



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального  
образования  
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФГБОУ ВПО «ИГУ»  
Кафедра электроники твердого тела



УТВЕРЖДАЮ

2013 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Код дисциплины БЗ.В.ДВ.1.2

Наименование дисциплины (модуля) Твердотельная электроника (практикум)

Рекомендуется для направления (ий) подготовки специальности (ей)

210100.62 Электроника и нанoeлектроника

Профиль подготовки Материалы и компоненты  
твердотельной электроники

Степень (квалификация) выпускника бакалавр

Согласовано с УМК факультета (института)

Протокол № 30 от «12» 12 2013 г.

Председатель [Signature]

Рекомендовано кафедрой:

электроники твердого тела

Протокол № 4

От «17» 12 2013 г.

Зав.кафедрой профессор д.ф.-м.н. А.А. Гаврилюк

Иркутск 2013 г.



## Содержание

<b>1. Цели и задачи дисциплины (модуля)</b> .....	3
<b>2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП:</b> ..... <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
<b>3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):</b> .....	4
<b>4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы</b> .....	5
<b>5. Содержание дисциплины (модуля)</b> .....	6
5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля).....	6
5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями) .....	6
5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий .....	7
<b>6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ</b> .....	7
<b>7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)</b> .....	8
<b>8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):</b> .....	8
<i>а) основная литература</i> .....	8
<i>б) дополнительная литература</i> .....	8
<i>в) программное обеспечение</i> .....	8
<i>г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i> .....	8
<b>9. Материально-техническое обеспечение дисциплины:</b> .....	8
<b>10. Образовательные технологии:</b> .....	9
<b>11. Оценочные средства (ОС):</b> .....	9



## 1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Целью дисциплины является ознакомление студентов с физическими основами функционирования устройств твердотельной электроники и микроэлектроники, а также с методами исследования их физических характеристик.

Задачи дисциплины: В результате выполнения практикума студенты должны иметь представления об основных физических принципах, лежащих в основе устройств, используемых в современной электронике.

На основании полученных знаний студенты должны уметь правильно интерпретировать характеристики устройств твердотельной электроники для получения необходимых выходных сигналов.

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП и общая трудоемкость

Практикум предназначен для поддержки теоретического курса по дисциплине “Твердотельная электроника”, которая является дисциплиной профессионального цикла и относится к вариативной части (дисциплины по выбору). Код учебного цикла БЗ.

Дисциплина “Твердотельная электроника” опирается на математическую дисциплину “Математический анализ” (Б2.Б.1.1), “Теория вероятностей и математическая статистика” (Б2.Б1.4), “Физика конденсированного состояния” (Б3.Б5), “Физические основы электроники”, (Б3.Б7), “Основы проектирования электронной компонентной базы” (Б3.В.ОД.3).

**Освоение дисциплины** необходимо для освоения курсов “Микроэлектроника” (Б3.В.ДВ.2.1) и “Материалы электронной техники” (Б3.В.ОД.7).

Общая трудоемкость - 1 зачетная единица

### **Знания, умения и навыки, формируемые в результате освоения дисциплины**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **знать** принципы использования физических эффектов в приборах и устройствах твердотельной электроники, их параметры и характеристики;

**уметь**: оценивать пределы классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах наноэлектроники;

**обеспечивать** технологическую и конструктивную реализацию приборов и устройств электроники, применять методы расчёта параметров и характеристик приборов и устройств твердотельной электроники.

**владеть**: методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники

### **Задачи практикума:**



- познакомить студента с основными характеристиками элементов твердотельной электроники;
- снабдить студентов знаниями о принципах действия приборов твердотельной электроники;
- познакомить с основными физическими эффектами, наблюдаемыми в таких приборах;
- выработать у студентов навыки экспериментальных исследований характеристик элементов твердотельной электроники

Знания и умения, приобретённые при изучении этого предмета, будут востребованы при выполнении курсовых и дипломных работ и в процессе будущей профессиональной деятельности.

Лабораторный комплекс данного практикума позволяет научить студентов работать с аппаратурой для измерения параметров элементов твердотельной электроники.

### **Выписка из Государственного образовательного стандарта**

*Федеральный компонент ГОС подготовки бакалавра по направлению 210100.62 Электроника и нанoeлектроника не содержит указаний к обязательному минимуму основной образовательной программы по дисциплине «Твердотельная электроника».*

Цели, задачи и требования к уровню содержания дисциплины приведены в рабочей программе.

*Учебно-методическим объединением классических университетов не разработаны рекомендации по примерной учебной программе данной дисциплины.*

### **3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):**

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих **общекультурных (ОК) профессиональных компетенций (ПК):**

- способностью использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук (ОК-1);
- способностью выстраивать и реализовывать перспективные линии интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования (ОК-5).
- способностью использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способностью применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);



*научно-исследовательские*

- способностью эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование (ПК-3);
- способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-4);
- способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-5);
- способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-6);
- способностью понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований (ПК-8);
- способностью понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований (ПК-10)

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры			
		7			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	18	18			
В том числе:		-	-	-	-
Лекции					
Практические занятия (ПЗ)					
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)	18	18			
КСР	4	4			
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	14	14			
В том числе:	-	-	-	-	-
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы					
Реферат (при наличии)					
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
Отчет по лабораторной работе*					
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)		зачет			
<b>Общая трудоемкость</b> часы	36	36			



зачетные единицы	1	1			
------------------	---	---	--	--	--

\*В ходе лабораторных работ студент готовит отчет, включающий в себе следующие элементы: описание эксперимента, схема, таблицы экспериментальных данных, осциллограммы (в виде скриншотов), ответы на контрольные вопросы.

## 5. Содержание дисциплины (модуля)

### 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

#### **Раздел 1. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника**

- 1.1. Зонная структура твердого тела. Собственная и примесная проводимость полупроводника.
- 1.2. Температурная зависимость проводимости полупроводника
- 1.3. Экспериментальная установка для измерения температурной зависимости проводимости полупроводника
- 1.4. Обработка результатов измерений

#### **Раздел 2. Исследование собственной и примесной фотопроводимости полупроводника**

- 2.1. Внутренний фотоэффект в полупроводнике
- 2.2. Роль примесных уровней в характеристиках фотоэффекта
- 2.3. Экспериментальная установка
- 2.4. Калибровка монохроматора
- 2.5. Спектральная зависимость фототока полупроводника

#### **Раздел 3. Определение времени жизни, подвижности и диффузионной длины неравновесных носителей заряда в полупроводнике**

- 3.1. Равновесная и неравновесная концентрация носителей в полупроводнике
- 3.2. Диффузия неравновесных носителей, основное уравнение, диффузионная длина
- 3.3. Ток проводимости и диффузионный ток
- 3.4. Экспериментальная установка
- 3.5. Определение подвижности носителей в полупроводнике по данным измерений

### 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1.	“Микроэлектроника” (БЗ.В.ДВ.2.1)	Раздел 1, раздел 2,
2.	“Материалы электронной техники” (БЗ.В.ДВ.5.3)	Раздел 2, раздел 3
3.		



### 5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					
			Лек ц.	Прак т. зан.	Сем.	Лаб. зан.	СРС	Всего
1.	Раздел 1	Определение ширины запрещенной зоны полупроводника				6	4	10
2	Раздел 2	Исследование собственной и примесной фотопроводимости полупроводника				6	4	10
3	Раздел 3	Определение времени жизни, подвижности и диффузионной длины неравновесных носителей заряда в полупроводнике				8	4	12

### 6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Труд осмк ость (часы )	Оценочные средства	Форм ируем ые компе тенци и
1	2	3	4	5	6
1	Раздел 1	Определение ширины запрещенной зоны полупроводника	10	Отчет по лаб.раб., собеседован ие	ПК-1 ПК-2 ПК-3
2	Раздел 2	Исследование собственной и примесной фотопроводимости полупроводника	10	Отчет по лаб.раб., собеседован ие	ПК-4 ОК-1 ОК-18



	Раздел 3	Определение времени жизни, подвижности и диффузионной длины неравновесных носителей заряда в полупроводнике	12	Отчет по лаб. раб., собеседование	ОК-20
--	----------	---	----	-----------------------------------	-------

### 7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не предусмотрены.

### 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

#### а) основная литература

- 1) **Зегря Г.Г., Перель В.И.** Основы физики полупроводников: учебное пособие - ФИЗМАТЛИТ, 2009 – 234 с.
- 2) **Павлов П. В., Хохлов А. Ф.** Физика твердого тела. М: Высшая школа, 2000– 494 с.
- 3) **Физика твердого тела.** Под ред. Верещагина И.К. М.: Высшая школа, 2001. – 237 с.
- 4) **Шалимова К.В.** Физика полупроводников . М.: Энергоатомиздат, 1985. – 342 с.

#### б) дополнительная литература

- 1) Фистуль В.И. Физика и химия твердого тела – М.: Металлургия, 1995. Т.1. – 352 с.
- 2) Павлов Л.П. Методы измерений параметров полупроводниковых материалов – М.: Высш. Шк., 1987. – 239 с.
- 3) Практикум по полупроводникам и полупроводниковым приборам. Под ред. К.В. Шалимовой – М.: Высшая школа. 1988 – 464 с.

#### в) программное обеспечение

#### г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- 1) [www.ni.com\russia](http://www.ni.com/russia)
- 2) <http://www.labview.ru/>
- 3) <http://library.isu.ru/ru>

### 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

- 1) Лабораторный стенд по определению ширины запрещенной зоны полупроводника
- 2) Лабораторный стенд по исследованию собственной и примесной фотопроводимости полупроводника.
- 3) Лабораторный стенд для определения времени жизни, подвижности и диффузионной длины неравновесных носителей заряда в полупроводнике с соответствующим программным обеспечением



- 4) Имеются списки заданий и методическое руководство в электронном и печатном виде.

#### 10. Образовательные технологии:

Новые знания студенты получают самостоятельно из методических описаний. Практическим навыкам они обучаются при выполнении лабораторных работ под руководством преподавателя. Студенты выполняют работы небольшими группами, обсуждая последовательность действий, и вместе анализируют полученные результаты.

#### 11. Оценочные средства (ОС):

Форма промежуточного контроля: собеседование во время лабораторных работ, проверка отчетов. Для допуска к итоговому зачёту требуется полностью выполнить все лабораторные, сдать отчеты и обсудить с преподавателем полученные результаты по каждой работе, получив при этом отметку о сдаче.

Итоговый контроль – зачет по результатам выполнения лабораторных работ.

##### 11.1. Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса студент должен знать основы физики твердого тела, уметь пользоваться компьютером, прослушать подробную инструкцию по правилам безопасности при работе с экспериментальной техникой.

##### 11.2. Оценочные средства текущего контроля

Примерные вопросы для текущего контроля:

- 1) Каков энергетический спектр электронов в полупроводнике?
- 2) Какой вид имеют температурные зависимости собственной и примесной проводимости в полупроводнике?
- 3) Что характеризует уровень Ферми?
- 4) Как зависит фототок от частоты и интенсивности падающего тока?
- 5) Изобразите графически температурную зависимость уровня Ферми в собственном, электронном и дырочном полупроводниках.
- 6) Почему фотосопротивления изготавливаются из тонких пленок, пропускающих заметную часть светового потока?
- 7) Какие носители заряда в полупроводнике называются основными и неосновными?
- 8) Какие способы генерации неосновных носителей вы знаете ?
- 9) Почему в эксперименте 3 измеряется ток неосновных носителей?
- 10) От каких факторов зависит время жизни неосновных носителей заряда в полупроводнике?



Пример заданий к лабораторным занятиям:

**1. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника.**

1.1. В процессе остывания печи измерить сопротивление между контактами зонда, каждый раз предварительно переводя тумблер в положение “Выкл.” после измерения температуры или сопротивления. Измерения проводить каждые 10 градусов от 160 до 80 °С. Результаты занести в таблицу

1.2. Построить зависимость удельной проводимости от параметра  $1/T$ . Аппроксимировать экспериментальную кривую зависимостью вида  $\ln \sigma$ . Найти величину  $\sigma_0$  и по ней определить ширину запрещенной зоны

**2. Исследование собственной и примесной фотопроводимости полупроводника**

2.1. С помощью неоновой лампы прокалибруйте монохроматор по наиболее ярким линиям спектра неона: желтой и красной.

2.2. Смените источник света на лампу накаливания с непрерывным спектром. Плавно вращая барабан монохроматора, снимите зависимость проводимости полупроводника от длины волны.

2.3. Определите длину волны, при которой проводимость достигает максимального значения, рассчитайте по ней ширину запрещенной зоны полупроводника

**3. Определение времени жизни, подвижности и диффузионной длины неравновесных носителей заряда в полупроводнике**

3.1. Установите переключатель в положение «6.0 мм» (ширина щели), синхронизируйте сигнал на мониторе. С помощью маркера правой клавиши мыши определите ширину фронта по уровню 0.7 амплитудного значения напряжения. Учтя, что полная длина полоски полупроводника составляет 6 мм, примите эту величину в качестве опорной.

3.2. Те же действия выполните для положений переключателя «2 мм» и «0.5 мм». Определите для этих значений ширины щели соответствующие параметры  $\tau$ . Вычитая из них полученное в п.1 значение  $\tau_0$  определите время диффузии носителей для этих случаев. С помощью найденных величин вычислите значение коэффициента диффузии  $D$ . Оцените по формуле Эйнштейна подвижность носителей.

3.3. Определите величину подвижности для двух значений ширины щели, оцените среднее время жизни и диффузионную длину, предполагая эффективную массу электрона равной его «обычной» массе.


11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Примерный список контрольных вопросов к отчетам по лабораторным работам

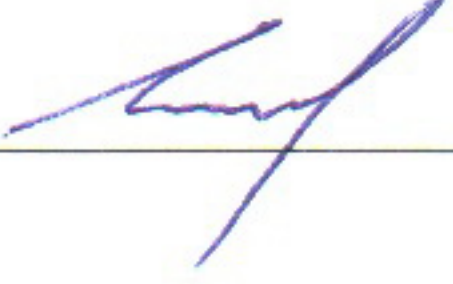
См. п.11.2.



**Разработчик:**

 профессор, зав.кафедрой, д.ф.-м.н. В.Л., Паперный  
(подпись) (занимаемая должность) (инициалы, фамилия)

Программа рассмотрена на заседании кафедры электроники твердого тела ИГУ  
«17» 12 2013 г.

Протокол № 4 Зав. кафедрой, \_\_проф., д.ф.-м.н.  А.А. Гаврилюк