

следовал целый набор потенциальных достоинств транзистора: малые габариты, механическая прочность, высокая надежность, принципиально неограниченная долговечность. Через три-четыре года, когда были разработаны значительно более совершенные конструкции транзисторов, все эти ожидаемые достоинства начали становиться реальностью.

Честь открытия транзисторного эффекта, за которое в 1956 году была присуждена Нобелевская премия по физике, выпала *У.Шокли, Дж.Бардину, У.Браттейну*. Характерно, что все трое были блистательными физиками, целенаправленно шедшими к этому открытию. Шокли, руководитель группы исследователей, еще в предвоенные годы читал лекции по квантовой теории полупроводников и подготовил фундаментальную монографию (по разным причинам ее издание задержалось до 1950 г.), которая надолго стала настольной книгой «полупроводников» всего мира. Высочайшая квалификация Бардина как физика-теоретика подтверждена не только изобретением транзистора и предсказанием ряда эффектов в поведении полупроводников, но и тем, что позднее, в 1972 году, совместно с двумя другими исследователями он был повторно (!) удостоен «Нобеля» – теперь за создание теории сверхпроводимости. Браттейн, самый старший в группе, к моменту изобретения транзистора имел за плечами пятнадцатилетний опыт исследования поверхностных свойств полупроводников. Хотя само открытие транзисторного эффекта явилось до некоторой степени счастливой случайностью (говоря сегодняшним языком, они пытались изготовить *полевой* транзистор, а изготовили *биполярный*), теоретическая подготовка исследователей позволила им практически мгновенно осознать открытое и предсказать целый ряд гораздо более совершенных устройств. Иными словами, создание транзистора оказалось под силу лишь физикам, которые по необходимости владели еще и минимумом изобретательских навыков (ситуация, во многом аналогичная созданию атомной бомбы и ряду других открытий второй половины XX века, в которых «первую скрипку» сыграли физики).

У нас в стране транзистор был воспроизведен в 1949 году во фря-

зинской лаборатории, возглавляемой *А.В.Красиловым*, крупным ученым, обладающим широчайшей эрудицией.

Однако вернемся к предмету разговора. Поначалу многие конструкторы традиционной радиоаппаратуры встретили транзистор настороженно. Недостатки у первых транзисторов, увы, действительно были. Дело в том, что *германий* – полупроводник, из которого они изготавливались, в силу своих физических свойств обеспечивал рабочую температуру транзисторов лишь до 70 °С, а этого во многих прикладных задачах было недостаточно. Кроме того, технологам никак не удавалось (да так и не удалось) «обуздать» химическую активность поверхности германиевых кристаллов, что вело к нестабильности параметров, особенно заметной при повышенных температурах. Но создатели новых направлений электроники – больших вычислительных машин, устройств ракетно-космического назначения, миниатюрной переносной радиоаппаратуры – встретили транзистор с восторженным энтузиазмом: было очевидно, что без него эти новые направления просто не смогут существовать. Вместо критики из этого лагеря неслось лишь одно – «давай». Давай меньшие габариты и большую надежность, большее быстродействие и меньшую стоимость.

Во второй половине пятидесятых годов в развитии транзисторов произошел решающий качественный скачок: вместо германия стали использовать другой полупроводник – *кремний*. В итоге рабочая температура транзисторов выросла до 120–150 °С, при этом их характеристики сохраняли высокую стабильность, а срок службы приборов стал практически бесконечным. Но, пожалуй, главное заключалось в том, что в 1959 году американской фирмой «Фэйрчайлд» применительно к кремнию была разработана так называемая *планарная технология*. Принципиальным здесь было то, что тончайшая пленка диоксида кремния, выращенная при высокой температуре на поверхности кристалла, надежно защищает кремний от агрессивных воздействий и является отличным изолятором. В этой пленке создают «окна», через которые, также при высокой температуре, в полупроводник вводят ле-

гирующие добавки – так изготавливаются фрагменты будущего прибора. Затем на изолированную от объема поверхность напыляют тонкопленочные алюминиевые токоподводы к активным зонам – и транзистор готов. Особенности процесса является то, что все воздействия на пластину осуществляются в одной плоскости и что обеспечивается одновременная обработка тысяч и миллионов транзисторов на пластине, а это ведет к высочайшей степени воспроизводимости изделий и фантастической производительности. А что еще надо от технологии?

Методами планарной технологии легко обеспечить изоляцию транзисторов от подложки и друг от друга, а отсюда лишь шаг до создания *интегральной схемы (микросхемы)*. И этот шаг был сделан в том же 1959 году (в этом году – сорокалетний юбилей!). Идея интеграции, т.е. создания электронных схем с активными и пассивными компонентами и их соединениями в едином технологическом процессе, эта идея, очевидная в своей привлекательности, будоражила специалистов давно. С изобретением транзистора стало ясно, что интеграция реальна, разработка планарной технологии окончательно закрыла этот вопрос, одновременно открыв эру *микроэлектроники*.

Типичная микросхема представляет собой кремниевый кристаллик (чип), в приповерхностной области которого изготовлено множество транзисторов, соединенных между собой пленочными алюминиевыми дорожками в заданную электрическую схему. В первой микросхеме «множество» состояло всего лишь из 12 транзисторов, но уже через два года уровень интеграции превысил 100 элементов на чипе, а к середине 60-х годов стали доминировать большие интегральные схемы (БИС), содержащие тысячи элементов. И пошло-поехало.

На первый взгляд, с развитием микроэлектроники транзистор «растворился» в микросхеме. Растворился, но бесследно не исчез. Вобрав в себя все от транзистора, микросхема живет и по своим специфическим законам. «Транзистор – кремний – планарная технология» вот три кита, на которых покоится современная микроэлектроника, вернее, не покоится, а развивается, и развивается