

*Ранжин Ю.С., Калашников Ю.Н., Литвиненко Н.П.
АО «НПП «Исток имени А.И. Шокина»*

Электропроводящие клеи для автоматической сборки открытых кристаллов.

Представлены результаты экспериментальных исследований электропроводящих клеев, применяемых при автоматической сборке открытых кристаллов модулей СВЧ. Отработана посадка открытых кристаллов на контактные площадки плат LTCC на клей методом переноса.

Ключевые слова: электропроводящие клеи, автоматическая сборка, метод переноса, вязкость.

На предприятии АО «НПП «Исток имени А.И. Шокина» при сборке модулей СВЧ и РЭА, а также отдельных микросборок, где присутствуют открытые кристаллы (МИС, транзисторы, драйверы, диоды и др.) предпочтение при сборке плат ГИС и LTCC отдаётся бесфлюсовой пайке. Маршрут бесфлюсовой сборки включает в себя также монтаж навесных компонентов (кристаллов) на электропроводящие клеи, которые имеют ряд преимуществ перед процессом бесфлюсовой пайки, а именно:

- для отверждения клея не требуется высокой температуры;
- напряжения, возникающие в клеевом соединении, распределяются равномерно по склеиваемой поверхности;
- создаются благоприятные условия для автоматизации монтажно-сборочных операций и обеспечивается более высокий процент выхода годных изделий за счёт исключения человеческого фактора. Это в свою очередь позволяет повысить производительность и точность сборочных операций, монтировать миниатюрные элементы[1].

Но при выборе к клеевой композиции предъявляются жёсткие требования – необходимо учитывать не только эксплуатационные характеристики изделий, такие как прочность соединения, электро- и теплопроводность, ТКЛР, но и такие параметры как вязкость, индекс тиксотропности, жизнеспособность, сохранение реологии на протяжении всего процесса приклеивания. Последние параметры особенно принимаются во внимание применительно к автоматической посадке кристаллов.

В настоящее время существует несколько способов нанесения клеевых композиций с учетом особенностей конструкции изделий и маршрутов сборки. Жидкие вязкие клеи наносят с помощью дозатора, методом переноса, методом трафаретной печати. Самый популярный способ нанесения клея на контактные площадки платы - дозирование. Система дозирования оснащена диспенсером, откуда через иглу дозируется строго определенное количество клея. Параметры вязкости являются определяющими при нанесении клея этим методом. Стоит отметить, что при данном способе нанесения клея необходима плоская поверхность с минимальной шероховатостью. В противном случае можно повредить иглу, а увеличение зазора между иглой и поверхностью приведет к неравным рисункам нанесенного клея.

Альтернативой методу дозирования является метод переноса - самый простой способ нанесения клея на контактные площадки платы. Инструмент со специально подобранным рельефом окунается в ванну с клеем и переносит определённое количество клея на плату.

Клей за счёт сил смачивания остаётся на плате, формируя отпечаток с необходимым его количеством. Устройство с автоматической подачей клеевой композиции оснащено датчиком касания, что позволяет применять данный способ при относительно различной шероховатости поверхности и разности высот плат. Так как клей находится в открытой ванне, то это снижает его время жизни - быстро изменяется реология. Некоторые производители клеев добавляют в композицию активные разбавители и модификаторы эпоксидных смол, малолетучие растворители, которые значительно дольше сохраняют реологию клея во время нанесения. Следует отметить про такой параметр, как тиксотропный индекс, который показывает, как уменьшается вязкость клея под действием напряжения сдвига. Особенно это критично в методе переноса, когда вязкая композиция испытывает напряжение во время перемешивания клея в ванне и при контакте инструмента с клеем.

Была поставлена задача подобрать электропроводящий клей и отработать технологию автоматической посадки кристаллов на платы LTCC модулей СВЧ для АФАР. Для решения этой задачи были выбраны 3 электропроводящих клея, которые используются при сборке микросхем. Посадка кристаллов производилась на установке поверхностного монтажа Datacon 2200 Evo (фото 1).



Фото 1. Установка поверхностного монтажа Datacon 2200 Evo.

Установка поверхностного монтажа Datacon 2200 Evo представляет собой автоматическую систему нанесения клея с последующим монтажом кристаллов. Данная установка позволяет осуществлять монтаж следующими способами:

- пайка на низкотемпературные припои;
- пайка паяльными пастами;
- посадка кристаллов на клеи.

Установка оснащена системой дозирования (клея или паяльной пасты) и системой для нанесения клея (паяльной пасты) методом переноса. Точность позиционирования при нанесении клея составляет ± 10 мкн.

В нашем случае в качестве способа монтажа кристаллов был выбран метод переноса, поскольку была замечена относительно высокая шероховатость поверхности контактных площадок плат LTCC. Клеи выбирались прежде всего по эксплуатационным характеристикам, которым удовлетворяли значения прочности и электропроводности. Были выбраны электропроводящие клеи на эпоксидной основе, в которых в качестве наполнителя используется мелкодисперсный порошок серебра. Эксплуатационные и технологические параметры выбранных клеев представлены в таблице 1. В электропроводящих клеях частицы мелкодисперсного порошка серебра находятся в коллоидном состоянии. Клеевая композиция должна быть стабильна на протяжении всего

отрезка времени её нанесения на платы, то есть должна обладать агрегативной и фазовой устойчивостью. Потеря дисперсной системой агрегативной устойчивости приводит к тому, что в ней идёт самопроизвольное укрупнение частиц за счёт коагуляции, которая происходит в 2 этапа. Первый этап (флокуляция) состоит в сближении частиц дисперсной фазы и взаимной их фиксации на небольших расстояниях друг от друга. Между частицами остаются прослойки среды (органической составляющей). Более глубокий процесс коагуляции (агрегация) приводит к разрушению прослоек среды и непосредственному контакту частиц. В итоге образуются жесткие агрегаты из твёрдых частиц и последующая их седиментация (осаждение)[2]. Все эти процессы провоцируют разрушение коллоидной системы, что приводит к падению вязкости. В результате отпечаток клея теряет свою форму, становится размазанным, в этом случае при плотном монтаже некоторое количество клея может попасть на соседние контактные площадки и привести к короткому замыканию электрической схемы в будущем.

Таблица 1. Технологические и эксплуатационные свойства электропроводящих клеев.

Наименование параметра	Наименование клеевой композиции		
	ЭЧЭ-С, ¹⁾ БГУО.028.052 ТУ	DM6030HK ²⁾	ТОК-2, ¹⁾ ШКФЛО.028.002 ТУ
Число компонентов	7-9	7-9	—
Вязкость, Па*с	—	30	10
Индекс тиксотропности	—	2,3	5,3
Жизнеспособность, сут, не менее	1	0,5	2
Режим отверждения, °С/ч	100/4 или 120/1,5 или 150/1	175 - 45 мин; 200 – 30 мин; 225– 15 мин	170/2 или 200/1
Диапазон рабочих температур, °С	От -60 до +125; 300-320 (10 мин)	—	от -60 до +200; 360 (15 мин.)
Удельное объёмное электрическое сопротивление, Ом*см, не более	$5 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Предел прочности при сдвиге, МПа	7,0	22	8,0
Срок хранения, мес не менее	6 (при -6°С)	6; 12 (при -40°С)	3(при -6°С)
Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К	—	60	2
Общее газовыделение, м ³ Па/г	0,011 (100°С); 0,017 (150°С). Потеря массы образца 0,71%	0,00812 (100°С); 0,009 (150°С). Потеря массы образца 0,3%	—

1 – клей российского производства, ОАО «НИИ электронных материалов», г. Владикавказ;

2 – клей иностранного производства, фирма «DIEMAT», США.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. Устройство подачи плат установки Datacon 2200 Evo монтирует платы LTCC, установленные на специальную выводную рамку, в рабочую зону. Максимальная загрузка составляет 4 платы.

Каждая плата имеет 21 позицию нанесения клея и посадки кристаллов соответственно. Последовательность переходов следующая: нанесение клея на все позиции плат, затем посадка кристаллов. Инструмент погружается в ванну с клеем и переносит определенное количество клея на соответствующую контактную площадку платы. Ванна постоянно вращается вокруг неподвижного ракеля и останавливается только в момент погружения инструмента.

При отработке технологии нанесения клея на контактные площадки были получены следующие результаты. Наибольшую повторяемость формирования отпечатка клея показали клеи марки ЭЧЭ-С и DM6030hk. Но было замечено, что клей марки DM6030hk содержит в своём составе растворитель, который достаточно быстро улетучивается, структура клея становится рыхлой, отсюда жизнеспособность клея (4 часа) резко падает, это в свою очередь значительно сокращает время процесса его нанесения. Клей марки ЭЧЭ-С показал наибольшую повторяемость отпечатка и жизнеспособность (8 часов) из представленных клеев, но была замечена его нестабильность по вязкости от партии к партии. Поэтому вязкость регулировалась добавлением небольшого количества жидкого отвердителя (1,3 – 1.8%), являющегося частью рецептуры клея. В этом случае смачивание кристаллов клеем наблюдалось по всему периметру.

При отработке параметров нанесения клея марки ТОК-2 была выявлена склонность к тиксотропии, то есть падению вязкости под действием механического воздействия (перемешивания клея в ванне, контакта инструмента с клеем). Об изменении вязкости свидетельствуют экспериментальные данные параметров нанесения клея в таблице 2, которые корректировались при отработке процесса нанесения.

Таблица 2. Изменения параметров нанесения клея ТОК-2 в течение процесса сборки кристаллов.

Параметр нанесения		В начальный период	Спустя 30 мин
Замедление инструмента до погружения в ванну с клеем	Дистанция, мм	1	0,5
	Скорость, мм/с	5	15
Задержка инструмента в ванне с клеем, мс		300	250
Замедление инструмента после погружения в ванну с клеем	Дистанция, мм	1	0,5
	Скорость, мм/с	4	15
Глубина погружения инструмента в ванну с клеем, мм		0,4	0,4
Замедление инструмента до касания поверхности платы	Дистанция, мм	0,5	1
	Скорость, мм/с	5	5
Задержка инструмента на поверхности платы, мс		300	250
Замедление после касания поверхности платы	Дистанция, мм	0,5	1
	Скорость, мм/с	5	5

Как видно из таблицы 2 спустя 30 минут скорость замедления инструмента до и после погружения в ванну с клеем увеличилась (в 3 раза до погружения, в 3.75 – после), а задержка инструмента в ванне с клеем и на поверхности плат уменьшилась с 300 до 250 мс, что говорит о снижении вязкости клея, он легче захватывается инструментом. При этих параметрах отпечаток клея остаётся стабильным лишь в течение 4 часов, в дальнейшем

отпечаток становится «размытым», и при этом вязкость ещё продолжает снижаться. Такая форма отпечатка еще больше увеличивает опасность попадания клея на соседние контактные площадки. Важно отметить, что при увеличении давления на кристалл при посадке стало заметно излишнее вытекание клея по торцам кристалла, не было смачивания по углам. Вероятно, падение вязкости и «размытие» отпечатка было вызвано частичным осаждением частиц серебра в ванне с клеем, что выразалось выделением органической части полимерной композиции на поверхность. Это можно объяснить тем, что частицы серебра слабо связаны с полимерной композицией, и они под действием своего веса опускаются вниз, разрушая целостность её структуры.

На рисунке 1 соответственно представлены отпечатки клея марки ТОК-2 и ЭЧЭ-С после 15 циклов (однократное окунание в ванну с клеем и перенос клея на контактную площадку платы) нанесения.

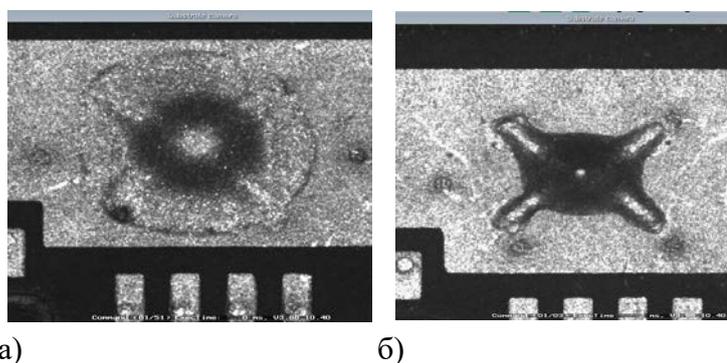


Рис. 1. Отпечатки одного из инструментов для переноса клея после 15 циклов нанесения:
а) ТОК-2; б) ЭЧЭ-С.

Таким образом, на основании полученных данных был выбран клей марки ЭЧЭ-С, который является наиболее подходящим для автоматической сборки кристаллов методом переноса, поскольку обладает наилучшей повторяемостью отпечатков и большей жизнеспособностью среди данных клеев. Благодаря полученным экспериментальным данным была проведена сборка опытной партии модулей СВЧ для АФАР, GaAs кристаллы в которых были посажены на клей марки ЭЧЭ-С. Режим сушки: 120°C, 1,5 ч. Все модули прошли испытания на вибропрочность, термоциклирование и термопрогон (48 ч). Измеренные электрические параметры оказались в пределах нормы.

Исследования показали, что небольшое изменение рецептуры клея ЭЧЭ-С позволит в дальнейшем его использовать при автоматической посадке кристаллов при сборке модулей СВЧ и РЭА.

Библиографический список

1. Воробьев Г.А., Николаев В.М., Шубин Н.Е. Перспективы автоматизированной сборки гибридных интегральных схем с помощью новых полимерных клеев // Электронная техника,- М., 1986,-серия 7, вып.2 (135).- с.29-32.
2. Костин А.С., Кольцова Э.М. К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ АГРЕГАЦИИ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6–3. – С. 647-651.