

# 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

<b>СОДЕРЖАНИЕ</b> .....	<b>VI</b>
-------------------------	-----------

## Пролог

<b>Я, ГОРНИЧНАЯ И РИС КАРРИ</b> .....	<b>1</b>
---------------------------------------	----------

## Глава 1

<b>ЧТО ТАКОЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ</b> .....	<b>7</b>
---------------------------------------	----------

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

<b>АНАЛОГОВЫЙ И ЦИФРОВОЙ МИР</b> .....	<b>35</b>
--	-----------

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

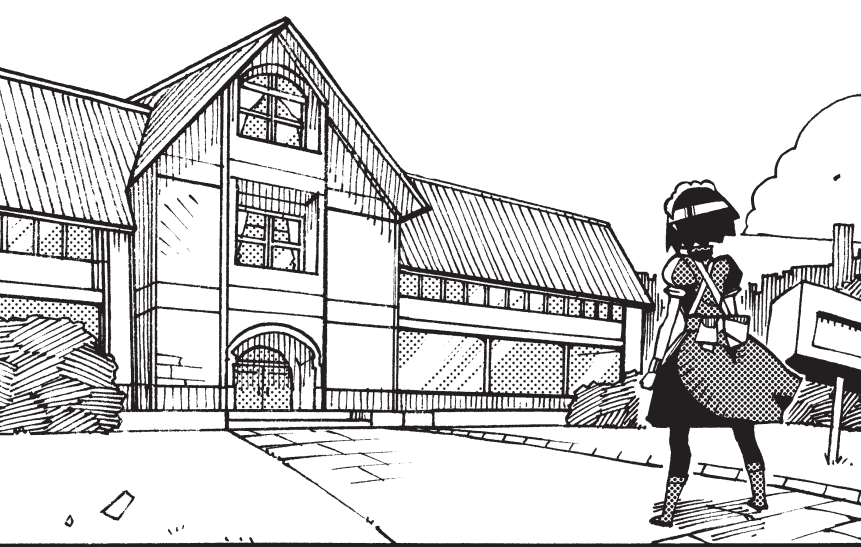




**ПРОЛОГ**

**Я, ГОРЧИЧНАЯ  
И РИС КАРРИ**







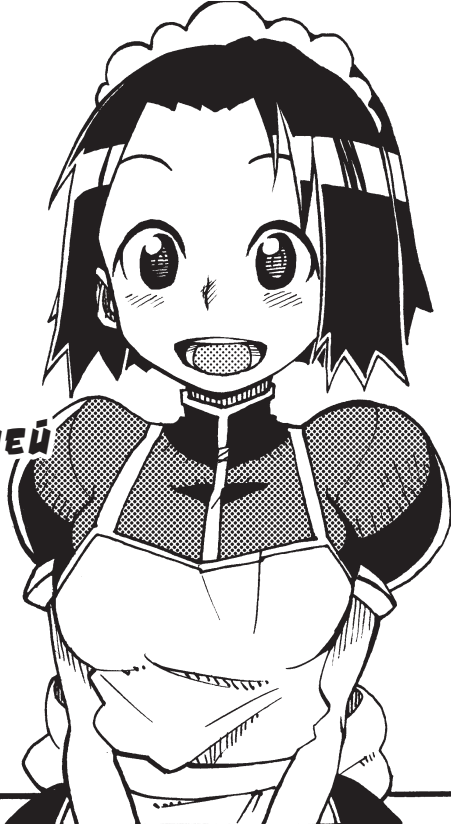
НУ КТО  
ЭТО В  
ТАКУЮ  
РАНЬ?..

*\*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!

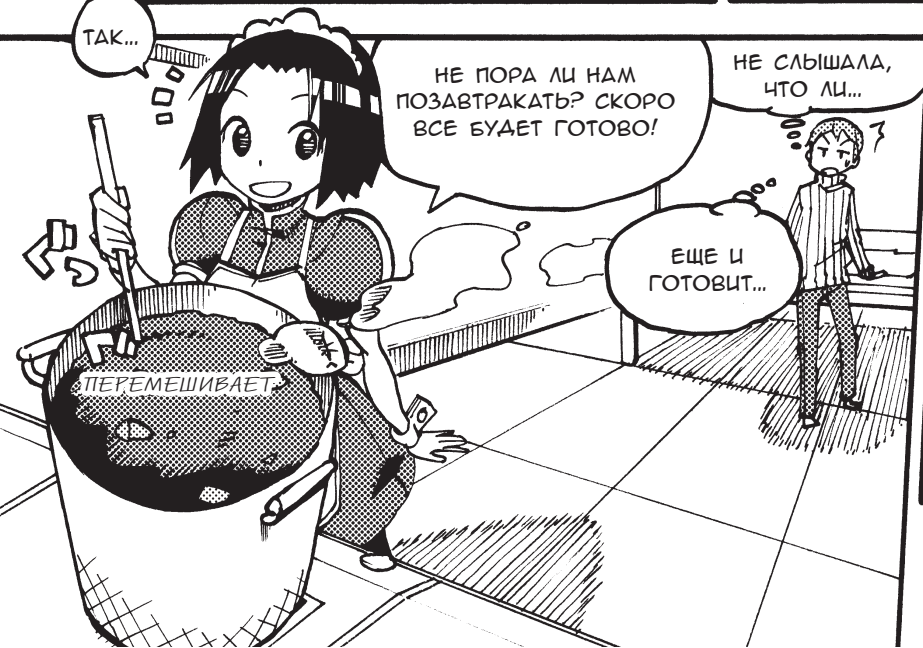
*УЛЫБКА ДО УШЕЙ*



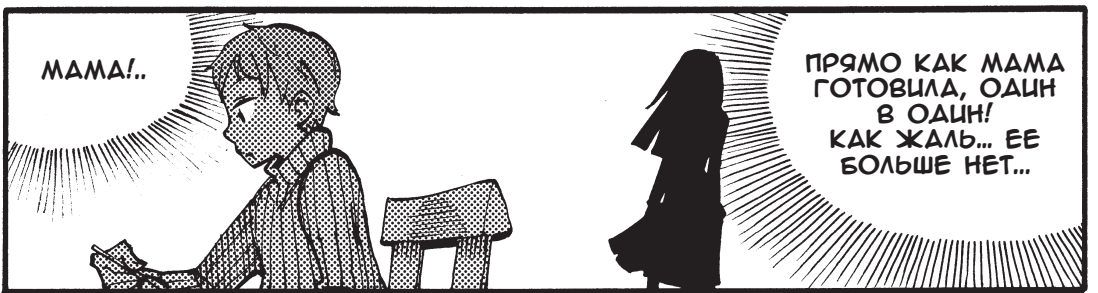
Я ПРИНЕСЛА  
ПИСЬМО ОТ  
ВАШЕГО ОТЦА!

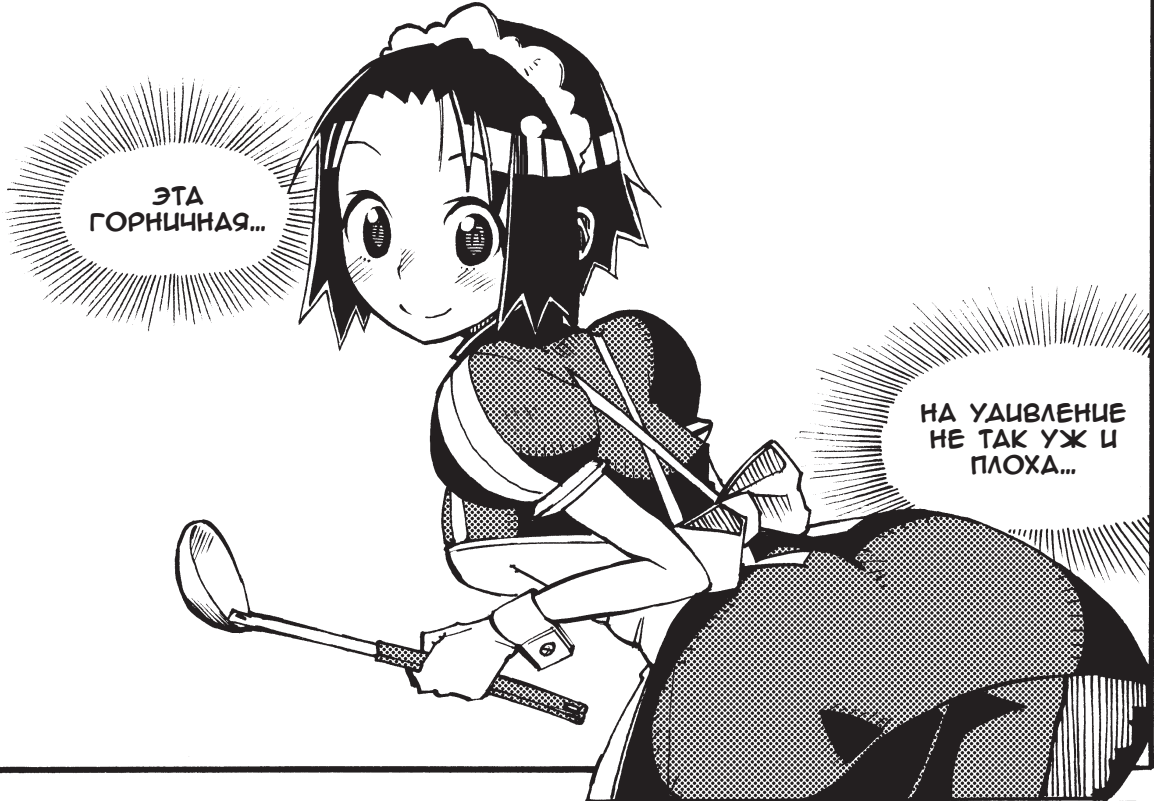


ПИСЬМО?









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!

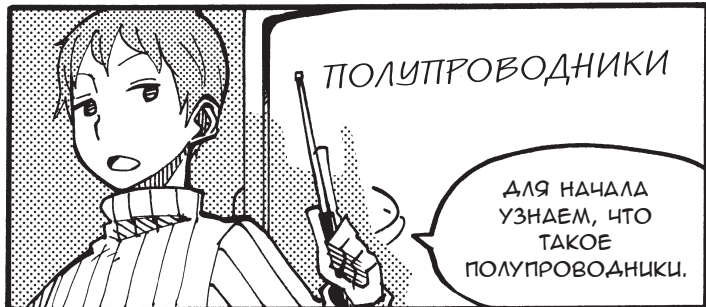
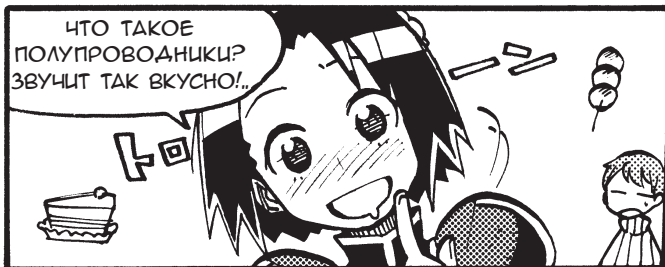
ОДНАКО...

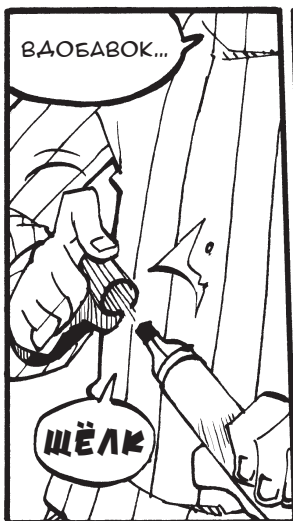
"Я СЛИШКОМ ЗАНЯТ,  
ПОЭТОМУ ПУСТЬ  
МОЙ СЫН ВСЕ  
РАССКАЖЕТ".

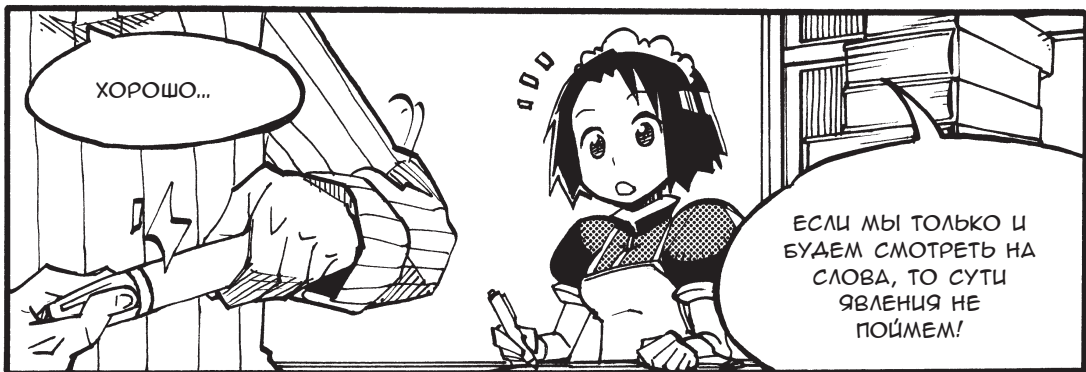
ОПЯТЬ!.. НУ И  
МОРОКА...

...ВАШ ОТЕЦ  
СКАЗАЛ.

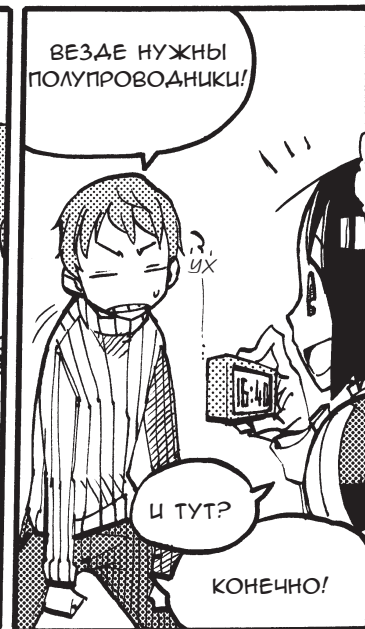
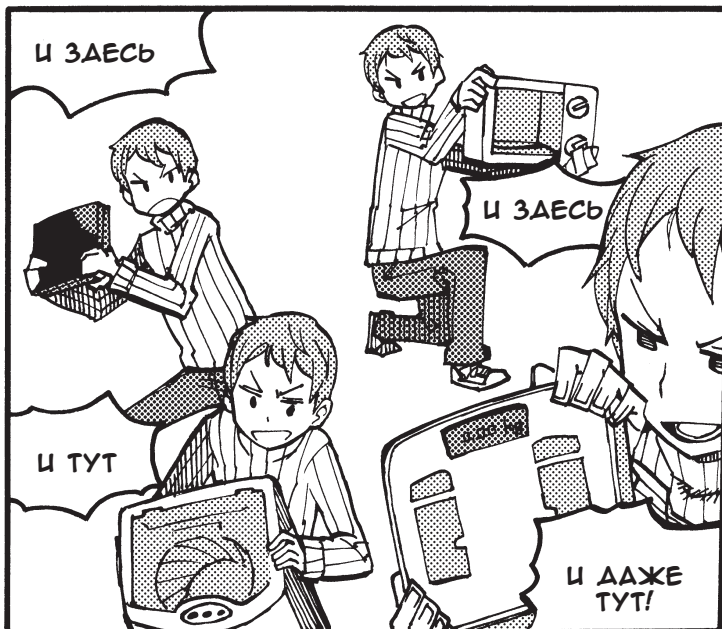
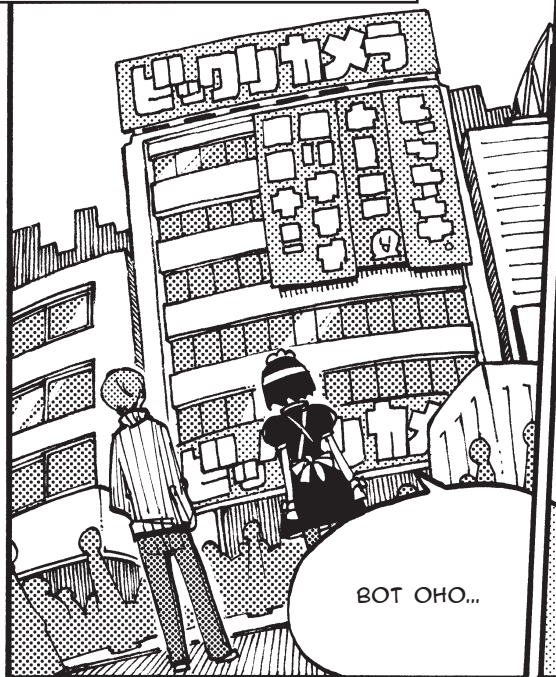
А ВОТ ВАШ ОТЕЦ ВСЕГДА  
ТОЛЬКО И ДУМАЕТ ЧТО О  
ПОЛУПРОВОДНИКАХ.







## 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!

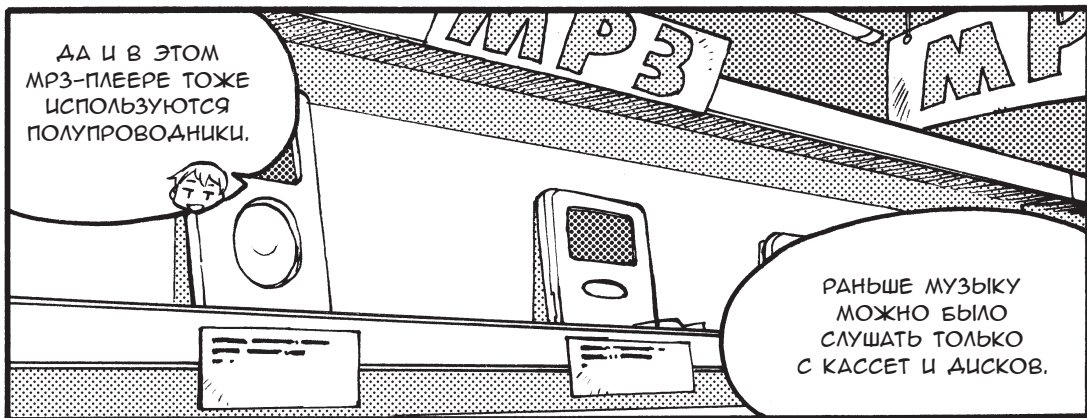
● Транзисторы

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...

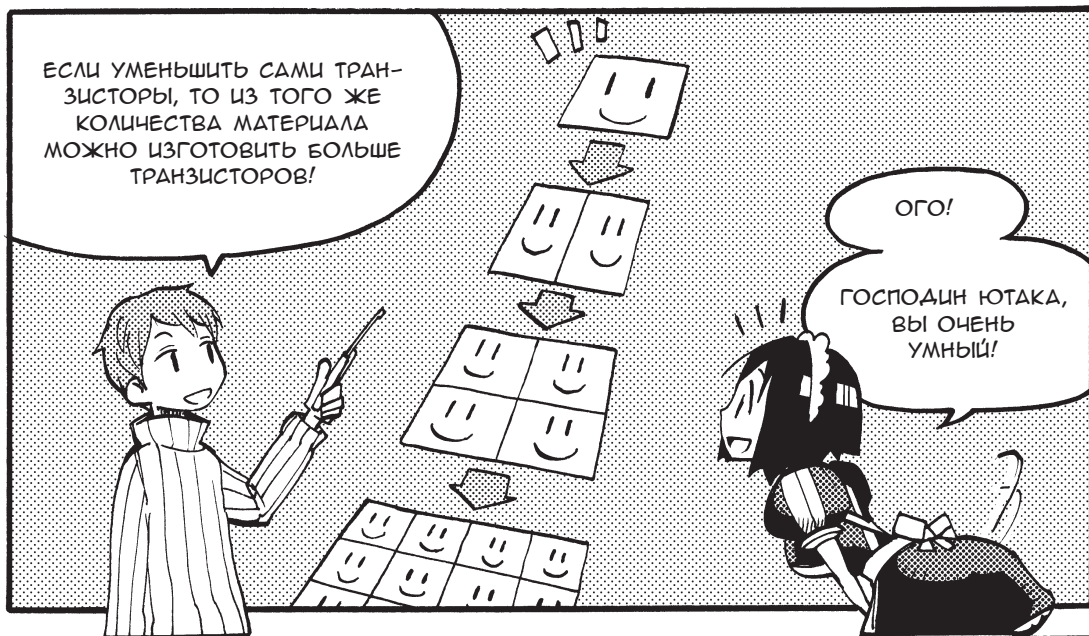
И... ЧТО НАДО ДЕЛАТЬ?

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!



ЕСЛИ УМЕНЬШИТЬ САМИ ТРАНЗИСТОРЫ, ТО ИЗ ТОГО ЖЕ КОЛИЧЕСТВА МАТЕРИАЛА МОЖНО ИЗГОТОВИТЬ БОЛЬШЕ ТРАНЗИСТОРОВ!

ОГО!  
ГОСПОДИН ЮТАКА,  
ВЫ ОЧЕНЬ  
УМНЫЙ!



ДА НЕ ТО, ЧТОБЫ  
Я САМ ЭТО  
ПРИДУМАЛ...



ИХ МОЖНО ВОТ  
ТАК ПРОСТО  
ВЗЯТЬ И  
УМЕНЬШИТЬ?



КСТАТИ...  
А КАК РАБОТАЮТ  
ТРАНЗИСТОРЫ?



С ГОДАМИ РАЗВИТИЕ ИС  
ВСЕ УСКОРЯЛОСЬ, И В  
1965 ГОДУ АМЕРИКАНЕЦ  
ГОРДОН МУР ЗАМЕТИЛ  
ЗАКОНОМЕРНОСТЬ...

ПО ЗАКОНУ МУРА,  
КАЖДЫЕ ДВА ГОДА  
КОЛИЧЕСТВО ТРАНЗИ-  
СТОРОВ НА КРИСТАЛЕ  
ИС УВАИВАЕТСЯ!

УВАИВАЕТСЯ?!



НУ, ОБЫЧНО  
ЭТОГО НЕ  
ЗНАЮТ...

НО ИЗОБРЕТЕНИЕ  
ТРАНЗИСТОРОВ  
ОКАЗАЛОСЬ НА-  
СТОЛЬКО ВАЖНО,  
ЧТО ИЗМЕНИЛО  
ВСЬ МИР!



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 СТАНОВИТСЯ СИЛЬНЕЕ.

ТАК ГОЛОС, КОТОРЫЙ ЗАПИСЫВАЕТСЯ ЧЕРЕЗ МИКРОФОН И ВОСПРОИЗВОДИТСЯ ЧЕРЕЗ ДИНАМИК, ДЕЛАЕТСЯ ГРОМЧЕ.



АГА!



Ч-ЧТО Т-ТАКОЕ?

ТРАНЗИСТОРЫ!

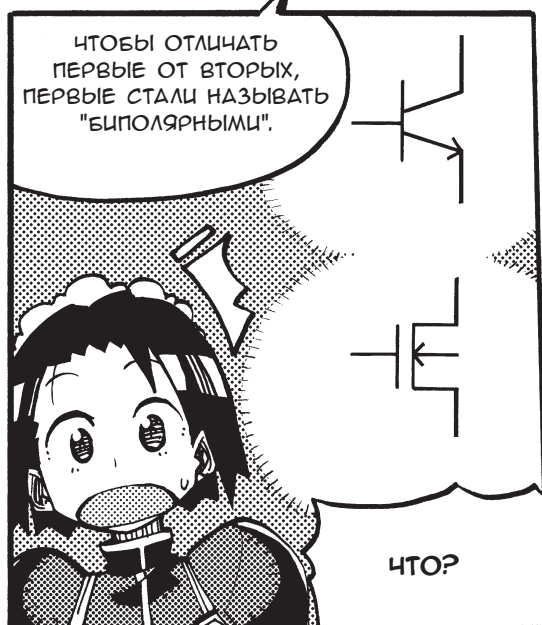


ИХ НЕ ДЛЯ ТОГО ПРИДУМАЛИ, ЧТОБЫ ТЫ МЕНЯ РАЗЫГРЫВАЛА!



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

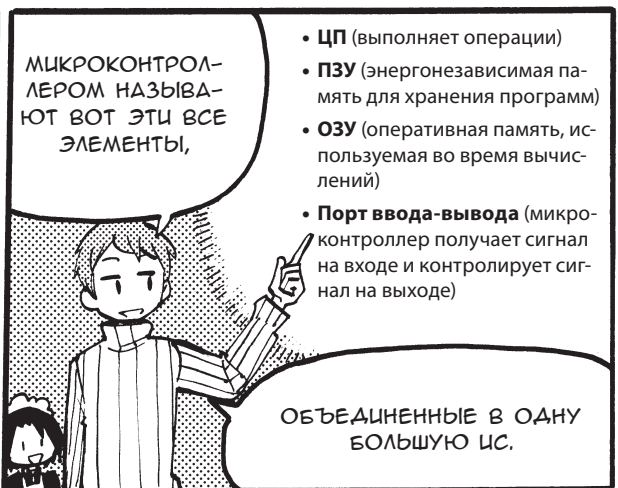
И ПОЭТОМУ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО МОЖЕТ БЫТЬ КОМПАКТНЫМ!



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

# 4 ИС не только в ПК







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.

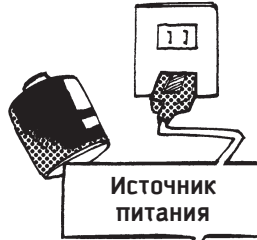
КОНЕЧНО. НО ЕСЛИ ЖЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТОЛЬКО ОДНУ БАТАРЕЙКУ, ТО ПРИ НИЗКОМ НАПРЯЖЕНИИ НЕ ВСЕ РАБОТАЕТ КАК НАДО.

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...

ДА?!

ТЫ СЛЫШАЛА ЧТО-НИБУДЬ О ЗАЩИТЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ?

ЭКОЛОГИЯ!

ДЛЯ ЕЕ ЗАЩИТЫ ТРЕБУЕТСЯ ВЫСОКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ.

ТАКАЯ, КАК В "ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ".

- 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, БЛАГОДАРЯ 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 УПОМНАЛ, ЧТО  
ЕСТЬ И ТАКИЕ ДИОДЫ,  
КОТОРЫЕ ИЗЛУЧАЮТ  
СВЕТ, КОГДА ЧЕРЕЗ  
НИХ ПРОХОДИТ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.

КРАСОТИЦА.

ЗВЯК

ЭТО  
СВЕТОДИОДЫ.

РАЗЛИЧНЫЕ ПРИМЕСИ,  
ДОБАВЛЯЕМЫЕ В ПОЛУ-  
ПРОВОДНИКИ, МЕНЯЮТ  
ДЛИНУ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ,  
ПОЭТОМУ ПОЯВИЛИСЬ  
КРАСНЫЕ, ЗЕЛЕННЫЕ, СИНИЕ  
И ДРУГИЕ СВЕТОДИОДЫ.



Я СЛЫШАЛА, ЧТО  
СВЕТОДИОДЫ  
ИСПОЛЬЗУЮТ В  
СВЕТОФОРАХ!

ЗВЯКАЕТСЯ

УГУ



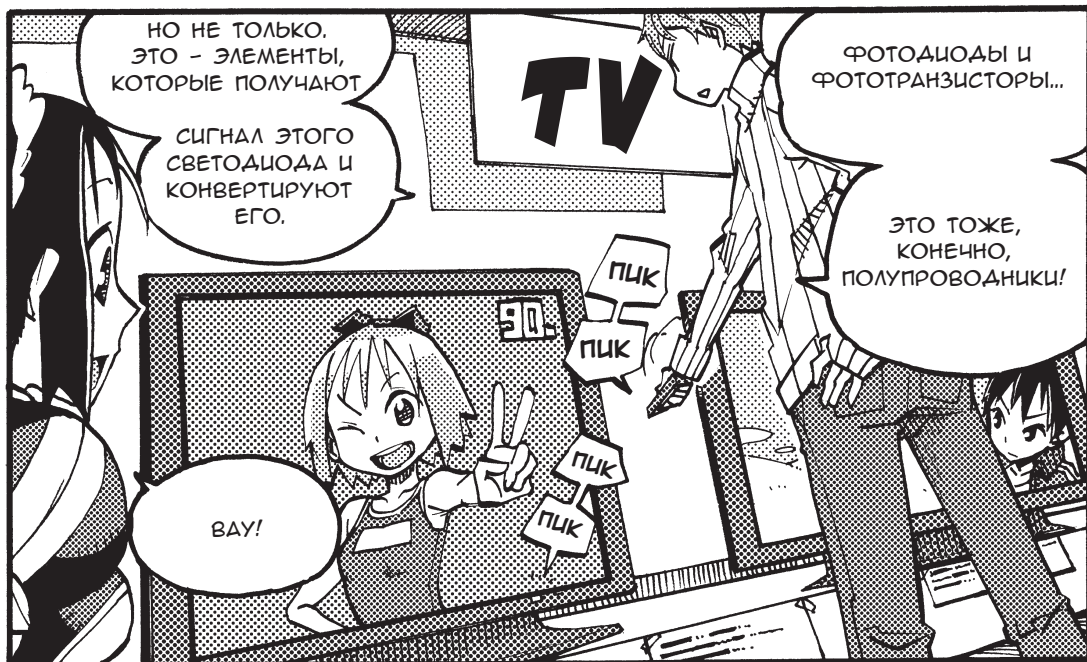
А ВОТ ЭТО -  
ТИПИЧНЫЕ  
СВЕТОДИОДЫ.



ПОСКОЛЬКУ СВЕТОДИОДАМ  
ВЫСОКОЙ ЯРКОСТИ ПРИДАЮТ  
ФОРМУ ЛИНЗЫ...

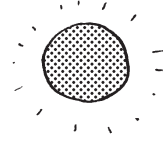
ЗВЯКАЕТСЯ

...ИХ ХОРОШО ВИДНО ИЗДАЛЕКА  
ДАЖЕ В СВЕТОЕ 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.



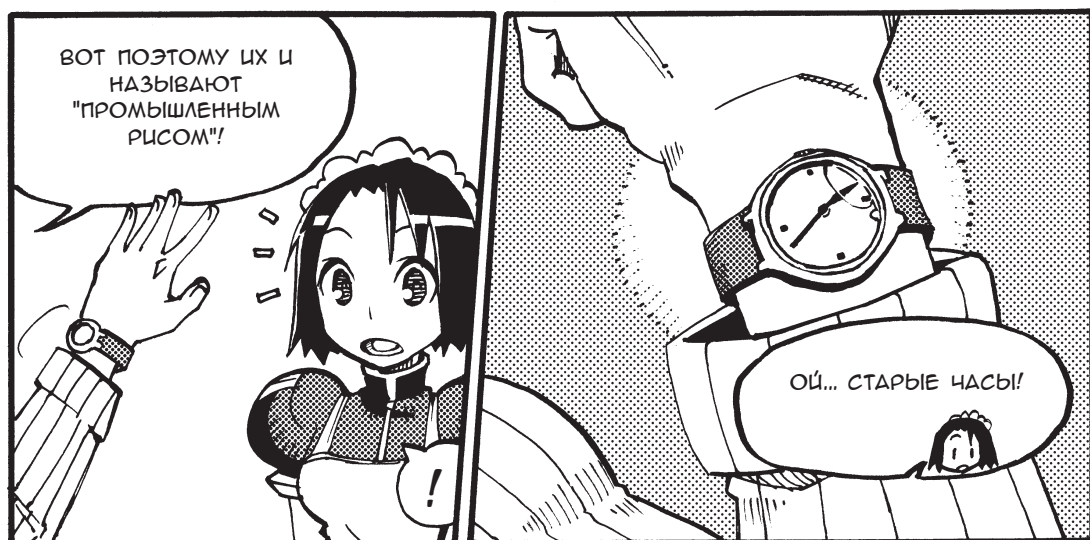
ОГО, И ТУТ ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ!

НУ, Я ДУМАЮ, ТЕБЕ СТАЛО ПОНЯТНО,

ЧТО В ЭЛЕКТРОНИКЕ БЕЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВ - НИКУДА.



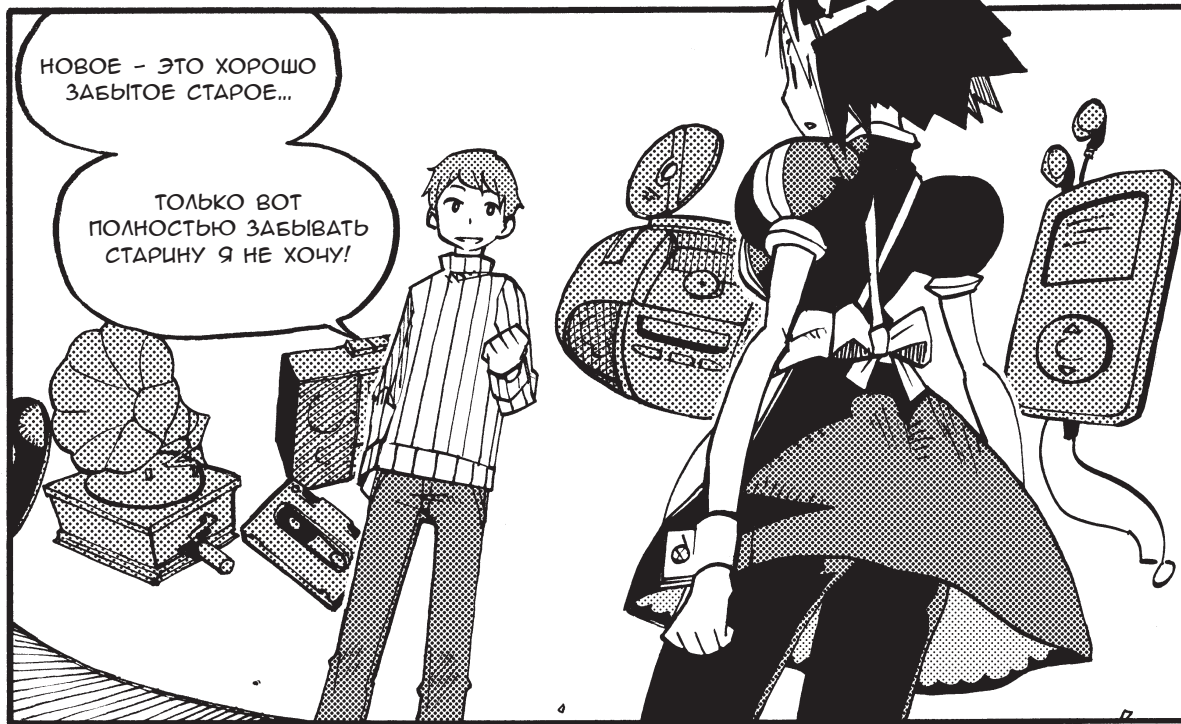
ОНИ ИСПОЛЗУЮТСЯ  
ВЕЗДЕ ВОКРУГ НАС...



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.

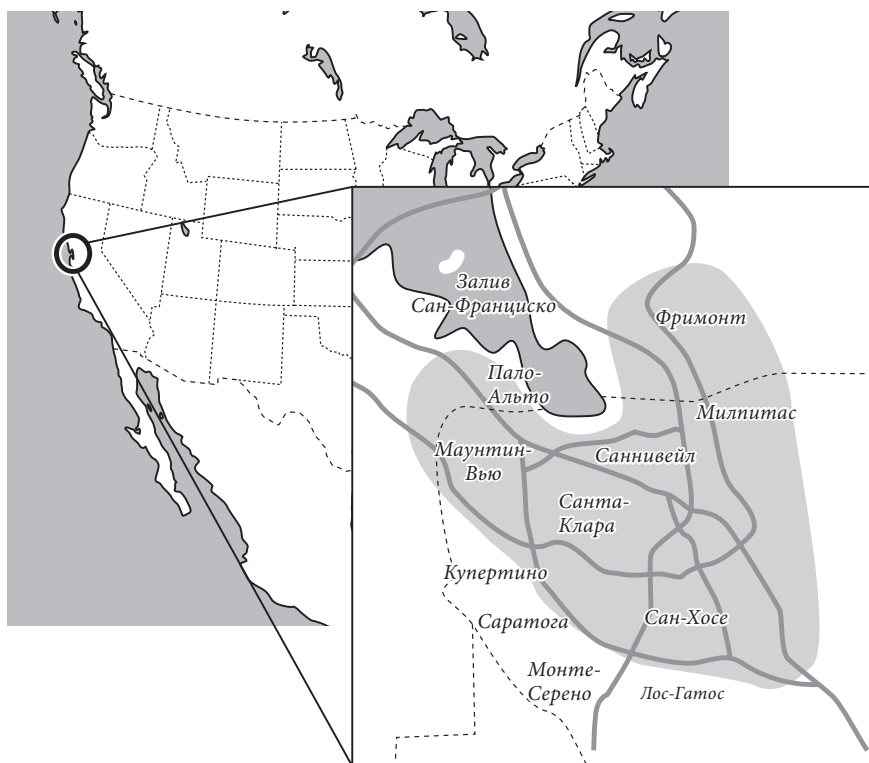


Рис. 1. Силиконовая долина

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 Силиконовая 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.