

НАНОТЕХ

**ПАМЯТКА
РАЗРАБОТЧИКУ**

BGA-это просто!

WWW.PCB.BY

ПАМЯТКА РАЗРАБОТЧИКУ

Выпуск №4

BGA – это просто!

BGA – это просто!

Введение. Почему BGA так популярны.

По мере увеличения сложности современных микросхем растет число контактов ввода/вывода, которые приходится размещать во все меньших по размеру корпусах для удешевления стоимости электронных изделий в целом. Эти процессы миниатюризации и усложнения и привели к появлению корпусов типа BGA (от английского Ball Grid Array – массив шариковых выводов).

Прежде всего, следует отметить технологичность корпусов BGA, так как они позволяют оптимальным образом разместить заданное количество выводов на ограниченной площади с сохранением достаточного зазора между выводами. Все выводы находятся на одной плоскости с нижней стороны корпуса, поэтому их длина получается короче, чем у микросхем, имеющих другие конструктивные исполнения. Это приводит к снижению паразитных излучений, а значит, положительно отражается на целостности сигналов в электронном изделии. Проблема копланарности выводов у BGA стоит не так остро, как у корпусов QFP. Сложность проектирования и необходимая точность изготовления трафаретов для нанесения паяльной пасты для QFP с шагом 0,5-0,25 мм значительно выше, чем для BGA корпусов с тем же количеством выводов. BGA менее чувствительны к типу паяльной пасты и параметрам ее нанесения. Во время оплавления компоненты BGA фактически плавают и автоматически центрируются благодаря силам поверхностного натяжения расплавленного припоя (корпус прекрасно самоцентрируется даже при смещении на 50% размера площадки). Так как корпуса BGA имеют большое число выводов, большая их часть может быть использована под выводы питания и заземления. Размещение их в нужном месте позволяет снизить паразитную индуктивность вывода, чем сокращается обратный путь высокочастотных токов в землю. Блокировочные конденсаторы при этом могут быть встроены непосредственно в подложку или введены внутрь корпуса, что позволяет дополнительно улучшить характеристики устройств. Корпуса BGA обеспечивают меньшее тепловое сопротивление корпус/плата по сравнению с

выводными корпусами. По совокупности характеристик корпуса BGA обладают лучшим на сегодняшний день соотношением цена/плотность межсоединений.

Среди отдельных недостатков можно выделить большую механическую жесткость соединения корпуса BGA-компонента с платой из-за отсутствия выводов, а также наличие разницы в коэффициенте теплового расширения (ТКР) по осям x-y (Coefficient of Thermal Expansion, CTE) между корпусом и материалом печатной платы (ПП) для некоторых BGA-компонентов (в частности для керамических BGA), что может вызвать проблемы при повышенных тепловых и механических нагрузках на изделие. Ремонт BGA затруднен, требует специальных навыков и приспособлений. Также следует отметить необходимость использования специального оборудования для контроля качества монтажа – рентгеновские установки и специальные микроскопы.

1. Классификация BGA.

В настоящее время производится широкая номенклатура микросхем в BGA корпусах. Основные типы выделяются по следующим признакам (согласно JEDEC JEP95, IPC-7095):

- типу корпуса и материалу основания.
- размеру корпуса и высоте профиля;
- шагу выводов;

1.1. Тип корпуса и материал основания.

При производстве BGA используется множество различных материалов для корпуса и подложки. Выбор конкретных материалов обусловлен многими факторами, такими как стоимость, требования по климатике и надежности, технологичность изготовления/пайки и т.д.

Наибольшее распространение получили BGA в пластиковом корпусе – PBGA (Plastic Ball Grid Array). Основанием для PBGA служит многослойная печатная плата, на которую разваривается (распаивается или приклеивается) кристалл, и крепятся

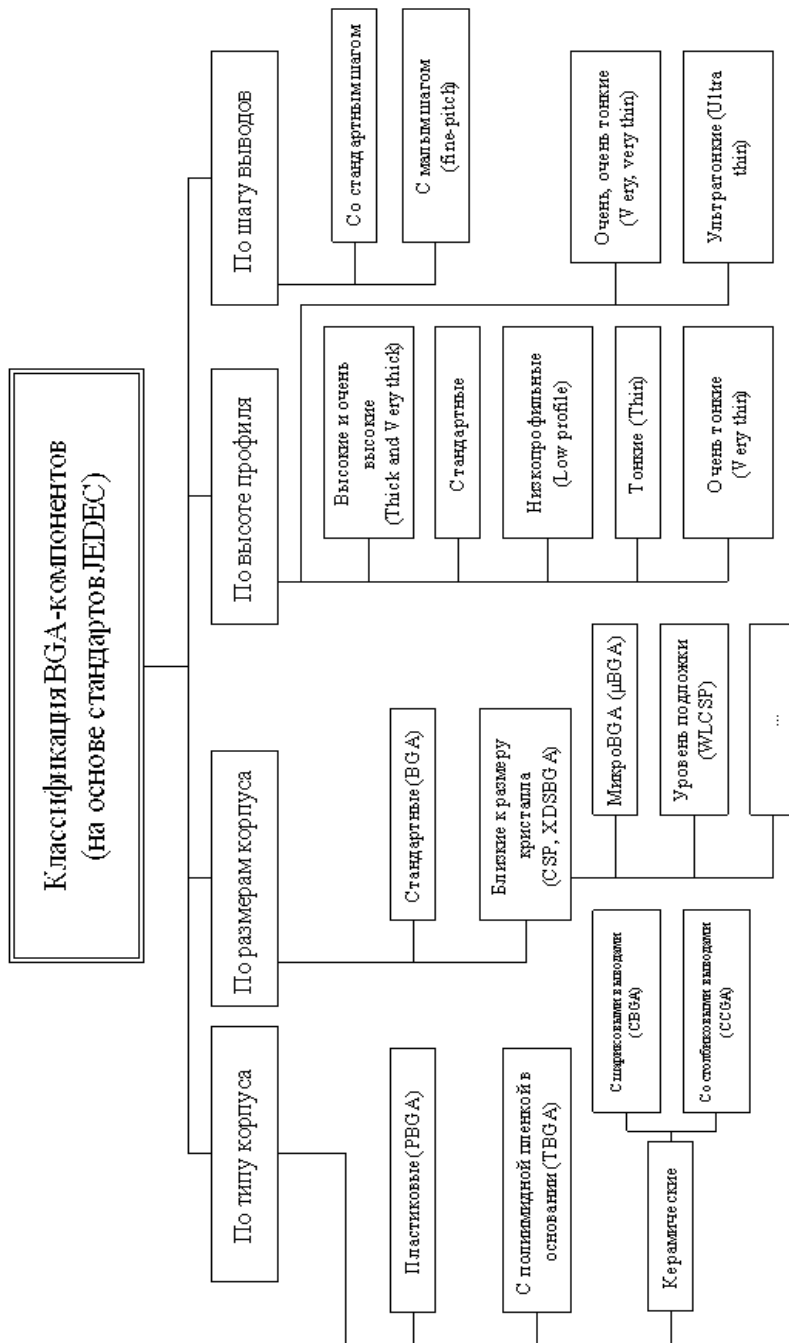


Рис. 1. Классификация BGA компонентов

шариковые выводы. В качестве материала для основания в PBGA используют FR-4 с высокой температурой стеклования (T_g) и бисмалеимид-триазин (BT). Корпуса PBGA являются относительно дешевыми, отличаются хорошим согласованием коэффициента теплового расширения корпуса и платы, однако чувствительны к влажности, склонны к короблению (в особенности большие по размеру корпуса).

Также широко распространены BGA в керамическом корпусе – CBGA (Ceramic Ball Grid Array). CBGA выполнены на многослойной керамической подложке и имеют металлическую или керамическую крышку. В качестве выводов для CBGA обычно используют неоплавляемые шарики из высокотемпературного сплава Sn10/Pb90 с температурой ликвидуса 302°C. Шарики крепятся к корпусу микросхемы с помощью эвтектического сплава. Существуют бессвинцовые варианты исполнения CBGA. Корпуса CBGA герметичны и практически нечувствительны к влажности, кроме того, шарики из высокотемпературного сплава облегчают процесс ремонта изделия, так как в большинстве случаев не требуют реболинга. Тем не менее, относительная высокопрофильность, большая теплоемкость и различия в ТКР с материалом печатной платы ограничивают их применение. Разновидностью корпусов CBGA являются корпуса CCGA (Ceramic Column Grid Array), в которых роль шариков выполняют столбиковые выводы. Выводы обычно имеют диаметр 0,5 мм и длину 1,25-2,0 мм. Надежность паяных соединений у CCGA с более длинными выводами выше, так как столбиковые выводы в этом случае эффективнее поглощают стресс, порождаемый несоответствием ТКР керамического корпуса и печатной платы. С другой стороны, более длинные выводы приводят к более высокому профилю микросхемы и требуют осторожности в обращении в процессе хранения и монтажа.

Корпуса TBGA (Tape Ball Grid Array) имеют гибкое полиимидное основание. Такие корпуса также имеют шарики из высокотемпературного припоя, прикрепленные к корпусу методом частичного оплавления. Для TBGA не так важно несовпадение ТКР, так как гибкое основание эффективно поглощает механические напряжения. Корпуса TBGA демонстрируют улучшенные тепловые характеристики без дополнительного

радиатора. Их чувствительность к влажности находится на том же уровне, что и у PBGA.

1.2. Размер корпуса, высота профиля.

По размеру корпуса все BGA можно разделить на две большие группы: стандартные BGA и BGA близкие к размеру кристалла, так называемые CSP (Chip Scale Package) или, согласно терминологии JEDEC, DSBGA (Die Size BGA). Согласно JEDEC JEP95 Section 4.7 DSBGA определяется как BGA, корпус которого приближен к размерам развариваемого в него кристалла настолько, насколько это возможно. Все DSBGA являются BGA с малым шагом выводов (fine-pitch), шаг которых $< 1,0$ мм.

Широко распространенным представителем группы DSBGA является корпус микро-BGA (μ BGA, micro-BGA), разработанный компанией Tessera Inc. Такой корпус имеет матрицу электроосажденных никелевых шариков с золотым покрытием размером около $0,090$ мм, либо шариков из эвтектического или бессвинцового припоя, на гибкой подложке. Упругий силиконовый слой снижает уровень механических напряжений. Уровень чувствительности к влажности данных корпусов – 1 и 2 (согласно J-SDT-020), что устраняет необходимость в специальной упаковке и методах обращения. Корпуса подходят для бессвинцовой технологии монтажа. Преимущественная область применения – SRAM, DSP для беспроводных приложений, высоконадежные приложения для медицины, автомобильной и военной промышленности. К этой же группе относятся WLCSP (Wafer Level Chip Size Package) – разновидность CSP, где все этапы процесса производства микросхемы проводятся на уровне подложки. Данные корпуса имеют очень малые размеры, низкий профиль ($\leq 0,82$ мм), обладают низкой чувствительностью к влажности и устойчивостью к высоким температурам (что особенно важно для бессвинцовой технологии). Шарик выполнен из сплава Sn/Ag/Cu.

Некоторые геометрические характеристики корпусов (шаг выводов и высота профиля) по стандартам JEDEC приведены в Табл. 1.

Обозначение корпуса	Расшифровка обозначения	Шаг выводов, мм	Максимальная высота профиля, мм
По типу и размерам корпуса			
PBGA	Пластиковые	1,5; 1,27; 1,0; 0,80	2,20; 3,50; 5,50
CBGA, CCGA	Керамические шариковые и столбиковые	1,5; 1,27; 1,0; 0,80	5,80 – 7,40
TBGA	С гибким пленочным основанием	1,5; 1,27; 1,0; 0,80	3,40
DSBGA (CSP)	Близкие к размеру кристалла	0,80; 0,75; 0,65; 0,50; 0,40	≤1,7
По высоте профиля и шагу выводов			
BFPGA	Высокие и очень высокие с малым шагом выводов (Thick and Very Thick Fine Pitch)	0,80	2,45 – 3,25
LFPGA	Низкопрофильные с малым шагом выводов (Low Profile Fine Pitch)	0,8; 0,65; 0,50	≤1,2
TFPGA	Тонкие с малым шагом выводов (Thin Fine Pitch)	0,8; 0,65; 0,50	≤1,0
VFPGA	Очень тонкие с малым шагом выводов (Very Thin Fine Pitch)	0,8; 0,65; 0,50	≤0,80
UFPGA, WFPGA	Ультратонкие и очень, очень тонкие с малым шагом выводов (Ultra Thin & Very, Very Thin Fine Pitch)	0,8; 0,65; 0,50	0,65; 0,80
XFPGA	Сверхтонкие с малым шагом выводов (Extremely Thin Profile Fine Pitch)	0,50	0,50

Табл. 1. Геометрические характеристики BGA-корпусов по JEDEC JEP95.

Следует также отметить, что наравне с квадратными корпусами BGA широко используются и прямоугольные корпуса. Также существуют корпуса BGA с разными величинами шага выводов по двум сторонам, так называемые dual pitch BGA.

1.3. Шаг выводов, размеры и материал шариков, параметры контактных площадок для монтажа BGA.

Согласно JEDEC JEP95, все корпуса BGA подразделяются на два класса в зависимости от шага выводов: стандартные BGA с шагом 1,5; 1,27 и 1,0 мм и BGA с малым шагом выводов (fine-pitch), шаг которых <1,0 мм:

Тип	Шаг выводов, мм
Стандартные BGA	1,5; 1,27; 1,0
BGA с малым шагом (fine-pitch), выпускаемые в настоящее время	0,8; 0,75; 0,65; 0,5; 0,4
Планируемые к выпуску BGA с малым шагом (fine-pitch)	0,3; 0,25

Табл. 2. Шаг выводов BGA.

В настоящее время BGA с шагом 1,5 мм редки и постепенно сходят со сцены. Наиболее массовое применение имеют 1,27; 1,0 и 0,8 мм корпуса. Для BGA корпусов близких к размеру кристалла (CSP) самым распространенным является шаг 0,5 мм, начат выпуск корпусов с шагом 0,4 мм.

Шаг выводов играет решающую роль в выборе размеров контактных шариков. В Табл. 3. приведены характеристики шариков для разных значений шага выводов (согласно IPC-7095).

Номинальный диаметр шарика, мм	Допустимое отклонение диаметра шарика, мм	Шаг выводов, мм
Выпускаемые корпуса BGA		
0,75	0,90-0,65	1,5; 1,27
0,60	0,70-0,50	1,0
0,50	0,55-0,45	1,0; 0,8
0,45	0,50-0,40	1,0; 0,8; 0,75
0,40	0,45-0,35	0,8; 0,75; 0,65
0,30	0,35-0,25	0,8; 0,75; 0,65; 0,50
0,25	0,28-0,22	0,40
Корпуса BGA, планируемые к выпуску		
0,20	0,22-0,18	0,30
0,15	0,17-0,13	0,25

Табл. 3. Параметры шариков для разных значений шага выводов BGA.

В качестве материалов для шариковых выводов применяются несколько разных классов сплавов.

Для пластиковых PBGA шариковые выводы чаще всего выполняют из эвтектического сплава Sn63/Pb37 с температурой плавления 183°C или из эвтектического сплава Sn62/Pb36/Ag2 с температурой плавления 179°C. Такие компоненты паяют как с применением паяльной пасты, так и без нее, нанося только флюс. При пайке температура оплавления в печи должна быть 215°C -220°C.

Для CBGA (керамических) и TBGA (с полиимидным основанием) обычно используют неоплавляемые шарики из высокотемпературного сплава Sn10/Pb90 с температурой ликвидуса 302°C. Шарики крепятся к корпусу микросхемы либо с помощью эвтектического сплава, либо частичным оплавлением (преимущественно у TBGA). Такие компоненты следует устанавливать только на паяльную пасту.

Для бессвинцовых применений используют шарики из сплавов типа Sn/Ag, Sn/Cu или Sn/Ag/Cu (таких как Sn100C, SAC305 и др.) с температурами ликвидуса (плавления для эвтектических сплавов) 210°C -227°C. Иногда используют неоплавляемые шарики из высокотемпературных бессвинцовых сплавов. Бессвинцовые BGA следует устанавливать на паяльную пасту и оплавливать при температуре в печи 235°C - 240°C и выше. Следует также помнить, что максимальная допустимая температура для большинства корпусов электронных компонентов и печатных плат не превышает 260°C.

Выбор размера контактной площадки является важным моментом при проектировании печатной платы. Контактные площадки на печатной плате должны быть того же диаметра, что и площадки на подложке микросхемы, к которым крепятся шариковые выводы. Площадки должны быть меньше диаметра вывода на определенную величину. В таком случае паяное соединение будет максимально надежным. В Табл. 4. представлены рекомендуемые размеры контактных площадок и допустимые отклонения от номинальных размеров для разных диаметров шариковых выводов (согласно IPC-7095).

Номинальный диаметр шарика, мм	Уменьшение диаметра	Номинальный диаметр площадки, мм	Допустимый диапазон отклонений диаметра площадки, мм	Допустимое фактическое отклонение положения центра площадки, мм	Точность изготовления площадки на плате, мм
Выпускаемые корпуса BGA					
0,75	25%	0,55	0,60-0,50	0,10	0,10
0,60	25%	0,45	0,50-0,40	0,10	0,10
0,50	20%	0,40	0,45-0,35	0,10	0,10
0,45	20%	0,35	0,40-0,30	0,10	0,10
0,40	20%	0,30	0,35-0,25	0,10	0,10
0,30	20%	0,25	0,25-0,20	0,05	0,05
0,25	20%	0,20	0,20-0,17	0,05	0,03
Корпуса BGA, планируемые к выпуску					
0,20	20%	0,15	0,15-0,12	0,05	0,03
0,15	20%	0,10	0,10-0,08	0,05	0,02

Табл. 4. Параметры контактных площадок для разных значений диаметра выводов BGA.

2. Копланарность.

Важным параметром, влияющим на точность и качество монтажа BGA и надежность паяных соединений, является копланарность. Проблема копланарности BGA – достаточно сложная проблема – подробно рассматривается в JEDEC JEP95 Section 4.17. Копланарность зависит от точности изготовления шариковых выводов, их диаметра, шага, точности позиционирования шариков на подложке. Упрощенный параметр *некопланарность* определяется как максимальное расстояние между самым нижним и самым верхним шариковым выводом, когда корпус BGA стоит на идеально плоской поверхности. Максимальное значение некопланарности устанавливается JEP95 для каждого типа корпуса BGA. Типичные максимальные значения приведены в Табл. 5.

Корпус	Тип корпуса	Максимальная некопланарность, мм
MO-151	PBGA (пластик)	0,20
MO-156, MO-157	CBGA (керамика)	0,15
MO-195	Fine pitch BGA	0,08

Табл. 5. Максимальное значение некопланарности для типов BGA.

Требование копланарности к пластиковым BGA менее жесткое, так как шарики у этого типа BGA оплавляются при пайке и “усаживаются”, в отличие от неоплавляемых шариков керамических BGA. Тем не менее, для новых и вновь разрабатываемых корпусов пластиковых BGA требование некопланарности ужесточили до 0,15 мм.

3. Чувствительность к влажности.

Контроль влажности для BGA необходим для предотвращения коробления, вспучивания или даже разрыва корпуса либо герметизирующего материала компонента при пайке (warpage, swelling, popcorning, cracking). Требования по чувствительности к влажности для электронных компонентов, в том числе и BGA, регламентируются стандартами J-STD-020 и J-STD-033. В J-STD-020, в зависимости от класса влагочувствительности, указано максимальное время, которое элек-

тронные компоненты могут провести вне защитной упаковки без накопления существенного количества влаги (т.н. «floor life»), и описаны процедуры, которые необходимо проделать для сушки компонентов перед сборкой, в случае превышения этого времени. Стандарт J-STD-033 устанавливает правила обращения с влагочувствительными компонентами.

Согласно J-STD-020 все компоненты разделены на восемь уровней чувствительности к влаге (см. Табл. 6.)

Уровень	Максимально допустимое время пребывания на открытом воздухе без защитной упаковки (floor life) при температуре $\leq 30^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $\leq 60\%$
1	Неограниченно долго при $\leq 30^{\circ}\text{C}/85\% \text{ RH}$
2	1 год
2a	4 недели
3	168 часов
4	72 часа
5	48 часов
5a	24 часа
6	Предварительная сушка обязательна. Распаять после сушки в течении времени, указанном на этикетке.

Табл. 6. Уровни чувствительности к влаге и безопасное время хранения на открытом воздухе согласно J-STD-020.

Многие типы корпусов BGA чувствительны к влаге. Особое внимание нужно уделять обращению с PBGA и TBGA компонентами. Большинство PBGA и TBGA относятся к уровням 3 и 4 и демонстрирует достаточно сильную чувствительность к влажности. Перед поставкой изготовителем микросхем производится сушка BGA компонентов и упаковка их в герметичный пакет с влагопоглотителем (dry pack). CBGA корпуса нечувствительны к влаге и относятся к уровням 1 и 2.

Чем бóльшая температура предполагается при пайке компонентов BGA, тем жестче требования к остаточной влажности корпуса, и тем продолжительнее должна быть сушка. Это особенно актуально для бессвинцовой пайки.

Необходимо отметить, что компоненты продолжают накапливать влагу и после монтажа. При проведении ремонта необходима сушка платы перед тем, как подвергнуть ее воздей-

ствию тепла. В противном случае, возможно повреждение BGA компонентов.

4. Упаковка.

Наиболее предпочтительной формой упаковки BGA компонентов является поддон, соответствующий требованиям JEDEC по формату, возможности штабелирования и температурным характеристикам. Так как часть BGA компонентов влагочувствительна, они нуждаются в сушке при повышенной температуре перед использованием. Поддоны позволяют сушить BGA компоненты при более высоких температурах, чем, например, ленточная упаковка, а значит, позволяют существенно сократить по времени цикл сушки. Поддоны жесткие и прочные механически, что очень важно для предотвращения повреждения компонентов в процессе транспортировки. Минус поддонов, пожалуй, только в существенно меньшей скорости монтажа на автоматах-установщиках по сравнению с лентой.

При массовом производстве изделий с BGA компонентами, например при производстве модулей памяти SRAM или DRAM, ленточная упаковка (стандарта EIA 481) может быть предпочтительнее из-за более высокой скорости автоматической установки. При сушке BGA в ленте необходимо соблюдать температурный режим, указанный на групповой этикетке, и не превышать максимальную температуру сушки для предотвращения коробления ленты. Следует отметить, что некоторые BGA в лентах недоступны, из-за влагочувствительности.

5. Требования к печатным платам для монтажа BGA.

Существуют лишь считанные применения BGA компонентов, которые можно осуществить с использованием двухсторонних печатных плат. Это возможно лишь для BGA с очень малым количеством выводов и, скорее, является экзотическим исключением. Применение BGA автоматически предполагает использование многослойных печатных плат.

5.1. Материалы.

Материалы для изготовления печатных плат или, в более общем смысле, подложек для монтажа компонентов, можно условно разделить на два больших класса: органические и неорганические.

5.1.1. Неорганические материалы.

К неорганическим относят такие материалы, как различные виды керамики, кремний и кремнийорганические соединения, оксидированные или эмалированные металлы. Такого класса подложки применяются тогда, когда требуется получить какие-либо свойства или характеристики, обычно недоступные для органических материалов. Например, высокую теплопроводность, прочность или стойкость к высоким температурам. Выбирать материал из этой группы необходимо осознанно, принимая во внимание факт наличия ограниченного числа производителей, использующих неорганические материалы.

5.1.2. Органические материалы.

Это самый большой класс материалов для использования в качестве подложек для электронных изделий. Состоят из различного типа основ (reinforcement) и органических связующих наполнителей (resin). Характеризуются относительно низкими значениями диэлектрической постоянной (dielectric constant, D_k) и тангенса угла диэлектрических потерь (dissipation factor, D_f), которые, к тому же, легко варьируются выбором основы/заполнения. Данные материалы дешевы и широко используются большинством производителей во всем мире.

5.1.2.1. Связующие наполнители (resin).

Эпоксидные смолы. Наиболее часто используемый тип наполнителя. Лучшее сочетание цена/характеристики. Постоянно разрабатываются новые типы эпоксидных смол, обладающие улучшенными свойствами.

Полиимид. Имеет самую высокую рабочую температуру из используемых сегодня органических систем. Используется для производства жестких, гибко-жестких и гибких печатных плат. Особенно для военных и специальных применений. Относительно дорог.

Бисмалеимид триазин. Широко используется в качестве основания для корпусов PBGA. Характеризуется хорошими температурными свойствами за приемлемую цену.

Цианат эстер (эфир циановой кислоты). Низкое значение диэлектрической постоянной, очень низкое значение фактора диссипации, улучшенные температурные характеристики. Дорог.

5.1.2.2. Основа (reinforcement).

Стеклоткань. Наиболее широко используемый материал основания. Прост в технологии. Доступен в разных вариантах плетения и толщины. Является основой для материалов класса FR-4. Дешев.

Нетканое стекловолокно. Представляет собой войлок из стекловолокна. Часто используется со фторопластовым заполнением. А также является основой для материалов класса СЕМ-3.

Арамидная ткань. Имеет отрицательный коэффициент теплового расширения по осям x-y. В сочетании с эпоксидным наполнением обеспечивает коэффициент теплового расширения, приближенный к керамике. Недостатком является большой коэффициент теплового расширения по оси z.

Арамидная бумага. Все более широко используется для многослойных применений. Имеет все преимущества арамидной ткани, но легче в производстве и применении. Хорошо сочетается с лазерным или плазменным сверлением.

Полиимидная пленка. Используется в качестве внешних слоев в платах HDI (High Density Interconnections) наряду с эпоксидной смолой. Легко травится химически для формирования переходных отверстий, подходит для лазерного сверления.

5.2. Характеристики базовых материалов.

Ниже приведены некоторые важные характеристики, которые необходимо учитывать при выборе марки базового материала и проектировании печатной платы для конкретного электронного изделия или применения. Эти характеристики особенно актуальны для BGA применений.

Диэлектрическая постоянная (dielectric constant, D_k), тангенс угла диэлектрических потерь (dissipation factor D_f). Эти характеристики необходимо учитывать при проектировании высокочастотных схем, линий связи контролируемого импеданса. Чем меньше диэлектрическая постоянная D_k , тем выше скорость передачи сигналов по печатным проводникам, тем больше импеданс проводника с той же геометрией. Чем меньше D_f , тем лучше целостность сигналов и меньше потери на высоких частотах.

Температура стеклования (Glass Transition Temperature, T_g). Очень важный параметр материала, особенно для многослойных плат. Это точка излома линейной характеристики теплового расширения материала. До температуры T_g материал расширяется линейно с определенным углом наклона характеристики (коэффициентом теплового расширения), после T_g характеристика расширения становится либо нелинейной, либо приближенно линейной, но с гораздо большим наклоном характеристики. Эффект особенно заметен при расширении по оси z , так как по осям x - y эффект частично нивелируется основой (стеклотканью). Это явление обусловлено процессом размягчения связующего наполнения материала (смола), разрывом полимерных связей и постепенного перехода к жидкому состоянию. Чем выше значение T_g , тем меньше выражен эффект коробления печатной платы, тем выше надежность металлизированных переходных отверстий.

Коэффициент теплового расширения (Coefficient of Thermal Expansion, CTE). Имеет разное значение для осей x - y и z . Для последней значение CTE всегда больше. Имеет решающее значение при выборе материала для электронного изделия, функционирующего в широком диапазоне рабочих температур. При прочих равных, рекомендуется выбирать материал с меньшим значением CTE .

Влагопоглощение (Moisture or Water Absorption). Большинство органических материалов гигроскопичны и поглощают влагу относительно быстро. Величина влагопоглощения в процентах определяется как относительное увеличение веса материала или изделия при выдержке его во влажной среде с определенными показателями относительной влажности и температуры. Поглощенная материалом влага испаряется в

процессе пайки и может привести к короблению печатной платы и вспучиванию материала.

Вышеупомянутые, а также некоторые другие характеристики для различных базовых материалов приведены в Табл. 7.

Наиболее массовое применение нашли печатные платы на основе тканого стекловолокна с эпоксидным наполнением (материалы класса FR-4). Абсолютное большинство многослойных печатных плат, в том числе и для применения BGA компонентов, изготавливается из этого класса материалов. Технология изготовления многослойных плат на основе FR-4 является базовой, ею владеют все производители плат. Материалы класса FR-4 очень технологичны, дешевы, к тому же постоянно совершенствуются, выпускаются новые модификации с улучшенными характеристиками. При отсутствии каких-либо особых показаний к применению альтернативных материалов для конкретного изделия, выбор FR-4 в качестве базового материала для печатной платы будет и технологически, и экономически оправдан. Вместе с тем, настоятельно советуем выбирать FR-4 со значением $T_g \geq 170^\circ\text{C}-180^\circ\text{C}$ для многослойных печатных плат с BGA компонентами для повышения надежности. Это особенно актуально для плат с большими BGA компонентами и количеством слоев больше 6-8. Для плат HDI материал с меньшим T_g практически не применяется.

5.3. Деформация печатной платы.

На обеспечение равномерного и надежного паяного соединения BGA-компонентов с печатной платой сильно влияет значение деформации прогиба/кручения. В особенности это существенно при больших размерах корпусов BGA. Согласно стандартам IPC-2221, IPC-A-600 максимальное значение деформации прогиба/кручения платы, предназначенной для SMT-монтажа, и измеренной по методике IPC-TM-650, не должно превышать 0,75% на всю длину платы или групповой заготовки, если сборка ведется на платах в заготовках.

Параметр	Материал				
	FR4	FR4 High Tg	Бисмалеимид-триазин	Полиимид	Цианат эстер
Диэлектрическая постоянная, Dk	3,9	3,4	2,9	3,5-3,7	2,8
Тангенс угла диэлектрических потерь, Df	0,022	0,012	0,015	0,01	0,004
Температура стеклования, Tg, °C	110-140	170-190	175-200	220-280	180-260
Коэффициент теплового расширения по осям x-y, STE _{xу} , ppm/°C	16-19	14-18	~15	8-18	~15
Коэффициент теплового расширения по оси z (при температуре ниже Tg), STE _z , ppm/°C	50-85	~44	~70	35-70	~81
Влагопоглощение, wt, %	1,3	0,3	1,3	0,5	0,8
Пробивное напряжение, x10 ³ В/мм	39,4	70,9	47,2	70,9	65,0
Удельное сопротивление, x10 ⁸ МОм*см	4,0	4,9	4,0	2,1	1,0

Табл. 7. Некоторые характеристики базовых материалов для изготовления печатных плат.

5.4. Финишные покрытия.

Финишные покрытия служат для: обеспечения надежного паяного соединения; сохранения паяемости поверхности; обеспечения хорошей поверхностной проводимости для контактов концевых разъемов и других печатных контактов; обеспечения поверхности, пригодной для разварки кристаллов на печатную плату. Так как данная статья посвящена BGA-применениям, мы не будем рассматривать все возможные финишные покрытия, а ограничимся описанием лишь нескольких, наиболее часто применяемых для плат с BGA. Не следует забывать, что при проектировании плат с BGA, следует также учитывать требования, предъявляемые к финишному покрытию другими компонентами схемы, и, возможно, выбирать приемлемое компромиссное решение. Сразу оговоримся, что финишного покрытия «на все случаи жизни» не существует, каждое покрытие имеет свою область применения, свои сильные и слабые стороны. Для облегчения правильного выбора некоторые характеристики финишных покрытий приведены в Табл. 8.

Свинцовые и бессвинцовые покрытия с выравниванием горячим воздухом (HASL, HAL – Hot Air Solder Leveling). Наносится в конечной стадии изготовления на уже сформированную печатную плату с нанесенной паяльной маской путем окунания ее в ванну с расплавом и последующим выравниванием и удалением излишков припоя с помощью воздушного ножа. Это самое распространенное, надежное и очень дешевое финишное покрытие для печатных плат. Основная проблема, связанная с покрытием HASL, - это существенная неравномерность толщины покрытия. Толщина покрытия может варьироваться от 0,75 мкм до 35 мкм в зависимости от размеров контактной площадки и от неравномерности воздействия воздушного ножа. Также в результате термоудара при нанесении HASL возможно коробление печатной платы в виде прогиба/кручения. Это особенно актуально для плат с толщиной <1,0 мм и для плат с несимметричным стеклом слоев, несбалансированных по меди, имеющих несимметричные по слоям медные заливки, ряды металлизированных отверстий, а также для бессвинцового покрытия. Неравномерность толщины покрытия вносит негативный вклад в общую копланарность плата-BGA.

Параметр	Покрытие					
	HASL	OSP	Иммерсионное золото	Иммерсионное серебро	Иммерсионное олово	
Срок хранения	>1 год	6 мес.	>1 год	6 мес.	6 мес.	
Плоскостность СМД площадок	недостаточная	плоская	плоская	плоская	плоская	
Многопроходная пайка (4 цикла)	Отлично	Хорошо (с толстым покрытием лучше)	Хорошо	Хорошо	Удовл.	
Надежность паяного соединения	Отлично	Отлично	Удовл. (возможны «черная площадка», охлаждение)	Хорошо	Хорошо	
«Голая» медь после сборки	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	
Толщина покрытия для площадки 1,6x1,6 мм, мкм	2,0-8,0	0,15 min	Au 0,05-0,1 Ni 3,0-6,0	0,05-0,5	0,65 min	
Относительная стоимость	1	1 (для толстого покрытия)	1,2-1,3	1,0-1,1	1,0-1,1	

Табл. 8. Характеристики финишных покрытий печатных плат для BGA применений.

В целом, покрытие HASL можно использовать для BGA-компонентов с шагом от 1,0 мм и более, в некоторых случаях даже от 0,8 мм при достаточно большой контактной площадке и небольшом количестве выводов. При применении HASL настоятельно рекомендуем осуществлять монтаж BGA на пасту, так как слой пасты нивелирует неравномерность толщины покрытия в таком случае. При нанесении пасты необходимо чаще протирать (промыть) трафарет снизу для удаления пасты, подтекшей под трафарет из-за неравномерности покрытия площадок.

Органическое покрытие (OSP – Organic Solderability Preservative). С уменьшением шага компонентов интерес к покрытиям, обеспечивающим необходимую плоскостность, и, в частности, к OSP, постоянно растет. В последнее время покрытия OSP бурно прогрессируют, появились разновидности покрытий, обеспечивающих многопроходную пайку без оксидации меди даже при достаточно больших перерывах по времени между проходами (дни). Различают тонкое, около 0,01 мкм, покрытие и относительно толстое покрытие 0,2 – 0,5 мкм и более. Для обеспечения двух- или многопроходной пайки следует выбирать толстое покрытие. OSP обеспечивает плоскую поверхность контактных площадок, не содержит свинца, при соблюдении правил хранения и обращения обеспечивает очень надежное паяное соединение. Вместе с тем, OSP не обеспечивает покрытие торцов медной контактной площадки припоем в процессе оплавления. Растекаемость припоя по поверхности хуже, чем при покрытии HASL. Поэтому при нанесении пасты отверстия в трафарете следует делать размером, равным контактной площадке. Иначе не вся поверхность площадки будет покрыта припоем (хотя этот дефект является только косметическим, надежность соединения остается очень хорошей). Непокрытая припоем медная поверхность со временем окисляется, что может повлиять негативно на проведение ремонта. Также существует проблема смачивания металлизированных отверстий при пайке волной. Необходимо наносить достаточно большое количество флюса перед пайкой, флюс должен попасть в отверстия, чтобы припой смочил отверстие изнутри и образовал галтель на обратной стороне платы. К недостаткам данного покрытия также относятся: малое время хранения перед использованием, несовместимость с терпеновыми растворителями, ограниче-

ния по тестопригодности при внутрисхемном и функциональном тестах (что частично решается нанесением паяльной пасты на контрольные точки). Если вы остановили свой выбор на OSP, рекомендуем применять покрытия ENTEK фирмы Enthone (ENTEK PLUS, ENTEK PLUS HT), как обеспечивающие лучшее сочетание смачиваемости, надежности соединения и многопроходности.

Иммерсионное золото (ENIG – Electroless Nickel/Immersion Gold). Широко распространенное бессвинцовое покрытие, обеспечивающее плоскостность контактных площадок, хорошую паяемость, высокую поверхностную проводимость контактных площадок и длительный срок хранения. Отлично подходит для внутрисхемного тестирования. Более дорогое, по сравнению с HASL. Имеется множество производителей химикатов для нанесения иммерсионного золота, технологии его нанесения различаются от производителя к производителю химикатов. Конечный результат также зависит от выбора химикатов и техпроцесса нанесения. Некоторые химикаты могут не сочетаться с конкретным типом паяльной маски. Данный тип покрытия склонен к образованию двух типов критических дефектов – «черной площадки» (black pad, несмачиваемости поверхности площадки припоем) и растрескивания при механических или термических нагрузках (растрескивание происходит между слоем никеля и меди, по слою интерметаллида). Также при нанесении покрытия следует контролировать количество золота для предотвращения охрупчивания паяного соединения. Точное следование технологии нанесения иммерсионного золота и своевременная замена растворов гарантируют качество покрытия и отсутствие дефекта black pad. Для предотвращения растрескивания при механических нагрузках можно рекомендовать увеличение толщины печатной платы до 2,0 мм и более при использовании BGA корпусов размером более 25x25 мм или при размере платы более 250 мм. Увеличение толщины платы уменьшает механические нагрузки на компоненты при изгибании платы.

В настоящее время ведется постоянная работа по нахождению новых финишных покрытий, способных преодолеть недостатки покрытий HASL, OSP и ENIG. Из последних покры-

тий многообещающим кандидатом считается иммерсионное серебро (см. Табл. 8.).

5.5. Групповые заготовки. Способ обработки контура. Разделение плат.

При автоматизированном монтаже компонентов очень удобно объединять платы в групповые заготовки для существенного уменьшения времени монтажа. Минимальные и максимальные размеры групповых заготовок, необходимость наличия полей и тип реперов для установщика компонентов необходимо уточнять на предприятии-сборщике. В качестве способа обработки контура платы с BGA в групповой заготовке рекомендуем применять либо фрезерование с мостиками, выполненными перфорацией, либо скрайбирование. Разделение групповых заготовок на отдельные платы после сборки в случае фрезерования с перфорацией производится путем выкусывания мостиков кусачками или специальной гильотиной, а в случае скрайбирования только дорезкой специальной дисковой фрезой. Категорически недопустимо разламывать платы с BGA (как, впрочем, и платы с другими SMD компонентами) вручную! Это может привести к повреждению паяных соединений, растрескиванию корпусов компонентов, расслаиванию многослойных печатных плат и повреждению переходных отверстий. Часть из этих дефектов могут быть скрытыми и проявить себя отказом лишь в эксплуатации. Пожалуйста, используйте соответствующий инструмент для разделения.

6. Проектирование печатных плат для BGA применений.

6.1. Размещение корпусов BGA на плате.

Не следует размещать микросхемы в BGA корпусах близко друг к другу или краю платы. Если плата имеет небольшое число слоев, наличие BGA корпуса может заблокировать трассировку проводников, так как почти все слои будут использованы для отвода сигналов от выводов BGA. Если расположить микросхему слишком близко к краю платы, то для прокладки необходимого числа проводников может оказаться

недостаточно места, и придется добавлять дополнительные слои. Другая возникающая здесь проблема – это нехватка места для размещения развязывающих конденсаторов. Также лучше избегать размещения BGA в геометрическом центре и на осях симметрии платы для предотвращения возможных проблем с копланарностью при деформации платы в процессе оплавления. Не следует размещать BGA компоненты рядом с массивными выводными компонентами, для предотвращения неравномерности нагрева рядом с большой тепловой массой в процессе пайки в печи, а также чрезмерных механических нагрузок на плату, оказываемых массивными компонентами. Следует также избегать размещения BGA в непосредственной близости от рядов сквозных металлизированных отверстий, например разъемов, так как это может привести к короблению платы при оплавлении, а также к механическим нагрузкам в процессе подсоединения разъемов.

Кроме того, не следует забывать об отводе тепла. Многие BGA корпуса рассеивают достаточно большие мощности, а значит, для их охлаждения необходимо использовать радиаторы. Иногда радиаторы приклеиваются непосредственно на корпус устройства, но в большинстве случаев теплоотводы крепятся к плате механическим способом, требуя при этом дополнительные площади под крепежные отверстия. Не следует забывать также и о тех, кто будет собирать плату. В общем случае, для обеспечения хода монтажной головки автомата будет достаточно запрещенной (keep-out) области 5 мм вокруг BGA корпуса, однако рекомендуется уточнить это значение у сборщика. Эту область нельзя использовать под размещение других компонентов, например, развязывающих конденсаторов. Наличие запрещенной зоны вокруг корпуса также необходимо для монтажа/демонтажа BGA при ремонте.

6.2. Маркеры для совмещения.

Хорошим стилем считается размещение на печатной плате с BGA маркеров совмещения, таких как локальные репера для автомата-установщика, метки габаритов корпуса BGA и указатель первого вывода микросхемы.

Локальные репера необходимо размещать в двух противоположных углах BGA за пределами габаритов корпуса. Чаше

всего это вскрытые из-под маски круглые площадки диаметром 1 мм со вскрытием по маске 2 мм. Минимальное значение отступа от корпуса и размеры реперов следует уточнить у сборщика.

Метки габаритов корпуса лучше выполнять в виде уголков по двум противоположным или по всем четырем сторонам микросхемы с отступом более 0,25 мм от габаритов корпуса. Можно выполнять как на меди, так и на шелкографии. Предпочтение следует отдавать меди, так как в этом случае формирование маркеров и контактных площадок будет происходить в одном цикле, что исключает сдвиг маркеров относительно площадок. Метки габаритов позволяют легко определять смещение компонента при визуальной инспекции.

Указатель первого вывода лучше размещать на слое шелкографии. Он может быть произвольной формы.

6.3. Размеры контактных площадок. Площадки, определяемые медью, и площадки, определяемые маской.

Размеры контактных площадок при проектировании печатной платы следует выбирать в зависимости от размеров шариковых выводов BGA согласно Табл. 4. Это справедливо для PBGA корпусов. Для керамических BGA с неоплавляемыми шариками следует также учитывать требование минимального объема паяльной пасты (см. п. 7.1. Нанесение паяльной пасты.). Для CBGA с шагом 1,0 мм и менее рекомендуется выбирать максимально возможный размер контактной площадки, во избежание проблем с нанесением достаточного количества пасты.

Различают два типа контактных площадок для BGA: площадки, определяемые медью, (NSMD - NonSoldermask Defined Pad) и площадки, определяемые маской, (SMD - Soldermask Defined Pad). См. Рис. 2.

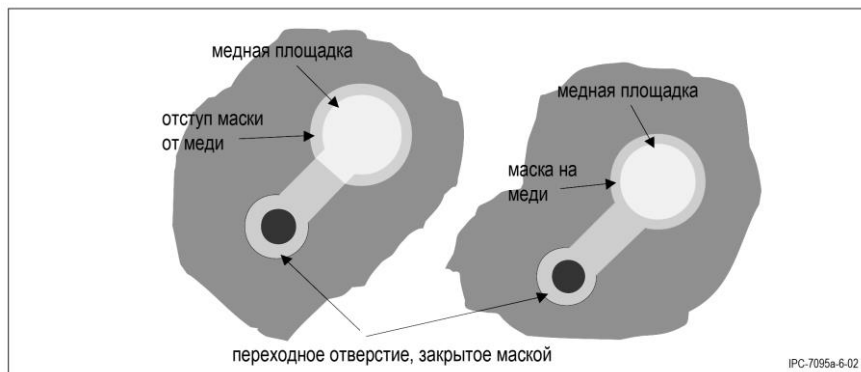


Рис. 2. Площадки, определяемые медью, и площадки, определяемые маской.

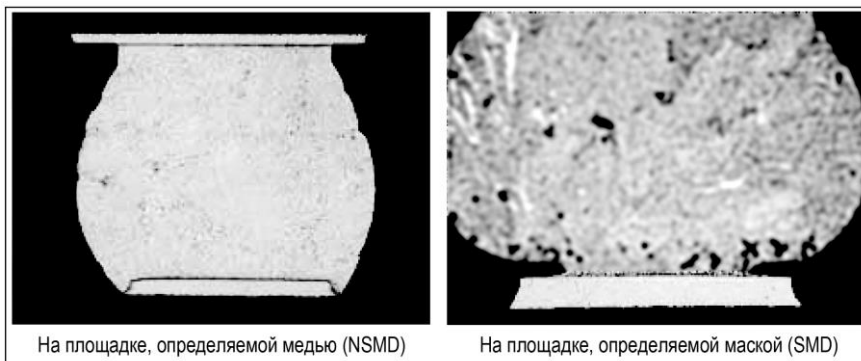


Рис. 3. Форма галтели паяного соединения шарикового вывода с контактной площадкой при различных типах площадок.



Рис. 4. Пример растрескивания паяного соединения на площадке, определяемой маской.

Площадки, определяемые медью. Этот тип площадок сформирован на слое меди, паяльная маска наложена с отступом от площадки. Требуется меньшего размера площадки на слое меди, что позволяет осуществлять разводку проводников и переходных отверстий между ними с большим зазором металл-металл. Размеры медной площадки контролируются с гораздо большей точностью при изготовлении, чем размеры по слою паяльной маски. Финишное покрытие ложится более ровным слоем, особенно HASL. Отсутствие маски вокруг площадки позволяет шариком обтекать площадку со сторон при оплавлении, формируя более надежное паяное соединение, значительно менее подверженное разрушению от усталости при термоциклировании и механических напряжениях. Паяное соединение получается шире, с большим временем наработки на отказ, но с меньшей высотой посадки корпуса (профиля) BGA. См. Рис. 3.

Площадки, определяемые маской. Площадки этого типа сформированы окном маски, перекрывающей большую по размеру площадку. Площадки этого типа требуют большую по меди область для получения того же размера контактной площадки, по сравнению с площадками NSMD, оставляя меньше места для разводки. Адгезия SMD площадки к плате лучше, благодаря большему по меди размеру и перекрывающей медь маске. Посадка корпуса BGA (профиль) при оплавлении выше. Паяное соединения на этом типе площадок менее надежное, уменьшение времени наработки на отказ доходит до 70% по сравнению с NSMD площадками. В области касания оплавленного шарика с маской образуются очаги повышенного механического напряжения в циклах нагрева-охлаждения или при вибрации, по которым в последствии и происходит растрескивание. См. Рис. 4.

Рекомендуем при проектировании всегда выбирать NSMD тип площадок (определяемые медью), как обеспечивающих большую надежность паяного соединения. Площадки, определяемые маской, стоит выбирать лишь тогда, когда очень критична высота профиля (посадки) BGA корпуса.

6.4. Заливка медью, ширина проводников, переходные отверстия.

Использование сплошных областей заливки медью на внешнем слое под корпусом BGA микросхем считается плохим тоном. Это объясняется тем, что если контактная площадка находится на области заливки, поверхность пайки определяется не формой контактной площадки, а формой окна в паяльной маске, т.е. получается площадка, определяемая маской. То же справедливо и в случае, если ширина проводника, подходящего к контактной площадке, достаточно большая. Более того, припой будет растекаться по такому проводнику в области, открытой из-под маски. Контактная площадка остается с недостаточным количеством припоя, шариковый вывод уменьшается в размерах, что отражается на качестве пайки контакта и надежности работы устройства. Для предотвращения этого эффекта не следует выбирать ширину проводника более 50% от диаметра NSMD печатной площадки (согласно рекомендациям, изложенным в IPC-7095, ширина проводника, подводимого к NSMD площадке не должна превышать 0,2 мм).

Все переходные отверстия под BGA корпусом следует всегда закрывать паяльной маской. Это нужно делать для предотвращения возможного утекания припоя от контактной площадки по проводнику к открытому переходному отверстию, а также для предотвращения поднятия припоя с обратной стороны по переходному отверстию под корпус BGA (особенно при пайке волной).

Стандартным переходным отверстием для BGA с шагом 1,5 и 1,27 мм является отверстие с площадкой 0,6 мм и диаметром отверстия 0,3 мм. Для BGA с шагом 1,0 и 0,8 (0,75) мм следует использовать переходное отверстие с площадкой 0,5 мм и сверлением 0,25 мм. Для особенно узких мест можно применить переходное отверстие с предельными для сквозного механического сверления параметрами 0,45/0,2 мм. Разводка корпусов BGA с шагом менее 0,8 (0,75) мм со сквозными переходными отверстиями, изготовленными механическим сверлением, принципиально невозможна. Для разводки таких корпусов (с шагом 0,65 мм и менее) следует применять технологию микропереходных отверстий или микропереходов

(micro via). Стандартное микропереходное отверстие имеет площадку 0,3 мм и отверстие 0,075-0,1 мм. Оно может соединять только слои 1 и 2 или n-1 и n. Возможно каскадирование микропереходов на нескольких слоях друг под другом (stacked micro via). По причине малости отверстия в микропереходе его можно размещать прямо на контактной площадке BGA корпуса, оставляя все свободное место между площадками для разводки проводников.

Проводники шириной 0,125 мм с таким же зазором между ними у большинства производителей в мире изготавливаются по базовой технологии и не приводят к удорожанию платы. Использование ширины проводник/зазор 0,1/0,1 мм приводит к удорожанию платы в пределах 5%-20% в зависимости от производителя. Использование проводников менее 0,1 мм существенно удорожает печатную плату.

Перед началом работ по трассировке платы с BGA, обязательно нужно связаться с производителем печатных плат и уточнить рабочие и предельные проектные нормы на проводники, зазоры и переходные отверстия, а также процент удорожания при использовании технологий слепых/скрытых и микропереходных отверстий, а также сверхтонких проводников.

6.5. Оценка числа необходимых для трассировки слоев печатной платы.

Имеется возможность предварительно оценить, какое количество слоев на плате потребуется для разводки цепей, подходящих к BGA-корпусу. Для этого необходимо иметь следующие данные: тип корпуса BGA (пластик или керамика), размер шариков, шаг и шаблон размещения выводов, карту подводимых к ним сигналов, размер переходного отверстия, ширину проводников и допустимые зазоры. Тип подложки микросхемы, размер шариков и шаг выводов, как показано выше, определяют размер контактной площадки. Если вычесть из шага выводов размер контактной площадки, то получится размер свободного для трассировки пространства. Его надо разделить на ширину проводника и зазора таким образом, чтобы посчитать число проводников, которые могут быть проложены между двумя соседними контактными пло-

щадками. Прибавьте к полученному значению единицу, и получится число связей, которые могут быть отведены от корпуса через один ряд выводов на верхнем слое. Аналогичная формула используется для оценки числа отводимых связей на первом внутреннем сигнальном слое. Только здесь размеры контактных площадок меняются на размеры переходных отверстий. Здесь также надо добавлять единицу, так как она соответствует крайней в ряду площадке, к которой проводник подводится непосредственно. Имея число трассируемых рядов на слое и карту связей, можно без труда оценить число необходимых сигнальных слоев.

Рассмотрим пример. Используется пластиковый BGA корпус (PBGA) с шагом выводов 1,27 мм и размером шарика 0,75 мм. Согласно Табл. 4. рекомендованный диаметр контактной площадки в этом случае будет 0,55 мм. Округляем его в большую сторону до 0,6 мм. Используем для симметрии переходные отверстия того же размера 0,6 мм с отверстием 0,3 мм, проводники выбираем шириной 0,125 мм, зазор между ними также 0,125 мм. Вычитаем из шага выводов (1,27 мм) диаметр контактных площадок (0,6 мм) и получаем 0,67 мм. Делим это значение на размер проводников и зазоров (0,125 мм) и получаем всего два проводника и три зазора. Добавляем 1 к числу проводников (2) и получаем число рядов (3), трассировка которых возможна на одном слое. Так как размер площадки переходного отверстия составляет те же 0,6 мм, то на каждом следующем слое будет разведено также по три ряда выводов. Таким образом, на двух сигнальных слоях мы можем развести шесть рядов выводов. На каждом слое внешний ряд разводится напрямую, а два других проводниками, проложенными между контактными площадками. Если корпус имеет глубину размещения сигнальных выводов в пределах шести рядов, то в нашем случае его можно развести всего на двух сигнальных слоях. Если бы корпус имел 10 рядов сигнальных выводов, то для его трассировки потребовалось бы четыре сигнальных слоя, без учета внутренних слоев питания и заземления.

6.6. Шаблоны трассировки BGA.

Использование регулярных шаблонов трассировки при работе с корпусами BGA дает ряд преимуществ. Например, разби-

ение на квадранты (см. Рис. 5.) позволяет облегчить трассировку посредством упорядочивания групп сигналов, а также возможностью разводки дополнительного ряда выводов при недостаточном числе сигнальных слоев. Если какие-либо из цепей внешнего ряда должны быть перенесены на другой слой, то это необходимо делать на некотором удалении от корпуса. Если использовать переходные отверстия на внешних рядах выводов, то это неизбежно приведет к необходимости добавления дополнительных сигнальных слоев.

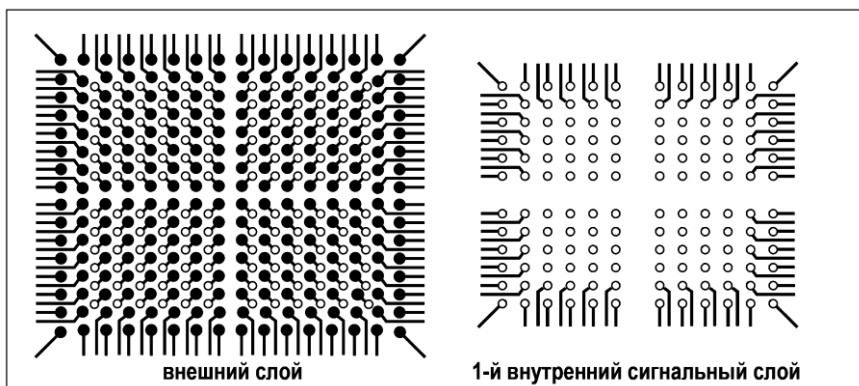


Рис. 5. Трассирование BGA с разбиением на квадранты.

6.7. Подвод питания.

Так как выводы питания и заземления у BGA расположены на внутренних рядах выводов, использование квадрантного разбиения упрощает подвод питания к микросхемам BGA на внутренних слоях в виде широких полос металлизации по направлениям осей квадрантов (см. Рис. 5.). Если внутренний слой питания или заземления имеет много участков с удаленной медью для обеспечения зазоров между переходными отверстиями, то это приведет к росту его паразитной индуктивности. При разработке слоев питания/заземления со сплошной заливкой для BGA нужно стараться оставлять ширину меди между двумя соседними переходными отверстиями как можно больше, но не менее 0,25 мм (и уж никак не менее 0,2 мм). Для BGA с шагом менее 1,0 мм это приводит к необходимости удаления со слоев питания/земли площадок переходных отверстий, неподключенных на этих слоях. При этом

зазор от границы медной заливки до канала отверстия должен быть не менее 0,2 мм (и уж никак не менее 0,15 мм). Отсюда видно, что в некоторых случаях даже при шаге 0,8 мм, может случиться так, что потребуется применение технологии micro via.

6.8. Рекомендации, которым нужно следовать при трассировке BGA.

Разработчику следует помнить и поэтапно выполнять следующие рекомендации:

1. Уточнить материал подложки, тип корпуса микросхемы и рекомендации производителя по трассировке.
2. Оценить необходимое число сигнальных слоев.
3. Проверить совместимость шага выводов с имеющейся технологией производства печатных плат. Проконсультироваться с производителем печатных плат.
4. Проверить рисунок металлизации на слоях питания и заземления.
5. Выяснить зазоры для монтажного оборудования и ремонтного оборудования.
6. Оценить необходимость отвода тепла.
7. Разместить BGA корпус подальше от других высокоплотных устройств.
8. Разместить BGA корпус подальше от края платы.
9. Использовать квадрантное разбиение для трассировки.
10. Не использовать области заливки под микросхемой на внешнем слое.
11. Покрывать защитной маской все переходные отверстия под микросхемой.
12. Соблюдать правило для ширины проводников, подводимых к контактной площадке.

7. Монтаж BGA корпусов на печатную плату.

7.1. Нанесение паяльной пасты.

При монтаже BGA компонентов с шариками из эвтектического сплава Sn63/Pb37 или бессвинцовых сплавов типа Sn/Ag/Cu (например, PBGA) рекомендуем использовать паяльную пасту, хотя существуют технологические процессы, предусматривающие нанесение только флюса. Тем не менее, есть ряд преимуществ, которые дает нанесение пасты:

- Смачивание. Паста работает как флюс, улучшая смачивание шарика припоя и контактной площадки.
- Отсутствие смещения компонентов. Паста помогает удерживать BGA компонент на своем месте в процессе монтажа и оплавления.
- Меньше проблем с копланарностью. Паста помогает скомпенсировать в некоторых пределах различия в копланарности шариков и площадок.
- Регулировка количества припоя. Паста добавляется к общему объему припоя в паяном соединении, позволяя регулировать его количество для достижения лучших результатов.
- Большой зазор. Компонент без пасты будет иметь меньший (примерно на 0,050 мм) зазор с поверхностью ПП, что может понизить термическую надежность.
- Самоцентрирование. Способность BGA к самоцентрированию будет меньше при наличии только флюса.

Для оплавливаемых шариков объем пасты не так важен для получения надежного паяного соединения, так как основной вклад в количество припоя вносит сам шарик. В то время как для неоплавливаемых шариковых выводов из высокотемпературного сплава Sn10/Pb90, применяемых в керамических BGA корпусах, особенно критичным является нанесение достаточного количества паяльной пасты. Так согласно IPC-7095, для формирования надежного паяного соединения при монтаже

CBGA, необходимо минимум $0,08 \text{ мм}^3$ и номинально $0,12 \text{ мм}^3$ паяльной пасты на вывод.

Настоятельно рекомендуем использовать пасту с флюсом, не требующим отмычки, так как отмычка под корпусами BGA может быть затруднена. Хотя и допускается использование водосмываемых паст. Для большинства применений BGA с шагом $0,8 \text{ мм}$ и более, адекватным выбором будет 3 тип пасты по классификации J-STD-005 с размерами частиц припоя $25\text{-}45 \text{ мкм}$. Для BGA с меньшим шагом лучше выбрать пасту 5 типа с размерами частиц припоя $10\text{-}20 \text{ мкм}$.

На процесс нанесения пасты существенно влияют характеристики и качество изготовления трафаретов. Рекомендуем применять трафареты, выполненные из нержавеющей стали лазерной резкой с обязательной электрополировкой. Подробные рекомендации по проектированию трафаретов для паяльной пасты даны в нашей брошюре «Трафареты для пасты» и стандарте IPC-7525.

7.2. Требования к автоматам для монтажа BGA.

Никаких особенно жестких требований к автоматам для монтажа BGA корпуса не предъявляют. Если ваш автомат способен устанавливать корпуса QFP с шагом $0,5 \text{ мм}$, то он подойдет для установки любых производимых в настоящее время BGA корпусов. Точности установки $0,050 \text{ мм}$, обеспечиваемой любым современным автоматом, будет вполне достаточно.

Для установки BGA с малым шагом очень желательно наличие нижней камеры распознавания, позволяющей оценивать координаты отдельных шариковых выводов, а не только смещение корпуса. Очень удобно, если автомат умеет распознавать BGA на лету, это значительно увеличит производительность. Необходимо, чтобы автомат имел возможность контроля усилия по оси z. Слишком большое усилие приведет к выдавливанию пасты из-под шариков припоя и образованию перемычек при последующей пайке. Для погружения шариков на $0,025\text{-}0,050 \text{ мм}$ в паяльную пасту рекомендованное максимальное усилие прижима составляет 3 Н. С другой стороны, малое усилие может привести к неточному центрированию компонента и появлению непропаев.

Проверьте ограничение по максимальному размеру устанавливаемых корпусов и шагу выводов. Обычно имеются дополнительные опции в комплектации автоматов, позволяющие монтировать корпуса большого размера с мелким шагом.

7.3. Пайка.

Наиболее предпочтительным методом пайки BGA компонентов является оплавление с использованием принудительной конвекции. Некоторые производители рекомендуют применение защитной атмосферы, другие не считают это условие необходимым. Производители компонентов, как правило, не дают специальных рекомендаций по созданию профилей оплавления BGA, поэтому для них справедливы все положения, принимаемые обычно во внимание при создании термопрофиля. При размещении термодатчиков рекомендуется, чтобы один из них располагался максимально близко к внутренним рядам матрицы шариковых выводов.

Шариковые выводы BGA компонентов, изготовленные из высокотемпературного сплава с точкой плавления выше 300°C, не оплавляются в печи. Это позволяет контролировать осадку компонента и обеспечивает более предсказуемую структуру паяного соединения при выборе из широкого диапазона паяльных паст, включая бессвинцовые. Следует отметить, что шарики из высокотемпературного сплава требуют более точного контроля времени оплавления пасты, так как хуже смачиваются припоем, чем шарики из эвтектического сплава. Некоторые BGA-компоненты с эвтектическими шариками демонстрируют избыточную осадку после оплавления, что может быть вызвано большим весом ЭК, геометрией КП, длительным временем пайки. Осадка может привести к перемычкам (особенно в углах корпуса). Предельно допустимое уменьшение высоты шариков составляет 25% от первоначального диаметра. Для предотвращения данного дефекта следует контролировать объем и форму отпечатка пасты в соответствии с номинальным значением зазора между применяемым BGA и платой, а также температурный профиль.

Распространенным явлением при пайке BGA корпусов являются пустоты (void). Согласно IPC-A-610D, пустоты являются дефектом, только если суммарная площадь пустот превышает

25% от площади сечения шарикового вывода на рентгеновском снимке. До этого порога пустоты дефектом не являются и не оказывают существенного влияния на надежность паяного соединения. Необходимо отметить, что пустоты иногда присутствуют в шариковых выводах новых компонентов еще до пайки. Часть из них локализованы в самом шарике и являются побочными эффектами производства шариков, а часть находится вблизи границы шарик/контактная площадка корпуса BGA и является следствием процесса прикрепления выводов к корпусу. При необходимости (например, для ответственных применений), организовывается входной контроль корпусов BGA на предмет наличия и размеров пустот. Алгоритм организации входного и выходного контролей на предмет пустот для разных критериев отбора подробно описан в IPC-7095. Отдельным случаем рассмотрения должны быть пустоты, образующиеся из-за наличия переходного отверстия в контактной площадке. В этом случае критерии отбора должны быть отдельно оговорены заказчиком и поставщиком.

Для снижения вероятности появления пустот следует принимать следующие меры:

- Чувствительность к влажности. Строго соблюдать рекомендации производителя BGA компонента, касающиеся чувствительности компонентов к влажности.
- Количество и качество пасты. Наносить достаточное количество паяльной пасты для образования качественного паяного соединения; не использовать пасты с истекшим сроком годности; может потребоваться 100%-инспекция качества нанесения пасты на площадки перед монтажом.
- Не допускать большой разницы в размерах контактной площадки и шарикового вывода. Руководствоваться Табл. 4. для правильного выбора размера площадки.
- Корректный профиль оплавления. Появление пустот возможно как при использовании RSS, так и RTS-профилей оплавления (для RTS отмечено слегка большее количество дефектов). Особое внимание следует уделить этапу удаления растворителя из паяльной пасты, как определяющему в противодействии образованию пустот, не допуская чрезмерно быстрого

нагрева. Производители паяльной пасты разрабатывают специальные профили оплавления, минимизирующие эффект пустот (например, LSP-профиль компании AIM).

- Специальные low-void паяльные пасты. Хорошие результаты дает применение паяльных паст, специально разработанных для уменьшения пустот в паяном соединении. Например, пасты NC254, NC257, NC257-2 производства AIM.

7.4. Отмывка печатных узлов с BGA.

Рекомендуем использовать безотмывочный процесс при монтаже BGA, так как отмывка флюса под корпусом BGA крайне затруднена. Если же по каким-либо соображениям отмывка все же необходима, строго следуйте рекомендациям производителя микросхем и используйте только совместимые с материалами корпуса BGA флюсы (пасты), отмывочные жидкости или растворители. Также внимательно отнеситесь к выбору технологии отмывки. Например, ультразвуковая отмывка, при всей ее эффективности, к сожалению, несовместима со многими электронными компонентами, в том числе с некоторыми BGA.

7.5. Нанесение влагозащитного покрытия и заполняющих компаундов.

Влагозащитные покрытия (Conformal Coating) должны удовлетворять требованиям IPC-CC-830 и могут быть следующих типов: акриловыми (AR), эпоксидными (ER), уретановыми (UR), силиконовыми (SR) или параксиленовыми (XY). Руководствуйтесь рекомендациями производителя BGA при выборе типа влагозащитного покрытия и способа его нанесения.

Заполняющие компаунды (Underfill/Stacking) наносятся под корпус BGA и применяются для придания большей жесткости соединению корпус-плата, для уменьшения несоответствия в коэффициентах теплового расширения платы и корпуса BGA. Они увеличивают надежность и долговечность узла. Однако, применение заполняющих компаундов сильно затрудняет или даже делает невозможным ремонт BGA.

Заключение.

В данной брошюре мы постарались осветить основные аспекты применения BGA корпусов в электронных изделиях. Надеемся, что приведенная информация будет полезной и положительно повлияет на выбор разработчика – применять или не применять BGA в своих изделиях. За свою долгую историю корпуса BGA стали обычными для электронной аппаратуры, основные проблемы, связанные с их применением, решены и стандартизированы. Следует руководствоваться накопленным зарубежным опытом применения BGA при решении конкретных задач. Попробуйте, и Вы убедитесь: BGA – это просто!

