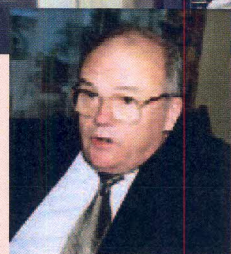


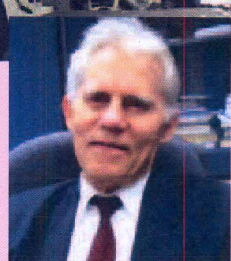
# 0,35-МКМ КМОП-ПРОЦЕСС В РОССИИ – В 2004 ГОДУ

РАССКАЗЫВАЮТ АКАДЕМИКИ РАН **Е.П. ВЕЛИХОВ**, **К.А. ВАЛИЕВ** И **В.Б. БЕТЕЛИН**



## **Евгений Павлович Велихов.**

Президент Российского научного центра "Курчатовский институт", академик-секретарь Отделения информационных технологий и вычислительных систем РАН, академик РАН, профессор, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий.



## **Камиль Ахметович Валиев.**

Директор физико-технологического института РАН, заместитель академика-секретаря Отделения информационных технологий и вычислительных систем РАН, академик РАН, профессор. Первый директор НИИ молекулярной электроники (Зеленоград).



## **Владимир Борисович Бетелин.**

Директор Научно-исследовательского института системных исследований (НИИСИ) РАН и Института микротехнологий РНЦ "Курчатовский институт", академик РАН, профессор.

### **Какова предыстория проекта, почему он возник?**

**К.А.Валиев.** В конце 80-х годов был ряд попыток организовать производство персональных ЭВМ. Этой идеей увлекался, много работал над ней академик Е.П.Велихов. Под его руководством и при его прямом участии в 1985–1990 годах совместными усилиями Академии наук и ПО ЗИЛ была решена комплексная задача проектирования и производства магистрально-модульных ЭВМ в стандарте VME на импортной элементной базе, в том числе рабочих станций для решения задач автоматизации проектирования и управления производством в автомобильной отрасли. НИИСИ РАН выступал главным исполнителем этого проекта со стороны Академии наук.

Следующим шагом стала собственная разработка основных комплектующих ЭВМ – процессоров, контроллеров и т.п. – и их производство на зарубежных кремниевых фабриках. Логическим продолжением этой работы явилось создание собственного микроэлектронного производства. Ключевые идеи реализации проекта выработал Евгений Павлович Велихов – он его инициатор. Основным исполнителем был НИИСИ РАН.

**Е.П.Велихов.** Надо понимать, что, исходя из экономической ситуации в России в начале 90-х, завод для массового производства мы построить не могли. Однако и малосерийное, прототипное производство, на котором производственный цикл, включая подготовительные

Пожалуй, ни одна производственная площадка в последние годы не была окружена таким ореолом слухов и домыслов, такой завесой молчания, как микроэлектронный производственный участок, создаваемый совместно Российским научным центром "Курчатовский институт" (НЦ КИ) и Научно-исследовательским институтом системных исследований Российской академии наук (НИИСИ РАН). Нет, говорили о ней многие, но о реальном положении дел никто конкретно рассказать не мог. Отдельные фрагментарные сведения – не в счет.

Чтобы выяснить истину, мы встретились с непосредственными идеологами и исполнителями этого проекта – академиками РАН Евгением Павловичем Велиховым, Камилем Ахметовичем Валиевым и Владимиром Борисовичем Бетелиным.

операции, занимает несколько дней, крайне необходимо России, прежде всего для обеспечения перспективных исследований в области современных информационных технологий. Интерес к подобным производственным линейкам сегодня во всем мире очень велик – массовое производство их не заменяет.

Кроме того, появление подобной линейки означает, что теперь наши специалисты могут учиться, осваивать современную полупроводниковую технологию непосредственно в России. Очень важно, чтобы у нас в стране были люди, которые своими руками ощутили бы, что значит 0,5-; 0,35-мкм процесс. Не теоретически, а на практике.

### Почему Курчатовский институт вдруг взялся за создание микрoeлектронного производства?

**Е.П.Велихов.** Говорить "вдруг" – неправильно. Во-первых, подчеркну, это – совместный проект Российской академии наук и Российского научного центра "Курчатовский институт", который на всех этапах активно поддерживали Президент РАН академик Ю.С.Осипов и вице-президент РАН, лауреат Нобелевской премии академик Ж.И.Алферов. Кроме того, в свое время еще И.В.Курчатов способствовал разработке установок ионной имплантации для электронной промышленности. В Курчатовском институте проводились разработки оборудования для ионной литографии. То, что они впоследствии не были востребованы электронной промышленностью, – другой вопрос. Был и ряд других работ в области электронных технологий. Немаловажно, что одно из направлений деятельности института – создание сверхчистых материалов – имеет непосредственное отношение к микрoeлектронике. Ведь освоенное нами получение сверхчистых изотопов сопоставимо по сложности с получением химических веществ, необходимых для полупроводниковой технологии. Работы в этом направлении ведутся. Так что электроника для Курчатовского института – не чуждая область, она органически сочетается с его тематикой.

### На каких принципах и для каких задач разрабатывался проект?

**В.Б.Бетелин.** Прежде всего, мы были ограничены финансово. Необходимо было уложиться в сумму, в 15–20 раз меньшую стоимо-



**Микроклиматические кабины**

сти аналогичного серийного завода. Производство должно было обеспечить выпуск малых серий СБИС (десятки тысяч штук в год) с очень широкой номенклатурой. Причем речь шла о достаточно сложных СБИС – микропроцессорах, контроллерах и т.д.

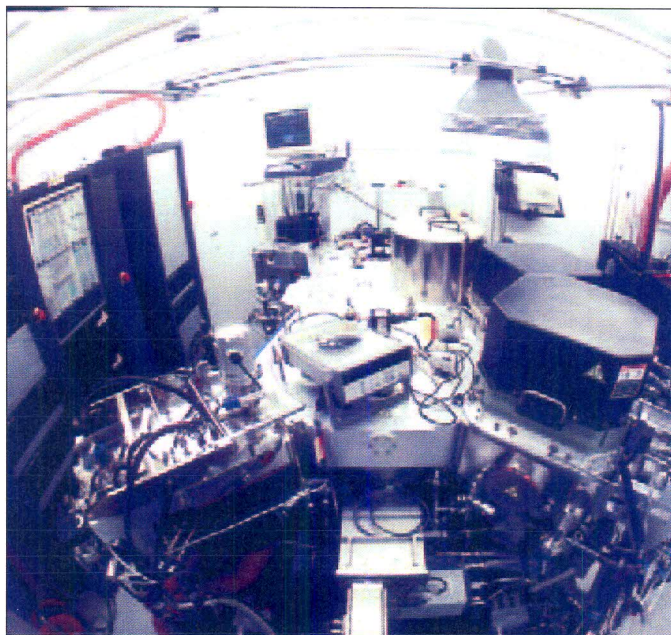
Мы сформулировали несколько основополагающих принципов. Во-первых, каждая пластина обрабатывается индивидуально. В результате операционная зона ограничивается размерами одной пластины, что упрощает стабилизацию параметров технологического процесса и гарантирует высокое качество. Второй принцип – минимальный объем сверхчистой зоны. Это также повышает стабильность, упрощает оборудование. Наконец, для нас было важно, чтобы вся работа по интеграции технологического оборудования была выполнена за границей. В 1996 году, когда начинался проект, сделать что-то подобное в России, даже из готовых установок, было невозможно. Камилль Ахметович Валиев, один из крупнейших российских специалистов в области полупроводникового производства, осуществлял научное руководство проектом в части разработки и реализации технологического процесса, а также методологии аттестации как собственно процесса, так и технологического оборудования.

**Е.П.Велихов.** Особенность реализации технологической линии в том, что все работы по интеграции основного технологического оборудования проводились за рубежом, в Швейцарии. Это был единственный вариант создания подобного производства. В России собрать из отдельных установок подобную линейку было бы совершенно невозможно в силу таможенных, транспортных и прочих проблем. Одну установку нам пришлось собирать самим – на это ушел год: поставлялась она по частям, процесс прохождения границ был крайне сложным и длительным. В то же время в Швейцарии полная интеграция всего комплекса оборудования в одну кабину требовала в среднем около трех месяцев.

**К.А.Валиев.** Идея проекта – реализация технологической линии в мобильных контейнерах – не нова. Еще в начале 90-х годов фирма Laser Ray поставила небольшой полупроводниковый завод в контейнерах для НИИ научного приборостроения в Санкт-Петербурге. Оборудование позволяло лазерным пучком формировать рисунок непосредственно по слою фоторезиста. Пластины покупались с готовыми транзисторными структурами, формировались только межсоединения в слоях металлизации.

**В.Б.Бетелин.** Действительно, сам подход был апробирован еще тогда. Собственно, во всех наших решениях технической новизны как таковой нет. Напротив, мы стремились использовать испытанные подходы, поскольку у нас не было права на ошибку. Остановились же в конечном счете на кластерном производстве, позволяющем за относительно небольшие деньги создать заверченный современный завод. Огромный вклад в реализацию проекта на всех его этапах внес К.А.Валиев: концепция технологического маршрута, рекомендации по выбору технологического оборудования, экспертиза проекта, возникавшие по ходу реализации непростые технические проблемы – далеко не полный перечень вопросов, при решении которых высокий профессионализм и опыт Камилля Ахметовича были незаменимы. Один из основных соисполнителей проекта – Физико-технологический институт РАН.

Сам наш завод – это 10 микроклиматических кабин, размещенных в производственной зоне, чистота атмосферы в которой не влияет на технологический процесс. Все технологическое оборудование находится только в кабинах. Объем арматуры при этом минимизируется, газовые магистрали не превышают 1,5–2 метров, что способствует чистоте и стабильности параметров реагентов. Извне подается только воздух, азот, электроэнергия, деионизованная вода и тех-



**Технологический кластер в микроклиматической кабине**

нологические газы. В каждой кабине установлен свой кондиционер, который доводит параметры атмосферы – влажность, температуру. Специальные фильтры обеспечивают необходимую чистоту.

В каждой микроклиматической кабине несколько процессных камер объединены роботом в кластер. За счет этого пластина в вакууме, без извлечения, проходит многократную обработку. Оборудование кабин изготовлено из стандартных узлов компаний Applied Materials и Semitool (отмывка), но специально для нас. Между кластерами пластины переносятся оператором в специальном контейнере, способном в течение 2–2,5 часов поддерживать внутри атмосферу с классом чистоты 1. Каждая кабина оснащена загрузчиком, с помощью которого робот помещает пластины в контейнер. В целом производство реализует КМОП-процесс, включающий около 300 операций. Кремниевые пластины с уже сформированным эпитаксиальным слоем – импортные, но в России, на "Маяке", начинают делать 200-мм пластины, в принципе можем работать и с ними.

Общая площадь производственной зоны – 750 м<sup>2</sup>, все разместили очень компактно. Важно отметить, что производство оборудовано специальными химическими поглотителями, по выбросам мы удовлетворяем самым жестким европейским требованиям, что подтверждает соответствующий сертификат. То, что остается после поглотителей, сгорает в специальном кислородно-водородном дожигателе. Кислород и водород мы не храним, а по мере потребности производим из деионизированной воды. Все технологические газы с чистотой 5–6 девяток мы покупаем за рубежом, за исключением азота.

Очень важно, что организован полный мониторинг работы системы. В каждой установке от 5 до 10 тыс. датчиков. Из них в системе мониторинга реально задействовано порядка 1000 в технологическом оборудовании и около 600 – в инженерных установках. Все это сведено на единый компьютер. Я у себя в кабинете могу видеть, что происходит с инженерным оборудованием (вода, электричество и т.д.) и с технологическим процессом на каждой машине. Вся информация записывается в базу данных. Она чрезвычайно важна, прежде всего – для обеспечения должного выхода годных. Для любой пластины мы можем посмотреть, как проходил техпроцесс, каковы были параметры деионизированной воды и т.п. Примечательно, что даже за рубежом подобные системы мониторинга есть далеко не везде.

### **Как вы решали вопросы контроля за изготовлением кабин и проводили приемо-сдаточные работы?**

**В.Б.Бетелин.** Интеграция технологического оборудования осуществлялась при непосредственном участии наших специалистов, которые в дальнейшем проводили и приемку микроклиматических кабин. Кроме того, основные этапы процесса интеграции фиксировались на цифровых фотографиях, которые мы получали по электронной почте. При проектировании кабин особое внимание наши специалисты уделяли проблеме прочности, поскольку кабины предстояло перевозить из Швейцарии в Россию на автотрейлере. Отмечу, что самая тяжелая из них весила 14 тонн.

Как я уже говорил, микроклиматическая кабина – вещь самодостаточная. После монтажа каждую кабину испытывали посредством так называемого электромеханического пуска, т.е. без технологических газов. По результатам этих испытаний и проводилась приемка. Самая большая сложность заключалась в том, что после приемки фирма снимала с себя гарантии на работоспособность оборудования. Мы застраховали его на то, что после транспортировки электромеханический пуск воспроизведется. К счастью, все прошло удачно, выплачивать страховку не потребовалось.

Драматический момент наступил, когда отправились первые машины с нашими кабинами. Выехали они в начале августа 1998 года, а приехали уже после 17 августа. В стране – дефолт. Это был чрезвычайно сложный момент, фактически он задержал нас на два года. Но пережили.

### **Наверное, произвести отдельные кластеры и доставить их в Россию – это еще не все?**

Действительно, проект предусматривал несколько этапов. Начальный этап – разработка проекта, выбор соответствующего оборудования – это 1995–1997 годы. Первый контракт с компанией Applied Materials мы заключили в октябре 1996 года, монтаж и пусконаладочные работы за рубежом проводились в 1997–1999 годы. Столь растянутый срок был вызван проблемами с финансированием. Демонтаж и транспортировка в Россию – 1998–1999 годы, параллельно с работами за рубежом.

Существенный объем работ потребовался в отведенном для производства здании РНЦ КИ – подготовка и переоборудование помещения, организация электро-, водо- и газоснабжения. С качеством воды и электричества были проблемы, пришлось ставить специальные источники бесперебойного электропитания (ИБП). Общая мощность потребления производства: пиковая – 1,6 МВт, средняя – 800 кВт. ИБП поддерживает потребление 800 кВт в течение 15 минут до штатного отключения. Один раз на два часа электропитание уже пропадало. С чистой водой тоже пришлось помучиться.

В 2003 году мы произвели опытную партию 32-разрядных RISC-микроспроцессоров 1890BM1T по 0,5-мкм процессу с тремя слоями металлизации.

### **Какова производительность вашей технологической линии?**

Проектная мощность линии – до 100 тыс. СБИС в год.

### **Но при такой производительности себестоимость кристаллов оказывается весьма высокой? Не окажется ли ваше производство убыточным?**

**В.Б.Бетелин.** В этом вопросе все зависит от того, к чему отнести себестоимость. Если к цене ПК – да, это дорого. А если к стоимости разработки современной СБИС, которая составляет несколько миллионов долларов, то она вполне приемлема и сопоста-

