

## **МИКРОЭЛЕКТРОНИКА В УКРАИНЕ: ПРОШЛОЕ БЕЗ БУДУЩЕГО?**

[http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/Malinovsky\\_Essay\\_mi\\_rus.pdf](http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/Malinovsky_Essay_mi_rus.pdf)

[http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/chBooks\\_r.html](http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/chBooks_r.html)

[http://ukrainiancomputing.org/chBooks\\_r.html](http://ukrainiancomputing.org/chBooks_r.html)

© Б.М.Малиновский, 1998

**Глава из книги Б.Н.Малиновского "Очерки по истории вычислительной техники в Украине", "Феникс", 1998. ISBN 5-87534-218-8. Язык русский.**

Состояние микроэлектроники в стране является показателем научно-технического прогресса, экономической мощи, обороноспособности, информационного комфорта общества. На ее базе создаются средства вычислительной техники - от персональных до супер ЭВМ, развивается планетарная система связи, совершенствуется приборостроение, военная и бытовая техника и др. Уровень ее развития определяет готовность страны вступить в XXI век - век информатики.

Появлению микроэлектроники предшествовало создание первых ЭВМ - электронных гигантов, содержащих огромное количество электронных ламп, конденсаторов, сопротивлений. Чтобы уменьшить их размеры, потребление энергии, стоимость, повысить технологичность изготовления, была выполнена беспрецедентная по объему и краткости сроков исследовательская работа, завершившаяся созданием средств микроэлектроники и технологических процессов для их изготовления.

Микроэлектронные компоненты сохранили от своих предшественников только выполняемые функции. Во всем остальном они отличались коренным образом, поскольку уменьшение размеров в миллионы раз потребовало применения новых материалов, использования новых физических свойств, новой, сложной технологии изготовления и уникального оборудования для ее осуществления.

Вначале процесс микроминиатюризации из-за его сложности шел медленно, но по мере освоения новых технологий стал развиваться фантастически быстрыми темпами.

Первым шагом на пути к микроэлектронике стал транзистор, заменивший электронную лампу. Он был изобретен в США в 1947 г. Четыре года спустя появился первый надежно работающий образец. По размерам он был значительно меньше электронной лампы, но все же имел объем в несколько кубических сантиметров. Еще через 10 лет транзистор стал неразличим для глаза. В последующие годы первое "дитя" микроэлектроники и вычислительной техники уменьшилось до долей микрона. То же самое происходило с конденсаторами, сопротивлениями, соединительными проводами. Появилась возможность создания сложных электронных схем путем единого технологического процесса. Так возникли интегральные схемы (ИС), выполняющие функции отдельных типовых блоков ЭВМ. Их развитием стали большие интегральные схемы

(БИС), реализующие функции основных устройств ЭВМ, затем сверхбольшие (СБИС), исполняющие функции процессоров - основной части ЭВМ, хранение огромных объемов информации и др., содержащие на крошечных кристаллах миллионы транзисторов.

В результате были созданы дешевые и удобные для индивидуального пользования персональные ЭВМ, супер ЭВМ для обслуживания научных центров, обладающие колоссальными производительностью и объемами памяти, средства связи, охватившие всю планету, уникальные медицинские приборы, сверхточная военная техника, робототехника, удобное бытовое оборудование и т.д.

Развитие микроэлектроники в бывшем Советском Союзе, в том числе в Украине, как в зеркале отражает, с одной стороны, способность государства с плановой экономикой и командно-административной системой управления, сосредоточить силы и средства для быстрого развития нового направления в научно-техническом прогрессе, а с другой - его недостатки, тормозившие выход отечественной науки, техники и промышленности на мировой уровень. Описать этот противоречивый процесс в рамках одной главы книги невозможно. Отметим лишь, что по ряду важных проблем микроэлектроники были получены выдающиеся результаты, в том числе в Украине.

Микроэлектроника в Украине развивалась как часть микроэлектронной отрасли бывшего Советского Союза. В 60-х и начале 70-х годов в Киеве в короткий срок был создан и успешно работал мощный центр микроэлектроники - научно-производственное объединение (НПО) "Кристалл" с филиалами в других городах Украины. О масштабе выполненной за восемь лет работы, связанной с развертыванием в нем научных исследований, созданием материальной базы и подбором кадров, убедительно свидетельствуют такие цифры: построено 148 тыс. м. кв. площадей для размещения научно исследовательских институтов и предприятий. НИИ и заводы были полностью оснащены необходимой техникой. В начале 80-х годов на них работало более 30 тыс. человек. Продукция объединения, выпускаемая в 70-е и 80-е годы - это разработанные в объединении интегральные схемы (в том числе около 30 типов БИС), клавишные ЭВМ, калькуляторы, микроконтроллеры, микроЭВМ и др. Она обеспечила успешное развитие многих отраслей промышленности не только Украины, но и бывшего СССР, использовавших ее для создания цифровой радиоэлектронной аппаратуры самолетов, ракет, кораблей, а так же для выпуска современной бытовой техники (радиоприемники, магнитофоны) и др. В 1974 г., например, одних калькуляторов было выпущено более 100 тысяч. НПО "Кристалл" было определено головной организацией для стран СЭВ по МОП - интегральным схемам - основному направлению развития БИС и СБИС в настоящее время. В 70-х и начале 80-х годов его продукция лишь немного уступала аналогичной западной.

В конце 80-х годов из-за ошибочной научно-технической политики, принятой волевым решением Министерства электронной промышленности (МЭП) СССР и заключающейся в "советизации" американской техники, НПО "Кристалл" вынуждено было перейти на повторение достигнутого в Америке, что заранее обрекало его на отставание. Тем не менее и в "советизации" первых американских микропроцессоров "Кристалл" сумел отличаться - разработанные в объединении и переданные в серийное производство 8-разрядные, а затем 16-разрядные микропроцессоры, практически, не отличались от зарубежных, что было подтверждено проведенной в США экспертизой. Но на этом достижения закончились, поскольку "советизация" более сложных БИС и СБИС, содержащих многие миллионы транзисторов на кристалле, оказалась невозможной.

Министерство электронной промышленности СССР, спохватившись, стало готовить новое постановление правительства, чтобы на основе новых финансовых вливаний поднять технологический уровень отрасли. Намечалось, что в Украине будут построены ряд заводов, оснащенных современным технологическим оборудованием, в частности, что очень важно, завод по производству оборудования для выпуска БИС и СБИС. Если бы это осуществилось, Украина обеспечила бы себе полную самостоятельность в области МОП-электроники, поскольку становилась обладателем всего, что необходимо для развития отрасли. Но этого не случилось - развернулась "перестройка" и последующие за ней события...

НПО "Кристалл" было не единственным производителем микроэлектроники в Украине. Почти одновременно с ним были созданы еще пять объединений: "Родон" в Ивано-Франковске, "Гравитон" в Черновцах, "Гамма" в Запорожье, "Днепр" в Херсоне, "Октябрь" в Виннице. Вместе с "Кристаллом" на них трудилось более 100 тыс. человек. Они выпускали около 150 млн. полупроводниковых приборов и интегральных схем в год, что обеспечивало потребности Украины и многих республик бывшего СССР и стран СЭВ.

В 70-80-х годах Украина была монополистом в бывшем СССР и вторым в Европе поставщиком полупроводниковых материалов - германия, арсенида галлия и средств их обработки (Запорожский НИИ "Титан", Светловодский завод чистых металлов и др.). Быстрому становлению микроэлектронной промышленности содействовал высокий уровень научных исследований в области микроэлектроники в Украине. В эти годы они велись в Институте физики полупроводников, Институте кибернетики НАН Украины, Киевском университете, Киевском политехническом институте и многих других. В 1969 г. организовано научно-производственное объединение "Сатурн", приступившие к освоению наиболее прогрессивной технологии изготовления транзисторов на основе арсенида галлия. Новое направление микроэлектроники стало прорывом в будущее.

Это еще не полный перечень организаций, внесших значительный вклад в отечественную микроэлектронику в 70-80-х годах. Но автор и не

ставит задачу всестороннего описания процесса становления и развития этой отрасли. Речь пойдет о наиболее значительных событиях и людях, которых автор знал не понаслышке, с которыми вместе работал или встречался и о которых ему многое известно. В условиях "угасания" отечественной микроэлектроники представляется полезным напомнить, что было сделано, что потеряно, и как последнее может отразиться на будущем Украины.

### *Первооткрыватель*

Главным элементом ИС, БИС и СБИС служит транзистор. Он был создан на основе полупроводниковых материалов, которые в чистом виде имеют очень низкую электрическую проводимость, т.е. проявляют себя как высокоомные резисторы. К активному исследованию их свойств физики приступили в конце 30-х годов. Если придерживаться хронологии, то первыми в мире публикациями, описывающими экспериментально обнаруженные р-п переход и биполярную электронно-дырочную диффузию - явления, лежащие в основе современных транзисторов, были статьи тридцати восьмилетнего украинского физика Вадима Евгеньевича Лашкарева "Исследование запирающих слоев методом термозонда" (Известия АН СССР, сер.физ.Т.5, с.442, 1941 г) и "Влияние примесей на вентильный фотоэффект в закиси меди" (Там же, с. 478. Соавтор К.М. Косоногова).

Шла Вторая мировая война. Советский Союз стоял на пороге Отечественной. Опубликованные Лашкаревым статьи об основополагающих физических явлениях, положенных впоследствии в основу будущего транзистора, остались незамеченными. Изобретая транзистор спустя несколько лет после войны, американские ученые заново открыли уже открытое.

В истории развития вычислительной техники уже были случаи, когда оказывалось, что, то или иное широко известное изобретение упреждалось малоизвестным (или долго не известным). Так было с "Паскалиной" - счетной машиной, изобретенной великим французом Б. Паскалем. Изучение архивов показало, что его на два десятилетия опередил немецкий ученый В. Шиккард. Так получилось с ЭНИАКом - ЭВМ, созданной американцами Д. Мочли и П. Эккертом. Судебное разбирательство показало, что электронный вариант вычислительной машины впервые предложил Д. Атанасофф (тоже США). Наконец, только после Второй мировой войны стало известно, что первую релейную цифровую вычислительную машину сделал не Г. Айкен (США), а К. Цузе (Германия).

Играли роль и другие факторы, в первую очередь, отсутствие нужных технологий для осуществления предлагаемой новой техники. Так было с аналитической машиной Ч. Беббиджа, опередившего свое время на целый век, а потому вошедшему в историю вычислительной техники на сто лет позднее.

Когда Б. Паскаль и В. Шиккард изобретали свои машины - первые примитивные механические сумматоры с ручным управлением, они, конечно, не думали, что тем самым положат начало созданию релейных, а затем электронных цифровых машин. Это стало очевидно только в наше время. То же самое случилось и с обнаруженными В.Е. Лашкаревым явлениями.

Прежде чем рассказать о том, как украинский физик в 1941 г. первый в мире экспериментально обнаружил p-n переход, такое название появилось позднее, и раскрыл механизм электронно-дырочной диффузии, на основе которых под его руководством в начале 50-х годов (на два-три года позднее, чем в США), были созданы первые в Украине полупроводниковые триоды - транзисторы, следует хотя бы немного ознакомиться с физикой полупроводников (германий, кремний, галлий и др., используемых для создания транзисторов.)

Электрическая проводимость материала зависит от того, насколько прочно ядра его атомов удерживают электроны. Так большинство металлов являются хорошими проводниками, поскольку имеют огромное количество слабосвязанных с атомным ядром электронов, которые легко притягиваются положительными зарядами и отталкиваются отрицательными. Движущиеся электроны и есть носители электрического тока. С другой стороны, изоляторы, не пропускают ток, так как электроны в них прочно связаны с атомами и не реагируют на воздействие внешнего электрического поля.

Полупроводники ведут себя иначе. Атомы в кристаллах полупроводников образуют решетку, внешние электроны которой связаны силами химической природы. В чистом виде полупроводники подобны изоляторам: они или плохо проводят ток, или не проводят вообще. Но стоит добавить в кристаллическую решетку небольшое количество атомов определенных элементов (примесей), как их поведение кардинально меняется.

В некоторых случаях атомы примеси связываются с атомами полупроводника, образуя лишние электроны; избыток свободных электронов придает полупроводнику отрицательный заряд. В других случаях атомы примеси создают так называемые "дырки", способные "поглощать" электроны. Таким образом, возникает недостаток электронов и полупроводник становится положительно заряженным. При соответствующих условиях полупроводники могут проводить электрический ток. Но в отличие от металлов они проводят его двояким образом. Отрицательно заряженный полупроводник стремится избавиться от лишних электронов, это проводимость n-типа (от negative - отрицательный). Носителями заряда в полупроводниках такого типа являются электроны. С другой стороны, положительно заряженные полупроводники притягивают электроны, заполняя "дырки". Но, когда заполняется одна "дырка" рядом возникает другая - покинутая электроном. Таким образом, "дырки" создают поток положительного заряда, который направлен в сторону, противоположную движению электронов. Это проводимость p-типа (от positive - положительный). В полупроводниках обоих типов так называемые не основные носители заряда (электроны в полупроводниках p-типа и "дырки" в полупроводниках n-типа) поддерживают ток в направлении, обратном движению основных носителей заряда.

Внесение примесей в кристаллы германия или кремния позволяет создать полупроводниковые материалы с желаемыми электрическими свойствами. Например, введение незначительного количества фосфора порождает свободные электроны, и полупроводник приобретает проводимость n-типа. Добавление атомов бора, наоборот, создает дырки, и материал становится полупроводником p-типа.

Таким образом оказалось, что полупроводник, в который введены примеси, обретает свойство пропускать электрический ток, т.е. обладает

проводимостью, величина которой может при определенном воздействии изменяться в широких пределах.

Когда в США был найден способ для осуществления такого воздействия электрическим путем, появился транзистор (от первоначального названия трансрезистор).

Однако фундаментальные явления, на которых основана работа транзистора и других полупроводниковых приборов и интегральных схем, как сказано выше, были обнаружены Лашкаревым ранее. Применяя для исследования электронного строения слоя закиси меди термозонд - нагретый стержень, приводимый в соприкосновение с полупроводником, он установил, что по обе стороны слоя с повышенным сопротивлением - запорного слоя, расположенного параллельно границе раздела медь - закись меди, знаки носителей тока различны. Впоследствии это явление и получило название р-п перехода. Им же "был раскрыт механизм инжекции - важнейшего явления на основе которого действуют полупроводниковые диоды и транзисторы". (Н.Н. Боголюбов и др. "Памяти Вадима Евгеньевича Лашкарева" Успехи физических наук. Т. 117, вып.2, с.377, 378. 1975г.).

В 1950 г. В.Е. Лашкаревым и В.И. Ляшенко были опубликованы пионерские исследования поверхностных явлений в полупроводниках, открывшие новую страницу физики полупроводников (см. статью "Электронные состояния на поверхности полупроводника". Юбил. сборн. к 70 летию акад. А.Ф. Иоффе. с.536. 1950 г.). Они лежат в основе работы современных интегральных схем (полевые транзисторы), где роль поверхностных явлений по сравнению с объемными неизмеримо возрастает и становится определяющей.

Глубокое понимание электронных процессов на границе металл-полупроводник позволило Лашкареву в 50-е годы правильно сформулировать технические требования к германию, технология получения монокристаллов которого была разработана Государственным институтом редкометаллической промышленности (акад. Н.Н. Сажин, Москва). Конструкторы точечных германиевых диодов и триодов настолько завысили требования к полупроводнику, что практически все выращиваемые монокристаллы германия шли в брак. Тщательные исследования, проведенные Лашкаревым и Миселюком в Институте физики АН УССР в Киеве, показали, что уже достигнутый уровень технологии монокристаллов германия позволял создать точечные диоды и триоды с необходимыми характеристиками. Это позволило ускорить промышленный выпуск первых в бывшем СССР германиевых диодов и транзисторов.

Открытие Лашкаревым р-п перехода и других важных явлений опередило развитие технологии выращивания монокристаллов германия и кремния, на основе которых были созданы интегральные схемы, представляющие элементную базу ЭВМ новых поколений. Великая Отечественная война, послевоенная разруха и связанное с этим отставание

полупроводниковой технологии в СССР привели к тому, что первые полупроводниковые приборы с p-n переходами - диоды и триоды - были созданы в США. Их создатели В. Шокли и У. Бардин были удостоены Нобелевской премии. Судьба оказалась несправедливой к Лашкареву. Достигнутое им понимание физических явлений в полупроводниках и полупроводниковых приборах и выдвинутые им идеи в совокупности составляют не меньший вклад в микроэлектронику, чем у каждого из известных всему миру американских ученых.

Краткое описание жизни академика НАН Украины В.Е. Лашкарева и его научной школы сделано Ю.А. Храмовым в его монографии "История формирования и развития физических школ в Украине"(1991 г.). Ниже приводятся несколько выдержек из главы "Полупроводниковая школа В.Е. Лашкарева".

С именем известного советского физика академика НАН Украины Вадима Евгеньевича Лашкарева (1903-1974) связано становление и развитие физики и техники полупроводников в Украине. Родился он 7 октября 1903 г. в Киеве. После окончания Киевского института народного образования был аспирантом и преподавателем Киевской научно-исследовательской кафедры физики (1924-1927). Уже в те годы В.Е. Лашкарев проявил себя талантливым экспериментатором. Его исследования относились к физике рентгеновских лучей и их применению к структурному анализу. В 1925 г. он совместно с В.П. Линником разработал оригинальный метод определения коэффициента преломления рентгеновских лучей. Участвовал в организации Института физики АН Украины, где в 1929-1930 гг. заведовал отделом рентгенофизики.

По приглашению академика А.Ф. Иоффе в 1930-1935 годах Лашкарев руководил лабораторией в Ленинградском физико-техническом институте и работал в области дифракции медленных и быстрых электронов. В этот период им выполнены пионерские исследования распределения электронной плотности в кристаллах, обобщенные в монографии "Дифракция электронов". В 1935 г. за работы по дифракции электронов ему без защиты диссертации была присуждена ученая степень доктора физико-математических наук.

Начавшиеся после убийства Кирова в 1934 г. в Ленинграде массовые репрессии против интеллигенции коснулись и Лашкарева. Он был арестован и после трехмесячного пребывания в камере-одиночке выслан в Архангельск, где заведовал кафедрой физики Архангельского медицинского института и занимался вопросами биофизики.

С 1939 г. научная деятельность Лашкарева была связана с физикой полупроводников. В 1939-1960 гг. он возглавлял отдел полупроводников в Институте физики НАН Украины, одновременно заведовал кафедрами физики (1944-1952) и полупроводников (1952-1957) Киевского университета. Причем кафедра полупроводников, созданная Лашкаревым, была первой в бывшем СССР.

Талант Лашкарева в сочетании с его широкой научной эрудицией позволили достаточно быстро освоить новую область физики и получить важные научные результаты. Уже в 1940 г. официально был отмечен высокий уровень его исследований, а в 1939-1944 гг. работы отдела полупроводников стали ведущими и в Украине и в бывшем Советском Союзе. В этот период им были выполнены основополагающие исследования структуры заборного слоя в закиси меди и внутреннего фотоэффекта в полупроводниках. (см. выше, прим. авт.).

"В послевоенные годы формируется научная школа Лашкарева. Этому способствовал его талант ученого-физика, - отмечает его сын Георгий Вадимович Лашкарев. - Любовь и большие способности к физической теории и эксперименту, глубокая научная интуиция, непримиримость к нечистоплотным в науке людям, независимость суждений, принципиальность вызывали большое уважение его учеников

и знавших его ученых. Благодаря этим качествам вокруг Лашкарева группировались способные, преданные физике люди".

Характерным для научной деятельности Лашкарева является глубокое проникновение в физическую сущность процессов, образность интерпретации, широкое, использование принципа моделей и аналогий. Исключительно высокий уровень научных дискуссий, проводимых Лашкаревым, привлекал к нему многочисленных способных учеников. Будучи заведующим кафедрой физики полупроводников Киевского университета, он создал один из первых общеобразовательных курсов лекций по полупроводникам и подготовил большой отряд специалистов высокого уровня.

Глубокое знание литературы и истории, а также любовь к музыке делали Лашкарева одним из образованнейших людей своего времени, а его личность еще более привлекательной. Он пользовался признанием у многих выдающихся ученых различных специальностей. Среди близких друзей Лашкарева были В.П. Филатов, И.В. Курчатова, А.И. Алиханов, А.И. Алиханьян, Б.М. Вул, А.Ф. Иоффе и др.

Школу В.Е. Лашкарева представляют академик НАН Украины О.В. Снитко, члены-корреспонденты В.Г. Литовченко и М.К. Шейнкман, доктора наук В.И. Ляшенко, Е.Г. Миселюк, П.И. Баранский, А.В. Любченко, В.А. Романов, Е.А. Сальков, В.И. Стриха, Г.А. Федорус, Г.В. Лашкарев, профессор Ю.И. Карханин, Г.А. Холодарь и др.

Высокий уровень проводимых исследований в школе, наличие высококвалифицированных кадров привели к созданию в 1960 г. Института полупроводников (ныне Институт физики полупроводников НАН Украины). Его директором был назначен Лашкарев. Он был также главным редактором "Украинского физического журнала", основанного по его инициативе в 1956 г.

Созданные им школа и научный коллектив - Институт полупроводников АН Украины - стали ведущими в области фотоэлектроники полупроводников в бывшем СССР.

С Лашкаревым автор не был знаком, но не раз посещал его отдел и использовал изготовленные в институте транзисторы в своих исследованиях. Это произошло благодаря Лебедеву. 2 ноября 1952 г. Сергею Алексеевичу исполнилось 50 лет. Он еще оставался директором Института электротехники НАН Украины, но основное время проводил в Москве. Под его руководством в Институте точной механики и вычислительной техники АН СССР создавалась Быстродействующая электронная счетная машина БЭСМ. В этот день ученый совет Института электротехники, на заседание которого он приехал, отметил его юбилей. Сергей Алексеевич, как всегда, не стал терять времени даром. Поблагодарив за теплые слова, он вместе с аспирантом Андреем Ивановичем Кондалевым поехал в Институт физики НАН Украины к Лашкареву, где уже изготавливались точечные германиевые транзисторы. Перед аспирантом он поставил задачу - разработать на транзисторах основные элементы ЭВМ. Договорился о трехмесячной практике Кондалева в отделе Лашкарева. Годом раньше другому аспиранту Института электротехники, - автору, Лебедев предложил создать безламповый триггер на магнитных усилителях. Мне это удалось. Однако, уже тогда было ясно, что элементы на магнитных усилителях значительно менее перспективны, чем транзисторные, и я стал заниматься исследованием свойств точечных полупроводниковых триодов и

разработкой элементов вычислительной техники на их основе. Через Кондалева познакомился с сотрудником отдела Лашкарева Александром Ивановичем Скопенко, отвечавшим за изготовление транзисторов. Он подарил мне несколько образцов. Транзистор тогда имел вид медного стаканчика небольших размеров (высота, примерно, 3-4 см, диаметр 0,5 см) с двумя ножками-контактами в основании. Третий контакт надевался на штырек на верхней части стаканчика. Так, благодаря Лашкареву и Лебедеву, я вместе с Кондалевым, оказался одним из первых, кто попытался использовать транзисторы в вычислительной технике. В 1956 г. когда в Москве была проведена Первая всесоюзная конференция "Пути развития советского математического машиностроения и приборостроения", мой доклад "Устройства, основанные на сочетании магнитных и кристаллических элементов", оказался единственным, освещающим вопрос использования транзисторов в ЭВМ.

После посещения лаборатории Лашкарева Лебедев сказал Кондалеву:

- Настанет время, когда на этом кристаллике, что нам показал Вадим Евгеньевич, можно будет разместить всю ЭВМ! - Так и случилось. Но это стало через двадцать с лишним лет, когда появились большие интегральные схемы БИС, содержащие на кристалле десятки и сотни тысяч транзисторов, а позднее - сверхбольшие интегральные схемы СБИС со многими миллионами компонентов на кристалле, открывшие человеку путь в новую информационную эру.

### *Старт промышленной микроэлектроники*

В 1962 г. правительство Советского Союза приняло постановление о развитии микроэлектронной промышленности и создании в Зеленограде под Москвой Научного центра микроэлектроники с филиалами в Киеве, Минске, Риге, Вильнюсе, Тбилиси и ряде других мест. Уже через несколько лет небольшой городок под Москвой превратился в столицу микроэлектроники - советскую "силиконовую долину", наподобие американской. Зеленоград был отстроен практически заново. Наряду с семью крупными научно-исследовательскими институтами, вычислительным центром и заводами, вузом и техникумом строились жилые массивы и др. Близость к Москве помогла привлечь высококвалифицированные кадры, что обеспечило быстрое развитие научно-исследовательских работ. Большую роль в этом сыграл председатель Государственного комитета СССР по электронной технике (впоследствии министр электронной промышленности), человек весьма незаурядный Александр Иванович Шокин.

Не была оставлена без внимания и Украина. По инициативе и при помощи Шокина в Киеве в начале 1962 г. открылась выставка средств микроэлектроники, выпускаемых предприятиями Комитета. На нее были приглашены руководители киевских приборостроительных предприятий. В ярком и аргументированном выступлении при открытии выставки Шокин

убедительно показал преимущества микроэлектроники и необходимость ее развития в Украине.

Первым на призыв председателя Госкомитета откликнулся Иван Васильевич Кудрявцев, директор Киевского НИИ радиоэлектроники (КНИИРЭ), давно мечтавший перевести громоздкие корабельные радиоэлектронные системы на новую техническую базу. Сразу после выставки он поручил группе молодых инженеров во главе со Станиславом Алексеевичем Моралевым ознакомиться с состоянием дел в СССР и за рубежом и подготовить предложения о развитии микроэлектроники в институте.

Полгода спустя, когда появилось правительственное постановление о развитии микроэлектронной промышленности, было создано Киевское конструкторское бюро по микроэлектронике КБ-3 Государственного комитета СМ СССР по электронной технике. Его руководителем назначили Моралева. С согласия Кудрявцева в новую организацию перешли ряд сотрудников КНИИРЭ - В.Д. Борисенко, В.И. Кибальчич, Г.П. Апрелько и др. Намеченная на первых порах специализация КБ - микроминиатюризация радиолокационной аппаратуры, отвечала интересам Кудрявцева, и поэтому вначале новая организация размещалась в КНИИРЭ.

Решением Киевского горисполкома КБ-3 была передана площадка с недостроенным зданием мебельной фабрики, площадью 1000 м<sup>2</sup> по ул. Глыбочицкой и площадка под строительство лабораторно-производственного корпуса, площадью 10 тыс. кв. метров в районе урочища Сырец. Уже к концу 1963 г. реконструкция здания мебельной фабрики была закончена, установлено необходимое инженерное и технологическое оборудование. Коллектив КБ-3 получил возможность приступить к работе. Его "основатели" - С.А. Моралев, В.Д. Борисенко, А.И. Корнев, В.П. Белевский и др. решили заняться разработкой гибридных интегральных схем ИС с использованием тонких пленок тантала (Та).

Выбор объяснялся тем, что Та, как исходный материал, обладал высокой стабильностью своих физических свойств, радиационной стойкостью, уникальными технологическими свойствами, позволявшими получить в едином технологическом процессе тонкопленочные резисторы, конденсаторы, диэлектрические слои для пассивной части гибридной ИС. Это упрощало технологический цикл и повышало качество схем.

Однако, Та оказался "крепким орешком" - для получения пленок потребовалось создать принципиально новые типы электронно-лучевых пушек большой мощности, сложное вакуумное оборудование, установки контроля параметров схем. Все это заняло достаточно много времени, и серийный выпуск ИС на Та начался только в 1968 г., когда уже два года существовал НИИ "Микроприбор" созданный на базе КБ-3.

По техническим заданиям, согласованными с генеральными конструкторами самолетной бортовой аппаратуры (Спиров, ВНИИРА, Ленинград), космической бортовой техники (Сергеев, "Хартрон", Харьков)

был разработан ряд гибридных тонкопленочных ИС на Та (система "Пенал"), а для бытовой радиоэлектронной аппаратуры, выпускаемой Министерством радиопромышленности, - система "Кулон".

Разработанные гибридные ИС и аппаратура на их основе успешно прошли испытания и показали высокие технико-экономические характеристики. Использование ИС "Пенал" в бортовой навигационной аппаратуре позволило уменьшить ее вес в 2,5 раза, объем в 3 раза, увеличить надежность в несколько раз. Применение ИС "Кулон" в радиоприемнике "Меридиан" Киевского ПО им. С.П. Королева уменьшило его габариты, увеличило срок службы, снизило трудоемкость сборочных операций и себестоимость. "Меридиан" стал первым радиоприемником на интегральных схемах, выпущенным на заводах Украины.

По предложению О.К. Антонова - генерального конструктора КБ Киевского авиазавода была проведена совместная работа по определению оптимальных путей микроминиатюризации бортовой самолетной аппаратуры для управления полетом. Познакомившись в эти годы с Олегом Константиновичем, Моралев сохранил дружбу с выдающимся конструктором и ученым на многие годы и не раз обсуждал с ним перспективы развития микроэлектроники применительно к задачам самолетостроения.

"Постоянную поддержку и помощь в организации строительства зданий для КБ-3, а затем института, подборе кадров, внедрений наших разработок на заводах Украины мы получали от Центрального комитета Компартии Украины, областного и городского комитетов КПУ, - вспоминает С.А. Моралев. - При областном и городском комитетах была создана комиссия по содействию в применении ИС на заводах Киева. Было поддержано наше предложение по разработке и организации производства приемника "Меридиан" на ИС в ПО им. С.П. Королева. По предложению заведующего оборонным отделом ЦК КПУ Я.К. Руденко мы разработали специальные радиационноустойчивые ИС для запоминающего устройства бортовой ЭВМ, проектируемой Харьковским научно-производственным объединением "Хартрон" (генеральный конструктор В.Г. Сергеев) и помогли харьковчанам организовать их производство.

В короткие сроки семейства гибридных ИС "Пенал" и "Кулон" получили широкое внедрение в радиоэлектронной аппаратуре. Их серийное производство было организовано на опытном заводе института и его филиале в Светловодске. Технология изготовления гибридных ИС на Та была передана на предприятия Ленинграда, Харькова, Москвы и др., на нее была продана лицензия в Венгерскую народную республику.

Большой вклад в организацию серийного производства ИС внес Александр Иванович Корнев, главный инженер опытного завода "Микроприбор", воспитанник Киевского университета, где он работал в лаборатории известного украинского физика Н.И. Находкина.

Разработанная впервые в бывшем СССР технология производства тонкопленочных резистивных и емкостных микросхем на основе тантала

позволила повысить производительность при изготовлении гибридных ИС в 5-10 раз и увеличить процент выхода годных ИС до 90%. О сложности решенной в КБ-3 НИИ микроприборов задачи свидетельствует факт, что в то время такой технологией располагали только три фирмы в мире, причем только одна из них (США) разработала ее самостоятельно.

"Первым учителем для нас в то время был министр электронной промышленности А.И. Шокин, - вспоминает С.А. Моралев. - Он был одним из организаторов радиотехнической отрасли страны. Особенно ярко его талант выдающегося организатора проявился в годы становления микроэлектроники - отрасли высоких технологий и высокой культуры производства. В начале он был назначен председателем Государственного комитета по электронной технике, а после ликвидации совнархозов - министром электронной промышленности.

Помню его первый приезд в Киев. Это было в конце 1963 г. Мы только что закончили реконструкцию корпуса на ул. Глубочицкой, установили оборудование, подключились к электросети, даже организовали буфет с горячей пищей.

После беседы и рассмотрения планов работ он внимательно ознакомился на рабочих местах с процессами проектирования и производства гибридных интегральных схем, беседовал со специалистами и рабочими. При этом много внимания уделял вопросам культуры производства и организации рабочих мест. Подводя итог, он одобрил наши разработки и тематику, похвалил за оперативность в подготовке помещений и оборудования и пообещал выполнить нашу просьбу - выделить нам лимиты по труду (50 штатных единиц) и фонды на оборудование и транспорт. Вскоре мы получили запрошенные штатные единицы, но не 50, а 150, и фонды не только на оборудование и транспорт, но и на строительство жилья. Он постоянно следил за нашим развитием и постоянно оказывал необходимую поддержку".

НИИ микроприборов Министерства электронной промышленности (МЭП) был организован в 1966 г. на базе КБ-3. По инициативе Моралева, назначенного его директором, и появившегося в это время его заместителя по науке Константина Михайловича Кролевца было принято решение о постепенном переходе к разработке твердотельных ИС.

Твердотельные ИС изготавливаются на основе монокристаллов полупроводников. Основной особенностью этих схем является то, что все их компоненты (транзисторы, диоды, резисторы и конденсаторы) выполняются на одной или нескольких монокристаллических пластинках полупроводника.

Изучение состояния разработок и производства твердотельных ИС в МЭП и за рубежом показало, что наиболее перспективными являются ИС на МОП-транзисторах, хотя исследовательские работы по ним были в начальной стадии. МОП-транзистор технологически выполняется на основе р-п переходов между металлом, окислом и полупроводником, отсюда его сокращенное название.

Анализ показывал, что ИС на МОП-приборах конструктивно более просты, по сравнению с ИС на биполярных структурах, технологичнее, имеют более высокий процент выхода годных изделий и не требуют дополнительной изоляции компонентов в схеме. Основное же преимущество МОП-транзисторов - их малые размеры. Это

позволяет создавать ИС высокой степени интеграции, особенно для устройств вычислительной техники с регулярной структурой (запоминающие устройства, регистры и др.).

Предложения НИИ микроприборов по специализации в области МОП-интегральных схем были рассмотрены на заседании коллегии Зеленоградского научного центра. Коллегия утвердила предложенный Моралевым план работ института.

Наступил новый этап в работе. Физико-технологические вопросы разработки МОП-БИС возглавили К.М. Кролевец и Ю.А. Петин, схемотехники - А.И. Молчанов и А.В. Кобылинский, машинное проектирование топологии - В.Г. Таборный. Научное руководство работами осуществляли С.А. Моралев и К.М. Кролевец.

В начале была разработана серия интегральных схем "Кобра" с уровнем интеграции до 30 элементов на кристалле. В 1968 г. было начато ее серийное производство на опытном заводе НИИ. Она получила широкое применение в изделиях цифровой техники.

По заданию Министерства электронной промышленности в 1970 г. был создан первый в СССР и Европе микрокалькулятор на 4-х больших интегральных схемах МОП-БИС со степенью интеграции до 500 транзисторов на кристалле. БИС изготавливались на опытном заводе НИИ "Микроприбор", сборка микрокалькуляторов производилась в г. Светловодске, где находился филиал опытного завода.

То, что стоит за двумя последними фразами, обернулось для руководителей "Микроприбора" многими переживаниями, близкими к стрессу.

22 апреля 1970 г. наступало 100-летие со дня рождения В.И. Ленина. В МЭП, как и во всем Советском Союзе, готовились к этой дате. Еще с осени 1969 г. министр стал вызывать "на ковер" руководителей предприятий и интересовался, какими достижениями можно встретить эту дату. В декабре дошла очередь и до Моралева.

Станислав Алексеевич захватил с собой наспех собранный макет калькулятора, в котором предполагалось использовать готовящиеся к производству БИС. Министр, начавший встречу на высоких тонах, услышав от Моралева об успешной разработке калькулятора, подобрел и распорядился: - К 22 апреля пять образцов калькулятора должны быть на моем столе!

Вначале Моралев был рад такому решению, но как оказалось, преждевременно. Заведующий отделом, в котором шла разработка калькулятора, работавший ранее в Институте кибернетики НАН Украины, подключил к ней не сотрудников отдела, а группу специалистов Института кибернетики. Те, обидевшись, что их не пригласили на разговор с министром, возмутились и забрали схемы и макет обратно. Заведующий отделом, оставшись "с носом", ушел из института. На его место был назначен Леонид Федорович Мараховский, ранее также сотрудник

Института кибернетики НАН Украины, получивший опыт разработки машины-интегратора МИМ в отделе Глушкова.

Вероятно, слух об этом происшествии дошел до министерства. Там решили работу запараллелить. Задание создать калькулятор было дано еще одной организации - мощному Ленинградскому КБ, руководимому Ф.Г. Старосом, опытным и энергичным ученым. Это, конечно, обеспокоило "Микроприбор". Моралев и Кролевец делали все возможное, чтобы выиграть соревнование - торопили конструкторов, обеспечивали разработчиков всем необходимым, подключали производственные участки. Министр справлялся о ходе работ почти каждый день. И тут, в самом разгаре работ, серьезно заболел новый главный конструктор. Два месяца отдел работал без руководителя, ограничиваясь консультациями по телефону.

И все-таки успели! За несколько дней до 22-го апреля пять образцов были отлажены, и главный инженер объединения В.Ю. Тимофеев повез калькуляторы в Москву. На заседании коллегии, подводившей итоги подготовки к 100-летию Ленина, первое слово дали Старосу. Он сказал, что задание не выполнено, и вообще в такие сроки выполнить его было невозможно. Тогда министр предоставил слово Тимофееву. Его десятиминутное выступление стало триумфом "Микроприбора". У Староса обострились отношения с министром. Калькулятор был представлен на Выставку достижений в народном хозяйстве в Москве. Мараховский был награжден золотой медалью. Моралева наградили орденом Трудового Красного Знамени. На его голове в эти месяцы появились первые седые пряди.

Впрочем, не только по этой причине. Быстрое развитие института, расширение тематики исследований, освоение новых технологий требовали строительства и освоения помещений. Директору института пришлось приложить немало усилий, чтобы организовать и обеспечить эту работу. Приведу рассказ самого Моралева.

"Выполнение плана по строительству было для каждого члена нашего коллектива таким же важным, как и выполнение планов НИР и ОКР.

Все сотрудники объединения принимали непосредственное участие в строительстве института, работая разнорабочими, грузчиками, подсобниками. Десятки инженеров и техников ежедневно по утвержденному графику выходили на стройку. Это объяснялось тем, что мощности строительных организаций не соответствовали плановым объемам работ, не хватало рабочих-строителей. Мы были вынуждены брать на себя выполнение части строительных работ, как правило самых трудоемких, и выполняли их бесплатно.

Промышленные здания для производства микроэлектроники относятся к первой категории сложности. Они представляют сложные инженерные комплексы, которые должны отвечать требованиям вакуумной гигиены, поэтому для отделки применяют мрамор, гранит,

пластиковые материалы. При строительстве инженерных коммуникаций используются нержавеющие стали, полиэтиленовые трубопроводы, алюминиевые строительные конструкции и др. Каждый производственный этаж имеет так называемый технический этаж, где осуществлялся монтаж инженерных коммуникаций. В этой сложной работе принимали участие и наши специалисты, что значительно ускорило дело. Нами совместно со строителями была разработана специальная балка оригинальной конструкции, применение которой сокращало сроки сборки железобетонного каркаса здания под микроэлектронику и снижало стоимость строительства".

### ***Впервые в Европе***

В декабре 1970 г. приказом министра электронной промышленности было создано научно-производственное объединение (НПО) "Кристалл". В него вошли: НИИ микроприборов, Киевский завод полупроводниковых приборов, опытный завод НИИ микроприборов. Объединению вменялась обязанность головной организации МЭП по разработке и производству больших интегральных схем на МОП-транзисторах, вначале со степенью интеграции более 1000 транзисторов (для регулярных структур до 20 000 и выше), а на следующем этапе до 100 тыс. и более (размеры элементов уменьшались до 1 микрона).

"Ручные" методы проектирования БИС и созданная в 1969-1970 гг. примитивная система автоматизированного проектирования для этого не годились. В 1972-1973 гг. в "Микроприборе" была развернута система машинного проектирования на базе БЭСМ-6 и других ЭВМ, позволившая проектировать БИС с высокой степенью интеграции. Время разработки БИС сократилось до 50-70 дней.

Потребовалось разработать сложный комплекс программ, обеспечивающий процесс проектирования БИС. Сотни тысяч компонентов, которые они содержали, надо было соединить между собой в соответствии с функциональным назначением БИС и при этом не сделать ни одной ошибки, иначе огромный труд, потраченный на их изготовление не принесет пользы. Такую работу могла выполнить только машина.

Установка оборудования, подготовка и отладка программ потребовали напряженной трехсменной работы коллектива отдела Таборного в течении нескольких месяцев. Досталось и руководителям "Микроприбора".

С 1973 г. основным направлением в объединении становится разработка и производство больших интегральных схем на МОП-приборах. Первыми были спроектированы несколько типов БИС для различных типов калькуляторов, БИС памяти и др.

Для выпуска новых БИС понадобилось разработать более прогрессивные технологические процессы, обеспечивающие степень интеграции более 100 тыс. транзисторов на кристалле и скорость переключения до десятков мегагерц. При этом приходилось начинать, как

говорят, с "чистого листа" - использовать западный опыт было невозможно, публикации по этому вопросу в западной печати только появились.

За короткое время были смонтированы современные "чистые" комнаты со сложным технологическим и измерительно-сборочным оборудованием, разработана и внедрена технология изготовления дешевых пластмассовых корпусов БИС и др.

В 1974 г. на Заводе полупроводниковых приборов НПО "Кристалл" был полностью освоен технологический процесс изготовления БИС на МОП-приборах и начато впервые в Украине, СССР и Европе массовое производство БИС.

"Кристалл" справился с этой не простой задачей. Организация непрерывного цикла работ - от проектирования до производства БИС, осуществленная в объединении, позволила сократить сроки создания новых БИС и средств микропроцессорной техники, повысить их качество, снизить стоимость.

В 1974 г. было выпущено 200 тыс. БИС, 100 тыс. калькуляторов, 200 тыс. клавишных ЭВМ. Объединение посетил первый секретарь ЦК КП Украины В.В. Щербицкий вместе с членами Политбюро ЦК.

"Было это в субботу, - рассказывает Моралев, - но ряд цехов завода, выпускающих БИС работал. Решили показать, как изготавливаются БИС прямо на рабочих местах в гермозоне, а в кабинете директора завода организовали выставку всей продукции объединения.

Встретили гостей у входа на завод. После краткого доклада о состоянии работ предложили одеть спецхалаты и прошли в производственную гермозону. Щербицкий - высокий, красивый, обаятельный человек - сразу покорила нас своей открытостью и улыбкой. Подробно ознакомили гостей с процессом производства БИС. Дружелюбный разговор со специалистами и рабочими создал атмосферу доверительного общения. Говорили о том, как министерство обеспечивает работу коллектива оборудованием, материалами, какие возникают трудности по внедрению в производство новых изделий, о социальных вопросах развития коллектива.

После знакомства с цехами собрались в кабинете директора. Осмотрев выставку Щербицкий дал высокую оценку деятельности коллектива, говорил о важности дальнейшего развития микроэлектроники для Украины. Я был удивлен обширностью его знаний о том, что делается в области микроэлектроники в Советском Союзе, за рубежом и точности в оценках наших достижений, просчетов, рекомендаций по развитию работ.

Я попросил Щербицкого помочь решить вопрос о квартире для Белевского, семья которого жила в однокомнатной квартире, однако по нормам города не имела право на получение лучшей квартиры. Вопрос был решен оперативно, но я получил "втык" от работников обкома".

Ежегодные итоговые собрания руководителей отрасли с выставками технических достижений предприятий, проводимые в Москве (НИИ

"Электроника"), позволяли "Кристаллу" оценить уровень работ, перенимать положительный опыт и новые достижения в области технологии интегральных схем. Поездки на международные выставки для ознакомления с работами иностранных фирм в области микроэлектроники подтверждали, что объединение идет верным путем.

Моралев, Кролевец и многие другие, отвечавшие за весь комплекс работ, впервые за все годы могли вздохнуть спокойно...

В НПО успешно решались задачи увеличения объемов выпуска изделий, снижения себестоимости, освоения новых изделий и наращивание мощностей.

Однако становление НПО проходило не просто. Постоянно возникал вопрос - кто должен быть во главе объединения - Институт или завод. Заводчане не выдерживали заданного институтом темпа работы и обвиняли руководителя НПО в неправильной технической политике. Спорить и утверждать силой свою правоту было не в характере Моралева. В 1974 г. он оставил НПО и вернулся в "Квант".

### ***Ветераны "Микроприбора"***

Рассказать о всех ветеранах невозможно. Отметим лишь нескольких.

Двенадцать лет становления промышленной микроэлектроники в Украине (1962-1974) связаны, в первую очередь, с именем Станислава Алексеевича Моралева. Начав с должности директора скромного КБ-3, он через четыре года превратил его в мощный институт НИИ "Микроприбор". В 1970 г. появилось научно-промышленное объединение НПО "Кристалл". НИИ "Микроприбор" стал головной организацией объединения. На плечи С.А. Моралева, генерального директора НПО "Кристалл", легла огромная организаторская работа, связанная с выбором научного направления, подбором коллектива сотрудников, координацией научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с последующей передачей результатов в крупносерийное производство.

С.А. Моралев родился в 1929 г. в Молотовске Кировской области. В августе 1944 г. семья переезжает в г. Киев, по месту службы отца. Капитан-лейтенант Моралев Алексей Иванович в то время руководил работами по восстановлению разрушенных мостов на Днепре. После окончания школы в 1947 г. Станислав поступил на радиофакультет Киевского политехнического института. После окончания был направлен на работу в Москву в институт, где директором был сын Берии. Работал инженером по испытанию устройств телеметрии. В 1954 г. институт был расформирован, и Моралева перевели в киевский "Арсенал" на должность инженера-конструктора по разработке фотоэкспонометров. Здесь он познакомился с Лашкаревым, исследования которого оказались весьма полезными при разработке полупроводникового фотоэкспонометра. Так судьба свела его с человеком, воплощению главного научного результата которого в реальные средства микроэлектроники он отдал лучшие годы своей жизни.

С 1955 г. по 1962 г. Моралев работал в "Кванте". Именно тут он сумел получить те навыки и опыт, которые помогли ему впоследствии, когда по предложению И.В. Кудрявцева, его выдвинули руководителем КБ-3, положившего начало будущему "Микроприбору" и "Кристаллу".

Иван Васильевич не ошибся в своем выборе. Мягкий, полный высокого человеческого обаяния, тактичный в обращении с людьми и в то же время весьма организованный и целеустремленный Моралев справлялся с работой не хуже своего строгого учителя. Его высоко ценили в Министерстве электронной промышленности

СССР. Министр Шокин неоднократно приезжал в Киев и всегда откликнулся на просьбы Моралева. В КНИИМП отсутствовала очередь на квартиры, а зарплата у сотрудников была значительно выше, чем в остальных организациях.

В 1970 г. Станислав Алексеевич успешно защитил кандидатскую диссертацию "Моделирование и статистический анализ МОП-ИС с помощью ЭВМ" по специальности "микроэлектроника". О результатах его деятельности как руководителя НИИ "Микроприбор", а затем НПО "Кристалл", сказано выше.

Ближайшим помощником Моралева в те годы был Константин Михайлович Кролевец, заместитель директора, научный руководитель работ, выполняемых в "Микроприборе", а затем в "Кристалле". Он родился в 1932 г. Окончил Киевский политехнический институт, инженерно-физический факультет, по специальности техническая электроника. В КНИИ МП работал с 1966 по 1986 г. в должности вначале начальника отдела, затем, основное время - заместителя директора НИИ по научной работе. Под его руководством и при личном участии за двадцать лет были выполнены исследования, связанные с разработкой и производством БИС на МОП и биполярных структурах, разработаны принципы построения средств микроэлектроники, предложен и реализован технологический комплекс для выпуска микропроцессорных БИС для аппаратуры народнохозяйственного и специального назначения.

Оба руководителя КНИИ МП по чертам характера были весьма похожи друг на друга. Константин Михайлович долго работал в институте и после ухода Моралева. В последние годы своей деятельности он занимался разработкой так называемых комплиментарных БИС на МОП структурах - одним из самых перспективных направлений развития микроэлектронной техники. О первых многообещающих шагах в этой области я узнал от него самого. Он был воодушевлен полученными результатами и согласился передать нам опытную партию КМОП БИС. Однако вскоре я был поражен известием, что его не стало. Ему было всего 54 года. Двадцать лет самоотверженной и очень ответственной работы подорвали здоровье этого замечательного ученого.

И с Моралевым и Кролевцом я встречался, пытаюсь наладить сотрудничество между Институтом кибернетики НАН Украины и ведущей организацией по микроэлектронике. В 1978 г. это удалось сделать. НПО "Кристалл" МЭП, НПО им. С.П. Королева МПСС и Институт кибернетики НАН Украины договорились о совместной работе по созданию и выпуску на базе серии БИС К1810 микроЭВМ и средств отладки программ для нужд Министерства промышленности средств связи. Через два года они уже выпускались в НПО им. С.П. Королева (за эту работу сотрудники Института кибернетики и МПСС получили премию Совета министров СССР 1982 г.).

В связи с этим необходимо сказать добрые слова в адрес Альфреда Витольдовича Кобылинского - руководителя работ по созданию многих БИС, в том числе БИС К1810 - шестнадцатиразрядного микропроцессора, аналога американского Intel X86.

Фанатически преданный работе, он отдавал ей все свои силы, не считаясь с состоянием своего здоровья. А оно было серьезно подорвано во время службы в армии: ему выпала доля участвовать в испытаниях первой атомной бомбы, и это не осталось без последствий, он постоянно испытывал мучительнейшие боли в спине и суставах. Он был значительно моложе Моралева и Кролевца, но из-за скованности движений и полусогнутой спины казался старше своих руководителей.

В 1962 г. он окончил Киевский политехнический институт по специальности математические и счетно-решающие приборы и устройства и с 1969 г. начал работать в КНИИ МП в должности начальника отдела, сейчас он директор КНИИ МП.

В 70-х годах Кобылинского назначили главным конструктором по направлению МОП БИС в МЭП. Он внес большой вклад в разработку теоретических вопросов создания микропроцессорных СБИС и микропроцессорных средств вычислительной

техники на их основе, в организацию их разработки и серийного производства. Под его научным руководством и при непосредственном участии произошло становление и развитие важного направления научных исследований в отечественной микроэлектронике - разработка БИС микропроцессорных комплектов и микро ЭВМ на МОП-транзисторах. По этой тематике им получено 8 авторских свидетельств. За цикл работ "Разработка и применение микропроцессорной техники" Президиум АН УССР в 1983 году присудил Кобылинскому премию им. С.А. Лебедева.

Под руководством Кобылинского были разработаны и внедрены в серийное производство 30 типов БИС восьмиразрядного МПК серии К-580, высокопроизводительные 16 разрядные микропроцессорные комплекты серии К1810 и семейство однокристалльных ЭВМ серии К1810. Они стали первыми в отечественной микроэлектронике.

Более тридцати лет в "Кристалле" работает Владимир Павлович Сидоренко, известный ученый в области твердотельной электроники. Под его руководством и личном участии сформировалось научно-техническое направление энергонезависимых запоминающих устройств на основе МОП-структур.

Более 20 лет В.П. Сидоренко был главным конструктором направления полупроводниковых ЗУ Министерства электронной промышленности СССР. Под его руководством впервые в СССР были разработаны и внедрены в крупносерийное производство 90 типов БИС и СБИС, широко использовавшихся в вычислительной, в том числе специализированной, в средствах радиотехники и микроэлектроники. Им получено 74 авторских свидетельства на изобретения и 6 патентов иностранных государств (США, Германия, Англия и др.).

Значительный вклад в развитие КБ-3, "Микроприбора", а затем "Кристалла" сделал Владимир Петрович Белевский, доктор технических наук (1977 г.), профессор (1981 г.). При его активном участии создавалось вакуумное оборудование и тонкопленочная технология, цеха и целые предприятия по выпуску ИС в Киеве, Зеленограде, Ивано-Франковске, Виннице, Светловодске. Выполненные под его руководством конструкторско-технологические разработки внедрялись на предприятиях Украины, России, Беларуси, а также по лицензии в Венгрии. Результаты научно-производственной деятельности легли в основу диссертационных работ Белевского и его учеников из Украины и России. Некоторые из них проживают теперь в США, Канаде, Новой Зеландии. С 1978 года он преподаватель, профессор, заведующий филиалом базовой кафедры КПИ при Киевском НИИ "Микроприбор". Автор 273 научных трудов и изобретений, 1981-1988 гг. был главным технологом МЭП СССР.

После ухода С.А. Моралева "Кристалл" продолжал успешно развиваться, чему во многом способствовал К.М. Кролевец. Возникали и решались новые проблемы, связанные с созданием и выпуском более современных БИС. Но чем больше уменьшались размеры транзисторов, тем сложнее становились технологические процессы для их изготовления и все больше повышались требования к оборудованию для промышленного выпуска не только БИС, но и СБИС.

Для перехода на новые технологии и оборудование понадобились большие капиталовложения, которых у "Кристалла" не было. Это привело к тому, что в 90-х годах разработки и продукция объединения стали отставать от мирового уровня. С распадом СССР и из-за экономического кризиса в Украине "Кристалл" лишился рынков сбыта своей продукции и необходимой финансовой поддержки от государства.

Означает ли это, что отмеченная многими достижениями более чем тридцатилетняя история развития "Кристалла" закончится бесславным финишем? Время покажет...

### *Несостоявшееся партнерство*

Одним из важных факторов замедления научно-технического прогресса в ряде отраслей народного хозяйства бывшего СССР, в том числе в электронной промышленности, явилось отсутствие эффективного механизма взаимодействия между академической и отраслевой науками. Первая была впереди в области фундаментальных исследований, но не могла быстро превращать их в практические результаты, поскольку не имела достаточной технологической базы. Вторая, наоборот, была сориентирована на разработку и производство различных приборов, машин и других технических средств, но часто они создавались без должного учета достижений фундаментальной науки. Исключением были проекты в области атомной энергетики, космоса, ракетостроения, для выполнения которых постановлениями правительства привлекались как академические, так и отраслевые организации, что предопределяло успешное выполнение работ. Другая, наиболее распространенная форма сотрудничества заключалась в установлении неформальных связей между руководителями министерств и научными авторитетами. В этих случаях также удавалось решать качественно и быстро сложные проблемы, но поскольку сотрудничество базировалось на личных симпатиях и взаимном уважении руководителей, то в случае каких-либо разногласий оно могло прекратиться в любое время.

Достаточно распространенным был третий путь сотрудничества на основе хозяйственных договоров, однако, в большинстве случаев оно было односторонним: исполнителем договора являлась академическая организация, а отраслевая выступала в качестве заказчика, основной обязанностью которого было финансирование работ. Иногда в договоре оговаривалась помощь в виде предоставления новых материалов, приборов и др.

Особенности отношений МЭП с академической наукой можно показать на примере Института кибернетики НАН Украины. Высокий авторитет института и его руководителя В.М. Глушкова помогали успешно сотрудничать со многими министерствами, ведомствами и отдельными организациями всего Советского Союза. Финансирование многотысячного коллектива института на 50% обеспечивалось хоздоговорными работами. За счет ряда министерств были построены новые лабораторные корпуса, приобретены ЭВМ для институтского вычислительного центра и многое другое.

Однако с Министерством электронной промышленности полновесного сотрудничества не получилось. Академические учреждения, даже такие крупные, как Институт кибернетики, в глазах министерства -

этого гигантского электронного Гуливера, были, вероятно, лилипутами, не заслуживающими большого внимания.

С другой стороны, в Институте кибернетики в 60-е и 70-е гг. исследования в этой области проводились в разных отделах, не координировались между собой и, как правило, проводились по инициативе заведующих отделов, заинтересованных в финансовой поддержке со стороны МЭП. В числе таких были отделы: физико-технологических основ кибернетики (В.П. Деркач), арифметических и запоминающих устройств (Г.А. Михайлов), управляющих машин (Б.Н. Малиновский), цифровых автоматов (В.М. Глушков), цифровых вычислительных машин (З.Л. Рабинович). Ряд исследований выполнялись в СКБ института (А.А. Морозов и др.).

Весьма интересные и весомые результаты были получены в отделе физико-технологических основ кибернетики под руководством доктора технических наук Виталия Павловича Деркача. В результате изучения процессов взаимодействия электронного луча с однородными и многослойными мишенями в процессе производства интегральных схем в 1967 г. была создана и внедрена на ряде предприятий МЭП первая отечественная цифровая специализированная машина "Киев-67", использованная для производства полупроводниковых приборов с рекордными для того времени параметрами. В ней впервые были реализованы высокий уровень языка общения и звуковое сопровождение технологических процессов с целью их контроля.

Совместно с НИИ "Пульсар" - головным предприятием МЭП по электронной литографии, впервые в СССР были разработаны и осуществлены процессы электронной литографии. Для этого в отделе была создана машина "Киев-70", позволившая получать наиболее высокие на то время точности позиционирования луча. В НИИ "Пульсар" в 1972 г. с помощью этой машины были созданы полупроводниковые микроструктуры размером 0,5-0,7 мкм., что соответствовало лучшим мировым достижениям на то время. В Институте кибернетики с помощью "Киев-70" были записаны тексты с плотностью 110000 букв/мм кв. (при такой плотности 30 томов Большой советской энциклопедии разместились бы на площади циферблата ручных часов). Разработанные в институте методы автоматизации проектирования ЭВМ (тема "Проект") и процессы электронной литографии нашли широкое применение. В 1987 г. за эти работы В.М. Глушков, Ю.В. Капитонова и В.П. Деркач получили Государственную премию СССР.

Отдел Деркача выполнил комплекс исследований, направленных на повышение параметров СБИС. Была изучена возможность использования для этой цели силицидов тугоплавких металлов переходной группы, выявлены неизвестные ранее физические закономерности, найдены и переданы в промышленность оригинальные конструктивно-технологические решения. Например, исследована твердофазная реакция дисилицида кобальта для формирования скрытых высокопроводящих слоев БИС, построена и изучена математическая модель силицидообразования для случая

преимущественной диффузии кремния в металл, разработана технология самосовмещенных затворов КМОП-структур на основе силицида кобальта.

Разработанные отделом первые в стране интегральные диодные линейки и матрицы нашли применение в космической технике и выпускались промышленностью.

Руководитель отдела В.П. Деркач был первым аспирантом В.М. Глушкова, одним из наиболее любимых им учеников. Он прошел не простой жизненный путь, характерный для многих, родившихся в первые годы советской власти. В 1941 году его, восемнадцатилетнего, призвали в армию. Участвовал в боях под Сталинградом, затем на Западном и Первом белорусском фронтах. Был трижды ранен. Его отец, железнодорожный стрелочник, был арестован фашистскими оккупантами, и дальнейшая его судьба не известна. Мать погибла при бомбежке Запорожья. В годы войны не раз мог погибнуть и он. Под Сталинградом стрелковый батальон, где В.П. Деркач был помощником командира взвода, бросили в бой после трехдневного 200-километрового марша и без всякой артиллерийской подготовки. От батальона через несколько дней осталась пятая часть.

После войны учился сначала в Одесском электротехническом институте связи, а позднее заочно окончил Киевский политехнический институт. Проработав год в Киевском КБ п/я 24, поступил в аспирантуру Института кибернетики к В.М. Глушкову. Успешно защитил кандидатскую, а затем докторскую диссертации. Вырос до заведующего отделом, а затем заместителя директора по научной работе. Уйдя на пенсию, неожиданно для всех сочинил поэму "Звезды не гаснут" о своем жизненном и творческом пути, посвятив ее памяти рано ушедшего из жизни В.М. Глушкова.

Следует сказать, что В.М. Глушков прекрасно понимал, как важно при переходе к четвертому поколению ЭВМ на БИС и СБИС не потерять завоеванных позиций и овладеть технологией проектирования и изготовления БИС, что требовало огромных средств. В НАН Украины их не было. Министерство электронной промышленности не спешило помочь. Кое-что удалось создать собственными силами - инженерный центр микроэлектроники, ЭВМ "Киев-67" и "Киев-70". Были развернуты работы по теме "Проект", о чем упоминалось выше. Но полного комплекса программных и технических средств для перехода на новую элементную базу создать не удалось...

В отделе запоминающих устройств под руководством Геннадия Александровича Михайлова в 70-х гг. было разработано оперативное запоминающее устройство на тонких магнитных пленках, переданное для внедрения в одну из воронежских организаций МЭП. Велись исследования по использованию эффекта Джозефсона в вычислительной технике (И.Д. Войтович). В последних участвовал также Физико-технический институт низких температур НАН Украины (Харьков). Результаты были использованы при создании уникальных сверхчувствительных медицинских приборов (магнитокардиограф и др.).

В 1970 г. при Институте кибернетики по инициативе автора были созданы две лаборатории, финансируемые Вычислительным центром Зеленоградского научного центра микроэлектроники. Перед одной (руководитель З.Л. Рабинович) была поставлена задача разработать совместно с ВЦ проект специализированной супер ЭВМ, перед второй (руководитель Б.Н. Малиновский) - миниЭВМ.

Примерно за два года обе задачи были успешно выполнены. Более того, силами второй лаборатории была подготовлена концепция разработки нормального ряда БИС и микро ЭВМ на их основе (В.М. Глушков, Б.Н. Малиновский и др.). Она была передана в МЭП. В связи с этим ожидалось мое выступление на научно-техническом совете министерства. Однако вместо этого случилось неожиданное. Директор ВЦ Д.И. Юдицкий известил меня, что МЭП прекращает финансирование лабораторий ввиду нехватки средств. Возможно, что причиной послужило письмо Глушкова в ЦК КПСС, в котором он резко критиковал министерство за отставание в области микроэлектроники.

И все же сотрудничество с МЭП на этом не закончилось. Мне удалось связаться со Специальным конструкторским бюро (СКТБ) при Ленинградском производственном объединении "Светлана" и договориться о нашем участии в разработке первой в бывшем Советском Союзе микроЭВМ "Электроника С5". Работалось с ленинградцами легко и успешно. С 1974 г. микроЭВМ стала выпускаться серийно. Это была первая в Советском Союзе микроЭВМ широкого назначения. Совместно с ленинградцами были разработаны две следующие, более совершенные модификации микро ЭВМ - "Электроника С5-11" и "Электроника С5-21" (А.В. Палагин, В.А. Иванов, А.Ф. Кургаев). Обе пошли в серийное производство. Мы надеялись на дальнейшее сотрудничество, однако приказом министра КБ репрофилировалось на разработку аналого-цифровых преобразователей. Отечественное направление развития микроЭВМ, предложенное Институтом кибернетики, прекратило свое существование.

В последующие годы жизни В.М. Глушков выдвинул идею макроконвейерной супер ЭВМ, ему даже удалось договориться с министром МЭП о поставке элементной базы для опытного образца машины. Это был последний наиболее щедрый "подарок" МЭП Институту кибернетики.

В 1987 г. в Институте кибернетики (В.С. Михалевич, А.В. Палагин) и Киевском НПО "Сатурн" (Л.Г. Гассанов, В.Г. Шермаревич) родилась оригинальная идея создания многопроцессорной вычислительной системы с беспроводной радиосвязью между процессорами на основе СВЧ радиоканала со сверхширокой полосой (свыше 5000 мгц).

Киевское научно-производственное объединение "Сатурн" Министерства электронной промышленности было создано в 1969 г. для разработки приборов и устройств, необходимых для космической связи, радиоастрономии, навигации. В начале они разрабатывались на основе использования глубокого холода (до 0,2°К) и весили многие тонны. В 1974 г. директором "Сатурна" становится Лев Гассанович Гассанов, ранее работавший заместителем директора в НИИ "Орион" МЭП, где его внимание привлекла технология производства транзисторов на арсениде галлия. Придя в "Сатурн", он поставил задачу перевести разрабатываемое в объединении оборудование на новую элементную базу. В 1974 г. "Сатурн" становится лидером в области высокочастотных транзисторов на арсениде галлия.

Технологией их получения в это время владели лишь несколько стран. Электронно-лучевой комплекс литографии, установленный в "Сатурне", позволял создавать электронные схемы с элементами субмикронных размеров - до 0,15 микрона (лучшие технологии для схем на кремнии обеспечивают размеры элементов до 0,25 микрона). Предельная частота работы таких приборов составляла 30-60 гигагерц. Их использование уменьшило вес разрабатываемых в "Сатурне" устройств до 0,5 кг - в 10 тысяч раз!

Когда возникла идея создания суперкомпьютера на основе разработок "Сатурна", директор Института кибернетики В.С. Михалевич, сменивший В.М. Глушкова, написал о такой возможности М.С. Горбачеву. Письмо попало министру электронной промышленности. Он вызвал изобретателей и предложил рассказать идею в присутствии ведущих ученых:

- Если вас не растерзают, - сказал он, - я помогу! Идея была одобрена, но на этом все кончилось, - произошел развал СССР.

Когда создавалось Министерство электронной промышленности, то одной из главных задач для него были разработка и производство элементной базы для обеспечения министерств, выпускающих средства вычислительной техники. Однако, став монополистом в этой области, министерство пошло дальше - оно взяло на себя функции разработчика универсальных ЭВМ, не имея на то ни заданий от правительства, ни должного опыта. В результате оно пошло на повторение американских мини, микро и даже супер ЭВМ, заранее обрекая себя на отставание. Исключением были разработанные и выпущенные в МЭП бортовые специализированные ЭВМ для ракет, космических объектов, средств военной техники, которые имели оригинальную структуру и архитектуру, отличались высокой надежностью и производительностью, небольшими габаритами и весом, не уступали лучшим западным образцам такого класса.

Институт кибернетики и ряд других организаций в Академии Наук СССР, в МИНРАДИОПРОМе и МИНПРИБОРПРОМе (последним вменялся в обязанность промышленный выпуск универсальных ЭВМ) не сумели, оставшись без помощи МЭП, своевременно перейти к разработке и выпуску средств вычислительной техники новых поколений.

### ***Быть или не быть отечественной микроэлектронике?***

По данным журнала "Future Horizons", выпускаемые в 1989 г. промышленностью СССР, в том числе Украины средства микроэлектроники по своим качественным показателям приближались к аналогичным изделиям на Западе: класс чистоты помещений 100-10, размер пластин кремния дм 3-6 и 4-6; топологические нормы мкм 3-1,2 и 1,2-0,8; серийный выпуск БИС памяти 64кбит и 1Мбит; серийный выпуск БИС процессоров 8086 и 80286 соответственно.

Предприятия Украины обеспечивали значительную часть потребностей отечественной приборостроительной и других отраслей

промышленности в микроэлектронике. В этой сфере работала значительная часть городского населения Украины.

Микроэлектроника сегодня, как уже отмечалось, определяет уровень развития приборостроения, машиностроения, систем и средств военного назначения и большинства других направлений техники. Например, информационные технологии, без развития которых Украина не сможет стать адекватным партнером стран Европы, на 90% зависят от состояния микроэлектроники, средства связи - на 80%. Электронное оборудование современного самолета составляет от 50 до 80% его стоимости. Примерно те же цифры характерны для судостроения, ракетостроения и др.

В 1986 г. было принято постановление правительства СССР об ускоренном развитии электронной промышленности в 1988-2000 гг. с целью уменьшения наметившегося отставания от США и Японии. Оно предусматривало строительство 80 объектов по разработке и выпуску средств микроэлектроники на уровне лучших мировых достижений. Четырнадцать из них - в Украине (Киев, Борисполь, Ивано-Франковск, Запорожье, Черновцы, Херсон). В Борисполе и Ивано-Франковске уже к 1991 г. был выполнен значительный объем работ.

Начавшаяся перестройка и распад Советского Союза привели почти к полной остановке микроэлектронной промышленности Украины. Спад производства средств микроэлектроники за период с 1992 по 1997 г. составил 90% по сравнению с уровнем 1991 г., если в 1991 г. было выпущено 316,4 млн. штук ИС на сумму 500 млн. долл., то в 1996 г. - 8,1 млн. штук на сумму 8,7 млн. долл. (по материалам министерства промышленной политики Украины).

Значительно лучше состояние микроэлектроники в России, а в Белоруссии объем выпуска микроэлектронной промышленности даже увеличился, поскольку она получила доступ на российский рынок и постепенно заменяет Украину, быстро свернувшую когда-то тесное сотрудничество с Россией.

Перед Украиной во весь рост встает вопрос: быть или не быть отечественной микроэлектронике?

Западные страны охотно возьмутся снабжать (и уже снабжают!) Украину электронным оборудованием, поскольку сами делают основную ставку именно на это направление науки и техники, обещающее быстрый рост экономики, военной мощи и огромные прибыли.

Учитывая состояние, в котором находится Украина, можно временно, пока не восстановится экономика, пойти на международную кооперацию в области элементной базы, чтобы сохранить приборостроение и другие отрасли промышленности, использующие микроэлектронику. Если же пойти дальше и рассчитывать на постоянную закупку не только элементов, но и широкого спектра готовых изделий, то в итоге это будет иметь тяжелые последствия.

Во-первых, будет окончательно утрачен научный и промышленный потенциал, поднявший Украину до уровня развитых стран. Во-вторых,

придется резко ограничить развитие процесса информатизации в науке, образовании, промышленности, военном деле и других направлениях из-за явной нехватки средств на закупку дорогостоящего оборудования. В-третьих, произойдет (уже происходит) значительное сокращение рабочих мест. Можно было бы указать еще целый ряд серьезнейших последствий наступающего коллапса украинской микроэлектроники.

Неужели получившая, наконец, самостоятельность Украина придет к такому финишу?

Приведу такой факт. 40 лет назад, когда еще не было микроэлектроники, но уже появились первые ЭВМ, группа молодых ученых бывшей лаборатории Лебедева, которую только что возглавил тридцатичетырехлетний В.М. Глушков, обеспокоенная невниманием украинского правительства к развитию вычислительной техники, написала письмо в самую высокую тогда инстанцию - ЦК Компартии Украины, в котором была запомнившаяся автору фраза: "Состояние вычислительной техники в Украине граничит с преступлением перед государством".

Меры были приняты: за два-три года на базе лаборатории Лебедева был создан ВЦ, выросший затем в Институт кибернетики, построен Киевский завод управляющих вычислительных машин, развернута подготовка кадров в высших и средних учебных заведениях, созданы условия для дальнейшего развития работ, в том числе по микроэлектронике.

Перефразируя приведенные выше слова письма применительно к современной ситуации, можно сказать: "Состояние, в которое пришла микроэлектроника в Украине, граничит с преступлением перед будущими поколениями".

Никаких писем об этом сейчас писать не надо - всем все ясно и известно. Ситуацию можно изменить только общими усилиями инженерной общественности, ученых, отдельных хозяйственных и политических лидеров и, конечно, правительства. Именно оно должно принять судьбоносное для Украины решение: отечественной микроэлектронике - быть!

Используя прошлый опыт и еще сохранившиеся кадры специалистов в научных и промышленных организациях еще можно повернуть вспять набирающий скорость процесс умирания микроэлектроники, поддержать и развить самое ценное из того, что было в Украине, что отвечает ее потребностям, ее престижу, новому положению в мире.