

# Электронные компоненты и монтажные подложки.

## Постоянная интеграция

Аркадий МЕДВЕДЕВ,  
д. т. н., профессор МАИ  
medvedevam@bk.ru

Россия интегрирована в международный рынок электронных компонентов, и развитие производства электронной аппаратуры неизбежно будет следовать за развитием элементной базы. Значит, все технологии межсоединений должны развиваться параллельно и теми же темпами, что и микроэлектроника, поскольку это диктуется в первую очередь конструкциями компонентов. Анализу вопросов сопряжения корпусов компонентов и их выводов с монтажными подложками — печатными платами — посвящена эта статья.

Развитие микроэлектронных компонентов происходит в направлении увеличения интеграции, производительности и функциональности. Этот процесс характеризуется повышением плотности активных элементов на кристалле примерно на 75% в год, что, в свою очередь, вызывает необходимость увеличения количества их выводов на корпусе на 40% в год. Казалось бы, с увеличением интеграции микросхем количество внешних межсоединений и, соответственно, выводов должно уменьшаться. Однако выведенное давным-давно инженером фирмы IBM правило Рента [1] до сих пор справедливо для развивающейся элементной базы:

$$n = kN^R,$$

где  $n$  — количество выводов микросхемы,  $k$  — среднее число межсоединений, приходящихся на один логический элемент микросхемы ( $k = 3 \dots 4$ ),  $N$  — количество логических элементов,  $R$  — соотношение Рента (например, для процессоров  $R = 0,5 \dots 0,74$ ).

Поэтому растет спрос на новые методы корпусирования (конструкции выводов), а вслед за этим — на увеличение плотности межсоединений на печатной плате. Это обусловлено стремлением уменьшить дезинтеграцию активных компонентов при переходе на очередной иерархический уровень межсоединений в аппаратуре: кристалл микросхемы, корпус микросхемы, монтажное поле для размещения выводов и соединений на печатной плате, печатный узел (электронный модуль), электронный блок, системный блок. На уровне печатного узла степень дезинтеграции можно характеризовать соотношением площадей кристалла ( $S_1$ ), корпуса ( $S_2$ ) и монтажного поля на плате ( $S_3$ ):

- $Q_1 = S_3/S_1$ , когда выводы микросхемы находятся за внешним периметром корпуса,

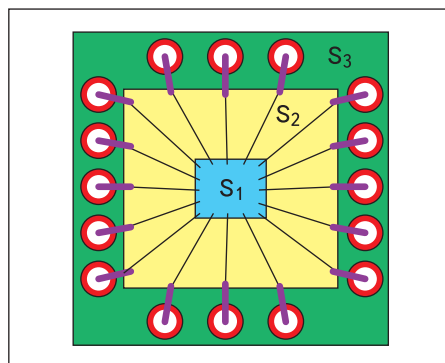


Рис. 1. Площади кристалла ( $S_1$ ), корпуса ( $S_2$ ) и монтажного поля на плате ( $S_3$ )

- $Q_2 = S_2/S_1$ , когда выводы и монтажное поле целиком находятся под корпусом (рис. 1).

Например, если кристалл процессора имеет размер  $10 \times 10$  мм, а монтажное поле его корпуса на плате занимает площадь  $4000$  мм<sup>2</sup>, такое конструктивное исполнение системы межсоединений характеризуется дезинтеграцией с числом 40. Этой цифрой оценивается матрица из 800 выводов. Периферийное расположение такого количества выводов с шагом  $0,4$  мм занимает монтажное поле площадью  $10\,000$  мм<sup>2</sup>, значит, степень дезинтеграции такого конструктивного исполнения — 100.

Нужно заметить, что степень дезинтеграции растет по мере возрастания иерархического уровня конструкции: кристалл — микросхема — печатный узел — модуль — блок — ... Например, дезинтеграция в блоке может достигать цифры 100 тысяч.

В таблице 1 приведены данные грубой оценки дезинтеграции при использовании различных методов корпусирования и установки кристаллов микросхем процессора на монтажное основание (плату).

Таблица 1. Оценка дезинтеграции при переходе на следующий уровень межсоединений

Вариант монтажа или установки	Площадь монтажного поля на подложке, мм	Степень дезинтеграции
Кристалл	$10 \times 10$	1
Flip-Chip	$12,5 \times 12,5$	1,5
Wire-Bond	$14 \times 14$	2
Flip-TAB	$24 \times 24$	6
TAB	$42 \times 42$	18
Flat-Pack	$72 \times 72$	52
Корпус с периферийными выводами	$105 \times 105$	110

Очевидно, что степени интеграции и дезинтеграции должны соответствовать техническому уровню развития производства. При стремлении выполнить конструкцию на предельных возможностях производства стоимость изделия станет неоправданно высокой из-за большого объема отходов в брак. Надежность подобных конструкций также не будет гарантирована. Если же в производство поступит изделие, спроектированное по низким проектным нормам, то есть с большой степенью дезинтеграции (больших габаритов), его большая материалоемкость, низкая фондоотдача («из пушки по воробьям») не менее пагубно скажется на себестоимости.

Но эти соотношения справедливы только для микросхем с одинаковым уровнем интеграции. А поскольку процессы увеличения плотности активных компонентов микросхем и увеличение плотности монтажного поля корпусов микросхем идут параллельно, более справедливо продемонстрировать процессы увеличения плотности монтажа количеством выводов, размещаемых на определенной площади монтажного поля печатной платы, как показано на рис. 2.

В соответствии с существующими тенденциями площадь монтажных подложек умень-

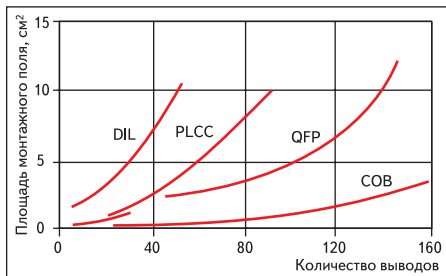


Рис. 2. Размер монтажного поля для размещения выводов корпусов различных конструкций

шается примерно на 7%, а физические размеры электронной аппаратуры — на 10–20% в год. Данная тенденция поддерживается непрерывным повышением плотности межсоединений за счет уменьшения монтажных поверхностей и увеличения количества выводов. Вслед за этим уменьшаются элементы присоединения, шаг и конструкции выводов компонентов.

В конце 80-х годов прошлого столетия в производстве электроники началась своеобразная революция — переход на технологии поверхностного монтажа. Тогда казалось, что новая технология полностью вытеснит монтаж выводов в отверстия. Но оказалось, что это не всегда возможно: крупные элементы (конденсаторы большой емкости, резисторы, трансформаторы и др.) удобнее монтировать выводами в отверстия. Вот почему развитие технологий идет не столько за счет вытеснения компонентов с выводами для пайки в отверстия, сколько за счет увеличения доли компонентов поверхностного монтажа.

До последнего времени подавляющее большинство конструкций корпусов использовало периферийную систему выводов. Развитие технологий корпусирования и монтажа таких компонентов дошло до своего предела: плотность расположения периферийных выводов достигает шага 0,4 мм (в редких случаях 0,3 мм). Поэтому в 1990-е годы началась очередная революция в технике монтажа — переход к матрице выводов. Чтобы еще и в матричных корпусах увеличить плотность монтажа, шаг сетки выводов постоянно уменьшается: недавно он был 1,0 мм, потом он стал 0,8 мм, теперь назревает шаг 0,5 мм.

За этим следует уменьшение элементов печатного монтажа: ширины проводников и зазоров, отверстий и контактных площадок, пространственного (послойного) распределения межслойных переходов за счет использования сквозных, глухих и слепых отверстий. Все это серьезно влияет на облик сборочно-монтажного производства: оно все в большей мере становится автоматическим, ручную многие компоненты невозможно ни установить, ни припаять. Соответственно увеличивается стоимость основных фондов сборочно-монтажного производства, но снижается объем прямых затрат, приходящихся на единичный логический элемент микросхем,

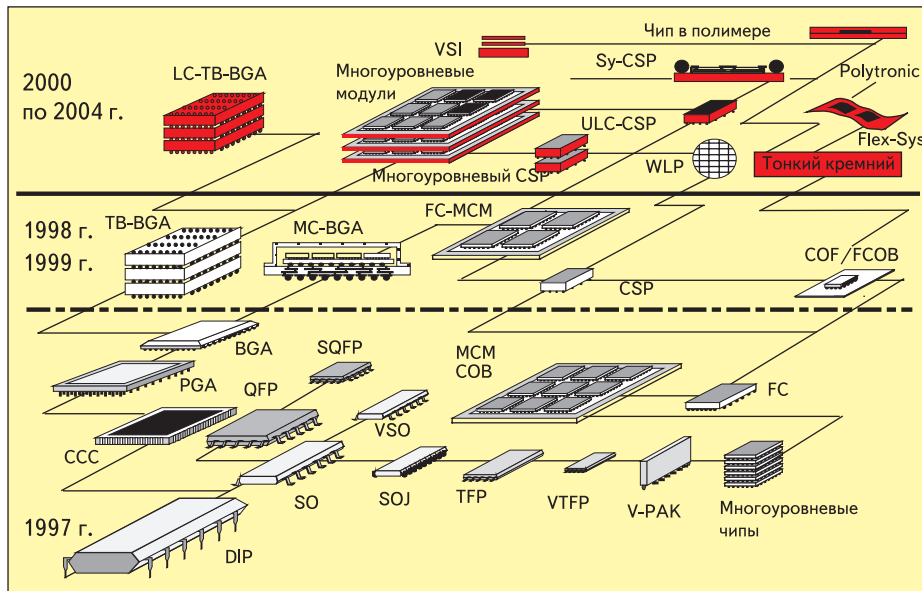


Рис. 3. Эволюция корпусов микросхем

сокращается цикл производства. В свою очередь печатные платы, также как и монтажные подложки для SMT-компонентов, становятся сложнее и дороже, но в связи с увеличением функциональности электронных изделий стоимость выполняемых ими функций становится в конечном итоге меньше.

Сейчас наблюдается явное сращивание кристаллов микросхем с монтажной подложкой без промежуточного монтажа кристалла в корпус, которое вскоре должно завершиться созданием технологии многокристальных модулей. По существу, ее реализация возможна уже сегодня. Но тут встают проблемы теплоотвода: чем выше плотность размещения кристаллов на подложке, тем выше удельная плотность тепловыделений — следствия неизбежного рассеивания мощности. Без эффективного теплоотвода многокристальный модуль попросту перегреется и сгорит. Совмещение электрических и тепловых структур в одной монтажной подложке — назревшая задача современного конструирования электронной аппаратуры.

На рис. 3 достаточно наглядно продемонстрирована эволюция и разнообразие корпусов и монтажных подложек. Это позволяет понять, что сегодня еще не сформировались устойчивые, всех удовлетворяющие решения, из которых можно выбрать определенный ряд конструкций, тем самым сократив количество технологий, необходимых для их реализации.

### Конструкции корпусов микросхем

С самого начала кристаллы микросхем помещали внутрь керамических или пластмассовых корпусов. Примерно до 1986 года все корпуса микросхем имели выводы, предназначенные для монтажа в металлизированные отверстия (PTH — Plated Through-hole)

печатной платы и последующей пайки. Позднее, с увеличением интеграции, выводы стали делать в форме, пригодной для технологии поверхностного монтажа (SMT — Surface Mounting Technology), приоритетной при монтаже электронных компонентов.

На промежуточном этапе развития технологий монтажа получили распространение корпуса микросхем, пригодные как для монтажа в отверстие, так и для поверхностного монтажа.

Основными типами корпусов микросхем в зависимости от расположения их выводов (рис. 4) являются:

- корпуса с периферийным расположением выводов, когда выводы размещены по краям кристалла или корпуса микросхемы;
- корпуса с матричным расположением выводов.

Большинство типов микросхем имеют периферийное расположение выводов. Шаг периферийных выводов ограничен 0,3 мм (практически — 0,4–0,5 мм), что позволяет микросхемам с корпусами больших размеров иметь до 500 выводов. Однако нужно принять во внимание, что при шаге выводов меньше 0,5 мм выход годных изделий резко снижается, уменьшается прочность контактных узлов, увеличивается вероятность появления перемычек припоя и травмирования изоляционных зазоров между выводами. Разнообразие форм выводов показано на рис. 5.

Наибольшее распространение получили плоские L-образные выводы типа «крыло чайки», «крыло альбатроса», I-образные и J-образные выводы, которые за счет изгиба компенсируют тепловые и механические деформации (рис. 6).

Корпус с J-образными выводами (рис. 7) занимает на ПП меньше места, устойчив при транспортировке, хорошо согласуется с различными упаковками, корпуса не застревают

Обозначение	Примеры
CC Chip Carrier	PQCC, PQCC (PLCC), PQCC (CLCC), PQCC (CLCC)
CY Cylinder	MBCY, MBCY, PBCY
DB Disk Button	PADB, LRDB, GRDB, PRDB
FP Flatpack	CQFP, CDFP, PQFP
PF Press Fit	MUPF
PM Post/Stud Mount	MUPM, MUPM, CRPM
SO Small Outline	PDSO, PDSO, PSSO
SS Special Shape	PDSS

Рис. 4. Обозначение конструкций корпусов микросхем

BUTT	B	«C» BEND	C
SOLDER LUG	D	FLAT	F
GULL WING	G	HIGH-CURRENT CABLE	H
«J» BEND	J	NO LEAD	N
PIN/PEG	P	WRAPAROUND	R
«S» BEND	S	THROUGH-HOLE	T
«J» INVERTED	U	WIRE	W
Корпус компонента		Элемент присоединения	

Рис. 5. Обозначение выводов микросхем

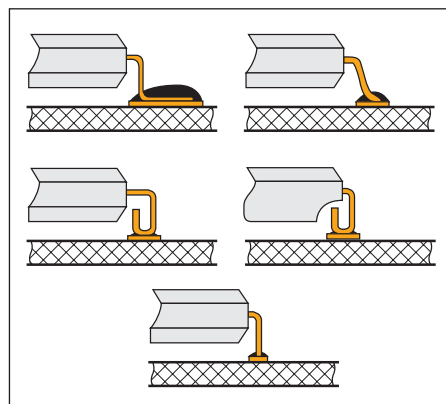


Рис. 6. Формы выводов:  
а — «крыло альбатроса»;  
б — «крыло чайки» (L-образный);  
в — J-образный открытый;  
г — J-образный закрытый;  
д — J-образный (пайка в стык)

в механизмах подачи автоматов установки микросхем на ПП. Основным недостатком этих выводов — сложность визуального контроля паяного соединения.

В варианте формовки с J-образными скрытыми выводами предусмотрена возможность переноса места пайки под корпус микросхемы, благодаря чему осуществима компоновка с предельно малыми зазорами между смежными корпусами. Кроме того, корпуса

Корпуса с L-образными выводами (рис. 6б) лучше контролируются, при этом легко применять стандартные зонды. При автоматическом монтаже ИМС с расположением выводов с четырех сторон возникают трудности, так как корпуса застревают в транспортных трактах и деформируются выводы. Основным отличием варианта формовки с L-образными выводами («крыло чайки») от обычного «крыла альбатроса» является значительное сокращение длины припаиваемого вывода (до размера, равного или близкого ширине самого вывода).

Микросхемы в корпусах типа DIP (с I-образными выводами) разрабатывались исключительно для монтажа в отверстия, но в связи с внедрением технологии поверхностного монтажа эти микросхемы приспособляют и к монтажу на поверхность. Микросхемы с такой формовкой выводов могут быть смонтированы так же, как микросхемы в корпусах с планарными выводами. Кроме того, микросхемы в DIP-корпусах монтируются на поверхность пайкой встык.

Вероятнее всего, в перспективе монтаж элементов на печатные платы будет ориентирован на пайку выводов под корпусом элементов по технологии поверхностного монтажа, а шаг выводов будет сокращаться. Вот почему большой интерес у проектировщиков электронной аппаратуры вызывают корпуса микросхем с матричным расположением выводов типа BGA (Ball Grid Array).

Компоненты с матричным расположением выводов очень разнообразны (рис. 8):

- CSP (Chip-scale Packages — корпус, соизмеримый с размером кристалла);
- PBGA (Plastic Ball Grid Array — пластиковые корпуса с шариковыми матричными выводами);
- CBGA (Ceramic Ball Grid Array — керамические корпуса с шариковыми матричными выводами);
- PPGA (Plastic Pin Grid Array — пластиковые корпуса с матричными контактными площадками);
- CCGA (Ceramic Column Grid Array — керамические корпуса со столбиковыми матричными выводами).

Матричное расположение контактов обеспечивает наибольшую плотность монтажа, максимальное количество контактов на площадь корпуса (до 700 контактов на корпусе

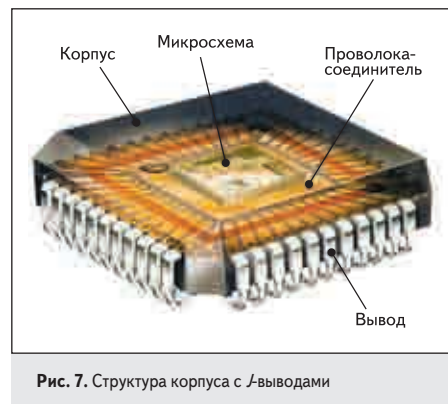


Рис. 7. Структура корпуса с J-выводами

с подобной формой выводов способны вставать в разъемные колодки, контакты которых обжимают J-образные выводы корпуса.

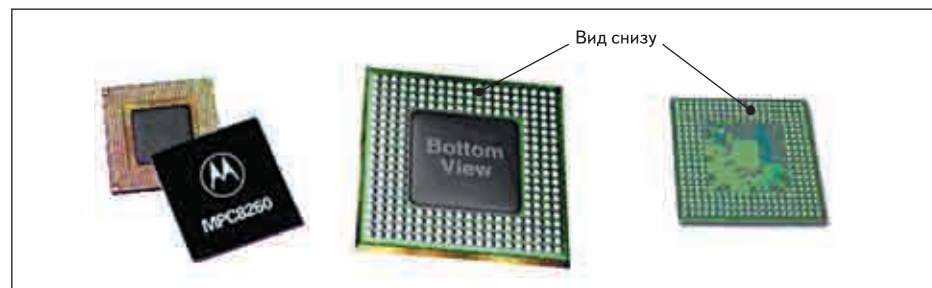


Рис. 8. BGA-корпуса

размером 35×35 мм). Минимальные переходные емкости контактов (что обеспечивает работоспособность при более высоких тактовых частотах внешних информационных магистралей) у них лучше по сравнению с другими монтируемыми на поверхность корпусами. Для того чтобы между корпусом и печатной платой происходила теплопередача, по центру нижней поверхности корпуса выделяется специальная теплоотводящая площадка.

Предполагается, что микросхемы с количеством выводов от 150 до 200 будут выполняться в корпусах с периферийным расположением выводов. Для микросхем с количеством выводов более 150...200 предпочтительнее матричная система выводов, так как она делает возможным размещение большого количества межсоединений на ограниченной площади.

Конструкции плавких выводов в матричной системе:

- столбиковые выводы из припоя, армированного «путанкой» из тонкого провода, для корпусов микросхем и многокристальных модулей MCM (MCM — Multichip Module), часто называемых так же, как матрица контактных площадок (pad grid), — матрица выводов (land grid);
- матрица шариковых выводов (BGA — ball grid array) с шагом выводов 1,50 мм (0,060 дюйма), 1,27 мм (0,050 дюйма), 1 мм (0,040 дюйма), 0,8 мм (0,03 дюйма) и менее.

Матричная система выводов обеспечивает очевидные преимущества, из них наиболее важные:

- минимальная площадь монтажного поля подложки;
- лучшие условия обеспечения функциональной производительности электронных модулей за счет меньших паразитных эффектов на быстродействующих операциях;
- упрощение технологии поверхностного монтажа на печатную плату;
- больший выход готовой продукции вопреки опасениям ухудшения качества из-за невозможности прямого визуального контроля соединений.

Для непаяных методов присоединения, например при использовании разъемных соединений, выводы корпуса выполняют в виде матрицы контактных штырей, сопрягаемых с матрицей гнезд (рис. 9). На свободной от контактных штырей поверхности располагают активные и пассивные дискретные компоненты в соответствии со схемотехническими требованиями. Теплоотвод осуществляется от верхней поверхности корпуса с использованием радиатора и вентилятора или, если это кондуктивный теплоотвод, от специальных теплоотводящих элементов, соединяемых с теплоотводящими конструкциями монтажной подложки через теплопроводную склеивающую прокладку.

С уменьшением шага выводов особенно важно, чтобы разработчики печатных плат принимали во внимание необходимость бес-

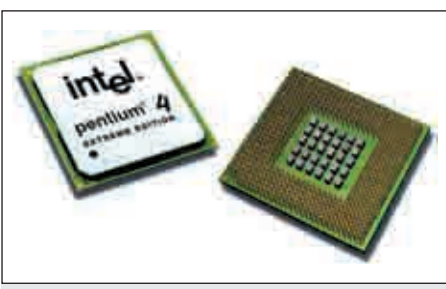


Рис. 9. Корпус с матрицей контактов, вставляемый в гнезда разъемов. В центральной области корпуса — конденсаторы развязки

печения технологичности их конструкций, правильно с этих позиций оценивали не только сборочные, но и производственные характеристики печатных плат, чтобы созданные конструкции гарантировали наибольший выход и наименьшую себестоимость готовой продукции.

### Непосредственный монтаж кристаллов на подложку

Потребности в уменьшении массы и габаритов конструкций электронной аппаратуры обусловили интерес к методам непосредственного монтажа кристаллов микросхем на плату DCA (Direct Chip Attach): «кристалл-на-плате» — COB (Chip-on-Board), «кристалл-на-стекле» — COG (Chip-on-Glass), «кристалл-на-полимере» — COF (Chip-On-Flex)

и, если их много на подложке, «многокристальные модули» MCM (Multi-Chip-Module).

Технология «кристалл-на-плате» (COB) предусматривает расположение микросхем непосредственно на монтажной поверхности печатной платы. Кристалл микросхемы приклеивается к плате и соединяется с ней тонкими проволочками, как правило, золотыми, диаметром порядка 25 мкм. Затем вся конструкция заливается защитным компаундом (рис. 10).

Преимуществами COB являются:

- низкая стоимость;
- разнообразие вариантов разводки платы;
- короткий период производства;
- широкий температурный диапазон и высокая механическая прочность конструкции.

Но сравнительно большие габариты модуля с COB в сборе не позволяют использовать опыт традиционных технологий монтажа кристалла на подложку. В частности, возникают трудности с позиционированием кристалла на плате и совмещением рабочих элементов инструмента с площадками присоединения проволочек на кристалле. Поэтому для размещения кристаллов на монтажной подложке начинают применять технологии печатных плат (рис. 11).

Кристалл на полимере (COF) представляет собой способ компоновки, при котором кристалл микросхемы, пассивные и активные компоненты располагаются на тонкой полиимидной пленке. Данная технология

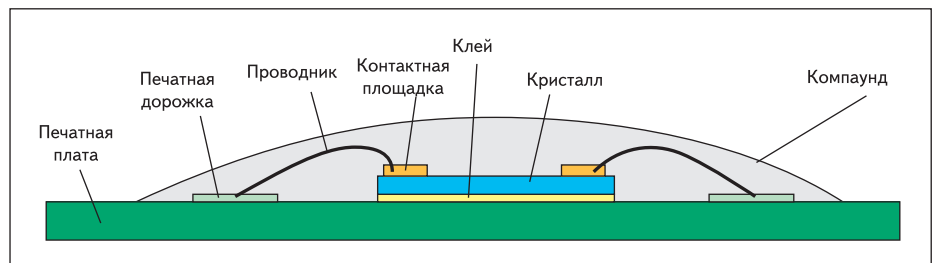


Рис. 10. Монтаж кристалла микросхемы непосредственно на плате. Технология «кристалл-на-плате» (COB)

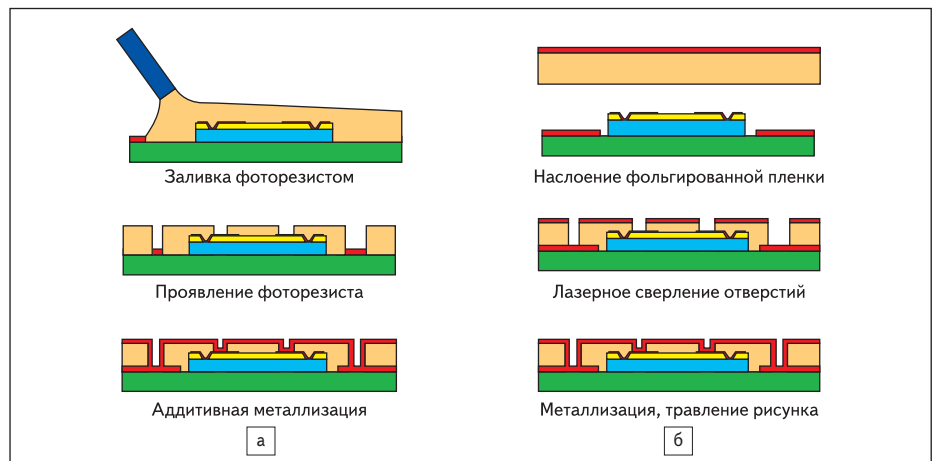


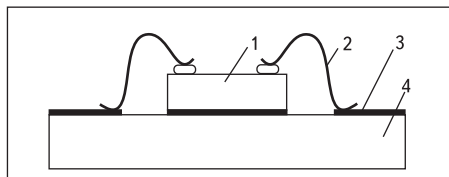
Рис. 11. Присоединение контактных точек кристалла микросхемы к монтажной подложке приемами технологий печатных плат: а) аддитивный метод, б) субтрактивный метод

обеспечивает очень малую толщину и массу готового изделия, что важно при использовании такой сборки в компактных устройствах (например, в сотовых телефонах). Основные недостатки — сравнительно высокая стоимость и низкая механическая прочность.

Конструкция «кристалл-на-стекле» предпочтительна в технологиях дисплеев, когда управляющую микросхему, пассивные компоненты, схему температурной компенсации и ПЗУ знакогенератора располагают непосредственно на подложке дисплея, что уменьшает габариты и стоимость модуля. Дисплеи, изготовленные по технологии COG, широко применяются в портативных приборах. Недостатком такой компоновки являются необходимость дополнительных элементов конструкций для защиты от электромагнитных помех и инфракрасного излучения.

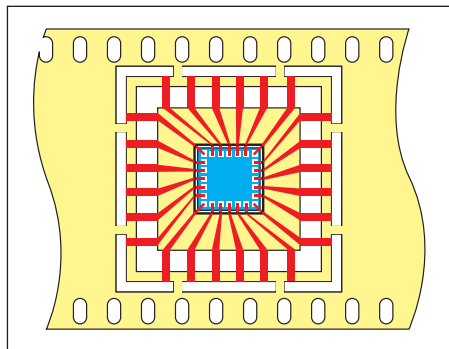
Кристаллы микросхем монтируют на подложку одним из четырех методов:

1. Термокомпрессионная микросварка (wire-bonding) — наиболее старый, наиболее гибкий и широко применяемый метод (рис. 12). Этим методом до сих пор изготавливают более 96% всех микросхем.



**Рис. 12.** Разводка кристалла методом компрессионной микросварки: 1 — кристалл микросхемы, 2 — микропровода, 3 — контактная площадка монтажной подложки, 4 — подложка

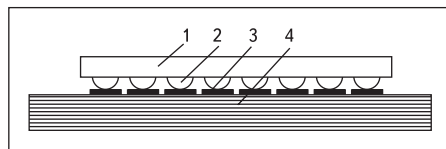
2. Присоединение кристаллов к выводам ленточного носителя (рис. 13), или ТАВ (Tape-automated Bonding). Этот метод используется для автоматического монтажа кристаллов с малым шагом выводов на промежуточный носитель. Кроме возможности автоматизации монтажа он обеспечивает возможность



**Рис. 13.** Ленточный носитель кристалла микросхемы: 1 — кристалл микросхемы, 2 — кадр ленточного носителя, 3 — контактные площадки для монтажа носителя на монтажной подложке, 4 — транспортная лента для автоматизации установки кристалла на монтажную подложку

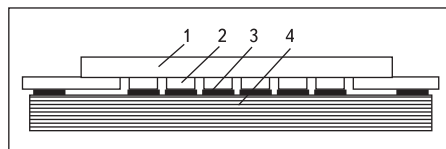
предварительного тестирования кристаллов перед окончательной установкой его на монтажную подложку.

3. Присоединение перевернутого кристалла (Flip-chipping) через шариковые выводы (рис. 14). Компактность и улучшенные электрические характеристики этого метода межсоединений способствуют его популяризации.



**Рис. 14.** Монтаж микросхемы на подложку методом перевернутого кристалла: 1 — кристалл микросхемы, 2 — шариковый вывод, 3 — контактная площадка монтажной подложки

4. Присоединение кристалла балочными выводами (рис. 15). В этом методе используют технологии термокомпрессионной и ультразвуковой микросварки балочных выводов к периферийным контактным площадкам на кристалле и затем — балочных выводов к монтажной подложке.



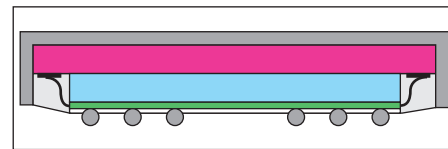
**Рис. 15.** Монтаж микросхемы с помощью балочных выводов: 1 — кристалл микросхемы, 2 — балочный вывод, 3 — контактная площадка монтажной подложки

При оценке возможности использования этих методов необходимо принимать во внимание разные температурные коэффициенты расширения кристаллов из кремния и монтажной подложки. Данную проблему можно решить не только при помощи выбора соответствующего материала подложки. Не менее эффективен и другой способ — заливка эпоксидной смолой, разделяющей кристалл и плату. Подобный прием позволяет выровнять деформации кристалла и подложки и за счет этого существенно улучшить надежность таких сборок.

## Микрокорпуса (CSP)

При установке кристаллов на монтажные подложки не всегда предоставляется возможность предварительно убедиться в их правильной работе. К настоящему времени существует несколько технологий, устраняющих эту проблему. Кстати, в зарубежных компаниях имеется соответствующий термин — «заведомо исправный кристалл» (KGD — Known Good Die). Один из путей решения указанной проблемы — использование микрокорпусов, габариты которых

лишь ненамного превышают размеры кристалла, но выполняют функции защиты от внешней среды и перераспределяют выводы кристалла на матрицу выводов микрокорпуса (рис. 16). Применение микрокорпусов позволяет тестировать микросхему до установки ее на монтажную подложку. На микросхемах с программируемой логикой (ПЛИС) создается возможность программировать их пережиганием перемычек в соответствии с заданной схемой. Типовой пример микрокорпусов — CSP-корпус (CSP — Chip-scale Packaging).



**Рис. 16.** Микрокорпус CSP

Кремниевый кристалл стал ближе к печатной плате. Поскольку для некоторых CSP-корпусов шаг матричных выводов составляет 0,5 мм (0,020 дюйма) и менее, требуется использование специальных технологий производства печатных плат, позволяющих обеспечить разводку сигнальных цепей в узких пространствах между элементами монтажного поля. Уменьшение размеров элементов межсоединений приводит к значительным концентрациям механических напряжений, вызванных разницей в их коэффициентах теплового расширения. Из-за этого повысились требования к паяным соединениям, которые помимо обеспечения электрических соединений должны поглощать механическую нагрузку. При сокращении шага выводов до размера менее 0,8 мм происходит значительное уменьшение размера контактной площадки под пайку, что может привести к механической перегрузке и в конце концов к разрушению паяных соединений. Для решения этой проблемы разработаны новые способы подготовки поверхностей под пайку, обеспечившие большую стойкость паяных соединений.

Благодаря существующим технологиям производства печатных плат можно делать монтаж выводов бескорпусных микросхем, если он выполняется по технологии термокомпрессионной сварки или с использованием ленточных носителей (ТАВ-технологии). И хотя такое решение переносит трудности защиты открытых кристаллов микросхем на корпусирование электронных модулей, оно все еще остается одним из наиболее эффективных методов монтажа бескорпусных микросхем.

При использовании корпусов с малым шагом матричных выводов ситуация усложняется тем, что сигнальные связи от внутренних выводов матрицы необходимо вывести между контактными площадками матрицы. При этом имеется возможность провести

между контактными площадками один, максимум два проводника. А потому в большинстве случаев проводники от внутренних выводов матрицы выводятся по внутренним слоям многослойных печатных плат.

Традиционные технологии многослойных печатных плат методом металлизации сквозных отверстий не способны к монтажу микросхем с матричными выводами с шагом менее 1,0 мм (0,040 дюйма). Но уже созданы корпуса микросхем типа CSP с шагом матричных выводов 0,508 мм (0,020 дюйма) и 0,254 мм (0,010 дюйма). Для монтажа таких компонентов к МПП добавляются специальные слои с глухими металлизированными отверстиями, на которых реализуется разводка цепей из-под микрочипов или из-под бескорпусных кристаллов микросхем (рис. 11).

Эти тонкие дополнительные специализированные слои напрессовываются на МПП, после чего в них выполняются глухие металлизированные отверстия. За рубежом данный метод получил название SLC (Surface Lamina Circuit), что в буквальном переводе означает «напрессованная на поверхность схема». Наряду с этим приобретает большее распространение термин built-up («надстройка»). И хотя в России еще нет соответствующего устоявшегося понятия, ясно, что термин built-up подразумевает сочетание методов металлизации сквозных отверстий и послойного наращивания. Значит, ему можно присвоить длинное название — «МПП с послойным наращиванием внешних слоев» или «МПП с глухими отверстиями» — пока в среде русских специалистов не установится более лаконичное наименование.

При выборе новых решений корпусирования нужно иметь в виду, что конструкция выводов без промежуточной подложки хотя и вызывает сложности на первых этапах освоения данной технологии, но в конечном итоге оказывается наиболее рентабельным вариантом. Как видно из рис. 16, корпусирование кристалла в микрочип имеет высокий шанс стать основой компоновки будущего.

В этом случае корпус начинается с диэлектрика, который соединяет полупроводник через микропереходы со сформированным поверх слоем, на котором находятся шарики припоя, позволяющие создать соединения с печатной платой в процессе пайки оплавлением. Причем отпадает нужда в промежуточном органическом носителе, так как носителем является сам кремниевый кристалл, а проводные соединения заменены надежной технологией создания межсоединений со сформированным поверх слоем.

До последнего времени CSP такого типа использовались относительно редко. Причина, очевидно, не в стоимости корпусирования, а в недостаточно развитой технологии формирования межсоединений.

Это означает, что с распространением таких корпусов конструктивные нормы для

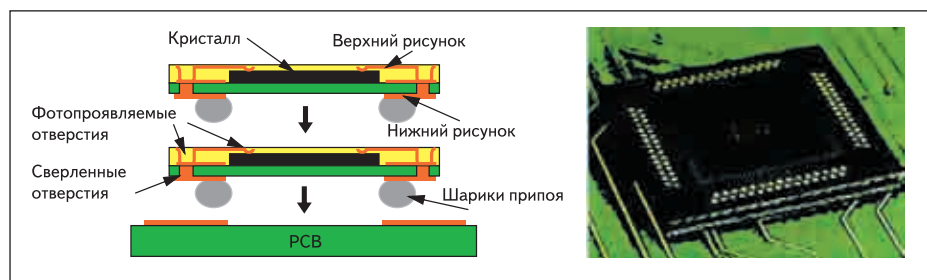


Рис. 17. Двухэтажная сборка кристаллов или микрочипов

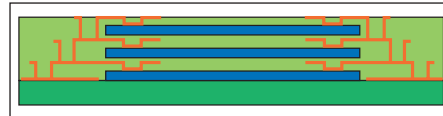


Рис. 18. Трехэтажное стапелирование микрочипов



Рис. 19. Многокристалльный модуль на гибкой основе



Рис. 20. Стапелирование многокристалльного модуля на гибкой монтажной подложке

печатных плат будут серьезно пересмотрены и станут использоваться новые типы межсоединения по оси Z. Требования к технологии пайки также предельно ужесточаются, поскольку значительно уменьшается размер каждого паяного соединения на печатной плате.

Дальнейшие перспективы развития технологии корпусирования связаны с разработкой многоуровневой (стековой), или модульной, технологии, которая призвана сократить плотность межсоединений вне корпусов за счет применения концепции перенесения межсоединений внутрь многокристального модуля. Для этого уже используются двухэтажные (рис. 17), трехэтажные конструкции на жестких основаниях (рис. 18). Гибкие многослойные подложки позволяют уменьшить монтажную площадь многокристальных модулей (рис. 19) путем свертывания их в кубическую форму (рис. 20).

## Дискретные компоненты

Элементная база для поверхностного монтажа включает обширную номенклатуру дискретных (рассыпных) элементов самого разного назначения. Наиболее простым и распространенным типом корпусов является прямоугольный, или чип (Chip). Практически все конденсаторы и резисторы имеют прямоугольную форму корпуса с металлическими контактами по бокам (рис. 21).

Зарубежные производители предлагают более широкую номенклатуру чип-элементов. Кроме конденсаторов и резисторов имеются индуктивности, электролитические конденсаторы, диоды, стабилитроны, переключатели и другие элементы.

В системе mil большая часть чип-компонентов обозначается по размерам таким образом, что первые две цифры означают длину компонента в долях mil, а две последние — ширину (табл. 2).

Таблица 2. Размеры чип-компонентов в системе mil

Обозначение	Размеры, mil	Размеры, мм
01005	0,1×0,05	0,25×0,125
0201	0,2×0,1	0,50×0,25
0402	0,4×0,2	1,00×0,50
0603	0,6×0,3	1,50×0,75
0805	0,8×0,5	2,00×1,25
5845	5,8×4,5	14,5×11,2



Рис. 21. Дискретные чип-компоненты

Другой массовый тип корпуса — цилиндрический, или MELF (Metal Electrode Face-bonding) и MiniMELF. Эти корпуса имеют стеклянный корпус и металлические контакты по торцам. В таких корпусах монтируют резисторы и диоды.

Специально для диодов разработан корпус типа SOD (Small Outline Device), представляющий собой стеклянный корпус с металлической крышечкой. Для того чтобы отличать катод от анода, помещенного в такие корпуса на стеклянный корпус, ближе к катоду, наносят черное кольцо.

Специально для транзисторов разработан корпус типа SOT (Small Outline Transistor). Корпуса этого типа имеют пластмассовый корпус и металлические выводы по бокам.

В корпуса SOT помещают не только транзисторы и диоды, но и транзисторы с резисторами, стабилитроны, стабилизаторы напряжения на базе операционного усилителя и многое другое, а количество выводов может быть более трех.

### Сопоставительная оценка компонентов

Общие тенденции к микроминиатюризации связаны с громадными затратами на обновление основных фондов в микроэлектронике, производстве печатных плат и сборочно-монтажном производстве. Тем не менее эти тенденции проявляют себя в разнообразии приемов увеличения плотности межсоединений в корпусах микросхем, в печатных платах, в сборке и монтаже. На рис. 22. пока-

зано, какие приемы микроминиатюризации используют различные производители элементной базы, а на рис. 23 представлена сопоставительная себестоимость этих приемов.

Что касается пассивных компонентов, они уменьшаются до размеров маковых зерен: от корпусов 0201 уже переходят к 01005. Но более плодотворным считается перенос пассивных компонентов в конструкции печатных плат: за один прием трафаретной печати, например, могут наноситься резисторы, за другой — диэлектрический слой конденсаторов. Однако при необходимости иметь точные значения резисторов или большие емкости конденсаторов неизбежно используются дискретные компоненты.

### Покртия компонентов под пайку

Компоненты — наиболее слабое звено в монтажной пайке. Особенно это относится к бессвинцовой пайке. Вся масса компонентов, до сих пор находящаяся в обращении на рынке, предназначена для пайки SnPb-припоями. С 1 июля 2006 года вступила в силу директива RoHS, предписывающая использование технологий бессвинцовой пайки [11]. Первые компоненты для бессвинцовой пайки поступили в продажу в 2000 году. Они име-

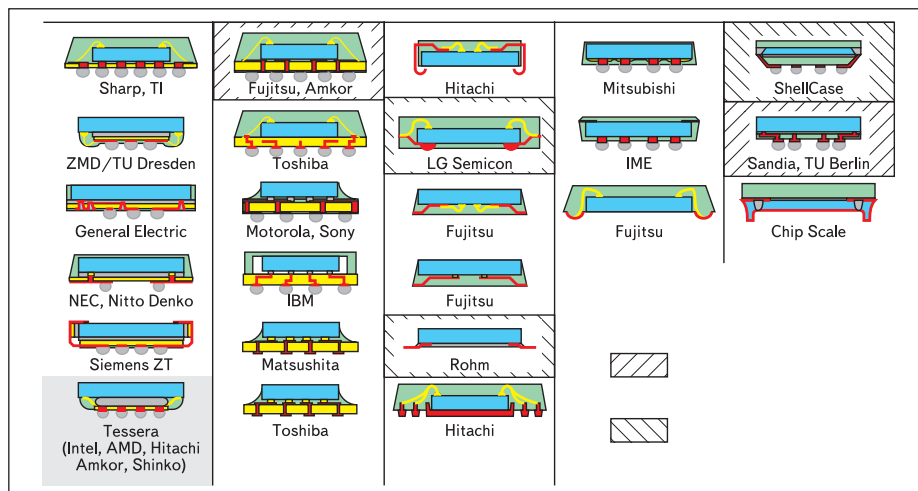


Рис. 22. Приемы микроминиатюризации различных фирм

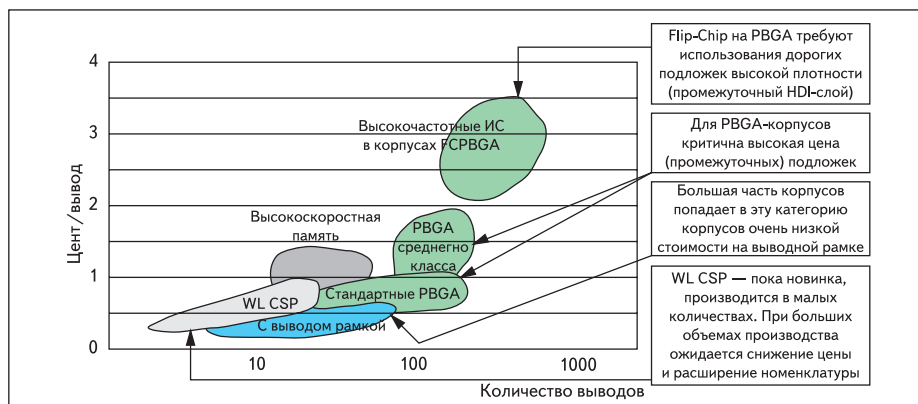


Рис. 23. Сопоставление себестоимости методов микроминиатюризации корпусов микросхем

**Таблица 3.** Испытательные режимы нагрева компонентов, имитирующих условия пайки оплавлением (сравнение режимов пайки оловом-свинцом и бессвинцовыми припоями)

Условия оплавления	Эвтектический сплав олово-свинец		Бессвинцовые припои	
	Большие корпуса	Малоразмерные корпуса	Большие корпуса	Малоразмерные корпуса
Скорость подъема температуры от температуры ликвидуса ТЛ до пиковой температуры ТП	3 С/с – максимум		3 С/с – максимум	
Предварительный нагрев:				
$T_{мин}$	100 °С		150 °С	
$T_{макс}$	150 °С		200 °С	
Время предварительного нагрева от $T_{мин}$ до $T_{макс}$ – $\tau_{пред}$	60...120 с		60...180 с	
Скорость нагрева от $T_{макс}$ до $T_{л}$	3 С/с – максимум		3 С/с – максимум	
Температура ликвидуса $T_{л}$	183 °С		217 °С	
Время пребывания при $T_{л}$ – $\tau_{л}$	60...150 с		60...150 с	
Пиковая температура $T_{п}$	225 <sup>+5</sup> °С	240 <sup>+5</sup> °С	245 <sup>+5</sup> °С	250 <sup>+5</sup> °С
Время пребывания при $T_{п} - 5$ °С – $\tau_{п}$	10...30 с	10...30 с	10...30 с	20...40 с
Скорость охлаждения	6 °С/с – максимум		6 °С/с – максимум	
Время перехода от 25 °С до $T_{п}$ – $\tau_{нагр}$	6 мин		8 мин	

ли следующие покрытия для пайки — Sn, SnCu и SnBi. Но для бессвинцовой пайки стандарты на покрытия компонентов до сих пор отсутствуют, поэтому фирмы, выпускающие отдельные партии компонентов для бессвинцовой пайки, действуют на свой страх и риск.

Существует несколько типов компонентов, по-разному реагирующих на условия пайки в зависимости от конструкции:

- дискретные компоненты, такие как чип-резисторы;
- SMT-компоненты, такие как PQFP;
- корпуса с шариковыми выводами, такие как BGA-компоненты;
- компоненты с выводами для пайки в отверстия, такие как DIP-компоненты.

Лидирующие на текущий момент покрытия компонентов:

- матовое гальваническое олово для дискретных компонентов;
- матовое гальваническое олово для SMT-компонентов с коротким жизненным циклом (5 лет и менее);
- матовое гальваническое олово с никелевым подслоем для долгоживущих компонентов (более 5 лет);
- Sn4Ag0,5Cu для шариковых выводов BGA для бессвинцовой пайки;
- гальваническое олово или лужение выводов компонентов с выводами для пайки в отверстия.

Покрытие SnPb совершенно не совместимо с бессвинцовой пайкой. Вообще, о совместимости припоев разных систем приходится говорить, когда компоненты имеют SnPb-покрытие, а используются в бессвинцовых процессах. Такое совмещение становится источником дефектов. Это в особой мере относится к таким компонентам, как BGA и QFP. Некоторые покрытия, например SnPbBi (90 °С), SnBi (138 °С), SnPbAg (179 °С) и SnPb (183 °С), уменьшают температуру плавления. Но они создают риск в управлении процессом бессвинцовой пайки и снижают ее надежность. Риск выхода пайки из-под контроля увеличивается и в случае, когда компоненты имеют бессвинцовые покрытия, а паяются SnPb-

припоем. При этом возникает возможность расслоения пайки и разбрызгивания легкоплавкого припоя.

**Чистое олово** хорошо паяет в широком диапазоне температур. Однако его использование опасно из-за возможности рекристаллизации при температуре ниже 13 °С («оловяная чума») и образования усов. Но после пайки чистое олово перестает быть таковым, и потому данные опасения неоправданны.

**SnBi.** Эвтектический сплав 42Sn58Bi имеет температуру плавления 138 °С. Аналогичный сплав, но содержащий 3% висмута, плавится при температуре 215–220 °С. Эти сплавы также проявляют способность к образованию усов, и в сочетании с SnPb-припоями после пайки такая опасность не исчезает.

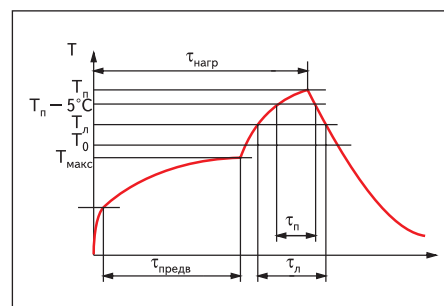
**SnAg.** Эти сплавы проявляют хорошую паяемость и хорошие механические свойства, однако они дороги. Сплав Sn3,5Ag относительно дешев, но имеет склонность к образованию усов. Сплав Sn5,0Ag лишен указанного недостатка, но дороже и имеет неприемлемо высокую температуру плавления.

**NiPd** были освоены фирмой Texas Instruments в 1989 году. За прошедшее время фирма продала миллионы компонентов с этим покрытием и не имеет нареканий.

**SnCu.** Эвтектический сплав Sn0,7Cu — относительно дешевый, мелкозернистый припой, демонстрирующий хорошую паяемость. Но и он проявляет склонность к рекристаллизации олова и образованию усов. Плавится при температуре 227 °С.

### Материалы корпусов компонентов

Высокие температуры пайки приводят к необходимости требовать от компонентов успешного прохождения испытаний на термоудар, который происходит при погружении в припой на 10 с при температуре 260 °С или на 5 с при температуре 280 °С. Корпуса не должны взрываться (эффект «поп-корн»), деформироваться, обесцвечиваться или подплавляться. Пластмассы с высокой термостойкостью дороже прежних, используемых



**Рис. 24.** Температурный профиль пайки

для SnPb-пайки, и сорбирующих влагу. Объем сорбированной влаги зависит от гигроскопичности материала и конструкции корпуса. Сорбированная влага при резком нагреве быстро превращается в пар. Давление пара вызывает вздутие (эффект «поп-корн»), разрывы, трещины. Даже если пластмассы не трещат, они могут расслаиваться внутри корпуса. Диффузия влаги в объем компаунда пропорциональна температуре и относительной влажности среды. Полное равновесие с внешней средой наступает тем раньше, чем меньше объем корпуса.

Испытания компонентов на термоудар проводят в три стадии:

- предварительный нагрев для полного удаления остаточной влаги из объема корпуса;
- контролируемое увлажнение корпуса в заданных температурно-влажностных условиях;
- термоудар, имитирующий процесс пайки.

Существуют нормативные документы [12], определяющие уровни температуры и влажности, после которых корпуса компонентов должны выдерживать термоудар. В последующем эти уровни соотносятся с разрешенным временем пребывания распакованных компонентов в контролируемой среде цеха до поступления на сборочно-монтажную линию, что может составлять от 4 до 24 часов. Если за это время компоненты не поступят на пайку, их нужно хранить в сухих шкафах, где поддерживается относительная влажность 3–5%.

В таблице 3 показаны режимы испытаний, имитирующие условия пайки оплавлением эвтектическим сплавом олово-свинец и бессвинцовыми сплавами. На температурном профиле пайки (рис. 24) показаны обозначения, использованные в таблице 3.

### Печатные платы

Независимо от того, что печатные платы относятся к самостоятельному производству монтажных подложек, их можно отнести к комплектующим сборочно-монтажного производства, как изделия, поступающие извне. В связи с этим нет необходимости рассматривать технологии печатных плат. Им посвящены соответствующие издания [1–5] и многочисленные публикации в популярных журналах [6–10].



Здесь имеет смысл рассмотреть вопросы сопрягаемости современных компонентов с печатными платами, выступающими в роли монтажных подложек.

### Требования к печатным платам

Что нас должно интересовать о печатных платах применительно к требованиям сборочно-монтажного производства?

1. Плотность монтажного поля. Размер контактных площадок для монтажа и зазоров между ними во многом определяют составляющие технологии сборочно-монтажного производства.
2. Размеры групповой заготовки, устанавливаемой на конвейер сборочно-монтажной линии.
3. Система совмещения (система базирования) с реперными знаками заготовки и прицелами для установки многовыводных компонентов на рабочем поле платы. Форма и точность позиционирования реперных знаков и контактных площадок монтажного поля должны быть согласованы между производителями печатных плат и сборочно-монтажным производством.
4. Финишные покрытия под пайку во многом определяют выбор флюсов, типов паст, температурные режимы пайки. Длительная способность финишных покрытий к пайке — одно из главных условий устойчивости сборочно-монтажного производства.
5. Коробление печатных плат. Зачастую платы бракуются из-за неприемлемого коробления, не позволяющего ей принять плоское состояние, необходимое для принтера и для установщика компонентов.
6. Нагревостойкость печатных плат определяет приемлемость температурных режимов пайки. Особенно остро эта проблема стоит для технологий бессвинцовой пайки. Для обеспечения соответствующих условий для изготовления печатных плат приходится использовать материалы с высокой температурой стеклования. Такие материалы дороже обычных, но с этим приходится мириться, чтобы получить продукт приемлемого качества и надежности.
7. Исполнение паяльной маски. Конфигурация паяльной маски: точность совмещения с монтажным полем, наличие маски в зазорах между монтажными элементами, отсутствие «наползания» маски на контактные площадки — все это сказывается на качестве пайки. Нагревостойкость и влагостойкость паяльной маски сказывается в последующем на характеристиках устойчивости печатного узла к воздействию внешних факторов.
8. Маркировка. Что она должна быть читаемой — спору нет. Но часто ее используют для центрирования компонентов. Тогда к качеству маркировки добавляется точность позиционирования реперных знаков, выполненных маркировкой.
9. Плата должна быть контролепригодной, то есть иметь дополнительные точки для

контактирования зондов (пробников) для внутрисхемного контроля и диагностики качества. Как правило, дополнительные элементы уменьшают плотность компоновки на 10–15%. Но с этим приходится мириться, чтобы за счет тестирования обеспечить приемлемый уровень качества и надежности электронного модуля.

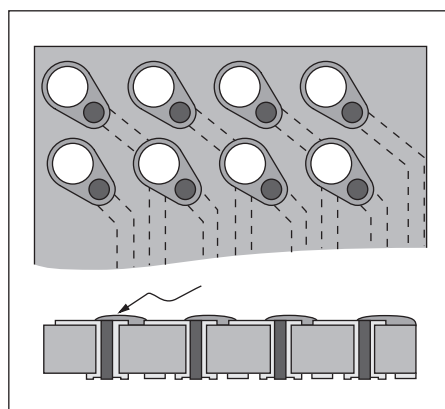


Рис. 25. Один из способов предотвращения перетока расплавленного припоя в отверстие

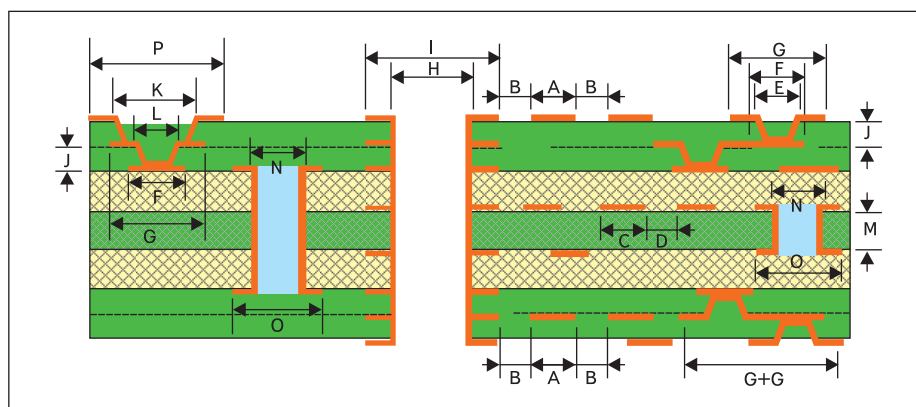


Рис. 26. Геометрические характеристики МПП

Таблица 4. Численные характеристики МПП

Символ	Наименование параметра	Минимальный размер, мм		
		Сегодня	Завтра	Послезавтра
Характеристики рисунка				
A	Ширина проводника на внешней поверхности	0,1	0,075	0,05
B	Зазор на внешней поверхности	0,1	0,085	0,062
C	Ширина проводника на внутреннем слое	0,1	0,075	0,025
D	Зазор на внутреннем слое	0,1	0,085	0,062
Характеристики сквозных отверстий				
H	Диаметр сверления сквозного отверстия	0,25	0,2	0,2
I	Контактные площадки сквозного отверстия	0,55	0,5	0,4
j	Отношение толщины платы к диаметру сквозного сверления	10	15	20
Характеристики глухих отверстий				
E	Диаметр глухого отверстия	0,1	0,075	0,025
F	Контактная площадка основания глухого отверстия	0,25	0,2	0,05
G	Контактная площадка входа глухого отверстия	0,3	0,25	0,05
J	Отношение глубины к диаметру глухого отверстия	= 1	= 1	= 1
K	Диаметр верхнего глухого отверстия	0,175	0,15	0,075
L	Диаметр нижнего глухого отверстия	0,1	0,075	0,025
P	Контактная площадка верхнего глухого отверстия	0,375	0,325	0,25
Характеристики слепых отверстий				
M	Глубина металлизированного слепого отверстия	0,2	0,15	0,1
N	Диаметр сверления слепого отверстия	0,25	0,2	0,2
O	Контактные площадки слепого отверстия	0,55	0,5	0,4

10. Наконец, конфигурация монтажных элементов на плате должна быть приспособлена для групповых методов пайки. Иначе печатный узел будет иметь многочисленные перемычки и непропаи, для обнаружения и исправления которых приходится идти на дополнительные трудозатраты и увеличение себестоимости продукции.

11. Отдельно для монтажа BGA-компонентов необходимо соблюсти условия пайки без утечки припоя в металлизированные отверстия (рис. 25) или заполнением отверстий металлом (медью по специальной технологии).

Обозначение геометрических характеристик печатных плат показано на рис. 26, а численные характеристики плат (сегодня и в перспективе) приведены в таблице 4.

### Материалы монтажных оснований

Чтобы избежать проблем расслоения и коробления оснований печатных плат, их необходимо изготавливать из материалов с большей температурой стеклования ( $T_g$ ) — около 150 °С и выше. Группа материалов

типа FR-4<sup>1</sup> с  $T_g = 125$  °C, обычно используемая при пайке сплавом SnPb, уже не годится для пайки сплавом SnAgCu. Особенно критично поведение материала основания в процессе горячего облуживания HASL. Материалы типа FR-5<sup>2</sup> и полиимидные платы могут использоваться для бессвинцовой пайки без ограничений. Дешевые материалы типа FR-1, FR-2, FR-3 с  $T_g < 130$  °C уже не годятся для бессвинцовой пайки.

Законы Евросоюза RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment) предлагают уйти от галогеновых пламегасителей, входящих в состав связующего материала печатных плат массового применения. Материалы FR-4 с таким связующим имеют  $T_g$  в диапазоне 130–150 °C, что приемлемо для бессвинцовой пайки. Но стоимость таких материалов более чем на 30% выше. Для удешевления в состав армирующих компонентов вводят целлюлозную (CEM-1) или стеклянную (CEM-3) бумагу (CEM — Composite Epoxy Material). Такие материалы мягче для сверления, при их использовании стенки отверстий ровнее, а расход сверл меньше, что создает им некоторые преимущества перед FR-4 [3].

#### Металлизация отверстий

Пластичность медных осадков должна соотноситься с температурным расширением основания плат по оси Z. Оно будет явно больше при более высоких температурах пайки бессвинцовыми припоями. Чтобы устоять перед расширением основания и гарантировать большую прочность и большую пластичность медных осадков, необходимо более жестко управлять процессом металлизации сквозных отверстий. Для обеспечения прогрева сквозных монтажных отверстий до более высоких температур, свойственных бессвинцовым пайкам, необходимо обеспечить соответствующую теплопроводность металлизации за счет увеличения ее толщины. Вышеописанное вынуждает пересмотреть нормы требований к технологии металлизации отверстий печатных плат [4].

#### Покрывтия под пайку

Большое разнообразие финишных покрытий говорит об отсутствии выбора в пользу какого-либо одного-двух, удовлетворяющих всем требованиям по стоимости, смачиваемости, долговременности и т. д. Их перечень широк:

- OSP (Organic Solderability Preservative);
- NiAu (ENIG — Electroless Ni & Immersion Gold — химический никель и иммерсионное золото);
- ImAg (Immersion Ag);
- ImBi (Immersion Bi);

- Pd (Electroplate or Electroless Pd — химический или гальванический палладий);
- NiPd (Electroless Ni & Immersion Pd);
- NiPdAu (Electroless NiPd & Immersion Au);
- ImSn (Immersion Sn);
- NiSn (Electroplate Ni & Sn);
- SnAg (Electroplate Sn & Ag);
- HASL (Hot-Air Solder Leveling).

В этом ряду лидирующими покрытиями печатных плат под бессвинцовую пайку являются OSP, ENIG, ImAg и HASL [2, 4].

**HASL-процесс** горячего облуживания плат состоит в их погружении на ограниченное время в ванну с расплавленным припоем. Во время быстрой выемки плат их обдувают струей горячего воздуха, которая сдувает излишки припоя и выравнивает покрытие. Несмотря на старания наплывы припоя остаются. Особенно много их на развитых металлических поверхностях. В последующей сборке наплывы мешают установке мелких компонентов, что ограничивает применение HASL. Тем не менее с точки зрения качества и исключительной способности к пайке это покрытие, безусловно, наилучшее. Поэтому там, где изготовление плат и сборка происходят в одном производстве, всегда стараются найти компромиссы, чтобы использовать HASL.

Еще один существенный недостаток HASL-процесса — жесткий термоудар, который испытывают платы при погружении в расплавленный припой. Чем выше рабочая температура припоя, тем серьезнее проблема обеспечения надежности межсоединений. Ряд предприятий не использует HASL-процессы для многослойных плат, считая, что они уменьшают надежность внутренних межсоединений из-за таких термоударов. Приемлемые по качеству и относительно низкотемпературные бессвинцовые припои для HASL-процессов на сегодняшний день отсутствуют.

**Покрывтие OSP** обеспечивает защиту медной поверхности от окисления в процессе хранения и пайки. В конце пайки такой слой, выполнив свою функцию, теряет способность обеспечивать последующие процессы пайки. В Японии это дешевое покрытие применяется более 20 лет. Но чтобы процесс пайки проходил в одну стадию группового нагрева, конструкторы изделий учитывают данную особенность в целях снижения себестоимости. OSP — хорошая альтернатива HASL. Однако OSP имеет короткий жизненный цикл, что негативно сказывается на технологической надежности. Это покрытие не обеспечивает многократную пайку, тем более при высоких температурах. Чтобы избежать подобных затруднений, приходится использовать азот в качестве нейтральной среды пайки.

**Покрывтие ENIG** (~4 мкм Ni + ~0,1 мкм Au) — другая альтернатива HASL-процессам. Это покрытие свободно от ионных загрязнений и способно к многократной пайке при высоких температурах. Тонкий слой золота защищает никель от окисления, а никель становится

барьером, предотвращающим взаимную диффузию золота и меди. Характерный для покрытия ENIG дефект — черные контактные площадки, появляющиеся на поверхности из-за выделения никеля и восстановленного фосфора. Во время пайки золота растворяется в припое и обнажает плохо паяемый слой фосфора. Припой скатывается с фосфорированной поверхности, из-за чего и проявляется эффект черной контактной площадки. Черные контактные площадки могут возникать также при передержке процесса пайки. Передержка интенсифицирует образование интерметаллидов олова с никелем и олова с фосфором, внедренным в никель. Выделение фосфора на поверхности никеля может вызвать также процесс золочения. Осаждение золота из нейтральных электролитов уменьшает вероятность этих явлений [13].

ENIG капризно в выборе флюсов, а его цена примерно на 25% выше, чем у OSP. Преимущество ENIG:

- жизнеспособность более года;
- плоская контактная поверхность;
- хорошая смачиваемость припоем при правильном подборе флюса;
- неокисляемая поверхность нажимных и скользящих контактов.

**Иммерсионное олово (ImmSn)** — еще одна альтернатива HASL-процессам. Популярность ImmSn растет за счет обеспечения хорошей смачиваемости и простоты процесса осаждения. ImmSn демонстрирует лучшую паяемость, чем ENIG.

Существуют ограничения для применения ImmSn:

- самопроизвольные нитевидные кристаллические образования (усы), которые могут приводить к короткому замыканию;
- образование интерметаллических соединений CuXSnY. При этом способность к пайке исчезает, поскольку толщина иммерсионного олова не превышает 1 мкм и CuXSnY быстро поглощает этот тонкий слой. В последнее время возможность этого явления предотвращают введением барьерного подслоя различного содержания: металлоорганика и др.

Но у ImmSn есть и преимущества:

- низкая стоимость процесса осаждения;
- хорошая паяемость;
- плоская поверхность покрытия (в отличие от HASL);
- хорошие условия для обеспечения беспаяемых соединений Press-Fit (впрессовывание штырей-хвостовиков разъемов в металлизированные отверстия плат).

**Иммерсионное серебро (ImmAg)**. Толщина ImmAg не превышает 200 нм, поэтому расходы на реализацию этого покрытия незначительны. Жизнеспособность ImmAg гораздо выше, чем OSP, но несколько меньше, чем ENIG. Изменение цвета покрытия в процессе хранения, сборки и пайки — результат загрязнения воздушной среды сульфатами и хлоридами. Пожелтение не сказыва-

1 FR — Fire Restardent (огнеустойчивый). FR-4 — эпоксидная смола, армированная стеклотканью. FR-1 = FR-2 — бумага с фенолоформальдегидной пропиткой. FR-3 — бумага с эпоксидной пропиткой.

2 FR-5 — полифункциональная эпоксидная смола ( $T_g = 150...160$  °C), армированная высокосортной стеклотканью.

ется на свойствах ImmAg, но декоративность покрытия при этом страдает. Консервирующие покрытия антиокислителей тормозят процесс пожелтения и продлевают жизнеспособность покрытия. ImmAg менее популярно в Европе, чем в США, где оно более доступно [14].

## Заключение

Постоянная интеграция элементной базы, уменьшение размеров пассивных компонентов побуждают к развитию техники межсоединений (печатных плат, соединителей, коммутирующих элементов) и технологии сборки и монтажа компонентов на монтажные подложки. В это направление развития электроники агрессивно вмешиваются новые технологии, связанные с выполнением Директивы RoHS. Традиционно сложившиеся подходы и методики конструирования и технологии их реализации требуются пересматривать, чтобы они остались на том же уровне надежности, каким он был до перехода на бессвинцовые технологии. С этой точки зрения дело

может дойти до отказа от использования в высоконадежных системах отдельных конструкций корпусов (таких, как BGA и им подобных), если они предназначены для бессвинцовой пайки. ■

## Литература

1. Пирогова Е. В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005.
2. Капица М. С. Технология производства печатных плат: Учеб. пособие по одноименному курсу для студентов специальности 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств». Минск: БГТУ, 2005.
3. Медведев А. Печатные платы. Конструкции и материалы. М.: Техносфера, 2005.
4. Медведев А. Технология производства печатных плат. М.: Техносфера, 2005.
5. Технологии в производстве электроники. Сборник статей специалистов инжиниринговой компании «Электрон-Сервис-Технология», опубликованных в официальных изданиях. Ч. 1. М.: Make-Up-Print, 2006.
6. Печатный монтаж (CircuitTree) // Приложение к журналу «Электроника. Наука, Технология, Бизнес». ЗАО «РИЦ «Техносфера».
7. Электроника. Наука, Технология, Бизнес. ЗАО «РИЦ «Техносфера».
8. Производство электроники. Технологии, Оборудование, Материалы. М.: ИД «Электроника».
9. Технологии приборостроения. М.: ИД «Технологии».
10. Технологии в электронной промышленности. 2005. 2006.
11. Григорьев В. Бессвинцовая технология — требование времени или прихоть законодателей от экологии? // Электронные компоненты. 2001. № 6.
12. J-STD-020-B. Стандарт для определения чувствительности к влаге в процессе пайки оплавлением негерметичных твердотельных компонентов для SMT-монтажа.
13. The Black Pad Failure Mechanism — From Beginning to End/Ronald A. Bultwith, Michael Trosky, Louis Picehione, Darlene Hug/Cookson Electronics Assembly Materials Group — Alpha Metals, Global SMT and Packaging Journal, Sept. 2002.
14. Global trend of lead-free Soldering and technologies/John H. Lau and Katrina Lin. SMT China.