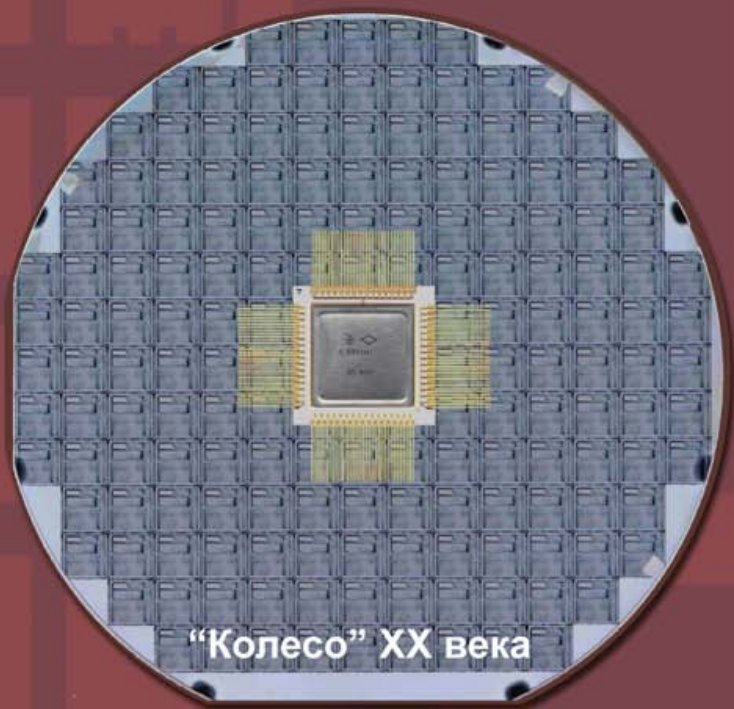


ОЧЕРКИ ИСТОРИИ РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Выпуск 5

50 лет отечественной микроэлектронике

Краткие основы и история развития



“Колесо” XX века



ТЕХНОСФЕРА

Synergenta

*«Уважение к минувшему – вот черта,
отделяющая образованность от дикости»
А.С. Пушкин*

ОЧЕРКИ ИСТОРИИ РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ



**Серия научно-технических
и исторических книг-сборников
о важнейших событиях
в истории
отечественной электроники,
о ее творцах и создателях**

Серия основана В.М. Пролейко в 2009 г.

*Светлой памяти
видных деятелей
отечественной электроники
А.А. Васенкова,
В.М. Пролейко,
Д.И. Юдицкого
посвящается*

Б.М. Малашевич

ОЧЕРКИ ИСТОРИИ РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Выпуск 5

**50 лет
отечественной микроэлектронике.
Краткие основы и история развития**

Техносфера
Москва
2013

*Издано при финансовой поддержке
Федерального агентства по печати
и массовым коммуникациям в рамках
Федеральной целевой программы
«Культура России (2012—2018 годы)»*

УДК 082.2-621.3

ББК 32

М 18

Очерки истории российской электроники

Выпуск 5

Малашевич Б.М.

50 лет отечественной микроэлектронике.

Краткие основы и история развития

М.: Техносфера, 2013. – 800 с.

ISBN 978-5-94836-346-2

Отечественная микроэлектроника в дореформенный период входила в тройку мировых лидеров (наряду с микроэлектрониками США и Японии), а в некоторых направлениях опережала их, несмотря на жесткую изоляцию в условиях холодной войны. Книга «50 лет отечественной микроэлектронике» – это первое в стране комплексное издание о микроэлектронике и вычислительной технике, ориентированное на широкую читательскую аудиторию.

Особая ценность монографии в том, что она написана ветераном отечественной электронной промышленности, владеющим объективной информацией на основе личного научно-производственного опыта. Автор в течение многих лет возглавлял отраслевое подразделение по координации разработок изделий микроэлектроники и вычислительной техники в Минэлектронпроме.

Издание адресовано в первую очередь молодежи, получающей на основе опыта их дедов и отцов объективные ориентиры для построения будущего, а также широкому кругу читателей, интересующихся историей и перспективами отечественной науки и техники.

УДК 082.2-621.3

ББК 32

© 2013, Б.М. Малашевич

© 2013, ЗАО "РИЦ "Техносфера" – оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-346-2

Содержание

| | |
|--|------------|
| От издателей серии сборников | 7 |
| Предисловие | 8 |
| От автора | 10 |
| Введение | 17 |
| | |
| Глава 1. Исторические реалии 1960—1980-х годов | 24 |
| | |
| Глава 2. Зарождение электроники | 46 |
| 2.1. Истоки электроники..... | 46 |
| 2.2. Искровая электроника..... | 50 |
| 2.3. Этапы (поколения) развития электроники..... | 64 |
| | |
| Глава 3. 1-е поколение электроники | 67 |
| 3.1. Ламповая электроника..... | 67 |
| 3.2. Зарождение вычислительной техники..... | 76 |
| 3.3. Монтаж электронной аппаратуры..... | 102 |
| | |
| Глава 4. 2-е поколение электроники | 107 |
| 4.1. Полупроводниковая электроника..... | 107 |
| 4.2. Вычислительная техника 2-го поколения..... | 175 |
| 4.3. Большая вычислительная система А-35..... | 205 |
| | |
| Глава 5. 3-е поколение электроники | 284 |
| 5.1. Зарождение и становление отечественной микроэлектроники..... | 284 |
| 5.2. Вычислительная техника 3-го поколения..... | 374 |
| 5.3. О причинах остановки проекта 5Э53..... | 507 |
| | |
| Глава 6. 4-е поколение электроники | 529 |
| 6.1. Микропроцессоры и системы на кристалле..... | 529 |
| 6.2. Микроэлектромеханические системы (МЭМС)..... | 582 |
| 6.3. Разработка и производство полупроводниковой продукции..... | 586 |
| 6.4. Вычислительная техника 4-го поколения..... | 613 |

| | |
|--|------------|
| Глава 7. 5-е поколение электроники | 681 |
| Глава 8. Координация и управление разработками в Минэлектронпроме | 688 |
| 8.1. Система планирования разработок в Минэлектронпроме..... | 688 |
| 8.2. О пресловутом отставании элементной базы..... | 715 |
| Глава 9. О системе поощрения создателей электроники | 740 |
| Глава 10. Заключение, или три кризиса отечественной электроники | 751 |
| Приложение 1. Справка о проекте «Алмаз» | 764 |
| Приложение 2. Доклады о проекте «Алмаз» | 773 |
| Приложение 3. Об истории отечественной электроники | 784 |
| Приложение 4. Цитированная Литература | 795 |

ОТ ИЗДАТЕЛЕЙ СЕРИИ СБОРНИКОВ

Группа компаний Синэрджента, организующая издания серии книг-сборников под общим названием «Созидатели отечественной элек-троники» (СОЭ), решила продолжить издание сборников серии «Очерки истории российской электроники», основанной В.М. Пролейко в 2009 г., в издании которых наш представитель активно участвовал.

В отличие от предыдущих, эта книга – монография одного автора, посвященная микроэлектронике, которая с момента своего появления в 1962 г. оказала невиданное ранее революционное влияние на все направления электроники, на все виды техники, на все сферы жизне-деятельности человека. Ни одна из областей науки и техники не оказывала столь стремительного влияния на жизнь человеческого общества, как микроэлектроника. В том числе и отечественная, входившая в тройку мировых лидеров в дореформенный период страны. 50 лет существования микроэлектроники преобразовали индустриальное общество в информационное.

Изделия современной микроэлектроники (микропроцессоры и системы на кристалле) являются синтезом двух направлений в науке и технике: полупроводниковой технологии и системотехники вычислительной техники. Поэтому в книге рассмотрены краткие основы и история развития этих направлений.

Как и все книги серий СОЭ и «очерков», настоящее издание ориентировано на широкий круг читателей, написано понятным языком. Не претендуя на полноту и универсальность, книга характеризуется широтой и глубиной представленного материала, любой читатель найдет в ней много для себя нового. В значительной степени это определяется тем, что автор книги прошел тот же жизненный путь, что и микроэлектроника. Б.М. Малашевич – человек весьма осведомленный, активный участник или свидетель многих из описанных в книге событий.



Бутузов
Сергей Владимирович,
президент ГК Синэрджента



Малашевич
Борис Михайлович,
главный редактор серии СОЭ,
сов. президента ГК Синэрджента

Сергей Бутузов

Предисловие



Амербаев
Вильжан Мавлютинович,
д. т. н., профессор,
академик НАН РК

Книга «50 лет отечественной микроэлектронике. Краткие основы и история развития» представляет собой монографию, написанную ветераном отечественной микроэлектроники и вычислительной техники.

В книге современная микроэлектроника рассматривается как высшее на данный момент достижение электроники, имеющее два основных аспекта: технологический и системотехнический. При этом термин «электроника» трактуется в самом широком смысле — от простейших элементов до сложнейших разнообразных систем, в том числе вычислительных.

Технологический аспект — это развитие полупроводниковой индустрии, обеспечивающее возможность реализации в одном полупроводниковом приборе сложных функциональных устройств типа процессоров и систем на кристалле.

Системотехнический аспект — это прежде всего развитие алгоритмов обработки информации, архитектур, структур и схемотехники устройств цифровой вычислительной техники.

Описанию кратких основ и истории развития этих аспектов и их слияния в микроэлектронике и посвящена предлагаемая читателю монография.

Отечественная микроэлектроника, созданная первым поколением работавших в ней специалистов, к которым относится и автор, в дореформенный период входила в тройку мировых лидеров (наряду с микроэлектроникой США и Японии). И это в условиях «холодной войны» и жесткой изоляции от международной кооперации НАТОвским комитетом КОКОМ.

К сожалению, в России имеется острый дефицит общедоступной информации, объективно представляющей достойное прошлое отечественной электроники. В дореформенный период информация о ее научно-техническом уровне, как и об уровне многих других направ-

лений, была в значительной степени засекречена. И тогда общественность о многих наших достижениях и приоритетах не знала, а ныне даже то, что было известно, забывается. Это создает у непосвященных, особенно у молодежи, не знающей жизненных реалий тех времен, ложное представление, что своей электроники у нас никогда не было и быть не может. Что совершенно не соответствует действительности и дает ложные ориентиры на будущее.

Объективную оценку уровню отечественной электроники в 2009 г. дал лауреат Нобелевской премии (за работы в микроэлектронике) Ж. И. Алферов: *«В 1970—1980-е годы существовали только три страны с развитой электроникой: США, Япония и СССР. Но по многим направлениям советская электроника занимала передовые позиции...»*

Монография «50 лет отечественной микроэлектронике. Краткие основы и история развития» — это первое в стране комплексное издание, ориентированное на широкую читательскую аудиторию. В ней на достаточно популярном языке и с многочисленными иллюстрациями рассмотрены краткие (насколько это возможно в одной книге) основы и история развития полупроводниковой и вычислительной техники от первых изделий, производство которых началось в США и СССР в 1962 г., до сегодняшнего дня.

Особая ценность книги заключается в том, что написана она непосредственным участником событий, в течение многих лет возглавлявшим отраслевое подразделение по координации разработок изделий микроэлектроники и вычислительной техники в Минэлектронпроме СССР и со смежными ведомствами, владеющим объективной информацией на основе личного научно-производственного опыта. К величайшему сожалению, подобных специалистов осталось очень мало. Пройдет еще несколько лет, и рассказать об истории отечественной микроэлектроники будет некому. Это делает книгу «50 лет отечественной микроэлектроники» уникальной и особо ценной и для активно действующих сейчас работников электроники, и для любого гражданина России, интересующегося историей и перспективами отечественной науки и техники. И особенно для молодежи, получающей на основе опыта их дедов и отцов объективные ориентиры для построения своего будущего.

Академик
Национальной академии наук
Республики Казахстан



В. Амербаев

От автора

*Я горячий сторонник истины,
но отнюдь не желаю быть ее мучеником.*

Вальтер

Судьба распорядилась так, что я проработал в зеленоградских СВЦ — СКБ НЦ — НИИ НЦ (претерпевших последовательную реорганизацию) почти весь период их существования. А с 1994 по 2012 г. работал в ОАО «Ангстрем». Я был, в различной степени, либо участником, либо свидетелем многих из нижеописанных событий. О событиях более ранних пришлось узнать уже при подготовке книги от еще живущих их свидетелей и участников, из сохранившихся документов, из публикаций.

В 1997 г., когда шла подготовка к выпуску юбилейного сборника к 40-летию Зеленограда и 35-летию Научного центра, Василий Николаевич Сретенский, активно участвовавший в выпуске юбилейного сборника, просил меня написать о работах в НПО НЦ по вычислительной технике. Но я тогда отказался, считая, что для этого есть более подходящие люди. Прочитав же выпущенный сборник [1], к сожалению, увидел, что история создания ЭВМ в Зеленограде практически не нашла в нем отражения, а из тех крох, что было написано, далеко не все соответствовало действительности. Прошло еще пять лет, многих из тех, кто мог бы написать эту историю, не стало, и на предложение о подготовке материала в сборник к 40-летию Научного центра (готовился параллельно со сборником, посвященным 45-летию города) я согласился. Так была начата работа, к сожалению не воплощенная в жизнь: сборник об НЦ так и не вышел. Однако работа захватила меня, и я решил продолжить ее.

В период с середины 1976 г. и до ликвидации Минэлектронпрома СССР в 1992 г. я возглавлял отраслевую службу (лабораторию, потом отдел) по координации разработок микропроцессорных средств вычислительной техники (аппаратура и программное обеспечение) и микропроцессоров (микроэлектроника). Поэтому, начав с истории

зеленоградской вычислительной техники, я не мог не заняться и вопросами истории микроэлектроники. Тем более что на моих глазах и при моем участии они слились воедино. Микроэлектроника стала новым поколением технологии производства вычислительной техники. Постепенно микроэлектроника превратилась в главного героя моих исторических изысканий. По этой причине именно микроэлектроника вышла в заголовок этой книги.

В процессе работы над историей вычислительной техники и микроэлектроники я столкнулся с необходимостью определиться с самим понятием «история». В общебытовом понимании история — это изложение хода событий так, как оно было на самом деле. В ходе работы я понял, что такое изложение практически невозможно. Как минимум, по трем причинам.

Во-первых, участник или свидетель событий даже в момент их свершения, как правило, никогда не знает всех тонкостей и подробностей и самих событий, и побудительных причин, и интересов и действий их участников, и массы других аспектов. На тот момент написания я работал в ОАО «Ангстрем» и находился в десятке-двадцатке наиболее осведомленных лиц. И постоянно обнаруживал ограниченность своих знаний происходящих событий. Следовательно, свидетельства даже участников событий, даже в момент их свершения, никогда не бывают абсолютно точными.

Во-вторых, память человека не совершенна. И по истечении времени он многое забывает. И рассказывая по прошествии многих лет о событиях, участником или свидетелем которых был, автор невольно вносит искажения.

В-третьих, у каждого человека имеется личное отношение к событиям, личные интересы, которые также сказываются на изложении им прошедших событий, либо произвольно (заблуждение), либо осознано (откровенная ложь и подтасовка фактов, что, к сожалению, не редкость).

Таким образом, любая история относительна, в различной степени приближена к реально происходившим событиям, но никогда точно им не соответствует. Поэтому под историей, как представляется, следует понимать общепринятое толкование происходивших событий, изменяемое со временем в соответствии с духом этого времени.

*Увидев звезду, присмотришь.
Возможно, это простой светлячок.
Или гнилушка. Они тоже светятся.*

В ходе работы мне пришлось прочитать немало воспоминаний бывших руководителей предприятий, крупных ученых и руководителей или причисляющих себя к таковым (по мере ухода из жизни истинных творцов из разных щелей вылезают герои мнимые, и их становится все больше и больше). Во многих из публикаций нередко проявляются личные амбиции: в различной степени гиперболизируется роль автора и принижается роль предшественников и коллег, все достижения коллективов часто объясняются личной ролью автора, а недостатки — бездарностью других.

В результате я пришел к выводу, что наиболее объективное описание событий может дать человек, находящийся в самой их гуще, обладающий информацией, но не относящийся к высшему руководству и не претендующий на роль великого ученого и организатора. Он свободен от личных амбиций, ему не нужно доказывать личную исключительность и определяющую роль в истории, т. е. человек вроде меня.

*Я думаю, мы должны говорить правду
или хотя бы говорить то, что мы думаем.*

Юрий Лужков

Однако объективность — вещь далеко не объективная. У каждого своя правда. И каждая правда имеет право на существование, если она соответствует вышеприведенной фразе Ю. М. Лужкова, подсмотренной в одной из газет. В этой фразе заложена глубокая мысль о многоликости и относительности правды, абсолютной правды не бывает, она всегда ограничена мерой информированности и мерой понимания носителя правды. Но она допускает наличие искренних заблуждений, именно из-за них правда у каждого своя. Правда не допускает только сознательной лжи, подтасовки фактов и их толкований. Тогда это не правда, и ее в книге нет, я старался, чтобы не было. В книге изложена моя правда, причем за время работы над книгой, по мере ознакомления со многими фактами, документами, мнениями и толкованиями участников и свидетелей событий, моя правда претерпела серьезные изменения. В книге — итог этой трансформации. И совер-



шенно естественно, что многим моя правда не понравится, многие с ней не согласятся. Это неизбежно. И это нормально. Никто им не мешает изложить свою версию правды. Это их право. Было бы желание.

Приступая к работе, я не представлял всех ее трудностей. Много забыто, многие документы и архивы варварски уничтожены «иванами, не помнящими родства» (писать этих иванов с большой буквы не хочется), многих участников событий либо уже нет, либо они недоступны. Я встретился со многими людьми, ознакомился с сохранившимися документами. Кое-какую информацию получил из Интернета, но про дела отечественной микроэлектроники и вычислительной техники там ее до обидного мало. Я старался изложить события объективно, так, как они происходили, минимизируя, насколько это возможно, личное отношение к ним. Именно поэтому текст написан в основном в повествовательной форме и изобилует цитатами. Я также стремился, насколько это теперь возможно, по каждому событию привести фамилии и фотографии людей, принявших в нем наиболее активное участие. Насколько я помню или насколько мне удалось узнать.

*Звезда — это солнце.
А значит, не без пятен.*

Однако пожелание объективности привело к необходимости упоминать о нелицеприятных поступках некоторых известных и уважаемых людей: академиков, главных конструкторов, руководителей и высших чиновников, лауреатов премий и кавалеров орденов. Многие из них немало доброго сделали для страны, для дела, для коллег. Но, к величайшему сожалению, не только доброго. И на Солнце бывают пятна. И Луна иногда заслоняет Солнце. А уж если Звезда двойная, то ее Солнца часто затмевают друг друга. Среди людских Звезд еще сложнее. Немало их грубо топталось по людскому «млечному пути», давя коллег-соперников. У многих есть причины для бессонных, в муках совести, ночей. Но такова жизнь. А передо мною встала трудная задача — как поступать с негативной информацией, которой оказалось довольно много? Делать вид, что ее не было, как поступают многие авторы? Или не церемониться и писать все, как было? Но так ли было, как рассказывают люди и говорят документы (правда весьма субъективна, у каждого она своя)? В процессе работы я убедился в не-

обходимости критического отношения к информации. В необходимости все перепроверять. Я долго думал над этой нравственной проблемой и пришел к промежуточному решению. О многих негативных моментах я умолчал, но некоторые не смог обойти, в основном связанные с судьбами талантливых ученых и организаторов Д. И. Юдицкого и Г. В. Кисунько. Исходил я из соображения, что и злые дела великих людей, часто крушивших судьбы не менее великих (а часто более великих, но менее способных на интриги), не должны быть забыты. Это было бы несправедливо к тем, чьи судьбы были разрушены. При этом я, как правило, не называл имена «героев», считая, что по прошествии многих лет это не важно. Но не показать их вредоносных деяний я во многих случаях не мог.

Готовя книгу, я много обращался к Интернету и ужаснулся, какую чушь люди неосведомленные или явные клеветники пишут в нем о прошлом отечественной электроники и вычислительной техники. В нынешних условиях, на фоне подавляющего распространения импортной техники, у многих создается ложное представление о том, что своей электроники у нас никогда не было. А ведь недалеко время, когда наша страна была **единственной в мире**, полностью обеспечивавшей свои (и не только свои) потребности в электронике, причем на техническом уровне, в целом соответствующем мировому (в чем-то отставали, в чем-то соответствовали, в чем-то опережали). И многие годы занимали в мире почетное второе место и в микроэлектронике, и в вычислительной технике. А иногда и первое. Уровень развития советской электроники обеспечивал возможность создания и тиражирования в нужных объемах лучших в мире ракет, самолетов, подводных лодок, мирных ледоколов и атомных станций и многого, многого другого. Было множество открытий и продуктов, сделанных в нашей стране впервые в мире. И это в условиях фактической блокады нашей страны от мировых достижений науки и техники в условиях противостояния двух мировых систем. Поэтому я старался по ходу описания акцентировать моменты, когда мы не отставали или превосходили мировой уровень. Таких моментов было великое множество и упомянутые мною — лишь малая их толика. Эти акценты необходимы не только для правильного понимания прошлого, но и для воспитания молодежи, для будущего страны. Молодежь, воспитанная на импортной технике и считающая, что в их стране своей электроники никогда не было (а именно так ее сейчас фактически и воспитывают),



запрограммирована на преклонение перед импортом и не способна на создание чего-либо нового. А молодежь, знающая о реальных достижениях в электронике своих отцов и дедов, понимающая причины нынешнего отставания отечественной электроники, сможет не только восстановить ее позиции, но и превзойти зарубежных конкурентов.

Исходя из этих предпосылок, я и подбирал материалы для книги. Что-то найдено в документах, что-то вспомнилось, что-то пришлось реконструировать на основе воспоминаний различных участников или свидетелей событий, иногда противоречивых. Естественно, отображены далеко не все события, упомянуты не все их участники, приведены не все факты. Это принципиально невозможно. О том, что получилось, судить участникам событий и читателям. Участники описанных событий, с которыми я встречался при подготовке книги, считают, что в Зеленограде многое сделано в области развития отечественной микроэлектроники и вычислительной техники и соответствующий след в истории должен остаться. К сожалению, этого не сделали те, кто имел на это больше оснований и возможностей, но время упущено, и откладывать дальше уже нельзя.

Читателю предлагаются в основном зеленоградские страницы из истории отечественной микроэлектроники и вычислительной техники, мне хорошо известные. Но были и другие, не менее интересные и драматичные. Только в Минэлектронпроме были ленинградские, воронежские, киевские и другие страницы. А еще были свои страницы в Минрадиопроме, Минприборе и т. п. Я рассказал о том, что лучше знаю.

Я от всей души благодарю за активную помощь в подготовке этого исторического экскурса А. И. Абрамова, В. М. Амербаева, Н. Н. Антипова, М. Н. Белову, В. С. Бутузова, А. А. Васенкова, Н. М. Воробьева, В. Л. Дшхуняна, С. В. Ермакова, Е. И. Жукова, Н. Н. Зубова, В. Н. Лукашова, И. Ф. Казакову, А. К. Катмана, Н. Н. Колобова, В. Г. Коломыца, М. Д. Корнева, Л. С. Кридинера, В. Я. Кузнецова, А. А. Лавренова, В. Ф. Лукина, П. Р. Машевича, В. А. Меркулова, В. Д. Меркулова, П. В. Нестерова, Ю. В. Осокина, Н. К. Остапенко, Ю. Л. Отрохова, А. В. Пивоварова, Ю. С. Полетаева, А. А. Попова, В. В. Пржиялковского, Э. М. Пройдакова, В. М. Пролейко, Ю. В. Рогачева, Л. Г. Рыкова, В. С. Седова, И. П. Селезнева, П. П. Силантьева, А. М. Смагляя, И. Г. Титову, Я. А. Хетагурова, М. М. Хохлова, Р. В. Хорькова, В. С. Черняева, В. Н. Шмигельского, А. А. Шокина,

С. В. Якубовского и многих, многих других участников и свидетелей событий, помогших в подготовке настоящей книги. Их воспоминания и сохраненные ими материалы помогли достовернее отобразить многие события, насколько это возможно по прошествии стольких лет, проиллюстрировать их фотографиями. Особая благодарность А. А. Васенкову и С. В. Якубовскому. Как никто иной, они сохранили огромные личные архивы информации о богатой истории отечественной микроэлектроники, активными участниками которой они были. И охотно делились ею со всеми, интересующимися этой историей.

Эта книга — обобщение итогов более чем 15-летней работы по изучению истории отечественной вычислительной техники и микроэлектроники. К величайшему сожалению, именно на обобщение времени оказалось очень мало, так сложилась ситуация. В результате получилось не совсем то, что хотелось.

Я прошу прощения за неизбежные ошибки и неточности, а также у тех, кого не упомянул, чью роль или позицию не отобразил. В этом не было никакого умысла, просто «нельзя объять необъятное», не нашлось соответствующей информации или подвела память.

С уважением,



Б. Малашевич

Введение

К началу 1960-х гг. мировая электроника переживала всеобщий кризис — возможности микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры на основе отдельных дискретных элементов были исчерпаны. Требовались иные технические решения, и они были найдены в США и СССР — микроэлектроника.

В 1962 г. в США и СССР началось серийное производство принципиально нового вида продукции — интегральных схем (ИС), называемых также микросхемами. В США это сделали фирма Fairchild и фирма Texas Instruments (TI), в 1962 г. начавшие серийное производство ИС на основании новых для них технологий. А в СССР — Рижский завод полупроводниковых приборов (РЗПП, позже Промышленное объединение «Альфа»), в том же году начавший производство своих ИС на основе серийной технологии производства планарных транзисторов.

В нашей стране в 1962 г. произошло еще одно важное событие — 8 сентября вышло постановление ЦК КПСС и СМ СССР о развитии отечественной микроэлектроники, о создании ее инновационного центра (Центра микроэлектроники в будущем Зеленограде) и ряда предприятий в других городах страны. С выходом этого постановления началось ширококомасштабное развитие отечественной микроэлектроники.

Таким образом, 1962 г. можно считать годом рождения мировой и отечественной **микроэлектроники — отрасли науки и промышленности, занимающейся созданием и тиражированием интегральных схем.**

В 1962 г. мне был 21 год, и я хорошо помню окружавший тогда меня мир. Каким же он был? Почти ничего электронного обычные люди тогда не видели и не знали — все успехи электроники тех лет доставались самым важным оборонным системам, да и там электроники почти не было, сосредоточена она была в основном в связи и радиолокации. Тогда и слова «электроника» еще не было, все это было «радиотехникой». В магазинах можно было встретить ламповые радиоприемники, магнитофоны, первые телевизоры, всё огромных размеров, требующее для своего размещения специальную тумбочку или стол. А цены для большинства людей были недоступны. Основными СМИ

были газеты, радиотрансляционная сеть, кинотеатры и устный «фольклор». Часы были только механические. Домашние телефоны были только у больших начальников. Уличные таксофоны в специальных будках, особенно в периферийных городах, были еще довольно редки. Во всех сферах деятельности человека процветал тяжелый ручной труд, в значительной степени низкоквалифицированный и грязный, в прямом смысле этого слова. Общедоступными средствами «вычислительной техники» были логарифмическая линейка для инженеров, счеты для продавцов и бухгалтеров, механический арифмометр «Феликс» для сложных вычислений. Для остальных — пальцы, карандаш и бумажка. Компьютеры (тогда их у нас называли «электронные вычислительные машины» — ЭВМ) уже были, но общее количество их в стране измерялось десятками, и они были огромными — занимали большие машинные залы. Обычные люди ни компьютеров, ни результатов их работы не видели. На передовых производствах были зачатки простейшей механической и электромеханической автоматизации. На железных дорогах, особенно на периферии, основными локомотивами были паровозы и тепловозы. На самолетах летали в основном большие начальники и элита, остальным это было не по карману, да и мало еще было самолетов. Слов «электроника», «калькулятор», «компьютер», «мобильник», «флешка», «плеер», «навигатор» и многих подобных, ныне повседневных, не знали не только мы — молодежь, но и окружающие нас взрослые.

Сравните эту картину с сегодняшним днем — ведь это совершенно разные миры. Разница между ними многократно больше, чем между временами Юрика и последнего Романова. Но там более 1000 лет, а здесь — 50. Что же вызвало столь взрывное развитие науки и техники, всей человеческой цивилизации? Ответ однозначен — это создание малюсенького кристаллика интегральной схемы, объединяющей сначала несколько элементов, затем десятки, сотни, тысячи, миллионы... То есть создание микроэлектроники.

В этом невиданном ранее влиянии на темпы развития науки и техники, на все сферы жизнедеятельности человека — исключительная фундаментальная роль микроэлектроники, выделяющая ее из сонма других отраслей науки и техники. Ни одна из них не оказала столь революционного и столь стремительного влияния на развитие человеческого общества, как микроэлектроника. Популярные ныне информационные технологии появились исключительно благодаря



микроэлектронике, без нее они были бы невозможны. Сам термин «информатика» появился только после того, как микроэлектроника сказала свое слово.

Из сказанного очевидно, что микроэлектроника — особая, фундаментальная область науки и техники, определяющая уровень развития других отраслей науки и техники, определяющая уровень развития цивилизации.

В 2012 г. мировой и отечественной микроэлектронике исполнилось 50 лет. К величайшему сожалению, это событие прошло незамеченным неблагодарной мировой и отечественной общественностью. А ведь поколение специалистов в мире и в нашей стране, те, что уже ушли из жизни, и те немногие, что еще среди нас, безусловно, достойны того, чтобы потомки в день юбилея вспомнили их и оценили их подвиг. Подвиг, который обеспечил потомкам значительно более высокий уровень и более высокое качество жизни, чем это было бы без этого подвига. Но не вспомнили (не знаю, как в мире, но в России напминали), не оценили (у нас проигнорировали). Своим невниманием и пренебрежением человечество и российское руководство показали, что они недостойны подвига своих Отцов и Дедов.

Говоря о микроэлектронике, необходимо отметить, что она имеет два основных аспекта:

- технологический;
- системотехнический.

Основой технологического аспекта микроэлектроники является планарная полупроводниковая интегральная технология, позволяющая в едином многоступенчатом технологическом процессе создавать и множество элементов одного изделия, и множество изделий. Со все уменьшающимися по мере развития размерами элементов и со все увеличивающимся количеством элементов в изделии и количеством одновременно изготавливаемых изделий. Первые ИС содержали несколько элементов или несколько их десятков. В настоящее время — это миллионы элементов в одной ИС.

Основой системотехнического аспекта микроэлектроники является функция, выполняемая ИС. В этом аспекте микроэлектроника имеет многолетнюю предысторию и огромный научно-технический задел в аппаратостроении. По существу, микроэлектроника дала возможность в виде ИС делать те функциональные устройства, которые ранее делались в виде печатной платы, блока, стойки, комплекса.

Но функциональные устройства делались на основе транзисторов (еще ранее — электронных ламп) с применением резисторов, конденсаторов, линий задержки и других дискретных пассивных элементов. Первые ИС делались так же, появились специальные термины: ДТЛ (диодно-транзисторная логика), ДРЛ (диодно-резистивная логика), РТЛ (резистивно-транзисторная логика), РЕТЛ (резисторно-емкостная транзисторная логика) и т. п. Сначала, пока размеры элементов были большими, это еще удавалось. Но размеры, например, резисторов и конденсаторов имеют принципиальные пределы своего уменьшения и быстро стали тормозом в развитии микроэлектроники. В результате были найдены новые схемотехнические решения построения функциональных устройств без применения резисторов и конденсаторов, например ТТЛ — транзисторно-транзисторная логика, построенная на основе только транзисторов.

Первые ИС выполняли простейшие функции усилителя, генератора, элемента алгебры логики и т. п. По мере развития технологии ИС выполняли все более сложные функции: регистров, арифметических устройств, процессоров, компьютеров, разнообразных систем на кристалле. В настоящее время это сложнейшие микропроцессоры, микроконтроллеры и многоядерные системы на одном кристалле.

Глубокое проникновение изделий микроэлектроники во все сферы жизнедеятельности человека и радикальное их изменение произошло благодаря именно ее системотехническому аспекту. Действительно, для реального применения необходимо выполнение требуемой функции, а не втиснутые в кристалл многие элементы — это не цель, это средство достижения цели. Основой же функциональных устройств и их важнейшей составной частью являются различные микропроцессоры, микроконтроллеры и системы на одном кристалле, т. е. средства вычислительной техники, выполненные по микроэлектронной технологии в виде ИС. В результате вычислительная техника через микроэлектронику стала проникать в различные электронные системы, применяемые в самых разнообразных сферах жизнедеятельности человека, ранее немислимых. Именно это и привело к взрывному развитию всех областей науки и техники. Сейчас каждого человека постоянно и повсюду окружает множество изделий вычислительной техники, изготовленных по технологии микроэлектроники. По несколько встроенных компьютеров имеется в каждом ноутбуке, планшете, сотовом телефоне, в электронной игре. Имеются свои компью-



теры в часах, холодильниках, бытовых печах, в швейных машинах. Они повсюду. И сделаны они микроэлектроникой. Практически во всех больших ИС имеется один или несколько компьютеров. Поэтому говорить об истории и основах микроэлектроники и не сказать об истории и основах вычислительной техники, главного их системотехнического компонента, невозможно. Вместе мы их в последующих главах и рассмотрим. А пока вернемся к электронике.

Здесь необходимо остановиться и на самом термине «электроника». Он появился далеко не сразу, да и сегодня трактуется неоднозначно. Как мы отметим ниже, электроника началась с радио, она тогда так и называлась — «радиотехника», затем «радиоэлектроника». Но имеются устройства проводной связи, электронные управляющие и вычислительные устройства и системы, другие изделия, в которых радиоволны не применялись и к которым слово «радио» никак не подходило. Тогда и появился термин «электроника». Большая советская энциклопедия дает такое определение этому термину: *«Электроника (от греческого Ηλεκτρόνιο — электрон) — наука о взаимодействии электронов с электромагнитными полями и методах создания электронных приборов с электромагнитными полями и методах создания электронных приборов и устройств для преобразования электромагнитной энергии, в основном для приема, передачи, обработки и хранения информации»*. В принципе с этим определением можно согласиться, с одной поправкой, что это не только наука, но и промышленность и ее продукция. Так термин «электроника» в мире и понимается, как общее название полного множества всех электронных изделий, науки и промышленности для их создания.

Любое конечное изделие электроники, т. е. изделие, используемое потребителем по назначению, представляет собой совокупность соединенных определенным образом элементов (компонентов). Каждый такой элемент характеризуется тем, что выполнен в виде отдельного неделимого и не ремонтируемого физического объекта, являющегося товарной продукцией для одних производителей и покупным комплектующим изделием для других — производителей более сложных изделий электроники. При порче такого элемента он не ремонтируется, а утилизируется. В СССР все множество таких элементов было принято называть комплектующими изделиями, электрорадиоэлементами (ЭРЭ) или элементной базой — ЭБ, а теперь в России — электронной компонентной базой — ЭКБ. Однако термин ЭБ не нра-

вился министру электронной промышленности СССР А. И. Шокину, которая специализировалась на создании и производстве именно элементной базы, или «алиментной базы», как не без издевки говорил министр, отвергая этот термин. Поэтому официально в Минэлектронпроме применялся термин «изделие электронной техники» (ИЭТ) или «электронный прибор». Но в первые десятилетия существования электроники такой специализации не было, комплектующие изделия производители электроники делали в основном для себя сами. Специализация постепенно возникала с усложнением элементной базы, с появлением вакуумных, а затем и полупроводниковых приборов. В СССР эта специализация получила формальное выражение выделением 17 марта 1961 г. из Государственного комитета по радиоэлектронике (ГКРЭ) Государственного комитета по электронной технике (ГКЭТ), преобразованного в 1965 г. (при реорганизации госкомитетов и совнархозов) в Министерство электронной промышленности (МЭП). С этого момента в нашей стране установилась специализация:

- изделия электронной техники — комплектующие изделия (подмножество множества «электроника») — профильная продукция Министерства электронной промышленности СССР (Минэлектронпром, МЭП);
- радиоэлектронная аппаратура — подмножество множества «электроника». Это профильная продукция Министерства радиопромышленности СССР (Минрадиопром, МРП), Министерства промышленности средств связи СССР (МПСС), Министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР (Минприбор) и др. Разрабатывал и производил РЭА и Минэлектронпром.

Общего термина, объединяющего ИЭТ и РЭА, в СССР фактически не было. В развитых странах западного мира такой термин был — «электроника» — полное множество всех электронных изделий. А у нас этот термин был эквивалентом термину ИЭТ как производная от названия Министерства электронной промышленности. Эта путающая традиция сохраняется до сих пор. Недавно Издательский дом «Столичная энциклопедия» выпустил прекрасный двухтомник «История отечественной электроники», в котором представлены исключительно предприятия Минэлектронпрома. Это исторически сложившаяся традиция, нигде в мире более не распространенная и от



которой пора бы и нам отойти. Потому в дальнейшем будем использовать следующие понятия:

- электроника — полное множество всех электронных изделий;
- ЭКБ — подмножество электроники, включает активные элементы — вакуумные и полупроводниковые диоды, триоды, ИС и т. п. и пассивные элементы — резисторы, конденсаторы, переключатели, соединители, индикаторы и т. д.;
- ЭА — подмножество электроники, создаваемое путем соответствующего функциям ЭА соединения различных ЭКБ — устройства, системы, комплексы.

Но иногда будут использоваться и более ранние термины.

Технический уровень электроники в основном определяется активными элементами, в последние 50 лет — микроэлектроникой. Поэтому на ее развитии мы и сосредоточим свое внимание. Пассивные элементы, естественно, также играют свою роль и также развиваются, но это развитие строго коррелируется с развитием активных элементов. Высшим достижением в развитии активных ЭКБ на данный момент является микроэлектроника, которой в 2012 г. исполнилось 50 лет.

Но начало ее созданию было положено еще в XIX в.

ГЛАВА I

ИСТОРИЧЕСКИЕ РЕАЛИИ 1960—1980-х ГОДОВ

Гражданам России, повзрослевшим в послереформенный период, зачастую трудно правильно оценить дореформенную историю, дореформенную жизнь своих отцов и дедов, понять их жизненные реалии. С нынешних позиций многие реалии тех лет им кажутся нелепыми, в то время как тогда они воспринимались совершенно естественными. Поэтому я решил предвосхитить изложение истории отечественной электроники некоторым экскурсом в общественно-политические реалии послевоенного периода, в течение которого создавались и развивались отечественная вычислительная техника и микроэлектроника. Естественно, в меру своего понимания.

После Великой Победы

Мировая электроника зародилась 25 апреля (7 мая) 1895 г. в Российской империи в виде радиоприемника А. С. Попова, и с тех пор ее роль в развитии человеческой цивилизации стремительно растет.

В довоенной царской России развитие электроники происходило в рамках международной кооперации (взаимное инвестирование, торговля лицензиями, свободный рынок и т.п.) и в целом соответствовало мировому уровню.

В советское время, в результате политического противостояния двух систем, отечественная электроника развивалась в изоляции от мировой кооперации, неравномерно, с периодами замедления и резкими скачками. Огромную активизирующую роль в развитии отечественной электроники сыграли постановления руководства страны 1943 и 1962 гг.

Первый кризис проявился в ходе Великой Отечественной войны, когда наша радиоэлектроника была еще в запущенном со-

стоянии. Сравнение эффективности систем противовоздушной обороны Великобритании и СССР предметно доказало руководству страны стратегическую роль электроники. Английская ПВО благодаря созданным в США и Великобритании радиолокации и радиовзрывателям была столь эффективна, что вынудила Гитлера отказаться от бомбардировок Англии. Наша же ПВО, с преимущественно заградительным огнем, не слишком докучала гитлеровской авиации. Поэтому в 1943 г., в канун крупнейшей в истории битвы на Курской дуге, руководство страны издало постановление о радиолокации с выделением требуемого финансирования, несмотря на катастрофически сложное положение в стране. Это было вторым импульсом, стимулирующим начало масштабного развития отечественной электроники. В условиях жестокой войны были созданы НИИ, КБ и заводы, которые быстрыми темпами начали разрабатывать и производить средства радиосвязи и радиолокации, сразу же поступающие в войска. Они сыграли значительную роль и в общей победе над врагом, и в послевоенном развитии страны. В результате наша страна, подвергнутая колоссальным разрушениям в ходе войны, обогнала в ряде научно-технических направлений США, обогатившиеся на той же войне, развившие на ней свою экономику. В 1950—1960-х гг. многие мировые достижения в науке и технике происходили в нашей стране. Первые в мире спутник, космонавт, атомная электростанция (в Обнинске), пассажирский реактивный самолет (ТУ-104), компьютер-миллионник (К340А), крупнейший тогда пассажирский самолет (ТУ-114) и многие другие приоритеты были тогда наши.

Однако внешнеполитическое положение для нашей страны складывалось очень сложно. Предоставим видному деятелю микроэлектроники А. А. Васенкову охарактеризовать его [2]:

«К концу 1945 г., когда уже закончилась 2-я мировая война, Европа была разорена, СССР наполовину разрушен, США «рассчитались» с Японией за унижение в Перл-Харборе атомной бомбардировкой и вышли из этого мирового сражения с окрепшей экономикой и амбициями, политики и экономисты США задумались над послевоенными проблемами и развитием экономики, желая и далее развивать и усиливать свое дарованное судьбой международное положение в мире.

Атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки были одновременно предостережением СССР, который, несмотря на огромные потери, вы-

шел победителем из войны, участвовал в разделе Европы, завоевывая все большие симпатии в мире. Обострилась конфронтация между бывшими союзниками — СССР с одной стороны и США, Великобританией, Францией с другой стороны. Конфронтация существовала и до войны: молодая социалистическая система с плановой экономикой и мощная капиталистическая система с ее рыночными отношениями. Окончательную точку в старте «холодной войны» поставила речь премьер-министра Великобритании У. Черчилля, которую он произнес в США в г. Фултоне в 1946 г.

Решение в 1949 г. атомной проблемы в СССР не изменило ситуации, и, несмотря на заявление правительства СССР от 20.09.1949 г. о том, что СССР не намерен применять атомное оружие первым и предлагает его запретить, Вашингтон активизировал разработки планов начала новой войны.

В результате в Белом доме было принято решение об осуществлении плана коалиционной войны против СССР. План был назван «Operation Dropshot» (операция «Последний выстрел», рис. 1.1).

Дата открытия боевых действий — 1 января 1957 г. К этому времени планировалось иметь преимущество над СССР в числе атомных бомб в соотношении 10 к 1. На первом этапе планировалось сбросить на СССР 300 50-килотонных атомных и 200000 тонн обычных, в т. ч. 25 атомных бомб — на Москву, 22 — на Ленинград, 10 — на Свердловск и т. д. Было скрупулезно подсчитано, что в результате этой акции погибнет около 60 млн граждан СССР, а всего с учетом дальнейших боевых действий погибнет свыше 100 млн советских людей¹. Этот план является практической разработкой двух проектов Совета национальной безопасности США: СНБ-20/1 от 18 августа 1948 г. и СНБ-68 от 30 сентября 1950 г. План был опубликован в 1978 г. в книге «Дропшот. Американский план атомной войны против СССР в 1957 г.» американского исследователя А. Брауна.

¹ По данным первой послевоенной переписи от 15 января 1959 г. население СССР составляло 208,8 млн человек. Следовательно, «всемирный оплот и образец демократии», как нам многие наши политики представляют ныне США, планировал убийство каждого второго из наших граждан. Логично предположить, что были бы уничтожены и большинство нынешних любителей американской «демократии», т. к. они в основном горожане, а города — основные цели планируемых ядерных ударов. Пожилые — непосредственно, а молодые и не родились бы из-за уничтожения родителей.

США и их союзники наращивали не только военную мощь, но и активно работали на идеологическом фронте во всем мире и в нашей стране. Ниже приводится выдержка из статьи директора ЦРУ Алена Даллеса, опубликованной в журнале «US News and world report», vol. 38, p. 17—20 от 21.01.1955 г. под названием «Trouble behind the Iron Curtain» — «Потрясения за железным занавесом».

«Посеяв в России хаос, мы незаметно подменим их ценности на фальшивые и заставим их в эти фальшивые ценности верить. Как? Мы найдем своих единомышленников, своих помощников и союзников в самой России. Эпизод за эпизодом будет разыгрываться грандиозная по своему масштабу трагедия гибели самого непокорного на земле народа: окончательного, необратимого угасания его самосознания. Из литературы и искусства, например, мы постепенно вытравим их социальную сущность. Отучим художников, отобьем у них охоту заниматься изображением, исследованием тех процессов, которые происходят в глубине народных масс. Литература, театры, кино — все будет изображать и прославлять самые низменные человеческие чувства. Мы будем всячески поддерживать и поднимать так называемых творцов, которые станут насаждать и вдальбивать в человеческое сознание культ секса, насилия, садизма, предательства — словом, всякой безнравственности.

В управлении государством мы создадим хаос, неразбериху. Мы будем незаметно, но активно и постоянно способствовать самодурству чиновников, взяточников, беспринципности. Бюрократизм и волокита будут возводиться в добродетель. Честность и порядочность будут осмеиваться и никому не станут нужны, превратятся в пережиток прошлого. Хамство и наглость, ложь и обман, пьянство и наркоманию, животный

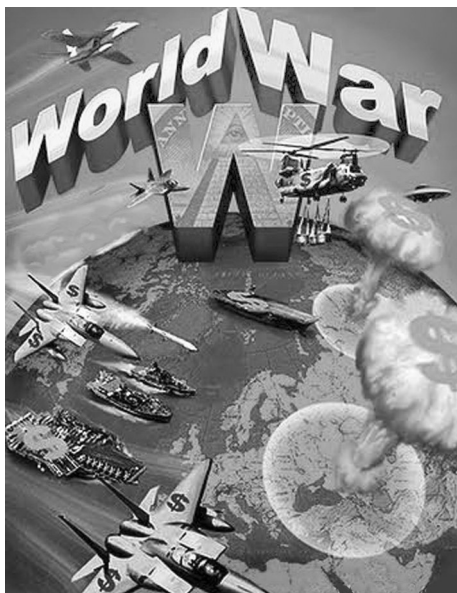


Рис. 1.1. Иллюстрация плана «Operation Dropshot»

страх друг перед другом и беззастенчивость, предательство, национализм и вражду народов, прежде всего вражду и ненависть к русскому народу, — все это мы будем ловко и незаметно культивировать.

И лишь немногие, очень немногие будут догадываться или понимать, что происходит. Но таких людей мы поставим в беспомощное положение, превратив в посмешище. Найдем способ их оболгать и объявить отбросами общества»².

Военная и идеологическая доктрины США и их союзников положили начало гонки вооружений, т.к. согласно доктрине «Dropshot» не предполагалось ведение переговоров с СССР; союзники присвоили себе право нанесения превентивного ядерного удара в удобное для них время и развязывания новой мировой войны.

Перед нашей страной, выдержавшей в течение 40-х гг. беспрецедентную в моральном и экономическом отношении четырехлетнюю войну и добившейся победы ценой огромных усилий и жертв, возникли новые гигантские проблемы:

- *создание эффективной обороны против атомного оружия;*
- *создание носителей дальнего действия для атомного оружия.*

В качестве основных контрмер были приняты:

- *срочное создание реактивного управляемого оружия для зенитных противосамолетных и противоракетных комплексов, для вооружения самолетов дальней авиации, истребителей перехватчиков, кораблей и самолетов военно-морского флота;*
- *создание межконтинентальных баллистических ракет...*

В создании реактивного управляемого оружия и межконтинентальных ракет одним из определяющих направлений является создание информационно-управляющих систем, в которых главенствующее место занимает электроника, ее элементная база. Без радиолокации, радиоправления, электронных вычислительных устройств создание реактивного оружия, баллистических ракет и информационно-управляющих систем невозможно.

² Тогда США не удалось реализовать программу Аллена Даллеса. Это происходит в наши дни стараниями (как и планировал Аллен Даллес) наших же людей и наших же СМИ — апологетов американской «демократии», носителей, по А. Даллесу, фальшивых ценностей. Особенно — телевидением. В связи с этим «Телевизионному техническому центру «Останкино», отказавшемуся от ранее почетного звания «им. 50-летия Октября», следовало бы присвоить новое, соответствующее его нынешней деятельности «почетное» звание «им. Аллена Даллеса».



В распоряжении конструкторов в то время были: проводной монтаж, электронные лампы, проволочные сопротивления и т. п. Это означало, что существовавшая в то время электронная компонентная база (ЭКБ) во многих случаях не позволяла решить поставленные задачи. Обе противоборствующие стороны активно искали новое конструктивно-технологическое решение этой проблемы.

Начавшаяся гонка вооружений заставила обе стороны вкладывать огромные средства в разработку и производство нового оружия, подготовку армии, создание новых предприятий и разработку передовых технологий».

Во многом это определялось отношением людей к своему делу. Причины развала страны были для всех очевидны и все понимали, что никто, кроме нас самих, страну не восстановит. Что «заграница не поможет», что от нее ничего, кроме новой войны, ждать нельзя. Поэтому основная масса людей трудилась с полной отдачей сил, а в экстренных ситуациях и сверх сил. И результат был успешным. В том числе в электронике.

Но к началу 1960-х гг. мировая электроника переживала кризис — возможности микроминиатюризации электронной аппаратуры на дискретных элементах были исчерпаны. Требовались иные технические решения, и они были найдены в США и СССР — микроэлектроника. В 1962 г. начали серийное производство микросхем фирмы Fairchild (серия «Micrologic»), Texas Instruments (серия «SN-51») в США и Рижский ЗППП (серия «P12-2») в СССР (об этом далее).

Руководство страны тогда правильно оценило роль нарождающейся микроэлектроники как базовой отрасли — локомотива развития других отраслей науки и техники. 8 августа 1962 г. вышло постановление ЦК КПСС и СМ СССР (№ 831-353) о развитии отечественной микроэлектроники с созданием ее инновационного Центра в будущем Зеленограде, а также ряда НИИ, КБ и заводов в других городах страны. С выходом этого постановления в стране началось широкомасштабное развитие отечественной микроэлектроники, вошедшей, наряду с микроэлектроникой США и Японии, в тройку мировых лидеров. 8 августа 2012 г. — 50-летний юбилей отечественной микроэлектроники.

В условиях господствовавшей тогда «холодной войны» (с «балансированием на грани войны» — термин тех лет) проблемы микроэлектроники нам приходилось решать самостоятельно. Странами

НАТО был создан международный комитет КОКОМ, изолирующий СССР от международной кооперации, прежде всего в микроэлектронике — базовой отрасли. Поэтому СССР был вынужден стать и стал единственной в мире страной, создавшей самодостаточную микроэлектронику, т.е. полностью обеспеченную своей научно-промышленной инфраструктурой — сверхчистыми материалами, сверхпрецизионным спецтехнологическим оборудованием, автоматизированными системами и т.п. Только две страны в мире — СССР и США разрабатывали и производили тогда самое сложное и самое высокоточное в мировой науке и технике оборудование — фотолитографическое, определяющее технический уровень микроэлектроники (позже к ним присоединилась Япония). СССР был единственной в мире страной, самостоятельно обеспечивающей свои потребности оборонной техники и народного хозяйства в изделиях микроэлектроники — другие страны пользовались недоступной для СССР международной кооперацией. Технический уровень отечественной микроэлектроники в тот период в целом соответствовал мировому, лучшие изделия по совокупности характеристик были близки лучшим зарубежным, а иногда превосходили их (например, радиоприемник «Микро», ГИС «Талисман», микроконтроллеры K1801BE1 и K586BE1). Уже в наше время Ж. И. Алферов оценил его следующим образом: *«В 1970—1980-е годы существовало только три страны с развитой электроникой: США, Япония и СССР. Но по многим направлениям советская электроника занимала передовые позиции»*.

Микроэлектроника — это комплексная отрасль науки и техники, включающая интегральную электронику (в спектрах микро- и нанометровых топологических размеров), особо чистое материаловедение, особо прецизионное сложнейшее технологическое оборудование, многоступенчатые и сверхточные интегральные технологии и специально подготовленные кадры.

Микроэлектроника также — особая, базовая область науки и техники, определяющая уровень развития других отраслей. Ни одна из отраслей науки и техники не оказала столь революционного и столь стремительного влияния на развитие человеческого общества, как микроэлектроника. Практически уровень развития человеческой цивилизации зависит в решающей степени от того, сколько транзисторов микроэлектронике удастся разместить в кристалле микросхе-