**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# Физические основы микро- и наноэлектроники

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.03 Конструирование и технология электронных средств**
Направленность (профиль) / специализация: **Технология электронных средств**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **РКФ, Радиоконструкторский факультет**
Кафедра: **РЭТЭМ, Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга**
Курс: **2**
Семестр: **3**
Учебный план набора 2016 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 3 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | 36 | 36 | часов |
| 2 | Практические занятия | 28 | 28 | часов |
| 3 | Лабораторные работы | 36 | 36 | часов |
| 4 | Всего аудиторных занятий | 100 | 100 | часов |
| 5 | Самостоятельная работа | 80 | 80 | часов |
| 6 | Всего (без экзамена) | 180 | 180 | часов |
| 7 | Общая трудоемкость | 180 | 180 | часов |
| | | 5.0 | 5.0 | З.Е. |

Дифференцированный зачет: 3 семестр

Томск 2018

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шелупанов А.А.
Должность: Ректор
Дата подписания: 23.08.2017
Уникальный программный ключ:
c53e145e-8b20-45aa-9347-a5e4dbb90e8d

Согласована на портале № 35038

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 206 от «26» 4 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, утвержденного 12.11.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры КУДР «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

| | | |
|---|---|---|
| доцент каф. КУДР | _____ | М. М. Славникова |
| Заведующий обеспечивающей каф. КУДР | _____ | А. Г. Лощилов |

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

| | | |
|---|---|---|
| Декан РКФ | _____ | Д. В. Озеркин |
| Заведующий выпускающей каф. РЭТЭМ | _____ | В. И. Туев |

Эксперты:

| | | |
|---|---|---|
| Доцент кафедры конструирования узлов и деталей радиоэлектронной аппаратуры (КУДР) | _____ | С. А. Артищев |
| Профессор кафедры конструирования узлов и деталей радиоэлектронной аппаратуры (КУДР) | _____ | С. Г. Еханин |
| Доцент кафедры радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга (РЭТЭМ) | _____ | Н. Н. Несмелова |

Согласована на портале № 35038

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

Целью преподавания дисциплины является изучение естественнонаучных проблем в области физических основ микро- и наноэлектроники; физики твердого тела; функционирования компонентов электронных средств и формирование способности применять физико-математический аппарат для решения этих проблем.

.

### 1.2. Задачи дисциплины

– Получение необходимых знаний по физическим и теоретическим основам полупроводниковой электроники;

– Получение необходимых знаний по методам расчета основных параметров и характеристик полупроводников и полупроводниковых приборов.

–

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физические основы микро- и наноэлектроники» (Б1.Б.18) относится к блоку 1 (базовая часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Физика, Химия.

Последующими дисциплинами являются: Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты, Интегральные устройства радиоэлектроники, Материалы и компоненты электронных средств.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

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

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** Основы физики твердого тела, основы контактных явлений в полупроводниках, металлах и гетероструктурах, методы исследования свойств полупроводников и приборов на их основе.

– **уметь** Применять методы и средства измерения и расчета параметров полупроводников и полупроводниковых приборов. Рационально использовать полупроводники и приборы на их основе при разработке электронной аппаратуры с учетом влияния окружающей среды и условий эксплуатации.

– **владеть** Методами экспериментального исследования и расчета свойств полупроводников и приборов на их основе.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 3 семестр |
| Аудиторные занятия (всего) | 100 | 100 |
| Лекции | 36 | 36 |
| Практические занятия | 28 | 28 |
| Лабораторные работы | 36 | 36 |
| Самостоятельная работа (всего) | 80 | 80 |
| Оформление отчетов по лабораторным работам | 22 | 22 |

Согласована на портале № 35038

| | | |
|---|---|---|
| Проработка лекционного материала | 28 | 28 |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 30 | 30 |
| Всего (без экзамена) | 180 | 180 |
| Общая трудоемкость, ч | 180 | 180 |
| Зачетные Единицы | 5.0 | 5.0 |

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| Названия разделов дисциплины | Лек., ч | Прак. зан., ч | Лаб. раб., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | | | | |
| 1 Вводная часть | 4 | 0 | 0 | 1 | 5 | ОПК-2 |
| 2 Элементы физики твердого тела | 4 | 4 | 0 | 8 | 16 | ОПК-2 |
| 3 Физика полупроводников | 4 | 6 | 8 | 11 | 29 | ОПК-2 |
| 4 Электропроводность твердых тел | 4 | 4 | 12 | 12 | 32 | ОПК-2 |
| 5 Контактные явления | 4 | 6 | 0 | 12 | 22 | ОПК-2 |
| 6 Полупроводниковые диоды и биполярные транзисторы | 4 | 0 | 12 | 6 | 22 | ОПК-2 |
| 7 Поверхностные явления в полупроводниках. Полевые транзисторы | 4 | 4 | 0 | 8 | 16 | ОПК-2 |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | 4 | 4 | 4 | 16 | 28 | ОПК-2 |
| 9 Физические основы наноэлектроники | 4 | 0 | 0 | 6 | 10 | ОПК-2 |
| Итого за семестр | 36 | 28 | 36 | 80 | 180 | |
| Итого | 36 | 28 | 36 | 80 | 180 | |

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

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| Названия разделов | Содержание разделов дисциплины (по лекциям) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | |
| 1 Вводная часть | Цели и задачи дисциплины. История развития твердотельной электроники. Роль советских и зарубежных ученых в развитии микроэлектроники. Физические ограничения быстродействия и миниатюризации | 4 | ОПК-2 |

Согласована на портале № 35038

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Итого | 4 | |
| 2 Элементы физики твердого тела | Цели и задачи дисциплины. История развития твердотельной электроники. Роль советских и зарубежных ученых в развитии микроэлектроники. Физические ограничения быстродействия и миниатюризации | 4 | ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 3 Физика полупроводников | Собственная и примесная проводимость полупроводников. Равновесная концентрация носителей заряда, уровень Ферми. Зависимость концентрации носителей заряда от температуры. Уравнение баланса носителей заряда в полупроводнике. Температурная зависимость равновесной концентрации носителей заряда. Закон действующих масс. Компенсированные полупроводники. Неравновесные носители заряда. Понятие о квазиуровнях Ферми. Рекомбинация, ее механизмы. Скорость рекомбинации и время жизни носителей заряда. Излучательная рекомбинация. Основные полупроводники, применяемые в микроэлектронике , их свойства. Диффузионная и дрейфовая составляющие тока. Коэффициент диффузии носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Монополярная и биполярная диффузия носителей заряда в полупроводниках. Уравнение непрерывности. | 4 | ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 4 Электропроводность твердых тел | Влияние электрического поля на функцию распределения носителей заряда. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда. Уравнения Ланжевена. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электрон-фононное рассеяние. Рассеяние на дефектах кристаллической решетки. Основные механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость подвижности носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость удельной проводимости полупроводников. Эффекты сильного поля. Типы вольтамперных характеристик в полупроводниках. ВАХ S и N типа. Эффект Ганна. Понятие о доменах. СВЧ-генераторы на эффекте Ганна. | 4 | ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 5 Контактные явления | Работа выхода электронов из металлов и полупроводников. Термоэлектронная эмиссия. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Контакт металл-полупроводник в равновесном и неравновесном состояниях. Приконтактные слои обеднения, обогащения, инверсии. Эффект Шоттки. Толщина обедненного слоя. Распределение потенциала Диод Шоттки. ВАХ диода Шоттки. P-n переход, его энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состоянии. Обедненный | 4 | ОПК-2 |

Согласована на портале № 35038

| | | | |
|---|---|---|---|
| | слой, электрические поля в обедненном слое. Резкий и плавный p-n переходы. Толщина обедненного слоя. Контактная разность потенциалов. Обратный ток p-n перехода, его составляющие. ВАХ p-n перехода. Зарядная и диффузионная емкости p-n перехода. Пробой p-n перехода и его механизмы (лавинный, туннельный, тепловой) | | |
| | Итого | 4 | |
| 6 Полупроводниковые диоды и биполярные транзисторы | Полупроводниковые приборы на основе p-n перехода. Полупроводниковые диоды. Энергетические диаграммы, принцип действия, основные характеристики и параметры. Биполярные транзисторы. Принцип действия, схемы включения, энергетические зонные диаграммы, вольтамперные характеристики, основные параметры. | 4 | ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 7 Поверхностные явления в полупроводниках. Полевые транзисторы | Поверхностные состояния в полупроводнике. Поверхностная рекомбинация. Приповерхностный слой объемного заряда. Поверхностная проводимость. Эффект поля. МДП-структуры. Вольт-фарадные характеристики МДП-структур. Полевые транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом. ВАХ этих приборов. МДП (МОП)-транзисторы. Идеальная МДП-структура. МДП-транзисторы со встроенным и индуцированным каналом. ВАХ МДП-транзистора. Режимы обеднения, обогащения, инверсии. Роль поверхностных состояний. Разновидности МДП-транзисторов. | 4 | ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Фотопроводимость. Спектральная зависимость фотопроводимости. Фотопроводимость при импульсном освещении. Фотоэлектрические эффекты. Устройство, принцип действия, основные характеристики фоторезистора, фотодиода, фотоэлемента, фототранзистора. | 4 | ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 9 Физические основы наноэлектроники | Квантовые размерные структуры. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности. Наноструктуры и элементы наноэлектроники. Проблемы одноэлектроники. | 4 | ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 36 | |

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

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Согласована на портале № 35038

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

| Наименование дисциплин | № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | | | | |
| 1 Физика | + | + | + | + | | + | | + | + |
| 2 Химия | | | + | + | | | | | |
| Последующие дисциплины | | | | | | | | | |
| 1 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты | | + | + | + | | + | + | + | + |
| 2 Интегральные устройства радиоэлектроники | | | + | | | + | + | + | + |
| 3 Материалы и компоненты электронных средств | | + | + | + | | | | + | |

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

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Компетенции | Виды занятий | | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|---|
| | Лек. | Прак. зан. | Лаб. раб. | Сам. раб. | |
| ОПК-2 | + | + | + | + | Защита отчета, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест |

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

## 7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | |
| 3 Физика полупроводников | Измерение подвижности носителей заряда | 4 | ОПК-2 |
| | Определение диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда | 4 | |
| | Итого | 8 | |
| 4 Электропроводность твердых тел | Исследование эффекта сильного поля (эффект Ганна) и его использование в устройствах микроэлек- | 4 | ОПК-2 |

Согласована на портале № 35038

| | | | |
|---|---|---|---|
| | троники | | |
| | Определение времени жизни неравновесных носителей заряда методом модуляции проводимости | 4 | |
| | Исследование температурной зависимости электропроводности германия | 4 | |
| | Итого | 12 | |
| 6 Полупроводниковые диоды и биполярные транзисторы | Исследование структуры металл - диэлектрик - полупроводник | 4 | ОПК-2 |
| | Определение ширины запрещенной зоны полупроводника методом измерения обратных токов электроннодырочного перехода | 4 | |
| | Исследование вольтамперных и вольтфарадных характеристик полупроводникового диода | 4 | |
| | Итого | 12 | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Изучение фотопроводимости полупроводников и определение времени жизни неравновесных носителей заряда | 4 | ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 36 | |

## 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | |
| 2 Элементы физики твердого тела | Элементы зонной теории твердых тел | 4 | ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 3 Физика полупроводников | Статистика электронов и дырок в полупроводниках | 2 | ОПК-2 |
| | Генерация и рекомбинация носителей заряда | 2 | |
| | Диффузия и дрейф носителей заряда в полупроводниках | 2 | |
| | Итого | 6 | |
| 4 Электропроводность твердых тел | Электропроводность твердых тел | 4 | ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 5 Контактные явления | Контакт металл-полупроводник | 2 | ОПК-2 |
| | Физические явления в p-n переходе | 4 | |
| | Итого | 6 | |
| 7 Поверхностные явления в | Поверхностные явления в полупроводниках | 4 | ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |

Согласована на портале № 35038

| | | | |
|---|---|---|---|
| полупроводниках. Полевые транзисторы | | | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Фотоэлектрические явления в полупроводниках | 4 | ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 28 | |

## 9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | | |
| 1 Вводная часть | Проработка лекционного материала | 1 | ОПК-2 | Тест |
| | Итого | 1 | | |
| 2 Элементы физики твердого тела | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ОПК-2 | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 4 | | |
| | Итого | 8 | | |
| 3 Физика полупроводников | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 6 | ОПК-2 | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 11 | | |
| 4 Электропроводность твердых тел | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ОПК-2 | Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 8 | | |
| | Итого | 12 | | |
| 5 Контактные явления | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 8 | ОПК-2 | Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 4 | | |
| | Итого | 12 | | |

Согласована на портале № 35038

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 6 Полупроводниковые диоды и биполярные транзисторы | Проработка лекционного материала | 4 | ОПК-2 | Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 2 | | |
| | Итого | 6 | | |
| 7 Поверхностные явления в полупроводниках. Полевые транзисторы | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ОПК-2 | Тест |
| | Проработка лекционного материала | 4 | | |
| | Итого | 8 | | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ОПК-2 | Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 4 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 8 | | |
| | Итого | 16 | | |
| 9 Физические основы наноэлектроники | Проработка лекционного материала | 6 | ОПК-2 | Тест |
| | Итого | 6 | | |
| Итого за семестр | | 80 | | |
| Итого | | 80 | | |

## 10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

| 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 |
|---|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | | |
| Опрос на занятиях | 10 | 10 | 10 | 30 |
| Отчет по лабораторной работе | | 20 | 20 | 40 |
| Тест | 10 | 10 | 10 | 30 |
| Итого максимум за период | 20 | 40 | 40 | 100 |
| Нарастающим итогом | 20 | 60 | 100 | 100 |

### 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Согласована на портале № 35038

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 |

### 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

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 | |
| | 60 - 64 | E (посредственно) |
| 2 (неудовлетворительно) (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

1. Физические основы микроэлектроники: Учебное пособие (для автоматизированной технологии обучения) / Н. С. Несмелов, М. М. Славникова, А. А. Широков. - Томск : ТУСУР, 2007. - 276 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 187 экз.)

2. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., доп. – М.: Техносфера, 2005. – 406 с. . (наличие в библиотеке ТУСУР - 88 экз.)

### 12.2. Дополнительная литература

1. Драгунов ВП., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники:учебное пособие для вузов – М.:Физматкнига, 2006. – 494 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 30 экз.)

2. Боргардт Н.И., Гаврилов С.А.,Герасименко Н.Н. и др. Нанотехнологии в электронике. – М.: Техносфера, 2005. -446 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 20 экз.)

3. Ефимов И. Е., Козырь И. Я., Горбунов Ю. И. "Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность": Учебное пособие для вузов – М. ВШ, 1986. - 464 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 52 экз.)

### 12.3. Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Физические основы микро- и наноэлектроники: Сборник задач и методические указания по проведению практических занятий / Славникова М. М., Несмелов Н. С. - 2015. 32 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5641 (дата обращения: 28.06.2018).

2. Исследование эффекта Ганна: Руководство к лабораторной работе / Славникова М. М. - 2018. 11 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7836 (дата обращения: 28.06.2018).

3. Физические основы микро- и наноэлектроники: Учебное пособие / Славникова М. М. - 2014. 232 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/4737 (дата об-

Согласована на портале № 35038

ращения: 28.06.2018).

4. Избранные главы физики твердого тела: Методические указания по самостоятельной работе / Кистенева М. Г. - 2012. 30 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/1743 (дата обращения: 28.06.2018).

5. Исследование структуры металл - диэлектрик - полупроводник: Руководство к лабораторной работе / Славникова М. М., Славникова М. М., Романовский М. Н. - 2018. 10 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7765 (дата обращения: 28.06.2018).

6. Изучение фотопроводимости полупроводников и определение времени жизни неравновесных носителей заряда: Руководство к лабораторной работе / Славникова М. М. - 2018. 10 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7769 (дата обращения: 28.06.2018).

7. Измерение подвижности носителей заряда: Руководство к лабораторной работе / Славникова М. М. - 2018. 7 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7760 (дата обращения: 28.06.2018).

8. Определение диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда: Руководство к лабораторной работе / Славникова М. М. - 2018. 15 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7835 (дата обращения: 28.06.2018).

9. Определение времени жизни неравновесных носителей заряда методом модуляции проводимости: Руководство к лабораторной работе / Славникова М. М. - 2018. 7 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7761 (дата обращения: 28.06.2018).

10. Исследование температурной зависимости электропроводности германия: Руководство к лабораторной работе / Славникова М. М. - 2018. 10 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7808 (дата обращения: 28.06.2018).

11. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника методом измерения обратных токов электроннодырочного перехода: Руководство к лабораторной работе / Славникова М. М. - 2018. 9 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7834 (дата обращения: 28.06.2018).

12. Исследование вольтамперных и вольтфарадных характеристик полупроводникового диода: Руководство к лабораторной работе / Славникова М. М. - 2018. 13 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7759 (дата обращения: 28.06.2018).

### 12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

### 12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. При изучении дисциплины рекомендуется использовать базы данных, информационно-справочные и поисковые системы, к которым у ТУСУРа есть доступ https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh"

Согласована на портале № 35038

## 13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

### 13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

#### 13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

#### 13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа

634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 329 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

#### 13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Измерительная лаборатория / Лаборатория "Физико-химических основ микроэлектроники"

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 316 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Ноутбук Aser AS5101AWLMI;
- Компьютер WS2;
- Векторный анализатор цепей обзор-103;
- Векторный импульсный анализатор цепей импульс-М Р4-и-01;
- Вольтметр В6-9;
- Генератор сигналов ГСС-05;
- Генератор-частотомер FG-7020;
- Измеритель Л2-22 (2 шт.);
- Источник питания Б5-43;
- Линейный источник питания HY3003;
- Мультиметр APPA 207;
- Осциллограф RLGOL DS 1042 C;
- Прибор ПНХТ - 1;
- Проектор LG RD-DX130;
- Цифровой осциллограф DSO-3202A;
- Цифровой осциллограф GDS-806S;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- 7-Zip
- Google Chrome
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
- Microsoft Windows
- OpenOffice

Согласована на портале № 35038

### 13.1.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

## 13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

# 14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

## 14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

### 14.1.1. Тестовые задания

1. Найдите правильные определения собственного полупроводника.

1) это полупроводник с идеальной кристаллической структурой;

2) это полупроводник, в котором есть специально введенные примеси;

3) это полупроводник, в котором концентрации свободных электронов и дырок всегда равны;

4) это полупроводник, в котором нет каких-либо дефектов;

5) это полупроводник, в котором концентрация собственных носителей заряда преобладает

Согласована на портале № 35038

над концентрациями электронов или дырок.

2. При какой температуре донорный и акцепторный полупроводники приобретают свойства собственного полупроводника?

1) при любых температурах примесные полупроводники сохраняют
свои свойства, так как примесные атомы остаются в объемах кристаллов;

2) при T = Ts, когда уровень Ферми пересекает донорный или акцепторный уровень;

3) при T больше или равной Ti, когда уровень Ферми должен оказаться в середине запрещенной зоны;

4) при температурах в области Ts < T < Ti , когда все примесные уровни ионизированы.

3. Укажите, где правильно указаны основные и неосновные носители заряда в полупроводнике?

1) в донорном полупроводнике основные носители заряда — дырки в валентной зоне, образующиеся при переходе из нее электронов в зону проводимости;

2) в донорном полупроводнике концентрация электронов в зоне проводимости за счет их поступления с донорного уровня при 0 < T < Ti выше, чем концентрация дырок в валентной зоне. Поэтому электроны в донорном полупроводнике называются основными носителями заряда, а дырки — неосновными;

3) в акцепторном полупроводнике основные носители заряда — это электроны, перешедшие при T > 0 в валентную зону с акцепторного уровня, а неосновные носители — дырки, оставшиеся на акцепторном уровне;

4) в собственном полупроводнике основными носителями заряда являются дырки в валентной зоне, образующиеся при переходе из нее электронов в зону проводимости.

4. Какие параметры полупроводников можно определить
из температурной зависимости их электропроводности?

1) подвижность носителей заряда;

2) концентрацию дырок и электронов;

3) удельное сопротивление при заданной температуре;

4) ширину запрещенной зоны из зависимости lnσ(1/T) в области собственной проводимости.

5. Как подвижность носителей заряда в полупроводнике зависит от его температуры?

1) в области низких температур, когда концентрация фононов мала, а примесные атомы уже ионизированы, электроны и дырки рассеиваются на примесных ионах и подвижность носителей заряда возрастает при увеличении температуры. При более высокой температуре, когда концентрация фононов возрастает подвижность носителей уменьшается.

2)при малой концентрации фононов в области низких температур подвижность остается постоянной при увеличении температуры;

3)в реальных полупроводниках в области низких температур зависимость μ(T) объясняется рассеянием носителей заряда на ионах примесей и увеличивается с увеличением температуры;

4)в области высоких температур основное влияние на подвижность носителей заряда оказывает рассеяние на фононах. Температурные зависимости средней длины свободного пробега и средней скорости теплового движения носителей заряда являются причиной уменьшения их подвижности с ростом температуры.

6. Каков физический смысл понятия «диффузионная длина»?

1) расстояние, проходимое носителем заряда за время жизни;

2) расстояние, на котором контактное электрическое поле уменьшается в 2,71 раза;

3) расстояние, на котором объемный заряд неравновесных носителей компенсируется объемным зарядом нескомпенсированных примесных атомов;

4) длина области объемного заряда.

7. Какие контакты металл-полупроводник называются запирающими?

1) контакты, в которых отсутствует заметный ток при подаче внешнего напряжения любой полярности;

Согласована на портале № 35038

2) контакты, в которых сопротивление слоя объемного заряда при $V < 0$ оказывается значительно больше сопротивления остальной части полупроводника;

3) контакты, у которых сопротивление области объемного заряда при $V > 0$ значительно меньше сопротивления остальной части полупроводника;

4) контакт, обогащенный основными носителями заряда, перешедшими из металла в приповерхностный слой полупроводника.

8. От чего зависит обратный ток p-n-перехода в области насыщения?

1) от величины приложенного внешнего напряжения;

2) от напряженности внутреннего электрического поля p-n перехода;

3) от концентрации неосновных носителей заряда;

4) с ростом температуры обратный ток уменьшается.

9. Укажите причины, объясняющие малую толщину базы для биполярных транзисторов:

1) при уменьшении толщины базы снижается количество носителей заряда, рекомбинирующих в ней при диффузии к коллектору;

2) толщина базы определяется шириной областей эмиттерного и коллекторного p-n переходов и поэтому зависит только от концентраций в них основных носителей заряда;

3) снижение в базе концентрации основных носителей заряда уменьшает рекомбинационные потери носителей, инжектированных эмиттерным p-n переходом, что повышает коллекторный ток;

4) малая концентрация основных носителей заряда в базе соответствует ее большому электрическому сопротивлению, что обусловливает меньшее электрическое взаимодействие эмиттера и коллектора.

10. Почему коэффициент передачи тока эмиттера транзистора в схеме с общей базой меньше единицы?

1) вследствие инжекции неосновных носителей из коллектора в базу;

2) из-за большого сопротивления базы;

3) вследствие рекомбинации в базе части неосновных носителей, инжектированных эмиттером, и поскольку эффективность эмиттера меньше единицы;

4) вследствие расширения коллекторного p-n перехода при подаче запирающего напряжения.

11. Элемент какой группы следует ввести в полупроводник, относящийся к IV группе, чтобы получить в нем проводимость n-типа?

1) V; 2) II; 3) III;4) VI.

12. Светодиоды работают на принципе

1) Инжекционной люминесценции.

2) Инжекционной электрической люминесценции.

3) Инжекционной электромагнитной люминесценции.

4) Инжекционной магнитной люминесценции.

13. В каких режимах могут работать полевые транзисторы?

1) активном, отсечки и насыщения;

2) пассивном и активном;

3) дырочном и пробойном;

4) лавинном и тепловом.

14. Зависимость тока коллектора от напряжения при постоянном токе базы – это:

1) выходная вольтамперная характеристика;

2) входная характеристика:

3) вольтамперная характеристика базы;

4) амплитудно-частотная характеристика;

15. Прибор, имеющий 2 взаимодействующих p-n перехода, называется:

Согласована на портале № 35038

1) биполярный транзистор;
2) стабилитрон;
3) стабистор;
4) варистор;

16. Полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемый электрическим полем - это:
1) биполярный транзистор;
2) полевой транзистор;
3) стабилитрон;
4) тиристор;

17. Что является преимуществом биполярных транзисторов по сравнению с электронной лампой?
1) отсутствие накаленного катода;
2) наличие накаленного катода;
3) можно использовать в полярных условиях ;
4) чувствительность к повышению температуры.
18. Чем ограничены значения коллекторного напряжения?
1) Ширина коллекторного перехода становится слишком большой;
2) Коэффициент переноса становится слишком большим;
3) Пробоем коллекторного перехода;
4) Коэффициент обратной связи достигает предельной величины.
.
19. Что называется коллектором биполярного транзистора?
1) Область транзистора со средней концентрацией примеси;
2) Область транзистора со стороны закрытого p-n перехода;
3) Область транзистора, назначением которой является инжекция неосновных носителей в базу;
4) Область транзистора, назначением которой является экстракция из базы неосновных носителей.

20. Что называется эмиттером биполярного транзистора?
1) Область транзистора с большой концентрацией примеси;
2) Область транзистора, назначением которой является инжекция неосновных носителей в базу;
3) Область транзистора со стороны закрытого p-n перехода;
4) Область транзистора, назначением которой является экстракция из базы неосновных носителей.

### 14.1.2. Темы лабораторных работ

Измерение подвижности носителей заряда

Исследование эффекта сильного поля (эффект Ганна) и его использование в устройствах микроэлектроники

Исследование структуры металл - диэлектрик - полупроводник

Изучение фотопроводимости полупроводников и определение времени жизни неравновесных носителей заряда

Определение времени жизни неравновесных носителей заряда методом модуляции проводимости

Определение диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда

Определение ширины запрещенной зоны полупроводника методом измерения обратных токов электроннодырочного перехода

Исследование вольтамперных и вольтфарадных характеристик полупроводникового диода

Исследование температурной зависимости электропроводности германия

Согласована на портале № 35038

### 14.1.3. Темы опросов на занятиях

Цели и задачи дисциплины. История развития твердотельной электроники. Роль советских и зарубежных ученых в развитии микроэлектроники. Физические ограничения быстродействия и миниатюризации

Собственная и примесная проводимость полупроводников. Равновесная концентрация носителей заряда, уровень Ферми. Зависимость концентрации носителей заряда от температуры. Уравнение баланса носителей заряда в полупроводнике. Температурная зависимость равновесной концентрации носителей заряда. Закон действующих масс. Компенсированные полупроводники. Неравновесные носители заряда. Понятие о квазиуровнях Ферми. Рекомбинация, ее механизмы. Скорость рекомбинации и время жизни носителей заряда. Излучательная рекомбинация. Основные полупроводники, применяемые в микроэлектронике , их свойства. Диффузионная и дрейфовая составляющие тока. Коэффициент диффузии носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Монополярная и биполярная диффузия носителей заряда в полупроводниках. Уравнение непрерывности.

Влияние электрического поля на функцию распределения носителей заряда. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда. Уравнения Ланжевена. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электрон-фононное рассеяние. Рассеяние на дефектах кристаллической решетки. Основные механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость подвижности носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость удельной проводимости полупроводников. Эффекты сильного поля. Типы вольтамперных характеристик в полупроводниках. ВАХ S и N типа. Эффект Ганна. Понятие о доменах. СВЧ-генераторы на эффекте Ганна.

Работа выхода электронов из металлов и полупроводников. Термоэлектронная эмиссия. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Контакт металл-полупроводник в равновесном и неравновесном состояниях. Приконтактные слои обеднения, обогащения, инверсии. Эффект Шоттки. Толщина обедненного слоя. Распределение потенциала Диод Шоттки. ВАХ диода Шоттки. P-n переход, его энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состоянии. Обедненный слой, электрические поля в обедненном слое. Резкий и плавный p-n переходы. Толщина обедненного слоя. Контактная разность потенциалов. Обратный ток p-n перехода, его составляющие. ВАХ p-n перехода. Зарядная и диффузионная емкости p-n перехода. Пробой p-n перехода и его механизмы (лавинный, туннельный, тепловой)

### 14.1.4. Вопросы дифференцированного зачета

1. Что такое фонон?

1) Фонон – минимальная порция или квант энергии тепловых колебаний, кристаллической решетки;

2) Фонон - минимальная порция или квант энергии электромагнитного излучения;

3) Фонон – максимальная энергия тепловых колебаний кристаллической решетки;

4) Фонон - максимальная скорость тепловых колебаний кристаллической решетки;

2. Как называются для полупроводников с ковалентными связями примесные атомы с валентностью, на единицу больше валентности атомов основного вещества?

1) Акцепторы;

2) Доноры;

3) Уровни прилипания;

4) Рекомбинационные центры.

3. Как называются для полупроводников с ковалентными связями примесные атомы с валентностью, на единицу меньше валентности атомов основного вещества?

1) Акцепторы;

2) Доноры;

3) Уровни прилипания;

4) Рекомбинационные центры

4. Что такое диффузия?

1) Образование градиента концентрации носителей заряда в легированных полупроводниках;

2) Направленное перемещение электронов противоположно приложенному электрическому

Согласована на портале № 35038

полю;

3) Перемещение электронов и дырок под действием приложенного электромагнитного поля;

4) Направленное перемещение частиц, обусловленное тепловым движением, в направлении убывания их концентрации.

5. Что является движущей силой диффузии?

1) Градиент потенциала;

2) Градиент температуры;

3) Приложенное напряжение;

4) Градиент концентрации атомов.

6. Укажите различия в энергетических спектрах абсолютно свободного электрона и электрона в изолированном атоме.

1) энергия абсолютно свободного электрона может принимать любые значения, а у электрона в атоме равна нулю;

2) энергия абсолютно свободного электрона имеет дискретный спектр, а электрона в атоме - непрерывный:

3) энергетический спектр абсолютно свободного электрона является непрерывным, а электрона в атоме - дискретным:

4) энергии абсолютно свободного электрона и электрона в атоме могут принимать только определенные разрешенные значения.

7. Каков характер изменения энергии электронов в кристалле?

1) энергия изменяется непрерывно от 0 до бесконечности;

2) изменяется дискретно;

3) чередуются зоны разрешенных и запрещенных значений;

4) кристалл состоит из атомов, вследствие чего энергетические спектры электронов не различаются.

8. Что является источником электронов зоны проводимости в донорном полупроводнике?

1) Атомы примеси 5 группы таблицы Менделеева в полупроводнике 4 группы;

2) атомы примеси Ш группы таблицы Менделеева;

3) все электроны поступают из валентной зоны;

4) поставщиком электронов являются атомы акцепторной примеси.

### 14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями зрения | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам | Преимущественно устная проверка (индивидуально) |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |
| С ограничениями по | Тесты, письменные самостоятельные | Преимущественно проверка |

Согласована на портале № 35038

| | | |
|---|---|---|
| общемедицинским показаниям | работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

### 14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 35038