

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

А.Л. Толстик

Регистрационный № УД-1359/баз.

## ОСНОВЫ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

Направление:

1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

Минск 2014

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**А.В. Мазаник** — доцент кафедры энергофизики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

*Рецензенты:*

**В.Б. Залесский** — зав. лабораторией фотоэлектронных преобразователей Института физики НАН Беларуси;

**Ю.М. Покотило** — доцент кафедры физической информатики и атомно-молекулярной физики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой энергофизики физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № от 2014 г.);

Ученым советом физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № от 2014 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета  
(протокол № от 2014 г.

Ответственный за редакцию: А.В. Мазаник

Ответственный за выпуск: А.В. Мазаник

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Подготовка специалистов на кафедре энергофизики предполагает получение ими фундаментального образования в области материаловедения. Одной из важнейших областей применения многих твердотельных материалов является электроника. В этой связи, целью данного учебного курса является раскрытие взаимосвязи между свойствами материалов и характеристиками электронных приборов, изготовленных на их основе. С учетом того, что выпускники кафедры должны приобрести серьезные знания в области использования возобновляемых источников энергии, значительное внимание уделено изучению процессов в р-п-переходе как базовой структуре для фотовольтаического преобразования энергии, а также термоэлектрического преобразования энергии.

Курс базируется на ранее читаемых спецкурсах «Введение в физику конденсированных сред» и «Неравновесные и оптические процессы в конденсированных средах», а также общем курсе «Радиоэлектроника».

Программа курса рассчитана на 46 часов лекций и 16 часов контролируемой самостоятельной работы студента. Форма отчётности — зачет и экзамен.

## ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Название темы	Лекции	Управляемая самостоятельная работа	Всего
1.	Физические явления в <i>p-n</i> переходе. Полупроводниковые диоды	20	0	20
2.	Физические принципы работы полевых транзисторов	6	0	6
3.	Физические принципы работы биполярного транзистора	10	0	10
4.	Датчики	4	2	6
5.	Специальные типы дискретных полупроводниковых приборов	2	2	4
6.	Микроэлектроника и производство интегральных схем	4	6	10
	Решение задач	0	6	6
	Итого	46	16	62

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **1. Физические явления в $p-n$ переходе. Полупроводниковые диоды**

Основные уравнения, описывающие процессы в полупроводниковых приборах. Равновесное состояние  $p-n$  перехода. Барьерная емкость обратносмещенного  $p-n$  перехода.  $p-n$  переход при наличии внешнего смещения. Математическая модель. Уравнение Шокли. Пробой  $p-n$  перехода. Работа диода в режиме малого сигнала. Математическая модель. Эквивалентная схема диода. Работа диода в режиме малого сигнала. Математическая модель. Эквивалентная схема диода. Процессы переключения в диоде. Режим большого сигнала. Выпрямительные, импульсные и СВЧ диоды. Варикапы. Варисторы.  $p-i-n$  диоды. Контакт «металл-полупроводник». Диоды Шоттки. Гетеропереходы. Светоизлучающие диоды. Полупроводниковые лазеры. Современные подходы к созданию светоизлучающих диодов. Полупроводниковые фотодиоды. Режимы работы. Фотоэлектрические свойства диодных структур на основе элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений. Влияние ионизирующего излучения на их свойства.

### **2. Физические принципы работы полевых транзисторов**

Идеальный МДП конденсатор. Поверхностный заряд. Вольт-фарадные характеристики. Пороговое напряжение. Реальный МДП конденсатор. Напряжение плоских зон. МДП транзистор. Структура и принцип работы. Рабочие характеристики. Полевой транзистор с управляющим  $p-n$  переходом. Структура и принцип работы. Рабочие характеристики.

### **3. Физические принципы работы биполярного транзистора**

Структура и принцип действия биполярного транзистора. Схемы включения. Параметры на постоянном токе. Частотные свойства транзистора. Явления, наблюдаемые при большом уровне инжекции. Модель Эберса-Молла. Распределение концентраций носителей заряда в эмиттере, базе и коллекторе. Эквивалентная схема. Работа транзистора в режиме малого сигнала. Эквивалентная схема. Транзистор в режиме переключения. Тиристоры.

### **4. Датчики**

Датчики температуры. Датчики магнитного поля. Датчики на основе эффекта Холла. Датчики на основе магниторезистивного эффекта. Механизмы возникновения магниторезистивного эффекта. Датчики деформации. Влияние всесторонней и одноосной деформации на параметры полупроводникового кристалла.

### **5. Специальные типы дискретных полупроводниковых приборов**

Термоэлектрические полупроводниковые устройства. Эффективность термоэлектрического преобразования энергии и термоэлектрическая добротность. Современные подходы к получению высокоэффективных термо-

электрических материалов. Туннельные диоды. Диоды Ганна. Лавинно-пролетные диоды. Приборы с зарядовой связью.

### **6. Микроэлектроника и производство интегральных схем**

Микроэлектроника и интегральные схемы (ИМС). Классификация ИМС. Преимущества и недостатки ИМС. Монокристаллический кремний как базовый материал микроэлектроники: основные этапы получения и контроля параметров. Основные принципы и этапы создания ИМС. Сравнительный анализ КМОП и биполярной технологий. Перспективы развития КМОП технологии. Сокращение размеров и принцип масштабирования. Проблемы суб-100 нм технологии. Использование квантоворазмерных эффектов в современной электронике и фотонике.

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Рекомендуемые формы диагностики знаний

1. Тестовые задания (решение задач)
2. Реферативные работы

### Рекомендуемые темы тестовых заданий

1. Полупроводниковые диоды.
2. Полевые транзисторы.
3. Биполярные транзисторы

### Рекомендуемые темы реферативных работ

1. Туннельные диоды.
2. Диоды Ганна.
3. Лавинно-пролетные диоды.
4. Приборы с зарядовой связью.
5. Фотоприемники.
6. Датчики температуры.
7. Термоэлектрические полупроводниковые приборы.
8. Материалы для термоэлектрического преобразования энергии
9. Основные этапы создания интегральных микросхем.

### Рекомендуемая литература

#### А. Основная

1. Викулин И.М. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
2. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М.: Сов. радио, 1980. – 424 с.
3. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир, 1984. – 912 с.
4. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника. – М.: Высшая школа, 1991. – 352 с.
5. Гуртов В.Л. Твердотельная электроника. – М.: Техносфера, 2008. – 512 с.

#### Б. Дополнительная

6. Тилл У., Лаксон Дж. Интегральные схемы: материалы, приборы, изготовление. – М.: Мир, 1985. – 504 с.
7. Пароль Н.В., Кайдалов С.А. Фоточувствительные приборы и их применение. – М.: Радио и связь, 1991. – 112 с.
8. Гременок В.Ф., Тиванов М.С., Залесский В.Б. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. – Мн.: Издательский центр БГУ, 2007. – 222 с.
9. Дмитриев, А.В. Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов/ А.В. Дмитриев, И.П. Звягин // УФН. – 2010. – Т. 180, №8. – С. 821-838.
10. Gaponenko, S.V. Introduction to Nanophotonics. – Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paulo, Delhi, Dubai, Tokyo: Cambridge University Press, 2010. – 465 p.
11. Effective lightening (e-book, <http://energy.rtu.lv/>).