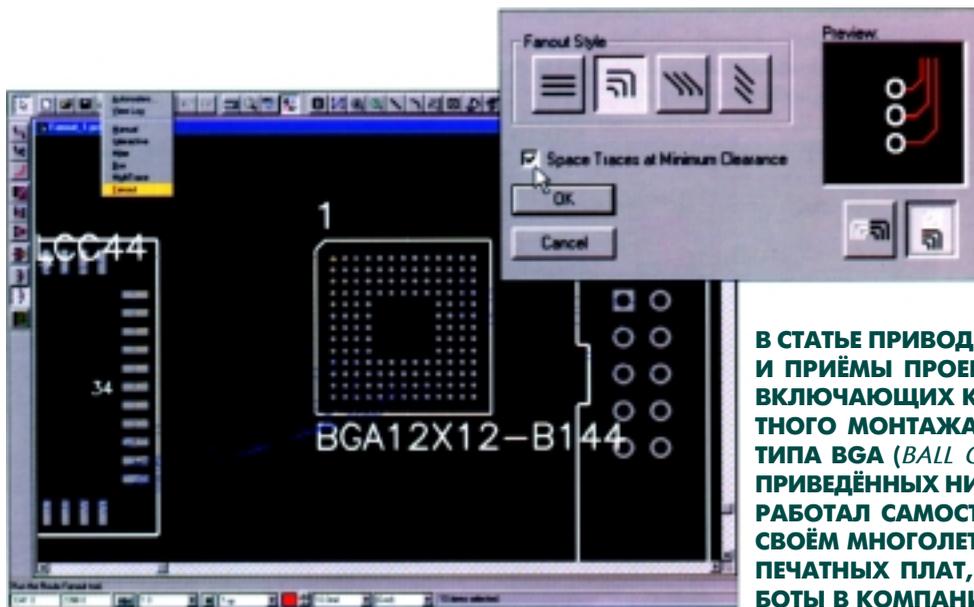


Проектируем платы с BGA



В СТАТЬЕ ПРИВОДЯТСЯ ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИЁМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ, ВКЛЮЧАЮЩИХ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА, ВЫПОЛНЕННЫЕ В КОРПУСАХ ТИПА BGA (BALL GRID ARRAY). БОЛЬШИНСТВО ИЗ ПРИВЕДЁННЫХ НИЖЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ АВТОР ВЫРАБОТАЛ САМОСТОЯТЕЛЬНО, ОСНОВЫВАЯСЬ НА СВОЁМ МНОГОЛЕТНЕМ ОПЫТЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ, НАКОПЛЕННОМ ЗА ВРЕМЯ РАБОТЫ В КОМПАНИИ AMD.

ПОЧЕМУ BGA СТОЛЬ ПОПУЛЯРНЫ?

По мере увеличения сложности современных микросхем растёт число контактов ввода/вывода, а значит, в будущем появятся новые и всё более сложные BGA-корпуса. Прежде всего, следует отметить их технологичность, так как они позволяют оптимальным образом разместить заданное количество выводов на ограниченной площади с сохранением достаточного зазора между ними. Во время пайки компоненты фактически «плавают» и автоматически центрируются благодаря силам поверхностного натяжения расплавленного припоя. 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 схеме.

Так как корпуса BGA имеют большое число выводов, большая часть из них может быть использована под выводы питания и заземления. В некоторых современных микросхемах число выводов питания почти вдвое превышает число сигнальных выводов. 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 под-

ложку или введены внутрь корпуса, что позволяет дополнительно улучшить характеристики устройств.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗМЕЩЕНИЮ

Прежде всего, не следует размещать микросхемы в BGA-корпусах близко друг к другу или к краю платы. Если плата имеет небольшое число слоёв, наличие BGA-корпуса может заблокировать трассировку проводников, так как почти все слои будут использованы для отвода сигналов от выводов. Если расположить микросхему слишком близко к краю платы, то для прокладки необходимого числа проводников может оказаться недостаточно места, и придётся добавлять дополнительные слои. Другая проблема, которая возникнет здесь — это нехватка места для размещения развязывающих конденсаторов. Кроме того, не следует забывать об отводе тепла. Все 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 на плате механическим способом, требуя при этом дополнительные площади под крепёжные отверстия.

Не следует забывать также и о тех, кто будет собирать плату. В общем случае, для обеспечения хода монтажной

головки будет достаточно запрещённой (*keep-out*) области радиусом 200 мил (51 мм), однако настоятельно рекомендуется уточнить это значение. Убедитесь в том, что разработчик схемы осведомлён об этом и не использует эту область под размещение каких-либо критических компонентов, например, развязывающих конденсаторов. Разработчики, конструкторы и производственники должны найти единое компромиссное решение и учесть нужды каждого.

ЗАЛИВКА МЕДЬЮ, ШИРИНА ПРОВОДНИКОВ И НАСТРОЙКА ПАЯЛЬНЫХ МАСОК

Использование сплошных областей металлизации (залитки медью) под корпусом BGA микросхемы считается плохим тоном. Причём чем дальше область от центра корпуса, тем больше риск. Это объясняется тем, что если контактная площадка целиком покрыта областью залитки, поверхность пайки определяется не формой контактной площадки, а формой окна в паяльной маске. Форма капли припоя при этом будет не оптимальной (припой как бы растекается), контакт при этом получается некачественным и может быть разрушен в процессе длительной эксплуатации оборудования, например, за счёт механических нагрузок, связанных с вибрацией или тепловым расширением.

Существует ещё одна проблема, связанная с геометрией контактных площа-

док. Если ширина проводника, подходящего к контактной площадке, равна или превышает её размеры, существует вероятность растекания припоя по проводнику. Расплавленный припой утекает в сторону источника тепла. Контактная площадка остаётся с недостаточным количеством припоя, что отражается на качестве пайки контакта и надёжности работы устройства. Для предотвращения этого эффекта существует правило “трёх четвертей”, которое заключается в том, что ширина проводника, подводимого к контактной площадке, не должна превышать 75% от её размеров, что приводит к снижению теплопроводности. Другой часто используемый на практике способ — максимально удалить переходные отверстия от контактных площадок — в случае с корпусами BGA не работает, так как без переходных отверстий здесь просто не обойтись.

С наличием переходных отверстий под BGA-корпусами связана ещё одна проблема: при пайке волной припой за счёт капиллярного эффекта может подниматься вверх по металлизированным отверстиям и затекать под корпус, вызывая короткие замыкания. Решение, правда, здесь достаточно простое — все переходные отверстия под BGA-корпусом следует всегда покрывать защитной маской.

МАТЕРИАЛ ПОДЛОЖКИ

От материала подложки BGA микросхемы зависит тип и размеры её выводов. В настоящее время наиболее широко используются два основных вида материалов: органический и керамический. Наиболее распространённым считается FR4 (органический), так как он лучшим образом подходит для трассировки. В случае его применения выводы выполняются в виде шариков из эвтектического припоя. Керамика применяется главным образом там, где требуется отвод большого количества тепла или предъявляются высокие требования к качеству плоскости подложки, например, при упаковке перевёрнутых кристаллов.

Керамические материалы имеют коэффициент теплового расширения, отличающийся от FR4. Поэтому для обеспечения надёжного соединения с платой здесь применяются выводы в виде шариков или столбиков из неэвтектического припоя. Увеличивается размер контактных площадок и объём необходимого припоя. Как следствие увеличения контактных площадок, уменьша-

ется доступная для трассировки площадь платы.

РАЗМЕРЫ КОНТАКТНЫХ ПЛОЩАДОК

Для типового керамического BGA корпуса с шагом выводов 1,27 мм (50 мил) контактная площадка должна иметь диаметр 28 мил и окно паяльной маски размером 32 мил, независимо от того, какую форму (шариков или столбиков) имеют выводы из неэвтектического припоя (рис. 1). Типовой органический BGA-корпус с аналогичным шагом выводов требует контактной площадки диаметром 25 мил (окно паяльной маски размером 23 мил), поэтому очень важно заранее выяснить, какие именно микросхемы будут использоваться. Как правило, микросхемы, имеющие

го необходимо собрать некоторую информацию, а именно: материал подложки, шаг между выводами и шаблон размещения выводов, карту подводимых к ним сигналов. Часть информации следует из базовых настроек проекта печатной платы: размер площадки переходного отверстия, ширина проводников и допустимые зазоры.

Материал подложки микросхемы и шаг выводов, как сказано 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 зазор таким образом, чтобы посчитать число проводников, которые могут быть проложены между двумя соседними контактными площадками. 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 не-

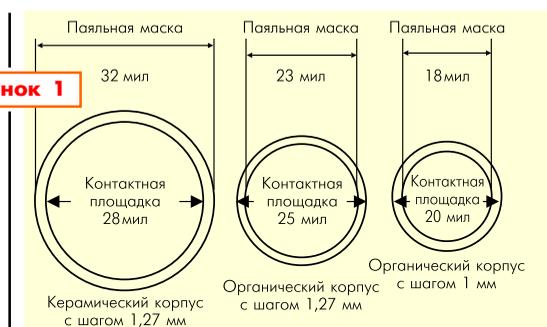


Рисунок 1

Рекомендуемые размеры контактных площадок для различных типов BGA-корпусов

шаг выводов 1 мм, выполнены из органических материалов и требуют контактных площадок размером 20 мил (окно паяльной маски размером 18 мил). Если на практике вам придётся использовать керамические корпуса с шагом 1 мм, то настоятельно рекомендую сделать размер контактных площадок максимально возможным, причём окно маски должно обязательно превышать размер контактной площадки на 4 мил. В любом случае, рекомендуется уточнить эти значения на производстве, где будет осуществляться сборка, так как они определяются используемым технологическим процессом и у разных изготовителей могут немного отличаться.

ЧИСЛО НЕОБХОДИМЫХ СЛОЕВ

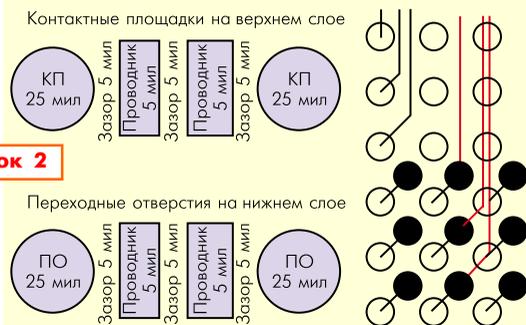
Имеется возможность предварительно оценить, какое количество слоёв на плате потребуется для разводки цепей, подходящих к BGA-корпусу. Для это-

го посредственно. Имея число трассируемых рядов на слое и карту связей, можно без труда оценить число необходимых сигнальных слоёв.

Рассмотрим пример. Используется подложка FR4 с шагом выводов 1,27 мм (50 мил). Диаметр контактной площадки в этом случае будет 25 мил. На плате используются переходные отверстия того же размера (25 мил), проводники имеют ширину 5 мил, зазор между ними задан также 5 мил. Вычитаем из шага выводов (50 мил) диаметр контактных площадок (25 мил) — получаем 25 мил. Делим это значение на размеры проводников и зазоры (5 мил) 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 25 мил, то на каждом следующем слое будет разведено также по три ряда выводов. Таким образом, на двух сигнальных сло-

Рисунок 2



Многослойная трассировка микросхемы BGA с шагом выводов 1,27 мм

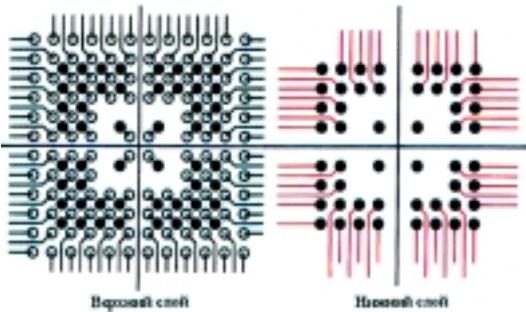
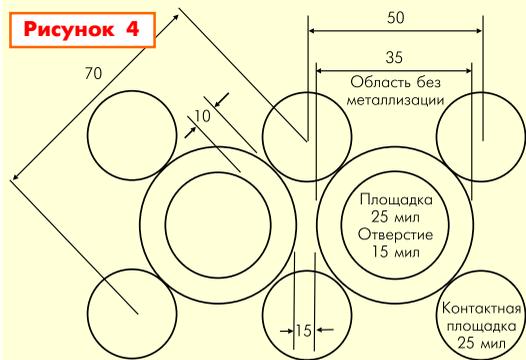


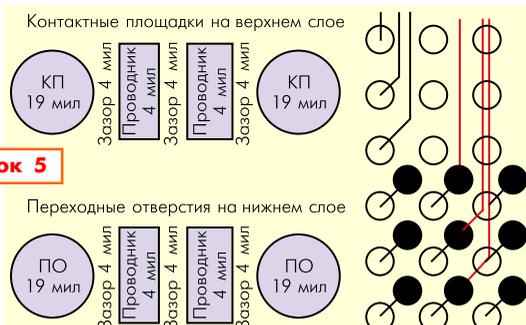
Рисунок 3 Квадранный шаблон трассировки BGA микросхемы

Рисунок 4



Рекомендуемые размеры объектов на внутренних слоях питания и заземления для микросхемы BGA с шагом выводов 1,27 мм

Рисунок 5



Многослойная трассировка микросхемы BGA с шагом выводов 1 мм

ях мы можем развести шесть рядов выводов. На каждом слое внешний ряд разводится напрямую, а два других — проводниками, проложенными между контактными площадками (рис. 2). Если корпус имеет глубину размещения сигнальных выводов в пределах шести рядов, то в нашем случае его можно развести всего на двух слоях. Если бы корпус имел 10 рядов сигнальных выводов, то для его трассировки потребовалось бы 4 слоя, без учёта внутренних слоёв питания и заземления.

ШАБЛОНЫ ТРАССИРОВКИ BGA МИКРОСХЕМ

Использование регулярных шаблонов трассировки при работе с корпусами BGA даёт ряд преимуществ. Например, разбиение на квадранты (рис. 3) позволяет облегчить трассировку посредством упорядочивания групп сигналов, а также возможность разводки дополнительного ряда выводов при недостаточном числе сигнальных слоёв. 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 приведёт к необходимости добавления дополнительных сигнальных слоёв.

На практике за всё время работы автору встретились только два случая, когда для трассировки микросхемы BGA с шагом более двух сигнальных слоёв. В обоих случаях общее число рядов выводов с каждой стороны было не менее 30, корпус имел не менее 900 выводов, а глуби-

на размещения сигнальных выводов не превышала 8 рядов.

ПОДВОД ПИТАНИЯ

Использование квадрантного разбиения упрощает подвод питания к микросхемам BGA в виде широких полос металлизации на внутренних слоях, так как выводы питания и заземления у них расположены на внутренних рядах. Если внутренний слой питания или заземления имеет много участков с удалённой медью для обеспечения зазоров между переходными отверстиями, то это приводит к росту его паразитной индуктивности. Общепринято делать диаметр неметаллизированного пятна на 30 мил превышающим диаметр отверстия. То есть при диаметре отверстий 15 мил диаметр участка без меди составит 45 мил, а для микросхемы с шагом между выводами 50 мил это означает, что ширина металлизации между соседними переходными отверстиями на внутреннем слое питания составит всего 5 мил. Для мощных микросхем при таких зазорах не поможет использование даже обширных областей металлизации. Высокая паразитная индуктивность цепи заземления также пагубно отразится на работе устройства. Во избежание всех этих проблем, для корпусов BGA рекомендуется делать свободные от меди области диаметром не более 35 мил, в этом случае ширина металлизации будет не менее 15 мил, что вполне достаточно (рис. 4).

ПРОБЛЕМЫ С BGA-КОРПУСАМИ С МАЛЫМ ШАГОМ

Сейчас в электронной промышленности просматривается тенденция перехода к корпусам BGA с шагом выводов 1 мм. Причин тому несколько. Во-первых, использование малого шага снижает затраты на производство микросхем. Во-вторых, сокращается длина проводников, а значит, снижается их индуктивность. Для цепей питания это означает более короткий путь возврата высокочастотных токов в землю.

Использование таких корпусов накладывает свои требования и на печатные платы. Для трассировки корпуса с глубиной сигнальных выводов в 6 рядов на двух слоях контактные площадки должны иметь диаметр не более 19 мил. Переходные отверстия должны быть диаметром 8 мил с площадкой не бо-

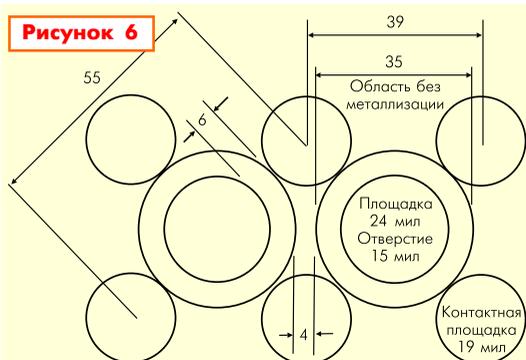


Рисунок 6
Рекомендуемые размеры объектов на внутренних слоях питания и заземления для микросхемы BGA с шагом выводов 1 мм

более 19 мил, а ширина проводников и зазоров должна составлять 4 мил (рис. 5). Для производства переход на меньшие топологические нормы будет означать некоторое увеличение стоимости платы. Перед разработчиком встанет выбор соблюдать новые нормы на всей плате или использовать их только под BGA-корпусами.

Если будет сделан альтернативный выбор в сторону увеличения числа сигнальных слоёв, то это позволит вернуться к прежним значениям ширины и зазоров в 5 мил при сокращении размеров площадки переходного отверстия до 24 (отверстие 12 мил). Однако, не стоит радо-

готовления, то перед тем как ориентироваться на BGA-корпуса с шагом 1 мм, надо тщательно проанализировать, как этот переход отразится на конечной стоимости изделия.

Если вы предполагаете использовать BGA-микросхемы с шагом менее 1 мм и очень большим числом выводов, то надо быть готовым к тому, что придётся использовать технологию сверхмалых переходных отверстий (микровиа).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы перечислили основные особенности использования микросхем,

упакованных в BGA-корпуса, которые представляют собой эффективное решение для высокоплотных, но не слишком многослойных печатных плат. Разработчику лишь следует помнить и выполнять следующие правила:

1. Уточнить материал подложки микросхемы.
2. Оценить необходимое число сигнальных слоёв.
3. Проверить совместимость шага выводов с имеющейся технологией производства печатных плат.
4. Проверить рисунок металлизации на слоях питания и заземления.
5. Выяснить зазоры для оборудования монтажа.
6. Оценить необходимость отвода тепла.
7. Разместить BGA-микросхему подальше от других высокоплотных устройств.
8. Разместить BGA-микросхему подальше от края платы.
9. Использовать квадрантное разбиение для трассировки микросхемы.
10. Не использовать области заливки под микросхемой.
11. Покрывать защитной маской все переходные отверстия под микросхемой.
12. Не забыть о правиле “трёх четвертей” для ширины проводников.