

# 60 лет создания транзистора. Начало применения полупроводников

**В. МЕРКУЛОВ, г. Москва**

**В публикуемой статье обозреваются исторические события, связанные с первыми применениями полупроводниковых приборов в радиоустройствах.**

## Ламповое порабощение

В годы, предшествовавшие Второй мировой войне, во время войны (1939—1945) и после нее быстрыми темпами развивались радиолокация и вычислительная техника. Олицетворяющие последнюю громадные устройства содержали тысячи радиоламп, были энергоемкими и занимали несколько комнат. Так, например, впервые показанная

рабатывающей корпорации BELL LABORATORIES (BL). Сразу же после ее учреждения в 1925 г. [1] акустическими измерениями в организации начал руководить ставший к тому времени известным в физических исследованиях Х. Флетчер (1884—1981), сооснователь (в 1929 г.) и первый президент Акустического общества Америки.

До прихода в BL Х. Флетчер помогал Р. Милликену (1866—1953) в проведе-

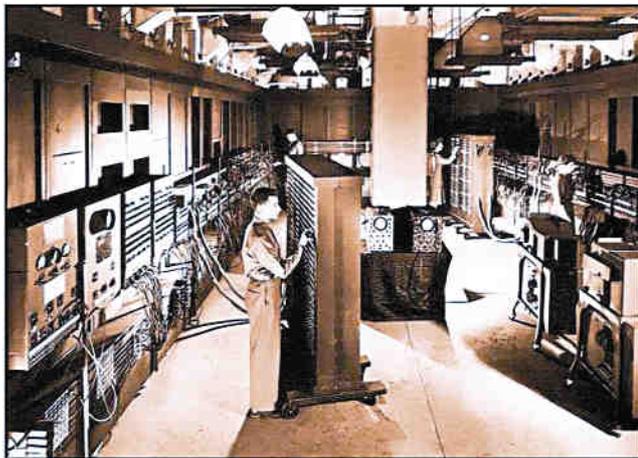


Рис. 1

в США 14 февраля 1946 г. военным и ученым функционирующая ЭВМ ENIAC (электронно-числовой интегратор и вычислитель) весила 27 тонн, содержала 17 468 радиоламп и 7200 полупроводниковых диодов, потребляла от электросети мощность 150 кВт и занимала 167 м<sup>2</sup> площади (рис. 1). Специалисты по вычислительной технике разных стран неофициально отмечают 14 февраля как "день компьютерщика".

На заре вычислительной техники созданная в Советском Союзе ЭВМ БЭСМ не только не уступала американским аналогам, но и была лучше их. Традицию продолжали в 80-е годы ЭВМ "Эльбрус". В наше время ламповых мастодонтов прошлого превосходит по "мощным" способностям кремниевый микрочип площадью всего 0,5 мм<sup>2</sup>.

## 60 лет назад

В середине 1930-х годов из-за отсутствия альтернативы лампам надвигающаяся угроза гигантомании в полной мере осознавали в американской (США) исследовательской и раз-

нии экспериментов по определению элементарного электрического заряда, позволивших ему получить Нобелевскую премию по физике в 1923 г. В 1935 г. Х. Флетчеру было поручено возглавить все физические исследования в научном центре BL. К слову сказать, несколько позже, в 1949 г., он был избран президентом Американского физического общества. Российским профессионалам и радиолюбителям Х. Флетчер известен по широко применяемому в акустике (с 1933 г.) "кривым равной громкости Флетчера-Мэнсона".

Хорошо знакомого с теорией и практикой постановки лабораторных экспериментов физика-теоретика Уильяма Шокли (1910—1989) пригласили работать в нью-йоркский центр BL в 1936 г. В то время в организации первостепенными считались работы, развивающиеся телефонную связь с меньшим числом реле и электронных ламп. К 1939 г. Шокли выдвинул концептуальную идею перехода в телефонии от электровакуумных приборов и электромеханических переключателей к твердотельным усилителям. Он предположил, что если

полупроводник способен детектировать переменный электрический сигнал, то вполне возможно, что существует и механизм его усиления под действием электрического поля. Следует напомнить, что в физике твердого тела теория донорной (электронной) и акцепторной (дырочной) полупроводимости была разработана в 1930—1931 гг. Однако реализующие идею пробные работы тогда не увенчались успехом. Продолжению опытов помешала начавшаяся Вторая мировая война.

Возвращение к экспериментам получилось в 1945 г. уже на новой территории, выделенной BL в районе Мюррей Хилл штата Нью-Джерси. В состав руководимой Шокли группы вошли работавший в BL с 1929 г. физик-исследователь Уолтер Браттейн (1902—1987) и соученик Шокли по университету физик-теоретик Джон Бардин (1908—1991). Помимо них, в коллективе трудились физико-химик, трое инженерно-экспериментаторов, среди которых был электронщик, и пять ассистентов.



Рис. 2

У Шокли и Бардина сложилось впечатление, что основным материалом для прибора, способного заменить вакуумный триод, мог послужить германий. В составленной Д. И. Менделеевым (1834—1907) в 1869 г. периодической таблице элементов первоначально германия не было, но существование его было предсказано. Открытие материала состоялось в 1885 г. Полупроводниковые (ПП) свойства у германия были обнаружены в 1929 г.

В конце 1946 г. Бардин предложил проверить гипотезу, выдвинутую в 1943 г. студентом Р. Бреем (1921—2006) из университета Пурдью (штат Индиана), о том, что в полупроводнике электроны группируются ближе к его поверхности. Для улучшения взаимодействия с внешним электрическим полем поверхности германиевых кристаллов начали полировать или, наоборот, матировать, обрабатывать пассивирующими растворами, смачивать активными жидкостями, а также обычной и дистиллированной водой и др. Очевидно, что в дополнение к теоретическим положениям к раскрытию тайны



Рис. 3

Дж. Бардин  
У. Шокли (сидит)  
У. Браттейн

ПП эффекта продвигались еще и путем проб и ошибок или, говоря научнообразно, методом последовательных приближений.

Высокого накала работы достигли в последние месяцы 1947 г. В лаборатории более всего времени проводил Браттейн. Ему принадлежит идея сделать волосковыми (толщиной с человеческий волос) соприкасаемые с поверхностью кристалла электроды — "усики" и расположить их ближе друг к другу. Однажды, при смене полярности подводимых напряжений, ему посчастливилось увидеть усиленный сигнал на экране осциллографа.

Событие произошло в понедельник 15 декабря 1947 г. В лабораторном журнале Браттейн записал: "При сближении контактных точек достигнутое напряжение получалось равным 2 В в полосе частот от 10 до 10 000 циклов" [2]. На следующий день, 16 декабря, там же он констатировал: "Расстояние между точками электродов составило  $4 \cdot 10^{-3}$  см". В этот же день ПП феномен был продемонстрирован сотрудникам группы. Бардину удалось быстро разработать теоретическую модель сделанного открытия. Однако постулат его теории о перемещении в кристалле не электронов, а "дырок" от эмиттера к коллектору не воспринимали многие физики вплоть до конца 1950-х годов.

В середине дня 23 декабря контактно-точечный прибор (рис. 2) был представлен заместителю директора ВЛ по науке Р. Боуну (1891—1971), Х. Флетчеру, а также руководящим инженерно-техническим работникам некоторых родственных организаций и уполномоченным от военного ведомства. Изобретатели пояснили, что придуманный ему термин **transistor** (транзистор) получен от сочетания частей двух слов **transfer** или **transconductance** (пере-

ходная проводимость) и **varistor** (нелинейный резистор). Присутствующие не сочли надежными точечные контакты в кристалле и поэтому затруднились в рекомендациях по его применению. Военным не понравилась зависимость характеристик транзистора от изменений окружающей температуры. Высказано было пожелание попробовать внедрить новшество в слуховые аппараты.

Публичное выступление Боуна перед журналистами и немногочисленными представителями научного сообщества состоялось через полгода, в среду 30 июня 1948 г., в конференц-зале нью-йоркского отделения ВЛ. Значимость изобретения ПП усилительного триода не была понята. Заявление о скромных габаритах транзистора и малом потреблении им электроэнергии не произвело особого впечатления на публику. От-

кий промежуток времени он разработал теоретическое обоснование и конструкцию плоскостного транзистора, реализованного на практике в июле 1951 г. Трое основных участников напряженной и творческой работы по созданию транзистора — Бардин, Браттейн и Шокли (рис. 3) в 1956 г. были удостоены Нобелевской премии. На церемонии вручения награды они вместе собрались последний раз. Потом ученые больше не встречались, поскольку работали в разных компаниях.

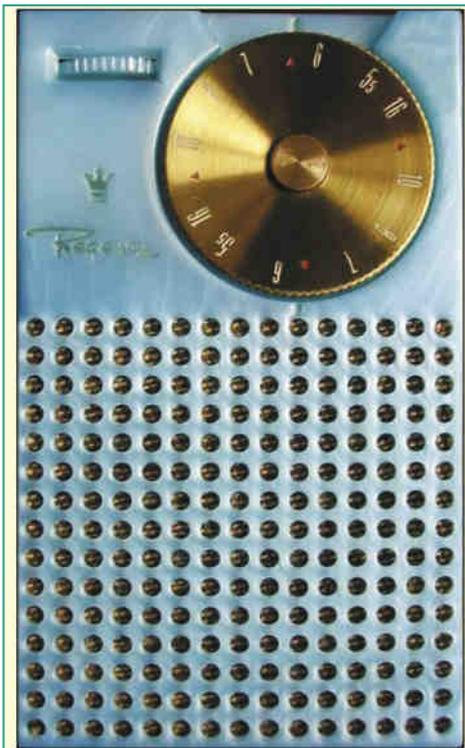
В конце 1950-х годов зонная теория проводимости полупроводников в Европе была еще не принята. Американцы, выступавшие на ученых сессиях и симпозиумах, иногда прибегали к образным пояснениям и наглядным пособиям. На Международной конференции по физике полупроводников в 1960 г. в Будапеште, например, Шокли по окончании доклада повернулся к залу спиной и поднял низ пиджака. Слушатели увидели посреди спины свисающую с пояса тряпку, разделяющую половину мягкого места. Похлопывая по тряпке, он приговаривал: "Вот, что такое **p-n** переход!" [3].

Следует заметить, что за работы в области сверхпроводимости Бардин в 1972 г. получил еще одну Нобелевскую премию (единственный случай за всю историю награждений!). О научных интересах и второй половине жизни авторов эпохального изобретения можно прочитать подробнее в [4].

Важность и значимость ПП темы была понимаема правительством США. В 1950-е годы предприятия, внедряющие разработки новой техники, получали льготы по налогообложению. В 1952 г. поточное производство знаменитого транзистора СК722 освоило известное и крупное военное предприятие RAYTHEON в штате Массачусетс. В начале следующего года производимые компанией плоскостные транзисторы стали доступны потребительскому рынку. Рекомендовали их применять в портативных радиоприемниках, электроизмерительных приборах, реле времени для фотопечати и слуховых аппаратах. Весной того же года появился слуховой аппарат "Акустион" на одном транзисторе с большим коэффициентом усиления, а чуть позже более "громкое" устройство с усилителем ЗЧ на трех транзисторах. В 1953 г. всего в США было выпущено около 1 млн транзисторов, в 1955 г. — 3,5 млн, в 1957 г. — 29 млн.

Первый средневолновый (640... 1240 кГц) супергетеродинный карманный радиоприемник на четырех транзисторах выпустила компания REGENCY DIVISION of IDEA в штате Индианаполис. Он получил название TR-1 (рис. 4), изготовлен на печатной плате. Широкой публике TR-1 был представлен в начале 1954 г. Через полгода он поступил в продажу. Его серийно выпускали пять лет.

В 1953 г. лицензию на производство транзисторов у ВЛ купила мало известная тогда японская фирма со звучным названием SONY. С августа 1955 г. она приступила к распространению своих



140×89×38 мм, 340 г  
Рис. 4

дельные газеты ограничились краткими сообщениями о прошедшей презентации и показанном там элементе — "фитюльке" размером с полдюйма (12,7 мм).

Шокли понимал важность выполненной работы, вместе с тем он считал ее незавершенной. В последующий корот-

первых полностью на транзисторах (пять штук) средневолновых супергетеродинных приемников TR-55 (рис. 5). В 1965 г. SONY рапортовала о выпуске 40 000 портативных приемных устройств модернизированной модели TR-72. Приемники пошли на экспорт в Северную Америку и Европу. Появившемуся конкурирующему продукту американцы (в основном молодые) отдавали предпочтение, как более чувствительному и громко звучащему.

### Пришествие транзистора в Россию

В нашей стране воспроизвели германиевый транзистор в 1949 г. в лаборатории, руководимой А. В. Красиловым и относящейся к НИИ "ПУЛЬСАР" в подмосковном городе Фрязино [5]. Там же изготовили и первые плоскостные сплавные транзисторы. В лаборатории исследовали характеристики полупроводников, разработали опытные образцы усилителей, радиоприемников, передатчиков на транзисторах, пригодных для гражданской и военной сфер.

Схема миниатюрного радиоприемника прямого усиления на одном транзисторе была представлена в журнале "Радио" в 1956 г. в материалах с германской Ганноверской выставки. После этого в журнале появился ряд других статей о ПП устройствах. В 1958 г. были опубликованы схема и описание получившей всенародное (радиолобительское) признание конструкции приемника В. Плотникова [6].

### Из предыстории полупроводников

В 1826 г. немецкий физик Г. Ом (1787—1854) сформулировал знаменитый, носящий его имя, закон о пропорциональной зависимости тока в цепи от приложенной ЭДС. В 1833 г. выдающийся английский физик-самоучка М. Фарадей (1791—1867) нашел, что сопротивление серебра (соединение с серой металлом) не отличается постоянством в электрической цепи. Оно уменьшается при нагревании материала, а ток возрастает [4, 7].

В 1874 г. другой германский физик К. Ф. Браун (1850—1918), будучи молодым преподавателем естествознания в средней школе (рис. 6), в свободное время изучал материалы, поведение которых в электрической цепи тоже не отвечало закону Ома. Он открыл целый ряд кристаллов с односторонней проводимостью. Установленный эффект



140 x 89 x 38,5 мм; 560 г

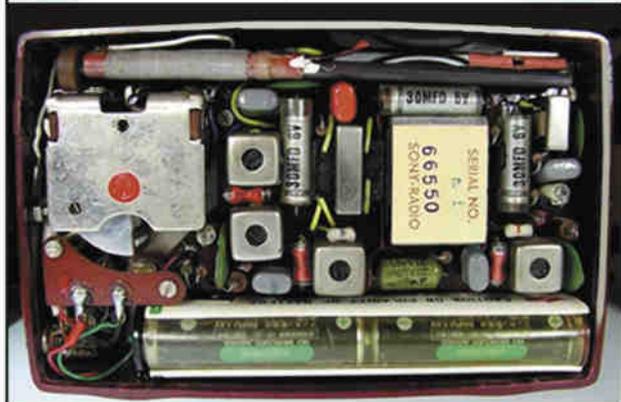


Рис. 5

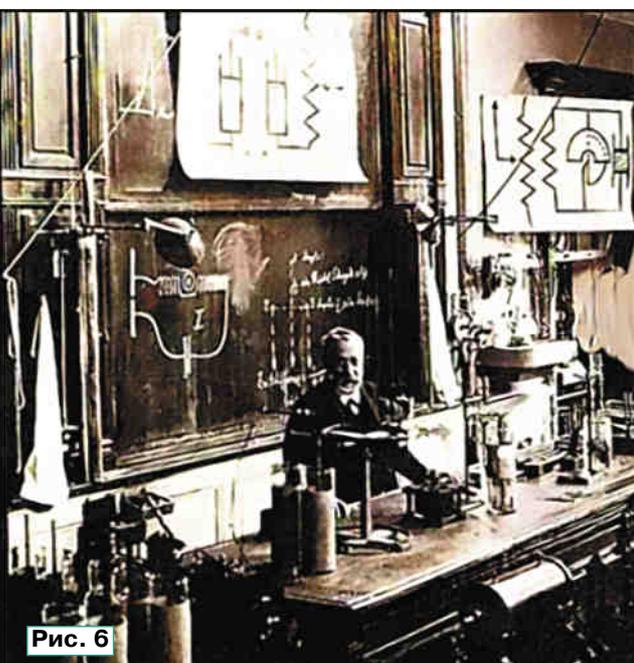


Рис. 6

еще более замечался при контактировании разнотипных кристаллов или кристалла с металлом. Результаты исследований Браун изложил в четырех изданных статьях, первую из которых опубликовал в конце 1874 г.

Опыты Брауна повторил известный немецкий физик-электротехник В. Э. Сименс (1816—1892) и подтвер-

дил его выводы. В 1899 г. Браун изучал возможность замены используемого в приемниках А. С. Попова (1859—1906) и Г. Маркони (1874—1937) когерера на какой-нибудь из апробированных им полупроводников. Однако он не получил стойкого улучшения результата в приеме импульсных телеграфных сигналов и отказался от дальнейших испытаний [8].

Уместно сообщить, что Браун в конце XIX и начале XX веков внес ряд усовершенствований в радиотелеграфные устройства, основал собственную компанию беспроводной связи (1898). Кроме того, он предложил модель катодной осциллографической трубки (1897) для контроля быстротекающих процессов. В 1909 г. по результатам выполненных работ совместно с Маркони Браун был удостоен Нобелевской премии по физике. А. С. Попов лично встречался с Брауном и находился с ним в переписке. Германский физик высоко оценивал приборы, созданные российским ученым, признавал, что тождественные им аппараты Маркони были сделаны позже [9].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гольшко А. Инновации "Лабораторий Белла". — Радио, 2005, № 1, с. 70—73; № 3, с. 75—76.
2. Brattain W. H. Laboratory notebook, entry of 15 December 1947, case 38 139-7. Bell Laboratories archives.
3. Алферов Ж. России без собственной электроники не обойтись. — Наука и жизнь, 2001, № 4. Web-версия: <<http://www.nkj.ru/archive/articles/5818>>.
4. Гаков В. Время собирать кремни. — <<http://kommersant.ru/doc.aspx?DocID=380928>>.
5. Носов Ю. От транзистора к искусственному разуму. — <<http://kvant.mccme.ru/pdf/1999/06/02.pdf>>.
6. Плотников В. Карманный радиоприемник. — Радио, 1958, № 9, с. 53; 2003, № 10, с. 5, 6.
7. Носов Ю. Парадоксы транзистора. — <<http://www.courier.com.ru/kvant/kv0106nocov.htm>>.
8. Rybak J. P. "Forgotten" Pioneers of Wireless — Karl Ferdinand Braun. — <<http://www.antiquewireless.org/otb/forgoten.htm>>.
9. Климин А. И., Урвалов В. А. Фердинанд Браун — лауреат Нобелевской премии в области физики. — <<http://www.computer-museum.ru/connect/braun.htm>>.

(Окончание следует)

Редактор — А. Михайлов, иллюстрации предоставлены автором

тел. 608-83-05 Прием статей: mail@radio.ru Вопросы: consulk@radio.ru РАДИО № 12, 2007