

электроники

А. МЕДВЕДЕВ

Сборка
и монтаж
электронных
устройств



ТЕХНОСФЕРА



М И Р электроники

А. МЕДВЕДЕВ

Сборка и монтаж электронных устройств

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2007

Медведев А.М.

Сборка и монтаж электронных устройств

Москва:

Техносфера, 2007. — 256 с. ISBN 978-5-94836-131-4

Производство электронной аппаратуры неуклонно наращивается, увеличивается плотность компоновки и миниатюризация аппаратуры, развиваются технологии поверхностного монтажа. И несмотря на это уже более десяти лет в России отсутствуют свежие специализированные издания, посвященные современным проблемам сборки и монтажа. Существует лишь разрозненная информация в периодической печати и на сайтах фирм, поставляющих соответствующее оборудование. Но и эта информация не всем доступна.

Предлагаемая книга написана по материалам зарубежной периодической печати, международных конференций и, что особенно ценно, по результатам опыта работы таких высокотехнологичных предприятий отрасли, как LVS, Fastwel, МЭЛЗ, Альтоника и др.

Книга посвящена описанию процессов, материалов и оборудования, используемых в сборочно-монтажном производстве, и предназначена для начинающих специалистов в этой области технологий, преподавателей и студентов технических вузов по специальности «Конструирование и технология производства электронной аппаратуры».

© 2007, А. М. Медведев
© 2007, ЗАО «РИЦ «Техносфера»
оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-131-4

Содержание

Введение	15
-----------------------	-----------

Глава 1.

Электронные компоненты	17
1.1. Тенденции – постоянная интеграция.....	17
Конструкции корпусов микросхем	22
1.3. Непосредственный монтаж кристаллов на подложку	26
1.4. Микрокорпуса (CSP).....	29
1.5. Дискретные компоненты	32
1.6. Сопоставительная оценка компонентов	34
1.7. Покрытия компонентов под пайку.....	35
1.8. Материалы корпусов компонентов	37
1.9. Упаковка компонентов.....	38
1.10. Печатные платы.....	39
1.10.1. Требования к печатным платам.....	39
1.10.2. Материалы монтажных оснований.....	41
1.10.3. Металлизация отверстий	42
1.10.4. Покрытия под пайку.....	42
1.11. Заказчик и производитель.....	44
1.11.1. P-CAD или GERBER?	45
1.11.2. Рекомендации по конструированию печатных плат применительно к автоматизированной сборке	46
1.11.3. Оформление конструкторской документации	50
1.12. Заключение.....	51
Литература.....	52

Глава 2.

Физико-химические основы монтажной пайки	53
2.1. Классификация способов нагрева	53
2.2. Процессы на границе раздела	53
2.2.1. Первая стадия – адсорбция	53
2.2.2. Вторая стадия – адгезия	55
2.2.3. Третья стадия – смачивание	55
2.2.4. Четвертая стадия – поверхностные реакции	56
2.2.5. Пятая стадия – сцепление.....	57
2.2.6. Стадии физико-химического процесса пайки	57
2.3. Процессы нагрева при пайке	58
2.3.1. Общие вопросы монтажной пайки	58
2.3.2. Пайка волной припоя.....	60
2.3.2.1. Технологические этапы процесса волновой пайки	60
2.3.2.2. Блок флюсования	61

2.3.2.3.	Предварительный нагрев	61
2.3.2.4.	Процесс пайки	61
2.3.2.5.	Охлаждение	62
2.3.2.6.	Особенности пайки волной припоя	62
2.3.3.	Инфракрасная пайка	63
2.3.4.	Конвекционный нагрев	67
2.3.5.	Конденсационная пайка	69
2.3.6.	Локальная пайка	71
2.3.6.1.	Пайка паяльниками	71
2.3.6.2.	Пайка горячим газом	72
2.3.6.3.	Пайка сопротивлением	74
2.3.6.4.	Лучевая пайка	75
2.3.6.5.	Лазерная пайка	76
2.4.	Выбор методов нагрева для монтажной пайки	78
2.5.	Типичные дефекты пайки	78
2.5.1.	«Холодные» пайки	78
2.5.2.	Растворение покрытий	81
2.5.3.	Отсутствие смачивания	81
2.5.4.	Растворение покрытий	84
2.5.5.	Интерметаллические соединения	85
2.5.6.	Эффект «надгробного камня»	86
2.5.7.	Сдвиг компонента	89
2.5.8.	Отток припоя	90
2.5.9.	Образование перемычек	92
2.5.10.	Отсутствие электрического контакта	93
2.5.10.1.	Эффект подушки	93
2.5.10.2.	Другие виды отсутствия электрического контакта	93
2.5.10.3.	Отслаивание галтели	94
2.5.11.	Образование шариков припоя	94
2.5.12.	Образование пустот	96
2.6.	Заключение	97
	Литература	98

Глава 3.

	Материалы для монтажной пайки	99
3.1.	Низкотемпературные припои	99
3.1.1.	Диаграмма сплавов олово-свинец	100
3.1.2.	Примеры других мягких припоев	102
3.1.3.	Загрязнения припоев	102
3.1.4.	Составы припоев	104
3.2.	Припои для бессвинцовой пайки	107
3.2.1.	Существо бессвинцовой пайки	107

3.2.2.	Бессвинцовые припои	107
3.2.3.	Финишные покрытия для бессвинцовой пайки	110
3.2.4.	Проблемы бессвинцовой пайки.....	110
3.3.	Флюсы для монтажной пайки.....	111
3.3.1.	Назначение флюсов	111
3.3.2.	Составы флюсов.....	111
3.3.2.1.	Классификация флюсов.....	111
3.3.2.2.	Флюсы на синтетической основе.....	114
3.3.3.	Типы флюсов.....	115
3.3.4.	Активаторы	116
3.3.5.	Растворители во флюсах и пастах	117
3.3.6.	Реологические добавки.....	117
3.3.7.	Остатки флюсов	117
3.3.8.	Применение флюсов	119
3.3.9.	Проверка правильности выбора припоя, флюса, температуры и времени пайки.....	119
3.4.	Паяльные пасты.....	120
3.4.1.	Требования к паяльным пастам.....	120
3.4.2.	Составы паяльных паст	121
3.4.3.	Гранулированный припой в паяльных пастах	125
3.4.4.	Флюсы в паяльных пастах	128
3.4.5.	Остатки флюсов	129
3.4.6.	Заключение	130
3.5.	Клеи.....	130
3.5.1.	Механизмы полимеризации клеев.....	130
3.5.2.	Назначение клеев в сборочно-монтажных процессах	132
3.5.3.	Прочность клеевого соединения.....	133
3.5.4.	Влагоустойчивость клеев.....	134
3.5.5.	Требования к поверхностному сопротивлению	134
3.5.6.	Клеевые композиции.....	135
3.5.6.1.	Связующие	135
3.5.6.2.	Наполнители.....	136
3.5.6.3.	Пластификаторы	136
3.5.6.4.	Тиксотропные добавки	136
3.5.6.5.	Стабилизаторы.....	136
3.5.6.6.	Красители	137
3.5.6.7.	Прочие добавки	137
3.6.	Растворители.....	137
3.6.1.	Жидкости для отмывок от загрязнений плат.....	137
3.6.2.	Вода как растворитель	138
3.6.3.	Органические растворители.....	139
3.6.4.	Смеси растворителей.....	140

3.6.5. Пожаро- и взрывоопасность органических растворителей	141
3.6.6. Антипирены	142
3.7. Заключение	142
Литература	143

Глава 4.

Монтажная микросварка	144
4.1. История сварки.....	144
4.2. Место микросварки в производстве электроники	145
4.3. Механизм образования сварного шва	146
4.4. Термокомпрессионная микросварка	147
4.5. Ультразвуковая сварка	152
4.6. Микросварка расщепленным электродом	153
4.7. Точечная электродуговая сварка	154
4.8. Сварка микропламенем.....	155
4.9. Лучевая микросварка.....	156
Литература	158

Глава 5.

Непаемые методы неразъемных соединений.....	159
5.1. Принципы непаемых соединений	159
5.2. Монтаж соединений накруткой.....	160
5.2.1. Контактное соединение накруткой	160
5.2.2. Конструкции соединений накруткой	163
5.2.3. Закрепление и прочность соединительных штырей	165
5.2.4. Технология накрутки	165
5.2.5. Современное применение накрутки.....	167
5.3. Соединение скручиванием и намоткой.....	168
5.4. Винтовое соединение	168
5.5. Зажимное соединение сжатием («термипойнт»).....	169
5.5.1. Соединительный штырь.....	169
5.5.2. Провод.....	169
5.5.3. Зажим – клипса	170
5.6. Соединение с помощью спиральной пружины.....	170
5.7. Клеммное соединение прижатием.....	170
5.8. Соединения обжатием.....	171
5.9. Эластичное соединение («зедра»).....	172
5.10. Соединения врезанием.....	173
5.11. Соединение проводящими пастами	174
5.12. Соединения типа Press-Fit	178
5.12.1. Обусловленность появления и применения Press-Fit.....	178
5.12.2. Элементы Press-Fit.....	181

5.12.2.1. Контактные штыри.....	181
5.12.2.2. Сквозные металлизированные отверстия.....	182
5.12.2.3. Механизм образования соединения	184
5.12.3. Техника межсоединений на основе технологий Press-Fit	187
5.12.4. Прочность соединений Press-Fit.....	188
5.12.5. Проблемы технологии запрессовки.....	189
5.13. Заключение.....	189
Литература.....	192

Глава 6.

Технология сборки и монтажа электронных модулей 193

6.1. Поверхностно монтируемые изделия (SMD-компоненты).....	194
6.1.1. Чип-резисторы.....	194
6.1.2. Резисторы MELF	195
6.1.3. Чип-конденсаторы	195
6.1.4. Чип-индукторы.....	196
6.1.5. Дискретные полупроводниковые компоненты.....	196
6.1.6. Интегральные схемы	196
6.2. Разнообразие типов компоновок.....	198
6.2.1. Классификация типов сборок.....	198
6.2.1.1. Тип 1. Установка компонентов с одной стороны	198
6.2.1.2. Тип 2. Установка компонентов с двух сторон.....	199
6.2.3. Маршруты сборки и монтажа.....	200
6.2.3.1. Последовательность сборки типа 1А.....	201
6.2.3.2. Последовательность сборки типа 1В.....	201
6.2.3.3. Последовательность сборки типа 1С.....	201
6.2.3.4. Последовательность сборки типа 2А.....	201
6.2.3.5. Последовательность сборки типа 2В.....	202
6.2.3.6. Последовательность сборки типа 2С.....	203
6.2.3.6. Последовательность сборки типа 2D.....	203
6.3. Технологии пайки при поверхностном монтаже.....	203
6.3.1. Пайка волной.....	203
6.3.2. Пайка оплавлением	204
6.3.3. Преимущества технологии с использованием паяльной пасты при поверхностном монтаже.....	205
6.4. Последовательность сборки и монтажа.....	206
6.4.1. Схема процесса.....	206
6.4.2. САД-САМ – системы.....	209
6.4.3. Хранение и подготовка компонентов	209
6.4.4. Нанесение паяльной пасты на контактные площадки плат ...	211
6.4.4.1. Диспенсорный метод нанесения припойной пасты ..	211
6.4.4.2. Трафаретный метод нанесения припойной пасты	213

6.4.4.3. Трафаретный метод нанесения припойной пасты	221
6.4.5. Нанесение клеев (адгезивов).....	222
6.4.6. Установка компонентов.....	225
6.4.6.1. Прототипное производство.....	225
6.4.6.2. Принципы установки компоновки.....	225
6.4.6.3. Управление точностью установки.....	226
6.4.6.4. Питатели	227
6.4.6.5. Источники ошибок.....	228
6.4.6.6. Обновление оборудования	228
6.4.6.7. Выбор установщиков.....	229
6.5. Пайка	229
6.5.1. Термопрофиль	229
6.5.2. Методы нагрева.....	232
6.5.3. Требования, предъявляемые к печам пайки оплавлением.....	233
6.6. Очистка	234
6.7. Материалы лаковых покрытий	239
6.8. Тестирование	241
6.9. Инженерное обеспечение производства	242
6.9.1. Одежда персонала.....	242
6.9.2. Очистка воздуха	243
6.9.3. Термостабилизация.....	245
6.9.4. Управление влажностью.....	245
6.9.5. Вытяжная вентиляция	245
6.9.6. Уровень шума и вибрации	246
6.9.7. Магнитные и электромагнитные поля.....	246
6.9.8. Электростатический заряд в воздухе и на поверхности	246
6.10. Сертификация сборочно-монтажного производства по ИСО 9000... ..	247
6.10.1. Общие положения	247
6.10.2. Входной контроль материалов и комплектующих	248
6.10.3. Технологическая документация	248
6.10.4. Контрольные операции	249
6.10.5. Метрологическое обеспечение.....	249
6.10.6. Идентификация продукта	250
6.10.7. Система качества	250
6.10.8. Аттестация технологического оборудования и оснастки.....	251
6.10.9. Аттестация персонала.....	251
6.10.10. Анализ дефектов и отказов.....	251
6.10.11. Контроль функционирования системы качества.....	252
6.10.12. Испытания продуктов	252
6.10.13. Процедуры сертификации	253
6.11. Заключение.....	255
Литература.....	255

ВВЕДЕНИЕ

Электроника, информационные технологии, средства коммуникаций стали технической базой высоких технологий. Ядром этих технологий являются технические и программные средства обработки информации и вычислений. Вооруженность этими средствами, полнота их использования определяет облик современного общества.

Со времен создания первых средств информационной и вычислительной техники (электронных, магнитных, релейных, пневматических, химических, оптических) главная тенденция развития этой техники состоит в стремлении к микроминиатюризации и повышению функциональности ее компонентов. Эта тенденция проявилась в изобретении транзисторов с последующей их интеграцией в микросхемы. Успехи технологии полупроводниковых микросхем создали для микроэлектроники приоритет над другими принципами обработки информации и вычислений. Только в средствах коммуникации электроника уступает волоконно-оптической технике. Но в обработке информации электронный принцип довлеет над другими.

Постоянное совершенствование микроэлектронной технологии, рост степени интеграции микросхем, увеличение функциональной насыщенности электронной аппаратуры, повышение производительности вычислительных процессов требуют постоянного роста плотности печатного монтажа, освоения новых технологий сборочно-монтажного производства, улучшения мер технологического обеспечения надежности. Современные требования к электронным приборам и оборудованию заставляют эти процессы идти со все возрастающей скоростью.

Кардинально изменился подход к созданию электронной аппаратуры, которая должна одновременно обеспечивать высокое быстродействие, расширенный динамический диапазон, относительно малое энергопотребление, высокую чувствительность, повышенную стойкость к воздействию внешних факторов.

Постоянно увеличивается сложность конструкций средств информационной и вычислительной техники. При этом все больше усложняются технологии их реализации. Совершенствование известных технологий сопровождается привлечением новых, без которых сегодня невозможно изготовить сложный электронный узел. Растущие конструктивно-технологические требования к электронной аппаратуре особенно четко установились именно в области информационной и вычислительной техники, поскольку увеличение производительности процессов обработки информации и вычислений находится в непосредственной зависимости от плотности межсоединений, так как время переключения элементов интегральных схем стало соизмеримым с временами задержки сигналов в линиях связи. Можно сказать, что

основная тенденция развития технологий производства информационной и вычислительной техники — увеличение плотности межсоединений вслед за увеличением интеграции и миниатюризации электронных компонентов.

В отечественной и зарубежной практике ведется непрерывный поиск новых и совершенствование известных методов межсоединений. Ежемесячно публикуются сотни патентов, описывающих новые процессы и операции, претендующих на новое слово в технологиях электронной аппаратуры. Среди достижений в технологии монтажа появлялись и методы, изобретение которых сопровождалось значительной рекламой, но на практике они оказались маловыгодными или ненадежными либо нашли ограниченное применение. Ежегодные международные конференции, симпозиумы по международной стандартизации, практика производства, дискуссии специалистов способствуют отбору выверенных решений, на основе которых родились базовые технологии. Именно для базовых общепринятых технологий разрабатываются стандарты, оборудование и материалы. На их основе строятся новые производства с многомиллионными вложениями капитала.

Конечно, как сказал один мудрец: «Если бы человечество придерживалось мнения большинства, Земля до сих пор плавала бы на трех китах». Но технология традиционно наиболее консервативная отрасль техники, она не терпит революций и развивается эволюционно. Промышленное освоение новых технологических принципов обходится слишком дорого, чтобы перестраивать под них производство без предварительного опробования в технологических лабораториях.

Сегодня, в условиях рыночной экономики, особенно важно проявлять профессионализм в инвестировании производства, поскольку каждая даже, казалось бы, малозначительная ошибка может привести к большим экономическим потерям. В этом принципиальное отличие нашего времени от предыдущего периода затратной экономики, мало считавшейся с потерями ради дальней цели.

Производство средств информационной и вычислительной техники относится к высоким технологиям, требующим от специалистов высокой степени профессионализма. Безусловно, эта книга может служить лишь введением в технологию электроники. Жизнь показывает, что успеха достигают лишь те специалисты-технологи, которые постоянно пополняют свою информационную базу, смело и обдуманно идут на эксперимент и в практике производства приобретают столь ценный опыт, позволяющий им уверенно чувствовать себя в управлении производством.

Тема сборочно-монтажного производства непосредственно связана с технологиями печатных плат. Им посвящены соответствующие издания [1–5] и многочисленные публикации в популярных журналах [6–10].

ГЛАВА I

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

1.1. Тенденции – постоянная интеграция

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

$$n = kN^R,$$

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

Поэтому растет спрос на новые методы корпусирования (конструкции выводов), а вслед за этим – на увеличение плотности межсоединений на печатной плате. Этот спрос обусловлен 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 было бы характеризовать соотношением площадей кристалла (S_1), корпуса (S_2) и монтажного поля на плате (S_3):

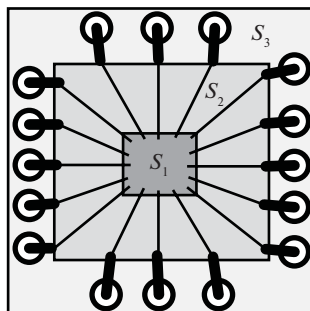


Рис. 1.1. Площади кристалла (S_1), корпуса (S_2) и монтажного поля на плате (S_3)

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

$Q_2 = S_2 / S_1$, когда выводы и монтажное поле целиком находятся под корпусом (рис. 1.1).

Например, если кристалл процессора имеет размер 10×10 мм, а монтажное поле его корпуса на плате занимает площадь 4000 мм, 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, 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 тыс.

В табл. 1.1 приведены данные грубой оценки дезинтеграции при использовании различных методов корпусирования и установок кристаллов микросхем процессора на монтажное основание (плату).

Таблица 1.1. Оценка дезинтеграции при переходе на следующий уровень межсоединений

Вариант монтажа или установки	Площадь монтажного поля на подложке, мм	Степень дезинтеграции
Кристалл	10×10	1
Flip-Chip	12,5×12,5	1,5
Wire-Bond	14×14	2
Flip-TAB	24×24	6
TAB	42×42	18
Flat-Pack	72×72	52
Корпус с периферийными выводами	105×105	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 на брак. Надежность таких конструкций также не будет гарантирована. Если же в производство поступит изделие, спроектированное по низким проектным нормам, т.е. с большой степенью дезинтеграции (больших габаритов), его большая материалоемкость, низкая фондоотдача («из пушки по воробьям») также пагубно скажется на его себестоимости.

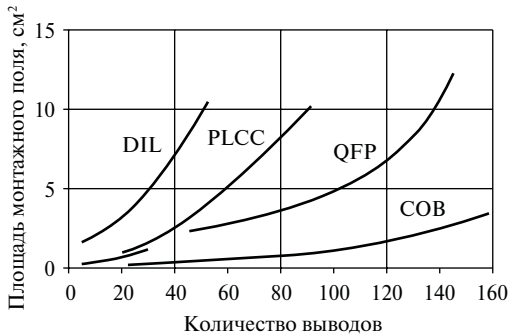


Рис. 1.2. Размер монтажного поля для размещения выводов корпусов различных конструкций

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 демонстрировать процессы увеличения плотности монтажа количеством выводов, размещаемых на определенной площади монтажного поля печатной платы, как показано на рис. 1.2.

В результате общих тенденций площадь монтажных подложек уменьшается примерно на 7%, а физические размеры электронной аппаратуры – на 10–20% в год. Эта тенденция поддерживается непрерывным увеличением плотности межсоединений за счет уменьшения монтажных поверхностей вместе с увеличением количества выводов, и вслед за этим уменьшаются элементы присоединения, шаг и конструкции выводов компонентов.

Таблица 1.2. Численные характеристики МПП (см. рис. 1.27)

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	0,15
I	Контактные площадки сквозного отверстия	0,48	0,35	0,3
	Отношение толщины платы к диаметру сквозного сверления	10	15	20

Таблица 1.2. Окончание.

Символ	Наименование параметра	Минимальный размер, мм		
		Сегодня	Завтра	Послезавтра
Характеристики глухих отверстий				
Е	Диаметр глухого отверстия	0,1	0,075	0,025
Ф	Контактная площадка основания глухого отверстия	0,25	0,2	0,05
Г	Контактная площадка входа глухого отверстия	0,3	0,25	0,05
Ж	Отношение глубины к диаметру глухого отверстия	= 1	= 1	= 1
К	Диаметр верхнего глухого отверстия	0,175	0,15	0,075
Л	Диаметр нижнего глухого отверстия	0,1	0,075	0,025
Р	Контактная площадка верхнего глухого отверстия	0,375	0,325	0,25
Характеристики слепых (скрытых) отверстий				
М	Диаметр металлизированного слепого отверстия	0,2	0,15	0,1
Н	Диаметр сверления слепого отверстия	0,25	0,2	0,15
О	Контактные площадки слепого отверстия	0,48	0,35	0,3

В конце 80-х гг. прошлого столетия в производстве электроники началась своеобразная революция – переход на технологии поверхностного монтажа. Тогда казалось, что она полностью вытеснит монтаж выводов в отверстия. Но, как выяснилось, это не всегда возможно: крупные элементы (конденсаторы большой емкости, разъемы, трансформаторы и др.) удобнее монтировать выводами в отверстия. Поэтому 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 микросхем использовало периферийную систему выводов. Развитие технологий корпусирования и монтажа таких компонентов дошло до своего предела: плотность расположения периферийных выводов достигла шага 0,4 мм (в редких случаях – 0,3 мм). Поэтому в 90-е гг. 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, слепых отверстий. Все это серьезно влияет на

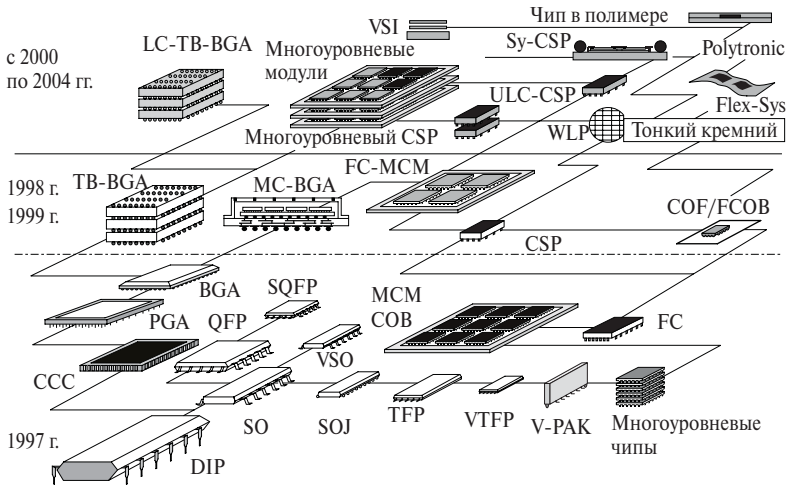


Рис. 1.3. Эволюция корпусов микросхем

облик сборочно-монтажного производства: оно все в большей мере становится автоматическим, вручную многие компоненты невозможно ни установить, ни припаять. Поэтому увеличивается стоимость основных фондов сборочно-монтажного производства, но уменьшается объем прямых затрат, приходящихся на единственный логический элемент микросхем, сокращается цикл производства. В свою очередь, печатные платы, как монтажные подложки для SMT-компонентов, становятся сложнее и дороже, но за счет увеличения функциональности электронных изделий стоимость выполняемых ими функций становится в конечном итоге меньше.

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

Рис. 1.3 достаточно наглядно демонстрирует эволюцию и разнообразие корпусов и монтажных подложек, чтобы понять, что сегодня не сформировались еще устойчивые, всех удовлетворяющие решения, из которых можно было бы выбрать ограниченный ряд конструкций, чтобы можно было ограничить разнообразие технологий для их реализации.

1.2. Конструкции корпусов микросхем

С самого начала кристаллы микросхем помещали внутрь керамических или пластмассовых корпусов. Примерно до 1986 г. все корпуса микросхем имели выводы, предназначенные для монтажа в металлизированные отверстия

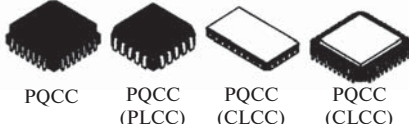

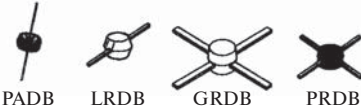
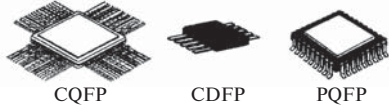




Обозначение	Примеры
CC Chip Carrier	 PQCC PQCC (PLCC) PQCC (CLCC) PQCC (CLCC)
CY Cylinder	 MBCY MBCY PBCY
DB Disk Button	 PADB LRDB GRDB PRDB
FP Flatpack	 CQFP CDFP PQFP
PF Press Fit	 MUPF
PM Post/Stud mount	 MUPM MUPM CRPM
SO Small Outline	 PDSO PDSO PSSO
SS Special Shape	 PDBS

Рис. 1.4. Обозначение конструкций корпусов микросхем















(PTH — Plated Through-hole — металлизированное отверстие) печатной платы и последующей пайки. Позднее, с увеличением интеграции, их выводы стали делать в форме, пригодной для технологии поверхностного монтажа (SMT — Surface Mounting Technology), ставшей преобладающей технологией монтажа 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. 1.4) являются:

- корпуса с периферийным расположением выводов, когда выводы расположены 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. Но 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 между выводами, травмирования изоляционных зазоров. Разнообразие форм выводов показано на рис. 1.5.

 BUTT	B	 "S" BEND	S	 NO LEAD	N
 SOLDER LUG	D	 "J" INVERTED	U	 WRAPAROUND	R
 GULL WING	G	 "C" BEND	C	 THROUGH-HOLE	T
 "J" BEND	J	 FLAT	F	 WIRE	W
 PIN/PEG	P	 HULL-CURRENT CABLE	H		

 КОРПУС КОМПОНЕНТА  ЭЛЕМЕНТ ПРИСОЕДИНЕНИЯ

Рис. 1.5. Обозначение выводов микросхем

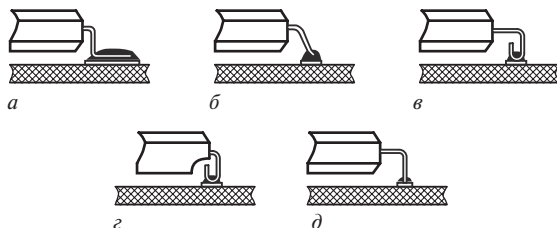


Рис. 1.6. Формы выводов: *a* – «Крыло альбатроса»; *б* – *L*-образный; *в* – *J*-образный открытый; *г* – *J*-образный скрытый; *д* – *J*-образный (пайка встык)

Наибольшее распространение получили плоские *L*-образные выводы типа «крыла чайки», «крыла альбатроса», *J*-образные и *J*-образные выводы, которые за счет изгиба компенсируют тепловые и механические деформации (рис. 1.6).

Корпус с *J*-образными выводами (рис. 1.7) занимает на ПП меньше места, устойчив при транспортировке, хорошо согласуется с различными упаковками, корпуса не застревают 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 возможна компоновка с предельно малыми зазорами между смежными корпусами. Кроме того, корпуса с такой формой выводов способны вставать в разъемные колодки, контакты которых обжимают *J*-образные выводы корпуса.

Корпуса с *L*-образными выводами (рис. 1.6, *б*) лучше контролируются и при их контроле легко применять стандартные зонды. При автоматическом монтаже ИМС с расположением выводов с четырех сторон возникают трудности, так как корпуса застревают в транспортных трактах и возникают деформации выводов. 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 приспособливают и к монтажу на поверхность. Микросхемы с такой формовкой выводов могут быть смонтированы так же, как микросхемы в корпусах с планарными

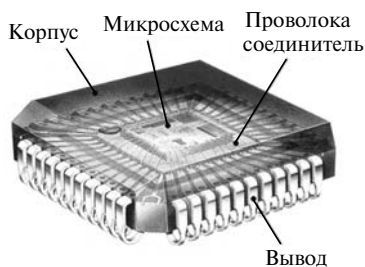


Рис. 1.7. Структура корпуса с *J*-выводами

выводами. Кроме того, микросхемы в DIP-корпусах могут монтироваться на поверхность пайкой встык.

Вероятнее всего, в перспективе монтаж элементов на печатные платы будет ориентироваться на пайку выводов под корпусом элементов по технологии поверхностного монтажа, а шаг выводов будет сокращаться. В связи с этим 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. 1.8):

- CSP (Chip-scale Packages — корпус, соизмеримый с размером кристалла),
- PBGA (Plastic Ball Grid Array — пластмассовые корпуса с шариковыми матричными выводами),
- CBGA (Ceramic Ball Grid Array — керамические корпуса с шариковыми матричными выводами),
- PPGA (Plastic Pin Grid Array — пластмассовые 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 размером 35×35мм). Минимальные переходные емкости контактов у них лучше по сравнению с другими монтируемыми на поверхность корпусами, что обеспечивает работоспособность при более высоких тактовых частотах внешних информационных магистралей. Для теплопередачи между корпусом и печатной платой на нижней поверхности корпуса по его центру выделяется специальная теплоотводящая площадка.

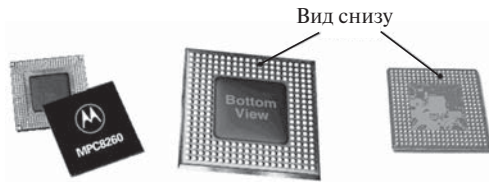


Рис. 1.8. BGA-корпуса

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 (Multichip Module), часто называемых также «матрица контактных площадок» (pad grid), «матрица выводов» (land grid),