

ПЕРВЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

50-ЛЕТИЮ ОФИЦИАЛЬНОЙ ДАТЫ ПОСВЯЩАЕТСЯ

12 сентября 1958 года сотрудник фирмы Texas Instruments Джек Килби продемонстрировал руководству три странных прибора – склеенные пчелиным воском на стеклянной подложке устройства из двух кусочков кремния размером 11,1×1,6 мм (рис.1). Это были объемные макеты – прототипы интегральной схемы (ИС) генератора, доказывающие возможность изготовления всех элементов схемы на основе одного полупроводникового материала. Эта дата отмечается в истории электроники как день появления первых интегральных схем. Но так ли это?

ПЕРВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

У Дж.Килби были более или менее удачливые предшественники. Впервые идею многоэлементной интегральной схемы (ИС) в 1952 году публично огласил на ежегодной конференции по электронным компонентам в Вашингтоне сотрудник Британского королевского радиолокационного управления в Малверне Джеффри Даммер. В 1956 году он пытался реализовать свою идею, но потерпел неудачу. В 1953 году Харвик Джонсон из компании RCA получил патент на однокристалльный генератор, а в 1958 году совместно с Торкелом Валлмарком анонсировал концепцию "полупроводникового интегрального устройства". В 1957 году японец Ясуо Тару получил патент на соединение различных транзисторов в одном кристалле. В 1956 году сотрудник фирмы Bell Laboratories Росс изготовил схему двоичного счётчика на основе n-p-n-структур в едином монокристалле. Но все эти и другие им подобные разработки имели частный характер и не стали основой для развития интегральной электроники. Развитие в промышленном производстве получили только три проекта – Дж.Килби и Р.Нойса в США и Ю.Осокина в СССР.

Первой действительно интегральной схемой Килби, выполненной на одном кусочке монокристаллического германия, стала ИС триггера Type 502. В ней были использованы и объемное сопротивление германия, и емкость p-n-перехода (рис.2). Презентация ИС состоялась в марте 1959 года. Такие ИС в малых объемах выпускались в лабораторных условиях и продавались в узком кругу за 450 долл.

Малашевич Б.М.
mbm@angstrom.ru

ИС содержала шесть элементов – четыре так называемых меза-транзистора и два резистора. Меза-транзисторы в виде микроскопических "активных" столбиков возвышались над остальной, "пассивной" частью кристалла. Соединялись они в ИС развариванием тонких золотых проволочек – ненавистная всем "волосатая технология". Особых перспектив у данного подхода не было – проволочные межсоединения сильно ограничивают число элементов ИС, да и германий уже не рассматривался как перспективный материал.

К этому времени (в 1957 году) восемь бывших сотрудников У.Шокли – специалистов компании Shockley Semiconductor (называемые им "восьмерка предателей") основали компанию Fairchild Semiconductor, чтобы разработать технологию массового производства кремниевых транзисторов на основе методов диффузии и химического травления. Именно в этой компании вскоре была создана планарная кремниевая технология (Д.Хоэрни, Jean Hoerni). А работавший в Sprague Electric К.Леховек разработал технологию электрической изоляции компонентов на кристалле посредством обратно включенного p-n-перехода. В 1959 году Роберт Нойс, президент Fairchild и один из будущих основателей Intel, узнав о макете Килби, решил создать интегральную схему, комбинируя процессы, предложенные Хоэрни и Леховком. Для соединения элементов использовались токопроводящие дорожки из металла, напыленного поверх изолированных двуокисью кремния полупроводниковых структур, и отверстия в изолирующем слое (омические контакты). В итоге после двух макетирований 27 сентября 1960 года изготовили полностью планарный вариант триггера (рис.3).

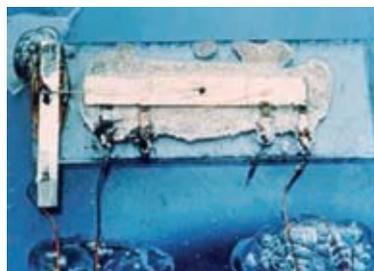


Рис. 1. Макет первой ИС Дж. Килби

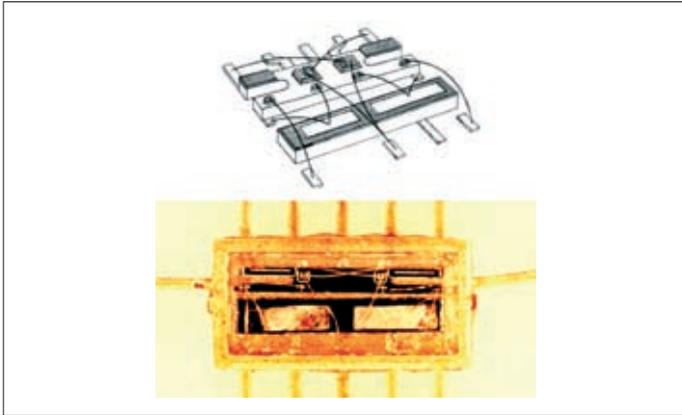


Рис.2. ИС Type 502 Килби

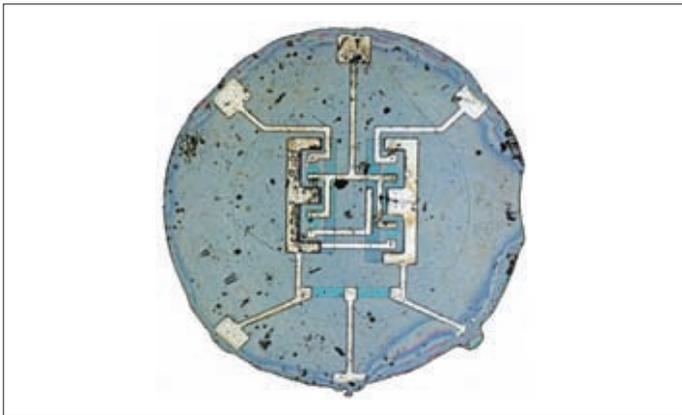


Рис.3. Экспериментальный триггер Р.Нойса

Для создания серийнопригодных ИС Fairchild пришлось пригласить схемотехника Роберта Нормана, который и заложил основы серии ИС Micrologic, нашедшей первое применение в аппаратуре ракеты "Минитмен". В марте 1961 года Fairchild анонсировала первую опытную ИС этой серии. Примечательно, что ее фото опубликовал журнал Life (рис.4). Еще пять ИС были представлены в октябре. А с начала 1962 года Fairchild развернула серийное производство ИС и поставки в интересах Минобороны США и НАСА.

Компания TI не желала упускать пальму первенства и занялась развитием идеи Килби, но на основе планарной кремниевой технологии. В октябре 1961 года фирма анонсировала

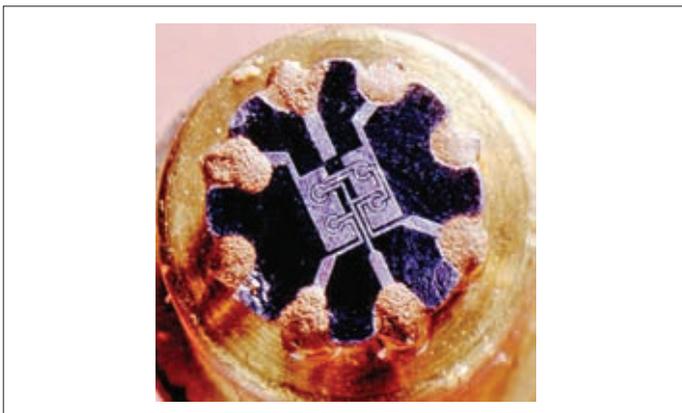


Рис.4. Фотография ИС Micrologic в журнале Life

Юрий Валентинович Осокин родился в 1937 году. В 1955 году поступил в МЭИ на электромеханический факультет (специальность "диэлектрики и полупроводники"), который окончил в 1961 году. Дипломный проект по транзисторной тематике выполнял в отделе А.В.Красилова в НИИ-35, одновременно работая там лаборантом под руководством Ю.П.Докучаева, будущего директора НИИ "Пульсар".



**Юрий Валентинович
Осокин, 1965 год**

В 1962 году Ю.Осокин в качестве главного конструктора разработал первую в стране полупроводниковую интегральную схему P12-2 (серия 102), которая находилась в производстве более 30 лет. В июне 1966 года защитил кандидатскую диссертацию, в основу которой вошли результаты работ по созданию ТС P12-2 и P12-5.

С 1975 года Минэлектронпром перешел на комплексно-целевое планирование, при котором головные предприятия формировали отраслевые пятилетние Комплексно-целевые программы (КЦП) по своим направлениям. К этому времени РЗПП значительно вырос, его ОКБ превратилось в Рижский НИИ Микроприборов (РНИИМП) – головное предприятие вновь созданного ПО "Альфа". РНИИМП был назначен головным в Минэлектронпроме в области аналоговых и аналого-цифровых ИС. Его главный инженер Ю.В. Осокин организовал формирование и реализацию КЦП "Фильтр" (активные фильтры), "Операция" (операционные усилители и компараторы), "ЦАП-АЦП" и "Бастион" (специальные ИС) и лично руководил программами "Фильтр" и "Бастион". Эта функция выполнялась РНИИМП и Ю.Осокиным до развала СССР.

25 апреля 1989 года на конференции трудового коллектива Ю.В.Осокин избран генеральным директором ПО "Альфа". В марте 1991 года, после преобразования ПО "Альфа" в АО "Альфа", Юрий Валентинович избирается президентом компании. На этой должности он работает до конца 1992 года. Из-за возникших разногласий с новым руководством промышленности Латвии (после распада СССР) о принадлежности акций АО трудовому коллективу, Ю.В.Осокин покинул пост президента компании. До 1999 года он работал Председателем Совета Рижского коммерческого торгового банка.

Ю.В. Осокин – обладатель более 40 авторских свидетельств на изобретения, из которых около половины внедрены в производство. Сегодня пенсионер Ю.В.Осокин проживает в Риге.

серию ИС типа SN-51, а с 1962 года начала их серийное производство и поставки в интересах МО США и НАСА.

Килби и Нойсу пришлось выслушать немало критических замечаний по поводу своих новаций. Считалось, что практический выход годных интегральных схем будет очень низким – ниже, чем у транзисторов (у которых он тогда не превышал 15%). Многие полагали, что в ИС используются неподходящие материалы, поскольку резисторы и конденсаторы делались тогда отнюдь не из полупроводников. С трудом воспринималась мысль о неремонтопригодности ИС – казалось кощунственным выбрасывать изделие, в котором вышел из строя только один из многих элементов. Тем не менее, в 1963 году в США было произведено 500 тыс. ИС, но все они ушли на военные нужды, а на общедоступном рынке появились позже.

ПРЕДПОСЫЛКИ ПОЯВЛЕНИЯ ИС В СССР

К концу 1950-х годов отечественная промышленность нуждалась в полупроводниковых диодах и транзисторах настолько, что потребовались радикальные меры. В 1959 году были основаны заводы полупроводниковых приборов в Александрове, Брянске, Воронеже, Риге и др. В январе 1961 года ЦК КПСС и СМ СССР приняли очередное Постановление "О развитии полупроводниковой промышленности", в котором предусматривалось строительство заводов и НИИ в Киеве, Минске, Ереване, Нальчике и других городах.

Нас будет интересовать один из новых заводов – Рижский завод полупроводниковых приборов (РЗПП, он несколько раз менял свои названия, но для простоты мы используем наиболее известное, действующее и ныне). В качестве стартовой площадки новому заводу выделили строящееся здание кооперативного техникума площадью 5300 м², одновременно началось строительство специального здания. К февралю 1960 года на заводе было уже создано 32 службы, 11 лабораторий и опытное производство, приступившее в апреле к подготовке производства первых приборов. На заводе уже работало 350 человек, 260 из которых в течение года направлялись на учебу в московский НИИ-35 (позже НИИ "Пульсар") и на ленинградский завод "Светлана". А к концу 1960 года численность работающих достигла 1900 человек. Первоначально технологические линии размещались в перестроенном спортивном зале корпуса кооперативного техникума, а лаборатории ОКБ – в бывших учебных аудиториях. Первые приборы (сплавно-диффузионные и конверсионные германиевые транзисторы П-401, П-403, П-601 и П-602 разработки НИИ-35) завод выпустил через 9 месяцев после подписания приказа о его создании, в марте 1960 года. А к концу июля изготовил первую тысячу транзисторов П-401. Затем освоил в производстве многие другие транзисторы и диоды. В июне 1961 года завершилось строительство специального корпуса, в котором началось массовое производство полупроводниковых приборов.

С 1961 года завод приступил к самостоятельным технологическим и опытно-конструкторским работам, в том числе – по механизации и автоматизации производства транзисторов на основе фотолитографии. Для этого был разработан первый отечественный фотоповторитель (фотоштамп) – установка совмещения и контактной фотопечати (разработчик А.С.Готман). Большую помощь в финансировании и изготовлении уникального оборудования оказывали предприятия Минрадиопрома, в том числе КБ-1 (позже НПО "Алмаз", Москва) и НИИРЭ (позже НПО "Ленинец", Ленинград). Тогда наиболее активные разработчики малогабаритной радиоаппаратуры, не имея своей технологической полупроводниковой базы, искали пути творческого взаимодействия с недавно созданными полупроводниковыми заводами.

На РЗПП проводились активные работы по автоматизации производства германиевых транзисторов типа П401 и П403 на основе создаваемой заводом технологической линии "Аусма". Ее главный конструктор (ГК) А.С.Готман предложил делать на поверхности германия токоведущие дорожки от электродов транзистора к периферии кристалла, чтобы проще разваривать выводы транзистора в корпусе. Но главное, эти дорожки можно было использовать в качестве внешних выводов транзистора при бескорпусной их сборке на платы (содержащие соединительные и пассивные элементы), припаявая их непосредственно к соответствующим контактным площадкам. Предлагаемый метод, при котором токоведущие дорожки кристалла как бы целуются с контактными площадками платы, получил оригинальное название – "поцелуйная технология". Но из-за ряда оказавшихся тогда неразрешимыми технологическими проблемами, в основном связанных с проблемами точности получения контактов на печатной плате, практически реализовать "поцелуйную технологию" не удалось. Через несколько лет подобная идея была реализована в США и СССР и нашла широкое применение в так называемых "шариковых выводах" и в технологии "чип-на-плату".

Тем не менее, аппаратурные предприятия, сотрудничающие с РЗПП, в том числе НИИРЭ, надеялись на "поцелуйную технологию" и планировали ее применение. Весной 1962 года, когда стало понятно, что ее реализация откладывается на неопределенный срок, главный инженер НИИРЭ В.И.Смирнов попросил директора РЗПП С.А.Бергмана найти другой путь реализации многоэлементной схемы типа 2НЕ-ИЛИ, универсальной для построения цифровых устройств.

ТВЕРДАЯ СХЕМА P12-2 (ИС СЕРИЙ 102 И 116)

Директор РЗПП поручил эту задачу молодому инженеру Юрию Валентиновичу Осокину (см. врезку). Организовали отдел в составе технологической лаборатории, лаборатории разработки и изготовления фотошаблонов, измерительной лаборатории и опытно-производственной линейки. В то время в РЗПП была поставлена технология изготовления герма-

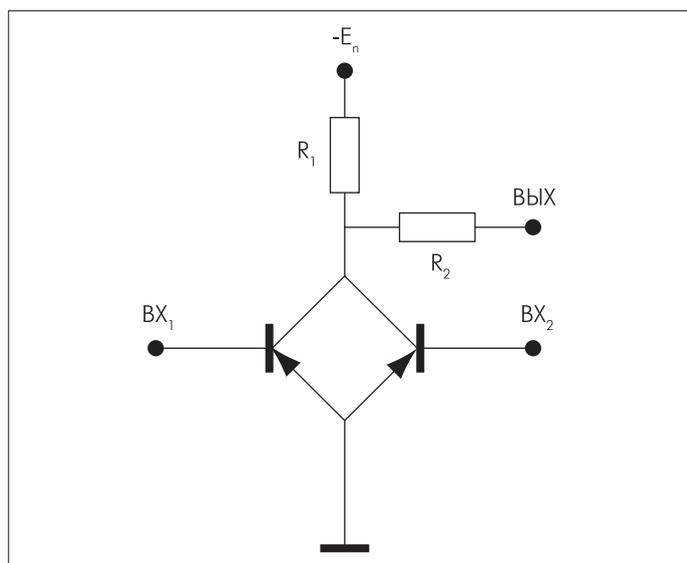


Рис.5. Эквивалентная электрическая схема ТС P12-2

ниевых диодов и транзисторов, ее и взяли за основу новой разработки. И уже осенью 1962 года были получены первые опытные образцы германиевой твердой схемы 2НЕ-ИЛИ (поскольку термина ИС тогда не существовало, из уважения к делам тех дней сохраним название "твердая схема" – ТС), получившей заводское обозначение P12-2. Она содержала два германиевых р-п-р-транзистора (модифицированные тран-

зисторы типа П401 и П403) с общей нагрузкой в виде распределенного германиевого резистора р-типа (рис.5).

Перед рижанами стояли принципиально новые задачи: реализовать на одном кристалле два транзистора и два резистора, исключив их паразитное взаимное влияние. В СССР никто ничего подобного не делал, а о работах Дж.Килби и Р.Нойса никакой информации в РЗПП не было. Но специалисты РЗПП успешно преодолели эти проблемы, причем совершенно не так, как это сделали американцы.

Прежде всего, рижане работали с германием и не пошли по пути планарной технологии. Но в отличие от Texas Instruments, они сумели создать вполне технологичные ИС. При их формировании использовалось три фотолитографии. В ходе первой на пластине р-германия с сформированным п-слоем под базовую область (методом диффузии Sb) создавалась маска под эмиттер. Через нее гальванически осаждали и вплавляли эмиттерный сплав PbInSb (т.е. в теле базы п-типа формировали р-область эмиттера). Затем одновременно с удалением использованного фоторезиста удалялись и излишки эмиттерного сплава так, что образовывалась плоская поверхность германиевой пластины, что упрощает последующие фотолитографии. При второй фотолитографии формировали маску под мезу транзисторных структур (так решался вопрос изоляции транзисторов). В ходе третьей фотолитогра-

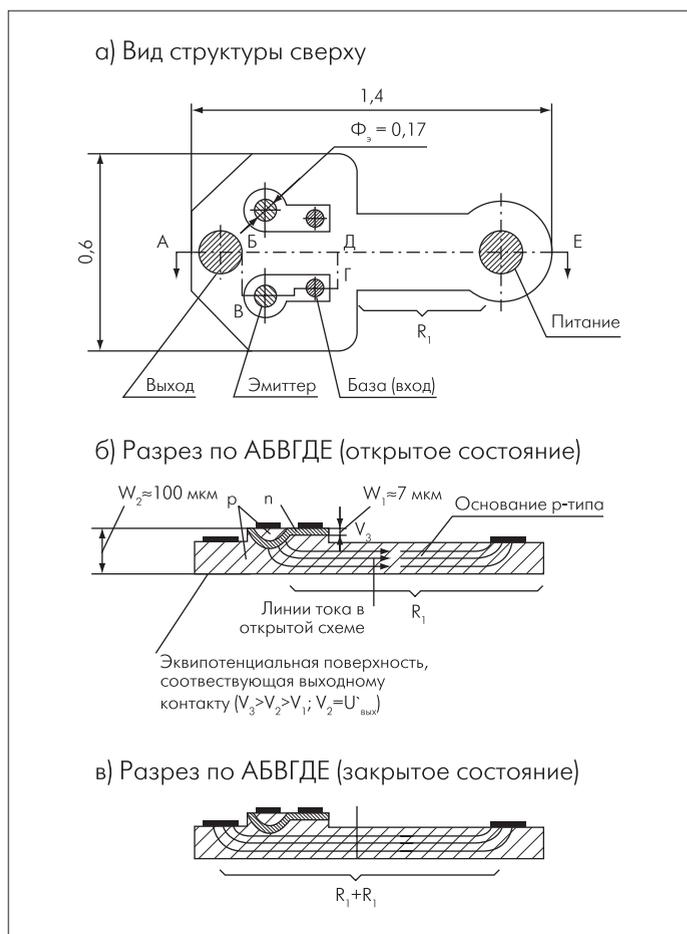


Рис.6. Структура ТС P12-2

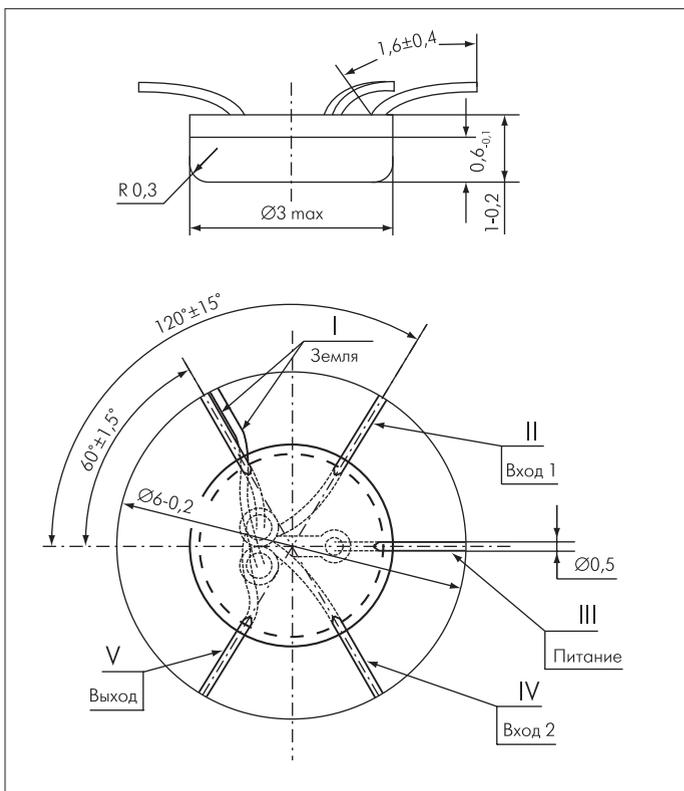


Рис.7. Габаритный чертёж ТС P12-2

Тип твердой схемы	Классификационные параметры при температуре окружающей среды +20°C ±1°C и E = 1,2 в		
	Выходной ток закрытой твердой схемы I _{вых} , ма	Напряжение на входе открываемой твердой схемы U _{бo1} , мв	Максимальная нагрузочная способность, п
	не менее		не менее
P12-2-A1	1,5	270	3
P12-2-B1	1,5	285	3
P12-2-B1	1,5	300	3
P12-2-Г1	1,5	315	3
P12-2-A2	2,0	270	4
P12-2-B2	2,0	285	4
P12-2-B2	2,0	300	4
P12-2-Г2	2,0	315	4

Табл.1. Группы ТС P12-2

(форма таблицы и обозначения величин – как в оригинале)

Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Значения			Режим	
			Мин.	Тип.	Макс.	E _n (в)	t(°C)
Средняя потребляемая мощность схемы	P _{cp}	мвт	-	3,6	-	1,2	+20±5
Помехоустойчивость	ΔU	мв	100	130	150	1±1,4	+20±5
Перепад напряжений при воздействии сигнала	U	мв	-	200	-	1,2	+20±5
Средняя задержка распространения сигнала на логический элемент в устройстве	T _{cp}	нсек	100	200	300	1±1,4	+20±5
Коэффициент разветвления по выходу	n		3	4	5-6	1±1,4	-60÷+6
Средняя частота отказов при достоверности 0,95	λ		-	10 ⁻⁶	-	1,2	+20±5
Диапазон рабочих температур	Δt	°C				-60	÷ +60

Табл.2. Основные электрические характеристики P12-2

(форма таблицы и обозначения величин – как в оригинале)

фии создавали маску, определяющую форму всей ТС. В результате получали сложную в плане конфигурацию кристалла в виде лопатки (рис.6), где р-германий "черенка" служил резистором R₁, острие "штыка" лопатки – резистором R₂, а сам "штык" лопатки являлся коллекторной областью транзисторов. По третьей маске осуществлялось глубокое, почти сквозное травление германиевой пластины по контурам кристаллов ТС, почти до их разделения. Окончательно пластина разделялась на кристаллы ТС при шлифовке ее тыльной стороны до толщины около 100 мкм, ТС структуры при этом распались на отдельные кристаллы сложной формы. Именно так была реализована групповая технология изготовления ТС.

Термокомпрессионные контакты формировались только между германиевыми областями структуры ТС и золотом выводных проводников. Это обеспечивало устойчивость к внешним воздействиям в условиях тропиков и морского тумана, что особенно важно для работы в военно-морских квазиэлектронных АТС, выпускаемых рижским заводом ВЭФ, также заинтересовавшимся этой разработкой.

Конструктивно ТС P12-2 (и последующая за ней P12-5) были выполнены в виде "таблетки" (рис.7) из круглой металлической чашечки диаметром 3 мм и высотой 0,8 мм. В ней размещался кристалл ТС и заливался полимерным компаундом, из которого выходили короткие внешние концы выводов из мягкой золотой проволоки диаметром 50 мкм, приваренные к кристаллу. Масса P12-2 не превышала 25 мг. В таком исполнении ТС были устойчивы к воздействию относительной влажности 80% при температуре окружающей среды 40°C и к циклическим изменениям температуры от -60° до 60°C.

К концу 1962 года опытное производство РЗПП выпустило около 5 тыс. ТС P12-2, а в 1963 году их было сделано несколько десятков тысяч. Таким образом, 1962 год стал годом рождения микроэлектронной промышленности в США и СССР. При изготовлении работоспособные приборы рассортировывали по группам параметров (это делают и поныне), установив восемь типонаименований ТС P12-2 (табл.1 и 2).

Выпуск ТС P12-2 начался одновременно с проведением ОКР "Твердость", завершившейся в 1964 году (ГК Ю.В. Осокина). В рамках этой работы была разработана усовершенствованная групповая технология серийного производства германиевых ТС на основе фотолитографии и гальванического осаждения сплавов через фотомаску. Ее основные технические решения зарегистрированы как изобретение Осокина Ю.В. и Михаловича Д.Л. (А.С. №36845). В издававшемся с грифом "секретно" журнале "Спецрадиоэлектроника" вышло несколько статей Ю.В.Осокина в соавторстве со специалистами КБ-1 И.В.Ничего, Г.Г.Смолко и Ю.Е.Наумовым с описанием конструкции и характеристик ТС P12-2 (и последующей за ней ТС P12-5).

Конструкция P12-2 была всем хороша, кроме одного – потребители не умели применять такие маленькие изделия с



тончайшими выводами. Ни технологии, ни оборудования для этого у аппаратурных фирм, как правило, не было. За все время выпуска Р12-2 и Р12-5 их применение освоили НИИРЭ, Жигулевский радиозавод, ВЭФ, НИИП (с 1978 года НПО "Радио-прибор") и немногие другие предприятия. Понимая проблему, разработчики ТС совместно с НИИРЭ сразу же продумали второй уровень конструкции, который одновременно увеличил плотность компоновки аппаратуры.

В НИИРЭ в рамках ОКР "Квант" (ГК А.Н.Пелипенко, при участии Е.М.Ляховича) была разработана конструкция модуля, в котором объединялось четыре ТС Р12-2 (рис.8). На микроплату из тонкого стеклотекстолита размещали от двух до четырех ТС Р12-2 (в корпусе), реализующих определенный функциональный узел. На плату впрессовывали до 17 выводов (число менялось для конкретного модуля) длиной 4 мм. Микроплату помещали в металлическую штампованную чашечку 21,6×6,6 мм и глубиной 3,1 мм и заливали полимерным компаундом. В результате получилась гибридная интегральная схема (ГИС) с двойной герметизацией элементов. Это была первая в мире ГИС с двухуровневой интеграцией, в которой в качестве активных элементов использовались не дискретные транзисторы и диоды, а полупроводниковые ИС. Возможно, это была вообще первая ГИС, так как четкой, общепризнанной даты создания первой ГИС, по-видимому, не существует. (ГИС компании IBM, используемые в ЭВМ IBM System 360, увидели свет в 1964 году, похоже, они в зарубежных странах были первыми.) Было разработано восемь типов модулей с общим названием "Квант", выполнявших различные логические функции. В составе таких модулей ТС Р12-2 сохраняли работоспособность при воздействии постоянных ускорений до 150g и вибрационных нагрузок в диапазоне частот 5–2000 Гц с ускорением до 15g.

Модули "Квант" сначала выпускало опытное производство НИИРЭ, а затем их передали на Жигулевский радиозавод, поставлявший их различным потребителям, в том числе заводу ВЭФ.

ТС Р12-2 и модули "Квант" на их основе хорошо зарекомендовали себя и широко применялись. В 1968 году вышел стандарт, устанавливающий единую в стране систему обозна-

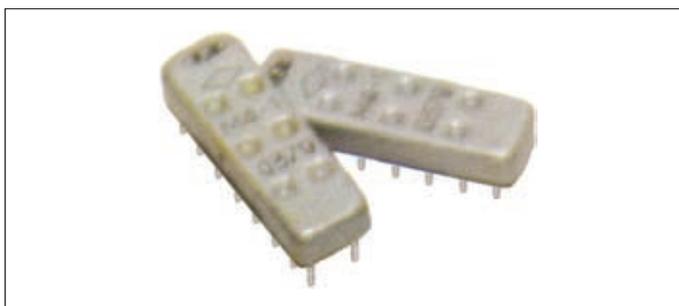


Рис.9. ИС серии 116 и 117

чений интегральных схем, а в 1969 году – Общие технические условия на полупроводниковые (НПО.073.004ТУ) и гибридные (НПО.073.003ТУ) ИС с единой системой требований. В соответствии с этими требованиями в Центральном бюро по применению интегральных схем (ЦБПИМС, позже ЦКБ "Дейтон", Зеленоград) 6 февраля 1969 года на ТС были утверждены новые технические условия ЩТЗ.369.001-1ТУ. При этом в обозначении изделия впервые появился термин "интегральная схема" серии 102. ТС Р12-2 стали называться ИС: 1ЛБ021В, 1ЛБ021Г, 1ЛБ021Ж, 1ЛБ021И. Фактически это была одна ИС, рассортированная на четыре группы по выходному напряжению и нагрузочной способности.

А 19 сентября 1970 года в ЦБПИМС были утверждены технические условия АВ0.308.014ТУ на модули "Квант", получив-

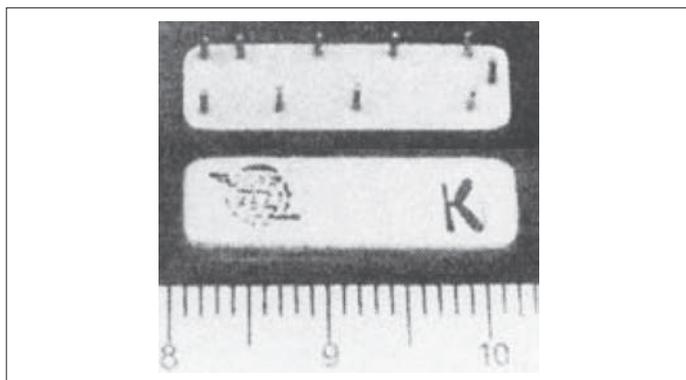


Рис.8. Модуль из 4 ТС Р12-2

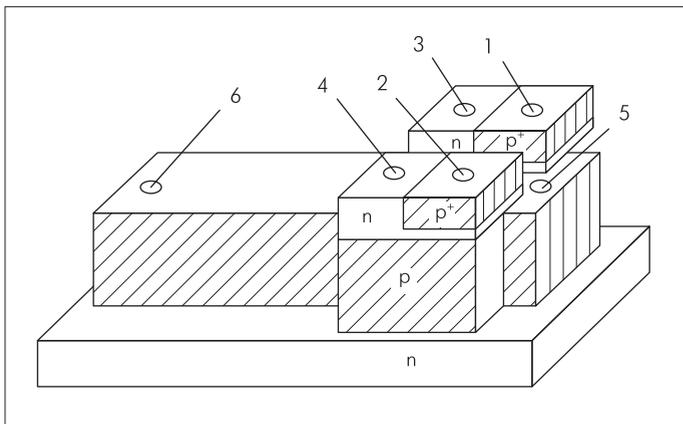


Рис. 10. Структура кристалла ТС P12-5 из А.С. №248847:
1 и 2 – "земля", 3 и 4 – входы, 5 – выход, 6 – питание

шие обозначение ИС серии 116 (рис.9). В состав серии входило девять ИС: 1ХЛ161, 1ХЛ162 и 1ХЛ163 – многофункциональные цифровые схемы; 1ЛЕ161 и 1ЛЕ162 – два и четыре логических элемента 2НЕ-ИЛИ; 1ТР161 и 1ТР162 – один и два триггера; 1УП161 – усилитель мощности, а также 1ЛП161 – логический элемент "запрет" на 4 входа и 4 выхода. Каждая из этих ИС имела от четырех до семи вариантов исполнения, отличающихся напряжением выходных сигналов и нагрузочной способностью, всего было 58 типонаименований ИС. Исполнения маркировались буквой после цифровой части обозначения ИС, например 1ХЛ161Ж. В дальнейшем номенклатура модулей расширялась. ИС серии 116 фактически были гибридными, но по просьбе РЗПП были маркированы как полупроводниковые (первая цифра в обозначении – "1", у гибридных должно быть "2").

В 1972 году совместным решением Минэлектронпрома и Минрадиопрома производство модулей было передано из Жигулевска на РЗПП. Это исключило транспортировку ИС серии 102 на дальние расстояния, поэтому от герметизации кристалла каждой ИС отказались. В результате упростилась конструкция ИС и 102-й, и 116-й серий: отпала необходимость корпусировать ИС серии 102 в металлическую чашечку с заливкой компаундом. Бескорпусные ИС серии 102 в технологической таре поступали в соседний цех на сборку ИС серии 116, монтировались непосредственно на их микропласту и герметизировались в корпусе модуля.

В середине 1970-х годов вышел новый стандарт на систему обозначений ИС. После этого, например, ИС 1ЛБ021В получила обозначение 102ЛБ1В.

ТВЕРДАЯ СХЕМА P12-5 (ИС СЕРИЙ 103 И 117)

К началу 1963 года в результате серьезных работ по разработке высокочастотных п-р-п-транзисторов коллектив Ю.В.Осокина накопил большой опыт работы с р-слоями на исходной п-германиевой пластине. Это и наличие всех необходимых технологических компонентов позволило Осокину в 1963 году приступить к разработке новой технологии

и конструкции более быстродействующего варианта ТС. В 1964 году по заказу НИИРЭ была завершена разработка ТС P12-5 и модулей на ее основе. По ее результатам в 1965 году была открыта ОКР "Паланга" (ГК Ю.В.Осокин, его заместитель – Д.Л.Михалович, завершена в 1966 году). Разрабатывались модули на основе P12-5 в рамках той же ОКР "Квант", что и модули на P12-2. Одновременно с техническими условиями на серии 102 и 116 были утверждены технические условия ЩТЗ.369.002-2ТУ на ИС серии 103 (P12-5) и АВ0.308.016ТУ на ИС серии 117 (модули на основе ИС серии 103). Номенклатура типов и типоименований ТС P12-2, модулей на них и серий ИС 102 и 116 была идентична номенклатуре ТС P12-5 и ИС серий 103 и 117, соответственно. Различались они только быстродействием и технологией изготовления кристалла ИС. Типовое время задержки распространения сигнала серии 117 составило 55 нс против 200 нс в серии 116.

Конструктивно ТС P12-5 представляла собой четырехслойную полупроводниковую структуру (рис.10), где подложка п-типа и эмиттеры р⁺-типа подсоединялись к общей шине "земли". Основные технические решения построения ТС P12-5 зарегистрированы как изобретение Осокина Ю.В., Михаловича Д.Л. Кайдалова Ж.А и Акменса Я.П. (А.С. №248847). При изготовлении четырехслойной структуры ТС P12-5 важным ноу-хау было формирование в исходной германиевой пластине п-типа р-слоя. Это достигалось диффузией цинка в кварцевой отпаянной ампуле, где пластины располагаются при температуре около 900°С, а цинк – в другом конце ампулы при температуре около 500°С. Дальнейшее формирование структуры ТС в созданном р-слое аналогично ТС P12-2. Новая технология позволила уйти от сложной формы кристалла ТС. Пластины с P12-5 также шлифовались с тыльной стороны до толщины около 150 мкм с сохранением части исходной пластины, далее они скрайбировались на отдельные прямоугольные кристаллы ИС.

После первых положительных результатов изготовления опытных ТС P12-5, по заказу КБ-1 была открыта НИР "Мезон-2", направленная на создание ТС с четырьмя P12-5. В 1965 году получены действующие образцы в плоском металлокерамическом корпусе. Но P12-5 оказалась сложной в производстве, главным образом – из-за трудности формирования легированного цинком р-слоя на исходной п-Ge пластине. Кристалл оказался трудоемким в изготовлении, процент выхода годных низкий, стоимость ТС высокая. По этим причинам ТС P12-5 выпускалась в небольших объемах и вытеснить более медленную, но технологичную P12-2 она не смогла. А НИР "Мезон-2" вообще не получила продолжения, в том числе – из-за проблем межсоединений.

К этому времени уже широким фронтом велись работы по развитию планарной кремниевой технологии, обладающей рядом преимуществ перед германиевой, главные из кото-



рых – более высокий диапазон рабочих температур (150°C у кремния и 70°C у германия) и наличие у кремния естественной защитной пленки SiO₂. Поэтому специалисты РЗПП посчитали развитие германиевой технологии для производства ИС нецелесообразным. Однако при производстве транзисторов и диодов германий еще какое-то время не сдавал своих позиций. В отделе Ю.В.Осокина уже после 1966 года были разработаны и производились РЗПП германиевые планарные малошумящие СВЧ-транзисторы ГТ329, ГТ341, ГТ383 и др. Их создание было отмечено Государственной премией Латвийской ССР.

ПРИМЕНЕНИЕ

Заказчиками и первыми потребителями ТС Р12-2 и модулей были создатели конкретных систем: ЭВМ "Гном" (рис.11) для бортовой самолетной системы "Купол" (НИИРЭ, ГК Е.М.Ляхович) и военно-морских и гражданских АТС (завод ВЭФ, ГК Л.Я.Мисуловин). Активно участвовало на всех стадиях создания ТС Р12-2, Р12-5 и модулей на их основе и КБ-1, главным куратором этого сотрудничества от КБ-1 был Н.А. Барканов. Помогали финансированием, изготовлением оборудования, исследованиями ТС и модулей в различных режимах и условиях эксплуатации.

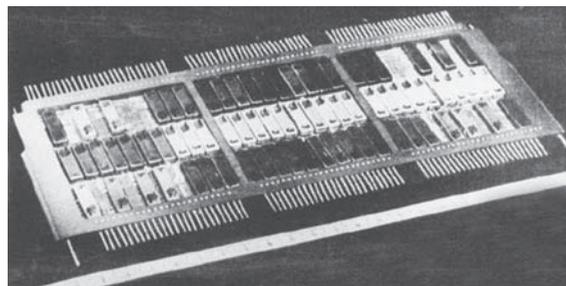


Рис. 11. Арифметическое устройство на твердосхемных модулях. Фото из буклета ТС от 1965 года

ТС Р12-2 и модули "Квант" на ее основе были первыми микросхемами в стране. Да и в мире они были среди первых – только в США начинали выпускать свои первые ИС фирмы Texas Instruments и Fairchild Semiconductor (полупроводниковые ИС), а также IBM (толстопленочные гибридные ИС), в других странах об ИС еще и не задумывались. Поэтому эффективность применения ИС была впечатляющей. В сохранившемся буклете на ТС Р12-2 от 1965 года (на основе уже реальных применений) сказано: *"Применение твердых схем Р12-2 в бортовых вычислительных устройствах позволяет в 10–20 раз сократить вес и габариты этих устройств, умень-*

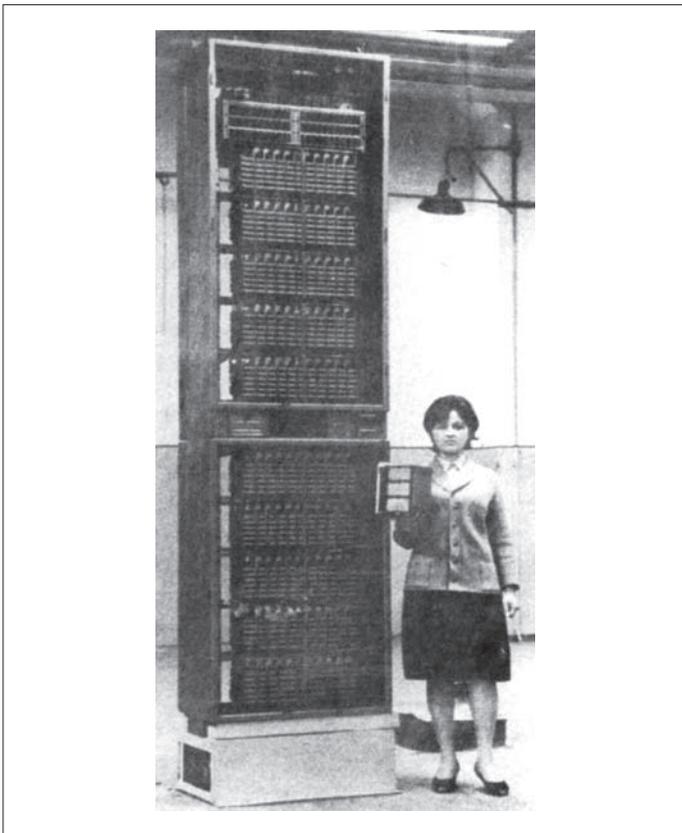


Рис. 12. Сравнительные габариты устройства управления АТС, выполненного на реле и ТС. Фото из буклета ТС от 1965 года

шить потребляемую мощность и увеличить надежность работы ... Применение твердых схем Р12-2 в системах управления и коммутации трактов передачи информации АТС позволяет сократить объем управляющих устройств примерно в 300 раз, а также значительно снизить потребление электроэнергии (в 30–50 раз)'. Это иллюстрирует фотография выпускаемых тогда заводом ВЭФ стойки АТС на основе реле в сравнении с маленьким блочком на ладони девушки (рис.12). Были и другие многочисленные применения первых рижских ИС.

ПРОИЗВОДСТВО

Сейчас трудно восстановить полную картину объемов производства ИС серий 102 и 103 по годам (сегодня РЗПП из крупного завода превратился в небольшое производство, и многие архивы утеряны). Но по воспоминаниям Ю.В.Осокина, во второй половине 1960-х годов производство исчислялось многими сотнями тысяч в год, в 1970-х годах – миллионами. По его личным записям, в 1985 году было выпущено ИС серии 102 – 4 100 000 шт., модулей серии 116 – 1 025 000 шт., ИС серии 103 – 700 000 шт., модулей серии 117 – 175 000 шт.

В конце 1989 года Ю.В. Осокин, тогда генеральный директор ПО "Альфа", обратился к руководству Военно-промышленной комиссии при СМ СССР (ВПК) с просьбой о снятии серий 102, 103, 116 и 117 с производства ввиду их морального старения и высокой трудоемкости (за 25 лет микроэлектроника далеко ушла вперед), но получил категорический отказ. За-

меститель председателя ВПК В.Л.Коблов сказал ему, что самолеты летают надежно, замена исключается. После распада СССР ИС серий 102, 103, 116 и 117 выпускались еще до середины 90-х годов, т.е. более 30 лет. ЭВМ "Гном" до сих пор стоят в штурманской кабине "Ил-76" и некоторых других самолетов. "Это суперкомпьютер", – не теряются наши летчики, когда зарубежные коллеги удивленно интересуются невиданным ныне агрегатом.

О ПРИОРИТЕТАХ

Приоритет авторов ИС закреплен Патентами США Дж.Килби (Патент США №3138743, приоритет от 6 февраля 1959 года), Р.Нойса (патент США № 2981877 от 30 июля 1959 года) и Авторским свидетельством СССР Ю.Осокина и Д.Михаловича № 36845 от 28 июня 1966 года. В 2000 году Дж.Килби за изобретение ИС стал одним из лауреатов Нобелевской премии. Р.Нойс не дождался мирового признания как изобретатель ИС, он скончался в 1990 году, а Нобелевская премия не присваивается посмертно. Работы же Ю.Осокина не оценены не только Нобелевским комитетом, забыты они и в нашей стране, приоритет страны в создании микроэлектроники не защищен. А он бесспорно был. (Важно отметить, что если Fairchild Semiconductor и Texas instruments начали развивать именно планарную технологию ИС, то Ю.В.Осокин занимался технологией ИС на основе меза-структур. Это – принципиально иное направление, активно развиваемое сегодня во всем мире при создании монокристаллических СВЧ ИС и мощных полупроводниковых приборов, которые сами по себе являются ИС. – *Прим.ред.*)

В 1950-е годы полупроводниковая технология достигла уровня, позволяющего на одной германиевой или кремниевой пластине в едином технологическом цикле изготавливать множество диодов или транзисторов. В результате была создана материальная основа для формирования в одном монокристаллическом кристалле многоэлементных изделий – интегральных схем. Поэтому не удивительно, что почти одновременно идея ИС независимо возникла в головах нескольких специалистов. А оперативность внедрения новой идеи зависела от технологической оснащенности автора и заинтересованности изготовителя, т.е. от наличия первого потребителя. В этом отношении Ю.Осокин оказался в лучшем положении, чем его американские коллеги. Килби был новичком в ТИ, не владел полупроводниковой технологией, ему даже пришлось доказывать руководству фирмы принципиальную возможность реализации монокристаллической (его термин) схемы изготовлением ее макета. Собственно роль Дж.Килби в создании ИС сводится к перевоспитанию руководства ТИ и в провокации своим макетом Р.Нойса к активным действиям. В серийное производство изобретение Килби не пошло. Р.Нойс в своей молодой и еще не окрепшей компании пошел на создание новой планарной технологии, которая



действительно стала основой последующей микроэлектроники, но поддалась автору не сразу. В связи с вышесказанным им обоим пришлось потратить немало сил и времени для практической реализации своих идей по построению серийноспособных ИС. Их первые образцы остались опытными, а в серийное производство пошли уже другие микросхемы, даже не ими разработанные. В отличие от Килби и Нойса, которые были далеки от производства, заводчанин Ю.Осокин опирался на промышленно освоенные полупроводниковые технологии РЗПП, и у него были гарантированные потребители первых ТС в виде инициатора разработки НИИРЭ и рядом расположенного завода ВЭФ, помогавших в данной работе. По этим причинам уже первый вариант его ТС сразу пошел в опытное, плавно перешедшее в серийное производство, которое непрерывно продолжалось более 30 лет. Таким образом, начав разработку ТС позже Килби и Нойса, Ю.Осокин (не зная об этом соревновании) быстро догнал их. Производство своих ИС они начали почти одно-

временно – в 1962 году. Причем работы Ю.Осокина никак не связаны с работами американцев, свидетельство тому абсолютная непохожесть его ТС и реализованных в ней решений на микросхемы Килби и Нойса. Это дает полное право рассматривать Ю.Осокина одним из изобретателей интегральной схемы наравне с Дж.Килби и Р.Нойсом, а часть Нобелевской премии Дж.Килби было бы справедливо поделить с Ю.Осокиным. Что же касается изобретения первой ГИС с двухуровневой интеграцией (в которой в качестве активного элемента использована полупроводниковая ИС), то здесь приоритет А.Пелипенко из НИИРЭ абсолютно бесспорен.

Автор благодарен Ю.В.Осокину, А.А.Васенкову и С.В.Якубовскому (с его богатым архивом в ЦКБ "Дейтон", открытым для всех интересующихся историей), оказавшим неоценимую помощь в подготовке статьи. К сожалению, не удалось найти образцов ТС и приборов на их основе, необходимых для мурзеев. Автор будет весьма признателен за такие образцы. ○

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR: МИССИЯ – БЫТЬ ПРАРОДИТЕЛЬНИЦЕЙ

Гениальный человек гениален во всем. Даже в своих заблуждениях. Гениальный Уильям Шокли, один из создателей транзистора, правильно предугадал перспективу этого направления и ушел из Bell Laboratories, организовав в 1956 году свою компанию – Shockley Semiconductor Laboratory, чтобы развивать производство полупроводниковых приборов. Но на германии. Восемь его учеников-сотрудников, которых Шокли так тщательно подбирал, не смогли переубедить своего шефа в перспективности кремния и ушли, чтобы основать свою фирму. Вложив 3,5 тыс. долл. собственных денег, они занялись исследованиями группового производства меза-транзисторов на основе кремния. Вскоре нашелся крупный инвестор – компания Fairchild Camera and Instrument, созданная великим изобретателем и предпринимателем Шерманом Миллсом Фэачайлдом (Sherman Mills Fairchild). 1 октября 1957 года была организована новая компания Fairchild Semiconductor с объемом инвестиций 1,5 млн. долл. и правом выкупа в течение восьми лет за вдвое большую сумму (этим правом родительская компания воспользовалась уже в 1958 году). Имена первых восьми сотрудников-основателей – Юлиус Бланк (Julius Blank), Виктор Гринич (Victor Grinich), Джин Хоэрни (Jean Hoerni), Юджин Кляйнер (Eugene Kleiner), Джей Ласт (Jay Last), Гордон Мур (Gordon Moore), Роберт Нойс (Robert Noyce) и Шелдон Робертс (Sheldon Roberts). Компания стала прибыльной уже через шесть месяцев (первый контракт – 100 транзисторов для IBM по 150 долл. за шту-

ку). Вскоре штат из 12 сотрудников расширился до 12 тыс., а годовой оборот достиг 130 млн. долл.

Но не столько своими технологическими достижениями известна компания Fairchild, сколько тем, что стала прародительницей десятков других фирм в Силиконовой Долине. В 1968 году Шерман Фэачайлд привел в Fairchild Semiconductor новую команду управляющих из Motorola, которые принялись за наведение своих порядков. Это мало кому понравилось. В этом же году из Fairchild ушли восемь сотрудников во главе с Р.Нойсом и Г.Муром, чтобы создать компанию Integrated Electronics Corporation, ставшую позднее известной как Intel. В 1969 году (1 мая) еще одна восьмерка сотрудников Fairchild Semiconductor во главе с ее бывшим коммерческим директором Джерри Сандерсом основали компанию Advanced Micro Devices (AMD). Другие основатели и сотрудники Fairchild создавали такие компании, как LSI Logic, Teledyne, Rheem, National Semiconductor и др. Сама же Fairchild постепенно приходила в упадок, в 1979 году ее в составе Fairchild Camera and Instrument купил нефтяной гигант Schlumberger. После чего о Fairchild Semiconductor успешно забыли, в 1987 году ее без особого шума поглотила National Semiconductor. Но в 1996 году бывший вице-президент National Semiconductor Кирк Понд (Kirk P. Pond) инициировал процесс выкупа Fairchild Semiconductor менеджментом последней и возглавил возрожденную компанию. С тех пор Fairchild Semiconductor успешно развивается, приобретая другие компании (Raytheon Electronics Semiconductor, подразделение силовых приборов компаний Samsung и Intersil, фирмы QT Optoelectronics, Kota Microcircuits, Micro Linear и др.).

И.Шахнович