

НАЧАЛА МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Борис Михайлович Малашевич

Ветеран микроэлектроники, Зеленоград, Москва, Российская Федерация, boris@malashevich.ru

Аннотация – Рассмотрены причины, виды и краткая история создания первых в мире интегральных схем. Их конструктивные и технологические особенности. Основные авторы пионерских разработок. Доказано отсутствие отставания советской микроэлектроники в начале разработок, серийного производства и применения первых полупроводниковых ИС. Но в создании и развитии в планарно-эпитаксиальных ИС мы сначала отставали на 3 года. Отмечен разный стимул к началу работ по созданию интегральных схем: в США – от возможностей полупроводниковой техники и в СССР – от потребностей создателей электронных систем.

Ключевые слова – микроэлектроника, микроминиатюризация, интегральная схема (ИС), конструкция, технология, производство.

I. ВВЕДЕНИЕ

К концу 1950-х годов в электронике сформировалось острое противоречие возможностей традиционной конструктивно-технологической основы электроники и всё возрастающих функциональных требований развивающихся электронных приборов и систем.

Конструкция и технология создания электронных приборов и систем из дискретных элементов (ДЭ): активных (электронных ламп, диодов, транзисторов) и пассивных (резисторов, конденсаторов, переключателей, индуктивностей и т.п.), имела принципиальное неразрешимое ограничение – физические размеры ДЭ и необходимость их межсоединений в процессе изготовления аппаратуры. Попытки уменьшения размеров корпусов ДЭ (в микромодулях) ослабляли проблему, но не решали её.

Требовалось создание принципиально новых микроминиатюрных многоэлементных комплектующих изделий электроники с защищёнными внутренними соединениями, выполненными на основе иных конструкций, технологий и материалов – интегральных¹ схем (ИС). Осталось лишь придумать, как это сделать. Именно «КАК»? Недаром с появлением ИС в мире популярным стало выражение «знаю как» (*know how*). Потому что со «знаю что» (*know what*) обычно всё ясно. Нужно было научиться то, что ранее делали на печатной плате и в блоке, сделать в виде ИС. Для этого требовались новые технологические и конструктивные решения, новые материалы, новое технологическое оборудование...

К началу 1960-х годов в СССР и США уже были промышленно освоены интегральные технологии производства полупроводниковых приборов – на одной полупроводниковой пластине в едином многоэтапном технологическом процессе делалось множество одинаковых диодов или транзисторов, которые затем разделялись на отдельные кристаллы, каждый из которых размещался в отдельный корпус. Нужно было научиться:

- на полупроводниковой пластине изготавливать необходимые пассивные элементы,
- соединять активные и пассивные элементы на пластине по определённой схеме.

Практическое решение в начале 1960-х годов этого комплекса проблем привело к рождению микроэлектроники (МЭ) и её продукции – интегральных схем (ИС, микросхем).

II. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

ИС – это многоэлементное неделимое герметизированное изделие, выполняющее определённую разную сложности комбинационную функцию, все элементы которого неразрывно связаны по определённой схеме и изготавливаются в едином технологическом многооперационном процессе с единым набором материалов.

ИС поставляются изготовителям электронной аппаратуры как самостоятельная товарная продукция, удовлетворяющая определённой системе стандартизованных требований. ИС относятся к неремонтируемым изделиям, при ремонте аппаратуры вышедшие из строя ИС заменяются.

¹ Сайт dic.academic.ru определяет: *Интегральный – неразрывно связанный, цельный, единый.*

ИС разрабатываются и выпускаются промышленностью в виде серий, объединяющих ряд микросхем различного функционального назначения, предназначенных для совместного применения. ИС серии имеющих единую систему конструктивных, электрических и иных характеристик.

Изначально было принято два основных направления развития ИС:

- *Тонкоплёночные* – ИС, в которых все пассивные и активные элементы выполняются на поверхности диэлектрической подложки методами тонкоплёночной многослойной технологии с последовательным избирательным нанесением тонких плёнок соответствующих материалов. Считалось, что эта технология, как конструктивно и технологически принципиально более простая, разовьётся быстрее полупроводниковой. Что только к 1980-м годам полупроводниковая технология догонит тонкоплёночную. Но надежды и прогнозы нигде в мире не оправдались – серийноспособных надёжных тонкоплёночных диодов и транзисторов не получилось. Результаты развития тонкоплёночной технологии стали основой гибридной технологии.

- *Полупроводниковые* – ИС, в которых все элементы выполнены методами полупроводниковых технологий в объёме (операции термодиффузии) и на поверхности (операции эпитаксии) полупроводника. Это основная масса современных ИС.

Гибридные микросхемы, построенные на интегральных пассивных подложках, но с применением бескорпусных активных ДЭ и ИС, здесь не рассматриваются.

III. ПЕРВЫЕ В МИРЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИС

В разных странах, в том числе в СССР, были инициативные работы по созданию ИС, даже подтверждённые патентами, но они оказались тупиковыми, за ними не последовало серийное производство, и они не повлияли на дальнейшее развитие микроэлектроники.

Авторами первых в мире ИС, ставших основой развития микроэлектроники, были Джек Килби из *Texas Instruments* (TI, США), Роберт Нойс из *Fairchild* (США) и коллектив под руководством Евгения Михайловича Ляховича из НИИРЭ (НИИ-131, позже ставший основой НПО «Ленинец») в СССР.

ИС Джека Килби – «Type 502»

24 июля 1958 г. Дж. Килби, недавно принятый на работу в фирму TI, сформулировал «идею монолита» (Monolithic Idea): «...элементы схемы, такие как резисторы, конденсаторы, распределённые конденсаторы и транзисторы, могут быть интегрированы в одну микросхему – при условии, что они будут выполнены из одного материала...». «Идея монолита» встретила критическое отношение с руководства TI, потребовавшего доказательств.

12 сентября 1958 г. Килби сделал генератор из двух кусочков германия и продемонстрировал руководству компании. Это был объёмный макет полупроводниковой ИС (рис. 1).

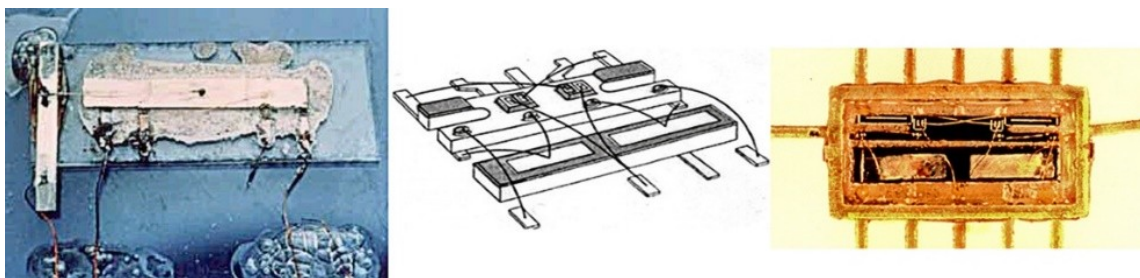


Рис. 1. ИС Дж. Килби, макет, рисунок и образец (без крышки)

Первой однокристалльной была ИС «Type 502» (триггер). В ней были использованы транзисторы, объёмное сопротивление германия и ёмкость *p-n*-перехода. Её презентация состоялась в марте 1959 года.

ИС имела серьёзный недостаток – столбики меза-транзисторов соединялись друг с другом и с выводами тонкими золотыми проволочками. Для серийного производства конструкция была не пригодна, но идею монолита руководству TI доказала.

Результат Килби побудил руководство TI мобилизовать все силы на создание ИС на основе планарно-эпитаксиальной технологии. В октябре 1961 г. TI анонсировала создание серии ИС типа «SN-51», а в 1962 г., после создания соответствующей промышленной технологической линии, начала их серийное производство и поставки в интересах НАСА и Минобороны США.

ИС Роберта Нойса. Серия ИС «Micrologic»

В 1959 году Роберт Нойс, президент фирмы *Fairchild*, прослышав про макет ИС Килби, решил попробовать создать интегральную схему, комбинируя процессы планарной технологии и изоляции «*n-p*» переходами, дополнив их избирательным напылением металла поверх изолированных двуокисью кремния полупроводниковых структур для соединения элементов. Так Нойс, освободившись от «волосатой» технологии Килби, получил действительно «монолитный» вариант ИС.

В марте 1961 г., после трёх экспериментов, *Fairchild* анонсировала первую опытную ИС серии «Micrologic» с опубликованием 10 марта 1961 г. её фотографии в журнале «Life» (рис. 2). Далее потребовалось время на отработку технологии и создание промышленной технологической линии. Ещё 5 ИС были анонсированы в октябре, а к концу года была запущена промышленная технологическая линия. С начала 1962 г. *Fairchild* развернула серийное производство ИС серии «Micrologic» и поставки их также в интересах НАСА и Минобороны США.

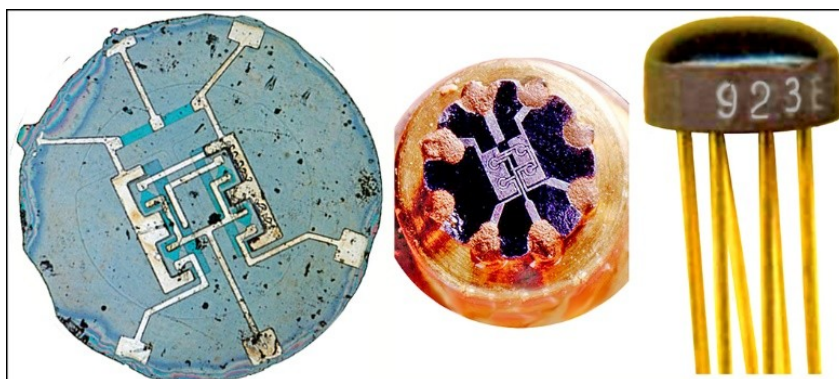


Рис. 2. Фотография первой ИС «Micrologic» в журнале *Life* и ИС в корпусе

Таким образом, у американской микросхемы оказалось два изобретателя:

- Дж. Килби и фирма *TI*, подавшие заявку на регистрацию изобретения в феврале 1959 года.
- Р. Нойс и фирма *Fairchild*, подавшие заявку в июле 1959 г.

Но обе заявки имели «недостатки», позволяющие их оспорить. В результате между *TI* и *Fairchild* началась длительная патентная война, закончившаяся мирным соглашением. Каждая из компаний подтвердила, что другая компания тоже обладает частью прав на интеллектуальную собственность, и согласилась на перекрёстное лицензирование всех имеющихся у каждой из компаний прав.

И Килби, и Нойс выступали со своими разработками ИС как представители полупроводниковой промышленности, исходя из её возможностей и не очень понимали значимость свершённого.

Об этом свидетельствует сам Килби через много лет, когда компания *TI* чувствовала изобретателя: «Сам Килби ... поражён влиянием собственного изобретения. «Мы тогда и не подозревали, что интегральная схема способна уменьшить стоимость электронной обработки буквально в миллионы раз. Прежде ни одно изобретение не приводило к таким поистине революционным изменениям в жизни отрасли...», – поясняет учёный» [1].

«Не подозревали» не только они.

Килби и Нойсу пришлось выслушать немало критических замечаний. Считалось, что практический выход годных ИС будет недопустимо низким. Логично полагать, что он должен быть ниже, чем у транзисторов (поскольку содержит несколько транзисторов), у которых он тогда был не выше 15%. Во-вторых, многие полагали, что в интегральных схемах используются неподходящие материалы. В-третьих, многим казалось кощунственным выбрасывать изделие, в котором вышел из строя только один из многих элементов. Все сомнения постепенно были отброшены.

Советская ИС P12-2 (серии 102 и 116)

В СССР создание первой ИС имела более глубокую историю. Инициаторами выступили не полупроводниковые фирмы – потенциальные производители ИС, а аппаратустроители – потенциальные их потребители, повседневно ощущающие кризис электроники.

Первым выступило ведущее тогда в радиоэлектронике страны КБ-1 (позже НПО «Алмаз») под руководством его главного инженера Фёдора Викторовича Лукина и Андрея Александровича Колосова –

начальника СКБ-41² в КБ-1, обладателя звания Главного конструктора первой категории, которого в стране удостаивались: С. Королёв, А. Туполев, А. Микоян, П. Сухой, А. Расплетин и ещё несколько человек.

Колосов был высокопрофессиональным специалистом и свободно владел тремя иностранными языками. Поэтому Лукин попросил его досконально изучить подходы к микроминиатюризации электронной аппаратуры по иностранным и отечественным источникам.

Результаты этой работы были изданы 26.09.1960 г. в 132-страничной монографии Колосова «Вопросы молекулярной электроники» [2] (рис. 3). Это была первая в стране и мире монография о микроэлектронике.



Рис. 3. А.А. Колосов и его книга, первая в мире монография по микроэлектронике

В ней «автор не только дал описание физических основ работы устройств молекулярной электроники, но и обосновал необходимость и своевременность начала широкомасштабных работ по исследованию проблем, связанных с созданием твёрдых схем, и изложил новые принципы создания радиоэлектронной аппаратуры» [3].

В монографии Колосова описаны и результаты работы Килби, правда, как и в других случаях, без указания имён авторов. О работах Нойса общественность узнала уже после написания монографии.

Колосов так оценивает перспективу микроэлектроники: «В настоящее время радиоэлектроника стоит на пороге такого переворота, который по своей значимости, возможно, будет превосходить скачок вперёд, сделанный в начале этого столетия при переходе от искровой и дуговой радиотехники к радиотехнике электронной лампы» [2].

Сравните эту оценку с вышеприведённым признанием Килби. Нобелевский лауреат изобрёл нечто от скуки (коллеги были в отпусках) и сам не понимал (как и его коллеги: «**Мы** тогда и не подозревали...») значения сделанного.

А наши специалисты целенаправленно вели поиск, понимая его цель и задачу.

Для стимулирования этого поиска монография Колосова была разослана в ведущие электронные фирмы страны и стала учебником для многих специалистов.

Поступила монография и в ленинградский НИИ-131 (НИИ радиоэлектроники, НИИРЭ, позже – НПО «Ленинец»), где привлекла внимание начальника лаборатории Е.М. Ляховича, начинавшего разработку бортового авиационного компьютера «Гном», и его сотрудника, молодого физика Л.И. Реймерова³ (рис. 4). Они решили попробовать сделать многоэлементную Твёрдую схему (ТС,

² В КБ-1 в 1950-е годы все разработчики были объединены в три тематические специальные КБ: СКБ-30 – противоракетные системы, нач. Г.В. Кисунько; СКБ-31 – зенитные системы ПВО, нач. А.А. Расплетин; СКБ-41 – авиационные системы, нач. А.А. Колосов.

³ Ранее, описывая историю этой ИС, я имел информацию только от рижан, «скромно» умолчавших о роли ленинградцев и представлявших их только как заказчиков. Мои попытки получить тогда информацию в АО «Ленинец» остались без ответа. Но в 2019 г. Ляхович сам связался со мной. При встрече он рассказал, что моя версия истории возмутила его и сподвигла написание книги [4], которую он мне и вручил (рис. 5). Жалею, что он не связался со мной сразу, ошибка была бы устранена раньше.

термина «ИС» ещё не было) «НЕ-ИЛИ», на основе которой можно построить устройства, выполняющие любые логические функции.



Рис. 4. Лев Иосифович Реймеров

В результате Реймеров предложил вариант построения однокристалльной ТС «2НЕ-ИЛИ». Тогда же Реймеров подал заявку на регистрацию изобретения и получил авторское свидетельство АС № 24864 от 8.03.1962 г. [4].

Идея была одобрена руководством предприятия. Её реализация в виде ТС была поручена лаборатории Ляховича, который был назначен главным конструктором (ГК) разработки.

Разработка велась с ориентацией на серийную технологию производства транзисторов П401–П403 на ленинградском заводе «Светлана».

В июне 1960 г. на «Светлане» была изготовлена небольшая партия ТС, получивших обозначение «ТС-233» (в серийном производстве – Р12-2).

В сентябре 1960 г. действующие образцы ТС-233 в составе специально собранных тестовых электронных узлов были продемонстрированы руководству НИИ, а затем председателю Госкомитета по радиоэлектронике (ГКРЭ) Д.К. Калмыкову и его заместителю А.И. Шокину.

Работа получила высочайшую оценку, в НИИ-131 был образован опытный участок с технологией производства транзисторов П401–П403, который уже в первом квартале 1961 г. начал изготовление ТС-233.

Позже производство было поручено Рижскому заводу полупроводниковых приборов (РЗПП), владеющему той же технологией. Для этого в КБ при заводе был создан отдел по внедрению ТС в серийное производство, его начальник Ю.В. Осокин (рис. 6) был назначен ГК ТС от завода.



Рис. 5. Евгений Михайлович Ляхович и его книга

Я написал письмо в рижское АО «Альфа» и меня вывели на Осокина, тогда уже пенсионера. Он сообщил многое ранее мне неизвестное (я ему по телефону или электронной почте задавал вопросы, он писал ответы, сканировал их и сканы пересылал мне, далее фрагменты из них).



Рис. 6. Юрий Валентинович Осокин

Вот как привлечение РЗПП к созданию ИС Р12-2 описал мне Осокин в письме от 28.12.2007 г. (рис. 7):

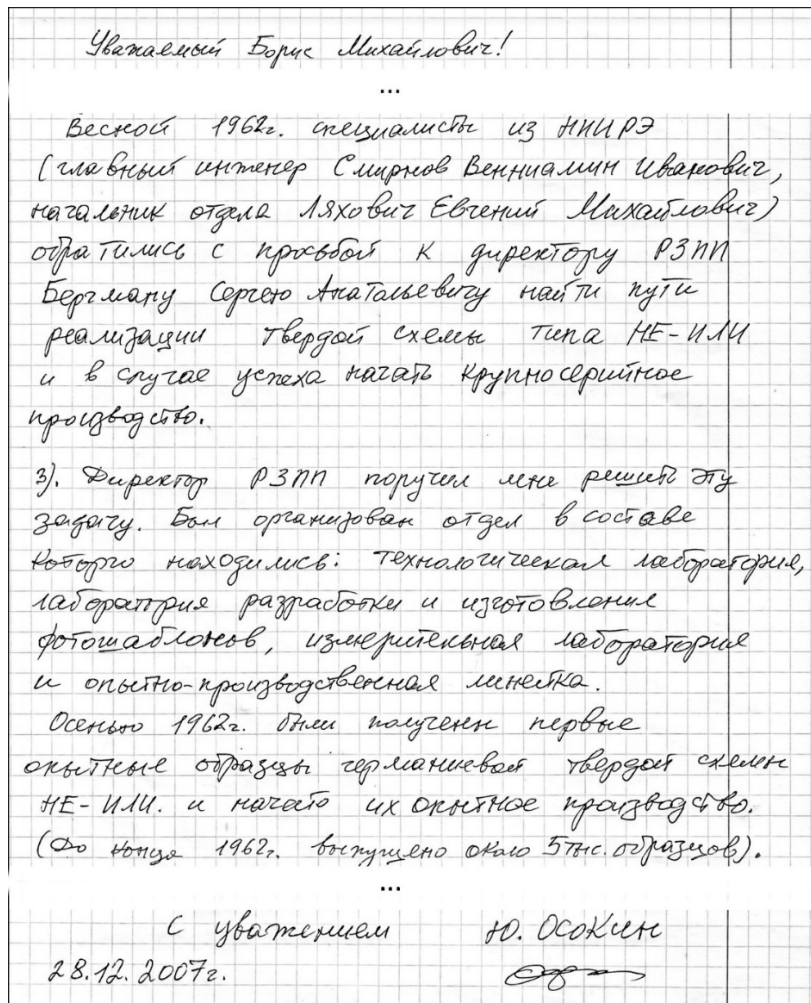


Рис. 7. Фрагмент из письма Ю.В. Осокина о начале работ

А вот как это же событие описывает Ляхович:

«...Мы (В.И. Смирнов (гл. инженер НИИ-131), Л.И. Реймеров и я) с изготовленными в НИИ-131 образцами ТС весной 1961 г. выехали в Ригу на рижский приборостроительный завод (Правильно «Рижский завод полупроводниковых приборов» – РЗПП)...

...В.И. Смирнов рассказал о нашем элементе – твёрдой схеме, что она является универсальным элементом и в будущем потребуется в огромных количествах. Вениамин Иванович нарисовал мелом на доске структуру твёрдой схемы, образцы которой мы привезли на эту встречу, и рассказал технологию, по которой они были изготовлены. ...

С этого момента началось наше «вторжение» на серийный завод с передачей «документации», нарисованной мелом на доске и изложением устно технологии. Электрические параметры и методики измерений были изложены на одной странице формата А4, но задача разбраковки и контроля параметров были за нами» [4].

Разница очевидна.

Конструктивно ТС Р12-2 (и последующая за ней Р12-5⁴) были выполнены в круглой металлической чашечке диаметром 3 мм и высотой 0,8 мм. В неё размещался кристалл ИС с выводами из золотой проволоки и заливался полимерным компаундом. Вес Р12-2 не превышал 25 мг (рис. 8). Многие годы это была самая миниатюрная и самая лёгкая в мире корпусированная ИС.

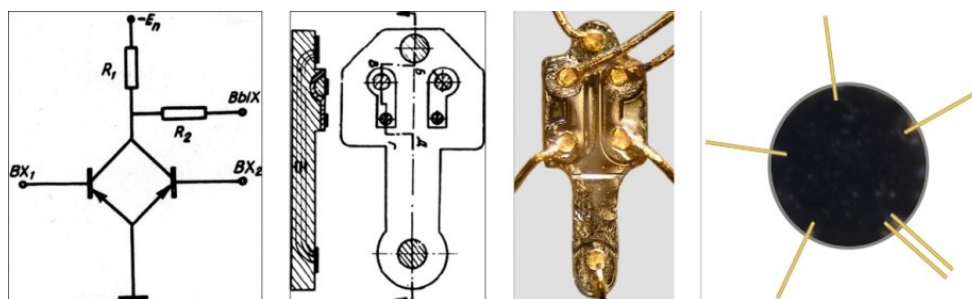


Рис. 8. ИС Р12-2 (1LB021) – схема электрическая, структура кристалла, фото кристалла, ТС в корпусе (здесь и далее в разных масштабах)

Монтировать такие ИС на печатные платы устройств было весьма проблематично, поэтому в НИИРЭ в 1961 г. разработали на основе Р12-2 и Р12-5 модули «Квант» серий 116 и 117 (гл. конструктор Е.М. Ляхович, ответственный исполнитель А.Н. Пелипенко), реализующие более сложные функции. А на их основе – бортовой авиационный компьютер «Гном» (гл. конструктор Е.М. Ляхович).

Модуль «Квант» размещался в металлической штампованной чашечке размером 21,6×6,6 мм и глубиной 3,1 мм. В неё вставили печатную микроплатку из тонкого стеклотекстолита с впрессованными выводами длиной 4 мм. В отверстия в платке разместили от двух до четырёх ТС, соединённых печатным монтажом микроплатки по схеме, реализующей определённый функциональный узел. Микроплатку в чашечке залили полимерным компаундом. В результате получилась гибридная ИС (ГИС). Это была первая в мире ГИС с двухуровневой интеграцией, в которой в качестве активных элементов были использованы не дискретные транзисторы и диоды, а полупроводниковые ИС (рис. 9).



Рис. 9. Модули «Квант», вскрытые и в сборе

⁴ Р12-2 (серия 102) выполнена с диффузионным (слоистым) резистором, а Р12-5 (серия 103) с объёмным резистором на тонком диффузионном слое, что в 8 раз повышает быстродействие и до +70° С температурный диапазон.

ИС производились РЗПП до 1995 г. в объёмах до несколько миллионов в год. Модули «Квант» сначала производились в опытном производстве НИИРЭ, затем на Жигулёвском радиотехническом заводе, а с 1972 г. на РЗПП.

Первые их применения были в бортовом компьютере «Гном» разработки НИИРЭ и телефонной централи П-439 завода «ВЭФ», Рига (рис. 10, 11). «Гном» был первым в мире бортовым авиационным компьютером третьего поколения (на основе ИС). Он применялся в разрабатываемых в НИИРЭ радиоэлектронных комплексах «Купол» и «Пума», более 40 лет надёжно эксплуатируемых в большом парке самолётов, в частности в Ил-76.

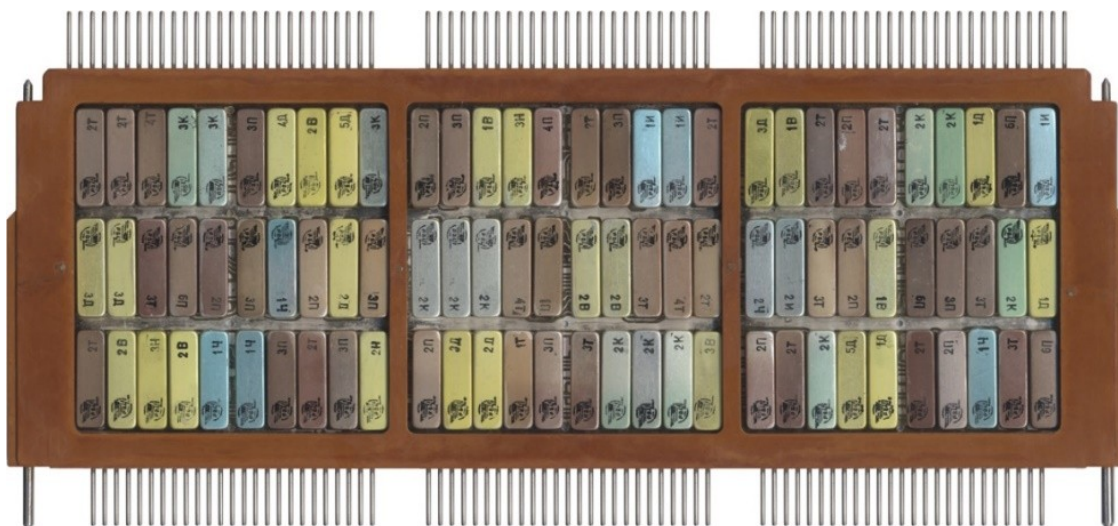


Рис. 10. Арифметическое устройство бортового компьютера «Гном»

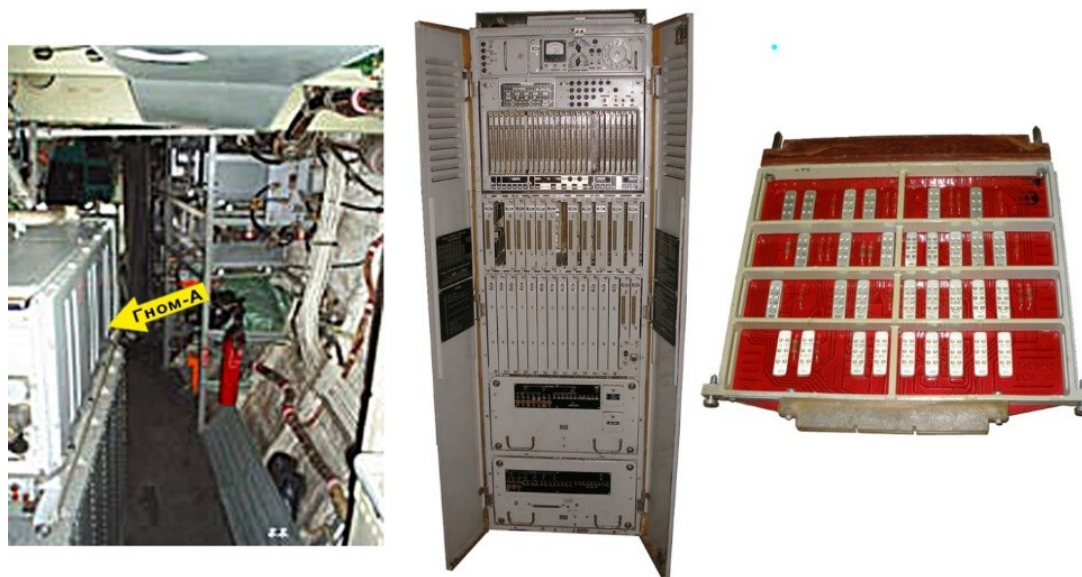


Рис. 11. БЦВМ «Гном-А» на Ил-76 (слева) и телефонная централь П-439 и её плата

Есть три источника, позволяющие оценить последующие объёмы производства ТС и модулей «Квант»:

- По оценке Ляховича, РЗПП было выпущено 500 ТС-233 в 1961 и 15000 ТС Р12-2 в 1962 г.
- Цитата из тезисов выступления Лукина на заседании НТС ВПК⁵ в 1965 г.: «Рижским заводом выпускаются германиевые твёрдые схемы «ИЛИ-НЕ» типа Р-12 (Р12-2). В 1966 г. таких схем будет выпущено 500 тыс. шт.».
- Письмо Осокина мне от 28.12.2007 г. (рис. 12): в 1975 г. ИС – 4,8 млн. шт., модулей – 1,195 млн. шт.

⁵ ВПК – Военно-промышленная комиссия при Совете Министров СССР

5). Об объемах выпуска ИС серий 102 и 103.
 Сейчас трудно восстановить картину выпуска ИС по годам (фактически РЗПП в настоящее время превратился из завода в небольшое предприятие и многие архивные документы утеряны). Но с большой вероятностью полагаю, что выпуск ИС во второй половине 60^х годов исчислялся миллионами штук в год, в 70^х годах миллионы. В моих личных записях есть данные по выпуску в 1985 году:
 - ИС сер. 102 - 4.100.000 шт., модулей сер. 116 - 1.020.000 шт.
 - ИС сер. 103 - 700.000 шт., модулей сер. 117 - 175.000 шт.
 В конце 1989 г. я как генеральный директор ППО «Альфа» вышел к руководству ВПК при СМ СССР с просьбой о снятии серий 102, 103, 116, 117 с производства в виду их относительной трудоемкости (за 25 лет техника микроэлектроники далеко ушла вперед и было бы целесообразным искать иную замену), но получил категорический отказ. Зам. председателю ВПК г. Коблюк сказал мне, 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.

Рис. 12. Из письма Ю. Осокина от 28.12.2007 г. об объемах производства

Разбор приоритетов троицы авторов и фирм – создателей первых в мире ИС, – дело нудное, трудное и неблагодарное. Поэтому я на основе [4, 5] составил таблицу и предлагаю читателю самостоятельно извлечь всё ему интересное и сделать свои выводы (рис. 13).

Фирма	Texas Instruments, США			Fairchild, США		НИИРЭ, РЗП/РЗПШ, СССР Р12-2, с. 102 и модули «Квант», с. 116 Р12-5, с. 103 и модули «Квант», с. 117				
	Изделие	Макет	Туре 502	SN-51	Макет	Micro-logic	TC-233	P12-2	P12-5	«Квант»
Функция	1. Генератор, 2. Триггер	Триггер	Серия ИС	Триггер	Серия ИС	«2И-НЕ»			8 модулей	
Идея	24.07.1958	-	-	29.1.1959	-	05.1960	-	1963	1961	
Автор идеи	Килби		-	Нойс	-	Реймеров	-	Реймеров	?	
Гл. конструктор	-	-	-	Ласт	Норман	Ляхович	Ляхович Осокин	Ляхович	Ляхович	
Материал	1. кремний, 2. германий	Кремний		Кремний		Германий			Микроплата	
Макеты	1. 28.08.1958, 2. 19.09.1958	-	-	26.5.1960 и 08.1960	-	-	-	-	1961	
Образцы	-	03.1959	-	27.9.1960	-	06.1960* 03.1961**	-	Лето 1963	1962	
Анонс	6.03.1959	04.1960, ц. \$450	10.1961	-	03.1961, 10.1961	10.1960 Калмыков и Шокин	-	-	-	
1-я партия	-	Лето 1961, ц. \$450	1961	-	1961	1961***, 500 шт.	1962 г.***, 15 000 шт., 32 руб.	-	1962	
Серия	-	-	с 1962	-	с 1962	-	1962-1995		1963-1995	
Патент	Килби № 3138743 от 06.1964 г. и др.		Патентная война 1962-1966 гг.	Нойс № 2981877 от 07.1959 г. и др.		Реймеров [6]: АС № 24861 от 8.03.1962 заявка 1960 Осокин и др. [7]: АС 248847 от 18.07.1969 заявка 1234531/26-9 от 12.04.1968			?	
* Изготовитель – ЛОЭП «Светлана»			** Изготовитель – НИИ РЭ				*** Изготовитель – РЗП			

Рис. 13. Сравнение первых ИС

Я же считаю, что эта тройца поделила первое место среди создателей мировой микроэлектроники.

IV. НАЧАЛО ПРОИЗВОДСТВА

Итак, в 1962 г. к серийному производству ИС приступили три первых в мире изготовителя: *Fairchild Semiconductor*, TI и РЗПП. Объёмы производства в 1962 г. были ещё небольшими и измерялись несколькими тысячами ИС у каждого изготовителя. Таким образом, 1962 год стал годом рождения микроэлектронной промышленности в США и СССР.

Далее индустрия ИС начала развиваться стремительными темпами. В США начался лавинообразный процесс возникновения предприятий, иногда регистрировались по десятку фирм в неделю.

А в СССР, с его жёстким централизованным планированием и «роли личности», новые капиталоемкие проекты «развиваться стремительными темпами» могли только по постановлению ЦК КПСС и СМ СССР, для организации выхода которого нужно было много потрудиться без гарантии на успех. Такое постановление по развитию микроэлектроники стараниями команды Шокина вышло 8 августа 1962 г. С этого момента работы по созданию отечественной микроэлектроники начали стремительное развитие и в СССР.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, мы установили, что серийное производство ИС СССР и США начали одновременно, в 1962 г.

Значит ни о каком отставании СССР от США в начале серийного производства полупроводниковых ИС речи быть не может.

Но поскольку планарно-эпитаксиальная технология Нойса оказалась значительно перспективнее нашей, весь мир, в том числе и СССР, развивался и развивается поныне по Нойсу.

В этом мы от Нойса отстали. Как и все другие фирмы США и мира.

Но на сколько?

Серийное производство ИС фирма *Fairchild* Нойса начала в 1962 г., а наш «Микрон» – в 1965 г.

Значит, в планарно-эпитаксиальных ИС мы сначала отставали на 3 года.

Но не в микроэлектронике в целом. ИС Р12-2 и модули «Квант» на её основе в течение этих трёх лет серийно производились и широко применялись.

Значит, продукция микроэлектроники в СССР, как и в США, поставлялись потребителю с 1962 г. Отставания в её применении не было. Проигрывали мы только в объёмах производства, но это другой аспект проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компания *Texas Instruments* чувствует изобретателя, сделавшего своё открытие... в далёком 1958 году // *Computerworld Россия*. 1997. № 35 (<https://www.osp.ru/cw/1997/35/23631>)
2. Колосов А.А. Вопросы молекулярной электроники. М.: КБ-1, Отдел научно-технической информации, 1960. 132 с. (http://www.computer-museum.ru/books/voprosi_molekulyarhoi_kolosov.pdf)
3. Гаряинов С.А. Они были первыми // *Электронная техника. Серия 3: Микроэлектроника*. 1998. Вып. 1 (152). С. 10-31.
4. Ляхович Е.М. Я из времени первых. СПб.: Скифия-принт, 2019. 312 с.
5. Изобретение интегральной схемы // https://ru.wikipedia.org/wiki/Изобретение_интегральной_схемы
6. Реймеров Л.И. Твёрдые логические переключающие схемы «НЕ-ИЛИ» на монокристаллах полупроводника // Авторское свидетельство № 24864 от 8 марта 1962 г.
7. Осокин Ю.В. и др. Полупроводниковая твёрдая схема «НЕ-ИЛИ» // Авторское свидетельство № 248847 от 18 июля 1969 г., заявка 1234531/26-9 от 12.04.1968.