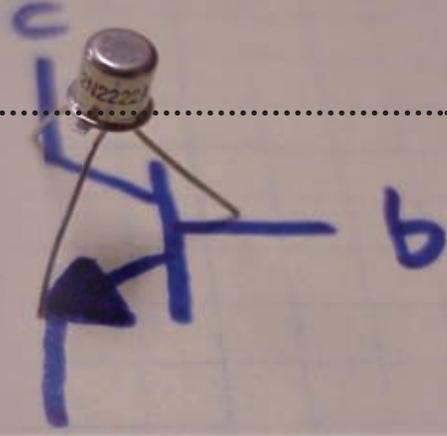


ТРАНЗИСТОР – НАШЕ ВСЕ

К ИСТОРИИ ВЕЛИКОГО ОТКРЫТИЯ

ЧАСТЬ 2



Ю.Носов, д.т.н.

Автор посчитал необходимым дополнить имеющиеся источники свидетельствами наших ветеранов электроники и провел интервью с многими из них. Фрагменты этой устной истории использованы в настоящей статье.

НАША ТРАНЗИСТОРНАЯ САГА

Отечественную транзисторную историографию принято начинать с кристадина Лосева. В 1922 году в Нижегородской радиолaborатории О.В.Лосев обнаружил, что некоторые образцы точечно-контактных карбидокремниевых детекторов обладают не только выпрямительными, но и усилительными свойствами. Их начали использовать для изготовления радиоприемников – сначала простейших, прямого детектирования, а затем и гетеродинных. Отсюда и "кристадин" – как производное от кристалл и гетеродин. Заметим, что термин "подарили" Лосеву немцы – Запад, в отличие от нас, всегда понимал, что для продвижения нового в науке, как и в торговле, нужен звучный бренд. Кстати, транзистор (от transfer – переносить и resistor – сопротивление) окрестили транзистором, не просто так, а перебрав множество "имен" и занималась этим вся группа. Плоскостной транзистор поначалу называли "персистером". Но название не прижилось, а вскоре и вообще необходимость в отдельном термине отпала – точечный транзистор канул в Лету и остался просто транзистор. (В 1929 году В.К.Зворыкин неделю просидел в библиотеке, во роша греческие и латинские словари, и подобрал имя своему изобретению – кинескоп, которое живет уже 80 лет. Нужно это дело, как и выбор имени новорожденному.)

В эпоху повального и повсеместного радиолюбительства открытие Лосева пришлось ко двору, вошло в историю радиотехники. Это наша законная национальная гордость. Но параметры усиливающих детекторов были невысокими и невоспроизводимыми, физику их работы тогда так никто и не понял (только в 1970-е годы черновицкий профессор Л.А.Косяченко ее "расшифровал", приравняв к подобию тиристорного эффекта), а потому и усовершенствовать их не смогли. Под напором быстро развивающихся вакуумных радиоламп кристадин постепенно сошел со сцены.

Свое открытие Лосев сделал, когда ему еще не было и 19 лет. За плечами только школа и радиолюбительская практи-

ка, в лабораторию он был принят посыльным. Вне всякой логики и вопреки элементарной теории (которой он не знал) Лосев предположил, что нелинейности детекторной характеристики обязательно должны сопутствовать и усилительные свойства, которые он и начал целенаправленно искать и нашел, конечно же, и благодаря случаю. (В порядке отступления напомним, что в дальнейшем Олег Васильевич вырос в высококвалифицированного физика-экспериментатора и в 1927 году открыл электролюминесценцию полупроводников – основу светодиодов. И еще – типичный советский коллективист в жизни, в науке он был однозначно индивидуалистом: учась у мэтров, слушал только внутренний голос, самостоятельно ставил цели исследований. Все его статьи без соавторов. Он не "лег" ни под одного из авторитетов – В.К.Лебединского, М.А.Бонч-Бруевича, А.Ф.Иоффе, – встреченных на жизненном пути. Он – вне школ.)

В 1930-е годы начала складываться полупроводниковая школа А.Ф.Иоффе, получившая позднее мировую известность. Отправной точкой послужили западные изобретения выпрямителя (1926 год) и фотоэлемента (1930 год) на основе закиси меди. В ленинградском Физико-техническом институте к этой тематике добавили исследования термоэлектричества – во время войны на всю страну прогремели термогенераторы Иоффе, которые обеспечивали работу радиоприемников наших разведчиков и партизан. Заметным достижением стали теория выпрямления Б.И.Давыдова (1938 год) и работы Я.И.Френкеля по туннельному эффекту и дефектам кристаллов – их цитирует Запад. Большие усилия вкладывались ленинградцами (и под их влиянием – киевлянами) в синтез все новых и новых полупроводниковых соединений с надеждой на обнаружение высокой термо- и фотоэлектрической чувствительности (чаще всего – мимо).

Но все это к истории транзистора (пожалуй, и ко всей западной полупроводниковой деятельности) сколько-нибудь заметного отношения не имеет: транзисторный проект основывался не на "кристадине Лосева", а теория р-п-перехода Шокли – не на статьях Б.И.Давыдова. То же можно сказать и о немцах – Ю.Лиленфельде, Р.Поле, Р.Жильше, – которых частенько упоминают как "предшественников". В Киеве бузина, в огороде дядька. Не ими вдохновлялись Шокли и Бардин, а квантовой механикой, зонной теорией А.Вильсона и, опосредованно,



заразительными успехами атомного и радарного проектов.

Наша полупроводниковая наука свой транзисторный проект не сформулировала, более того – после публикаций компании Bell Labs транзистор для Академии наук не стал приоритетом №1, а лишь "одним из". На VII Всесоюзном совещании по полупроводникам (1950 год), первом послевоенном, почти 40% докладов было посвящено фотоэлектричеству, значительное число – новым полупроводникам и ни одного – германию и кремнию. А еще в высоких научных кругах очень щепетильно относились к терминологии, называя "транзистор" "кристаллическим триодом" и пытаясь заменить "дырки" на "отверстия".

Без цели поиска нет и находок. В 1940 году киевлянин В.Е.Лашкарев предложил методику термозонда для исследования приповерхностных свойств кристаллов. Приближая термозонд к игле детектора, исследователь фактически воспроизводил структуру точечного транзистора (см. ч.1, рис.2), еще бы шаг и ... Но этот шаг так и не был сделан. Более того, в детекторной группе С.Г.Калашникова в 1946–1947 годы даже наблюдали транзисторные характеристики, и тому есть свидетельства в рабочих журналах, но подобные приборы "отбрасывались как брак" (из воспоминаний Н.А.Пенина, сотрудника группы Калашникова, на заседании по случаю пятидесятилетия транзистора, 28.10.1997 год, МИРЭА).

Наша реальная транзисторная предыстория началась, как и у "них" с потребностей практики. В 1943 году по инициативе А.И.Берга – будущего академика – было принято знаменитое Постановление № ГОКО-3683сс Государственного Комитета Оборона "О радиолокации", в развитие которого в специально организованных НИИ-108 и НИИ-160 начались в частности разработки полупроводниковых детекторов. "Детектор – сердце радара", – говорил А.И.Берг. Обстановка сразу же сложилась творческая и очень динамичная. Из воспоминаний Пенина: "Однажды в лабораторию вбежал возбужденный Берг (тогда научный руководитель Совета по радиолокации и директор НИИ-108. – Прим. автора) с журналом *Journal of Applied Physics*: "Вот статья о сварных детекторах для радаров, переписывай журнал на себя и действуй". К 1950 году мы это сделали, зашли с Калашниковым к Бергу, он тут же по телефону доложил Сталину и тот благословил: "Представляйте на премию". Такая легкость общения с вождем, разумеется, миф, остальное вполне правдоподобно и передает атмосферу тех лет. Сталинскую премию они действительно получили в 1951 году. Еще раньше высокой наградой были отмечены работы по детекторам в НИИ-160 (г. Фрязино Московской области) под руководством Александра Викторовича Красилова.

Однажды, в конце 1948 года, Берг обратил внимание на статью Бардина и Браттейна "Транзистор – полупроводниковый триод", дал знать во Фрязино. Красилов подключил к проблеме дипломника С.Г.Мадоян, и к весне следующего года эксперимент Браттейна был воспроизведен. А дальше – стоп. "Настоящую" НИР по точечным транзисторам поставили лишь

через два года, выполнять ее поручили Ф.А.Щиголю, только что защитившему диплом все у того же Красилова, а в помощники придали еще одного дипломника Н.Н.Спиро (все трое – будущие лауреаты Ленинской премии).

Значимость тех событий у нас традиционно переоценивают, возводя их в ранг "создания первого отечественного транзистора". Гордиться есть чем, ведь повторить – это значит сделать своим достоянием (речь не о приоритете). Это заявка на второе, почетное, место в транзисторной "гонке". Однако транзистор весной 1949 года сделан не был, был лишь продемонстрирован транзисторный эффект на микроманипуляторе, да и германиевые кристаллы использовались не свои, а выковырянные из детекторов фирмы Philips. Казалось бы, надо сделать следующие шаги, почему же остановились?

К 50-летию транзистора я опубликовал в "Независимой газете" большую статью, пафосно отметив роль А.В.Красилова. В СМИ это прозвучало впервые, и ему понравилось – а кому бы нет? (Настолько, что в 2003 году свое приветствие "Пульсару" он подписал "создатель первого отечественного транзистора", опустив "лауреат Ленинской и Сталинской премий" – переходящее ничто в сравнении с вечным.) Тогда же накоротке я поинтересовался мнением Александра Викторовича о статье – "История правдивая и написана прекрасно", но с улыбкой добавил, "А вообще-то все было не так". Вернуться к разговору как-то не удавалось, хотя мы и заседали в одном диссертационном совете, а вскоре Александр Викторович ушел из жизни. Версия "как было на самом деле" складывалась уже без него, помогли беседы с А.А.Чернявским, Ф.А.Щиголем, Ю.А.Концевым.

Во-первых, в конце 1940-х в радиоэлектронике доминировала "радарная философия", именно под радиолокацию в электровакуумном НИИ-160 разрабатывались магнетроны, клистроны, ЛБВ, и их создатели – С.А.Зусмановский, Н.Д.Девятков, А.П.Федосеев, В.А.Афанасьев и др. – естественно были на первых ролях. Кремниевые детекторы тоже предназначались для радаров, значит и им здесь место. Красилов сверх меры был перегружен правительственными темами. Так зачем же еще играть с транзистором, прибор ведь явно не для СВЧ (кто мог тогда заглянуть вперед на десятилетия?)

Во-вторых, в течение нескольких лет мир (за исключением первооткрывателей) вообще игнорировал транзистор, "британские исследователи считали его какой-то умно придуманной рекламной штучкой фирмы Bell" (из книги 1987 года немецкого историка Х.Кьюссера). Наши генералы вторили скепсису американских: "Транзистор никогда не будет использоваться в "серьезной" аппаратуре, только – в слуховых аппаратах, вот пусть им и занимается собес". Увы, это говорилось и в 1954–1955 годы. (Когда отношение к транзистору круто изменилось, эти же генералы начали сурово требовать от системщиков резкого повышения "коэффициента транзисторизации", был такой термин. Но было и другое: еще в 1952 году во Фрязино над транзисторами трудились и навсегда прикипели к ним ка-

питан Я.А.Федотов из Академии им. Жуковского и В.И.Минц, откомандированный из военного ЦНИИИ-22. Не гнушались быть на подхвате, лаборантов не хватало. Очень скоро военпреды страны, возглавляемые генералами Р.П.Покровским и Е.А.Сугробовым, стали надежными охранителями транзисторного направления.)

В-третьих, даже если бы транзисторы и появились в 1949 году, их некому было бы "предъявить": отраслевой полупроводниковой науки не было, "академиков" транзисторные дела тогда не волновали, о создателях аппаратуры и говорить нечего. А транзистор не просто "еще один прибор", это новая философия электроники, для ее вхождения в жизнь необходимо соответствующее научное сообщество, его-то и не было.

В-четвертых, существовал еще и наш, отечественный фактор. Раскручивался "еврейский вопрос", те, кто постарше и помудрее, знали, что в такой ситуации надо лечь на дно, временно исчезнуть. Года два А.В.Красилов редко бывал в НИИ-160. Говорили, что он внедряет детекторы на Томилином заводе. (Как раз тогда несколько заметных фрязинских СВЧ-истов во главе с С.А.Зусмановским не по своей воле загремели в Саратов "поднимать" поволжскую электронную целину. Кстати, Саратову это оказалось явно в масть). Затянувшаяся "командировка" Красилова не только притормозила наш транзисторный старт, но и породила в ученом – тогдашнем лидере и авторитете, подчеркнутую осторожность и осмотрительность, что позднее, возможно, задержало развитие кремниевых и арсенид-галлиевых транзисторов.

В 1953 году наконец-то был создан специализированный транзисторный институт – НИИ-35, ныне "Пульсар" (Постановление ЦК КПСС и СМ СССР 1402/563 от 04.06.1953). Инициаторы его создания – М.Г.Первухин, в те дни могущественный член Политбюро и министр, которому подчинили все, связанное с электричеством и радио, А.И.Берг, академик, вице-адмирал, "без пяти минут" заместитель министра обороны и А.В.Красилов. Называют также А.Ф.Иоффе и Б.М.Вула, но это лишь обязательный реверанс в сторону Академии наук: Иоффе уже два года как был отстранен от Физико-технического института, а Вул – член корреспондент АН СССР и заведующий лаборатории ФИАН – еще не приобрел весомого авторитета.

Занятно, что быстрому становлению НИИ-35 поспособствовало яркое политическое событие 1953 года – ниспровержение всесильного Берии. В то время в Москве на Окружном проезде находилось СКБ-627, в котором пытались создать магнитное антирадарное покрытие (предвосхищение технологии СТЭЛС), и шефство над предприятием взял Берия, остро чувствующий технические оборонные новинки. После его ареста дирекция СКБ благоразумно самоликвидировалась, магнитную тематику оперативно прикрыли (успехов-то не было), и нарабатанный потенциал – здание, кадры, инфраструктура – с ходу начал работать на транзисторы. К концу 1953 года здесь оказалась и вся группа А.В.Красилова.

Всеобъемлющее Первухинское министерство оказалось трудно управляемым монстром, при реорганизации в 1954 году из него выделилось Министерство радиотехнической промышленности – МРТП, в котором направление электроники возглавил А.И.Шокин (на разных должностях это продолжалось до ухода на пенсию в 1985 году с поста министра электронной промышленности). Был образован Совет по полупроводникам, в который вошли представители Академии наук и промышленности и под эгидой которого одновременно в ФИАНе, Физтехе, НИИ-108 и НИИ-35 началось создание плоскостных германиевых транзисторов. (До сих пор не утихают споры, кто же стал первым. Ответа нет и не будет, все зависит от критериев подхода. И нет особенного смысла в отыскании "первого", ведь речь идет всего лишь о воспроизведении прибора.) А первые промышленные плоскостные транзисторы (П1, П2, их тогда еще называли триодами) и точечные (С1, С2), фактически разработанные еще в НИИ-160 во Фрязино, начал изготавливать опытный завод НИИ-35 в 1954 году. Роль Совета по полупроводникам, названного "научным", постепенно свелась к консультационно-просветительской. Его возглавлял В.И.Сифоров, номинально – заместитель министра МРТП, а по существу – ученый-радиотехник и лектор-профессор. Жестким волевым лидером он не смотрелся. Совет по полупроводникам несколько не походил на Совет по радиолокации (1943 год, Маленков, Берг) и тем более – на Спецкомитет по атомной бомбе (1945 год, Берия, Курчатов). Страна не могла (и, пожалуй, не стремилась) дать транзистору ту поддержку, что и атомной бомбе, ракетам и радиолокаторам. Было недопонимание значимости электроники для обороны, с подачи главных конструкторов систем ее относили к "комплектации".

Со второй половины 1950-х годов полупроводниками стали заниматься молодые специалисты, окончившие МЭИ, МХТИ, МИФИ и получившие соответствующую подготовку (предшествующее поколение из долгопрудненского физтеха и физфака МГУ специализировалось по ядерной физике и СВЧ-электронике, успехи в транзисторном деле достигались благодаря глубокой общей физико-математической подготовке и привитым навыкам к исследовательской деятельности). Кадровый потенциал отрасли стремительно нарастал, к созданию транзисторов подключились серийные заводы с ОКБ. От первых шагов по копированию американских образцов естественно перешли к повальному изобретательству и разработке собственных технологических схем. Отечественными хитами второй половины 1950-х стали сплавно-диффузионные высокочастотные транзисторы П401-П417 (М.М.Самохвалов), оригинальная термоконверсионная технология, использованная для изготовления мощных транзисторов (В.А.Стружинский). Появились и другие самостоятельные наработки. Транзисторы П401 выпускались многие годы сотнями миллионов штук и стали эпохой в нашем аппаратостроении.



Америка наши достижения "не заметила". Дело в том, что в 1954–1955 годы там был взят курс на кремниевые диффузионные транзисторы, все остальное перестало интересовать американцев. В 1959–1960 годы, как указывалось ранее, была разработана планарная технология. А наши, несомненно, замечательные успехи с германием, оттянув основные силы, косвенным образом притормозили кремниевую программу, которая реально началась в 1957–1958 годах (Ф.А.Щиголь, Е.З.Мазель) с разработки тоже оригинальных до вычурности сплавных транзисторов, полезных, но, по сути, не имевших долгосрочной перспективы.

Ситуация кардинально изменилась лишь после того, как наши ведущие специалисты (А.Ф.Трутко, В.А.Стружинский, Б.В.Малин) прошли стажировку в калифорнийской Кремниевой долине. В 1963–1965 годы в НИИ-35 началось активное воспроизведение американской планарной технологии и производство планарных транзисторов – страна все более определенно вставала на курс следования мировым (американским) стандартам в развитии транзисторов и транзисторной технологии. В порядке отступления заметим, что упорство приверженцев германия позволило и планарную технологию приспособить к этому материалу (чего не было сделано ни в одной стране, да никто к этому и не стремился) и разработать германиевые планарные транзисторы (ГТ346) с уникальными параметрами. Их выпуск и поставки на экспорт продолжались до середины 1990-х годов. А рассуждения на тему, копировать ли американцев, создавать ли свою "альтернативную" электронику, сочетать ли то и другое в "разумных" пропорциях (кто их определит?), ведутся не одно десятилетие.

ИСТОРИЯ УЧИТ?

При исключительном динамизме электроники сороковые-пятидесятые годы прошлого века представляются нам седой древностью. Даже недавние восьмидесятые уже окрестили компьютерным средневековьем, что, согласимся, вполне справедливо. Надо ли заниматься раскопками? "История ничему не учит, но наказывает за незнание ее уроков" (В.Ключевский). Не просто наивно, но неправильно и безответственно ориентироваться на прямые заимствования из сюжетов прошлого, со временем меняется не только исследуемый феномен, но и окружающая среда. Сегодня атомный проект не мог быть проведен так же, как в 1940-е: ни деньги всего Стабилизационного фонда, ни президентские указы не смогли бы сконцентрировать необходимые ресурсы на выполнении этой задачи. И все же в каждом великом открытии всегда есть что-то непреходящее, речь идет о научно-технических проектах XX века.

Прежде всего, это корректная формулировка начальных условий: цель проекта, своевременность его постановки (необходимость и возможность успеха уже реальны), наличие ресурсов. Кто-то должен все это увидеть, хотя бы почувствовать, и увязать воедино. Такой человек, назовем его политическим лидером проекта, на фирме Bell нашелся. Это М.Келли, директор

разработок (с 1936 года). "Заболев" мечтой о средствах глобальной связи, он логически пришел к мысли о необходимости твердотельного аналога радиолампы. Как дипломированный физик-доктор философии он интуитивно почувствовал, что без квантовой механики не обойтись, но знал также, что "свои" физики-ветераны имели о ней "рудиментарное представление". Нужна была "свежая кровь", и он начал завлекать молодежь из учебных заведений Массачусетса, Принстона, Стэнфорда. Собрал группу, определил научного руководителя, сформулировал задание. Обеспечил неограниченное финансирование проекта (сотни миллионов долларов ежегодно, что по современному курсу эквивалентно миллиардам долларов), так что использовались все известные методы исследования, "от четких теоретических предсказаний до непонятных экспериментов, напоминавших черную магию" (Кьюссер). В те годы топ-менеджеры крупных фирм уже научились распознавать вкус "настоящего мяса" и инвестировали в фундаментальные исследования столь же охотно, как прежде – в конвейерные линии и полезные производственные инструменты. При всем том Келли остался вне транзисторной славы. Правда, у него было свое личное достижение – в 1955 году он получил премию Колумба за прокладку подводной телефонной линии (на 36 каналов!) из Шотландии в Канаду. Вот он, шаг к глобальной связи.

Уильям Шокли, как руководитель группы, был далек от идеала: слишком много собственных идей, что подавляет творчество подчиненных; неважный менеджер; неуживчивый характер. Но решающими были другие его качества: высочайший профессионализм; широта кругозора, он вдохновлялся работами Бриджмена (специалист по физике сверхвысокого давления) и Ферми; амбициозность. И еще. Он "выстрадал" проект, пронес идею через долгие военные голы, сумел сцементировать всех единой целью. А группа была сформирована по мультидисциплинарному принципу – каждый мастер своего дела. В исследованиях сочетались безграничная широта теоретических фантазий и самоограничение в экспериментах. Одним из важнейших условий успеха, по воспоминаниям Бардина, стало сознательное ограничение исследований германием и кремнием – простейшими, наиболее совершенными и воспроизводимыми полупроводниковыми материалами; остальное игнорировалось. Диалектика единства противоположностей характеризовала и отношения в группе: коммунистический коллективизм в разработке планов, обмене результатами, обсуждении проблем, взаимном обучении и крайний индивидуализм, свойственный протестантской этике, – каждый новый результат патентовался только тем, кто его получил.

Так ли уж оптимально и обязательно все перечисленное для других проектов, история не отвечает. Представляется все же, что без четкой цели, компетентного политического лидера, яркого научного руководителя, достаточных ресурсов и кадров успех недостижим. Ориентируются ли на эти постулаты наши сегодняшние масштабные проекты? ○