

ТРАНЗИСТОР (Transistor)

«...Незнайкин.— Одним словом, транзистор представляет собой своеобразный бутерброд из двух толстых кусков хлеба, между которыми положен тоненький кусочек ветчины.

Любознайкин. — Да, если хочешь, это так».

Е. Айсберг.

«Транзистор?.. Это очень просто!»

Термин «транзистор» (от англ. *transfer* – переносить и *resistor* – сопротивление) означает трехэлектродный полупроводниковый электронный прибор, в котором ток в цепи двух электродов управляется третьим. Действие транзистора можно сравнить с действием плотины, которая, перегораживая реку (постоянный источник), создает перепад уровней воды. Затрачивая очень небольшую энергию на вертикальное перемещение затвора, мы можем управлять потоком воды огромной мощности, т.е. энергией мощного постоянного источника.

Первый действующий транзистор был создан группой ученых лаборатории Bell Labs (У. Шокли, Дж. Бардин и У. Браттейн) в 1947 г. и официально представлен ими 23 декабря того же года. С тех пор именно этот день считается днем открытия транзистора, но лишь в 1956 году его разработчикам была присуждена Нобелевская премия по физике «за исследования полупроводников и открытие транзисторного эффекта». Интересно, что Дж. Бардин вскоре был удостоен Нобелевской премии во второй раз за создание теории сверхпроводимости. Следует отметить, что параллельно с США к созданию транзисторов в то время вплотную приблизились очень многие страны, поэтому с полной уверенностью можно говорить, что «транзистор – дитя многих родителей».

В структуре любого транзистора есть три вывода – это база (затвор), эмиттер (исток) и коллектор (сток) (рис. 1). Управление током в выходной цепи осуществляется либо за счет изменения



Плотина Гувера (Невада, штат Аризона)

входного тока, либо входного напряжения. При этом даже небольшое варьирование входных величин может приводить к существенному изменению выходного напряжения и тока. Принцип работы транзистора во многом похож на принцип действия такого известного всем устройства, как рупор. Достаточно произнести что-нибудь перед его узким отверстием, направив широкое в сторону другого человека, стоящего в нескольких десятках метров, и голос, усиленный рупором, будет хорошо слышен вдалеке. Вот так и в случае транзистора – если пропустить через участок «база – эмиттер» слабый ток, он будет усилен транзистором в десятки и даже сотни раз, а усиленный ток потечет через участок «коллектор – эмиттер». Это явление связано с тем, что внешние электрические поля и токи могут изменять плотность носителей заряда в полупроводнике и оказывать существенное влияние на его электропроводность.

Усиливающая способность транзисторов используется в аналоговой технике, например в аналоговом телевидении и радио. Другим важнейшим применением является цифровая техника (память, процессоры, компьютеры, цифровая связь и т.п.), где транзисторы выполняют роль переключателей, заменив вакуумные лампы в большинстве электронных устройств и совершив революцию в создании интегральных схем и компьютеров. В настоящий момент вся современная цифровая техника основана на так называемых МОП – транзисторах, изготовленных на основе слоев металл – оксид – полупроводник. При этом транзистор может работать как единственный (дискретный) прибор и являться элементом интегральной схемы (рис. 1). Последние изготавливаются в рамках планарной интегральной технологии на одном кремниевом кристалле, который называется чипом, и составляют элементарный «кирпичик» для построения памяти, процессора и т.п. На одном чипе, обычно размером 1–2 см², размещаются десятки миллионов МОП-транзисторов, размеры каждого из которых не превышают 45–60 нанометров (это размер базовой части транзистора). На протяжении последних десятков лет происходит стремительная миниатюризация МОП (т.е. уменьшение их размеров) и увеличение степени их интеграции (т.е.

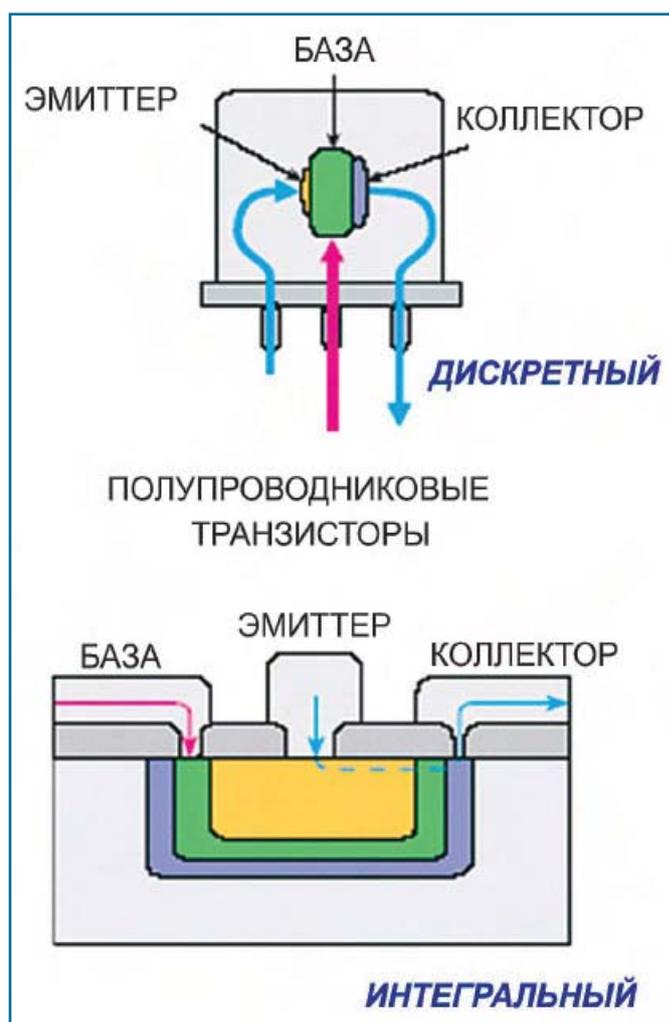


Рис. 1. Устройство дискретного и интегрального транзисторов

количества на одном чипе), причем в ближайшие годы ожидается увеличение степени интеграции вплоть до миллиарда транзисторов на одном чипе (см. *Нанoeлектроника*). Однако полупроводниковая кремниевая электроника фактически подошла к пределу своих возможностей, связанному с фундаментальными физическими ограничениями, не позволяющими в дальнейшем на ее основе создавать все более производительные и миниатюрные устройства. Традиционный затвор с диэлектриком из двуокиси кремния (SiO_2) имеет толщину всего в несколько атомных слоев (~1,2 нм). Дальнейшее уменьшение его толщины приводит к значительным утечкам за счет туннельного тока (проявление квантовых эффектов) и, как следствие, к увеличению потребления энергии и тепловыделения транзистора.

Поэтому качественным выходом из сложившегося «тупика» может быть только переход к

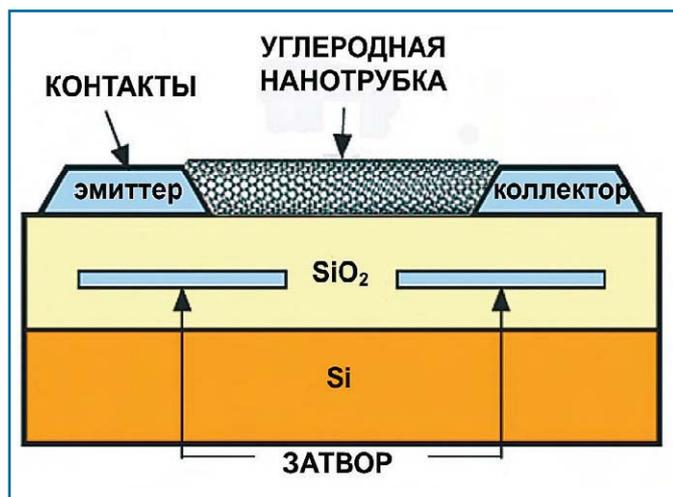


Рис. 2. Транзистор на основе углеродных нанотрубок

электронным приборам и схемам, построенным на совершенно иных принципах (см. *Нанoeлектроника, Молекулярная электроника, Квантовые компьютеры*). Уже сегодня разработка новых функциональных наноматериалов позволяет шагнуть далеко за пределы традиционной полупроводниковой технологии изготовления транзисторов. Все современные жидкокристаллические панели (см. *Жидкие кристаллы*) построены по так называемой схеме TFT (Thin Film Transistor – тонкопленочный транзистор), когда каждый пиксель управляется индивидуальным полевым транзистором, затвор которого соединен с тон-

копленочным конденсатором. Перспективным материалом, который позволит разрабатывать «гибкие дисплеи», являются полупроводниковые полимеры. Большие надежды возлагают на использование в качестве канала транзистора полупроводниковых нанопроволок, поскольку современные технологии приготовления нанопроволок уже допускают их интеграцию со стандартной кремниевой технологией. Главным конкурентом таких полупроводниковых структур являются *углеродные нанотрубки*, обладающие уникальными электронными свойствами (рис. 2). Однако нанотрубки страдают одним, но очень большим недостатком – в зависимости от диаметра и хиральности они могут обладать как металлическими, так и полупроводниковыми свойствами, а контролируемый синтез трубок одного типа все еще остается достаточно трудной технологической задачей. Следует отметить, что помимо разновидностей полупроводниковых транзисторов ведутся разработки объектов совершенно иной категории – одноэлектронных транзисторов, работающих на одной единственной молекуле, а также оптических транзисторов как основного элемента для *фотоники*, в которых в качестве передающего звена выступают не электроны, а фотоны.

Литература:

1. Айсберг Е. Транзистор?.. Это очень просто! / Пер. с франц. М.;Л.: Энергия, 1963. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 480).
2. Эймишен Ж.-П. Электроника?.. Нет ничего проще! / Пер. с франц. М.: Энергия, 1970. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 733).