

Отечественная микроэлектроника по-прежнему находится в зависимости от поставок электронной компонентной базы (ЭКБ) иностранными производителями. Аналогичная ситуация складывается и в области металлокерамических корпусов (МКК) для интегральных схем (ИС) повышенной сложности. Рынок инновационных многовыводных планарных и матричных, малогабаритных безвыводных МКК переполнен иностранными производителями. Они предлагают отечественным предприятиям микроэлектроники инновационную продукцию фирм из Японии и Китая, которую не выпускают предприятия России.

Нишу высокотехнологичных корпусов активно стали заполнять также вторые поставщики, позиционирующие себя как изготовители корпусов. Из-за их деятельности складывается ложное представление о наличии или отсутствии производства тех или иных сложных типов корпусов в России.

Между тем акционерное общество «Завод полупроводниковых приборов» (АО «ЗПП»), г. Йошкар-Ола, в течение многих лет является лидером отечественного рынка металлокерамических корпусов и имеет собственные разработки, а также полный цикл производства, начиная с сырьевых материалов для керамических масс, реактивов для гальванических операций, заканчивая выпуском и поставкой испытанных изделий. Помимо этого, предприятие имеет собственную испытательную базу, собственное производство твердосплавных штампов и высокоточной оснастки. Заказчиками продукции АО «ЗПП» являются практически все микроэлектронные предприятия России и Беларуси, связанные с оборонной отраслью. Освоенные производственные технологии позволяют предприятию удерживать лидерство в России. АО «ЗПП» является единственным предприятием в России выпускающим многослойные корпуса с количеством выводов до 2000 шт. Для доведения уровня качества выпускаемых сложных типов корпусов до мировых лидеров, проведена серьезная модернизация и значительное переоснащение производства.

Новые тенденции развития микроэлектроники потребовали освоения новых технологий и оборудования, применения новых материалов, разработки

новых технологических процессов и приемов изготовления корпусов, в том числе с использованием тонких керамических слоёв толщиной до 150 мкм включительно. В данный момент продолжается освоение технологии изготовления корпусов на основе керамических лент, толщиной 100 мкм, что соответствует пределу мировых возможностей в области создания НТСС-структур.

Совершенствование технологии изготовления ИС вызывает необходимость увеличения количества выводов на корпусе, уменьшения шага выводов, изготовления корпусов как больших, так и сверхмалых габаритных размеров с точными размерами монтажных и контактных площадок.

В настоящее время полностью освоены планарные металлокерамические корпуса с четырехсторонним расположением выводов и шагом 1,25; 1,0; 0,625; 0,5 мм (QFP), безвыводные корпуса с контактными площадками по внешнему периметру (LCC), а также матричные корпуса с матрицей штырьковых или шариковых выводов (PGA, BGA и LGA) с шагами выводов 0,6; 0,8; 1,0 мм. Объемы таких корпусов доминируют на мировом рынке металлокерамических корпусов и составляют до 60% всего выпуска.

Особо следует отметить резко возросший спрос на крупногабаритные, многофункциональные металлокерамические QFP-корпуса с количеством выводов до 352 и шагом 0,5 мм.

В настоящее время в мире активно развивается технология изготовления миниатюрных SMD корпусов в металлокерамическом исполнении размером (5,0x5,0) мм, (3,0x3,0) мм, давшая толчок развитию технологии поверхностного монтажа.

Обладая известными преимуществами данной технологии, такие миниатюрные корпуса имеют лучшие показатели по электрическим характеристикам, по рассеиванию тепла, по устойчивости к жестким механическим и циклическим температурным воздействиям.

На сегодняшний день заявителями проекта выполнен огромный комплекс работ по внедрению и освоению технологического процесса производства

металлокерамических корпусов (МКК) с габаритными размерами (5,0x7,0) мм и (5,0x3,2) мм, при этом высота корпуса не превышает 1,25 мм. Для сокращения отставания от мировых лидеров проведен технологический рывок в производстве отечественных металлокерамических корпусов с разработкой совершенно новых технологических направлений, новой технологии использования тонких керамических лент для формирования диэлектрических слоев корпусов микросхем, новой технологии формирования внутри объема диэлектрика межслойных металлизационных переходов с очень высокой плотностью размещения – расстояние между межслойными переходами не превышает 2,5 диаметра, новой технологии формирования коммутационных проводников шириной до 50 мкм с обеспечением высокоскоростных линий передач с расстоянием между ними до 70 мкм, новой технологии сборки тонких диэлектрических слоев с коммутационными уровнями в общий стек толщиной до 30 слоев включительно, а также разработаны и внедрены принципиально новые материалы с улучшенными эксплуатационными свойствами.

В рамках заявленной работы разработаны и внедрены в серийное массовое производство:

- технология литья тонких керамических лент толщиной до 150 мкм, исследованы тонкости работы с такими лентами;

- технология изготовления металлизационных паст и пасты сослоения с требуемыми физико-химическими свойствами, предназначенных для нанесения на тонкие керамические слои и их последующего стекирования;

- технология изготовления сетчатых трафаретов с повышенной разрешающей способностью до 50 мкм;

- технология лазерной вырезки переходных отверстий диаметром до 80 мкм в объеме неспеченной керамики;

- технология формирования межслойных переходов диаметром до 80 мкм;

- технология нанесения и обеспечения требуемой толщины профиля коммутационной разводки шириной до 50 мкм включительно;

- технология обжига сложных конструктивов корпусов микросхем с применением специализированной оснастки для обеспечения уровня неплоскостности монтажной зоны корпусов микросхем не более 30 мкм;

- технология формирования золотого покрытия толщиной до 0,15 мкм методом химического осаждения.

Из-за необходимости обеспечения точности координат функциональных элементов плат и корпусов микросхем в период с 2015 по 2021 гг. разработана и внедрена новая технология изготовления шликера, из которого отливается керамическая лента толщиной до 150 мкм. Процесс приготовления такого шликера осуществляется в специализированных шаровых мельницах высокой производительности, позволяющие совместить операцию измельчения исходных порошковых материалов и операцию приготовления шликера, пригодного для литья керамической ленты, в единый процесс. При этом разработан совершенно новый способ приготовления керамического шликера с измельчением его твёрдых компонентов в органическом растворителе (толуоле). Разработанный способ изготовления шликера позволяет отливать тонкие керамические ленты с минимальной погрешностью таких важнейших характеристик, как толщина, удельный вес ленты и коэффициент усадки после обжига в продольном и поперечном направлениях. Вся разработанная технология, включая внедрение новых материалов и освоение нового оборудования, представляет собой законченный процесс от загрузки исходных порошков до получения пригодного для литья ленты керамического шликера.

Особенностью разработанного технологического процесса является использование состава шликера для литья керамической ленты на основе акриловой связки и толуола. Такой состав шликера является оригинальным и используется только для литья ленты в Японии. Разработка новой технологии приготовления шликера позволила оптимизировать технологический процесс, стабилизировать свойства керамического материала и отливать тонкие керамические ленты со стабильными эксплуатационными свойствами для корпусов микросхем повышенной функциональной сложности.

Как показывает практика, корпуса сложного конструктивного исполнения содержат в среднем 400 выводов, не менее 15 диэлектрических уровней (слоев) и высокую плотность размещения как плоской проводящей коммутации, так и объемных межслойных переходов. В связи с этим появляется необходимость формирования в объеме керамики переходных отверстий под дальнейшее их заполнение металлизационной пастой. Ввиду огромного количества (до 5000 на 1 см<sup>3</sup>) и диаметра отверстий от 80 до 100 мкм данные отверстия невозможно сформировать классическим методом штамповки, ввиду частой поломки пуансонов и выхода из строя дорогостоящего штампа в целом. Поэтому команда заявителей в период с 2016 по 2017 гг. разработала способ формирования переходных отверстий методом лазерной вырезки в объеме неспеченной керамики. В ходе работы было подобрано и освоено необходимое оборудование с последующей его технологической модернизацией, разработаны и внедрены технологические режимы лазерной вырезки, разработана и несколько раз модернизирована необходимая оснастка для точности повторения лазерной вырезки отверстий, разработаны методы контроля лазерной вырезки.

Для заполнения переходных отверстий диаметром от 75 до 100 мкм с высокой плотностью размещения в 2020 году разработан компонентный состав и технология изготовления металлизационной пасты на основе тугоплавких высокодисперсных (средний размер частиц 1 мкм) вольфрамовых порошков, обеспечивающие, с одной стороны, легкое прохождение пасты через открытые участки трафарета, а с другой стороны, хорошую формоустойчивость пасты в объеме межслойного перехода до момента ее полного высыхания.

В 2020 году разработана технология заполнения переходных отверстий диаметром 75 мкм и глубиной до 180 мкм методом трафаретной печати или же прессованием. Трудность заполнения столь узких, но в то же время глубоких переходных отверстий связана со значительной шероховатостью внутренних стенок переходных отверстий, которые оказывают значительное сопротивление при их заполнении металлизационной пастой. Как показали исследования заявителей, полное заполнение переходных отверстий достигается при

использовании пасты с оптимальными реологическими свойствами в сочетании с правильно установленными технологическими параметрами трафаретной печати или пресса, число которых превышает несколько десятков. Разработанная технология представляет информационный массив данных, который включает в себя порядок действий, технологических приемов и инструкций по предотвращению и устранению проявленных на практике форм дефектности межслойных переходов, и позволяет обеспечить плотное заполнение переходных отверстий для образования бесперебойной электрической связи коммутационных проводников, размещенных на разных уровнях корпуса микросхемы.

В 2022 году разработан компонентный состав металлизационной пасты и технология ее нанесения на поверхность керамических заготовок токоведущих элементов с шириной проводника до 50 мкм включительно и с таким же межпроводниковым расстоянием. Технология основана на использовании сетчатых трафаретов с жидким фоточувствительным материалом, обладающим высокой разрешающей способностью. Помимо самой технологии формирования коммутационных проводников, коллективом заявителей полностью разработан способ изготовления сетчатых трафаретов на основе жидких фоточувствительных материалов. С помощью данной технологии удалось снизить диаметр бампов (контактных площадок) корпусов микросхем до 100 мкм.

Одна из основных проблем при реализации металлокерамической платы с большим числом межслойных переходов – это обеспечение надежного контакта между горизонтальными и вертикальными проводниками. Дело в том, что сослоение отдельных коммутационных слоев в многослойную плату осуществляется с помощью пасты сослоения, которая наносится тонкой прослойкой между отдельными слоями платы. Существующая технология предполагает использование пасты сослоения, содержащей в своем составе твердые диэлектрические частицы, т.е. состав которой максимально близок к составу керамики. Основная проблема возникает, когда такая паста попадает в

зону контакта вертикальных и горизонтальных проводников и изолирует их друг от друга или как минимум существенно повышает сопротивления проводников. Еще больше усугубляют ситуацию современные тенденции развития микроэлектроники по пути увеличения степени интеграции микросхем, что заведомо предполагает увеличение числа межслойных переходов и повышение вероятности попадания диэлектрической пасты в зону контакта вертикальных и горизонтальных проводников.

Новая технология сослоения отдельных керамических слоев, разработанная в период с 2015 по 2017 гг., заключается в использовании пасты без твердых диэлектрических частиц на полимерной основе с соответствующей системой органических растворителей. Таким образом, командой заявителей разработан компонентный состав пасты сослоения без керамического наполнителя и разработана технология стекирования керамических слоев корпусов микросхем на основе данной пасты, что позволило значительно упростить базовую технологию.

В период с 2018 по 2021 гг. разработана технология спекания керамических полуфабрикатов, позволяющая обеспечить минимальный уровень деформации и изменения уровня неплоскостности монтажной зоны корпуса под разварку микросхемы. Особенно это актуально для корпусов типа LGA, где посадка кристалла осуществляется методом «Flip-chip». Разработанная технология предполагает применение специализированной оснастки для правильного размещения изделий во время температурной обработки с минимальными рисками воздействия температуры на геометрию полуфабрикатов.

Также необходимо отметить, что современные требования, предъявляемые к готовым микросхемам, напрямую относятся к показателям качества корпусов, и в первую очередь к качеству золотого покрытия. Базовая технология изготовления корпусов микросхем предполагает защиту контактных и выводных площадок методом нанесения золотого покрытия, полученного гальванического осаждением. Для этого от контактных и (или) выводных площадок на этапе

разработки топологии на торцевые поверхности платы металлокерамического корпуса выводятся технологические проводники, которые позволяют объединить все электрические цепи корпуса в одну общую электрическую цепь посредством нанесения временной металлизированной шины. Это необходимо для обеспечения протекания электрического тока при гальванической реакции по всем открытым металлизированным элементам корпуса. На завершающих этапах производства объединение всех цепей корпуса в одну общую электрическую цепь устраняется специальной технологической операцией (механическое удаление временной металлизированной шины).

Возможность применения данной технологии при изготовлении корпусов микросхем повышенной функциональной сложности является ограниченной ввиду появления паразитного эффекта, которые создают технологические проводники, необходимые для обеспечения гальванического покрытия контактных и выводных площадок. Данный паразитный эффект приводит к нарушению целостности высокоскоростных сигналов, что в конечном итоге может привести к нарушению рабочих параметров микросхемы.

Для исключения негативного влияния данных проводников, коллективом заявителей в период с 2019 по 2022 гг. разработана технология химического осаждения золота с толщиной покрытия до 0,15 мкм, позволяющая исключить применение технологических проводников в составе топологии корпуса, выходящих на торцы платы, и, как следствие, их паразитное влияние на высокоскоростные сигналы.

Разработка указанных технологий и материалов, освоение современных технологических приемов для создания тонких диэлектрических слоев с нанесенной коммутационной разводкой требуемого качества позволила совершить технологический рывок в области производства МКК для ИС последних поколений, быстро нарастить объёмы производства и расширить номенклатуру сложных типов изготавливаемых изделий. Разработанные технологические методы и приемы изготовления современных аналогов импортных металлокерамических корпусов микросхем повышенной



функциональной сложности внедрены в серийное производство корпусов микросхем на территории акционерного общества «Завод полупроводниковых приборов» с 2015 года и остаются актуальными по сей день.

Экономический эффект достигнут за счет изготовления и реализации корпусов микросхем повышенной функциональной сложности, как в рамках выполнения государственных контрактов, так и в рамках выполнения опытно-конструкторских работ.

Реализация, указанных в работе государственных контрактов, общей стоимостью 97 000 000 рублей.

Реализован промышленный выпуск продукции, разработанной и освоеной с применением достижений, указанных в работе, в объеме 7466 шт. стоимостью 51 974 757,98 рублей.

Реализация указанных работ позволила начать внедрение нового проекта в рамках государственного контракта №17705596339220002340/191/Н-23 стоимостью 1 500 000 000 рублей.

Внедрение указанных в работе достижений позволило расширить номенклатуру поставляемых изделий, что в свою очередь привело к созданию дополнительных 300 рабочих мест.