

РАЗВИТИЕ НАШИХ ТЕХНОЛОГИЙ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ПОТРЕБНОСТЯМИ РЫНКА

Рассказывает генеральный директор GS Nanotech Е.И.Масленников



В марте 2017 года центр разработки и производства микроэлектроники GS Nanotech (в составе инновационного кластера "Технополис GS", г. Гусев Калининградской обл.) сообщил о запуске в массовое производство многокристального микропроцессора для потребительской электроники SiP Emerald N2M. К концу августа 2017 года планируется выпустить до 2 млн данных изделий. Это новое поколение микропроцессоров компании по технологии SiP (System-in-Package, система в корпусе). Выйти на массовое производство систем в корпусе третьего поколения предполагается к концу 2017 года. Помимо этого, GS Nanotech создает интегральные схемы для потребительского и коммерческого использования, первые российские SSD-накопители корпоративного класса, MEMS-датчики, инерциальные измерительные модули, активно включается в развитие концепции Интернета вещей (IoT). Генеральный директор GS Nanotech Е.И.Масленников рассказал нам, как создавалось производство микроэлектронной продукции, формировались компетенции в области корпусирования интегральных схем, а также о проектах компании, ее планах и своем видении работы российских производителей на российском и международном рынках микроэлектроники.

Евгений Ильич, GS Nanotech является единственным в России разработчиком и производителем многокристалльных микропроцессоров по технологии SiP. Как компания пришла к решению взять на себя столь сложное техническое направление?

Открывая новые предприятия, холдинг GS Group (инвестор "Технополиса GS". – *Прим. ред.*) всегда предварительно готовит "фундамент". Когда принималось решение об организации производства по корпусированию компонентов, холдинг уже выпускал цифровые ТВ-приставки, в том числе металлические и пластиковые корпуса для них. Изготовление собственной компонентной базы стало следующим шагом, экономическая выгода, целесообразность, возможности и потенциальные риски которого уже были хорошо понятны.

Изначально ставка была сделана на трансфер зарубежных технологий и компетенций опытных игроков мирового рынка в Россию. Мы достигли соответствующих договоренностей с португальской компанией Nanium, работающей в полупроводниковой промышленности более 20 лет. Ранее она была подразделением Siemens, в 2017 году ее приобрела компания Amkor Technology, Inc. В течение полугода 30 сотрудников GS Nanotech обучались в Nanium технологии корпусирования, знакомились со всеми этапами производственного процесса на примере памяти DDR2. У компании также было приобретено основное оборудование, вкуче с наработанным опытом все это позволило нам взять хороший старт.

После этого мы начали заниматься разработкой и создали собственный сопроцессор GS Lanthanum, который используется в ряде ТВ-приставок под брендом General Satellite. Далее мы освоили технологию SiP. Главной причиной нашего выбора стали современные требования к производимому в "Технополисе GS" оборудованию – цифровым телевизионным приставкам: заказчикам нужны были максимально мощные решения, обеспечивающие все возможности телевидения, при этом важно было избежать рисков несанкционированного доступа к контенту. Именно технология SiP позволила создать современное решение на основе высокопроизводительных процессоров от ведущих мировых производителей, обладающее высокой степенью

защиты, сравнимой с защищенностью доверенной электроники.

Материалы и компоненты ваших изделий российского или зарубежного производства?

Для обработки данных телевидения в реальном времени требуются высокопроизводительные процессоры и передовые чипы памяти. С точки зрения топологических норм, это 40 и даже 28 нм. Производителей, работающих с такими нормами, в России нет, поэтому кристаллы нам поставляют только зарубежные компании, среди которых STMicroelectronics, MStar, Toshiba, Winbond. По кристаллам памяти есть и другие поставщики, но в отношении центральных процессоров выбор очень ограничен.

Используя технологию SiP, наши специалисты создали современное решение на основе высокопроизводительных процессоров, обладающее высокой степенью защиты

Сопроцессор – наша собственная разработка, остальные кристалльные решения мы приобретаем уже готовые. К нам поступают целые пластины с уже готовой топологией, резка осуществляется на нашем предприятии. Достаточно сложными изделиями являются и подложки для наших микропроцессоров. Они представляют собой печатные платы высокой плотности – 6–7 класса. Подложки разрабатываются нашими специалистами, а заказываются на Тайване и в Китае. В мире также весьма ограниченное количество производителей, способных изготавливать такие платы с необходимым качеством и достаточной серийностью – до 3 млн в год. Проволока для разварки, в том числе и медная, – тоже зарубежного производства.

21 октября 2016 года в Москве состоялся круглый стол "Троянская микроэлектроника vs. разработка и производство конкурентоспособных электронных компонентов и устройств в России", организованный ИАА Telecom Daily совместно с холдингом GS Group, где речь шла об углублении локализации производства электронных ком-

понентов и устройств. Вместе с тем, вы говорите, что количество производителей изделий определенного уровня ограничено не только в России, но и во всем мире. Как вы оцениваете потенциал российских предприятий в отношении глубокой локализации производства в области ЭКБ?

Прежде всего, нужно понимать, что микроэлектроника – это область, в которой полностью замкнуть цикл внутри одной страны невозможно. Этот сегмент рынка настолько глобален, что в нем обязательно существует потребность в зарубежных поставщиках. Если это не производители кристаллов, то, возможно, разработчики программных средств или, например, производители шариковых выводов для корпусов BGA, которых в мире совсем немного, поскольку такие производства целесообразны только при очень больших объемах, предполагающих работу на глобальном рынке.

Поэтому стремиться необходимо не к абсолютной локализации производства, а к полному контролю со стороны российских компаний над всем жизненным циклом своей продукции, включая разработку, производство, вывод и поддержание на рынке и утилизацию. Но для этого необходимо хорошо представлять себе свои ниши. Если говорить о производстве кристаллов, то в России, наверное, есть один-два производителя, которые при адекватной поддержке смогут эффективно работать в этом сегменте.

Необходимо стремиться не к абсолютной локализации производства, а к полному контролю со стороны российских компаний над всем жизненным циклом своей продукции

Производителей ЭКБ как конечного продукта на рынке значительно больше. Но вместе с тем, если завтра в России появится второе производство по корпусированию интегральных схем, сравнимое с GS Nanotech, это будет проблемой для нас обоих, потому что на данный момент российский рынок слишком мал для двух таких компаний.

Насколько рынок корпусирования интегральных схем в России конкурентный?

С кем сейчас приходится конкурировать GS Nanotech в этой области?

Тот рынок, на котором мы работаем, то есть рынок продукции гражданского применения – конкурентный и открытый. Мы нашли на нем свою нишу, и сейчас у нас есть несколько десятков заказов, не связанных с цифровыми телеприставками General Satellite.

Отечественный рынок имеет ряд специфических особенностей. Пожалуй, основными из них являются малые серии и – в некоторых случаях – имеющиеся у заказчиков ограничения по закупке импортных материалов. Так, например, большинство поставщиков памяти не заинтересованы поставлять до 10 пластин с общим количеством кристаллов до 15 000 шт., а закупка большего объема клиента из России, как правило, не интересует. Пока прямой задачи выполнять корпусирование в России перед нашими заказчиками никто не ставит, поэтому в основном мы конкурируем с тайваньскими компаниями, и это совершенно открытая конкуренция на свободном рынке. Но даже если фактор отечественного производства имеет для заказчика наивысший приоритет, как правило, мы не являемся для него единственным решением – именно в силу мелкосерийности проектов. По ним у нас есть конкуренты среди российских производителей. Однако масштабы нашего производства позволяют нам выигрывать у мелкосерийных поставщиков по цене.

Что же касается конкуренции с тайваньскими компаниями, здесь из-за таможенного регулирования мы, как российский производитель, оказываемся незащищенными. Кроме того, огромные объемы производств на тайваньских предприятиях приводят к тому, что цена за единицу продукции у них может оказаться ниже, чем у нас. Но с другой стороны, если оценивать стоимость решения в целом, то мы оказываемся в выигрышном положении, и те заказы, которые размещены у нас, получены нами в условиях открытой конкуренции. При размещении на Тайване производства малых партий объемом, допустим, 100 изделий, заказчики сталкиваются с некоторыми дополнительными затратами, которые при заказе у нас будут существенно ниже. Но даже с учетом этого, работая исключительно как контрактный сборщик, нам было бы сложно конкурировать с Тайванем в ценовом отношении. Конкурентное преимущество нам дает

тот факт, что мы в большей степени вовлечены в проект и добавляем к нему свою интеллектуальную ценность. И в этом случае наша цена законченного решения для заказчика оказывается весьма конкурентоспособной.

А в чем заключается эта добавленная интеллектуальная ценность?

Фактически у нас есть два направления. Первое – это, собственно, корпусирование. Второе направление заключается в том, что GS Nanotech и другие предприятия в составе "Технополиса GS" позволяют выполнить полный цикл проекта заказчика – от кристалльных решений до конечного продукта. Заказчик может прийти к нам со своей идеей или с готовым изделием, которое необходимо модернизировать, и мы сможем предложить свои компетенции и свой опыт для реализации задуманного. В составе "Технополиса GS" есть, например, завод, осуществляющий комплекс работ по литью пластмасс, изготовлению пластмассовых и металлических деталей "Пранкор" и предприятие "Цифровые телевизионные системы", занимающееся конечной сборкой устройств. А штат высококвалифицированных разработчиков программного обеспечения способен довести проект до готового изделия. Все, что требуется от заказчика, – сама идея, представление о том, как должно работать устройство в составе системы, – исходные данные для нашей работы.

Есть ли у GS Nanotech проекты, не основанные на ТЗ конкретного заказчика, а которые предлагаются на рынке как готовые решения?

Да, такие проекты существуют. Когда мы видим, какой конечный продукт может быть востребован в определенном сегменте, мы сами разрабатываем идею, как этот продукт должен выглядеть, с максимальным углублением и с учетом максимальной локализации его производства на предприятиях холдинга GS Group. В этом случае требования диктует не конкретный заказчик, а рынок – непосредственно либо через заказчика, работающего в сегменте B2C и взаимодействующего с нами по схеме B2B. Одним из таких продуктов стали инерциальные датчики. Другой яркий пример – твердотельные накопители (SSD), которые изначально создавались не под требования конкретного заказчика. Однако сейчас мы

не планируем предлагать наши SSD в розницу. Прежде всего, это связано с тем, что продукт в полной мере востребован в российском корпоративном сегменте. Уже несколько десятков компаний получили прототипы наших SSD и дают обратную связь, которая указывает на то, что востребованность этого решения значительно выше, чем мы предполагали изначально.

Конкурентное преимущество нам дает тот факт, что мы добавляем к проектам заказчиков свою интеллектуальную ценность

Кроме того, чтобы выходить на розничный рынок, нужно иметь узнаваемый бренд и историю именно в данной области. Продукт должен какое-то время поработать на имя, прежде чем будет целесообразно делать следующие шаги в этом направлении.

На данный момент какие факторы являются основными при выборе клиентами именно ваших SSD?

В первую очередь, качество самой продукции и ее сопровождения: любой технически сложный продукт требует должного к себе отношения. Мы не конкурируем с дешевыми решениями малоизвестных марок, где о сопровождении не идет речи. Таких производителей подчас потом сложно найти, не говоря уже о том, чтобы предъявить претензии. Конечно, наши изделия дороже таких решений, но мы обеспечиваем полную прозрачность техпроцесса, и у нас есть необходимые возможности сервиса и постпродажной поддержки, что очень важно, особенно в корпоративном сегменте.

С другой стороны, производители премиум-класса, с которыми мы конкурируем в первую очередь, предлагают продукты более широкого применения и, как правило, не готовы подстраиваться под отечественных заказчиков, покупающих не сотни тысяч изделий. Как следствие, поддержка таким заказчикам будет оказываться, скорее всего, весьма инертно. Мы же готовы индивидуально подходить к каждому заказчику. Кроме того, мы получаем на рынке качественные и проверенные комплектующие, обеспечивающие надежность в заданных условиях эксплуатации. Мы кон-

тролируем производство согласно всем нормам, в том числе связанным с использованием продукции в России. У нас есть все возможности для проведения полного комплекса необходимых производственных испытаний. SSD – это изделие, которое должно быть стойким к различным воздействиям при использовании в СХД, в том числе сохранять работоспособность при нагреве, и эти характеристики мы можем проверить. Поэтому мы способны обеспечить высокое качество, которое так важно для заказчиков на этом рынке.

В области SSD мы конкурируем в первую очередь с производителями премиум-класса и при этом готовы индивидуально подходить к каждому заказчику

Насколько большую роль в выборе вас, как поставщика SSD, играет тот факт, что вы – отечественный производитель?

Мы в этом направлении работаем на открытом конкурентном рынке с зарубежными производителями, и производство в России – лишь один из факторов в нашу пользу, в большей мере связанный с близостью к заказчику. Но на эту ситуацию может повлиять так называемый "пакет Яровой", благодаря которому уже появляются дополнительные возможности на рынке. Сейчас еще нет полной определенности, как и в каком объеме это заработает, но, если мы, как производитель, окажемся востребованы в реализации этой инициативы, для нас это откроет новые возможности, хотя мы и будем лишь небольшой частью этой системы.

Вы сказали, что в России есть один-два производителя кристаллов, обладающих хорошим потенциалом развития при определенных условиях. Расскажите, пожалуйста, подробнее, каковы, по вашему мнению, перспективы отечественного кристалльного производства.

В России есть несколько относительно крупных компаний, обладающих технологиями производства кристаллов разного уровня. Например, технологические нормы, о которых заявляет "Микрон", наиболее востребованы

на глобальном полупроводниковом рынке: на нормах 0,13 мкм, 90 нм сейчас делается до 80% мировой микроэлектроники. Конечно, игроков в этом сегменте существенно больше, чем, например, в сегменте 28 нм. Соответственно, конкуренция достаточно высока. Тем не менее, "Микрон" вполне может выходить на мировой рынок, что позволит ему окупить прошлые инвестиции и двигаться вперед. Если такая возможность существует, государству имеет смысл поддержать такое предприятие, поскольку оно тоже должно быть заинтересовано в выходе российских производителей на зарубежные рынки. Но важно найти правильный баланс в поддержке со стороны государства: компания должна иметь четкие коммерческие цели и планы вне зависимости от оказываемой поддержки. Только реализуя свои планы на максимально открытом рынке, компания способна выживать в любых условиях.

Насколько мне известно, попытки выхода на международный рынок предпринимает "Ангстрем": с технологией 0,25 мкм можно занять достаточно хорошую нишу. Отдельно стоит упомянуть компанию "Микран" – это вертикально интегрированная структура, которая имеет достаточно прочные, на мой взгляд, позиции. Даже если завтра на рынок придет мощный зарубежный контрагент, ему очень сложно будет конкурировать с ней, потому что компания имеет сильные наработки и успешна в своих нишах.

В целом, конечно, необходимо развитие новых технологий, поступательное движение вперед. Это обязательное условие выживания и развития отечественного кристалльного производства. Но если смотреть на кремниевую технологию, то мировые лидеры ушли очень далеко от нас. С другой стороны, в России есть другие ниши: например, производство активных диэлектриков, решений по технологии A_2B_6 , которые в мире развиты примерно на том же уровне, что и у нас. Развиваться в этом направлении и укрепляться в этих нишах было бы вполне интересно, но революционные шаги в кремниевой технологии – вопрос очень спорный с точки зрения как реализуемости, так и необходимости. Они имеют смысл только в случае, если мы видим возможность выхода с этой технологией на глобальный рынок. В России это не окупается. Поэтому, на мой взгляд, для отечественных про-

изготовителей чипов приоритетно развивать уже наработанные компетенции и предлагать их на глобальном уровне. Тогда, вполне возможно, инвестиции в новые технологии не будут ограничиваться государственными субсидиями, их смогут обеспечить сами компании из своей прибыли.

Сейчас в качестве решения для развития полупроводникового производства обсуждаются, в частности, минифабрики. Каково ваше отношение к этому вопросу?

Это в большей степени зависит от того, в какой форме их предполагается реализовать. Исторически во многих российских КБ были собственные подразделения по разработке кристалльных решений и подконтрольные небольшие полупроводниковые производства. Во многом эта ситуация сохранилась и сейчас. Но на практике очевидна неэффективность такого подхода. Такие производства обычно работают по технологии 0,25 мкм на пластинах 76 мм и изготавливают единичные изделия, в том числе осуществляют корпусирование. Эти единичные производства нужно поддерживать, платить зарплаты сотрудникам. Друг другу такие предприятия ничего предложить не могут: у каждого из них уже все есть. В результате себестоимость изделий становится просто огромной, и, как следствие, возникает ограниченность ресурсов для развития и необходимость в государственной финансовой поддержке. И предприятия быстро привыкают к этому. Их представители иногда не верят, что мы работаем на открытом рынке, считая, что нас также субсидирует государство, или по крайней мере мы работаем в основном на госзаказ. То, что директор сам отвечает за зарплаты сотрудников и источники инвестиций в развитие, им зачастую непонятно: по их представлению, вся ответственность лежит на государстве. Более того, в нашей практике есть случаи, когда к нам обращаются заказчики с таких предприятий, потому что себестоимость корпусирования на их внутренних производствах просто зашкаливает.

Другой вопрос, если речь идет о минифабрике, достаточной для того, чтобы обслуживать все эти структуры. GS Nanotech для этого, наверное, даже избыточен: наши объемы поддерживаются проектами гражданского назначения, а также зарубежными заказами.

Создать соответствующую минифабрику по производству кристаллов можно, но себестоимость продукта в результате будет существенно выше мирового уровня. Микроэлектроника – яркий пример массового производства, и зависимость себестоимости от объемов здесь особенно ярко выражена. Наиболее эффективны те, кто хорошо работает в области своих компетенций, выполняет узкую задачу для всех. Сейчас ведутся дискуссии, как это может развиваться дальше, но на сегодняшний день эта схема наиболее удачна, и в ближайшей перспективе она останется таковой. Подтверждение тому – фабрики с технологией 28 нм, которых немного, но они работают на весь рынок.

С другой стороны, в государственном масштабе, имеет смысл по возможности замыкать процессы внутри страны, и не только из соображений безопасности производства, но также и для того, чтобы снижать объемы импорта, оставлять деньги внутри страны, создавать рабочие места и т.д. В этом смысле создание таких производств может оказаться целесообразным, но не в том виде, который у нас уже был. Моя позиция – идти за рынком, а не против него.

Наиболее эффективны те, кто хорошо работает в области своих компетенций, выполняет узкую задачу для всех

А за рубежом есть опыт создания производств по инициативе государства?

Есть подобный опыт. Действия государства по поддержке стратегически важных производств могут принимать различные формы, но, безусловно, практика такого рода достаточно распространена. В США и Великобритании есть компании, которые создавались при прямом или косвенном участии государства. В частности, в США есть предприятия в авиационной отрасли, которые по форме собственности полностью частные, но при их образовании были созданы определенные предпосылки, в том числе со стороны государства. Участие государства часто существует и в китайских компаниях.

Примером в этом вопросе также служит французско-итальянская компания STMicroelectronics. Она производит широкий

ассортимент продукции гражданского назначения, в частности мы используем ее процессоры. Но она имеет и внутренний заказ в оборонном и медицинском направлениях, в которых максимально замыкает цикл внутри своего производства. STMicroelectronics образовалась в результате слияния двух компаний, одной из них была Thomson Semiconducteurs, которая, в свою очередь, была создана в 1982 году из нескольких компаний при масштабной национализации, проводившейся французским правительством. В 2008–2009 годах, когда, помимо экономического кризиса, имел место активный выход на рынок китайских игроков, у компании возникли проблемы, и для ее поддержки существенную ее долю выкупило государство.

В нашей отрасли наиболее эффективной видится модель свободного рынка, хотя умеренное государственное регулирование также требуется

Таким образом, поддержка своего стратегического производителя внутри страны – это нормальная мировая практика. Но при этом с уверенностью можно говорить, что, с точки зрения принятия решений, государство оказывает на эту компанию минимальное влияние. В мире государство – это хороший заказчик и контролирующий орган. Исполнитель же, как правило, – коммерческая компания. Когда государство становится и исполнителем, и заказчиком в одном лице, начинают работать механизмы нерыночного свойства, возникает почва для конфликта интересов. Государство должно быть заинтересовано в получении того продукта или сервиса, который полностью отвечает его потребностям, а не в защите чьих-то интересов внутри самих госструктур.

Но, говоря о роли государства в рыночной экономике, всегда нужно помнить о хорошо известном экономистам явлении: существуют различные периоды, в которых влияние государственного регулирования приводит к разным последствиям. Поэтому необходимо понимать, когда более эффективно государственное управление, когда – государственно-частное партнерство, а когда государственное регулирование должно быть сведено к минимуму.

В каком периоде сейчас находимся мы?

Я не экономист, но со своей позиции могу сказать, что в российской экономике сейчас некий промежуточный период: в некоторых отраслях влияние государства растет, что не всегда дает должный положительный эффект. Например, в нашей отрасли наиболее эффективной мне видится модель свободного рынка, хотя умеренное государственное регулирование также требуется.

Сейчас много говорится об "умных" решениях, в том числе об "умных городах", которые являются одним из применений концепции Интернета вещей. Ведутся ли в компании разработки в этой области?

Да, это направление, которое мы считаем нашей сильной стороной. Дело в том, что Интернет вещей – достаточно широкое понятие, и кто-то видит себя в нем как специалиста по устройствам, кто-то – по программным решениям, но существует очень важный вопрос – это "упаковка" самой услуги. Необходимо показать клиенту, что он покупает, настроить его на эту покупку. В такой молодой области, как Интернет вещей, в России еще не все понимают, что в конечном счете за этим стоит, как выглядит готовое решение и что оно может изменить. Если говорить о таком приложении IoT, как "умный дом", у GS Nanotech есть для этого устройства, а у холдинга GS Group – необходимые компетенции, чтобы предложить эту услугу в "упаковке", то есть предоставить клиенту новый сервис, который способен качественно изменить жизнь. GS Group разрабатывает ПО для поддержки данных услуг, у холдинга есть партнеры в этой области. А у GS Nanotech, в свою очередь, есть ряд решений по различным датчикам, есть твердотельные накопители с возможностью взаимодействия по сложному принципу в ЦОД.

Кроме того, у нас есть собственная разработка – сопроцессор, который ранее был закрытым решением. Мы планируем вывести его на открытый рынок в России в качестве процессора для различных применений. В ближайшее время мы собираемся пройти все сертификационные процедуры и предложить наш процессор отечественным разработчикам электронных устройств. По российским меркам он будет достаточно недорогим

и сможет стать, в том числе, ядром "умного дома".

Таким образом, есть все предпосылки, чтобы GS Group стал интегратором с существенной долей собственных решений для определенных проектов IoT. Холдинг уже движется в этом направлении. Речь идет не только об "умном доме": мы можем применить наши технологии и в концепции "умного города", но для такого масштабного проекта нужен заказчик уже на этапе старта – сама концепция и ее развитие требуют существенных вложений. Нужно понимать, кто будет потребителем и какие у него будут требования.

Вместе с тем, в силу текущей экономической ситуации в России и в мире, сегодня нет достаточного объема свободных средств, чтобы можно было уверенно говорить, что в ближайшей перспективе каждый город начнет двигаться в сторону концепции Smart city. Но выходить на этот рынок нужно. "Умное производство" – тоже достаточно сложная система, и предстоит еще долгий путь

к ее полноценной реализации. Но в области "умного дома" у нас уже есть решения, которые мы продолжаем развивать. Этот рынок еще только создается, и для нас это хороший шанс: мы участвуем в его формировании, в стандартизации в этой области, в создании условий для защиты от зарубежных игроков и т.д. И это движение ощутимо. Недавно была создана Ассоциация разработчиков и производителей электроники (АРПЭ), целью которой, в частности, является защита интересов и содействие развитию российского бизнеса. Она также активно принимает участие в формировании заказа для создания и реализации концепции Интернета вещей на российском рынке. Пока он не создан, у нас есть шанс качественно все подготовить, и мы этой возможностью активно пользуемся.

Спасибо за интересный рассказ.

С.Е.И. Масленниковым беседовал
Ю.С. Ковалевский

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена 920 руб.

МИКРОСХЕМЫ ДЛЯ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.

Издание 2-е, испр. и доп.

Под общ. ред. академика РАН А.Н. Саурова

Авторы: В.В. Коняхин (разд. 1–6, 10–18), А.Н. Денисов (разд. 1–6), Р.А. Фёдоров (разд. 7–9, 19–20), А.Л. Вильсон (разд. 10–11, 19–20), С.С. Бражников (разд. 11), В.С. Коновалов (разд. 10, 12–18), Н.И. Малашевич (разд. 7), А.С. Росляков (разд. 8–9)

При поддержке федерального государственного бюджетного научного учреждения НПК "Технологический центр"

Практическое пособие содержит сведения о микросхемах, разработанных научно-производственным комплексом "Технологический центр" и предназначенных для применения в аппаратуре космического назначения. Приведены сведения о разработанных и освоенных в производстве базовых и базовых матричных кристаллах, являющихся основой для разработки специализированных микросхем. Детально описаны серийно выпускаемые полужаказные и заказные микросхемы общего применения.

Книга предназначена для разработчиков радиоэлектронной аппаратуры, а также для преподавателей, студентов старших курсов и аспирантов.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2017. – 388 с.
ISBN 978-5-94836-475-9

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

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