

ОСОБЕННОСТИ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА МНОГОСЛОЙНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАТАХ

Чиненкова Ирина Петровна (niiis@niiis.nnov.ru), Усова Ирина Олеговна

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

Использование отечественной низкотемпературной совместно обжигаемой керамики СКМ является наиболее перспективным направлением в изготовлении сверхвысокочастотных плат и модулей на их основе. При монтаже керамических плат необходимо учитывать особенности керамических материалов и технологию их изготовления.

В работе приводится анализ структуры поверхности многослойных керамических плат, выполненных на основе СКМ и ее зарубежного аналога – керамики фирмы КЕКО (Словения). Исследования структур проводили с помощью электронного микроскопа. Описывается влияние структуры покрытий на качество лужения и качество получаемых паяных соединений.

Ключевые слова: паяное соединение, многослойная керамическая плата, технология LTCC, припойная паста, поверхностный монтаж, конвекционная пайка.

FEATURES OF SOLDER JOINTS ON MULTILAYER CERAMIC BOARDS

Chinenkova Irina Petrovna (niiis@niiis.nnov.ru), Usova Irina Olegovna

Branch RFNC-VNIIEF «NIIS named after Yu. Ye. Sedakov», Nizhny Novgorod, Russia

GCM is the most promising direction in the manufacture of microwave boards and modules based on them. When mounting ceramic boards, it is necessary to take into account the features of ceramic materials and the technology of their manufacture.

The paper analyzes the surface structure of multilayer ceramic boards made on the basis of GCM and its foreign analogue – ceramics from KEKO (Slovenia). Studies of the structures were carried out using an electron microscope. The influence of the coating structure on the quality of tinning and the quality of the resulting solder joints is described.

Keywords: solder connection, multilayered ceramic plate, Low Temperature Co-fired Ceramic, solder paste, surface mounting, convection soldering.

Введение

Поверхностный монтаж электронных модулей на основе стеклотекстолитовых и многослойных керамических плат (МКП) – современный, широко распространенный вариант создания деталей и узлов радиоэлектронной аппаратуры, реализуемый как селективными (с помощью паяльника), так и групповыми способами (с помощью групповых автоматизированных процессов поверхностного монтажа).

МКП представляет собой многоуровневую электрическую схему, размещенную в объеме монолитной керамической платы, в которой электрические цепи выполнены на разных уровнях, разделенных слоями керамики и соединенных в нужных местах

металлизацией. На поверхности таких плат располагаются поверхностно монтируемые изделия (ПМИ), например, чип-компоненты (резисторы, конденсаторы), конструкционные элементы типа обечайки, а также бескорпусные интегральные схемы (ИС), монолитные интегральные схемы (МИС) и т. д., предназначенные для приклейки и последующей разварки золотой и алюминиевой проволокой. Проводящий рисунок для компонентов, предназначенных под пайку, выполняют из вжигаемых паст на основе порошка серебра. Посадочные места под процессы сварки выполняют вжиганием паст на основе порошка золота.

Технологии монтажа со временем меняются, также как и материалы для изготовления МКП. Сложность создания МКП в том, что необходимо

подобрать систему материалов (керамика плюс пасты) с необходимыми свойствами, сохраняющимися как после изготовления, так и при монтажно-сборочных процессах. Понимание механизмов смачивания паяемых поверхностей, выполненных на МКП, невозможно без исследования их структуры. Процесс смачивания припоем вожженого серебряного покрытия на МКП имеет свои особенности, методика лужения образцов и оценки качества облуженных поверхностей претерпевает существенные отличия от традиционной методологии эксперимента. Опыт ручного и группового автоматизированного поверхностного монтажа ПМИ на МКП показал, что на МКП обнаруживаются типы дефектов, которые невозможно встретить на печатных платах из стеклотекстолита.

Процесс сборки МКП включает себя последовательное выполнение типовых операций поверхностного монтажа. Для монтажа была использована припойная паста на основе сплава Sn62Pb36Ag2. Далее выполнялись операции по установке и разварке кристаллов и герметизации модуля.

Оценка качества подобных сборок после этапа операций поверхностного монтажа проходит в целом по стандартной схеме оценки качества монтажа ПМИ на печатные платы из стеклотекстолита. Аналогично требований стандартов [1–3] оцениваются продольные и поперечные смещения ПМИ, непропаи, эффекты «надгробного камня», целостность конструкции, наличие перемыканий при помощи средств визуально-оптического и рентгенодефектоскопического контроля.

Визуальный контроль производится с помощью микроскопа типа МБС при 8–16^x увеличении. При его помощи можно обнаружить такие дефекты как: непропаи, эффекты «надгробного камня», все типы смещений, наличие или отсутствие перемыканий, наличие шариков припоя в зоне, доступной для осмотра, щели и поры в паяном шве обечайки, но не дефекты внутренней структуры МКП и не дефекты, скрытые от объектива микроскопа.

Рентгенодефектоскопический контроль применяется для поиска непропаев, смещений и пустот в паяных соединениях компонентов в корпусах QFN, разрывов цепи внутренней структуры плат, скрытых в подкорпусном пространстве шариков и перемыканий припоя. В случае модулей на основе МКП рентгенодефектоскопическому анализу подвергается паяное соединение обечайки. Дефектом считается непропай (отсутствие припоя в областях под обечайкой), а также наличие крупных пустот или цепи пустот, располагающихся по ширине обечайки.

При анализе качества паяных соединений ЭРИ на МКП следует учитывать несколько специфических типов дефектов, характерных только для данных конструктивов.

Кроме таких стандартных дефектов, как непропай, смещения ПМИ, перемыкания, шарики припоя на поверхности платы, нарушений целостности корпусов компонентов и платы, возможно столкнуться с такими явлениями, как:

а) Выщелачивание (растворение материала паяемого покрытия в припое). Пример данного дефекта представлен на рис. 1. Выщелачивание исходного покрытия происходит из-за быстрого диффундирования частиц серебра с поверхности КП в припойную пасту (или припой). В [4] приводится укрупненный график процесса растворения покрытия спаиваемых элементов (рис. 2), в том числе серебра. В случае чрезмерного выщелачивания основного металла, поверхность может быть полностью нарушена и КП практически не будет подлежать восстановлению. Данный дефект следует отнести к категории критических дефектов.



Рис. 1. Фотография участка смонтированной МКП с растворенной КП

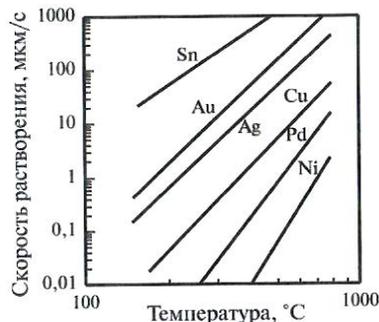


Рис. 2. График скорости растворения металлов в припое

Причины выщелачивания с точки зрения нарушений производственного процесса:

- неудовлетворительный режим отжига при изготовлении МКП;
- слишком долгое воздействие растворителей при декапировании покрытия МКП с целью освобождения от стекла;
- нарушения режима пайки (избыточное время воздействия припоя, в составе которого имеется серебро (ПСrOC 3-58, сплав Sn62Pb36Ag2), разогрего до максимальных температур или использование припоя ПОС 61, в составе которого отсутствует серебро).

б) Частичное облуживание шариками припоя золотых КП, предназначенных для монтажа и разварки бескорпусных активных компонентов в виде кристаллов. Данный дефект практически неизбежно возникает при разбрызгивании шариков припоя в конвекционной печи во время пайки. Для его предупреждения необходимо в ходе сборки защищать будущие области разварки кристаллов специальными вкладышами или резиновыми компаундами.

в) Бугристые (песчаные) паяные соединения с большим количеством пор и пустот. Причины появления данного дефекта:

- неправильно подобранный режим пайки (перегрев);

- частичное выщелачивание материала паяемого покрытия (при попытке исправить соединение покрытие полностью растворяется в припое);

- нарушения при выполнении обжига при изготовлении МКП.

г) Отсутствие смачивания или неполное смачивание КП припоем при групповой пайке. Если отсутствие смачивания обычно является групповым критическим дефектом (фиксируется сразу на нескольких КП), то неполное смачивание припоем КП при групповой пайке нужно классифицировать как устранимый дефект.

Причинами отсутствия смачивания могут быть:

- неудовлетворительная обработка поверхности МКП (неправильный режим декапирования стеклофазы после отжига);

- неправильно подобран режим отжига МКП.

Причиной неполного смачивания являются нарушения в процессах нанесения припойной пасты (неправильно подобранные апертуры трафарета (или игла дозатора) для нанесения припойной пасты).

Результаты изготовления электронных модулей на основе МКП позволяют отметить очень интересное явление: в случае неполного смачивания КП припойной пастой отмечается удовлетворительная смачиваемость КП на той же МКП при контактной пайке паяльником. Ввиду этого, появилась необходимость исследовать структуры верхних слоев МКП под значительно большим увеличением.

Для исследований было взято три образца плат: из керамики СКМ с металлизацией серебряными пастами ПП-141 и ПП-441, из керамики КЕКО с металлизацией серебряной пастой AgPdS-1 и фрагмент стеклотекстолитовой платы с паяемым покрытием иммерсионное золото размерами 30×40 мм. Работы проводились на сканирующем электронном микроскопе. Перед началом исследований образцы подвергались очистке в изопропиловом спирте (протирка с помощью бязи, отмывка в ультразвуковой ванне в течение 30 с при температуре 30 °С).

Исследования структуры поверхностей образцов в областях разделения конструкционных материалов проводились при увеличении от 65^x до 112^x на следующих режимах:

- режим «InLense» (режим детектирования вторичных и обратно рассеянных электронов). При работе оборудования в данном режиме на экране видны электромагнитные эффекты – области намагничивания в образце. Таким образом, на получаемом изображении удавалось отделять металлические, диэлектрические и иные компоненты поверхности друг от друга.

- режим SE2 (детектирование электронов, отклоненных от оптической оси). При работе в данном режиме более детально проявлялся рельеф поверхности образца.

- режим EsB (детектирование обратно рассеянных электронов) позволял получить насыщенный композиционный контраст. При этом исключалось наблюдение намагниченности и наложение эффектов, и можно было более четко отличить материалы по типам атомов.

В ходе исследований по получаемым изображениям определяли тип материала, а также производили сравнительную оценку структуры паяемых покрытий (шероховатость, плотность, форму зерен и состояние границ между зернами, примерные размеры зерен). Иллюстративные фото изображений структур поверхностей покрытия иммерсионное золото на стеклотекстолитовой плате и серебряных покрытий на керамике приведены на рис. 3.

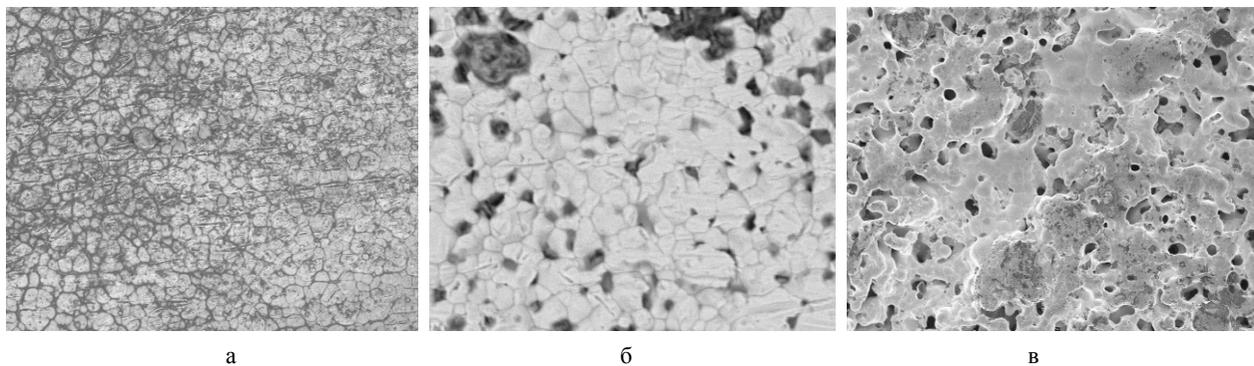


Рис. 3. Снимки структур контактных поверхностей: а – покрытие иммерсионное золото на стеклотекстолитовой плате, б – серебряное покрытие, сформированное пастой AgPdS-1 на керамике КЕКО, в – серебряное покрытие, сформированное пастой ПП-141 на керамике СКМ

Установлено, что покрытие на печатной плате – гладкое, плотное, имеет равномерную ячеистую структуру, пор на границах зерен не обнаружено. В отличие от покрытия иммерсионное золото на стандартной печатной плате, покрытия на керамике имеют ярко выраженную шероховатую зернистую структуру. Зерна серебряного покрытия на керамике КЕКО более крупные, структура покрытия плотная, размеры зерен от 5 до 17 мкм, поры между зернами единичные. В случае с керамикой СКМ, покрытой слоем серебряного покрытия на основе пасты ПП-141 (толщина покрытия 8–12 мкм) форма зерен более сложная, размеры меньше (2–9 мкм). Между зернами имеются множество мелких, а также и крупные поры, сопоставимые с размерами самих зерен.

Если учесть тот факт, что размеры большинства шариков припоя в припойных пастах типа 3 составляют 25–45 мкм или 15–25 мкм (тип 5), то состояние поверхности полностью объясняет особенности самопроизвольного растекания припоя под действием конвекционного нагрева по таким покрытиям. По тонкому шероховатому пористому покрытию, толщина которого сопоставима с размерами зерен, припой не сможет равномерно растечься. При воздействии жала паяльника на область смачивания припой практически «втирается» в покрытие, заполняя неровности поверхности. Увеличивая толщину покрытия и уменьшая пористость, удастся добиться лучшей растекаемости припоя, что подтверждается при работе с образцами на керамике КЕКО и керамике СКМ с двумя серебрясодержащими пастами ПП-141 и ПП-441. Такое покрытие имеет более ровную структуру и, как показала практика, лучшие смачивающие свойства, сопоставимые со свойствами покрытия иммерсионное золото. Рентгенодефектоскопический анализ показал меньшее количество пустот под обечайкой в случае применения двойного покрытия.

Состояние поверхности покрытий на МКП подтверждает, что растекаемость припоя по керамическим покрытиям практически всегда будет ограничиваться областью нанесения дозы припоя (припойной пасты). Данное обстоятельство учитывается при проектировании апертур трафарета под нанесение пасты (размеры апертур должны равняться размерам кон-

тактных площадок на плате) и подборе диаметра иглы при нанесении пасты методом дозирования.

Для достижения более надежной пайки конструктивных элементов типа металлических обечаек, необходимо предварительно облуживать паяльником области металлизации их посадочных мест, чтобы в дальнейшем уменьшать размер пор и пустот в паяных соединениях и получать герметичные паяные швы.

По результатам исследования можно сделать выводы:

1. Особенности строения и структуры паяемых покрытий МКП определяют новые типы дефектов (выщелачивание, неполное смачивание КП припойной пастой при удовлетворительном смачивании при ручном облуживании).

2. Паяемые покрытия на керамике имеют ярко выраженную шероховатую зернистую структуру, в отличие от покрытия иммерсионное золото, что, в итоге, затрудняет растекание припоя по контактной поверхности МКП.

3. Процессы растекаемости припоя по шероховатым паяемым покрытиям различны при контактном (с помощью паяльника) и бесконтактном (в печи конвекционного оплавления) нагреве и определяются структурой покрытия.

Список литературы

1. IPC-A-610D Acceptability of Electronic Assemblies – February 2005.
2. ОСТ В 95 2302. Аппаратура микроэлектронная. Пайка выводов электрорадиоизделий на печатные платы. Типовые технологические процессы. Общие технические требования к качеству паяных соединений. Введ. 1982-07-01.
3. ГОСТ Р 56427-2015. Пайка электронных модулей радиоэлектронных средств. Автоматизированный смешанный и поверхностный монтаж с применением бессвинцовой и традиционных технологий. Технические требования к выполнению технологических операций. Введ. 2015-09-01. М.: Стандартиформ, 2015.
4. Медведев А. М. Сборка и монтаж электронных устройств. М.: Техносфера, 2007. С. 256.