

Уроки истории
Lessons from History

DOI: 10.31857/S020596060016346-2

**ТРАНЗИСТОРНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XX В.
НА ФОНЕ ХОЛОДНОЙ ВОЙНЫ**

БОРИСОВ Василий Петрович — *Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН; Россия, 125315, Москва, ул. Балтийская, д.14; E-mail: borisov7391@yandex.ru*

© В. П. Борисов

Изобретение транзистора, произошедшее в конце 1940-х — начале 1950-х гг., произвело революцию в электронике, ставшую причиной кардинального изменения конструкций и технологии изготовления большей части электронных приборов, появления новых требований к чистоте и однородности применяемых материалов, качеству технологического и контрольно-измерительного оборудования и т. д. Последующее развитие полупроводниковых приборов и интегральных схем, электронной вычислительной техники на новой элементной базе, стало важнейшим фактором совершенствования информационных технологий, становления постиндустриального информационного общества. Хронологически значительная часть событий транзисторной революции пришлась на период противостояния СССР и США в условиях холодной войны, фактической изоляции нашей страны от научных и технологических достижений стран Запада. Тем не менее период с середины 1960-х до конца 1980-х гг. характеризовался интенсивным развитием полупроводниковых приборов и ростом объема их производства в нашей стране. После распада СССР Россия оказалась в большой зависимости от импорта изделий полупроводниковой электроники. В настоящее время, несмотря на имеющееся отставание по техническому уровню ряда видов изделий электронной техники, темпы роста производства радиоэлектронного оборудования в стране выше общих темпов роста российского производства.

Ключевые слова: электроника, транзистор, полупроводниковые приборы, интегральные схемы, электронная промышленность, А. И. Шокин, Научный центр микроэлектроники.

Статья поступила в редакцию 20 апреля 2020 г.

THE TRANSISTOR REVOLUTION OF THE SECOND HALF OF THE TWENTIETH CENTURY AGAINST THE BACKGROUND OF THE COLD WAR

BORISOV Vasily Petrovich – *S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, Russian Academy of Sciences; Ul. Baltiyskaya, 14, Moscow, 125315, Russia;*
E-mail: borisov7391@yandex.ru

© V. P. Borisov

Abstract: The invention of the transistor in the late 1940s – early 1950s revolutionized electronics and led to a radical change in the design and manufacturing technology of most electronic devices, to the emergence of new requirements for the purity and uniformity of materials, the quality of technological and control equipment, etc. The subsequent development of semiconductor devices and integrated circuits, electronic computer technology based on the new element base, became the most important factor in improving information technologies and in the formation of a post-industrial information society. Chronologically, many events of the transistor revolution occurred during the period of confrontation between the USSR and the United States in the Cold War, the isolation of the Soviet Union from the scientific and technological achievements of the West. Nevertheless, the period from the mid-1960s through the 1980s was characterized by the extensive development of semiconductor devices and the growth of their production in the USSR. After the collapse of the Soviet Union, Russia found itself heavily dependent on the imports of semiconductor electronic products. At present, despite lagging behind in the technological sophistication of some types of electronic equipment, electronics production rates in Russia are higher than the country's overall production rates.

Keywords: electronics, transistor, semiconductor devices, integrated circuits, electronic industry, A. I. Shokin, Research Center for Microelectronics.

For citation: Borisov, V. P. (2021) Tranzistornaia revoliutsiia vtoroi poloviny XX v. na fone kholodnoi voyny [The Transistor Revolution of the Second Half of the Twentieth Century against the Background of the Cold War], *Voprosy istorii estestvoznaniia i tekhniki*, vol. 42, no. 3, pp. 466–479, DOI: 10.31857/S020596060016346-2

Научные истоки транзисторной революции

Изобретение транзистора и последующее развитие полупроводниковых приборов явились следствием формирования области научно-технических знаний, которая существенно отличалась от научных основ прежней электроники, находившей практическое воплощение главным образом в создании электровакуумных приборов. Предыстория новой, твердотельной, электроники брала свое начало в другой области знаний, основанной в первую очередь на изучении физических явлений в полупроводниковых материалах.

Создание транзистора, зафиксированное двумя основополагающими патентами 1948 г. и подтвержденное образцами технических устройств

1948–1951 гг., послужило основанием для присуждения Нобелевской премии по физике 1956 г. Д. Бардину, У. Браттейну и У. Шокли.

Важный вклад в науку и технику трех сотрудников американской фирмы «Белл телефон лабораториз» (*Bell Telephone Laboratories*) не подлежит сомнению; их изобретения принято считать началом транзисторной революции, изменившей в дальнейшем мир. Тем не менее появление транзисторов было бы невозможным без многочисленных исследований полупроводников, проведенных в предшествующие годы. Большой вклад в развитие этой области знаний был сделан в 1930-х гг. отечественной школой физики полупроводников Ленинградского физико-технического института (ЛФТИ). Директора ЛФТИ академика А. Ф. Иоффе по праву называют пионером в этой области, выполнившим исследования мирового уровня. Уже в 1931 г. Иоффе опубликовал статью с пророческим названием «Полупроводники — новый материал электротехники»¹. Рождение в том же году зонной теории твердого тела, основополагающий вклад в которую принадлежит англичанину А. Вильсону², способствовало формированию современных концепций науки о полупроводниках. Спустя два года советский физик Я. И. Френкель создал теорию возбуждения в полупроводниках парных носителей заряда: электронов и «дырок». Именно он внес в мировой обиход термин «дырочная проводимость»³.

В 1938 г. сотрудник ФТИ АН СССР Б. И. Давыдов разработал теорию плоскостных p - n переходов⁴. Независимо от него Н. Мотт⁵ в Англии и В. Шоттки⁶ в Германии дали свои теоретические трактовки выпрямляющего действия контакта металл — полупроводник. В том же году немецкие физики Р. Поль и Р. Хильш создали действующий образец кристаллического усилителя на нагретом кристалле бромида калия. Прибор позволял усиливать сигналы с частотой менее 1 Гц, чем доказал возможность создания кристаллических полупроводниковых усилителей. Однако добиться устойчивой работы этого прибора, как и изделий других изобретателей прообразов транзисторов, было невозможно, поскольку материалов необходимой чистоты и технологий их получения к тому времени еще не было.

В 1941 г. советский исследователь В. Е. Лашкарев экспериментально установил наличие контакта полупроводников разного типа в меднозакисном

¹ Иоффе А. Ф. Полупроводники — новый материал электротехники // Социалистическая реконструкция и наука. 1931. Вып. 2/3. С. 108–112.

² Wilson, A. The Theory of Electronic Semiconductors // Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences. 1931. Vol. 133. P. 458–491, Vol. 134. P. 277–287.

³ Формирование радиоэлектроники (1920-е — 1950-е гг.) / Ред. В. М. Родионов. М.: Наука, 1988. С. 282.

⁴ Давыдов Б. И. О выпрямлении тока на границе между двумя полупроводниками // Доклады АН СССР. 1938. Т. 20. № 4. С. 279–282.

⁵ Mott, N. The Theory of Crystal Rectifiers // Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences. 1939. Vol. 171. P. 27–38.

⁶ Schottky, W. Zur Halbleitertheorie der Sperrschicht- und Spitzengleichrichter // Zeitschrift für Physik. 1939. Bd. 113. S. 367–414.

выпрямителе ⁷. Обнаруженное им явление получило впоследствии название *p-n* переход. Значительный вклад в исследование свойств полупроводников внесли Б. В. Курчатов, Ю. М. Кушнир, Л. Д. Ландау, В. М. Тучкевич и др. По существу, теоретическая база для создания транзисторов была в значительной степени разработана уже в 1940-х гг. Большое количество исследований, выполненных учеными разных стран, послужило основой для экспериментального создания точечного и плоскостного транзисторов.

Решающий шаг был сделан в 1947 г. исследовательской группой «Белл телефон лабораториз» в составе Бардина, Браттейна и Шокли, использовавшей для получения «транзисторного эффекта» игольчатые электроды, помещенные на поверхности германия ⁸. Дату 16 декабря 1947 г., когда такой твердотельный усилитель показал устойчивую работу, считают датой рождения первого транзистора.

Первые точечные транзисторы были несовершенными устройствами, технология их изготовления не позволяла получать достаточно надежные приборы. Но уже эти приборы продемонстрировали несомненные преимущества транзистора перед лампами: отсутствие вакуумной полости и накаливаемого катода, безынерционность действия, минимальное потребление энергии и др. В 1951 г. Шокли запатентовал более технологичную конструкцию плоскостного биполярного транзистора, которая живет и сегодня. В последующее десятилетие тот же Шокли и другие изобретатели, преимущественно из США, получили ряд патентов на полевые транзисторы разных типов.

Развитие полупроводниковых приборов и холодная война

История распорядилась так, что события, связанные с изобретением транзистора и началом производства созданных на его основе полупроводниковых приборов, пришлось на период холодной войны — обострения политического противостояния СССР и США. После первого знаменательного в этом плане события — фултонской речи У. Черчилля (1946) — весной 1947 г. президент США обнародовал свою «доктрину Трумэна», декларирующую необходимость применения действенных мер по «сдерживанию» коммунизма. Доктрина по существу объявляла миру, что отныне Соединенные Штаты готовы дать бой любым попыткам Советского Союза изменить установленный Западом мировой порядок.

Одним из средств воздействия на население СССР и стран социалистического лагеря стала развернутая в скором времени информационно-пропагандистская кампания с использованием средств радиопередающей техники. С 1949 г. вещание на СССР вели 85 радиостанций «Голоса Америки» (VOA) и Британской радиовещательной корпорации (BBC). В ответ вдоль

⁷ Лашкарёв В. Е. Исследование запорного слоя методом термозонда // Известия АН СССР. Сер. физическая. 1941. Т. 5. № 4/5. С. 442—446.

⁸ Bardeen, J., Brattain, W. The Transistor, A Semiconductor Triode // Physical Review. 1948. Vol. 74. No. 2. P. 230—231.

границ СССР и стран-союзников были установлены 1500 радиопередатчиков помех⁹.

Другой характерной чертой холодной войны стала «гонка вооружений». В апреле 1950 г. Советом национальной безопасности США была принята директива «Цели и программы США в области национальной безопасности», исходившая из того, что «СССР стремится к мировому господству и наращиванию своего военного превосходства, в связи с чем, переговоры с советским руководством невозможны». На основе этого утверждения делался вывод о необходимости наращивания американского военного потенциала. Директива ориентировалась на кризисную конфронтацию с СССР «до тех пор, пока не произойдет изменения в характере советской системы». СССР, по существу, был вынужден включиться в навязанную ему гонку вооружений¹⁰.

Весьма неприятным следствием холодной войны стало прекращение научных связей и обмена информацией между противоборствующими сторонами в стратегически важных областях. По инициативе США в 1949 г. был создан Координационный комитет по многостороннему экспортному контролю (*CoCom*), который контролировал научно-технические и торгово-экономические связи с СССР и его союзниками. Важные открытия, изобретения и разработки, которые могли быть использованы в военной технике или могли способствовать экономическому развитию, засекречивались. В первую очередь это касалось микроэлектроники, вычислительной техники, технологического и измерительного оборудования, материалов и т. п. В результате советская электронная наука и промышленность развивались в условиях фактической изоляции от того, что делалось в этой области в США, Западной Европе, а затем и Японии.

То, что изобретение транзистора открывает возможности его широкого применения в самых разных видах техники, в том числе военного назначения, не вызывало сомнений уже после выпуска в США первых партий полупроводниковых приборов на основе транзистора. Вторая половина 1950-х гг. стала периодом бурного развития новой высокотехнологичной отрасли техники: к 1960 г. разработкой и производством полупроводниковых приборов в США занималось уже более 60 фирм. В 1961 г. объем производства полупроводниковых приборов в этой стране уже значительно превышал объем производства электронных ламп.

В СССР после получения информации о создании в США точечно-контактных транзисторов исследования и разработка таких приборов проводились в ФИАН СССР (Б. М. Вул, А. В. Ржанов), НИИ радиолокации (С. Г. Калашников, Н. А. Пенин), НИИ «Исток» (А. В. Красилов, Ф. А. Щиголь). Первыми транзисторный эффект в опытном образце точечного транзистора получили в 1949 г. работавшие в НИИ «Исток» (г. Фрязино Московской обл.) к. т. н. А. В. Красилов и аспирантка МХТИ им. Д. И. Менделеева

⁹ Очерки истории российской электроники / Ред. В. М. Пролейко. М.: Техносфера, 2009. Вып. 1: 60 лет отечественному транзистору. С. 326.

¹⁰ Советская внешняя политика в годы «холодной войны» (1945–1985 гг.). Новое прочтение / Отв. ред. Л. Н. Нежинский. М.: Международные отношения, 1995.

С. Г. Мадоян¹¹. В последующие три года Красиловым совместно с Ф. А. Щиголем была разработана серия образцов точечных германиевых транзисторов, которая из-за присущих таким устройствам недостатков не стала основой для серийного производства полупроводниковых приборов.

С начала 1950-х гг. к созданию образцов германиевых транзисторов присоединились также представители академической и вузовской науки, подобные работы проводились в ЛФТИ (В. М. Тучкевич, А. А. Лебедев, Ж. И. Алферов и др.), ИРЭ РАН, МЭИ и других институтах. Для того, чтобы работы по созданию и производству полупроводниковых приборов получили дальнейшее развитие как одно из важнейших для государства направлений развития науки и техники, требовалось соответствующее решение на уровне руководства страны.

Развитию полупроводниковой техники — правительственную поддержку

Важную миссию — обосновать значение интенсивного развития полупроводниковой техники перед руководством страны — взял на себя инженер, вице-адмирал, академик АН СССР А. И. Берг. Еще в трудные военные годы Бергу приходилось обращаться в ЦК ВКП(б) и Наркомат электропромышленности с обоснованием необходимости принятия энергичных мер по развитию радиолокации. Тогда, в 1943 г., Берг сделал все возможное, чтобы убедить в важности предлагавшихся мероприятий не только руководителей отраслей промышленности и командования армии, но и лично Сталина. Теперь, являясь директором головного НИИ радиолокации, Берг хорошо осознавал, какое значение имеют разработка и производство новых полупроводниковых приборов для многих видов техники, в частности для радиолокационных систем. По его инициативе Совет Министров СССР утвердил закрытым постановлением от 4 сентября 1952 г. проведение в 1952–1953 гг. НИР «Разработка германиевых диодов и триодов, заменяющих маломощные радиолампы» (шифр «Плоскость»). Проведение НИР возлагалось на ЦНИИ радиолокации, ЛФТИ, ФИАН и НИИ «Исток»¹².

В начале 1953 г. Берг был назначен заместителем министра обороны СССР по радиовооружению. Вскоре после этого назначения он направил в ЦК КПСС письмо, в котором обосновывалась необходимость форсирования работ в области полупроводниковой техники. В мае 1953 г. министр электростанций и электропромышленности (МЭСЭП) СССР М. Г. Первухин провел в Кремле совещание с участием академиков Берга и Иоффе, на котором были обсуждены основные задачи развития работ по полупроводникам и сформулированы предложения по подготовке необходимого постановления. 4 июня 1953 г. Совет Министров СССР на своем заседании принял постановление, предусматривающее проведение следующих мероприятий:

— создание межведомственного совета по полупроводникам под председательством заместителя министра В. И. Сифорова;

¹¹ Очерки истории российской электроники... Вып. 1. С. 16.

¹² Там же. С. 91.

— создание отраслевого НИИ электронной промышленности, на который возлагались разработка промышленных образцов полупроводниковых приборов, а также проведение единой технической политики по разработке и внедрению полупроводниковых приборов, в первую очередь транзисторов, в производство;

— организация подготовки специалистов по полупроводникам.

В соответствии с этим постановлением в июне 1953 г. был создан первый в СССР отраслевой институт электронной промышленности (НИИ № 35, впоследствии НИИ полупроводниковой электроники, НИИ «Пульсар»). Вновь созданный институт, имевший в своем подчинении опытный завод, разработал в дальнейшем первые отечественные промышленные образцы транзисторов, первые интегральные схемы и стал ведущим базовым предприятием полупроводниковой отрасли электронной промышленности СССР.

Одновременно со становлением первого отраслевого НИИ электронной промышленности переориентирование на новые направления научной работы, связанные с полупроводниками, имело место в 1950–1960-е гг. в ряде лабораторий академических институтов. В 1955 г. по инициативе Иоффе в Ленинграде состоялась первая Всесоюзная конференция по физике полупроводников. В Москве роль своего рода научного центра по физике полупроводников принял на себя семинар, регулярно проводившийся в Институте радиотехники и электроники АН СССР.

После завершения в конце 1953 г. НИР «Плоскость», целью которой являлось создание первых отечественных плоскостных транзисторов, НИИ «Пульсар» выполнил на основе результатов этой работы разработку серии германиевых приборов, производством которых затем занимались заводы в Ленинграде, Новгороде, Брянске, Воронеже, Минске и других городах.

В 1957–1958 гг. были разработаны первые в СССР кремниевые усилительные транзисторы. В последующие годы было разработано более 1000 типов кремниевых транзисторов, выпуск этих приборов, зачастую многомиллионными тиражами, осуществляли предприятия электронной отрасли. После тщательной отработки конструкции и технологии изготовления кремниевого планарного транзистора (в эту работу большой вклад внес Щиголь, НПП «Пульсар»), кремний окончательно вытеснил германий из сферы производства транзисторов. В целях расширения производственной базы заводы полупроводниковых приборов были созданы в конце 1950-х — начале 1960-х гг. в Александрове, Риге, Воронеже и других городах.

Берлинский кризис 1958–1962 гг., ставший одним из самых напряженных моментов холодной войны в Центральной Европе, не мог не отозваться повышением требований как к боеготовности армии, так к своевременному и качественному производству оборудования и приборов, необходимых для комплектации военной техники.

Общую атмосферу, в которой проходили в этот период работы по развитию полупроводниковой техники в нашей стране, охарактеризовал в своих воспоминаниях один из ведущих специалистов в этой области, доктор технических наук Ю. Р. Носов:

Главная, определяющая особенность истории рождения нашей полупроводниковой электроники связана с тем, что она разворачивалась на фоне *острейшего противостояния США* (курсив в оригинале. – В. Б.) в период холодной войны, и основной, по сути единственной, задачей являлось своевременное обеспечение комплектующими оборонных систем. В угоду срокам жертвовали оптимальностью технических решений и технологичностью, лишь бы обеспечивались функциональное соответствие американскому аналогу и *немедленное начало производства* (курсив в оригинале. – В. Б.). Не жертвовали только надежностью, что обеспечивалось исключительной дееспособностью военного представительства на предприятиях электроники ¹³.

В январе 1961 г. было принято Постановление ЦК КПСС и СМ СССР «О развитии полупроводниковой промышленности», в котором предусматривалось строительство заводов и НИИ в Киеве, Минске, Ереване, Нахичеве и других городах. При отсутствии специальных помещений базой для создания новых предприятий полупроводниковой промышленности иногда становились даже не приспособленные для этих целей здания (коммерческого техникума в Риге, совпартшколы в Новгороде, швейной фабрики в Воронеже и т. д.) ¹⁴.

Организация производства полупроводниковых приборов оказалась связанной с необходимостью формирования новых технологических направлений, а также выполнения чрезвычайно высоких требований к чистоте и однородности применяемых материалов, точности работы технологического и измерительного оборудования и др. Задача поддержки прорывного направления развития электронной техники потребовала, кроме того, принятия важного организационного решения руководством государства.

Сложившаяся к тому времени в нашей стране практика развития электроники как составной части многих видов и типов конечной продукции различного назначения препятствовала проведению единой технической политики. Изготовление электронной техники на предприятиях разных ведомств не способствовало интеграции результатов исследований и производства, приводило к дублированию разработок, распылению материальных и финансовых ресурсов. Для организации работы по созданию нового полупроводникового производства был необходим единый центр стратегии развития электроники.

В 1961 г. постановлением правительства был образован Государственный комитет электронной техники (ГКЭТ) СССР, в подчинение которого перешел ряд НИИ, КБ и организаций главным образом оборонной промышленности. С этой даты начался отсчет развития отечественной электроники как самостоятельной отрасли промышленности.

Назначенный на должность председателя ГКЭТ и позднее ставший министром электронной промышленности СССР А. И. Шокин имел более чем двадцатилетний опыт работы в структурах управления научными

¹³ Замечательные страницы жизни профессора Ю. Р. Носова. М.: ООО «Типография Сити Принт», 2016. С. 553.

¹⁴ Очерки истории российской электроники... Вып. 1. С. 191.

разработками и производством, что помогло ему активно включиться в решение задач, стоящих перед вновь сформированной отраслью промышленности. Эти задачи были очевидными: на развитие микроэлектроники в США Советский Союз должен был ответить соответствующим расширением научных разработок и производства в данной области. При этом электронные фирмы США активно сотрудничали с фирмами Англии, Франции и других стран, а СССР должен был поднимать электронику в условиях изоляции от мировых научных и технологических достижений.

К числу первоочередных задач развития полупроводниковой электроники Шокин отнес создание электронного материаловедения и специального машиностроения, отвечающих требованиям времени. Решение этой задачи способствовало осуществлению полных технологических циклов в производстве изделий микроэлектроники. С начала 1960-х гг. предприятия СССР ежегодно увеличивали производство основных видов изделий электронной техники. В 1964 г. в стране было выпущено 200 млн шт. полупроводниковых приборов. Вместе с тем по объемам производства, а частично и по техническому уровню изделий отечественная промышленность продолжала уступать промышленности США: в том же 1964 г. в США было произведено полупроводниковых приборов почти в семь раз (1360 млн шт.) больше, чем в нашей стране ¹⁵.

Бум производства полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Проблемы с расширением серийного производства полупроводниковых приборов в нашей стране проистекали не столько из необходимости переоборудования малопригодных помещений фабрик и школ, сколько из отсутствия квалифицированных кадров в промышленности и, кроме того, из недостаточного понимания специфики полупроводникового производства многими руководителями. В 1962 г. по указанию Шокина было составлено руководство «Типовые технологические процессы производства полупроводниковых приборов». Текст этого руководства за подписью Шокина был направлен лично руководителям совнархозов, на территории которых создавались заводы по производству полупроводниковых приборов и директорам этих заводов. Предпринимаемые ГКЭТ усилия дали эффект: все производственные мощности запускались в сжатые сроки, в период существования совнархозов (до 1965 г.) объем выпуска полупроводниковых приборов в стране возрастал ежегодно примерно на 30 %.

Начало широкого применения полупроводников в различной аппаратуре оказалось связанным еще с одной проблемой: специалисты из других областей, недостаточно знакомые со спецификой полупроводниковых приборов, не всегда полностью соблюдали требования, предъявляемые к их эксплуатации. Случавшиеся отказы приборов могли приводить к конфликтам, иногда носившим межведомственный характер. Острая ситуация возникла в 1964 г.

¹⁵ Авдонин Б. Н., Мартынов В. В. Отечественная электроника. Этапы создания и развития. М.: Креативная экономика, 2012. С. 74–75.

после обращения к Н. С. Хрущеву главного конструктора ракетной техники С. П. Королева, объяснившего неудачный запуск ракеты Р-7 отказом транзисторов в системе управления ракетой.

Причину этого отказа установили после обследования аппаратуры, в которой были использованы транзисторы. Она заключалась в значительном превышении силы тока, который можно было подавать на транзистор. Конфликт Королев — Шокин был улажен ¹⁶. Как Председатель Совета Министров СССР Хрущев относился к проблемам развития электроники в основном с пониманием, его содействие помогло осуществить важное мероприятие, связанное с развитием микроэлектроники.

Еще в марте 1958 г. правительством было принято решение о строительстве под Москвой в районе станции Крюково города-спутника. Первоначально предполагалось разместить здесь предприятия легкой промышленности. Лишь спустя четыре с лишним года после нескольких встреч Хрущева со специалистами в области электронной техники было принято окончательное решение, что в городе-спутнике Зеленограде будет основан «Научный центр» — организация, деятельность которой будет охватывать все аспекты микроэлектроники, полный цикл «исследование — разработка — производство». Деятельность НИИ и КБ, входящих в центр, должна была тесно увязываться с производством опытных и серийных заводов.

Первыми в Зеленограде в 1962 г. были созданы предприятия НИИ микроприборов с заводом «Компонент» и НИИ точного машиностроения с заводом электронного машиностроения «Элион». В 1963 г. были организованы НИИ точной технологии с заводом «Ангстрем» и НИИ материаловедения с заводом «Элма». В 1965 г. на предприятиях центра уже были введены в строй 60 тыс. кв. м производственных площадей, работали несколько тысяч человек.

Институты и заводы нового города-спутника без задержки приступили к проведению исследований и опытно-конструкторских разработок и производству продукции. Усилиями НИИ точной технологии в 1964 г. была разработана технология прогрессивных для того периода гибридных интегральных схем (ГИС) и начато их производство заводом «Ангстрем» — первым в стране специализированным предприятием по производству микросхем. Уровень новой технологии был весьма высоким, с применением ряда оригинальных решений. В августе 1969 г. ГИС «Тропа» стала первой микросхемой, облетевшей в составе аппаратуры космического аппарата «Зонд-7» Луну и вернувшейся на Землю.

Целям дальнейшего развития микроэлектроники, совершенствования твердотельных интегральных схем отвечало создание в 1964 г. в «Научном центре» НИИ молекулярной электроники (НИИМЭ). В 1965 г. начался выпуск разработанных в НИИМЭ серий отечественных полупроводниковых интегральных схем.

В 1965 г. ГКЭТ был преобразован в Министерство электронной промышленности (МЭП) СССР, что было необходимо для дальнейшего

¹⁶ Очерки истории российской электроники... Вып. 1. С. 22.

совершенствования системы производства изделий электронной техники в стране. При образовании МЭП перед ним была поставлена задача в короткие сроки ликвидировать дефицит изделий электронной техники (ИЭТ), обеспечить разработку и выпуск новых ИЭТ в приоритетных направлениях (микроэлектроника, квантовая электроника и др.) и провести технологическое перевооружение предприятий отрасли.

Годы следующей пятилетки (1966–1970) стали периодом быстрого развития отечественной электронной промышленности. Свидетельством этого являются данные о темпах роста промышленности в целом и электронной промышленности СССР (табл. 1).

Таблица 1. Темпы роста промышленности в целом и электронной промышленности СССР

Годы	Темпы роста, %			
	Объем производства в СССР		Численность промышленно-производственного персонала в СССР	
	в промышленности в целом	в электронной промышленности	в промышленности в целом	в электронной промышленности
1960	100	100	100	100
1970	227	751	140	346

Необходимо отметить, что в течение пяти лет (1966–1970) количество предприятий электронной промышленности СССР практически удвоилось. Большое внимание уделялось развитию электроники в Украинской, Белорусской и Армянской ССР. Предприятия электронной промышленности не были созданы к тому времени только в Казахской и Туркменской ССР.

Становление электронной промышленности совпало с периодом промышленного подъема в СССР. Интенсивное развитие оборонно-промышленного комплекса СССР и электронизация военной техники содействовали активному развитию ряда направлений электроники (квантовая электроника, твердотельная СВЧ-техника, интегральная микроэлектроника и др.).

Интенсивно развивалась электронная промышленность и в последующие пять лет (1976–1980), обеспечивая потребности страны в электронной компонентной базе. При общем наращивании объема производства предприятиями электронной промышленности наиболее высокие темпы развития в эти годы были характерны для направлений «полупроводниковые приборы» и «интегральные микросхемы».

Задача развития полупроводниковой электроники на продолжительный период стала приоритетной, к решению связанных с этим задач, наряду с предприятиями Зеленограда, были привлечены московские НИИ «Пульсар» и «Сатурн», научные коллективы институтов полупроводниковой электроники Воронежа, Киева, Новосибирска, Томска. При каждом заводе полупроводниковой отрасли были организованы конструкторские бюро,

в профильных вузах — отраслевые лаборатории. Ряд НИИ и КБ проводил работу в тесном сотрудничестве с институтами Академии наук СССР ¹⁷.

О значительном росте объема производства полупроводниковых приборов к середине 1970-х гг. свидетельствуют данные, приведенные в табл. 2.

Таблица 2. Производство изделий полупроводниковой техники (млн шт.)

Номенклатурные группы	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.	1975 г.
Микросхемы интегральные	22,08	58,37	95,75	148,06	215,87
Полупроводниковые приборы	1176,6	1509,5	1777,9	1922,75	2116,52

Высокие темпы роста объема производства полупроводниковой техники сохранялись вплоть до конца 1980-х гг. В общем объеме выпуска изделий электронной техники в годы двенадцатой пятилетки (1986—1990), составившем 10671,3 млн руб., доминировали интегральные микросхемы — 3643 млн руб. (34,1 %).

Вторая половина 1970-х — 1980-е гг. стали периодом бурного развития производства персональных компьютеров в США и ряде других стран. Министерство радиопромышленности (МРП), ответственное в нашей стране за производство ЭВМ, постаралось в короткие сроки подготовить конструкторскую документацию и производственные мощности для освоения выпуска отечественных персональных ЭВМ. Тем не менее поставленная задача по существу не была решена в определенной степени из-за отсутствия необходимой элементной базы, причиной чего стала излишняя ведомственная разобщенность предприятий МРП и МЭП ¹⁸.

Принятие ряда административных решений содействовало своевременному выпуску изделий радиотехнической промышленности, необходимых в первую очередь для обеспечения обороноспособности страны. В то же время административное «разруливание» ситуации привело к уменьшению капитальных вложений в электронную промышленность. Следствием этого явилось, в частности, то, что в 1990-е гг. не был введен в действие ни один из 20 запланированных объектов микроэлектроники со сверхчистыми помещениями ¹⁹. В стране в этот период уже ощущалась острая нехватка интегральных схем и полупроводниковых приборов, отвечающих по своим характеристикам требованиям времени.

Во второй половине 1980-х гг., с началом перестройки, сопровождавшейся процессами системной дезинтеграции в народном хозяйстве, общественной и политической сфере Советского Союза, стала сходить на нет и холодная

¹⁷ Шокин А. А. Министр невероятной промышленности. М.: Техносфера, 2007. С. 250—268.

¹⁸ Динамика радиоэлектроники / Ред. Ю. И. Борисов. М.: Техносфера, 2007. С. 120—122.

¹⁹ Авдонин, Мартынов. Отечественная электроника... С. 124.

война. В декабре 1989 г. в ходе саммита на острове Мальта М. С. Горбачев и Дж. Буш-старший официально объявили об окончании холодной войны.

Послесловие

Распад СССР (1991) привел к существенным изменениям в структуре электронной промышленности России и масштабах производства продукции входящими в нее предприятиями. Отделение союзных республик нарушило целостность научно-промышленного комплекса. Россия сохранила основную часть производства вакуумной электроники (96,1 %), в то время как большая часть производства полупроводниковых приборов и интегральных схем оказалась за пределами России (Белоруссия — 21 %, Украина — 17 %, другие постсоветские страны — 24 %). Россия оказалась в большой зависимости от импорта изделий полупроводниковой электроники.

В условиях развивавшегося в стране кризиса, резкого снижения госзаказа и экспансии импорта товаров иностранного производства удельный вес отечественной бытовой электроники в общем объеме производства страны уменьшился с 2,6 % до 0,25 %, т. е. почти в десять раз. На внутреннем рынке доля отечественных изделий электронной техники и продукции на их основе, занимавших прежде доминирующее положение, снизилась до 10–12 %, тогда как для индустриально развитых стран этот показатель составляет обычно 70–80 %. В результате к концу 1990-х гг. отечественная электроника фактически утратила свое значение одного из основных факторов развития экономики, а Россия попала в большую зависимость от импорта изделий электронной техники ²⁰.

В настоящее время, несмотря на имеющееся отставание по техническому уровню ряда видов изделий электронной техники, темпы роста производства электронных приборов и оборудования превосходят общие темпы роста производства в России. Начиная с 2014 г. объем выпуска продукции радиоэлектронной промышленности возрастал ежегодно более чем на 29 %, в первую очередь за счет увеличения объемов государственного оборонного заказа и экспортных контрактов в рамках военно-технического сотрудничества. Объем экспорта в 2015 г. составил 1864 млн долл. (или около 20 % общего выпуска продукции радиоэлектронной промышленности) ²¹.

Предприятия радиоэлектронной промышленности проводят работу по импортозамещению применяемых электронных компонентов и приборов и снижению зависимости от поставок зарубежной продукции, используемой при разработке и производстве вооружения и военной техники. Важной частью этой деятельности является работа по созданию необходимой элементной базы отечественного производства, включая современные изделия интегральной микроэлектроники.

²⁰ Борисов В. П. Электроника СССР и России до и после проведения социально-экономических реформ // Отношение общества и государства к науке в условиях современных экономических кризисов: тенденции, модели, поиск путей улучшения взаимодействия: материалы международного симпозиума / Ред. Б. Е. Патон. Киев: Наш формат, 2013. С. 88–94.

²¹ Хохлов С. Радиоэлектронная промышленность: достижения проблемы, задачи и перспективы развития // Электроника: наука, технология, бизнес. 2018. № 5 (176). С. 20–24.

В 2016 г. в послании президента Владимира Путина Федеральному Собранию поставлена задача увеличения выпуска высокотехнологичной продукции гражданского и двойного назначения предприятиями военно-промышленного комплекса. Его доля в общем объеме производства этих предприятий должна составить 17 % — к 2020 г., до 30 % — к 2025 г. и до 50 % — к 2030 г.

References

- Avdonin, B. N., and Martynov, V. V. (2012) *Otechestvennaia elektronika. Etapy sozdaniia i razvitiia* [Russian Electronics. Creation and Development Stages]. Moskva: Kreativnaia ekonomika. pp. 74–75.
- Bardeen, J., and Brattain, W. (1948) The Transistor, A Semiconductor Triode, *Physical Review*, vol. 74, no. 2, pp. 230–231.
- Borisov, Iu. I. (ed.) (2007) *Dinamika radioelektroniki* [The Dynamics of Radioelectronics]. Moskva: Tekhnosfera.
- Borisov, V. P. (2013) Elektronika SSSR i Rossii do i posle provedeniia sotsial'no-ekonomicheskikh reform [Electronics in the USSR and Russia Before and After the Socio-Economic Reforms], in: Paton, B. E. (ed.) (2013) *Otnoshenie obshchestva i gosudarstva k nauke v usloviakh sovremennykh ekonomicheskikh krizisov: tendentsii, modeli, poisk putei uluchsheniia vzaimodeistviia: materialy mezhdunarodnogo simpoziuma* [Attitude of Society and State to Science under Contemporary Economic Crises: Tendencies, Models, Ways to Deepen Mutual Understanding and Interaction. Proceedings of the International Symposium]. Kiev: Nash format, pp. 88–94.
- Davydov, B. I. (1938) O vypriamlenii toka na granitse mezhdu dvumia poluprovodnikami [On Rectification of Current at the Boundary between Two Semiconductors], *Doklady AN SSSR*, vol. 20, no. 4, pp. 279–282.
- Ioffe, A. F. (1931) Poluprovodniki — novyi material elektrotekhniki [Semiconductors, a New Material for Electrical Engineering], *Sotsialisticheskaia rekonstruktsiia i nauka*, no. 2/3, pp. 108–112.
- Khokhlov, S. (2018) Radioelektronnaia promyshlennost': dostizheniia, problemy, zadachi i perspektivy razvitiia [Radio and Electronic Industry: Achievements, Problems, Goals and Prospects of Its Development], *Elektronika: nauka, tekhnologiia, biznes*, 2009, no. 5, pp. 20–24.
- Lashkarev, V. E. (1941) Issledovanie zapornogo sloia metodom termozonda [Study of Shut-Off Layer Using the Thermosonde Method], *Izvestia AN SSSR, seriia fizicheskaiia*, vol. 5, no. 4/5, pp. 442–446.
- Mott N. (1939) The Theory of Crystal Rectifiers, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences*, vol. 171, pp. 27–38.
- Nezhinskii, L. N. (ed.) (1995) Sovetskaia vneshniaia politika v gody “kholodnoi voyny” (1945–1985). Novoe prochtenie [Soviet Foreign Policy during the Cold War (1945–1985). A New Reading]. Moskva: Mezhdunarodnye otnosheniia.
- Proleiko, V. M. (ed.) (2009) *Ocherki istorii rossiiskoi elektroniki* [Essays on the History of Russian Electronics]. Moskva: Tekhnosfera, no. 1: 60 let otechestvennomu tranzistoru [60 Years of Russian Transistor].
- Rodionov, V. M. (ed.) (1988) *Formirovanie radioelektroniki (1920-e — 1950-e gg.)* [Formation of Radioelectronics (1920s — 1950s)]. Moskva: Nauka.
- Schottky W. (1939) Zur Halbleitertheorie der Sperrschicht- und Spitzengleichrichter, *Zeitschrift für Physik*, vol. 113, pp. 367–414.
- Shokin, A. A. (2007) *Ministr neveroiatnoi promyshlennosti* [The Minister of Incredible Industry]. Moskva: Tekhnosfera.
- Wilson, A. (1931) The Theory of Electronic Semiconductors, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences*, vol. 133, p. 458–491, vol. 134, p. 277–287.
- Zamechatelnye stranitsy zhizny professora Iu. R. Nosova [Remarkable Pages from Professor Yu. R. Nosov's Life]. Moskva: OOO “Tipografiia Siti Print”.

Received: April 20, 2020.