



ПОЛУПРОВОДНИКИ

В ДОМЕ ПРЕЗИДЕНТА ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ КОМПАНИИ, ГДЕ ЖИВЕТ ЕГО СЫН СТУДЕНТ ЮТАКА, ПОЯВЛЯЕТСЯ НОВАЯ ГОРНИЧНАЯ МЭИ. НЕОЖИДАННО ВЫЯСНЯЕТСЯ, ЧТО ЕЁ ДАВНО ИНТЕРЕСУЮТ ПОЛУПРОВОДНИКИ. МЭИ ПРОСТО НЕ ЗНАЕТ ТАКОГО СЛОВА, И ЮТАКА СОГЛАШАЕТСЯ ДАВАТЬ ЕЁ ЧАСТНЫЕ УРОКИ.

ЮТАКА РАССКАЗЫВАЕТ, ЧЕМ ПОЛУПРОВОДНИКИ ОТЛИЧАЮТСЯ ОТ ПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ И ПОЧЕМУ БЛАГОДАРЯ ИМ ПОЯВЛЯЕТСЯ ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАВАТЬ ПРИБОРЫ С УДИВИТЕЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ. ДАЛЕЕ РАССКАЗ ВЕДЁТСЯ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ЭТИХ ПРИБОРОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИИ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ, КОТОРЫМИ НАСЫЩЕНА ВСЯ СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА.

КНИГА ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ И СТУДЕНТОВ (НО НЕ ТОЛЬКО), ОКРУЖЁННЫХ СМАРТФОНАМИ, ПЛАНШЕТАМИ, НОУТБУКАМИ И ЖЕЛАЮЩИХ НАКОНЕЦ ВЫЯСНИТЬ, ЧТО ЖЕ ВСЁ-ТАКИ ЛЕЖИТ В ОСНОВЕ ВСЕГО ЭТОГО МНОГООБРАЗИЯ!

Интернет-магазин:
www.dmkpress.com

Оптовая продажа:
КТК "Галактика"
books@aliens-kniga.ru

DMK
Издательство
www.dmk.rf

ISBN 978-5-97060-677-3



9 785970 606773 >

ПОЛУПРОВОДНИКИ

Сибутани Митио
Такаяма Яма

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА
ПОЛУПРОВОДНИКИ



Сибутани Митио
Такаяма Яма
TREND-PRO Co., Ltd.



DMK
Издательство

DMK
Ohmska

Занимательная физика

Полупроводники

Манга

マンガでわかる

半導体

渋谷 道雄 / 著
高山 ヤマ / 作画
トレンド・プロ / 制作



ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ МАНГА

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

ПОЛУПРОВОДНИКИ

Сибутани Митио

Художник Такаяма Яма

Перевод А. С. Слащева

Редактор И. А. Сенников



ДМК
ПРЕСС
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Москва
ДМК Пресс, 2019

УДК 621.315.592
ББК 22.379
С34

Сибутани Митио

С34 Занимательная физика. Полупроводники. Манга / Сибутани Митио (автор), Такаяма Яма (худ.); пер. с яп. А. С. Слащевой. — М.: ДМК Пресс, 2019. — 198 с.: ил. — (Серия «Образовательная манга»). — Доп. тит. л. яп.

ISBN 978-5-97060-677-3

В доме президента полупроводниковой компании, где живет его сын студент Ютака, появляется новая горничная Мэй. Неожиданно выясняется, что её давно интересуют полупроводники. Мэй просто не знает такого слова, и Ютака соглашается давать ей частные уроки.

Ютака рассказывает, чем полупроводники отличаются от проводников и диэлектриков и почему благодаря им появляется возможность создавать приборы с удивительными свойствами. Далее рассказ ведётся о характеристиках этих приборов и их применении в интегральных схемах, которыми насыщена вся современная электронная техника.

Книга предназначена для школьников и студентов (но не только), окружённых смартфонами, планшетами, ноутбуками и желающих наконец выяснить, что же всё-таки лежит в основе всего этого многообразия!

УДК 621.315.592
ББК 22.379

Manga de Wakaru handōtai (Manga Guide: Semiconductors)
By Michio Shibuya (Author) and Yama Takayama (Illustrator)
Published by Ohmsha, Ltd.

Russian language edition copyright © 2019 by DMK Press

Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, ксерокопирование или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

ISBN 978-4-274-06803-4 (яп.) Copyright © 2010 Produced by TREND-PRO Co., Ltd.
ISBN 978-5-97060-677-3 (рус.) © Перевод, оформление, издание, ДМК Пресс, 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Мне думается, многие читатели ожидают, что под обложкой книги «Занимательная физика. Полупроводники» окажется простой учебник для начинающих.

Так это или нет, но цель этой книги состоит в том, чтобы объяснить с позиций физики свойства полупроводников и рассказать, как их используют в электронных схемах. Полупроводникам посвящено множество учебников, однако в них больше внимания уделяется современным технологиям, а вовсе не физическим свойствам этих материалов.

В результате такого подхода у автора сложилось впечатление, что такие книги дают только поверхностные знания, владение которыми не позволяет продвигаться на следующую ступень в изучении материала. Под следующей ступенью я имею в виду даже не энциклопедические познания, а тот, более высокий, уровень знаний, который достигается в результате интереса к теме.

В настоящее время полупроводники производят в промышленных масштабах и весьма широко используют в повседневной жизни, но это еще не значит, что все явления, благодаря которым этот феномен их распространения стал возможным, нашли теоретическое объяснение. Однако многое можно разъяснить с позиций квантовой механики и физики твердого тела — теоретических дисциплин, которые в свое время заложили фундамент для появления новых идей.

В этой книге автор попытался объяснить необходимые положения, с помощью которых можно ухватить суть этого феномена, и в то же время старался по возможности избегать простых примеров, которые часто встречаются в учебниках.

Если вы знаете, как связаны атомы в кристаллах, как поток электронов создает электрический ток и т. п., то вам станет ясно, как работают полупроводники.

Апрель 2010

Сибутани Митио



СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	VI
-------------------------	-----------

Пролог

Я, ГОРНИЧНАЯ И РИС КАРРИ	1
---------------------------------------	----------

Глава 1

ЧТО ТАКОЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ.....	7
--------------------------------------	----------

1 Что такое полупроводники	8
----------------------------------	---

2 "Промышленный рис"	12
----------------------------	----

3 Как увеличить производительность ИС	15
---	----

4 ИС не только в ПК.....	19
--------------------------	----

5 Подведем итог	30
-----------------------	----

Глава 2

АНАЛОГОВЫЙ И ЦИФРОВОЙ МИР	35
--	-----------

1 Пять аналоговых чувств.....	36
-------------------------------	----

2 Цифровое - только 0 и 1?	41
----------------------------------	----

3 Дискретизация и квантование	45
-------------------------------------	----

4 Цифровой сигнал.....	52
------------------------	----

5 Подведем итог	59
-----------------------	----

Глава 3

ИЗ ЧЕГО ДЕЛАЮТ ПОЛУПРОВОДНИКИ..... 69

- 1 Сравнение проводников (металлов, полуметаллов). 70
- 2 Кремний и германий 77

Глава 4

АТОМЫ, МИНИМАЛЬНЫЕ ЧАСТИЦЫ ВЕЩЕСТВА ... 83

- 1 Строение атома и периодическая система. 84
- 2 Подведем итог 109

Глава 5

КРИСТАЛЛ КРЕМНИЯ И НЕМНОГО ПРИМЕСЕЙ 115

- 1 Энергетические зоны примесных полупроводников. 116

Глава 6

ПРИМЕСНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ, ДИОДЫ И ТРАНЗИСТОРЫ 129

- 1 Кремниевый диод 130
- 2 Транзистор 146
- 3 Подведем итог 166

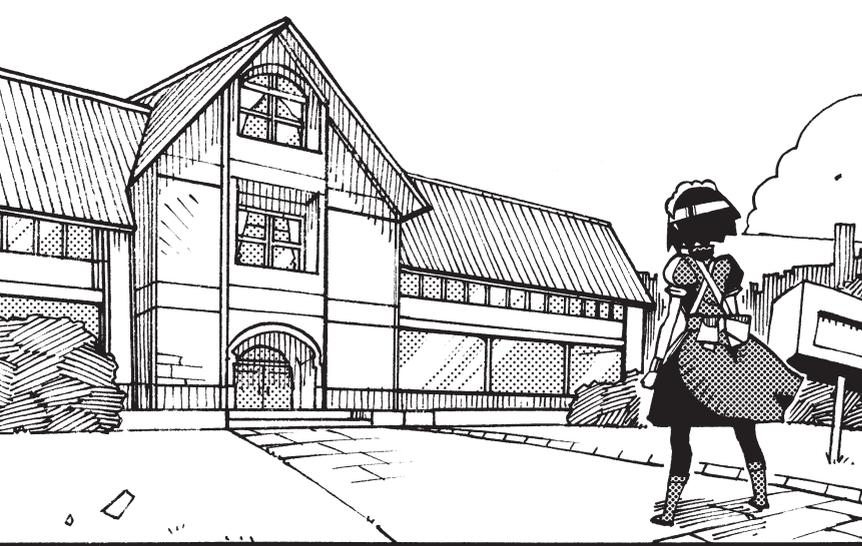




ПРОЛОГ

**Я, ГОРЧИЧНАЯ
И РИС КАРРИ**







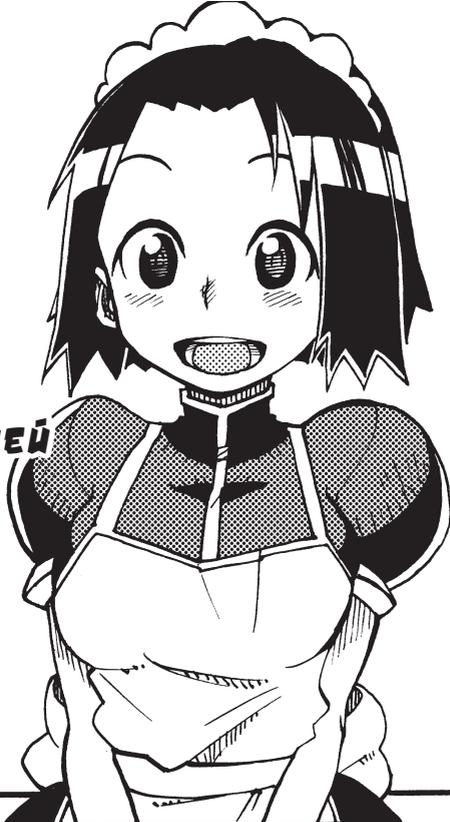
НУ КТО
ЭТО В
ТАКУЮ
РАНЬ?..

ШЕЛК



ДОБРОЕ УТРО!
МЕНЯ ЗОВУТ
МЭЙ НАДЗОНО!

УЛЫБКА ДО УШЕЙ



Мэй Надзono



ВАШ ОТЕЦ НАНЯЛ МЕНЯ,
ЧТОБЫ ПОЗАБОТИТЬСЯ О
ВАС, ГОСПОДИН ЮТАКА...

и я...

НУ ДА,

ПРОХОДИ ЖЕ,
ПОГОВОРИМ!



А ТЫ
МОЛОДЕНЬКАЯ!..
СКОЛЬКО ТЕБЕ ЛЕТ?
И КАК ЭТО:
"ПОЗАБОТИТЬСЯ"?

А
СВИДАНИЯ
ТОЖЕ
ВХОДЯТ?..

Э... НЕТ-НЕТ!
ОДНАКО!

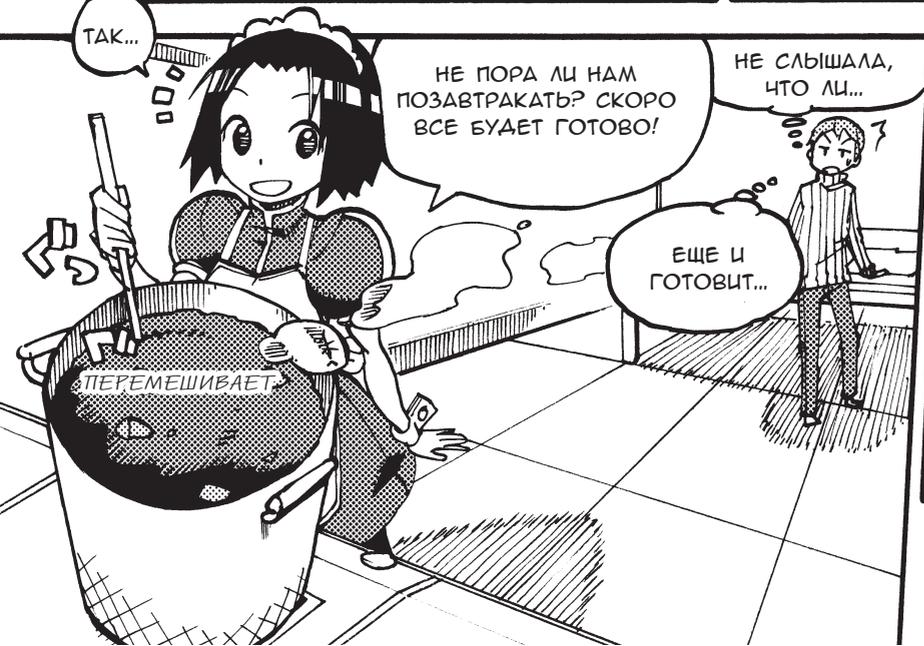
УЛЫБКА ДО УШЕЙ

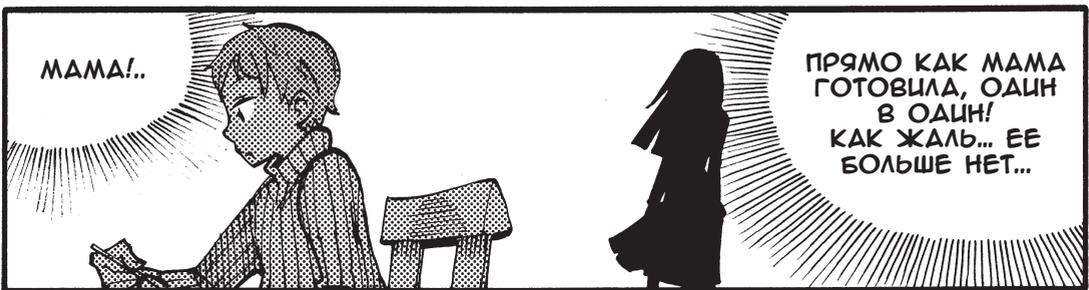


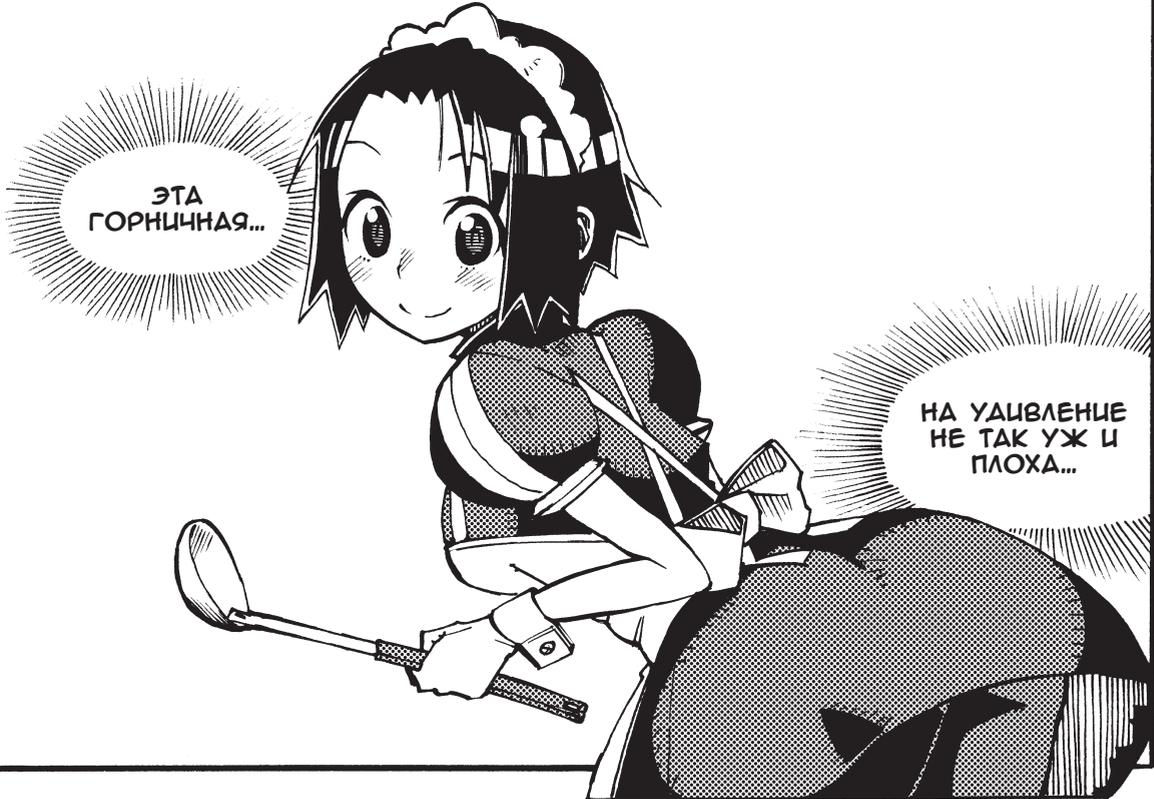
Я ПРИНЕСЛА
ПИСЬМО ОТ
ВАШЕГО ОТЦА!



ПИСЬМО?







ЭТА
ГОРНИЧНАЯ...

НА УДИВЛЕНИЕ
НЕ ТАК УЖ И
ПЛОХА...



ХОРОШО! ВПЕРЕД!

М-ДА... ВЫХОДИТ
ГОРНИЧНАЯ
В ДОМЕ СОВСЕМ
НЕ ЛИШНЯЯ!

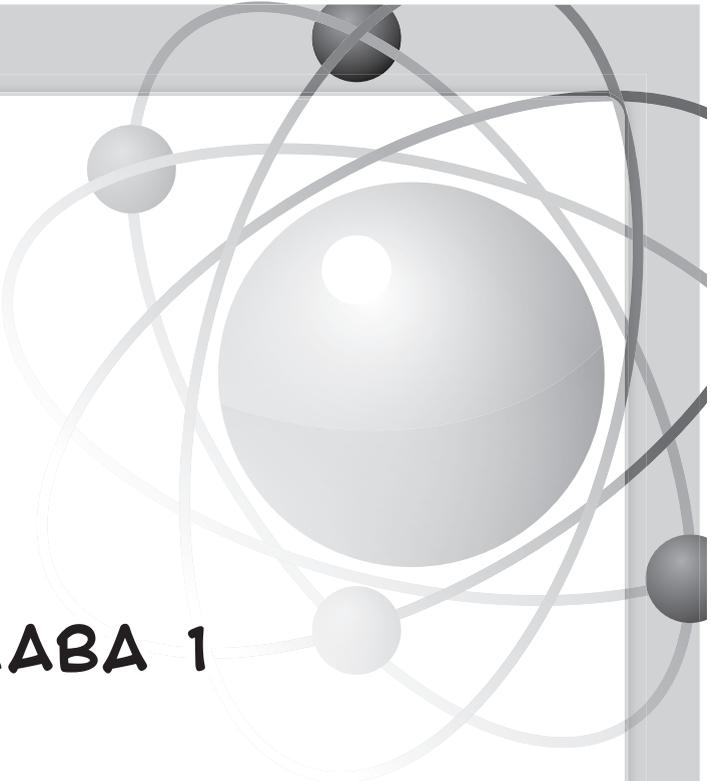


ЧТО ЭТО?
ПОЛНО
ФОТОГРАФИЙ
С ДЕВУШКАМИ!

А В ТЕЛЕФОНЕ -
ИХ НОМЕРА!

ЭЙ, НЕ СМЕЙ
ЛЕЗТЬ НА
ЧАСТНУЮ
ТЕРРИТОРИЮ!

пик



ГЛАВА 1

**ЧТО ТАКОЕ
ПОЛУПРОВОДНИКИ**



1 Что такое полупроводники

ВОТ Я И ДОМА!

ГОСПОДИН
ЮТАКА!

РАССКАЖИТЕ МНЕ О
ПОЛУПРОВОДНИКАХ!

Ч-ЧТО?
ЗАЧЕМ
ТЕБЕ?

Я ДАВНО УЖЕ
ИНТЕРЕСУЮСЬ
ПОЛУПРО-
ВОДНИКАМИ!

ОДНАКО...

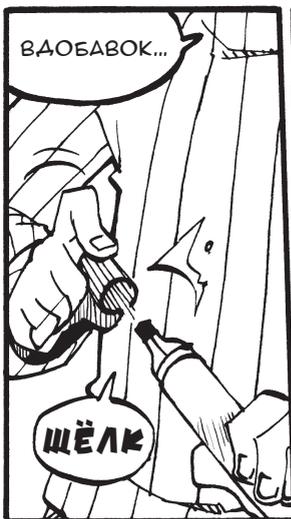
"Я СЛИШКОМ ЗАНЯТ,
ПОЭТОМУ ПУСТЬ
МОЙ СЫН ВСЕ
РАССКАЖЕТ".

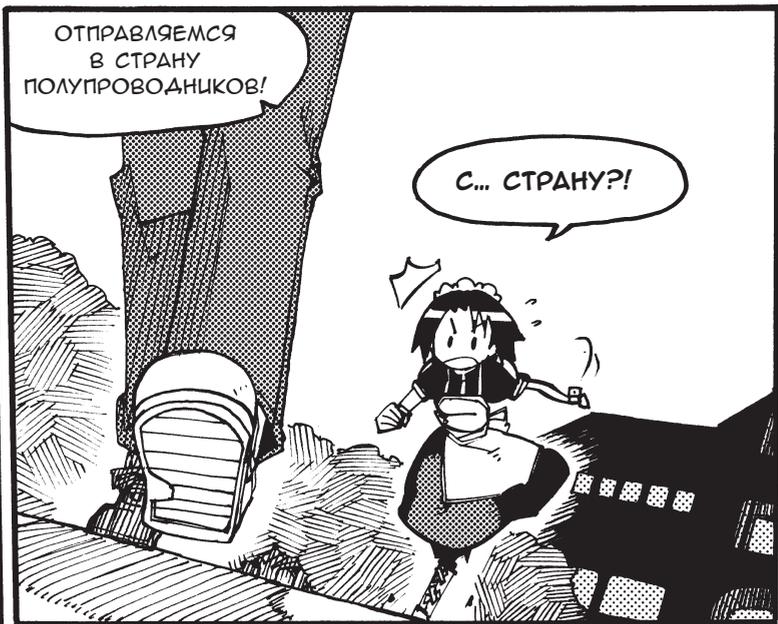
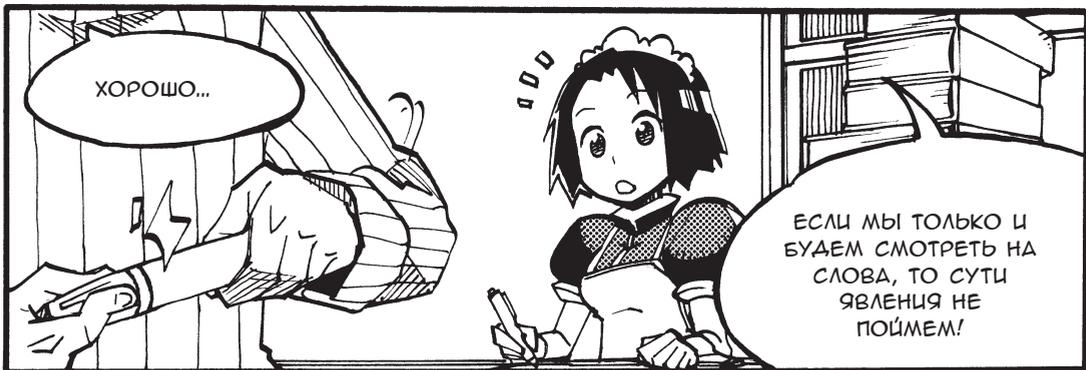
ОПЯТЬ!.. НУ И
МОРОКА...

...ВАШ ОТЕЦ
СКАЗАЛ.

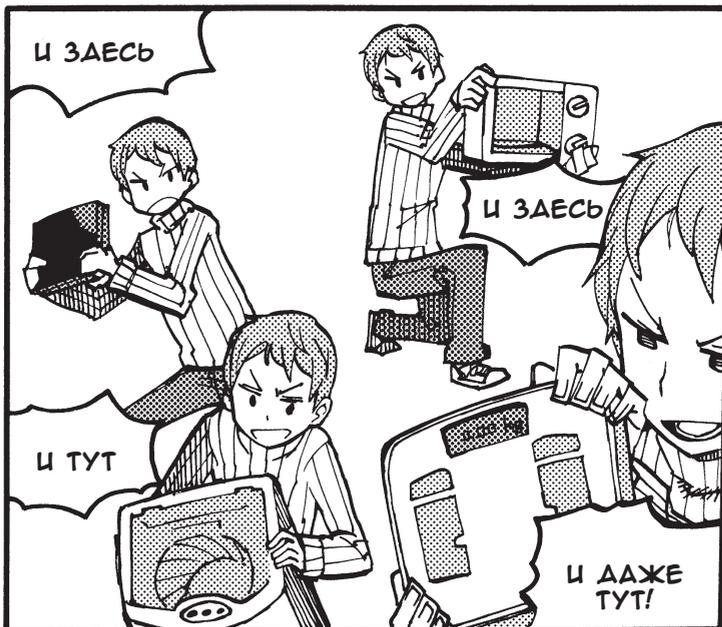
А ВОТ ВАШ ОТЕЦ ВСЕГДА
ТОЛЬКО И ДУМАЕТ ЧТО О
ПОЛУПРОВОДНИКАХ.







2 «Промышленный рис»



● ИС

ПОЛУПРОВОДНИКИ ИСПОЛЗУЮТСЯ В ОСНОВНОМ В ПРИБОРАХ, НАЗЫВАЕМЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫМИ СХЕМАМИ (ИС) ИЛИ МИКРОСХЕМАМИ.

ИС (ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА)

ТАК НАЗЫВАЮТ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОЦЕССОРЫ И ПОЛУПРОВОДНИКОВУЮ ПАМЯТЬ.

ого...

А ЧТО ОБЪЕДИНЯЕТ ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА?

НУ, ОДНА ИЗ ОСНОВНЫХ ЧАСТЕЙ ИС - ЭТО ТРАНЗИСТОР!

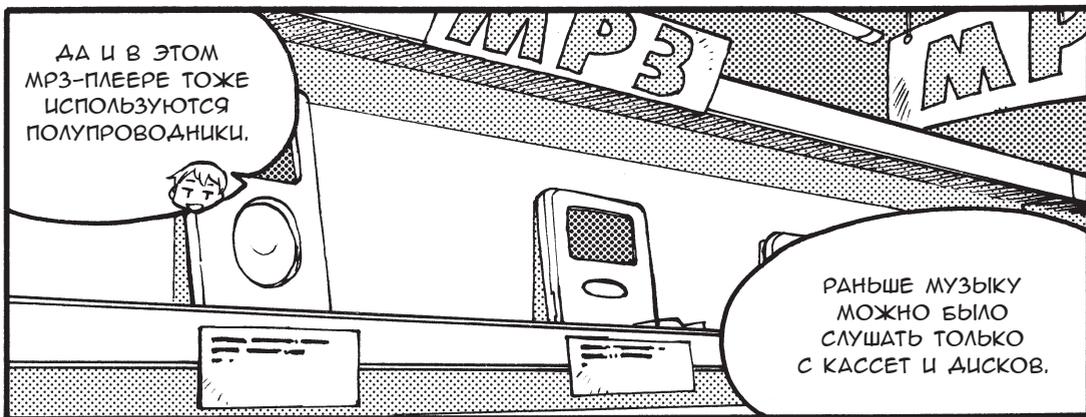
● Транзисторы

СНАЧАЛА ИЗОБРЕЛИ БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ...

Биполярный транзистор

Полевой МОП-транзистор

А СЕЙЧАС ИС ДЕЛАЮТ, ИСПОЛЗУЯ ПОЛЕВЫЕ МОП (МЕТАЛЛ-ОКСИД-ПОЛУПРОВОДНИК) ТРАНЗИСТОРЫ.



3 Как увеличить производительность ИС

ИТАК, Я ГОВОРИЛ, ЧТО ПОЛУПРОВОДНИКИ ИСПОЛЗУЮТСЯ В СОСТАВЕ ИС...

ЧТО НАДО СДЕЛАТЬ, ЧТОБЫ ПОВЫСИТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОМПЬЮТЕРА?

СОВСЕМ НЕ ЗНАЮ...

НУ, НАПРИМЕР...

1. УВЕЛИЧИТЬ СКОРОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЙ.

2. УВЕЛИЧИТЬ КОЛИЧЕСТВО ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ (СДЕЛАТЬ ИС, КОТОРАЯ БУДЕТ СОСТОЯТЬ ИЗ НЕСКОЛЬКИХ СХЕМ).

ВОТ ТАКИЕ ВАРИАНТЫ...

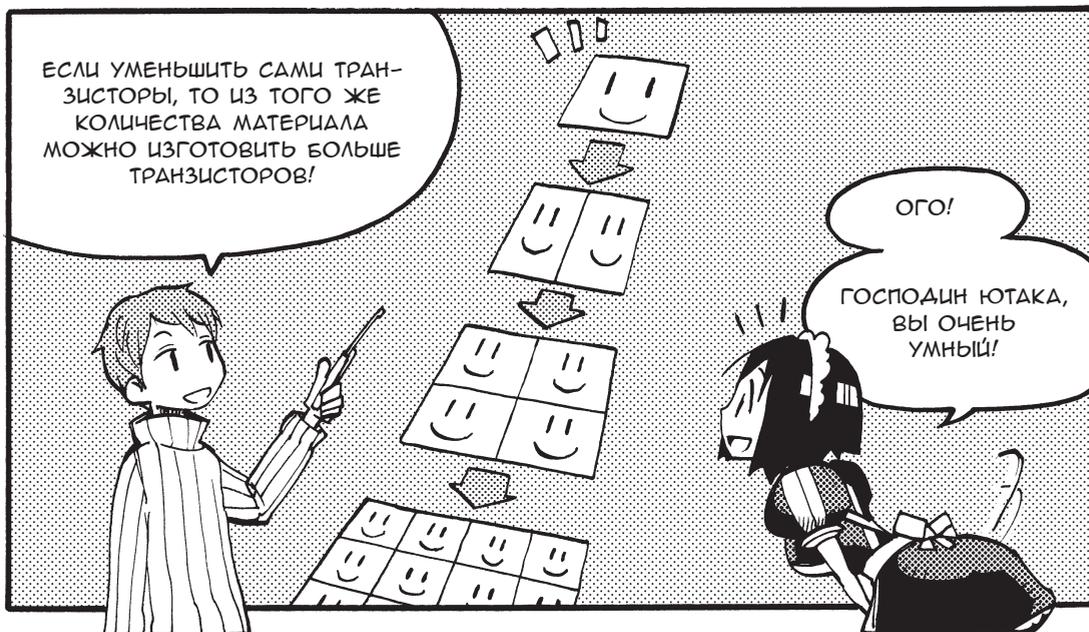
И... ЧТО НАДО ДЕЛАТЬ?

ПОСКОЛЬКУ СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА БЛИЗКА К СКОРОСТИ СВЕТА...

МОЖНО СОКРАТИТЬ РАССТОЯНИЕ, НА КОТОРОЕ ПЕРЕДАЕТСЯ СИГНАЛ!

ДЛЯ ЭТОГО НЕОБХОДИМО НЕ ТОЛЬКО СОКРАТИТЬ

РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ТРАНЗИСТОРАМИ ВНУТРИ ИС, НО И УМЕНЬШИТЬ САМИ ТРАНЗИСТОРЫ!





МАТЕРИАЛОМ ДЛЯ
ТРАНЗИСТОРОВ
СЛУЖАТ КРЕМНИЙ И
ГЕРМАНИЙ.

ЭТО
ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ,
ИЗ КОТОРЫХ ФОРМИРУЮТ
ТРАНЗИСТОРЫ, УСИЛИВАЮЩИЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ, А
ТАКЖЕ ПРОПУСКАЮЩИЕ ИЛИ
БЛОКИРУЮЩИЕ ТОК.



ТОГДА СЛАБЫЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ
СИГНАЛ СТАНОВИТ-
СЯ СИЛЬНЕЕ.

ТАК ГОЛОС, КО-
ТОРЫЙ ЗАПИСЫ-
ВАЕТСЯ ЧЕРЕЗ
МИКРОФОН И
ВОСПРОИЗВОДИТ-
СЯ ЧЕРЕЗ ДИНА-
МИК, ДЕЛАЕТСЯ
ГРОМЧЕ.



АГА!



Ч-ЧТО
Т-ТАКОЕ?

ТРАНЗИСТОРЫ!



ИХ НЕ ДЛЯ ТОГО
ПРИДУМАЛИ,
ЧТОБЫ ТЫ МЕНЯ
РАЗЫГРЫВАЛА!



ТРАНЗИСТОР - ЭТО
НЕБОЛЬШОЙ ПРИБОР,
КОТОРЫЙ РАБОТАЕТ КАК
ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ И МОЖЕТ
УПРАВЛЯТЬ СОСТОЯНИЯМИ
ВКЛ/ВЫКЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ.

И ПОЭТОМУ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ
УСТРОЙСТВО МОЖЕТ
БЫТЬ КОМПАКТНЫМ!



* Ракуго — старинное японское искусство рассказа. — Прим. перев.

4 ИС не только в ПК



КРОМЕ КОМПЬЮТЕРОВ, ЕСТЬ МНОГО И ДРУГИХ УСТРОЙСТВ, ГДЕ НЕОБХОДИМЫ ОПЕРАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЯ.

ТО ЕСТЬ?



И ТУТ?

КОНЕЧНО, КАЛЬКУЛЯТОРЫ - ЛУЧШИЙ ПРИМЕР...



ДОПУСТИМ, ЗА СЕКУНДУ ОН ДЕЛАЕТ ОДНО ВЫЧИСЛЕНИЕ...

ЕСЛИ УМНОЖИТЬ...

И ПАЛЬЦЕВ НЕ ХВАТИТ!



ШЕСТЬДЕСЯТ ВЫЧИСЛЕНИЙ

В ОДНУ МИНУТУ,

ЕЩЕ РАЗ УМНОЖИТЬ НА ШЕСТЬДЕСЯТ

ЗА ОДИН ЧАС...

1...7 ДНЕЙ

ПОТОМ УМНОЖИТЬ НА 24 - КОЛИЧЕСТВО ВЫЧИСЛЕНИЙ ЗА СУТКИ...

365 ГОДА... ВИСОКОСНЫЙ ГОДА...



ВОТ ЧУДЕСНЫЕ "ВЕЧНЫЕ ЧАСЫ"!



В СОВРЕМЕННЫХ ЧАСАХ, ИСКЛЮЧАЯ ТЕ, ЧТО НА ПРУЖИНАХ, ТОЖЕ ИСПОЛЗУЮТСЯ МИКРОСХЕМЫ.



КСТАТИ, МОЙ КОМПЬЮТЕР* ТОЖЕ ТАК НАЗЫВАЛСЯ.

* В Японии слова «микро-контроллер» и «персональный компьютер» сокращаются одинаково, до «май-кон». — Прим. перев.

ВЫ ИХ ТОЖЕ СОБИРАЛИ?

КАЖДУЮ НОЧЬ... ПАПА ПОКАЗЫВАЛ МНЕ, ЧТО И КАК... ЭХ...

ТАК ВОТ, ЧТОБЫ ИС ПРАВИЛЬНО ФУНКЦИОНИРОВАЛА, НУЖЕН ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ.

А ЭТО - ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, ЛИБО ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ (100 В), ЛИБО ДЛЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ (300 В*), А ТАКЖЕ ОБЫЧНЫЕ БАТАРЕЙКИ ИЛИ АККУМУЛЯТОРЫ.

* В жилых домах Японии - 2 вида электроснабжения с отдельными электросчетчиками. — Прим. перев.

НО ВЕДЬ ИС МОЖЕТ СГОРЕТЬ, ЕСЛИ ПРЯМО ПОДКЛЮЧИТЬ ЕЕ К СЕТИ С НАПРЯЖЕНИЕМ В 100 В.

КОНЕЧНО. НО ЕСЛИ ЖЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТОЛЬКО ОДНУ БАТАРЕЙКУ, ТО ПРИ НИЗКОМ НАПРЯЖЕНИИ НЕ ВСЕ РАБОТАЕТ КАК НАДО.

ПОЭТОМУ ВРЕМЯ РАССКАЗАТЬ ОБ ИС ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ...

"ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ".

● ВИП

ВИП, ИЛИ ВТОРИЧНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ, НУЖЕН ДЛЯ ТОГО, ЧТОБЫ, ИЗМЕНЯЯ ДИАПАЗОН НАПРЯЖЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАТЬ ПРАВИЛЬНУЮ РАБОТУ РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВ.



Вторичный источник питания



ОН РАСПРЕДЕЛЯЕТ ТОК, НЕОБХОДИМЫЙ ДЛЯ РАБОТЫ ДРУГИХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ.

КРОМЕ ТОГО, ИС, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ВИП, ЯВЛЯЮТСЯ АНАЛОГОВЫМИ...

ТЫ СЛЫШАЛА ЧТО-НИБУДЬ О ЗАЩИТЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ?

ЭКОЛОГИЯ!

ДЛЯ ЕЕ ЗАЩИТЫ ТРЕБУЕТСЯ ВЫСОКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ.

ТАКАЯ, КАК В "ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ".

АА?!

- ВИП: преобразование от низкого напряжения к высокому
- Солнечная батарея: преобразование постоянного тока в переменный

ЗДЕСЬ УКАЗАНЫ ПРИМЕРЫ, КОГДА ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ТРЕБУЕТСЯ ВЫСОКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ.

КРОМЕ ТОГО, БЛАГОДАРИ ДОСТИЖЕНИЯМ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ИС ПОЯВИЛИСЬ КОМПАКТНЫЕ, МОШНЫЕ И ОЧЕНЬ ЭФФЕКТИВНЫЕ ВИП!

КАКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТАЯ ТЕХНОЛОГИЯ!

● Диоды

ПОЛУПРОВОДНИКИ ИСПОЛЗУЮТСЯ НЕ ТОЛЬКО В ИС...

НО И ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДИОДОВ.

Я СЛЫШАЛА ОБ ЭТОМ!

НУ, СИНИЕ СВЕТОДИОДЫ ОЧЕНЬ ИЗВЕСТНЫ...

ДИОДЫ - ЭТО ЭЛЕМЕНТЫ, КОТОРЫЕ МОГУТ ПРОПУСКАТЬ ТОК ТОЛЬКО В ОДНОМ НАПРАВЛЕНИИ.

ИХ ИСПОЛЗУЮТ, КОГДА НАДО ПРЕОБРАЗОВАТЬ ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК В ПОСТОЯННЫЙ.

ИХ ЕЩЕ НАЗЫВАЮТ ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ.

НАПРИМЕР,

РАБОЧЕЕ
НАПРЯЖЕНИЕ
СИНКАНСЭНА* -
25 000 В.

ИЛИ, НАПРИМЕР,
В АВТОМАШИНЕ,

ЕСЛИ ВЫ ХОТИТЕ
ИСПОЛЬЗОВАТЬ ПРИБОР С
НАПРЯЖЕНИЕМ В 100 В
(НАПРИМЕР, ЗАРЯДНОЕ
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПК)...

ЧТОБЫ ЗАПУСТИТЬ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ
ПОСТОЯННОГО ТОКА,
НЕОБХОДИМО
ПРЕОБРАЗОВАТЬ
ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК В
ПОСТОЯННЫЙ.

ДЛЯ ЭТОЙ ЦЕЛИ ЗАДЕСЬ
ИСПОЛЬЗУЕТСЯ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ
ВЫПРЯМИТЕЛЬ БОЛЬШОГО
ТОКА.

...ТО НЕОБХОДИМО
ИСПОЛЬЗОВАТЬ СОЗДАННЫЙ
С ПОМОЩЬЮ ТРАНЗИСТОРОВ
И ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ
"ИНВЕРТОР", КОТОРЫЙ
ПРЕОБРАЗУЕТ ПОСТОЯННЫЙ
ТОК НАПРЯЖЕНИЕМ 12 В
В ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК
НАПРЯЖЕНИЕМ 100 В.

* Синкансэн («новая магистраль») — высокоскоростной поезд (до 300 км/ч). — Прим. перев.



● Светодиоды (LED)

я уже упоминал, что есть и такие диоды, которые излучают свет, когда через них проходит электрический ток.

это светодиоды.

различные примеси, добавляемые в полупроводники, меняют длину световой волны, поэтому появились красные, зеленые, синие и другие светодиоды.



я слышала, что светодиоды используют в светофорах!

защитамся

угу

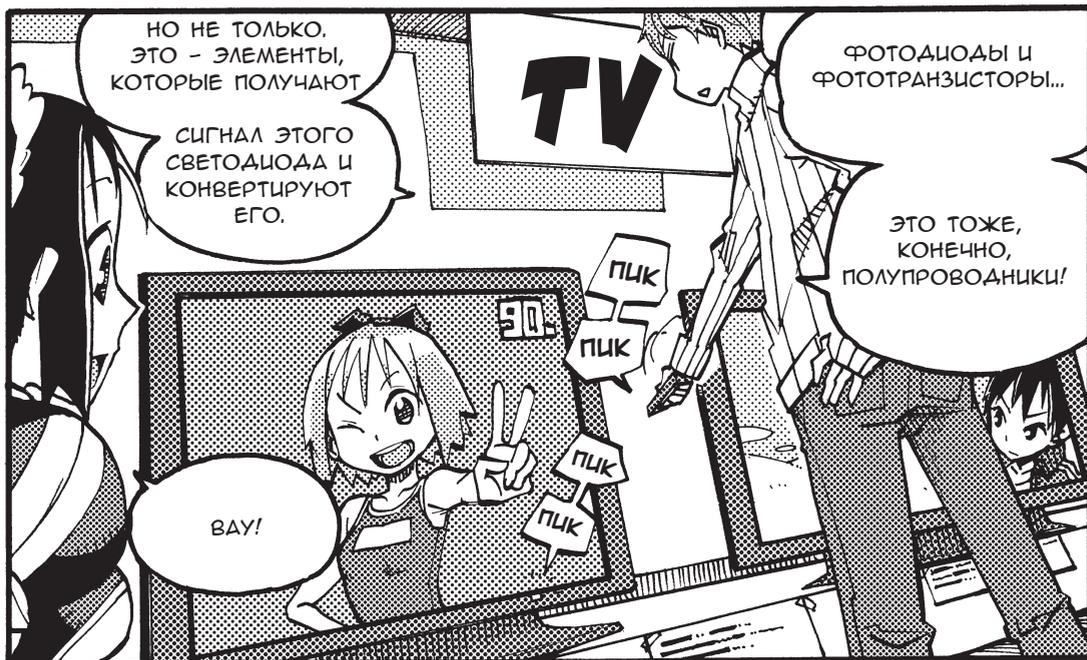


а вот это - типичные светодиоды.



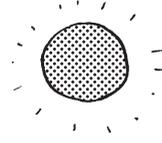
поскольку светодиодам высокой яркости придают форму линзы...

...их хорошо видно издалека даже в светлое время суток, поэтому они стали столь популярными.



● Другие полупроводники

СРЕДИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ, КОТОРЫЕ МОГУТ ПОМОЧЬ ЗАЩИТЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (НАПРИМЕР, СНИЗИТЬ ВЫБРОС УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА), - ГЛАВНОЕ, КОНЕЧНО...



...СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ!

ИХ ИЗГОТАВЛИВАЮТ ИЗ КРЕМНИЯ, КОТОРЫЙ СЛУЖИТ ДЛЯ НИХ ИСХОДНЫМ МАТЕРИАЛОМ.

ОГО!

А... ЭТО ТАКИЕ ПЛОСКИЕ ШТУКИ НА КРЫШАХ!

КРОМЕ ТОГО, УСТРОЙСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЧНОСТИ, КОТОРЫЕ СКАНИРУЮТ ОТПЕЧАТКИ ПАЛЬЦЕВ И ИСПОЛЗУЮТСЯ В БАНКАХ, ТОЖЕ РАБОТАЮТ НА ПОЛУПРОВОДНИКАХ.



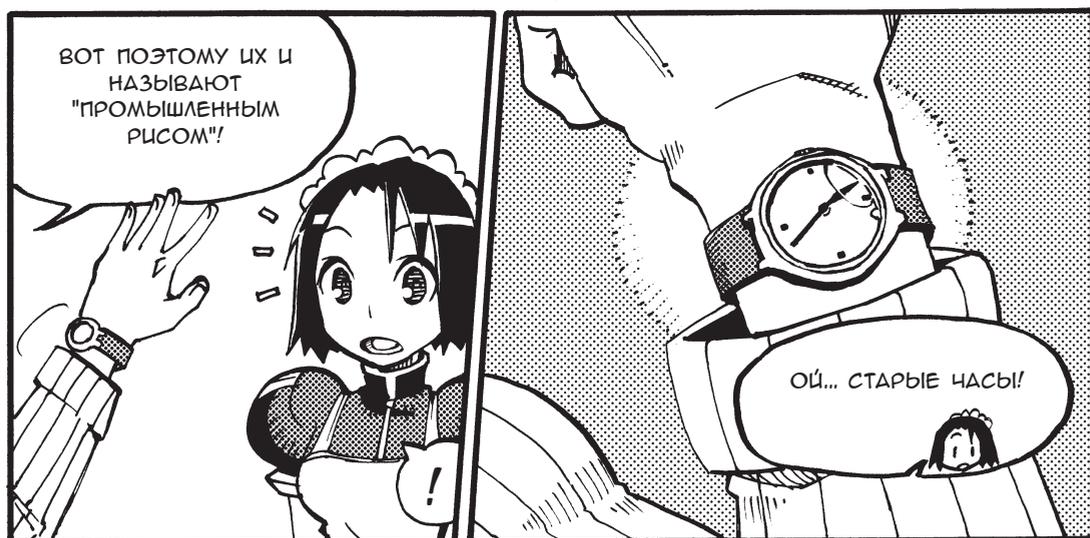
ОГО, И ТУТ ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ!

НУ, Я ДУМАЮ, ТЕБЕ СТАЛО ПОНЯТНО,

ЧТО В ЭЛЕКТРОНИКЕ БЕЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВ - НИКУДА.

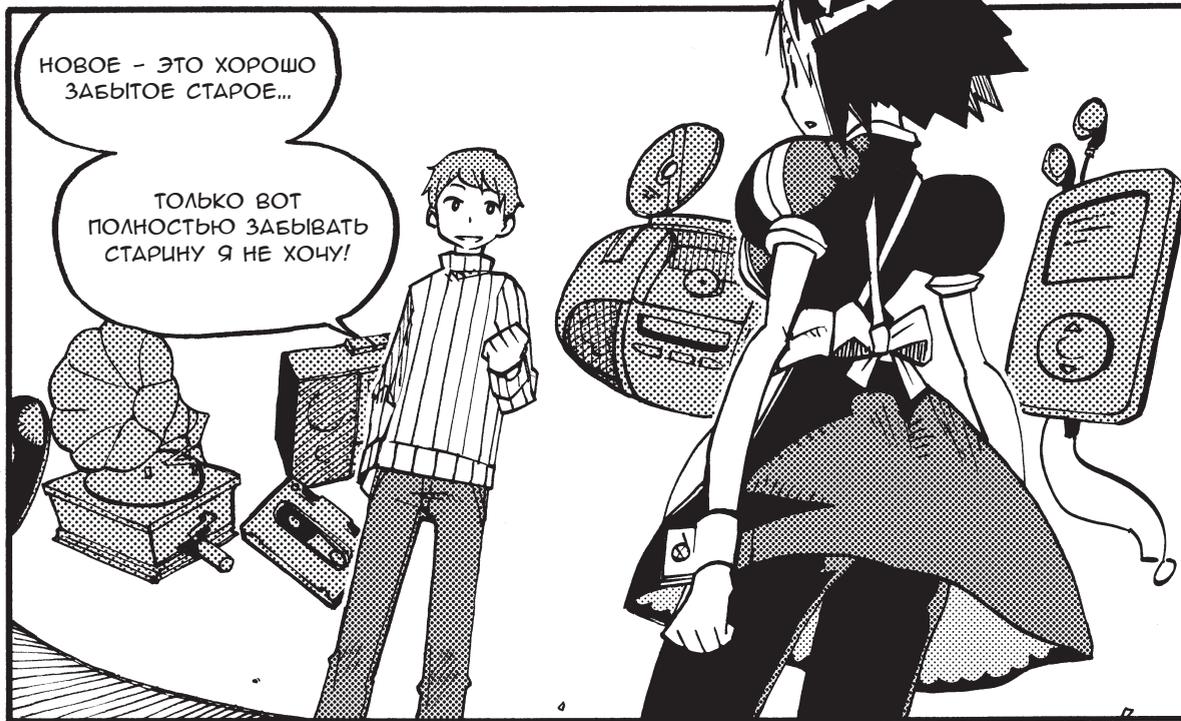


ОНИ ИСПОЛЗУЮТСЯ
ВЕЗДЕ ВОКРУГ НАС...



ВОТ ПОЭТОМУ ИХ И
НАЗЫВАЮТ
"ПРОМЫШЛЕННЫМ
РИСОМ"!

Ой... СТАРЫЕ ЧАСЫ!



5 Подведем итог



Где появилась Силиконовая долина

Кремний — это главный материал, из которого изготавливают полупроводниковые приборы. В американском штате Калифорния есть район, где создано много полупроводниковых компаний, из-за чего он стал называться Силиконовой (Кремниевой) долиной.

Силиконовая долина с точки зрения рельефа долиной не является. Она включает несколько городов с центром в Сан-Хосе, находящимся к юго-западу от залива Сан-Франциско, в 80 км от одноименного города.

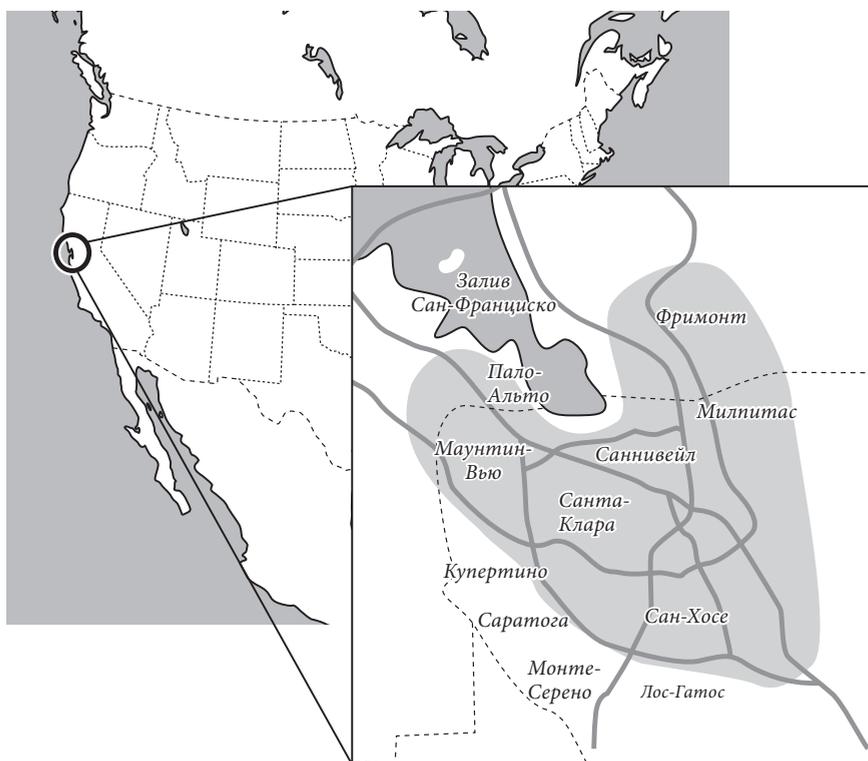


Рис. 1. Силиконовая долина

Сюда входят такие города (начиная с северо-запада), как Пало-Альто (где находится Стэнфордский университет), Маунтин-Вью, Саннивейл (где располагается конкурент Intel компания AMD, которая производит ЦП), Санта-Клара (где находится главный офис крупной компании — производителя процессоров Intel), Сан-Хосе, Милпитас, Фримонт и др. Все они находятся на западном берегу залива Сан-Франциско. Недавно Кремниевая долина расширилась за Сан-Хосе и на восточный берег залива по направлению к северу.

Кремний — это не только химический элемент — Si, но и символ всей высокотехнологичной индустрии. Между Сан-Франциско и Сан-Хосе находится тихий городок Пало-Альто, рядом с которым расположен кампус Стэнфордского университета, являющийся историческим центром «Силиконовой долины».

В 1989 году он был провозглашен историческим местом Калифорнии. Памятный знак гласит: «Профессор Стэнфордского университета Фредерик Терман предложил своим студентам Вильяму Хьюлетту и Дэвиду Паккарду не искать работу на Восточном побережье, а основать собственную электротехническую компанию. Следуя совету профессора, в начале 1938 года в гараже они разработали первый продукт HP200F — низкочастотный генератор для использования его в электрической схеме». Эти студенты в следующем, 1939 году основали широко известную ныне электронную компанию Хьюлетт-Паккард.



На фотографии слева, в глубине, виден гараж, в котором работали Хьюлетт и Паккард. Сейчас его деревянные ворота перекрашены, однако его до сих пор используют по назначению (на обложке японского перевода книги Паккарда «Путь HP» изображен тот же гараж, только с другого ракурса). Дом перестроили в 2005 году.

Рис. 1-2. Гараж, в котором работали Хьюлетт и Паккард

Термин «Силиконовая долина» вошел в моду с начала 1970-х годов.

«Кремний» — это название элемента, кристаллы которого широко используются в качестве материала для современных полупроводниковых приборов. Кремний стал символом современной полупроводниковой промышленности, и это слово также используется как общий термин для современных высокотехнологичных и информационных материалов и технологий.

Рассвет эры полупроводников пришелся на 1947 год, когда физики Шокли, Бардин и Бреттейн изобрели точечный транзистор на полупроводниковом (германиевом) кристалле (за что получили Нобелевскую премию по физике 1956 года). Местом изобретения стала Лаборатория Белла на Восточном побережье США. (Но самом деле точечный транзистор изобрели Бардин и Бреттейн. Шокли изобрел более технологичный и надежный плоскостной транзистор. — *Прим. ред.*).

Иными словами, когда Хьюлетт и Паккард работали в гараже, то они использовали не полупроводники, а вакуумные трубки. Но местом рождения Силиконовой долины все равно считается этот гараж, так как именно здесь зародилась индустрия информационных технологий, которая стала глобальной (даже несмотря на вакуумные трубки).

По-настоящему Силиконовая долина стала центром полупроводниковой промышленности лишь с 1955 года, когда Шокли основал исследовательский институт в Пало-Алто. В то время в нем работали Гордон Мур и Роберт Нойс. Они стали основателями компаний Fairchild и Intel.

Благодаря им и другим людям, которые работали в институте Шокли, Силиконовая долина и стала центром полупроводниковой промышленности.

Транзисторы

Самый первый транзистор был биполярным, как мы и говорили выше, однако, поскольку в то время других транзисторов не было, биполярными их не называли. Когда же был создан ПТ (полевой униполярный транзистор), то только тогда и появилось дополнение – «биполярный».

ИТ, ПК, ЦП

ИТ — информационные технологии.

ПК — персональный компьютер. Большую часть рынка аппаратного обеспечения занимают разные компании, которые производят IBM-совместимые детали, и, кроме того, компания Apple со своим портативным Mac.

ЦП — центральный процессор. «Мозг» ПК. Конечно, чтобы использовать этот «мозг», нужна программа.

Современные ЦП выполняют арифметические и логические операции на основе логических схем, базирующихся на нескольких ПТ (полевых транзисторах). Более того, используемый в ПК процессор включает в себя не только вычислительную часть, но и память для временного хранения данных, объединенную в одну ИС.

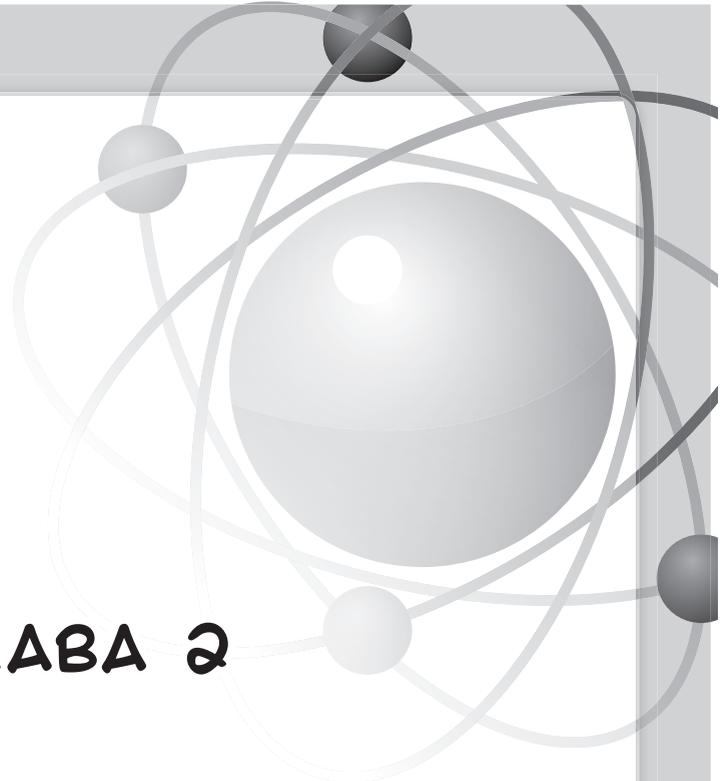
Гордон Мур и закон Мура

Гордон Мур (по состоянию на 2006 год) — почетный президент компании Intel, ведущего производителя ИС. Один из основателей Intel. В 1965 году, когда он находился в должности ответственного за развитие в компании Fairchild, то, проанализировав графики технических инноваций, сделал прогноз, что производительность ИС будет удваиваться примерно каждые два года (есть версия, что каждые 18 месяцев). Поскольку производительность ИС зависит не только от числа транзисторов на единицу площади, но и от скорости их работы, применимость закона Мура стала предметом обсуждений. Однако следует понимать, что закон Мура основан не на научных фактах, а всего лишь на технологических инновациях 1965 года и выполняется в зависимости от метода сбора данных.

Например, компания Intel, которая открыла эру микропроцессоров, выпустила первый из них [i8080] в 1974 году. Его размер составил 4×5 мм, а транзисторов в нем было около 4500 (тактовая частота — 2 МГц). Выпущенный в 2006 году процессор той же компании Core2Duo имеет размер 10×14 мм, в нем 291 000 000 транзисторов (тактовая частота — 2330 МГц).

В соответствии с законом Мура если удваивать количество транзисторов каждые два года, то за эти 32 года количество транзисторов должно было увеличиться в 2^{16} (65 536) раз. Он выполняется, поскольку за это время количество транзисторов выросло в $291\,000\,000/4\,500 = 64\,667$ раза. Однако если смотреть на тактовую частоту, она выросла примерно в 75 миллионов раз (с учетом того, что способ вычислений изменился, то в 200 миллионов раз).

Поскольку благодаря новым технологиям транзисторы теперь изготавливаются на кремниевой пластине, то стало возможным резкое улучшение производительности, которое не соответствует закону Мура. В 1974 году минимальная производственная единица ИС составляла около 5 мкм, а в 2006 году она составила около 0,05 мкм (50 нм). Поскольку размеры все уменьшаются, возможно, через некоторое время станут необходимы атомные технологии. Кроме того, дискуссии ведутся только о транзисторах, размещенных на плоскости. Если начнут развиваться трехмерные технологии, то количество транзисторов в ИС, вероятно, будет продолжать расти.

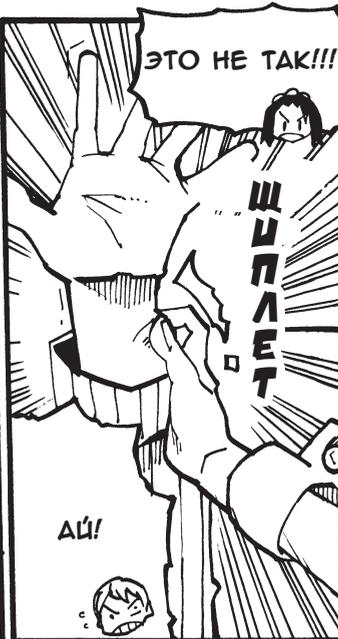


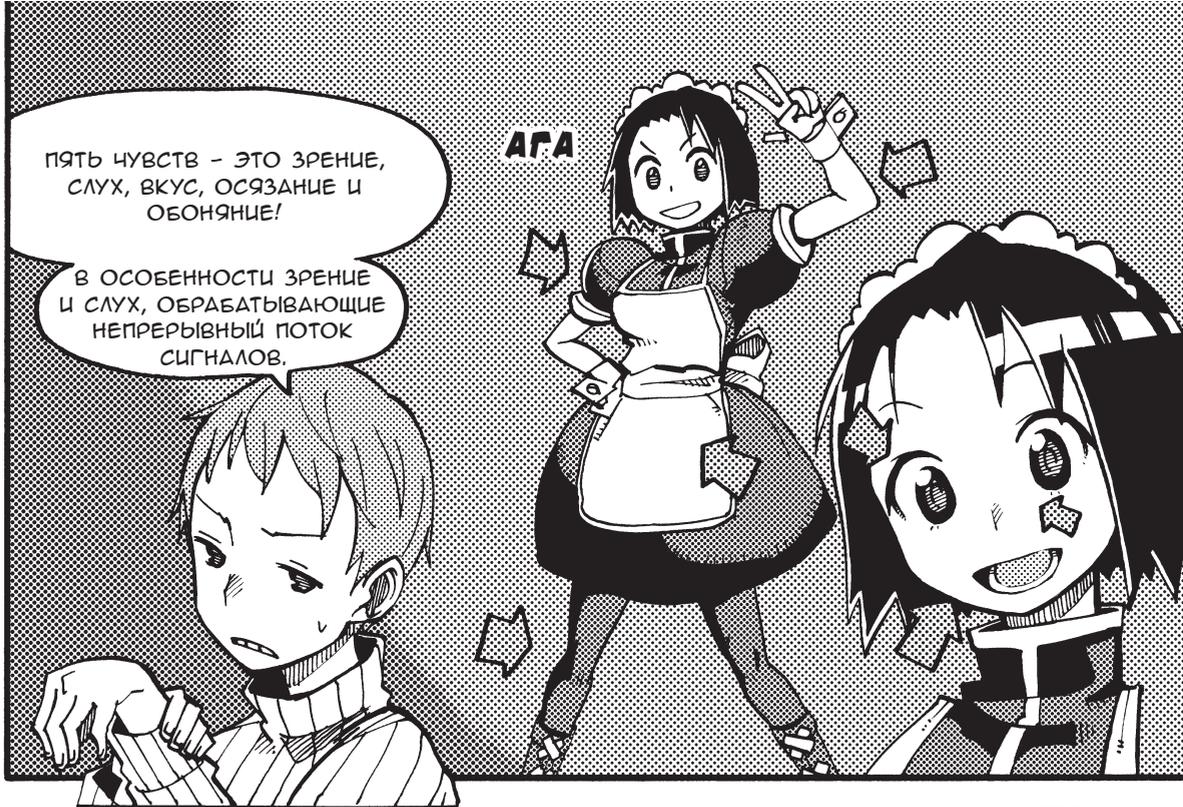
ГЛАВА 2

АНАЛОГОВЫЙ И ЦИФРОВОЙ МИР



1 Пять аналоговых чувств

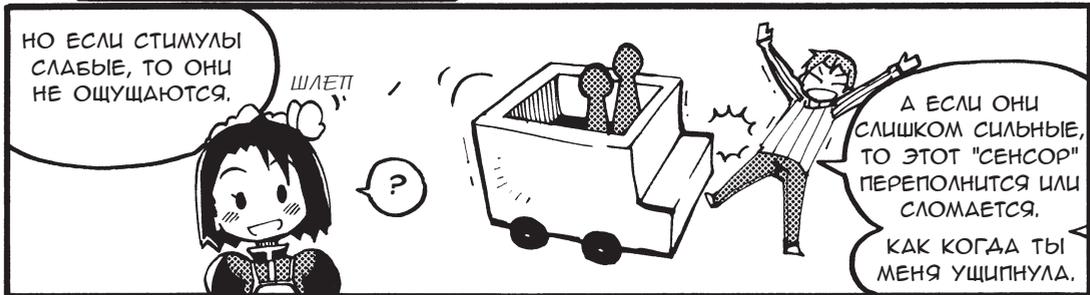




ПЯТЬ ЧУВСТВ - ЭТО ЗРЕНИЕ,
СЛУХ, ВКУС, ОСЯЗАНИЕ И
ОБОНЯНИЕ!

В ОСОБЕННОСТИ ЗРЕНИЕ
И СЛУХ, ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ
НЕПРЕРЫВНЫЙ ПОТОК
СИГНАЛОВ.

АГА

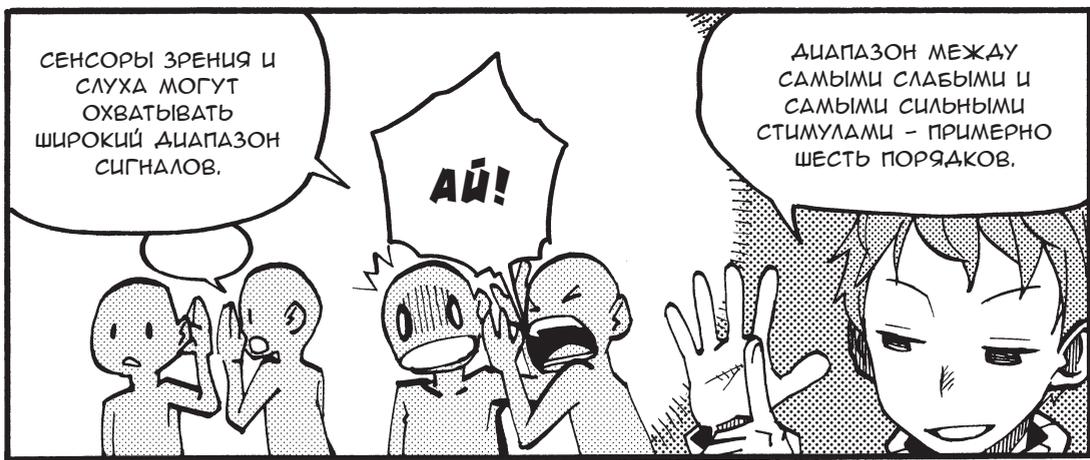


НО ЕСЛИ СТИМУЛЫ
СЛАБЫЕ, ТО ОНИ
НЕ ОЩУЩАЮТСЯ.

ШЛЕП

А ЕСЛИ ОНИ
СЛИШКОМ СИЛЬНЫЕ,
ТО ЭТОТ "СЕНСОР"
ПЕРЕПОЛНИТСЯ ИЛИ
СЛОМАЕТСЯ.

КАК КОГДА ТЫ
МЕНЯ УЩИПНУЛА.



СЕНСОРЫ ЗРЕНИЯ И
СЛУХА МОГУТ
ОХВАТЫВАТЬ
ШИРОКИЙ ДИАПАЗОН
СИГНАЛОВ.

АЙ!

ДИАПАЗОН МЕЖДУ
САМЫМИ СЛАБЫМИ И
САМЫМИ СИЛЬНЫМИ
СТИМУЛАМИ - ПРИМЕРНО
ШЕСТЬ ПОРЯДКОВ.







2 Цифровое – только 0 и 1?

СЕГОДНЯ С
МОРЕПРОДУКТАМИ!

ОТДАВИГАЕТ СТУЛ

ВЧЕРА
ГОВЯДИНА,
ПОЗАВЧЕРА
ГОВЯДИНА,
ДО ЭТОГО –
МОРЕПРО-
ДУКТЫ...

В
Ж
И
Х

ТЫ ЦИФРОВАЯ,
ЧТО ЛИ?

ЧТО ЭТО
ЗНАЧИТ?

ЭХ...

И КОМУ
Я ВСЕ ЭТО
РАССКАЗЫВАЛ?

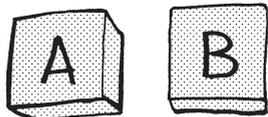
ИНФОРМАЦИЯ, КОТОРАЯ ВЫРАЖАЕТ
ЧИСЛЕННЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ДИСКРЕТНОЕ
ФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, ИЛИ ИХ
КОМБИНАЦИЮ (НАПРЯЖЕНИЕ,
ГРОМКОСТЬ, ЯРКОСТЬ И Т.П.), ИЛИ
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ...

...НАЗЫВАЕТСЯ
ЦИФРОВОЙ!

● Бинарная логика

ПОСКОЛЬКУ ЭТИ
ДИСКРЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ
(СИЛЫ ВЕЛИЧИНЫ)
ИСЧИСЛИМЫ, ТО
ИНФОРМАЦИЯ
ЦИФРОВАЯ.

НО ЧАЩЕ ВСЕГО
КОЛИЧЕСТВО ЭТИХ
СОСТОЯНИЙ
ОГРАНИЧИВАЕТСЯ ДО
ДВУХ...



ЭТО "БИНАРНАЯ
ЛОГИКА".

ДЛЯ РАБОТЫ С
ЭТИМИ ДВУМА
СОСТОЯНИЯМИ
ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

ДВОИЧНАЯ
СИСТЕМА
СЧИСЛЕНИЯ.

СЛЫШАЛА
О ТАКОЙ?



НУ... ПО КАРРИ И НЕ СКАЖЕШЬ.

НУ, ТЫ ГОТОВИШЬ
ТОЛЬКО КАРРИ С
ГОВЯДИНОЙ И С
МОРЕПРОДУКТАМИ,
ЭТО ВСЕГО "ДВА
СОСТОЯНИЯ", ПОЭТОМУ
ИНФОРМАЦИЯ
ЦИФРОВАЯ!

ХМ...
ЭТО СМЕШНО?

ШЛЕП!

НЕТ.



ТАК, ОСТАВИМ
ПОКА КАРРИ...

"ДВА СОСТОЯНИЯ"
МОГУТ БЫТЬ
САМЫМИ
РАЗНЫМИ...

НАПРИМЕР...



- «Высокое напряжение» и «низкое напряжение»
- «Сильный ток» и «слабый ток»
- Плюс и минус напряжения (при постоянном токе)
- Большая и малая амплитуда сигналов переменного тока
- Высокие и низкие частоты
- опережение и задержка фаз переменного тока
- Яркий и слабый свет
- Есть или нет потока воздуха или воды (или давления)



● Бит

КСТАТИ, МИНИМАЛЬНАЯ
ЕДИНИЦА ЭТИХ ДВУХ
СОСТОЯНИЙ (МИНИМАЛЬНЫЙ
ЭЛЕМЕНТ БИНАРНОЙ ЛОГИКИ)

НАЗЫВАЕТСЯ "БИТ".

1 0

ON OFF

МАТЕМАТИЧЕСКИ
ЭТИ СОСТОЯНИЯ
ОБОЗНАЧАЮТСЯ
КАК "ДА" ИЛИ "НЕТ".

ДА! Я ПОНЯЛА.

УДОБНО
ИСПОЛЬЗОВАТЬ -
"1" ИЛИ "0"!

ВОТ...

КАРРИ СО
СВИНИНОЙ!

КСТАТИ, ЕСТЬ ЕЩЕ
ЧТО-НИБУДЬ В МЕНЮ,
КРОМЕ КАРРИ?

ДА ИЛИ НЕТ?

ТЫ, КРОМЕ КАРРИ, ЕЩЕ
ЧТО-НИБУДЬ ГОТОВИШЬ?

3 Дискретизация и квантование



СМОТРИ, ВОТ СОСТОЯНИЯ "ВНУТРИ" И "СНАРУЖИ"...

"ДОМА" ИЛИ "НЕ ДОМА", ТАК ПОНЯТНО?

А РАЗВЕ НЕЛЬЗЯ СКАЗАТЬ, ЧТО ЧЕЛОВЕК "ВНУТРИ ДОМА" ИЛИ ЕГО "НЕТ ВНУТРИ ДОМА"?

КОНЕЧНО МОЖНО. И ЭТО ВСЕ РАВНО ДВА ВЗАИМО-ИСКЛЮЧАЮЩИХ СОСТОЯНИЯ.

ЭТИ ДВА СОСТОЯНИЯ, КОТОРЫЕ МОЖНО ВЫРАЗИТЬ СЛОВАМИ "ДА" И "НЕТ"...

СТАНОВЯТСЯ МИНИМАЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ОПИСАНИЯ В ЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ.

● Логическая схема

СИСТЕМА, СОЗДАННАЯ ПУТЕМ ТАКОГО СОЧЕТАНИЯ...

УГУ.

НАЗЫВАЕТСЯ ЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМОЙ.

ОДНАКО ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ СОЗДАЮТСЯ НЕ ТОЛЬКО ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ОБЫЧНО ИСПОЛЬЗУЮТ ДЛЯ ТОГО, ЧТОБЫ СИСТЕМА СТАЛА КОМПАКТНЕЕ И ЕЕ ПЛОТНОСТЬ ВЫРОСЛА!

● Положительная и отрицательная логика

ВЫСОКИЙ (HIGH) (H)



НИЗКИЙ (LOW) (L)



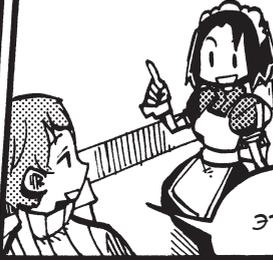
В ЛОГИЧЕСКИХ ИС ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ СОЧЕТАНИЕ "ВЫСОКОГО" (H) И "НИЗКОГО" (L) ЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ.



ТО ЕСТЬ H - ЭТО 1?

H = 1
L = 0

НЕТ, ЭТО НЕ ТАК.



1 МОЖЕТ СООТВЕТСТВОВАТЬ КАК H, ТАК И L.

H

L

ЭТО ВЫБОР РАЗРАБОТЧИКА СИСТЕМЫ.

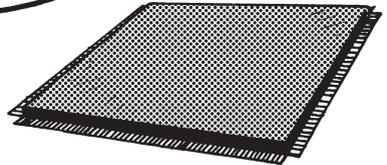


ЧТО?

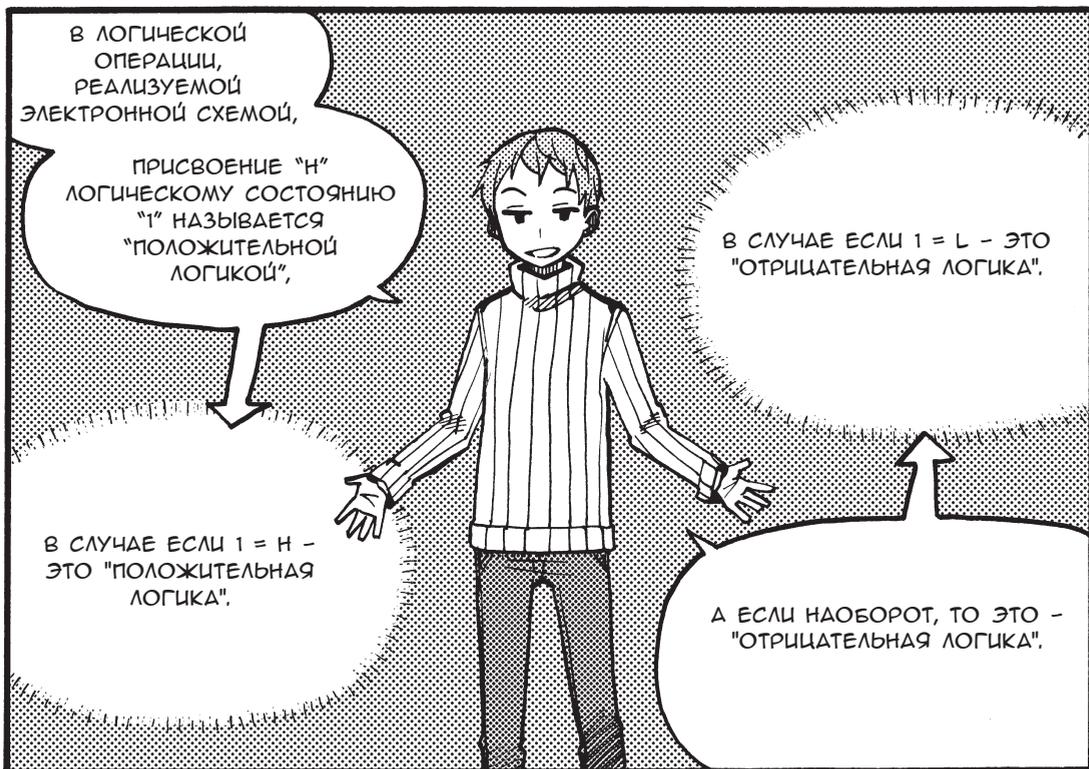
ТО ЕСТЬ ОНИ МОГУТ ДЕЛАТЬ ЧТО ХОТЯТ?

ДА!
ЧТО ХОТЯТ!

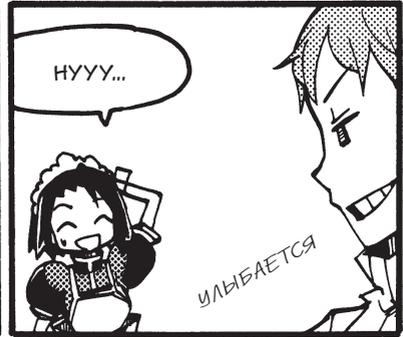
ЭТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ, "H" И "L", ПРИМЕНЯЮТСЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ...



В БОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ (БИС), ВЫПОЛНЯЮЩИХ ЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ В ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕПЯХ.







ДВОИЧНОЕ СЧИСЛЕНИЕ

$$\begin{array}{r}
 1 \\
 +) \quad 1 \\
 \hline
 10 \\
 \leftarrow \\
 10 \\
 +) \quad 1 \\
 \hline
 11 \\
 \\
 11 \\
 +) \quad 1 \\
 \hline
 100 \\
 \leftarrow \quad \leftarrow
 \end{array}$$

ПОСКОЛЬКУ ДВОИЧНЫЕ ЧИСЛА ОБЛАДАЮТ ЧИСЛЕННЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ, СУЩЕСТВУЕТ И ЧЕТЫРЕ АРИФМЕТИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ (СЛОЖЕНИЕ, ВЫЧИТАНИЕ, УМНОЖЕНИЕ, ДЕЛЕНИЕ).

$1 + 1 = 10$

СЛОЖЕНИЕ - ОЧЕНЬ ПРОСТО...

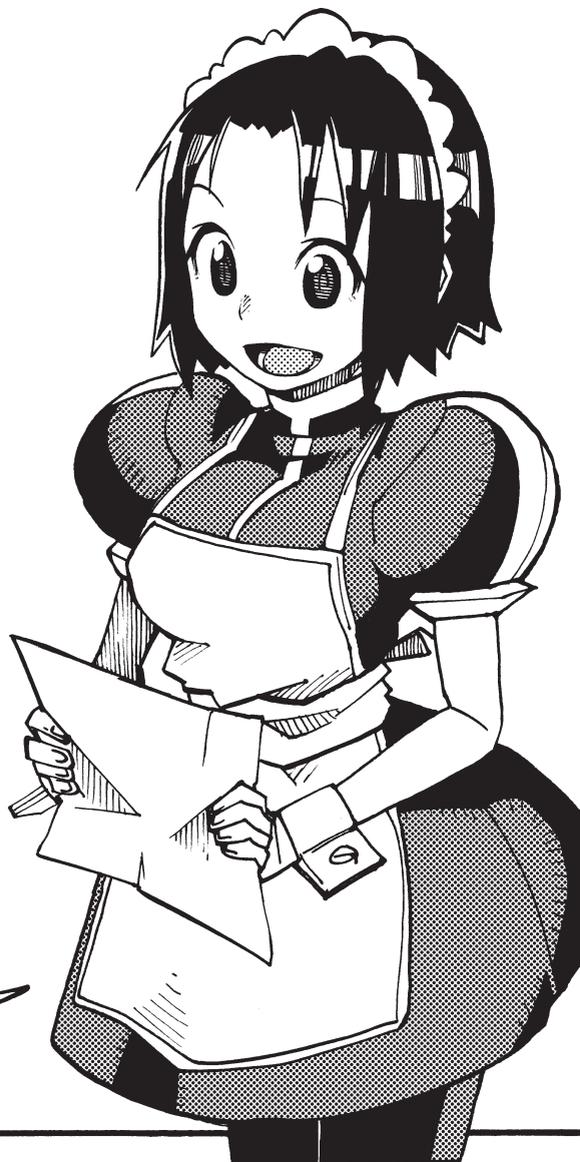


С ОДНОГО ВЗГЛЯДА
ПОНЯТНО...



	ДВОИЧНАЯ СИСТЕМА	ДЕСЯТИЧНАЯ СИСТЕМА
2^0	1	1
2^1	1 0	2
$2 \times 1 + 1$	1 1	3
	1 0 0	4
	1 0 1	5
	1 1 0	6
	1 1 1	7
	1 0 0 0	8
	1 0 0 1	9
	1 0 1 0	1 0

оу...



4 Цифровой сигнал

НО ВООООЩЕ-ТО,
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
(ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ)
ВОЛНЫ, ПО КОТОРОМ
ПЕРЕДАЮТ ЦИФРОВЫЕ
СИГНАЛЫ, -

АНАЛОГОВЫЕ.

ЧТО?

ЧТО ЭТО ЗНАЧИТ?

НАПРИМЕР, ВОТ
ЭТОТ ФАКС.

ХОТЯ ЗДЕСЬ ПРИМЕНЯЕТСЯ
АНАЛОГОВЫЙ СИГНАЛ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ
РЕЧЕВОГО ДИАПАЗОНА,

ПО НЕМУ ПЕРЕДАД-
ЕТСЯ ЦИФРОВАЯ
ИНФОРМАЦИЯ.

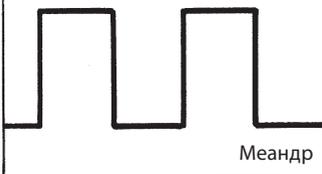
ЧТО?

АНАЛОГОВЫЕ СИГНАЛЫ
ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ДЛЯ
ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ
ИНФОРМАЦИИ?

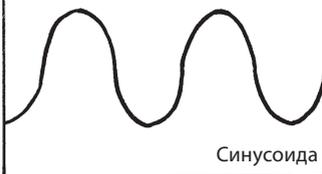
...

ВОТ ВЗГЛЯНИ
НА РИСУНОК...

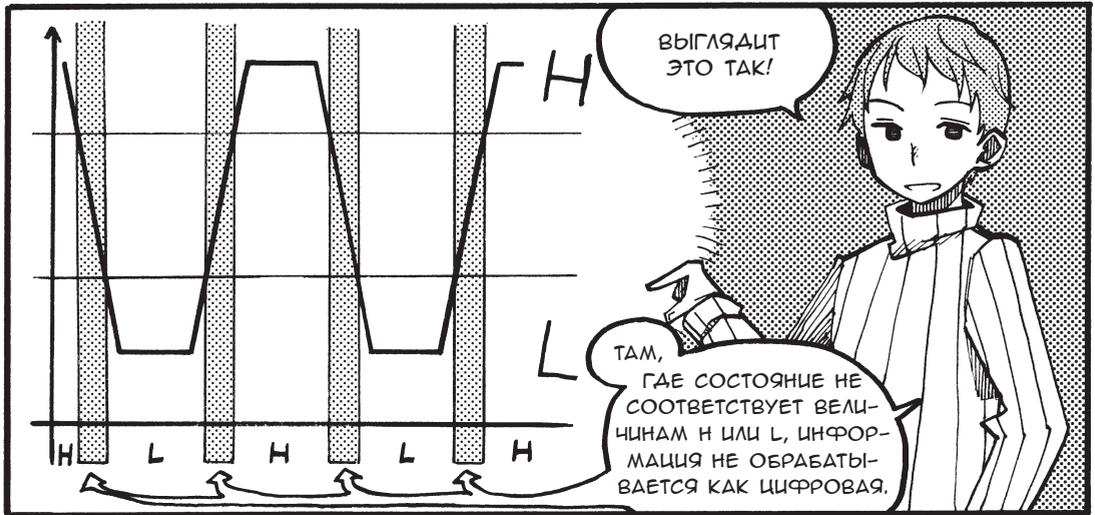
Цифровой сигнал



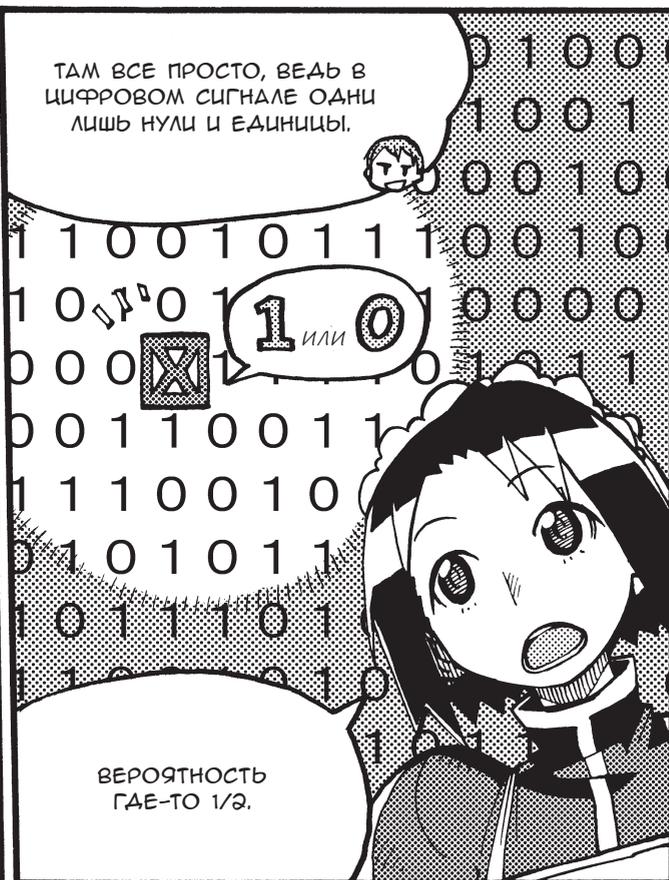
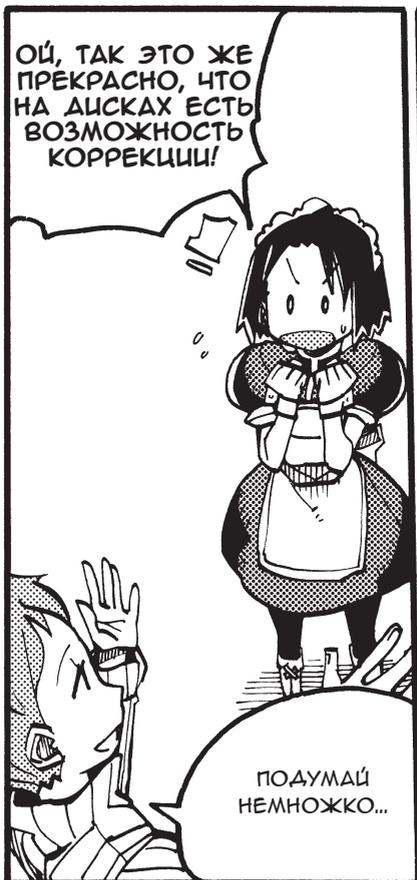
Аналоговый сигнал

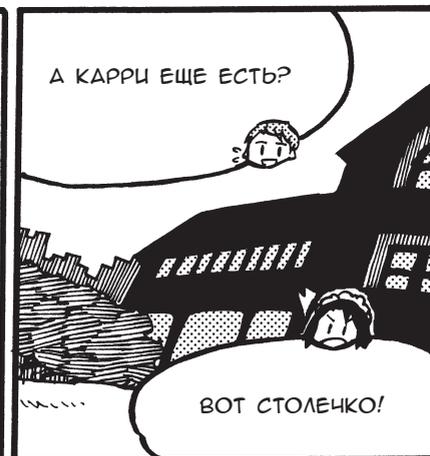
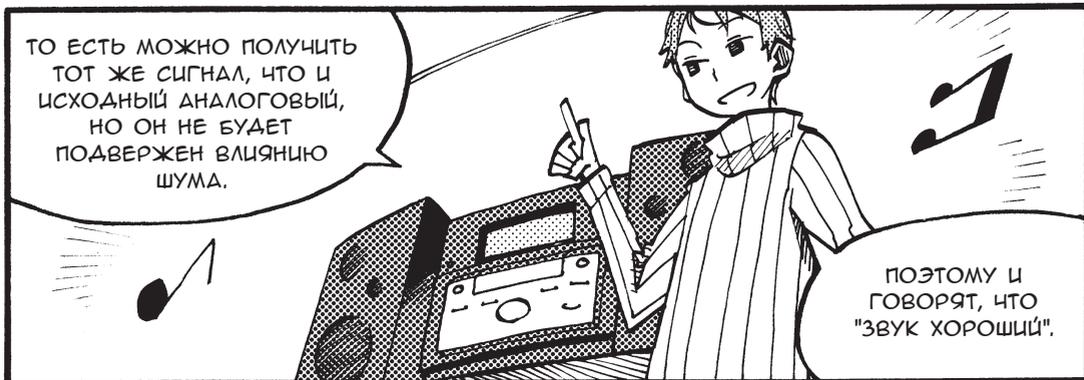


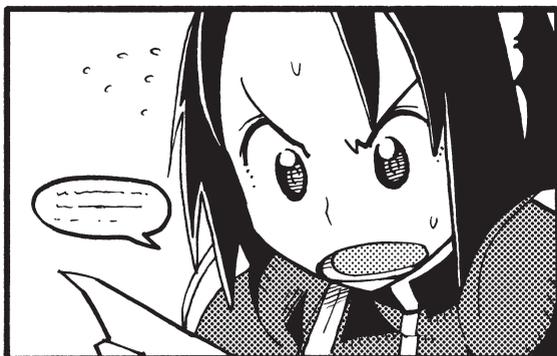
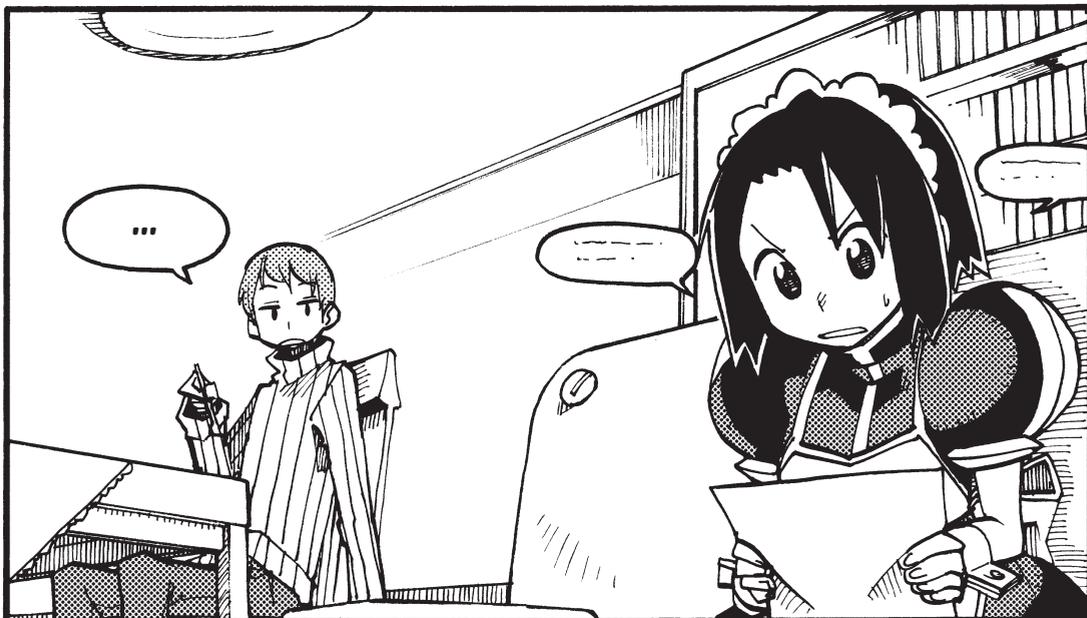
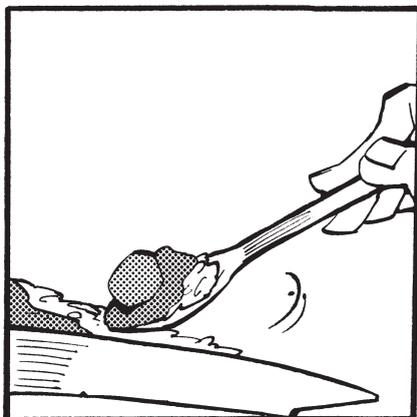












5 Подведем итог



Мобильные телефоны

Когда мобильные телефоны только появились, они передавали и принимали голосовые вызовы как аналоговые сигналы.

Однако с появлением технологии ЦСП (цифровой сигнальный процессор) для обработки голосовых сигналов они стали обрабатываться как цифровые, с уменьшением шума. ЦСП уменьшает шум, даже в местах, где слабый прием, и делает возможным общение по телефону и передаче данных.

В местах, где связь слишком плохая, цифровой сигнал не может вовремя обработаться, поэтому разговоры просто прерываются.

В мобильных телефонах вместе с обработкой голосовых сигналов с помощью ЦСП появилась необходимость и в цифровой передаче информации (как интернет-соединении), поэтому их главное преимущество в том, что и оборудование, и способ коммуникации — цифровые и их можно объединить.

Цифровая коммуникация заключается не только в приеме и передаче данных, но и в конвертировании бинарной информации (16 или 64 бит) в «массив данных» и его передаче, что обеспечивает возможность передачи большого объема данных в один момент. Когда говорят «большая скорость передачи данных», то имеют в виду не то, что скорость передачи данных электромагнитными волнами равна скорости света, но что можно передать большой объем данных одновременно. Это означает, что за определенное время можно передать определенный объем информации... или же что «массив данных» можно передать за короткое время. Поэтому — «скорость большая».

Технология, которая позволяет обработать бинарные сигналы как массив данных, передавать их как электромагнитные волны и проводить вычисления в режиме реального времени, сделалась возможной, компактной и с низким потреблением энергии благодаря полупроводникам.

Булева алгебра

Булева алгебра — базовый раздел математической логики, который имеет дело с двумя состояниями. Они обычно называются Истина (True) и Ложь (False). Часто их сокращают до Т и F.

Однако логические схемы, которые являются частью цифровых схем, оперируют как часть электронной схемы. Поэтому, чтобы связь с электронными схемами стала ясней, примем $T = H$, $F = L$. (Можно поменять местами 1 и 0, но поскольку обсуждаемая область имеет отношение к логике и логической 1, чтобы избежать непонимания, мы заменим H и L.)

Кроме того, поскольку булева алгебра является разделом математики, после определения терминов можно доказывать на их основе разные теоремы путем применения логических выражений. Однако для начинающих будут приведены графические объяснения. Такие графические объяснения называются «диаграммами Венна».

Для начала посмотрите на прямоугольник. Круг в его центре — A — истина, ложь обозначается \bar{A} (а с чертой).

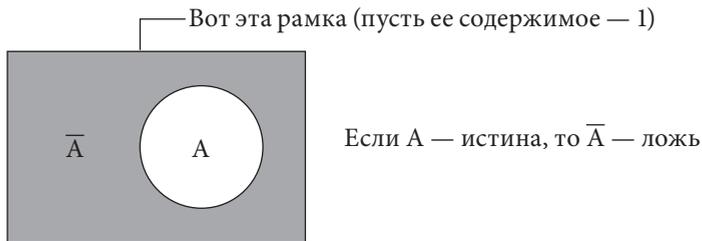


Рис. 2-1. $\bar{A} = NOT(A)$

Что касается « A », то это A взаимно исключает \bar{A} ... иными словами, оно выражает отношение «отрицания», которое может получиться путем операции отрицания (NOT) и будет обозначаться символом $\neg A$. (Символ \neg обозначает операцию отрицания.)

Результат $\neg A$ записывается как \bar{A} . Минус обозначает результат операции, а символ вычисления — это \neg .

Кроме вышеуказанного NOT, есть еще базовые операции с двумя элементами как AND, OR, EXOR. Они изображены на диаграммах Венна ниже. Тут используются два элемента A и B .

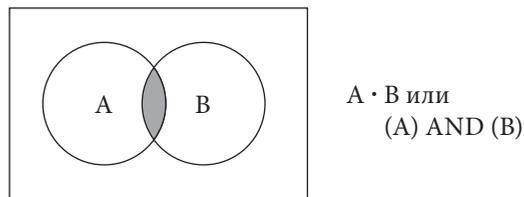
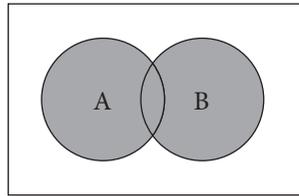
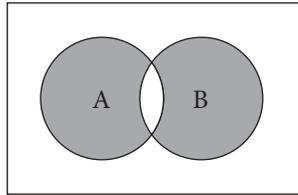


Рис. 2-2. AND (конъюнкция)



$A + B$ или
 $(A) \text{ OR } (B)$

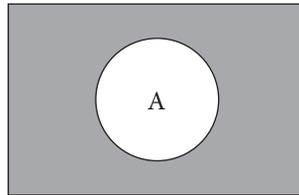
Рис. 2-3. OR (Дизъюнкция)



$A \oplus B$ или
 $(A) \text{ EXOR } (B)$

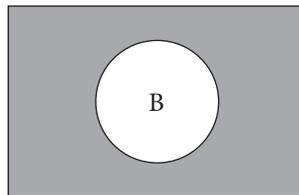
Рис. 2-4. EXOR (исключающее ИЛИ)

На рис. 2-5 и 2-6 показана дизъюнкция NOT (A) и NOT (B).



NOT (A) или
 \bar{A}

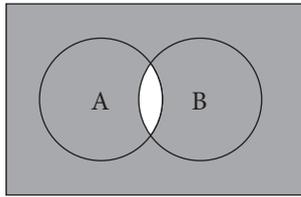
Рис. 2-5. NOT (A)



NOT (B) или
 \bar{B}

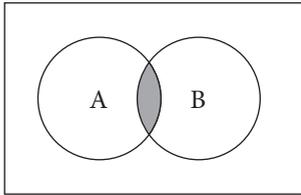
Рис. 2-6. NOT (B)

Результат показан на рис. 2-7, а NOT (отрицание) результата на рис. 2-8, что значит (A) AND (B).



(NOT(A)) OR (NOT(B)) или
 $\bar{A} + \bar{B}$

Рис. 2-7. $\bar{A} + \bar{B}$

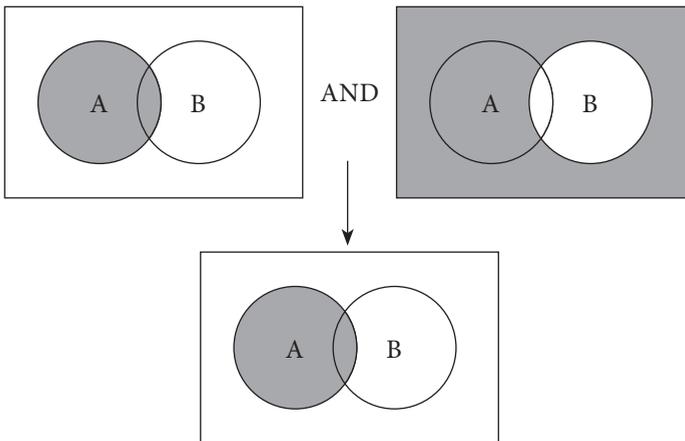


NOT(NOT(A)) OR (NOT(B)) или
 $\overline{\bar{A} + \bar{B}}$

Это $A \cdot B$
 Или же $A \cdot B = \overline{\bar{A} + \bar{B}}$

Рис. 2-8. $A \cdot B$

Также, как показано на рис. 2-9, можно выразить (A) AND (NOT(B)), на рис. 2-10 NOT(A) AND (B) и на рис. 2-11 показана их дизъюнкция OR. Очевидно, что она такая же, как исключающее ИЛИ (EXOR) на рис. 2-4.



(A) AND (NOT(B))

Рис. 2-9. $A \cdot \bar{B}$

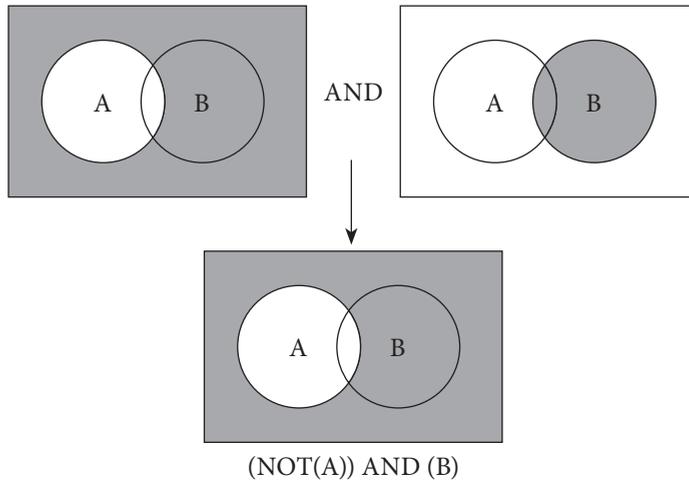


Рис. 2-10. $\bar{A} \cdot B$

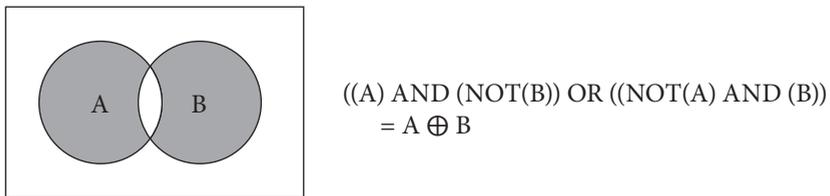


Рис. 2-11. $A \oplus B$

Таким образом, только операция NOT является необходимой, так как операция AND может быть получена сочетанием операций NOT и OR. Следовательно, операции AND, OR или EXOR не независимы друг от друга. Так, с точки зрения математической логики, можно создать другие операции только операторами NOT и AND или же NOT и OR. Однако при необходимости уменьшить число операций удобнее их комбинировать.

Так, в электронных логических схемах используются четыре оператора. Они представлены на рис. 2-12 с использованием операторов H и L.

	A	NOT(A)
$\neg A$	H	L
	L	H

	B	H	L
A	H	H	H
	L	H	L

	B	H	L
A	H	H	L
	L	L	L

	B	H	L
A	H	L	H
	L	H	L

Рис. 2-12. Логические операции в электронных схемах

Кстати, как связаны логические операции и численные вычисления?

Мы уже обнаружили, что H и L могут использоваться для счета в двоичной системе счисления.

Для начала рассмотрим базовую операцию сложения (символ + здесь означает сложение, а не конъюнкцию. Поскольку в логических и арифметических операциях используются одинаковые символы, начинающие легко могут запутаться, где что).

Если $A = 1$ или 0 , $B = 1$ или 0 , то всего существуют четыре комбинации $A + B$:

$0 + 0 = 0$, $0 + 1 = 1$, $1 + 0 = 1$, $1 + 1 = 10$ (тут происходит переход на высший разряд, к 1 приписывается 0).

Как показано на рис. 2-13, если разбить на колонки, получаются следующие две операции.

Глядя на эти выражения, видно, что результат низшего разряда — это результат Исключающего ИЛИ A и B, в то время как результат высшего разряда — это конъюнкция A и B.

Попробуем добавить еще одно слагаемое, которое выражается C, чтобы получилась сумма $A + B + C$. Как показано на рис. 2-14, сложение может быть разбито на те же операции.

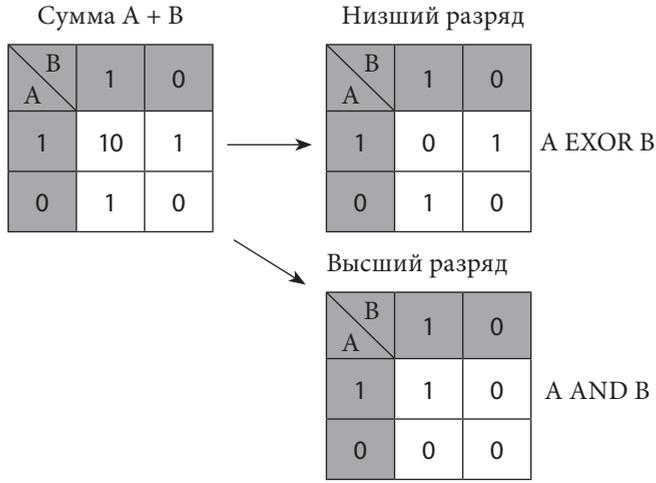


Рис. 2-13. Таблица сложения

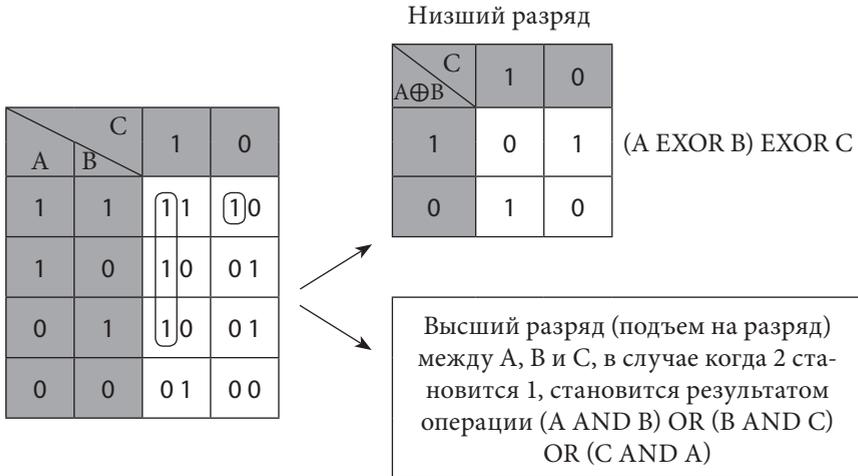


Рис. 2-14. Вычисления в 1 бите с подъемом на разряд

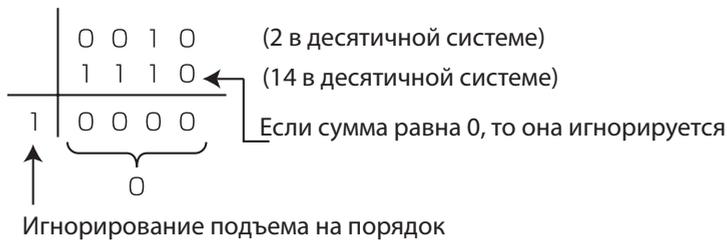


Рис. 2-15. Вычисления в 4 битах

Таким образом, сложение чисел производится путем конвертации в бинарные числа, затем использованием бинарной логики и применением логических операций.

А как производится вычитание? Основная идея в том что вместо вычитания прибавляется отрицательное число. Но как выражаются отрицательные числа в двоичной системе?

Как представляют отрицательные числа в десятичной системе? Можно рассматривать их так: при сложении с положительным числом той же величины получится 0. Иными словами, при сложении 5 и -5 получится $5 + (-5) = 0$. В двоичной системе можно рассматривать их так же. Например, в десятичной системе при игнорировании перехода на разряд (есть он или нет, все равно имеется 1) 9 плюс 1 равняется 10, но с точки зрения 1 он превращается в 0. Иными словами, 1 и 9 считаются дополнительными числами. Также 2 и 8, 3 и 7, 4 и 6, сумма которых является 10, являются дополнительными. Используя это, мы припишем отрицательное значение 1 (минус 1) для удобства. Другие дополнительные числа ведут себя точно так же.

Таким образом, отрицательными числами для 0, 1, 2, 3, 4, станут, соответственно, 0, 9, 8, 7, 6. В таком случае 5 может считаться и как 5 и как -5 . Однако если 0 считается положительным числом, 0, 1, 2, 3, 4 будут положительными, а 9, 8, 7, 6, 5 — отрицательными, и система будет сбалансирована. Таким образом -1 равняется 9.

Такая система кажется похожей на пятеричную систему исчисления, но нам так кажется, потому что мы рассматриваем числа в одном разряде (меньше 10). Если количество чисел возрастет (допустим, до миллиона), «центр» будет находиться в 500 000.

А в двоичной системе? Поскольку есть 1 и 0, то дополнительное число не сделать. Возьмем четырехразрядное число (4 бита) в двоичной системе.

Например, 6 в десятичной системе будет записываться четырьмя битами как

0 1 1 0

Чтобы сделать -6 , надо это число дополнить. Иными словами, нужно, чтобы все числа, добавленные к 4 битам, в сумме давали 0. В результате

появится 5 бит разряда, и он станет 1. С точки зрения сложения бинарных чисел, $0 + 0 = 0$, $1 + 0 = 1$, $0 + 1 = 1$, $1 + 1 = 10$, получится

$$\begin{array}{r}
 0\ 1\ 1\ 0 \\
 +) \quad a\ c\ b\ a \\
 \hline
 1\ 0\ 0\ 0\ 0
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \leftarrow \text{Дополнения} \\
 \leftarrow \text{Результат}
 \end{array}$$

Где a , надо дополнить так, чтобы $0 + a = 0$, или же $a = 0$.

В случае b $1 + b = 0$ — поэтому $b = 1$, получается переход на разряд выше.

В случае c с учетом перехода на разряд

$$\begin{array}{r}
 1 + c + 1 = 0 \\
 \uparrow \\
 \leftarrow \text{Переход на разряд}
 \end{array}$$

поэтому если $c = 0$, $1 + 0 + 1 = 10$, и подъем на разряд проходит в d , где будет...

$$\begin{array}{r}
 1 + d + 1 = 0 \\
 \uparrow \\
 \leftarrow \text{Переход на разряд}
 \end{array}$$

Тогда если $d = 1$, оно становится равным $0 + 1 + 1 = 10$, а цифра этого разряда корректируется, т. к. она переносится.

Подведём итог.

$$\begin{array}{r}
 0\ 1\ 1\ 0 \\
 +) \quad 1\ 0\ 1\ 0 \\
 \hline
 1\ 0\ 0\ 0\ 0
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \leftarrow 6 \text{ в десятичной системе} \\
 \leftarrow \text{Дополнение } 6 \text{ в десятичной системе}
 \end{array}$$

Ясно, что дополнительное число для 0110 — это 1010 . Иными словами, в 4 битах (двоичной системе с четырьмя разрядами) десятичное -6 записывается как 1010 .

В десятичной системе это положительная 10 .

Если представить двоичные числа в 4 битах положительными числами в десятичной системе, то это будут 16 чисел от 0 до 15. В десятичной системе операция выше записывается как $6 + 10 = 16$.

При вычислении в ЦП и т. п. числа в двоичной системе только положительные, а решает, положительное оно или отрицательное, тот, кто числами пользуется.

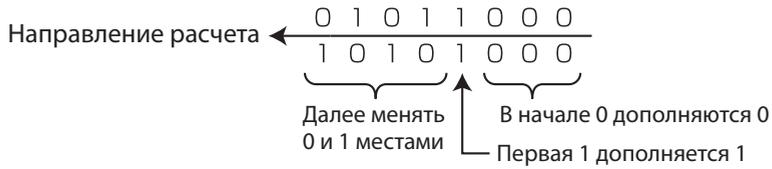
То есть 16 четырехбитных чисел 0000 , 0001 , 0010 , ... 1101 , 1110 , 1111 в десятичной системе выражаются в диапазоне от 0 до 15, или же от 0 до 7 и от -1 до -8 в восьмеричной системе в зависимости от того, кто систему использует.

Давайте снова рассмотрим способ, как найти дополнительное число.

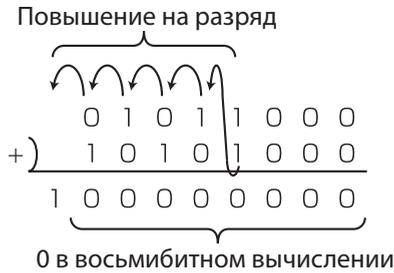
Так же можно найти два и более разрядов двоичного числа:

- 1) сначала подсчитайте дополнения низших разрядов, так чтобы сумма равнялась 0;
- 2) дополнение самого низкого разряда, где впервые появляется 1, является 1;
- 3) начиная от разряда в пункте 2, все 0 надо менять на 1, и наоборот.

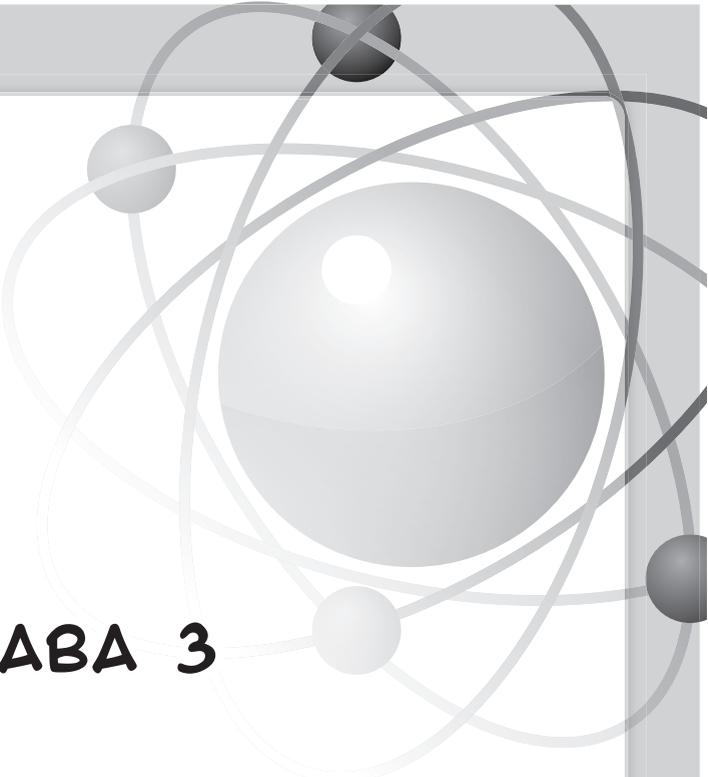
Например, в 8-битной двоичной системе:



При сложении...



Таким образом, можно выразить положительные и отрицательные числа в двоичной системе при помощи дополнительных чисел.

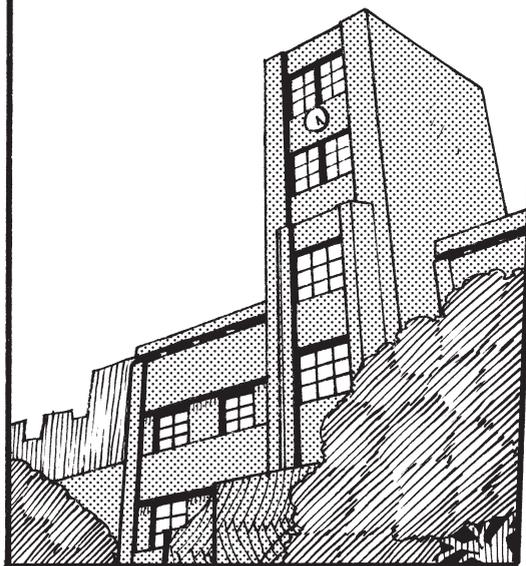


ГЛАВА 3

**ИЗ ЧЕГО ДЕЛАЮТ
ПОЛУПРОВОДНИКИ**



1 Сравнение проводников (металлов, полуметаллов)







ЧТО ТЫ ДЕЛАЕШЬ?



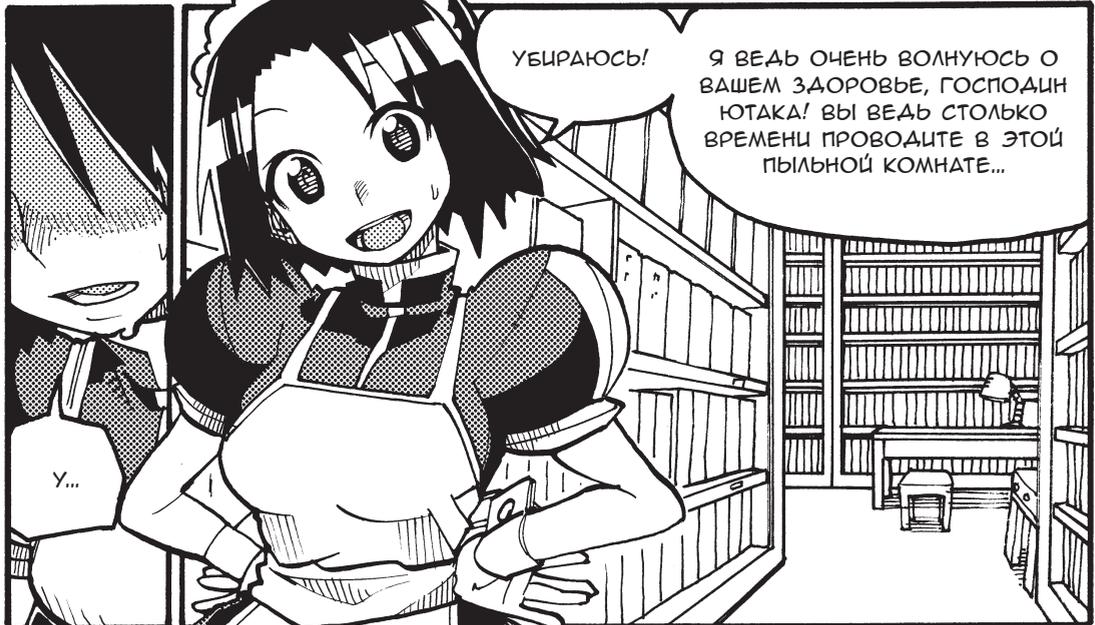
ГОСПОДИН
ЮТАКА!

РАЗВЕ Я НЕ
ГОВОРИЛ, ЧТО
ТЕБЕ НЕЛЬЗЯ
СЮДА?



ЧТО ТЫ ТУТ
ДЕЛАЕШЬ?

...



УБИРАЮСЬ!

Я ВЕДЬ ОЧЕНЬ ВОЛНУЮСЬ О
ВАШЕМ ЗДОРОВЬЕ, ГОСПОДИН
ЮТАКА! ВЫ ВЕДЬ СТОЛЬКО
ВРЕМЕНИ ПРОВОДИТЕ В ЭТОЙ
ПЫЛЬНОЙ КОМНАТЕ...

У...



● Как применять закон Ома

ИТАК, ЕСЛИ
ВЕЩЕСТВО ПРОВОДИТ
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, ТО
ЕГО МОЖНО СЧИТАТЬ
ПРОВОДНИКОМ.

НО ЧЕМ ОТЛИЧАЮТСЯ
ТАКИЕ ВСЕМ ИЗВЕСТНЫЕ
ПРОВОДНИКИ, КАК
ЖЕЛЕЗО, МЕДЬ,
АЛЮМИНИЙ, НИКЕЛЬ И
ДРУГИЕ?

ЧТО?

НЕ ЗНАЮ!

МОЖНО
ИЗМЕРИТЬ,
НАСКОЛЬКО
ЛЕГКО ОНИ
ПРОВОДЯТ
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.

А ИЗМЕРЕНИЕ
ПРОВОДИТСЯ В
СООТВЕТСТВИИ С
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ
ПРИНЦИПОМ,

КОТОРЫЙ
НАЗЫВАЕТСЯ
ЗАКОМ ОМА!

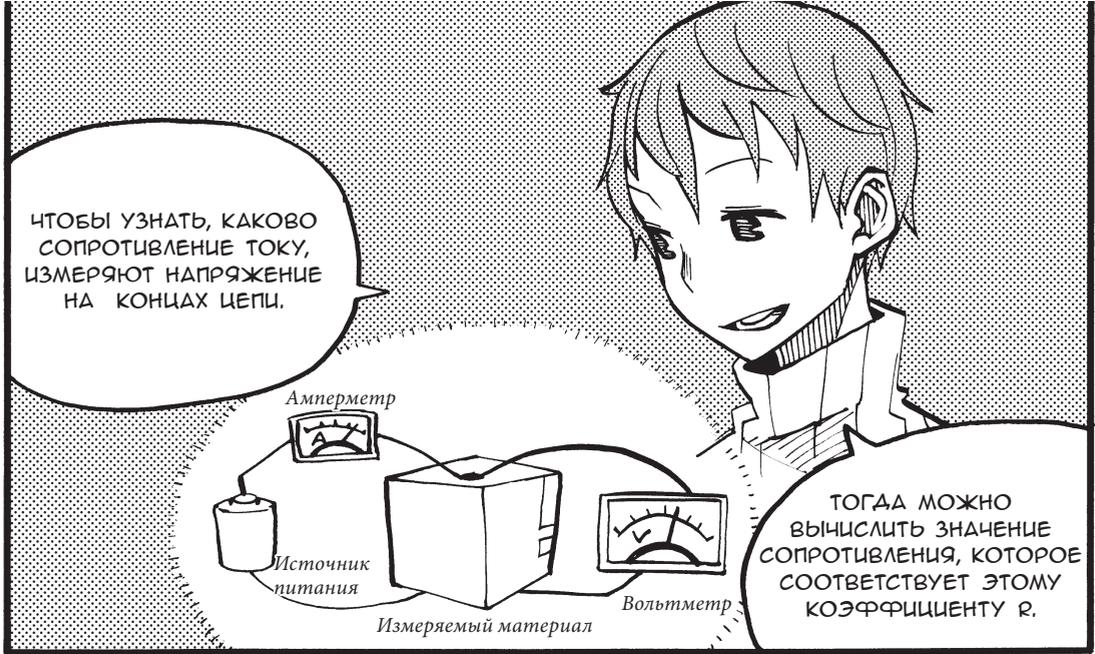
НАПРЯЖЕНИЕ E (В) НА
КОНЦАХ ЦЕПИ
ПРОПОРЦИОНАЛЬНО СИЛЕ
ТОКА I (А).

И КОЭФФИЦИЕНТ ЭТОЙ
ЗАВИСИМОСТИ ОБОЗНАЧАЮТ
БУКВОЙ R (ОМ). ЭТОТ
КОЭФФИЦИЕНТ НАЗВАЛИ
СОПРОТИВЛЕНИЕМ.

ПОЛУЧАЕТСЯ ФОРМУЛА!

УГУ!

$$E (В) = R (Ом) \times I (А)$$



ЧТОБЫ УЗНАТЬ, КАКОВО СОПРОТИВЛЕНИЕ ТОКУ, ИЗМЕРЯЮТ НАПРЯЖЕНИЕ НА КОНЦАХ ЦЕПИ.

ТОГДА МОЖНО ВЫЧИСЛИТЬ ЗНАЧЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ, КОТОРОЕ СООТВЕТСТВУЕТ ЭТОМУ КОЭФФИЦИЕНТУ R.



ОДНАКО, МАТЕРИАЛ, КОТОРЫЙ ИЗМЕРЯЮТ ТАКИМ СПОСОБОМ, НАГРЕВАЕТСЯ,

И НАДО СЛЕДИТЬ ЗА ТЕМ, КАК РАСТЕТ ТЕМПЕРАТУРА.

ГОРЯЧО!



СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛА БУДЕТ МЕНЯТЬСЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ,

НУ, ЕСЛИ ТЫ ПОНЯЛА ОСНОВЫ, ТО ПОКА ХВАТИТ...

ПОЭТОМУ НАДО СЛЕДИТЬ ЗА НЕЙ.



ГОСПОДИН ЮТАКА! А НАПРЯЖЕНИЕ НЕ ЗАВИСИТ ОТ ФОРМЫ МАТЕРИАЛА?

ЧТО?



ВЕДЬ ЕСЛИ ПРОВОД ТОЛСТЫЙ, ТО И ТОКА ПО НЕМУ ПОТЕЧЕТ БОЛЬШЕ.

А ЕСЛИ ОН ДЛИННЫЙ, ТО ОН ЕЩЕ И ТЕЧЕТ ДОЛЬШЕ...



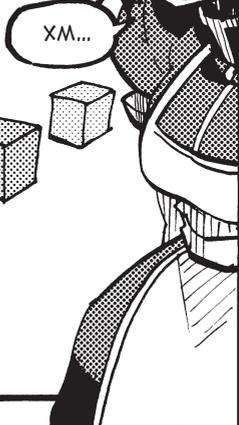
КОНЕЧНО, ЗАВИСИТ.

ЕСЛИ ПЛОЩАДЬ СЕЧЕНИЯ БОЛЬШАЯ, ТО СОПРОТИВЛЕНИЕ ПАДАЕТ.

А ЕСЛИ ДЛИННЕЕ, ТО СОПРОТИВЛЕНИЕ РАСТЕТ.

ПОЭТОМУ ЗНАЧЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЫСЧИТЫВАЕТСЯ ПРИ ОДИНАКОВЫХ УСЛОВИЯХ, ЧТОБЫ СРАВНЕНИЕ БЫЛО РАВНОЦЕННЫМ.

ДЛЯ ЭТОГО РАЗНЫМ МАТЕРИАЛАМ ПРИДАЮТ ОДИНАКОВУЮ ФОРМУ.



НАПРИМЕР

1 м

1 м

1 м

● Удельное сопротивление

ВОТ ЭТО НАЗЫВАЕТСЯ УДЕЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ.

Ом·м

ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ Ом·м.

ЗДЕСЬ ПРИВЕДЕНЫ ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Алюминий: 2,8	Цинк: 5,9
Золото: 2,4	Олово: 11
Серебро: 1,6	Свинец: 19
Медь: 1,6	Ртуть: 94
Сталь: 8,9	

(при $T = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$)
Из «Таблицы физических величин»

ПРИВЕДЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СООТВЕТСТВУЮТ 10^{-8} Ом·м.

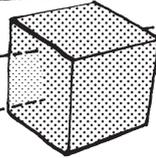
2 Кремний и германий

ТЕПЕРЬ
ПОГОВОРИМ
ОБ УДЕЛЬНОМ
СОПРОТИВЛЕНИИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ -
КРЕМНИЯ И
ГЕРМАНИЯ.



ПРИ КОМНАТНОЙ
ТЕМПЕРАТУРЕ (20 °C)
ОНО ПРИМЕРНО
РАВНО 10⁶ ОМ·М.

Ток



10⁶ Ом·м

ЕСЛИ
СОПРОТИВЛЕНИЕ
МЕТАЛЛОВ -
10⁻⁸ Ом·м,

ТО У КРЕМНИЯ
ОНО ВЫШЕ
В 10¹⁴ РАЗ...

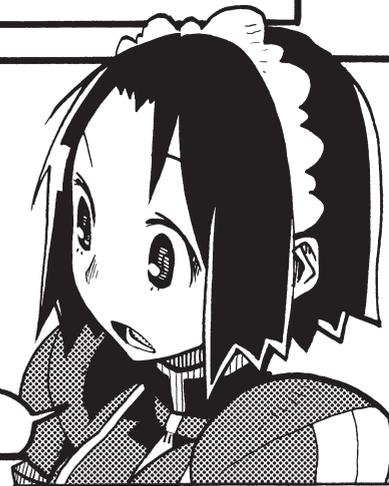
КРЕМНИЙ 10⁶ Ом·м

0

РАЗНИЦА МЕЖДУ
СОПРОТИВЛЕНИЕМ
КРЕМНИЯ И МЕТАЛЛОВ
10¹⁴ Ом·м

МЕТАЛЛ 10⁻⁸ Ом·м

НИЧЕГО СЕБЕ
РАЗНИЦА!



У ФАРФОРА
(КЕРАМИКИ)
УДЕЛЬНОЕ
СОПРОТИВЛЕНИЕ
СОСТАВЛЯЕТ 10¹⁴
Ом·м.

У БУМАГИ, В
ЗАВИСИМОСТИ ОТ
СОРТА И
ПЛОТНОСТИ,
УДЕЛЬНОЕ
СОПРОТИВЛЕНИЕ
МОЖЕТ МЕНЯТЬСЯ
ОТ 10⁶ ДО 10¹⁰.



10¹⁰ БУМАГА
10⁶ ПОЛУПРО-
ВОДНИКИ
10⁸ МЕТАЛЛ

... СЮДА ПО ЭТИМ
ЗНАЧЕНИЯМ, ПОЛУ-
ПРОВОДНИКИ НЕ
МОГУТ СЧИТАТЬСЯ
"ВЕЩЕСТВАМИ С
ПЕРЕХОДНЫМИ
СВОЙСТВАМИ
ПРОВОДИ-
МОСТИ"...



КРЕМНИЙ ТОЖЕ,
ПОЛУЧАЕТСЯ, ДИ-
ЭЛЕКТРИК, КАК И
БУМАГА, У КОТОРОЙ
УДЕЛЬНОЕ СОПРО-
ТИВЛЕНИЕ МОЖЕТ
БЫТЬ 10⁶ Ом·м.



Н-НУ...



НУ, Я, КОНЕЧНО,
МНОГО ЧЕГО
НАГОВОРИЛ...

КОРОЧЕ, НЕТ СМЫСЛА
ГОВОРИТЬ О
ПОЛУПРОВОДНИКАХ,
СРАВНИВАЯ ВЕЛИЧИНЫ
УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ!



КАК
ЖЕ
ЭТО?



● Температурная зависимость
удельного сопротивления

НАИБОЛЕЕ ХАРАКТЕРНЫМ
СВОЙСТВОМ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ
ЯВЛЯЕТСЯ

ЗАВИСИМОСТЬ
УДЕЛЬНОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ
ТЕМПЕРАТУРЫ.



УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ
ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ПЛОТНОСТЬЮ
ЭЛЕКТРОНОВ, ПРОВОДЯЩИХ
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО
(ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬЮ).



ЧИСЛО ЭЛЕКТРОНОВ
В 1 СМ³ МЕТАЛЛА
РАВНО ПРИМЕРНО 10²³.

С ДРУГОЙ СТОРОНЫ, В
КРИСТАЛЛЕ ЧИСТОГО КРЕМНИЯ
ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ
ИХ ОКОЛО 10¹⁰.

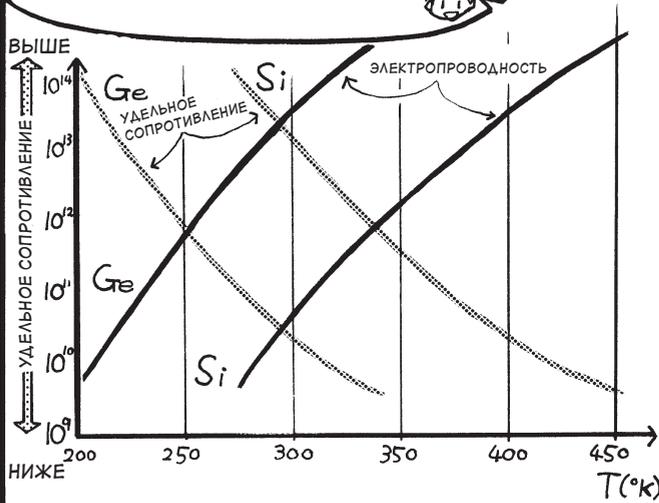


ОДНАКО

ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 100 °С
КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕКТРОНОВ
УВЕЛИЧИВАЕТСЯ В 200 РАЗ ДО
2 × 10¹², А ЕСЛИ ТЕМПЕРАТУРА
ВЫРАСТАЕТ ДО 300 °С, ТО ДО
2 × 10¹⁴, ЧТО МНОГО БОЛЬШЕ, ЧЕМ В
ДИЭЛЕКТРИКЕ.



ТО ЕСТЬ УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ УМЕНЬШАЕТСЯ ПО МЕРЕ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, И НЕ ТОЛЬКО В КРЕМНИИ, НО И В ДРУГИХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ.



КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕКТРОНОВ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ - УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ УМЕНЬШАЕТСЯ.

КСТАТИ, В СЛУЧАЕ МЕТАЛЛА УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗРАСТАЕТ ПО МЕРЕ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ.



АЛЮМИНИЙ ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ ПОЛУПРОВОДНИКОВ.

ЧТОБЫ ОБЪЯСНИТЬ РАЗНИЦУ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕЖДУ МЕТАЛЛОМ И ПОЛУПРОВОДНИКОМ,

НАДО ПРЕДСТАВИТЬ, КАК ВЕДУТ СЕБЯ ЭЛЕКТРОНЫ.



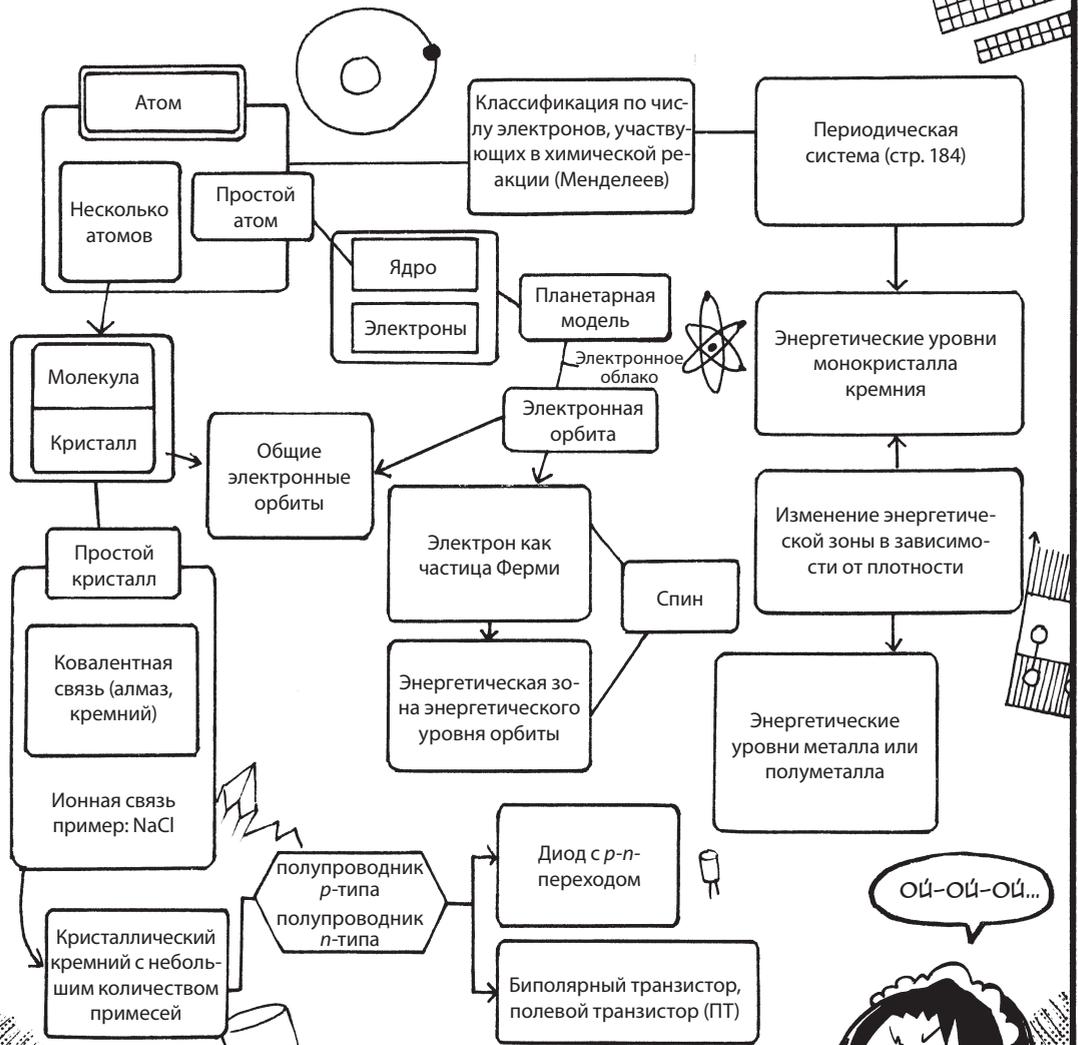
АА... ПОЛУПРОВОДНИКИ КАКИЕ-ТО СЛОЖНЫЕ...

СЛОЖНЫЕ?



МЫ ЕЩЕ ТОЛЬКО НАЧИНАЕМ ГОВОРИТЬ О ПОЛУПРОВОДНИКАХ, А ТЕБЕ УЖЕ СЛОЖНО?

● Смежные дисциплины



Ой-ой-ой...

ВОТ ТУТ ВКРАТЦЕ НАПИСАНО,
КАКЦЕ ТЕРМИНЫ СВЯЗАНЫ
С ПОЛУПРОВОДНИКАМИ
В СМЕЖНЫХ АКАДЕМИЧЕСКИХ
ДИСЦИПЛИНАХ.

ХОТЯ С
ФИЗИЧЕСКОЙ
ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НЕ
ВСЕ ЭТО МОЖНО
ОБЪЯСНИТЬ,

НО КВАНТОВАЯ
МЕХАНИКА ПОМОЖЕТ
РАЗОБРАТЬСЯ И С
ПОЛУПРОВОДНИКАМИ.

КАКИЕ
ИНТЕРЕСНЫЕ ЭТИ
ПОЛУПРОВОДНИКИ!



СКОЛЬКО ДАЛУ!

!

НА ДРУГА...

ОЙ! МНЕ ПОРА
ГОТОВИТЬ
УЖИН!



МОЖЕТ, ГДЕ-НИБУДЬ
ПОУЖИНАЕМ?

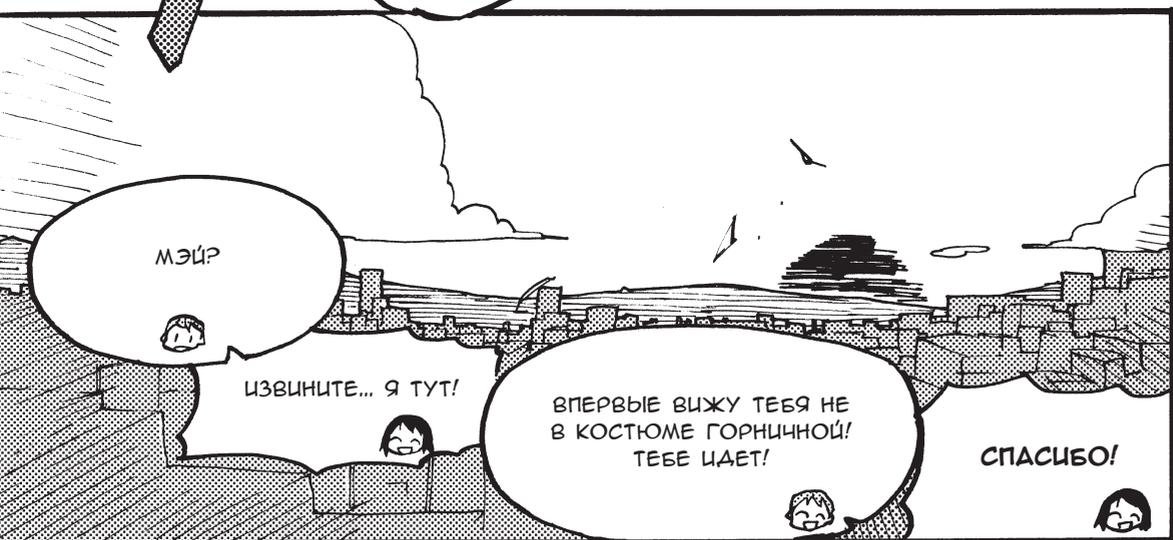
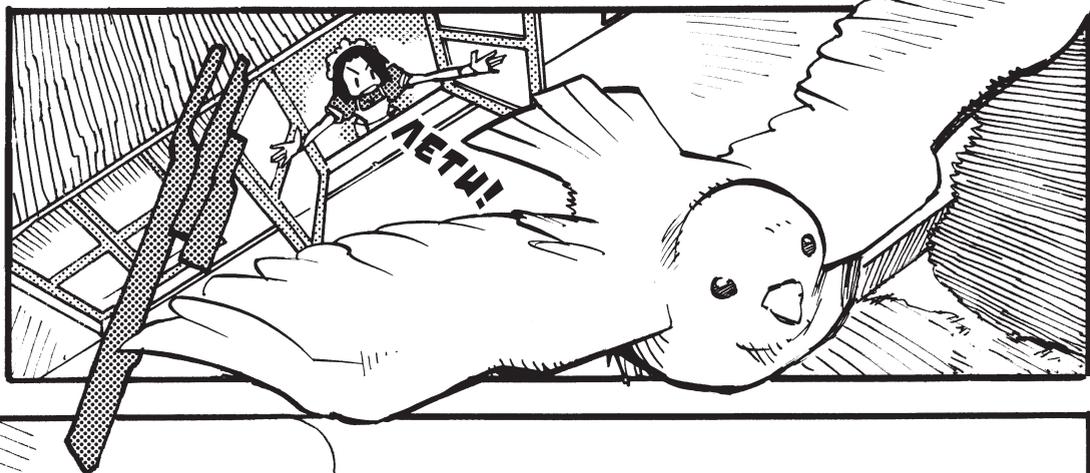
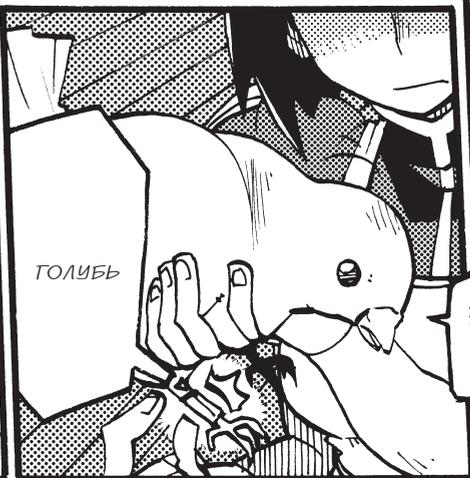
ПРАВДА... ГОСПОДИН
ЮТАКА!

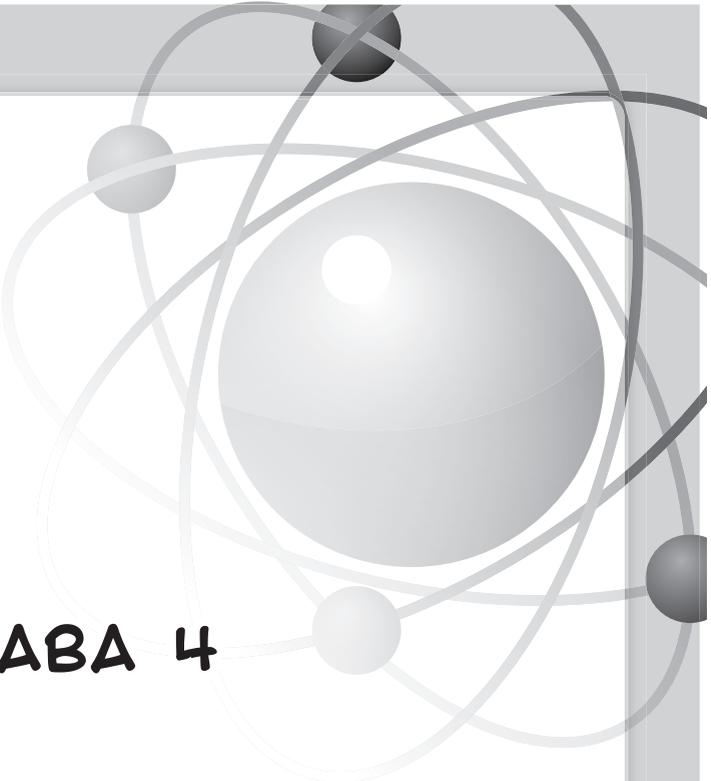


В КАКОМ-НИБУДЬ
ХОРОШЕМ
РЕСТОРАНЕ!..

ПОЙДУ
ПЕРЕОДЕНУСЬ!





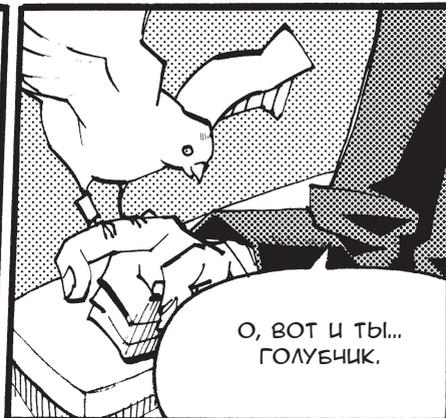
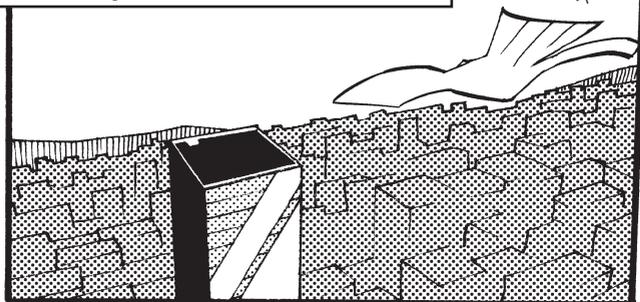


ГЛАВА 4

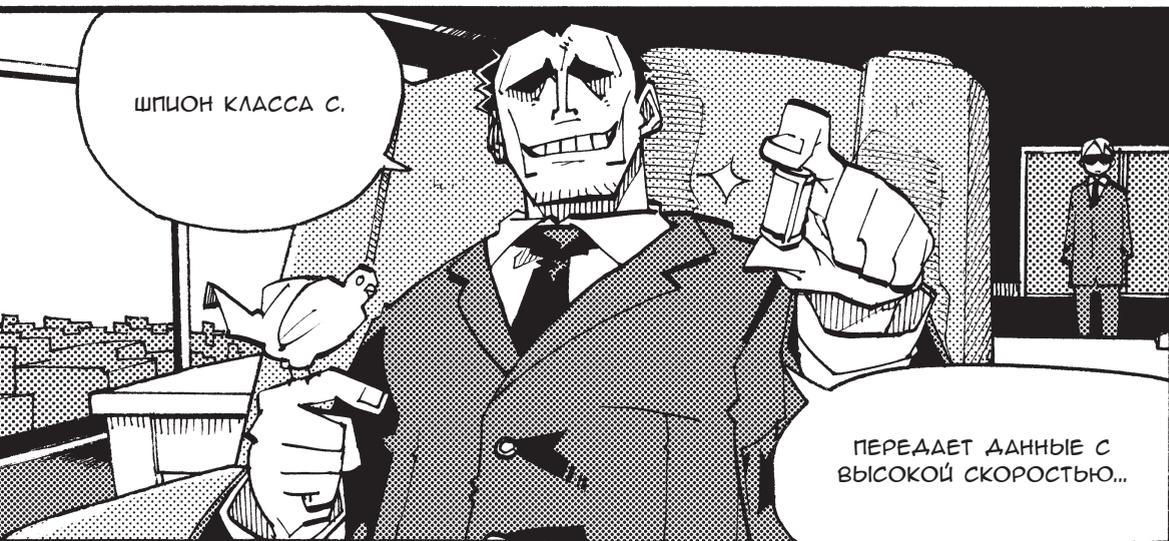
**АТОМЫ, МИНИМАЛЬНЫЕ
ЧАСТИЦЫ ВЕЩЕСТВА**



1 Строение атома
и периодическая система



О, ВОТ И ТЫ...
ГОЛУБЧИК.



ШПИОН КЛАССА С.

ПЕРЕДАЕТ ДАННЫЕ С
ВЫСОКОЙ СКОРОСТЬЮ...

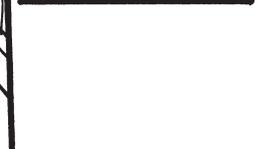


УДИВИТЕЛЬНО, ЧТО
ВЫ ПОЛЬЗУЕТЕСЬ
ГОЛУБИНОЙ ПОЧТОЙ...

ЭТО ТОЛЬКО ДЛЯ
СЕКРЕТНОЙ
ИНФОРМАЦИИ...

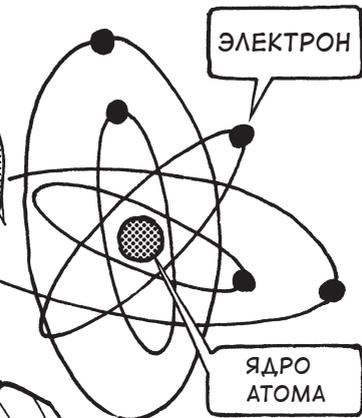


ЕЕ ВЫКРАЛИ ПОД НОСОМ
У ОХРАНЫ...



В ХОДЕ ИСТОРИИ ПОНЯТИЕ О СТРУКТУРЕ АТОМА МЕНЯЛОСЬ, НО Я ПОПЫТАЮСЬ ДАТЬ ПРОСТОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ.

СЧИТАЕТСЯ, ЧТО АТОМ СОСТОИТ ИЗ ЯДРА, ВОКРУГ КОТОРОГО ВРАЩАЮТСЯ ЭЛЕКТРОНЫ.



ЯДРО АТОМА СОСТОИТ ИЗ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫХ ПРОТОНОВ И НЕЙТРАЛЬНЫХ (С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА) НЕЙТРОНОВ.

В АТОМЕ ЕЩЕ ЕСТЬ ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ.

ЭЛЕКТРОН (-)

ПРОТОН (+)
И НЕЙТРОН.

ЭТО ВСЕ ПРАВДА?

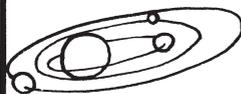
ДА, ХОТЯ ИХ И НЕ УВИДИШЬ.

ТРИСТАНЬЮ
СМОТТИТ

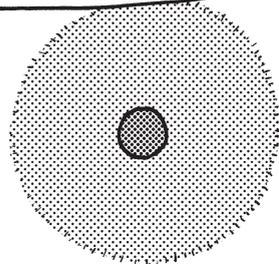
ЭТО - "ПЛАНЕТАРНАЯ
МОДЕЛЬ", ТАК КАК
ЭЛЕКТРОНЫ ВРАЩАЮТСЯ
ВОКРУГ ЯДРА,
ПОДОБНО ПЛАНЕТАМ
ВОКРУГ СОЛНЦА.



ПОХОЖЕ



НО СОГЛАСНО КВАНТОВОЙ
МЕХАНИКЕ, ЭЛЕКТРОНЫ В
ФОРМЕ ОБЛАЧКОВ ОКРУЖАЮТ
ЯДРО АТОМА.



КАК-ТО ТАК.

НО ЕСЛИ ЭЛЕКТРОНОВ
МНОГО (У АТОМА
БОЛЬШОЙ ПОРЯДКОВЫЙ
НОМЕР), ТО КАК
ЭЛЕКТРОНЫ ВРАЩАЮТСЯ
ВОКРУГ ЯДРА?

ЭЛЕКТРОНЫ ОБЛАДАЮТ
НЕКОТОРОЙ ЭНЕРГИЕЙ,
БЛАГОДАРЯ КОТОРОЙ
ОНИ ВРАЩАЮТСЯ.

ЭТО НЕ ЗНАЧИТ, ЧТО
ОНИ ВРАЩАЮТСЯ
ПРОСТО ТАК,
ИГНОРИРУЯ СУЩЕСТ-
ВОВАНИЕ ДРУГИХ
ЭЛЕКТРОНОВ.

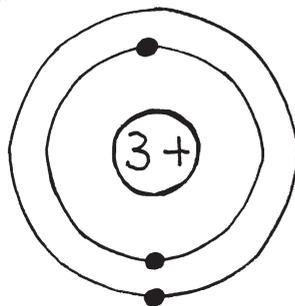
ОНИ ТАКИЕ
СЕРЬЕЗНЫЕ?

НЕ В ЭТОМ СУТЬ!

● Энергетическое состояние электрона

ЗНАЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ
КАЖДОГО ЭЛЕКТРОНА
НЕ МОЖЕТ БЫТЬ
ПОСТОЯННЫМ.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРОНА,
СОГЛАСНО КВАНТОВОЙ
МЕХАНИКЕ, ПРИНИМАЕТ
ДИСКРЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ.



АТОМ ЛИТИЯ



КСТАТИ,
ЗДЕСЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
СОСТОЯНИЕ СОДЕРЖИТ ТОЛЬКО
ОДИН ЭЛЕКТРОН.



А КАК ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
СОСТОЯНИЕ ОАНОГО
ЭЛЕКТРОНА?



ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ
ЭЛЕКТРОНОВ В АТОМЕ

УГУ

ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ С ПОМОЩЬЮ
ГЛАВНОГО КВАНТОВОГО
ЧИСЛА (N)

И ОРБИТАЛЬНОГО
КВАНТОВОГО ЧИСЛА (L).



ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ МОЖНО
ВЫДЕЛИТЬ ЕЩЕ ОАНО
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
СОСТОЯНИЕ ИЗ (L).

ЭТО ЧИСЛО $(2L + 1)$...

$2l + 1$

...НАЗЫВАЕТСЯ
"МАГНИТНЫМ
КВАНТОВЫМ
ЧИСЛОМ" (M).





КОГДА МЫ БУДЕМ ГОВОРИТЬ О КРИСТАЛЛЕ ПОЛУПРОВОДНИКА,

ТО ВАЖНО ПРЕДСТАВЛЯТЬ ЭЛЕКТРОННЫЕ ОРБИТАЛИ.



УГУ.



ОДНАКО ТАКАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ОРБИТАЛЬ НЕ ДЛЯ ОДНОГО АТОМА...



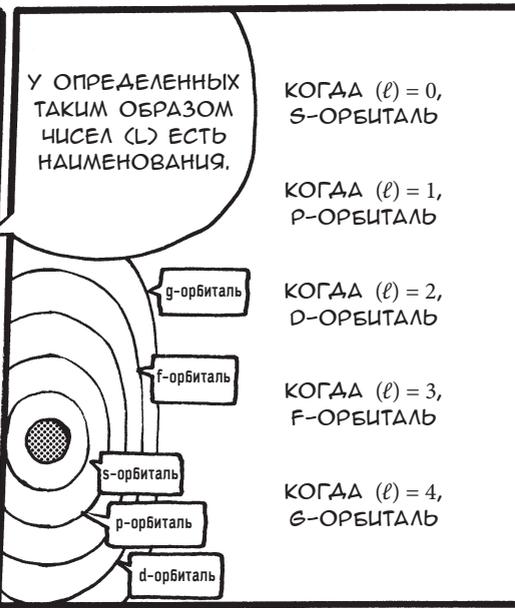
...

А ДЛЯ МНОЖЕСТВА АТОМОВ, КОТОРЫЕ ОБРАЗУЮТ КРИСТАЛЛ.



ОРБИТАЛЬНОЕ КВАНТОВОЕ ЧИСЛО (l) = 0, 1, 2, 3 - ПОЛУЧАЕТСЯ ПРИ ВЫЧИТАНИИ 1 ИЗ ГЛАВНОГО КВАНТОВОГО ЧИСЛА (n).

Орбитальное квантовое число (l) = ($n - 1$)



У ОПРЕДЕЛЕННЫХ ТАКИМ ОБРАЗОМ ЧИСЕЛ (l) ЕСТЬ НАИМЕНОВАНИЯ.

КОГДА (l) = 0, S-ОРБИТАЛЬ

КОГДА (l) = 1, P-ОРБИТАЛЬ

КОГДА (l) = 2, D-ОРБИТАЛЬ

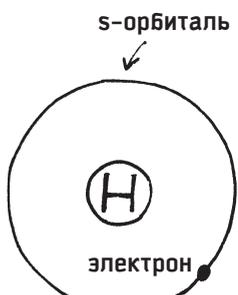
КОГДА (l) = 3, F-ОРБИТАЛЬ

КОГДА (l) = 4, G-ОРБИТАЛЬ



НАПРИМЕР, В СЛУЧАЕ АТОМА ВОДОРОДА, У КОТОРОГО ВСЕГО ОДИН ЭЛЕКТРОН,

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НИЗКОЕ: (n) = 1, (l) = 0 (S-ОРБИТАЛЬ).



АГА.



И ОНО ВЫРАЖАЕТСЯ КАК $1s^1$.



ЧТО ОЗНАЧАЕТ - ОДИН ЭЛЕКТРОН НА ОРБИТАЛИ 1s.

ПОСКОЛЬКУ IS -
ЕДИНСТВЕННОЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
СОСТОЯНИЕ, КАЖЕТСЯ,
ЧТО СЮДА ВХОДИТ
ТОЛЬКО ОДИН
ЭЛЕКТРОН.

АГА!

НО ЕСТЬ ЕЩЕ
СПИНОВОЕ КВАНТОВОЕ
ЧИСЛО, КОТОРОЕ
МОЖЕТ ПРИНИМАТЬ
ДВА СОСТОЯНИЯ.

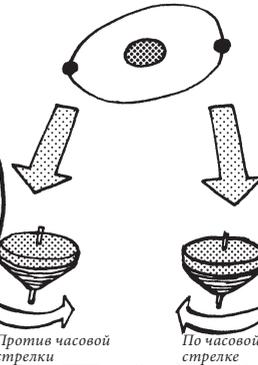
ПРЕДСТАВЬ
СЕБЕ ЮЛУ...

ЮЛУ?



У ЮЛЫ БЫВАЕТ ДВА
СОСТОЯНИЯ...

ОНА МОЖЕТ ВРАЩАТЬСЯ
ПО ЧАСОВОЙ СТЕЛКЕ,
А МОЖЕТ И ПРОТИВ.



Против часовой
стрелки

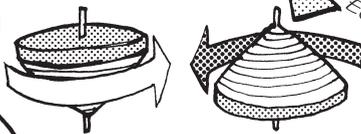
По часовой
стрелке

Юла, вид сверху



ЭТОМУ СООТВЕТСТВУЮТ
НАПРАВЛЕНИЯ
ВРАЩЕНИЯ
ВВЕРХ, ВНИЗ
ИЛИ
ВВЕРХ.

ОСЬ ЮЛЫ МОЖЕТ БЫТЬ
НАПРАВЛЕНА ЛИБО
ВВЕРХ, ЛИБО ВНИЗ.



Вращение -
вид сверху



Вращение
вид снизу



ЕСЛИ ПЕРЕВЕРНУТЬ

НО ЭТИ
СОСТОЯНИЯ
ВЫГЛЯДЯТ
ОДИНАКОВО!

КВАНТОВОЕ ЧИСЛО СПИНА ВЫРАЖАЕТСЯ ПЛЮСОМ ИЛИ МИНУСОМ.

+

-

Против часовой стрелки

По часовой стрелке

Вверх

Вниз

ИТАК, С УЧЕТОМ СПИНОВОГО КВАНТОВОГО ЧИСЛА НА ОРБИТАЛИ 1S МОГУТ НАХОДИТЬСЯ ДВА ЭЛЕКТРОНА.



НАЗОВЕМ ЧИСЛО ЭЛЕКТРОНОВ, КОТОРОЕ МОЖЕТ ВОЙТИ НА ОРБИТАЛЬ, "ЕМКОСТЬЮ ОРБИТАЛИ".



ЕМКОСТЬ ОРБИТАЛИ ВЫЧИСЛЯЕТСЯ ТАК: НАДО К ОРБИТАЛЬНОМУ КВАНТОВОМУ ЧИСЛУ ПРИБАВИТЬ 1 И УМНОЖИТЬ НА 2.

ЕМКОСТЬ ОРБИТАЛИ =

$$= (l + 1) \times 2$$

УГУ.

СТАТЕЛЬНО ЗАПИСЫВАЕТ

ПРОЩЕ ГОВОРЯ...

-  s-орбиталь: 2 электрона
-  p-орбиталь: 6 электронов
-  d-орбиталь: 10 электронов
-  f-орбиталь: 14 электронов

ТУТ ПРИВЕДЕНЫ ВСЕ ЕМКОСТИ ОРБИТАЛЕЙ!

А ТЕПЕРЬ ПОДЫТОЖИМ!

Основные "координаты" электрона

Главное квантовое число (n) = 1 2 3 4

Орбитальное квантовое
число (ℓ) = 0 1 2 3

↓ ↓ ↓ ↓

Название орбиты : s p d f

Емкость орбиты : 2 6 10 14

Магнитное квантовое число (m) = $-\ell, \dots, 0, \dots, +\ell$ ($2\ell + 1$)
(энергетический уровень при воздействии магнитного поля)

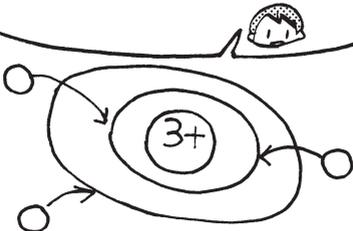
спин (s) = + или -

(направление вверх или вниз)

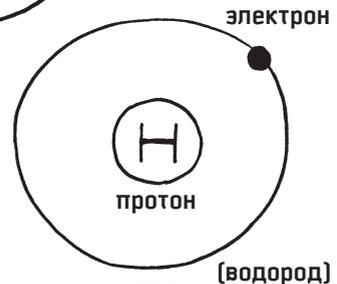
ЕСЛИ ПОНИМАТЬ ПРИНЦИП,
ТО ВСЕ ПРОСТО.

ЕСЛИ АТОМ ПРОСТОЙ
(АТОМ С МАЛЕНЬКИМ
АТОМНЫМ НОМЕРОМ),

ТО ЗАПОЛНЕНИЕ ОРБИТАЛЕЙ
ИДЕТ ОБЫЧНО СНИЗУ ВВЕРХ
(ЕСЛИ ГЛАВНОЕ КВАНТОВОЕ
ЧИСЛО И ОРБИТАЛЬНОЕ
КВАНТОВОЕ ЧИСЛО
МАЛЕНЬКИЕ).



БОЛЕЕ ТОГО,
АТОМНОЕ ЧИСЛО ОБЫЧНО
РАВНО ЧИСЛУ ПРОТОНОВ
В ЯДРЕ.



ПРОТОН = АТОМНЫЙ
НОМЕР
1 = 1

ЧИСЛО ОКРУЖАЮЩИХ ЯДРО ЭЛЕКТРОНОВ ДОЛЖНО ДЕЛАТЬ АТОМ НЕЙТРАЛЬНЫМ.

электрон

протоны

ЧИСЛО ЭЛЕКТРОНОВ РАВНО ЧИСЛУ ПРОТОНОВ!

ТО ЕСТЬ У ГЕЛИЯ ДВА ПРОТОНА И ДВА ЭЛЕКТРОНА?

КОНЕЧНО.

БОЛЕЕ ТОГО,

С РОСТОМ ПОРЯДКОВОГО НОМЕРА КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕКТРОНОВ В АТОМЕ ВОЗРАСТАЕТ НА 1.

Водород Гелий Литий Углерод

1H 2He 3Li ... 6C

И ОТСЮДА ПОЛУЧАЕТСЯ ТАБЛИЦА, ИЗВЕСТНАЯ ПОД НАЗВАНИЕМ "ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ".

Периодическая система химических элементов

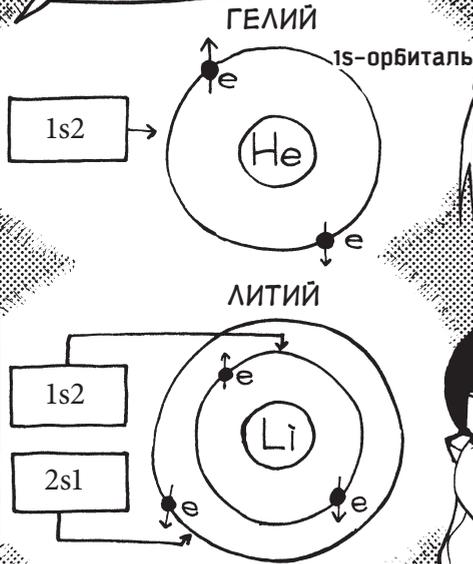
Группа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	H																		
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Xe	
6	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re						Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	**	Rf	Db	Dg	Bh						Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	
	Лантаноиды			Lr	Ce	Pr	Nd												

АА, Я ВИДЕЛА ЕЕ В УЧЕБНИКЕ!

ЕСЛИ ГОВОРИТЬ О ТОМ, КАК ЭЛЕКТРОНЫ, КОЛИЧЕСТВО КОТОРЫХ ОПРЕДЕЛЕНО АТОМНЫМ НОМЕРОМ, ЗАПОЛНЯЮТ ОРБИТАЛИ...

В СЛУЧАЕ ГЕЛИЯ И ЛИТИЯ...

НА ОДНУ ОРБИТАЛЬ МОЖНО ПОМЕСТИТЬ ДВА ЭЛЕКТРОНА С ПРОТИВОПОЛОЖНЫМИ СПИНАМИ... ВОТ ТАК!



О! СПИНЫ!

НУ ЧТО? ПРОСТО?

АГА!

...

ПОЭТОМУ ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЧЕНЬ ВАЖНА И НУЖНА. ОНА ПРИВЕДЕНА НА СТРАНИЦЕ 184.



Я ПОМНЮ ПЕСНЮ ПРО "МОРЯКА ЛИБЕ"!



Группа

1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1																	2
2	2	3	4										5	6	7	8	9	10
3	3	4											13	14	15	16	17	18
4	4												17	18	19	20	21	22
5	5												21	22	23	24	25	26
6	6												25	26	27	28	29	30
7	7												29	30	31	32	33	34
													33	34	35	36	37	38
													37	38	39	40	41	42
													41	42	43	44	45	46
													45	46	47	48	49	50
													49	50	51	52	53	54
													53	54	55	56	57	58
													57	58	59	60	61	62
													61	62	63	64	65	66
													65	66	67	68	69	70
													69	70	71	72	73	74
													73	74	75	76	77	78
													77	78	79	80	81	82
													81	82	83	84	85	86
													85	86	87	88	89	90
													89	90	91	92	93	94
													93	94	95	96	97	98
													97	98	99	100	101	102
													101	102	103	104	105	106
													105	106	107	108	109	110
													109	110	111	112	113	114
													113	114	115	116	117	118
													117	118	119	120	121	122
													121	122	123	124	125	126
													125	126	127	128	129	130
													129	130	131	132	133	134
													133	134	135	136	137	138
													137	138	139	140	141	142
													141	142	143	144	145	146
													145	146	147	148	149	150
													149	150	151	152	153	154
													153	154	155	156	157	158
													157	158	159	160	161	162
													161	162	163	164	165	166
													165	166	167	168	169	170
													169	170	171	172	173	174
													173	174	175	176	177	178
													177	178	179	180	181	182
													181	182	183	184	185	186
													185	186	187	188	189	190
													189	190	191	192	193	194
													193	194	195	196	197	198
													197	198	199	200	201	202
													199	200	201	202	203	204
													203	204	205	206	207	208
													207	208	209	210	211	212
													211	212	213	214	215	216
													215	216	217	218	219	220
													219	220	221	222	223	224
													223	224	225	226	227	228
													227	228	229	230	231	232
													231	232	233	234	235	236
													235	236	237	238	239	240
													239	240	241	242	243	244
													243	244	245	246	247	248
													247	248	249	250	251	252
													251	252	253	254	255	256
													255	256	257	258	259	260
													259	260	261	262	263	264
													263	264	265	266	267	268
													267	268	269	270	271	272
													271	272	273	274	275	276
													275	276	277	278	279	280
													279	280	281	282	283	284
													283	284	285	286	287	288
													287	288	289	290	291	292
													291	292	293	294	295	296
													295	296	297	298	299	300
													299	300	301	302	303	304
													303	304	305	306	307	308
													307	308	309	310	311	312
													311	312	313	314	315	316
													315	316	317	318	319	320
													319	320	321	322	323	324
													323	324	325	326	327	328
													327	328	329	330	331	332
													331	332	333	334	335	336
													335	336	337	338	339	340
													339	340	341	342	343	344
													343	344	345	346	347	348
													347	348	349	350	351	352
													351	352	353	354	355	356
													355	356	357	358	359	360
													359	360	361	362	363	364
													363	364	365	366	367	368
													367	368	369	370	371	372
													371	372	373	374	375	376
													375	376	377	378	379	380
													379	380	381	382	383	384
													383	384	385	386	387	388
													387	388	389	390	391	392
													391	392	393	394	395	396
													395	396	397	398	399	400
													399	400	401	402	403	404
													403	404	405	406	407	408
													407	408	409	410	411	412
													411	412	413	414	415	416
													415	416	417	418	419	420
													419	420	421	422	423	424
													423	424	425	426	427	428
													427	428	429	430	431	432
													431	432	433	434	435	436
													435	436	437	438	439	440
													439	440	441	442	443	444
													443	444	445	446	447	448
													447	448	449	450	451	452

ВЫПРЯМЛЯЮЩЕЕ СВОЙСТВО - ЭТО ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОПУСКАТЬ СИГНАЛ ТОЛЬКО ОДНОЙ ПОЛЯРНОСТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

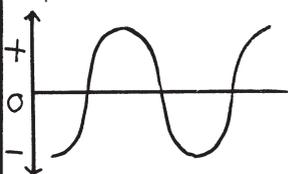
Источник питания

Металлическая игла

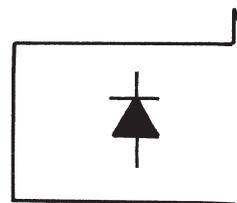
Осциллограф

Германий

Напряжение



Переменный ток...



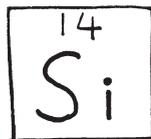
пропущенный через диод...

Напряжение



сохраняет только положительную составляющую тока.

ТЕПЕРЬ Я ХОТЕЛ БЫ СОСРЕДОТОЧИТЬСЯ НА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ. КРОМЕ ГЕРМАНИЯ, ЕСТЬ БОЛЕЕ ПРАКТИЧНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ...



НАПРИМЕР, БОЛЕЕ ШИРОКО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ КРЕМНИЙ... ПОГОВОРИМ О НЕМ ПОДРОБНЕЕ.

ЭТО ЧТО ЕЩЕ ЗА КРЕМНИЙ? Я ГРУДЬ СЕБЕ НЕ УВЕЛИЧИВАЛА*!

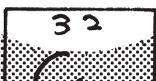
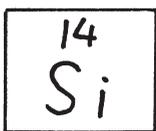
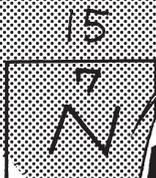
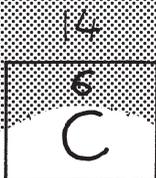
Эй-эй...

ВЗГЛЯНИ! ВОТ ОН В ТАБЛИЦЕ!

АА?

* В японском языке «кремний», так же как и в английском, — силикон. — Прим. перев.

КРЕМНИЙ (SI) - ЭЛЕМЕНТ
3-ГО ПЕРИОДА 14-Й ГРУППЫ
(РАНЬШЕ - IV ГРУППЫ).



И ПРАВАА!



ПЕРИОДОМ ВЫШЕ (2-Й ПЕРИОД,
14-Я (IV) ГРУППА) НАХОДИТСЯ
УГЛЕРОД (C).



А НИЖЕ - ГЕРМАНИЙ (GE) -
4-Й ПЕРИОД, 14-Я (IV) ГРУППА.

ГЕРМАНИЙ И КРЕМНИЙ
ОБРАЗУЮТ КРИСТАЛЛЫ,
КАК И УГЛЕРОД...

КРИСТАЛЛЫ!..

БЛЕСК



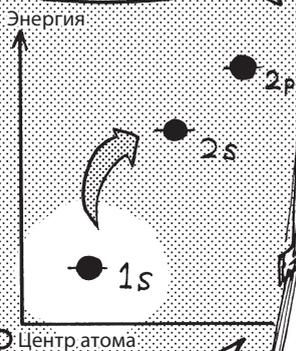
ТЫ ОБ АЛМАЗАХ
ДУМАЕШЬ, ЧТО
ЛИ?

АГА!

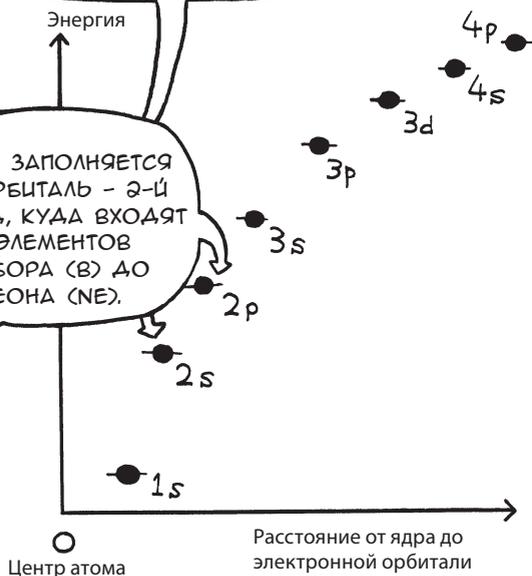


ДЕЛО В ОРБИТАЛИ!

ВО ВТОРОМ ПЕРИОДЕ ПОСЛЕ ЗАПОЛНЕНИЯ 1S-ОРБИТАЛИ ЗАПОЛНЯЕТСЯ 2S-ОРБИТАЛЬ (Li, Be).



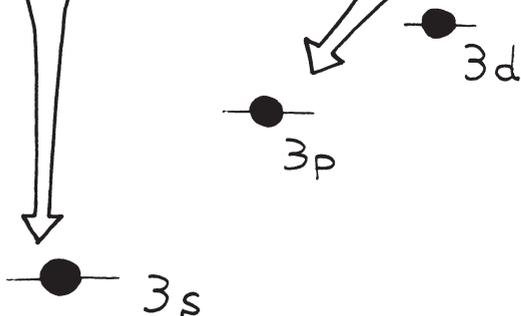
ЗАТЕМ ЗАПОЛНЯЕТСЯ 2P-ОРБИТАЛЬ - 2-Й ПЕРИОД, КУДА ВХОДЯТ 6 ЭЛЕМЕНТОВ ОТ БОРА (B) ДО НЕОНА (Ne).

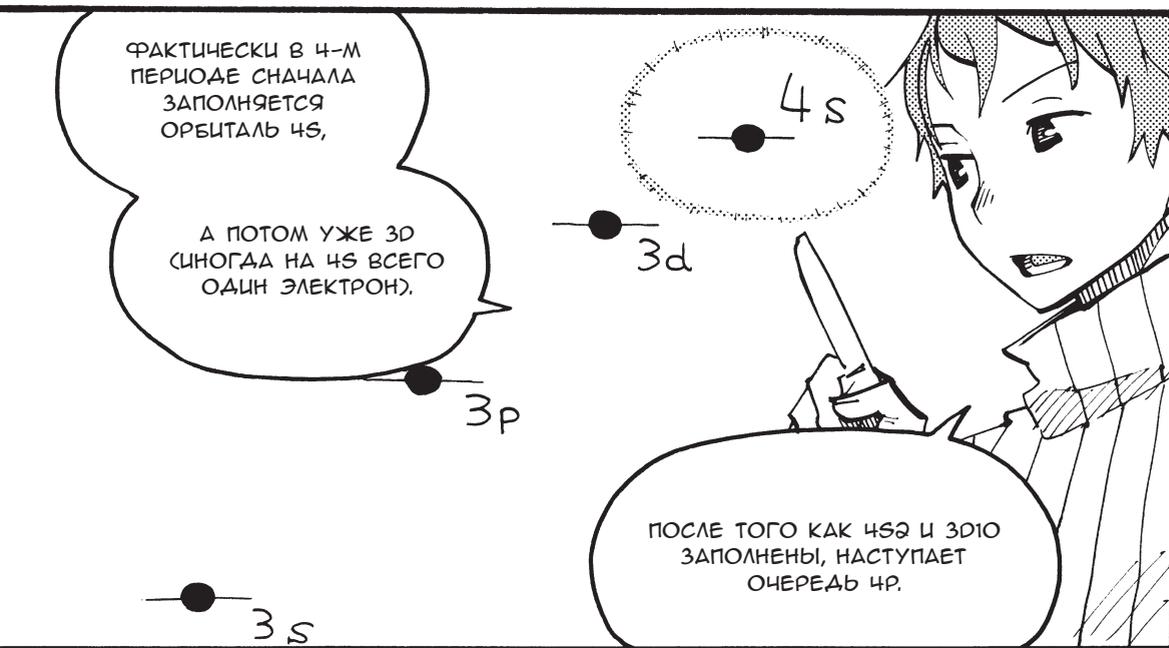


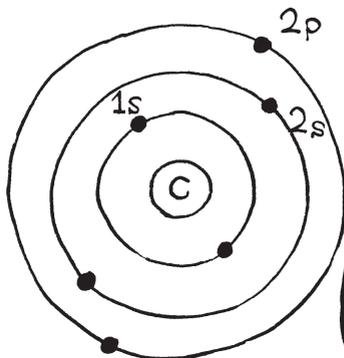
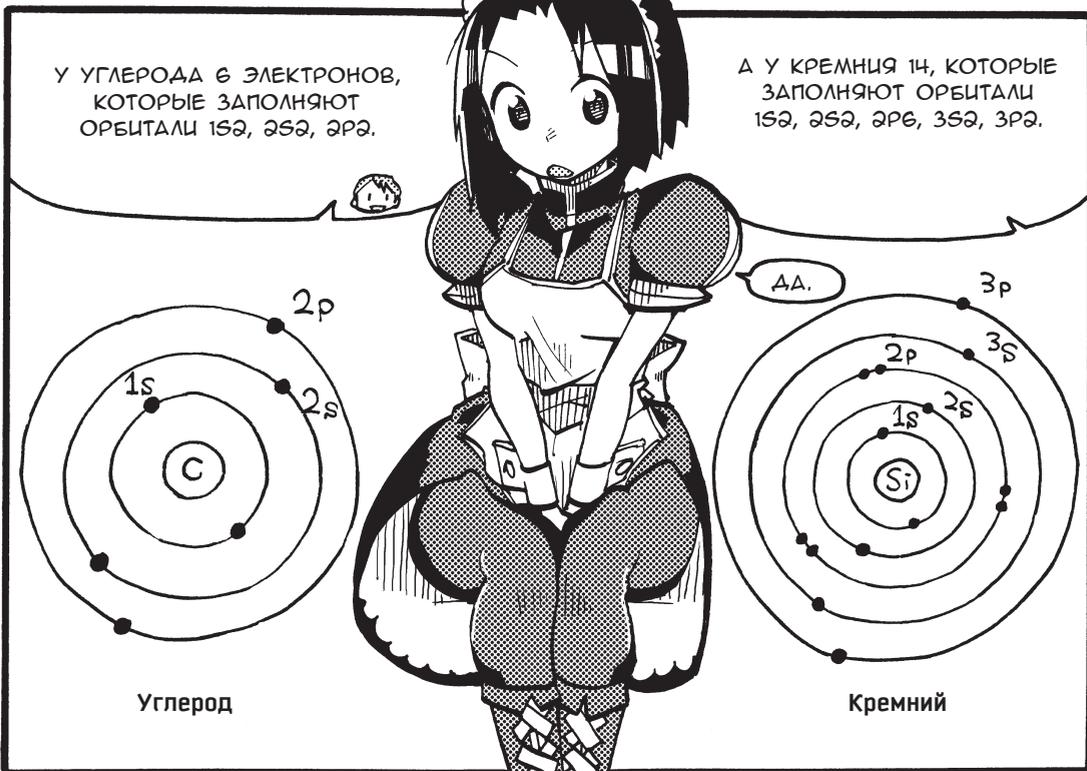
В ПЕРВОМ ПЕРИОДЕ У АТОМОВ ВСЕГО ЛИШЬ 1S-ОРБИТАЛЬ, ПОЭТОМУ, КОГДА ОНА ЗАПОЛНЯЕТСЯ, В ТАБЛИЦЕ - ПЕРЕХОД НА СЛЕДУЮЩИЙ ПЕРИОД.

ЗАТЕМ В ТРЕТЬЕМ ПЕРИОДЕ, ПОСЛЕ ЗАПОЛНЕНИЯ ОРБИТАЛЕЙ 1s, 2s, 2p, НАЧИНАЕТ ЗАПОЛНЯТЬСЯ ОРБИТАЛЬ 3s - НАТРИЙ (Na), МАГНИЙ (Mg).

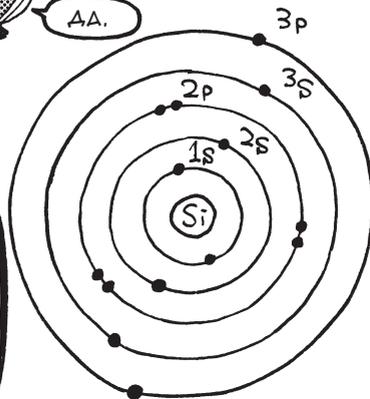
ДАЛЕЕ ЗАПОЛНЯЕТСЯ ОРБИТАЛЬ 3p - 6 ЭЛЕМЕНТОВ ТРЕТЬЕГО ПЕРИОДА ОТ АЛЮМИНИЙ (Al) ДО АРГОНА (Ar).



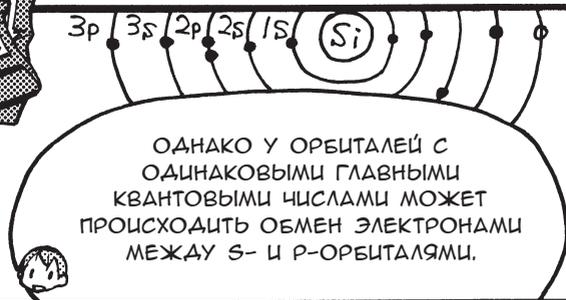
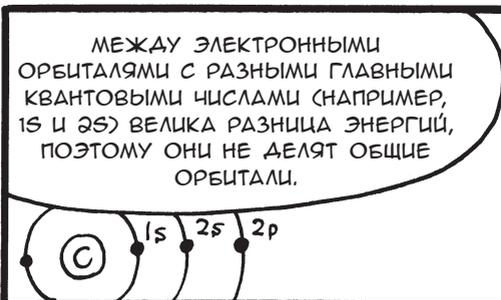




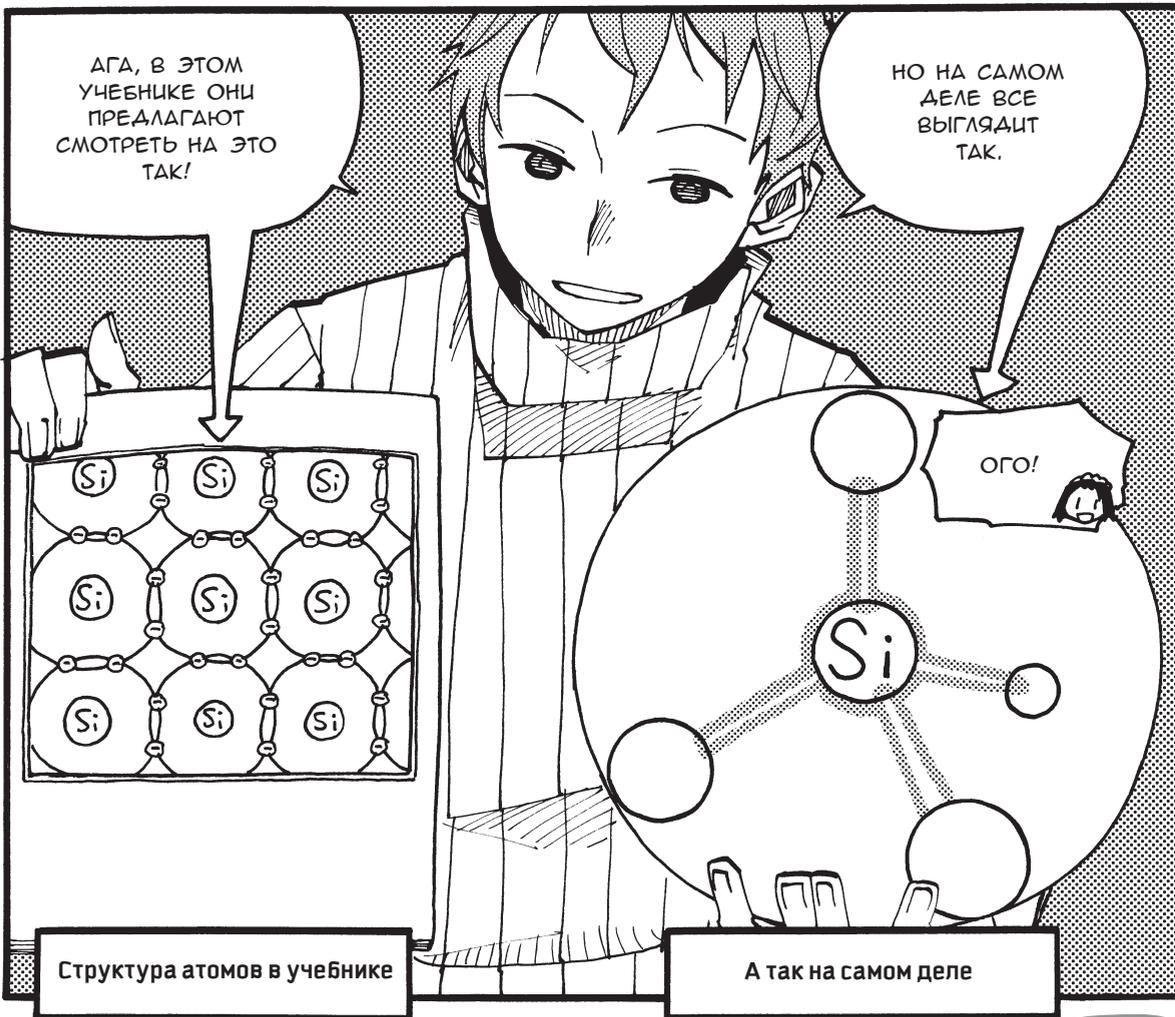
Углерод

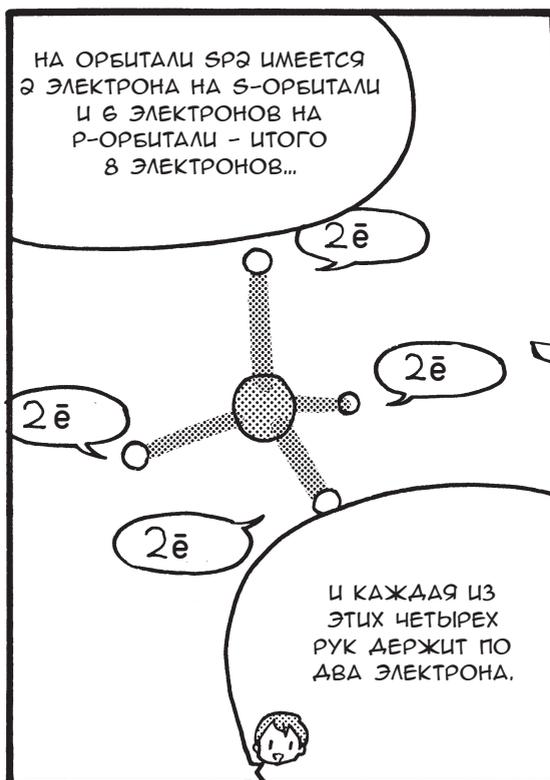
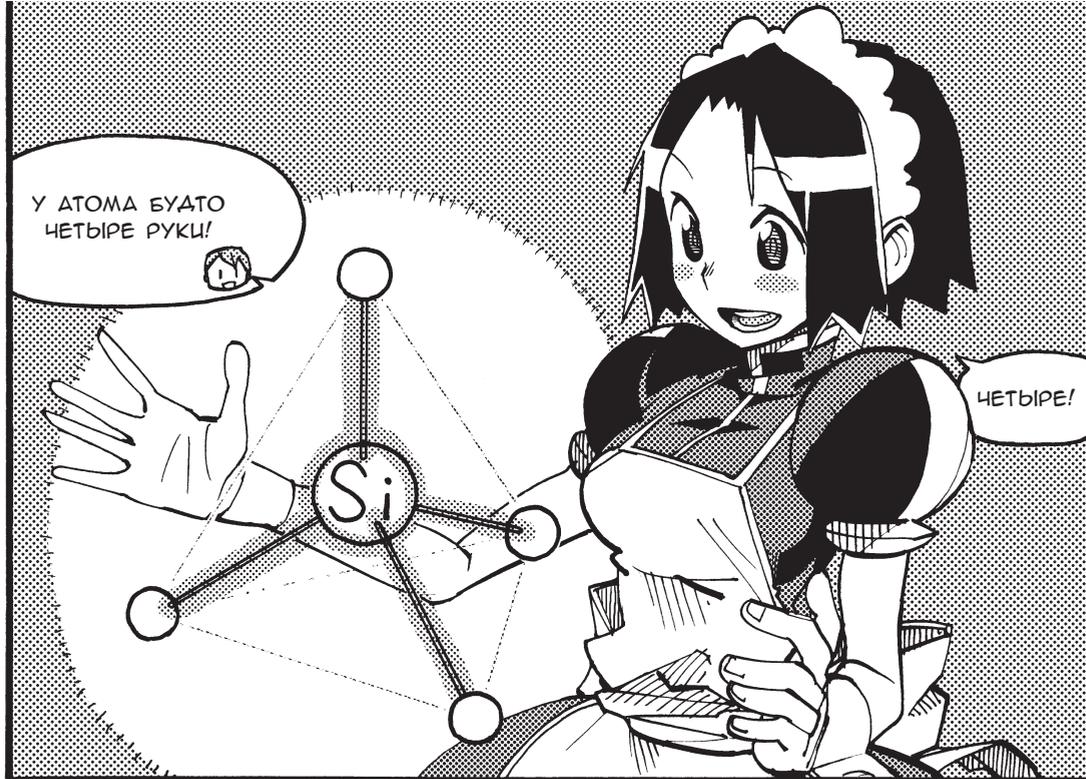


Кремний

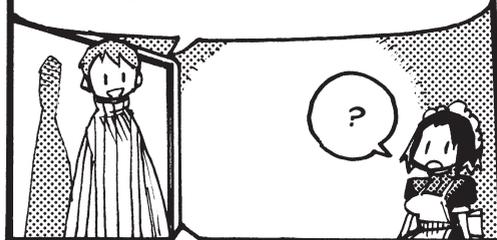








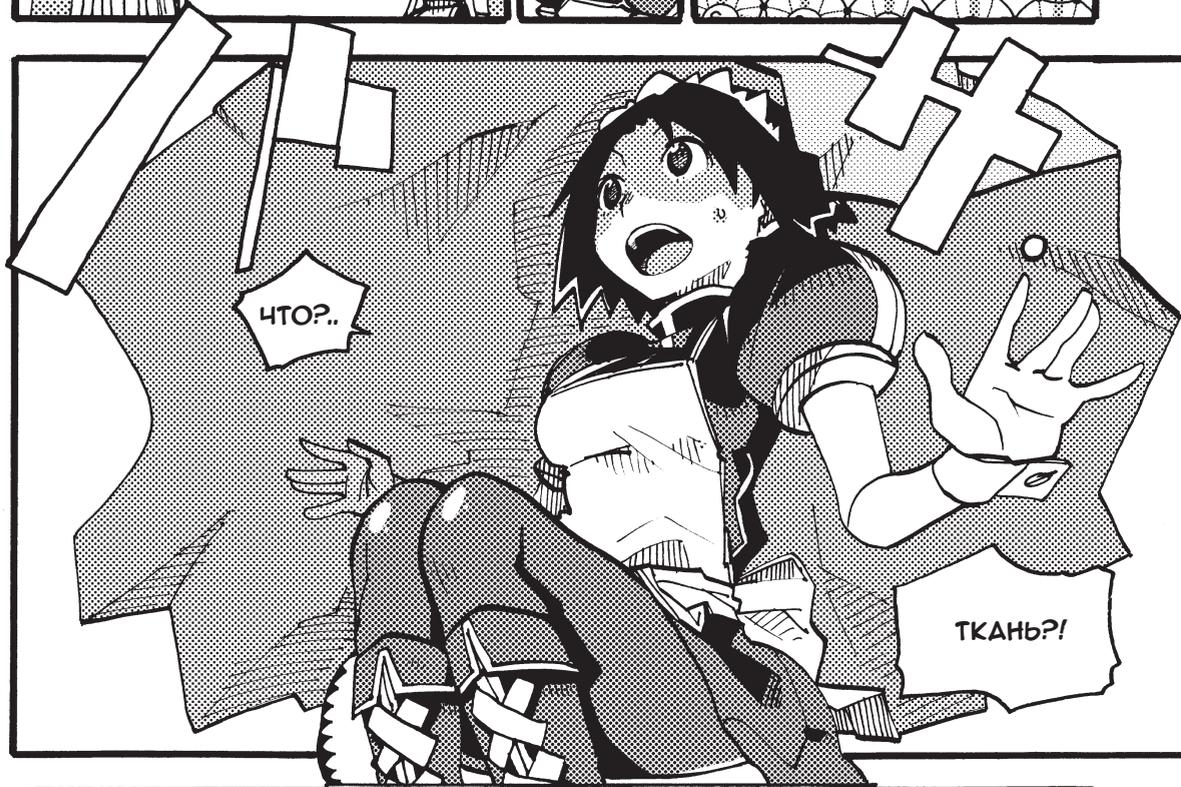
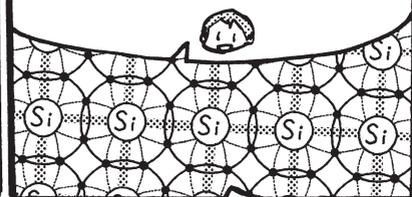
КОГДА МОЛЕКУЛЫ ОБРАЗУЮТ КРИСТАЛЛ, ТО ВОПРОС В ТОМ, КАК ТЯНУТСЯ ЭТИ ЧЕТЫРЕ "РУКИ".



ПОЧЕМУ?



НАПРИМЕР... НА ПЛОСКОСТИ ЭТИ ЧЕТЫРЕ "РУКИ" ТЯНУТСЯ ОТ ЯДРА АТОМА ВВЕРХ, ВНИЗ, ВПРАВО И ВЛЕВО - В ЧЕТЫРЕ СТОРОНЫ...

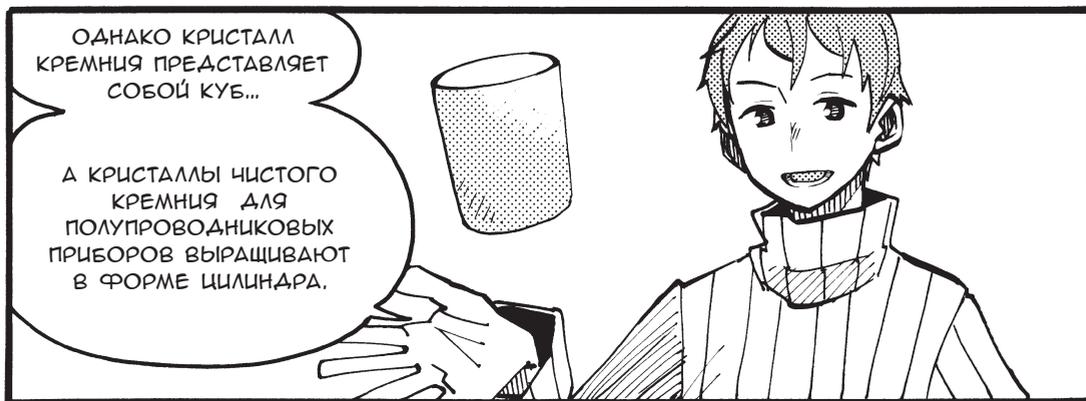


ПРЕДСТАВИЛА, КАК ТАКИЕ АТОМЫ МОГУТ БЫТЬ БЕСКОНЕЧНО СОЕДИНЕННЫ?

НО ТОЛЬКО ТОГДА ТОЛЩИНА РАВНЯЕТСЯ ОДНОМУ АТОМУ.



НО, КОНЕЧНО, ГЛАЗУ ЭТО НЕ ВИДНО.



ОДНАКО КРИСТАЛЛ
КРЕМНИЯ ПРЕДСТАВЛЯЕТ
СОБОЙ КУБ...

А КРИСТАЛЛЫ ЧИСТОГО
КРЕМНИЯ ДЛЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ПРИБОРОВ ВЫРАЩИВАЮТ
В ФОРМЕ ЦИЛИНДРА.



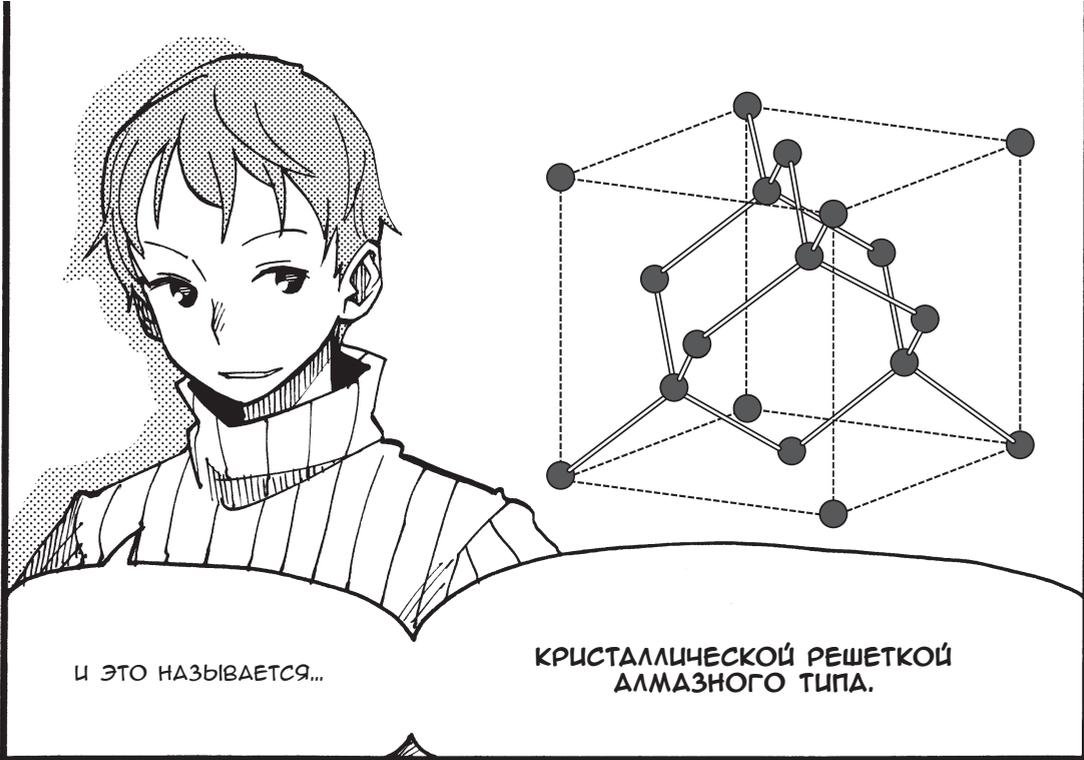
ТО ЕСТЬ

ЭТИ ЧЕТЫРЕ РУКИ
КРЕМНИЯ ОБРАЗУЮТ
КРИСТАЛЛ?



АА... ЕСЛИ АТОМ НАХОДИТСЯ
В ЦЕНТРЕ ТРЕУГОЛЬНОЙ
РАВНОСТОРОННЕЙ
ПИРАМИДЫ,

ТО ЕГО "РУКИ",
РАСПРОСТЕРТЫЕ В СТОРОНЫ,
ОБРАЗУЮТ ТРЕХМЕРНЫЙ
КРИСТАЛЛ.



И ЭТО НАЗЫВАЕТСЯ...

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЮ РЕШЕТКОЮ
АЛМАЗНОГО ТИПА.



НАЗВАНИЕ ПОШЛО ОТ УГЛЕРОДА,
ОРБИТАЛИ КОТОРОГО 2S И 2P
ОБРАЗУЮТ ОБЩУЮ ОРБИТАЛЬ SP³,
КОТОРАЯ ФОРМИРУЕТ КРИСТАЛЛ
АЛМАЗА.

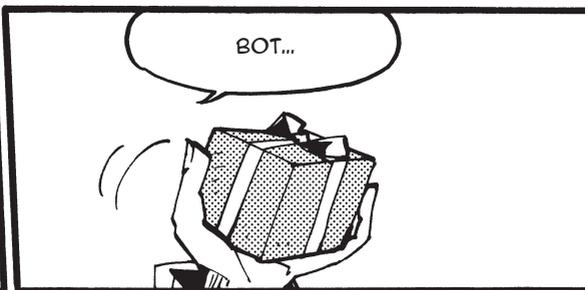
УРА!

АЛМАЗЫ!



ТЫ, И ПРАВДА,
ЛЮБИШЬ АЛМАЗЫ?

ОНИ ТАК
БЛЕСТЯТ!



ВОТ...



2 Подведем итог



Подробнее о периодической системе

Когда вы познакомились с периодической системой, то наверняка слышали песенку про «моряка Либе», которая помогает запомнить порядок элементов.

Тем не менее особого смысла запоминать порядок элементов нет, а вот на периоды и группы в таблице стоит обратить внимание.

Затем, обнаружив, какие закономерности лежат в основе расположения элемента в группах и периодах, можно сделать выводы о сходстве химических реакций с такими элементами.

Когда Д. И. Менделеев только придумал периодическую таблицу, его идея не привлекла особого внимания, но когда на ее основании были заполнены пустые клеточки элементов, то ее важность стала очевидной.

Например, соединения хлора с натрием NaCl и калием KCl имеют кристаллическую структуру. Исходя из этого, можно сделать вывод, что Na и K имеют схожие свойства. В том числе соединение KBr имеет кристаллические свойства, и, по сравнению с KBr и KCl , Cl и Br будут обладать теми же свойствами.

Однако в периодической таблице есть и такие элементы, которые не участвуют в химических реакциях, поэтому их химические свойства так понять нельзя. Это так называемые «благородные», или «инертные газы» — He , Ne , Ar , Kr , Xe , Rn .

Поначалу периодическая система не была разделена на 18 групп (вертикалей). Номер группы раньше писался римскими цифрами, но в новой версии стали писать арабскими. (Недавно стали писать номера групп арабскими цифрами, но в этой книге, как и в полупроводниковой индустрии, они написаны и римскими, чтобы показать разницу.)

Вначале периодическая система была разделена на группы с I по VII и на группу 0, нынешние группы с 13 по 17 назывались III · A-VII · A; а группы с 3 по 7 — III · B-VII · B. Кроме того, нынешние группы с 8 по 10, где находятся такие элементы, как Fe , Co и Ni , назывались VIII группой.

Элементы групп 11 и 12 в новой таблице, такие как Cu и Zn , обозначались подгруппами I · B, II · B в старой периодической таблице. Новую версию таблицы используют, чтобы показать, как можно рассматривать элементы не на основании химических реакций, а путем описания заполнения орбиталей в атоме с точки зрения физики, что было подтверждено экспериментально.

Кстати, Si (кремний) в настоящее время является наиболее широко используемым элементом в качестве полупроводникового материала. В новой таблице он принадлежит к 14-й группе. Однако люди, которые используют полупроводники, привыкли к старой таблице. В ней элемент, который

принадлежит к следующему за кремнием периоду, — это германий. Исторически германий был первым материалом, чьи полупроводниковые свойства исследовались. Велика вероятность того, что и углерод, который находится на период выше, тоже является полупроводником. Алмазная структура углеродного монокристалла является самой твердой и впервые была обнаружена в атоме углерода; кристаллы кремния и германия имеют ту же структуру. В кристаллографии структура называется кубической, но из-за ее особенностей в полупроводниковой индустрии ее называют алмазной.

В настоящее время исследуют искусственные алмазы как возможные полупроводники, но они пока еще не получили распространения в технике.

Существуют не только чистые полупроводники, как кристаллы германия и кремния, но и составные полупроводники. Например, соединение галлия и мышьяка в пропорции 1 к 1 является полупроводником. Соединение GaAs называется арсенидом галлия.

Арсенид галлия используют в качестве полупроводникового материала в высокочастотных цепях, где частота выше 1 ГГц ($1 \cdot 10^9$ Гц), — например, это радиочастота мобильных телефонов. Кремний и германий как элементы входят в IV группу, однако галлий входит в III, а мышьяк в V группу, поэтому арсенид галлия называется «полупроводником III–V группы».

Чистые проводники и энергетические зоны

В диапазоне энергий, который изображен на рис. 4-1, кремний является чистым полупроводником (т. е. не содержащим примесей). Такие полупроводники называют собственными, или беспримесными.

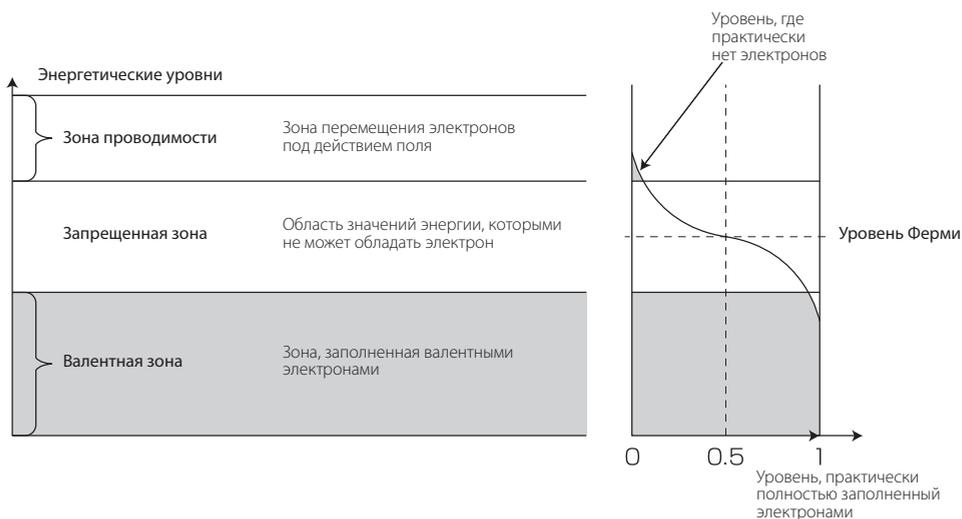


Рис. 4-1. Энергетическая диаграмма полупроводника

Алмазы, образованные атомами углерода и имеющие кристаллическую структуру, при комнатной температуре являются изоляторами.

Иногда говорят, что «углерод проводит ток», но углерод в угле не является кристаллом, и в нем нет «запрещенной зоны», как на рис. 4-2, и поэтому он хорошо проводит электрический ток (хотя, в отличие от медной проволоки и других металлов, он используется в качестве резистора в электронной цепи).

Древесный уголь действительно состоит почти из 100 %-го углерода, но даже поскольку уголь пропускает электричество, то углеродные кристаллы не обязательно являются проводниками.

Кроме того, известно, что графит, кристаллическая решетка которого состоит из атомов углерода и имеет форму шестиугольников, пропускает электричество.

Итак, что такое энергетический уровень у металлов?

Как показано на рис. 4-2, в зоне проводимости имеется много электронов даже при комнатной температуре, и она имеет структуру, которая хорошо проводит электричество.



Рис. 4-2. Энергетическая диаграмма металла

Таким образом, «руки» соединения не удерживают связи, и электроны свободно оказываются в зоне проводимости и создают ток. Кроме того, энергия электронов возрастает с температурой, и если у электронов в валентной зоне энергия высока, они могут перепрыгнуть через запрещенную зону и оказаться в зоне проводимости. Если число электронов в зоне проводимости возрастает, то ток растет.

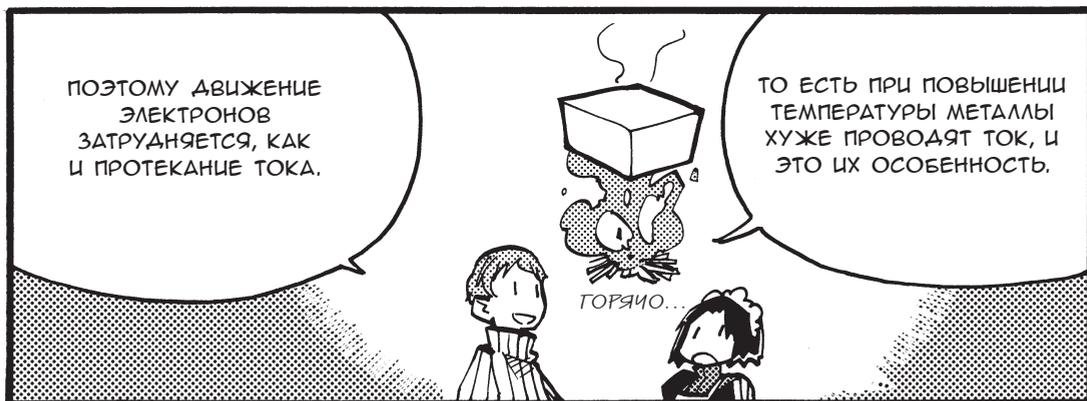
В случае собственных полупроводников это свойство и объясняет тот факт, что они проводят ток по мере повышения температуры.

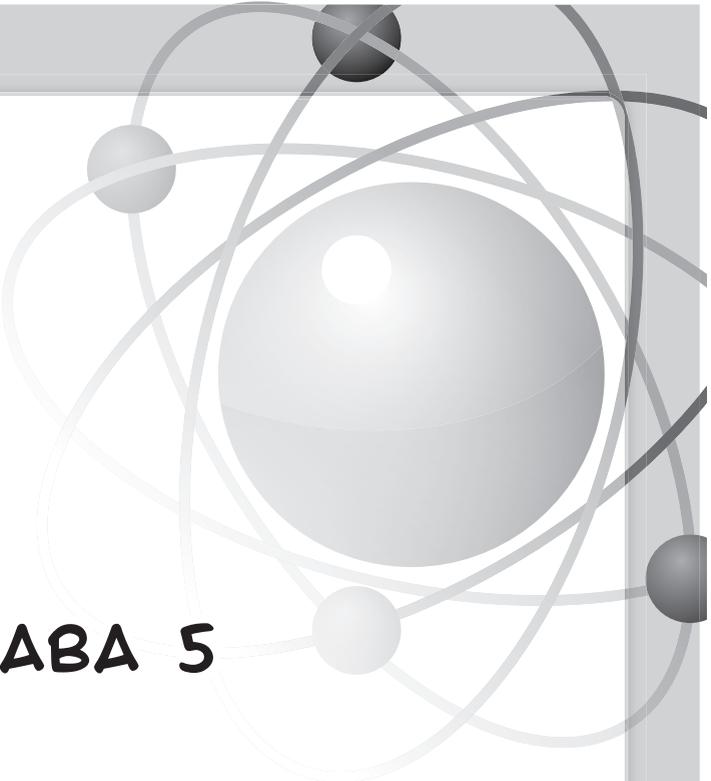
В металлах при повышении температуры взаимодействие электронов в зоне проводимости увеличивается, и они меньше двигаются, что затрудняет электропроводность.

В случае металла они с трудом пропускают ток при повышении температуры, а в случае полупроводника — наоборот, они хорошо пропускают ток при повышении температуры.

Классификация материалов по тому, хорошо или плохо они пропускают ток, являются ли они хорошими проводниками, полупроводниками или диэлектриками, не имеет смысла.

Нас интересует не то, как легко они пропускают ток, но как это используется в электронных схемах. И чтобы это знать, следует обратиться к «полупроводникам с примесью», о чем будет говориться в следующей главе.



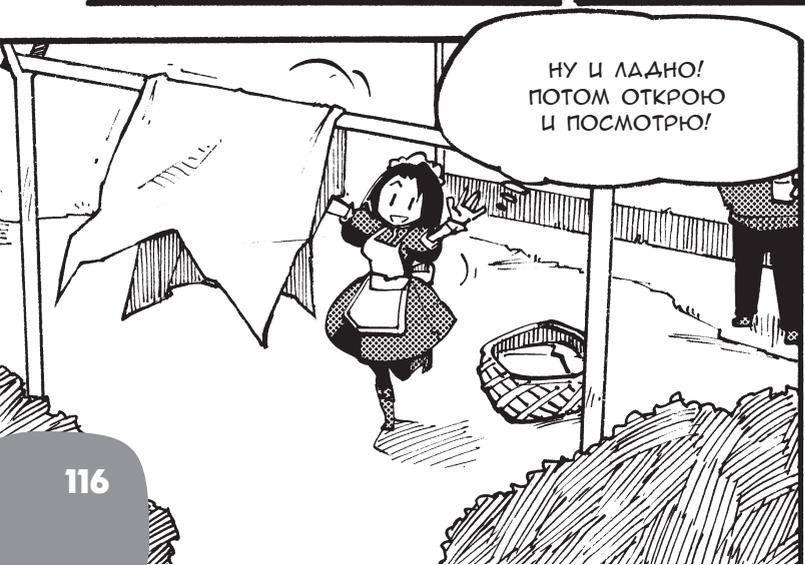
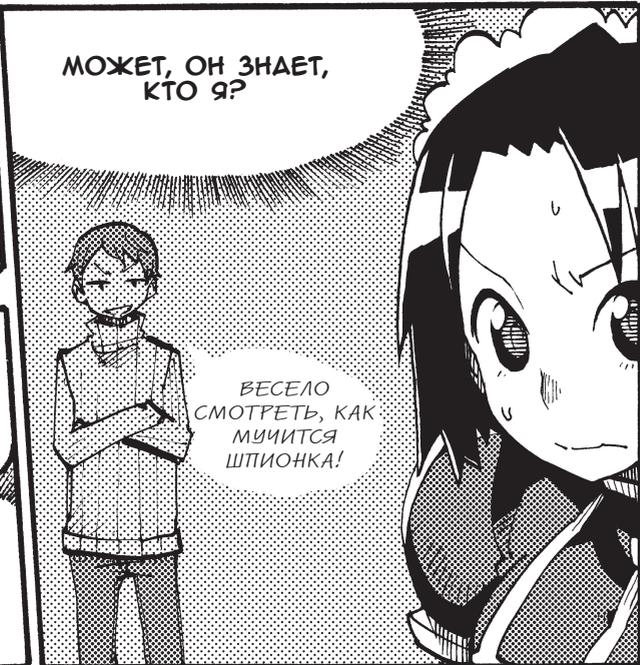


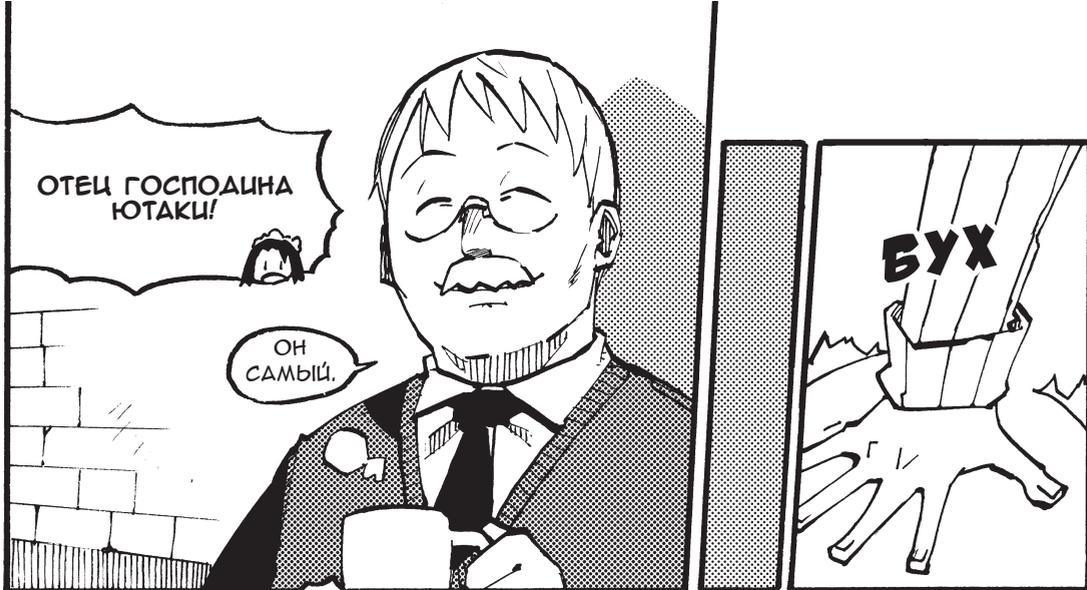
ГЛАВА 5

**КРИСТАЛЛ КРЕМНИЯ
И НЕМНОГО ПРИМЕСЕЙ**



1 Энергетические зоны
примесных полупроводников







ДА!

Я УЖЕ
ДРУГОЙ КАРРИ
ГОТОВЛЮ!



ОТЛИЧНО...



ИТАК,
РАНЕЕ

МЫ ГОВОРИЛИ О СВОЙСТВАХ
БЕСПРИМЕСНЫХ ПОЛУПРОВОДНИ-
КОВ, КРИСТАЛЛЫ КОТОРЫХ
ПОЛУЧАЮТ ИЗ ЧИСТЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
МАТЕРИАЛОВ.

ДА!

И МЫ



ГОВОРИЛИ О ТОМ, ЧТО
КОГДА ЧИСТЫЕ
ПОЛУПРОВОДНИКИ
НАГРЕВАЮТСЯ...

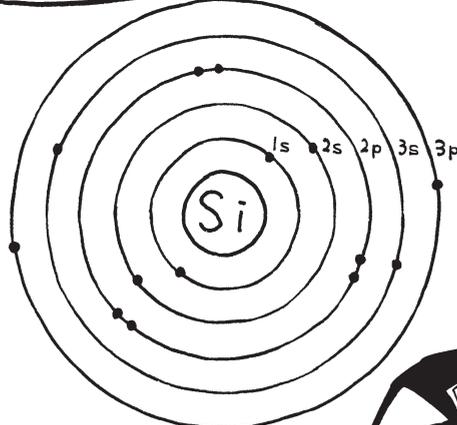
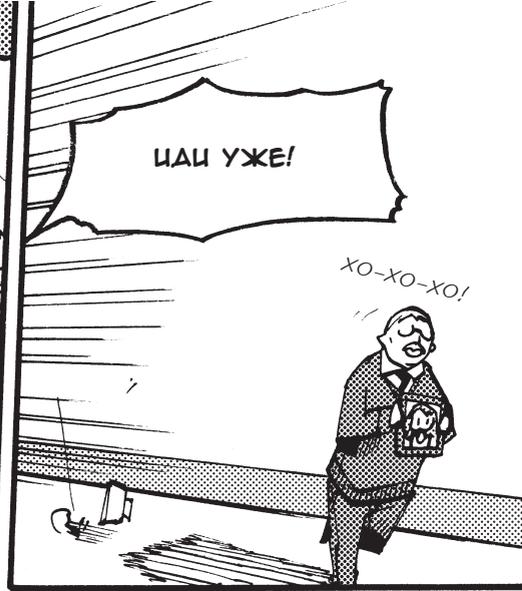
ИХ ПРОВОДИМОСТЬ
ПО МЕРЕ РОСТА
ТЕМПЕРАТУРЫ
ПОВЫШАЕТСЯ!



Э?

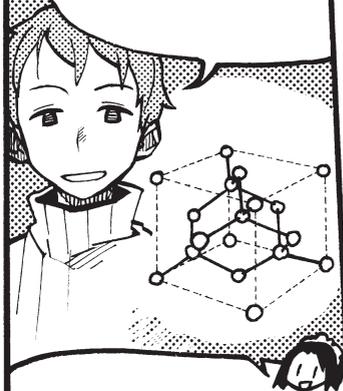
ПАПА! ЧТО ТЫ ТУТ
ДЕЛАЕШЬ?

М?



1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p²
В ОДНОМ АТОМЕ

КАКОВА
СТРУКТУРА СВЯЗИ
ЭТИХ АТОМОВ?

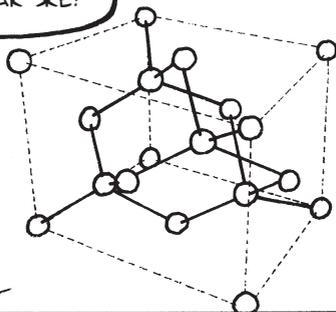


РЕШЕТКА КАК
У АЛМАЗА!

ЕСЛИ, НЕ ЛОМАЯ ЭТУ СТРУКТУРУ,
ЗАМЕНИТЬ ЧАСТЬ АТОМОВ
КРЕМНИЯ "ЧУЖИМИ" АТОМАМИ,
ТО ПОЛУЧИТСЯ ПРИМЕСНЫЙ
ПОЛУПРОВОДНИК.



ЭТО КАК ЖЕ?



ДЛЯ ЭТОГО НЕ НАДО
СИЛЬНО МЕНЯТЬ
КРИСТАЛЛ...

ПРОСТО ЭТО ДОЛЖНЫ
БЫТЬ АТОМЫ, ОРБИТАЛЬ
(МОЛЕКУЛЯРНАЯ ОРБИТАЛЬ)
ЭЛЕКТРОНОВ КОТОРЫХ
ПОХОЖА НА КРЕМНИЙ!



ЭТОМУ УСЛОВИЮ
СООТВЕТСТВУЮТ АТОМЫ, ЧЬИ
МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОРБИТЫ
МОГУТ ОБРАЗОВАТЬ
ГИБРИДНУЮ sp^3 -ОРБИТАЛЬ.

ДРУГИМИ СЛОВАМИ, НАДО
ИСКАТЬ ИХ В ТАБЛИЦЕ
РЯДОМ С КРЕМНИЕМ...

СМОТРИТ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	H												B	C	N	O	F	Ne
2	Li	Be											Si	P	S	Cl	Ar	
3	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
4	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Xe	
5	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	Rn	
6	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Pc	Uu	Uu	Uu	
7				Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Pc	Uu	Uu	Uu	

ВОТ ТЕ, ЧТО Я ВИЖУ?

13 (III) 5 B	14 (IV) 6 C	15 (V) 7 N
13 Al	14 Si	15 P
31 Ga	32 Ge	33 As

ИМЕННО!
ВЕРОЯТНЕЕ ВСЕГО,
ЭТО АТОМЫ
14-й (IV),
13-й (V) И
15-й (VI) ГРУПП.

ПРЕЖДЕ ВСЕГО
РАССМОТРИМ
ФОСФОР, У
КОТОРОГО НА ОДИН
ЭЛЕКТРОН БОЛЬШЕ,
ЧЕМ У КРЕМНИЯ...

АГА!

ЕСЛИ АТОМЫ ФОСФОРА
ВКЛЮЧИТЬ В КРИСТАЛЛ
КРЕМНИЯ,

ТО, ЧТОБЫ СОЗДАТЬ
ГИБРИДНУЮ sp³-ОРБИТАЛЬ,
ЭЛЕКТРОНЫ ПОПАРНО
ФОРМИРУЮТ "ЧЕТЫРЕ РУКИ".

ПОСКОЛЬКУ У ФОСФОРА НА
ОДИН ЭЛЕКТРОН БОЛЬШЕ, ЧЕМ У
КРЕМНИЯ, ОБРАЗУЕТСЯ ОДИН
ЛИШНИЙ ЭЛЕКТРОН.

ОУ!

ФЬЮИТЬ

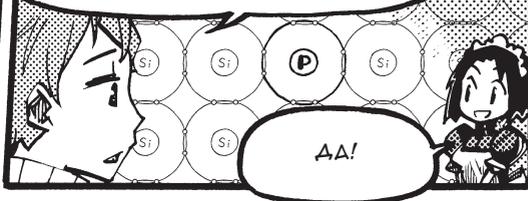
Я ЛИШНИЙ

● Трехмерный кристалл

ЧАСТО В УЧЕБНИКАХ ПО ПОЛУПРОВОДНИКАМ ПИШУТ, ЧТО ЭТОТ ЛИШНИЙ ЭЛЕКТРОН СОЗДАЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.



ЕСЛИ ПРЕДСТАВИТЬ, КАК АТОМЫ ОБРАЗУЮТ ГИБРИДНУЮ sp^3 -ОРЕЦТАЛЬ И КАК ОНИ СВЯЗАНЫ, ТО ЯДРО АТОМА ФОСФОРА СТАНОВИТСЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫМ.



ПОЭТОМУ КАЖЕТСЯ, ЧТО ОН НЕЙТРАЛИЗУЕТ ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ, НО ЭТО НЕ ТАК.

ВЕДЬ ЕСЛИ БЫ ЭТО БЫЛО ТАК, ТО НИКАКОЙ ПРОВОДИМОСТИ БЫ НЕ БЫЛО!



И ПРАВДА!

КСТАТИ, В ТРЕХМЕРНЫХ КРИСТАЛЛАХ ТОЧНО ТАК ЖЕ...



МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ ОДИНОКИЙ АТОМ ФОСФОРА, КОТОРЫЙ ПЛЫВЕТ В МОРЕ КРЕМНИЯ.

ПЛЕСК



ПОСМОТРИМ, ЧТО ПРОИСХОДИТ С ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЭЛЕКТРОНОВ ВОКРУГ НЕГО!

Море кремния

ПОЭТОМУ КАРТИНКИ В УЧЕБНИКАХ, КОТОРЫЕ ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ ДВИЖЕНИЕ ОДНОГО ЭЛЕКТРОНА, НЕВЕРНЫЕ.



● Донорный уровень

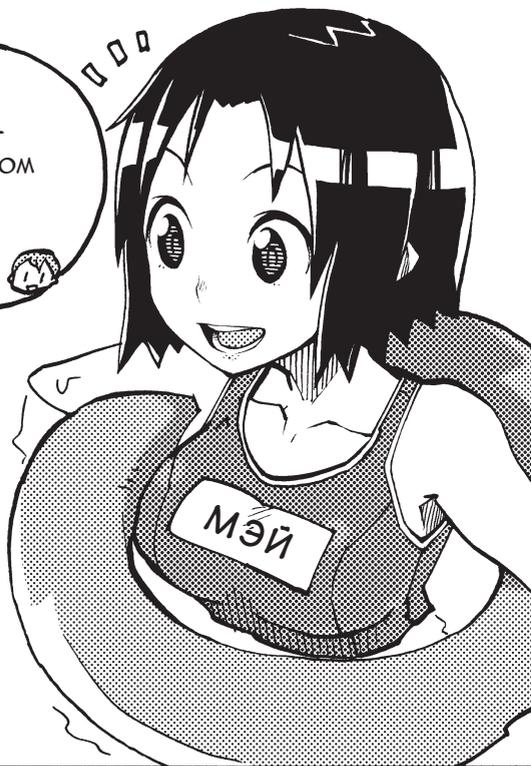
Энергетические уровни

Зона проводимости

Запрещенная зона

Валентная зона

АТОМ ФОСФОРА БУДЕТ НАХОДИТЬСЯ НА НЕБОЛЬШОМ РАССТОЯНИИ ОТ ЗОНЫ ПРОВОДИМОСТИ.



ЭТО СОСТОЯНИЕ НАЗЫВАЕТСЯ "ДОНОРНЫМ УРОВНЕМ" (СИЛИ ПОДУРОВНЕМ).

Энергетические уровни

Зона проводимости

Запрещенная зона

Донорный уровень (подуровень)

НО... ДОНОРНЫЙ УРОВЕНЬ ИОНИЗИРОВАННОГО ЯДРА РАЗВЕ НЕ НАХОДИТСЯ В ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЕ?

ИЛИ ОН НЕ СЛИШКОМ БЛИЗКО К ЗОНЕ ПРОВОДИМОСТИ?

МОЖЕТ, ОН И В СЕРЕДИНЕ?



ЭТО ВАЖНО!



ЭЛЕКТРОНЫ НА ДОНОРНОМ УРОВНЕ ПРИ НАГРЕВАНИИ ПРОСТО "ВПРЫГИВАЮТ" В ЗОНУ ПРОВОДИМОСТИ.

Зона проводимости

Запрещенная зона

Электрон

Δ!

ТО ЕСТЬ ЭЛЕКТРОНЫ, КОТОРЫЕ ЗАПРЫГНУЛИ В ЗОНУ ПРОВОДИМОСТИ, ТОЖЕ МОГУТ ПРОВОДИТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, КАК И В МЕТАЛЛАХ?

ИМЕННО!

МОЖНО СЕБЕ ПРЕДСТАВИТЬ, ЧТО ЭЛЕКТРОНЫ, СОЗДАЮЩИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК, - ЭТО ТАКИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ.

НА САМОМ ДЕЛЕ ОНИ БОЛЬШЕ ПОХОЖИ НА ВОЛНУ...

МОЖНО СЕБЕ ПРЕДСТАВИТЬ, ЧТО ЧАСТИЦЫ ДВИЖУТСЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ В ЗОНЕ ПРОВОДИМОСТИ, КАК В МЕТАЛЛЕ.

НО ТРУДНО ПРЕДСТАВИТЬ, ЧТО ОНИ ДВИЖУТСЯ СО СКОРОСТЬЮ, БЛИЗКОЙ К СКОРОСТИ СВЕТА.

Si Si Si

P

Si Si Si

Si Si Si

ПОЛУПРОВОДНИКИ, СОДЕРЖАЩИЕ В КАЧЕСТВЕ ПРИМЕСЕЙ ЭЛЕМЕНТЫ 15-й (V) ГРУППЫ, НАЗЫВАЮТСЯ ПОЛУПРОВОДНИКАМИ N-ТИПА.



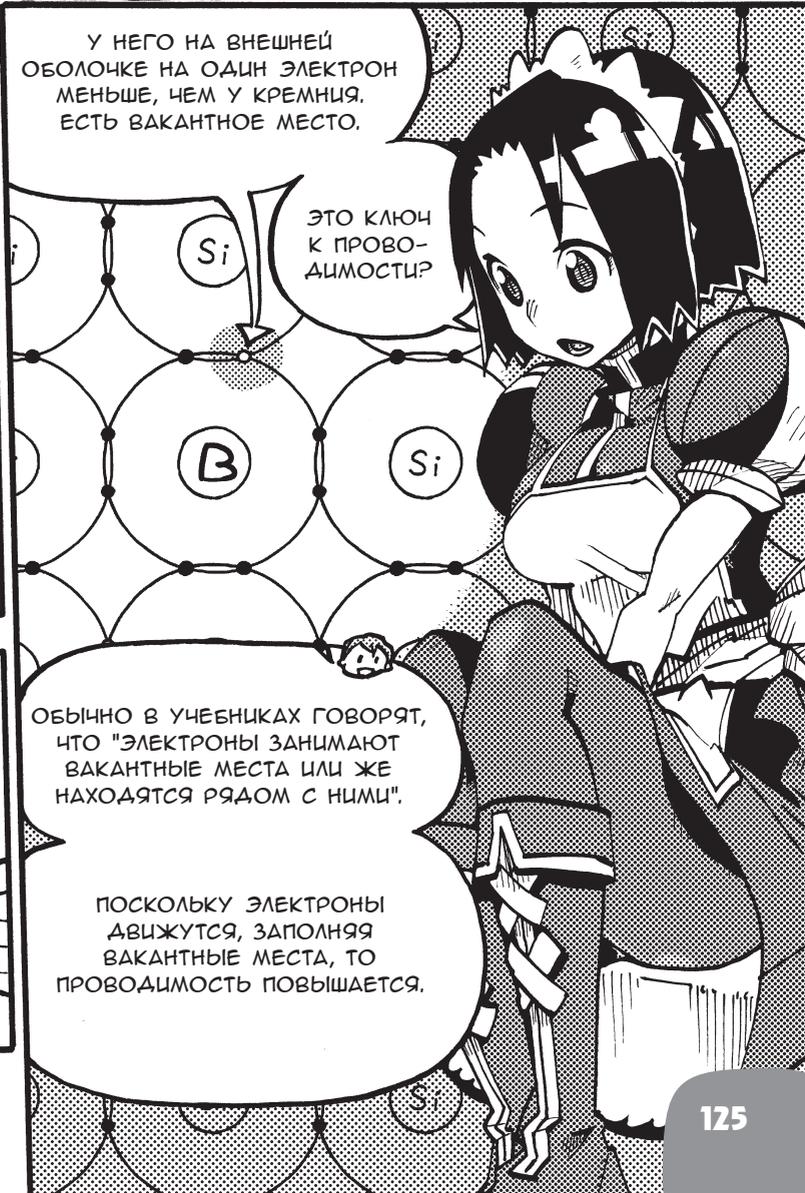
А ТЕПЕРЬ ПРЕДСТАВИМ ПОЛУПРОВОДНИКИ, В КОТОРЫХ ВМЕСТО ФОСФОРА НА ГИЕРЦИАНОЙ sp^2 -ОРБИТАЛИ НЕ ХВАТАЕТ АТОМОВ.

ЭТО МОГУТ БЫТЬ АТОМЫ АЛЮМИНИЯ ИЛИ БОРА, В КОТОРЫХ НА ОРБИТЕ НА ОДИН ЭЛЕКТРОН МЕНЬШЕ, ЧЕМ У КРЕМНИЯ.



БОР ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ЧАЩЕ, ПОТОМУ ЧТО ЧИСТЫЙ АЛЮМИНИЙ ПОЛУЧИТЬ НЕЛЕГКО.

К ТОМУ ЖЕ БОР ОЧЕНЬ ПРОСТО ПРОИЗВОДИТЬ, ПОЭТОМУ ЕГО И ИСПОЛЬЗУЮТ.



У НЕГО НА ВНЕШНЕЙ ОБОЛОЧКЕ НА ОДИН ЭЛЕКТРОН МЕНЬШЕ, ЧЕМ У КРЕМНИЯ. ЕСТЬ ВАКАНТНОЕ МЕСТО.

ЭТО КЛЮЧ К ПРОВОДИМОСТИ?

ОБЫЧНО В УЧЕБНИКАХ ГОВОРЯТ, ЧТО "ЭЛЕКТРОНЫ ЗАНИМАЮТ ВАКАНТНЫЕ МЕСТА ИЛИ ЖЕ НАХОДЯТСЯ РЯДОМ С НИМИ".

ПОСКОЛЬКУ ЭЛЕКТРОНЫ ДВИЖУТСЯ, ЗАПОЛНЯЯ ВАКАНТНЫЕ МЕСТА, ТО ПРОВОДИМОСТЬ ПОВЫШАЕТСЯ.



ПОЭТОМУ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРИМЕСНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ В ОСНОВНОМ ИСПОЛЬЗУЮТ БОР.





ТАМ, ГДЕ ЭЛЕКТРОНЫ ПЕРЕПРЫГНУЛИ НА УРОВЕНЬ, ИХ НЕТ, ПОЭТОМУ ОБРАЗУЕТСЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННАЯ ДЫРКА.

ДЫРКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ МОГУТ ПЕРЕДВИГАТЬСЯ, СОЗДАВАЯ ДЫРОЧНЫЙ ТОК. А ИХ ПРОВОДИМОСТЬ ТАК И НАЗЫВАЕТСЯ - ДЫРОЧНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ.

ДЫРКИ!

Валентная зона

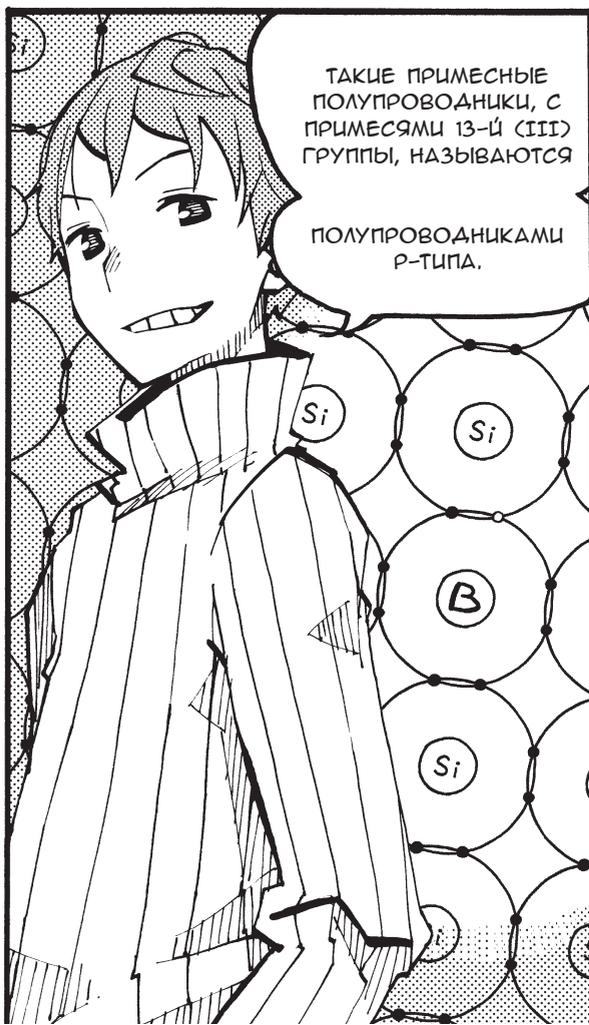


ЭТА "ДЫРКА" - ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННАЯ ЧАСТИЦА И ВЕДЕТ СЕБЯ ТАК ЖЕ, КАК ЭЛЕКТРОН, НО СО ЗНАКОМ +.

СВОЙСТВА ЧАСТИЦЫ

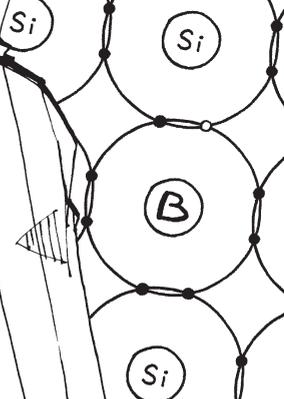
СВОЙСТВА ВОЛНЫ

ТО ЕСТЬ, ОНА ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВАМИ КАК ЧАСТИЦЫ, ТАК И ВОЛНЫ.



ТАКИЕ ПРИМЕСНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ, С ПРИМЕСЯМИ 13-Й (III) ГРУППЫ, НАЗЫВАЮТСЯ

ПОЛУПРОВОДНИКАМИ P-ТИПА.

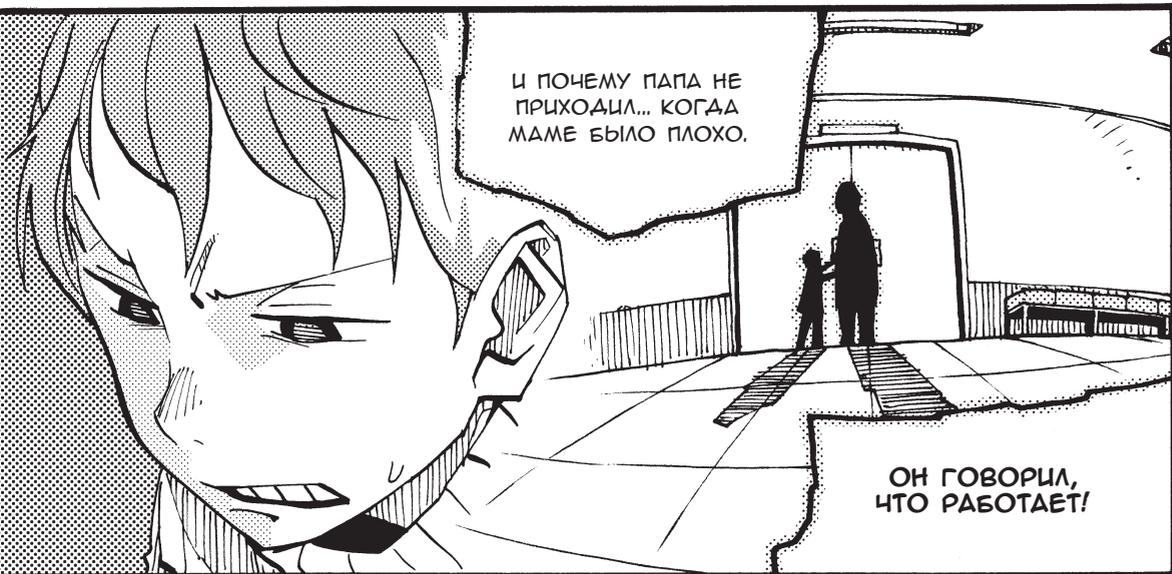


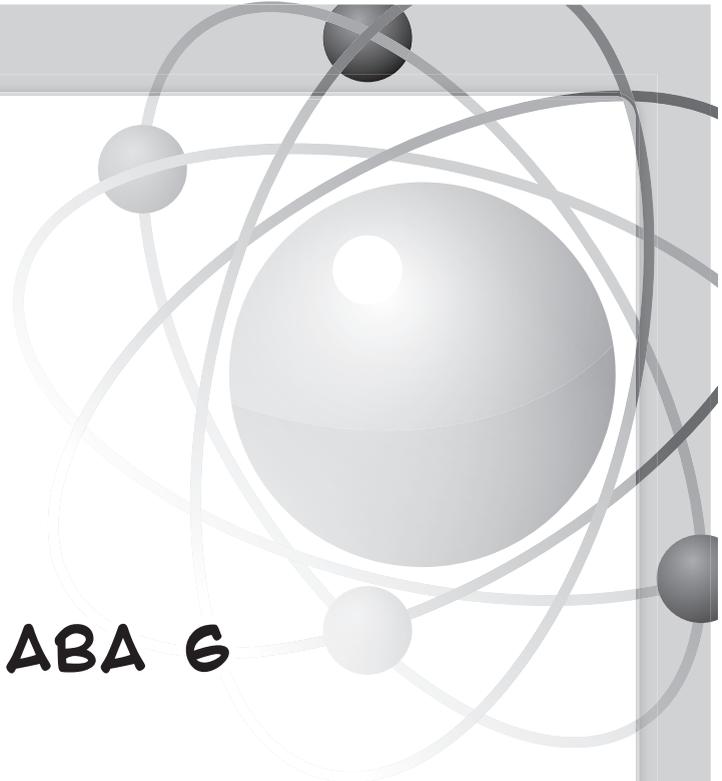
И ПРАВДА.

АГА!

ОДНАКО СИЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ЗОНЕ ПРОВОДИМОСТИ И СИЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЫРОК И ЭЛЕКТРОНОВ В ВАЛЕНТНОЙ ЗОНЕ ОТЛИЧАЮТСЯ.

И ЕСТЬ РАЗНИЦА НЕ ТОЛЬКО МЕЖДУ СВОЙСТВАМИ ЭЛЕКТРОНОВ И ДЫРОК, НО И МЕЖДУ СКОРОСТЬЮ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ВНУТРИ КРИСТАЛЛА.





ГЛАВА 6

**ПРИМЕСНЫЕ
ПОЛУПРОВОДНИКИ,
ДИОДЫ И ТРАНЗИСТОРЫ**



1 Кремниевый диод









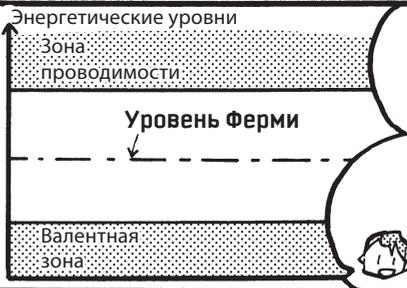
РАССМОТРИМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ДИАГРАММУ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ P-ТИПА И N-ТИПА С УЧЕТОМ УРОВНЯ ФЕРМИ.



УРОВЕНЬ ФЕРМИ?



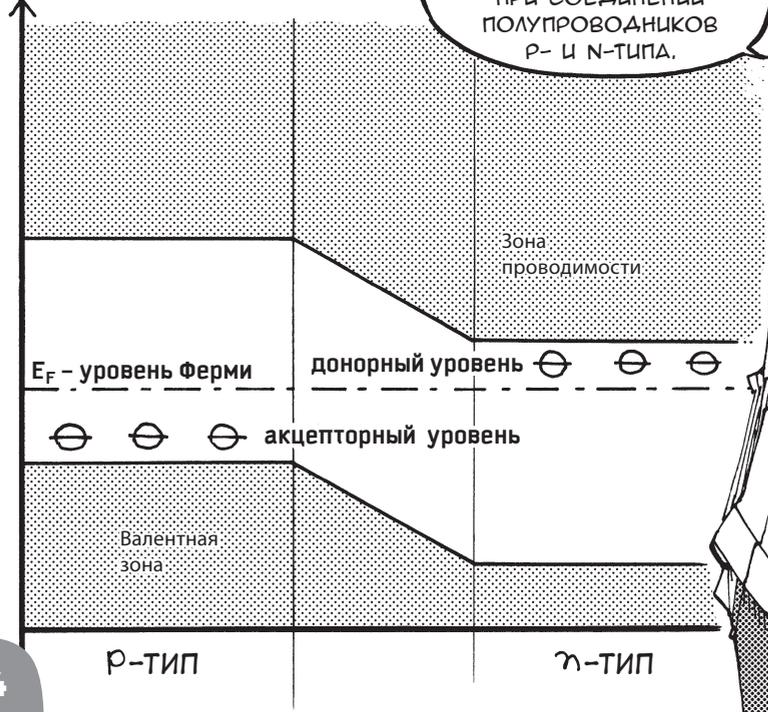
УРОВЕНЬ ФЕРМИ - ЭТО...



МАКСИМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ В МАТЕРИАЛЕ

ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ АБСОЛЮТНОГО НУЛЯ.

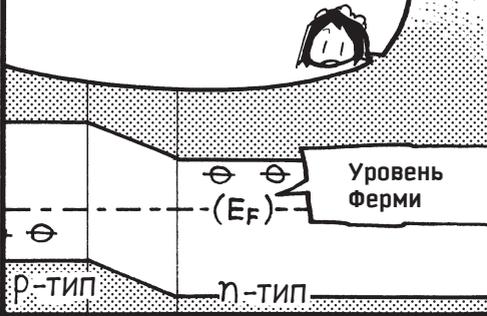
Энергетические уровни



И ЭТО ВСЕГДА ЕДИНЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ P- И N-ТИПА.



А ПОЧЕМУ УРОВЕНЬ
ФЕРМИ ОДИНАКОВОЙ
ВЫСОТЫ?



ЕСЛИ ПО ПОЛУПРОВОДНИКАМ
N- И P-ТИПА НЕ ТЕЧЕТ ТОК И ИХ ТЕМПЕРАТУРА
ОДИНАКОВА, ТО ДОСТИГАЕТСЯ СОСТОЯНИЕ
РАВНОВЕСИЯ.



И ОНО ДОЛЖНО
СООТВЕТСТВОВАТЬ
УРОВНЮ ФЕРМИ,
ВОТ ЧТО!



КАК ВИДНО, УРОВЕНЬ
ФЕРМИ В ПОЛУПРОВОДНИКЕ
N-ТИПА БЛИЗОК К
ДОНОРНОМУ УРОВНЮ.

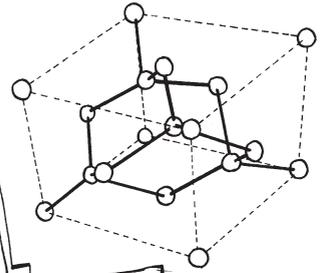
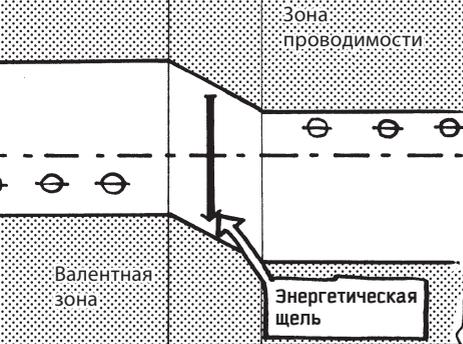


А В ПРОВОДНИКЕ P-ТИПА
УРОВЕНЬ ФЕРМИ БЛИЗОК
К АКЦЕПТОРНОМУ
УРОВНЮ.



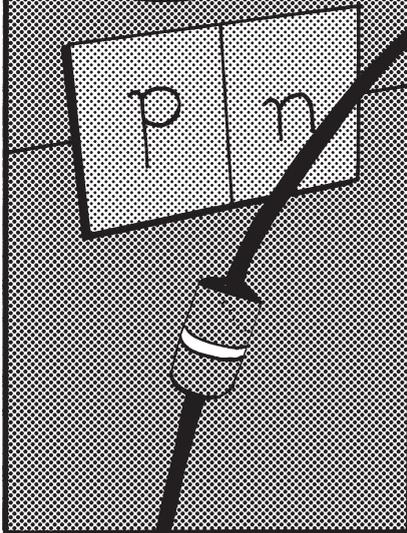
ЗАПРЕЩЕННАЯ ЗОНА
(ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЩЕЛЬ)
МЕЖДУ ВАЛЕНТНОЙ ЗОНОЙ
И ЗОНОЙ ПРОВОДИМОСТИ...

ИМЕЕТ ОДИНАКОВУЮ
СТРУКТУРУ В КРИСТАЛЛЕ
КРЕМНИЯ, ИМЕЮЩЕГО
РЕШЕТКУ АЛМАЗА.



ВЫПРЯМИТЕЛЬ,
СФОРМИРОВАННЫЙ
ИЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВ
P- И N-ТИПА, НАЗЫВАЮТ
"ДИОДОМ С P-N-ПЕРЕХОДОМ".

СИМВОЛЧЕСКИ
ДИОД ИЗОБРАЖАЮТ
ТАК!



ДА, ОЧЕНЬ
ПРОСТО!



ПОДКЛЮЧИМ (+) БАТАРЕИ К ВЫХОДУ ПОЛУПРОВОДНИКА P-ТИПА, А (-) К ВЫХОДУ ПОЛУПРОВОДНИКА N-ТИПА.

ДЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ (ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ ЗАРЯД) ТОТ ФАКТ, ЧТО НАПРЯЖЕНИЕ СТАНОВИТСЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ, ОЗНАЧАЕТ, ЧТО ЭНЕРГИЯ ПАДАЕТ.

ПОЭТОМУ И УРОВЕНЬ ФЕРМИ НА ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ P-ТИПА ПАДАЕТ!

р-ТИП n-ТИП

Ой, он упал!

ТАКИМ ОБРАЗОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ВАЛЕНТНОЙ ЗОНЫ ПОЛУПРОВОДНИКА N-ТИПА ПАДАЕТ

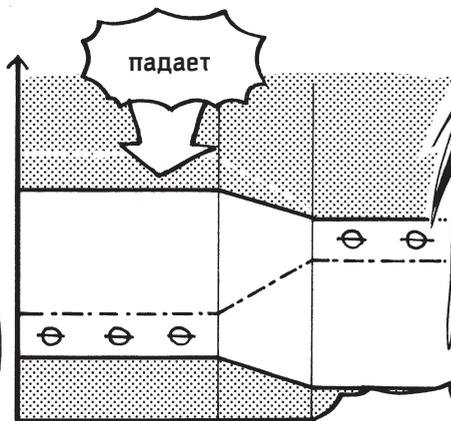
И СТАНОВИТСЯ БЛИЗОК К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ УРОВНЮ ВАЛЕНТНОЙ ЗОНЫ ПОЛУПРОВОДНИКА P-ТИПА.

р-ТИП n-ТИП

Ой... п-ПРАВДА... И ТАКОЙ ЖЕ УРОВЕНЬ В ПОЛУПРОВОДНИКЕ P-ТИПА?

ДА! ОН ПАДАЕТ!

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ЗОНЫ ПРОВОДИМОСТИ ПРОВОДНИКА P-ТИПА СНИЖАЕТСЯ, ПРИБЛИЖАЯСЯ К УРОВНЮ ФЕРМИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ УРОВНЮ ВАЛЕНТНОЙ ЗОНЫ ПОЛУПРОВОДНИКА N-ТИПА.



p-ТИП

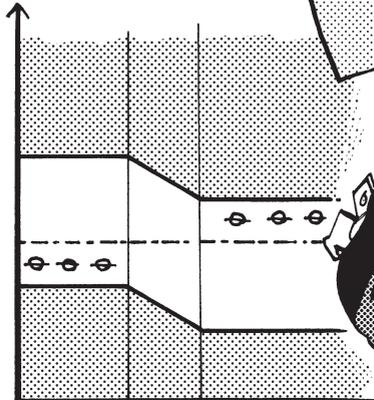
ОН СОВСЕМ УПАЛ!



ДО ТОГО, КАК ПРИСОЕДИНИТЬ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ К ПОЛУПРОВОДНИКУ P-ТИПА.

А ЗАДЕСЬ МЫ ПРИЛОЖИЛИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ!

Энергетические уровни

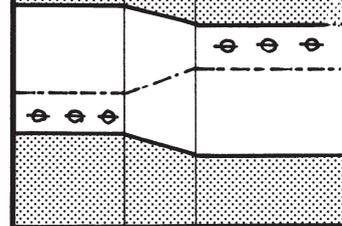


p-ТИП

n-ТИП



ОН ПОДНИМАЕТСЯ!



p-ТИП

n-ТИП

ПОЭТОМУ P-ТИП СТАНОВИТСЯ ПОХОЖИМ НА N-ТИП?

ТОТ ФАКТ, ЧТО РАЗНИЦА МЕЖДУ ЗОНАМИ ПРОВОДИМОСТИ И ВАЛЕНТНОСТИ P- И N-ТИПА УМЕНЬШАЕТСЯ,

ОЗНАЧАЕТ, ЧТО БАРЬЕР НА ПУТИ ЭЛЕКТРОНОВ, СТАНОВИТСЯ НИЖЕ.

ДА

И ТОКУ ТЕЧЬ ПРОЩЕ!





ЕСЛИ РАЗНИЦА МЕЖДУ
ЗОНОЙ ПРОВОДИМОСТИ И
ВАЛЕНТНОЙ ЗОНОЙ ВЕЛИКА,
ТО СКЛОН МЕЖДУ ПОЛУ-
ПРОВОДНИКАМИ P- И N-ТИПА
КРУТОЙ, И ЭЛЕКТРОНАМ ПО
НЕМУ СЛОЖНО ПЕРЕДВИГАТЬСЯ.



ОДНАКО ЕСЛИ К ПОЛУ-
ПРОВОДНИКУ P-ТИПА
ПРИЛОЖИТЬ ПОЛОЖИ-
ТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ,
ТО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УРОВЕНЬ ЗОНЫ
ПРОВОДИМОСТИ
ПОНИЗИТСЯ.,
ТОГДА ЭЛЕКТРОНЫ
СМОГУТ ПЕРЕМЕ-
ЩАТЬСЯ СВОБОДНО.



А ТЕПЕРЬ
РАССМОТРИМ
СИТУАЦИЮ С
ДЫРКАМИ.

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ
ЗАРЯД ДЫРКИ
ПРОТИВОПОЛОЖЕН
ЗАРЯДУ ЭЛЕКТРОНА,
ПОЭТОМУ НА РИСУНКЕ
ЭНЕРГИЯ ВЫШЕ
ПО МЕРЕ ЕЕ
СНИЖЕНИЯ.



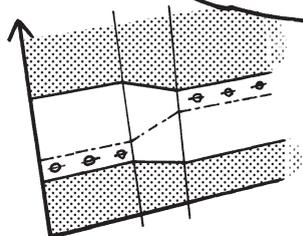
МЫ РАССМАТРИВАЛИ
ЭЛЕКТРОНЫ КАК
ЧАСТИЦЫ, ОБРАЗУЮЩИЕ
ТОК, НО ЭТО ТОЛЬКО
В НАПРАВЛЕНИИ ОТ
ПОЛУПРОВОДНИКА
N-ТИПА.

А ЧТО С
P-ТИПОМ?

ДЫРКИ (КОТОРЫЕ МОЖНО РАССМАТРИВАТЬ КАК ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ) В ВАЛЕНТНОЙ ЗОНЕ СТАНОВЯТСЯ ЧАСТИЦАМИ, КОТОРЫЕ СОЗДАЮТ ТОК.

ДЛЯ ДЫРОК В ПОЛУПРОВОДНИКАХ P- И N-ТИПА ВЕРХ И НИЗ МЕНЯЮТСЯ МЕСТАМИ.

ПОЭТОМУ Я ГОВОРЮ О ВЕРХЕ И НИЗЕ!



ТО ЕСТЬ ДЫРКА ПЕРЕМЕЩАЕТСЯ ИЗ КРИСТАЛЛА P-ТИПА В КРИСТАЛЛ N-ТИПА!

СТЕНКА СТАНОВИТСЯ НИЖЕ, И ЭЛЕКТРОНЫ И ДЫРКИ ИХ ПРЕОДОЛЕВАЮТ!

Энергетические

КАКАЯ ЛЕГКОТНЯ!

УРА!

СТЕНКА

Зона проводимости

СТЕНКА

Валентная зона

УРА!



ПОТОК ЭЛЕКТРОНОВ
И ДЫРОК - ЭТО И
ЕСТЬ ТОК ДИОДА.

$$I = I_0 (e^{aV} - 1)$$

(Когда напряжение подается
в обратном направлении)

Когда $V \rightarrow -\infty$ происходит,
то $I \rightarrow -I_0$ насыщение

ЗАВИСИМОСТЬ ТОКА ОТ
НАПРЯЖЕНИЯ ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ
ТАКИМ ВЫРАЖЕНИЕМ
С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КВАНТОВОЙ
МЕХАНИКИ И ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ
ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ
ФУНКЦИЕЙ.

...



ТОЛЬКО ЭТОГО БУДЕТ
ДОСТАТОЧНО!

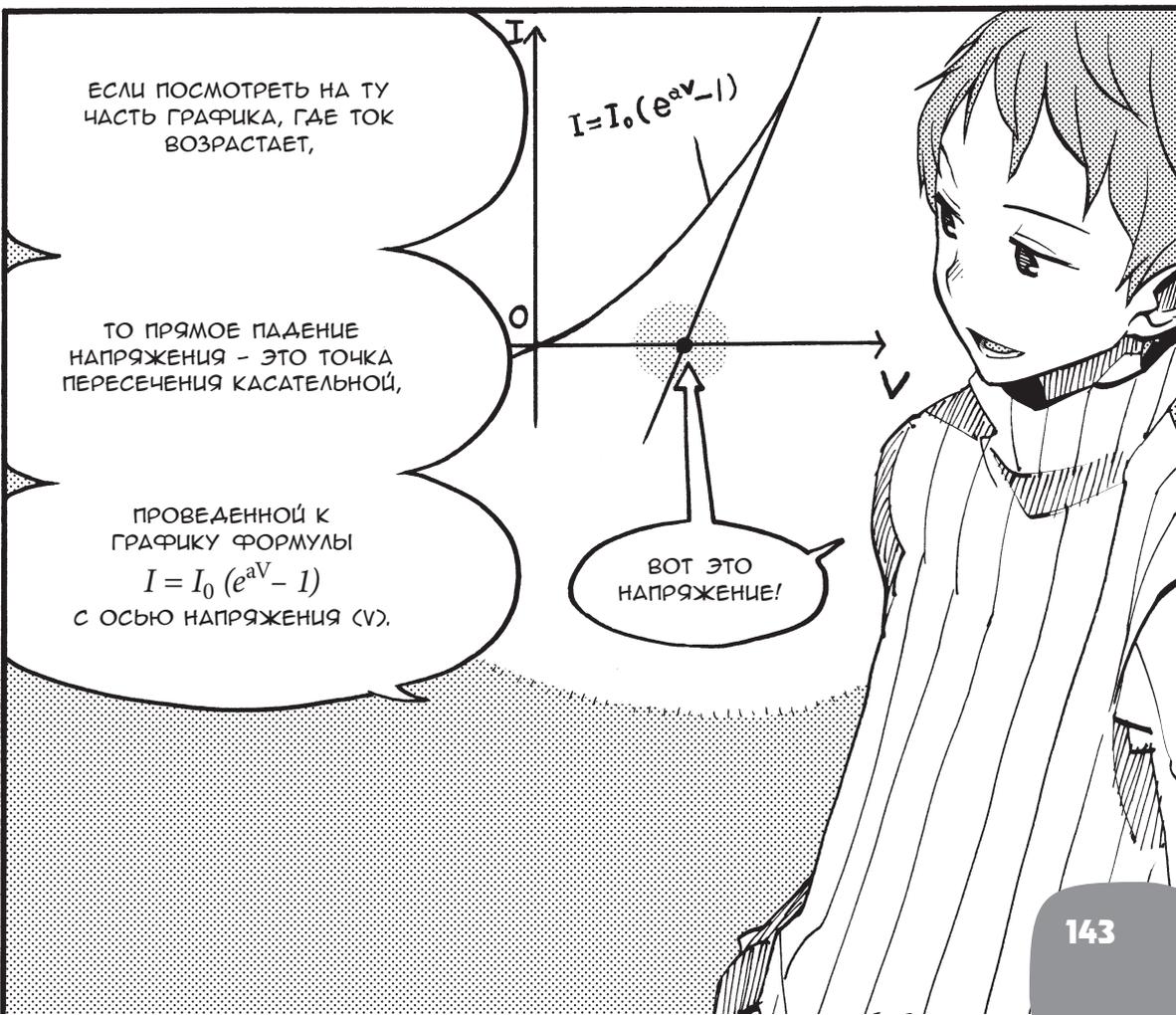
ПОДРОБНО ОБ ЭТОМ
ГОВОРИТСЯ В ДРУГИХ
КНИГАХ, ПОСВЯЩЕННЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКАМ!



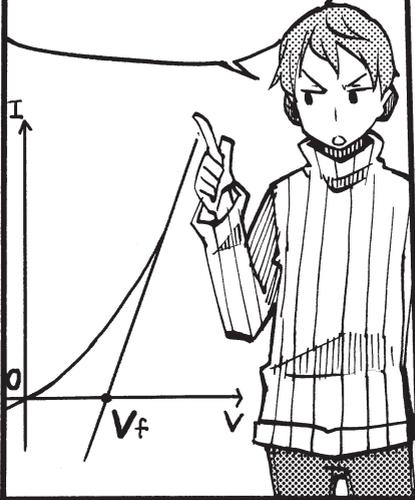
В ТЕХ, КОТОРЫХ
ПОЛНО ЗА ТВОЕЙ
СПИНОЙ!

...

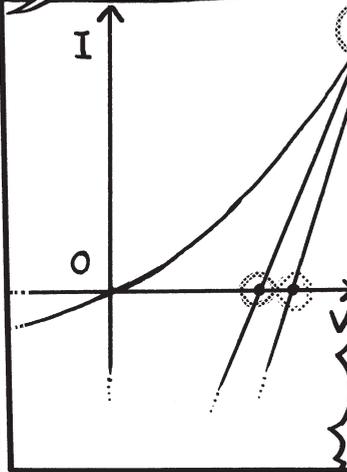




ОДНАКО ЭТА КРИВАЯ $V-I$, О КОТОРОЙ ШЛА РЕЧЬ, НИГДЕ НЕ СТАНОВИТСЯ ПРЯМОЙ!



ПОЭТОМУ V_f МЕНЯЕТСЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕСТА ПРОВЕДЕНИЯ КАСАТЕЛЬНОЙ!



В САМОМ ДЕЛЕ МЕНЯЕТСЯ!

КАК ПРАВИЛО, ЗНАЧЕНИЕ V_f КРЕМНИЕВОГО ДИОДА ОТ 0,6 ДО 0,8 В.



ЭТА ХАРАКТЕРИСТИКА $V-I$ СПРАВЕДЛИВА ТОЛЬКО ДЛЯ ИДЕАЛЬНОГО ДИОДА.

ОДНАКО ЧТО КАСАЕТСЯ РЕАЛЬНОГО ДИОДА, ТО ЛУЧШЕ СЧИТАТЬ, ЧТО СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ P- И N-ТИПА ИМЕЮТ СВОИ ЗНАЧЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ОТЛИЧНЫЕ ОТ ЗНАЧЕНИЯ В ЗОНЕ ПЕРЕХОДА.

ИДЕАЛ!

Идеальный диод



РЕАЛЬНОСТЬ!

КАК-ТО ВСЕ ЗАПУТАНО!

Сопротивление материала p-типа

Сопротивление материала n-типа



ЕСЛИ УЧИТЫВАТЬ СОПРОТИВЛЕНИЕ, ТО ХАРАКТЕРИСТИКА $V-I$ ТАКОВА!

ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННОЙ СХЕМЫ ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ДИОДЕ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ОПРЕДЕЛЕННОГО ТОКА РАССМАТРИВАЕТСЯ КАК V_f .

СИЛА ТОКА ПАДАЕТ, ПО СРАВНЕНИЮ С ИДЕАЛЬНЫМ ДИОДОМ?

В РЕЗУЛЬТАТЕ ОГРАНИЧЕНИЯ СИЛЫ ТОКА ЕСТЬ ОБЛАСТЬ, ГДЕ СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ТОКОМ И НАПРЯЖЕНИЕМ ИЗМЕНЯЕТСЯ ЛИНЕЙНО, КАК ПОКАЗАНО НА ГРАФИКЕ.

НЕСМОТРЯ НА ТО ЧТО В ИДЕАЛЬНОМ ДИОДЕ ТОК ПРОТЕКАЕТ ПО ЭКСПОНЕНТЕ С ПОВЫШЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ,

В РЕАЛЬНОСТИ ТОК ОГРАНИЧЕН ЗНАЧЕНИЕМ СОПРОТИВЛЕНИЯ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ДИОДА.

ВСЕГО-ТО...

ПОСКОЛЬКУ В ОБЛАСТИ, ГДЕ ЗАВИСИМОСТЬ $V-I$ ЛИНЕЙНА И КАСАТЕЛЬНУЮ V_f НЕ ПРОВЕСТИ, О НЕЙ ОБЫЧНО НЕ ГОВОРЯТ.

ПОЭТОМУ ЕГО ЗНАЧЕНИЕ В ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМАХ НЕ ОБСУЖДАЕТСЯ.



САМЫМ ВАЖНЫМ ЯВЛЯЕТСЯ САМА ХАРАКТЕРИСТИКА $V-I$.



АГА.

2 Транзистор

ПОСЛЕ ДИОДОВ ЦАУТ ТРАНЗИСТОРЫ! С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СТРУКТУРЫ ОНИ ДЕЛЯТСЯ НА ДВА ВИДА!



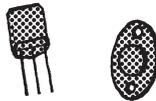
Биполярный транзистор (БТ)



Полевой транзистор (ПТ)

● Биполярный транзистор

БИПОЛЯРНЫЙ - В ПЕРЕВОДЕ С ЛАТЫНИ ОЗНАЧАЕТ "ДВА ПОЛЮСА".



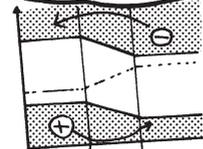
БИ ПОЛЯРНЫЙ

[два] [полюса]

ЛАТЫНЬ!

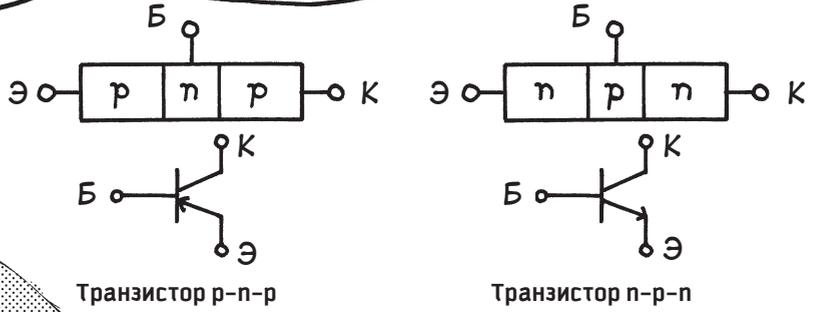
ДВЕ ПОЛЯРНОСТИ - ЭТО ЗНАЧИТ, ЧТО ТРАНЗИСТОР РАБОТАЕТ БЛАГОДАРЯ ЭЛЕКТРОНАМ (МИНУС) И ДЫРКАМ (ПЛЮС),

ЭЛЕМЕНТАМ N- И P- ТИПА, КОТОРЫЕ И СОЗДАЮТ ТОК.



РАССМОТРИМ
ОСНОВНУЮ СТРУКТУРУ
БИПОЛЯРНОГО
ТРАНЗИСТОРА.

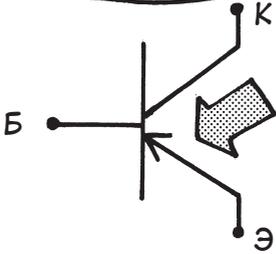
В ОДНОМ ТРАНЗИСТОРЕ
СОЕДИНЕНЫ ДВА ЭЛЕМЕНТА
С P-N-ПЕРЕХОДАМИ.



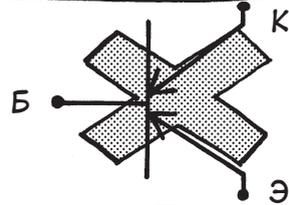
ЧТО?



ТАК ВОТ.... НАПРАВЛЕНИЕ, ПО КОТОРОМУ ЛЕГКО ТЕЧЕТ ТОК МЕЖДУ ЭМИТТЕРОМ И БАЗОЙ (КОТОРЫЕ СОЕДИНЕНЫ КАК ДИОДА), УКАЗАНО СТРЕЛКОЙ.



КОНЕЧНО, БАЗА И КОЛЛЕКТОР ТОЖЕ ИМЕЮТ ОСОБЕННОСТИ, КАК У ДИОДА, ПОЭТОМУ



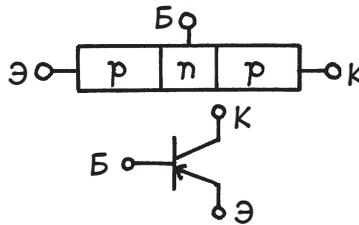
ЕСЛИ УКАЗАТЬ НАПРАВЛЕНИЕ, ПО КОТОРОМУ ТЕЧЕТ ТОК, СО СТОРОНЫ КОЛЛЕКТОРА, ТО РИСУНОК СТАНОВИТСЯ СИММЕТРИЧНЫМ, ПОЭТОМУ НЕ ЯСНО, ГДЕ ЭМИТТЕР.

ПОЭТОМУ ДОГОВОРИЛИСЬ, ЧТО СТРЕЛКОЙ ПОКАЗЫВАЮТ ТОЛЬКО НАПРАВЛЕНИЕ ТОКА ОТ ЭМИТТЕРА (Э) К БАЗЕ (Б).

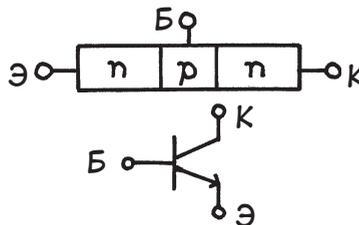
ЭТО ПРАВИЛО?

ПОСКОЛЬКУ ПРИМЕСНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ БЫВАЮТ ТОЛЬКО P- И N-ТИПА, ТО ТРАНЗИСТОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ИЗ НИХ,

БЫВАЮТ ТОЛЬКО ДВУХ ВИДОВ.

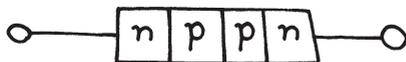


Транзистор р-п-р



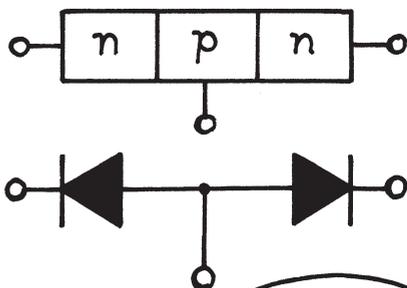
Транзистор п-р-п

КСТАТИ, ЗНАЕШЬ,
ЧТО БУДЕТ, ЕСЛИ
СОВМЕСТИТЬ ДВА
ДИОДА?



НЕТ.

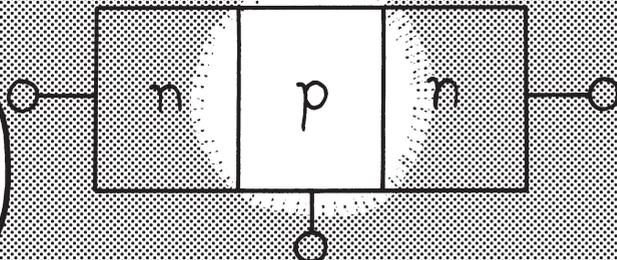
ВОТ ТАКОЕ СОЧЕТАНИЕ.



НАДО ЖЕ!
ВЫГЛЯДЯТ КАК-ТО
ТРАНЗИСТОРНО?

РАЗНИЦА МЕЖДУ ДВУМЯ
ДИОДАМИ И ТРАНЗИСТОРОМ
ЗАКЛЮЧАЕТСЯ В ТОМ,

ЧТО РАЗМЕР ПОЛУПРОВОДНИКА
P-ТИПА, ЗАЖАТОГО МЕЖДУ
N-ТИПОМ С ОБЕИХ СТОРОН,
СОВСЕМ НЕБОЛЬШОЙ.



С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ОДНОГО P-N-ПЕРЕХОДА, ТРАНЗИСТОР БЫ НИЧЕМ НЕ ОТЛИЧАЛСЯ ОТ ДИОДА, НО...

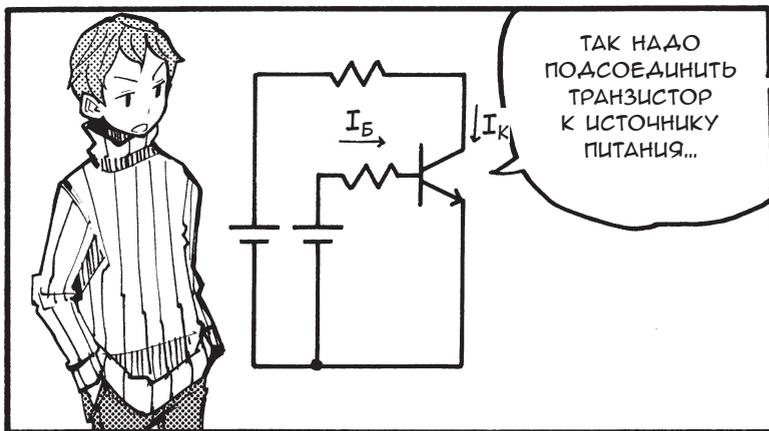
РАЗМЕР ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ МЕЖДУ ЭТИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДОЛЖЕН БЫТЬ ПОРЯКА ОДНОГО МИКРОНА! ЕСЛИ ОН БУДЕТ БОЛЬШЕ, ТО НУЖНЫЙ ЭФФЕКТ НЕ ПОЛУЧИТСЯ!



ОН ВЗОРВЕТСЯ?

ТРЕВОЖИТСЯ

ЭТО НЕБЕЗОПАСНО!

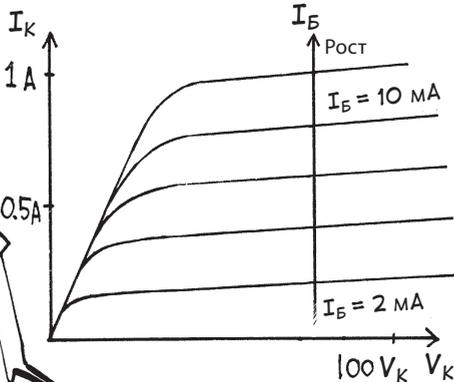


ЗАТЕМ НАДО ПОСТЕПЕННО УВЕЛИЧИВАТЬ СИЛУ ТОКА (I_E), ТЕКУЩЕГО ОТ БАЗЫ К ЭМИТТЕРУ...

ТОК

РЕЗУЛЬТАТ ИЗОБРАЖЕН НА ЭТОМ ГРАФИКЕ!

ЭТО - СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА!



НУ КАК, НЕ ПОРАЗИТЕЛЬНО ЛИ?

ПОРАЗИТЕЛЬНО!
ЕЩЕ КАК ПОРАЗИТЕЛЬНО!





ЦНЫМИ СЛОВАМИ,
ГРАФИК ПОКАЗЫВАЕТ,
ЧТО ТОК КОЛЛЕКТОРА
УВЕЛИЧИВАЕТСЯ, А
СИЛА ТОКА БАЗЫ
ОСТАЕТСЯ
ПОСТОЯННОЙ!

В КОЛЛЕКТОРЕ ТЕЧЕТ ТОК
ПРИМЕРНО В СТО РАЗ ВЫШЕ,
ЧЕМ ТОК БАЗЫ!

$B \times 100$
K

В СТО РАЗ?...
ЭТО СОВСЕМ
ПОРАЗИТЕЛЬНО!



ТАК ВОТ.

ОТНОШЕНИЕ ТОКА БАЗЫ
К ТОКУ КОЛЛЕКТОРА
НАЗЫВАЕТСЯ
"КОЭФФИЦИЕНТ
УСИЛЕНИЯ ПО ТОКУ".

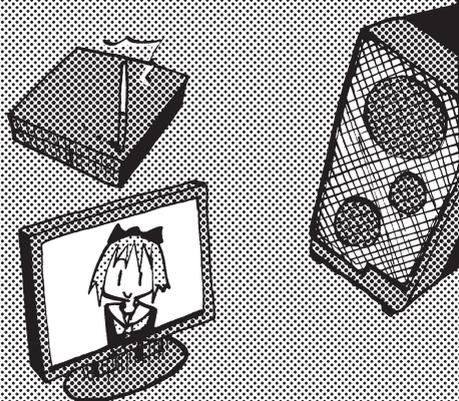
ПЕРЕДАЮ
СИЛУ...



ОБОЗНАЧА-
ЕТСЯ ТАК.

h_{FE}

ТАКИЕ ТРАНЗИСТОРЫ ШИРОКО
ИСПОЛЗУЮТСЯ ВО МНОГИХ
СЛУЧАЯХ: В АУДИО- И
ВИДЕОСИСТЕМАХ,
В БЕСПРОВОДНОМ
ОБОРУДОВАНИИ И ДАЖЕ
В РОБОТАХ.



КОГДА ТОК БАЗЫ НА
ГРАФИКЕ СТАТИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК
ТРАНЗИСТОРА
НЕ МЕНЯЕТСЯ,

ТО ПОЯВЛЯЕТСЯ ЗОНА,
ГДЕ ТОК РАСТЕТ, КАК
В ДИОДЕ, А НА
КОЛЛЕКТОРЕ ЕЩЕ
НЕВЫСОКОЕ
НАПРЯЖЕНИЕ, КАК
НА ЭМИТТЕРЕ.

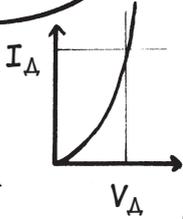
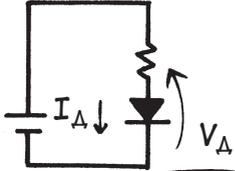


ЭТА ОБЛАСТЬ
НАЗЫВАЕТСЯ
"ОБЛАСТЬЮ
НАСЫЩЕНИЯ".



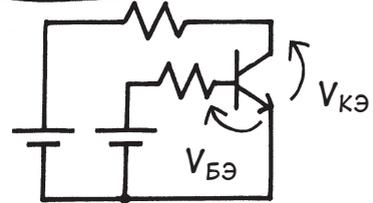
В СЛУЧАЕ КРЕМНИЕВОГО ДИОДА, КАК Я ОБЪЯСНЯЛ РАНЕЕ...

САМОЕ НИЗКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ НА ДИОДЕ РАВНО...



0,6 В!

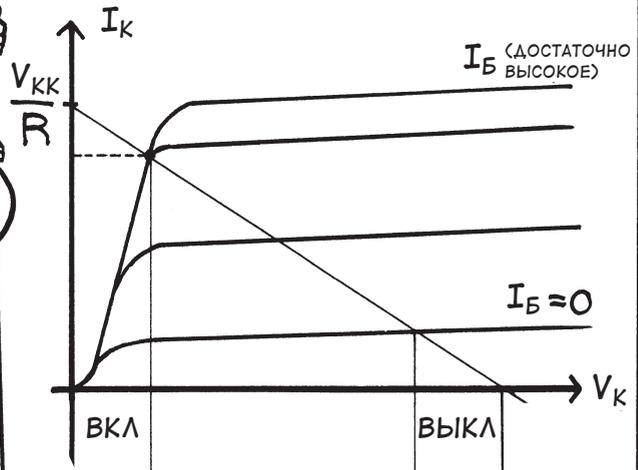
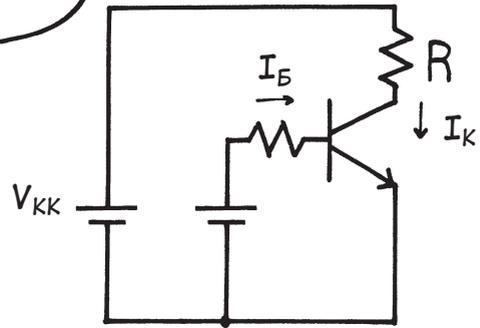
КОГДА КРЕМНИЕВЫЙ ТРАНЗИСТОР ТИПА N-P-N НАХОДИТСЯ В РЕЖИМЕ НАСЫЩЕНИЯ,



$V_{БЭ}$ РАВНЯЕТСЯ ПРИМЕРНО 0,6 В, КАК И У ДИОДА.

ПРИ ЭТОМ НАПРЯЖЕНИЕ НА КОЛЛЕКТОРЕ СОСТАВЛЯЕТ ОБЫЧНО НИЖЕ 0,3 В.

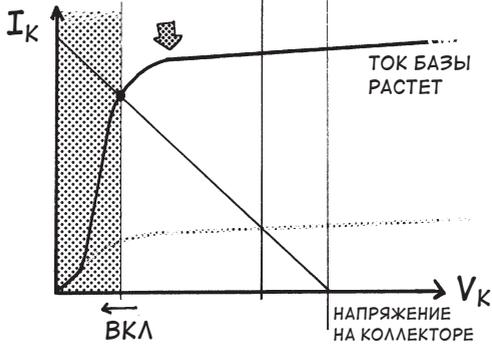
ПОЛУЧАЕТСЯ ВОТ ТАКАЯ КАРТИНА.



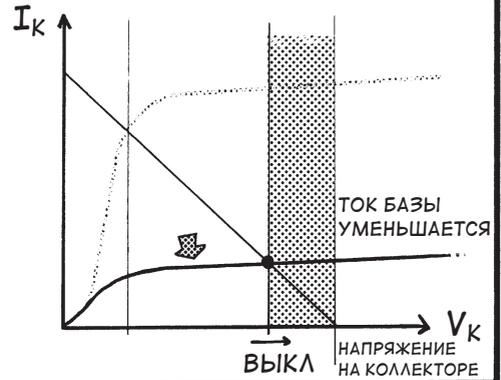
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ТРАНЗИСТОРА ОНО МОЖЕТ СОСТАВЛЯТЬ 0,1 В.

ого!

БЛАГОДАРЯ ЭТОЙ ОСОБЕННОСТИ, КОГДА ТЕЧЕТ БАЗОВЫЙ ТОК, ТО НАПРЯЖЕНИЕ НА КОЛЛЕКТОРЕ РАВНЯЕТСЯ НАПРЯЖЕНИЮ НА ЭМИТТЕРЕ.



ЕСЛИ ТОК БАЗЫ ОТСУТСТВУЕТ, ТО НАПРЯЖЕНИЕ НА КОЛЛЕКТОРЕ ТАКОЕ ЖЕ, КАК И НА ИСТОЧНИКЕ ПИТАНИЯ.



ПОЭТОМУ ТРАНЗИСТОР МОЖНО ВКЛЮЧАТЬ И ВЫКЛЮЧАТЬ! НА ЭТОМ ОСНОВАНЫ ЦИФРОВЫЕ СХЕМЫ!



Я ГОВОРИЛ О ТРАНЗИСТОРАХ N-P-N-ТИПА. ТРАНЗИСТОРЫ P-N-P-ТИПА ПРАКТИЧЕСКИ ТАКЖЕ, ТОЛЬКО ПОЛЯРНОСТЬ ПИТАНИЯ ТАМ ИНАЯ.



ТЫ ПОНЯЛА, ЧТО БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ В ОСНОВНОМ КАК ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ?

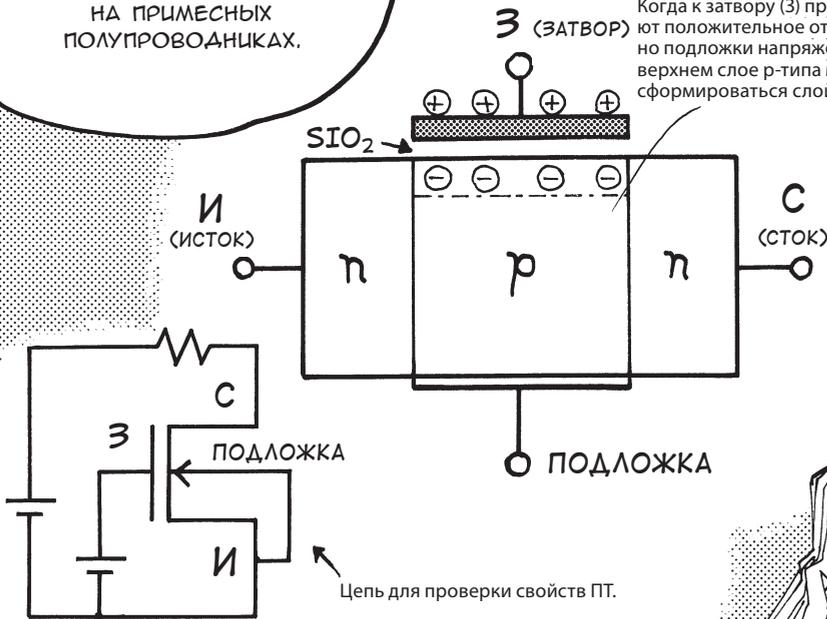


● ПТ (Полевой транзистор)

ТЕПЕРЬ ПОГОВОРИМ О ПРИБОРАХ С ОТЛИЧНОЙ ОТ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ СТРУКТУРОЙ, КОТОРЫЕ ТАКЖЕ ПОСТРОЕНЫ НА ПРИМЕСНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ.

ПРЕЖДЕ ВСЕГО ВЗГЛЯНИ ВОТ СЮДА.

Когда к затвору (З) прикладывают положительное относительно подложки напряжение, то в верхнем слое р-типа может сформироваться слой n-типа.



ЗДЕСЬ ПОКАЗАН ПТ ТИПА МОП.

ТАКИЕ ТРАНЗИСТОРЫ НАЗЫВАЮТ ПОЛЕВЫМИ СУПРАВЛЯЮТСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ.

МОП?

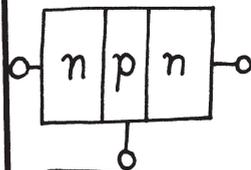
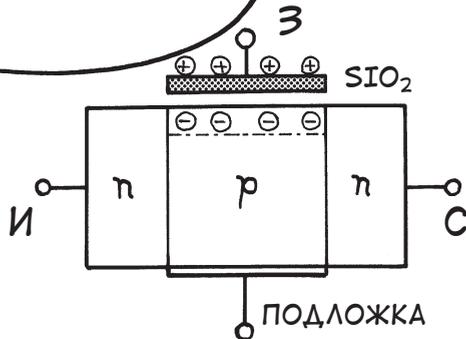
МОП - ЭТО

МЕТАЛЛ (ЗАТВОР)
ОКСИД (ДИЭЛЕКТРИК, SiO_2)
ПОЛУПРОВОДНИК (SI-ПОДЛОЖКА)

ЗНАЧИТ...

ПРИ ВЗГЛЯДЕ НА ЭТОТ
РИСУНОК КАЖЕТСЯ,
ЧТО СТРУКТУРА У НЕГО ТАКАЯ
ЖЕ, КАК И У БИПОЛЯРНОГО
N-P-N-ТРАНЗИСТОРА.

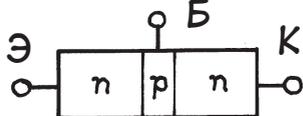
В ЧЕМ ЖЕ
РАЗНИЦА?



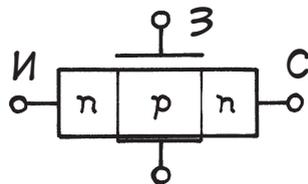
ЧАСТЬ,
КОТОРАЯ
В ЦЕНТРЕ,
ШИРЕ...

ИМЕННО! ИТАК,
ОСОБЕННОСТЬ ПТ В ТОМ,
ЧТО ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ
P-ТИПА ЧЕРЕЗ
ИЗОЛИРУЮЩИЙ СЛОЙ
(ДИЭЛЕКТРИК)
ПРИМЫКАЕТ К
ЭЛЕКТРОДУ,
НАЗЫВАЕМУМУ
ЗАТВОРУ.

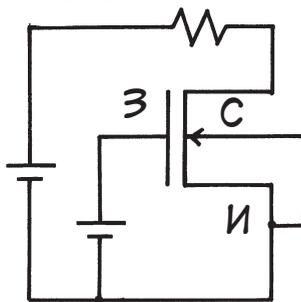
Биполярный
n-p-n-транзистор



МОП-ПТ

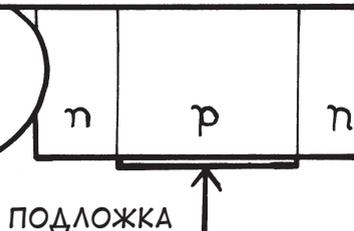


К ЭТОЙ ЧАСТИ
ПОЛУПРОВОДНИКА P-ТИПА
ПРИСОЕДИНЕН ЭЛЕКТРОД,
ТАКЖЕ НАЗЫВАЕМЫЙ
ПОДЛОЖКОЙ.



ЭТО ПОХОЖЕ НА
КОНДЕНСАТОР.

ЕСЛИ ОТНОСИТЕЛЬНО
ПОДЛОЖКИ НА ЗАТВОР
ПОДАТЬ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ
НАПРЯЖЕНИЕ...

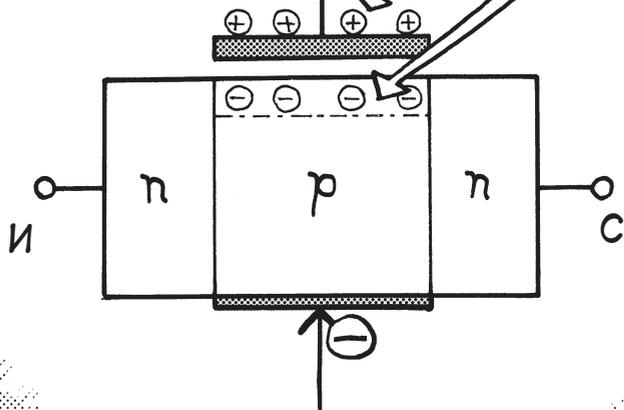


ТО В ПОЛУПРОВОДНИКЕ P-ТИПА, КОТОРЫЙ НАХОДИТСЯ МЕЖДУ ВОРОТАМИ (СТОКОМ И ИСТОКОМ) И ИЗОЛЯТОРОМ...



НАЧИНАЮТ НАКАПЛИВАТЬСЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ЗАРЯДЫ, А НА ЗАТВОРЕ В НАПРАВЛЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОДА ИСТОКА

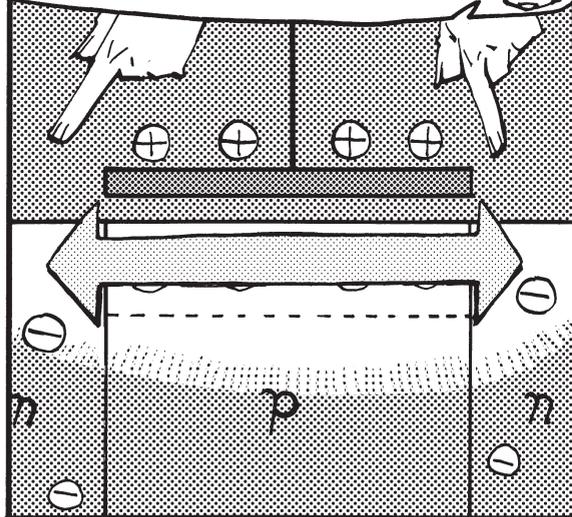
БУДУТ НАКАПЛИВАТЬСЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ЗАРЯДЫ.



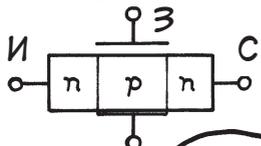
ТАКАЯ "БУТЕРБРОДНАЯ" СТРУКТУРА ЛЕГКО ПОЗВОЛЯЕТ ТЕЧЬ ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ЗАРЯДАМ В ПРОВОДНИКЕ N-ТИПА С ОБЕИХ СТОРОН.



КОГДА НАПРЯЖЕНИЕ ПОДАЕТСЯ НА ЭЛЕКТРОДЫ С ОБЕИХ СТОРОН, СЛОЙ СКОПИВШИХСЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ЗАРЯДОВ В МАТЕРИАЛЕ P-ТИПА ОБРАЗУЕТ "ДОРОГУ" ДЛЯ ПРОТЕКАНИЯ ТОКА.

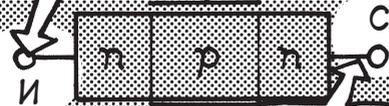


ВЕДЬ ТАКАЯ СТРУКТУРА МОП-ТРАНЗИСТОРА КАЖЕТСЯ СИММЕТРИЧНОЙ, ПРАВДА?



ДА!

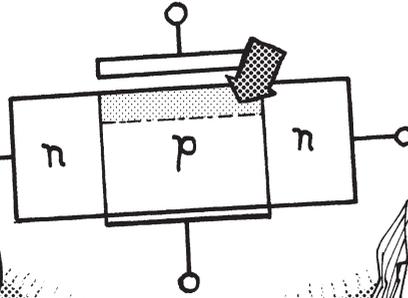
ОДИН ИЗ ЭЛЕКТРОДОВ N-ТИПА - ЭТО ИСТОК (И).



А ДРУГОЙ - СТОК (С).

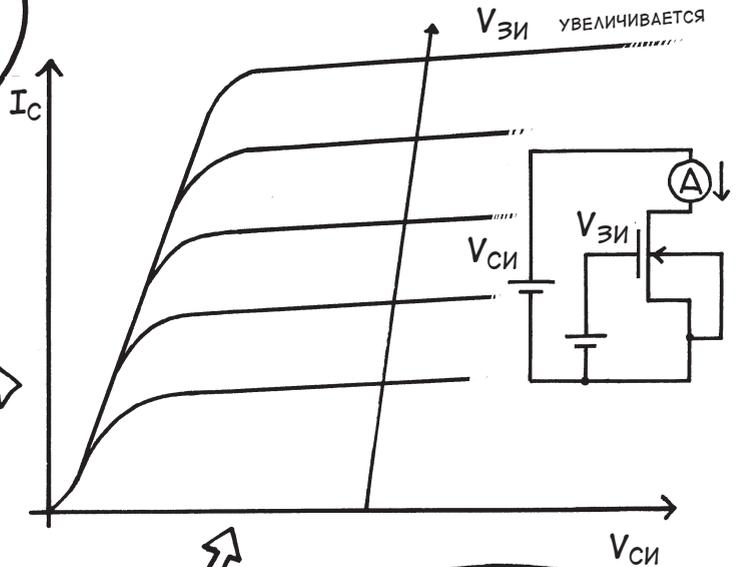
ЭТУ "ДОРОГУ ИЗ
ЭЛЕКТРОНОВ" ВНУТРИ
ПОЛУПРОВОДНИКА P-ТИПА
НАЗЫВАЮТ КАНАЛОМ.

ПРИБОР С КАНАЛОМ,
СОЕДИНЯЮЩИМ ДВА
ПОЛУПРОВОДНИКА
N-ТИПА...



НАЗЫВАЮТ МОП-ТРАНЗИСТОРОМ
С N-КАНАЛОМ, ИЛИ
N-КАНАЛЬНЫМ ТРАНЗИСТОРОМ.

ВОТ СТОКОВАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА
N-КАНАЛЬНОГО
ТРАНЗИСТОРА.



ЭТО ОСЬ, НА КОТОРОЙ
ФИКСИРУЮТ СИЛУ
ТОКА, ТЕКУЩЕГО ОТ
СТОКА К ИСТОКУ.

А ЭТО - ОСЬ НАПРЯЖЕНИЯ
НА СТОКЕ, РАССЧИТЫВАЕМАЯ
ОТНОСИТЕЛЬНО ИСТОКА.

СИЛА ТОКА В КАНАЛЕ
ЗАВИСИТ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ
НА ИСТОКЕ?

ЕСЛИ УВЕЛИЧИТЬ
НАПРЯЖЕНИЕ НА ИСТОКЕ, ТО
ТОК ПОТЕЧЕТ ПО КАНАЛУ...

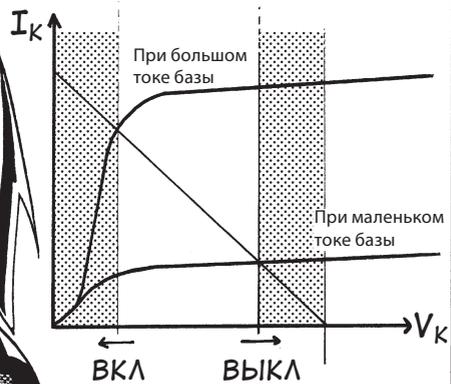
НО ЕСЛИ НАПРЯЖЕНИЕ НА
ИСТОКЕ РАВНО НУЛЮ, ТО ТОК
В КАНАЛЕ НЕ ПОЯВИТСЯ.

ИМЕННО!

ЭТО ОЗНАЧАЕТ, ЧТО
НАПРЯЖЕНИЕ НА ИСТОКЕ
МОЖЕТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНО
В КАЧЕСТВЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ.

МНЕ КАЖЕТСЯ, ЭТОТ
ГРАФИК ПОХОЖ НА
ГРАФИК БИПОЛЯРНОГО
ТРАНЗИСТОРА.

ЧТО?

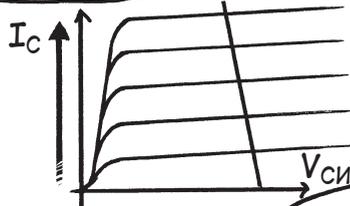


АА, ОНИ ПОХОЖИ!



НО ЕСТЬ И
РАЗЛИЧИЯ!

В СЛУЧАЕ БИПОЛЯРНОГО
ТРАНЗИСТОРА ТОК КОЛЛЕКТОРА
МЕНЯЕТСЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТОКА
БАЗЫ...



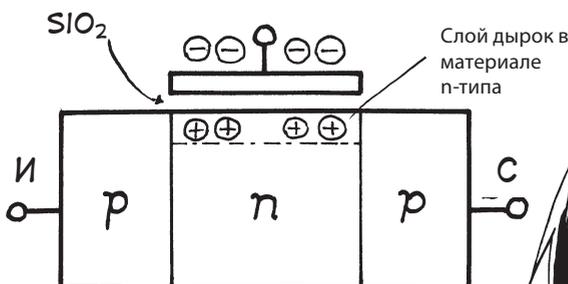
В МОП-ТРАНЗИСТОРЕ ТОК
СТОКА МЕНЯЕТСЯ ПРИ
ИЗМЕНЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ
НА ИСТОКЕ.

А ЕЩЕ
МОЖНО ИЗГОТОВИТЬ
ДРУГОЙ ВАРИАНТ МОП-
ТРАНЗИСТОРА,

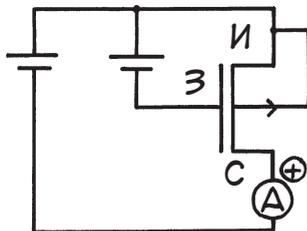
У КОТОРОГО
ИЗМЕНИТЬ ТИП
ПРОВОДИМОСТИ
ПОДЛОЖКИ И
ЭЛЕКТРОДОВ.



ЭТО КАК?



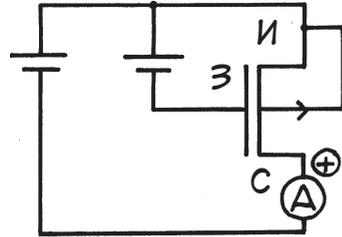
Цепь с МОП-транзистором
с р-каналом



Ой, ПЛЮС И МИНУС
ПОМЕНЯЛИ МЕСТАМИ!



ТАКАЯ МОП-СТРУКТУРА
НАЗЫВАЕТСЯ...

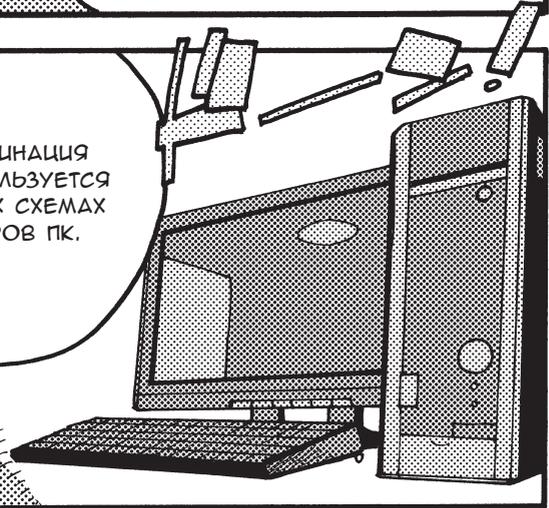


МОП-ТРАНЗИСТОРОМ
С Р-КАНАЛОМ, ИЛИ
Р-КАНАЛЬНЫМ ТРАНЗИСТОРОМ!

СОЕДИНЕНИЕ
Р-КАНАЛЬНОГО И
N-КАНАЛЬНОГО
ТРАНЗИСТОРОВ
НАЗЫВАЮТ
КОМПЛЕМЕНТАРНОЙ
ПАРОЙ (КМОП).

ТАКАЯ КОМБИНАЦИЯ
ШИРОКО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ
В ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ
ПРОЦЕССОРОВ ПК.

КРУТО!

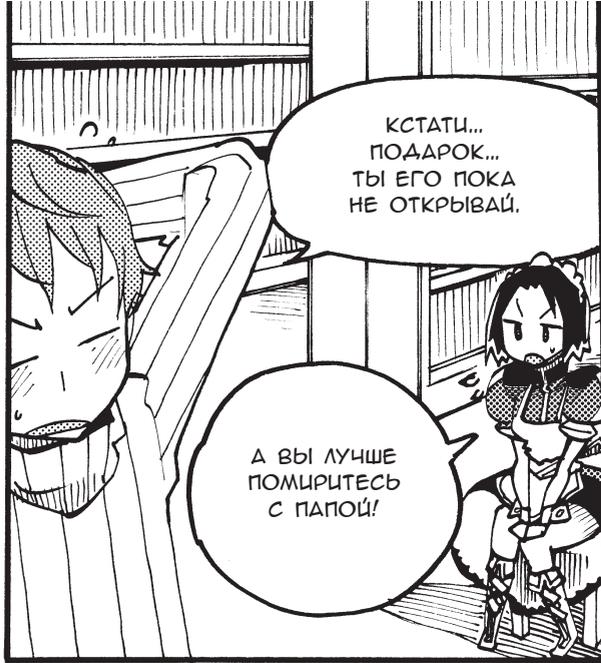


НУ, ВОТ. ТЕПЕРЬ ВСЕ.

Я ТЕПЕРЬ
МАСТЕР ПОЛУ-
ПРОВОДНИКОВ?

НЕТ... ЭТО
БЫЛИ ТОЛЬКО
ОСНОВЫ.

ОДНАКО...



КСТАТИ...
ПОДАРОК...
ТЫ ЕГО ПОКА
НЕ ОТКРЫВАЙ.

А ВЫ ЛУЧШЕ
ПОМИРИТЕСЬ
С ПАПЫ!



С ЧЕГО
ЭТО ТЫ
ВАРУГ
ПРО
ПАПУ?



ЧЕГО ТАК?



НУ... НА САМОМ ДЕЛЕ Я
ПРОМЫШЛЕННАЯ ШПИОНКА.



Я ЗНАЮ.



ЗНАЕТЕ?

АГА!



ТАК ЭТО СРАЗУ БЫЛО
ПОДОЗРИТЕЛЬНО!
ТЫ ТАК НАГЛО ВОШЛА
В ЭТУ КОМНАТУ!

УЖАС!

УЖАС!!!

А ПО-
СКОЛЬКУ ТЫ
НИЧЕГО НЕ ПОНИМА-
ЛА, ТО И ПОПРОСИЛА
МЕНЯ РАССКАЗАТЬ ПРО
ПОЛУПРОВОДНИКИ!

ТЕПЕРЬ
ВСЕ ЯСНО?

ОДНАКО, РАЗ УЖ ТЫ ШПИОНКА, ЧЕГО ЭТО ТЫ ВАРУГ ПРО МОЕГО ПАПУ ЗАГОВОРИЛА?



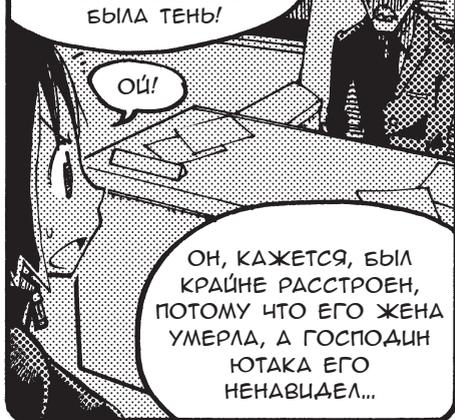
НУ...

МОИМ ПЕРВЫМ ШПИОНСКИМ ЗАДАНИЕМ БЫЛО ЗАЙТИ В ТО МЕСТО, ГДЕ РАБОТАЕТ ВАШ ОТЕЦ...



ЧТО ТАКОЕ ПОЛУ-ПРОВОДНИКИ?

ОДНАКО, ЧЕЛОВЕК, КОТОРЫЙ ТАМ САДЕЛ, ВО ВСЕ НЕ БЫЛ ПОХОЖ НА ПРЕЗИДЕНТА КРУПНОЙ ПОЛУ-ПРОВОДНИКОВОЙ КОМПАНИИ... ЭТО БЫЛА ТЕНЬ!



ОЙ!

ОН, КАЖЕТСЯ, БЫЛ КРАЙНЕ РАССТРОЕН, ПОТОМУ ЧТО ЕГО ЖЕНА УМЕРЛА, А ГОСПОДИН ЮТАКА ЕГО НЕНАВИДЕЛ...



ЧТО?!

НО ОН КАЗАЛСЯ ВЕСЕЛЫМ!

...



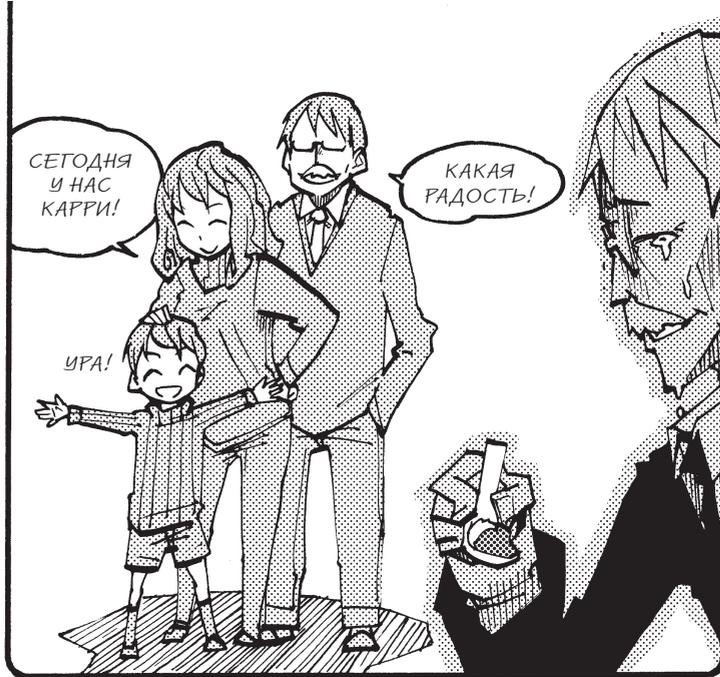
Я ПОНЯЛА, ЧТО В ТАКОМ СОСТОЯНИИ Я НЕ СМОГУ НИЧЕГО ОТ НЕГО РАЗУЗНАТЬ И... РЕШИЛА ЕГО НАКОРМИТЬ.



КАРРИ! А Я БОЛЬШЕ НИЧЕГО НЕ УМЕЮ ГОТОВИТЬ...

ОХ!

?!!!



СЕГОДНЯ
У НАС
КАРРИ!

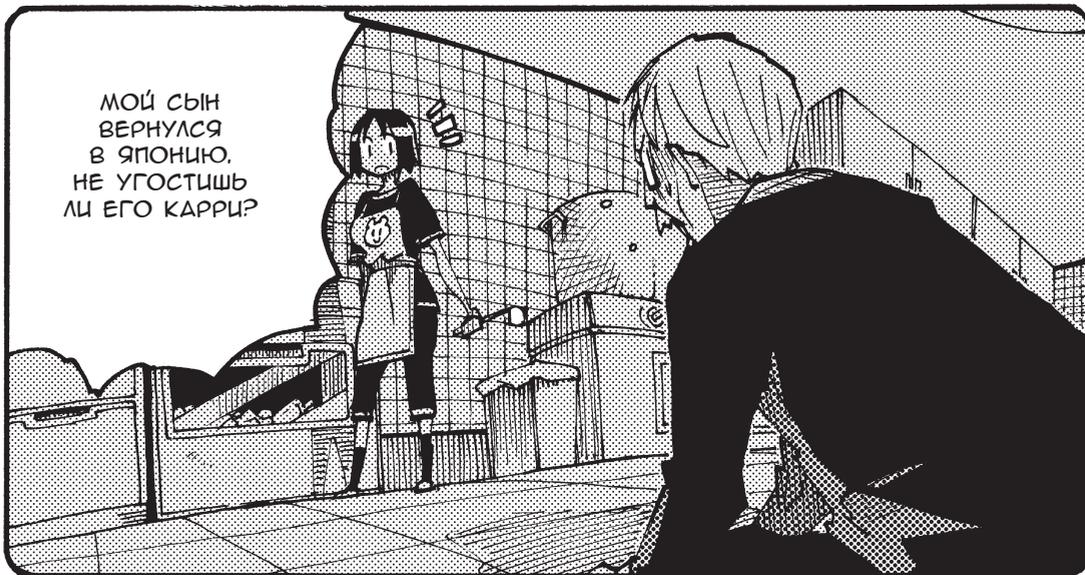
КАКАЯ
РАДОСТЬ!

УРА!



ЭТОТ КАРРИ
СЛУЧАЙНО
НАПОМНИЛ ЕМУ ТОТ,
КОТОРЫЙ ГОТОВИЛА
ЕГО ЖЕНА...
С КАЖДЫМ ДНЕМ
ОН ОЖИВАЛ...

И КАК-ТО
РАЗ...



МОЙ СЫН
ВЕРНУЛСЯ
В ЯПОНИЮ.
НЕ УГОСТИШЬ
ЛИ ЕГО КАРРИ?

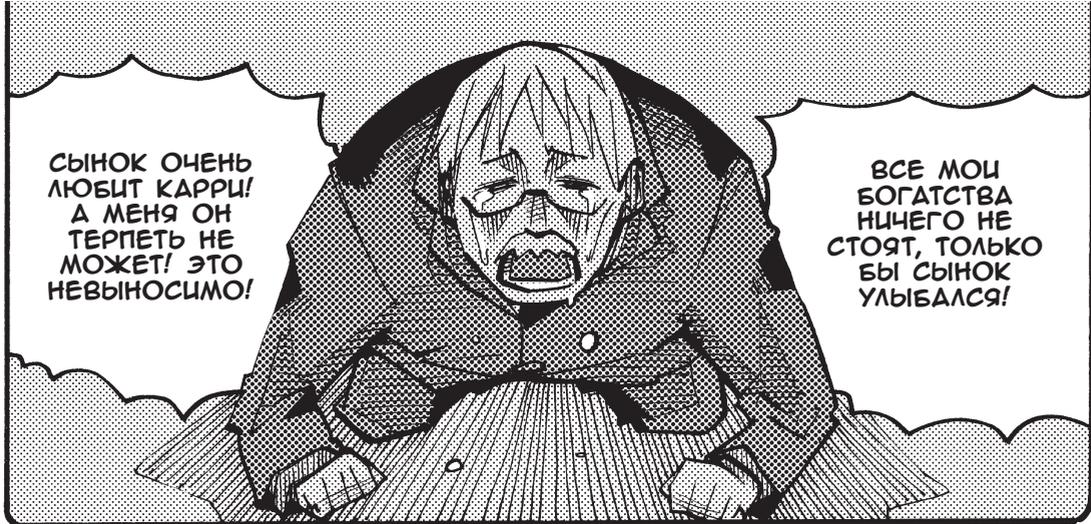


И ОН ИЗ-ЗА
МЕНЯ СТОЯЛ
НА КОЛЕНЯХ?



ВСЕ ПРОПАЛО!
НЕУЖЕЛИ ОН
ПОНЯЛ, ЧТО Я
ШПИОНКА?!
МАТЕРИАЛЫ ТОЖЕ
В ЯПОНИИ...

ИЛИ ЖЕ ЕМУ
ПРАВИТСЯ КАРРИ,
И ОН ХОЧЕТ
ОТПРАВИТЬ
МЕНЯ...



СЫНОК ОЧЕНЬ
ЛЮБИТ КАРРИ!
А МЕНЯ ОН
ТЕРПЕТЬ НЕ
МОЖЕТ! ЭТО
НЕВЫНОСИМО!

ВСЕ МОИ
БОГАТСТВА
НИЧЕГО НЕ
СТОЯТ, ТОЛЬКО
БЫ СЫНОК
УЛЫБАЛСЯ!



КАК-ТО ТАК.



...



ЧЕРТ!
ПАПА!

НУ НЕ МОГУ ЖЕ Я
ТЕБЯ НЕНАВИДЕТЬ!

ВОТ!

УРА!



ПОЧЕМУ ТЫ ТУТ!
ПАПА!

ЧТО? РАЗВЕ
ПЛОХО, ЧТО
Я ВЕРНУЛСЯ?



МНЕ КАЖЕТСЯ, Я
НАКОНЕЦ-ТО ПОНЯЛ,
ЧТО ЧУВСТВУЕТ
МОЙ СЫН...

Я ДУМАЛ...
Ч-ЧЕРТ...

НУ, ХВАТИТ...



КСТАТИ...

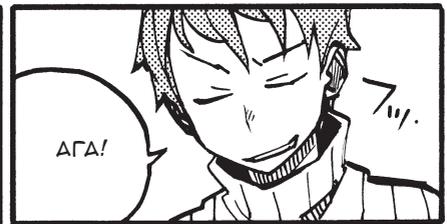
ЭТО ЖЕ
ФАЛЬШИВАЯ
КОМНАТА

НУ... ВСЕ В ПОРЯДКЕ.
МЭЙ НЕ ЗНАЕТ, ГДЕ
САМАЯ СЕКРЕТНАЯ
КОМНАТА, И ФИРМА
НЕ РАЗРУШИТСЯ...

И ГДЕ ЖЕ ОНА?!



НЕТ ДЕНЕГ - НЕ БУДЕТ
И КАРРЬ!



АГА!



ОХ, УЖ ЭТА
СЕМЕЙКА!



Базовые элементы ЦП и базовая структура логических схем

Благодаря возможности производить интегральные схемы (ИС) на основе некоторого количества транзисторов кремний оказался главным материалом для полупроводниковой индустрии.

Интегральная схема была запатентована Джеком Килби, основателем Texas Instruments, и одним из основателей Intel Робертом Нойсом. За это в 2000 году Килби получил Нобелевскую премию.

На самом деле интегральные схемы можно делать на основе как биполярных, так и полевых транзисторов. Более того, интегральные схемы могут содержать одновременно транзисторы и одного, и другого типа.

«Мозг» персонального компьютера — это БИС, которая называется центральный процессор (ЦП). Такая схема содержит не только центральный процессор, но и большой объем памяти. Персональные компьютеры начали разрабатываться американскими компаниями Intel и AMD.

Технология, называемая КМОП, с помощью которой изготавливается ЦП, включает р-канальные и n-канальные транзисторы и представляет собой логическую схему. КМОП (сокращение — комплементарные МОП) образуют комбинацию р-канальных и n-канальных транзисторов.

На рис. 6-1 показана базовая структура КМОП-схемы. Видно, что р- и n-каналы соединены. Точка соединения стоков — это выход, а истоков — вход.

Если на вход подать напряжения, то тогда р-канальный ПТ будет закрыт, а n-канальный ПТ будет открыт.

Таким образом, напряжение на выходе будет близко к уровню заземления (состояние без уровня напряжения, 0 В) (рис. 6-2).

С другой стороны, если напряжение на вводе 0 В, как и на уровне заземления, то р-канальный ПТ будет открыт, а n-канальный ПТ будет закрыт.

Иными словами, напряжение на выводе будет близко к напряжению на источнике питания (когда нет тока на выходе, к напряжению на источнике питания) (рис. 6-3).

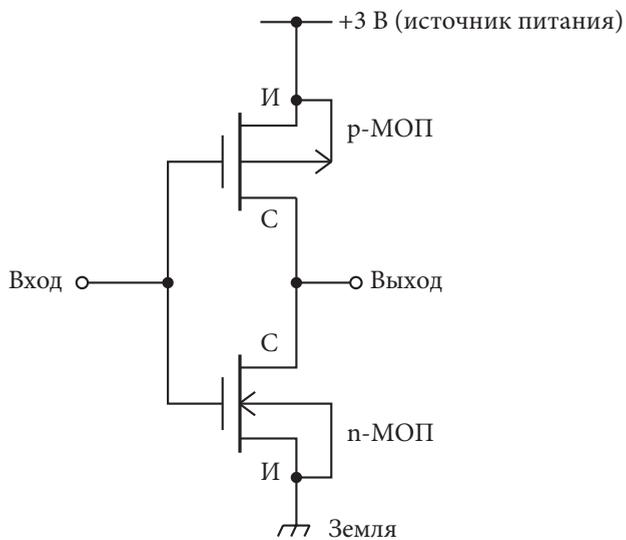


Рис. 6-1. Логическая схема NOT (инвертор) на КМОП

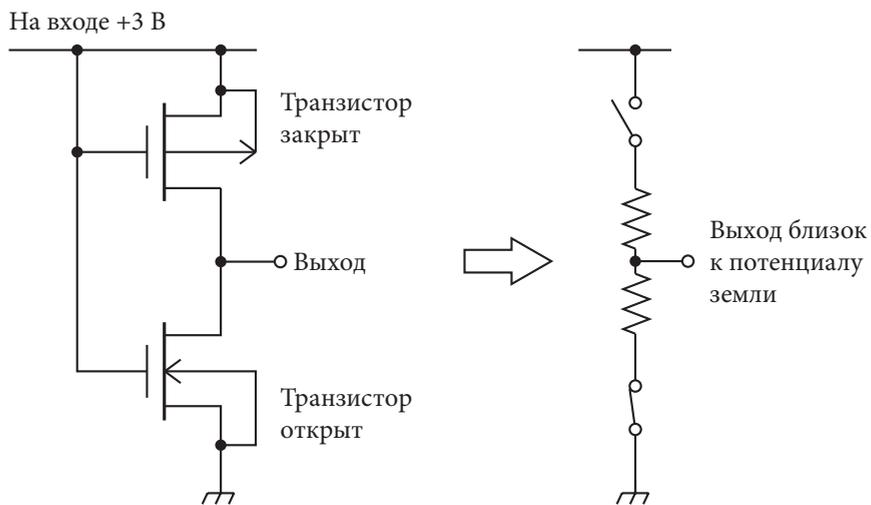


Рис. 6-2. На выходе низкий уровень (L)

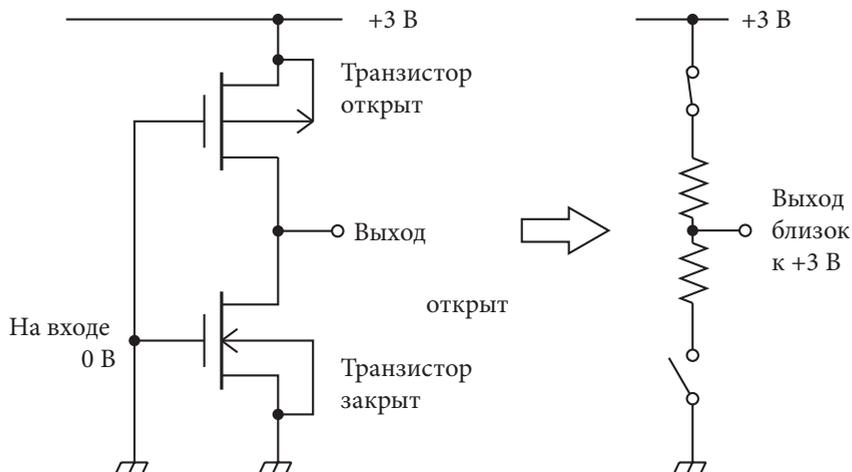


Рис. 6-3. На выходе высокий уровень (H)

Для последующих операций пусть вход и выход соответствуют логическим уровням H и L (например, +3 В = H, уровень заземления = L).

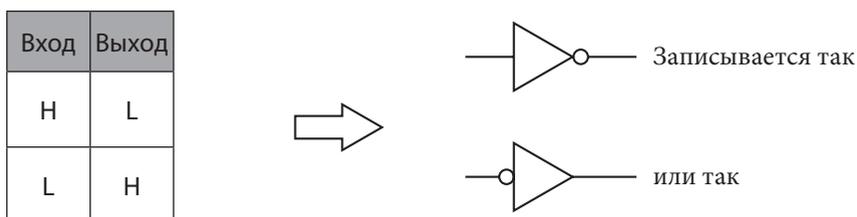
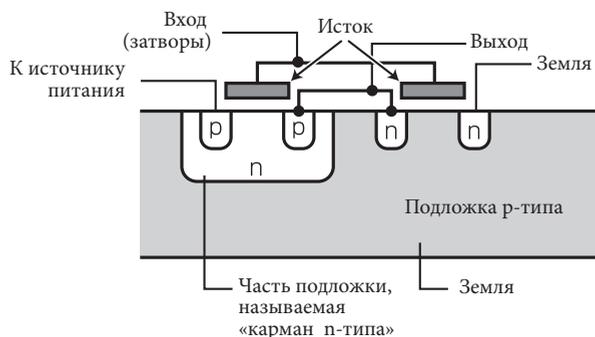


Рис. 6-4. Изображение логической схемы NOT (инвертор)

На рис. 6-4 показаны отношения между входом и выходом.

Если представить, что логические уровни H и L можно заменить напряжением на источнике питания и потенциалом земли, то видно, что отношение между логическими уровнями входа и выхода «инвертированы», то есть взаимно обратные.

Эта электрическая, так же как и логическая, схема называется инвертором.



ИЛИ

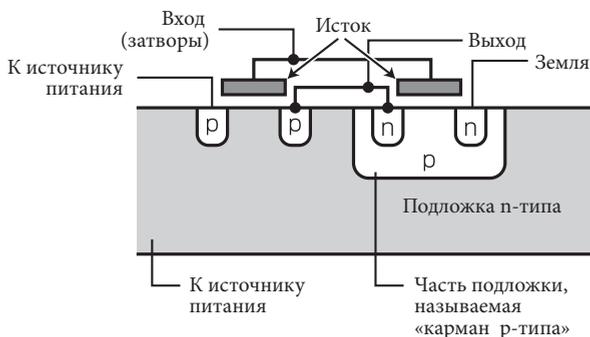


Рис. 6-5. Логический элемент NOT (структура КМОП в разрезе)

Как показано на рисунке, наличие области, которая называется «карманом», позволяет формировать и p-канальные и n-канальные транзисторы на кремниевой подложке одного типа. Это дает возможность создать на одной подложке интегральную схему с многочисленными транзисторами.

С развитием технологий ИС появлялась возможность укоротить длину истока (пространство между двумя прямоугольниками на схеме) и уменьшить толщину проводки (которая указана на рисунке тонкими линиями) за счет увеличения плотности.

В 2008 году на площади в 120 мм² можно было уместить около 290 миллионов транзисторов.

Поскольку нельзя создать логические схемы только с одними инверторами, в логических схемах используют логические элементы «AND» и «OR». Их символичные изображения и таблицы истинности показаны ниже.

Логический элемент AND



		Вход А	
		Н	Л
Вход В	Н	Н	Л
	Л	Л	Л

Выход Y

Логический элемент OR

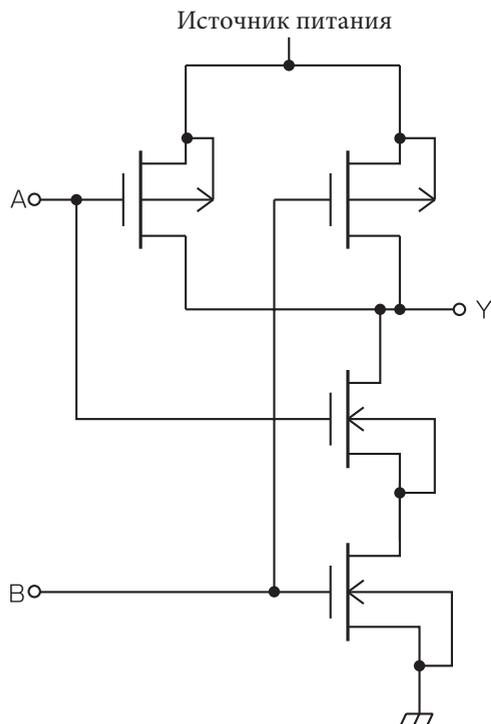


		Вход А	
		Н	Л
Вход В	Н	Н	Л
	Л	Л	Л

Выход Y

Рис. 6-6. Таблицы истинности для схем AND и OR

В случае использования КМОП-технологии проще реализовать логические схемы (NOT-AND и NOT-OR) как инвертированные структуры AND или OR.



NAND



		Вход А	
		Н	Л
Вход В	Н	Л	Н
	Л	Н	Н

Выход Y

Рис. 6-7. Логический элемент NOT-AND на КМОП-транзисторах

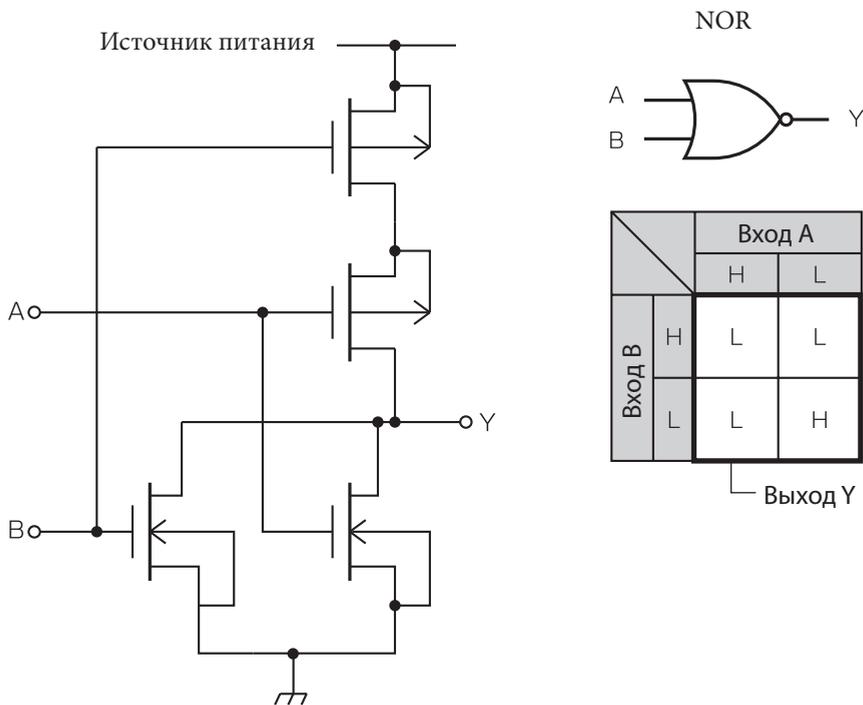


Рис. 6-8. Логический элемент NOT-OR на КМОП-транзисторах

Используя рассмотренные схемы, можно сделать основные элементы логических цепей.

AND, OR и NOT — это базовые логические элементы, но в КМОП-структурах как базовые элементы в логических схемах используют NAND, NOR и NOT.

На приведенном примере вход показан двумя элементами, но их может быть три или четыре. Для этого надо увеличить количество p- и r-канальных ПТ для создания нужной структуры.

Базовая логическая ИС (логическая ИС) состоит из этих элементов.

В дополнение к логической схеме для электронной системы еще необходима память, которая может переписываться и не удаляет сохраненное содержимое при отсутствии питания, — ЭСППЗУ (электрически стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство). Эта технология применяется также в цифровых камерах и USB-накопителях.

В дополнение к логическим схемам в повседневной жизни используются другие ИС, такие как усилители, которые значительно усиливают звуковые сигналы, и ИС, повышающие эффективность электропитания.

Большинство этих микросхем формируют из кремния. При этом используются физические свойства кремния, о которых мы говорили выше.

🐼 Основные принципы работы биполярного транзистора (с n-p-n-переходом)

Рассмотрим случай, когда n-p-переход (обозначается как p-n-переход, части которого поменялись местами) соединен с p-n-переходом, но область p-типа узкая (рис. 6-9).

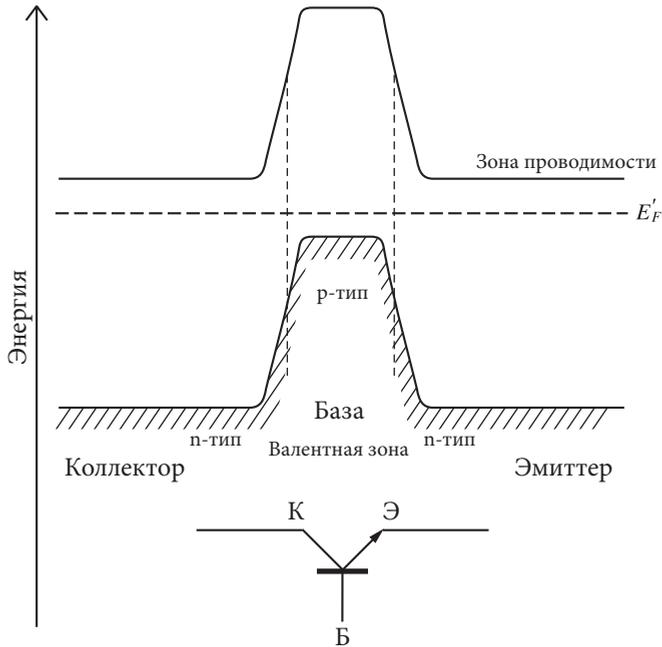


Рис. 6-9. Энергетические уровни в n-p-n-транзисторе

В n-p-n-транзисторе положительное напряжение подается на коллектор (К) относительно эмиттера (Э). В это время у базы (Б) одинаковый электронный потенциал с (Э). Тогда уровень Ферми со стороны коллектора падает (для электронов энергия уменьшается) (рис. 6-10).

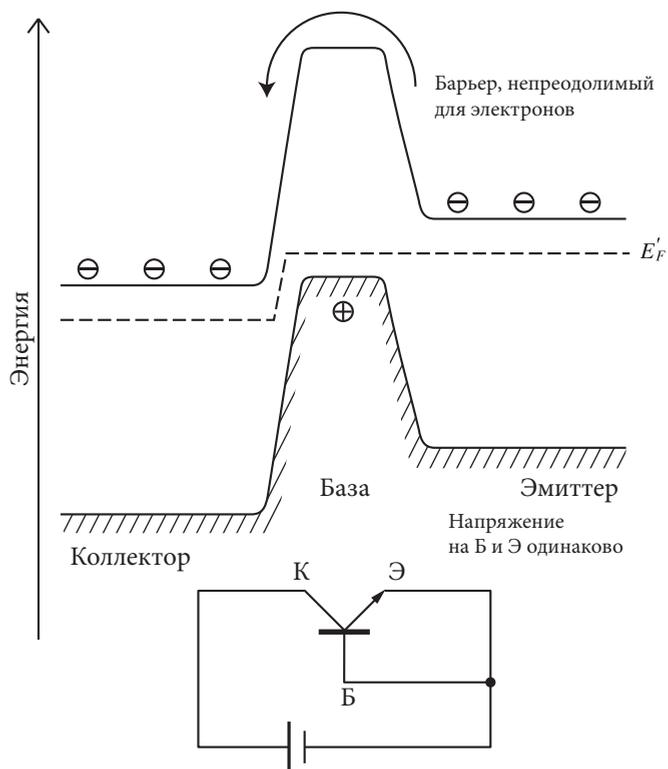


Рис. 6-10. Энергетические уровни при приложении напряжения к электродам *n-p-n*-транзистора

В таком состоянии уровень Ферми не находится в состоянии равновесия, и его называют «квазиуровнем Ферми» (E').

Даже если потенциал К падает, из-за барьера Б электроны не перетекают из Э в К.

Когда же ток течет через Б (при этом создавая схему, которая вытягивает электроны из Б), энергетическая зона в Б опускается. Другими словами, ток течет в прямом направлении от Б к Э (рис. 6-11).

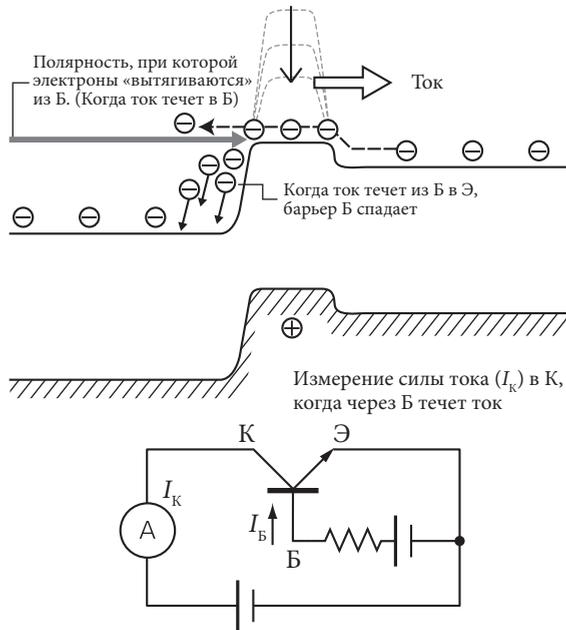


Рис. 6-11. Напряжение, подаваемое на *p-p-n*-транзистор при наличии базового тока

Теперь электроны направляются от Э в К через узкую щель между Э и Б (кроме той ситуации, когда электроны «вытягиваются» из Б) и «падают» в Э (рис. 6-12). То есть ток течет от К к Э.

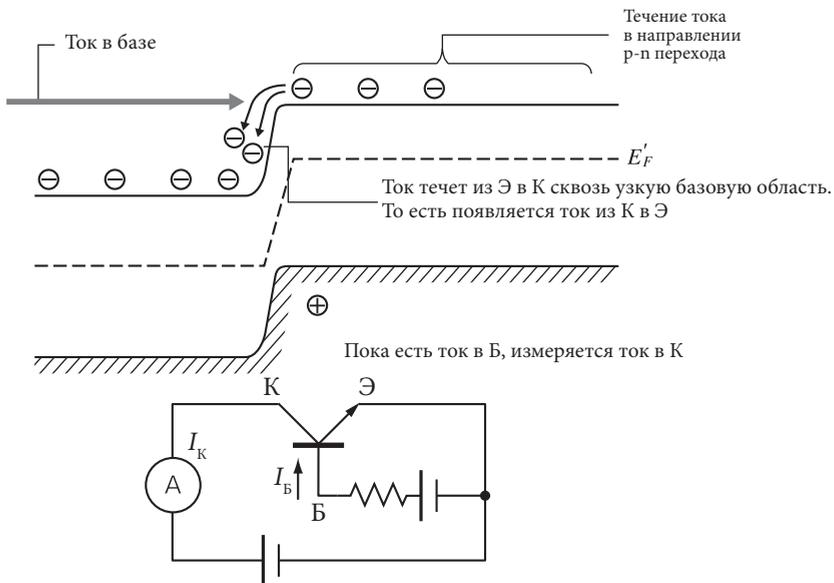


Рис. 6-12. При появлении базового тока по сравнению с рис. 6-11

А что же происходит, если область р-типа широкая (рис. 6-13)?

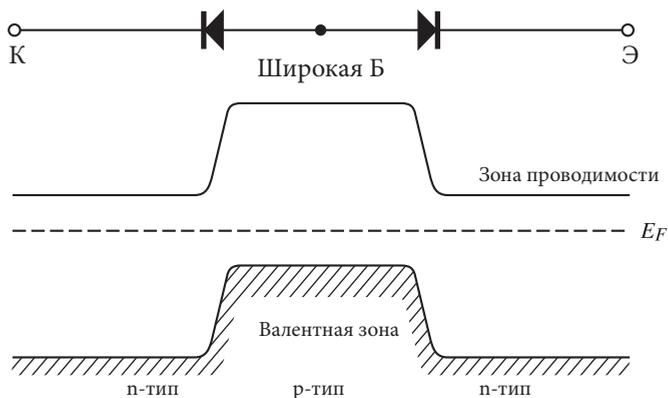


Рис. 6-13. Соединенные р-п-переходы двух диодов

Структура выглядит так, как если бы два р-п-перехода двух диодов были соединены анодами между собой.

Пусть X — область в центре. Рассмотрим случай, когда электроны вытягиваются из X и энергия электронов в X понижается (рис. 6-14).

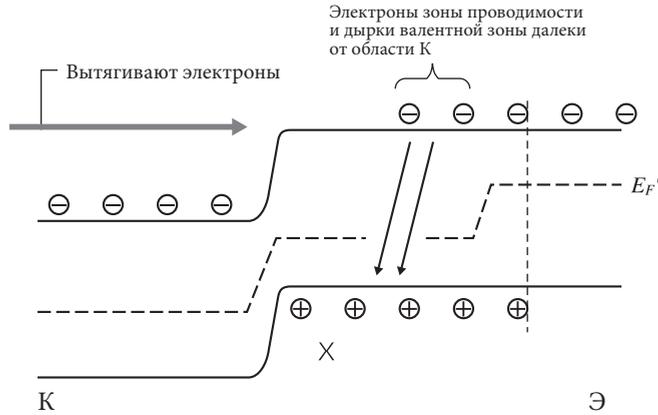


Рис. 6-14. Повторное подключение электронов

Энергия электронов в области X падает, и электроны выходят из области \mathcal{E} в область X , то есть ток течет в прямом направлении от X до \mathcal{E} .

Однако если размер области X (р-тип) велик, то электроны, не доходя до коллектора, «связываются» с дырками, тем самым энергия электронов снижается, и достигается устойчивое равновесие. Тот факт, что электроны, вытекающие из \mathcal{E} , блокируются дырками в области р-типа, называется «рекомбинацией электронов и дырок».

Тогда число электронов, падающих с X на K , недостаточно, и ток между X и K не течет. То есть K и X оказываются в состоянии обратного смещения р-п-перехода.

В реальных п-р-п-транзисторах вероятность рекомбинации электронов и дырок мала, так как область X узка, и можно создать поток электронов между \mathcal{E} и K . Это является причиной необходимости сужения области B .

До сих пор мы не заостряли внимания на том, что сила тока, текущего от K к \mathcal{E} , примерно в 100 раз превышает величину базового тока.

Однако хотелось бы напомнить, что для того, чтобы снизить энергию электронов в области B , можно лишь слегка понизить силу тока, поэтому можно представить «водопад» электронов из \mathcal{E} к K . Дальнейшее количественное описание этой темы выходит за рамки данной книги.

Для р-п-р-транзистора следует поменять местами п-тип и р-тип и изменить полярность напряжения с «плюса» на «минус», вместо «вытягивание электронов из базы» читать «внедрение электронов в базу», а величину энергии на вертикальной оси графика можно рассматривать как энергию электронов, но можно думать о ней и как о «снижении энергии дырок» в полупроводнике р-типа (рис. 6-15).

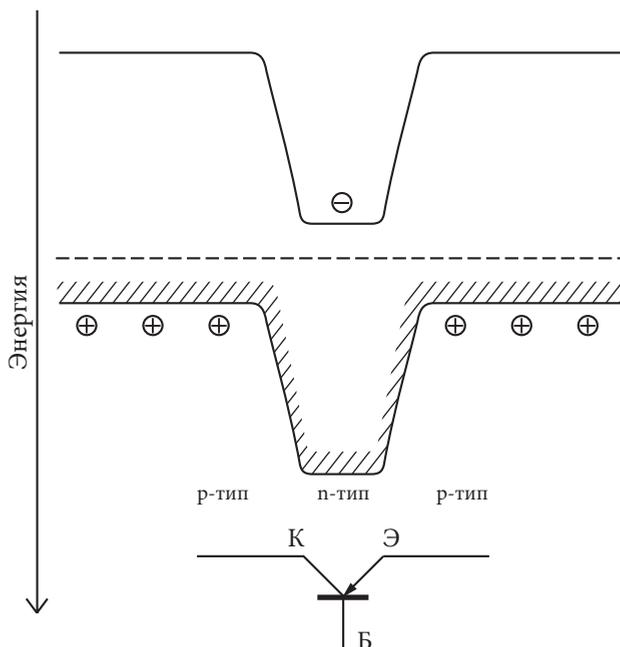


Рис. 6-15. Энергетические уровни р-п-р-транзистора

Затем электроны внедряются в базу... Иными словами, когда ток течет из Э в Б, энергия барьера Б (с точки зрения дырки) падает, как и в случае п-р-п-транзистора, и дырки падают, как «водопад», в сторону К (рис. 6-16).

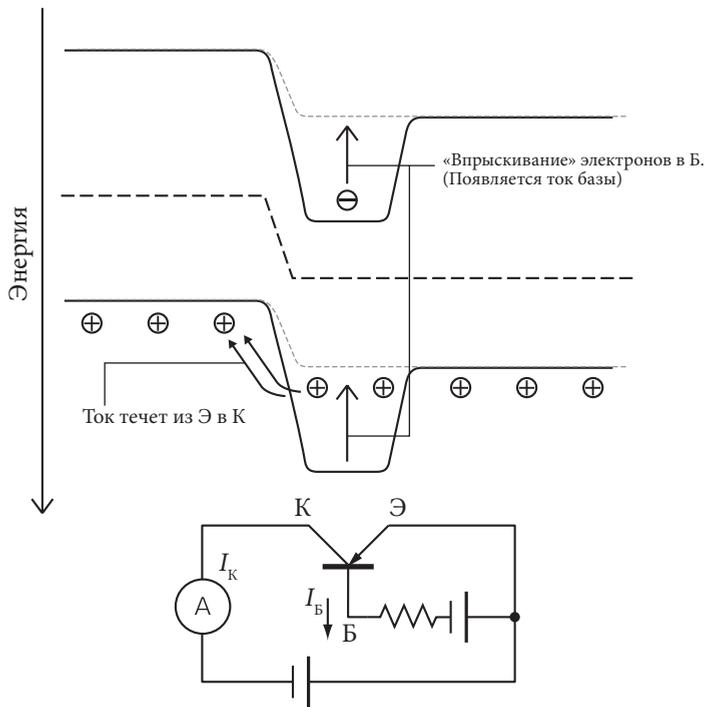
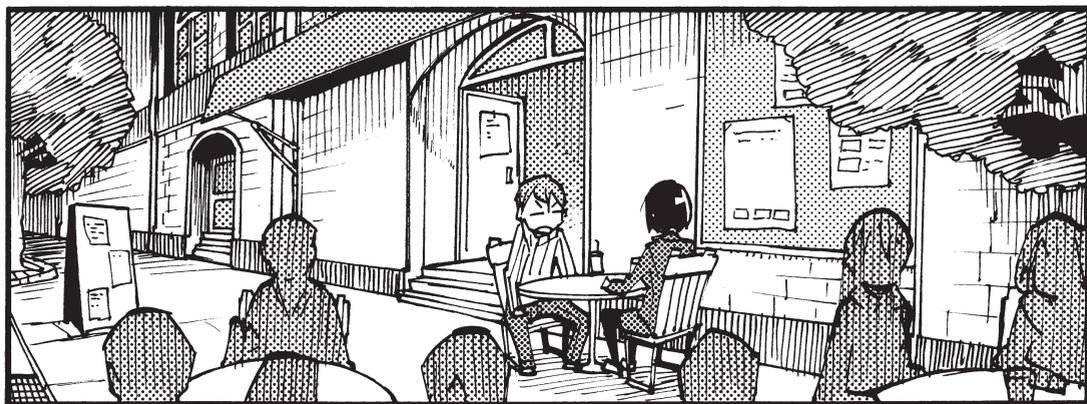
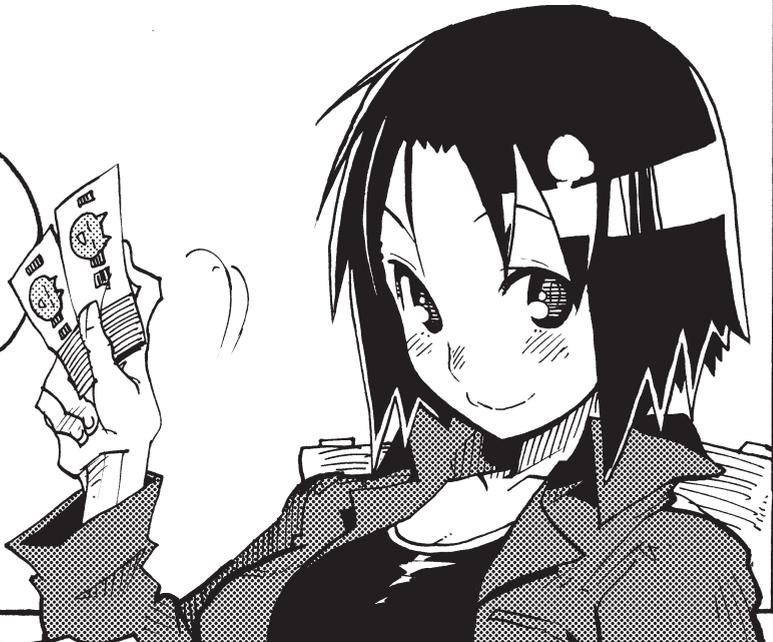


Рис. 6-16. Базовый ток в р-п-р-транзисторе



БИЛЕТЫ В КИНО...
ДАЖЕ СВИДАНИЕ
ПРЕДСКАЗУЕМО.



ЭТО
ГАРАНТИЯ!



КОГДА ТЫ
ПЕРЕСТАНЕШЬ
БЫТЬ
ГОРНИЧНОЙ,
ТЫ БУДЕШЬ
ГОТОВИТЬ
КАРРИ?!

ХИ-ХИ-ХИ.



И
ПРАВАА.

ВСТРЕЧАТЬСЯ СО
МНОЙ РАДИ
КАРРИ...

ХИ-ХИ-ХИ.

О, ЧЕРТ!



ПАПА ЮТАКИ
СКАЗАЛ...

!?



У ВАС БЫЛИ ПЛОХИЕ
ОТНОШЕНИЯ, НО
БЛАГОДАРЯ КАРРИ
ВСЕ НАЛАДИЛОСЬ!

Я БУДУ ГОТОВИТЬ
ТЕБЕ КАРРИ!

ОЙ!

ЧТО?!



Э...
ВНЕЗАПНО!!
КТО ЭТО?!

ТЫ ПОДРУЖКА
ЮТАКИ?
ТЫ ГОТОВИШЬ
ЕМУ КАРРИ?



НЕТ!!!
ЖАЛЬ, НО
ЭТО СОВСЕМ
НЕ ОБЫЧНЫЙ
КАРРИ!!!

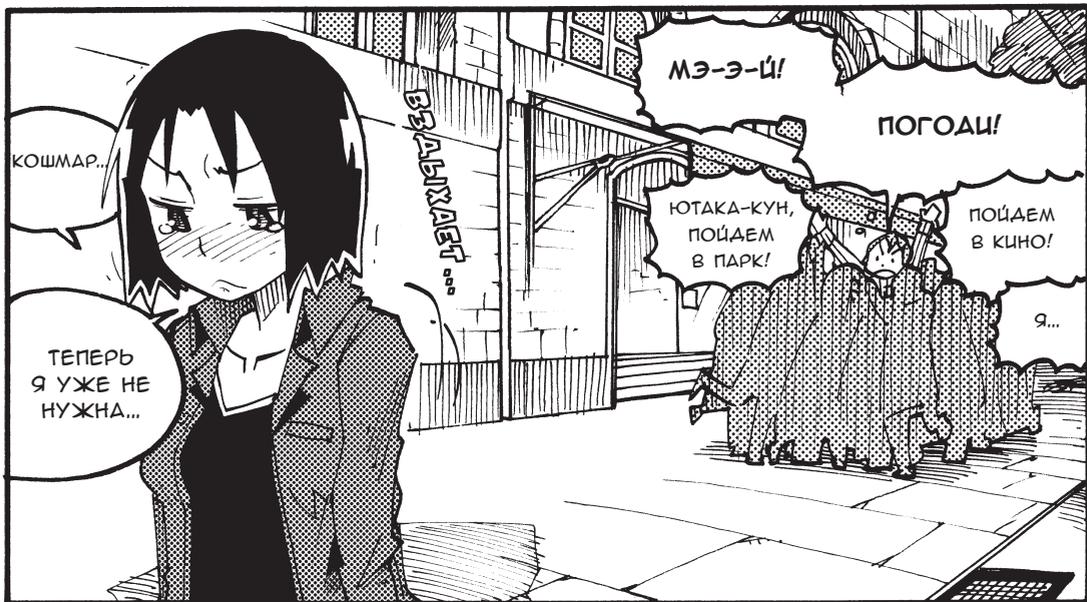


ХА!
ПАПА ЮТАКИ
ПРОАНАЛИЗИРОВАЛ
ТВОЮ КАРРИ
И НАУЧИЛ НАС
ЕГО ГОТОВИТЬ!



ЧТО?

ПАПА!
ОПЯТЬ!



КОШМАР...

ТЕПЕРЬ
Я УЖЕ НЕ
НУЖНА...

ВЗДЫХАЕТ...

МЭ-Э-Ц!

ПОГОДА!

ЮТАКА-КУН,
ПОЙДЕМ
В ПАРК!

ПОЙДЕМ
В КИНО!

я...

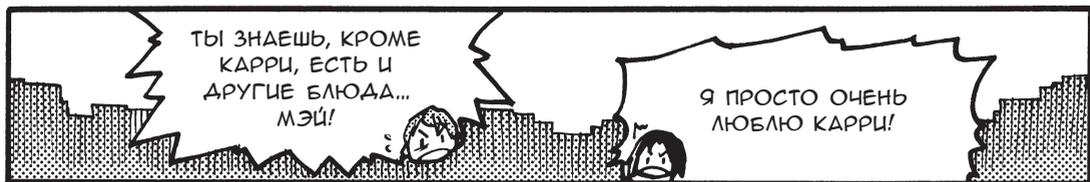
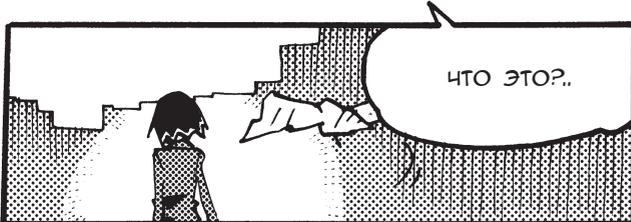
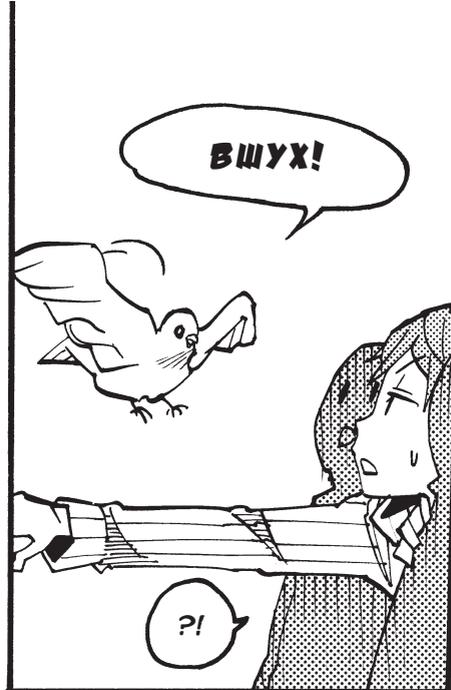


я...
ПРАВДА,
БЛАГОДАРЕН ТЕБЕ...
ПРАВДА!

КУРЛЫК



Я ХОЧУ, ЧТОБЫ МЫ
БЫЛИ ВМЕСТЕ!



ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Группа \ Период	I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
1	1 H Водород 1,008	<p>В настоящий момент группы обозначаются арабскими цифрами от 1 до 18. Однако, как было указано в этой книге, в полупроводниковой индустрии используется запись периодов римскими цифрами, поэтому здесь они так и обозначены.</p> <p>В 1972 году появилось деление групп на А (непереходные металлы) и В (переходные металлы), которое указано здесь.</p> <p>Более того, водород в настоящий момент не классифицируется, однако его помещают либо под период, обозначенный арабской цифрой 1, либо вместе с благородными газами в период 0.</p>												
2	3 Li Литий 6,941										4 Be Бериллий 9,012	Атомный номер → 3 Li ← Символ элемента Литий ← Атомная масса → 6,941	→ 3 Li ← Литий ← → 6,941	← Символ элемента ← Название
3	11 Na Натрий 22,99										12 Mg Магний 24,31			
4	19 K Калий 39,10	20 Ca Кальций 40,08	21 Sc Скандий 44,96	22 Ti Титан 47,87	23 V Ванадий 50,94	24 Cr Хром 52,00	25 Mn Марганец 54,94	26 Fe Железо 55,85	27 Co Кобальт 58,93					
5	37 Rb Рубидий 85,47	38 Sr Стронций 87,62	39 Y Иттрий 88,91	40 Zr Цирконий 91,22	41 Nb Ниобий 92,91	42 Mo Молибден 95,94	43 Tc Технеций (99)	44 Ru Рутений 101,1	45 Rh Родий 102,9					
6	55 Cs Цезий 132,9	56 Ba Барий 137,3	57–71 Лантаноиды *	72 Hf Гафний 178,5	73 Ta Тантал 180,9	74 W Вольфрам 183,8	75 Re Рений 186,2	76 Os Осмий 190,2	77 Ir Иридий 192,2					
7	87 Fr Франций (223)	88 Ra Радий (226)	89–103 Актиноиды **	104 Rf Резерфордий (261)	105 Db Дубний (262)	106 Sg Сиборгий (263)	107 Bh Борий (264)	108 Hs Хассий (269)	109 Mt Мейтнерий (268)					

*Лантаноиды

**Актиноиды

57 La Лантан 138,9	58 Ce Церий 140,1	59 Pr Прозеодим 140,9	60 Nd Неодим 144,2	61 Pm Прометий (145)	62 Sm Самарий 150,4
89 Ac Актиний (227)	90 Th Торий 232,0	91 Pa Протактиний 231,0	92 U Уран 238,0	93 Np Нептуний (237)	94 Pu Плутоний (239)

	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A		
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
									2 He Гелий 4,003
				5 B Бор 10,81	6 C Углерод 12,01	7 N Азот 14,01	8 O Кислород 16,00	9 F Фтор 19,00	10 Ne Неон 20,18
				13 Al Алюминий 26,98	14 Si Кремний 28,09	15 P Фосфор 30,97	16 S Сера 32,07	17 Cl Хлор 35,45	18 Ar Аргон 39,95
28 Ni Никель 58,69	29 Cu Медь 63,55	30 Zn Цинк 65,41	31 Ga Галлий 69,72	32 Ge Германий 72,64	33 As Мышьяк 74,92	34 Se Селен 78,96	35 Br Бром 79,90	36 Kr Криптон 83,80	
46 Pd Палладий 106,4	47 Ag Серебро 107,9	48 Cd Кадмий 112,4	49 In Индий 114,8	50 Sn Олово 118,7	51 Sb Сурьма 121,8	52 Te Теллур 127,6	53 I Йод 126,9	54 Xe Ксенон 131,3	
78 Pt Платина 195,1	79 Au Золото 197,0	80 Hg Ртуть 200,6	81 Tl Таллий 204,4	82 Pb Свинец 207,2	83 Bi Висмут 209,0	84 Po Полоний (210)	85 At Астат (210)	86 Rn Радон (222)	
110 Ds Дармштадтий (269)	111 Rg Рентгений (272)	112 (277)	113 (278)	Значения атомной массы приведены согласно номенклатуре ИЮПАК (Международного союза теоретической и прикладной химии) и округлены до четырех знаков.					

63 Eu Европий 152,0	64 Gd Гадолиний 157,3	65 Tb Тербий 158,9	66 Dy Диспрозий 162,5	67 Ho Гольмий 164,9	68 Er Эрбий 167,3	69 Tm Тулий 168,9	70 Yb Иттербий 173,0	71 Lu Лютеций 175,0
95 Am Америций (243)	96 Cm Кюрий (247)	97 Bk Берклий (247)	98 Cf Калифорний (252)	99 Es Эйнштейний (252)	100 Fm Фермий (257)	101 Md Менделевий (258)	102 No Нобелий (259)	103 Lr Лоуренсий (262)

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Справочные материалы для начинающих

1. Пол Стратерн. Сон Менделеева: в поиске элементов.
2. Датэ Масаюки. Физика новых физических свойств. Коданся, 2005.
3. Сакураи Хироси. Новое об элементе 111. Коданся, 1997.
4. Идзухара Юми. Путь НР — рассвет Силиконовой долины — автобиография Д. Паккарда. Издательский центр ВР Никкей, 1995.

Книги для тех, кто профессионально заинтересован в теме

1. Чарльз Киттель. Введение в физику твердых тел. 8 изд. Марудзэн, 2005.
2. Огава Томоя. Основы кристалльной оптики. Сёкао, 1998.
3. Цукаса Ясуо. Введение в полупроводниковые приборы и электронные элементы, исправленное. Гаккэнся, 1995.
4. Национальная астрономическая обсерватория Японии. Научная хронологическая таблица. Марудзэн.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- р-канальный МОП-транзистор ... 160
Активный высокий уровень 47
Активный низкий уровень 47
Акцепторный уровень 126
Аналоговый сигнал 52
Атомное ядро 86
База 147
Бинарная логика 42
Биполярный транзистор .. 13, 154, 158
 с n-p-n-переходом 177
 с p-p-p-переходом 177
Бит 44
Вещества с промежуточными
свойствами проводимости 77
Вторичный источник
питания 21, 22
Выпрямитель 132
Германий 17
Двоичная система исчисления 49
Диод 23
Диод с p-n-переходом 136
Дискретизация 45
Диэлектрик 10
Затвор 155
Зона валентности 111
Зона запрещения 111
Зона проводимости 111
ЗУПД 20
ИС, интегральная схема 13
Исток 158
Канал 158
Квантование 45
Квантовая механика 87
Коллектор 147
Кремний 17, 96
Логическая схема 46
Материалы для полупроводни-
ков 96, 113
Напряжение на истоке 157
Нейтральный заряд 86
Обратный ток насыщения 142
Периодическая система 93, 95
ПЗС-матрица (прибор с зарядо-
вой связью) 14
ПЗУ 20
Подложка 154
Полевой МОП-транзистор 13
Полевой униполярный
транзистор 18
Полупроводники 9, 161
Порт ввода-вывода 20
Применение закона Ома 74
Примесный
полупроводник 116, 120, 154
Проводник 10, 73
Прямое напряжение диода 143
Прямое падение
напряжения (V_f) 143
ПТ 18, 158
Радиочасы 20
Светодиод 25
Свойства выпрямителя 95
Слиток 106
Солнечная батарея 27
Статическая характеристика 150
Сток 156
Температурная зависимость
удельного сопротивления 78
Транзистор 13
Удельное сопротивление 76
Усилительный элемент 154
Фотодиод 26
Фототранзистор 26
Цифровой сигнал 52
ЦП 20
Частота речевого диапазона 52
Чистый полупроводник 113, 118
Эмиттер 147
Энергетические зоны 80, 112, 116

Об авторах.
Сибуя Митио.

В 1971 году окончил кафедру электроники инженерного факультета университета Токай. Работает исследователем в частных медицинских институтах, таких как NMR, проводил исследования, разработку МОП-полупроводников для иностранных компаний, работал в технических отделах полупроводниковых компаний. В настоящий момент директор компании Санкё, которая продает электронные комплектующие.

TRENDPRO
BOOKS 

Manga Production Co., Ltd. Trend Pro / Books Plus

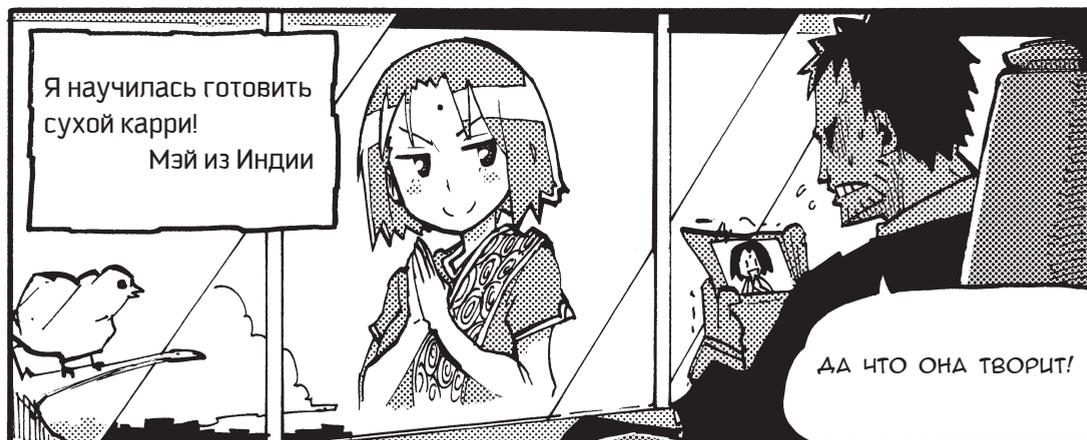
Компания, основанная в 1988 году для планирования и производства различных инструментов с использованием комиксов и иллюстрации.
Books Plus — бренд, специализирующийся на выпуске книжной продукции для экспертизы книжной продукции Trend Pro, одного из крупнейших достижений Японии.

Это одна из самых профессиональных команд в отрасли, которые планируют, редактируют и производят мангу.

2-12-5 Симбаси, Минато-ку, Токио Икедоно, здание 3F

Сценарий Хосии Хирофуми

Производство Такаяма Яма



Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать в торгово-издательском холдинге «Планета Альянс» наложенным платежом, выслав открытку или письмо по почтовому адресу:

115487, г. Москва, 2-й Нагатинский пр-д, д. 6А.

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя.

Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в интернет-магазине: **www.a-planet.ru**.

Оптовые закупки: тел. **(499) 782-38-89**.

Электронный адрес: **books@aliens-kniga.ru**.

Сибутани Митио (автор), Такаяма Яма (художник)

Занимательная физика

Полупроводники

Манга

Главный редактор *Д. А. Мовчан*

dmkpress@gmail.com

Переводчик *А. С. Слащева*

Корректор *Г. И. Синяева*

Верстальщик *А. Р. Арифалин*

Формат 70×90 1/16.

Гарнитура Anime Ace. Печать офсетная.

Усл. п. л. 14,41. Тираж 500 экз.

Веб-сайт издательства www.dmkpress.com