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
«___» _____ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

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

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 3 **Семестр** 4

Учебный план набора 2014 года и последующих лет.

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 1	Семестр 2	Семестр 3	Семестр 4	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 7	Семестр 8	Всего	Единицы
1.	Лекции				36					36	часов
2.	Лабораторные работы				16					16	часов
3.	Практические занятия				18					18	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)				-					-	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)				70					70	часов
6.	Из них в интерактивной форме				14					14	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)				74					74	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)				144					144	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена				36					36	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)				180					180	часов
	(в зачетных единицах)				5					5	ЗЕ

Экзамен 4 **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 4809

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 73 от « 8 » 9 2016 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 «___» _____ 2016 г., протокол № _____.

Разработчики:

Профессор кафедры ФЭ / С. В. Смирнов

Доцент кафедры ФЭ / Е. В. Саврук

Заведующий кафедрой

Профессор кафедры ФЭ / П.Е. Троян

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

Декан ФЭТ / А.И. Воронин

Зав. профилирующей кафедрой ФЭ / П.Е. Троян

Зав. выпускающей кафедрой ФЭ / П.Е. Троян

Эксперты:

Председатель методической комиссии факультета ФЭТ / И.А. Чистоедова

Председатель методической комиссии кафедры ФЭ / И.А. Чистоедова

Согласована на портале № 4809

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 частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах, измерения и расчета электропроводности кристаллических и аморфных полупроводниковых материалов, определения собственного оптического поглощения в полупроводниках.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

В соответствии с основной образовательной программой дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к обязательным дисциплинам базовой части (Б1.Б.19).

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

Основные положения дисциплины «Физика конденсированного состояния» должны быть использованы при изучении следующих дисциплин: физико-химия наноструктурированных материалов, материалы электронной техники, физика полупроводников, 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 выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (**ОПК-2**);

– способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (**ПК-2**).

3.2. В результате изучения дисциплины бакалавр должен:

знать:

– основные закономерности формирования конденсированного состояния;

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

– современные достижения в области физики конденсированного состояния;

– 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;

– выбирать методы исследования параметров конденсированных материалов, используемых в электронной технике;

владеть:

– навыками комплексного подхода к выбору необходимых свойств материалов;

– методикой расчета электрических и оптических параметров материалов электронной техники;

– выбирать методы исследования параметров конденсированных материалов.

Согласована на портале № 4809

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	**70**	**70**
В том числе:		
Лекции	36	36
Лабораторные работы	16	16
Практические занятия	18	18
Самостоятельная работа (всего)	**74**	**74**
В том числе:		
Проработка лекционного материала	10	10
Подготовка к лабораторным работам	20	20
Выполнение практических заданий	12	12
Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2	24	24
Подготовка к контрольным работам КР-1, КР-2	4	4
Подготовка к тестам Т-1, Т-2	4	4
Вид промежуточной аттестации	**36**	**36**
Экзамен	36	36
Общая трудоемкость, час	**180**	**180**
Зачетные Единицы	**5**	**5**

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, ОПК-2, ПК-2
2.	Структура и симметрия кристаллов. Обратная решетка	3	5	-	13	21	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
3.	Дифракция рентгеновских лучей. Твердое тело – как газ квазичастиц. Тепловые колебания решетки	6	2	4	17	29	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
4.	Тепловые и упругие свойства кристаллов	6	3	4	11	24	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
5.	Основы зонной теории	8	4	4	11	27	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
6.	Оптические, диэлектрические и магнитные свойства твердых тел	8	3	4	11	26	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
7.	Фазовые переходы. Дефекты в кристаллах. Сверхтекучесть и сверхпроводимость	4	1	-	11	16	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	ИТОГО	**36**	**18**	**16**	**74**	**144**	

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, ОПК-2, ПК-2
2.	Структура и симметрия кристаллов. Обратная решетка	Кристаллические и некристаллические вещества. Идеальные кристаллы. Симметрия кристаллов. Пространственная решетка. Кристаллографические категории, системы и сингонии. Группы точечной симметрии. Трансляционная симметрия.	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2

Согласована на портале № 4809

		Сингонии и решетки Бравэ.		
3.	Дифракция рентгеновских лучей. Твердое тело – как газ квазичастиц. Тепловые колебания решетки	Уравнения Лауэ и Брэгга-Вульфа. Интерференция. Рассеяние волн в кристаллах. Атомный и структурный факторы рассеяния. Дифракция как метод определения структуры кристаллов. Экспериментальные методы получения рентгенограмм. Классификация квазичастиц. Закономерности взаимодействия квазичастиц. Тепловые колебания решетки. Одномерные колебания в модельной решетке. Дисперсионные соотношения. Колебания в решетке с базисом. Оптические и акустические колебания. Фононы. Статистика фононов.	6	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
4.	Тепловые и упругие свойства кристаллов	Упругие напряжения и деформации. Модули упругости и упругие постоянные. Закон Гука для изотропных и анизотропных кристаллов. Пластичность и разрушение. Теплоемкость. Классическая теория теплоемкости. Закон Дюлонга и Пти. Теории Эйнштейна и Дебая. Ангармонизм колебаний. Тепловое расширение и теплопроводность. Экспериментальные методы исследования тепловых свойств и колебательных спектров твердых тел.	6	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
5.	Основы зонной теории	Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое приближение. Метод Хартри-Фока. Одноэлектронная задача. Самосогласованное поле. Теорема Блоха. Модель Крёнига-Пенни. Эффективная масса. Приближение слабой и сильной связи. Зонный спектр металлов, диэлектриков и полупроводников. Энергетические схемы конкретных материалов. Понятие о дырках. Экспериментальные методы определения эффективной массы и поверхности Ферми.	8	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
6.	Оптические, диэлектрические и магнитные свойства твердых тел	Оптические константы. Механизмы поглощения света. Собственное поглощение. Прямые и непрямые переходы. Экситонное поглощение. Поглощение свободными носителями. Примесное и решеточное поглощение. Влияние внешних факторов на спектры поглощения. Фотопроводимость. Оптическая спектроскопия. Катодо- и фотолюминесценция. Диэлектрическая проницаемость и поляризуемость кристаллов. Парамагнетики и диамагнетики, ферромагнетики и антиферромагнетики.	8	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
7.	Фазовые переходы. Дефекты в кристаллах. Сверхтекучесть и сверхпроводимость	Сверхпроводники 1 и 2 рода; теория Бардина-Купера-Шриффера. Дефекты в кристаллах. Механизмы диффузии. Жидкие кристаллы и аморфные материалы.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2

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
Предшествующие дисциплины								
1.	математика	-	+	+	+	+	+	+
2.	физика	+	+	+	+	+	+	+
3.	химия	-	+	+	+	+	+	+
4.	квантовая механика	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины								
1.	материалы электронной техники	+	+	+	+	+	+	+
2.	физика полупроводников	+	+	+	+	+	+	+
3.	твердотельная электроника	+	-	+	-	+	+	+
4.	наноэлектроника	+	+	+	+	+	+	+
5.	физико-химия наноструктурированных материалов	+	+	+	+	+	+	+

Согласована на портале № 4809

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
ОПК-2	+	+	+	+	Опрос на лекции, отчет по лабораторной работе, отчет по практической работе, защита индивидуального задания, контрольная работа, тест, экзамен
ПК-2	+	+	+	+	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)	Всего
Работа в команде		4	4
Опрос на лекциях	4		4
Презентация с видео и раздаточным материалов	6		6
Итого интерактивных занятий	10	4	14

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК
1.	**3**	Определение частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
2.	**4**	Исследование температурной зависимости электропроводности аморфных полупроводников	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
3.	**5**	Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
4.	**6**	Исследование температурной зависимости электропроводности поликристаллических ферромагнетиков	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
5.	**6**	Определение ширины запрещенной зоны полупроводников по краю собственного поглощения	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2

Из предлагаемого перечня лабораторных работ студенты выполняют 4 работы на выбор, но выполненные лабораторные работы должны относиться к разным разделам.

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК
1.	**2**	Электрон. Волновые свойства. Основы квантовой механики	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
2.	**2**	Виды химических связей. Энергия связи	1	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
3.	**2**	Кристаллическое строение твердых тел. Решетка Бравэ	1	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
4.	**3**	Дифракция рентгеновских лучей	1	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
5.	**3**	Нормальные колебания решетки. Фононы	1	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
6.	**4**	Тепловые и упругие свойства твердых тел	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
7.	**5**	Статистика электронов. Распределение Ферми-Дирака	1	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
8.	**5**	Уровень Ферми. Зонные диаграммы твердых тел	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
9.	**6**	Электропроводность твердых тел	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
10.	**7**	Дефекты в кристаллах. Дефекты по Шоттки. Дефекты по Френкелю	1	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
11.	**2, 4**	КР-1. Химические связи. Кристаллическое строение. Фононы	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
12.	**5, 6**	КР-2. Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность. Уровень Ферми	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2

Согласована на портале № 4809

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы *(детализация)*	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК	Контроль выполнения работы
1.	**2-7**	Проработка лекционного материала	10	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Опрос на лекциях
3.	**3 – 6**	Подготовка к лабораторным работам, написание отчетов	20	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Отчеты по лабораторным работам
4.	**2 – 7**	Выполнение практических заданий	12	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Отчеты по практическим работам
5.	**2, 3, 7**	Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2	24	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Защита индивидуальных заданий
6.	**2, 4, 5, 6**	Подготовка к контрольным работам КР-1, КР-2	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Результаты контрольных работ
7.	**2 – 7**	Подготовка к тестам Т-1, Т-2	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Результаты тестов
8.	**2 – 7**	Подготовка и сдача экзамена	36	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	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	8			**8**
Выполнение и защита индивидуального задания ИЗ-2			8	**8**
Контрольная работа КР-1		4		**4**
Контрольная работа КР-2			4	**4**
Выполнение и защита лабораторных работ		10	10	**20**
Выполнение и защита практических заданий	6	6	6	**18**
Тест Т-1	4			**4**
Тест Т-2			4	**4**
Итого максимум за период:	**18**	**20**	**32**	**70**
Сдача экзамена (максимум)				**30**
Нарастающим итогом	**18**	**38**	**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

Согласована на портале № 4809

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

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

12.2 Дополнительная литература

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

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

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

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

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

12.2.6. 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

12.3.1. 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

12.3.2. Саврук, Е. В. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов направлений подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника», и 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника», профиль «Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике». / Е. В. Саврук, В. В. Каранский, С. В. Смирнов; рец. П. Е. Троян ; Министерство образования и науки РФ (М.), ФГБОУ ВО "Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники" (Томск), Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2016. - 51 с : рис. - Библиогр.: с. 51. - Б. ц — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/lecturer/publications/6277.

12.3.3. Математический пакет MathCad или Mathematica.

12.3.4. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.

12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

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

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

12.4.3. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа:

Согласована на портале № 4809

http://elibrary.ru

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

13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лабораторные работы проводятся в специально оборудованной лаборатории «Физики конденсированного состояния и материалов электронной техники» (ауд. 119, корп. ФЭТ).

Перечень лабораторных макетов:

13.1. Лабораторный макет для исследования температурной зависимости электропроводности поликристаллических ферромагнетиков;

13.2. Лабораторный макет для определения частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах;

13.3. Лабораторный макет для определения ширины запрещенной зоны полупроводников и концентрации носителей заряда;

13.4. Лабораторный макет для определения ширины запрещенной зоны полупроводников по краю собственного поглощения;

13.5. Лабораторный макет для исследования температурной зависимости электропроводности аморфных полупроводников.

Согласована на портале № 4809

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
«___» _____ 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

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

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 3 **Семестр** 4

Учебный план набора 2014 года и последующих лет.

Экзамен 4 **семестр**

Разработчики:

Профессор кафедры ФЭ / С. В. Смирнов

Доцент кафедры ФЭ / Е. В. Саврук

Томск 2016

Согласована на портале № 4809

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	*знать* основные закономерности формирования конденсированного состояния; *знать* физико-химические основы взаимодействия между основными материалами электронной техники; *знать* современные достижения в области физики конденсированного состояния; *уметь* выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники; *владеть* навыками комплексного подхода к выбору необходимых свойств материалов;
ОПК-2	способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	*знать* основные характеристики конденсированных материалов и их связь с составом и структурой; *уметь* использовать физико-математический аппарат для расчета электрических и оптических характеристик материала; *владеть* методикой расчета электрических и оптических параметров материалов электронной техники;
ПК-2	способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	*знать* параметры конденсированных материалов и особенности их измерения; *уметь* выбирать методы исследования параметров конденсированных материалов, используемых в электронной технике; *владеть* методами исследования параметров конденсированных материалов.

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; *знает* современные достижения в области физики конденсированного состояния	*умеет* выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники	*владеет* навыками комплексного подхода к выбору необходимых свойств материалов

Согласована на портале № 4809

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)	Лабораторные работы (защита); Экзамен

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

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

Показатели и критерии	**Знать**	**Уметь**	**Владеть**
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* современные достижения в области физики конденсированного состояния; *аргументирует* выбор метода анализа колебаний кристаллической решетки; *физически аргументирует* выбор и план решения задачи; *графически иллюстрирует* задачу	*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники	*свободно владеет* разными способами представления физической информации в графической и математической форме; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе; *владеет* навыками комплексного подхода к выбору необходимых свойств

Согласована на портале № 4809

			материалов
Хорошо (базовый уровень)	*знает* физико-химические основы взаимодействия между основными материалами электронной техники; *имеет* представление о связи между колебаниями кристаллической решетки и ее физическими свойствами; *аргументирует* выбор и план решения задачи	*самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование; *применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* определять структуру простейших решеток по данным рентгеноструктурного анализа	*владеет* разными способами представлениями информации; *владеет навыками* работы в междисциплинарной команде; *способен классифицировать* типы колебаний кристаллической решетки
Удовлетворительно (пороговый уровень)	*дает* определения основных понятий; *знает* основные закономерности формирования конденсированного состояния; *знает* основные типы колебания решетки; *знает* основные методы решения типовых задач и умеет их применять на практике	*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

2.2 Компетенция ОПК-2

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

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

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	*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)	Лабораторные работы (защита); Экзамен

Согласована на портале № 4809

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; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *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 конденсированных материалов; *аргументирует* выбор решения задачи; *составляет* план решения задачи	*самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование; *применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* определять параметры конденсированных материалов	*владеет* разными способами представлениями информации; *владеет навыками* работы в 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

2.3 Компетенция ПК-2

ПК-2 способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Содержание этапов формирования компетенции, виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	*знает* параметры конденсированных материалов и особенности их измерения	*умеет* выбирать методы исследования параметров конденсированных материалов, используемых в электронной технике	*владеет* методами исследования параметров конденсированных материалов

Согласована на портале № 4809

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)	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 2.7.

Таблица 2.7 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	**Знать**	**Уметь**	**Владеть**
Отлично (высокий уровень)	*знает* параметры конденсированных материалов и особенности их измерения; *аргументирует* выбор метода анализа параметров конденсированных материалов; *физически аргументирует* выбор и план решения задачи; *графически иллюстрирует* задачу	*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* выбирать методы исследования параметров конденсированных материалов, используемых в электронной технике	*свободно владеет* разными способами представления физической информации в графической и математической форме; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе; *владеет* методами исследования параметров конденсированных материалов
Хорошо (базовый уровень)	*имеет представление* о тепловых, упругих, оптических, диэлектрических и магнитных свойствах конденсированных материалов; *определяет* методы измерения параметров конденсированных материалов; *аргументирует* выбор решения задачи; *составляет* план решения задачи	*самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование; *применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* выполнять оценочные расчеты тепловых, упругих, оптических, диэлектрических и магнитных параметров конденсированных материалов	*владеет* разными способами представлениями информации; *владеет навыками* работы в междисциплинарной команде; *способен выполнить* оценочные расчеты тепловых, упругих, оптических, диэлектрических и магнитных параметров конденсированных материалов
Удовлетворительно (пороговый уровень)	*дает* определения основных понятий; *распознает* параметры конденсированных материалов; *знает* основы зонной теории строения твердых тел	*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

Согласована на портале № 4809

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. Структура и симметрия кристаллов. Обратная решетка: Кристаллические и некристаллические вещества. Идеальные кристаллы. Симметрия кристаллов. Пространственная решетка. Кристаллографические категории, системы и сингонии. Группы точечной симметрии. Трансляционная симметрия. Сингонии и решетки Бравэ.

2. Дифракция рентгеновских лучей. Твердое тело – как газ квазичастиц. Тепловые колебания решетки: Уравнения Лауэ и Брэгга-Вульфа. Интерференция. Рассеяние волн в кристаллах. Атомный и структурный факторы рассеяния. Дифракция как метод определения структуры кристаллов. Экспериментальные методы получения рентгенограмм. Классификация квазичастиц. Закономерности взаимодействия квазичастиц. Тепловые колебания решетки. Одномерные колебания в модельной решетке. Дисперсионные соотношения. Колебания в решетке с базисом. Оптические и акустические колебания. Фононы. Статистика фононов.

3. Тепловые и упругие свойства кристаллов: Упругие напряжения и деформации. Модули упругости и упругие постоянные. Закон Гука для изотропных и анизотропных кристаллов. Пластичность и разрушение. Теплоемкость. Классическая теория теплоемкости. Закон Дюлонга и Пти. Теории Эйнштейна и Дебая. Ангармонизм колебаний. Тепловое расширение и теплопроводность. Экспериментальные методы исследования тепловых свойств и колебательных спектров твердых тел.

4. Основы зонной теории: Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое приближение. Метод Хартри-Фока. Одноэлектронная задача. Самосогласованное поле. Теорема Блоха. Модель Крёнига-Пенни. Эффективная масса. Приближение слабой и сильной связи. Зонный спектр металлов, диэлектриков и полупроводников. Энергетические схемы конкретных материалов. Понятие о дырках. Экспериментальные методы определения эффективной массы и поверхности Ферми.

5. Оптические, диэлектрические и магнитные свойства твердых тел: Оптические константы. Механизмы поглощения света. Собственное поглощение. Прямые и непрямые переходы. Экситонное поглощение. Поглощение свободными носителями. Примесное и решеточное поглощение. Влияние внешних факторов на спектры поглощения. Фотопроводимость. Оптическая спектроскопия. Катодо- и фотолюминесценция. Диэлектрическая проницаемость и поляризуемость кристаллов. Парамагнетики и диамагнетики, ферромагнетики и антиферромагнетики.

6. Фазовые переходы. Дефекты в кристаллах. Сверхтекучесть и сверхпроводимость: Сверхпроводники 1 и 2 рода; теория Бардина-Купера-Шриффера. Дефекты в кристаллах. Механизмы диффузии. Жидкие кристаллы и аморфные материалы.

3.2. Практические задания

1. Электрон. Волновые свойства. Основы квантовой механики

ФКС	**Практика №1**	**Вариант 0**

Электрон. Волновые свойства. Основы квантовой механики

1. Электрон с энергией 1 эВ преодолевает прямоугольный потенциальный барьер высотой 2 эВ и шириной 2 Å. Определите коэффициент прозрачности барьера, если P0 = 1.

2. Определите наименьшую энергию электрона и его длину де Бройля, находящегося в потенциальной яме размером 10-10 м.

3. α-частица с энергией 5 МэВ налетает на ядро золота и испытывает рассеяние на 10о. Чему равен прицельный параметр?

4. Сколько энергии нужно затратить, чтобы вырвать электрон, находящийся в состоянии с n = 5, из атома водорода?

Согласована на портале № 4809

2. Виды химических связей. Энергия связи. Кристаллическое строение твердых тел. Решетка Бравэ

ФКС **Практика №2** **Вариант 0**

Химическая связь. Кристаллическое строение твердых тел

1. Каково должно быть расстояние между Na^+ и Cl^-, если их полная энергия равна нулю, r_0 = 2,36 Å? Сколько энергии требуется на образование этой пары ионов из пары атомов?

2. Определите долю объёма, занятого жесткими сферами при плотной их упаковке в ГЦК решетке.

3. Постоянная кристаллической ГЦК решетки Ca 5,58 Å. Найдите плотность валентных электронов в $см^3$ и энергию связи, приходящуюся на один атом.

4. С помощью периодической системы элементов Менделеева определите количество атомов в $см^3$ для родия.

3. Дифракция рентгеновских лучей. Нормальные колебания решетки. Фононы

ФКС **Практика №3** **Вариант 0**

Дифракция рентгеновского излучения. Нормальные колебания решетки

1. Найдите углы отражения от плоскостей [100], [110], [111] кристалла марганца, соответствующие дифракционным максимумам 1 – ого порядка для характеристического рентгеновского излучения Cu.

2. Найдите энергию и скорость электрона в кристаллической решетке Al, если его волновой вектор находится во второй зоне Бриллюэна с координатами $к_x=\pi/a$, $к_y=\pi/a$.

3. В железе модуль Юнга равен 9,1 10^{10} $Н/м^2$: а) найдите частоту колебаний атомов железа; б) найдите среднюю амплитуду колебаний атомов вблизи точки плавления 1539 °C.

4. Какова теплоемкость железа при 500 °C? Какова частота Дебая колебаний атома Fe?

4. Тепловые и упругие свойства твердых тел

ФКС **Практика №4** **Вариант 0**

Тепловые свойства твердых тел

1. Вычислите коэффициент теплопроводности серебра, если скорость распространения звука равна 3700 м/с, а длина свободного пробега фононов равно его длине волны при ν_D. C_v в формуле Дебая удельная теплоемкость единичного объема вещества, T=300 К.

2. Вычислите коэффициент линейного теплового расширения серебра, если среднее расстояние между атомами при температуре 1000 °C равно 5% от a_0.

3. Энергия Ферми для серебра равна 5,51 эВ. Определите для серебра решеточную и электронные составляющие удельной теплоемкости, если Θ_D=225 К.

5. Статистика электронов. Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми. Зонные диаграммы твердых тел

ФКС **Практика №5** **Вариант 0**

Статистика электронов. Распределение Ферми-Дирака.
Распределение Максвелла-Больцмана

1. Найдите разницу энергий (в единицах кТ) между электроном, находящимся на уровне Ферми, и электронами, находящимися на уровнях, вероятности заполнения которых равны 0,20 и 0,80.

2. Вычислите эффективную плотность уровней N_c и N_v для полупроводника при комнатной температуре. Считайте, что эффективные массы носителей выражаются через массу электрона m следующим образом: m^*_n =1,1m; m^*_p=0,56m.

3. В конкретном эксперименте по циклотронному резонансу B=0,1 $Вб/м^2$, а максимальное поглощение обнаружено при ν=1,4 $10^{10}с^{-1}$. Найдите эффективную плотность состояний в зоне проводимости.

6. Электропроводность твердых тел. Дефекты в кристаллах. Дефекты по Шоттки. Дефекты по Френкелю

ФКС **Практика №6** **Вариант 0**

Электропроводность твердых тел. Дефекты

1. Образец кремния, находящийся в состоянии термодинамического равновесия при 300 К, характеризуется следующими параметрами: удельное сопротивление 5 Ом см, μ_n =1600 $см^2В^{-1}с^{-1}$, μ_p =600 $см^2В^{-1}с^{-1}$ $N_c=10^{19}$ $см^{-3}$. Определите концентрацию электронов и дырок. Помните, что $np=n_i^2$

2. Электрическое сопротивление диэлектрика при нагреве от 300 до 500К изменилось в 10 раз. Найдите энергию активации проводимости.

3. Вычислите концентрацию дефектов по Шоттки в кристалле меди при температуре 1000 К, если энергия активации равна 1,2 эВ.

4. Найдите колебательную энтропию для дефекта по Шоттки в кристалле меди, если частота колебаний соседей изменилась в 1,2 раза.

Согласована на портале № 4809

3.3. Тестовые задания

1. Химические связи. Кристаллическое строение. Фононы

Дисциплина «Физика конденсированного состояния»

Тест № 1

«Химические связи. Кристаллическое строение. Фононы»

Вариант 0

№1

Каждый атом считается колеблющимся независимо от своих соседей по модели твердого тела

1 - Дебая; 2 - Дюлонга-Пти; 3 - Эйнштейна; 4 - Фурье.

№2

Сколько атомов находится в элементарной кубической ячейке?

1 - 1; 2 - 2; 3 - 3; 4 - 4.

№3

Какова средняя энергия тепловых колебаний атома в приближении гармонического осциллятора:

1 - ħω; 2 - νh; 3 - 3kT; 4 - kT.

№4

Периодическое во времени синфазное колебание с характерным пространственным распределением амплитуды - чередование узлов (нулей) и пучностей (максимумов) называется...

1 - свободной волной; 2 - стоячей волной; 3 - затухающей волной; 4 - электромагнитной волной.

№5

Уровни энергии гармонического квантового осциллятора расположены на равных расстояниях друг от друга

1 - hω; 2 - hν; 3 - hω/2; 4 - hν/2.

№6

К простым квазичастицам можно отнести...

1 - плазмон, экситон, электрон; 2 - экситон, дырка, электрон; 3 - плазмон, электрон, фонон. 4 - электрон проводимости, фонон, дырка.

№7

Как называется энергия, необходимая для удаления электрона из атома:

1 - электроотрицательность; 2 - потенциал ионизации; 3 - сродство к электрону; 4 - поляризация.

№8

Как называется энергия, освобождаемая при добавлении электрона к атому:

1 - сродство к электрону; 2 - потенциал ионизации; 3 - поляризация; 4 - электроотрицательность.

№9

Что такое характеристическая температура Дебая

1 - Θ=ħω/кT; 2 - Θ=кT; 3 - Θ=ħω; 4 - Θ =ħω/к.

№10

Сколько существует точечных групп, которые может иметь решетка Бравэ и сколько существует решеток Бравэ:

1 - 14 и 7; 2 - 14 и 14; 3 - 7 и14; 4 - 7 и 7.

2. Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность. Уровень Ферми

Дисциплина «Физика конденсированного состояния»

Тест № 2

«Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность. Уровень Ферми»

Вариант 0

№1

Какая функция является решением уравнения Шредингера при одноэлектронном приближении?

1 - $\Psi = U(r)exp(-i\acute{\kappa}r)$; 2 - $\Psi = exp(-i\acute{\kappa}r)$ 3 - $\Psi = Aexp(-i\acute{\kappa}r)$ 4 - $\Psi = U(r)exp(\acute{\kappa}r)$

№2

Блох доказал, что волновые функции, являющиеся решением уравнения Шредингера, представляют собой…

1 - плоские волны; 2 - сферические волны; 3 - цилиндрические волны.

Согласована на портале № 4809

№3

Условие электронейтральности для собственно полупроводника выглядит следующим образом…

1 - $n_0 + p_0 = n_i$ 2 - $n_0 - p_0 = n_i$ 3 - $n_0 + p_0 = n_i^2$ 4 - $n_0 = p_0$

№4

В чем сущность приближения Хартри-Фока?

1 рассматривается движение всех электронов кристалла вблизи одного электрона;

2 рассматривается движение одного электрона в поле, образованном другими электронами;

3 рассматривается только один электрон

№5

Какое энергетическое условие необходимо для обеспечения вырождения?

1 - $E_F - E_c \geq 5kT$ 2 - $E_F - E_c \geq kT$ 3 - $E_F - E_c \leq 5kT$ 4 - $E_F - E_c \leq kT$

№6

Для каких групп твердых тел электропроводность обращается в нуль, при стремлении температуры к нулю?

1 - полупроводники и металлы; 2 - металлы и диэлектрики; 3 - диэлектрики и полупроводники; 4 - изоляторам и металлы.

№7

В чем сущность приближения Борна-Оппенгеймера?

1 - электроны в кристалле неподвижны; 2 - электроны и ядра неподвижны; 3 - неподвижны только ядра; 4 - неподвижны только электроны.

№8

Что объясняет модель Кронига-Пенни?

1 - вид волновой функции электрона; 3 - существование разрешенных и запрещенных зон;

2 - форму зон Бриллюэна; 4 - наличие электрическогоо поля.

№9

По какой формуле определяется эффективная масса электрона?

1 - $m^*_n = F/a$ 2 - $m^*_n = m$ 3 - $m^*_n = \hbar^2\left(d^2E/d\kappa^2\right)^{-1}$ 4 - $m^*_n = \hbar\left(d^2E/d\kappa^2\right)$

№10

Электропроводность металлов определяется формулой:

1 - $\sigma = \sigma_0 \cdot T_0/T$ 2 - $\sigma = \sigma_0 \cdot T/T_0$ 3 - $\sigma = \sigma_0 \exp\left(T_0/T\right)$ 4 - $\sigma = \sigma_0 \exp\left(T/T_0\right)$

3.4. Контрольные работы

1. Химические связи. Кристаллическое строение. Фононы

Дисциплина «Физика конденсированного состояния»

Контрольная работа № 1

«Химические связи. Кристаллическое строение. Фононы»

Вариант 0

1. Каково должно быть расстояние между *ионами*, если их полная энергия равна нулю и r_0? Сколько энергии требуется на образование этой пары ионов из пары атомов?

2. Найдите углы отражения от плоскостей $[h_1k_1l_1]$, $[h_2k_2l_2]$, $[h_3k_3l_3]$ кристалла *материала*, соответствующие дифракционным максимумам *n* – ого порядка для характеристического рентгеновского излучения *материала*.

3. Найдите энергию и скорость электрона в кристаллической решетке *матераила*, если его волновой вектор находится во *n* – ой зоне Бриллюэна с координатами k_x, k_y.

4. Какова теплоемкость железа при *T*? Какова частота Дебая колебаний атома *материала*?

Согласована на портале № 4809

2. Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность. Уровень Ферми

Дисциплина «Физика конденсированного состояния»
Контрольная работа № 2
«**Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность. Уровень Ферми**»

Вариант 0

1. Найдите разницу энергий (в единицах kT) между электроном, находящимся на уровне Ферми, и электронами, находящимися на уровнях, вероятности заполнения которых равны f_1 и f_2.
2. Вычислите эффективную плотность уровней N_c и N_v для полупроводника при T. Считайте, что эффективные массы носителей выражаются через массу электрона m следующим образом: m^*_n; m^*_p.
3. В конкретном эксперименте по циклотронному резонансу в поле с магнитной индукцией B максимальное поглощение обнаружено при v. Найдите эффективную плотность состояний в зоне проводимости.
4. Электрическое сопротивление диэлектрика при нагреве от T_1 до T_2 изменилось в n раз. Найдите энергию активации проводимости.

3.5. Индивидуальные задания

1. Кристаллическое строение твердых тел. Дифракция рентгеновский лучей в кристаллах

Дисциплина «Физика конденсированного состояния»
Индивидуальное задание № 1
«**Кристаллическое строение твердых тел. Дифракция рентгеновский лучей в кристаллах**»

Вариант 0

Найти углы отражения от плоскостей $[h_1k_1l_1]$, $[h_2k_2l_2]$, $[h_3k_3l_3]$ кристалла *материала*, соответствующие дифракционным максимумам n – ого порядка для характеристического рентгеновского излучения *материала*:

а) учитывая, что интенсивность дифракционного максимума зависит от плотности заполнения плоскости атомами, фактора поглощения, фактора повторяемости и температурного фактора, определите относительную интенсивность максимума для указанных плоскостей;

б) графически изобразите вид дифрактограммы в координатах интенсивность-угол отражения.

2. Радиационные дефекты в твердых телах

Дисциплина «Физика конденсированного состояния»
Индивидуальное задание № 2
«**Радиационные дефекты в твердых телах**»

Вариант 0

Для кристаллической решетки *материала* найти:
1) энергию химической связи;
2) энергию образования дефекта по Шоттки;
3) концентрацию дефектов в диапазоне температур $T_1 – T_2$;
4) энтропию в диапазоне температур $T_1 – T_2$;
5) коэффициент самодиффузии в диапазоне температур $T_1 – T_2$.

3.6. Лабораторные работы

1. Определение частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах.
2. Исследование температурной зависимости электропроводности аморфных полупроводников.
3. Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников.
4. Исследование температурной зависимости электропроводности поликристаллических ферромагнетиков.
5. Определение ширины запрещенной зоны полупроводников по краю собственного поглощения.

3.7. Самостоятельная работа

1. Структура и симметрия кристаллов. Обратная решетка.
2. Дифракция рентгеновских лучей. Твердое тело – как газ квазичастиц. Тепловые колебания решетки.
3. Тепловые и упругие свойства кристаллов.
4. Основы зонной теории.
5. Оптические, диэлектрические и магнитные свойства твердых тел.
6. Фазовые переходы. Дефекты в кристаллах. Сверхтекучесть и сверхпроводимость.

Согласована на портале № 4809

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. Химическая связь. Ионная связь. Образование. Примеры.
5. Химическая связь. Ковалентная связь. Образование. Примеры.
6. Химическая связь. Металлическая. Образование. Примеры.
7. Химическая связь. Водородная связь. Образование. Примеры.
8. Химическая связь. Силы Ван-дер-Ваальса. Образование. Примеры.
9. Прямая и обратная решетка. Индексы Миллера.
10. Зоны Бриллюэна. Стоячие волны.
11. Дифракция рентгеновских лучей. Закон Вульфа-Брэгга.
12. Дифракция рентгеновских лучей. Условие Лауэ.
13. Квазичастицы. Виды квазичастиц.
14. Тепловые колебания. Фононы. Амплитуды. Спектр колебаний.
15. Теплоемкость твердых тел. Теория Эйнштейна. Теория Дебая. Приближение Дюлонга-Пти.
16. Ангармонические эффекты в кристаллах. Тепловое расширение.
17. Ангармонические эффекты в кристаллах. Теплопроводность (диэлектриков, металлов и полупроводников).
18. Модель свободных электронов Друде.
19. Зонная теория твердых тел. Уравнение Шредингера.
20. Эффективная масса электронов и дырок. Эффективная плотность состояний.
21. Статистика электронов и дырок в металлах и полупроводниках (распределение Ферми-Дирака и Максвелла-Больцмана).
22. Концентрация электронов и дырок в собственных полупроводниках.
23. Температурная зависимость уровня Ферми в собственных полупроводниках.
24. Электропроводность металлов и полупроводников.
25. Дефекты в кристаллах: по Шоттки и Френкелю.
26. Дефекты в кристаллах: дислокации.
27. Дефекты в кристаллах: дефекты в примесных системах.
28. Дефекты в кристаллах. Диффузия дефектов.
29. Подвижность носителей зарядов. Виды рассеивания.
30. Поляризация. Виды поляризации. Виды диэлектрических потерь.
31. Виды магнитных материалов. Классификация материалов по магнитной восприимчивости. Температура Кюри.
32. Оптические свойства твердых тел. Люминесценция.
33. Оптические свойства твердых тел. Закон Бугера-Ламберта.
34. Оптические свойства твердых тел. Оптические коэффициенты.
35. Упругие свойства твердых тел.
36. Элементы теории разрушения твердых тел.
37. Зонная теория твердых тел. Адиабатическое и одноэлектронное приближение.
38. Зонная теория твердых тел. Приближение свободных электронов.
39. Зонная теория твердых тел. Приближение сильносвязанных электронов.
40. Зонная теория твердых тел. Приближение слабосвязанных электронов.

Пример типового экзаменационного билета:

Дисциплина «Физика конденсированного состояния»

Экзаменационный билет №0

1. Модель атома Бора.
2. Зонная теория твердых тел. Уравнение Шредингера.
3. Оптические свойства твердых тел. Закон Бугера-Ламберта.

4. Определите долю объёма, занятого жесткими сферами при плотной их упаковке в простой кубической решетке.
5. В конкретном эксперименте по циклотронному резонансу в поле с магнитной индукцией B максимальное поглощение обнаружено при ν. Найдите эффективную плотность состояний в зоне проводимости.

Согласована на портале № 4809

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

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

4.1 Основная литература

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

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 [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов направлений подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника», и 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника», профиль «Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике». / Е. В. Саврук, В. В. Каранский, С. В. Смирнов; рец. П. Е. Троян ; Министерство образования и науки РФ (М.), ФГБОУ ВО "Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники" (Томск), Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2016. - 51 с : рис. - Библиогр.: с. 51. - Б. ц — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/lecturer/publications/6277.
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 № 4809