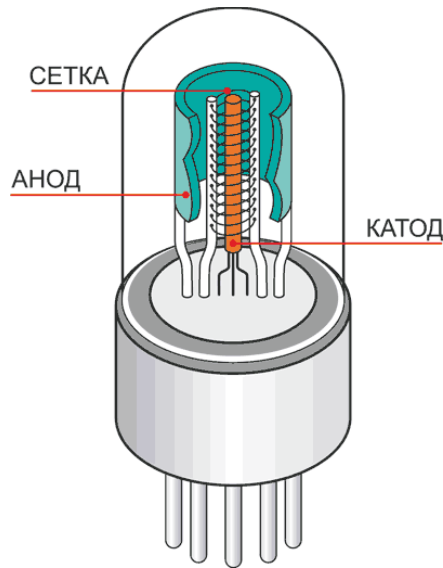


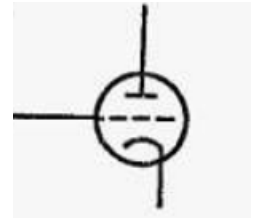
## Век электроники.



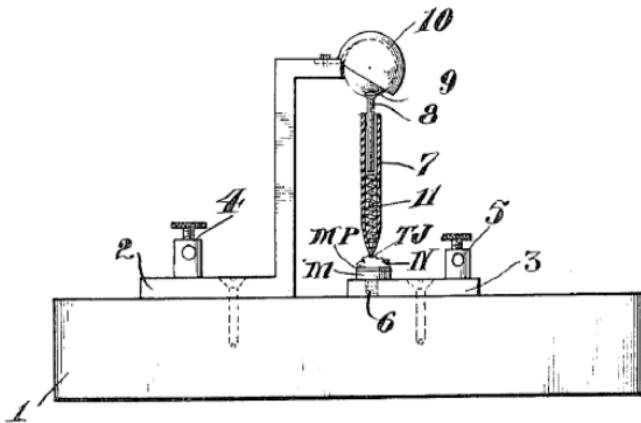
1905 год - патент Джона Флеминга на первую электронную лампу, открывшую век **электроники**. В 1906 году американский инженер Ли де Форест ввёл в лампу третий электрод — *управляющую сетку*. Такая лампа могла уже работать в качестве усилителя тока, а в 1913 году на её основе был создан автогенератор. При нагревании катода внешним источником питания испускаются электроны, которые собираются на аноде. Сетка, расположенная между катодом и анодом, позволяет управлять потоком электронов поданным на нее потенциалом.

30-е годы явились триумфальным шествием электронной лампы, благодаря которой реальностью стали и «газета без бумаги и без расстояний» и массовое радиовещание, звуковое кино и телевидение, радиолокация и радиоастрономия, современные быстродействующие системы автоматики и телеуправления, радионавигация и электронные вычислительные машины.

\* Для гитаристов, например, и сейчас лампы не просто передают звук гитары, а участвуют в его создании, добавляя в звук дополнительные гармоники. Ламповые усилители очень хорошо справляются с этой задачей, делая звук гитары более красивым. На транзисторах такого эффекта добиться не удастся (нужны цифровые синтезаторы). К тому же, ламповые усилители почти всегда использовались в режиме "перегруженного" входа, что на транзисторах реализовать было невозможно. Транзисторы "не любят" перегрузок, в то время как лампы переносят их без каких-либо проблем.



В 1906 году [Гринлиф Пикард](#) запатентовал [кремниевый](#) кристаллический детектор, который представляет собой кристалл какого-либо полупроводника, (сульфида свинца (PbS) или сульфида кадмия (CdS)), в который упирается тонкая проволочка из металла. Положение проволоочки на кристалле можно менять, добиваясь наибольшей громкости звучания приёмника. По сути, такое устройство представляет собой простейший диод Шоттки.

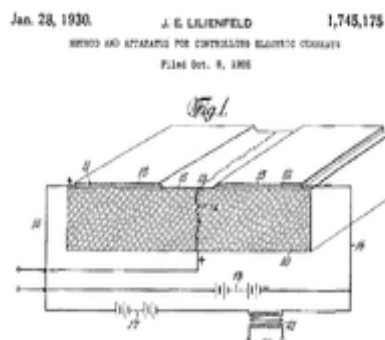


В 1910 году [Уильям Икклз](#) обнаружил, что кристаллические детекторы в определённых условиях демонстрируют [отрицательное дифференциальное сопротивление](#) и потому могут быть использованы для [генерации колебаний](#) и [усиления сигналов](#). В 1922 году [О. В. Лосев](#) доказал возможность усиления и генерации электромагнитных колебаний на кристаллическом детекторе при подаче на него постоянного [напряжения смещения](#) ([кристадинный эффект](#)). [Цинкитный](#) детектор (кристадин) Лосева сохранял работоспособность на частотах до 10 [МГц](#).

К концу 1920-х годов кристаллические детекторы были вытеснены [вакуумными лампами](#), а развитие этого направления физики [полупроводников](#) приостановилось.

В 1922—1927 годах [Грёндаль](#) и Гейгер изобрели и внедрили в практику [медно-закисный выпрямитель](#)\*), а в 1930-е годы ему на смену пришёл более совершенный [селеновый выпрямитель](#).

Аналогия между выпрямителем на закиси меди и вакуумным диодом была очевидна для всех, изучавших полупроводники, — поэтому многие задумывались о том, как **внедрить в выпрямитель третий, управляющий [электрод](#) («сетку»)**, сделав из выпрямителя усилитель.



**Нереализованный «[полевой транзистор](#)» Лилиенфельда.** Патент США 1 745 175 на «метод и устройство управления электрическими токами» с приоритетом от 8 октября 1926 года (выдан 28 января 1930 г) - твердотельный усилитель, состоящий из слоёв металла и полупроводника. Лилиенфельд не смог довести своё предложение даже до стадии макета: его проект не мог быть реализован в 1920-е годы из-за недостаточного развития [фундаментальной науки](#). Все эти безуспешные эксперименты в той или иной мере воспроизводили устройство вакуумного [триода](#).

*\*)Представляет собой медную пластину, на поверхность которой нанесён слой закиси меди (1020-1040 град), полученный при термической обработке меди в атмосфере кислорода. Закись меди приобретает свойство p-проводимости, а слой, прилегающий к медной пластине при избытке ионов меди, приобретает свойство n-проводимости. Допустимое обратное напряжение на вентиле не превышает 10 В. При*

*напряжении 20—30 В происходит пробой. Для работы при больших напряжениях используется последовательное соединение вентиляй.*

***Максимальная рабочая температура** вентиля не должна превышать 60 °С. Максимальная допустимая плотность тока медно-закисных вентиляй — 0,1 А/см².*

Во время [Второй мировой войны](#) исследовательские бюджеты многократно выросли. Все существенные достижения были связаны с военным заказом в детектировании отражённого сигнала в радиолокации, где были бессильны вакуумные лампы. Излучатели ранних радиолокаторов работали на частотах до 3 ГГц, а частотный диапазон детекторов на вакуумных диодах был ограничен 400 МГц. Контактные полупроводниковые детекторы, напротив, могли эффективно выпрямлять [сверхвысокие частоты](#), поэтому в конце 1930-х годов правительства Великобритании, Германии и США начали масштабные проекты по совершенствованию полупроводников. Были исследованы фундаментальные свойства полупроводников и заложены основы технологии их производства, сделавшие возможным серийный выпуск полупроводниковых приборов.

**Открытие p-n-перехода.** К началу 30-х годов немецким физиком Вальтером Шоттки экспериментально было установлено два типа полупроводников — «избыточные» и «дефектные». К «избыточным» он относил полупроводники, которые имели отрицательное значение эффекта Холла. Ныне их определяют как полупроводники n-типа (от слова negative). «Дефектными» назывались образцы, имеющие положительное значение эффекта Холла, p-тип (от слова positive). Ученым компании «Bell Labs» в 1935 году удалось экспериментально получить слиток кремния, у которого с одной стороны была проводимость p-типа, а с другой n-типа и вырезать из слитка образец, содержащий в себе p-n переход. В Советском союзе в 1937г. акад. А. Ф. Иоффе и А. В. Иоффе обратили внимание на возможность

выпрямления в контактном слое, образованном двумя полупроводниками с проводимостью разного типа. Теория выпрямления в таком слое без учета контактной разности потенциалов была разработана Б.И. Давыдовым (инжекция). Но, явления, рассчитанные по этой теории, были на порядок меньше реальных.

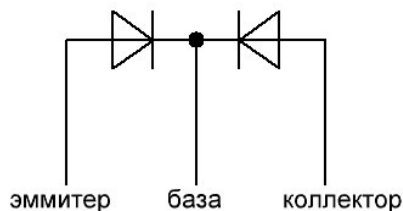
В 1936 году [Уильяму Шокли](#) (1910-1989) было поручено изучить возможность создания **твёрдотельных переключателей**, способных в перспективе заменить электромеханические [реле](#) телефонных станций. Изучив опубликованные работы Пола, [Иоффе](#) и Давыдова и результаты экспериментов Браттейна, Шокли пришёл к выводу о невозможности внедрения управляющего электрода в массив полупроводника (рассматривались два полупроводника, германий и кремний). В октябре 1939 года среди заготовок для детекторов нашёлся странный образец, электрические параметры которого вели себя настолько беспорядочно, что дальнейшие измерения казались бессмысленными.. Образец реагировал на свет, а степень наблюдаемого [фотоэффекта](#) на порядок превосходила фотоэффект в традиционных [фотоэлементах](#). Браттейн догадался, что фотоэффект возникает на **некоем невидимом барьере** между двумя слоями кремния и что этот же барьер должен выпрямлять переменный ток. Именно изменение проводимости на переменном токе давало необъяснимые, бессмысленные результаты. Вскоре буквально увидели этот барьер: травление азотной кислотой вскрыло видимую глазу границу между двумя слоями кремния и дали этим слоям новые названия: «**кремний р-типа**» (*positive*, положительный) и «**кремний п-типа**» (*negative*, отрицательный).

**Изобретение транзистора.** Транзисторный эффект был выявлен в 1947 г. при исследовании двух близко расположенных точечных контактов, образующих в местах контактов р-п-переходы («кошачий ус»). У. Браттейн случайно перепутал полярность питания на одном из контактов и вдруг обнаружился **усилительный эффект**. Дж. Бардин дал его научное объяснение, введя понятие инжекции подвижных

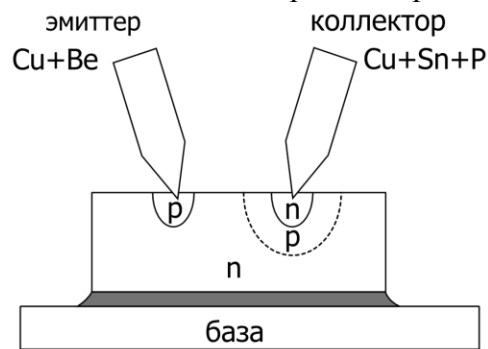
зарядов из открытого р-п-перехода в прилегающую к нему область полупроводника. 16 декабря 1947 года физик-экспериментатор Уолтер Браттейн, работавший с теоретиком Джоном Бардином, собрал первый работоспособный точечный транзистор. Спустя полгода, но до обнародования работ Бардина и Браттейна, немецкие физики Герберт Матаре и Генрих Велькер представили разработанный во Франции точечный «транзистрон».

Транзистор Браттейна и Бардина - чрезвычайно простое устройство. Его единственным полупроводниковым компонентом был кусочек чистого германия, добыть который не составляло труда. А вот техника легирования полупроводников в конце сороковых годов еще находилась во младенчестве, в Белловских лабораториях владели ею не слишком хорошо, и поэтому изготовление транзистора "по Шокли" заняло долгое время.

Так из безуспешных попыток создать сначала **твёрдотельный аналог вакуумного триода**, а затем полевой транзистор, родился первый несовершенный точечный биполярный транзистор. Первые точечные транзисторы состояли из германиевого кристалла с п-проводимостью, служившего базой, на которую опирались два тонких бронзовых острия, расположенные очень близко друг к другу — на расстоянии нескольких микрон. Одно из них (обычно бериллиевая бронза) служило эмиттером, а другое (из фосфорной бронзы) — коллектором. При изготовлении транзистора через острия пропусклся ток силой примерно в один ампер. Германий при этом расплавлялся, так же как и



кончики остриев. Медь и имеющиеся в ней примеси переходили в германий и образовывали в непосредственной близости от точечных контактов слои с дырочной проводимостью.



В 1948—1951 годах специалисты Bell Labs пытались наладить серийный выпуск точечных транзисторов, используя имеющуюся технологию контактных детекторов СВЧ-излучения и добились успеха благодаря случайному совпадению: фосфористая бронза коллекторных контактов загрязняла поверхность германия атомами фосфора, создавая островки проводимости n-типа.

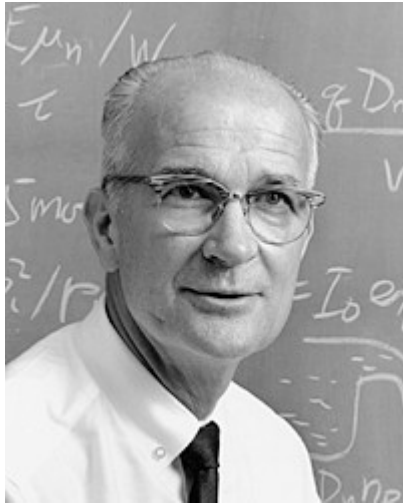
**Структура точечного транзистора.** Профили проводимости эмиттерного и коллекторного переходов определяются материалами электродов и режимом электротермотренировки. Точечный транзистор, выпускавшийся серийно около десяти лет, оказался тупиковой ветвью развития электроники — ему на смену пришли германиевые плоскостные транзисторы. Тем не менее, точечные транзисторы выпускались почти десяток лет, поскольку последовавшие за ним транзисторы на выращенных кристаллах и сплавные транзисторы уступали им в частотных свойствах.

Эти транзисторы не отличались надежностью из-за несовершенства своей конструкции. Они были нестабильны и не могли работать при больших мощностях. Стоимость их была велика. Однако они были намного надежнее вакуумных ламп, не боялись сырости и потребляли мощности в сотни раз меньшие, чем аналогичные им электронные лампы. Их КПД достигал 70%, в то время как у лампы он редко превышал 10%. Поскольку транзисторы не требовали накала, они начинали работать немедленно после подачи на них напряжения. К тому же они имели очень низкий уровень собственных шумов, и поэтому аппаратура, собранная на транзисторах, оказывалась более чувствительной.

**Транзистрон Матаре и Велкера.** В 1944 году немецкий физик Герберт Матаре, работавший над снижением шумов СВЧ-детекторов, изобрёл «дуодиод» — полупроводниковый выпрямитель с двумя точечными контактами. В 1946 году французские и британские агенты разыскали Велкера и Матаре, допросили их о немецких разработках в радиолокации и предложили работу на французском отделении Westinghouse, где в то время разворачивалось производство германиевых выпрямителей. Оба согласились - заниматься наукой в разгромленной Германии было невозможно. В июне 1948 года, до обнародования изобретения Бардина и Браттейна, они продемонстрировали усовершенствованный «дуодиод», а фактически — точечный транзистор. Транзистрон не был чисто лабораторным изделием. К тому времени в парижском филиале Westinghouse был организован небольшой цех, где изготавливали эти приборы. Работали лучше и дольше американского аналога - за счет более тщательной сборки. В мае 1949 года Матаре и Велкер объявили о начале мелкосерийного выпуска транзистронов для дальней телефонной связи.

**Современную теорию p-n-перехода и плоскостного транзистора** создал в 1948—1950 годах **Уильям Шокли**. Первый плоскостной транзистор был изготовлен 12 апреля 1950 года методом выращивания из расплава. За ним последовали сплавной транзистор, «электрохимический» транзистор и диффузионный меза-транзистор. В 1954 году Texas Instruments выпустила первый кремниевый транзистор. Открытие процесса мокрого окисления кремния сделало возможным выпуск в 1958 году первых кремниевых меза-транзисторов, а

в марте 1959 года Жан Эрни создал первый кремниевый планарный транзистор. Кремний вытеснил германий, а планарный процесс стал основной технологией производства транзисторов и сделал возможным создание монолитных интегральных схем.



Уильям Шокли в 1975 году

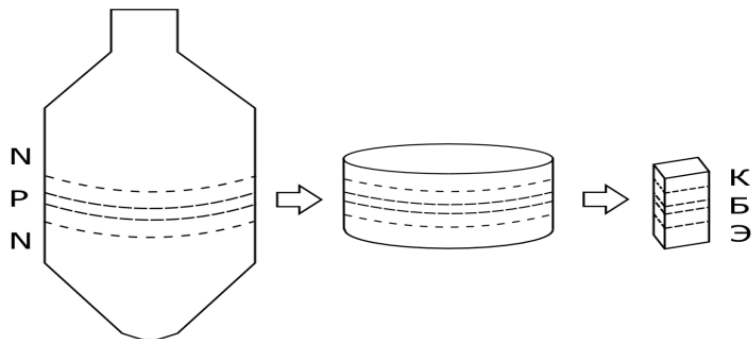
**Ни в одной рукописи Бардина и Браттейна не упоминались неосновные носители и инжекция заряда — понятия, без которых невозможно было правильно описать поведение транзистора.** Решение было записано в блокнотах Шокли — первые наброски теории р-n-перехода в германии Шокли создал ещё в апреле 1947 года. В январе 1948 года Шокли осознал, что использованная им модель не учитывала инжекции неосновных носителей заряда в базу. Учёт механизма инжекции сделал модель полностью работоспособной. Не позднее 23 января 1948 года Шокли составил патентную заявку на биполярный транзистор (будущий патент США 2 569 347) и оформил свои идеи в законченную теорию. В русском переводе 1953 года книга Шокли «Теория электронных полупроводников: Приложения к теории транзисторов», по словам Ж. И. Алфёрова, стала «настойной книгой по обе стороны Атлантического океана». В ней впервые появились такие привычные ныне, но не очевидные в 1948 году утверждения, как необходимость прямого

смещения эмиттерного р-n-перехода и обратного смещения коллекторного перехода. Следует отметить, что Шокли описал именно плоскостной транзистор (транзистор на р-n-переходах, англ. **junction transistor**), а теорию точечного транзистора и кристадина (Лосева) так никто и не создал.

Далее история развития становится целиком **технологической**:

а) **Метод выращивания р-n-переходов из расплава** — исторически первая технология производства плоскостных транзисторов. В 1950 вырастили первую п-n-п-структуру. Массовое производство первых полноценных биполярных германиевых транзисторов «по Шокли» началось в 1951 году на Western Electric. Германий расплавляли и опускали в него затравку — маленький кристалл, с правильно ориентированной решеткой. Вращая затравку вокруг оси, ее медленно приподнимали. Вследствие этого атомы вокруг затравки выстраивались в правильную кристаллическую решетку и затвердевали. В результате получался монокристаллический стержень (база). Далее на обе стороны пластинки германия накладывали маленькие кусочки индия и быстро нагревали их до 600 градусов. При этой температуре индий сплавлялся с находящимся под ним германием. При остывании насыщенные индием области приобретали проводимость р-типа, формируя эмиттер и коллектор. Если при вытягивании кристалла из расплава германия р-типа затравкой служил кристаллик n-типа, то внутри стержня формировался плавный р-n-переход. Позже, из расплава вытягивалась низкоомная коллекторная область n-типа. Затем в расплав вбрасывали таблетку акцепторной примеси, растворявшуюся в тонком поверхностном слое — так формировался слой базы





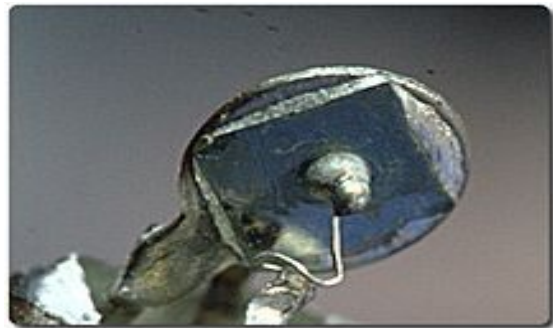
толщиной от 25 до 100 микрон. Сразу после создания базы в расплав вбрасывали таблетку донорной примеси для легирования эмиттера. Полученную трёхслойную NPN-структуру вырезали из кристалла, распиливали на продольные столбики.

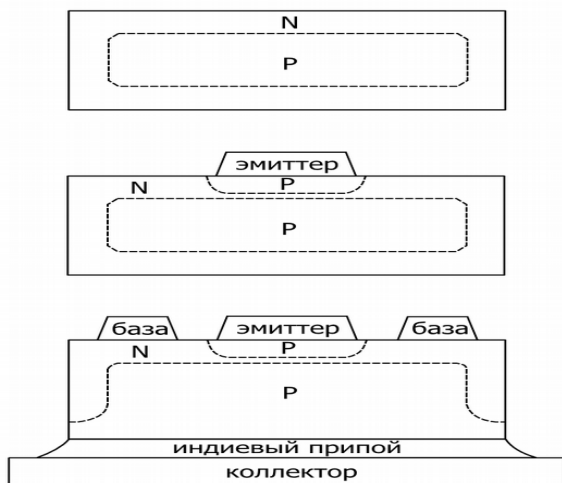
Первый выращенный кремниевый транзистор изготовил на [Texas Instruments](#) Тил в апреле 1954 года. Три последующие года, когда Texas Instruments была единственным поставщиком кремниевых транзисторов в мире, озолотили компанию и сделали её крупнейшим поставщиком полупроводников.

Regency TR-1 — первый в мире **серийный полностью транзисторный радиоприёмник** (на 4-х транзисторах), поступивший в широкую продажу в США 1 ноября 1954 года и сразу производившийся сотнями тысяч штук.

**Сплавной транзистор.** В основе типичного сплавного транзистора PNP-типа была тонкая пластина германия n-типа, служившая базой. Эти пластины сплавлялись с индиевыми или мышьяковыми бусинами, а затем отжигались при температуре около 600 °С. Практически все сплавные транзисторы изготавливались из германия — реализация сплавной технологии в кремнии оказалась слишком сложной и дорогой. Переходы между зонами p-типа и n-типа в сплавных транзисторах были резкими, в отличие от плавных переходов выращенных транзисторов, благодаря чему сплавные транзисторы имели больший коэффициент усиления по току и были более эффективными переключателями в цифровых схемах. Первые практические сплавные

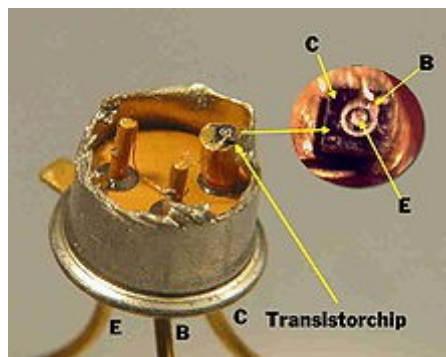
транзисторы были выпущены [General Electric](#) в 1952 году.





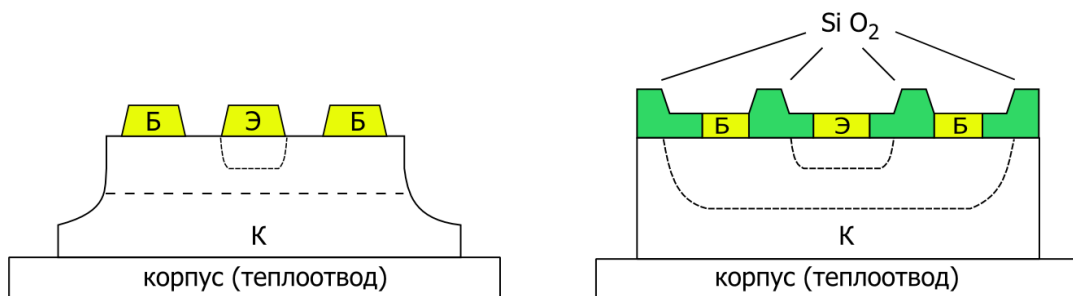
**Диффузионно-сплавной меза-транзистор** по Дэйси, Ли и Шокли (1955). Три этапа технологии: диффузия n-базы (из газовой среды), сплавление p-эмиттера, пайка p-коллектора к основанию. Технология пошла в серию на [Western Electric](#) — все выпущенные транзисторы были распределены между самой Western Electric и узким кругом военных заказчиков. Транзисторы этого типа имели граничную частоту до 200 МГц.

В начале 1955 года в диффузионной печи в Bell Labs произошла случайная вспышка [водорода](#). Часть водорода в печи сгорела. Опытная кремниевая пластина покрылась тонким слоем [диоксида кремния](#). Сотрудники обстоятельно изучили процесс [мокрого термического окисления](#) и довели его до внедрения в промышленное производство. В отличие от непредсказуемого в то время сухого окисления в атмосфере кислорода мокрое окисление водяным паром оказалось легко воспроизводимым процессом, а полученные оксидные слои — равномерными и достаточно прочными.



В августе 1958 года Fairchild Semiconductor представила разработанный **Гордоном Муром** 2N696 — первый **кремниевый меза-транзистор** и первый меза-транзистор, продававшийся на открытом рынке США. Технология его производства принципиально отличалась от «таблеточных» процессов Bell Labs и Philips тем, что обработка проводилась целыми, неразрезанными пластинами с применением фотолитографии и мокрого окисления. Непосредственно перед резкой пластины на индивидуальные транзисторы проводилась операция глубокого травления (англ. *mesaing*) пластины, разделявшая островки-мезы (будущие транзисторы) глубокими канавками. 2N696 выгодно отличался от ближайших конкурентов (сплавных транзисторов [Texas Instruments](#)) сочетанием бóльшей допустимой мощности и хорошего быстродействия в цифровых схемах и потому стал на время «универсальным транзистором» американского

ВПК. Меза-технология дала разработчикам беспрецедентную гибкость в задании характеристик p-n переходов и позволила довести допустимое напряжение на коллекторе до нескольких киловольт, а рабочую частоту до 1 ГГц. Но она была непригодна для производства интегральных схем.



## Планарный транзистор

Ещё 1 декабря 1957 года предложен **планарный процесс** — перспективную замену меза-технологии. Планарная структура должна была формироваться двумя последовательными диффузиями, создающими вначале слой базы, а затем вложенный в него слой эмиттера. Выходы коллекторного и эмиттерного переходов на *верхнюю* поверхность кристалла изолировались от внешней среды

слоем «грязного» оксида, служившим маской при второй (эмиттерной) диффузии. Это предложение, так же, как и легирование золотом, противоречило общепринятому тогда мнению. В октябре 1960 года **Fairchild** анонсировала полный отказ от меза-транзисторов. С тех пор планарный процесс остаётся **основным способом производства транзисторов и фактически единственным способом производства интегральных схем**.

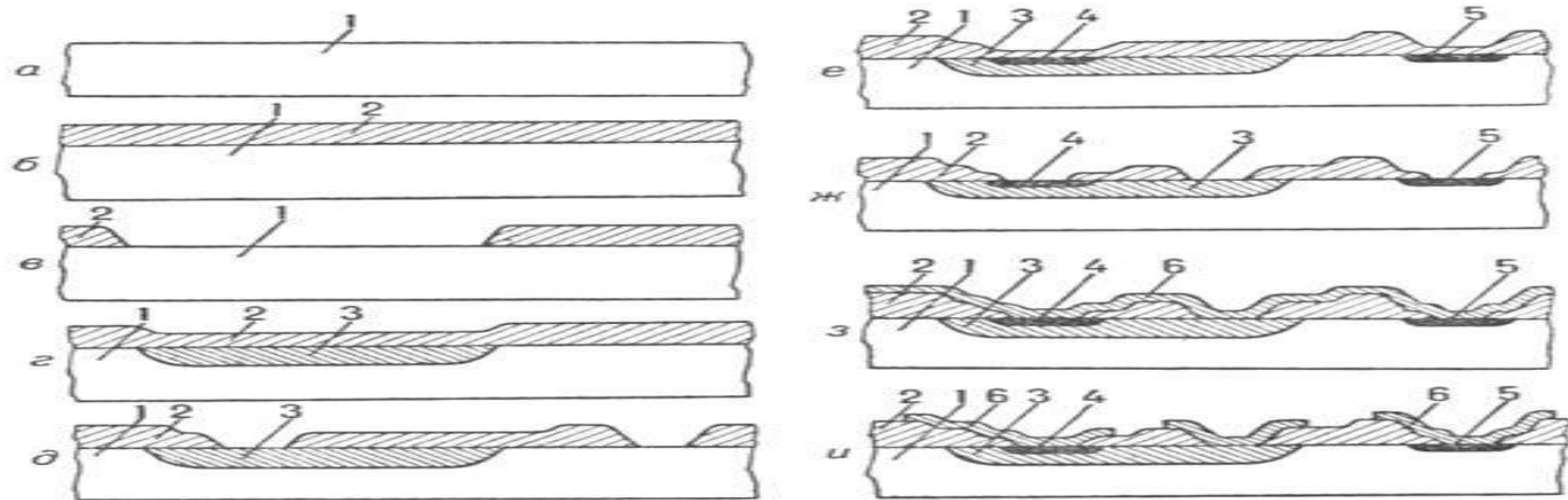
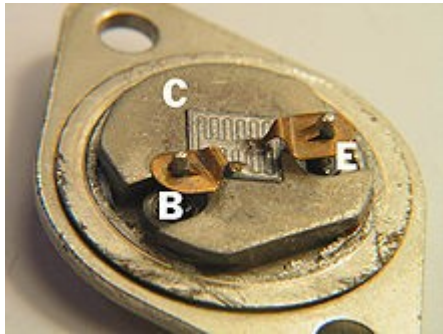


Схема изготовления планарного биполярного  $n-p-n$ -транзистора: *a* — исходная пластина из монокристаллич.  $n$ -Si (1); *b* — после первого окисления (2 — слой  $\text{SiO}_2$ ); *в* — после первой фотолитографич. обработки; *г* — после создания области базы  $p$ -Si (3) и повторного окисления; *д* — после второй фотолитографич. обработки; *е* — после создания областей эмиттера (4) и контакта к коллектору  $n^+$ -Si (5); *ж* — после третьей фотолитографич. обработки; *з* — после металлизации Al (6); *и* — готовая транзисторная структура после четвертой фотолитографич. обработки.



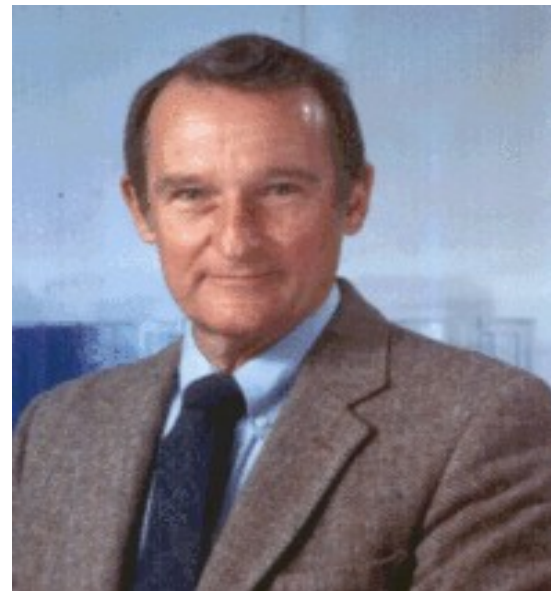


**Мощный транзистор** с гребёночной топологией базы и эмиттера (коллектором служит тело кристалла, припаянное к корпусу). В 1961 году кремниевые транзисторы Fairchild 2N709, спроектированные по заказу [Сеймура Крэй](#), впервые превосходили германиевые транзисторы по скорости переключения. К концу 1960-х годов опытные транзисторы достигли рабочих частот в 10 ГГц, сравнявшись по быстродействию с лучшими СВЧ-радиолампами. В 1963 году появился первый эпитаксиальный силовой транзистор с сопротивлением базы порядка 1 Ом, что позволило управлять токами в 10 А и более. В 1965 году [RCA](#) выпустила первый [многоэмиттерный транзистор](#) с мозаичной топологией, в том же году появились силовые меза-транзисторы с допустимым напряжением в 1 кВ. В 1970 году рабочий диапазон частот опытных мощных транзисторов достиг 2 ГГц при рассеиваемой мощности 100 Вт.

**CDC 6600** — первый в мире суперкомпьютер, разработанный и созданный в 1963 году под руководством **Сеймура Крэй**, названного впоследствии «отцом суперкомпьютеров».



*Gordon Moore (Гордон Эрл Мур)* - почётный председатель совета директоров и основатель корпорации [Intel](#) (1968), основоположник «[закона Мура](#)».

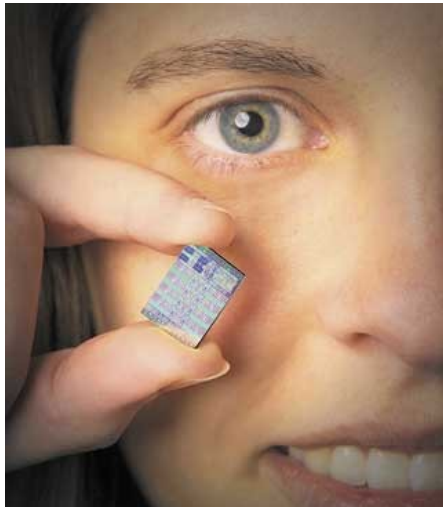


**Seymour Cray (Сеймур Роджер Крэй)** американский инженер в области вычислительной техники, создатель ряда американских суперкомпьютеров. Крэй построил первый полноценный 48-битный компьютер [CDC 1604](#), используя германиевые транзисторы. Основал [CDC](#), [Cray Research](#), Cray Computer Corporation, [SRC Computer](#).

В CDC 6600 Крэй вместо германиевых применил планарные кремниевые транзисторы компании Fairchild Semiconductor. Благодаря более высокой скорости переключения логических вентилях, построенных на этих транзисторах, удалось значительно повысить быстродействие компьютера и сильно упростить его схему. Несмотря на то, что кремниевые транзисторы выдерживают гораздо более высокие рабочие температуры, чем германиевые, из-за высокой плотности упаковки (400 000 логических элементов) компьютера с целью сокращения длины электрических цепей в CDC 6600 Крэю пришлось задуматься над отводом тепла — воздушной вентиляции оказалось недостаточно. Инженер Дин Роуш разработал систему охлаждения, которая с помощью алюминиевых радиаторов отводила тепло от печатных плат с транзисторами к трубкам, по которым циркулировал фреон, как в настоящем холодильнике.

**Высокой скорости** удалось добиться благодаря нескольким новаторским решениям в архитектуре: главный процессор компьютера выполнял только логические и арифметические операции. Работа с периферийными устройствами была возложена на 10 «периферийных процессоров», главное назначение которых было «скармливать» данные с устройств ввода центральному процессору и забирать результаты для отправки на устройства вывода. Это позволило разгрузить центральный процессор, сократить набор его машинных команд до минимума и сделать их выполнение очень быстрым, то есть практически реализовать идею, которая позднее, в 1970-х годах, была воплощена в RISC-процессорах. В центральном процессоре имелся **конвейер команд** — новинка в компьютерной индустрии того времени.

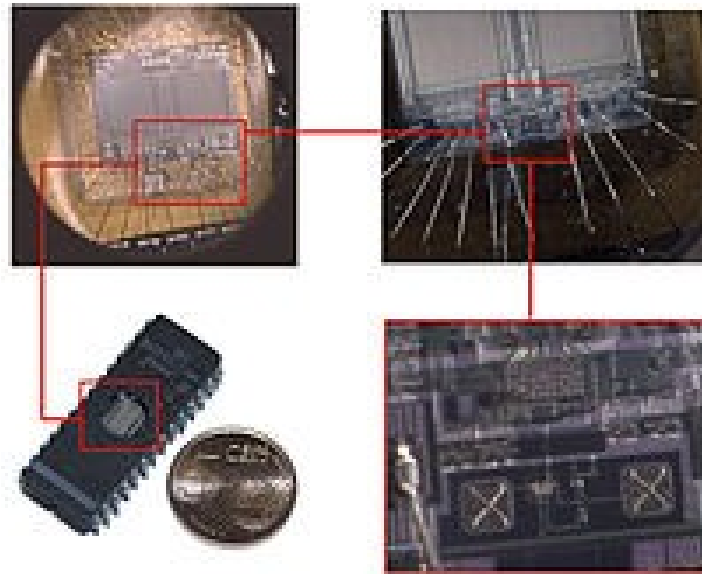
**Изобретатель микросхемы Нойс** главное изобретение жизни сделал, по его собственным словам, из лени. Ему надоело наблюдать, как при изготовлении микромодулей пластины кремния сначала разрезали на отдельные транзисторы, а затем опять соединяли друг с другом в единую схему. Процесс был трудоемким (все соединения паялись вручную под микроскопом) и дорогостоящим. Когда в 1958 году Нойс сообразил, как изолировать друг от друга отдельные транзисторы в кристалле, родились всем знакомые микросхемы – пластинки с графическим лабиринтом «дорожек» из алюминиевых напылений, отделенных друг от друга изолирующим материалом.



структур. В том же году Аттала МОП-транзистор. RCA и МОП-технологией уже в 1960 опытную **МОП-микросхему** с [Чин-Тан Са](#) и [Фрэнк Уонлес](#) схемотехнику.

Первые серийные МОП-1964 году, в том же году МОП-микросхему, в 1970-е годы МОП-микросхемы завоевали рынки микросхем памяти и микропроцессоров, а в начале XXI века доля МОП-микросхем достигла 99 % от общего числа выпускаемых интегральных схем (ИС).

Роберт Нойс не дожидаясь положенной ему по праву Нобелевской премии 2000 года ровно десять лет – в 63-летнем возрасте он скончался в своем рабочем кабинете от сердечного приступа. Но до этого он основал вместе с Муром еще одну знаменитую компанию. Бросив в 1968 году налаженный бизнес в Fairchild Semiconductor, друзья решили назвать свое новое детище: Integrated Electronics - **Intel**.



**Полевой транзистор.** В течение десяти лет (1948—1958) тема оставалась безрезультатной из-за отсутствия подходящих диэлектриков и технологических проблем. Важнейшие события происходили в стенах Bell Labs. В 1959 году [Мартин Аттала](#) предложил выращивать затворы полевых транзисторов из диоксида кремния; приборы такого типа получили название [МОП-](#) и [Дион Канг](#) создали первый работоспособный Fairchild начали активно экспериментировать с году, а в 1962 году RCA изготовило первую **шестнадцатью транзисторами**. В 1963 году предложили **комплементарную МОП-**

транзисторы RCA и Fairchild вышли на рынок в General Microelectronics выпустила первую