

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова»

Кафедра физики

ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Учебно-методический комплекс по дисциплине для студентов специальностей 230201
«Информационные системы и технологии», 220301 «Автоматизация технологических
процессов и производств (по отраслям)» всех форм обучения

Самостоятельное учебное электронное издание

Сыктывкар 2012

УДК 53
ББК 22.37
Э45

Рекомендован к изданию в электронном виде кафедрой физики
Сыктывкарского лесного института 16 мая 2012 г.

Утвержден к изданию в электронном виде советом технологического факультета
Сыктывкарского лесного института 21 июня 2012 г.

Составители:

доктор физико-математических наук, профессор **Ф. Ф. Асадуллин**,
зав. лабораториями **Е. В. Илюшенко**,
учебный мастер **В. А. Михеева**

Отв. редактор:

доктор физико-математических наук, профессор **Ф. Ф. Асадуллин**

Э45 **Элементы физики полупроводников** [Электронный ресурс] :
учеб.-метод. комплекс по дисциплине для студ. спец. 230201
«Информационные системы и технологии», 220301 «Автоматизация
технологических процессов и производств (по отраслям)» всех форм
обучения : самост. учеб. электрон. изд. / Сыкт. лесн. ин-т ; сост.:
Ф. Ф. Асадуллин, Е. В. Илюшенко, В. А. Михеева – Электрон. дан. –
Сыктывкар : СЛИ, 2012. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>. –
Загл. с экрана.

В издании помещены материалы для освоения дисциплины
«Элементы физики полупроводников». Приведены рабочие
программы курса, методические указания по различным видам работ,
виды контроля знаний студентов.

УДК 53
ББК 22.37

Самостоятельное учебное электронное издание

Составители: **Асадуллин** Фанур Фаритович, **Илюшенко** Елена Вячеславовна,
Михеева Валентина Александровна

ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Электронный формат – pdf. Объем 1,6 уч.-изд. л.
Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С. М. Кирова» (СЛИ),
167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39, institut@sfi.komi.com, www.sli.komi.com

Редакционно-издательский отдел СЛИ.

© СЛИ, 2012
© Асадуллин Ф. Ф., Илюшенко Е. В., Михеева В. А., составление, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
Рабочая программа для специальности ИСиТ	5
Рабочая программа для специальности АТПиП	11
Методические рекомендации по подготовке к лабораторным работам	17
Рекомендации по самостоятельной подготовке студентов	19
Контроль знаний студентов	20
Рубежные контрольные мероприятия	20
Вопросы к зачету и экзамену	24
Библиографический список	25

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цели и задачи дисциплины: формирование и углубление целостных представлений о структуре и симметрии кристаллов, прямой и обратной решетках, зонах Бриллюэна; формирование представлений о теориях электропроводности кристаллов: классической, Зоммерфельда, зонной; формирование представлений о эффективной массе носителя заряда в кристалле, физической природе возникновения энергетических зон в кристалле, физическим смысле понятия дырки; формирование представлений о природе электрического тока в полупроводниках, диффузии и дрейфе носителей заряда; формирование представлений о p-n переходе и его свойствах; формирование представлений об особенностях оптических свойств полупроводников и их поведении в сильных электрических полях.

Программа курса элементы физики полупроводников составлена в объеме, необходимом для изучения общенаучных, общетехнических и специальных дисциплин, а также позволяет студентам приобрести умения и навыки по использованию физических методов в работе инженера и бакалавра.

Цель настоящего учебно-методического комплекса – оказать помощь студентам в изучении курса элементы физики полупроводников.

Основной формой обучения студентов является самостоятельная работа над учебным материалом. Для облегчения этой работы организуют чтение лекций, проведение практических занятий. Поэтому процесс изучения состоит из следующих этапов:

1. проработка лекций;
2. самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями;
3. прохождение лабораторного практикума;
4. выполнение контрольных работ;
5. сдача зачетов и экзаменов.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (СЛИ)

"СОГЛАСОВАНО"

Декан технологического
факультета

А.А. Самородницкий
2012 г



"УТВЕРЖДАЮ"

Зам. директора по учебной
и научной работе

Л.А. Гурьева
" 06. " 2012 г



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине: **Элементы физики полупроводников**
Обязательная

Для направления подготовки дипломированных специалистов
230000 «Информатика и вычислительная техника»
Специальность 230201 «Информационные системы и технологии»
Квалификация – инженер

Кафедра «Физики»				
Форма обучения	очная	очно-заоч.	заочная	заочн. сокр.
Курс			4	4
Семестр	7	7		
Всего часов:	96	96	96	96
в том числе аудиторных:	48	24	10	10
лекции	20	10	6	6
лабораторные	28	14	4	4
Самостоятельная работа	48	72	77	77
Экзамен	7	7	4	4
Контрольная работа			4	4

Сыктывкар 2012

Рабочая программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования

по направлению 230000 «Информатика и вычислительная техника»

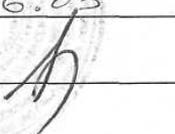
по специальности 230201 «Информационные системы и технологии»

Программу составили: Асадуллин Ф.Ф., Турьев А.В., Полугрудова Л.С.

Переработанная рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики

Протокол № 9 от 16.05 2012 г.

Заведующий кафедрой

 Ф.Ф. Асадуллин

Переработанная рабочая программа рассмотрена и одобрена методической комиссией технологического факультета

Протокол № 10 от 21.06 2012 г.

Председатель комиссии

 А.А. Самородницкий

1. Цель и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

1.1 Цели и задачи дисциплины

- 1.1.1 Формирование и углубление целостных представлений о структуре и симметрии кристаллов, прямой и обратной решетках, зонах Бриллюэна.
- 1.1.2 Формирование представлений о теориях электропроводности кристаллов: классической, Зоммерфельда, зонной.
- 1.1.3 Формирование представлений об эффективной массе носителя заряда в кристалле, физической природе возникновения энергетических зон в кристалле, физическом смысле понятия дырки.
- 1.1.4 Формирование представлений о природе электрического тока в полупроводниках, диффузии и дрейфе носителей заряда
- 1.1.5 Формирование представлений о р-п переходе и его свойствах.
- 1.1.6 Формирование представлений об особенностях оптических свойств полупроводников и их поведении в сильных электрических полях.

1.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины

- 1.2.1 Студент должен иметь представление:
 - о структуре и симметрии кристаллов, прямой и обратной решетках, зонах Бриллюэна;
 - о теориях электропроводности кристаллов: классической, Зоммерфельда, зонной;
 - о эффективной массе носителя заряда в кристалле, физической природе возникновения энергетических зон в кристалле, физическом смысле понятия дырки;
 - о природе электрического тока в полупроводниках, диффузии и дрейфе носителей заряда;
 - о р-п переходе и его свойствах;
 - об особенностях оптических свойств полупроводников и их поведении в сильных электрических полях.
- 1.2.2 Студент должен знать и уметь:
 - элементы симметрии кристаллов и описывать положение точек и плоскостей;
 - преимущества и недостатки существующих теорий электропроводности кристаллов;
 - основные результаты решения уравнения Шредингера для электронов в кристалле и используемые при этом приближения;
 - процессы, обеспечивающие перенос заряда в полупроводниках;
 - структуру энергетических зон и уровней в области р-п перехода в различных состояниях и ее связь с протеканием тока и образованием внутренних зарядов;
 - природу процесса поглощения света в полупроводниках, фоторезистивный и электрооптический эффекты;
 - туннелирование носителей тока, разогрев носителей, эффект Ганна.
- 1.2.3 Студент должен иметь навыки:
 - анализа связи зонной структуры полупроводника и его электрических свойств.

1.3. Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо для изучения данной дисциплины

Для полноценного усвоения учебного материала по дисциплине «Элементы физики полупроводников» студентам необходимо иметь прочные знания по высшей математике и физике.

1.4. Нормы Госстандарта 2005 года

Обязательный минимум содержания образовательной программы отсутствует.

2. Содержание дисциплины

2.1 Наименование тем, их содержание

Раздел 1. Основы зонной теории твердого тела

- 1) Кристаллические структуры: идеальный кристалл, решетка Браве, трансляции, примитивные ячейка и базис, ячейка Вигнера-Зейтца; обратная и прямая решетки, первая зона Бриллюэна; атомные плоскости и векторы обратной решетки; индексы Миллера атомных плоскостей в твердых телах; использование обратной решетки при описании дифракции рентгеновских лучей на кристаллах. Взаимодействие атомов в твердых телах
- 2) Электропроводность металлов: теория Друде, приближения независимых и свободных электронов, подвижность и дрейф носителей тока; теория Зоммерфельда: волновые функции свободных электронов, квантование волнового вектора и импульса, энергия и сфера Ферми, средняя энергия электронов, теплоемкость свободного электронного газа, функция плотности состояний в металле, электропроводность в модели свободных
- 3) Основы зонной теории твердых тел: трудности теории свободных электронов; уравнение Шредингера для кристалла, теорема Блоха, граничные условия Борна-Кармана; волновой вектор и квазиимпульс электрона, энергия блоховских электронов, энергетические зоны, скорость блоховских электронов; эффективная масса электронов в кристалле: изоэнергетические поверхности, тензор эффективной массы
- 4) Энергетические зоны в кристаллах: приближения почти свободных и сильно связанных электронов; физическая природа существования запрещенных зон в энергетическом спектре электронов в приближении почти свободных электронов, основные результаты решения уравнения Шредингера, расширенная зонная схема, схема приведенных зон, периодическая зонная схема; приближение сильно связанных электронов
- 5) Статистика носителей заряда: собственные и примесные полупроводники; плотность квантовых состояний в полупроводниках, равновесная концентрация носителей заряда, зависимость уровня Ферми от температуры и концентрации примеси, генерация и рекомбинация, время жизни носителей заряда, неравновесные носители заряда

Раздел 2. Кинетические и контактные явления в полупроводниках

- 1) Кинетические явления в полупроводниках: электропроводность полупроводников, подвижность носителей и ее зависимость от концентрации примесей и температуры, диффузия и дрейф носителей заряда, уравнения токов, уравнения непрерывности
- 2) Контактные явления в полупроводниках: Поверхностные состояния. Обедненные, инверсные и обогащенные поверхностные слои, явления на границе полупроводник-диэлектрик; проводимость поверхностного канала в полупроводниках; образование p-n перехода, его энергетическая диаграмма; резкие и плавные переходы, p-n переход в равновесном и неравновесном состояниях, прямая и обратная ветви вольтамперной характеристики
- 3) Оптические свойства полупроводников и их свойства в сильных электрических полях: Поглощение света в полупроводниках, люминесценция полупроводников, фоторезистивный и электрооптический эффекты; туннелирование носителей тока, ударная ионизация, разогрев носителей, междолинный переход, эффект Ганна

2.2 Физический практикум

Лабораторные занятия, их наименование

1. Исследование зависимости сопротивления полупроводников от температуры.
2. Исследование зависимости сопротивления проводников от температуры.
3. Исследование полупроводникового выпрямителя.
4. Исследование магнитной цепи.

5. Исследование вентильного фотоэлемента.
6. Определение удельного заряда электрона методом магнетрона.
7. Исследование вынужденных электромагнитных колебаний.

Содержание и методика выполнения лабораторных работ изложены в методических указаниях, составленных преподавателями кафедры.

2.4 Распределение часов по темам и видам занятий для очной/очно-заочной форм обучения

Наименование темы дисциплины	Объем работ студента, час.				Форма контроля успеваемости
	Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Всего	
Кристаллические структуры	4/2	-	4/8	8/10	ФО, ДЗ
Электропроводность металлов	4/2	4/4	4/8	12/14	ФО, ДЗ, ОЛР
Основы зонной теории твердых тел	2/1	4/0	6/8	12/9	ФО, ДЗ
Энергетические зоны в кристаллах	2/1	-	6/8	8/9	ФО, ДЗ
Статистика носителей заряда	2/1	4/4	4/8	10/13	ФО, ДЗ
Кинетические явления в полупроводниках	2/1	4/0	4/6	10/7	ФО, ДЗ
Контактные явления в полупроводниках	2/1	8/6	6/8	16/15	ФО, ДЗ, ОЛР
Оптические свойства полупроводников и их свойства в сильных электрических полях	2/1	4/0	4/8	10/9	ФО, ДЗ
Подготовка к экзамену			10	10	экзамен
Всего	20/10	28/14	48/72	96	

2.5. Самостоятельная работа и контроль успеваемости для очной/очно-заочной форм обучения

Вид самостоятельных работ	Число часов	Вид контроля успеваемости
Проработка лекционного материала по конспекту	10/5	ФО, зачет
Изучение тем по учебной литературе	6/30	ФО, зачет
Подготовка к лабораторным работам	14/7	ОЛР
Решение домашних задач	8/20	ДЗ
Подготовка к экзамену	10	Экзамен
Всего	48/72	

2.6. Распределение часов по темам и видам занятий для заочной и заочной сокращенной форм обучения

Наименование темы дисциплины	Объем работ студента, час.				Форма контроля успеваемости
	Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Всего	
Кристаллические структуры	1	-	7	8	ФО, ДЗ, КР
Электропроводность металлов	1	-	6	7	ФО, ДЗ, ОЛР, КР
Основы зонной теории твердых тел	1	-	6	7	ФО, ДЗ, КР
Энергетические зоны в	1	-	6	7	ФО, ДЗ, КР

кристаллах					
Статистика носителей заряда	-	-	8	8	ФО, ДЗ, КР
Кинетические явления в полупроводниках	-	-	8	8	ФО, ДЗ, КР
Контактные явления в полупроводниках	1	4	6	11	ФО, ДЗ, КР
Оптические свойства полупроводников и их свойства в сильных электрических полях	1	-	6	7	ФО, ДЗ, КР
Выполнение контрольной работы			24	24	КР
Подготовка к экзамену			9	9	экзамен
Всего	6	4	86	96	

2.7. Самостоятельная работа и контроль успеваемости для заочной и заочной сокращенной форм обучения

Вид самостоятельных работ	Число часов	Вид контроля успеваемости
Проработка лекционного материала по конспекту	3	ФО, зачет
Изучение тем по учебной литературе	48	ФО, зачет
Подготовка к лабораторным работам	2	ОЛР
Выполнение контрольной работы	24	КР
Подготовка к экзамену	9	экзамен
Всего	86	

Текущая успеваемость студентов контролируется опросом по лабораторным работам (ОЛР), фронтальным опросом текущего материала (ФО), проверкой выполнения домашнего задания (ДЗ), контрольными работами (КР).

Итоговая успеваемость студентов определяется на зачете и на экзамене.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (СЛИ)

"СОГЛАСОВАНО"

Декан лесотранспортного факультета

А.Н.Юшков
"06" "06" 2012 г



"УТВЕРЖДАЮ"

Зам. директора по учебной и научной работе

Л.А. Гурьева
"06" "06" 2012 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине: **Элементы физики полупроводников**
Обязательная

Для направления подготовки дипломированных специалистов
220000 «Автоматика и управление»
Специальность 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств
(по отраслям)»
Квалификация – инженер

Кафедра «Физики»			
Форма обучения	очная	заочная	заоч. сокр.
Курс		2	3
Семестр	2		
Всего часов:	50	50	50
в том числе аудиторных:	24	8	8
лекции	12	4	4
лабораторные	12	4	4
Самостоятельная работа	26	38	38
Зачет	2	2	3
Контрольная работа		2	3

Сыктывкар 2012

Рабочая программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования

по направлению 220000 «Автоматика и управление»

по специальности

220301 «Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)»

Программу составили: Асадуллин Ф.Ф., Турьев А.В., Полугрудова Л.С.

Переработанная рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики

Протокол № 9 от 16.05 2012 г.

Заведующий кафедрой

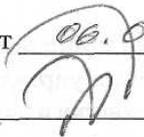


Ф.Ф. Асадуллин

Переработанная рабочая программа рассмотрена и одобрена методической комиссией лесотранспортного факультета

Протокол № 11 от 06.06. 2012 г.

Председатель комиссии



А.Н. Юшков

1. Цель и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

1.3 Цели и задачи дисциплины

- 1.1.5 Формирование и углубление целостных представлений о структуре и симметрии кристаллов, прямой и обратной решетках, зонах Бриллюэна.
- 1.1.6 Формирование представлений о теориях электропроводности кристаллов: классической, Зоммерфельда, зонной.
- 1.1.7 Формирование представлений об эффективной массе носителя заряда в кристалле, физической природе возникновения энергетических зон в кристалле, физическом смысле понятия дырки.
- 1.1.8 Формирование представлений о природе электрического тока в полупроводниках, диффузии и дрейфе носителей заряда
- 1.1.5 Формирование представлений о р-п переходе и его свойствах.
- 1.1.6 Формирование представлений об особенностях оптических свойств полупроводников и их поведении в сильных электрических полях.

1.4 Требования к уровню освоения содержания дисциплины

- 1.2.1 Студент должен иметь представление:
 - о структуре и симметрии кристаллов, прямой и обратной решетках, зонах Бриллюэна;
 - о теориях электропроводности кристаллов: классической, Зоммерфельда, зонной;
 - о эффективной массе носителя заряда в кристалле, физической природе возникновения энергетических зон в кристалле, физическом смысле понятия дырки;
 - о природе электрического тока в полупроводниках, диффузии и дрейфе носителей заряда;
 - о р-п переходе и его свойствах;
 - об особенностях оптических свойств полупроводников и их поведении в сильных электрических полях.
- 1.2.2 Студент должен знать и уметь:
 - элементы симметрии кристаллов и описывать положение точек и плоскостей;
 - преимущества и недостатки существующих теорий электропроводности кристаллов;
 - основные результаты решения уравнения Шредингера для электронов в кристалле и используемые при этом приближения;
 - процессы, обеспечивающие перенос заряда в полупроводниках;
 - структуру энергетических зон и уровней в области р-п перехода в различных состояниях и ее связь с протеканием тока и образованием внутренних зарядов;
 - природу процесса поглощения света в полупроводниках, фоторезистивный и электрооптический эффекты;
 - туннелирование носителей тока, разогрев носителей, эффект Ганна.
- 1.2.3 Студент должен иметь навыки:
 - анализа связи зонной структуры полупроводника и его электрических свойств.

1.3. Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо для изучения данной дисциплины

Для полноценного усвоения учебного материала по дисциплине «Элементы физики полупроводников» студентам необходимо иметь прочные знания по высшей математике.

1.4. Нормы Госстандарта 2005 года

Обязательный минимум содержания образовательной программы отсутствует.

2. Содержание дисциплины

2.2 Наименование тем, их содержание

Раздел 1. Основы зонной теории твердого тела

1. Кристаллические структуры: идеальный кристалл, решетка Браве, трансляции, примитивные ячейка и базис, ячейка Вигнера-Зейтца; обратная и прямая решетки, первая зона Бриллюэна; атомные плоскости и векторы обратной решетки; индексы Миллера атомных плоскостей в твердых телах; использование обратной решетки при описании дифракции рентгеновских лучей на кристаллах. Взаимодействие атомов в твердых телах
2. Электропроводность металлов: теория Друде, приближения независимых и свободных электронов, подвижность и дрейф носителей тока; теория Зоммерфельда: волновые функции свободных электронов, квантование волнового вектора и импульса, энергия и сфера Ферми, средняя энергия электронов, теплоемкость свободного электронного газа, функция плотности состояний в металле, электропроводность в модели свободных
3. Основы зонной теории твердых тел: трудности теории свободных электронов; уравнение Шредингера для кристалла, теорема Блоха, граничные условия Борна-Кармана; волновой вектор и квазиимпульс электрона, энергия блоховских электронов, энергетические зоны, скорость блоховских электронов; эффективная масса электронов в кристалле: изоэнергетические поверхности, тензор эффективной массы
4. Энергетические зоны в кристаллах: приближения почти свободных и сильно связанных электронов; физическая природа существования запрещенных зон в энергетическом спектре электронов в приближении почти свободных электронов, основные результаты решения уравнения Шредингера, расширенная зонная схема, схема приведенных зон, периодическая зонная схема; приближение сильно связанных электронов
5. Статистика носителей заряда: собственные и примесные полупроводники; плотность квантовых состояний в полупроводниках, равновесная концентрация носителей заряда, зависимость уровня Ферми от температуры и концентрации примеси, генерация и рекомбинация, время жизни носителей заряда, неравновесные носители заряда

Раздел 2. Кинетические и контактные явления в полупроводниках

1. Кинетические явления в полупроводниках: электропроводность полупроводников, подвижность носителей и ее зависимость от концентрации примесей и температуры, диффузия и дрейф носителей заряда, уравнения токов, уравнения непрерывности
2. Контактные явления в полупроводниках: Поверхностные состояния. Обедненные, инверсные и обогащенные поверхностные слои, явления на границе полупроводник-диэлектрик; проводимость поверхностного канала в полупроводниках; образование p-n перехода, его энергетическая диаграмма; резкие и плавные переходы, p-n переход в равновесном и неравновесном состояниях, прямая и обратная ветви вольтамперной характеристики
3. Оптические свойства полупроводников и их свойства в сильных электрических полях: Поглощение света в полупроводниках, люминесценция полупроводников, фоторезистивный и электрооптический эффекты; туннелирование носителей тока, ударная ионизация, разогрев носителей, междолинный переход, эффект Ганна

2.2 Физический практикум

Лабораторные занятия, их наименование

1. Исследование зависимости сопротивления полупроводников от температуры.
2. Исследование зависимости сопротивления проводников от температуры.
3. Исследование полупроводникового выпрямителя.
4. Исследование магнитной цепи.

5. Исследование вентиляющего фотоэлемента.
6. Определение удельного заряда электрона методом магнетрона.
7. Исследование вынужденных электромагнитных колебаний.

Содержание и методика выполнения лабораторных работ изложены в методических указаниях, составленных преподавателями кафедры.

2.4. Распределение часов по темам и видам занятий для очной формы обучения

Наименование темы дисциплины	Объем работ студента, час.				Форма контроля успеваемости
	Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Всего	
Кристаллические структуры	2	-	2	4	ФО, ДЗ
Электропроводность металлов	1	4	2	7	ФО, ДЗ, ОЛР
Основы зонной теории твердых тел	2	-	2	4	ФО, ДЗ
Энергетические зоны в кристаллах	2	-	2	4	ФО, ДЗ
Статистика носителей заряда	1	-	2	3	ФО, ДЗ
Кинетические явления в полупроводниках	1	-	2	3	ФО, ДЗ
Контактные явления в полупроводниках	2	4	2	8	ФО, ДЗ, ОЛР
Оптические свойства полупроводников и их свойства в сильных электрических полях	1	4	2	7	ФО, ДЗ
Подготовка к зачету			10	10	зачет
Всего	12	12	26	50	

2.5. Самостоятельная работа и контроль успеваемости для очной формы обучения

Вид самостоятельных работ	Число часов	Вид контроля успеваемости
Проработка лекционного материала по конспекту	6	ФО, зачет
Изучение тем по учебной литературе	2	ФО, зачет
Подготовка к лабораторным работам	6	ОЛР
Решение домашних задач	2	ДЗ
Подготовка к зачету	10	Зачет
Всего	26	

2.6. Распределение часов по темам и видам занятий для заочной и заочной сокращенной форм обучения

Наименование темы дисциплины	Объем работ студента, час.				Форма контроля успеваемости
	Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Всего	
Кристаллические структуры	-	-	4	4	ФО, ДЗ, КР
Электропроводность металлов	1	-	4	5	ФО, ДЗ, ОЛР, КР
Основы зонной теории твердых тел	1	-	4	5	ФО, ДЗ, КР
Энергетические зоны в кристаллах	1	-	4	5	ФО, ДЗ, КР
Статистика носителей заряда	-	-	2	2	ФО, ДЗ, КР

Кинетические явления в полупроводниках	-	-	2	2	ФО, ДЗ, КР
Контактные явления в полупроводниках	1	4	4	9	ФО, ДЗ, КР
Оптические свойства полупроводников и их свойства в сильных электрических полях	-	-	4	4	ФО, ДЗ, КР
Выполнение контрольной работы			4	4	КР
Подготовка к зачету			10	10	зачет
Всего	4	4	42	50	

2.7. Самостоятельная работа и контроль успеваемости для заочной и заочной сокращенной форм обучения

Вид самостоятельных работ	Число часов	Вид контроля успеваемости
Проработка лекционного материала по конспекту	2	ФО, зачет
Изучение тем по учебной литературе	10	ФО, зачет
Подготовка к лабораторным работам	2	ОЛР
Выполнение контрольных работ	24	КР
Подготовка к зачету	4	зачет
Всего	42	

Текущая успеваемость студентов контролируется опросом по лабораторным работам (ОЛР), фронтальным опросом текущего материала (ФО), проверкой выполнения домашнего задания (ДЗ), контрольными работами (КР).

Итоговая успеваемость студентов определяется на зачете и на экзамене.

Методические рекомендации по подготовке к лабораторным работам

Выполнение лабораторных работ поможет студентам глубже усвоить материал, но при условии, что каждая работа должна быть проделана с ясным пониманием сущности изучаемого физического явления. Для этого необходимо, конечно, еще до лабораторного занятия подготовиться к нему, внимательно прочитать описание в работе и соответствующие темы лекций и обязательно уяснить суть работы. Затем надо разобраться в том, что и как следует измерять.

Дадим несколько советов студентам, впервые приступающим к выполнению работ в физической лаборатории.

Никогда не спешите на лабораторном занятии начинать делать, что называется, «точные» измерения. Сначала проведите качественные, оценочные опыты. На этом этапе важно убедиться, что установка работает, а экспериментальные данные по порядку величин правильно описывают изучаемое явление.

Чтобы облегчить подготовку к лабораторным занятиям, кроме описаний работ в лабораториях, можно воспользоваться методическими указаниями к лабораторным работам. Список литературы в конце методического комплекса.

Данные указания содержат необходимые теоретические разделы. В них даны необходимые определения и выведены нужные формулы.

Кроме того, в описании к каждой работе есть контрольные вопросы, которые необходимо разобрать дома при подготовке к сдаче лабораторной работы.

В каждой работе следует стремиться к ясному пониманию того, с какой точностью вы измерили ту или иную физическую величину, оценить погрешность вашего измерения.

Требования к отчету: результаты измерений записываются аккуратно без исправлений в виде таблиц на отдельных листах и даются на подпись преподавателю. Отчет оформляется на отдельных листах и должен содержать:

1. Фамилию студента, факультет, курс, номер группы, дату выполнения работы;
2. Номер и название работы;
3. Схему или чертёж установки, перечень использованных измерительных приборов;
4. Рабочие формулы и формулы погрешностей с пояснением использованных в них обозначений;
5. Результаты измерений в таблице;
6. Подстановку числовых значений в расчётные формулы;
7. Расчёт погрешностей;
8. Окончательные результаты и графики (графики выполняются карандашом на миллиметровой бумаге и подклеиваются к отчёту), краткие выводы. Черновик с подписью преподавателя вкладывается в отчёт.

Лабораторная работа №21. Исследование зависимости сопротивления проводников от температуры.

- Закон Ома для участка цепи.
- Дать определение сопротивления, назвать единицу измерения сопротивления в системе СИ.
- Зонная теория. Носители тока в металлах.
- Температурный коэффициент сопротивления, его размерность и физический смысл.
- Явление сверхпроводимости. Высокотемпературная сверхпроводимость.

Лабораторная работа №27. Определение удельного заряда электрона методом магнетрона.

- Вывести выражение для силы Лоренца.
- Что собой представляет траектория заряда в магнитном поле?

- В чем заключается метод магнетрона?
- Объясните причины различия теоретической и экспериментальной кривых зависимости анодного тока от индукции магнитного поля?
- Какая индукция магнитного поля называется критической?

Лабораторная работа №28. Исследование магнитной цепи.

- В чем заключается явление самоиндукции?
- Сформулируйте закон Киргхофа.
- Что такое генри? Физический смысл индуктивности?
- Пояснить схему расчета индуктивности.
- Что называется экстратоками замыкания (размыкания)?
- Выведите формулу нарастания тока в цепи, содержащей индуктивность.
- Выведите формулу убывания тока в цепи, содержащей индуктивность.
- Дайте определение постоянной времени.
- Рассказать методику исследования электротокков.

Лабораторная работа №31. Исследование вынужденных электромагнитных колебаний.

- Почему цепь, состоящую из емкости и индуктивности, называют колебательным контуром?
- От чего зависит период свободных колебаний идеального колебательного контура ($R = 0$)? Запишите формулу Томсона.
- Как зависит коэффициент затухания от параметров контура?
- Запишите второй закон Кирхгофа для реального колебательного контура с подключенной вынуждающей ЭДС.
- Запишите дифференциальное уравнение вынужденных колебаний заряда в колебательном контуре.

Лабораторная работа №43. Исследование зависимости сопротивления полупроводников от температуры.

- Что собой представляет энергетическая диаграмма изолированного атома? кристалла?
- Что называется валентной зоной? Зоной проводимости?
- В чем различие зонных диаграмм металлов, диэлектриков, полупроводников?
- Какой полупроводник называется собственным?
- Как и почему сопротивление собственного полупроводника зависит от температуры?
- Как зависит сопротивление металлов от температуры?
- Как должно было бы зависеть сопротивление металлов от температуры согласно классической теории?

Лабораторная работа №44. Исследование полупроводникового выпрямителя.

- Полупроводниковые приборы, в которых используются физические свойства p - n -перехода.
- Типы примесной проводимости полупроводников.
- Доноры. Зонная диаграмма полупроводника n -типа.
- Акцепторы. Зонная диаграмма полупроводника p -типа.
- "Дырка".
- p - n -переход, включенный в цепь в запиорном направлении.
- p - n -переход, включенный в цепь в пропускном направлении.
- Выпрямление переменного тока.

Лабораторная работа №45. Изучение вентильного фотоэлемента.

- В чем состоит явление фотоэлектрического эффекта? Как можно объяснить зависимость фототока от освещенности с точки зрения квантовой теории света?
- Как объяснить с точки зрения зонной теории механизм собственной проводимости полупроводников? Каким путем могут быть созданы такие полупроводники?
- Чем объясняется зависимость собственной проводимости полупроводников от температуры? Какие полупроводники называются электронными (*n*-типа)?
- Какие полупроводники называются дырочными (*p*-типа)? Как создаются такие полупроводники? Каков принцип действия вентильного фотоэлемента?
- При каком соотношении между шириной запрещенной зоны и энергией кванта света может наблюдаться внутренний фотоэффект? Как возникает *p-n* переход и каковы его свойства? Что характеризует интегральная чувствительность фотоэлемента?
- Дайте определения основных фотометрических понятий: сила света, световой поток, освещенность. Как устроен селеновый фотоэлемент?
- Почему во время выполнения работы нельзя изменять положение фотоэлемента и накал нити лампы?
- Зачем внутри трубы прибора сделаны защитные ребра и почему он внутри окрашен черной матовой краской?

Рекомендации по самостоятельной подготовке студентов

Самостоятельная работа студентов по изучению отдельных тем дисциплины включает поиск учебных пособий по данному материалу, проработку и анализ теоретического материала, самоконтроль знаний по данной теме с помощью ниже перечисленных вопросов и заданий.

1. Кристаллические структуры: решетка Браве, трансляции, ячейка Вигнера-Зейтца; обратная и прямая решетки, первая зона Бриллюэна; атомные плоскости и векторы обратной решетки; индексы Миллера атомных плоскостей в твердых телах.
2. Электропроводность металлов: подвижность и дрейф носителей тока; волновые функции свободных электронов, квантование волнового вектора и импульса, энергия и сфера Ферми, средняя энергия электронов, функция плотности состояний в металле.
3. Основы зонной теории твердых тел: уравнение Шредингера для кристалла, граничные условия Борна-Кармана; волновой вектор и квазиимпульс электрона, энергия блоховских электронов, скорость блоховских электронов; эффективная масса электронов в кристалле: изоэнергетические поверхности, тензор эффективной массы.
4. Энергетические зоны в кристаллах: основные результаты решения уравнения Шредингера, расширенная зонная схема, схема приведенных зон, периодическая зонная схема; приближение сильно связанных электронов.
5. Статистика носителей заряда: равновесная концентрация носителей заряда, зависимость уровня Ферми от температуры и концентрации примеси, генерация и рекомбинация, время жизни носителей заряда, неравновесные носители заряда.
6. Кинетические явления в полупроводниках: электропроводность полупроводников, подвижность носителей и ее зависимость от концентрации примесей и температуры, диффузия и дрейф носителей заряда.
7. Контактные явления в полупроводниках: Поверхностные состояния. Обедненные, инверсные и обогащенные поверхностные слои, явления на границе полупроводник-диэлектрик; образование *p-n* перехода, его энергетическая диаграмма; резкие и плавные переходы, *p-n* переход в равновесном и неравновесном состояниях.
8. Оптические свойства полупроводников и их свойства в сильных электрических полях: Поглощение света в полупроводниках, фоторезистивный и электрооптический эффекты; туннелирование носителей тока, ударная ионизация, разогрев носителей, междолинный переход, эффект Ганна.

Контроль знаний студентов

Рубежные контрольные мероприятия

Типовой вариант теста

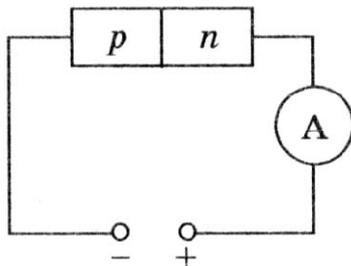
1. Какими носителями электрического заряда создается ток в полупроводниках?

- a. Электронами и дырками.
- b. Только дырками.
- c. Только электронами.

2. Каким типом проводимости обладают полупроводники с акцепторной примесью?

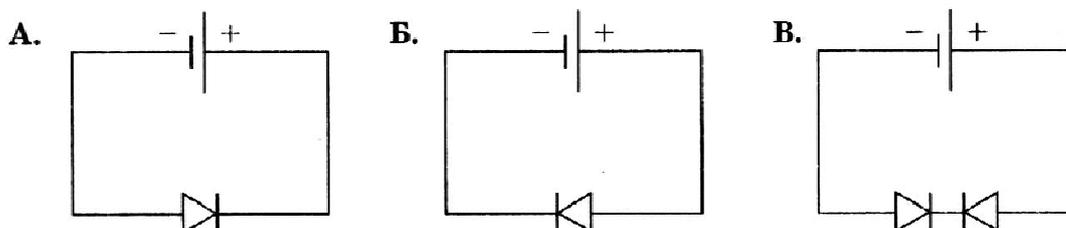
- a. В основном электронной.
- b. В основном дырочной.
- c. Электронной и дырочной.

3. К полупроводнику p-n-типа подключен источник тока, как показано на рисунке. Будет ли амперметр регистрировать ток в цепи?



- a. Определенного ответа дать нельзя.
- b. Да.
- c. Нет.

4. На представлены три варианта включения полупроводниковых диодов в электрическую цепь с одним и тем же источником тока. В каком случае сила тока в цепи будет иметь максимальное значение?



- a. В случае Б.

- b. В случае А.
- c. В случае В.

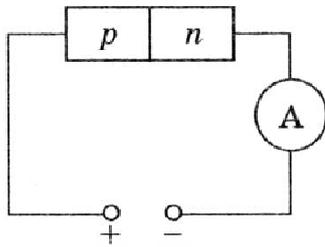
5. Каким типом проводимости обладают чистые полупроводники?

- a. Только дырочной.
- b. Только электронной.
- c. Электронной и дырочной.

6. Каким типом проводимости обладают полупроводники с донорной примесью?

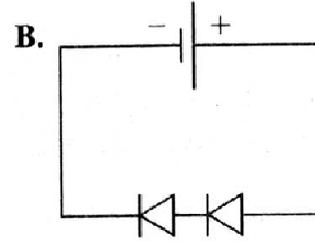
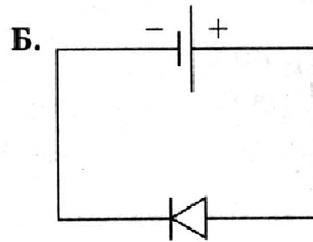
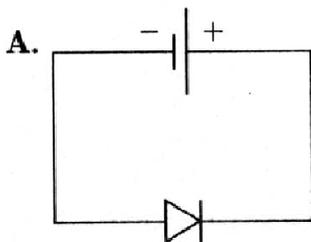
- a. В основном дырочной.
- b. В основном электронной.
- c. Электронной и дырочной.

7. К полупроводнику p-n-типа подключен источник тока, как показано на. Будет ли амперметр регистрировать ток в цепи?



- a. Да.
- b. Нет.
- c. Определенного ответа дать нельзя.

8. На представлены три варианта включения полупроводниковых диодов в электрическую цепь с одним и тем же источником тока. В каком случае сила тока в цепи будет иметь минимальное значение?



- a. В случае А.

- b. В случае.
- c. В случае Б В.

9. Чем объясняется малая толщина базы в транзисторе?

- a. Необходимо, чтобы попадающие в базу с эмиттера основные носители зарядов не успевали рекомбинировать.
- b. Необходимо, чтобы попадающие в базу с эмиттера основные носители зарядов успели рекомбинировать.
- c. Необходимо, чтобы база не создавала большого сопротивления.

10. Элемент какой группы следует ввести в полупроводник, относящийся к IV группе, чтобы получить в нем проводимость n-типа?

- a. III.
- b. II.
- c. V.
- d. IV.
- e. VI.

11. Элемент какой группы следует ввести в полупроводник, относящийся к IV группе, чтобы получить проводимость p-типа?

- a. VI.
- b. V.
- c. II.
- d. IV.
- e. III.

12. Добавление элемента V группы привело к возникновению проводимости n-типа. К какой группе относится полупроводник?

- a. III.
- b. V.
- c. II.
- d. IV.
- e. VI.

13. Какие носители тока являются основными в полупроводниках p-типа?

- a. Дырки.
- b. Электроны.

14. Какие носители тока являются неосновными в полупроводниках n-типа?

- a. Дырки.
- b. Электроны.

15. В полупроводнике ток, переносимый электронами - $I_{э}$, и ток, переносимый дырками - $I_{д}$.

Если полупроводник обладает собственной проводимостью, то какое соотношение токов будет верным?

- a. $I_{э} = I_{д}$
- b. $I_{э} < I_{д}$
- c. $I_{э} > I_{д}$

16. В полупроводнике ток, переносимый электронами - $I_{э}$, и ток, переносимый дырками - $I_{д}$.

Если полупроводник обладает проводимостью p-типа, то какое соотношение токов будет верным?

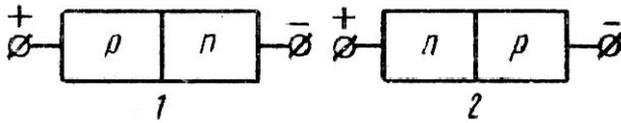
- a. $I_{э} > I_{д}$
- b. $I_{э} = I_{д}$
- c. $I_{э} < I_{д}$

17. В полупроводнике ток, переносимый электронами - $I_{э}$, и ток, переносимый дырками - $I_{д}$.

Если полупроводник обладает проводимостью n-типа, то какое соотношение токов будет верным?

- a. $I_{э} > I_{д}$
- b. $I_{э} < I_{д}$
- c. $I_{э} = I_{д}$

18. На рисунке показаны оба возможных включения p-n-перехода. Укажите, в каком случае p-n-переход включен в прямом направлении.



- a. Рисунок 1 - обратное включение, рисунок 2 - прямое.
 b. Рисунок 1 - прямое включение, рисунок 2 - обратное.

Вопросы к зачету и экзамену

1. Идеальный кристалл, решетка Браве, трансляции, примитивные ячейка и базис, ячейка Вигнера-Зейтца
2. Обратная и прямая решетки, первая зона Бриллюэна
3. Атомные плоскости и векторы обратной решетки
4. Индексы Миллера атомных плоскостей в твердых телах
5. Использование обратной решетки при описании дифракции рентгеновских лучей на кристаллах
6. Взаимодействие атомов в твердых телах
7. Теория Друде, приближения независимых и свободных электронов, подвижность и дрейф носителей тока
8. Теория Зоммерфельда: волновые функции свободных электронов, квантование волнового вектора и импульса, энергия и сфера Ферми, средняя энергия электронов, теплоемкость свободного электронного газа, функция плотности состояний в металле, электропроводность в модели свободных
9. Трудности теории свободных электронов
10. Уравнение Шредингера для кристалла, теорема Блоха, граничные условия Борна-Кармана; волновой вектор и квазиимпульс электрона, энергия блоховских электронов, энергетические зоны, скорость блоховских электронов
11. Эффективная масса электронов в кристалле: изоэнергетические поверхности, тензор эффективной массы
12. Приближения почти свободных и сильно связанных электронов
13. Физическая природа существования запрещенных зон в энергетическом спектре электронов в приближении почти свободных электронов, основные результаты решения уравнения Шредингера, расширенная зонная схема, схема приведенных зон, периодическая зонная схема
14. Приближение сильно связанных электронов
15. Собственные и примесные полупроводники
16. Плотность квантовых состояний в полупроводниках, равновесная концентрация носителей заряда, зависимость уровня Ферми от температуры и концентрации примеси, генерация и рекомбинация, время жизни носителей заряда, неравновесные носители заряда
17. Электропроводность полупроводников, подвижность носителей и ее зависимость от концентрации примесей и температуры, диффузия и дрейф носителей заряда, уравнения токов, уравнения непрерывности
18. Поверхностные состояния
19. обедненные, инверсные и обогащенные поверхностные слои, явления на границе полупроводник-диэлектрик
20. Проводимость поверхностного канала в полупроводниках
21. Образование p-n перехода, его энергетическая диаграмма
22. Резкие и плавные переходы, p-n переход в равновесном и неравновесном состояниях, прямая и обратная ветви вольтамперной характеристики

23. Поглощение света в полупроводниках, люминесценция полупроводников, фоторезистивный и электрооптический эффекты
24. Туннелирование носителей тока, ударная ионизация, разогрев носителей, междолинный переход, эффект Ганна

Библиографический список

Учебно-методическое обеспечение дисциплины «Элементы физики полупроводников» для специальности «Информационные системы и технологии»

Основная учебная литература

1. Зегря, Г. Г. Основы физики полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по направлению подгот. 210100 «Электроника и микроэлектроника» / Г. Г. Зегря, В. И. Перель ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Физматлит, 2009. – 334 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/68394/>.

Дополнительная учебная, учебно-методическая литература

1. Александров, С. Е. Технология полупроводниковых материалов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. Е. Александров, Ф. Ф. Греков ; Издательство "Лань" (ЭБС). – Изд. 2-е, испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 231 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/3554/>.

2. Бурбаева, Т. С. Сборник задач по полупроводниковой электронике [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов / Т. С. Бурбаева, Т. С. Днепровская. – Москва : Физматлит, 2004. – 168 с.

3. Определение зависимости сопротивления проводника и полупроводника от температуры [Текст] : метод. указ. к лаб. работе по физике № 43 для студ. всех спец. и всех форм обучения / М-во образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. лесотехн. акад., Сыкт. лесн. ин-т (фил.), Каф. физики ; сост. М. Ю. Демина. – Сыктывкар : СЛИ, 2003. – 15 с.

4. Определение удельного заряда электрона методом магнетрона [Электронный ресурс] : метод. указ. по выполн. лаб. работ с применением компьютерного моделирования по дисциплине "Физика" для студ. всех спец. и направлений бакалавриата всех форм обучения : самост. учеб. электрон. изд. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Сыкт. лесн. ин-т (фил.) ФГБОУ ВПО С.-Петерб. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова, Каф. физики ; сост. : Л. С. Полугрудова, М. Ю. Демина, Е. В. Илюшенко. – Электрон. текстовые дан. (1 файл в формате pdf: 2,1 Мб). – Сыктывкар : СЛИ, 2011. – on-line. – Систем. требования: Acrobat Reader (любая версия). – Загл. с титул. экрана. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com/ft/301-000184.pdf>.

5. Трофимова, Т. И. Курс физики [Текст] : учеб. пособие для инж.-техн. спец. вузов / Т. И. Трофимова. – 17-е изд., стер. – Москва : Академия, 2008. – 558 с. – (Высшее профессиональное образование).

6. Трофимова, Т. И. Курс физики. Задачи и решения [Текст] : учеб. пособие для студ. техн. вузов / Т. И. Трофимова, А. В. Фирсов. – Москва : Академия, 2004. – 592 с. – (Высшее профессиональное образование).

Дополнительная литература

1. Азерников, В. Физика [Текст] : великие открытия : энциклопедия / В. Азерников. – Москва : ОЛМА-ПРЕСС, 2001. – 270 с. : ил. – (Популярная школьная энциклопедия).

2. Аленицин, А. Г. Краткий физико-математический справочник [Текст] / А. Г. Аленицин. – Санкт-Петербург : Виктория плюс. – [Б. м.] : Петроглиф ; Москва : ЧеРо, 2007. – 544 с.

3. Кибец, И. Н. Физика [Текст] : справочник / И. Н. Кибец, В. И. Кибец. – Харьков : Фолио ; Ростов-на-Дону : Феникс, 1997. – 479 с.
4. Трофимова, Т. И. Физика. 500 основных законов и формул [Текст] / Т. И. Трофимова. – 3-е изд., стер. – Москва : Высш. шк., 2001. – 64 с.
5. Трофимова, Т. И. Физика. Справочник с примерами решения задач [Текст] / Т. И. Трофимова. – Москва : Высш. образование, 2008. – 448 с. – (Основы наук).
6. Физика [Текст] : большой энциклопед. словарь / гл. ред. Ю. В. Прохоров. – 4-е (репринт.) изд. – Москва : Большая Рос. энциклопедия, 1999. – 944 с. – (Большие энциклопедические словари).
7. Физика. Физика твердых тел (Магнитные свойства) [Текст] : реферативный журнал. – Москва : ВИНТИ. – Издаётся с 1954 года. – Выходит ежемесячно. 2010 № 1-6;

**Учебно-методическое обеспечение дисциплины
«Элементы физики полупроводников»
для специальности «Автоматизация технологических процессов и производств»**

Основная учебная литература

1. Зегря, Г. Г. Основы физики полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по направлению подгот. 210100 «Электроника и микроэлектроника» / Г. Г. Зегря, В. И. Перель ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Физматлит, 2009. – 334 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/68394/>.

Дополнительная учебная, учебно-методическая литература

1. Александров, С. Е. Технология полупроводниковых материалов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. Е. Александров, Ф. Ф. Греков ; Издательство "Лань" (ЭБС). – Изд. 2-е, испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 231 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/3554/>.
2. Бурбаева, Т. С. Сборник задач по полупроводниковой электронике [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов / Т. С. Бурбаева, Т. С. Днепровская. – Москва : Физматлит, 2004. – 168 с.
3. Определение зависимости сопротивления проводника и полупроводника от температуры [Текст] : метод. указ. к лаб. работе по физике № 43 для студ. всех спец. и всех форм обучения / М-во образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. лесотехн. акад., Сыкт. лесн. ин-т (фил.), Каф. физики ; сост. М. Ю. Демина. – Сыктывкар : СЛИ, 2003. – 15 с.
4. Определение удельного заряда электрона методом магнетрона [Электронный ресурс] : метод. указ. по выполн. лаб. работ с применением компьютерного моделирования по дисциплине "Физика" для студ. всех спец. и направлений бакалавриата всех форм обучения : самост. учеб. электрон. изд. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Сыкт. лесн. ин-т (фил.) ФГБОУ ВПО С.-Петерб. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова, Каф. физики ; сост. : Л. С. Полугрудова, М. Ю. Демина, Е. В. Илюшенко. – Электрон. текстовые дан. (1 файл в формате pdf: 2,1 Мб). – Сыктывкар : СЛИ, 2011. – on-line. – Систем. требования: Acrobat Reader (любая версия). – Загл. с титул. экрана. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com/ft/301-000184.pdf>.
5. Трофимова, Т. И. Курс физики [Текст] : учеб. пособие для инж.-техн. спец. вузов / Т. И. Трофимова. – 17-е изд., стер. – Москва : Академия, 2008. – 558 с. – (Высшее профессиональное образование).
6. Трофимова, Т. И. Курс физики. Задачи и решения [Текст] : учеб. пособие для студ. техн. вузов / Т. И. Трофимова, А. В. Фирсов. – Москва : Академия, 2004. – 592 с. – (Высшее профессиональное образование).

Дополнительная литература

1. Азерников, В. Физика [Текст] : великие открытия : энциклопедия / В. Азерников. – Москва : ОЛМА-ПРЕСС, 2001. – 270 с. : ил. – (Популярная школьная энциклопедия).
2. Аленицин, А. Г. Краткий физико-математический справочник [Текст] / А. Г. Аленицин. – Санкт-Петербург : Виктория плюс. – [Б. м.] : Петроглиф ; Москва : ЧеРо, 2007. – 544 с.
3. Кибец, И. Н. Физика [Текст] : справочник / И. Н. Кибец, В. И. Кибец. – Харьков : Фолио ; Ростов-на-Дону : Феникс, 1997. – 479 с.
4. Трофимова, Т. И. Физика. 500 основных законов и формул [Текст] / Т. И. Трофимова. – 3-е изд., стер. – Москва : Высш. шк., 2001. – 64 с.
5. Трофимова, Т. И. Физика. Справочник с примерами решения задач [Текст] / Т. И. Трофимова. – Москва : Высш. образование, 2008. – 448 с. – (Основы наук).
6. Физика [Текст] : большой энциклопед. словарь / гл. ред. Ю. В. Прохоров. – 4-е (репринт.) изд. – Москва : Большая Рос. энциклопедия, 1999. – 944 с. – (Большие энциклопедические словари).
7. Физика. Физика твердых тел (Магнитные свойства) [Текст] : реферативный журнал. – Москва : ВИНТИ. – Издается с 1954 года. – Выходит ежемесячно. 2010 № 1-6;