

УДК 621.3.029.6

DOI 10.53403/9785951505170_2021_26_2_286

Исследования и разработка технологических маршрутов сборки электронных модулей на основе многослойных керамических плат из отечественной системы материалов

Рассматриваются исследования технологии сборки СВЧ-модулей на основе многослойных керамических плат (МКП) отечественного производства, содержащих конструкционные детали типа обечаек, поверхностно монтируемые изделия (ПМИ) и активные компоненты в виде развариваемых кристаллов. Приводятся особенности обработки и проведения отдельных операций маршрута, конструкторско-технологические рекомендации по конструированию и монтажу электронных модулей (ЭМ) и микросборок.

И. О. Усова*, Д. А. Кондрашов*,
Н. Н. Краснова*

ЭМ, модули СВЧ на основе МКП, изготовленных методом низкотемпературного совместного обжига (Low Temperature Co-fired Ceramic – LTCC), – очень привлекательный продукт с точки зрения как получаемых характеристик, так и дальнейшего применения. Это прежде всего:

- вакуумплотность;
- компактные размеры и прочность конструкции (возможность интеграции пассивных компонентов, объемный дизайн цепей, непосредственная установка ПМИ на плату);
- высокие технические характеристики и надежность (высокая добротность и малые потери, контролируемый импеданс цепей, стабильность к внешним воздействиям (отсутствие проблем, связанных с гигроскопичностью и стойкостью к агрессивным средам, в отличие от многослойных стеклотекстолитовых аналогов));
- высокая повторяемость параметров;
- расширенный диапазон (по сравнению со стеклотекстолитовыми аналогами) механических, тепловых и рабочих нагрузок).

* Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова», г. Н. Новгород.

Номенклатура реализуемых конструкций и изделий на основе керамических плат чрезвычайно широка. Характеристики изделий на основе МКП дают возможность их задействования в спутниковой навигации, а также и в других областях ответственного применения. Неудивительно, что задача разработки и изготовления таких изделий в условиях санкционного режима предопределяет использование исключительно отечественных научно-производственных ресурсов.

Процесс сборки таких изделий сопряжен с рядом трудностей, связанных:

- с высокой стоимостью используемых для изготовления МКП материалов (листов керамики, систем золотых и серебряных паст для формирования переходов, проводящего рисунка);

- со свойством серебра растворяться в традиционных оловянно-свинцовых сплавах типа ПОС 61 (являющихся основным конструкционным материалом в изделиях электронной промышленности РФ), что предопределяет применение в сборочных процессах МКП припоев, имеющих в своем составе определенный процент содержания серебра;

- с малой (по сравнению с традиционными печатными платами на основе стеклотекстолитов FR 4 и ламинатов типа Rogers серии 4000) толщиной проводников, фактически полностью сформированных из паяемого серебряного покрытия. В керамических платах, в зависимости от применяемой серебряносодержащей пасты (или их комбинации) толщина покрытия составляет от 6 до 20 мкм. Тогда как на традиционных стеклотекстолитовых печатных платах толщина проводника с учетом толщины исходной фольги и всех процессов формирования покрытия может колебаться от 35 до 75 мкм. Данное обстоятельство заставляет обращать серьезное внимание на соблюдение температурно-временных режимов лужения и пайки контактных серебряных поверхностей, а также на количество возможных перепаек и регулировочных операций;

- с малыми габаритными размерами плат (не более 110×110 мм). Ограничение по размерному ряду керамических плат связано как с ограничением в размере исходного материала (листов сырой керамики СКМ [1, 2] единственного существующего в настоящее время отечественного производителя – предприятия «Исток» (г. Фрязино)), так и с характеристиками имеющегося в настоящий момент в филиале оборудования для производства МКП (установки трафаретной печати, стакеровщика и т. п.);

- с нестабильностью свойств отечественного керамического материала в плане усадки при обжиге от партии к партии. Интервал колебания габаритных размеров самих МКП и их внутренних полостей (100 мкм) существенно усложняет работу автоматизированного сборочного оборудования, увеличивает количество приспособлений, необходимых для автоматизации некоторых сборочных операций для сборки каждой платы. Данные обстоятельства делают невозможной полную сборку плат на автоматизированной сборочной линии, обосновывают выполнение некоторых сборочных операций поверхностного монтажа в полуавтоматическом варианте и достаточно высокую себестоимость изготовления изделий такого рода.

СВЧ-модуль с точки зрения сборки – это сложное изделие, содержащее в своем составе и поверхностно монтируемые ЧИП-компоненты, и активные компоненты в виде кристаллов, и конструкционные элементы в виде титановых крышек и обечаек. Таким образом, изготовление такого изделия предполагает выполнение цикла экспериментальных исследований:

- отработка режимов пайки и лужения контактных поверхностей с помощью паяльника припоями ПСрОС 3-58, ПСр 2, ПОСК 50-18, определение количества возможных перепаек;

- исследование монтажно-сборочных процессов групповой пайки, сварочных операций;

- исследование возможности проведения ремонтных работ;

- определение оптимального паяемого покрытия под обечайку, выявление оптимального покрытия самой обечайки в расчете на операции пайки и последующей сварки.

Основными темами исследований в рамках данной статьи являются отработка технологии пайки титановой обечайки на МКП оплавлением припойной пасты и разработка общего маршрута сборки СВЧ-модуля. Частично собранный СВЧ-модуль без установленных кристаллов и заваренной крышки представлен на рис. 1. Собираемая

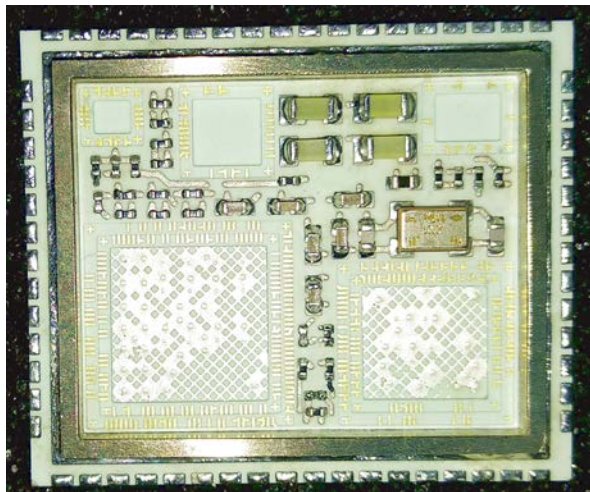


Рис. 1. СВЧ-модуль без установленных кристаллов

сторона модуля была спроектирована таким образом, что пассивные и активные компоненты располагались во внутреннем пространстве обечайки. При решении задачи монтажа обечайки важным моментом с технологической точки зрения являлось обеспечение стабильного дозирования припойной пасты на посадочное место под обечайку.

В качестве припойных паст использовали припойную пасту на основе оловянно-свинцового серебросодержащего сплава Sn62Pb36Ag2 7141 фирмы МЭФ «ОНИКС» (г. Ярославль) и ее импортный аналог – американскую пасту IndiumSNQ92J с органосмываемой канифольной флюсующей составляющей и размерами шариков припоя 25–45 мкм. Нанесение пасты на контактные поверхности МКП,

содержащие посадочные места под поверхностно-монтируемые компоненты и титановую обечайку прямоугольной формы, осуществлялось через латунный трафарет толщиной 0,15 мм на установке трафаретной печати начального уровня модели 903002 ф. Fritch.

Качество паяных соединений обеспечивает правильно подобранное и стабильно повторяемое нанесение припойной пасты. Нанесение припойной пасты на КП с помощью иглы дозатора не является повторяющимся процессом, обеспечивающим наличие четкого отпечатка. Требуемый результат может дать только правильно заданная апертура трафарета. Замкнутая конструкция обечайки обусловила выполнение групповой апертуры.

В ходе исследований было рассчитано пять типов выполнения групповой апертуры под обечайку: с одной перемычкой на каждой из сторон, с двумя и четырьмя перемычками. Ширина перемычек составляла от 0,15 до 0,3 мм; общая ширина апертуры составила 2,1 мм.

Было изготовлено пять тестовых трафаретов, выполнена серия нанесений через каждый трафарет с последующей оценкой качества полученных отпечатков (отпечатки полные, повторяющиеся, без смещений и попаданий припойной пасты в колодцы, предназначенные для последующего монтажа кристаллов). Затем следовали установка обечаек и ПМИ, пайка в конвекционной печи, с последующей визуально-оптической (при 10-кратном увеличении) и рентгенодефектоскопической оценкой качества полученных паяных соединений. Также качество соединения оценивали по уровню его герметичности (не хуже 5×10^{-5} мм рт. ст./с). Было выявлено:

– во время пайки не фиксируется свободное течение припоя по паяемому серебряному покрытию. Смачивание припоем металлизации МКП наблюдается строго в местах нанесения припойной пасты. Так, в паяных швах обечайки на рентгеновских снимках наблюдались пустоты характерной прямоугольной формы, совпадающие по положению с местами наличия перемычек на полотне трафарета. Характер смачивания определяется качествами поверхности (шероховатость подложки и самой металлизации хуже, чем у поликоровых микроплат и стеклотекстолитовых аналогов; на поверхности серебряной металлизации, выполненной на основе совместно вжигаемых паст, всегда имеются микроскопические участки стеклофазы, неизбежные для МКП). Таким

образом, было принято решение после операции трафаретной печати ввести операцию ручного добавления пасты в области посадочного места обечайки для образования удовлетворительного паяного соединения;

- минимизация ширины и количества переемычек (с целью минимизации ручных операций ремонта отпечатков припойной пасты) в латунных трафаретах способствует ослаблению конструкции трафарета, быстрой (в течение трех нанесений) деформации рабочей части полотна и его отбраковке. Таким образом, для сборки экспериментальных образцов СВЧ-модулей была отобрана конструкция латунного трафарета с максимальным количеством переемычек, выдержавшего без деформаций 23 нанесения;

- для выполнения групповых апертур под конструкционные детали сложной замкнутой формы необходимо выполнять трафареты для нанесения припойной пасты из материала с меньшей пластичностью и большей твердостью – из нержавеющей стали.

После проведения серии экспериментов был отработан следующий маршрут сборки СВЧ-модуля, содержащего МКП из СКМ:

- комплектование питателей автомата-установщика или полуавтоматического манипулятора-установщика ПМИ необходимыми типами компонентов. Способ комплектования выбирается исходя из способа поставки компонентов (в пакетах, обрезках лент, катушках);

- нанесение припойной пасты 7141 (допускается использовать пасту 92J) через металлический трафарет на обратную сторону МКП в устройстве трафаретной печати модели 903.002 (фирмы Fritch, Германия). Сама плата на рабочий стол установки устанавливается в кондукторе на магнитные подставки, для того чтобы дорастить рабочую поверхность для обеспечения закрепления МКП на поле устройства и стабильного хода ракеля по полотну трафарета;

- установка ПМИ (резисторов и конденсаторов в корпусах типа ЧИП) на отпечатки припойной пасты с помощью манипулятора;

- конвекционная пайка обратной стороны МКП, помещенной на стеклотекстолитовую подставку, в конвекционной шестизонной конвейерной печи по режиму, отработанному в расчете на рекомендации производителя припойной пасты, технических условий и технических описаний (datasheets) на монтируемые компоненты с помощью термопрофайлера ERSASENSORSHATTLE;

- нанесение припойной пасты 7141 на лицевую сторону МКП;

- лужение монтажной поверхности обечайки припоем ПСрОС 3-58 с флюсом ЛТИ 120 паяльником типа РАСЕ мощностью 51 Вт с выдержкой обечайки на керамической пластине на поверхности подогревного столика «Магистр», нагреваемой до $(165 \pm 5)^\circ\text{C}$, в течение 10 мин. Температура жала паяльника – $(280 \pm 5)^\circ\text{C}$. Скорость облуживания – 10 мм/мин. Отмывка обечайки от паяльных остатков выполнялась в спиртобензиновой смеси в соответствии с требованиями ОСТ В95 1872-77;

- установка на лицевую сторону МКП требуемых ПМИ, облуженной обечайки, а также поликоровых вкладышей в колодцы под кристаллы (чтобы не допустить во время прохода через печь случайного облуживания золотых контактных площадок, предназначенные для сварки, вследствие случайного попадания на них шариков припоя);

- пайка в конвекционной печи лицевой стороны МКП по режиму, отработанному на МКП с установленными вкладышами (чтобы учесть изменение распределения температур по плате и теплотери, связанные с присутствием поликоровых вкладышей вблизи паяемых элементов);

- визуально-оптический контроль качества пайки, устранение возможных непропаев (операция выполняется по указанию мастера);

- ручной монтаж компонентов (чья конструкция не допускает применение групповой пайки) на предварительно облуженные посадочные места МКП с помощью припоя ПСрОС 3-58 с флюсом ФКСп перед началом пайки и лужения СВЧ-модуль на керамической подложке прогре-

вали в течение 10 мин на подогревном столике, нагретом до $(103 \pm 3)^\circ\text{C}$. На паяльнике «Магистр» выставляли температуру $(250 \pm 5)^\circ\text{C}$. Время пайки каждого вывода отсчитывалось устным счетом и составляло от 2 до 3 с;

– механизированная трехстадийная отмывка платы от паяльных остатков: ультразвуковая отмывка и барботаж в 30 % водном растворе VIGONUS, струйная отмывка деионизованной водой) с последующей сушкой сжатым воздухом;

– рентгеноконтроль качества паяного шва обечайки и некоторых ПМИ. Не допускаются поры во всю ширину посадочного места обечайки;

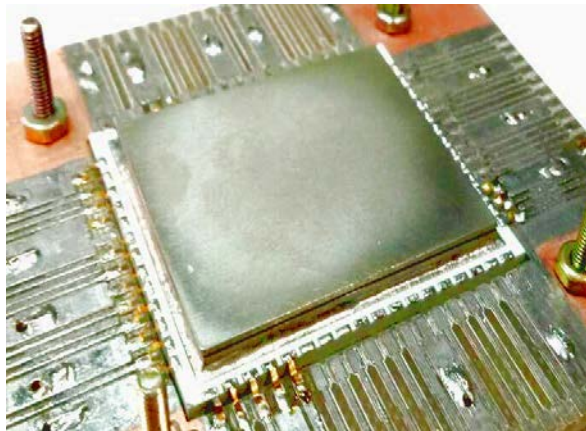


Рис. 2. Собранный СВЧ-модуль

- лакирование с применением УР-231;
- контроль стойкости к климатическим воздействиям в соответствии с требованиями подразделения-разработчика модуля;
- приемочный контроль ОТК.

Изготовленные по разработанному маршруту СВЧ-модули успешно выдержали цикл климатических и механических воздействий и функционируют в составе изделий в рабочем режиме. Внешний вид собранных СВЧ-модулей приведен на рис. 2.

Таким образом, разработанную технологию сборки ЭМ и СВЧ-модулей на основе МКП из отечественных материалов рекомендуется использовать при создании изделий НЧ- и СВЧ-диапазона: смесителей, делителей, сумматоров мощности, ответвителей, удвоителей частоты, ВЧ-трансформаторов, модуляторов, приемопередающих устройств, антенн и т. д.

Список литературы

1. Симин А., Холодняк Д., Вендик И. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига // Компоненты и технологии. 2005. № 5. С. 190–196.

2. Ляпин Л. В., Сытилин С. Н., Осипов А. В. Отечественная система низкотемпературной керамики LTCC СКМ // Сб. мат. межотраслевого семинара «Вопросы освоения LTCC-технологии на российских предприятиях, разработки и изготовления на ее основе СВЧ аналоговой и цифровой РЭА». Н. Новгород: ОАО «ФНПЦ «ННИИРТ»», 2009.

- контроль герметичности паяного шва по уровню натекания гелия;
- монтаж кристаллов на плату (клей);
- разварка внутренних проволочных соединений методом ультразвуковой сварки;
- заливка кристаллов компаундом Виксинт ПК-68;
- контроль электрических величин;
- установка крышки и герметизация модуля лазерной сваркой;
- повторная проверка герметичности паяного и сварного швов (контроль герметичности показал, что натекание по гелию составило не хуже $6 \cdot 10^{-6}$ л мкм рт. ст./с, что превышало требования, установленные в конструкторской документации);

Researches and Engineering of Technological Routes of Assemblage of Electronic Modules on the Basis of Multilayered Ceramic Plates from Domestic System of Materials

I. O. Usova, D. A. Kondrashov, N. N. Krasnova

The technology of assemblage of electronic modules, including microwave range, on the basis of multilayered ceramic plates from domestic materials is developed. It is recommended to use this technology at creation of products of LF and UHF ranges: amalgamators, dividers, power adders, doublers of frequency, modulators, send-receive devices, aerials etc.