

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ИНСТИТУТ «НЕФТИ И ГАЗА ИМ. М.С. ГУЦЕРИЕВА»  
Кафедра «ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА»

*В.П. Иванников*

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

*Учебное пособие*



Ижевск 2019

УДК 612.3.049.77(075.8)  
ББК 32.844.1я73  
И199

*Рецензент: доктор технических наук, профессор Ломаев Г.В.*

**Иванников Валерий Павлович**

И199 Информационно-измерительная техника и электроника: Учебное пособие / В.П. Иванников – Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2019. – 412 с.

**ISBN 978-5-4312-0676-4**

В учебном пособии, в соответствии ФГОС ВО и рабочей программой по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника» для студентов, обучающихся в УдГУ по направлению подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника» дано описание физических процессов в твёрдых телах, полупроводниковых материалах, основных элементах интегральных схем – биполярных и полевых транзисторах, их особенностей в интегральном исполнении. Рассмотрены физические основы микроэлектроники, основные типы полупроводниковых электронных приборов, этапы совершенствования и «ступени интеграции» электронной аппаратуры, схемотехника и ключевые технологии производства интегральных микросхем. Рассмотрены интегральные схемы на биполярных и полевых транзисторах; основные схемотехнические решения интегральных схем цифровой и аналоговой электроники: логические элементы и комбинационные логические схемы; счетчики, регистры, запоминающие устройства; преобразователи кодов, индикаторы. Рассмотрены физические и технологические ограничения производства и миниатюризации изделий микроэлектроники, назначение, основные функции и примеры применения измерительно-информационных систем (ИИС) и измерительно-вычислительных комплексов в промышленном производстве и управлении.

ISBN 978-5-4312-0676-4

© Иванников В.П., 2019  
© ФГБОУ ВО «Удмуртский  
государственный университет», 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	5
<b>РАЗДЕЛ I. ФИЗИКА КРИСТАЛЛОВ.....</b>	<b>10</b>
Глава 1. Основы физики кристаллов.....	13
§ I.1.1. Идеальные кристаллы.....	13
§ I.1.2. Реальные кристаллы.....	28
Глава 2. Виды химической связи в кристаллах.....	44
§ I.2.1. Классификация кристаллов по видам химической связи между атомами.....	44
§ I.2.2. Равновесное состояние решетки.....	51
Глава 3. Диффузия в твердых телах.....	57
§ I.3.1. Механизм диффузии.....	57
§ I.3.2. Математическая теория диффузионных процессов.....	63
§ I.3.3. Диффузия примесей в германии и кремнии.....	72
§ I.3.4. Окисление кремния.....	77
Резюме.....	80
<b>РАЗДЕЛ II. Физические основы микроэлектроники.....</b>	<b>83</b>
Глава 1. Классификация твердых тел по механизму электропроводности.....	84
§ II 1.1. Электронная теория проводимости металлов.....	84
§ II 1.2. Электропроводность полупроводников и изоляторов.....	87
Глава 2. Основы квантовой теории электропроводности.....	92
§ II.2.1. Теория атома Бора.....	92
§ II.2.2. Элементы зонной теории твердого тела.....	97
§ II.2.3. Возможные типы зонных структур.....	99
§ II.2.4. Зоны запрещенных энергий.....	104
§ II.2.5. Электропроводность полупроводников.....	110
Глава 3. Явления переноса носителей заряда в полупроводниках.....	118
§ II.3.1. Контакт двух полупроводников.....	118
§ II.3.2. Основные типы полупроводниковых электронных приборов.....	127
§ II.3.3. Схемы применения полупроводниковых триодов.....	132
§ II.3.4. Полупроводниковые выпрямители.....	134
§ II.3.5. Полупроводниковые усилители.....	136
Резюме.....	141
<b>РАЗДЕЛ III. ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМОТЕХНИКА. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА.....</b>	<b>143</b>
§ III.1. Основные постулаты алгебры логики.....	149
§ III.2. Самые простые вентиляльные схемы: И, ИЛИ, НЕ ИЛИ и НЕ И.....	155
§ III.3. Цифровые стандартные блоки.....	165
§ III.4. Логические цепи.....	169
§ III.5. Аналого-цифровые преобразователи.....	177
§ III.6. Дополнительные замечания по поводу АЦП.....	186
§ III.7. Мультиплексоры и демультимплексоры.....	191
§ III.8. Шифраторы, дешифраторы и семисегментные индикаторы.....	193
§ III.9. Тристабильные элементы. Буферы.....	196
§ III.10. Полупроводниковая память.....	197
Резюме.....	200

<b>РАЗДЕЛ IV. СХЕМОТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИМС.....</b>	<b>203</b>
<b>Глава 1. Основы развития современной микроэлектроники.....</b>	<b>206</b>
§ IV.1.1. Компоненты микроэлектроники и современные основания развития микроэлектроники.....	208
§ IV.1.2. Этапы совершенствования и «ступени интеграции» электронной аппаратуры.....	223
§ IV.1.3. Ключевые технологии производства интегральных микросхем (ИМС).....	227
§ IV.1.4. Методы изоляции элементов ИМС.....	238
§ IV.1.5. Большие и сверхбольшие интегральные схемы.....	243
<b>Глава 2. Литография – базовый инструмент планарной технологии производства ИМС.....</b>	<b>248</b>
§ IV.2.1. Фотолитография.....	248
§ IV.2.2. Этапы фотолитографического процесса.....	250
§ IV.2.3. Виды и технологии литографии.....	263
<b>Глава 3. Технологические возможности и ограничения миниатюризации ИМС.....</b>	<b>267</b>
§ IV.3.1. Процесс создания совершенных кристаллов.....	268
§ IV.3.2. Окисление.....	271
§ IV.3.3. Литография и травление.....	273
§ IV.3.4. Легирование.....	279
§ IV.3.5. Металлизация, напыление и нанесение пленок.....	285
§ IV.3.6. Подготовка кристаллов ИМС к сборке в корпусах.....	285
<b>Глава 4. Критерии и ограничения миниатюризации изделий микроэлектроники...289</b>	<b>289</b>
§ IV.4.1. Критерии миниатюризации ИМС.....	289
§ IV.4.2. Технологические ограничения производства и миниатюризации изделий микроэлектроники.....	291
§ IV.4.3. Топологические пределы микроминиатюризации ИМС.....	301
§ IV.4.4. Физические пределы микроминиатюризации.....	309
§ IV.4.5. От микроэлектроники и микроэлектронных технологий к наноэлектронике и наноэлектронным технологиям.....	319
<b>Резюме.....</b>	<b>325</b>
<b>РАЗДЕЛ V. ИНФОРМАЦИОННО ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....</b>	<b>329</b>
§ V.1. Роль информационных процессов в развитии человеческого общества.....	331
§ V.2. Возможности использования персонального компьютера.....	332
§ V.3. Информационные возможности персонального компьютера.....	334
§ V.4. Вычислительные ресурсы персонального компьютера.....	345
§ V.5. Профессионал-непрограммист вместо программиста-профессионала.....	350
§ V.6. Назначение и основные функции измерительно-информационных систем (ИИС).....	353
§ V.7. Применение ИИС и измерительно-вычислительных комплексов в промышленном производстве и управлении.....	354
§ V.8. Примеры применения ИИС в промышленном производстве.....	365
<b>Литература.....</b>	<b>404</b>