

ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.3.049

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/42>

Луцко Л.І.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МІКРОСХЕМ У КОРПУСАХ BGA

Якість спецтехніки, яку виробляє підприємство-виробник, є запорукою її тривалості та безаварійної експлуатації. Останнім часом зросла складність наших пристроїв, збільшилась функціональна насиченість, підвищилась щільність монтажу, зменшилась вага і обсяг спецтехніки, докорінно змінилась елементна база радіоелементів. У зв'язку з цим для виготовлення якісної спецтехніки необхідне використання нових технологій і сучасної елементної бази. Це призвело до необхідності застосування новітніх мікросхем, а саме мікросхем у корпусах BGA. Це мікросхеми спеціального призначення в металополімерних корпусах із кульковими виводами. Саме темі розробки друкованих плат із застосуванням таких мікросхем присвячена ця стаття.

У роботі проаналізовані причини зниження міцності виводів на різних етапах виробництва і випробувань, запропонована апробована методика, яка дозволяє мінімізувати зниження їх міцності. Приводяться обґрунтовані аргументи на користь перенесення формування кулькових виводів із процесу виробництва інтегральних мікросхем у процес зборки друкованих вузлів.

У статті проаналізований конструктивний склад BGA-мікросхем, найважливіші фактори, які впливають на якість паяних з'єднань корпусів, розглянуті способи формування розміру площинок, основні ключові параметри і терміни, розглянута проблема розсіювання тепла від корпусу BGA-мікросхем без застосування радіатора. Проаналізовані переваги і недоліки BGA-мікросхем, особливості при розробці патернів BGA-мікросхем, правильність розрахунків розмірів площинок під кульки BGA. Подані дві таблиці, в яких наведені типові параметри: крок і номінальний діаметр кульок найбільш часто використовуваних мікросхем, а також типові розміри площинок для монтажу мікросхем у BGA-корпусах.

У роботі показано, як розрахувати ширину трас, що відходять від контактних площинок мікросхем, і як підключити площинки до полігонів. На рисунку поданий фрагмент плати, з якого видно, як необхідно відвести ланцюги від BGA-корпусу. Для успішного монтажу мікросхем у BGA-корпусах необхідне використання якісних фінішних покриттів плат. Проаналізовані використання різних імерсійних фінішних покриттів. Детально розглянута завершальна стадія будь-якого техпроцесу монтажу – відмивання і сушіння.

Ключові слова: масив кульок, металополімерні BGA-корпусу, міцність кріплення виводів, відкрита площинка, бочкоподібне з'єднання.

Постановка проблеми. Якісна спецтехніка потребує впровадження нової, сучасної елементної бази. Звичайні типи корпусів для вивідного монтажу, наприклад QFP або SOP, вже не можуть забезпечити належну кількість паяних з'єднань і їх якісний монтаж у зв'язку зі значним збільшенням лінійних розмірів і маси корпусу. Для вирішення цих проблем отримали популярність сучасні компоненти з різного роду матричних типів корпусів. Одними з таких сучасних елементів є інтегральні мікросхеми для поверхневого монтажу на плату BGA (англ. "Ball grid array" – «масив кульок»).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим та обов'язковим етапом виготовлення

якісної продукції підприємства є впровадження сучасної елементної бази. Цьому питанню присвячено багато теоретичних і практичних досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених. Дослідженням проблемних питань мікросхем у корпусах BGA займалися науковці К.К. Смирнов, А.Г. Сухов, Цимбалов [1, с. 2–5]; В.О. Поджаренко, В.Ю. Кучерук, В.М. Севастьянов [5, с. 8–10] та інші.

У їхніх працях описані різного роду матричні типи корпусів мікросхем. Однак попри велику кількість наукових публікацій, недостатня увага приділена практичним дослідженням. Усі ці фактори зумовлюють потребу подальших досліджень проблем проектування та виготовлення друкова-

них плат із використанням BGA-корпусів, враховуючи типи виробництва та особливості виготовлення спецтехніки.

Постановка завдання. BGA-мікросхеми роблять революцію в електронному приладобудуванні. І це дійсно так. Застосування BGA-мікросхем у вимірювальній техніці дозволяє різко підвищити точність приладів, значно розширити їхні можливості, підвищити надійність, швидкодію, збільшити діапазон робочих частот, а для цифрових приладів – збільшити швидкість обробки інформації, вирішити задачі, що раніше взагалі не вирішувалися. Тому нашим завданням є довести доцільність застосування BGA-мікросхем.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для сучасних складних електронних пристроїв характерною особливістю є застосування мікросхем великого та надвеликого ступеня інтеграції. В міру ускладнення мікросхем зростає і число виводів (як інформаційних, так і живлення). Тому все більшу популярність отримують компоненти з різного роду матричних типів корпусів. Це корпуси типу LGA (Land Grid Array), BGA, CGA (Column Grid Array). Особливо великого поширення набули компоненти у корпусах BGA. BGA – тип корпусу інтегральних мікросхем для поверхневого монтажу на плату.

Корпуси типу BGA існували з 1970-х років. У 1990-х було розроблено їхній різновид – FCBGA, який наразі забезпечує найвищу кількість зовнішніх виводів серед корпусів усіх інших типів. Деякі конструкції корпусів BGA мають невелике поглиблення, в якому розміщуються контактні площадки, призначені для установки кулькових виводів. Глибина заглиблення складає долі міліметра. Така конструкція отримала позначення Dimpled BGA, або DBGA і активно впроваджуються низкою виробників. BGA виводи являють собою кульки припою, нанесені на контактні площадки зі зворотної сторони мікросхеми.

Мікросхему розташовують на друкованій платі згідно з маркуванням першого контакту. Далі її нагрівають так, що кульки починають плавитися. Поверхневий натяг змушує розплавлений припій зафіксувати мікросхему над тим місцем, де вона розташовується на платі. Поєднання певного припою, температури паяння, флюсу і паяльної маски не дозволяє кулькам повністю деформуватися.

Переваги BGA-мікросхем:

1. Компактність. BGA-мікросхеми – це вирішення проблеми виробництва мініатюрного корпусу ІС з великою кількістю виводів.

2. Теплопровідність. Ще однією перевагою перед мікросхемами з виводами є кращий тепловий контакт між мікросхемою і платою, що в деяких випадках позбавляє від необхідності тепловідводу. Для цього по центру корпусу робиться одна велика контактна площадка – радіатор, яка припаюється до доріжки тепловідводу. Якщо BGA мікросхеми розсіюють досить великі потужності і тепловідвід по усіх кулькових виводах недостатній, то до корпусу мікросхеми прикріплюють (іноді приклеюють) радіатор.

Чим менша довжина виводів, тим менша їхня індуктивність, менші наведені завади і кращі умови для ВЧ-сигналів. У BGA довжина провідника дуже мала і може визначатися тільки відстанню між платою і мікросхемою, тому застосування BGA дозволяє збільшити діапазон робочих частот і, для цифрових приладів, – збільшити швидкість обробки інформації.

Недоліки BGA-мікросхем:

1. Негнучкі виводи.

Основним недоліком BGA є те, що виводи негнучкі. При тепловому розширенні чи вібрації деякі виводи можуть зламатися. Частково цю проблему вирішує заливка мікросхеми спеціальною полімерною речовиною – компаундом. Він скріплює всю поверхню мікросхеми з платою. Також компаунд не дає проникати волозі під корпус BGA-мікросхеми. Іноді роблять часткове заливка корпусу (по кутах мікросхеми) для механічної міцності.

2. Дороге обслуговування.

Другим недоліком є те, що після того, як мікросхема припаяна, дуже важко визначити дефекти паяння. Якщо BGA невдало припаяна, вона може бути демонтована за допомогою фена або інфрачервоної паяльної станції. Мікросхема може бути замінена на нову, а в деяких випадках через дорожнечу мікросхеми кульки відновлюють за допомогою паяльних паст і трафаретів. Цей процес називають реболінгом від англ. “reball”.

Потрібно звернути увагу на технологічність електронних компонентів у корпусах BGA. Такі корпуси дозволяють оптимальним чином розмістити велику кількість виводів на обмеженій площі. Невеликі фізичні розміри, особливо в разі застосування мікросхем із малим кроком, знижують витрати на їх виробництво. Усі виводи розташовані на одній площині з нижньої сторони корпусу, тому довжина ланцюгів виходить коротшою. Це призводить до зниження паразитних випромінювань і позитивно позначається на цілісності сигналів.

Велика кількість виводів мікросхем у корпусах BGA дозволяє збільшити число живлячих і «земляних» виводів. Розміщення «земляних» виводів у потрібному місці дозволяє зменшити довжини шляхів зворотних струмів і поліпшити якість високошвидкісних сигналів. У багатьох мікросхемах число виводів живлення майже удвічі перевищує число сигнальних виводів. Ця обставина дозволяє значно знизити паразитну індуктивність. Однак попри зменшення площі поверхні мікросхеми значно поліпшується її охолодження (рис. 1).

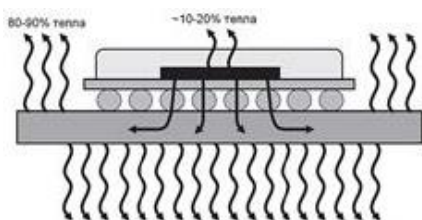


Рис. 1. Типове розсіювання тепла від корпусу BGA-мікросхеми без застосування радіатора

Це пов'язано з малим тепловим опором між основою мікросхеми і багатошаровою платою. Тому велика частина тепла розсіюється не з корпусу мікросхеми, а на плату і потім – в атмосферу. Оскільки прилегла площа друкованої плати значно більша, ніж площа корпусу мікросхеми та розсіювання тепла, яке відбувається з обох сторін плати, то кількість розсіяного тепла в разі застосування BGA-корпусу може бути більшою.

Конструктивно мікросхема у корпусі BGA складається з підкладки, кристала, корпусу і кульок припою. Як підкладка використовується два основних матеріали: органічний і керамічний. Найбільш поширеним є FR4 (органічний) різних типів. FR4 має той же коефіцієнт лінійного розширення, що і матеріал плати, тому найбільш зручний з точки зору монтажу та подальшої експлуатації. Застосування кераміки виправдано тільки у випадках виділення на кристалі великої кількості тепла. Тому мікросхеми BGA на керамічних підкладках зустрічаються набагато рідше.

На нижньому боці підкладки розташовані кульки припою, за допомогою яких здійснюється електричне та механічне поєднання BGA-корпусу із друкованою платою. Як матеріал кульок може використовуватися звичайний евтектичний свинцево-олов'яний припій – Sn63Pb37, так і різного роду безсвинцеві сплави: евтектичний сплав SnAg3.0 або гіпоевтектичний SnAg3.0Cu0.5. Нині застосування свинцево-олов'яних припоїв як матеріалу для кульок BGA-корпусів обмежене. Причиною є директива RoHS (Restriction of

Hazardous Substances), що обмежує вміст шкідливих речовин в електронному обладнанні.

Наразі типи корпусів BGA, їх геометричні розміри, розташування і розмір кульок, відхилення розмірів систематизовані і стандартизовані Об'єднаною інженерною радою по електронних пристроях JEDEC (Joint Electronic Device Engineering Council). Такі стандарти можуть надати конструктору вичерпну інформацію по конструктиву корпусу BGA. У специфікаціях на мікросхеми, в розділах Package Information або Physical Dimensions виробники завжди дають вказівку на відповідний стандарт і на варіант виконання корпусу.

У процесі монтажу BGA-корпусу з допомогою конвекційної печі відбувається оплавлення кульок припою і утворюється з'єднання контактних площинок на підкладці і друкованій платі. Пайка BGA-корпусів може проводитися як із застосуванням флюс-гелів, так і з застосуванням паяльних паст. Поверхня з'єднань повинна мати гладкий, блискучий вигляд, без сколів, тріщин та інших дефектів. Форма паяного з'єднання повинна бути бочкоподібною, без надмірної кривизни сторін. Зайва кривизна поверхні здебільшого виникає внаслідок нанесення зайвої кількості паяльної паст. Кількість і якість нанесення паст на друковану плату – один із найважливіших факторів, що впливає на якість паяних з'єднань BGA-корпусів і на високий вихід придатних плат після монтажу.

Другий фактор, що забезпечує якісний монтаж мікросхем у BGA виконанні, – правильний вибір розміру площинок на платі. Паяні з'єднання повинні мати бочкоподібну форму. Розмір верхнього і нижнього «денець» цієї «бочки» повинен бути по можливості однаковий. На завершальній стадії оплавлення буде досягатися рівномірне охолодження паяного з'єднання з обох сторін: і з боку друкованої плати, і з боку підкладки BGA. Це відбувається за умови, що матеріали плати і підкладки мають однакову або досить близьку теплопровідність.

Негативний фактор, що виникає в результаті використання паяного з'єднання напівсферичної форми, – наявність залишкової механічної напруги. Вона виникає в результаті нерівномірного процесу охолодження і неоднорідного процесу кристалізації припою. У паяних з'єднань бочкоподібною форми залишкової напруги немає. Отже, використання на платі контактних площинок, розміри яких дуже відрізняються від розмірів площинок на підкладці BGA-корпусу, при-

зводить до значного зниження надійності паяного з'єднання. Дефекти паяного з'єднання можна усунути тільки шляхом монтажу нової мікросхеми.

При використанні BGA-мікросхем у наших розробках ми зіткнулися з такими проблемами: які особливості існують при розробці патернів BGA-мікросхем, як правильно розрахувати розмір площинок під кульки BGA, які особливості проектування пристроїв із використанням BGA-мікросхем.

Стандарт IPC-7351A "Generic Requirements for Surface Mount Land Pattern and Design Standard" («Загальні вимоги по конструюванню контактних площинок і друкованих плат із застосуванням технології поверхневого монтажу»), створений Японською асоціацією IPC (Association Connecting Electronics Industries) з урахуванням вимог стандартів JEDEC, установив вимоги до розмірів контактних площинок для монтажу BGA-корпусів, подані в таблицях 1, 2. У таблиці 1 наведені типові параметри: крок і номінальний діаметр кульок найчастіше використовуваних мікросхем BGA.

Таблиця 1

Номінальний діаметр кульки (мм)	Допустимі відхилення розміру (мм)	Крок (мм)
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
0,20	0,22-0,18	0,3
0,15	0,17-0,13	0,25

Типові розміри площинок для монтажу мікросхем у BGA-корпусах наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Номінальний діаметр кульки (мм)	Номінальний діаметр площинки (мм)	Допустимі відхилення розміру (мм)
0,75	0,55	0,60-0,50
0,60	0,45	0,50-0,40
0,50	0,40	0,45-0,35
0,45	0,35	0,40-0,30
0,40	0,30	0,35-0,25
0,30	0,25	0,25-0,20
0,25	0,20	0,20-0,14
0,20	0,17	0,20-0,14
0,15	0,13	0,15-0,10

Для кульок порівняно великих розмірів (діаметром понад 0,50 мм) надійна і якісна пайка забезпечується у тому випадку, якщо площинки мають номінальний діаметр на 25% менше, ніж номінальний діаметр кульок. Для кульок невеликого розміру (діаметром 0,25-0,50 мм) діє відношення розмірів 3/4. Тобто, діаметр площинок менше номінального діаметра кульки на 20%. Для кульок дрібнішого розміру достатньою умовою буде зменшення розміру майданчика на 15% до розміру кульки. Це пов'язано з тією обставиною, що маса кульок припою невеликого розміру невелика, тому такою ж є й їхня теплоємність.

Способи формування розміру площинок.

Перший спосіб (найбільш поширений) – формування розміру площинок безпосередньо малюнком міді на верхньому шарі плати. Цей спосіб формування називають «відкритою площинкою». Припій контактує не тільки з поверхнею площинки, але й охоплює її із торців, збільшуючи тим самим площу контакту. Така форма контакту покращує якість паяного з'єднання, збільшує його міцність, зменшує ризик виникнення розшарування на кордоні мідь-припій. При такому способі формування можуть використовуватися сухі і рідкі типи масок. Зазор від краю маски до краю площинок повинен бути мінімально можливим. Більшість виробництв витримують значення зазору величиною 50 мкм, що дозволяє розташовувати провідники на відстані 110-125 мкм від краю площинок.

Другий спосіб – формування площинок шляхом створення «вікна» у масці. Причому сама маска накладається безпосередньо на мідну площинку, яка має більший розмір по відношенню до бажаного. Такий спосіб формування називають «маскою на площинку», а паяні з'єднання – «non-collapsed». Для формування цього типу площинок використовують тільки сухі типи масок.

У разі застосування на платі різних типів BGA-корпусів, що мають різний крок виводів і розмір кульок, на платах необхідно використовувати тільки один спосіб формування площинок для всіх типів корпусів.

Ще один фактор, що впливає на якість паяного з'єднання мікросхем у BGA-корпусах, – ширина трас, що відходять від контактних площинок. На рисунку 2 показаний фрагмент плати, з якого видно, як необхідно відвести ланцюги від BGA-корпусу.

При великій ширині ланцюгів, а тим більше в разі прямого підключення площинок до полігонів без використання термобар'єрів, відтік тепла від

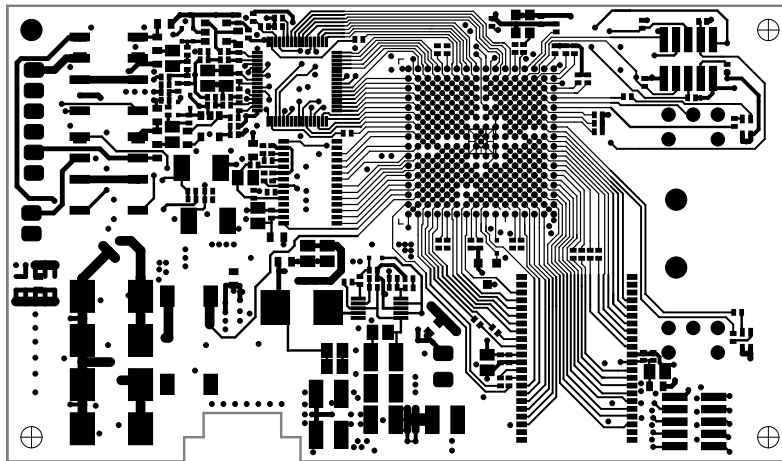


Рис. 2. Фрагмент плати

площинки буде великим. Тому навіть при ідентичних розмірах площинок на підкладці мікросхеми і на друкованій платі буде виникати неоднорідність структури паяного з'єднання через виникнення градієнта теплового поля. Через це ширина трас, що відходять від контактних площинок, не повинна перевищувати $1/2$ діаметра площинки. Оптимальне значення – $1/3$ від діаметра площинки. У разі, якщо за різних причин необхідно використовувати ланцюги більшої ширини, необхідно відвести ланцюг від мікросхеми провідником не більше $1/2$ від ширини площинки і тільки на деякому віддаленні (здебільшого становить не менше $1-1,5$ діаметра площинки) збільшувати ширину провідника до необхідної ширини. Аналогічна ситуація виникає і при підключенні площинок до полігонів.

Для успішного монтажу мікросхем у BGA-корпусах необхідне використання якісних фінішних покриттів плат. Оптимальним варіантом є використання різних імерсійних фінішних покриттів. Це може бути імерсійне золото поверх підшару нікелю, імерсійне срібло, імерсійне олово із бар'єрним підшаром органічного металу. Найбільш поширене – імерсійне золото.

Завершальна стадія будь-якого техпроцесу монтажу – відмивання і сушіння. Температура між BGA-корпусом мікросхеми і платою завжди підвищена. В умовах підвищеної температури флюси досить активно кородують поверхню пая-

них з'єднань. Крім того, флюси і їхні залишки у високій мірі гігроскопічні. У процесі експлуатації вони накопичують вологу із довкілля, що збільшує їх хімічну активність. Тому ретельне відмивання плат бажане із застосуванням рідин для відмивання. Не менш ретельна сушка є запорукою надійної експлуатації мікросхем у BGA-корпусах.

Висновки. За останні десятиліття компаніями-виробниками напівпровідників було розроблено безліч корпусів для інтегральних схем. У корпусах такого типу виконують роль напівпровідникові мікросхеми: процесори, пам'ять. Ми детально розглянули найбільш поширені з них – BGA-корпуси. Пайка елемента у корпусі BGA здійснюється шляхом нагрівання безпосередньо корпусу елемента з підігрівом друкованої плати за допомогою гарячого повітря або інфрачервоного випромінювання.

Перевага корпусів BGA: компактність і економія місця на друкованій платі. Також вони найбільш досконалі і виграють в інших по низці параметрів: щільність монтажу, теплопровідність та інші переваги, які були викладені в основному матеріалі.

Узагальнюючи зазначене вище, можна зробити висновок, що у процесі виготовлення спецтехніки BGA-корпуси необхідно широко використовувати виробниками, адже їх впровадження гарантує забезпечення якості, надійності і безпеки спецтехніки.

Список літератури:

1. Смирнов К.К, Сухов А.Г., Цимбалов А.С Проблемы проведения испытаний микросхем в металлополимерных корпусах типа BGA. Труды НИИ системных исследований Российской АН.
2. Яцюк Л.А., Косогін О.В., Ущатовський Д.Ю., Лінючева О.В., Фатєєв Ю.Ф. Технологія нанесення неметалевих покриттів і виробництво плат друкованого монтажу : Посібник / НТУ КПІ. Київ, 2017. С. 249–250.
3. Вейн Паллием (перевод Ю. Потапова). Проектируем платы с BGA / EDA EXPERT. 2002. № 5.

4. Медведев А. Бессвинцовые технологии монтажной пайки. Что нас ожидает? Электронные компоненты. 2004. № 11.

5. Поджаренко В.О., Кучерук В.Ю., Севастьянов В.М. Основы мікропроцесорної техніки. Навчальне видання / ВНТУ. Вінниця, 2006. С. 8–10.

Lutsko L.I. THE FEATURES OF PCB DESIGN WITH THE BGA-CASE CHIPS USAGE

A quality of the special devices manufacturing is the guarantee for the long-term and reliable exploitation. Our recent devices' complexity, functional abilities and mounting density have grown up dramatically, as the weight and capacity have reduced on the other hand, with the update of microelectronics base. Because of it a new technologies and modern hardware base should be used during the design. Such facts have lead us to the necessity for the most modern BGA-cased chips usage.

These special-purpose chips have metal polymer composite case with the ball pins. This article intends to uncover the design process of such PCB. A reasons of the pins strength reducing at the various manufacture stages and testing were analyzed and proposed methods that allows to reduce such strength lose. Also this article includes some reasonable arguments to move the ball pins forming process into the PCB nodes assembly process.

Article provides an analyzis of the design conten of thee BGA chips, most important factors that influe on pins soldering quality, the ways to form solder pad sites, a key parameters and terms, heat transfer out from the chip case without a radiator usage. Pros and cons of the BGA chips were discussed here, with the key features of BGA chip patterns development, a correctness of the calculations for the solding pads size to use BGA ball pins. Also two tables is provided, they contains a typical parameters: step and a nominal balls diameter of the most used chips and typical sizes contact pads for the BGA mounting.

This article describes how to calculate the track's width that come out from the chip's pads and how to connect pads to polygones properly. Picture provides a fragment of PCB that shows how to widthdraw a tracks from the BGA-case. To mount BGA-case chip properly is necessary to use a high-quality finishing covering. The different immersion finish covers were analyzed in this article and final stage of every mount process – clean and dry.

Key words: balls array, metall polymer BGA cases, pins soldering strength, contact site pad, barrel jack connector.