

ЕЛЕКТРО

панорама

11/2004

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



ДП "ПОЛО-Електрообладнання"

м. Київ, 04210, пр-т Героїв Сталінграду, 16-д, оф. 125
 тел./факс: (044) 464-9700, 464-9641 E-mail: uapolo@i.kiev.ua

ТИРИСТОР: НАДЕЖДЫ И СВЕРШЕНИЯ

Ю.В. Черников

Применение электроники в технике сильных токов началось в 20–30-х годах прошлого столетия с появлением неуправляемых и управляемых вакуумных и полупроводниковых приборов, таких, как ртутный вентиль, тиратрон, селеновый вентиль. В эти же годы были уже в основном разработаны и наиболее важные схемы, в которых использовались упомянутые приборы.

Бурное развитие радиоэлектроники, и особенно радиолокационной техники в период Второй мировой войны, дало огромный толчок исследованиям в области полупроводниковых материалов и полупроводниковых приборов. Появление в тот же период сложнейших многоламповых схем электронных счетных машин и развитие авиационной радиотехники также привело к необходимости разработки малогабаритного надежного электронного оборудования. Было установлено, что решение целого ряда серьезных задач с помощью радиолампы оказывается или затруднительным, или вообще практически невозможным. Развитие техники поставило ученых перед необходимостью создания надежного малогабаритного и малопотребляющего прибора, способного заменить лампу.

Это стало возможным благодаря тому, что результаты научных

исследований, которые проводились в 20–40-е годы (Невилл Ф. Мотт — в Англии, Б.И. Давыдов, Я.И. Френкель, А.Ф. Иоффе — в СССР, Вальтер Шоттки — в Германии), создали фундамент для изобретения полупроводникового усилительного прибора.

Первый практически примененный полупроводниковый усилитель (точечный германиевый триод) был разработан в 1947 г. Джоном Бардином и Уолтером Х. Браттейном в фирме Bell Telephone Laboratories (BTL) США [1]. Первая успешная демонстрация функционирования этого усилителя состоялась 23–24 декабря 1947 года. Этот прибор, по предложению Джона Пирса, был назван транзистором (transistor). Слово транзистор было образовано из двух слов: transfer — преобразователь и resistor — сопротивление. Только через шесть месяцев фирма BTL публично объявила о создании транзистора. Группе по разработке полупроводниковых приборов, которой руководил Вильям Шокли, это время потребовалось для полного понимания того, что представляет собой транзисторный эффект, а также написания о нем статьи и подачи заявки на патент. Хотя В. Шокли не принимал фактического участия в открытии точечного транзистора (патент был

выдан Дж. Бардину и У.Х. Браттейну), ему, безусловно, принадлежал основной вклад в ту теорию, которая привела к открытию транзистора.

30 июня 1948 г. в Нью-Йорке произошла первая публичная демонстрация транзистора. Не слишком большое внимание публики, прессы и даже технических журналов к транзистору показало, что этот прибор останется лабораторным экспонатом до тех пор, пока не будут разработаны его более практичные варианты и пока не будет сконструировано оборудование с его применением.

Тем не менее даже первые образцы этих далеко не совершенных полупроводниковых усилительных приборов имели ряд существенных преимуществ по сравнению с радиолампами. К дальнейшим разработкам и исследованиям в этом направлении было привлечено большое количество специалистов в области физики и радиотехники. Полупроводниковая техника стала быстро развиваться. Уже к концу 1952 года были разработаны основные типы известных и настоящее время транзисторов: точечный и плоскостной триоды, канальный триод. В основе принципа работы всех этих приборов лежало использование электронно-дырочного р-п перехода.

К этому времени интерес промышленности к транзисторам значительно возрос. В марте 1952 года заседание Института радионженеров, посвященное транзисторам, пришлось провести повторно, так как вначале не удалось разместить всех желающих.

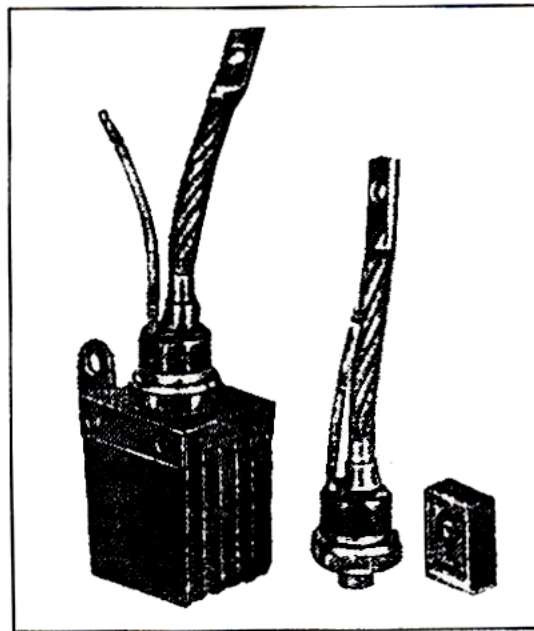
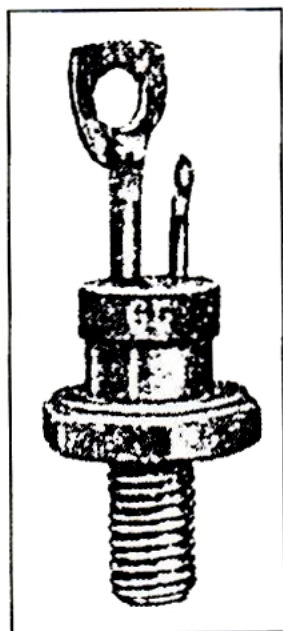
В 1956 году В. Шокли, Дж. Бардину, У.Х. Браттейну была присуждена высшая научная награда — Нобелевская премия по физике за исследования в области полупроводников и открытие транзисторного эффекта.

В основе других достижений в части разработки приборов лежали фундаментальные исследования в области полупроводников. Одним из них был управляемый р-п-п переключатель, берущий свое начало от сформированного В. Шокли представления о «коллекторе с ловушкой». Д. Эберс вслед за В. Шокли разработал двухтранзисторную

аналогию (внутрисвязанные п-р-п и р-п-р транзисторы) р-п-п переключателя, которая стала полезной моделью этого прибора. В 1954 и 1955 годах Джон Молл оценил возможности р-п-п переключателя и понял, из какого материала (кремний) его нужно изготавливать. Под его руководством группа сотрудников ВТЛ изготовила первые работающие кремниевые р-п-п приборы [2]. Принципы действия таких приборов были описаны Моллом, Таненбаумом, Голдсеем и Голоньяком в статье [3], которая послужила основой для всех последующих работ, проводимых в этой области.

В 1956 году принцип действия р-п-п переключателя понимали немногие и как прибором практического назначения пренебрегали. Но Р. А. Йорк, сотрудник фирмы «General Electric» (GE), осознал значение работы, выполненной в ВТЛ, и, будучи заинтересованным

в полупроводниковом «тиратроне», стал инициатором проекта создания управляемого кремниевого переключателя на большие токи, который был разработан и изготовлен в 1957 году в лаборатории конструирования выпрямителей фирмы GE. Он представлял собой кремниевый выпрямитель, ток через который в прямом направлении протекал только при подаче сигнала управления, хотя бы кратковременно, на его управляющий электрод. Под действием тока управления в структуре р-п-р-п происходил лавинообразный процесс ее переключения из закрытого состояния в открытое. Выключение переключателя происходило при уменьшении его напряжения питания до нулевого значения. Существенной особенностью управляемого кремниевого переключателя являлось его свойство «памяти», т.е. переключатель после включения его импульсным сигналом помнил этот сигнал до того момента времени, когда его напряжение питания становилось равным нулю и он выключался. Р.А. Йорк и его сотрудники, а за ними и многие другие поняли, что проведение в жизнь этого проекта означает рождение полупроводникового прибора, подобного тиратрону, не только предназначенного для работы в слаботочных цепях, но также способного управлять мощностями в сотни киловатт. Это обстоятельство отмечалось в упоминавшейся работе Д. Молла и его сотрудников, но большинство читателей либо не обратили на это внимания, либо же не поняли его значение.



При исследовании процесса включения р-п-р-п структур по анодной цепи было обнаружено явление, получившее название «эффект du/dt ». Напряжение переключения, как оказалось, зависит от скорости нарастания напряжения между анодом и катодом, т.е. от du/dt . Это явление было рассмотрено в ряде работ [4, 5], где было показано, что под действием скачка прямого анодного напряжения через р-п-р-п структуру протекает импульсный ток, который, заряжая емкость центрального перехода, увеличивает коэффициенты передачи транзисторов, составляющих р-п-р-п структуру, в результате чего последняя может переключиться. Этот недостаток управляемых кремниевых переключателей был устранен схемотехническими средствами (шунтирование перехода управляющий электрод катод резистором и (или) емкостью, шунтирование р-п-р-п структуры R C цепью).

При включении р-п-р-п структур большой площади из-за невысокой скорости распространения включенного состояния наблюдался эффект, связанный с кумуляцией тока [6], который вел к перегреву и выходу приборов из строя. Этот эффект был устранен путем изменений в конструкции приборов (кольцевой управляющий электрод, катод и управляющий электрод специальной формы типа «переплетающиеся пальцы»).

Управляемые кремниевые переключатели показали, что они

обладают целым рядом важных преимуществ [7]: малые удельные габариты и вес (на единицу мощности), весьма высокие допустимые напряжения и ток, высокий к.п.д., высокая надежность, высокая механическая прочность, большой срок службы, большой интервал рабочих температур от минус 60 до +150 °С, мгновенная готовность к работе, весьма высокие динамические параметры, характеризующие быстродействие. Они были освоены в промышленных масштабах и в начале 70-х годов изготавливались на токи от нескольких десятков миллиампер до сотен ампер и на напряжения запирания, превышающие 1000 В.

Поводов к песимистической оценке будущего таких приборов не оставалось.

В 1963 г. Комитет по терминологии Международной электротехнической комиссии присвоил кремниевому управляемому переключателю название «тиристор», которое является производным от греческого слова *thyra* — дверь, вход и английского слова *resistor* — резистор.

На рис. 1 показан тиристор серии 2 N681-2N692 на действующее значение тока 25 А и напряжение до 800 В, который выпускался фирмой GE с 1958 г.

В СССР первые тиристоры были разработаны в 1959-1960 гг. Большой вклад в дело их создания и совершенствования внесли Ленинградский физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе АН СССР, Всесоюзный электротехни-

ческий институт им. В.И. Ленина, Мордовский научно-исследовательский электротехнический институт и завод «Электровыпрямитель» [8].

На рис. 2 показан тиристор типа ВКУ-100 на номинальный выпрямленный ток 100 А и напряжением до 700 В, который выпускался заводом «Электровыпрямитель» с середины 70-х годов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Электроника: прошлое, настоящее, будущее* / Пер. с англ. под ред. В.И. Сифорова. — М.: «Мир», 1980. С. 72-83.
2. *Управляемые полупроводниковые вентили* / Ф. Джентри, Ф. Гутцвиллер, Н. Голоньяк, Э. фон Застров / Пер. с англ. под ред. В.М. Тучкевича. — М.: «Мир», 1967. — 455 с.
3. Д. Молл, Н. Таненбаум, Ф. Голдей, Н. Голоньяк, *Полупроводниковые переключающие приборы типа р-п-р-п*, Proc. IRE, 44,1174 (Sept.1956), пер. с англ. в сб. «Полупроводниковые управляемые вентили» / под ред. В. Комара и В. Лабунцова. — М.: «Госэнергоиздат», 1962.
4. Mc. Duffie G.E., Chadwell W.L. *Commun and Electron.*, 1960, № 2, p.50.
5. Кузьмин В.А., Бражников В.А. *Радиотехника и электроника*, 1963, т.8, №7, с. 1193.
6. Mapham N. *Electronics*, 1962, v.35, Aug. 17, p. 50.
7. *Тиристоры: технический справочник* / Пер. с англ. под ред. В.А. Лабунцова, С.Г. Обухова, А.Ф. Свиридова, Изд. 2-е, доп. — М.: «Энергия», 1971. — 560 с.
8. *Кремниевые вентили* / Под. ред. С.Б. Юдицкого. — М.: Энергия, 1968. — с. 9

(Продолжение следует)