

ИЗ ИСТОРИИ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Через тернии — к микросхемам

А. ЧЕЧНЕВ, пос. Володарского Московской обл.

Часть 1

Для любознательных читателей и специалистов сейчас благодатные времена. Информацию по любому интересующему вопросу можно найти в воспоминаниях сотрудников когда-то закрытых заводов и институтов или на специализированных сайтах, в том числе — и по истории создания микросхем в нашей стране.

Просмотрев доступные материалы, пришёл к выводу, что до сих пор всё неопределённо, поскольку чётко и понятно нигде не изложено. Представлены разные, часто противоречивые мнения о времени создания, авторах и организациях-разработчиках.

зы, разработал схемотехнические решения, обеспечивающие возможность микроминиатюризации бортовых вычислительных машин для ракет и самолётов, автоматических систем управления, устройств обработки радиолокационной информации и др.

В СКБ-2, подразделении НИИ-131, к этому времени (конец 1960 г.) под руководством Фёдора Георгиевича Староса была закончена разработка управляющей машины УМ-1. Совместно с Ленинградским Военно-техническим институтом было изготовлено три опытных экземпляра. Курировал все работы главный инженер НИИ-131 Смирнов

II. ОКР "УМ-1" - изготовление совместно с Ленинградским Военно-Механическим институтом 3 опытных образцов машины на серийных полупроводниках.

Фото 1

Решил восполнить этот пробел и провести исследование по истории создания микросхем в Советском Союзе. Понятно, что вопросы всё равно останутся. Это тема очень разнообразна, да и доступных документальных подтверждений, из-за закрытости тематики, не очень много. В статье сохранена принятая в те времена терминология.

Вступление

В 1960 г. НИИ-131 (г. Ленинград), в будущем Всесоюзный Научно-исследовательский институт радиоэлектронных систем (ВНИИРЭС концерна "Ленинец"), выполнял приказы заместителя председателя ГКРЭ А. И. Шокина № 353сс и № 490сс, широко развернул работы по использованию полупроводников и микромодулей в изделиях института.

Эти работы показали возможность коренного изменения технических и тактических характеристик аппаратуры с применением новых элементов. Улучшение заключалось не только в изменении массы и габаритов, но и в точности характеристик, надёжности и безотказности в работе, простоте эксплуатации. Институт, выполняя прика-

9. ОКР "Микроминиатюрная вычислительная машина на полупроводниках". Шифр "УМ-2".
Проводилась разработка эскизного проекта.
Разработан метод конструирования элементов вычислительных устройств с применением плоских микротранзисторов, печатного монтажа и микроминиатюрных радиодеталей.

Фото 2

Вениамин Иванович. Схемотехнику управляющей машины создавал Бородин Николай Иннокентьевич. По разным причинам УМ-1 не нашла применения в качестве бортовой вычислительной машины, но на её основе была создана передовая по тем временам машина для народного хозяйства УМНХ-1, предназначенная для решения задач контроля техпроцессов и специализированных расчётов (фото 1).

В целом, разработка УМ-1 и УМНХ-1 соответственно была основана на ряде принципиально новых перспективных схемотехнических и технологических решений, ранее использованных в машине CDC-1604 американской ком-

пании Control Data Corp инженера Сеймура Крэя. CDC 1604 использовалась для обработки данных в режиме реального времени, управления системами вооружения, решения крупных научных и коммерческих задач.

Новая схемотехника позволила значительно повысить надёжность сложных электронных блоков и устройств при уменьшении габаритов и массы. Так, все логические элементы схемы построены на транзисторной потенциальной логике с непосредственными связями активных элементов компонентов при работе на пониженных (почти в 100 раз) энергетических уровнях, против номинальных. Это обеспечивало повышенную помехоустойчивость и надёжность работы как самих элементов, так и машины в целом, чрезвычайно узкую номенклатуру применяемых электронных компонентов, использование дешёвых массовых транзисторов без отбраковки и малое потребление энергии. Использование логического элемента НЕ-ИЛИ на дискретных транзисторах для выполнения практически всех логических функций упростило задачу конструирования. В машине впервые были применены оригинальный миниатюрный куб памяти на многоотверстных интегральных ферритовых пластинах и унифицированные платы.

Параллельно с разработкой машины УМ-1 велась и разработка машины УМ-2, где ставилась задача дальнейшего уменьшения габаритов и массы при увеличении быстродействия (фото 2). В этой связи лаборатория полупроводников НИИ-131 предложила использовать транзисторы П15, но без корпуса, и разработала особую технологию герметизации эпоксидными смолами.

В начале 1961 г. для повышения быстродействия узлов и блоков УМ-2

институт стал получать от опытного завода НИИ-35 бескорпусные транзисторы, аналоги транзисторов П401—П407. В дальнейшем, правда недолго, институт сам стал производить германиевые бескорпусные транзисторы для СКБ-2, называя их плоскими для плёночных схем. Эти транзисторы имели обозначение МТ-10. Позднее было налажено производство кремниевых транзисторов аналогичного назначения МТ-10к в НИИ-35.

Задача повышения быстродействия была решена, а для уменьшения габаритов нужно было создавать миниатюрные печатные платы с микромодульными элементами. Казалось бы, зачем

придумывать что-то, ведь НИИ-131 уже успешно разрабатывает и выпускает аппаратуру на микромодулях. В конце 1960 г. в результате исследования материалов по теме *Compart* американской компании IBM (фото 3) СКБ-2 проводит научно-исследовательскую работу "Решётка" и создаёт отечественную технологию по изготовлению плёночных схем методом вакуумного напыления. Использование бескорпусных транзисторов и малогабаритных конденсаторов гарантированно обеспечивало как минимум пятикратное снижение объёма. Заниматься этим в институте в начале 1961 г. как раз и было поручено СКБ-2, руководителем которого, напомним, был Ф. Г. Старос. Силами предприятия было закуплено и создано всё необходимое оборудование для выполнения этой работы.

высокой точностью, требуют аналогичных устройств, имеющих связь с центральной управляющей машиной (ЦВМ) и разгружающих её от частной задачи.

ЦВМ, управляющие и специализированные цифровые вычислительные машины (СЦВМ) должны быть обязательно дешёвыми. Дешёвыми настолько, чтобы была экономическая возможность их одноразового использования. Если стоимость дорогих наземных и корабельных ЦВМ и СЦВМ как-то окупается в процессе их эксплуатации, то в ракетно-авиационных системах такой возможности нет.

Поэтому было уделено особое внимание снижению стоимости элементов и производства в целом. Вопросы надёжности играют тоже не последнюю роль, в этой связи необходимо было использовать или создать вновь такую

УМ-2, лаборатория полупроводников института, её сотрудники стали искать пути снижения себестоимости активных компонентов с одновременным повышением надёжности.

В течение 1960—1962 гг. в разных зарубежных источниках было опубликовано много экспериментальных и теоретических исследований, посвящённых полупроводниковым приборам с отрицательным дифференциальным сопротивлением, создаваемых на основе использования четырёхслойной германиевой р-п-р-п структуры. Ведущие разработчики вычислительной техники пытались создать переключающиеся полупроводниковые приборы с двумя устойчивыми состояниями. Эти работы привели к созданию неуправляемых полупроводниковых переключателей — динисторов и других подобных приборов.

Такая комбинация р-п переходов привлекла внимание специалистов института, сотрудников лаборатории полупроводников НИИ-131, как в силу своих богатых возможностей, так и в силу того обстоятельства, что можно было попробовать создать эти переходы, используя собственные возможности и серийное производство транзисторов П403 на заводе "Светлана".

В результате многочисленных экспериментов и комбинаций в ходе получения необходимой переключающей структуры появилась идея использовать один из вариантов для реализации цифровой функции "НЕ-ИЛИ", заменив её

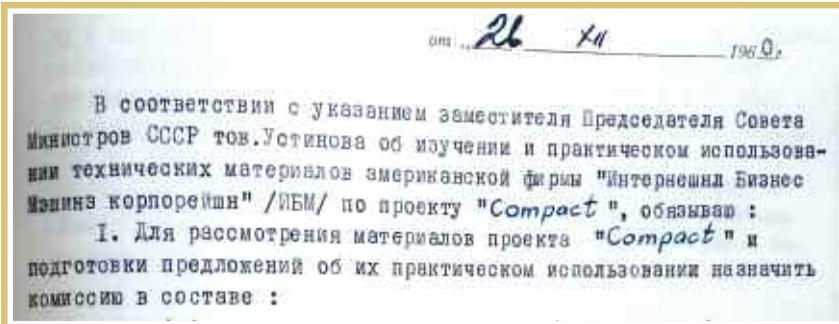


Фото 3

В эти годы институт приступил к созданию автономных устройств обработки радиолокационной информации ещё до подачи её в индикаторное устройство или устройство автоматики. Необходимость обработки диктовалась такими задачами, как распознавание целей, самоориентировка ракет, очистка полезных сигналов от мешающих отражений и др.

По существу своему эти устройства должны были стать специализированными логическими цифровыми машинами. Автономные дискретные дальнометные устройства, работающие с

компонентную базу, при использовании которой решался бы вопрос обеспечения надёжности как при хранении изделий, так и при их использовании.

В этой связи параллельно с работой, проводимой в СКБ-2 по созданию ЦВМ

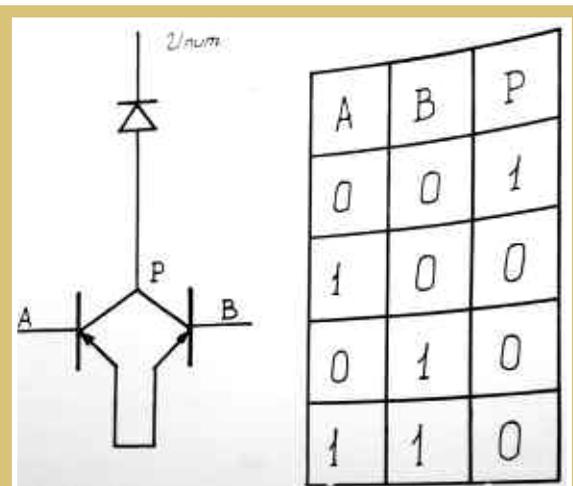


Фото 4

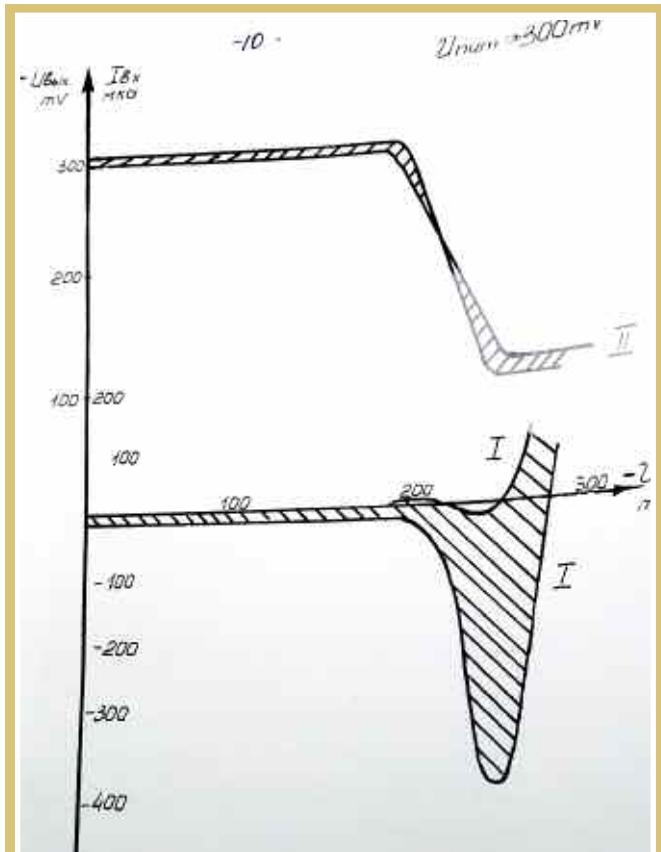


Фото 5

два отдельных транзистора в вычислительном устройстве.

Здесь надо пояснить, что число элементов в дискретных устройствах, как правило, велико и даже в относительно простых измеряется тысячами, поэтому необходимо было создать элементы, годные для автоматизированной сборки. Существовавшая на тот момент серийная конструкция покупных микро-транзисторов и транзисторов МТ-10 не позволяла использовать их в этом процессе.

Плёночная микроэлектроника только начинала создаваться, да и ко всему прочему СКБ-2 с 1 июля 1961 г. перешло в другое министерство, в подчинение Комитету по электронной технике. При этом НИИ-131 передало всё оборудование и оставило всех бывших своих сотрудников во главе с Ф. Г. Старосом в занимаемых ими помещениях института на правах аренды.

ТС-233

После отделения СКБ-2 во второй половине 1961 г. институт испытывал большие трудности в организации работ по созданию новых малогабаритных вычислительных машин. Для решения проблемы была создана и начала работать лаборатория микроминиатюрной радиоэлектроники — лаборатория 571. Основной её задачей стала разработка вопросов применения в объектах института микромодулей, микротранзисторов и твёрдых электронных схем. Термин твёрдая схема появляется в отчёте НИИ-131 за 1961 г. Появляется вполне закономерно! Именно в это время специалисты лаборатории полупроводников НИИ-131, изучая ключевые р-п-р-п структуры, параллельно создали логический элемент "НЕ-ИЛИ" на кристалле германия размерами 1×1×0,2 мм.

После всесторонних исследований было принято решение об использовании приборов этого типа в схемотехнике ЦВМ и СЦВМ для решения собственных, описанных выше, задач. Две пары управляющих и управляемых переходов представлены в виде двух параллельно соединённых транзисторов, а общий р-п переход — в виде диода, являющегося их нагрузкой. Базы транзисторов соответствуют двум входам А и В, а параллельно соединённые коллекторы транзисторов — выходу Р (фото 4).

Работа функциональной твёрдой схемы осуществляется следующим образом. Плюс источника питания прикладывается к крайним р-областям, являющимися эмиттерами, а минус — к крайней п-области, т. е. катоду диода нагрузки. Если на входах А и В сигналы равны логическому нулю (напряжение близко к напряжению эмиттеров), почти всё падение напряжения имеет место на обратном смещённом внутреннем переходе и сигнал на выходе близок к напряжению питания (логическая 1).

При подаче на любой из входов напряжения с уровнем логической 1 имеет место инжекция дырок из р-области эмиттера, вызывающее одновременную инжекцию электронов из общей

п-области. Через кристалл начинает протекать ток, потенциал общей р-области повышается, и на выходе будет напряжение, близкое к напряжению эмиттера, т. е. сигнал, соответствующий логическому 0. Одновременная подача на входы сигналов логических 1 также создаёт на выходе сигнал, соответствующий логическому 0. Таким образом, имеет место выполнение логической операции "НЕ-ИЛИ". Созданная германиевая функциональная твёрдая схема работала в интервале питающих напряжений 0,3...0,5 В. Обобщённые входные характеристики (I) и характеристики передачи (II) для большого числа твёрдых схем приведены на фото 5.

Используя эти наработки, в течение 1962 г. отдел номер 570 НИИ-131 завершил научно-исследовательскую работу "Гном" разработкой унифицированных функциональных узлов на твёрдых схемах для использования их в дальномерных, угломерных и вычислительных устройствах. Была разработана и технологическая описка для механизированной сборки узлов.

Однако использование серийной технологии транзисторов П403 для производства твёрдых схем не позволяло решить главную задачу — создание дешёвого элемента для бортовых СЦВМ.

Огромные трудоёмкости создания переходов, ручные способы присоединения к ним золочёных выводов и их разводка, низкий выход годных приборов в силу применения ручных работ при осуществлении самых тонких технологических процессов создания переходов не позволяли надеяться на успешное решение задачи создания дешёвой машины. Задача автоматизации сборки большого числа таких твёрдых схем тоже совершенно не решалась.

Положение коренным образом изменилось после того, как все эти вопросы были рассмотрены специалистами Рижского приборостроительного заво-

да (РПЗ) п/я 233. Ими были предложены автоматизированные процессы создания как самих твёрдых схем, так и способов их соединения. А основой создания был метод прецизионной микрофотографии, который использовался в разрабатываемой заводом линии "Аусма".

Большая работа была выполнена и НИИ-131 в части оснащения прецизионными механизмами автоматической линии "Аусма" для изготовления твёрдых схем. В том же 1962 г. на РПЗ начали создавать автоматизированное оборудование для сборки функциональных узлов на отдельных кристаллах.

Таким образом, работы по промышленному производству твёрдой схемы были сосредоточены на Рижском заводе, а в институте широким фронтом развернулись работы по отработке схем и определению оптимальных характеристик, обеспечивающих совместную работу большого их числа.

В этих целях в Риге была выпущена большая партия твёрдых схем по старой ручной технологии. Это была первая партия твёрдых схем, изготовленная на заводе и получившая название ТС-233.

Временные технические условия, которые были заданы, предусматривали следующие значения параметров:

Напряжение питания, не более, В	0,35
Напряжение на выходе в закрытом состоянии меньше напряжения питания на величину, мВ, не более	20
Напряжение на выходе в закрытом состоянии (сигнал логической 1), мВ, не менее	130
Напряжение на выходе в открытом состоянии (сигнал логического 0), мВ, не более	120
Напряжение на входе в открытом состоянии меньше напряжения питания на, мВ, не менее	20



В силу использования для изготовления функциональных твёрдых схем "НЕ-ИЛИ" технологического процесса, специально для этой цели не предназначенного, получившиеся элементы имели недостатки: интервал напряжения питания твёрдых схем узок и равен $\pm 10\%$; время спада фронта импульса в среднем — около 1 мкс; потребляемая мощность — около 3 мВт. Малый интервал напряжений был результатом низкой повторяемости параметров.

Конструкция твёрдой схемы такова, что шина питания осуществляет теплоотвод и является конструктивным элементом, таким образом, обеспечивается возможность создания узлов с большой плотностью компоновки. Для экспериментальных работ твёрдые схемы располагались на микромодульных галетах.

В деле отработки твёрдых схем на германии РПЗ не ограничился разработкой технологии прецизионной микрофотолитографии, а на базе предложений инженера РПЗ Осокина провёл ряд коренных усовершенствований схемы и конструкции, которые и нашли своё завершение в создании приборов Р-11, а в дальнейшем приборов Р12-2 и Р12-5.

С целью расширения интервала рабочих напряжений и быстродействия логической переключающей твёрдой схемы "НЕ-ИЛИ" общий р-п переход в нагрузке был заменён резистором. Твёрдая схема Р-11 (фото 6) изготавливалась методом мезатехнологии, сущность которого рассмотрим на примере исходного материала р-германия:

1. Путём диффузии сурьмы образуется на поверхности германиевой пластины р-типа п-слой толщиной около 20 мкм.

2. Путём вплавления образуются управляющие переходы, а также вплавляются электроды входов.

3. Управляющие переходы отделяются от остальной части диффузионного п-слоя травлением через защитную маску. При этом электрод входа оказывается соединённым с управляющим переходом соединительным п-слоем на поверхности пластины, а коллекторные области остаются соединёнными.

4. В коллекторную область проводят вплавление электродов питания так, что напряжение на коллекторный переход подаётся через электрод диаметром 60...100 мкм, что эквивалентно включению активной нагрузки сопротивлением 900...400 Ом соответственно.

Типовые параметры Р-11

Напряжение на выходе в открытом состоянии, мВ, не более	100
Напряжение на выходе в закрытом состоянии, мВ, не менее	200
Напряжение питания, В	1...3
Время переключения и время рассасывания мкс	0,2
Потребляемая мощность, мВт, не более	2

Приборы Р-11 можно было использовать при построении устройств с непо-

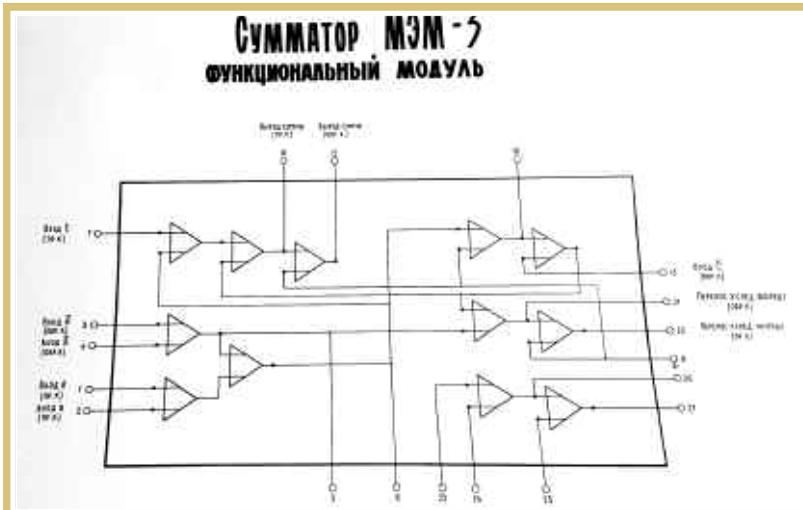


Фото 7

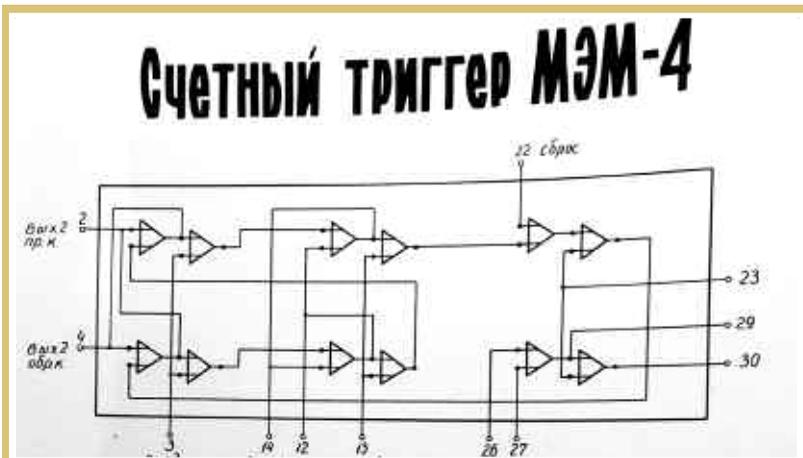


Фото 8



Фото 9

средственными связями. Как известно, такие устройства чувствительны к разбросу входных характеристик используемых элементов. В НИИ-131 были созданы экспериментальные образцы твёрдых схем со смещением по входу, свободные от этого недостатка и имею-

щим на одной пластине, их входные характеристики и параметры будут очень похожи.

Напряжением на выходе открытой твёрдой схемы, созданной по такой технологии, — около 30 мВ, что резко повысило надёжность работы цепей. Из

ствованного варианта Р-11 с новым обозначением Р-12-2, которая с 1964 г. стала использоваться в функциональных модулях в НИИ-131 и поставляться на завод ВЭФ.

Чуть позже, после создания соответствующего оборудования, Р-12-2 и её модификацию Р-12-5 стали объединять по четыре штуки в одном корпусе и герметизировать. Завод в 1964 г. произвёл около 30000 штук твёрдых схем Р12-2, в 1965 г. — 92000 штук, Р12-5 серийно завод начал производить с 1967 г.

Благодаря проведённой работе по созданию унифицированных элементов для дискретных вычислительных устройств на твёрдых схемах ТС-233, Р11 и Р12-2 в НИИ-131 в 1964 г. была завершена опытно-конструкторская разработка бортового авиационного управляющего комплекса, БЦВМ, "Гном-1" (фото 10).

Использование новой элементной базы открыло возможности качественного изменения радиолокации. В частности, появилась возможность математической обработки принимаемых сигналов с целью распознавания наземных объектов или выделения сигналов на фоне шумов, а также управления локатором с помощью центральной вычислительной машины.

Планарная технология

В 1962 г. делегация наших специалистов посетила проходившую в Париже интернациональную выставку элементов электронной аппаратуры. Руководителем делегации тогда был главный инженер НИИ-34 Гайлиш Евгений Антонович.

В отчёте по возвращении было указано на перспективность новой планарной, планарно-эпитаксиальной и мезотехнологии изготовления полупроводниковых приборов, позволяющей увеличить выход годных изделий до 90 % и сделать их по своим свойствам универсальными.

По приказу Государственного комитета по электронной технике № 95 от 2 июня 1962 г. НИИ-35 была поручена научно-исследовательская работа по теме "Панхром" — разработка метода фотолитографии, пригодного для использования в производстве универсальных кремниевых транзисторов.

Работа выполнялась с первого квартала 1962 г. и была закончена в первом квартале 1963 г. В результате выполнения работы была создана технология получения рельефа в плёнке окисла кремния с минимальными размерами 10 мкм, разработан метод получения углублений и выступов на кремнии глубиной (высотой) 10...15 мкм. Для обеспечения разработанной технологии было проведено исследование фоторезиста и организовано его промышленное производство на предприятиях Комитета по химии (НИОПИК). Освоено производство особо контрастных негативов с высокой разрешающей способностью на основе коллоидной эмульсии.

В итоге получены участки в окисле полупроводника с минимальным размером 5 ± 1 мкм при расстоянии между

По ОКР "Гном-1" разработаны элементы дискретных вычислительных устройств на твердых схемах Р12-2 и туннельных диодах, разработаны и изготовлены вычислительные устройства машин. Конструкция машин базируется на прогрессивной технологии, применении многословного печатного монтажа, новых синтетических материалах и высоком уровне механизации и автоматизации процессов изготовления и сборки.

Фото 10



Фото 11

Впервые в Советском Союзе проведен полностью фотолитографический процесс получения твердой схемы с пятикратным сжатием рельефов с минимальным размером 20 мкм.

Фото 12

щие большой интервал рабочих температур. Но они оказались сложны в коммутационном отношении и имели большую потребляемую мощность. Поэтому главным путём преодоления этой трудности инженеры института выбрали изменение технологии на планарную, при которой отдельные твёрдые схемы изолируются друг от друга обратнорасположенными р-п переходами.

Таким образом, с целью создания логических функциональных блоков отпадает необходимость разрезания пластин на отдельные части, и все необходимые соединения можно выполнить путём микрофотолитографии на поверхности пластины германия. Так как в этом случае твёрдые схемы изготовлены единым технологическим про-

цессом и на одной пластине, их входные характеристики и параметры будут очень похожи. В отчёте за 1963 г. следует, что изменение технологии на планарную увеличило процент выхода структур до 85...90 %, что позволило создавать типовые функциональные модули (фото 7—фото 9) из большого числа твёрдых схем "НЕ-ИЛИ", не разделяя их на отдельные кристаллы. Плотность упаковки достигала 250...500 штук в 1 см^2 . Причём низкое энергопотребление допускало такую плотность компоновки.

К сожалению, нигде в более поздних документах не удалось найти подтверждения того, что логические блоки строились на неразделённых структурах германиевой пластины.

С середины 1964 г. РПЗ приступил к серийному производству усовершен-

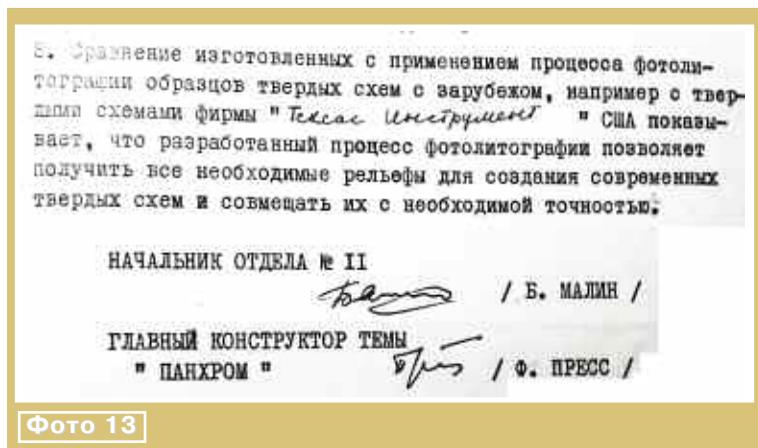


Фото 13

ними также 5 ± 1 мкм, а также углубления и выступы на кремнии размером по плоскости 40 ± 3 мкм и глубиной 30 ± 2 мкм. Получены совмещённые участки в окисле кремния при минимальном расстоянии между границами 20 мкм на длине 1,5 мм и диаметре пластины 30 мм (фото 11). Полученные результаты превзошли техническое задание.

Тем самым, впервые в Советском Союзе в НИИ-35 комплексно была решена задача создания головных образцов универсальных транзисторов. Разработаны базовые технологические инструкции фотолитографического процесса производства планарных транзисторов. Создана полностью герметизированная лабораторная линейка для проведения фотолитогра-

фического процесса. Причём результатом этих работ явилась именно разработка универсальной технологии, позволяющая использовать оборудование, при незначительной его переделке, для производства целой гаммы приборов различного назначения (фото 12, фото 13). Главным конструктором темы "Панхром" был Ф. П. Пресс.

Параллельно там же, в НИИ-35, началась работа по производству оборудования для изготовления первых базовых (универсальных) структур транзисторов по темам "Передел 1", "Передел 3" и "Передел 4". К концу 1963 г. на свет появились так всем нам знакомые транзисторы 1Т311, 2Т312 и 2Т803. Бескорпусный планарный транзистор 2Т319, ставший основным активным элементом для всех первых массовых гибридных микросхем, серийно начал производиться тоже в это время. Ну, а немного раньше, в ходе выполнения темы "Панхром", в самом начале 1963 г. Ф. П. Пресс создал первую в Советском Союзе кремниевую твёрдую схему.

(Продолжение следует)