МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента науки и инноваций
_____ В. М. Рулевский
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физическая электроника

Уровень образования: **высшее образование - подготовка кадров высшей квалификации**
Направление подготовки / специальность: **03.06.01 Физика и астрономия**
Направленность (профиль) / специализация: **Физическая электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**
Курс: **2, 3**
Семестр: **4, 5**
Учебный план набора 2017 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	4 семестр	5 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	18	0	18	часов
2	Практические занятия	18	18	36	часов
3	Всего аудиторных занятий	36	18	54	часов
4	Самостоятельная работа	36	18	54	часов
5	Всего (без экзамена)	72	36	108	часов
6	Подготовка и сдача экзамена	0	36	36	часов
7	Общая трудоемкость	72	72	144	часов
		2.0	2.0	4.0	З.Е.

Дифференцированный зачет: 4 семестр
Экзамен: 5 семестр

Томск 2018

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шелупанов А.А.
Должность: Ректор
Дата подписания: 31.05.2017
Уникальный программный ключ:
c53e145e-8b20-45aa-9347-a5e4dbb90e8d

Согласована на портале № 39243

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 91 от «19» 4 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 03.06.01 Физика и астрономия, утвержденного 30.07.2014 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

д.т.н., профессор каф. ФЭ _____ П. Е. Троян

Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ _____ П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ _____ А. И. Воронин

Заведующий выпускающей каф. ФЭ _____ П. Е. Троян

Эксперты:

Заведующий аспирантурой _____ Т. Ю. Коротина

Доцент кафедры физической электроники (ФЭ) _____ И. А. Чистоедова

Согласована на портале № 39243

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

изучение процессов в вакууме, в газах, в поверхностных слоях твёрдых тел, происходящих с участием электронов и ионов, и рассмотрение применения этих процессов в современных технических устройствах;

организация работы по подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине по специальности 01.04.04 - физическая электроника в соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России № 59 от 25.02.2009 г.

1.2. Задачи дисциплины

– изучение основных понятий физики газового разряда;

– изучение основных понятий и уравнений плазменной, вакуумной и твердотельной электронике.

–

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физическая электроника» (Б1.В.ОД.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Спецпрактикум по физической электронике, Технологии получения тонких пленок и пленочных структур, Физические основы электронно-ионно-лучевых и плазменных технологий.

Последующими дисциплинами являются: Физические явления в твердотельных микро- и наноструктурах.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-3 способность теоретически и экспериментально исследовать и практически применять физические явления в твердотельных микро- и наноструктурах, а также исследовать воздействие различных видов излучений на модификацию их свойств;

– ПК-4 способность разрабатывать и исследовать технологии и технологические процессы получения пленочных структур и электронных приборов и устройств;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** физические явления в твердотельных микро- и наноструктурах; технологии и технологические процессы получения пленочных структур и электронных приборов и устройств.

– **уметь** экспериментально исследовать и практически применять физические явления в твердотельных микро- и наноструктурах; исследовать воздействие различных видов излучений на модификацию свойств твердотельных микро- и наноструктур.

– **владеть** практическими навыками разработки и исследования технологии и технологических процессов получения пленочных структур и электронных приборов и устройств.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры	
		4 семестр	5 семестр
Аудиторные занятия (всего)	54	36	18
Лекции	18	18	0
Практические занятия	36	18	18
Самостоятельная работа (всего)	54	36	18
Проработка лекционного материала	18	18	0

Согласована на портале № 39243

Подготовка к практическим занятиям, семинарам	36	18	18
Всего (без экзамена)	108	72	36
Подготовка и сдача экзамена	36	0	36
Общая трудоемкость, ч	144	72	72
Зачетные Единицы	4.0	2.0	2.0

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	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
4 семестр					
1 Корпускулярная оптика	3	2	4	9	ПК-3, ПК-4
2 Эмиссионная электроника	3	4	6	13	ПК-3, ПК-4
3 Вакуумная электроника	2	2	4	8	ПК-3, ПК-4
4 Электроника твердого тела	3	10	12	25	ПК-3, ПК-4
5 Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках	3	0	3	6	ПК-3, ПК-4
6 Физические основы электроники поверхности и пленочной электроники	0	0	0	0	
7 Методы анализа поверхности и тонких пленок	2	0	3	5	ПК-3, ПК-4
8 Функциональная электроника	2	0	4	6	ПК-3, ПК-4
Итого за семестр	18	18	36	72	
5 семестр					
9 Электровакуумные приборы	0	8	6	14	ПК-3, ПК-4
10 Ионные приборы	0	4	6	10	ПК-3, ПК-4
11 Фотоэлектронные приборы	0	6	6	12	ПК-3, ПК-4
Итого за семестр	0	18	18	36	
Итого	18	36	54	108	

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

Согласована на портале № 39243

4 семестр			
1 Корпускулярная оптика	Законы движения заряженных частиц в статических электрических и магнитных полях. Показатель преломления в корпускулярной оптике. Оптический и механический подходы при решении задач корпускулярной оптики. Законы подобия. Параксиальные пучки. Основные свойства аксиально симметричных электростатических и магнитных полей. Теорема Буша и закон сохранения углового момента. Теорема Лагранжа-Гельмгольца и ее следствия. Основные типы электростатических линз. Тонкие линзы. Линза-диафрагма. Одиночная линза, иммерсионный объектив и иммерсионная линза. Магнитные линзы. Расчет фокусных расстояний. Линза Глазера. Аберрации линз. Электронные микроскопы. Общие принципы работы. Конструкции электронных микроскопов. Особенности электрооптических систем. Корпускулярные микроскопы. Динамика заряженной частицы в переменных во времени полях; движение частиц в полях электромагнитных волн, захват и ускорение, ускорение на биениях.	3	ПК-3, ПК-4
	Итого	3	
2 Эмиссионная электроника	Термоэлектронная эмиссия (ТЭЭ). Работа выхода. Основное уравнение ТЭЭ. Термоэмиссионный метод прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Вакуумный диод с термокатодом и его вольт-амперная характеристика. Эмиссия под воздействием частиц. Взаимодействие электронов подпороговых энергий с твердым телом. Упругие взаимодействия, сечения процессов. Спектры вторичных электронов. Оже-электроны. Электронно-стимулированная десорбция. Взаимодействие атомных частиц с твердым телом. Распыление. Механизмы распыления. Формула Зигмунда для коэффициента распыления. Вторичная ионная эмиссия. Коэффициент вторичной ионной эмиссии. Рассеяние ионов низких и средних энергий. Обратное Резерфордовское рассеяние. Ионно-электронная эмиссия. Потенциальная и кинетическая эмиссия. Ионно-фотонная эмиссия. Фотоэлектронная эмиссия. Трехступенчатый механизм эмиссии. Автоэлектронная, экзоэлектронная и взрывная эмиссия.	3	ПК-3, ПК-4
	Итого	3	
3 Вакуумная электроника	Формирование электронных пучков большой плотности. Пушка Пирса. Ограничение тока пространственным зарядом. Предельный ток нейтрализованных пучков – ток Пирса. Устойчивость пучков в дрейфовом пространстве, неустойчивости Пирса, диокотронная и токово-конвективная неустойчивости, слипинг-неустойчивость.	2	ПК-3, ПК-4

Согласована на портале № 39243

	Спонтанное и вынужденное излучение потоков заряженных частиц. Черенковское, циклотронное (синхротронное) и ондуляторное излучения. Нормальный и аномальный эффекты Допплера. Томсоновское рассеяние. Источники СВЧ-излучения, основанные на вынужденном излучении потоков заряженных частиц: лампа бегущейволны (ЛБВ), магнетроны, гиратроны, убитроны, виркаторы, лазеры на свободных электронах. Релятивистские эффекты, умножение частоты, параметрические усилители и генераторы. Волны пространственного заряда. Пространственная и энергетическая группировки потоков частиц. Нелинейные механизмы насыщения излучения – захват частиц в волнах пространственного заряда, сдвиг резонансной частоты излучения. КПД СВЧ-источников излучения.		
	Итого	2	
4 Электроника твердого тела	Физические основы электроники твердого тела. Особенности динамики электрона в идеальном твердом теле. Волноваяфункция, квазиимпульс, зоны Бриллюэна, зонный энергетический спектр, закон дисперсии. Энергетический спектр электрона в кристалле во внешних полях (электрическом и магнитном). Полуклассическая модель динамики электрона в кристалле, границы применимости. Дырки как способ описания ансамбля электронов, свойства и законы движения дырок. Энергетический спектр электрона в ограниченном кристалле. Условия локализации. Локализованные состояния Тамма. Поверхностные состояния Шокли. чайного поля и со случайным полем). Дефекты в аморфных материалах.Статистика носителей заряда в полупроводниках. Обоснование применения статистики Ферми-Дирака к электронам в твердом теле (идеальном). Статистика примесных состояний. Невырожденные и вырожденные полупроводники. Уровень электрохимического потенциала и концентрация свободных и связанных носителей в вырожденных полупроводниках: в собственном, с одним типом примеси, в частично компенсированном. Явление компенсации. Интеграл столкновений. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электропроводность полупроводников и металлов. Электропроводность в сильных электрических полях. Эффект Ганна. Классический и квантовый размерный эффекты в электропроводности. Электропроводность в неупорядоченных системах. Прыжковая проводимость по локализованным состояниям вблизи уровня Ферми (закон Мотта) и хвостах плотности состояний вблизи краев щели подвижности. Неравновесные носители заряда в полупроводниках и диэлектриках. Генерация и ре-	3	ПК-3, ПК-4

Согласована на портале № 39243

	комбинация. Механизмы рекомбинации. Диффузия и дрейф неравновесных носителей, соотношение Эйнштейна. Плотность тока и градиент уровня Ферми. Уравнение непрерывности, анализ частных случаев локального возбуждения и инжекции. Контактные явления. Различные типы контактов. Контакт твердое тело – вакуум. Контакт металл – полупроводник. Диоды Шоттки. Диодная и диффузионная теории выпрямления. Электронно-дырочный переход. Количественная теория инжекции иэкстракции неосновных носителей. Выпрямление и усиление с помощью p-n переходов. Статическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) p-n перехода. Туннельный эффект в p-n переходах. Основные представления о полупроводниковых гетеропереходах, их применение. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках.Поглощение и испускание света полупроводниками. Механизмы поглощения. Поглощение и отражение электромагнитных волн свободными носителями заряда. Поглощение и излучение при оптических переходах зона-зона. Прямые и непрямые переходы. Разрешенные и запрещенные переходы. Спектральные характеристики поглощения кристаллами.		
	Итого	3	
5 Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках	Энергетическая диаграмма реальной поверхности. Поверхностные состояния. Эффект поля и поверхностная проводимость. Влияние адсорбированных частиц на поверхностную проводимость. Полевые транзисторы.Проблема микроминиатюризации элементов микроэлектроники. Полупроводниковые, пленочные и гибридные интегральные схемы. Фотолитография, рентгеновская и электронная литографии. Особенности структуры пленок, связанные с характером зарождения. Текстурированные и эпитаксиальные пленки. Структурные несовершенства. Явления переноса в тонких металлических пленках. Дисперсные пленки. Сплошные пленки. Размерные эффекты в пленках. Тонкие диэлектрические и полупроводниковые пленки. Диэлектрические потери. Токопрохождение через диэлектрические слои. Туннелирование. Надбарьерная эмиссия электронов. Токи, ограниченные пространственным зарядом (ТОПЗ). Пленочные активные элементы. Использование неравновесных (горячих) электронов в металлических пленках. Активные элементы, основанные на использовании характеристик с отрицательным сопротивлением. Аналоговые триоды на основе ТОПЗ в диэлектриках. Пленочный полевой триод.	3	ПК-3, ПК-4
	Итого	3	

Согласована на портале № 39243

7 Методы анализа поверхности и тонких пленок	Методики определения плотности поверхностных состояний, основанные на эффекте поля (C-V метод и метод, основанный на изменении поверхностной проводимости). Основы энергоанализа заряженных частиц. Основные типы энерго-анализаторов. Методы регистрации частиц. Вторичный электронный умножитель. Детекторы для быстрых частиц (поверхностно-барьерный детектор). Дифракция медленных и быстрых электронов (на просвет и отражение) как методы исследования структуры поверхности. Электронная Оже-спектроскопия. Основное уравнение. Методы количественной Оже-спектроскопии. Фотоэлектронная спектроскопия (ФЭС и УФЭС). Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС или ЭСХА – электронная спектроскопия для химического анализа) и конструкции приборов. Химические сдвиги уровней. Количественная РФЭС. Спектроскопия характеристических потерь энергии (СХПЭЭ). Конструкции приборов. Одночастичные и многочастичные возбуждения электронов в твердом теле. Количественная СХПЭЭ. Растровая электронная микроскопия. Режимы работы. Особенности формирования контраста. Рентгеновский микроанализ. Конструкции растровых электронных микроскопов и микроанализаторов. Туннельная и атомно-силовая микроскопия. Физические основы. Конструкция микроскопов. Применения. Методы ионной спектроскопии. Масс-спектрометрия вторичных ионов (МСВИ). Стигматический и растровый режим МСВИ. Ионно-нейтрализационная спектроскопия. Обратное резерфордовское рассеяние. Спектроскопия рассеяния ионов низких и средних энергий.	2	ПК-3, ПК-4
	Итого	2	
8 Функциональная электроника	Магнетоэлектроника. Цилиндрические магнитные домены. Магнитные запоминающие устройства: на ферритах и на тонких пленках. Акустоэлектроника: взаимодействие электронов с длинно-волновыми акустическими колебаниями решетки, акустоэлектрический эффект, усиление ультразвуковых волн. Акустоэлектрические явления на поверхностных волнах и их практические применения – малогабаритные линии задержки, усилители и генераторы электрических колебаний. Молекулярная электроника. Основные принципы молекулярной электроники. Электронные возбуждения, используемые для передачи и хранения информации в молекулярных системах. Перспективы одномерных и квазиодномерных систем, структурная неустойчивость одномерных проводников, переходы Пайерлса и Мотта-Хаббарда.Криоэлектроника. Электронные свойства твердых тел (металлы, ди-	2	ПК-3, ПК-4

Согласована на портале № 39243

	электрики, полупроводники при низких температурах. Явление сверхпроводимости. Эффект Мейснера. Особенности туннелирования в условиях сверхпроводимости. Высокотемпературная сверхпроводимость. Свойства и параметры сверхпроводников с высокой Tk. Макроскопические квантовые эффекты сверхпроводимости. Квантование магнитного потока. Эффект Джозефсона. Типы Джозефсоновских переходов. Аналоговые устройства на эффектах Джозефсона. Стандарты напряжения, сквиды, СВЧ приемные устройства. Цифровые ячейки логики и памяти. Проблемы создания больших интегральных схем (БИС). Особенности электронных устройств на высокотемпературных сверхпроводниках.		
	Итого	2	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

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.

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	10	11
Предшествующие дисциплины											
1 Спецпрактикум по физической электронике	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Технологии получения тонких пленок и пленочных структур	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 Физические основы электронно-ионно-лучевых и плазменных технологий	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины											
1 Физические явления в твердотельных микро- и наноструктурах	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

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

	Виды занятий	Формы контроля

Согласована на портале № 39243

Компетенции	Лек.	Прак. зан.	Сам. раб.	
ПК-3	+	+	+	Экзамен, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию, Дифференцированный зачет
ПК-4	+	+	+	Экзамен, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию, Дифференцированный зачет

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

7. Лабораторные работы

Не предусмотрено РУП.

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
4 семестр			
1 Корпускулярная оптика	Электростатические линзы.	2	ПК-3, ПК-4
	Итого	2	
2 Эмиссионная электроника	Термоэлектронная эмиссия.	2	ПК-3, ПК-4
	Фотоэлектронная эмиссия.	2	
	Итого	4	
3 Вакуумная электроника	Расчет пушки Пирса.	2	ПК-3, ПК-4
	Итого	2	
4 Электроника твердого тела	Статистика электронов и дырок в полупроводниках.	4	ПК-3, ПК-4
	Явления переноса носителей заряда в твердом теле.	2	
	Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках.	2	
	Контактные явления. Различные типы контактов. Контакт твердое тело – вакуум.	2	
	Итого	10	
Итого за семестр		18	
5 семестр			

Согласована на портале № 39243

9 Электровакуумные приборы	Расчет параметров и характеристик электровакуумного диода	2	ПК-3, ПК-4
	Расчет параметров и характеристик электронно-лучевой трубки	2	
	Расчет параметров и характеристик электровакуумного триода	2	
	Расчет параметров и характеристик рентгеновской трубки	2	
	Итого	8	
10 Ионные приборы	Расчет параметров и характеристик газоразрядной лампы	2	ПК-3, ПК-4
	Расчет параметров и характеристик газового лазера	2	
	Итого	4	
11 Фотоэлектронные приборы	Расчет параметров и характеристик фотоэлектронного умножителя	2	ПК-3, ПК-4
	Расчет параметров и характеристик вакуумного элемента	2	
	Расчет параметров и характеристик фоторезистора	2	
	Итого	6	
Итого за семестр		18	
Итого		36	

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
4 семестр				
1 Корпускулярная оптика	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-3, ПК-4	Дифференцированный зачет, Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	2		
	Итого	4		
2 Эмиссионная электроника	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ПК-3, ПК-4	Дифференцированный зачет, Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	2		
	Итого	6		

Согласована на портале № 39243

3 Вакуумная электроника	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-3, ПК-4	Дифференцированный зачет, Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	2		
	Итого	4		
4 Электроника твердого тела	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	10	ПК-3, ПК-4	Дифференцированный зачет, Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	2		
	Итого	12		
5 Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках	Проработка лекционного материала	3	ПК-3, ПК-4	Дифференцированный зачет, Опрос на занятиях, Тест
	Итого	3		
7 Методы анализа поверхности и тонких пленок	Проработка лекционного материала	3	ПК-3, ПК-4	Дифференцированный зачет, Опрос на занятиях, Тест
	Итого	3		
8 Функциональная электроника	Проработка лекционного материала	4	ПК-3, ПК-4	Дифференцированный зачет, Опрос на занятиях, Тест
	Итого	4		
Итого за семестр		36		
5 семестр				
9 Электровакуумные приборы	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-3, ПК-4	Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Итого	6		
10 Ионные приборы	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-3, ПК-4	Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Итого	6		
11 Фотоэлектронные приборы	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-3, ПК-4	Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Итого	6		
Итого за семестр		18		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		90		

Согласована на портале № 39243

10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

Рейтинговая система не используется.

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Основы плазменной электроники : научное издание / А. Н. Кондратенко, В. М. Куклин. - М. : Энергоатомиздат, 1988. - 320 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 5 экз.)
2. Физические основы твердотельной электроники : Учебное пособие для вузов / М. Б. Гусева, Е. М. Дубинина. - М. : Издательство МГУ, 1986. - 311[1] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 9 экз.)

12.2. Дополнительная литература

1. Твердотельная электроника : Учебное пособие для вузов / В. А. Гуртов. - 2-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2005. - 406[2] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 88 экз.)
2. Сушков, А.Д. Вакуумная электроника. Физико-технические основы [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Д. Сушков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург Лань, 2004. — 464 с. - Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/639 (дата обращения: 16.07.2018).

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Физическая электроника в задачах : сборник задач / Б. Н. Швилкин, Н. А. Мискинова. - М. : Наука, 1987. - 253[3] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 4 экз.)
2. Сборник задач и расчетов по физической электронике : учебное пособие для вузов / С. М. Левитский. - Киев : Издательство Киевского университета, 1964. - 210[2] с. (пособие используется для практической и самостоятельной работы) (наличие в библиотеке ТУСУР - 14 экз.)

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. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: http://elibrary.ru
2. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/

Согласована на портале № 39243

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, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 117 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Установка совмещения и экспонирования ЩА-310;
- Установка для нанесения фоторезиста;
- Электронный микроскоп УЭМВ-100К;
- Дистиллятор воды;
- Лабораторное оборудование и приборы: микроскоп МБС-9, микроскоп стерео МС-1, микроинтерферометр МИИ-4, химическая посуда, реактивы;
- Учебная доска;
- Проектор;
- Ноутбук;
- Экран для проектора;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

– LibreOffice
– PDF-XChange Viewer
– Windows XP

13.1.3. 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;

Согласована на портале № 39243

- 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. С увеличением работы выхода электронов из металла плотность термоэлектронного тока:
а) линейно возрастает;
б) увеличивается экспоненциально;
в) уменьшается линейно;
г) увеличивается экспоненциально.

2. Фотоэлектронная эмиссия - это испускание электронов под действием...
а) нагревания;
б) электрического поля;
в) электромагнитного излучения ;
г) теплоовго излучения.

3. Типичная спектральная характеристика фотокатода имеет вид...
а) монотонно возрастающей кривой по линейному закону;
б) монотонно убывающей кривой по линейному закону;
в) монотонно возрастающей кривой по экспоненциальному закону;
г) монотонно убывающей кривой по экспоненциальному закону.

4. Глубина проникновения первичных электронов в металл пропорциональна их энергии...
а) в степени 1/2;
б) в степени 3/2;
в) в степени 3/4;
г) в степени 2.

5. Автоэлектронная эмиссия – это испускание электронов твердым телом под действием...

Согласована на портале № 39243

а) нагревания;
б) электрического поля;
в) электромагнитного излучения ;
г) теплоовго излучения.

6. Основным условием существования объемного заряда в вакуумном диоде является...
а) превышение тока эмиссии над анодным током;
б) равенство тока эмиссии и анодного тока;
в) превышение анодного тока над эмиссионным;
г) превышение тока эмиссии над катодным током.

7. Рабочим режимом вакуумного диода является...
а) режим насыщения ;
б) режим объемного заряда;
в) режим пространственного заряда;
г) линейный режим.

8. В однородном магнитном поле траекторией электрона является...
а) спираль;
б) парабола;
в) гипербола;
г) линия.

9. Состояние вещества в виде низкотемпературной плазмы реализуется в...
а) положительном столбе тлеющего разряда ;
б) катодных областях тлеющего и дугового разряда ;
в) искровом разряде;
г) коронном разряде.

10. Зависимость сечения возбуждения атомов и молекул при электронном ударе от энергии электронов имеет вид...
а) экспоненциально возрастающей кривой;
б) экспоненциально убывающей кривой;
в) кривой с максимумом;
г) кривой с минимумом.

11. В условиях неравномерного распределения электрического поля в разрядном промежутке, когда радиус кривизны одного электрода существенно отличается от другого, наиболее вероятно возникновение разряда...
а) тлеющего;
б) высокочастотного;
в) коронного;
г) искрового.

12. Прерывистый характер присущ разряду...
а) дуговому;
б) искровому;
в) тлеющему;
г) коронному.

13. Поддержание самостоятельного тлеющего разряда постоянного тока обеспечивается...
а) термоэлектронной эмиссией;
б) вторичной электрон-ионной эмиссией;
в) фотоэлектронной эмиссией;

Согласована на портале № 39243

г) автоэлектронной эмиссией.

14. С ростом освещённости внутреннее сопротивление фотодиода?
а) остаётся постоянным;
б) увеличивается;
в) уменьшается;
г) не изменяется.

15. Длительность отпирающего импульса тиристора зависит...
а) от его вольтамперной характеристики;
б) от вида нагрузки;
в) от величины управляющего тока;
г) от величины управляющего напряжения.

16. Какой из указанных полупроводниковых приборов работает на прямой ветви вольтамперной характеристики (ВАХ)?
а) варикап;
б) стабилитрон;
в) фотодиод;
г) туннельный диод.

17. Какие полупроводниковые приборы применяются для преобразования переменного напряжения в униполярное?
а) варикапы;
б) плоскостные диоды;
в) стабилитроны;
г) динисторы.

18. Какие полупроводниковые приборы применяются для получения неизменяющегося напряжения в нагрузке?
а) варикапы;
б) плоскостные диоды;
в) стабилитроны;
г) динисторы.

19. Какой параметр фотодиода изменяется при увеличении интенсивности потока оптического излучения?
а) темновое сопротивление;
б) напряжение переключения;
в) обратный ток p-n перехода;
г) ток насыщения.

20. Какие из приведенных ниже параметров характеризуют тиристор?
а) ток стабилизации, напряжение стабилизации;
б) ток прямой средний, напряжение обратное максимальное;
в) ток открытого состояния, напряжение переключения;
г) ток насыщения; напряжение насыщения.

14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Устройства и принцип работы электровакуумных приборов.

2. Виды электровакуумных приборов.

3. Параметры электровакуумных приборов.

Согласована на портале № 39243

4. Характристики электровакуумных приборов.

5. Катоды прямого и косвенного накала.

6. Вакуумные приборы СВЧ. Виды.

7. Устройства и принцип действия магнетрона.

8. Устройства и принцип действия клистрона.

9. Устройства и принцип действия лампы бегущей волны типа-О.

10. Устройства и принцип работы фотоэлектронных приборов.

11. Виды фотоэлектронных приборов.

12. Параметры фотоэлектронных приборов.

13. Характристики фотоэлектронных приборов.

14. Устройства и принцип действия вакуумного фотоэлемента.

15. Устройства и принцип фоторезистора.

16. Устройства и принцип действия фотодиода.

17. Устройства и принцип действия фототранзистора.

18. Газоразрядные приборы тлеющего разряда.

19. Газоразрядные приборы дыгового разряда.

20. Газоразрядные приборы с накаливаемым и ртуном катодом.

21 Газоразрядные приборы искрового разряда.

22. Газоразрядные приборы коронного разряда.

23. Физические основы электроники твердого тела.

24. Особенности динамики электрона в идеальном твердом теле.

25. Волновая функция, квазиимпульс, зоны Бриллюэна, зонный энергетический спектр, закон дисперсии.

26. Энергетический спектр электрона в кристалле во внешних полях (электрическом и магнитном).

27. Статистика носителей заряда в полупроводниках.

28. Обоснование применения статистики Ферми-Дирака к электронам в твердом теле (идеальном).

29. Статистика примесных состояний. Невырожденные и вырожденные полупроводники.

Согласована на портале № 39243

30. Эффект Ганна.

31. Классический и квантовый размерный эффекты в электропроводности.

32. Электропроводность в неупорядоченных системах.

33. Прыжковая проводимость по локализованным состояниям вблизи уровня Ферми (закон Мотта) и хвостах плотности состояний вблизи краев щели подвижности.

34. Неравновесные носители заряда в полупроводниках и диэлектриках.

35. Генерация и рекомбинация.

36. Механизмы рекомбинации.

36. Диффузия и дрейф неравновесных носителей, соотношение Эйнштейна.

37. Плотность тока и градиент уровня Ферми.

38. Методики определения плотности поверхностных состояний, основанные на эффекте поля (C-V метод и метод, основанный на изменении поверхностной проводимости).

39. Основы энергоанализа заряженных частиц.

40. Основные типы энерго-анализаторов.

41. Методы регистрации частиц. Вторичный электронный умножитель.

42. Детекторы для быстрых частиц (поверхностно-барьерный детектор).

43. Дифракция медленных и быстрых электронов (на просвет и отражение) как методы исследования структуры поверхности.

44. Электронная Оже-спектроскопия. Основное уравнение.

45. Методы количественной Оже-спектроскопии. Фотоэлектронная спектроскопия (ФЭС и УФЭС).

14.1.3. Темы опросов на занятиях

1. Энергетические соотношения в статических полях.

2. Движение заряженных частиц в однородных статических полях.

3. Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле.

4. Электронная микроскопия и спектроскопия.

5. Плотность тока при термоэлектрической эмиссии.

6. Эффект Шоттки и автоэлектронная эмиссия.

7. Вторичная электронная эмиссия.

8. Фотоэлектронный умножитель.

Согласована на портале № 39243

9. Термоэлектронная эмиссия в вакуум из металлов и полупроводников.

10. Полупроводниковые диоды.

11. Биполярный транзистор.

12. Статические характеристики биполярного транзистора.

13. Принцип действия тиристоров.

14. Вольтамперная характеристика тиристора.

15. Полевые транзисторы. Классификация и область применения.

14.1.4. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

1. Электровакуумный диод.

2. Электронно-лучевая трубка.

3. Газоразрядная лампа.

4. Фотоэлектронный умножитель.

5. Электровакуумный триод.

6. Газовый лазер.

7. Фоторезистор.

8. Рентегновская трубка.

9. Лампа бегущей волны.

10. Магнетрон.

11. Биполярный транзистор.

12. Полевой транзистор.

14.1.5. Вопросы дифференцированного зачета

1. Энергетические соотношения в статических полях.

2. Движение заряженных частиц в однородных статических полях.

3. Времяпролетный масс-спектрометр.

4. Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле.

5. Движение заряженных частиц в высокочастотном электрическом поле.

6. Электронная оптика.

7. Электронная микроскопия и спектроскопия.

8. Плотность тока при термоэлектрической эмиссии.

Согласована на портале № 39243

9. Эффект Шоттки и автоэлектронная эмиссия.

10. Вторичная электронная эмиссия.

11. Фотоэлектронный умножитель.

12. Физика поверхности и тонких пленок.

13. Закон Рамо и Шокли.

14. Пролетный клистрон.

15. Лампа бегущей волны 0-типа.

16. Магнетрон.

17. Термоэлектронная эмиссия в вакуум из металлов и полупроводников.

18. Вывод формулы Ричардсона-Дешмана.

19. Вольтамперные характеристики (ВАХ) вакуумного термоэмиссионного диода.

20. Принципы термоэмиссионного преобразования энергии (ТЭПЭ).

21. Энергетические диаграммы для разных режимов ТЭПЭ.

22. Полупроводниковые диоды.

23. Выпрямительные диоды.

24. Импульсные диоды.

25. Диоды с накоплением заряда.

26. Параметрические диоды и варикапы.

27. Стабилитроны.

28. Сверхвысокочастотные диоды.

29. Туннельные диоды.

30. Диоды Ганна.

31. Лавинно-пролётные диоды.

32. Инжекционно-пролётные диоды.

33. Биполярный транзистор.

34. Принцип действия биполярного транзистора.

35. Схемы включения транзистора как усилительного элемента.

Согласована на портале № 39243

36. Коэффициент передачи тока биполярного транзистора.

37. Зависимость коэффициента передачи тока от режимов работы.

38. Статические характеристики биполярного транзистора.

39. Частотные свойства биполярного транзистора.

40. Принцип действия тиристоров.

41. Вольтамперная характеристика тиристора.

42. Статические параметры тиристора.

43. Полевые транзисторы. Классификация и область применения.

44. Канальный транзистор с управляющим p-n переходом.

45. Канальный транзистор с управляющим барьером Шоттки.

46. Гетероструктурный канальный транзистор с барьером Шоттки.

47. Полевые транзисторы с изолированным затвором.

48. Мощные полевые транзисторы.

49. Базовые элементы цифровых логических интегральных схем.

50. Основные логические элементы булевой алгебры.

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 общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки

Согласована на портале № 39243

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 № 39243