

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт сильноточной электроники
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЭ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ
директор ИСЭ СО РАН
академик РАН



Н. А. Ратахин Н. А. Ратахин

« 24 » августа 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ
«Электроника твердого тела»

основных профессиональных образовательных программ высшего образования —
программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлениям подготовки кадров высшей квалификации

№ п/п	Направление подготовки	Наименование ОПОП (профиль подготовки)	Место дисциплины в учебном плане
1	03.06.01 Физика и астрономия	Физическая электроника	Вариативная часть, дисциплина по выбору

1. Общая характеристика дисциплины

1.1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Перечень основных профессиональных образовательных программ высшего образования — программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлениям подготовки кадров высшей квалификации, в учебные планы которых входит данная дисциплина, и ее место в учебном плане обозначены на титульном листе настоящей рабочей программы.

Дисциплина изучает основы динамики электрона в твердом теле, энергетический спектр электрона в кристалле, квазиклассическую модель динамики электронов проводимости и дырок и связанные с ней параметры и характеристики: квазиимпульс, эффективная масса, изоэнергетические поверхности, зоны Бриллюэна. Особо рассмотрены свойства полупроводников, в частности, природа акцепторных и донорных примесей, водородоподобная модель примесного центра, статистика носителей заряда, связь уровня Ферми с концентрацией носителей заряда, явления переноса, контактные явления в системах переходах металл-полупроводник, и полупроводник-полупроводник (р-п-, гетеро- и изотипные переходы).

Для успешного освоения дисциплины аспирант должен знать общую физику, уравнения математической физики, основы статистической физики, основы квантовой физики.

1.2. Цели и задачи освоения дисциплины

1. Приобретение базовых знаний об электрофизических явлениях, протекающих в твердых телах, и твердотельных приборах и устройствах.
2. Формирование умения выполнять расчеты параметров и характеристик твердотельных систем.

1.3. Формируемые компетенции

ОПК-1: Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

ПК-1: Наличие широких, целостных и глубоких знаний об электронных процессах в твердом теле (как составляющая профессиональной компетенции ПК-1 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

ПК-2: Умение вычленять факторы, наиболее существенные в твердотельных электронных системах и устройствах, выполнять качественные оценки и количественные расчеты физических процессов, соответствующих этим факторам, оценивать и прогнозировать важнейшие параметры систем твердотельной электроники (как составляющая профессиональной компетенции ПК-2 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

УК-1: Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

УК-2: Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки.

УК-3: Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.

Таблица соответствия компонентов фонда оценочных средств (ФОС) по дисциплине формируемым компетенциям приведена в п. 5.2 рабочей программы.

2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов, и их трудоемкость (в часах)		
		Лекции	Практические (семинарские) занятия	Самостоятельная Работа
1	Кристаллическая структура и ее описание.	6	2	8
2	Колебания кристаллов. Теплоемкость твердых тел	6	2	8
3	Электроны в кристалле	14	4	10
4	Перенос носителей заряда в полупроводниках	4	4	10
5	Контактные явления	4	4	10
6	Полупроводники в условиях сильного поля.	2	2	8
	ВСЕГО	36	18	54

2.2. Лекционные занятия

Порядковый номер лекции	Раздел, тема учебного курса, содержание лекции	Трудоемкость	
		час.	зач. ед.
РАЗДЕЛ 1. Кристаллическая структура и ее описание.		6	0,17
1	<u>Тема 1.1. Введение.</u> 1.1.1. Твердое тело и его модели. Общее содержание курса. Рекомендуемая литература. 1.1.2. Типы химических связей. Реальные кристаллы. Дефекты.	2	0,055
2	<u>Тема 1.2. Кристаллическая решетка (КР) и ее описание.</u> 1.2.1. КР как модель кристалла, описывающая ее симметрию. 1.2.2. Основные понятия: атомный базис, элементарная ячейка (ЭЯ), виды ЭЯ. 1.2.3. Элементы симметрии КР. 1.2.4. Классификация КР. 1.2.5. Индексы направлений и плоскостей. 1.2.6. ЭЯ Вигнера-Зейтца	2	0,055
3	<u>Тема 1.3. Обратная решетка.</u> 1.3.1. Векторный базис обратного пространства, порожденный базисом КР. 1.3.2. Обратная решетка. 1.3.3. Разложение периодических функций в 3-мерный ряд Фурье. Компактная запись ряда в терминах векторов обратной решетки. 1.3.4. Условия дифракционного отражения в терминах обратной решетки. 1.3.5. Зоны Бриллюэна.	2	0,055
РАЗДЕЛ 2. Колебания кристаллов. Теплоемкость твердых тел.		6	0,17
4	<u>Тема 2.1. Колебания кристаллов.</u> 2.1.1. Малые колебания атомов кристалла в пределах квазиупругих сил. 2.1.2. Колебания однородной цепочки точечных масс, связанных упругими силами. 2.1.3. Колебания сложной цепочки точечных масс. 2.1.4. Акустические и оптические ветви колебаний.	2	0,055

5	<u>Тема 2.2. Энергия колебаний.</u> 2.2.1. Механистическая формула для энергии колебаний КР. 2.2.2. Нормальные координаты и нормальные колебания. 2.2.3. Фононы и их статистика.	2	0,055
6	<u>Тема 2.3. Теплоемкость твердых тел.</u> 2.3.1. Постулаты Дебая. 2.3.2. Энергия акустических колебаний в приближении Дебая 2.3.3. Энергия оптических колебаний в приближении Дебая 2.3.3. Теплоемкость тела в приближении Дебая.	2	0,055
РАЗДЕЛ 3. Электроны в кристалле.		14	0,39
7	<u>Тема 3.1. Квантовые состояния электронов в кристалле.</u> 3.1.1. Формальный вид уравнения Шредингера для системы частиц твердого тела. 3.1.2. Одноэлектронное приближение. 3.1.3. Функция Блоха и ее свойства.	2	0,055
8	<u>Тема 3.2. Простейшие модели для расчета спектра энергий</u> 3.2.1. Модель Кронига – Пени. Зонная структура энергетического спектра. 3.2.2. Суть приближения слабо- и сильносвязанных электронов. 3.2.3. Обзор численных методов расчета состояний электрона.	2	0,055
9	<u>Тема 3.3. Приближение сильносвязанных электронов.</u> 3.3.1. Дисперсионное уравнение в приближении сильносвязанных электронов для простой кубической КР. 3.3.2. Изоэнергетические поверхности.	2	0,055
10	<u>Тема 3.4. Реальная структура зон.</u> 3.4.1. Реальная структура энергетических зон и их заселение электронами. 3.4.2. Металлы, диэлектрики, полупроводники. 3.4.3. Плотность состояний электронов вблизи краев зон. 3.4.4. Электроны проводимости, их динамические характеристики и параметры. 3.4.5. Дырки	2	0,055
11	<u>Тема 3.5. Статистика носителей заряда в полупроводниках</u> 3.5.1. Функция распределения электронов и дырок. Уровень Ферми (УФ). 3.5.2. Вырожденный и невырожденный полупроводник. 3.5.3. Связь концентрации носителей заряда с положением УФ. 3.5.4. Уравнение электронейтральности. Формулы для концентраций носителей заряда и положения УФ для собственного полупроводника.	2	0,055
12	3.5.5. Активные примеси в полупроводниках – доноры и акцепторы. 3.5.6. Водородоподобная модель активной примеси.	2	0,055
13	3.5.7. Уровень Ферми и концентрация носителей заряда в примесных полупроводниках.	2	0,055
Раздел 4. Перенос носителей заряда в полупроводниках		4	0,11
14	<u>Тема 4.1. Природа переноса электронов и дырок в слабых электрических полях.</u> 4.1.1. Закон сохранения частиц. 4.1.2. Виды потоков носителей заряда в полупроводниках. 4.1.3. Обобщенное уравнение переноса носителей заряда.	2	0,055
15	<u>Тема 4.2. Частные случаи. Параметры, связанные с переносом носителей заряда.</u> 4.1.4. Случай статистического равновесия. Соотношение Эйнштейна. 4.1.5. Неравновесные процессы при малых возмущениях. Дебаевский радиус. Время релаксации Максвелла. 4.1.6. Время жизни неосновных носителей заряда. Длина инжекции.	2	0,055
РАЗДЕЛ 5. Контактные явления		4	0,11
16	<u>Тема 5.1. Контактные явления с участием металлов.</u> 5.1.1. Работа выхода. 5.1.2. Уравнение Ричардсона – Дэшмана. 5.1.3. Контакт металлов. 5.1.2. Контакт «металл – полупроводник». Барьер Шоттки и его вольт-амперная характеристика.	2	0,055
17	<u>Тема 5.2. Полупроводниковые контакты.</u> 5.2.1. p-n-переход. Распределение потенциала и концентрации носителей заряда в равновесном p-n-переходе. 5.2.2. Диодная теория проводимости p-n-перехода 5.2.3. Изотипные переходы. Омические контакты.	2	0,055

РАЗДЕЛ 6. Полупроводники в условиях сильного поля		2	0,055
18	6.1 Туннельный диод. 6.2 Разогрев носителей заряда в сильном поле. Ударная ионизация. 6.3 Эффект Ганна.	2	0,055
СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ		36	1,0

2.3. Практические (семинарские) занятия

Порядковый номер занятия	Раздел, тема учебного курса, содержание практического (семинарского) занятия	Трудоемкость	
		час.	зач. ед.
РАЗДЕЛ 1. Кристаллическая структура и ее описание.		2	0,055
1	<u>Тема 1.1. Кристаллическая решетка (КР) и ее описание.</u> 1.1.1 Типы кристаллических структур. Иллюстрации на проекторе. 1.1.2. Выделение атомных базисов и элементарных ячеек в данной структуре. 1.1.3. Определение степени сложности кристаллической решетки 1.1.4. Выделение элементов точечной симметрии кристаллической решетки. 1.1.5 Определение отношения кристалла к сингонии и решетке Бравэ. 1.1.6. Определение индексов направлений и плоскостей. 1.1.7. Построение ячейки Вигнера-Зейтца для модельного двумерного кристалла <u>Тема 1.2. Обратная решетка.</u> 1.2.1 Построение обратной решетки . 1.2.3. Разложение периодических функций в 3-мерный ряд Фурье. Компактная запись ряда в терминах векторов обратной решетки. 1.2.4. Условия дифракционного отражения в терминах обратно решетки. 1.2.5. Зоны Бриллюэна.	2	0,055
РАЗДЕЛ 2. Колебания кристаллов. Теплоемкость твердых тел.		2	0,055
2	<u>Тема 2.1. Колебания кристаллов.</u> 2.1.1. Вывод формулы колебаний сложной цепочки точечных масс. Анализ формулы. Частные случаи. 2.1.2. Неоднозначность выбора нормальных координат. 2.1.3. Демонстрация нормальных колебаний на проекторе. <u>Тема 2.2. Теплоемкость твердых тел.</u> 2.3.3. Сравнение формулы Дебая с экспериментальными данными. Особые случаи рассогласования теории и эксперимента.	2	0,055
РАЗДЕЛ 3. Электроны в кристалле.		4	0,11
3	<u>Тема 3.1. Квантовые состояния электронов в кристалле.</u> 3.1.1. Вывод дисперсионных соотношений для модели Кронига – Пени. 3.1.2. Демонстрация численного расчета квантовых состояний для одномерной решетки гиперболических потенциальных ям.	2	0,055
4	<u>Тема 3.2. Реальная структура зон.</u> 3.2.1. Иллюстрация реальных дисперсионных характеристик валентных энергетических зон различных материалов. 3.2.2. Иллюстрация изоэнергетических поверхностей реальных металлов и полупроводников.	2	0,055
Раздел 4. Перенос носителей заряда в полупроводниках		4	0,11
5	<u>Тема 4.1. Природа переноса электронов и дырок в слабых электрических полях.</u> Формулировка систем уравнений, описывающих перенос, генерацию и рекомбинацию носителей заряда при наличии ловушек в некоторых частных случаях. Упрощенные решения.	2	0,055
6	<u>Тема 4.2. Численные расчеты для отдельных задач диффузионно-дрейфового переноса.</u> Решение поставленных задач при помощи обучающих компьютерных программ. Формулировка начальных и граничных условий, расчет коэффициентов для обобщен-	2	0,055

	ного уравнения и численный расчет диффузионно-дрейфовых профилей (работа на компьютере).		
РАЗДЕЛ 5. Контактные явления		4	0,11
7	<u>Тема 5.1. Контактные явления с участием металлов.</u> 5.1.1. Дополнительные сведения о металлических контактах и их практическом использовании. Демонстрация работы термопары и измерение ее характеристики в пределе от 20 до 100°C. 5.1.2. Демонстрация получения различных типов контакта металла с пластиной полупроводника. Барьерный и проводящий контакты.	2	0,055
8	<u>Тема 5.2. p-n-переходы</u> 5.2.1. Дополнительные сведения о теориях p-n-перехода. Оценка границ применимости диодной теории проводимости. 5.2.2. Сведения о технологии получения полупроводниковых материалов и полупроводниковых структур.	2	0,055
РАЗДЕЛ 6. Полупроводники в условиях сильного поля		2	0,055
9	<u>Тема. Расчет рабочих режимов туннельного диода в цепи с нагрузкой.</u> Простейшая модель характеристики туннельного диода. Система уравнений и ее численное решение на компьютере.	2	0,055
СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ		18	0,5

2.4. Самостоятельная работа аспирантов

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов включает следующие виды деятельности:

- подготовку к тестированию на очередной лекции (повторение материала);
- подготовку к практическим (семинарским) занятиям;
- решение задач по заданию преподавателя;
- подготовку реферата на тему, согласованную с преподавателем.

2.4.1. Тестирование

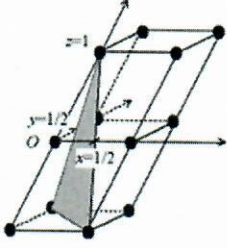
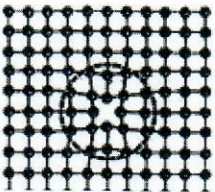
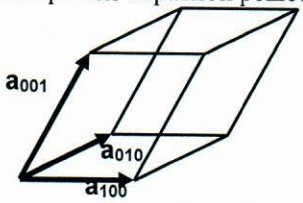
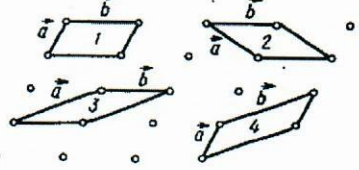
Тестирование стимулирует аспиранта вести подробные записи на лекциях и просматривать предшествующий материал перед очередной лекцией для поддержания достаточно высокого уровня восприятия. Тестирование проводится по завершению некоторой логически завершенной части раздела (темы) на лекционном занятии в течение не более 5 минут. Каждому аспиранту выдается листок размером приблизительно 4*7 см с довольно простым вопросом, на который ему необходимо дать краткий письменный ответ. Ответ записывается на том же листке (при необходимости, можно использовать обратную сторону). Через 3 минуты листки собираются. При проведении тестирования аспирант может пользоваться своим конспектом. Результаты тестирования выражаются в баллах: минимальный – 0, максимальный – 3.

Критерии оценок

0. Аспирант отсутствует на лекции
1. Ответ не верный
2. Ответ не точный, неполный, или, наоборот, избыточный (с лишней информацией, не относящейся к сути вопроса)
3. Ответ верный.

Оценки суммируются и учитываются при выставлении оценки по дифференцированному зачету. Оценка 0 предполагает выделение дополнительного времени для тестирования аспирантов, пропустивших занятие по данной теме.

Ниже дано несколько примеров тестов к разделу 1.

<p>Какова относительная геометрическая плотность самой плотной упаковки атомов в кристалле?</p>	<p>Укладкой плотноупакованных слоев одинаковых атомов можно добиться формирования кристаллических структур двух типов: 1) и 2) Первая структура соответствует- слойной периодичности, вторая -- слойной периодичности</p>
<p>Укажите индексы выделенной плоскости</p> 	<p>Как называется схематически изображенный точечный дефект кристалла?</p> 
<p>Из начала координат, совмещенной с углом элементарной ячейки, стрелкой обозначьте направление вектора \mathbf{b}_{001} обратной решетки.</p> 	<p>В двумерной модели кристаллической решетке укажите стрелками основную(ые) примитивную(ые) элементарные ячейки. В чем ее (их) особенность?</p> 

2.4.2. Решение задач

Ниже даны примеры задач для решения как на практических (семинарских) занятиях, так и для самостоятельного решения.

К разделу 1. Кристаллическая структура и ее описание.

1. Для трех типов кубической решетки (ПК, ОЦК и ГЦК) с ребром a определить количество узлов n на одну элементарную ячейку (ЭЯ), количество узлов в единице объема N , число ближайших соседей m и расстояние между ними d (дан рисунок решеток).

2. ГЦК и ОЦК решетки могут быть построены на примитивных ромбоэдрических ячейках, "вытянутой" (в первом случае) или «сплюсненной» (во втором случае) вдоль главной диагонали куба (дан рисунок). Во сколько раз объем примитивной элементарной ячейки меньше объема элементарного куба Бравэ ОЦК и ГЦК?

3. Найти расстояние между атомами углерода в кристалле алмаза, если плотность алмаза равна $\rho = 3.52 \text{ г/см}^3$ (дан рисунок расположения атомов).

4. Написать индексы Миллера для плоскостей в примитивной кубической решетке (на рисунке даны несколько вариантов)

5. Найти скалярное произведение векторов прямой и обратной решетки $\mathbf{b}_{hkl} \cdot \mathbf{a}_{mnp}$. Показать, оно кратно числу 2π .

К разделу 2. Колебания кристаллов. Теплоемкость твердых тел

1. Линейная цепочка атомов с плотностью $5 \cdot 10^7$ атомов/см совершает колебания. Определить максимальную частоту колебаний в цепочке, если скорость низкочастотного звука в ней равна $3 \cdot 10^3$ м/с. Во сколько раз групповая скорость больше фазовой скорости для длины волны, равной трем постоянным решетки?

2. Определить частоту длинноволновых оптических фононов в цепочке из сгруппированных попарно атомов с плотностью пар $2 \cdot 10^7$ атомов/см. Массы атомов считать одинаковыми. Скорость продольного звука в этой цепочке равна 5 км/с.

3. Оценить дебаевскую температуру германия и кремния, если скорость продольного звука в них равна, соответственно, 3,83 и 6,6 км/с, а плотность $5,33$ и $2,32$ г/см³.

4. Температура Дебая серебра равна 208 К. Определить максимальную энергию акустического фонона и среднее число фононов с этой энергией при $T = 300$ К.

К разделу 3. Электроны в кристалле

1. В приближении сильно связанных электронов выразите ширину разрешенной зоны энергий

1) в простом кубическом кристалле; 2) в объемно-центрированном кристалле; 3) в гранецентрированном кристалле через значение интеграла перекрытия смежных волновых функций, «образующих» данную зону.

2. Оценить энергию Ферми в кристалле натрия, если известно, что его валентность равна 1, решетка ОЦК и плотность $0,97$ г/см³. Оценить из квадратичного дисперсионного уравнения электронов волновой вектор, соответствующий энергии Ферми.

3. Определить минимальную концентрацию водородоподобных доноров в антимониде индия (InSb), при которой станут заметными эффекты, связанные с перекрытием орбит примесных атомов. Для InSb диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 17$, эффективная масса электронов $m_n^* = 0,014 m_0$.

4. При какой температуре произойдет истощение примеси в теллуриде кадмия (CdTe) если энергия ионизации доноров равна $0,013$ эВ, а их концентрация составляет 10^{15} см⁻³. Эффективная масса электрона в CdTe $m_n^* = 0,11 m_0$

4. Определить концентрацию электронов и дырок в кремнии при $T = 300$ К, если концентрации примеси мышьяка (As) в нем $2 \cdot 10^{14}$ см⁻³, а примеси бора (B) $3 \cdot 10^{14}$ см⁻³. Эффективные массы электронов и дырок в кремнии $m_{dn}^* = 1,08 m_0$, $m_{dp}^* = 0,56 m_0$. Ширина запрещенной зоны кремния $E_g = 1,11$ эВ.

К разделу 4. Перенос носителей заряда в полупроводниках

1. Слой кремния р-типа с концентрацией акцепторов $3 \cdot 10^{15}$ см⁻³, толщиной 100 мкм (база), находится между двумя областями n-типа (эмиттер и коллектор) с концентрацией носителей заряда $2 \cdot 10^{17}$ см⁻³. Какую разность потенциалов между n-областями необходимо приложить, чтобы база пропускала 98% инжектируемого потока? Время жизни электронов в базе равно 20 нс. Падением напряжения в сильно проводящих n-областях пренебречь. Температура кремния равна 300 К. Подвижность электронов в кремнии в заданных условиях равна 1200 см²/(В*с).

2. Описать закон изменения во времени избытка концентрации электронов и дырок после их межзонной генерации мощным источником света в приближении большого возмущения $\Delta n = \Delta p \gg n_0, p_0$.

К разделу 5. Контактные явления

1. Определить контактную разность потенциалов между собственным германием и вольфрамом. Работа выхода электронов из вольфрама $e\phi_W = 4.54$ эВ, энергия электронного сродства в германии $e\chi_{Ge} = 4.13$ эВ, ширина запрещенной зоны германия $E_g = 0.66$ эВ.

2. На основе диодной теории выпрямления оценить силу тока через диод Шоттки при температуре 300 К при напряжении 0.15 В для случаев прямого и обратного смещения. Барьер Шоттки образован контактом вольфрама и кремния n-типа с концентрацией электронов $1 \cdot 10^{16}$ см⁻³. Площадь контакта составляет 1 мм².

Дополнительные данные. Работа выхода электронов из вольфрама равна 4.54 эВ. Энергия сродства электрона к кремнию равна 4.05 эВ. Ширина запрещенной зоны кремния равна 1.11 эВ. Изоэнергетическая поверхность электрона вблизи дна зоны проводимости имеет вид одинаковых эллипсоидов вращения, количество которых равно 6. Эффективные массы: продольная $0.92m_0$ и поперечная $0.19m_0$.

2.4.2. Подготовка реферата

Реферат оформляется в рукописном виде. Число использованных источников не менее 5. Критерии оценки реферата:

- полнота и разносторонность рассмотрения вопроса (при этом количество страниц не имеет значения);
- число и качество использованных источников;
- стройная последовательность изложения со ссылками на источники;
- наличие самостоятельных выводов, обобщающих сделанный обзор;

Максимальный балл за реферат — 10.

Примеры тем для реферата:

1. Дефекты кристаллической структуры.
2. Условия дифракционного отражения в кристаллах. Теории Лауэ и Эвальда
3. Иллюстративная теория Кронига-Пени.
4. Электронные возбуждения в кристаллах.
5. Неупорядоченные системы — аморфные полупроводники.
6. Теория Ричардсона - Дэшмана.
7. p-i-n-структуры.
8. Электрофизические свойства тонких металлических пленок.
9. Эпитаксиальные пленки.
10. Эффект поля и поверхностная проводимость.
11. Практическое использование эффекта поля. Полевые транзисторы.
12. Плотность поверхностных состояний. Методики исследования.
13. Структурные и электронные свойства пленок.

2.4.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к интернет-ресурсам, и в домашних условиях. Аспиранты имеют возможность получать консультации у преподавателя.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим основную и дополнительную учебную и научную литературу, а также конспекты лекций.

3. Учебно-методические материалы

3.1. Основная и дополнительная литература

а) основная литература:

- 1.
2. П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов. Физика твердого тела. М., ВШ, 1985. 384 с.
3. Дж. Блейкмор. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988. 608 с.
4. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Энергия, 1976.

б) дополнительная литература:

1. М. П. Шаскольская. Кристаллография. М, ВШ, 1976
2. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
3. Ч. Уэрт, Р. Томсон. Физика твердого тела. М, Мир, 1969
4. А.И.Ансельм, "Введение в теорию полупроводников", М., Наука, 1978

4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- аудиторный фонд ИСЭ СО РАН,
- средства мультимедиа,
- рабочее место аспиранта с выходом в Интернет,
- библиотечный фонд ИСЭ СО РАН.
- электронный курс по дисциплине в ЭИОС ИСЭ СО РАН.

5. Оценка качества освоения дисциплины

5.1. Оценочные мероприятия и формирование оценки

Оценка качества освоения дисциплины обучающимся осуществляется с использованием балльной системы. Перечень оценочных мероприятий и максимальное количество баллов, которое может быть получено обучающимся в результате каждого мероприятия, приведены в таблице.

Оценочное мероприятие	Максимальное число баллов
Тесты по темам, суммарно	30
Подготовка реферата (самостоятельная работа)	10
Решение задач на практических (семинарских) занятиях	20
Решение задач (самостоятельная работа)	20
Дифференцированный зачет	20
Максимальный суммарный балл	100

На дифференцированном зачете аспиранту выставляется оценка и соответствующее ей число баллов:

- «Отлично»: 16—20 баллов.
- «Хорошо»: 11—15 баллов.
- «Удовлетворительно»: 6—10 баллов.
- «Неудовлетворительно»: 5 баллов и менее.

Итоговая оценка качества освоения дисциплины определяется величиной суммарного балла:

- «Отлично»: 81—100 баллов.
- «Хорошо»: 61—80 баллов.
- «Удовлетворительно»: 41—60 баллов.
- «Неудовлетворительно»: 40 баллов и менее.

5.2. Соответствие оценочных мероприятий (компонентов ФОС) дисциплины формируемым компетенциям, перечисленным в п. 1.3

Компонента ФОС, оценочное мероприятие	Компетенции					
	ОПК-1	ПК-1	ПК-2	УК-1	УК-2	УК-3
Промежуточные тесты (по разделам дисциплины)	+	+	+			
Итоговый тест	+	+	+			
Подготовка реферата (самостоятельная работа)	+	+	+	+		
Решение задач (на практических (семинарских) занятиях)	+	+	+		+	+
Решение задач (самостоятельная работа)	+	+	+		+	
Дифференцированный зачет	+	+	+	+		

Рабочая программа составлена на основании:

федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867;

- паспортов специальностей научных работников 01.04.04 — физическая электроника; 01.04.07 — физика конденсированного состояния;

- программ-минимумов кандидатских экзаменов по выше перечисленным специальностям, утвержденных приказом Минобрнауки РФ от 08.10.2007 г. № 274.

Составитель рабочей программы
с.н.с., к.ф.-м.н.



Е. В. Нефёдцев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена ученым советом ИСЭ СО РАН.

Протокол № 13 от «24» августа 2018 г.

Секретарь ученого совета, д.ф.-м.н.



И. В. Пегель

Дополнения и изменения в рабочей программе
за _____ / _____ учебный год

В рабочую программу дисциплины «Электроника твердого тела» вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании ученого совета ИСЭ СО РАН.
Протокол № ____ от « » _____ 20__ г.

Секретарь ученого совета

подпись

Ф. И. О.