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
«___» _____ 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Уровень профессионального образования: высшее образование - бакалавриат

Направления подготовки **11.03.04** «Электроника и наноэлектроника»

Направленность (профиль) Квантовая и оптическая электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра электронных приборов (ЭП)

Курс 2 **Семестр** 4

Учебный план набора 2015 года.

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				24					24	часов
2.	Лабораторные работы				16					16	часов
3.	Практические занятия				14					14	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)				-					-	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)				54					54	часов
6.	Из них в интерактивной форме				12					12	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 4 **семестр**

Томск 2017

Согласована на портале № 11886

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 77 от «11» 1 2017 г.

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (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 «11» 01 2017 г., протокол № 77.

Разработчики:

Профессор кафедры ФЭ / С. В. Смирнов

Доцент кафедры ФЭ / Е. В. Саврук

Ассистент кафедры ФЭ / В.В. Каранский

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 ЭП / С.М. Шандаров

Зав. выпускающей кафедрой ЭП / С.М. Шандаров

Эксперты:

Председатель методической комиссии факультета ФЭТ / И.А. Чистоедова

Председатель методической комиссии кафедры ЭП / Л.Н. Орликов

Согласована на портале № 11886

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» является освоение теоретических основ строения твердотельных материалов, их свойств, процессов и эффектов в твердых телах.

Задачей изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» является приобретение навыков и умений определения электрофизических и оптических параметров твердых тел.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

В соответствии с основной образовательной программой дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к обязательным дисциплинам базовой части (Б1.Б.17).

Основой для изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» являются курсы: математика, физика, химия, квантовая механика, материалы электронной техники.

Основные положения дисциплины «Физика конденсированного состояния» должны быть использованы при изучении следующих дисциплин: твердотельная электроника, наноэлектроника.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у бакалавров следующих компетенций:

- способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);
- способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники (ПК-8).

3.2. В результате изучения дисциплины бакалавр должен:

знать:

– основные закономерности формирования конденсированного состояния;

– физико-химические основы взаимодействия между основными материалами электронной техники;

– основные характеристики конденсированных материалов и их связь с составом и структурой;

– параметры конденсированных материалов и особенности их измерения;

уметь:

– выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники;

– использовать физико-математический аппарат для расчета электрических и оптических характеристик материала;

владеть:

– навыками комплексного подхода к выбору необходимых свойств материалов;

– методикой расчета электрических и оптических параметров материалов электронной техники.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет ___4___ зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	**54**	**54**
В том числе:		
Лекции	24	24
Лабораторные работы	16	16
Практические занятия	14	14
Самостоятельная работа (всего)	**90**	**90**
В том числе:		
Проработка лекционного материала	10	10
Подготовка к лабораторным работам	16	16
Выполнение практических заданий	12	12
Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1	10	10
Подготовка к контрольным работам КР-1	6	6
Вид промежуточной аттестации		
Экзамен	36	36
Общая трудоемкость, час	**144**	**144**
Зачетные Единицы	**4**	**4**

Согласована на портале № 11886

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самост. работа студента	Всего час	Формируемые компетенции (ОК, ОПК, ПК, ПСК)
1.	Введение, цели и задачи дисциплины	1	-	-	-	1	ОПК-1; ПК-8
2.	Электронная структура твердых тел	1	1	-	4	6	ОПК-1; ПК-8
3.	Строение кристаллов	2	1	-	4	7	ОПК-1; ПК-8
4.	Твердое тело как газ квазичастиц	1	1	-	4	6	ОПК-1; ПК-8
5.	Фононный спектр	1	1	4	4	10	ОПК-1; ПК-8
6.	Теплоемкость твердых тел	2	1	-	4	7	ОПК-1; ПК-8
7.	Ангармонические эффекты в кристаллах	2	1	-	4	7	ОПК-1; ПК-8
8.	Зонная теория твердых тел	2	1	-	4	7	ОПК-1; ПК-8
9.	Статистика электронов и дырок в металлах и полупроводниках	2	2	-	6	10	ОПК-1; ПК-8
10.	Структурные дефекты	2	1	-	4	7	ОПК-1; ПК-8
11.	Равновесная статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках	3	1	4	6	14	ОПК-1; ПК-8
12	Явления переноса носителей заряда в полупроводниках	2	1	4	4	11	ОПК-1; ПК-8
13.	Оптические, диэлектрические и магнитные свойства полупроводников	3	2	4	6	15	ОПК-1; ПК-8
	ИТОГО	**24**	**14**	**16**	**54**	**108**	ОПК-1; ПК-8

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	Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы исторического развития физики конденсированного состояния. Связь с другими дисциплинами.	1	ОПК-1, ПК-8
2.	Электронная структура твердых тел	Модель атома Бор. Квантовомеханическое описание строения атома. Химическая связь. Образование молекул. Обобществление электронов. Метод ЛКАО. Ионная связь. Строение молекул. Связь в твердых телах. Ионная связь. Ковалентная связь. Силы Ван-дер-Ваальса. Водородная связь. Металлическая связь.	1	ОПК-1, ПК-8
3.	Строение кристаллов	Решетка с базисом. Индексы Миллера. Обратная решетка. Определение кристаллических структур с помощью дифракции рентгеновских лучей. Стоячие волны. Зоны Бриллюэна.	2	ОПК-1, ПК-8
4.	Твердое тело как газ квазичастиц	Фононы. Электроны проводимости. Плазмоны. Поляроны. Экситоны. Магноны.	1	ОПК-1, ПК-8
5.	Фононный спектр	Тепловые колебания. Амплитуды. Нормальные колебания простой одномерной решетки. Нормальные колебания одномерной решетки с базисом. Спектр нормальных колебаний решетки.	1	ОПК-1, ПК-8
6.	Теплоемкость твердых тел	Теория Эйнштейна. Теория Дебая.	2	ОПК-1, ПК-8
7.	Ангармонические эффекты в кристаллах	Тепловое расширение твердых тел. Теплопроводность твердых тел. Теплопроводность диэлектриков. Теплопроводность металлов. Модель свободных электронов Друде.	2	ОПК-1, ПК-8
8.	Зонная теория твердых тел	Адиабатическое и одноэлектронное приближение. Приближение свободных электронов. Приближение сильносвязанных электронов. Приближение слабосвязанных электронов. Энергетический спектр электронов в кристалле. Эффективная масса электронов.	2	ОПК-1, ПК-8
9.	Статистика	Функция распределения электронов и дырок по состояниям.	2	ОПК-1, ПК-8

Согласована на портале № 11886

	электронов и дырок в металлах и полупроводниках	Функция плотности состояний для электронов и дырок. Вычисление концентрации электронов в зоне проводимости. Концентрация электронов. Температурная зависимость уровня Ферми. Электропроводность металлов.		
10.	Структурные дефекты	Точечные дефекты в стехиометрических кристаллах. Дефекты в нестехиометрических кристаллах. Точечные дефекты в примесных системах. Дислокации.	2	ОПК-1, ПК-8
11.	Равновесная статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках	Химическая связь в полупроводниках. Элементарная теория примесных состояний. Собственные и примесные полупроводники. Многозарядные центры. Амфотерные центры. Равновесная статистика электронов в примесных полупроводниках. Уровень Ферми в примесных полупроводниках. Полупроводники с примесью одного типа. Температурная зависимость концентрации и уровня Ферми в реальных полупроводниках. Вырожденные полупроводники. Сильнолегированные полупроводники.	3	ОПК-1, ПК-8
12.	Явления переноса носителей заряда в полупроводниках	Кинематическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Рассеяния. Эффект Холла. Термоэлектрические эффекты	2	ОПК-1, ПК-8
13.	Оптические, диэлектрические и магнитные свойства полупроводников	Оптические коэффициенты. Основные механизмы поглощения света в полупроводниках. Собственное поглощение при прямых переходах. Собственное поглощение при непрямых переходах. Экситонное поглощение. Поглощение света свободными носителями заряда. Примесное поглощение. Решеточное поглощение. Люминесценция полупроводников. Рекомбинационное излучение при фундаментальных переходах. Экситонная рекомбинация. Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями. Поляризация диэлектриков. Основные характеристики. Электронная упругая поляризация. Ионная упругая поляризация. Дипольная упругая поляризация. Особенности тепловой поляризации. Ионная тепловая поляризация. Дипольная тепловая поляризация. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости. Диэлектрические потери. Классификация магнетиков. Природа диамагнетизма. Природа парамагнетизма. Ферромагнетизм.	3	ОПК-1, 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	8	9	10	11	12	13
Предшествующие дисциплины														
1.	математика	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.	физика	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3.	химия	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4.	квантовая механика	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5.	материалы электронной техники	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины														
1.	твердотельная электроника	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.	наноэлектроника	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Согласована на портале № 11886

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

Перечень компетенций	Виды занятий				Формы контроля
	Л	ПЗ	ЛР	СРС	
ОПК-1	+	+	+	+	Опрос на лекции, отчет по лабораторной работе, отчет по практической работе, защита индивидуального задания, контрольная работа, тест, экзамен
ПК-8	+	+	+	+	Опрос на лекции, отчет по лабораторной работе, отчет по практической работе, защита индивидуального задания, контрольная работа, тест, экзамен

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы / Формы	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Лабораторные занятия	Всего
Работа в команде		2	4	**6**
Опрос на лекциях	2			**2**
Презентация с видео и раздаточным материалов	4			**4**
Итого интерактивных занятий	6	2	4	**12**

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК
1.	**5**	Определение частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах	4	ОПК-1, ПК-8
2.	**11**	Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников	4	ОПК-1, ПК-8
3	**12**	Измерение концентрации носителей заряда методом термоЭДС	4	ОПК-1, ПК-8
4.	**13**	Исследование температурной зависимости электропроводности поликристаллических ферромагнетиков	4	ОПК-1, ПК-8

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК
1.	**2, 3**	Длина волны де Бройля. Химическая связь. Строение кристаллической решетки.	2	ОПК-1, ПК-8
2.	**4, 5**	Зоны Бриллюэна. Брэгговское отражение. Тепловые колебания в кристалле.	2	ОПК-1, ПК-8
3.	**6, 7, 8**	Тепловые свойства кристаллов. Теплоемкость твердого тела и ангармонические эффекты в кристаллах. Статистика электронов.	2	ОПК-1, ПК-8
4.	**9**	Концентрация электронов и дырок в металлах и полупроводниках. Электропроводность металлов. Удельное сопротивление полупроводников.	2	ОПК-1, ПК-8
5.	**10, 11**	Дефекты в кристаллах. Расчет концентраций акцепторов и доноров.	2	ОПК-1, ПК-8
6.	**12, 13**	Оптические свойства кристаллов. Гальваномагнитные и термоэлектрические эффекты.	2	ОПК-1, ПК-8
7.	**2-8**	КР-1. Химические связи. Кристаллическое строение. Фононы. Тепловые свойства кристаллов.	2	ОПК-1, ПК-8

Согласована на портале № 11886

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы *(детализация)*	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК	Контроль выполнения работы
1.	**1 - 13**	Проработка лекционного материала	10	ОПК-1, ПК-8	Опрос на лекциях
3.	**5, 11, 12, 13**	Подготовка к лабораторным работам, написание отчетов	16	ОПК-1, ПК-8	Отчеты по лабораторным работам
4.	**2 – 13**	Выполнение практических заданий	12	ОПК-1, ПК-8	Отчеты по практическим работам
5.	**2, 3, 11, 13**	Выполнение и защита индивидуального задания ИЗ-1	10	ОПК-1, ПК-8	Защита индивидуальных заданий
6.	**2 – 8, 9 - 13**	Подготовка к контрольной работе КР-1	6	ОПК-1, ПК-8	Результаты контрольных работ
7.	**2-13**	Подготовка и сдача экзамена	36	ОПК-1, ПК-8	Оценка на экзамене

Тематика индивидуальных заданий 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
Выполнение и защита индивидуального задания ИЗ-1			10	**10**
Контрольная работа КР-1			10	**10**
Выполнение и защита лабораторных работ		10	10	**20**
Выполнение и защита практических заданий	20	10		**30**
Итого максимум за период:	**20**	**20**	**30**	**70**
Сдача экзамена (максимум)				**30**
Нарастающим итогом	**20**	**40**	**70**	**100**

В экзаменационных билетах содержится 5 вопросов, из них три теоретических вопроса по лекционным занятиям (по 8 баллов каждый) и две задачи (по 3 балла каждая).

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**	
	60 – 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно), (не зачтено)	**Ниже 60 баллов**	F (неудовлетворительно)

Согласована на портале № 11886

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

12.1 Основная литература

1. Физика конденсированного состояния: учебное пособие для вузов / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 294 с. (**45**)

2. Епифанов Г.И. Физика твердого тела: Учебное пособие. 4-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2011. – 288 с. https://e.lanbook.com/book/2023#book_name

12.2 Дополнительная литература

1. Смирнов С.В. Физика твердого тела: учебное пособие. – Томск, ТГУ, 2003. – 276 с. **(24)**

2. Физика твердого тела. Под редакцией Верещагина И.К. – М.: Высшая школа, 2001. – 238 с. (**14**)

3. Протасов Ю.С., Чувашев С.Н. Твердотельная электроника. – Изд. МГТУ им. Баумана, 2003. – 189 с. (**2**)

4. Чупрунов Е.В. Кристаллография: Учебник для вузов / Е.В. Чупрунов, А.Ф. Хохлов, М.А. Фадеев. – М.: Физматлит, 2000. – 496 с. (**1**)

5. Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие / ред.: Л.А. Алешина. – М.: Техносфера, 2007. – 518 с. **(1)**

6. Павлов П.В. Физика твердого тела: Учебник для вузов / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – 3-е изд., стереотип. – М.: Высшая школа, 2000. – 496 с. (**60**)

12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

1. Смирнов С.В., Зариковская Н.В. Физика конденсированного состояния. Физика полупроводников: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплинам «Физика конденсированного состояния» и «Физика полупроводников» для студентов направлений подготовки 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 222900 «Нанотехнология и микросистемная техника». – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. – 35 с. – [электронный ресурс]. – http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Smirnov/%D0%A1%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B2_%D0%A1%D0%92_-_%D0%A4%D0%A2%D0%A2.zip

2. Саврук Е. В., Физика конденсированного состояния: Учебное-методическое пособие (по лабораторным работам) [Электронный ресурс] / Саврук Е. В., Каранский В. В., Смирнов С. В. — Томск: ТУСУР, 2016. — 44 с. — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6270.

12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

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

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

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

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

13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

13.1 Общие требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

13.1.2 Материально-техническое 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 50, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются наглядные пособия в виде презентаций по лекционным разделам дисциплины.

13.1.2 Материально-техническое обеспечение для практических занятий

Для проведения практических (семинарских) занятий используется учебная аудитория, с количеством посадочных мест не менее 25, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью.

Согласована на портале № 11886

13.1.3 Материально-техническое обеспечение для лабораторных работ

Для проведения лабораторных занятий используется «Лаборатория физики конденсированного состояния и материалов электронной техники», расположенная по адресу 634034, г. Томск, ул. Вершинина, 74, 1 этаж, ауд. 119. Лаборатория оснащена следующим оборудованием: меловая доска, лабораторный макет для исследования температурной зависимости электропроводности поликристаллических ферромагнетиков; лабораторный макет для определения частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах; лабораторный макет для определения ширины запрещенной зоны полупроводников и концентрации носителей заряда; лабораторный макет для определения концентрация носителей заряда в полупроводниках методом термо-ЭДС.

13.1.4 Материально-техническое обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используется учебная аудитория, расположенная по адресу 634034, г. Томск, ул. Вершинина, 74, 2 этаж, ауд. 217. Состав оборудования: учебная мебель; доска магнитно-маркерная.

13.2 Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При обучении студентов **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При обучении студентов **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видео увеличителей для удаленного просмотра.

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

14. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

14.1. Основные требования к фонду оценочных средств и методические рекомендации

Фонд оценочных средств и типовые контрольные задания, используемые для оценки сформированности и освоения закрепленных за дисциплиной компетенций при проведении текущей, промежуточной аттестации по дисциплине приведен в приложении к рабочей программе.

14.2 Требования к фонду оценочных средств для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с инвалидностью предусмотрены дополнительные оценочные средства, перечень которых указан в таблице.

Таблица 14 – Дополнительные средства оценивания для студентов с инвалидностью

Категории студентов	Виды дополнительных оценочных средств	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 опор-	Решение дистанционных тестов, кон-	Преимущественно дистанционными ме-

Согласована на портале № 11886

но-двигательного аппарата	трольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	тодами
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

14.3 Методические рекомендации по оценочным средствам для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

1. в печатной форме;
2. в печатной форме с увеличенным шрифтом;
3. в форме электронного документа;
4. методом чтения ассистентом задания вслух;
5. предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

1. письменно на бумаге;
2. набор ответов на компьютере;
3. набор ответов с использованием услуг ассистента;
4. представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения 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 обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

15. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Без рекомендаций.

Согласована на портале № 11886

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
«___» _____ 2017 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Уровень профессионального образования: высшее образование - бакалавриат

Направления подготовки **11.03.04** «Электроника и наноэлектроника»

Направленность (профиль) Квантовая и оптическая электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра электронных приборов (ЭП)

Курс 2 **Семестр** 4

Учебный план набора 2015 года.

Экзамен 4 **семестр**

Разработчики:

Профессор кафедры ФЭ / С. В. Смирнов

Доцент кафедры ФЭ / Е. В. Саврук

Ассистент кафедры ФЭ / В.В. Каранский

Томск 2017

Согласована на портале № 11886

1. ВВЕДЕНИЕ

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе учебной дисциплины «Физика конденсированного состояния» 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 «Физика конденсированного состояния» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Физика конденсированного состояния» компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ОПК-1	способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);	*знать* основные закономерности формирования конденсированного состояния; *знать* физико-химические основы взаимодействия между основными материалами электронной техники; *знать* основные характеристики конденсированных материалов и их связь с составом и структурой; *знать* параметры конденсированных материалов и особенности их измерения; *уметь* выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники; *уметь* использовать физико-математический аппарат для расчета электрических и оптических характеристик материала; *владеть* методикой расчета электрических и оптических параметров материалов электронной техники; *владеть* навыками комплексного подхода к выбору необходимых свойств материалов.
ПК-8	способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники (ПК-8).	

2. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

2.1 Компетенция ОПК-1

ОПК-1 способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики

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	*знает* основные закономерности формирования конденсированного состояния; *знает* физико-химические основы взаимодействия между основными материалами электронной техники;	*умеет* выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники	*владеет* навыками комплексного подхода к выбору необходимых свойств материалов
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Лабораторные работы; Индивидуальное задание; Самостоятельная работа	Лабораторные работы
Используемые средства оценивания	Опросы на лекциях; Практические задания (защита); Тестовые задания; Контрольные работы;	Практические задания (выполнение, оформление); Индивидуальные задания (выполнение, оформление); Лабораторные работы (вы-	Лабораторные работы (защита); Экзамен

Согласована на портале № 11886

	Индивидуальные задания (защита); Лабораторные работы (защита); Экзамен	полнение, оформление) Конспект самостоятельной работы	

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**
Отлично (высокий уровень)	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
Хорошо (базовый уровень)	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
Удовлетворительно (пороговый уровень)	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**
Отлично (высокий уровень)	*знает* виды упорядочения атомов в твердых телах, обусловленные квантовой природой микрочастиц и их свойствами; *знает* специфическое поведение твердых тел при воздействии определенных сил и полей;	*предъявляет* требования к материалам, для реализации конкретных задач электроники; *подготавливает* и проводит эксперимент для определения параметров материалов, используемых в электроники.	*владеет* комплексным подходом к выбору конструктивных материалов, эксплуатируемых в определенных условиях; *интерпретирует* полученные результаты при проведении эксперимента.
Хорошо (базовый уровень)	*знает* основные способы воздействия на твердые тела; *знает* специфическое поведение твердых тел при воздействии определенных сил и полей;	*умеет рассчитывать* параметры материалов, используемых в электроники; *подготавливает* и проводит эксперимент для определения параметров материалов, используемых в электроники.	*владеет* комплексным подходом к выбору конструктивных материалов;
Удовлетворительно (пороговый уровень)	*знает* общие понятия, характеризующие твердые тела; *знает* виды упорядочения атомов в твердых телах.	*подготавливает* эксперимент для определения параметров материалов, используемых в электроники.	*классифицирует* твердые тела, основываясь на общих понятиях о квазичастицах.

Согласована на портале № 11886

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
Содержание этапов	*знает* основные характеристики конденсированных материалов и их связь с составом и структурой; *знает* параметры конденсированных материалов и особенности их измерения;	*умеет* использовать физико-математический аппарат для расчета электрических и оптических характеристик материала;	*владеет* методикой расчета электрических и оптических параметров материалов электронной техники;
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Лабораторные работы; Индивидуальное задание; Самостоятельная работа	Лабораторные работы
Используемые средства оценивания	Опросы на лекциях; Практические задания (защита); Тестовые задания; Контрольные работы; Индивидуальные задания (защита); Лабораторные работы (защита); Экзамен	Практические задания (выполнение, оформление); Индивидуальные задания (выполнение, оформление); Лабораторные работы (выполнение, оформление) Конспект самостоятельной работы	Лабораторные работы (защита); 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
Отлично (высокий уровень)	*знает* основные характеристики конденсированных материалов и их связь с составом и структурой; *физически аргументирует* выбор и план решения задачи; *графически иллюстрирует* задачу	*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* использовать физико-математический аппарат для расчета электрических и оптических характеристик материала	*свободно владеет* разными способами представления физической информации в графической и математической форме; *демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе; *владеет* методикой расчета электрических и оптических параметров материалов электронной техники
Хорошо (базовый уровень)	*знает* структуру конденсированных материалов; *определяет* методы анализа структуры конденсирован-	*самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование;	*владеет* разными способами представлениями информации; *владеет навыками* работы в

Согласована на портале № 11886

	ных материалов; *аргументирует* выбор решения задачи; *составляет* план решения задачи	*применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* определять параметры конденсированных материалов	междисциплинарной команде
Удовлетворительно (пороговый уровень)	*дает* определения основных понятий; *распознает* типы конденсированных материалов	*умеет* работать со справочной литературой; *использует* приборы, указанные в описании лабораторной работы; *умеет* представлять результаты своей работы	*владеет* терминологией в предметной области знания; *владеет* навыками практической работы с приборами, указанными в описании лабораторных работ

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; тестовые задания; контрольные работы; индивидуальные задания; лабораторные работы; самостоятельная работа; экзамен.

3.1. Опросы на лекциях

1. Электронная структура твердых тел.
2. Строение кристаллов.
3. Твердое тело как газ квазичастиц.
4. Фононный спектр.
5. Теплоемкость твердых тел.
6. Ангармонические эффекты в кристаллах.
7. Зонная теория твердых тел.
8. Статистика электронов и дырок в металлах и полупроводниках.
9. Структурные дефекты.
10. Равновесная статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках.
11. Явления переноса носителей заряда в полупроводниках.
12. Оптические, диэлектрические и магнитные свойства полупроводников.

3.2. Практические задания

1. Длина волны де Бройля. Химическая связь. Строение кристаллической решетки.
2. Зоны Бриллюэна. Брэгговское отражение. Тепловые колебания в кристалле.
3. Тепловые свойства кристаллов. Теплоемкость твердого тела и ангармонические эффекты в кристаллах. Статистика электронов.
4. Концентрация электронов и дырок в металлах и полупроводниках. Электропроводность металлов. Удельное сопротивление полупроводников.
5. Дефекты в кристаллах. Расчет концентраций акцепторов и доноров.
6. Оптические свойства кристаллов. Гальваномагнитные и термоэлектрические эффекты.

3.3. Тестовые задания

1. Химические связи. Кристаллическое строение. Фононы
2. Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность. Уровень Ферми
3. Статистика электронов и дырок в собственных и примесных полупроводниках. Дефекты в твердых телах.
4. Гальваномагнитные и термоэлектрические эффекты. Оптические свойства полупроводников.

3.4. Контрольные работы

1. Химические связи. Кристаллическое строение. Фононы. Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми.
2. Статистика электронов и дырок в собственных и примесных полупроводниках. Дефекты в твердых телах. Гальваномагнитные и термоэлектрические эффекты.

Согласована на портале № 11886

3.5. Индивидуальные задания

1. Кристаллическое строение твердых тел. Дифракция рентгеновский лучей в кристаллах
2. Статистика электронов в примесных полупроводниках.

3.6. Лабораторные работы

1. Определение частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах.
2. Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников.
3. Измерение концентрации носителей заряда методом термо-ЭДС.
4. Исследование температурной зависимости электропроводности поликристаллических ферромагнетиков.

3.7. Самостоятельная работа

1. Электронная структура твердых тел.
2. Строение кристаллов.
3. Твердое тело как газ квазичастиц.
4. Фононный спектр.
5. Теплоемкость твердых тел.
6. Ангармонические эффекты в кристаллах.
7. Зонная теория твердых тел.
8. Статистика электронов и дырок в металлах и полупроводниках.
9. Структурные дефекты.
10. Равновесная статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках.
11. Явления переноса носителей заряда в полупроводниках.
12. Оптические, диэлектрические и магнитные свойства полупроводников.

3.8. Экзамен

1. Модель атома Бора.
2. Квантово-механическое описание строение атома (электрон как волна и как частица, электрон и потенциальный барьер, квантовый осциллятор).
3. Виды химических связей. Механизм образования химической связи.
4. Прямая и обратная решетка. Индексы Миллера.
5. Зоны Бриллюэна.
6. Теплоемкость твердых тел. Теория Эйнштейна. Теория Дебая. Приближение Дюлонга-Пти.
7. Характеристическое рентгеновское излучение. Закон Вульфа-Брэгга.
8. Теплопроводность твердых тел (диэлектриков, металлов и полупроводников).
9. Модель свободных электронов Друде.
10. Статистика электронов и дырок в металлах и полупроводниках (распределение Ферми-Дирака и Максвелла-Больцмана).
11. Концентрация электронов и дырок в собственных полупроводниках.
12. Температурная зависимость уровня Ферми в собственных полупроводниках.
13. Электропроводность металлов и полупроводников.
14. Дефекты в кристаллах: по Шоттки и Френкелю.
15. Равновесная статистика электронов в примесных полупроводниках.
16. Температурная зависимость концентрации носителей заряда и уровня Ферми в реальных полупроводниках.
17. Примесные полупроводники. Акцепторы и доноры.
18. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации.
19. Термоэлектрические явления (эффект Пельтье, Зеебека и Томсона).
20. Эффективная масса электронов и дырок. Эффективная плотность состояний.
21. Поляризация. Виды поляризации. Виды диэлектрических потерь.
22. Виды магнитных материалов. Классификация материалов по магнитной восприимчивости. Температура Кюри.
23. Диффузия и дрейф носителей заряда.
24. основные механизмы поглощения света в полупроводниках.
25. Оптические свойства полупроводников. Люминесценция.
26. Неравновесные носители зарядов. Рекомбинация.
27. Акустические и оптические колебания кристаллической решетки. Фононы.

Согласована на портале № 11886

28. Подвижность носителей зарядов. Виды рассеивания.
29. Эффект Холла. Гальваномагнитные эффекты.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

4.1 Основная литература

1. Физика конденсированного состояния: учебное пособие для вузов / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 294 с. (**45**)
2. Епифанов Г.И. Физика твердого тела: Учебное пособие. 4-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2011. – 288 с. https://e.lanbook.com/book/2023#book_name

4.2 Дополнительная литература

1. Смирнов С.В. Физика твердого тела: учебное пособие. – Томск, ТГУ, 2003. – 276 с. (**24**)
2. Физика твердого тела. Под редакцией Верещагина И.К. – М.: Высшая школа, 2001. – 238 с. (**14**)
3. Протасов Ю.С., Чувашев С.Н. Твердотельная электроника. – Изд. МГТУ им. Баумана, 2003. – 189 с. (**2**)
4. Чупрунов Е.В. Кристаллография: Учебник для вузов / Е.В. Чупрунов, А.Ф. Хохлов, М.А. Фадеев. – М.: Физматлит, 2000. – 496 с. (**1**)
5. Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие / ред.: Л.А. Алешина. – М.: Техносфера, 2007. – 518 с. (**1**)
6. Павлов П.В. Физика твердого тела: Учебник для вузов / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – 3-е изд., стереотип. – М.: Высшая школа, 2000. – 496 с. (**60**)

4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

1. Смирнов С.В., Зариковская Н.В. Физика конденсированного состояния. Физика полупроводников: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплинам «Физика конденсированного состояния» и «Физика полупроводников» для студентов направлений подготовки 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 222900 «Нанотехнология и микросистемная техника». – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. – 35 с. – [электронный ресурс]. – http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Smirnov/%D0%A1%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B2_%D0%A1%D0%92_-_%D0%A4%D0%A2%D0%A2.zip
2. Саврук Е. В., Физика конденсированного состояния: Учебное-методическое пособие (по лабораторным работам) [Электронный ресурс] / Саврук Е. В., Каранский В. В., Смирнов С. В. — Томск: ТУСУР, 2016. — 44 с. — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6270.
3. Математический пакет MathCad или Mathematica.
4. 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. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/

Согласована на портале № 11886