов, оборудования и процессов электронной техники |
| <b>Хорошо (базовый уровень)</b>  | <i>знает</i> явления переноса на границе раздела фаз;   | <i>умеет</i> проводить основные термодинамические расче-   | <i>владеет</i> разными способами представлениями ин-  |

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|  | <i>аргументирует</i> выбор решения задачи;<br><i>составляет</i> план решения задачи  | ты для основных бинарных систем;<br><i>самостоятельно подбирает</i> и готовит для эксперимента необходимое оборудование;<br><i>применяет</i> методы решения нетиповых задач | формации;<br><i>владеет навыками</i> работы в междисциплинарной команде;<br><i>способен объяснить</i> явления переноса на границе раздела фаз |
| <b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b> | <i>знает</i> основные процессы, протекающие в химико-технологических системах;<br><i>дает</i> определения основных понятий | <i>умеет</i> работать со справочной литературой;<br><i>умеет</i> представлять результаты своей работы   | <i>владеет</i> терминологией в предметной области знания  |

## 2.2 Компетенция ПК-8

### ПК-8 способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Содержание этапов формирования компетенции, виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

| Состав                                  | Знать  | Уметь  | Владеть  |
|---|--|--|--|
| <b>Содержание этапов</b>                | <i>знает</i> основы производства материалов и изделий электронной техники, основы процессов разделения и очистки веществ, получения полупроводниковых и диэлектрических материалов;<br><i>знает</i> физико-математический аппарат, позволяющий анализировать и рассчитывать технологические процессы | <i>умеет</i> технологически подготавливать производства материалов и изделий электронной техники, осуществлять выбор эффективного способа разделения и очистки веществ, оптимизировать технологические процессы для получения полупроводниковых и диэлектрических материалов с заданными характеристиками. | <i>владеет</i> навыками выполнения работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники, оптимального выбора и использования оборудования для решения технологических задач. |
| <b>Виды занятий</b>                     | Лекции;<br>Практические занятия;<br>Групповые консультации   | Практические занятия;<br>Индивидуальное задание;<br>Самостоятельная работа   | Практические занятия<br>Индивидуальное задание;<br>Самостоятельная работа  |
| <b>Используемые средства оценивания</b> | Опросы на лекциях;<br>Практические задания (защита);<br>Контрольные работы;<br>Индивидуальное задание (защита);<br>Экзамен   | Практические задания (выполнение, оформление);<br>Индивидуальное задание (выполнение, оформление);<br>Экзамен  | Практические задания (выполнение, оформление);<br>Индивидуальное задание (выполнение, оформление);<br>Экзамен  |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.2 в п. 2.1.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Показатели и критерии            | Знать  | Уметь  | Владеть   |
|----------------------------------|--|--|---|
| <b>Отлично (высокий уровень)</b> | <i>аргументирует</i> выбор условий получения материала | <i>свободно применяет</i> методы решения нетиповых | <i>свободно владеет</i> разными способами представления |

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
|   | лов;<br><i>физически аргументирует</i> выбор и план решения задачи;<br><i>графически иллюстрирует</i> задачу;<br><i>понимает</i> взаимосвязь условий получения материалов с их механическими, физико-химическими и электрофизическими свойствами | задач;<br><i>умеет</i> физически анализировать взаимосвязь условий получения материалов с их механическими, физико-химическими и электрофизическими свойствами;<br><i>умеет</i> математически описывать взаимосвязь условий получения материалов с их механическими, физико-химическими и электрофизическими свойствами;<br><i>умеет</i> разрабатывать и планировать технологические процессы разделения, очистки и кристаллизации веществ | физической информации в графической и математической форме;<br><i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде;<br><i>демонстрирует способность</i> корректно давать оценку проделанной работе;<br><i>владеет</i> методами описания и расчета параметров и характеристик материалов, оборудования и процессов электронной техники |
| <b>Хорошо</b><br>(базовый уровень)              | <i>распознает</i> основные закономерности процессов синтеза стеклообразных, стеклокерамических и керамических материалов;<br><i>аргументирует</i> выбор решения задачи;<br><i>составляет</i> план решения задачи                                 | <i>самостоятельно подбирает</i> и готовит для эксперимента необходимое оборудование;<br><i>применяет</i> методы решения нетиповых задач;<br><i>умеет</i> моделировать основные технологические процессы получения материалов с заданными свойствами  | <i>владеет</i> разными способами представлениями информации;<br><i>владеет навыками</i> работы в междисциплинарной команде;<br><i>способен классифицировать</i> основные закономерности процессов синтеза стеклообразных, стеклокерамических и керамических материалов  |
| <b>Удовлетворительно</b><br>(пороговый уровень) | <i>дает</i> определения основных понятий;<br><i>распознает</i> процессы разделения и очистки веществ   | <i>умеет</i> работать со справочной литературой;<br><i>умеет</i> представлять результаты своей работы  | <i>владеет</i> терминологией в предметной области знания  |

### 3. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы:

– типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе: опросы на лекциях; практические задания; контрольные работы; индивидуальное задание; самостоятельная работа; экзамен.

#### 3.1. Опросы на лекциях

**1. Основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах:** Массо- и теплопередача в неподвижной среде. Теплопроводность. Тепловое излучение. Конвекция. Основы кинетики процессов массопередачи. Электроперенос. Перенос вещества в вакууме. Явления на границе раздела фаз. Основы газодинамики. Динамическая и кинематическая вязкость вещества. Динамический, диффузионный и тепловой пограничные слои.

**2. Кинетика гетерогенных процессов:** Классификация химических реакций. Равновесие в химико-технологических процессах. Кинетика химических процессов.

**3. Процессы измельчения, разделения и очистки веществ:** Способы измельчения и рассеивания твердых тел. Общая характеристика чистоты вещества. Сорбционные процессы. Сущность ионного обмена. Хроматография. Процессы жидкостной экстракции. Принцип очистки кристаллизацией. Перегонка через газовую фазу. Очистка веществ с помощью химических транспортных реакций. Электрохимические методы разделения и очистки. Другие методы.

**4. Механизмы и кинетика роста кристаллов:** Образование кристаллических зародышей и стеклование. Поверхностная кинетика роста кристаллов. Влияние примесей на процессы роста кристаллов. Полу-

чение кристаллов из жидкой, паровой и твердой фаз. Метод вытягивания кристаллов из расплавов. Метод зонной плавки. Выращивание кристаллов из растворов. Получение профильных монокристаллов. Разновидности эпитаксиальных процессов. Эпитаксия кремния.

**5. Физико-химические основы легирования кристаллов:** Радиационное легирование. Кристаллизация расплава, содержащего легирующую примесь. Распределение примесей в выращиваемых кристаллах. Коэффициент распределения примеси. Методы получения однородно легированных кристаллов. Расчет распределения примесей при процессах кристаллизации. Методы выравнивания состава кристаллов.

**6. Методы получения некристаллических и композиционных материалов:** Строение, свойства и виды стекол. Получение силикатных стекол. Получение стеклокристаллических материалов. Ситаллы. Строение и состав керамических материалов. Закономерности процесса формования заготовок керамических изделий. Полимерные композиции.

### 3.2. Практические задания

#### 1. Расчет коэффициентов динамической, кинематической вязкости и взаимодиффузии:

Рассчитать коэффициенты динамической, кинематической вязкости и взаимодиффузии смеси вещества  $A$  с молярной долей  $n$  и вещества  $B$  при температуре  $T$  и давлении  $P$ .

#### 2. Газодинамика в трубчатом реакторе:

Рассчитать газодинамику для участка проточного реактора вертикального типа при установившемся в нем движении газа. Диаметр реактора  $d$ , высота  $l$ . Температура вверху  $T_v$ , в низу  $T_n$ . Расход газа  $Q_0$ .

#### 3. Динамический, диффузионный и тепловой пограничные слои:

Рассчитать толщину динамического и теплового пограничных слоев, возникающих у поверхности подложки в процессе ее взаимодействия с газом. Температура процесса  $T$ , °С. Скорость движения газа при рабочей температуре  $u_\infty$ , м/с. Длина участка реактора  $l$ , м. Давление  $P = 1$  атм. Рассматривается внешняя гидродинамическая задача. Построить график.

#### 4. Кинетика гетерогенных процессов. Сорбционные процессы:

Обратимая реакция  $A+B \leftrightarrow C+D$  характеризуется константой равновесия  $K$ . Объем системы  $V$ . Сколько процентов вещества  $A$  прореагировало в процессе достижения равновесия, если вначале процесса система содержала  $A_0$  и  $B_0$  молей исходных веществ?

#### 5. Перегонка через газовую фазу:

Жидкое органическое вещество, практически не растворимое в воде, перегонялось с водяным паром под атмосферным давлением. Содержание органической жидкости в конденсате равно  $G_{орг}$ . Давление паров воды в этих условиях  $P_{H_2O}$ . Определить молекулярный вес вещества.

#### 6. Жидкостная экстракция:

Коэффициент распределения вещества  $B$  между водой и веществом  $C$  равен  $K$ . Какой объем вещества  $C$  надо взять, чтобы однократным экстрагированием извлечь из водного раствора объемом  $V$  заданное количество  $X$  вещества  $B$ .

#### 7. Фазовые равновесия в расплавах:

На основании данных о температуре начала кристаллизации системы  $A - B$  постройте диаграмму состояния. Определите тип полученной диаграммы. Рассчитайте массу вещества  $A$  и  $B$  в жидкой и твердой фазе при охлаждении  $M$ , кг расплава, содержащего  $N\%$  вещества  $B$ , до температуры  $T$ , К.

#### 8. Эпитаксиальные процессы:

Рассчитать скорость эпитаксиального наращивания кремния в диффузионном режиме. Используется вертикальный реактор проточного типа. Внутренний диаметр реактора  $d_1 = 40$  см. Подложки расположены на ограниченном цилиндрическом пьедестале с эквивалентным диаметром  $d_2 = 26$  см и высотой  $h = 40$  см. Температура процесса  $T = 1473$  К. Исходная парогазовая смесь содержит 5 об.% ( $\theta = 0,05$ )  $SiCl_4$  в водороде. Общее давление в реакторе  $P = 1$  атм. Объемный расход парогазовой смеси  $Q_0 = 7,2 \cdot 10^{-2}$  м<sup>3</sup>/с. Расчет скорости произвести для середины пьедестала.

#### 9. Распределение примесей в выращиваемых кристаллах:

Рассчитать массу примеси, которую нужно ввести в расплав полупроводника массой  $m$  для выращивания из него монокристалла с концентрацией носителей заряда  $n$ . Потери примеси в технологическом процессе составляют  $z$ . В расчетах принять  $K \approx K_0$ . Примесь одноионизована.

### 3.3. Контрольные работы

1. Основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах
2. Процессы разделения веществ, кинетика роста кристаллов
3. Получение и свойства диэлектрических материалов

### 3.4. Индивидуальное задание

#### 1. Расчет нагрева полупроводниковых материалов

Исходные данные:

Материал изделия и параметры тепловой системы указаны в таблице. Для «массивного» тела тепло-воспринимающей является цилиндрическая поверхность. Для «тонкого» тела тепловоспринимающей является плоская поверхность.

Вопросы, подлежащие разработке:

- анализ тепловой системы;
- последовательный расчет нагрева тела с учетом температурных зависимостей коэффициента теплопроводности ( $\lambda$ ) и теплоемкости ( $C$ );
- графическое представление результатов расчета (для «массивного» тела рассчитывается нагрев поверхности, нагрев вдоль оси цилиндрического тела и разность  $T_{ц}$  и  $T_{п}$ ).

#### 2. Расчет гидродинамических параметров

Рассчитать толщину динамического, диффузионного и теплового пограничных слоев, возникающих у поверхности подложки в процессе ее травления в парогазовой смеси, содержащей молярную долю  $x$  компонента  $B$  в веществе  $A$ . Температура процесса  $T$ . Скорость движения парогазовой смеси при температуре процесса  $u_{\infty}$ . Рассчитываются внешние гидродинамическая и диффузионная задачи. (Построить на одном графике зависимости толщин динамического, диффузионного и теплового пограничных слоев в интервале от 0 до 3 м).

#### 3. Расчет равновесной концентрации

Рассчитать равновесную концентрацию вещества  $C$  в системе  $A+B \leftrightarrow C+D$  при известной константе равновесия  $K_p$ .

### 3.5. Самостоятельная работа

- Основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах
- Кинетика гетерогенных процессов
- Процессы измельчения, разделения и очистки веществ
- Механизмы и кинетика роста кристаллов
- Физико-химические основы легирования кристаллов
- Методы получения некристаллических и композиционных материалов

### 3.6. Экзамен

- Процессы теплопередачи. Расчет нагрева тел.
- Основы кинетики процессов массопередачи (диффузия)
- Основные законы газодинамики. Ламинарный и турбулентный режимы.
- Явления переноса в газах. Динамическая и кинематическая вязкость, взаимодиффузия, теплопроводность.
- Динамический, диффузионный и тепловой пограничные слои.
- Классификация химических реакций
- Равновесие в химико-технологических процессах
- Способы измельчения и рассеивания твердых тел
- Сорбционные процессы. Адсорбция Ленгмюра.
- Хроматография. Типы хроматографических процессов.
- Процессы жидкостной экстракции
- Принцип очистки кристаллизацией. Равновесный и эффективный коэффициент распределения.
- Перегонка через газовую фазу.
- Очистка веществ с помощью химических транспортных реакций.
- Образование кристаллических зародышей и стеклование.
- Гомогенное и гетерогенное зарождение центров новой фазы.
- Общие закономерности роста кристаллов. Послойный и нормальный рост кристаллов.
- Получение кристаллов из твердой фазы.
- Метод вытягивания кристаллов из расплавов.
- Метод зонной плавки.
- Выращивание кристаллов из газовой фазы.
- Получение профильных монокристаллов.
- Эпитаксиальные процессы. Эпитаксия кремния.
- Распределение примеси в выращиваемых кристаллах.

25. Факторы, влияющие на неоднородность распределения примеси в кристаллах
26. Методы получения однородно легированных кристаллов
27. Строение и свойства стекол.
28. Получение стеклокристаллических материалов (ситаллы).
29. Строение и состав керамических материалов.
30. Закономерности процесса формования заготовок керамических изделий.

#### **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы (согласно п. 12 данной рабочей программы):

##### **4.1 Основная литература**

1. Жигальский А. А. Технология материалов электронной техники: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2012. – 152 с. – [электронный ресурс]. – [http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii\\_kompleks%20disciplin/Jigalsky/%D0%96%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%90%D0%90\\_-\\_%D0%A2%D0%9C%D0%AD%D0%A2.zip](http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Jigalsky/%D0%96%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%90%D0%90_-_%D0%A2%D0%9C%D0%AD%D0%A2.zip)

##### **4.2 Дополнительная литература**

1. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов: Учебник для вузов / Ю. М. Таиров, В. Ф. Цветков. – 3-е изд., стереотип. – СПб.: Лань, 2002. – 424 с. (212)

##### **4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение**

1. Жигальский А. А. Технология материалов электронной техники: Учебно-методическое пособие по практической и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2012. – 50 с. – [электронный ресурс]. – [http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii\\_kompleks%20disciplin/Jigalsky/%D0%96%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%90%D0%90\\_-\\_%D0%A2%D0%9C%D0%AD%D0%A2.zip](http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Jigalsky/%D0%96%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%90%D0%90_-_%D0%A2%D0%9C%D0%AD%D0%A2.zip)
2. Математический пакет MathCad или Mathematica.
3. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.

##### **4.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/>
2. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: <http://elibrary.ru>
3. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/>