

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук**

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора Института по научной работе
С. В. Лебедев
« 02 » 2015 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Физика полупроводников**
основной образовательной программы подготовки
научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлению 03.06.01 Физика и астрономия

Профиль 01.04.10 Физика полупроводников

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Принято Ученым советом
Протокол № 1 от 20 февраля 2015 г.

Санкт-Петербург
2015 г.

Александр

Рабочая программа составлена на основании федеральных государственных образовательных стандартов основных образовательных программ высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04. 10 Физика полупроводников.

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Курс предназначен для подготовки аспирантов к кандидатскому экзамену по специальности. Цель освоения дисциплины «Физика полупроводников» - дать аспирантам, обучающимся по профилю 01.04.10 «Физика полупроводников», знания, касающиеся основных физических проблем в области физики полупроводников, необходимые для понимания протекающих в полупроводниках физических процессов, а также для понимания явлений, изучаемых в других курсах специальности, о новейших результатах исследований и их практическом применении.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина «Физика полупроводников» входит в вариативную учебную программу подготовки аспирантов по профилю 01.04.10.

Содержание дисциплины служит основой для:

- подготовки к сдаче экзамена по специальности;
- написания кандидатской диссертации;
- осуществления дальнейшей профессиональной деятельности.

Курс дается для аспирантов на 3-ем году их пребывания в аспирантуре. Обучение ведется в форме аудиторных занятий и самостоятельной подготовки.

В результате прохождения курса обучения по данной программе, аспирант должен освоить базовые принципы физики полупроводников и создания приборов на основе полупроводниковых структур в русле проблематики лаборатории (группы), где работает его научный руководитель и где предположительно будет проходить самостоятельная научная работа аспиранта. Изучение данной дисциплины и специфика подачи отдельных вопросов может варьироваться в зависимости от индивидуального плана работы аспиранта по согласованию с его научным руководителем в целях оптимального соответствия решаемым задачам.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Физика полупроводников» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ООП:

3.1. Универсальные компетенции:

- 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-1).

3.2. Общепрофессиональные компетенции:

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

3.3. Профессиональные компетенции:

- способность планировать, организовывать работу по проектам, направленным на разработку новых физических принципов работы и создание приборов на базе полупроводниковых материалов и композиционных полупроводниковых структур, разработку методов исследования полупроводников и композитных полупроводниковых структур (ПК-1);

- способность осуществлять моделирование свойств и физических явлений в полупроводниках и структурах, технологических процессов и полупроводниковых приборов (ПК-2);

- способность применять технологические методы получения полупроводниковых материалов, композитных структур, структур пониженной размерности и полупроводниковых приборов и интегральных устройств на их основе (ПК-3);

- способность получать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по теме исследования, выбирать и обосновывать методики и средства решения поставленных задач (ПК-4).

В результате освоения дисциплины аспирант должен демонстрировать и применять углубленные знания в профессиональной деятельности:

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 часа).

4.1. Объем дисциплины и количество учебных часов:

Вид учебной работы	Трудоемкость (в часах)
Аудиторные занятия	38
Лекции	38
Семинары	-
Лабораторные занятия	-
Другие виды учебной работы (промежуточный зачет)	-
Внеаудиторные занятия	34
Самостоятельная работа аспиранта	34
ИТОГО	72
Вид итогового контроля	Кандидатский экзамен по специальности

4.2. Структура дисциплины

№ п/п	Тема	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу, и трудоемкость (в часах)			
		Лек	СЕМ	Лаб	СР
1	Химическая связь и атомная структура полупроводников	6			4
2	Основы зонной теории полупроводников	4			6
3.	Равновесная статистка электронов и дырок в полупроводниках	8			4
4	Кинетические явления в полупроводниках	4			4
5	Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках	4			4
6	Контактные явления в полупроводниках	4			4
7	Оптические явления в полупроводниках	4			4

8	Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки	4			4
	ИТОГО	38			34

5. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ (ТЕМ) ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Содержание аудиторных занятий

Тема 1 – Химическая связь и атомная структура полупроводников

(лекции - 6 часов)

Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-ваальсова, ионная и ковалентная связь. Структуры важнейших полупроводников - элементов А^{IV}, А^{III}В и соединений типов А_nВ_m, А_nВ_{VI}, А_{IV}В_{VI}. Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера—Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна. Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках. Химическая природа и электронные свойства примесей. Точечные, линейные и двумерные дефекты.

(СР - 4 часа)

Пространственная симметрия кристаллов (2 часа), примесные состояния в полупроводниках (2 часа).

Тема 2 – Основы зонной теории полупроводников

(лекции - 4 часа)

Основные положения зонной теории. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Законы дисперсии для важнейших полупроводников. Изоэнергетические поверхности. Тензор обратной эффективной массы. Плотность состояний. Особенности Ван-Хова. Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Понятие эффективной массы. Искривление энергетических зон в электрическом поле. Движение электронов и дырок в магнитном поле. Определение эффективных масс методом циклотронного (диамагнитного) резонанса. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника. Уровни энергии, создаваемые примесными центрами. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.

(СР - 6 часов):

Энергетическая структура основных полупроводников, расчет энергии связи мелких и глубоких уровней в кристаллах (3 часа), влияние магнитного поля на движение носителей в полупроводниках (3 часа).

Тема 3 – Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках

(лекции - 8 часов)

Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Факторы вырождения примесных состояний. Положение уровня Ферми и равновесная концентрация электронов и дырок в собственных и примесных (некомпенсированных и компенсированных) полупроводниках. Многозарядные примесные центры.

(СР - 4 часа)

Статистика электронов, фотонов и фононов в кристаллах; расчет положения уровня химического потенциала в компенсированном полупроводнике.

Тема 4 – Кинетические явления в полупроводниках

(лекции - 4 часа)

Кинетические коэффициенты - проводимость, постоянная Холла и термо-ЭДС. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла. Дрейфовый и

диффузионный ток. Соотношение Эйнштейна. Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке. Взаимодействие носителей заряда с акустическими и оптическими фононами. Рассеяние носителей заряда на заряженных и нейтральных примесях. Горячие электроны. Отрицательная дифференциальная проводимость.

Электрические неустойчивости; электрические домены и токовые шнуры.

(СР - 4 часа)

Квантовый эффект Холла и эффект Шубникова – де Газа, слабая локализация в проводниках и полупроводниковых структурах, эффект Гана.

Тема 5 – Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках

(лекции - 4 часа)

Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость.

Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация. Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда. Амбиполярная диффузия. Эффект Дембера. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.

(СР - 4 часа):

Прямые оптические переходы в полупроводниках, переходы с участием фононов и примесей.

Тема 6 – Контактные явления в полупроводниках

(лекции - 4 часа)

Схема энергетических зон в контакте металл-полупроводник. Обогащенные, обедненные и инверсионные слои пространственного заряда вблизи контакта. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки. Энергетическая диаграмма р-п перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в р-п переходе. Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Варизонные полупроводники.

(СР - 4 часа):

Измерение характеристик полупроводникового транзистора и диода.

Тема 7 – Оптические явления в полупроводниках

(лекции - 4 часа)

Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса — Кронига. Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение. Поглощение света на свободных носителях заряда. Поглощение света на колебаниях решетки. Рассеяние света колебаниями решетки, комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана - Ландсберга), рассеяние на акустических фононах (Бриллюэна -Мандельштама). Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах.

Оптические явления во внешних полях. Эффект Франца-Келдыша. Эффект Погкельса.

Эффект Бурштейна-Мосса. Эффекты Фарадея и Фойгта.

(СР - 4 часа):

Оптическая ориентация спинов электронов и ядер в кристаллах.

Тема 8 – Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки

(лекции - 4 часа)

Размерное квантование. Двумерные и квазидвумерные электронные системы и структуры, в которых они реализуются. Контра- и ковариантные композиционные сверхрешетки, легированные сверхрешетки легирования. Квантовые нити. Квантовые точки.

Энергетический спектр электронов и плотность состояний в этих системах. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами, правила отбора для межзонных и внутризонных (межподзонных) переходов. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация в этих структурах. Экситоны в квантовых ямах, квантово-размерный эффект Штарка.

Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Эффект Шубникова - де Гааза. Общее представление о квантовом эффекте Холла.

(СР - 4 часа)

Измерение эффекта Шубникова-де Газа в объемном кристалле и в гетероструктуре с квантовой ямой.

5.2. Самостоятельная работа аспиранта

Самостоятельная работа аспиранта включает повторение лекционного материала по темам, чтение рекомендованной литературы и научной периодики, а также изучение методических рекомендаций к работе в лаборатории.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

6.1. Текущий контроль

Текущий контроль проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений.

6.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Контрольные вопросы к экзаменам:

БИЛЕТ №1

1. Кристаллические решетки. Трансляционная симметрия. Решетки Бравэ. Сингония.
2. Аморфные и стеклообразные полупроводники.

БИЛЕТ №2

1. Зонная структура полупроводников (A3B5, A2B6, A4)
2. Диэлектрическая проницаемость однородного электронного газа в полупроводниках.

БИЛЕТ №3

1. Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, уровней примесей и дефектов.
2. Собственная и примесная фотопроводимость.

БИЛЕТ №4

1. Связь структуры кристаллов с характером химической связи.
Типы сил связи. Энергия связи.
2. Плазменные колебания.

БИЛЕТ №5

1. Упругие свойства кристаллической решетки. Тензор деформаций и тензор напряжений. Модули упругости и упругие постоянные кристаллов разных классов.
2. Механизмы рассеяния носителей заряда.

БИЛЕТ №6

1. Колебания кристаллической решетки. Акустические и оптические ветви колебаний. Фононы.

2. Основные экспериментальные методы измерения диэлектрических потерь в переменном электрическом поле.

БИЛЕТ №7

1. Волновая функция электрона в периодическом поле кристаллической решетки. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

2. Пьезоэлектрические явления в кристаллах.

БИЛЕТ №8

1. Метод сильной связи. Зоны дисперсии. Металлы и полупроводники.

2. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами.

Правила отбора для межзонных и внутризонных переходов.

БИЛЕТ №9

1. Метод эффективной массы. Зонная структура полупроводников.

Электроны и дырки.

2. Оптические свойства прямозонных и непрямозонных полупроводников.

БИЛЕТ №10

Полупроводниковые структуры пониженной размерности. Энергетический спектр электронов в этих системах.

2. Поглощение электромагнитных волн колебаниями решетки.

БИЛЕТ №11

1. Движение носителей в постоянном, однородном магнитном поле.

(классическая теория.) Циклотронный резонанс.

2. Фотолюминесценция полупроводников.

БИЛЕТ №12

1. Движение носителей в постоянном, однородном магнитном поле

(квантовая теория). Эффекты Шубникова-де Газа и квантовый эффект Холла.

2. Рекомбинационное излучение в диэлектриках и полупроводниках.

БИЛЕТ № 13

1. Движение и энергетический спектр носителей в постоянном электрическом поле.

2. Оптические квантовые генераторы (лазеры) и принципы их действия

БИЛЕТ № 14

1. Статистика электронов. Распределение Ферми-Дирака.

Концентрация электронов и дырок. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

2. Использование наноструктур в полупроводниковых приборах.

БИЛЕТ №15

1. Распределение Гиббса.

2. Поглощение света свободными носителями. Плазменное отражение.

БИЛЕТ №16

1. Уровень Ферми в собственном полупроводнике и в полупроводнике с примесью одного типа.

2. Магнитооптические явления. Эффекты Фарадея и Фохта

БИЛЕТ №17

1. Поверхностные состояния и поверхностные зоны. Поверхностная рекомбинация.
2. Электрооптические явления. Эффекты Поккельса, Керра, Франца-Келдыша.

БИЛЕТ №18

1. Кинетическое уравнение Больцмана для электронов. Интеграл столкновений. Приближение времени релаксации.
2. Нелинейная оптика: генерация второй гармоники.

БИЛЕТ №19

1. Кинетические эффекты: проводимость, постоянная Холла и термоэдс.
2. Междзонные оптические переходы в сильно легированных полупроводниках. Эффект Бурштейна-Мосса.

БИЛЕТ №20

1. Подвижность носителей в полупроводниках и диэлектриках.
2. Фотопроводимость и фотоэлектромагнитный эффект.

БИЛЕТ №21

1. Прыжковая проводимость.
2. Теплопроводность кристаллов.

БИЛЕТ № 22

1. Горячие электроны. Доменная неустойчивость.
2. Дефекты по Френкелю и Шоттки.

БИЛЕТ №23

1. Неравновесные электроны и дырки. Механизмы рекомбинации неравновесных носителей заряда.
2. Поляроны большого и малого радиуса.

БИЛЕТ №24

1. п-р-переход и его свойства. Туннельный эффект в п-р-переходе. Туннельный диод. Биполярный транзистор.
2. Экситон.

БИЛЕТ №25

1. Гетеропереход и его свойства. Энергетические диаграммы гетеропереходов.
2. Теплоемкость кристаллов. Теории Дебая, Эйнштейна, Борна.

БИЛЕТ №26

1. Контактные явления. Работа выхода. Контактная разность потенциалов. Распределение концентрации и потенциала в слое объемного заряда.
2. Использование наноструктур в полупроводниковых приборах (гетеролазер, гетеротранзистор, резонансно-туннельный диод)

БИЛЕТ №27

1. Механизмы переноса тока в тонких диэлектрических пленках в системе металл-диэлектрик-металл. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки.
2. Экспериментальное определение типа, концентрации и подвижности носителей заряда.

БИЛЕТ №28

1. Типы процессов рекомбинации.
2. Выпрямление в контакте металл-полупроводник. Диффузионная и диодная теория.

БИЛЕТ №29

1. Поверхностные электронные состояния.
2. Экспериментальное определение энергетических уровней и концентрации примесных атомов из электрических измерений.

БИЛЕТ №30

1. Фотоэлементы и фотодиоды.
2. Основные приближения зонной теории. Волновая функция электронов в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха.

БИЛЕТ №31

1. Сильнолегированные полупроводники. Хвосты плотности состояний. Методы легирования полупроводников.
2. Фотолюминесценция. Электролюминесценция.

БИЛЕТ №32

1. Явление пробоя, Типы пробоев. Ударная ионизация.
2. Методы выращивания эпитаксиальных пленок. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Металлорганическая эпитаксия.

БИЛЕТ №33

1. Лавинный и туннельный пробой в р-п-переходе в полупроводниках. Использование пробоя в приборах.
2. Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения применяются следующие образовательные технологии:

1. Сопровождение лекций показом визуального материала;
2. Использование компьютерных моделей физических процессов в полупроводниках;
3. Выполнение лабораторных работ с использованием современного научного оборудования.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные, учебно-методические и иные библиотечно-информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс и гарантируют возможность качественного освоения аспирантом образовательной программы. ФТИ им. А.Ф.Иоффе располагает обширной библиотекой, включающей общенаучную и специальную литературу.

Основная литература:

1. Бонч-Бруевич В.Л., С.Г.Калашников «Физика полупроводников». М: Наука, 1990
2. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. «Физика низкоразмерных систем». СПб: Наука, 2001
3. Воробьев Л.Е., Данило С.Н., Зегря Г.Г., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А., Яссиевич И.Н., Берегулин Е.В. «Фотоэлектрические явления в полупроводниках и размерно-квантовых структурах». СПб : Наука, 2001
4. П.Ю. М.Кардона «Введение в физику полупроводников» М: Физматлит, 2002
5. Розеншер Э., Винтер Б. «Оптоэлектроника». М.: Техносфера», 2004
6. Ежов В.Б. Отечественные полупроводниковые приборы и зарубежные аналоги -М.: НТЦ "Микротех", 2005

7. Мартинес-Дуарт, Мартин-Палма, Агулло-Руеда «Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники». М.: Техносфера, 2007
8. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. СПб: Лань, 2008
9. Г. Г. Зегря, В. И. Перель «Основы физики полупроводников». СПб: Физматлит, 2009
10. Отечественные журналы:
 - Физика Твёрдого Тела (бумажная версия)
 - Физика и Техника Полупроводников (бумажная версия)
11. Иностраные журналы:
 - Nature (бумажная версия)
 - Phys. Rev. B (бумажная версия)
 - Physics E: Solid State (бумажная версия)

Дополнительная литература

1. Р.Смит «Полупроводники». М.:Мир, 1982
2. Кейси Х., Паниш М. «Лазеры на гетероструктурах», 2 тома. М.: Мир, 1981
3. Херман М. «Полупроводниковые сверхрешетки». М.: Мир, 1989
4. Воробьев Л.Е. «Фотоэлектрические явления в полупроводниках и размерно-квантовых структурах». СПб: Наука, 2001
5. Винтайкин Б.Е. «Физика твердого тела». М.: МГТУ, 2008
6. Кумзеров Ю.А., Соловьёв В.Г., Ханин С.Д. «Физика регулярных матричных композитов и слоистых систем с наноструктурированными неорганическими и органическими веществами». Псков: ПГПУ, 2009
7. Соболев Н.А. «Инженерия дефектов в технологии полупроводников. Физические основы в технологии кремниевых приборов». LAMBERT Academic PublishingБ 2011

Программное обеспечение

1. Новые полупроводниковые материалы. Наноструктуры. Характеристики и свойства. База данных разработана и поддерживается сектором теоретических основ микроэлектроники: <http://www.matprop.ru/>
2. Углеродные наноструктуры. Информационно-библиографическая база данных, поддерживаемая лабораторией физики кластерных структур: <http://www.ioffe.ru/db-vul/>

Интернет-ресурсы

Отечественные журналы:

1. Физика твердого тела электронная версия; доступ с 1992 по текущий год
2. Физика и техника полупроводников электронная версия; доступ с 1992 по текущий год
3. ЖЭТФ; электронная версия ; доступ с 2001 по текущий год
4. Письма в ЖЭТФ электронная версия; доступ с 2008 по текущий год
5. Успехи физических наук электронная версия; доступ с 1988 по текущий год

Иностраные журналы:

1. Physical Review B (American Physical Society) электронная версия; доступ с 1970 по текущий год;
2. Physical Review Letters (American Physical Society) электронная версия; доступ с 1958 по текущий год;
3. Applied Physics A: Materials Science & Processing (Springer) подписка с 2013 года
4. Central European Journal of Physics доступ с 2003 по текущий год
5. The European Physical Journal B Condensed Matter and Complex Systems (Springer) подписка с 2013 года
6. International Journal of Modern Physics B (World Scientific Publishing Company) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
7. Journal of Physics and Chemistry of Solids (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1958 по 2009
8. Journal of Physics : Condensed Matter (UK Institute of Physics) электронная версия; доступ с 1989 по текущий год

9. Journal of Non-crystalline Solids (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
10. Journal of Magnetism and Magnetic Materials (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
11. Nanotechnology (UK Institute of Physics) электронная версия; доступ с 1990 по текущий год
12. Nature (Nature Publishing Group) электронная версия; доступ с 1997 по текущий год
13. Nature Materials (Nature Publishing Group) электронная версия; доступ с 2002 по текущий год New Journal of Physics" (UK Institute of Physics) электронная версия; доступ с 1999 по текущий год
14. Philosophical Magazine (Taylor & Francis Group) электронная версия; доступ с 1798 по текущий год
15. Philosophical Magazine Letters (Taylor & Francis Group)) электронная версия; доступ с 1987 по текущий год
16. Physica B (Condensed Matter) (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1999 по текущий год
17. Physica C (Superconductivity) Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1999 по текущий год
18. Physica E (Nanostructures) Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
19. Physica Status Solidi A (Wiley) электронная версия; доступ с 1996 по текущий год
20. Physica Status Solidi B (Wiley) электронная версия; доступ с 1996 по текущий год
21. Physica Status Solidi C (Wiley) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
22. Physica Status Solidi RRL (Wiley) электронная версия; доступ с 2007 по текущий год
23. Solid State Communications Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1972 по 2010

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН располагает материально-технической базой, соответствующей санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренной учебным планом.

Наименование оборудования для проведения занятий по дисциплине:

1. Лекционная аудитория
2. Мультимедийный проектор
3. Персональный компьютер
4. Установка нестационарной спектроскопии глубоких уровней для измерения концентрации, энергии активации и сечения захвата дефектов глубокими уровнями в полупроводниковых материалах.
5. Установка атомно-силовой микроскопии для исследования топографии поверхности эпитаксиальных полупроводниковых структур.
6. Установка локальной катодлюминесценции для исследования локальных оптических свойств полупроводниковых структур. Позволяет оценить эффективность излучательной рекомбинации, ширину запрещенной зоны материала и энергии оптических переходов через состояния в запрещенной зоне.
7. Установка рентгеноспектрального микроанализа на спектрометре с волной дисперсией позволяет проводить локальный анализ химического состава полупроводниковых структур.
8. Установка высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии и рефлектометрии для определения толщин, элементного состава и упругих напряжений в многослойных полупроводниковых гетероструктурах.