

СТАНОВЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В НОВОСИБИРСКЕ

Очерк

Э. Г. Косцов

Институт автоматизации и электротехники СО РАН, 630090, Новосибирск, Россия

УДК 621.383.51, 621–382

Представлены документальные материалы и воспоминания автора об истории возникновения и развития исследований в области микроэлектроники в Институте математики им. С. Л. Соболева и на электронных промышленных предприятиях Новосибирска.

Ключевые слова: микроэлектроника, физика, технология, тонкие пленки, полевой транзистор, диоды.

Memoirs on history of occurrence and development of researches in the field of microelectronics, technology of microelectronics in S. L. Sobolev Institute of Mathematics and in Novosibirsk and electronic industrial plants of Novosibirsk are presented.

Keywords: microelectronics, thin film, physics, technology, field-effect transistor, diode.

Институт математики в составе Сибирского отделения АН СССР был создан постановлением Президиума Академии наук СССР № 448 от 7 июня 1957 г. в соответствии с постановлением Совета Министров СССР № 564 от 18 мая 1957 г. Создание ИМ СО АН составило часть широко задуманного плана развертывания научной работы на территории Сибири. Инициаторами этого плана были академики М. А. Лаврентьев, С. Л. Соболев и С. А. Христианович.

Институту математики были определены три главных научных направления:

- разработка фундаментальных проблем математики;
- разработка высокопроизводительных электронных вычислительных машин на основе современных достижений математики, кибернетики и физики;
- разработка математических методов, кибернетических методов и кибернетических моделей оптимального планирования и управления.

Первым директором Института математики был избран академик С. Л. Соболев. Согласно указанному постановлению, одной из важнейших задач СО АН СССР в 1960–1965 гг. было развитие физико-технологических исследований, направленных на создание высокопроизводительной вычислительной техники. Еще в 1949 г. академик М. А. Лаврентьев первым поставил вопрос о разработке отечественных компьютеров, направив письмо И. В. Сталину. Результатом этого было постановление правительства о разработке двух ЭВМ — БЭСМ и “Стрела”. Эти разработки были завершены в 1953 г.

Можно отметить, что уже в те годы шла острая дискуссия о путях дальнейшего развития вычислительной техники. Академики С. А. Лебедев — основоположник вычислительной техники в СССР, директор ИТМиВТ и руководитель создания БЭСМ-1; А. А. Дородницын — основатель и директор Вычислительного центра АН СССР, председатель комиссии по вычислительной технике АН СССР; В. М. Глушков предлагали развивать свою отечественную

оригинальную вычислительную технику, другие же, преимущественно руководители министерств, в частности министр МРП СССР В. Д. Калмыков, предлагали взять за основу американскую IBM/360, повторить ее и, усовершенствовав, организовать производство новой вычислительной техники.

По инициативе академика С. Л. Соболева, поддержанной академиком М. А. Лаврентьевым, а также президентом АН СССР М. В. Келдышем, в Институте математики СО АН в эти годы на базе Отделения вычислительной техники (ОВТ) была создана мощная современная технологическая база, организован большой коллектив физиков, технологов, специалистов в области вычислительной техники (в конце 60-х годов на профсоюзном учете в ОВТ состояло 420 человек), преимущественно из молодых ученых. Впоследствии более 20 из них стали известными учеными, докторами наук, руководителями научных подразделений и т. п. ОВТ с 1962 г. имело и свой журнал — сборник научных трудов Института математики “Вычислительные системы” — он пользовался в стране большим авторитетом, широко цитировался (по крайней мере, по микроэлектронной тематике) в центральных физических журналах. За время существования этого журнала вышло в печать более 170 выпусков тиражом до 700–800 экземпляров.

К физико-технологическим работам, проводимым в ИМ СО АН, проявляли постоянный интерес академики В. М. Глушков, С. А. Лебедев, Л. В. Киренский, ряд руководителей космической программы СССР, которые неоднократно наблюдали за их ходом на месте. За короткий срок, в 1961–1965 гг. в ИМ СО АН были созданы первые отечественные элементы микроэлектроники (тонкопленочные полевые транзисторы, семейство различных диодов, конденсаторов, резисторов), получена первая действующая тонкопленочная микросхема, синтезируемая на одной подложке, радиоприемник. Одним из крупных заказчиков этих работ был п/я 651 (в последние годы выяснилось, что это было ОКБ-1 Сергея Павловича Королева) — организация, связанная с космическими исследованиями, ее интерес состоял в построении миниатюрной, микроэлектронной БЦВМ. В тот период не стояла задача повторять результаты аналогичных исследований, проводимых на Западе — в лучшем случае, параметры разрабатываемых элементов микроэлектроники были близкими.

Эти успехи послужили основанием для решения Совета Министров СССР, подписанного А. Н. Косыгиным, о преимущественной ориентации СО АН на развитие вычислительной техники, об организации в СО АН под задачи микроэлектроники и вычислительной техники нового Института физики полупроводников, о подключении к этим работам ИНХ СО АН, в котором был организован отдел, возглавляемый Ф. А. Кузнецовым, основной задачей которого был синтез материалов (первоначально CdS) для задач микроэлектроники. Можно отметить, что мы впервые обратились в ИНХ СО АН в 1961 г. с просьбой синтезировать порошок CdS для создания транзистора, описав его необходимые свойства и понятие “микроэлектроника”, в этом вопросе нам оказал содействие Ф. А. Кузнецов. В русле указанных решений был организован и ВЦ СО АН, первоначально во главе с Ю. Г. Косаревым, а затем с Г. И. Марчуком. К решению вопросов миниатюризации электронных приборов позже подключился также и ИАиЭ СО АН, директор которого К. Б. Карандеев уделял особое внимание проблеме миниатюризации приборов измерительной техники (в частности, один из первых выпусков журнала “Автоматрия” в 1965 г. был посвящен этому вопросу), и ряд других институтов, а также Опытный завод СО АН. Предполагались дальнейшее увеличение числа институтов в СО АН СССР и организация технологического Центра наподобие Зеленограда, задачей которых было бы участие в разработке и создании суперЭВМ. Результаты указанных работ, проводимые в СО АН СССР, послужили основой создания и

развития промышленности микроэлектроники в г. Новосибирске, они начинались при поддержке институтов СО АН на таких крупных промышленных предприятиях как НЭВИ (ныне ФГУП “Восток”), п/я 27 и ряде других, которые перенимали опыт институтов СО АН в новой области техники и технологии.

Далее представлены образцы первых в СССР тонкопленочных полевых транзисторов, созданных в конце 1962 — начале 1963 гг., на изолирующей подложке (руководитель работ — Э. Г. Косцов, ныне зав. лабораторией ИАиЭ СО РАН, д-р физ.-мат. наук). В этом транзисторе расстояние исток — сток, равное 50 мкм, — лучшее, что можно было в те годы сделать с помощью масочной технологии (фотолитографии тогда еще не было).

Отметим, что в те же годы аналогичные работы по разработке тонкопленочных полевых транзисторов на основе полупроводника CdS проводились в МЭИ под руководством К. В. Шалимовой и в Ленинграде (КБ-2) под руководством Ф. Г. Староса. Эти работы носили закрытый характер. Однако, как выяснилось на закрытой конференции по электронике, проведенной в 1964 году в г. Таганроге (ее председателем был В. И. Стафеев), сибирский транзистор обладал значительно более высокими параметрами. Когда я рассказывал о деталях изготовления транзистора и о его параметрах, другие секции конференции практически не работали, все пришли послушать наш доклад. Выступление в Таганроге было первым публичным отражением нашей деятельности в области микроэлектроники. Мы начали заниматься этой тематикой практически сразу после студенческой скамьи, опыта написания научных текстов не было, как не было и опытных руководителей, которые могли бы нас ориентировать на эту деятельность, но мы регулярно писали научно-технические отчеты. Поэтому первые публикации по тонкопленочной тематике у нас появились только в 1965 г.

Отметим также, что работы по созданию тонкопленочных, полностью напыляемых на поверхность изолирующей подложки, транзисторов проводились на Западе фирмами RCA, Hughes, Melpar, университетом в Калифорнии. Сравнение этих транзисторов с транзисторами, полученными в ИМ СО АН, показывает близость их нормированных параметров, а по основному параметру — произведению полосы пропускания на коэффициент усиления, по малому значению нулевого тока — транзисторы ИМ СО АН были несколько лучше.

Исследования в области физики тонких полупроводниковых пленок и развитие микроэлектроники в СО РАН начались после приезда в Академгородок в августе 1960 г. группы молодых физиков, выпускников Саратовского университета (СГУ), получивших распределение в Институт математики и прошедших процесс конкурсного отбора.

Еще в 1958–1959 гг. широкую известность среди студентов всей страны получил строящийся под Новосибирском новый крупный научный центр с широким спектром предстоящих исследований и большим вниманием государства к его становлению.

Поэтому не удивительно, что в СГУ число выпускников, мечтающих работать в этом Центре, значительно превышало число заявок, поступивших из Академгородка. В начале 1960 г. в университет приехал представитель Института математики Л. Я. Савельев, ныне продолжающий успешно работать в ИМ, с целью отбора подходящих молодых сотрудников с помощью личных собеседований и информации от деканата. Я оказался среди этих счастливых. Кроме меня, были отобраны Э. М. Скок, Э. И. Дагман, М. Зизин, А. А. Селезнев, В. Д. Урбанович. Нашему отъезду в Новосибирск в мае предшествовал визит в Саратов В. Л. Дятлова, только что назначенного зав. лабораторией новых физических разработок, входившей в состав ОВТ, руководителем которого был Э. В. Евреинов.

К моменту нашего приезда в Академгородок здесь уже были построены Институты гидродинамики и геологии. Другие институты только закладывались, но бетонные дороги уже

были проложены, и они были практически такими, какими мы видим их и в настоящее время.

Первым нашим рабочим местом были квартиры в доме 32 на Морском проспекте, а жили мы в общежитии на Морском проспекте, д. 2, где ныне находится административное здание.

С первых дней пребывания в Новосибирске перед нами была поставлена задача — развитие новых физических принципов построения высокопроизводительных вычислительных машин (позднее было уточнение — однородных вычислительных сред).

С учетом нашей будущей специализации мы были направлены на “практику” — работу в сменах по эксплуатации суперЭВМ тех времен — машины М-20. Машина была ламповая, 38-разрядная, с быстродействием в 20 000 операций в секунду и оперативной памятью на ферритовых кольцах, ее объем составлял 4096 чисел. ЭВМ занимала все правое крыло Института геологии и подвал под ним, где размещалась холодильная установка. Машина работала круглосуточно, обслуживалась сменами инженеров и операторов, которые поддерживали ее постоянную работоспособность. В каждой смене было 5 человек — “инженер-электронщик”, два оператора, “холодильщик” и механик. Такая мощная и многоэлементная машина достаточно часто выходила из строя. Дефект определялся с пульта управления (это могли делать только опытные инженеры, одним из них был начальник машины Г. П. Макаров). После этого быстро происходила замена крупного блока-ячейки размером $28 \times 100 \times 250$ мм на новый, а дефектный блок подлежал ремонту в специальной группе — группе ячеек.

И вот в таких сменах нам довелось проходить “стажировку” для конкретного ознакомления с основами работы вычислительной техники.

После этого перед нами была поставлена задача — спрогнозировать с точки зрения физики дальнейшее развитие вычислительной техники, использование в этой области техники новых физических эффектов, создание миниатюрных ЭВМ. Была сформулирована конечная цель — построение ЭВМ размером с почтовую марку. Такую задачу мы встретили с энтузиазмом — это было первое для нас научное исследование. Каждый из нас выбрал те физические эффекты как основы построения новой элементной базы ЭВМ, которые он считал наиболее перспективными. Э. Дагман взял на себя задачу рассмотреть возможность использования сверхпроводимости, Э. Скок — магнитных явлений, М. Зизин — оптические эффекты. Рассматривались также биологические и химические принципы. Я выбрал эффекты в полупроводниках. Через два месяца мы представили отчеты, они были написаны в рукописной форме. Мой отчет к моему большому удивлению стал пользоваться большим спросом — через три месяца я видел его достаточно “зачитанным”, и потом он куда-то исчез, говорили — пошел “наверх”.

После длительных обсуждений, семинаров, мы в итоге выбрали как наиболее перспективное направление тонких пленок полупроводников как основу элементной базы будущих вычислительных устройств. Сразу же были куплены 3 установки “Тесла”, мы их привезли из УКС, из “Щ” на открытом грузовике в здание Института геологии, где на 4 этаже (над главным входом) мы первоначально разместились. Запуск установок и получение первых пленок металла для нас не представляли большого труда — сказалась наша хорошая практика в вакуумной лаборатории на физическом факультете университета. Запомнилось изготовление первых пленок серебра (как одного из контактов будущих полупроводниковых приборов). Тогда мы еще не отладили систему приобретения материалов, не было еще отдела снабжения, и поэтому мы были рады, когда Н. Сигорская — новый сотрудник в нашей группе, пожертвовала свое серебряное кольцо, которое было быстро распылено при создании электродов.

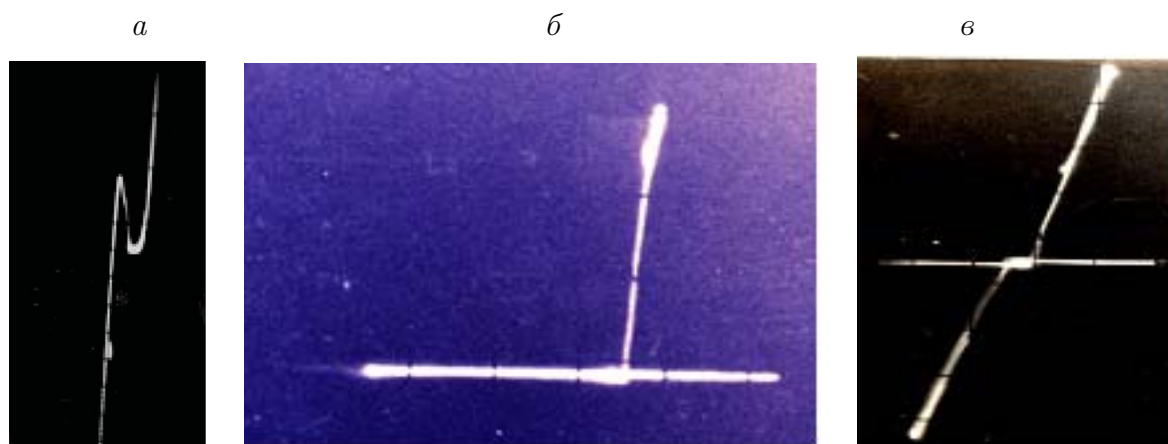


Рис. 1. Вольтамперные характеристики двухэлектродных тонкопленочных структур: на основе $Ti - Se - Ag$, толщина Se менее 1 мкм (*а*, *б*); туннельный ток в тонкопленочной структуре $Ti - TiOx - Ag$, толщина пленок 1000 \AA (*в*)

После первых технических успехов встал вопрос — на каком приборе (эффекте) мы можем получить логический, быстродействующий элемент. Выбор остановился на туннельном диоде как элементе, обладающем двумя устойчивыми состояниями, — элементе с N- и S-образными вольтамперными характеристиками. В конечном итоге такие диоды были получены на основе структур титан — окислы титана — серебро, титан — селен — серебро (фотографии вольтамперных характеристик таких элементов представлены на рис. 1) напряжением $0,3\text{--}1 \text{ В}$.

Диэлектрические пленки получались методами анодного оксидирования. Этот метод был нами отработан очень хорошо — тонкие пленки (менее 1000 \AA) окислов титана, алюминия, циркония, гафния и других из так называемой группы вентильных металлов получались с высокой электрической прочностью и малыми токами утечки, исключительно однородные по всей поверхности подложки. Это был 1962 год. Учиться этому методу к нам приезжали несколько групп технологов, в том числе из Зеленограда, в котором только начиналось строительство.

Первый полевой тонкопленочный транзистор. В середине 1964 г. мы заключили большой хоздоговор “Разработка стандартных элементов для БЦВМ в пленочном исполнении” с предприятием п/я 651 (как впоследствии выяснилось, это было ОКБ-1, ныне НПО “Энергия” С. П. Королева). По телефону он представился мне как проф. Сергеев, спросив, понятно ли мне ТЗ, а также сделаем ли мы работу в срок. Я сказал, что у нас уже есть большой задел, и указанные в ТЗ параметры мы уже практически имеем, разговор продолжался 20–30 секунд, значительно дольше меня искали из приемной. Тогда этому звонку я не придал серьезного значения, обычный контакт.

Договор был крупный — на всю возможную сумму, которую разрешалось “осваивать” Институту математики. Заказчики сокрушались, что эта сумма (135 тыс. руб.) очень небольшая, они готовы были увеличить ее в несколько раз. До этого, годом ранее, договор на такую же сумму вел сотрудник ИМ академик Л. В. Канторович (нобелевский лауреат по экономике).

Предполагалось, учитывая уже имеющийся задел, всю работу завершить в течение полугода и закончить в январе 1965 г. Она состояла из нескольких этапов, ТЗ на эту работу сохранилось. На первом этапе предполагались:

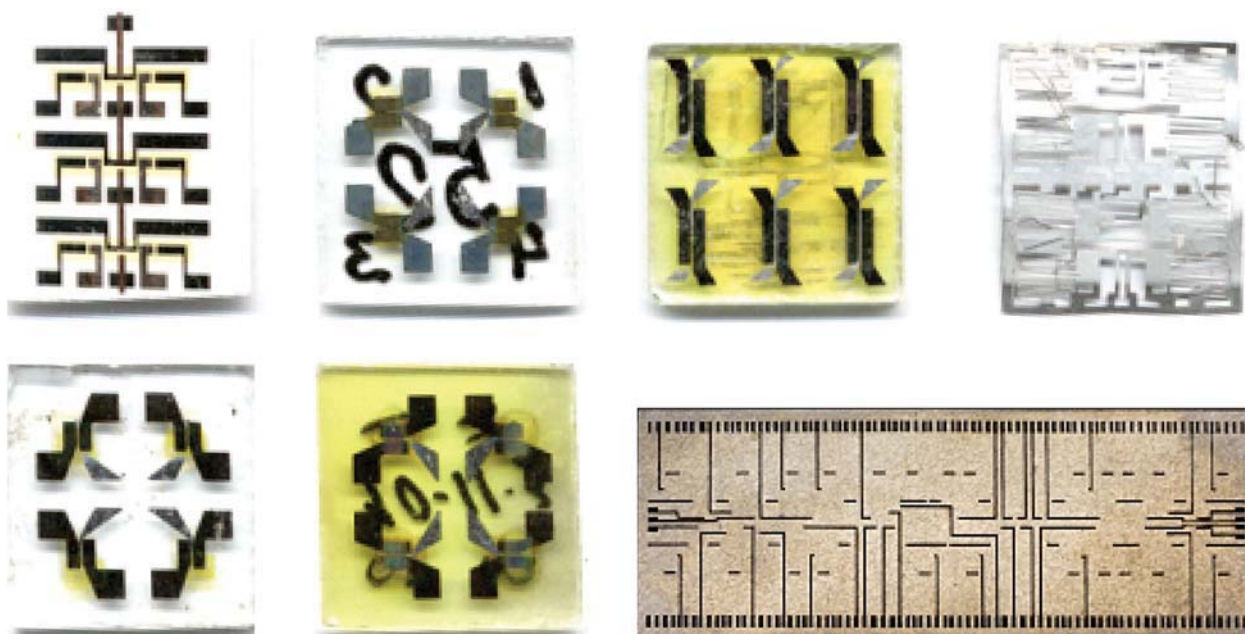


Рис. 2. Первые в СССР тонкопленочные полевые транзисторы на основе CdS;
внизу справа — маски на основе тонкого молибдена

1. Разработка тонкопленочного полевого триода (ТПТ) с параметрами: коэффициент усиления по напряжению не менее 20; коэффициент усиления по току не менее 1000; входной импеданс на постоянном токе не менее 1 МОм; произведение коэффициента усиления на полосу пропускания не менее 10 МГц; рабочий диапазон температур ± 60 °С.

2. Разработка тонкопленочного элемента с диодной характеристикой при прямом токе не менее 1 мА и напряжении 0,2–0,4 В, при времени переключения диода из закрытого состояния до уровня прямого тока 0,03–0,2 мкс и плотности размещения до 100 шт. на 1 мм².

3. Разработка пленочных конденсаторов с заданным номиналом и рабочим напряжением 4 В, с работой в диапазоне $-60 \div +60$ °С, плотностью размещения до 100 шт. на 1 см².

4. Разработка постоянных сопротивлений с заданными параметрами.

Итогом всей работы был подробный отчет объемом 280 страниц о выполненных исследованиях с предложением по дальнейшему развитию ОКР. Открытая часть отчета у меня сохранилась.

Договор по разработке указанных тонкопленочных элементов, притом с заданными, достаточно жесткими параметрами, мы, несмотря на малый срок (семь месяцев) и серьезные параметры, успешно выполнили.

Даже сейчас эта программа работ выглядит достаточно напряженной, однако она была полностью выполнена в срок, и при этом большинство параметров приборов было достигнуто: они были близки к ТЗ или значительно лучше. Успех этой работы был обусловлен тем, что у нас к началу работы по договору уже имелся большой задел и практически все параметры указанных приборов уже были «апробированы».

Если говорить о «транзисторной» части работы (рис. 2), то можно сказать, что всего за первые 5 месяцев исследований было изготовлено 560 образцов ТПТ, из них работающим оказался 131 транзистор (процент выхода 32 %). При расстоянии исток — сток в 100 мкм была достигнута крутизна 0,6 мА/В при входном сопротивлении по постоянному току до 10 МОм.

Наш выбор CdS как базового полупроводника при создании ТПТ был обусловлен как тем, что этот материал к этому времени был очень хорошо изучен — он уже широко применялся при построении фотоприемников, так и тем, что мы уже создали тонкопленочные диоды со структурой Ti-CdS-Te-In с хорошими параметрами. Исследование этих диодов было представлено в журнале “Вычислительные системы” № 15 за 1965 г. под редакцией А. В. Ржанова.

Было проведено сравнение параметров созданных ТПТ с параметрами аналогов у зарубежных фирм (RCA, Melpar, Huges, Калифорнийского университета) с пересчетом на одинаковые геометрические размеры. Оно показало, что эти параметры были близки.

В создании первого в СССР тонкопленочного полевого транзистора принимали участие А. Сохин — он изготавливал наиболее важные компоненты транзистора — пленки CdS — текстурированные пленки с заданной стехиометрией, В. Пчелкин — пленки SiO₂ с использованием разработанного им термостатированного испарителя (надо отметить, что в качестве подзатворного диэлектрика нами использовались и пленки окислов алюминия и титана). Пленки титана (для истока и стока) изготавливались А. Луневым и В. Голубевым, а пленки алюминия — Л. Любомудровой и И. Солдатенковым. Измерения параметров транзисторов и расчет возможных устройств на их основе производились Б. Потаповым, И. Михайловским, М. Ильиным, Т. Полиной, Е. Беляевым, С. Коняевым (последний сделал на основе наших транзисторов радиоприемник, который уверенно принимал длинноволновые радиостанции). В списке сотрудников-участников работы по выполнению договора с организацией п/я 651 есть и Е. Черепов, принятый к нам после службы в погранвойсках. Он совместно с д-ром хим. наук И. Котляревским (ИХКиГ СО АН) написал текст относительно возможности применения некоторых органических соединений в пленочной электронике. В результате совместной работы двух институтов были созданы тонкие органические пленки и найден способ синтеза растворимых полиацетиловых полимеров.

Можно отметить, что использование указанной в договоре суммы проводилось под строгим контролем и по назначению, не буду описывать детали. Но, например, нам, основным исполнителям работы, было проведено увеличение зарплаты в 1,5 – 1,7 раза только путем перевода нас из категории научных сотрудников в ведущие инженеры. Я, кроме того, через два месяца был переведен на должность начальника группы, других вариантов тогда не было. И только после защиты я был вновь переведен на должность научного сотрудника.

Наши физико-технологические успехи в области создания тонкопленочных элементов электроники, обеспечивались исключительно высокой по тем временам (1961–1965 гг.) технологической базой и соответствующей вакуумной культурой. Каждый из изготовленных образцов сопровождался физико-технологической картой (паспортом), в которой указывались как все параметры технологического процесса, так и некоторые электрофизические параметры элементов.

Одним из важных факторов, обеспечивших высокие результаты наших исследований, была разработка (по нашим многократно обсуждаемым предложениям) конструкторским бюро ОВТ (А. Крашков) и изготовление на Опытном заводе крупных универсальных технологических установок с большим числом фланцев — до 16, установок для высоковакуумного напыления пленок. Поверхность камер и фланцы предназначались для высокого вакуума до 10⁻¹⁰ мм рт. столба. Я специально под эту задачу разработал, после многочисленных экспериментов, методику электрохимической полировки больших поверхностей из нержавеющей стали. Первоначально мы рассматривали в качестве уплотнений фланцев ртуть, но быстро перешли на другой вариант — на мягкую безкислородную оттоженную медь.



Рис. 3. Одна из семейства высоковакуумных технологических установок, изготовленных на Опытном заводе СО РАН в 1963–1964 гг.

Таких установок было изготовлено более 20 штук, несмотря на то, что это был коллективный труд, мы их называли “Пчелка” в честь нашего технолога В. Пчелкина, который посвятил их проектированию наибольшее время, курировал их чертежи. Одна из трех таких установок, успешно функционирующих сейчас в ИАиЭ СО РАН, представлена на рис. 3.

Установки были куплены разными организациями Москвы, Ленинграда, Минска, Томска, Киева и др. Эта технология легла в основу изготовления на Опытном заводе других аналогичных установок типа “Катунь” и других, используемых значительно позже в ИФП и других организациях, в том числе для эпитаксиального роста пленок и т. п.

Все форвакуумные наносы были вынесены вне технологических помещений, были проложены системы форвакуумных линий, вход в технологические помещения проходил через тамбуры и т. д. Для обеспечения постоянной работоспособности вакуумного оборудования была создана группа вакуумщиков, из них помню М. Потапова и В. Подойницына.

Был создан большой химический участок для подготовки подложек и для очистки вакуумной оснастки (В. Ильенкова, Л. Тачкова и др.).

Для изготовления масок была создана и специальная фотолаборатория с соответствующим оборудованием, с ее помощью удалось создать маски из тонкого молибдена, позволившие нам изготовить полевые транзисторы с расстоянием исток — сток 50 мкм.

Ежедневно привозились сверхчистая деионизованная вода с двойной перегонкой и жидкий азот, старожилы Института математики, вероятно, помнят многочисленные десятки дюаров с жидким азотом, которые постоянно стояли у главного входа института, и мы каждый день выбирали наиболее тяжелые из них, позже они были заменены на азотный танкер.

Все производство поддерживалось крупными механическими мастерскими, которые оперативно изготавливали по наброскам технологов или по чертежам нашего КБ вакуумную оснастку. Таким образом, в ИМ СО РАН в те годы был создан мощный замкнутый комплекс для выполнения сложных физико-технологических задач микроэлектроники.

Вот фамилии некоторых сотрудников, усилиями которых этот комплекс успешно функционировал. От КБ — А. Крашков, Э. Скворцов, А. Комаров, Н. Кормилицин, от группы электронных приборов — А. Скворцов, Н. Бакулов (ими создан универсальный характериограф для исследования тонкопленочных элементов), Н. Скворцов, Ю. Невский, Ю. Пьянков и др.

В Отделении вычислительной техники были две крупных физико-технологических лаборатории, одна из них возглавлялась В. Дятловым. Наша группа была в составе этой лаборатории на правах полной автономности, вторая группа во главе с Дятловым и Ю. Данилевским занимались магнитными явлениями в тонких пленках для задачи новых элементов

вычислительной техники. Другая лаборатория, созданная на 2 года позже — лаборатория А. Трубецкого. В составе последней лаборатории были Ю. Басихин, разработчик новых ферритов и плазмохимических методов получения пленок, а также семейства материалов для электронно-лучевой литографии на базе кремнийорганических соединений, А. Сулимин, один из первых разработчиков плазмохимических способов получения пленок, и О. Яковлев.

Можно отметить, что по тем временам физико-технологические лаборатории отделения вычислительной техники применительно к созданию новой элементной базы были одними из лучших в стране как по технологическому оборудованию, так и по численности и подбору кадров и организации технологического процесса.

Я постоянно чувствовал исключительно благожелательное отношение к нашим исследованиям со стороны Сергея Львовича Соболева — именно он был одним из основных инициаторов становления физико-технологического направления в Сибирском Отделении и в Институте математики. Он многократно приходил в мою группу и постоянно был, несмотря на “математическое” образование, в курсе всех наших текущих вопросов по совершенствованию параметров наших тонкопленочных приборов, ближайших задач. Помню, как однажды, когда он пришел к нам, я решил показать очередной наш прогресс, но эффект не получился, он ушел, сказав что он посмотрит в следующий раз. Однако я быстро нашел нужный образец, побежал за ним, догнал на 3 этаже, он вернулся и внимательно все изучил.

С. Л. Соболев часто с удовольствием сопровождал многочисленные делегации, которые приезжали к нам в институт. Часто я приходил, иногда прямо с семинаров, со специальной коробкой с образцами в кабинет к С. Л. Соболеву по его приглашению, когда там находились большие делегации. Помню, как однажды я сидел в этом кабинете между Сергеем Львовичем и крупным военным начальником (возможно, это был один из зам. министров обороны — генерал-полковник, тогда я по молодости лет не обращал внимания на такие “мелочи”). Последний, после моего рассказа о наших разработках, спросил меня, сколько же человек работает в этом направлении. Я посмотрел на Сергея Львовича и, чтобы как-то подчеркнуть важность работы, сказал, что работает человек 70 (реально в моей группе было человек 7–8), но я посчитал возможным учесть и вспомогательные службы, о которых я уже говорил. Этот военный вдруг активно говорит, обращаясь к Соболеву: “Вот они — реальные герои. Сколько средств мы потратили на Зеленоград, а где их результаты (это было в 1963 г.)? Хотите, мы построим вам новый институт, здесь рядом?” Я сказал, что это должен быть физический институт микроэлектроники. Возможно, этот разговор дал толчок к быстрому созданию ИФП.

13 июля 1964 г. ко мне в группу в сопровождении М. А. Лаврентьева и С. Л. Соболева приходил Президент РАН М. В. Келдыш, сразу же после вручения им Ленинской премии академику А. И. Мальцеву, несмотря на очень напряженный график его визита в Новосибирск. Я с ним за столом говорил минут 15, рядом были А. И. Мальцев, возможно, А. В. Ржанов и К. Б. Карандеев, директор ИАиЭ, другие участники церемонии вручения премии. В момент разговора Келдыш задавал мне достаточно общие вопросы относительно элементов микроэлектроники, я их уточнял, он после паузы соглашался. Разговор понравился М. А. Лаврентьеву, он мне показал большой палец — за несколько месяцев до этого я имел с ним личную встречу, на которой достаточно подробно рассказывал о наших разработках.

Очень большое внимание к нашим работам проявлял и академик В. М. Глушков, директор института кибернетики, г. Киев. Он неоднократно приезжал к нам институт и всегда приходил к нам в группу. Я хорошо помню его первый визит в начале 1963 г. В комнате 113 на первом этаже основного здания института я показал ему матрицу тонкопленочных

диодов 10×10 с размерами 100×100 мкм, размещенных на площади в несколько квадратных миллиметров, показал их реальные ВАХ на экране осциллографа. Он спросил о воспроизводимости параметров, я сказал, что это все же микроэлектроника, и элементы “как солдатики”, и тут же это продемонстрировал. Он вдруг достаточно резко сказал стоящему рядом Э. Евреинову: “Так вот это и есть основное достижение Отделения ВТ”. Фотография такой матрицы представлена на рис. 4. Впоследствии он еще дважды приезжал в Новосибирск, говорил, что хочет встретиться с товарищем, и называл мою фамилию. В 1964 г. мы получили машину “Днепр” разработки академика В. М. Глушкова, она уже размещалась на одном столе. На ней мы провели первые эксперименты по автоматизации с помощью ЭВМ физического эксперимента (помню инженера, который “обслуживал” этот эксперимент, Алексеева). Этому предшествовала приемка машины — она сутки стояла в запломбированной комнате, решая тестовую задачу.

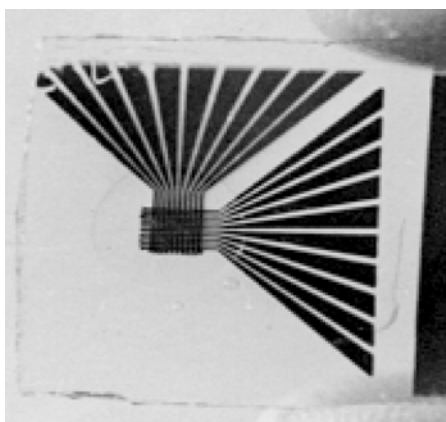


Рис. 4. Матрица тонкопленочных диодов на основе окислов титана 10×10 (1961–62 гг.)

Одним из основных результатов нашей “тонкопленочной” деятельности в 1961–1964 гг. было становление микроэлектроники в Новосибирске и, как мне представляется, появление ИФП. Я помню, как мы планировали число лабораторий в этом институте и заказывали оборудование — это, насколько я помню, был конец 1962 г. Просматривая список этого оборудования, я в последний момент обнаружил отсутствие электронного микроскопа, срочно заказали чешский микроскоп Е-4 (впоследствии наши сотрудники, перешедшие в ИФП, говорили, что все заказанное оборудование поступило в ИФП, включая и указанный микроскоп). При выборе названия института обсуждались варианты — Институт физики твердого тела, Институт физики элементной базы ВТ, Физико-технологический институт, Институт микроэлектроники. В выборе конечного названия института сыграли роль

как уверенность в перспективности полупроводникового направления, так и наши работы (жаль, что тогда они выполнялись только в виде отчетов, датируемых 1962–1963 гг., некоторые из них у меня до сих пор сохранились), в которых фигурировали слова “тонкопленочные полупроводниковые приборы”.

Сейчас, вспоминая те годы, можно полагать, что вопрос об организации нового института был принят как на основании результатов многочисленных командировок в Новосибирск людей из военно-космического ведомства, так и усилий В. М. Глушкова, который в 1963 г. был утвержден председателем Межведомственного научного совета по внедрению вычислительной техники при Государственном комитете Совета Министров СССР по науке и технике.

Но никто из нашей “команды” не мог возглавить новый Институт, мы не имели научных степеней и даже публикаций, в эту “сторону” мы и не смотрели. М. А. Лаврентьев предлагал мне быструю защиту по техническим наукам на основе имеющихся отчетов, но для меня это было психологически сложно, учитывая то, что я окончил университет по кафедре теоретической физики. Лаврентьев сказал, что пройдут годы, и никто не вспомнит эти тонкости, но я не согласился. В итоге я защитил диссертацию на звание канд. физ.-мат. наук первым из нашей команды, но только через 4 года, уже имея публикации в центральных физических журналах, в 1968 г., в Объединенном диссертационном совете по физико-математическим

и техническим наукам в ИФП под председательством А. В. Ржанова. Тема диссертации “Исследование влияния особенностей микрорельефа поверхности электродов на процессы прохождения тока и явления пробоя в тонкопленочной системе металл — диэлектрик — металл”, в ней, в частности, рассматривалась инжекция электронов в диэлектрик с поверхности микровыступов с нанометровыми радиусами кривизны.

Насколько я помню, первоначально предполагалось, что директором нового института будет В. И. Стафеев, он даже специально приезжал в Академгородок на 5–7 дней. Мы показали ему наши результаты, включая демонстрацию возможности создания на базе наших тонкопленочных транзисторов ряда мультивибраторов. Эти устройства ему показывал наш новый сотрудник С. И. Коняев.

Однако позже мы узнали, что директором ИФП был назначен А. В. Ржанов. Формально образование ИФП было оформлено как объединение двух организаций — Института физики твердого тела и полупроводниковой электроники СО АН СССР и Института радиофизики и электроники СО АН СССР (Постановление Президиума АН СССР № 49 от 24 апреля 1964 г.)

Мне представляется, что движущей силой такого решения был В. М. Глушков. Такой ответственный человек не мог оставить нерешенным вопрос, с которым был хорошо знаком. Глушков был инициатором и организатором реализации крупных государственных проектов, создания программно-технических комплексов для информатизации и автоматизации хозяйственной и оборонной деятельности страны. Его связывали с М. А. Лаврентьевым годы совместной работы в Киеве, когда он был вице-президентом АН УССР, а Киев был основным центром страны в области цифровой вычислительной техники.

А. В. Ржанов к этому времени уже был известным ученым в области физики поверхности полупроводников. Время показало, что выбор А. В. Ржанова в качестве директора нового института был очень удачным, ИФП за эти годы превратился в один из крупнейших и авторитетных институтов СО РАН и РАН.

Сразу же после организации ИФП ряд наших сотрудников перешел в новый институт (Э. Скок, Л. Гасанов, В. Петросян, Э. Дагман), они в разной мере участвовали в составлении “пилотных” текстов относительно организации нового института, другие сделали это несколько позже: Е. Черепов, Б. Фомин, И. Солдатенков, И. Михайловский, Ю. Невский, Л. Покровский, А. Хороменко, В. Пчелкин, К. Зилинг, Б. Зотьев, В. Хорошевский и еще ряд сотрудников. Я же вместе со своей группой, связанный действующими установками и конкретными планами, не решился сразу на такой переход, хотя это было бы очень логичным завершением этой истории.

Летом 1964 г. к нам в ИМ дважды приходил вновь назначенный директор ИФП А. В. Ржанов, поочередно с Игорем и Юрием Марончуками, их интересовали те же вопросы, что и В. М. Глушкова, мы подробно говорили о технологии микроэлектроники. Я демонстрировал идентичность параметров элементов матрицы тонкопленочных диодов, показал характеристики тонкопленочных полевых транзисторов, конденсаторов и т. п.

Несколько слов о том, как организационно происходило становление микроэлектроники в Новосибирске. Сейчас я понимаю, что толчок к этому исходил из Москвы, на основании итогов поездок к нам большого числа высокопоставленных делегаций, связанных с военно-космическим комплексом, когда большие средства, вкладываемые в становление Центра микроэлектроники в Зеленограде, не давали зримых результатов, что очень сильно беспокоило Н. С. Хрущева в плане отставания от Америки в области электроники.

Я помню, как несколько раз я говорил с главным инженером НЭВИ (Новосибирский электроламповый завод и институт, п/я 55, ныне ФГУП “Восток”) С. П. Жолобовым, убеж-

дал его переходить от пальчиковых ламп к микросхемам, ведь все равно это придется сделать, но уже в более сложных условиях, под контролем, подекадно. В итоге, в конце 1962 г., уже в новом здании ИМ, куда мы недавно переехали из здания Института Геологии, после длительной паузы он вдруг говорит: “Уговорил”. При разговорах присутствовал и В. Л. Дятлов, формально мой начальник, в те годы его интересы были связаны с использованием магнитных явлений в вычислительной технике, мы с ним были в очень дружеских отношениях, и он поддерживал наше направление, мы вместе подписывали протокол о сотрудничестве, о передаче технологии изготовления тонкопленочных элементов на п/я 55, текст договора сохранился.

Согласно договору между ИМ СО РАН и п/я 55, группа сотрудников п/я 55 (в том числе, ныне успешно там же работающие В. Н. Гаштольд, И. Степанов, а также А. Генюкер, А. Колосанов, О. Кузнецова и другие, всего шесть человек) стала создавать технологический участок, размещенный в двух комнатах на первом этаже здания-пристройки ИМ по 60 м² — 6 вакуумных установок с форвакуумными линиями, оснасткой и т. д. Была полностью скопирована технология изготовления элементов (тонкопленочные транзисторы, диоды, конденсаторы, сопротивления), которые уже были созданы в ИМ — наши сотрудники участвовали в этом процессе, оперативно решая возникающие вопросы.

Все пункты указанного соглашения были успешно и в срок выполнены, коллектив сотрудников НЭВИ передислоцировал все созданное технологическое оборудование на свою территорию, где быстро воспроизвел параметры всех указанных элементов, сдал работу межведомственной комиссии, в состав которой от нашего Института входил Б. С. Потапов. Комиссия, отметив успешное выполнение поставленной задачи, по инициативе Б. Потапова не рекомендовала начинать мелкосерийный выпуск тонкопленочных полевых транзисторов, причина — недостаточная стабильность их параметров во времени, что отмечалось и в указанном отчете. Решено было рекомендовать, базируясь на уже накопленном опыте, переходить сразу на кремниевую технологию, аналогичная ситуация была и в указанных американских фирмах — ни один из транзисторов на основе CdS не пошел в серию. Однако начало становления в НЭВИ новой современной микроэлектронной технологии было заложено. Впоследствии по микроэлектронной тематике мы неоднократно выполняли хозяйственные работы совместно с НЭВИ.

Старые сотрудники ИМ СО РАН говорят сейчас, что в те годы физико-технологический отдел ИМ СО РАН на годы обогнал время. Жаль, что Отделение вычислительной техники ИМ СО РАН перестало сосуществовать, логично было бы на его базе организовать новый институт — Институт вычислительной техники. Причиной ликвидации ОВТ является не качество проводимых в Отделении работ, оно было очень высоким, а чисто субъективные факторы — в первую очередь, организационные проблемы руководителей Отделения, неспособность их найти общий язык с руководством СО АН СССР, с другими “внешними” организациями. Мы, молодые сотрудники, в то время не понимали таких “нюансов”, просто занимались своей конкретной деятельностью, но в итоге многие из нас были вынуждены менять место работы, переходя в другие институты СО РАН. Бывшие сотрудники отделения говорят мне, что поскольку я был в центре физико-технологических работ, то обязательно должен описать дух тех лет, и такие материалы должны быть интересны многим старожилам ИМ и Академгородка, что я и делаю, считая это своим долгом.

*Косцов Эдуард Геннадьевич — д-р физ.-мат. наук, зав. лабораторией
Института автоматики и электрометрии СО РАН; e-mail: kostsov@iae.nsc.ru*

Дата поступления — 29.08.2013