

Технология поверхностного монтажа при сборке плат микросборок и гибридно-пленочных интегральных схем. Первые результаты

В статье подробно рассказывается о технологии производства микро модуля питания, выполненного в виде толстопленочной микросборки (МСБ), упакованной бескорпусными кристаллами, с применением способов поверхностного монтажа, и описываются первые образцы, изготовленные по данной технологии.

Максим Шмаков

mhm-shmakov@yandex.ru

**Валерий Паршин,
к. т. н.
Надежда Свиридова
Елена Теплякова**

Введение (конструкция модуля)

Конструкция микро модуля представляет собой сборку (рис. 1) с установленными на подложку из алюмооксидной керамики (ВК-94) полупроводниковыми кристаллами исполнения «5» и другими бескорпусными компонентами. Необходимо отметить, что точность установки бескорпусных кристаллов в КД не оговорена, это говорит о том, что для установки компонентов не требуется сложное, дорогостоящее оборудование, обеспечивающее высокую точность.

На плате-подложке в соответствии с электрической схемой предварительно сформирована топология методом сеткографии с последующей пооперационной высокотемпературной обработкой проводниковой, диэлектрической и резистивной паст в печи до образования высокотемпературных пленок толщиной от 15 до 30 мкм.

Используемая сегодня технология сборки включает установку диодов и транзисторов в бескорпусном исполнении, а также чип-компонентов на припой (ПОССу 61-05) на плату с помощью паяльника и пинцета. Затем на клей, нанесенный с помощью монтаж-

ной иглы, устанавливаются бескорпусные микросхемы, после чего производится разварка перемычек (рис. 2). Собранные платы приклеиваются (на клей ВК-9) к основанию корпуса с последующей его герметизацией.

Все операции отмывки производятся с помощью спирто-бензиновой смеси (1:1).

Данная технология имеет ряд недостатков, которые наиболее негативно сказываются при установке активных компонентов с металлизированной нижней поверхностью, так как их паяные соединения служат не только для создания электрического контакта, но и для теплопередачи. Наиболее отрицательные моменты данной технологии заключаются в следующем.

1. Из-за того, что воздух и флюс имеют на несколько порядков меньший коэффициент теплопроводности, чем металл припоя ($\lambda_{\text{воздух}} = 0,00025$ [Вт/(см·К)], $\lambda_{\text{Sn-Pb}} = 3,9$ [Вт/(см·К)]), пузыри в паяном соединении уменьшают общую теплопроводность соединения и вызывают образование локальных областей перегрева. Электропроводность нагретого проводника уменьшается, сопротивление растет, в результате происходит отказ. Если считать кри-



Рис. 1. Фрагмент платы для микро модуля питания:
1 — бескорпусные полупроводниковые кристаллы, устанавливаемые на припой;
2 — бескорпусные полупроводниковые кристаллы, устанавливаемые на клей

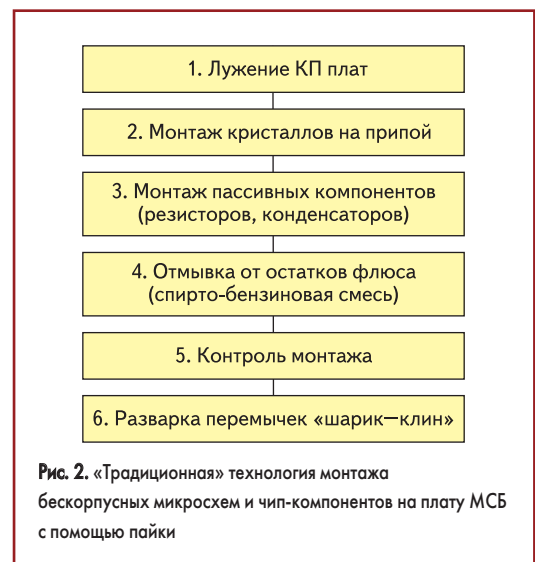


Рис. 2. «Традиционная» технология монтажа бескорпусных микросхем и чип-компонентов на плату МСБ с помощью пайки

сталл и площадь под ним изотермически, а площадь слоя равной площади кристалла, то тепловой поток через слой однороден и тепловое сопротивление слоя рассчитывается по формуле:

$$R = h/(\lambda \times S),$$

где h — толщина паяного соединения; λ — теплопроводность; S — площадь паяного соединения.

2. Неравномерность лужения контактных площадок (КП) также ограничивает тепловой обмен с платой.
3. Существует неравномерность нагрева кристалла.
4. При установке компонентов керамическую подложку необходимо дополнительно подогревать вследствие ее высокой теплопроводности.
5. Использование клея ВК-9, имеющего коэффициент теплопроводности $\lambda \approx 0,9$ Вт/м·К, также неблагоприятно сказывается на тепловых режимах собранного микромодуля.

Первые три недостатка являются наиболее серьезными при монтаже кристаллов и часто приводят к выходу из строя активных компонентов, не говоря уже об отсутствии воспроизводимости, точности и других «плюсов», которые дает нам ручная пайка.

Отметим также «традиционную» спирто-бензиновую смесь, обладающую крайне низкой активностью, — плохо удаляются остатки флюсов с низким содержанием твердых веществ, не удаляются ионные водорастворимые компоненты (остатки активаторов, минеральные соли, остатки травильных растворов и электролитов) [1]. В связи с вышесказанным даже увеличение кратности отмывки, приводящее к увеличению трудоемкости данной операции, не приводит к желаемым результатам. Кроме того, спирто-бензиновая смесь относится к легковоспламеняющимся жидкостям (ЛВЖ), поэтому подогрев и использование ее при отмывке в ультразвуковых (УЗ) ваннах небезопасны.

Одним из выходов в сложившейся ситуации является возможность «скрещивания» технологии поверхностного монтажа (SMT — Surface Mounted Technology), которая применяется при сборке печатных узлов (ПУ), с технологией сборки микросхем (МЭА). Другими словами, адаптация традиционного метода к особенностям гибридно-пленочной технологии. Это позволит устранить многие отрицательные моменты и получить следующие преимущества по сравнению с ручным методом:

1. Равномерность припойного слоя под кристаллом, чего невозможно достичь лужением с помощью паяльника.
2. Равномерность нагрева кристаллов в процессе пайки, что позволит избежать отказа бескорпусных элементов на данной операции.
3. При применении флюсов с малым содержанием твердой фазы уменьшается вероятность образования в припойном слое всякого рода воздушных пузырей, которые являются причиной отказов и выхода из строя

Таблица 1. Основные отличия традиционной и предлагаемой технологий

Традиционная технология	Предлагаемая технология
<ul style="list-style-type: none"> • простота процесса; • не обязательно наличие высококвалифицированного персонала; • простое оборудование (лицет, паяльник); • быстрая перехода на другую плату; • отсутствие затрат на трафареты 	<ul style="list-style-type: none"> • паяльная паста — материал для пайки + клей; • равномерность распределения флюса в припойном слое; • высокая точность совмещения (при автоматизации трафаретной печати); • самоцентрирование компонентов при пайке; • минимизация вероятности теплового удара при пайке; • высокая производительность; • высокая воспроизводимость

активных элементов вследствие неравномерности теплоотвода.

4. В связи с тем, что в соответствии с конструкторской документацией (КД) бескорпусные микросхемы и чип-компоненты припаяются на один припой, возможна установка кристаллов и других поверхностно монтируемых компонентов (резисторов и конденсаторов) за один цикл. Это значительно уменьшает трудоемкость операции сборки, которая, в данном случае, обратно пропорциональна объему партии (чем больше объем партии, тем меньше трудоемкость на сборку одной платы).

Но опять возникает проблема пустот под кристаллами. Это связано с тем, что воздушные пузыри и флюс не успевают «выйти» из-под центра кристалла, и чем больше площадь кристалла, тем больше вероятность образования различного рода каверн в припойном слое.

Различные источники регламентируют максимально допустимое содержание пузырей (каверн) в паяном соединении. Наиболее известная норма — площадь пузырей не должна превышать 10% общей площади соединения [2], притом что максимальная площадь любого из пузырей не превышает 1%. С появлением более мощных и тонких кристаллов многие производители ужесточили требования по наличию пузырей до 5 и 1% общей площади и менее [3].

Применение SMT-технологии при сборке вышесказанного микромодуля возможно благодаря использованию диэлектрической изоляционной пасты, изготовленной на основе кристаллизующихся стекол, которая исполняет роль паяльной маски, как в случае с ПУ, и предотвращает растекание паяной пасты за пределы контактных площадок (КП) в процессе оплавления.

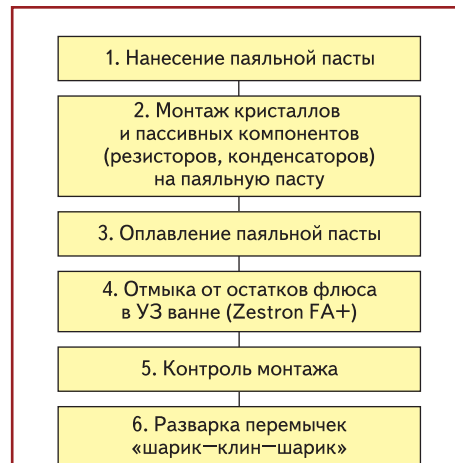


Рис. 3. Предлагаемая технология монтажа бескорпусных микросхем и чип-компонентов на плату МСБ с помощью пайки

На рис. 3 представлена схема предлагаемого технологического процесса (ТП) монтажа бескорпусных микросхем и чип-компонентов с применением SMT-технологии.

Некоторые преимущества технологии с использованием паяльной пасты с последующим ее оплавлением:

1. Паяльная паста служит не только материалом для пайки, но и клеем.
2. Нанесение паяльной пасты осуществляется через металлический трафарет. Нанесение определенного количества припоя на КП обеспечивает повторяемость объема припоя в паяных соединениях, что также снижает частоту образования перемычек (припоя).
3. Использование пайки оплавлением при отработанном температурном профиле с постепенным нагревом исключает потенциальную возможность повреждения компонентов по причине термоудара.
4. Применение паяльной пасты предоставляет возможность пошаговой пайки (в случае пайки кристаллов паяльными пастами на основе более высокотемпературных припоев, нежели остальных компонентов). После первой пайки оплавлением паяльная паста с меньшей температурой плавления припоя может быть дозирована в участки, подлежащие пайке. Эта дозированная паста затем может быть оплавлена при более низкой температуре без повторного расплавления паяных соединений, сформированных при первой пайке.

В таблице 1 представлены основные отличия традиционной и предлагаемой технологий.

При выборе толщины трафарета необходимо помнить о том, что соединение кристаллов и пассивных компонентов относится к соединениям внахлестку, поэтому их прочность на сдвиг (4 кгс/мм²) выше, чем прочность на другие механические напряжения.

Толщина припоя, следовательно, и трафарета, влияет на прочность на сдвиг, как показано на рис. 4 [4].

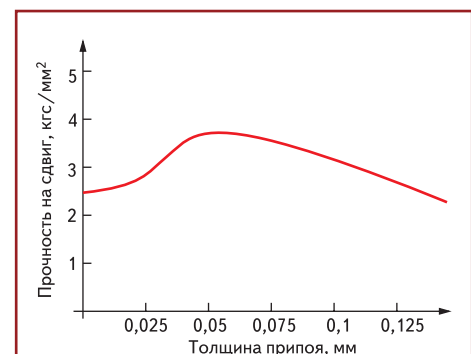


Рис. 4. Зависимость прочности на сдвиг паяного соединения от толщины припоя

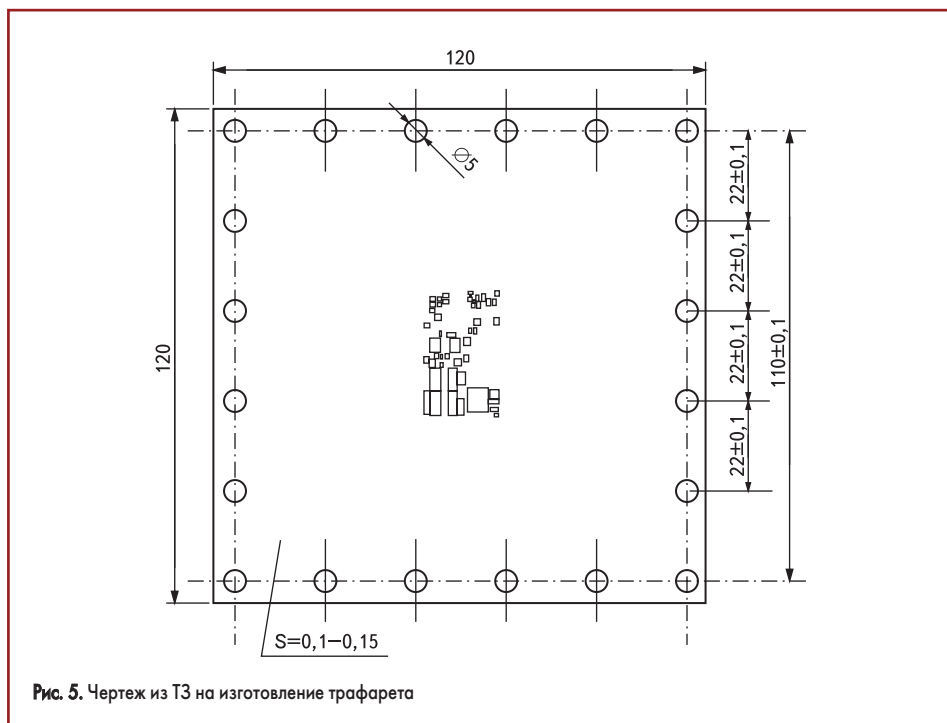


Рис. 5. Чертеж из ТЗ на изготовление трафарета

Таблица 2. Рекомендуемые толщина трафарета и размер частиц в зависимости от минимального шага компонентов

Минимальный шаг выводов компонентов, мм	Рекомендуемая толщина трафарета, мкм	Рекомендуемый размер частиц припоя, мкм
0,65	200	45–75
0,50	125–150	25–45
0,40	75–100	20–38

Но ввиду того, что паяльная паста имеет усадку, толщина трафарета выбиралась из диапазона 100–150 мкм (рис. 5).

Для пайки использовалась паяльная паста серии 7000, фирмы «Оникс» (Sn62, Pb36, Ag2, диаметр частиц — 25–45 мкм). Добавление серебра (2%) улучшает растекание и прочность, зернистость при превышении растворимости, предотвращает миграцию серебра из выводов компонентов и серебросодержащей проводниковой пасты. Интерметаллическое соединение Ag₃Sn является мягким, пластичным и нехрупким.

При применении мелкозернистых паст велика вероятность попадания паяльной пасты

под трафарет и разбрызгивания припоя на этапе пайки. При использовании крупнозернистой — вероятно засорение трафарета [4].

В таблице 2 приведены рекомендуемые толщина трафарета и размер частиц в зависимости от минимального шага компонентов.

Пайка проводилась в трехзонной установке инфракрасной (ИК) сушки — УИКС-2. Предварительный температурный профиль:

- 1-я зона — 184 °С;
- 2-я зона — 234 °С;
- 3-я зона — 173 °С.

Время нахождения плат при температуре свыше 265 °С — не более 4 с (связано с ТУ на компоненты).

Плата находилась в печи в течение 5 мин. Образовавшийся припойный слой отличался рыхлостью, пористостью и легко мог удаляться с помощью монтажной иглы.

После увеличения времени пайки (уменьшение скорости конвейера) до 10 мин, паяный слой получился монолитным (рис. 6). Но время пребывания платы было превышено, это можно увидеть, если сравнить пустые КП платы и КП конденсаторов. В обоих случаях

Таблица 3. Изменение температуры во второй зоне печи УИКС-2 при операции лужения

Толщина трафарета, мкм	Температура по зонам, °С			Скорость конв., мм/с
	1-я	2-я	3-я	
150	200	230	180	25
		235		
		240		
		245		
		250		
		230		
		230		
		230		
		230		
		230		

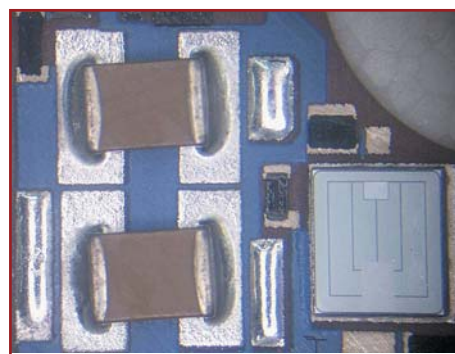


Рис. 6. Фрагмент платы с установленными конденсаторами VJ1812Y824KXBA и транзистором 2P767B-5

припой имеет разный внешний вид. Даже если посмотреть на пустую КП, то видна неоднородность припоя, который, по-видимому, кипел во время оплавления паяльной пасты. Это может быть также связано с недостатками ИК метода нагрева.

Как видно на рис. 6, конденсаторы немного смещены под углом в плоскости X–Y, это говорит о том, что при автоматической пайке НЕЛЬЗЯ использовать универсальные КП.

В качестве эксперимента была проведена операция облуживания КП для подбора температуры пайки.

Примечание. Температура подбиралась во второй зоне исходя из ТУ на пасту (табл. 3) при прочих одинаковых условиях. Используемое оборудование — конвейерная печь УИКС-2.

Таблица 4. Результаты операции лужения КП платы при варьировании температуры в зоне пайки при прочих равных условиях

Температура в зоне пайки, °С	230	235	240	245	250
Визуальный контроль					
Рентген-контроль					
Содержание пустот, %	36,8	35,4	31,7	29,7	32,3

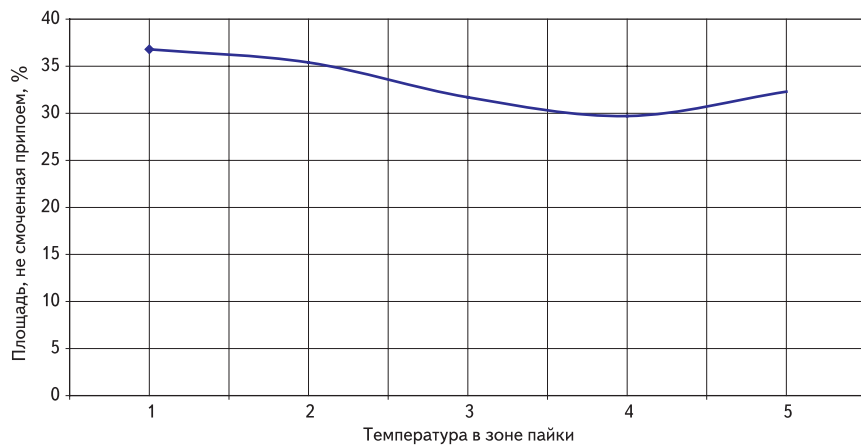


Рис. 7. Зависимость содержания пустот от изменения температуры в зоне пайки: 1 — 230 °С; 2 — 235 °С; 3 — 240 °С; 4 — 245 °С; 5 — 250 °С

После лужения проводился визуальный и рентгеновский контроль, результаты которого представлены в таблице 4. На рис. 7 показана зависимость содержания пустот от изменения температуры в зоне пайки.

Отмывка при сборке гибридно-пленочных интегральных схем перед разваркой кристаллов исполнения «5»

Несмотря на огромное количество всякого рода литературы, статей, рекомендаций, посвященных процессу отмывки, данная тема является на сегодняшний день одной из самых спорных в производстве электроники. Применение кристаллов в ГПИС и МСБ требует от данной операции наиболее высокого качества, по сравнению со сборкой ПУ.

Качественная отмывка обеспечивает:

- 1) удаление остатков, которые могут способствовать электромиграции и привести к току утечки между цепями;
- 2) исключение возможности коррозии схемы и компонентов в результате воздействия самих остатков флюса или в результате поглощения макрочастиц опасного загрязняющего вещества остатками флюса;
- 3) создание условий для точного, надежного, повторяемого электрического тестирования и контроля с использованием оптических и инфракрасных технологий;
- 4) нужный внешний вид паяных соединений [4];
- 5) уменьшение необходимой мощности при разварке (рис. 8);
- 6) увеличение усилия на отрыв (ОСТ 11 073.013-83. Микросхемы интегральные.

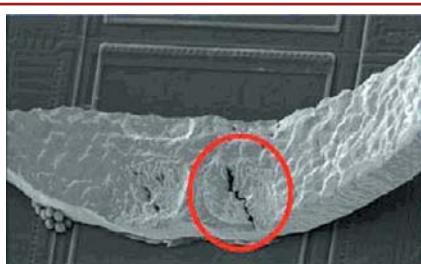


Рис. 8. Дефект, связанный с большой УЗ мощностью разварки

Методы испытаний. Метод 109-4 — Проверка на свариваемость);

- 7) расширение технологического окна разварки (стабильное качество разварки);
- 8) повышение адгезии (поверхностной энергии).

Характерные дефекты шариковой разварки вследствие загрязнения контактной площадки (КП) представлены на рис. 9 [3].

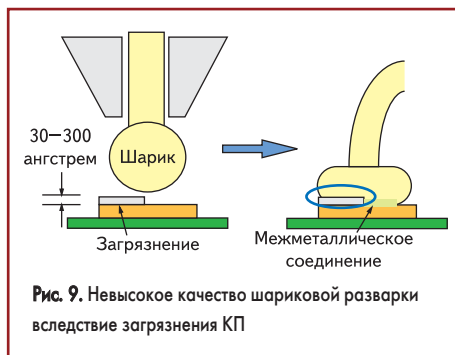


Рис. 9. Невысокое качество шариковой разварки вследствие загрязнения КП

Примечание. Операцию отмывки необходимо проводить (для увеличения качества разварки) в независимости от класса аппаратуры.

Классификация основных загрязнений

Остатки канифольных флюсов и флюсов с низким содержанием твердых веществ состоят:

- из канифоли или синтетических смол их остаточных продуктов;
- активаторов и продуктов их реакций.

В качестве активаторов обычно используются органические кислоты и галогенные соединения. Последние обладают свойствами ионов. Остатки таких флюсов не удаляются водой или спиртом. Широко применяемая спирто-бензиновая смесь тоже обладает крайне низкой эффективностью — плохо удаляются остатки флюсов с низким содержанием твердых веществ, не удаляются ионные водорастворимые компоненты (остатки активаторов, минеральные соли, остатки травильных растворов и электролитов) [4]. Поэтому даже увеличение кратности отмывки, приводящее к увеличению трудоемкости данной операции, не приводит к желаемым результатам. И, как уже было отмечено, спирто-бензиновая смесь является легко воспламеняющейся жидкостью, поэтому по-

Таблица 5. Классификация основных типов загрязнений на ГПИС

Макрочастицы	Полярные, ионные и неорганические	Неполярные, неионные или органические
Пыль	Соли травильных растворов	Масла
Загрязнения, внесенные во время обращения	Соли пота	Жиры
Пух	Отпечатки пальцев	Смолы
Изоляция	Активаторы флюсов	Канифоль
Волосы/кожа	Тиксотропные средства	Волосное масло
		Косметика
		Кремы для рук
		Тиксотропные вещества

догрев и использование ее при отмывке в ультразвуковых (УЗ) ваннах небезопасны.

В таблице 5 приведена классификация загрязнений после операции пайки.

Хлорид натрия, остающийся от отпечатков пальцев, легко растворяется в воде и практически не растворяется в этиловом спирте. Хлориды олова хорошо растворяются в воде, медленно в спирте и не растворяются во фторированных растворителях.

Цель

В связи с некоторым количеством отказов, связанных, в частности, с качеством отмывки ГПИС перед операцией разварки, возникла необходимость усовершенствования технологии отмывки с применением УЗ (данный метод позволяет наиболее быстро растворять поверхностные загрязнения по сравнению с другими методами агитационных воздействий) и комбинации «промывочная жидкость — вода».

Технологический процесс (ТП)

Используемое оборудование: УЗ-ванна 9,5 «Сапфир» (рис. 10, табл. 6).

Используемая промывочная жидкость: Zestron FA+ (табл. 7).

Поскольку промывочная жидкость является вспомогательным материалом и не оговаривается конструкторской документацией, то использование импортных материалов становится возможным с минимальными трудностями с точки зрения согласования с государственными заказчиками.

Одними из наиболее важных технических требований для данного ТП являются условия и сроки хранения плат между пайкой компонентов и операцией отмывки плат от флюса (табл. 8) [5].

Но, исходя из личного опыта, для улучшения качества отмывки рекомендуем минимизировать время между операциями пайки и отмывки.

Процесс отмывки состоит из трех основных операций:

- 1) УЗ-отмывка в моющем растворе;
- 2) ополаскивание;
- 3) сушка.

Таблица 6. Технические характеристики [5]

Объем, л	9,5
Рабочая частота, кГц	35
Термостат, °С	15–65 ±1
Мощность генератора, Вт	200



Рис. 10. УЗ-ванна 9,5 «Сапфир»

Таблица 7. Основные технические параметры [6]

Плотность (при 20 °С), г/см ³	0,94
Поверхностное натяжение (при 25 °С), мН/м	29,1
Диапазон кипения, °С	162–190
Точка вспышки, °С	75
рН (10 г/л. Н ₂ О)	10,4
Давление паров (при 20 °С), мбар	0,47
Температура отмывки, °С	40–55
Растворимость в воде	Полная
Концентрация раствора, %	100
Кинематическая вязкость (при 20 °С), м ² /с	4,5

Наиболее важными параметрами при отмывке являются:

- 1) концентрация промывочной жидкости;
- 2) температура отмывки;
- 3) время отмывки;
- 4) частота отмывки.

Разберем каждую операцию данного ТП в отдельности.

Операция УЗ-отмывки в моющем растворе

На данной стадии отмывки происходит растворение и удаление остатков флюса и других загрязнений с поверхности ГПИС.

Для более эффективного растворения загрязнений отмывку проводят при температуре моющего раствора 45–55 °С. (Примечание. Также это необходимо для уменьшения вязкости моющего раствора и лучшего проникновения под корпуса компонентов.)

Время отмывки порядка 7 мин. (Примечание. Продолжительность нагрева промывочной жидкости в это время не входит.)

Операция ополаскивания

Стадия ополаскивания важна наравне со стадией отмывки, полное и качественное удаление остатков растворенных флюсов и промывочной жидкости могут быть обеспечены только при использовании чистых материалов.

Таблица 8. Условия и сроки межоперационного хранения плат

Наименование операции		Время межоперационного хранения	Условия межоперационного хранения
Предыдущей	Последующей		
Пайка компонентов (оплавление паяльной пасты)	Отмывка платы от флюса	1 ч	Цеховая атмосфера Тара открытого типа

Процесс ополаскивания проводится в два этапа:

- 1) предварительное ополаскивание в холодной (температура участка) деионизованной воде — 5 мин. Допускается для сокращения времени сушки применение технического этилового спирта;
- 2) финишное ополаскивание в теплой (40–50 °С) деионизованной или деминерализованной воде (от 1 до 5 МОм/см) в течение 5 мин.

Операция сушки

Промытые платы высушиваются в термостате при температуре 60 ±5 °С в течение 1–2 часов до полного удаления остатков жидкости.

Примечание. Если на плате установлены корпусированные компоненты, то необходимо обратить особое внимание на удаление жидкости из-под корпусов компонентов.

Наиболее эффективной является сушка обдувом струей холодного или горячего воздуха. Обдув горячим воздухом при температуре 70–90 °С позволяет значительно сократить время сушки.

Контроль

Качество выполнения операции контролируют под микроскопом при увеличении не менее 16 крат.

- После отмывки платы не должны содержать посторонних включений, остатков флюса, солей, частиц припоя.
- Контроль проводить для 100% плат.

В случае обнаружения загрязнений отмывку повторить и откорректировать условия операции отмывки (увеличить температуру и/или время).

Результат

На рис. 11 представлена диаграмма, показывающая увеличение усилия на отрыв (ОСТ 11 073.013-83. Метод 109-4) при применении промывочной жидкости Zestron FA+.

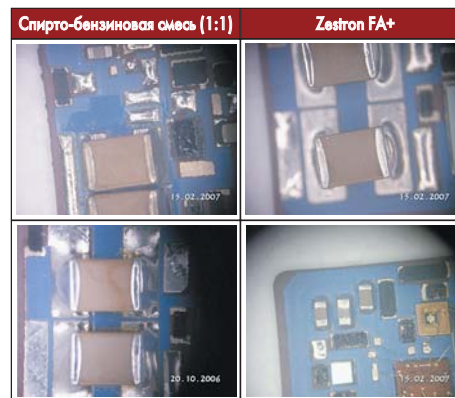
Выводы

Технология поверхностного монтажа, наиболее часто применяемая при сборке ПУ, может быть с таким же успехом использована и при сборке толстопленочных интегральных микросхем. Есть, конечно, некоторые нюансы ее внедрения, о которых мы расскажем в ближайших номерах.

Литература

1. Ефремов А. Отмывка печатных узлов. Часть 1. Надуманная потребность или необходимость? // Компоненты и технологии. 2004. № 6.
2. MIL-STD-883G Test method standard microcircuits.

Таблица 9. Наглядная сравнительная характеристика отмывки плат с применением спирто-бензиновой смеси (1:1) и промывочной жидкости Zestron FA+



Примечание.

- При использовании спирто-бензиновой смеси необходимо увеличивать кратность отмывки, что ведет к увеличению трудоемкости данной операции и, как следствие, удорожанию продукции.
- Отмывка в УЗ-ванне ведет к уменьшению ручного труда на операции отмывки, что также имеет ряд неоспоримых преимуществ.



Рис. 11. Увеличение усилия на отрыв при применении промывочной жидкости Zestron FA+

3. Валев С. Вакуумная пайка в производстве силовой электроники. Современное решение для лабораторного и крупносерийного производства // Силовая электроника. 2006. № 3.
4. Шмаков М. В., Теплякова Е. Л., Паршин В. А. Особенности и последовательность сборки плат микросборок (МСБ) и гибридно-пленочных интегральных схем (ГПИС) с применением технологии поверхностного монтажа // Технологии приборостроения. 2007. № 1.
5. ОСТ 107.460091.004-88. Технология сборки микросборок. Общие требования.
6. Справочное руководство по выбору и применению материалов для производства и ремонта электронной аппаратуры. ЗАО «Предприятие ОСТЕК». 2006.