

Силовая электроника должна быть современной и сильной



Дмитрий БОДНАРЬ,
к.т.н., генеральный директор,
АО «Синтез Микроэлектроника»

28 мая в Москве наш ИД «Электроника» планирует провести конференцию «Силовая электроника». Для уточнения ее формата мы организовали круглый онлайн-стол. В нем приняли участие Дмитрий Боднарь; Денис Ловчиков, ООО «АЕДОН»; Андрей Жилин, АО «НПО «ЭНЕРГОМОДУЛЬ»; Сергей Федотов, АО «Эпиэл». Встреча прошла довольно оживленно, но поскольку мы не успели обсудить все вопросы, Дмитрий Боднарь прислал нам письменный ответ на вопросы круглого стола.

В каких нишах силовой электроники переход на GaN/GaAs и другие широкозонные структуры в России действительно начался, а где он пока остается только в презентациях и дорожных картах?

GaAs не относится к широкозонным полупроводникам (ШЗП), и ширина его запрещенной зоны составляет 1,42 эВ, то есть чуть больше кремния. GaAs – подходящий материал для некоторых СВЧ-изделий, но он недостаточно хорош для силовой и высоковольтной продукции. К основным сферам применения широкозонных полупроводников GaN, SiC в мире относятся автомобильная, потребительская, мобильная, СВЧ-электроника. Производство и применение в первых трех сферах применения в России практически на нуле. В СВЧ-сфере мы прошли начальную стадию их разработки с использованием зарубежной фаундри-модели и имеем шансы нарастить применение. Новыми сферами, которые имеют хорошие потенциальные возможности в России, является строительство ЦОД, особенно с новой архитектурой питания на 800 В DC, зарядная структура для автомобилей. Хорошие возможности есть у радиационно стойкой космической GaN-электроники.

SiC диоды Шоттки в нашей стране выпускает только «Кремний Эл», производство чипов SiC MOSFET в России отсутствует и, насколько я знаю, отечественные изготовители силовых модулей используют импортные чипы. Силовыми транзисторами GaN НЕМТ занимаются АО НИИЭТ и АО ЗНТЦ, причем делают это во многом за счет своих средств. Остальные предприятия не готовы заниматься этими транзисторами ни технически, ни экономически.

Если сравнивать российскую силовую электронику с мировыми игроками, какое у нас реальное технологическое преимущество, а в чем разрыв настолько велик, что его в обозримом будущем уже не сократить?

Даже в среде специалистов, не глубоко погруженных в тему силовой электроники, бытует заблуждение, что в этой сфере наше от-

ставание намного меньше, чем в направлении СБИС. У российских компаний нет не только никаких технологических преимуществ, но мы все больше отстаем как в сегменте кремниевой продукции, так и в сегменте новых широкозонных материалов. К примеру, силовые Si MOSFET и IGBT-транзисторы в зарубежных компаниях прошли этапы генераций и улучшений, достигнув уровня Gen.7 (8), а наш текущий уровень – Gen.3. По ШЗП мы только в начале пути, а зарубежные компании прошли уровни Gen.2–3 НЕМТ и моночиповую интеграцию ИС драйверов и транзисторов. Техпроцессы производства силовых полупроводников заимствуют из технологий СБИС целые технологические блоки (фотолитографию 180–350 нм, 3–4-уровневые межсоединения, траншейные (щелевые) техпроцессы, 300-мм и ультратонкие пластины, 3D-сборку и др.). В России только «Микрон» владеет некоторыми из этих техпроцессов для СБИС. В сборке силовой электроники и номенклатуре имеющихся корпусов отставание не меньше. По моей оценке, отставание в сфере силовых полупроводников составляет около 20 лет. Судите сами: первые в мире SiC диоды Шоттки были выпущены компанией Infineon в 2001 г., а мы находимся только на начальном уровне. В СССР была хорошая научная школа по таким материалам, как SiC, GaN, сапфир, которую мы потеряли в 1990-е и последующие годы. Многие специалисты и ученые из этих школ уехали за рубеж (в том числе в последние годы) и работают там. Подробнее я планирую рассказать о мировых тенденциях развития силовых полупроводников и сравнить их с уровнем наших предприятий в своем докладе на конференции «Силовая электроника» 28 мая 2026 г. в Москве, к участию в которой приглашаю читателей журнала.

Я пристально слежу за динамикой и ростом китайской полупроводниковой отрасли и достижениями ее участников за последние 20 лет, в том числе в силовой электронике. Эти результаты поразительные. По производству, применению и экономике SiC-продукции, а также разработке оборудования для ее изготовления Китай является мировым лидером, который вынуждает мировых полупроводниковых и автомобильных грандов менять свои стратегии развития. Особенно резкий взлет в Китае произошел за последние пять-семь лет благодаря

большой поддержке государства. Фундаментом этого роста являются достижения в области автотранспорта с электрическим приводом и повышенный спрос на ЭК для этого направления.

Наша полупроводниковая продукция для ВПК по жесткости требований к параметрам и надежности уступает изделиям сертифицированных зарубежных производителей ИЭТ для автомобильной промышленности. Поэтому утверждение «Мы делаем продукцию ВП» уже давно не может считаться эталоном качества.

Какие барьеры в наибольшей степени мешают довести отечественные широкозонные решения до серийного изделия?

В первую очередь, нужно сформировать рынок применения этих ШЗП для силовой электроники, поскольку он практически отсутствует. Это значит, что необходимо развитие приборостроительного и транспортного сегментов. Хорошей новостью для производства GaN-компонентов является то, что процесс их изготовления максимально совместим с кремниевыми КМОП-продуктами. Однако у нас отсутствуют оборудование и технологии для эпитаксии GaN и SiC, некоторое ALD-оборудование для нанесения слоев на атомном уровне, высокоэнергетические ионные имплантеры, отечественное оборудование для тестирования динамических параметров ЭК. Список можно продолжить.

Что должно измениться в характеристиках и надежности отечественных силовых компонентов, чтобы разработчики источников питания при составлении ТЗ стали брать в расчет российскую элементную базу?

Эти компоненты должны появляться у производителей не от случая к случаю, а всегда быть на складе. Российские компоненты должны быть конкурентоспособными по техническим параметрам и цене. В таком случае не будет необходимости в принуждении к покупке российских изделий, как это делается сейчас. Их лучшее соотношение цена/качество ответит на все вопросы. Не должно быть модных в наших полупроводниковых компаниях терминов «функциональный аналог», «близкий аналог» – должна быть возможность полной (pin-to-pin) замены аналогов.

Где «бутылочное горлышко» в распространении ШЗП?

Ф. Энгельс писал, что практические нужды двигают науку вперед быстрее, чем тысяча университетов. Этот принцип хорошо работает в рыночной экономике, и микроэлектроника тому является подтверждением. В мировой отрасли этот принцип обрел новые очертания, когда университеты тоже хотят удовлетворять практические потребности и зарабатывать на этом. Ярким подтверждением того является развитие университетских стартапов, особенно по продукции, изготовленной на основе новых материалов. Особенно много примеров можно найти в Японии и США. В России «бутылочным горлышком» являются низкие потребности рынка, фактическое отсутствие частного бизнеса в отрасли и неумение продвигать инновационные решения, в том числе через стартапы. Мне сложно привести яркие примеры прорывов через стартапы даже в других наших отраслях. Государство не верит в частный бизнес, и не зря некоторые высокие чиновники неоднократно заявляли, что только государство способно поднять электронику. Но с этой задачей государство не справляется.

Модный запрос «1,5 кВт в объеме спичечного коробка»: какие реальные сценарии применения в телекомоборудовании, ЦОД и специализированной аппаратуре вы считаете жизнеспособными в России, и где это пока просто красивая картинка в презентациях?

Такая концепция может быть реализована только путем применения ЭК из новых материалов GaN и SiC, обеспечивающих миниатю-

ризацию устройств. Устройства на основе GaN по массогабаритным параметрам в три-пять раз меньше, чем с использованием кремниевых ЭК, и исключают большое количество пассивных компонентов. На мировом рынке главной сферой применения остается электротранспорт с долей рынка свыше 70%. Кроме того, быстро растет применение в сфере ЦОД благодаря фантастическим инвестициям в их строительство. Но велика вероятность, что рынок ЦОД – спекулятивный и переоценен, и этот пузырь может лопнуть в любой момент. Именно данные направления являются самыми потенциально привлекательными и массовыми. Без их развития российский рынок ограничится зарядными устройствами для смартфонов и преобразователями малой мощности.

Насколько в сегменте высокотемпературных блоков питания для нефтегазовой отрасли имеется платежеспособный спрос на продвинутое решение? Готов ли заказчик платить за ресурс, надежность и компактность, или попрежнему приоритетной остается минимальная цена?

У меня большие сомнения в способности и заинтересованности нефтегазовой отрасли в реализации продвинутого решения. После провала Газпрома с идеологией и разработкой технологии добычи сланцевого газа, которое руководство этой компании посчитало типичным направлением, у меня много сомнений. Текущая ситуация осложняется падением добычи и экспорта углеводородов, снижением капитальных расходов в оборудовании, строительстве средств их добычи и транспортировки.

На что в силовой электронике разумнее делать ставку в условиях дефицита «длинных» денег: на дорогие прорывные разработки или на умеренную, но быструю модернизацию решений на обычном кремнии под конкретные рыночные ниши?

От журналистов и некоторых экспертов можно услышать мнение о конце эры кремния. Это далеко не так. По кремнию отрасль имеет 10-летние наработки, опыт и пока лучшие экономические показатели ИЭТ в сравнении с новыми материалами. Да, новые ШЗП теснят его в сферах, где важными параметрами являются снижение потерь мощности и быстродействие. В потребительской электронике кремний был и остается незаменимым. Кремниевые изделия тоже эволюционируют. Примером является эволюция MOSFET-транзисторов, начиная с VDMOS, Trench MOSFET, SJ MOSFET и заканчивая новой технологией SuperQ MOSFET. Последние по потерям мощности практически не уступают транзисторам на основе GaN и SiC. Кремний остается безальтернативным для низковольтных диодов Шоттки, тиристоров, диодов Зенера и др. приборов. Каждая рыночная ниша выбирает наилучшие решения по соотношению параметров/цена. Хоронить кремний для силовой электроники преждевременно, и в ближайшее 10-летие он будет востребован.

Какие форматы взаимодействия бизнеса, разработчиков, производителей и интеграторов эффективно работают в настоящее время, доводя силовые решения до серии?

На мой взгляд, мировая практика последних десятилетий представляла нашим компаниям прекрасную форму решений. На первой стадии наши фаблесс-компании и производители ИЭТ имели возможность получать от зарубежных компаний САПР для проектирования, с их помощью выполняли разработку приборов, размещали на фаундри-фабриках производство фотошаблонов и чипов, иногда даже заказывали корпусирование, и через шесть-восемь месяцев получали готовые прототипы. Эта модель минимизировала возможные ошибки на стадии проектирования, поскольку позволяла выявлять их еще до запуска изготовления фотошаблонов, экономить время и затраты. Кроме того, наши фаблесс-компании имели возможность работать с потенциальными клиентами по испытаниям и продвижению

этих изделий на рынок. Параллельно, при необходимости они могли подготавливать производство чипов и сборку в России. Эта бизнес-модель идеальная для наших компаний, поскольку позволяет без больших затрат не только быстро вывести на рынок новый продукт, но и избежать ошибок проектирования за счет верифицированных правил проектирования и использования технологий производства чипов, отсутствующих в нашей стране. Именно этим путем, преодолевая все трудности, продвигаются в настоящее время российские лидеры в GaN-силовой и СВЧ-продукции.

Эта модель является безальтернативной и для выпуска отечественных процессоров «Эльбрус», «Байкал» по технологиям 16–22 нм, отсутствующим в России. Многие зарубежные фаблесс-компании не имеют производственных мощностей, постоянно применяют эту модель и для массового выпуска своих изделий на рынок. Примером является компания Navitas Semiconductor – один из мировых лидеров GaN- и SiC-продукции, у которой, как и у Intel, – символически схожая история возникновения: Navitas была создана в 2013 г. как стартап в трейлере на парковке.

Однако после введения и расширения санкций эта модель для российских компаний перестала работать в прежней форме и нуждается в изменении.

Еще одним решением является трансфер технологий и производственных линий или недостающего оборудования из-за рубежа и их запуск в России. Моя компания использовала обе модели, однако неспособность чиновников принимать взвешенные решения и санкционные ограничения торпедировали последний проект.

На мой взгляд, лучшей моделью развития и массового производства в России современных изделий кремниевой силовой электроники является закупка за рубежом (в настоящее время – только в Китае) лицензии и завода по их производству с внедрением новых технологий, менеджмента управления, контроля качества. Эта модель будет не только быстрее, но и экономически эффективнее самостоятельного решения проблемы. Одновременно необходимо реформировать и увеличивать рынок потребления продукции в стране, а ее экспорт должен быть существенным фактором поддержания конкурентоспособности. Именно этим способом Китай начинал развивать отечественную микроэлектронику.

ПАО «Элемент» несколько месяцев назад озвучило именно такой вариант с большими объемами производства силовых чипов на основе Si, SiC, GaN на начальном этапе в количестве 140 тыс. пластин неизвестного диаметра в год. Однако названная сумма в 20 млрд руб. для такого проекта явно мала. Впрочем, о дальнейших шагах в этом направлении я больше не слышал.

Периодически звучат разные предложения (даже не уверен, что это проекты) по строительству новых технологических линий во Фрязино, Екатеринбурге, Нижнем Новгороде. В основном, их предполагаемым источником финансирования является госбюджет, но единой практической стратегии государства как основного бенефициара развития микроэлектроники в России я не вижу. Стратегия развития электронной промышленности России до 2030 г., как и предыдущая до 2020 г., провалена и не будет исполнена. Есть декларации, но отсутствует механизм реализации, управления и контроля за исполнением. Наши власти считают, что их миссия заканчивается после оглашения задачи и начала выделения средств, которые затем в силу разных причин урезаются.

В то же время Минпромторг развернул активную деятельность по выставлению многомиллионных исков к предприятиям за срывы выполнения договоров по созданию новых изделий. Причем, часто эти срывы были вызваны именно изменениями в международной обстановке и ужесточением санкций к России, в чем нет вины этих предприятий. Моя компания ощутила на себе эту проблему, когда оплаченный заказ не смог быть отгружен из-за санкций. Но самым большим разочарованием стало то, что Торгово-промышленная палата России отстранилась даже от признания данной ситуации форс-мажором (что является ее функцией), сославшись на отсутствие законодательной базы и нежелание Госдумы регламентировать этот факт

соответствующими поправками в законы, и посоветовала обратиться в суд. Суды тоже дистанцировались, не стали принимать иски пострадавших российских предприятий или вынесли решения не в их пользу. Все органы власти сделали вид, что это не их проблема. В результате моей компании пришлось решать эту проблему самостоятельно.

Можно вспомнить и политизированное решение властей в 2014 г. о введении задним числом продовольственного эмбарго, которое привело к большим убыткам бизнеса. Это решение никто не поддержал, кроме Госдумы, а тогдашний премьер-министр Дмитрий Медведев заявил, что ограничение импорта не приведет к росту цен и дефициту. Едва ли такие формы взаимодействия властей и бизнеса идут на пользу обеим сторонам.

Имитацией развития является провозглашение импортозамещения как главной стратегии отрасли, а не локальной задачи для ограниченного количества изделий. Эта задача не может быть стратегией, способной спасти нашу отрасль. Судя же по многочисленным искам Минпромторга, даже с этой задачей мы не справляемся.

Насколько отрасль зависима от поддержки государства? Что делается для развития собственной продукции? Какой объем помощи от государства требуется, чтобы у нас появилась своя силовая электроника?

Отрасль полностью зависит от государства не только в части заказа продукции, но и в создании новых изделий. Это четко видно по доле выпускаемой продукции для ВПК, достигающей 80–90% в объемах предприятий. Такого нет ни в одной стране мира, где развивается микроэлектроника. Наши предприятия испытывают большие трудности в связи с резким снижением заказов и сложностями с оплатой. Мы помним глубокий провал в микроэлектронике России в 1990-х гг., когда в похожей ситуации государство отстранилось от заказов продукции, львиная доля которой в СССР предназначалась как раз для ВПК. Текущий провал может быть оказаться глубже.

Что касается необходимого размера финансирования, то это зависит от целеполагания. Чего мы хотим достигнуть: заместить собою другую импортных устаревших аналогов или сделать отрасль конкурентной на мировом рынке? Первая задача, как и вся стратегия импортозамещения, не может быть стратегией для отрасли, а только локальной задачей для ограниченного количества продукции. Она никак не поднимает и не развивает отрасль – в лучшем случае, консервирует ситуацию. Реальная стратегия требует намного больше средств и усилий.

Вторая задача в условиях закрытой экономики нереализуема даже при больших объемах финансирования. Такими методами не получится сделать нашу электронику современной и сильной. Более подробно и развернуто я изложил свою точку зрения на роль и развитие микроэлектроники в России в статье «Нам нужно изменить свое отношение к роли и назначению микроэлектроники» в журнале «Живая электроника России», который выйдет в апреле текущего года.

Какой объем рынка нужен для того, чтобы выпуск новых изделий стал экономически обоснованным? Есть ли такая перспектива в обозримом будущем?

Доля российского полупроводникового сегмента от мирового рынка составляет около 0,4%. К тому же, в нашем сегменте практически отсутствуют отечественные гражданские изделия. Это мизерные объемы, которые для преодоления порога окупаемости (даже при наличии современных технологий) следует увеличить более чем на порядок. Кроме того, наши изделия должны быть конкурентными по параметрам и экспортоориентированными, а это еще более сложная задача, чем обеспечение роста потребительского рынка. Для прорыва требуются большие инвестиции, время и трансформация рынка потребления. Наш рынок не должен быть закрытым и изолированным. Кроме того, он не должен быть монополизированным, поскольку отсутствие здоровой конкуренции в любой сфере приводит к застою. ■