

## **Современное состояние технологии сборки многофункциональных твердотельных модулей СВЧ**

*Рассмотрены примеры сборки многофункциональных твердотельных модулей СВЧ, представлено описание оборудования, отвечающего требованиям мелкосерийного и крупносерийного производства.*

**Ключевые слова:** автоматизированная сборка, модули СВЧ

Бурное развитие СВЧ электроники в конце XX века привело к созданию монолитных интегральных схем СВЧ (МИС СВЧ): фазовращателей, аттенуаторов, переключателей и усилителей и т.д. На их базе были созданы многофункциональные твердотельные модули СВЧ нового поколения с малыми габаритами, необходимой рабочей полосой частот, выходной мощностью, КПД, уровнем шумов и малыми токами потребления. Это привело к созданию систем локации для большого числа систем бортового, наземного и морского базирования, экономически выгодные и отвечающие техническим требованиям настоящего времени.

По мере повышения диапазона рабочих частот происходит постоянное увеличение плотности монтажа компонентов с уменьшением размеров контактных площадок, что накладывает высокие требования к выбору сборочного оборудования.

На фото 1 представлен фрагмент многофункционального модуля СВЧ со средней плотностью монтажа компонентов. Подобный узел содержит двенадцать МИС СВЧ и около 200 сварных перемычек.

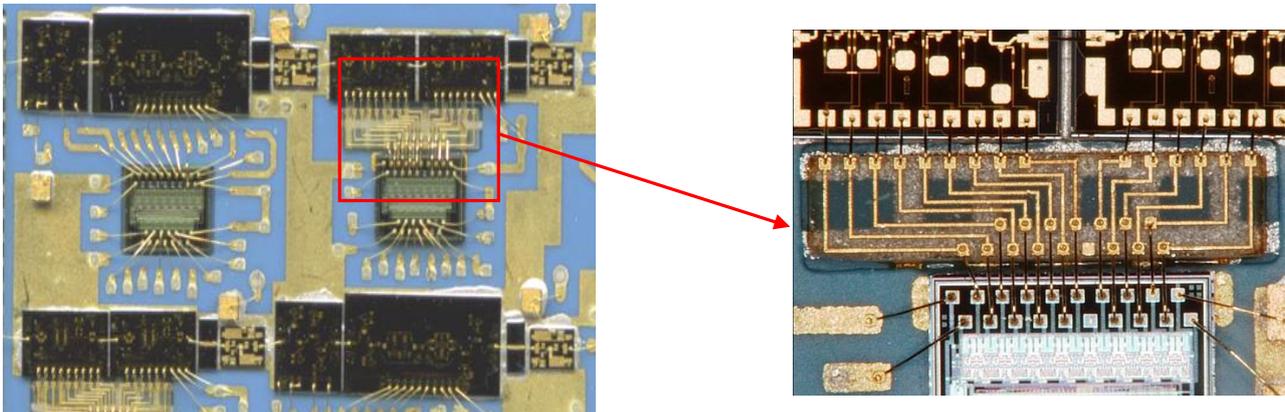


Рисунок 1.

При разработке технологических процессов сборки таких модулей необходимо исходить из того, что в качестве активных компонентов используются кристаллы мощных полевых транзисторов и монолитные интегральные схемы (МИС), выполненные на арсениде галлия, имеющие толщину 100 микрон и менее и достаточно большие габаритные размеры (длина стороны достигает нескольких миллиметров). При этом технологические процессы сборки

должны разрабатываться с учетом указанных особенностей, а применяемые материалы должны обеспечивать согласование по ТКЛР и возможность максимального отвода тепла.

Простым решением в разработке приемопередающих модулей с различной выходной мощностью стало деление на приемо-передающий submodule и submodule усилителя мощности передающего канала.

Конструкция усилителя предусматривает проведение многократной пайки, которая проводится на первой стадии сборки с применением эвтектического припоя AuSn ( $T_{пл} = 280^{\circ}\text{C}$ ).

Процесс групповой пайки плат проводится при температуре  $310-330^{\circ}\text{C}$  в печах VLO-20 в формирующем газе.

Для пайки мощных транзисторов используется установка пайки на эвтектику T-3002-FC3, имеющей следующие характеристики:

- минимальный размер паяемого изделия  $0,2 \times 0,2$  мм;
- температура нагрева рабочего стола до  $500^{\circ}\text{C}$ ;
- подача инертного газа в зону пайки (Ar, N<sub>2</sub>, формирующий газ);
- возможность работы в полуавтоматическом режиме;
- возможность подогрева инструмента.

При этом процесс пайки проводится при температуре  $300-320^{\circ}\text{C}$ .

После установки всех активных и пассивных компонентов усилители поступают на операцию микросварки. Основным способом микросварки принята термозвуковая микросварка с использованием золотой проволоки. Процесс микросварки осуществляется при температуре общего подогрева до  $150^{\circ}\text{C}$  с приложением к сварочному инструменту ультразвуковых колебаний малого ( $1,0-1,3$  W) уровня мощности. В зависимости от размеров контактных площадок используется золотая проволока диаметром 18 и 25 мкм. Конструкция установок микросварки предусматривает возможность разварки в «колодцах», т.е. проведение процесса микросварки на глубине до 15 мм относительно верхней кромки корпуса модуля. Установки микросварки K&S 4526 и K&S 4523AD используются для разварки «клином» и позволяют работать в полуавтоматическом режиме.

Для получения надежных микросварных соединений используется установка микросварки K&S 4524AD, позволяющая осуществлять микросварку с формированием золотого шарика. Такой вид сварки обеспечивает достаточную прочность и надежность сварного соединения.

Герметизация усилителей проводится двумя способами:

- пайкой с применением припоя ПСрОС 3-58 на установке DT-250-РН с гермобоксом GEN 5 (ВУМЗ);
- клеем типа ТК-8А с высоким объемным электрическим сопротивлением.

При увеличении количества активных МИС СВЧ в модулях и повышении объемов производимой продукции актуальным становится применение автоматической сборки. При этом обеспечивается высокая повторяемость, производительность, качество и, в конечном итоге, надежность изделий. Однако переход на автоматическую сборку предъявляет вполне

определенные требования к конструкции изделий, применяемым расходным материалам, комплектующим, таре, носителям и квалификации персонала и организации производства.

Применение сборочных автоматов при изготовлении многофункциональных модулей возможно на операциях монтажа МИС на многослойные керамические платы (LTCC) и микросварки шариком.

При нанесении клея в автоматическом режиме корректировка количества клея невозможна, поэтому единственным способом приемлемым для нанесения клея на LTCC является метод переноса (штампового отпечатка). Такой метод применяется при высокой плотности монтажа, т.е. когда кристаллы располагаются практически вплотную друг к другу. В этом случае изготавливаются специальные инструменты, торец которых опускается в емкость с клеем на заданную глубину и переносит клей на соответствующую контактную площадку. Затем установщик кристаллов берет соответствующий кристалл и устанавливает точно на то место, где уже нанесен клей.

Обычно процессы нанесения клея и установки кристаллов реализованы в одной машине.

Наиболее подходящей установкой посадки кристаллов для многофункциональных модулей является установка монтажа кристаллов 2200 EVO австрийской фирмы Datacon. В таблице 1 приведены основные технические характеристики установки монтажа кристаллов 2200 EVO.

При сборке субмодулей СВЧ на LTCC монтируется около 30 кристаллов МИС десяти типоразмеров. Это означает, что при переходе на посадку МИС в автоматическом режиме для каждого типоразмера МИС необходимо использовать свой специальный инструмент. В установке монтажа кристаллов 2200 EVO предусмотрена система автоматической смены инструментов, которая может работать с 7 типоразмерами кристаллов. Но при этом предъявляются достаточно жесткие требования по допускам на геометрические размеры кристаллов и к качеству поверхности подложки в части шероховатости и неплоскостности.

Для проведения процесса термозвуковой микросварки золотой проволоки шариком в автоматическом режиме была выбрана установка микросварки ICopp фирмы Kulicke & Soffa. В таблице 2 приведены основные характеристики установки микросварки.

Перевод на автоматическую сборку многофункциональных модулей СВЧ в части монтажа кристаллов СВЧ МИС и их разварки возможен, но при этом необходимо ужесточить требования к поступающей на сборку комплектации (МИС, LTCC, корпусов и т.д.) и материалам, особое внимание следует обратить на подготовку высококвалифицированного персонала операторов и наладчиков.

Процесс сборки многофункционального модуля, фрагмент которого показан на фото 1, можно показать на примере сборки субмодуля СВЧ:

1. входной и межоперационный контроль комплектующих и изделий;
2. монтаж МИС и пассивных компонентов на установке монтажа кристаллов Datacon 2200 EVO;
3. термозвуковая разварка выводов на установке микросварки ICopp;
4. герметизация модулей.

Входной и межоперационный контроль комплектующих и изделий аналогичен упомянутому выше.

Монтаж МИС и пассивных компонентов многофункционального модулей производится при помощи токопроводящих клеев типа ЭЧЭ-С.

Сушка клея осуществляется в специальной камере температуры РНН-101 со следующими характеристиками:

- диапазон температур 20-300°C;
- контроль точности поддержания температуры;
- контроль точности распределения температур.

Технологический маршрут изготовления модулей может претерпевать некоторые изменения в зависимости от их конструкции, применяемых материалов и оборудования, но основная концепция, изложенная выше, нашла свое подтверждение при выпуске серийных изделий многофункциональных твердотельных модулей этого поколения.

Современные тенденции развития производства приемопередающих модулей показывают рост интеграции МИС СВЧ и уменьшение размеров модулей. Модули последнего поколения содержат ограниченный набор микросхем очень высокой степени интеграции, каждая из которых является законченным функциональным узлом. Как правило это маломощный усилитель с защитой, микросхема амплитудно-фазовой обработки (т.н. Core-chip) и усилитель мощности выходного сигнала.

Интересны решения изготовления корпусов подобных модулей. Корпуса выполнены по технологии LTCC или NTCC. Они содержат до 16-20 слоев и сотни тысяч переходных контактов из одного слоя в другой. Часто можно встретить интегрированный с корпусом теплоотвод.

При большом объеме выпуска таких изделий выбор технологического оборудования будет сильно отличаться от приведенного выше.