

# 60 лет в микроэлектронике

## Визит на кристалльное производство ОАО «Интеграл»

Ю. Ковалевский

Белорусское предприятие «Интеграл» – один из крупнейших производителей интегральных схем и полупроводниковых приборов на постсоветском пространстве, хорошо известный на российском рынке. В конце прошлого года холдинг отметил свое 60-летие: в 1963 году в Минске был введен в строй Завод полупроводниковых приборов имени Ф. Э. Дзержинского – именно этот момент официально считается датой рождения «Интеграла», хотя строительство главного корпуса и здания заводоуправления было начато двумя годами ранее.

В настоящее время холдинг «Интеграл» выпускает широкую номенклатуру микросхем и дискретных компонентов, а также ряд других изделий, и поставляет свою продукцию не только белорусским и российским предприятиям, но и потребителям из других стран, в том числе китайским.

Андрей Буйневич, генеральный директор ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга «Интеграл», рассказал нам об истории предприятия, выпускаемой им продукции, а также о научном потенциале холдинга и его деятельности по подготовке кадров, после чего мы побывали на одной из производственных площадок предприятия, где заместитель руководителя производства Владимир Шикунуло показал нам ряд оборудования и рассказал о его применении.

### ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ ОАО «ИНТЕГРАЛ»

«Славная история „Интеграла“ берет свое начало в далеком 1961 году, когда в Минске во исполнение постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР были построены первые здания и сооружения заводоуправления, котельной, первая часть главного производственного корпуса предприятия», – так начал рассказ о предприятии его генеральный директор Андрей Буйневич.

Во время СССР основной задачей НПО «Интеграл» было обеспечение предприятий военно-промышленного комплекса, атомной и космической промышленности высоконадежной электронной компонентной базой. «Около 90% продукции предприятия шло на выполнение оборонной, ядерной и космической программ СССР, разрабатывались и производились интегральные микросхемы для систем радиолокации и радионавигации, бортовых электронных систем летательных аппаратов и космических кораблей, оборудования телеметрии и блоков управления ядерными электростанциями», – рассказал Андрей Буйневич.



Андрей Буйневич

По его словам, за период с 1961-го по 1990-й год «Интеграл» стал одним из ведущих микроэлектронных предприятий СССР, входивших в состав легендарного МЭПа – Министерства электронной промышленности СССР. «Об этом говорит и тот исторический факт, что фирменный знак „Интеграла“ стоял на каждой четвертой изготовленной в СССР микросхеме и на каждом третьем транзисторе, – отметил руководитель холдинга. – Как известно, распад СССР отозвался катастрофическими последствиями для всех отраслей экономики и промышленности, и в особенности – для электронной промышленности. К счастью, именно в это время – в 1991 году – удалось успешно завершить цикл строительно-монтажных работ и сдать в эксплуатацию уникальный для того времени объект – специализированный технологический модуль с чистыми помещениями, предназначенный для производства новейших сверхбольших интегральных схем».

Этот факт, а также наличие высоких компетенций персонала в части проектирования сложнофункциональных микроэлектронных изделий позволили предприятию в короткие сроки диверсифицировать портфель заказов, разработать и освоить широкий спектр новых коммерческих изделий не только для рынка СНГ, но и выйти на рынки дальнего зарубежья. Как рассказал нам Андрей Буйневич, предприятием были заключены и успешно реализованы достаточно крупные для того времени контракты на поставку изделий таким мировым лидерам, как Motorola, Seiko, Samsung и др. Только в Японию – фирме Seiko – было поставлено более 60 тыс. пластин с микросхемами драйвера и сенсора изображений.

Также руководитель холдинга отметил ключевую роль поддержки, которую «Интеграл» получил от государства: «Хотя предприятие выжило, к решению задач технологического развития, отвечающих требованиям постоянно развивающихся рынков, оно смогло приступить только при поддержке государства и лично Президента Республики Беларусь. Понимая важность электронной промышленности для обеспечения экономической и национальной безопасности любого независимого государства, глава государства неоднократно посещал наше предприятие. Так, в сентябре 1994 года он побывал в цехах, ознакомился с производством, пообщался с трудовым коллективом, выслушал проблемные вопросы. По его решению в последующие годы были выделены средства для реализации инвестиционного проекта „Субмикрон“».

Благодаря этому проекту предприятие создало первую в Беларуси производственную линию для серийного изготовления пластин диаметром 200 мм с передовыми для того времени проектными нормами – 350 нм, что позволило уже с 2010 года начать проектировать и производить

конкурентоспособные сложнофункциональные микросхемы с улучшенными техническими параметрами.

«Сегодня холдинг „Интеграл“ – это группа уникальных на территории Союзного государства предприятий микроэлектронной отрасли, реализующая весь комплекс работ, включающий проектирование, производство, маркетинг и сопровождение конечной продукции у потребителя по широкой номенклатуре не только микроэлектронных изделий, но и различных электронных устройств – медицинских приборов, электронных тابلетов, блоков управления для бытовой, промышленной, автомобильной и сельскохозяйственной техники и т. д. Мы хорошо известны далеко за пределами Беларуси, поскольку более 90% продукции поставляется на экспорт в 14 государств мира», – так руководитель холдинга обрисовал его современное состояние.

По его словам, основными рынками сбыта продукции холдинга являются Российская Федерация, а также традиционные рынки Китая и Юго-Восточной Азии, где партнерами «Интеграла» являются предприятия, производящие изделия бытовой, автомобильной и промышленной электроники.

Говоря о дальнейшем развитии холдинга, Андрей Буйневич отметил, что в настоящее время определены и реализуются ключевые технологические рубежи ближней и среднесрочной перспективы, на достижение которых направлены три уже действующих инвестиционных проекта. «Как известно, несмотря на происходящие в мире глобальные политические процессы и локальные конфликты, технический прогресс не стоит на месте. По-прежнему на полупроводниковых рынках идет жесткая конкурентная борьба», – сказал он.

Руководитель ОАО «Интеграл» рассказал, что во исполнение поручений Президента Республики Беларусь, данных им на совещании по вопросам развития микроэлектроники страны в июне 2022 года, при непосредственном участии специалистов предприятия была разработана Национальная программа развития микроэлектроники на период до 2030 года, которая была утверждена Правительством РБ в декабре 2022 года. Кроме того, была согласована с российской стороной и вступила в действие Дорожная карта сотрудничества в области микроэлектроники с предприятиями Российской Федерации. Было отмечено, что в ходе реализации дорожной карты разработаны четыре новых технологических процесса и десятки новых высоконадежных микросхем для российских партнеров предприятия, занимающихся производством перспективных радиоэлектронных устройств и систем.

## НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассказывая о том, что представляет собой «Интеграл» в настоящее время, Андрей Буйневич уделил внимание

также научной деятельности, проводимой специалистами холдинга, в число которых, по его словам, входят сотрудники, имеющие степени магистров, кандидатов и докторов наук, а также три члена-корреспондента НАН Беларуси.

Было отмечено, что руководством холдинга уделяется большое внимание развитию материально-технической базы научных исследований – как за счет собственных средств, так и с привлечением средств из государственного бюджета Беларуси. В частности, использование средств республиканского бюджета, предусмотренных на научную, научно-техническую и инновационную деятельность, позволило оснастить входящий в состав холдинга Государственный центр «Белмикроанализ» уникальным аналитическим и технологическим оборудованием, включающим в том числе масс-спектрометр вторичных ионов, многофункциональный растровый электронный микроскоп с интегрированной системой сфокусированного ионного пучка, прецизионные измерители параметров полупроводниковых приборов и проч.

«В тесном сотрудничестве с вузами и институтами НАН Беларуси было опубликовано более 40 научных статей и докладов конференций. Наиболее тесное сотрудничество осуществляется с БГУ, БГУИР, БНТУ, ГГУ им. Ф. Скорины, Институтом физики и НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, – рассказал Андрей Буйневич. – За последние десятилетия наши специалисты подготовили к печати несколько десятков монографий, учебных пособий и справочников, посвященных различным аспектам микроэлектроники – проектированию, технологии, корпусированию, тестированию микросхем, по которым белорусские и российские студенты сегодня изучают тонкости микроэлектронной профессии. Например, в библиотеке российской «кузницы микроэлектронных кадров» МИЭТ имеется 12 таких книг. Об их востребованности говорит и тот факт, что часть изданных в России книг затем была переиздана зарубежными издательствами на английском и китайском языках».

## ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Конечно, мы не могли не поинтересоваться, какие меры предпринимает холдинг для подготовки новых специалистов. Ответ на этот вопрос Андрей Буйневич начал с того, что одним из основных факторов обеспечения конкурентоспособности «Интеграла» является собственная научная база для подготовки кадров, а также тесное сотрудничество с техническими университетами Беларуси. «Подготовить профессионала для микроэлектроники – сложная задача. Опыт показал, что выпускник университета в нашей отрасли самостоятельным квалифицированным специалистом становится только через

пять-семь лет работы на производстве или в лаборатории, освоив все особенности этой профессии. Главная особенность профессии современного инженера микроэлектронного производства заключается в том, что квалифицированному специалисту в этой отрасли необходимо обладать исключительно широким кругозором, разбираться в физике твердого тела, химии, математике, физике, электротехнике, оптике, теории планирования многофакторных экспериментов при поиске оптимальных условий, современных методах математического и статистического анализа, владеть практическими навыками применения сложного аналитического оборудования и многим другим», – отметил он.

Андрей Буйневич указал на то, что в холдинге особое внимание уделяется системе подготовки молодых сотрудников, и это касается как инженерных кадров, так и техников, операторов, рабочих. По его словам, «Интеграл», помимо вузов, тесно сотрудничает с Минским государственным колледжем цифровых технологий, а подготовка и отбор кадров для работы в научно-технических центрах, конструкторско-технологических службах и на производствах холдинга проводится в пяти филиалах кафедр белорусских вузов, организованных на базе «Интеграла».

## ПРОДУКЦИЯ «ИНТЕГРАЛА»: ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ

Сегодня основная продукция предприятия включает в себя микросхемы силовой и автомобильной электроники, блоки управления для бытовой, промышленной, автомобильной и сельскохозяйственной техники, дискретные полупроводниковые приборы, медицинские изделия, электронные табло и проч. По словам Андрея Буйневича, основные продажи микросхем в страны дальнего зарубежья приходятся на силовую электронику, стандартные аналоговые микросхемы для источников питания (источники опорного напряжения, регуляторы и стабилизаторы напряжения, многоканальные токовые драйверы), микросхемы для телекоммуникаций, интерфейсные ИС.

На наш вопрос о перспективах развития ЭКБ производства холдинга «Интеграл», его руководитель ответил: «В последние годы спектр разрабатываемых и осваиваемых изделий был ограничен технологическими возможностями кристалльного производства. Сегодня мы делаем шаг вперед. В рамках инвестиционного проекта «Модернизация производственных линий 150 и 200 мм для обеспечения импортозамещения изделий промышленного и специального назначения», кроме расширения и обновления парка технологического оборудования, предусмотрено освоение четырех новых технологий, что позволит разрабатывать

и осваивать коммерческие интегральные микросхемы с высокой интеллектуальной составляющей в цене конечного изделия». Среди такой продукции были названы интегральные микросхемы силовой и автомобильной электроники (линейные и импульсные стабилизаторы напряжения, DC/DC-преобразователи, высоковольтные LED-драйверы для промышленных, автомобильных, бытовых систем освещения, драйверы управления MOSFET), АЦП и ЦАП, мультиплексоры для фотоприемных устройств, ИС низковольтных быстродействующих логических серий, микросхемы радиочастотной идентификации (RFID).

Кроме того, было отмечено, что кроме традиционной для «Интеграла» кремниевой технологии холдинг приступил к исследовательским работам, связанным с использованием других полупроводниковых материалов, в том числе так называемых широкозонных гетероструктур, а именно – нитрида галлия. Этим в холдинге занимаются специалисты отраслевой лаборатории новых материалов и технологий. В прошлом году уже были получены экспериментальные образцы силового GaN-транзистора, а в ближайшие годы предприятие планирует реализовать ряд соответствующих ОКР по разработке и освоению первых белорусских силовых транзисторов на нитриде галлия.

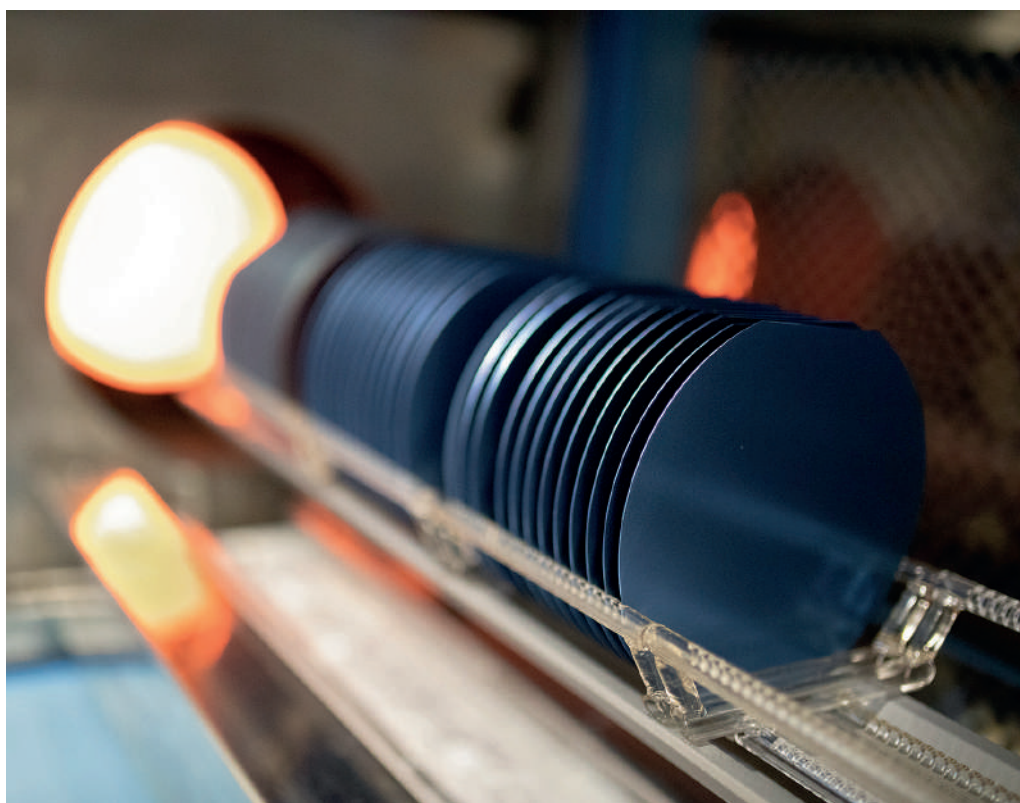
### КРИСТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ИЗНУТРИ: ЧИСТЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ И ПОМЕЩЕНИЯ ЕЩЕ ЧИЩЕ

Как нам рассказали представители предприятия, в настоящее время в составе холдинга «Интеграл» есть несколько производственных площадок, включающих как кристалльные фабрики, так и сборочные производства.

Мы побывали на кристалльном производстве, расположенном в филиале «Завод полупроводниковых приборов» холдинга «Интеграл» и специализирующемся на изготовлении пластин диаметром 150 и 200 мм с интегральными схемами с минимальными проектными нормами 0,35 мкм. Это именно тот модуль, который был построен в 1991-м и модернизирован в 2010-м году, о чем нам в начале нашего визита на предприятие рассказал Андрей Буйневич. Экскурсию по чистой зоне для нас провел заместитель руководителя производства Владимир Шикило.

Модуль представляет собой чистую зону, разделенную на отдельные помещения – коридоры, как их назвал наш гид по производству. Само собой, в самые чистые помещения, где обрабатываются пластины, мы не заходили: в них поддерживаются особые условия не только с точки зрения наличия пыли, но и по другим параметрам – температуре и влажности, причем поддерживаются они там круглосуточно. Как нам рассказал Владимир Шикило, в некоторых случаях даже изменение атмосферного давления может негативно сказаться на техпроцессе. «Некоторые установки у нас настроены на определенный диапазон давлений, характерный для нашей местности. Если давление выходит за этот диапазон, машина просто блокируется и не позволяет далее продолжать работу», – сказал он.

Мы прошли вдоль коридоров с одного из их торцов, наблюдая за работой производства через стеклянные стенки. В помещении, в котором мы находились, также поддерживаются определенные параметры атмосферы, хотя они не настолько жесткие. Все помещения выполнены с учетом защиты от статического электричества. Фальш-пол имеет черные прожилки – это графит, снижающий электрическое сопротивление пола, тем самым не позволяя накапливаться заряду. Стены выкрашены специальной краской, также антистатической.



Кремниевые пластины на производстве

Части оборудования, в которых непосредственно происходит обработка пластин, размещены внутри чистых коридоров, а вспомогательные его части, такие как, например, шкафы питания, частично расположены в помещении, где находились мы. Противоположным торцом коридоры выходят в общий проход, в котором также поддерживаются жесткие параметры атмосферы. По этому проходу переносятся пластины между операциями. На предприятии не используются SMIF-контейнеры, пластины транспортируются в специальной транспортной таре. Чистота прохода это позволяет.

Персонал, задействованный в техпроцессе, заходит в чистые помещения через шлюз, перед которым расположен коридор с обдувом. Обдув включает датчик движения и предназначен для того, чтобы удалить пыль, осевшую на комбинезонах работников.

При нахождении в чистых помещениях комбинезоны, маски, шлемы и специальная обувь обязательны. Они обладают антистатическими свойствами и предотвращают попадание в атмосферу пыли, образуемой человеческим телом. Как нам рассказали на предприятии, спецодежда для работы в чистых помещениях регулярно стирается в организованной на производственной площадке прачечной, причем стирка осуществляется в деионизированной воде.

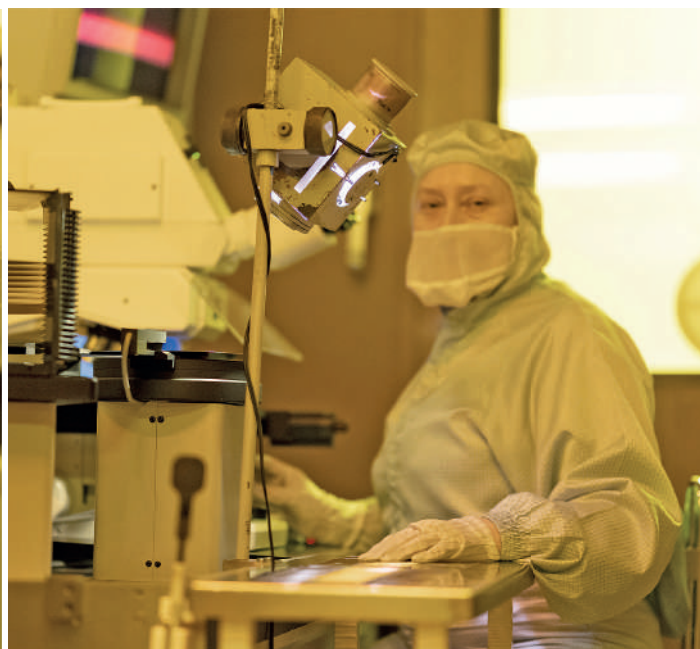
Комплекс мер, реализованных на предприятии, позволяет обеспечить в тех помещениях, где это необходимо, уровень чистоты атмосферы вплоть до наивысшего класса – 1 ИСО.

## НАНЕСЕНИЕ И ЭКСПОНИРОВАНИЕ ФОТОРЕЗИСТА

По словам Владимира Шиколо, пластины, изготавливаемые на данной площадке, могут проходить по разным маршрутам, существенно отличающимся между собой. В некоторых случаях пластина проходит по маршруту за три-четыре недели, в некоторых для этого необходимо полгода. Но поскольку речь идет о формировании на пластинах различных областей, в любом маршруте ключевую роль играет фотолитография. Неудивительно, что в первом коридоре, который нам был показан, выполняется именно эта операция.

Данный участок был модернизирован в 2008 году для работы с пластинами диаметром 200 мм и проектными нормами до 0,35 мкм. Здесь выполняется нанесение на пластину фоторезиста и его экспонирование на ступе, а также остальные операции, связанные с получением рисунка на фоторезисте, такие как проявление и задубливание.

Класс чистоты этого помещения – 1 ИСО, что означает, что в 1 м<sup>3</sup> воздуха может находиться не более 10 частиц размером 0,1 мкм и более, и не более 2 частиц размером 0,2 мкм и более. Эти экстремально высокие требования по чистоте атмосферы продиктованы тем, что одна пылинка, оказавшаяся в неудачном месте при экспонировании, может привести к браку целого кристалла на пластине. Как рассказали нам на предприятии, пластина может проходить от 7 до 32 операций фотолитографии, и вероятность образования дефекта необходимо



На участке фотолитографии

свести к минимуму на каждой из них, так как цена ошибки, в особенности на этапах изготовления пластины, весьма существенна, учитывая то, как долго проходит пластина по маршруту.

Для снижения влияния дефектов на качество экспонирования фоторезиста, помимо обеспечения высокой чистоты воздуха, применяются и другие меры. Так, на фотошаблон с двух сторон наносится специальная прозрачная пленка. Небольшая пылинка оказавшаяся на ее поверхности, оказывается расположена на таком удалении от слоя рисунка фотошаблона, что при экспонировании она будет не в фокусе, за счет чего ее изображение на поверхности пластины «расплывется» и не сможет оказать существенного влияния на формирование рисунка.

Кроме того, перед выполнением каждой новой операции фотолитографии фотошаблоны перед установкой в степпер проверяются и при необходимости дополнительно очищаются, что также снижает риски образования дефектов, связанных с загрязнениями. После того как новый фотошаблон подготовлен и установлен в степпер, работник выполняет так называемые отъемы пластины, то есть пробные операции, чтобы убедиться, что экспонирование происходит правильно, и только после этого запускается печать на серийных пластинах.

Помимо высокого уровня чистоты атмосферы, в данном помещении поддерживаются особенно точные параметры по температуре и влажности. Кроме того, сам степпер обеспечивает стабильность данных параметров в рабочей камере установки, поскольку даже небольшое их изменение может привести к проблемам совмещения формируемого рисунка с уже имеющимися на пластине слоями.

Нам был показан и другой участок фотолитографии, предназначенный для работы с минимальными проектными нормами 0,5 мкм на пластинах диаметром 150 мм. Здесь применяется более старое оборудование: степпер был приобретен в 2001 году. А для более крупных проектных норм используются установки, которые работают еще с 1991 года. Как рассказали нам на производстве, это оборудование, конечно, не может выполнять формирование рисунков для более современных технологий, но продолжает успешно справляться со своими задачами при изготовлении относительно простых кристаллов.

После того как экспонирование выполнено, а фоторезист проявлен и задублен, можно приступать к операции, формирующей соответствующие области на пластине. Таких операций в маршруте несколько, и их набор и последовательность зависят от конкретного изделия. Заместитель руководителя производства показал нам оборудование, на котором выполняются некоторые основные операции маршрута: термодиффузия, ионная

имплантация, оксидирование, химическое и плазмохимическое травление, а также напыление пленок.

## ОКСИДИРОВАНИЕ, ТЕРМОДИФфуЗИЯ И ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ

Для формирования областей с электронной и дырочной проводимостью в кремний вводятся примеси. Для этих целей на предприятии используются четыре вещества: бор, мышьяк, фосфор и сурьма. Примеси вводятся либо термодиффузией, либо ионной имплантацией. Эти операции отличаются как по своему механизму, так и по назначению.

Термодиффузия выполняется в среде газа-диффузанта, содержащего соответствующую примесь, при повышенной температуре, под действием которой атомы примеси, собственно, диффундируют в кремний. Как рассказал нам Владимир Шикун, термодиффузия применяется лишь в определенных случаях, например для легирования поликремния или формирования эмиттерных областей у биполярных транзисторов – там, где требуются очень большие концентрации примесей.

В большинстве же случаев используется ионная имплантация. Ее механизм заключается в том, что молекула исходного вещества, например  $BF_3$ , расщепляется на отдельные атомы, и атомам примеси (в данном примере – бора) придается определенная энергия, благодаря которой атом проникает в кремний на нужную глубину. Таким образом можно управлять концентрацией и глубиной залегания примеси. Если атомы примеси тяжелые и непосредственно ионной имплантацией не удастся обеспечить достаточно большую глубину их проникновения, применяется так называемая разгонка кармана, выполняемая при температуре 1150–1200 °C в течение длительного времени – до 20 ч. При этом примеси распределяются на большей глубине.

На участке, где осуществляется термодиффузия, выполняется и ряд других термических операций, включая вжигание алюминия и оксидирование, а также уже упомянутую разгонку карманов. Здесь работают различные установки – как достаточно новые, так и произведенные еще в Советском Союзе и установленные на предприятии в 1991 году.

Оксидирование – также очень важная операция в производстве интегральных схем. В частности, оксидная пленка на кремнии формируется под затвором МОП-транзистора. Как отметил Владимир Шикун, в некоторых случаях требуется создание очень тонкой оксидной пленки. Например, в туннельных транзисторах она может составлять всего 7 нм.

Показывая установки ионной имплантации, заместитель руководителя производства указал на то, что их стенки обеспечивают радиационную защиту. В этой операции используются ионы высокой энергии, поэтому такие меры необходимы для защиты персонала.



## НАПЫЛЕНИЕ ПЛЕНОК

Пленки также могут получаться с помощью химических процессов, и такое оборудование на предприятии есть. Но когда толщина пленки небольшая, а требования к ней достаточно жесткие, применяется другой процесс – магнетронное напыление пленок в вакууме (процесс напыления пленки с мишени на пластину).

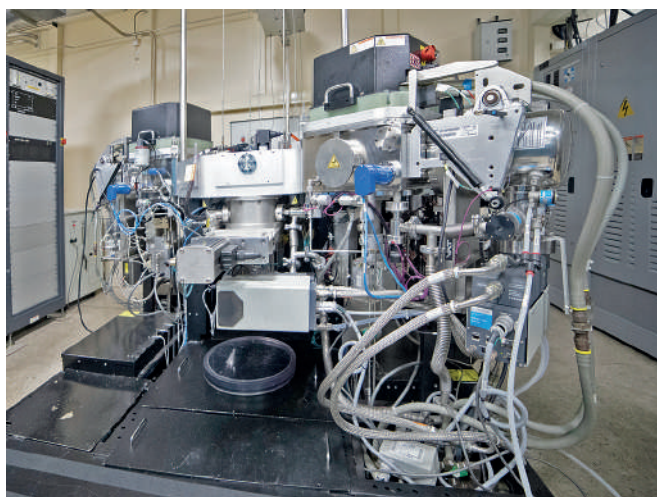
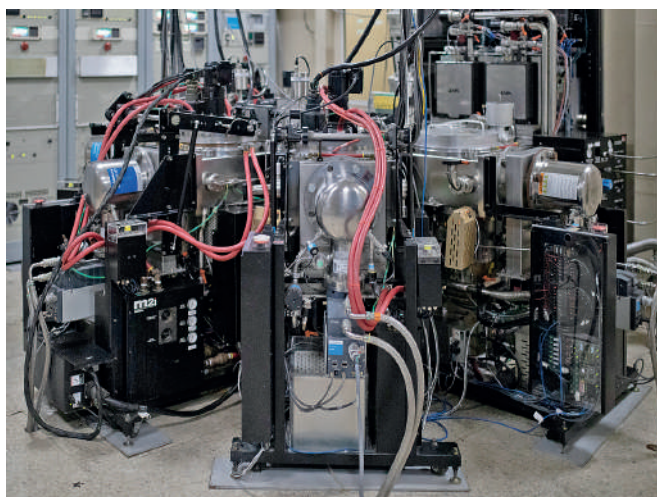
«В этих установках давление составляет  $10^{-8}$  торр. Здесь мы можем напылять пленки из различных материалов, а также формировать многослойные структуры», – сказал Владимир Шиколо, показывая нам оборудование для вакуумного напыления.

Участок фотолитографии,  
плазмохимического травления  
и контроля внешнего вида

## ХИМИЧЕСКОЕ И ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ

Для удаления материала с определенных мест на пластине или со всей ее поверхности применяется травление, которое может выполняться химическим или плазмохимическим способом.

Химическое травление – это «мокрый» процесс, в котором материал удаляется за счет химической реакции с кислотой. «В микроэлектронике используются практически все основные кислоты – серная, соляная, плавиковая, ортофосфорная», – отметил Владимир Шиколо. Главный недостаток химического процесса – то, что травление идет во всех направлениях с равной скоростью, из-за чего в областях, закрытых фоторезистом, материал также стравливается – образуются подтравы. «Если у вас проектная норма, допустим, 0,6 мкм и толщина пленки, которую необходимо стравить, тоже 0,6 мкм, то при химическом травлении у вас просто не останется материала между соседними элементами. Поэтому с уменьшением проектных норм всё шире применяется плазмохимия», – пояснил сопровождавший нас представитель предприятия. Плазмохимическое травление, в отличие от химического, удаляет материал только в направлении, перпендикулярном поверхности пластины. Таким образом, подтравка не возникает, и этот процесс может быть использован для получения более тонких структур.



Установки вакуумного напыления

## СНЯТИЕ ФОТОРЕЗИСТА

После того как операция с использованием фоторезиста выполнена, его необходимо удалить с поверхности пластины. Это выполняется путем химического снятия в серной кислоте с перекисью водорода, нагретой до 150 °С. На предприятии используются несколько установок снятия фоторезиста. Одна из них работает еще с 1991 года. По словам Владимира Шиколо, она свои задачи выполняет, но существенным преимуществом более новых установок, приобретенных предприятием около пяти лет назад, является то, что они полностью герметичные, что обеспечивает большую безопасность персонала.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

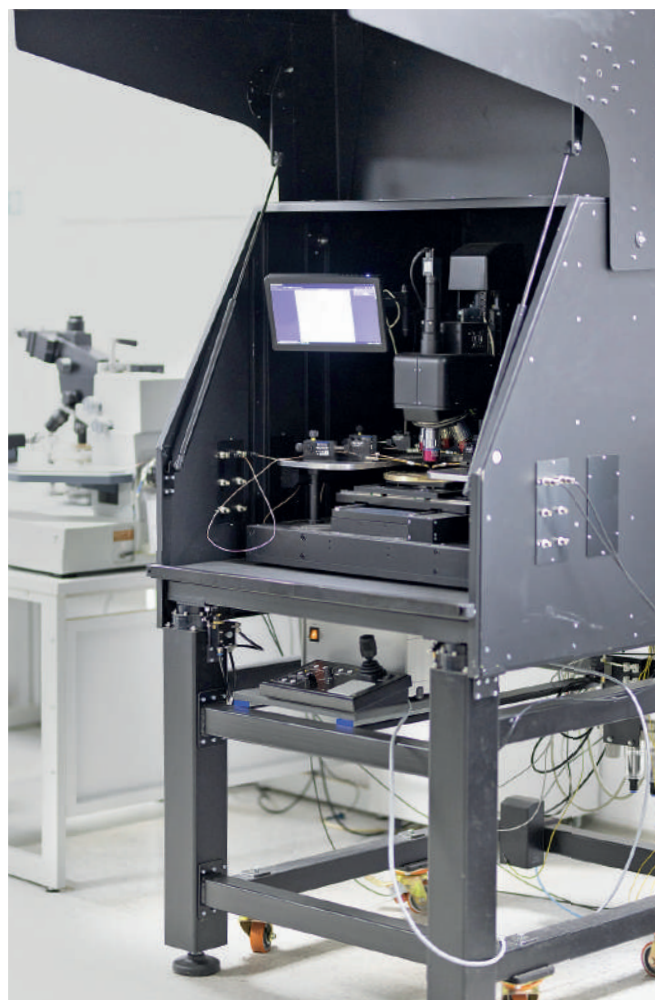
Маршрут производства полупроводниковых пластин сложен и включает множество операций, каждая из которых влияет на качество готовой продукции. Контроль процессов и выявление дефектов на ранних стадиях позволяет снизить цену ошибки, поэтому на каждом этапе предусмотрены определенные контрольные операции.

«В зависимости от изделия, конкретной операции и вероятности образования дефекта контроль может быть обычный или усиленный. У пленок измеряется толщина, при формировании рисунка проверяется топология под микроскопом. Также измеряется толщина нанесенного фоторезиста, – сказал заместитель руководителя производства. – Но машины достаточно точные, поэтому 100%-ный пооперационный контроль, как правило, не требуется. Есть определенные процедуры: в некоторых случаях контроль выполняется раз в смену, а в некоторых – раз в три дня».

Когда на пластине сформированы транзисторы, осуществляется измерение их вольт-амперных характеристик. Это выполняется в чистых помещениях. А после того как пластины готовы полностью и на них уже присутствует защитный слой, в котором вскрыты только контактные площадки, они передаются на финальный контроль.

Финальный контроль делится на макро- и микроконтроль: сначала пластины осматриваются на предмет видимых дефектов в целом, а затем под микроскопом проверяются отдельные кристаллы. «Некоторые изделия

Оборудование снятия фоторезиста



Контрольно-измерительное оборудование





подвергаются 100%-ному микроконтролю. Но когда речь идет о простых изделиях, например о микросхемах стабилизаторов напряжения общего применения, которых на пластине может быть несколько десятков тысяч, смысла проверять каждый компонент нет», – рассказал Владимир Шикуну.

После финального контроля пластины либо упаковываются в коробки для поставки внешним заказчикам, либо передаются на сборочное производство, где разделяются на кристаллы, которые монтируются в металлокерамические или пластиковые корпуса в зависимости от их назначения.

На этом сложный и длительный процесс кристалльного производства заканчивается.

*Фото предоставлены  
ОАО «Интеграл»*

Финальный контроль

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 1090 руб.

# ОСНОВЫ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Белоус А. И., Солодуха В. А., Ефименко С. А., Пилипенко В. А.

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
2019. – 424 с.  
ISBN 978-5-94836-565-7

В книге представлена информация о принципах работы, основных технических характеристиках и технологиях изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, применяемых в силовой электронике.

Рассмотрена элементная база для вторичных источников питания, управления электродвигателями и осветительным оборудованием, для автомобильной электроники, управления MOSFET и IGBT. Отдельные главы посвящены приборам на основе широкозонных полупроводников — нитрида галлия, карбида кремния и арсенида галлия. Рассмотрены вопросы высокотемпературной обработки в технологии приборов для силовой электроники, особенности корпусирования мощных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

Книга ориентирована на широкий круг читателей — научных и инженерно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов, изучающих и применяющих элементную базу силовой электроники.

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ

### ИМИТАТОР ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ ИП-5



Для проверки устойчивости технических средств к пачкам импульсов наносекундной длительности в соответствии с ГОСТ IEC 61000-4-4-2016

### ИМИТАТОР ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ ИП-8



Для испытания технических средств на устойчивость к микросекундным импульсам большой энергии в соответствии с ГОСТ IEC 61000-4-5-2017

## ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

тел.: (+375 17) 226-10-31, e-mail: [ok.kokhovich@mail.by](mailto:ok.kokhovich@mail.by)

ОАО «Планар»

220033, Республика Беларусь, г. Минск, Партизанский пр-т 2, корп. 2-31;

факс.: +375 17 226-12-05; тел.: +375 17 297-37-09; [www.planar.by](http://www.planar.by), [office@kbtem-omo.by](mailto:office@kbtem-omo.by)



## МИКРОСХЕМА ШЕСТНАДЦАТИРАЗЯДНОГО ДВУНАПРАВЛЕННОГО ПРИЁМОПЕРЕДАТЧИКА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ 5584ИН2У

Микросхема шестнадцатиразрядного двунаправленного приемопередатчика с возможностью преобразования уровней изготовлена по радиационно-стойкой КМОП-технологии. Микросхема предназначена для использования в устройствах космического и специального назначения, в высокоскоростных интерфейсах систем асинхронной приема-передачи данных, буферизации и преобразования уровней цифровых сигналов, а также в системах резервирования (функция «холодного резервирования» – при наличии на выводах  $V_{CCB}$  и  $V_{CCA}$  напряжения  $\sim 0$  В (GND)). При этом входы-выходы микросхемы находятся в состоянии «обрыва цепи» со значением сопротивления относительно общего вывода не менее 1 МОм. В микросхеме на входах предусмотрены элементы триггера Шмитта с целью обеспечения возможности работы с входными сигналами с длительностью фронта (спада) до 100 мс. При питаниях портов «А» и «В»  $U_{CC} = 1,65 \div 3,6$  В, благодаря наличию у них функции толерантности, возможна трансляция 5-вольтовых входных сигналов в любой из этих диапазонов, что существенно расширяет область применения данной ИС.

Для использования ИС в качестве приемопередатчика цифровых сигналов устанавливают одинаковые питающие напряжения портов  $V_{CCA}$  и  $V_{CCB}$  в диапазоне от 2,7 до 5,5 В.

### Основные характеристики:

- диапазон напряжений питания:  $1,65 \div 5,5$  В;
- диапазон рабочих температур:  $-60 \div 125^\circ\text{C}$ ;
- трансляция уровней напряжений:  $1,65 \div 3,6$  В  $\leftrightarrow$   $4,5 \div 5,5$  В;
- разрядность цифрового сигнала:  $2 \times 8$  (16) бит;
- стойкость к СВВФ: 500 кРад.

Возможность отдельной работы каждой 8-битовой части на разных напряжениях питания и в различных режимах. Совместимость входов и выходов/выходов с 5-В стандартами питания при  $U_{CC} = 1,65 \div 3,6$  В. Наличие режима «холодное резервирование» (cold sparing). Основные электрические параметры микросхемы 5584ИН2У приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Основные электрические параметры микросхемы**

Наименование параметра	Обозначение параметра	Напряжение питания		Норма		Температура среды, °С
		$U_{CC1}$ , В	$U_{CC2}$ , В	не менее	не более	
Напряжение срабатывания, В	$U_{IT+}$	2,7	2,7	–	$0,7U_{CC}$	$25 \pm 10$ ; $-60$ ; 125
		5,5	5,5			
Напряжение отпускания, В	$U_{IT-}$	2,7	2,7	0,3 $U_{CC}$	–	$25 \pm 10$ ; $-60$ ; 125
		5,5	5,5			
Напряжение гистерезиса, В	$U_h$	$2,7 \div 3,6$	$2,7 \div 3,6$	0,4	–	$25 \pm 10$ ; $-60$ ; 125
		$4,5 \div 5,5$	$4,5 \div 5,5$	0,6		
Ток потребления, мкА	$I_{CC1}$	5,5	5,5	–	10	$25 \pm 10$
	$I_{CC2}$	5,5	5,5		400	$-60$ ; 125
Ток утечки в режиме превышения, мкА, при $U_{PD} = 5,5$ В	$I_{PD}$	0	0	–	1,2	$25 \pm 10$
		0	0		20	$-60$ ; 125
Время задержки распространения при включении, выключении от входов А к выходам В, от входов В к выходам А, нс при $C_L = 50$ пФ	$t_{PHL}$ , $t_{PLH}$	2,7	2,7	–	20	$25 \pm 10$ ; $-60$ ; 125
		4,5	4,5		15	

Примечание:  $U_{CC1}$  – напряжение питания на выводах  $V_{CC1B}$  и  $V_{CC2B}$ ;  $U_{CC2}$  – напряжение питания на выводах  $V_{CC1A}$  и  $V_{CC2A}$ .

Микросхема выполнена в 48-выводном корпусе 5142.48-A (CLCC-48).  
 Обозначение выводов микросхемы в корпусе 5142.48-A проведено на рис. 1,  
 назначение выводов – в табл. 2.

**Рис. 1. Обозначение выводов микросхемы  
 в корпусе 5142.48-A (CLCC-48)**



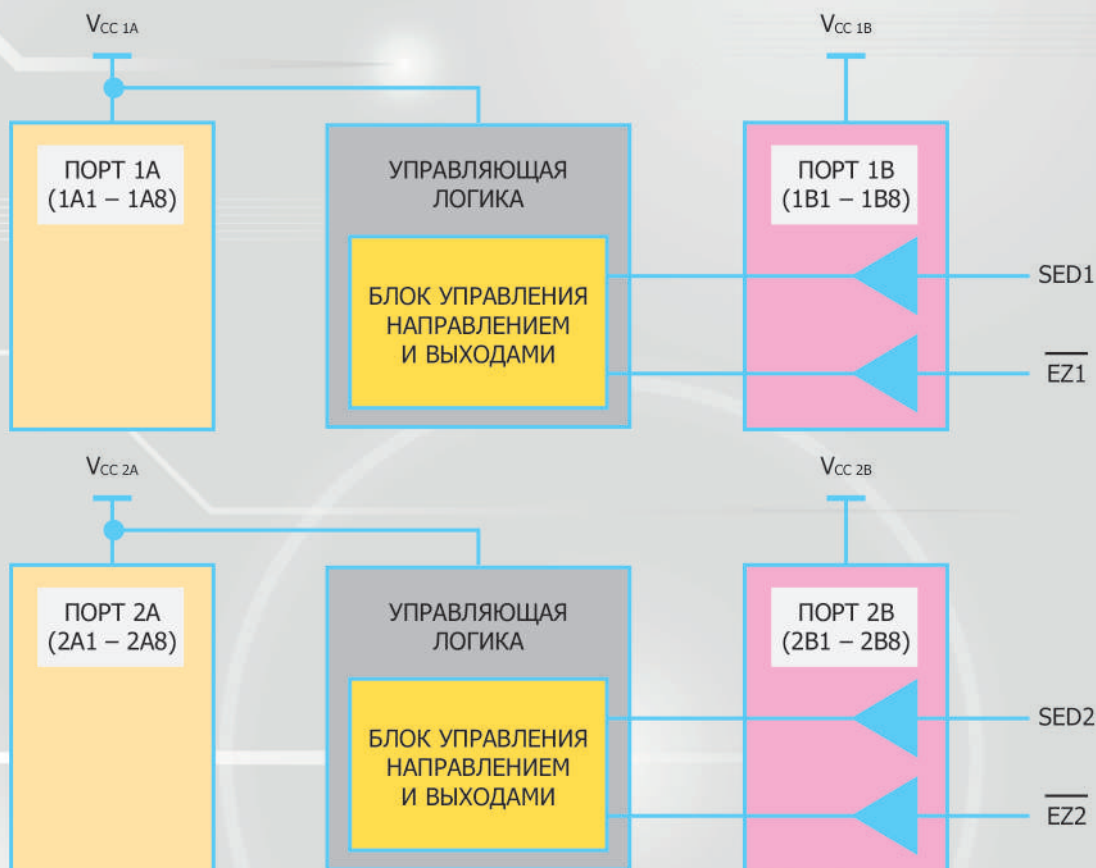
**Таблица 2. Назначение выводов микросхемы**

Номер вывода корпуса		Обозначение		Назначение
1-й приемопередатчик	2-й приемопередатчик	1-й приемопередатчик	2-й приемопередатчик	
47	22	1SED	2SED	Вход сигнала выбора направления передачи данных
48	11	1B1	2B1	Вход / выход шины данных B1
01	12	1B2	2B2	Вход / выход шины данных B2
02	13	GND		Общий вывод
03	14	1B3	2B3	Вход / выход шины данных B3
04	15	1B4	2B4	Вход / выход шины данных B4
05	16	V <sub>CC1B</sub>	V <sub>CC2B</sub>	Вывод питания от источника напряжения для входов / выходов nB1÷ nB8, входов nEZ и nSED
06	17	1B5	2B5	Вход / выход шины данных B5
07	18	1B6	2B6	Вход / выход шины данных B6
08	19	GND		Общий вывод
09	20	1B7	2B7	Вход / выход шины данных B7
10	21	1B8	2B8	Вход / выход шины данных B8
35	24	1A8	2A8	Вход / выход шины данных A8
36	25	1A7	2A7	Вход / выход шины данных A7
37	26	GND		Общий вывод
38	27	1A6	2A6	Вход / выход шины данных A6
39	28	1A5	2A5	Вход / выход шины данных A5
40	29	V <sub>CC1A</sub>	V <sub>CC2A</sub>	Вывод питания от источника напряжения для входов / выходов nA1÷ nA8
41	30	1A4	2A4	Вход / выход шины данных A4
42	31	1A3	2A3	Вход / выход шины данных A3
43	32	GND		Общий вывод
44	33	1A2	2A2	Вход / выход шины данных A2
45	34	1A1	2A1	Вход / выход шины данных A1
46	23	$\overline{1EZ}$	$\overline{2EZ}$	Вход разрешения выхода

Вывода V<sub>CC1A</sub> и V<sub>CC2A</sub>, вывода V<sub>CC1B</sub> и V<sub>CC2B</sub> конструктивно внутренне не связаны между собой.  
 Вывод 37 (GND) конструктивно соединен с крышкой корпуса.

Блок-схема формирования функциональной логики микросхемы 5584ИН2У приведена на рис. 2, таблица истинности – в табл. 3, таблица питаний портов для различных режимов работы – в табл. 4.

**Рис. 2. Блок-схема формирования функциональной логики микросхемы**



**Таблица 3. Таблица истинности микросхемы**

Вход		Операция
$\overline{nEZ}$	$nSED$	
L	L	Передача данных от порта В к порту А
L	H	Передача данных от порта А к порту В
H	X	Порты изолированы (выходы в состоянии «Выключено»)

Примечание: L – низкий уровень напряжения;  
 H – высокий уровень напряжения;  
 X – любой уровень напряжения (низкий или высокий)

**Таблица 4. Таблица питаний портов для различных режимов работы**

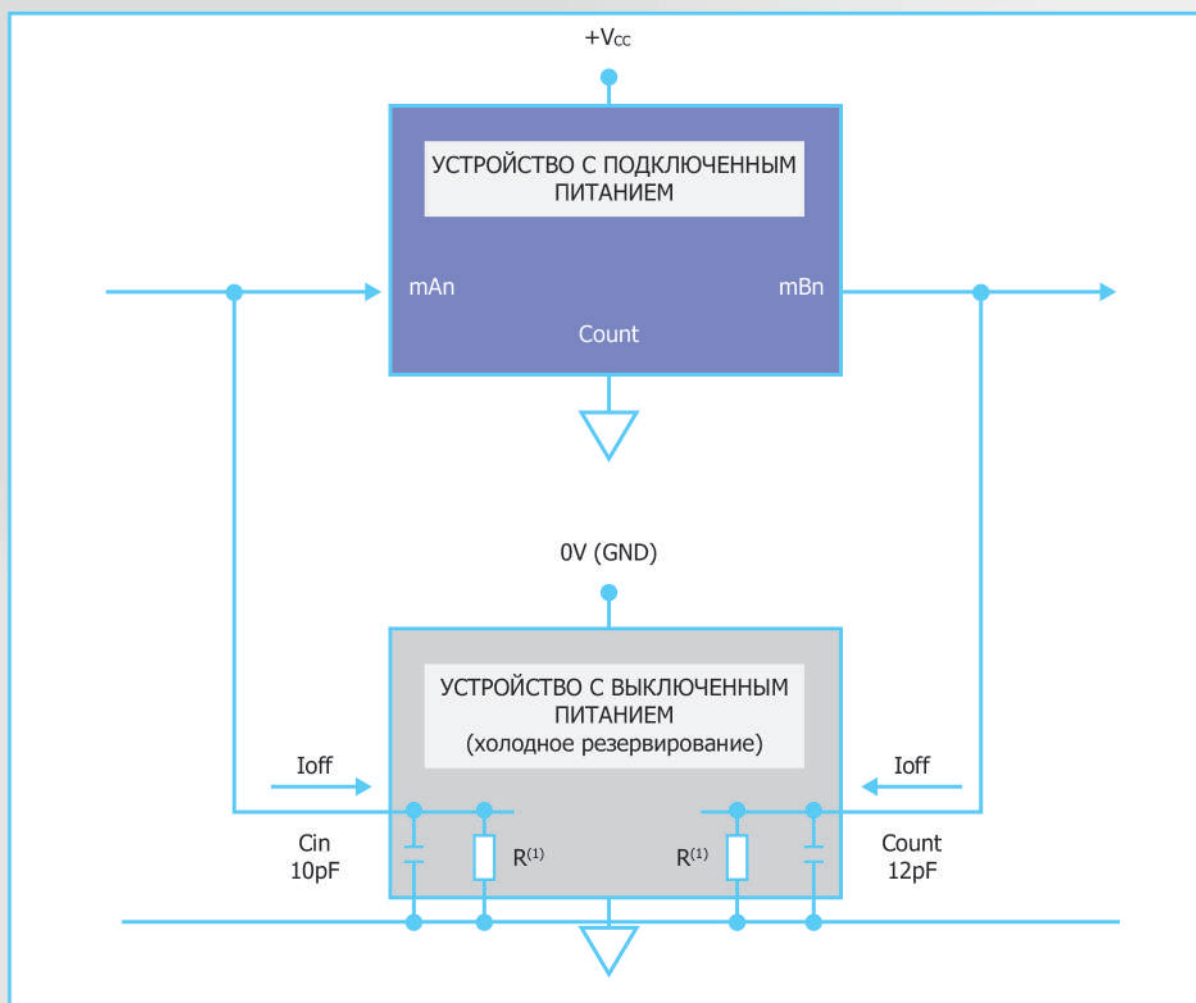
Порты В ( $V_{CCB}$ ), В	Порты А ( $V_{CCA}$ ), В	Режим работы ( $U_{CC1} \geq U_{CC2}$ )
2,7 ÷ 3,6	1,65 ÷ 1,95	Транслятор уровня напряжения
4,5 ÷ 5,5	1,65 ÷ 1,95	
4,5 ÷ 5,5	2,7 ÷ 3,6	
1,65 ÷ 1,95	1,65 ÷ 1,95	Приемопередатчик (буфер данных)
2,7 ÷ 3,6 В	2,7 ÷ 3,6 В	
4,5 ÷ 5,5 В	4,5 ÷ 5,5 В	
GND	GND	Режим холодного резервирования

### Холодное резервирование (cold sparing)

Режим холодного резервирования осуществляется, когда оба питания  $V_{CCA}$  и  $V_{CCB}$  установлены в  $0\text{ В} \pm 0,3\text{ В}$  с максимальным полным сопротивлением между выводами питания и GND  $1\text{ кОм}$ . При нахождении в режиме «холодного резервирования» все входы и входы/выходы могут находиться в состоянии высокого импеданса или в состоянии «обрыва цепи» со значением сопротивления относительно общего вывода не менее  $1\text{ МОм}$ .

Кроме того, в режиме холодного резервирования напряжение на портах A и B может иметь значения  $-0,3\text{ В}$  или  $U_{CC}+0,3\text{ В}$ . В дополнение к высокой надежности холодное резервирование позволяет избыточному устройству быть связанным с шиной данных без влияния на сигналы шины или инжекцию тока из цепей входов/выходов в цепи питания. Холодное резервирование также позволяет поддерживать не запитанные избыточные устройства таким образом, чтобы они могли включаться только при необходимости. Таким образом, потребление энергопитания снижается посредством отключения избыточных, в данный момент, устройств. Режим «холодного резервирования» позволяет эффективно разрабатывать резервирование систем центральной обработки сигналов, приема-передачи данных и прочих. Использование режима холодного резервирования отдельно на шинах  $V_{CCA}$  или  $V_{CCB}$  не допускается. Пример построения функции холодного резервирования приведен на рис. 3.

**Рис. 2. Пример построения функции холодного резервирования**



1.  $R = I_{off}/V_{CC}$