

Чтобы быстро решить насущные задачи, СВК выглядят самым лучшим, если не единственным решением

Рассказывает директор производственного комплекса АО «НПЦ СпецЭлектронСистемы» А. К. Нарбутт



Задача создания в кратчайшие сроки отечественных сложнофункциональных электронных компонентов и модулей не только не теряет актуальности, но в текущих обстоятельствах становится одной из самых приоритетных. Для российской электронной промышленности большим потенциалом в этом вопросе обладает технология систем в корпусе на основе низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC).

Почему это так, какие производственные возможности и материалы в этой сфере доступны отечественным разработчикам уже сейчас, какими преимуществами обладает данная технология в сравнении с другими решениями и что нужно сделать, чтобы в полной мере воспользоваться этими преимуществами, нам рассказал Андрей Константинович Нарбутт, директор производственного комплекса АО «НПЦ СпецЭлектронСистемы» (НПЦ СЭС) – предприятия, которое в 2017 году приступило к созданию производства для изготовления коммутационных оснований и корпусов ЭКБ по технологии LTCC, а также сборки компонентов и модулей на данных основаниях, а в 2021 году вышло на серийные объемы.

Андрей Константинович, расскажите, пожалуйста, почему при создании производства НПЦ СЭС выбор пал именно на технологию низкотемпературной совместно обжигаемой керамики.

Развитие электроники идет по пути миниатюризации аппаратуры, а также сокращения энергопотребления, что также приводит к уменьшению физических размеров компонентов электронной техники.

То, как это происходит в области полупроводников – кристаллов ИС, у всех на слуху. Это те самые «нанометры», которые порой вызывают дискуссии

не только среди специалистов, но и среди широкой публики.

За уменьшением этих «нанометров», то есть проектных норм, тянется и миниатюризация коммутационных оснований, среди которых наиболее распространенными и широко известными являются печатные платы. Однако технология традиционных печатных плат с корпусированными компонентами именно в силу требований миниатюризации уже подходит к своему пределу, и на смену ей приходят другие, позволяющие создавать изделия с большей плотностью компоновки. Прежде всего это технологии

на основе керамики – высокотемпературной (НТСС) и низкотемпературной (ЛТСС).

Эти технологии, помимо преимуществ, связанных с миниатюризацией, обладают и другими достоинствами. Среди них, например, значительно более широкие диапазоны рабочих температур, более высокая стабильность размеров, лучшие высокочастотные свойства, чем у традиционных плат на органической основе.

Следует отметить, что у высокотемпературной керамики есть свои преимущества перед ЛТСС. Она более плотная, обладает лучшими механическими характеристиками, способна работать при более высоких температурах. Но есть плюсы и у ЛТСС. Прежде всего, это использование проводящих паст на основе золота, серебра или меди, обладающих гораздо лучшей электрической проводимостью, чем вольфрам и молибден, которые приходится применять в НТСС-технологии из-за очень высоких температур обжига – более 1500 °С. Таким образом, технология ЛТСС позволяет получать изделия с лучшими в сравнении с НТСС электрическими, в том числе и высокочастотными, характеристиками. Кроме того, ЛТСС дешевле технологии высокотемпературной керамики, и она более гибкая, то есть позволяет проще перенастраивать техпроцессы.

Эти факторы делают технологию ЛТСС оптимальным решением для ряда активно развивающихся в настоящее время направлений, которые связаны, с одной стороны, с достаточно большими объемами выпуска, с другой – с СВЧ-диапазонами, и с третьей – с относительно высокими требованиями к качеству и надежности конечной аппаратуры.

Речь идет о телекоммуникациях?

Не только. Конечно, сейчас телекоммуникации являются одним из основных драйверов в нашей отрасли. В особенности это стало проявляться с появлением стандарта нового поколения – 5G, где должны применяться и более высокие частоты, в том числе миллиметрового диапазона, и так называемая технология massive MIMO, предполагающая использование достаточно сложных активных фазированных антенных решеток (АФАР), и ряд других решений, которые требуют создания СВЧ-компонентов и модулей, фактически, нового уровня.

Но есть и другие сферы применения, где технология ЛТСС может оказаться наиболее удачным вариантом для создания ЭКБ и модулей. Среди них – автомобильная электроника, в частности модули радаров и другие компоненты систем помощи водителю и беспилотных автомобилей. Еще один пример – датчики систем мониторинга состояния объектов

различных инфраструктур, как то: железнодорожных путей и узлов подвижного состава, автомобильных дорог, мостов, трубопроводов и т. п. Под датчиками я, разумеется, понимаю не только сам чувствительный элемент, но и устройства обработки сигналов, преобразования информации и ее передачи, например, по беспроводному каналу. Один из вариантов исполнения, который позволяет реализовать технология ЛТСС, – это, по сути, радиометка, которая на запрос по радиоканалу передает необходимые данные. Но здесь следует заметить, что это не то же самое, что RFID-метки, которые наклеиваются на продукты в су-

У СнК есть ряд существенных недостатков, которые особенно сильно проявляются при сравнительно небольших объемах выпуска

пермаркетах или которые встроены в карточки для оплаты проезда в городском транспорте. Здесь речь идет о совершенно другом уровне как надежности, так и функционала. И, естественно, цены. ЛТСС никогда не создаст конкуренции RFID-меткам в виде простейшего чипа и антенны из фольги на бумаге. Эта технология нужна тогда, когда характеристики и надежность изделия, если не критичны, то по крайней мере достаточно важны.

А что можно сказать про ограничения этой технологии с точки зрения миниатюризации? Ведь она хоть и лучше в этом плане, чем печатные платы, но явно хуже, чем кристалльные технологии.

Действительно, наибольший уровень миниатюризации в настоящее время достигается применением систем на кристалле (СнК) – технологии, в которой на одном кристалле объединяются различные блоки от процессорного ядра и памяти до АЦП, интерфейсных блоков и т. п., формируя функционально законченную систему. Эти блоки принято называть сложнофункциональными (СФ) или IP от английского Intellectual Property – интеллектуальная собственность, потому что такие блоки, как правило, разрабатываются сторонними компаниями, а разработчиком СнК используются по лицензии.

Но у СнК есть ряд существенных недостатков, которые особенно сильно проявляются при сравнительно небольших объемах выпуска. Прежде всего, весь кристалл СнК изготавливается в едином техпроцессе, а это значит, что, если, например, процессорное ядро выполняется по технологии 16 нм, то и все остальные блоки должны быть спроектированы под

технологии 16 нм, хотя они могут быть реализованы на более простой технологии. Почему это плохо? Во-первых, потому что нет возможности изготовить внутри страны СФ-блок, который критичен с точки зрения информационной безопасности, такой как корень доверия, или который рискованно отдавать на зарубежное производство по иным причинам, если другой, некритичный, блок требует проектных норм, отсутствующих на отечественных фабриках. Во-вторых, из-за этого каждый СФ-блок должен быть спроектирован на физическом уровне на основе PDK именно той фабрики, где будет изготавливаться вся СнК, а это ограничивает применение унифицированных СФ-блоков в различных изделиях и усложняет перенос производства с одной фабрики на другую, тем самым повышая зависимость от конкретного производителя.

Технология LTCC позволяет сократить срок от идеи до выпуска опытного образца ЭКБ и СвК до 6 мес. и даже менее, а время постановки изделия на серийное производство – до 6–12 мес.

Далее: проектирование СнК – дорогой и долгий процесс, потому что размещение блоков на кристалле и соединения между ними влияют друг на друга, и необходимо убедиться, что система будет работоспособна при конкретной физической реализации. Несмотря на то, что многие ошибки находят методами верификации и эмуляции – а это тоже сложные и дорогостоящие процессы, – некоторые несоответствия проявляют себя только на опытном образце. Изготовление опытного образца кристалла – это несколько месяцев, и каждая итерация задерживает завершение разработки на этот период. А если нужно внести изменения в СнК, даже если это замена целиком одного интерфейсного СФ-блока, приходится заново проходить большую часть этого пути. Именно поэтому СнК хороши тогда, когда они выпускаются массово. Типичный пример удачного применения СнК – процессор смартфона. На таких объемах затраты на проектирование, верификацию, изготовление опытных образцов и т. п. можно окупить, а при среднесерийных объемах или частых изменениях и доработках вряд ли удастся сделать изделие рентабельным.

Кроме того, сочетание на одном кристалле блоков, основанных на различных технологиях, например КМОП-ядра, флеш-памяти, МЭМС, СВЧ-блоков

на основе GaN, либо в принципе невозможно, либо сильно усложняет и удорожает изготовление СнК.

Это, пожалуй, основные особенности СнК, которые делают эту технологию явно неэффективной для типичных отечественных изделий при их сравнительно небольших объемах выпуска, а также в условиях отсутствия в нашей стране фабрик с передовыми проектными нормами.

Нужно сказать, что для тех задач, которые стоят перед российской электронной отраслью в настоящее время, миниатюризация, конечно, важна, но не столь критична, как в тех областях, где находят применение СнК. Системы с проектными нормами 10, 7 или 5 нм востребованы в основном в смартфонах и ноутбуках. ЭКБ для аппаратуры промышленного назначения, стационарной вычислительной техники, автомобильной и даже бортовой электроники может быть реализована с применением других технологий, одной из наиболее перспективных среди которых являются системы в корпусе (СвК). Да, модуль, реализующий соответствующий функционал, будет немного больше, чем СнК, но его массо-габаритные характеристики будут приемлемы для этих областей применения, и вместе с тем он будет лишен перечисленных выше недостатков.

Впрочем, есть и довольно интересные области применения LTCC-керамики, где малые размеры играют важную роль. Например, имплантируемая электроника. Материалы этих изделий должны быть биосовместимыми, и наша керамика именно такая. Примером подобных решений могут быть устройства, которые следят за состоянием искусственных суставов. Я узнавал у врачей, как они сейчас определяют степень их износа. Оказывается, с помощью рентгеновских снимков, которые выполняются с определенной периодичностью. Но разве это хорошо, что человек периодически подвергается воздействию рентгена? Не лучше ли следить за состоянием сустава с помощью вживленного в тело пациента электронного устройства, которое по радиоканалу передавало бы данные не только об износе, но и о других параметрах сустава, например о его перегреве? Здесь СвК на основе LTCC может очень помочь.

В целом СвК, конечно, проигрывают СнК в миниатюризации, и двигаться в сторону передовых полупроводниковых фабрик нужно. Однако это долгий процесс, и системы в корпусе выглядят самым лучшим, если не единственным решением, чтобы быстро решить насущные задачи. Быстро – как с точки зрения освоения технологий, так и с точки зрения создания новой сложнофункциональной ЭКБ.

То есть СвК позволяют в том числе сократить срок разработки изделия и быстрее убедиться в том, что оно спроектировано правильно?

В принципе, да. Технология LTCC позволяет сократить срок от идеи до выпуска опытного образца ЭКБ и СвК до 6 мес. и даже менее. В качестве примера: в одном из проектов, направленном на создание модуля цифрового изолятора, период от начала проектирования корпуса до выпуска готовых опытных образцов составил всего 4,5 мес., из которых около 2 мес. заняло конструирование корпуса, а остальное время – процесс отработки технологии. Этот проект был реализован нами совместно с ОКБ Пятое Поколение.

Кроме того, применение данной технологии позволяет сократить и время постановки изделия на серийное производство – до 6–12 мес.

Уменьшение сроков создания ЭКБ и модулей – одна из основных целей, которые наша компания ставит перед собой. Однако для достижения этой цели нужно решить ряд задач.

СвК – это микромодуль, в котором на коммутационном основании смонтирована система из отдельных компонентов. Эти компоненты могут быть дискретными, такими как чип-резисторы и конденсаторы, и интегральными – бескорпусными кристаллами ИС, которые, к слову сказать, могут выполняться по разным технологиям и на разных материалах: на кремнии, арсениде галлия, нитриде галлия, кремний-германии и т. п. Это могут быть МЭМС и даже элементы микрофлюидики и фотоники. Для СвК не имеет значения, какие именно технологии применяются для создания ее компонентов.

А коммутационным основанием в СвК на основе LTCC служит, собственно, керамический корпус с проводниками, выполняемыми с ним в едином цикле. Такой корпус позволяет осуществлять коммутацию и монтаж не только на плоскости, но и в пространстве, например, располагая компоненты внутри подложки и формируя 2,5D- и даже 3D-конструкции.

В условиях роста требований к миниатюризации будущее сложнофункциональной ЭКБ за 3D-интеграцией, и технология LTCC открывает возможности для перехода с плоскости в трехмерное пространство.

Также LTCC-керамика обладает очень хорошими высокочастотными свойствами и может работать в диапазоне до 110 ГГц. Она обеспечивает отличную защиту внутренних компонентов от воздействий окружающей среды, а электрические соединения отличаются высокой надежностью, потому что фактически «пирог» из керамических слоев и проводников из проводящей пасты при обжиге образует монолитное изделие. Также в таком корпусе может быть легко

организован теплоотвод на поверхность с помощью специальных каналов, что позволяет применять эту технологию и для силовых устройств.

Таким образом, первый фактор, благодаря которому возможно сокращение сроков разработки СвК на основе LTCC, заключается в том, что не требуется специальной адаптации применяемых в системе компонентов – аналогов СФ-блоков в СнК – к конкретной технологии или конструкции. Это обычные чип-компоненты и бескорпусные кристаллы. И вытекающая из этого задача сводится к обеспечению доступности необходимых компонентов отечественного производства, отработанных и заранее протестированных.

В условиях роста требований к миниатюризации будущее сложнофункциональной ЭКБ за 3D-интеграцией, и технология LTCC открывает возможности для перехода с плоскости в трехмерное пространство

Модульность, присущая системам в корпусе как таковым, позволяет не только оптимизировать проектирование изделия и сократить сроки тестирования и испытаний, но и быстро создавать модификации и новые исполнения СвК с различным функционалом.

И второй фактор – это возможность применения отработанных типовых техпроцессов и элементов конструкций корпусов. Если СвК собирается из таких элементов с соблюдением соответствующих правил конструирования, очень высока вероятность, что изделие получится с первого раза. Чтобы этот фактор заработал, нужно решить задачи формулирования правил конструирования, формирования библиотеки типовых элементов конструкций, совместимых с САПР, отработки техпроцессов.

Насколько сейчас удастся решить эти задачи?

Что касается доступности компонентов, в нашей стране есть множество предприятий, выпускающих как дискретные компоненты, так и различные ИС, включая СВЧ-приборы и микросхемы на таких материалах, как GaAs и GaN. «Микрон» – крупнейшая российская полупроводниковая фабрика – обладает технологиями КМОП с проектными нормами 180 и 90 нм и потенциально способна

обеспечить производство кристаллов с нормой 65 нм. Для большинства задач этих технологий достаточно. Есть компании, занимающиеся МЭМС, например ООО «Маппер». В НИУ МИЭТ разрабатываются сенсоры, которые могут применяться в СвК для мониторинга объектов, о которых я упоминал.

То есть возможности для создания компонентов СвК есть. Но необходимо объединить эти возможности в экосистему, выстроить кооперацию между разработчиками и производителями таких компонентов, направленную на достижение общего результата и предоставляющую разработчикам СвК как базовый набор унифицированных компонентов, так и услуги по созданию специализированных составляющих, так, как это организовано в отношении СФ-блоков СМК.

Производственная площадка НПЦ СЭС – это, фактически, полноценная технологическая экосистема для создания современной и перспективной высокоинтегрированной электроники

Такую работу мы ведем в рамках отраслевых объединений и ассоциаций, а также путем непосредственных переговоров с производителями компонентов. Так что экосистема постепенно выстраивается, и мы открыты к сотрудничеству со всеми заинтересованными компаниями, которые готовы в нее влиться.

Что касается второго вопроса, начну с того, что НПЦ СЭС предоставляет полный комплекс услуг как по производству самих оснований и корпусов из LTCC-керамики, так и по сборке ЭКБ и модулей на их основе, а также по проведению тестирования и испытаний готовых образцов. Наша производственная площадка – это, фактически, полноценная технологическая экосистема для создания современной и перспективной высокоинтегрированной электроники, включающая и высококвалифицированную команду, и передовое оборудование, и пул отработанных технологий. Таким образом, технологическая база для создания ЭКБ будущего на основе LTCC есть, и она доступна российским дизайн-центрам.

К настоящему моменту у нас разработаны рекомендации по конструированию корпусов

и коммутационных оснований на основе технологии LTCC, реализованной на нашем предприятии. Но эти рекомендации носят, скорее, общий характер; они содержат такие параметры, как максимальное количество слоев, допустимые минимальные зазоры между различными элементами топологии и т. п. Но если разработчик будет полагаться только на эти рекомендации, то создание качественного опытного образца может потребовать несколько итераций – может быть, три, или четыре, или даже пять.

Конечно, каждое изготовление опытного образца занимает значительно меньше времени, чем в случае полупроводниковых кристаллов: для LTCC-подложек это, как правило, от трех до семи недель в зависимости от сложности конструкции. Но так или иначе, это потерянное время.

Почему так происходит? Какие проблемы возникают на первых образцах?

Могут возникать различные дефекты: и коробление, и трещины, и отклонение геометрических размеров.

На самом деле технология LTCC достаточно сложная. Представьте себе: керамическая основа, стекло и проводящая паста нагреваются до 800–850 °С, а затем вся эта «смесь» остывает, и застыть она должна именно в тех размерах, которые заложены в конструкции. Если вы печете пирожок, с какой точностью вы можете предсказать его конечную геометрию, когда вы только лепите его из теста? А мы работаем с долями процента усадки, при том что номинальная усадка керамики при обжиге составляет порядка десяти процентов.

Однако на размеры изделия, его плоскость и шероховатость поверхности, да и на его электрические параметры влияет множество факторов и индивидуальных особенностей каждой конструкции.

Могу привести такой пример: в одном изделии было несколько расположенных в ряд отверстий, и по линии их центров часто возникала трещина. Проблему удалось решить размещением отверстий в шахматном порядке.

Еще один случай из практики: у керамической подложки возникало коробление, ее края загибались вверх наподобие крыши пагоды. Причина была в особенностях топологии проводящего рисунка, и избежать появления этого дефекта в данном изделии удалось добавлением металлических полигонов на углах, которые «стягивали» подложку в процессе обжига и не позволяли углам загнуться вверх.

Поэтому очень важно не только составить общие правила конструирования керамических подложек и корпусов, но и создать библиотеку элементов конструкций, которые уже проверены и для которых заранее известно, что в данном техпроцессе не возникнет систематических дефектов.

Но технология LTCC, хотя она сравнительно молодая, появилась не вчера. Неужели такие библиотеки еще не созданы?

Подобные библиотеки существуют. Но они создавались отдельными предприятиями фактически для внутренних нужд и отражают специфику конкретного производства, техпроцесса и применяемого материала. Очевидно, что поведение заготовки сильно зависит от этой специфики, и напрямую перенести такую библиотеку на другое производство с другим оборудованием и другой керамической системой, как правило, невозможно. Да и сами предприятия обычно делятся этой информацией неохотно. Кроме того, эти библиотеки не отличаются полнотой.

Для развития технологии СвК на основе LTCC как одной из наиболее перспективных в нынешних условиях необходима открытая библиотека, доступная всем разработчикам и ориентированная на типовой верифицированный техпроцесс.

К решению именно этой задачи мы сейчас приступаем совместно с АО «НПП „Исток“ имени А. И. Шокина». Планируем проанализировать уже выпущенные на нашем предприятии изделия, выделить типовые элементы конструкции и создать на их основе ядро библиотеки моделей для САПР, которая будет в дальнейшем расширяться. Только такой подход позволит уменьшить количество итераций изготовления опытных образцов разрабатываемых изделий и повысить выход годных уже на этапе серийного производства.

А пока такой библиотеки нет, быстрее получить качественное изделие заказчиком помогает наш конструкторско-технологический отдел. Его сотрудники обладают высокой квалификацией и большим опытом и всегда готовы помочь скорректировать конструкцию так, чтобы за минимальное число итерации получить опытный образец с нужными характеристиками. Конечно, это не значит, что, как только библиотека появится, мы перестанем помогать заказчикам. Просто разработка на их стороне будет происходить быстрее, а конструкции будут требовать коррекции в значительно меньшем объеме.



3D-интеграция на LTCC

Вы упомянули о зависимости параметров конструкции от системы керамики. В то же время сейчас в отрасли активно обсуждается вопрос доступности отечественных материалов для производства электроники. Как обстоят дела с керамическими системами отечественного производства? Есть ли уже отработанные техпроцессы с их применением?

Когда мы только приступили к созданию собственного производства, мы использовали зарубежные системы, в том числе компании DuPont. Это был 2017 год, и на тот момент отечественного материала LTCC еще не было. Мы решили отработать технологию на надежных, хорошо зарекомендовавших себя материалах. Иначе получилось уравнение со слишком большим количеством неизвестных.



На производстве НПЦ СЭС

Под выбранные системы керамики было подобрано оборудование и разработан проект производственной площадки, который был реализован на территории ОЭЗ «Технополис Москва». Пользуясь случаем, я бы хотел выразить благодарность данной организации за возможность разместить производство в уже подготовленных помещениях с необходимым энергетическим обеспечением и классом чистоты 5 ИСО и 7 ИСО, а также

Технология LTCC доказывает, что, вопреки известному утверждению, быстро и дешево может быть качественно

правительству Москвы и лично Олегу Евгеньевичу Бочарову, который в то время возглавлял департамент науки, промышленной политики и предпринимательства города Москва, а ныне занимает должность заместителя министра промышленности и торговли РФ, за их содействие в том, чтобы наше производство «обрело дом» именно в «Технополисе Москва».

В период с 2019 по 2020 год мы отработали технологию на зарубежных системах керамики и выполнили ряд сравнительно небольших проектов по производству корпусов и модулей на основе LTCC для различных предприятий.

К концу 2020 года мы подошли к первому достаточно крупному предсерийному проекту. Это были приемопередающие СВЧ-модули разработки АО «НПП „Исток“ имени А. И. Шокина». В то время данное предприятие совместно с ООО «НПП Дельта-Пасты» завершило ОКР по разработке собственной системы керамики под названием СКМ. «Исток» разработал керамический материал, а «НПП Дельта-Пасты» – проводящие и резистивные пасты.

В плотном взаимодействии с «Истком» мы начали отрабатывать технологию с использованием материала СКМ. Это потребовало от наших конструкторов и технологов решения ряда задач, потому что материал отличался по своим технологическим параметрам от того, что мы использовали до этого, а оборудование «Истока», на котором они выпускали свои изделия, отличалось от нашего. В результате нам потребовалось не только скорректировать технологию, но и модифицировать готовившееся к выпуску изделие с учетом особенностей нашего производства.

С середины 2021 года мы выпускаем эти изделия серийно – в количествах, исчисляемых тысячами штук, и в целом сейчас полностью перешли на использование системы СКМ.

Отмечу, что в задаче перехода на отечественную керамику нам также помогли наши коллеги из ООО «Кулон». На их площадке мы отработали ряд моментов, в частности связанных с литьем керамических лент. «Исток» поставляет керамику уже в лентах, но если это предприятие нарастит мощности по изготовлению шихты, то быстро обеспечить увеличение объема выпуска лент из нее можно будет в том числе на мощностях «Кулона». Более того, на линии «Кулона» удалось получить ленты толщиной 100 мкм – меньше, чем у серийно выпускаемой «Исткомом» ленты. Малая толщина ленты важна для повышения плотности электрических соединений, потому что чем меньше отношение глубины отверстия к его размеру в плане, тем лучше для качественного его заполнения пастой, и, соответственно, при меньшей толщине можно делать переходные отверстия меньшего размера.

Возвращаясь к вашему вопросу, отечественная система LTCC существует и с успехом применяется в серийном производстве. С увеличением объема выпуска и дальнейшей отработкой технологии изготовления керамики СКМ, вполне вероятно, ее стоимость будет снижаться, что расширит область ее применения.

Может быть, для тех областей, где приоритетна низкая стоимость, лучше подойдет органическое коммутационное основание? Ведь СвК на основаниях из классических материалов печатных плат в мире достаточно распространены.

На самом деле, подложки из LTCC не намного дороже органических коммутационных оснований, а иногда даже дешевле – это зависит от конкретной конструкции изделия и применяемых материалов. А преимуществ у LTCC больше. Так, в СвК важно обеспечить монтаж кристаллов непосредственно на подложку, а у органических материалов ТКР значительно отличается от ТКР кремния. У LTCC и кремния ТКР также различаются, но не настолько сильно, поэтому соединения кристалла с подложкой из низкотемпературной керамики намного надежней.

Вы сказали про влияние толщины керамической ленты на плотность соединений. Какие характеристики плотности соединений

достижимы на вашем производстве сейчас и что нужно, чтобы их улучшить, помимо более тонких лент?

Сейчас допустимая минимальная ширина проводника и величина зазора у нас составляют 100 мкм. Для сравнения: ведущие зарубежные производства заявляют 50 мкм для обоих параметров. Впрочем, стоит отметить, что не всегда заявленные характеристики соответствуют действительности. У нас был случай, когда мы решили проверить подложку с заявленными 50 мкм, сошлифовали, измерили, и оказалось, что минимальная ширина проводника действительно была близка к 50 мкм, но зазоры составляли 80–90 мкм.

Тем не менее мы движемся в сторону уменьшения данных параметров. Одно из препятствий на этом пути – размеры переходных отверстий. 100 мкм – практически, предел для технологии пробивки, поэтому мы задумались о том, чтобы освоить лазерную сверловку, то есть прожигание отверстий. Здесь тоже есть свои сложности. Дело в том, что при прожигании отверстия стекло на его стенках оплавляється, поверхности становятся скользкими и не удерживают проводящую пасту. Но это решаемая задача, и в том числе над ней сейчас работают наши инженеры.

НПЦ СЭС работает только как контрактный производитель, или в вашей компании разрабатываются также и собственные изделия?

В основном мы занимаемся изготовлением изделий, спроектированных нашими заказчиками, но у нас есть и собственное подразделение разработки. Мы занялись этим направлением относительно недавно, но у нас уже есть проект, доведенный до стадии прототипа. Это источник вторичного питания, предназначенный для работы в жестких условиях, в том числе для обеспечения питания бортовой аппаратуры спутников от атомных источников.

Данный проект – пример замкнутого цикла разработки и производства модулей на основе LTCC. В рамках НПЦ СЭС выполняются все этапы: схемотехническое проектирование, разработка конструкции модуля, изготовление керамического корпуса, играющего также и роль коммутационного основания, монтаж компонентов, герметизация корпуса с заполнением его инертной средой и даже испытания готового изделия.

Кстати, это также и хороший пример того, как LTCC-технология может применяться для создания силовых модулей.

Вы уже упомянули несколько задач, которые решаются в НПЦ СЭС сейчас, в частности повышение плотности соединений и сокращение сроков проектирования. В каких еще направлениях вы работаете в настоящее время? Какие у вас планы на ближайшее будущее?

Прежде всего, это наращивание производства. В 2023 году мы планируем увеличить объем выпуска в 1,5 раза, прежде всего за счет устранения «бутылочных горлышек», которые мы уже выявили в наших техпроцессах. Для дальнейшего расширения нам понадобится дооснащение производства, которое мы планируем на следующий год, чтобы к 2024 году быть готовыми увеличить объемы вдвое в сравнении с текущими.

Также у нас есть ресурс для наращивания производства, связанный с тем, что сейчас мы работаем в 1,5 смены и при необходимости можем увеличить количество смен до двух или трех.

С ростом объемов выпускаемой продукции мы рассчитываем снизить ее себестоимость и тем самым повысить рентабельность производства. Этому будет способствовать и увеличение выхода годных, над которым мы работаем постоянно, улучшая наши техпроцессы.

Стоит отметить еще одно очень важное направление, в котором нужно работать всегда. Это подготовка кадров, повышение их квалификации. Кадры остаются важнейшим фактором успеха в высокотехнологичных отраслях, и наше производство – не исключение. Нам удалось создать профессиональную команду, ядром которой стали специалисты с большим опытом в соответствующей области, пришедшие к нам в момент становления предприятия. Теперь нам нужно эту команду расширять, готовить новых специалистов, чтобы достичь поставленных целей по расширению производства и обеспечению высокого качества продукции.

Еще раз подчеркну, что СвК на основе LTCC – это новый этап в развитии ЭКБ, который обладает всеми возможностями для создания передовых высокоинтегрированных компонентов в кратчайшие сроки. Эта технология доказывает, что, вопреки известному утверждению, быстро и дешево может быть качественно. Обращаясь к разработчикам ЭКБ, хочу сказать: «Приходите к нам и убедитесь в этом сами. Развитие перспективного направления в ваших руках!».

Спасибо за интересный рассказ.

С. А. К. Нарбуттом беседовал Ю. С. Ковалевский