

# **PORADNIK PROJEKTANTA PCB**

## **Projektowanie obwodów drukowanych z układami BGA**

---

Firma Nanotech Elektronik Sp. z o.o. jest profesjonalnym dostawcą obwodów drukowanych dowolnego typu i klasy złożoności.

**Dostarczamy obwody drukowane dowolnych typów:**

- Jedno-/dwustronne
- Wielowarstwowe (do 28 warstw)
- Wielowarstwowe HDI z laserowym wierceniem mikro przelotek
- Elastyczne i sztywno-elastyczne
- Na rdzeniu aluminiowym
- Z laminatów do RF i mikrofalowego zakresu (Rogers, Arlon)

---

## Spis treści

### Wstęp

1. Klasyfikacja układów BGA
  - 1.1 Rodzaj obudowy a materiał podłoża
  - 1.2 Rozmiar obudowy, wysokość profilu
  - 1.3 Raster kulek, rozmiar i materiał kulek, parametry padów do montażu BGA
2. Parametry materiałów bazowych
3. Powłoki wykończeniowe
4. Projektowanie
  - 4.1 Ustalenie i minimalizacja ilości warstw
  - 4.2 Rozmieszczenie BGA
  - 4.3 Szablony trasowania BGA
  - 4.4 Podłączenie zasilania
  - 4.5 Routing sygnałów a rozmiar padów kontaktowych
  - 4.6 Przelotki ślepe oraz zagrzebane
  - 4.7 Stosowanie metody Fanout
  - 4.8 Kondensatory blokujące
  - 4.9 Wypełnienie poligonami
  - 4.10 Stosowanie metod Teardrops i Snowman
  - 4.11 Fiduciale
  - 4.12 Uwagi, których trzeba przestrzegać podczas trasowania BGA
5. Montaż układów BGA na obwodzie drukowanym
  - 5.1 Nanoszenie pasty lutowniczej
  - 5.2 Wymagania do automatów montujących
  - 5.3 Lutowanie płytek z BGA
  - 5.4 Mycie płytek z BGA
  - 5.5 Nanoszenie powłok chroniących oraz mieszanek wypełniających
  - 5.6 Kontrola połączeń lutowanych w płytkach z BGA
6. Podsumowanie
7. Kontakty

## Wstęp

W trakcie wzrostu skomplikowania współczesnych układów scalonych rośnie również ilość wyprowadzeń, które trzeba rozmieszczać na coraz mniejszych obudowach. Ten fakt oraz dążenie do mniejszych kosztów urządzeń elektronicznych skutkowało powstaniem obudów typu BGA (od ang. Ball Grid Array – masywów padów w kształcie kulek na dolnej części obudowy czyli podłożu).

Trzeba podkreślić technologiczność tego rozwiązania – w obudowie typu BGA można rozmieścić dużą ilość wyprowadzeń na ograniczonej powierzchni z zachowaniem wystarczających odległości pomiędzy padami. Wszystkie wyprowadzenia znajdują się w jednej płaszczyźnie na dole obudowy, stąd dość mała długość przejść sygnałowych w porównaniu ze zwykłymi obudowami układów scalonych (SOIC, QFP i inne). To skutkuje niższym stopniem pasożytnych promieniowań elektromagnetycznych w przypadku wyższych częstotliwości – oznacza to dobry wpływ na integralność sygnałową w projektowanym urządzeniu elektronicznym. Również w przypadku obudów BGA występuje nieco mniej krytyczna komplanarność padów na etapie lutowania w porównaniu do obudów typu QFP. Jeszcze jedna zaleta podczas lutowania to efekt samodzielnego centrowania się, wskutek zjawiska natężenia powierzchniowego topniejącego się lutu. Obudowa BGA perfekcyjnie się centruje nawet przy cofnięciu kulek o 50% względem padów lutowniczych na płytce PCB. Z tego powodu, że BGA ma stosunkowo wiele wyprowadzeń, dużą ilość padów można używać do zasilania/uziemia, co podnosi wydajność i polepsza parametry tych układów scalonych oraz pozwala stosować takie układy przy wyższych częstotliwościach. Rozmieszczenie wyprowadzeń do zasilania/uziemia w odpowiednich miejscach obudowy pozwala na obniżenie ich pasożytnej indukcyjności i skrócenie odległości którą muszą pokonać zwrotne prądy o wysokiej częstotliwości, przy tym kondensatory blokujące mogą być zintegrowane w podłożu BGA, bądź umieszczone bezpośrednio wewnątrz obudowy, co dodatkowo polepsza parametry układów BGA. Małe gabaryty sprzyjają miniaturyzacji projektowanych urządzeń elektronicznych. Na przykład w przypadku niektórych typów mikro BGA, obudowa może być nieznacznie większa od samego kryształu

półprzewodnika. Kolejną zaletą jest dość niski współczynnik przewodzenia ciepła na granicy obudowa BGA/powierzchnia płytki drukowanej w porównaniu do układów z bocznymi wyprowadzeniami. Biorąc pod uwagę wyżej podane zalety technologii BGA te obudowy w chwili obecnej są uznawane za najlepsze pod kątem stosunku cena/gęstość połączeń. Również w przypadku BGA istnieje możliwość wykonania kilku układów scalonych w kształcie kanapki, rozmieszczając jeden układ na drugim, stosując tak zwaną technologię Flip-Chip. To skutkuje jeszcze wyższą gęstością montażu oraz maksymalne krótkimi połączeniami sygnałowymi, ponieważ można wtedy odpowiednio dobierać rozmieszczenie najbardziej krytycznych wyprowadzeń.

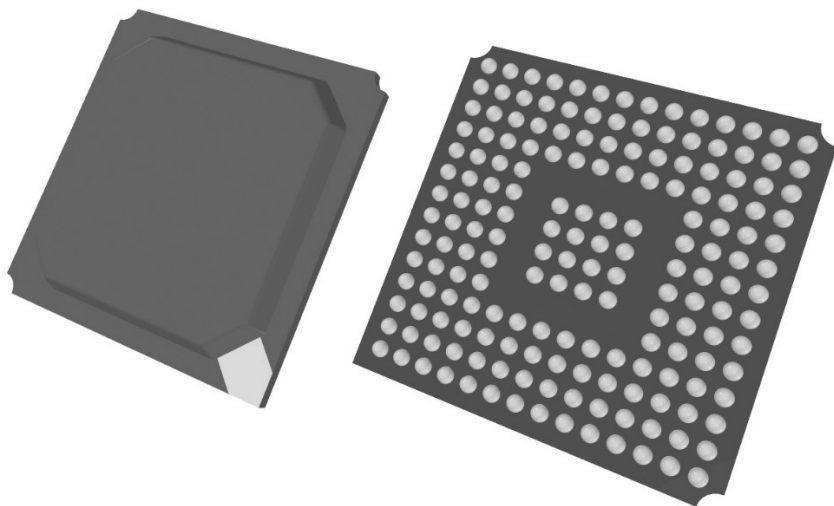
Do potencjalnych mankamentów obudów BGA można natomiast zaliczyć większą sztywność mechaniczną połączenia układu BGA z płytką drukowaną z powodu braku dłuższych nóżek, zarówno różnicę współczynników rozszerzalności cieplnej (Coefficient of Thermal Expansion, CTE) materiału obudowy BGA (w szczególności dla ceramicznych BGA) jak i materiału płytki drukowanej, co w swojej kolejności może skutkować powstaniem wad połączeń w przypadku ciężkich warunków cieplnych lub obciążeniach mechanicznych całego urządzenia, zawierającego BGA.

Naprawa obwodów drukowanych z BGA jest uciążliwa i wymaga specjalnych umiejętności i wyposażenia. Należy również podkreślić ewentualną konieczność użycia specjalnego sprzętu do kontroli jakości montażu – inspekcji X-Ray oraz specjalnych mikroskopów.

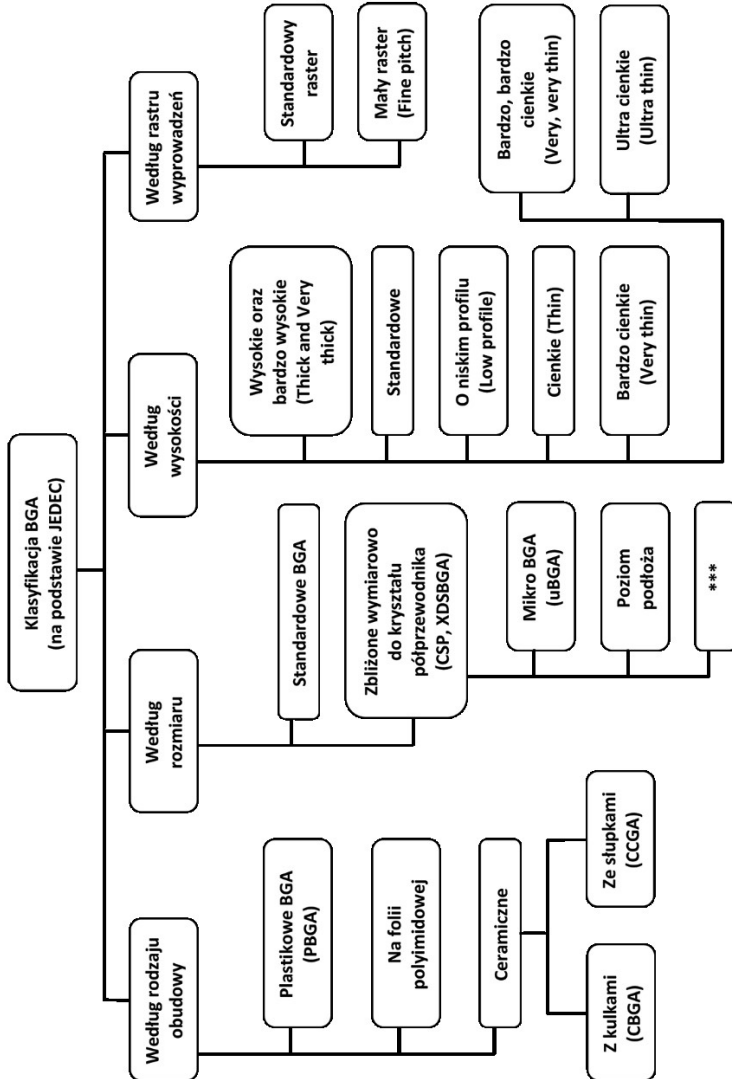
## 1. Klasyfikacja układów BGA

Obecnie produkowana jest szeroka gama układów w obudowach BGA. Podstawowe typy (rys. 2) wyróżniają się względem następujących cech (zgodnie z JEDEC JEP95, IPC-7095):

- typu obudowy i materiału podłoża;
- wielkości obudowy i wysokości profilu;
- rastru kulek



Rys. 1. Układ BGA



Rys. 2. Klasyfikacja układów BGA

## 1.1 Rodzaj obudowy a materiał podłoża

Przy produkcji BGA stosuje się wiele różnych materiałów do obudów i podłoży. Najbardziej rozpowszechnione są BGA w obudowie z tworzywa sztucznego – PBGA (Plastic Ball Grid Array). Podłożem do PBGA jest wielowarstwowa płytką drukowana (wykorzystywany jest FR-4 o wysokiej temperaturze zeszklenia ( $T_g$ ), na którym mocuje się (spawaniem, lutowaniem bądź przyklejaniem) półprzewodnikowy kryształ oraz kulkowe wyprowadzenia z dolnej strony.

Obudowy PBGA są stosunkowo tanie, są dobrze zgrane z materiałem obwodów drukowanych względem współczynnika rozszerzalności cieplnej, są jednak wrażliwe na wilgoć i podatne na wypaczenia (w szczególności większe obudowy).

Również szeroko rozpowszechnione są BGA w obudowie ceramicznej – CBGA (Ceramic Ball Grid Array). CBGA są wykonane na wielowarstwowym podłożu ceramicznym i mają metalową lub ceramiczną obudowę. Jako wyprowadzenia w przypadku CBGA zazwyczaj stosuje się napawane kulki z wysokotemperaturowego stopu Sn10/Pb90 z temperaturą likwidusu  $302^{\circ}\text{C}$ . Kulki są mocowane do podłoża układu za pomocą eutektycznego stopu. Istnieją między innymi bezołowiowe wersje CBGA. Obudowy CBGA są szczelne i praktycznie niewrażliwe na wilgoć, ponadto, kulki z wysokotemperaturowego stopu ułatwiają proces naprawy podzespołów, ponieważ w większości przypadków nie wymagają reballingu.

Jednak względne wysokie profile obudów, duża pojemność cieplna i różnice współczynników rozszerzalności cieplnej (WRC) ceramiki z materiałem obwodów drukowanych nieco ograniczają ich zastosowania.

Odmianą obudów CBGA są obudowy CCGA (Ceramic Column Grid Array), w których rolę kulek odgrywiają wyprowadzenia w kształcie słupków. Takie wyprowadzenia zazwyczaj mają średnicę 0,5 mm i długość 1,25-2,0 mm. Niezawodność połączeń lutowanych w przypadku CCGA z dłuższymi wyprowadzeniami jest znacznie wyższa ponieważ skutecznie pochłaniają stresy, wywoływane niezgodnością WRC obudowy ceramicznej a płytki



---

drukowanej. Z drugiej strony, dłuższe wyprowadzenia skutkują bardziej wysokim profilem układu co swoją drogą wymaga ostrożności podczas przechowywania i montażu takich układów.

Obudowy TBGA (Tape Ball Grid Array) mają elastyczne podłoże z poliimidu. Takie obudowy mają również kulki z wysokotemperaturowego stopu, przymocowane do podłoża metodą częściowego stopienia się. W przypadku TBGA niezgodność WRC materiałów nie jest aż tak krytyczna, ponieważ elastyczne podłoże skutecznie absorbuje naprężenia mechaniczne. Obudowy typu TBGA wykazują również lepsze właściwości termiczne bez dodatkowego radiatora. Ich wrażliwość na wilgoć jest na tym samym poziomie, co PBGA.

## 1.2 Rozmiar obudowy, wysokość profilu

Względem rozmiaru obudowy wszystkie BGA można podzielić na dwie duże grupy: standardowe BGA oraz BGA rozmiarowo zbliżone do wymiarów półprzewodnikowego kryształu, czyli CSP (Chip Scale Package) lub według terminologii JEDEC, DSBGA (Die Size BGA). Zgodnie z JEDEC JEP95 Section 4.7 do DSBGA należy odnieść BGA w obudowie maksymalnie zbliżonej do rozmiarów samego półprzewodnikowego kryształu. Wszystkie DSBGA są to BGA z małym rastrem (fine-pitch) poniżej 1,0 mm.

Szeroko rozpowszechnionymi przedstawicielami grupy DSBGA są obudowy typu mikro BGA ( $\mu$ BGA, micro-BGA). Taka obudowa posiada matrycę elektroosadzonych kulek z niklu ze złotą powłoką o wymiarach około 0,090 mm, lub kulek z eutektycznych bądź bezołowiowych stopów wykonanych na elastycznym podłożu. Elastyczna silikonowa warstwa zmniejsza poziom naprężeń mechanicznych.

Do tej samej grupy należy odnieść BGA typu WLCSP (Wafer Level Chip Size Package) – odmiana CSP, w której wszystkie etapy produkowania układu scalonego wykonuje się bezpośrednio na podłożu BGA. Dlatego takie

obudowy mają bardzo małe wymiary, niski profil ( $\leq 0,82$  mm), charakteryzując się niską wrażliwością na wilgoć i są odporne na wysokie temperatury (co jest szczególnie ważne dla technologii bezołowiowej). Kulki są wykonane są ze stopu Sn/Ag/Cu.

Niektóre geometryczne parametry obudów (raster wyprowadzeń i wysokość profilu) według standardów JEDEC są przedstawione w tabeli nr 1.

Typ obudowy	Znaczenie	Raster wyprowadzeń, mm	Maksymalna wysokość profilu, mm
<b><i>Klasyfikacja według typu i wielkości obudowy</i></b>			
PBGA	Plastikowe	1,5; 1,27; 1,0; 0,80	2,20; 3,50; 5,50
CBGA, CCGA	Ceramiczne z kulkami lub słupkami	1,5; 1,27; 1,0; 0,80	5,80 – 7,40
TBGA	Z elastycznym podłożem z folii	1,5; 1,27; 1,0; 0,80	3,40
DSBGA (CSP)	Zbliżone wymiarowo do kryształu półprzewodnikowego samego układu scalonego	0,80; 0,75; 0,65; 0,50; 0,40	$\leq 1,7$
<b><i>Klasyfikacja według rastra oraz wysokości profilu</i></b>			
BFBGA	Wysokie oraz bardzo wysokie z małym rastrem wyprowadzeń (Thick and Very Thick Fine Pitch)	0,80	2,45 – 3,25
LFBGA	Niskoprofilowe z małym rastrem wyprowadzeń (Low Profile Fine Pitch)	0,8; 0,65; 0,50	$\leq 1,2$

TFBGA	Cienkie z małym rastrem wyprowadzeń (Thin Fine Pitch)	0,8; 0,65; 0,50	≤1,0
VFPGA	Bardzo cienkie z małym rastrem wyprowadzeń (Very Thin Fine Pitch)	0,8; 0,65; 0,50	≤0,80
UFBGA, WFBGA	Ultra cienkie i bardzo, bardzo cienkie z małym rastrem wyprowadzeń (Ultra Thin & Very, Very Thin Fine Pitch)	0,8; 0,65; 0,50	0,65; 0,80
XFBGA	Ekstremalnie cienkie z małym rastrem wyprowadzeń (Extremely Thin Profile Fine Pitch)	0,50	0,50

Tabela nr 1. Geometryczne parametry BGA-obudów zgodnie z JEDEC JEP95.

Należy zauważyć, że na równi z kwadratowymi obudowami powszechnie używane są również prostokątne obudowy BGA. Istnieją także obudowy BGA z różnymi rastrowymi wyprowadzeń po obu stronach, tak zwane dual pitch BGA.

### 1.3 Raster kótek, rozmiar i materiał kótek, parametry padów do montażu BGA

Zgodnie z JEDEC JEP95 wszystkie obudowy BGA dzielą się na dwie klasy w zależności od rastru wyprowadzeń (patrz tablicę nr 2): standardowe BGA z rastrem 1,5; 1,27 i 1,0 mm oraz BGA z małym rastrem wyprowadzeń (fine-pitch), raster którego <1,0 mm:

Rodzaj BGA	Raster wyprowadzeń, mm
Standardowe BGA	1,5; 1,27; 1,0
BGA z małym rastrem (fine-pitch), które są produkowane obecnie	0,8; 0,75; 0,65; 0,5; 0,4
Planowane do produkcji w przyszłości BGA z małym rastrem (fine-pitch)	0,3; 0,25

Tabela nr 2. Raster BGA.

Raster BGA odgrywa decydującą rolę w wyborze rozmiarów kulek kontaktowych. W tabeli nr 3 przedstawiono parametry kulek do różnych wartości rastru (zgodnie z IPC-7095):

Nominalna średnica kulek, mm	Dopuszczalne odchylenie średnicy kulek, mm	Raster wyprowadzeń, mm
<b>Produkowane obecnie BGA</b>		
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
<b>Obudowy BGA, planowane do produkcji</b>		
0,20	0,22-0,18	0,30
0,15	0,17-0,13	0,25

Tabela nr 3. Parametry kulek do BGA o różnych rastrach.

Jako materiały dla kulek BGA stosuje się kilka różnych klas stopów.

W przypadku plastikowych PBGA kulki najczęściej są wykonywane z eutektycznego stopu Sn63/Pb37 z temperaturą topnienia 183°C lub z eutektycznego stopu Sn62/Pb36/Ag2 z temperaturą topnienia 179°C. Takie

---

elementy są lutowane zarówno z użyciem pasty lutowniczej, jak i bez niej, stosując tylko topnik. Podczas lutowania metodą rozplwową temperatura w piecu powinna wynosić 215°C - 220°C.

Do CBGA (ceramicznych) i TBGA (z podłożem z poliimidu) zazwyczaj używa się napawanych kulek z wysokotemperaturowego stopu Sn10/Pb90 z temperaturą likwidusu 302°C. Kulki są mocowane do podłoża układu za pomocą eutektycznego stopu lub metodą częściowego stopienia (głównie w przypadku TBGA). Takie elementy należy montować tylko i wyłącznie z użyciem pasty lutowniczej.

W przypadku bezołowiowego montażu używa się kulek ze stopu typu Sn/Ag, Sn/Cu lub Sn/Ag/Cu (takich jak Sn100C, SAC305, itp.) z temperaturami likwidusu (topnienia dla stopów eutektycznych) 210°C - 227°C. Bezołowiowe BGA należy montować z użyciem pasty lutowniczej i lutowaniem w piecu przy temperaturze 235°C -240°C i nawet wyżej. Należy również pamiętać, że maksymalna dopuszczalna temperatura dla większości podzespołów elektronicznych oraz obwodów drukowanych nie przekracza 260°C.

Wybór rozmiaru padów kontaktowych do BGA jest ważnym aspektem podczas projektowania obwodu drukowanego. Pady na płytce drukowanej muszą mieć tę samą średnicę co pady na podłożu układu, do których mocowane są kulki. Natomiast same pady muszą być mniejsze od średnicy kulek o pewną wartość. Połączenia lutowane będą wtedy maksymalnie niezawodne.

W tabeli nr 4 podane są polecane rozmiary padów kontaktowych jak również dopuszczalne odchylenia od rozmiarów nominalnych dla kulek o różnych średnicach (zgodnie z IPC-7095):

Nominalna średnica kulki, mm	Zmniejszenie średnicy	Nominalna średnica padu, mm	Dopuszczalny zakres odchylenia średnicy padu, mm	Dopuszczalne rzeczywiste odchylenie położenia centrum padu, mm	Dokładność wyprodukowania padu na płytkę drukowaną, mm
<b>Produkowane obecnie BGA</b>					
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%	0,4	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
<b>Obudowy BGA, planowane do produkcji</b>					
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

Tabela nr 4. Parametry padów kontaktowych dla kulek o różnych średnicach

## 2. Parametry materiałów bazowych

Poniżej podajemy niektóre ważne parametry, które należy brać pod uwagę przy doborze materiałów i podczas projektowania obwodów drukowanych. Te informacje są szczególnie istotne dla pytek zawierających układy BGA.

Stała dielektryczna (dielectric constant, Dk), współczynnik strat dielektrycznych (dissipation factor Df). Te charakterystyki warto brać pod uwagę podczas projektowania obwodów działających w zakresie wysokich

---

częstotliwości oraz linii z kontrolowaną impedancją. Im mniejsza stała dielektryczna  $D_k$ , tym wyższa jest prędkość rozpowszechnienia sygnałów w ścieżkach na płytce, również tym wyższa jest impedancja przewodnika z taką samą geometrią. Im niższy jest  $D_f$ , tym lepsza jest integralność sygnałowa i mniejsze są straty w zakresie wysokich częstotliwości.

Temperatura zeszklenia (Glass Transition Temperature,  $T_g$ ). To jest bardzo poważny parametr materiału, w szczególności dla płytek wielowarstwowych. W zasadzie jest to punkt załamania liniowej charakterystyki rozszerzenia cieplnego materiału. Do temperatury  $T_g$  materiał rozszerza się liniowo pod pewnym kątem nachylenia charakterystyki (współczynnika rozszerzalności cieplnej), natomiast powyżej  $T_g$  charakterystyka rozszerzalności staje się albo nieliniowa, lub w przybliżeniu liniowa, ale ze znacznie większym kątem nachylenia. Im wyższa jest wartość  $T_g$  poszczególnego materiału, tym mniej wyraźny będzie efekt wyginania płytki drukowanej, i tym większa będzie niezawodność przelotek metalizowanych.

Współczynnik rozszerzalności cieplnej (Coefficient of Thermal Expansion, CTE). Wartość, która charakteryzuje względną zmianę objętości lub wymiarów liniowych ciał wraz ze wzrostem temperatury. Ma kluczowe znaczenie przy doborze materiałów do podzespołów elektronicznych, wchodzących w skład wyrobów, działających w szerokim zakresie temperatur. Zasadnicze zaleca się, wybierać materiały, z mniejszą wartością CTE.

Zdolność do absorpcji wilgoci (Moisture or Water Absorption). Większość materiałów organicznych jest higroskopijna i pochłania wilgoć stosunkowo szybko. Wartość absorpcji wilgoci w procentach definiuje się jako względne zwiększenie masy ciała lub wyrobu, po ujawnieniu go w wilgotnym środowisku z określonymi wskaźnikami wilgotności względnej i temperatury. Pochłonięta materiałem wilgoć odparowuje w procesie lutowania i może prowadzić do wypaczenia płytki drukowanej i uszkodzeniu podzespołów na niej.

Wyżej wymienione, a także inne parametry techniczne zawsze można znaleźć w odpowiednich kartach katalogowych do materiałów stosowanych w elektronice.

Najbardziej masowe zastosowanie znalazły obwody drukowane na podstawie tkanego włókna szklanego z wypełnieniem epoksydowym (materiały klasy FR-4). Zdecydowana większość wielowarstwowych obwodów drukowanych, w tym do stosowania komponentów BGA, jest wykonywana z tej klasy materiałów. Technologia wytworzenia wielowarstwowych płytek drukowanych z materiałów FR-4 jest bazową, posługują się nią wszyscy producenci obwodów drukowanych. Wraz z tym, zaleca się, aby wybierać FR-4 z wartością  $T_g = 170^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$  do wielowarstwowych obwodów drukowanych z układami BGA w celu zwiększenia niezawodności wyrobów. Jest to szczególnie ważne dla obwodów z dużymi układami BGA i ilością warstw większą niż 6-8. Do płytek drukowanych wykonywanych w technologii HDI materiał z mniejszą wartością  $T_g$  w praktyce nie jest stosowany.

### 3. Powłoki wykończeniowe

Powłoki wykończeniowe służą do: zapewnienia bezpiecznego połączenia lutowanego; zabezpieczenia powierzchni płytki przed utlenieniem; zapewnienia dobrej przewodności powierzchniowej styków krawędziowych i innych padów lub kontaktów na obwodzie drukowanym.

Wykończenie HASL można używać do BGA z rastrem 1,0 mm i więcej, w niektórych przypadkach nawet od 0,8 mm przy dostatecznie dużych padach kontaktowych i małej ilości kulek. Główny problem związany z pokryciem HASL, to istotna nierównomierność grubości powłoki. Grubość powłoki może zmieniać się od 5  $\mu\text{m}$  do 35  $\mu\text{m}$ . Przy stosowaniu HASL zdecydowanie zaleca się montaż BGA na pastę lutowniczą, ponieważ warstwa pasty niweluje nierówności grubości powłoki.



Złoto immersyjne (ENIG – Electroless Nickel/Immersion Gold). Powszechnie używana bezołowiowa powłoka wykończeniowa, zapewnia dobrą płaskość padów kontaktowych, dobrą zdolność do lutowania, wysoką powierzchniową przewodność elektryczną padów i stosunkowo długi okres przechowywania. Obecnie, przy projektowaniu obwodów drukowanych z układami BGA, polecamy wybrać właśnie tę powłokę wykończeniową.

#### 4. Projektowanie

Poniżej wymienimy podstawowe wymagania co do trasowania płytek z BGA, w tym rozmieszczenie układów BGA na obwodzie drukowanym, rozmiary padów kontaktowych, rodzaje i typy przelotek i inne informacje.

Czasem, dodatkowo warto zastanowić się nad zabezpieczeniem pewnej zewnętrznej strefy wokół obudowy BGA, w celu umożliwienia ewentualnych napraw. Wymiary tej strefy są zależne od typu zastosowanego wyposażenia naprawczego.

W razie, kiedy mamy do czynienia z układem BGA o wysokiej gęstości wyprowadzeń, trasowanie sygnałów może okazać się niełatwym wyzwaniem. W celu minimalizacji ilości połączeń międzywarstwowych trzeba przestrzegać pewnych metod trasowania gęstych połączeń.

Dlatego trasowanie komponentów BGA zwykle wykonuje się ręcznie lub według szablonu, przy czym głównym zadaniem jest nieblokowanie padów kontaktowych, a wyprowadzenie wszystkich tras na peryferie układu. Zadanie znacznie się komplikuje, jeśli po przeciwnej stronie płytki drukowanej zamontowane są kondensatory blokujące. Biorąc pod uwagę fakt, że trasowanie obszaru układów BGA to tylko część zadania zaprojektowania obwodu drukowanego, warto dążyć do zminimalizowania liczby warstw sygnałowych, całkowitej długości połączeń i liczby międzywarstwowych przelotek.

#### 4.1 Ustalenie i minimalizacja ilości warstw

Obecnie coraz częściej wskazówki dotyczące ilości warstw, niezbędnych do trasowania połączeń układu BGA (zarówno jak i ogólne zalecenia dotyczące tworzenia topologii płytki, na przykład szablon mozaiki, rozmieszczenie blokujących kondensatorów itp.) można znaleźć w dokumentacji do samego układu, czyli w karcie katalogowej (Datasheet).

Poniżej wymienimy jakie czynniki należy brać pod uwagę podczas planowania struktury płytki drukowanej:

- Strukturę warstw wielowarstwowej płytki drukowanej (warstwy zasilające, uziemienia, sygnałowe, do odprowadzania ciepła) na podstawie wymagań inżyniera projektującego płytkę oraz rekomendacji producentów układów BGA
- Wymóg kontroli impedancji, wstępne obliczenia parametrów ścieżek z kontrolowaną impedancją
- Rodzaje i rozmieszczenie przelotek ślepych i zagrzebanych (jeśli są wymagane) - dostosowanie się do możliwości technologicznych producenta płytek, typowe konstrukcje (o tym porozmawiamy później)
- Dobór materiałów (dielektrycznych i miedzianych warstw) na podstawie wymagań inżyniera oraz możliwości producenta

Z tego wynika, że zadaniem inżyniera projektującego obwód drukowany jest między innymi, połączenie w sposób optymalny wymogów od strony projektanta schematu urządzenia z możliwościami producenta płytek.

Oprócz tego, istnieje możliwość wstępnego oszacowania ilości warstw niezbędnych do wyprowadzenia połączeń od układu BGA.

Do tego należy zgromadzić i przeanalizować następujące dane: typ obudowy BGA (z plastyku lub ceramiki), rozmiar kulek układu, raster i szablon wyprowadzeń, mapę sygnałów do wyprowadzenia, rozmiar przelotek, szerokość ścieżek i dopuszczalne odstępy pomiędzy ścieżkami.

Typ obudowy układu, rozmiar kulek i raster wyprowadzeń, jak było pokazane powyżej, określają rozmiar padów kontaktowych.

Jeśli odjąć od wartości rastru rozmiar padu kontaktowego, to tym samym obliczymy rozmiar wolnej przestrzeni w której można będzie poprowadzić ścieżki. Wyliczoną wartość należy podzielić na szerokość ścieżki i odstęp z tym, aby policzyć liczbę przewodów, które mogą być poprowadzone między dwoma sąsiednimi padami kontaktowymi. Do powstałej wartości należy dodać jedynekę, w rezultacie będzie to liczba ścieżek, które mogą być wyprowadzone od układu BGA przez jeden szereg padów na górnej warstwie płytki drukowanej. Podobna formuła służy do oceny liczby możliwych wyprowadzeń na pierwszej wewnętrznej warstwie płytki. Tylko w tym przypadku zamiast rozmiarów padów kontaktowych trzeba używać rozmiarów pierścieni przelotek. Również do obliczonej liczby trzeba dodać jedynekę, z racji tego, że do skrajnego w szeregu pierścienia przelotki możemy podłączyć się bezpośrednio. Używając podanej metody, na podstawie której można obliczyć liczbę wyprowadzeń na każdej warstwie sygnałowej, możemy wywnioskować na ilu warstwach uda się wyprowadzić wszystkie sygnały z BGA.

Rozpatrzmy przykład. Używamy plastikowego BGA (PBGA) z rastrem 1,27 mm oraz rozmiarem kulek 0,75 mm. Zgodnie z tablicą nr 4 polecana średnica padu kontaktowego wynosi 0,55 mm. Zaokrąglimy to w górę do 0,6 mm. Do symetrii będziemy usuwać przelotki o średnicy otworu 0,3 mm z padem 0,6 mm. Dla ścieżek zakładamy szerokości 0,125 mm, zarówno jak odstęp między nimi 0,125 mm. Zrobimy obliczenia jak podano wyżej. Odejmujemy od rastru (1,27 mm) średnicę padów kontaktowych (0,6 mm), w rezultacie mamy 0,67 mm wolnej przestrzeni do wyprowadzeń. Dzielimy tę wartość na szerokość ścieżek i przerw (0,125 mm) i możliwość przeprowadzenia tylko dwóch ścieżek z trzema odstępami. Dodajemy 1 do liczby ścieżek (2) i mamy ilość szeregów, z których możemy wyprowadzić

---

sygnały na bieżącej warstwie. Ze względu na to, że szerokość padu przelotek również wynosi 0,6 mm to na każdej kolejnej warstwie można będzie wyprowadzać sygnały z trzech szeregów padów. Na każdej warstwie do zewnętrznego szeregu padów mamy dostęp bezpośredni, natomiast z dwóch pozostałych szeregów robimy wyprowadzenia ścieżkami przechodzącymi pomiędzy padami układu/przelotek.

Jeśli obudowa BGA ma nie więcej niż sześć szeregów (rzędów) padów z każdej strony, to w naszym przypadku można by było wyprowadzić wszystkie sygnały na dwóch warstwach. Natomiast, w przypadku gdy by obudowa BGA miała na przykład 10 rzędów z każdej strony, potrzebowalibyśmy przynajmniej cztery warstwy sygnałowe, nie licząc wewnętrznych warstw zasilania i uziemienia.

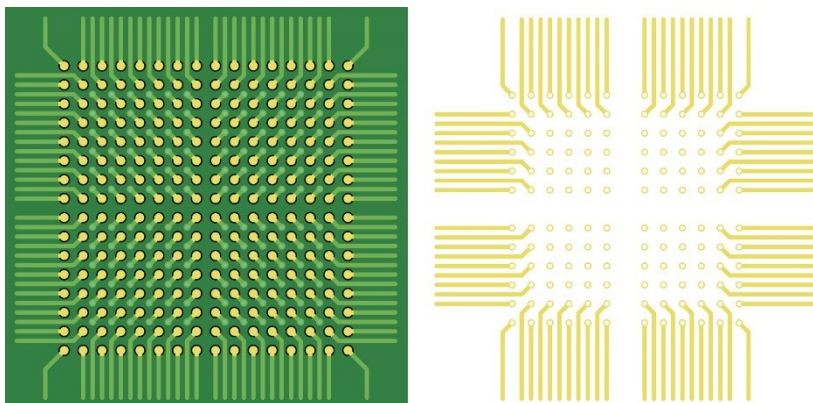
## 4.2 Rozmieszczenie BGA

Przede wszystkim, nie należy umieszczać układów BGA blisko siebie lub blisko krawędzi płytki. Jeśli obwód drukowany ma niewielką liczbę warstw, obszar z BGA może całkowicie zablokować przeprowadzenie innych sygnałów, ponieważ prawie wszystkie warstwy zostaną wykorzystane do wyprowadzenia sygnałów z BGA. Jeśli rozmieścimy BGA zbyt blisko krawędzi płytki, to może zabraknąć miejsca do wyprowadzenia wszystkich sygnałów i będzie konieczne dodanie więcej warstw sygnałowych. Inny problem, który ewentualnie może pojawić się w takim wariantcie, to brak miejsca do rozmieszczenia wystarczającej ilości kondensatorów blokujących.

Nie zaleca się również rozmieszczania innych zespołów blisko BGA. Zalecany odstęp to 2..4 mm. Przy bardzo gęstym rozmieszczeniu podzespołów tę odległość można zmniejszyć do 1 mm. Dodatkowo trzeba pamiętać o ewentualnym mocowaniu radiatora (w przypadku kiedy układy mocno się grzeją).

### 4.3 Szablony trasowania BGA

Podczas wyprowadzenia sygnałów z układów BGA poleca się stosowanie pewnych szablonów trasowania. Na przykład podzielenie sygnałów na cztery kwadranty (patrz rysunek nr 3) pozwala na znaczne ułatwienie trasowania. W tym przypadku jeśli jakieś zewnętrzne połączenia muszą być przełożone na inne wewnętrzne warstwy, zaleca się to zrobić na pewnej odległości od obudowy BGA, aby nie blokować pozostałych tras. Do wyprowadzenia wewnętrznych połączeń przelotki, które mieszczą się pod BGA trzeba stricte wyśrodkować pomiędzy padami układu.



Rys. 3. Wyprowadzenie połączeń BGA metodą z podziałem na kwadranty.

### 4.4 Podłączenie zasilania

Z tego powodu, że wyprowadzenia zasilania i uziemienia układu BGA są zwykle zlokalizowane w wewnętrznych rzędach kulek, stosowanie metody podziału wyprowadzeń na kwadranty ułatwia podłączenie takich wyprowadzeń szerokimi pasami miedzi, idącymi wzdłuż osi.

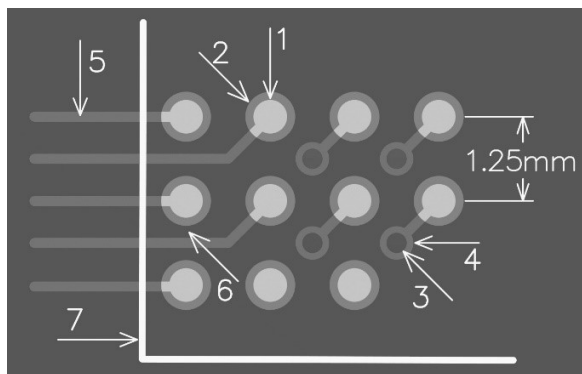
Ważna uwaga dotyczy projektowania płaszczyzn zasilania/uziemienia - w tych płaszczyznach nie zaleca się obniżać szerokości odcinków miedzi pomiędzy przelotkami poniżej 0,25mm (skrajny przypadek 0,2mm). Zarówno nie zaleca się rozmieszczać przelotki na tyle blisko siebie, aby w tych płaszczyznach powstawały obszary całkowicie wolne od miedzi. Całość miedzi w takich płaszczyznach, zarówno jak i miedziane odcinki pomiędzy przelotkami o szerokości powyżej 0,25 mm skutkują lepszą zdolnością do pracy całego obwodu w zakresie wyższych częstotliwości, ponieważ to o czym mówiliśmy pozwala obniżyć indukcyjność pasożytną obwodu zasilania.

W przypadku BGA z rastrem poniżej 1,0 mm aby sprostować tym wymaganiom musimy w warstwach zasilania/uziemienia usunąć miedziane pady samych przelotek, które nie są podłączone do tych warstw. Przy tym odstęp pomiędzy miedzianym poligonem a kanałem przelotki musi wynosić nie mniej niż 0,2 mm (skrajny przypadek wynosi 0,15mm).

W najbardziej skomplikowanych przypadkach obwodów o wysokiej gęstości połączeń przy rastrze BGA już od 0,8 mm może być wymagane stosowanie technologii mikro przelotek, czyli przelotek o średnicy 0,1 mm wykonywanych bezpośrednio w padach kontaktowych układów BGA metodą laserową.

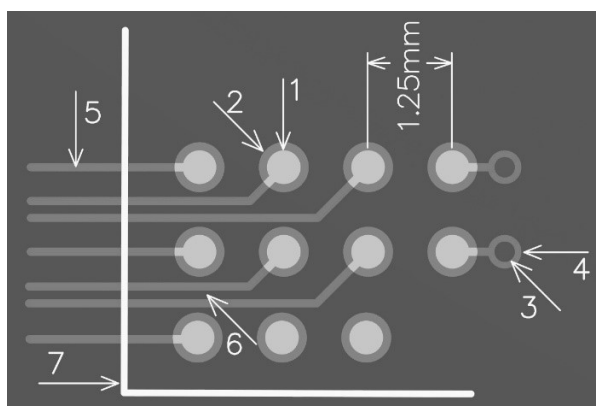
#### **4.5 Routing sygnałów a rozmiar padów kontaktowych**

Większość typów obudów BGA ma cztery lub pięć rzędów kulek, rozmieszczonych tak, aby między dwoma sąsiednimi padami można było przeprowadzić jedną lub dwie ścieżki sygnałowe.



Rys. 4. Przykład nr 1 trasowania BGA.

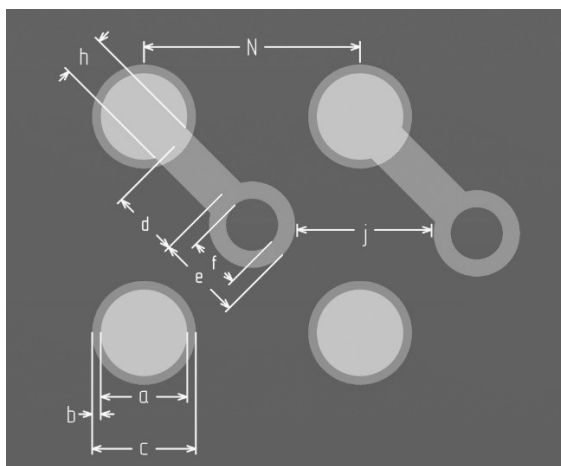
Jeden z wariantów trasowania BGA dla czterowarstwowej płytki pokazano na rysunku nr 4. Ścieżki do dwóch pierwszych rzędów kulek BGA znajdują się na górnej (TOP) warstwie sygnałowej, natomiast trasy do dwóch kolejnych rzędów wewnętrznych - na dolnej (BOTTOM) warstwie płytki. W tym przypadku wymagane będą przelotki przejściowe (przez wszystkie cztery warstwy) pomiędzy padami kontaktowymi BGA.



Rys. 5. Przykład nr 2 trasowania BGA.

Przy stosowaniu topologii przedstawionej na rysunku nr 5, pierwsze trzy rzędy wyprowadzeń są wykonywane na górnej warstwie sygnałowej, natomiast wewnętrzne wyprowadzenia - na dolnej warstwie płytki. W tym przypadku zmniejsza się ilość używanych przelotek.

Istnieje ogólna zasada dla padów do układu BGA – średnica padu powinna być mniejsza od średnicy kulki o dwadzieścia procent, co zapewnia niezawodne połączenie lutowane. Ogólne zalecenia trasowania wyprowadzeń układu BGA na zewnętrznych warstwach przedstawiono poniżej (rysunek nr 6 oraz tabela nr 5):



Rys. 6. Fragment obszaru BGA na zewnętrznej warstwie.

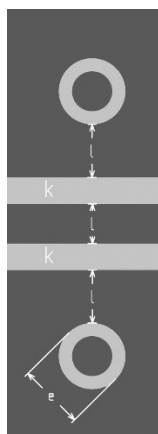
	<b>Raster układu BGA (P)</b>	<b>1,27 mm</b>	<b>1,00 mm</b>	<b>0,80 mm</b>	<b>0,50 mm</b>
a	Średnica padu BGA	0,55 mm	0,50 mm	0,35 mm	0,25 mm
b	Odstęp do maski przeciwlutowniczej	0,10 mm	0,10 mm	0,10 mm	0,075 mm
c	Średnica okna w masce przeciwlutowniczej	0,75 mm	0,70 mm	0,55 mm	0,40 mm



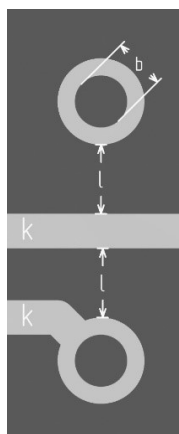
d	Długość ścieżki, łączącej pad układu z padem przelotki (w przybliżeniu)	0,348 mm	0,207 mm	0,165 mm	0,103 mm
e	Średnica padu przelotki	0,55 mm	0,50 mm	0,40 mm	0,25 mm
f	Średnica kanału przelotki	0,30 mm	0,25 mm	0,20 mm	0,15 mm
h	Szerokość ścieżki, łączącej pad układu z padem przelotki (w przybliżeniu)	0,25 mm	0,25 mm	0,20 mm	0,15 mm
j	Odległość pomiędzy padami przelotek	0,72 mm	0,50 mm	0,35 mm	0,25 mm

Tabela nr 5. Parametry padów oraz przelotek na warstwach zewnętrznych.

W przypadku warstw wewnętrznych, w zależności od tego czy pomiędzy padami będzie przeprowadzana jedna lub dwie ścieżki zalecamy używanie następujących wskazówek (rysunki nr 7 i 8 oraz tabeli nr 6 i 7):



Rys. 7. Fragment trasowania z jedną ścieżką pomiędzy padami.



Rys. 8. Fragment trasowania z dwiema ścieżkami pomiędzy padami.

	<b>Raster układu BGA (P)</b>	<b>1,27 mm</b>	<b>1,00 mm</b>	<b>0,80 mm</b>	<b>0,50 mm</b>
<b>b</b>	Średnica kanału przelotki	0,30 mm	0,25 mm	0,20 mm	0,15 mm
<b>e</b>	Średnica padu przelotki	0,55 mm	0,50 mm	0,40 mm	0,25 mm
<b>k</b>	Szerokość ścieżki pomiędzy padami	0,20 mm	0,15 mm	0,125 mm	0,080 mm
<b>l</b>	Odstęp pomiędzy ścieżką a padem	0,25 mm	0,15 mm	0,125 mm	0,080 mm

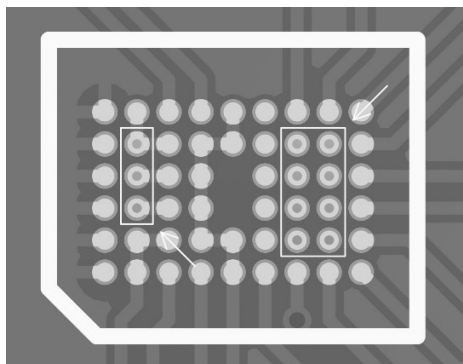
Tabela nr 6. Parametry padów oraz przelotek na warstwach wewnętrznych z jedną ścieżką pomiędzy padami

	<b>Raster układu BGA (P)</b>	<b>1,27 mm</b>	<b>1,00 mm</b>	<b>0,80 mm</b>	<b>0,50 mm</b>
<b>b</b>	Średnica kanału przelotki	0,30 mm	0,25 mm	0,15 mm	-
<b>e</b>	Średnica padu przelotki	0,55 mm	0,50 mm	0,35 mm	-
<b>k</b>	Szerokość ścieżek pomiędzy padami	0,125 mm	0,10 mm	0,090 mm	-
<b>l</b>	Odstęp pomiędzy ścieżką a padem lub drugą ścieżką	0,15 mm	0,10 mm	0,090 mm	-

Tabela nr 7. Parametry padów oraz przelotek na warstwach wewnętrznych z dwoma ścieżkami pomiędzy padami

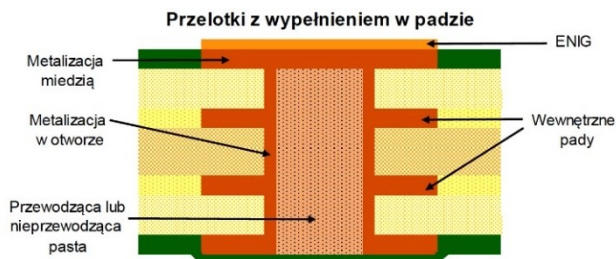
Na dzień dzisiejszy, w związku z miniaturyzacją urządzeń elektronicznych coraz bardziej rozprzestrzenione stają się układy BGA z rastrem 0,4 mm. Przy takich układach nie da się zrealizować wyprowadzenia sygnałów z pomocą przelotek pomiędzy padami. Zamiast tego stosuje się technologię przelotek w padach (via-in-pad). Przelotkę o średnicy kanału w 0,15 mm rozmieszcza się bezpośrednio w padzie układu BGA. Następnie taką przelotkę trzeba wypełnić miedzią lub specjalnym kompaundem aby zapobiec wadom podczas lutowania. Natomiast jako alternatywę polecamy

stosować przelotki w padach o średnicy 0,1 mm wykonane metodą laserową. Tę technologie bardziej szczegółowo opiszemy w następnych rozdziałach.



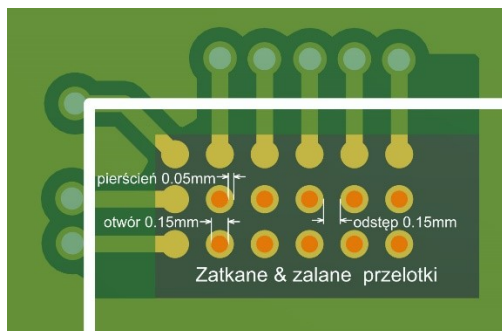
Rys. 9. Trasowanie układu BGA metodą przelotki w padach.

Jak już wspominaliśmy, jeśli przelotka znajduje się bezpośrednio w padzie kontaktowym, powstaje zagrożenie, że podczas lutowania w piecu pasta lutownicza będzie uciekała przez otwory przelotek. Dlatego producent obwodów drukowanych musi wypełnić kanały przelotek specjalnym kompaundem (tanie rozwiązanie), bądź miedzią (droższe rozwiązanie). Po wypełnieniu kanału trzeba nanieść dodatkową warstwę miedzi na powierzchni padów kontaktowych (tenting).



Rys. 10. Wypełnienie przelotek w padach.

Rekomendacje zaprojektowania padów do układów BGA z rastrem 0,4 mm podaliśmy poniżej (patrz rysunek nr 11):



Rys. 11. Fragment obszaru BGA na zewnętrznej warstwie z przelotkami 0,15 mm w padach. Średnica otworu – 0,15 mm; pierścień miedzi wokół otworu w padzie – 0,085 mm; średnica padu kontaktowego – 0,32 mm; odstęp pomiędzy padami – 0,081 mm.

#### 4.6 Przelotki ślepe oraz zagrzebane

Podczas projektowania płytki drukowanej z układami BGA o rastrze 1 mm, czy nawet 0,8 mm, nie ma potrzeby stosowania ślepych lub zagrzebanych przelotek. Natomiast w przypadku układów o rastrze 0,65 mm; 0,5 mm i mniej, prędzej lub później powstanie potrzeba zastosowania nieprzelotowych przelotek.

Dalej będziemy przestrzegać następujących definicji: ślepe przelotki (blind via) - są to otwory łączące zewnętrzną warstwę z jedną lub kilkoma wewnętrznymi. Zagrzebane przelotki (buried via) - to przelotki, niewychodzące na zewnątrz i łączące między sobą sygnały na wewnętrznych warstwach. Mikro przelotki (micro-via lub  $\mu$ Via) – są to otwory o małych średnicach (0,1 – 0,15 mm) i małej głębokości (do 0,08 mm), wykonane

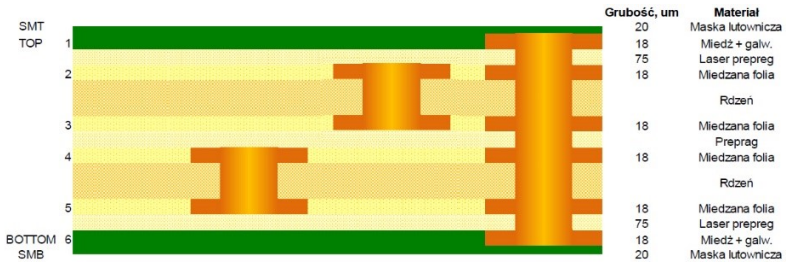
laserem i łączące zewnętrzną warstwę z bliższą wewnętrzną lub dwie bliskich siebie wewnętrznych warstwy.

Warto zaplanować strukturę warstw oraz przelotek jeszcze zanim rozpocznie się trasowanie sygnałów na płytce drukowanej, warto również z góry skontaktować się z producentem obwodów drukowanych i uzgodnić z nim tę strukturę. Czasem zdarza się, że projektanci obwodów drukowanych dobierają strukturę warstw oraz przelotek na podstawie niedokładnej wiedzy o technologii produkcyjnej i mogą wtedy powstać konstrukcje płytek drukowanych, których nie uda się zrealizować w ogóle.

Rozpatrzmy ogólne zasady tworzenia ślepych oraz zagrzebanych przelotek. Zagrzebane przelotki wykonuje się na rdzeniu/rdzeniach wewnętrznych, w taki samy sposób jak zwykłe przelotki. Trzeba jednak brać pod uwagę fakt, że w trakcie metalizacji przelotek w rdzeniu, również następuje osadzanie miedzi na odpowiednich warstwach wewnętrznych należących do tego rdzenia.

			Grubość, um	Materiał
SMT			20	Maska lutownicza
TOP	1		18	Miedz + galw.
			75	Laser prepreg
	2		18	Miedzana folia
				Rdzeń
	3		18	Miedzana folia
			75	Laser prepreg
BOTTOM	4		18	Miedz + galw.
SMB			20	Maska lutownicza

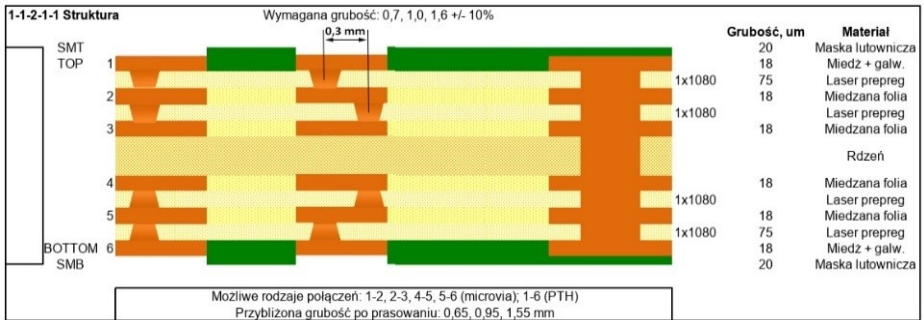
Rys. 12. Struktura czterowarstwowej płytki drukowanej z jednym rdzeniem oraz zagrzebanymi przelotkami, łączącymi warstwy nr 2 i nr 3.



Rys. 13. Struktura sześciowarstwowej płytki drukowanej z dwoma rdzeniami oraz zagrzebanymi przelotkami, łączącymi warstwy nr 2 i nr 3 oraz/lub warstwy nr 4 i nr 5.

W przypadku płytki drukowanej jak na rysunku nr 12 najpierw w rdzeniu są wykonywane otwory (przelotki zagrzebane), potem robi się metalizację tych otworów. Dalej z każdej strony rdzenia nakładane są prepregi i do prepregów klejona jest folia miedziana. Dalej wiercone są otwory przez cały pakiet (przelotki oraz otwory przewlekane) i znów robiona jest metalizacja tym razem otworów przelotowych.

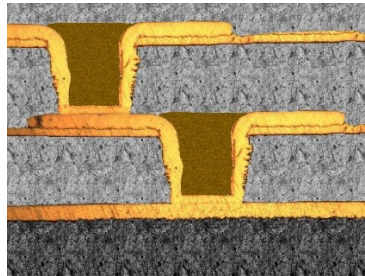
Na rysunku nr 13 pokazana jest struktura sześciowarstwowej płytki drukowanej z dwoma wariantami przelotek zagrzebanych. Przy takiej strukturze, lub inaczej stosie warstw (layer stack-up), na samym początku są wiercone i metalizowane otwory w dwóch wewnętrznych rdzeniach (przelotki zagrzebane łączące warstwy 2-3 oraz/lub 4-5). Potem z tych rdzeni oraz warstwy prepregu pomiędzy nimi prasuje się pakiet wewnętrzny. Na tym etapie istnieje możliwość wiercenia otworów przez ten pakiet z metalizacją, czyli tworzeniem dodatkowych przelotek zagrzebanych łączących warstwy 2-3-4-5 (nie są pokazane na rysunku nr 13). Dalej z każdej strony pakietu nakładane są prepregi i do prepregów klejona jest folia miedziana, czyli powstają warstwy TOP i BOTTOM. Na koniec znowu wiercone są otwory przez całą płytkę (przelotki oraz otwory przewlekane) i znów robiona jest metalizacja otworów przelotowych.



Rys. 14. Ślepe przelotki

Ostatnio coraz częściej używa się ślepych przelotek wykonywanych w technologii mikrootworów metodą laserową. Takie przelotki robi się w pakiecie po prasowaniu, czyli w zewnętrznych warstwach pakietu lub całkowitej płytki. Potem następuje metalizacja tych małych ślepych otworów jednocześnie z metalizacją otworów przelotowych.

Na rysunku nr 15 można zobaczyć zdjęcie dwóch poszczególnych mikro przelotek łączących warstwy 1 i 2 oraz 2 i 3.



Rys. 15. Laserowe mikro przelotki

Jeden z podstawowych parametrów mikro przelotek, ich głębokość, nie powinna przekraczać wartości ich średnicy, ponieważ w przeciwnym razie nie można zagwarantować jakościowej metalizacji ścianek takich

otworów. Pomiedzy warstwami, które łączą mikro przelotki układa się cienki, nie więcej niż 0,1 mm prepreg. Dość często zamiast takich prepregów stosuje się inny specjalny materiał – RCC (Resin Coated Copper), czyli folię z naniesioną żywicą, którą używa się do tworzenia zewnętrznych warstw. Ten materiał powstał z myślą o płytkach z mikro przelotkami, i w odróżnieniu od zwykłych materiałów nie zawiera nici z włókna szklanego, co jakościowo wpływa na wykonanie laserowych otworów.

Należy pamiętać, że wykonanie mikro przelotek bezpośrednio nad zwykłymi zagrzebanymi przelotkami nie jest niemożliwe, ponieważ w tym miejscu w wewnętrznej warstwie znajduje się nie całkowity pad, a raczej miedziany pierścień z otworem w środku.

Przy projektowaniu obwodów drukowanych z mikro przelotkami należy pamiętać, że na warstwach zewnętrznych nie mogą być stosowane materiały typu Ro4003 i inne, przeznaczone do zakresów bardzo wysokich częstotliwości.

Zawsze natomiast można zastosować hybrydowe struktury, w których wewnętrzne warstwy, należące do rdzeni będą wykonane z materiałów do wysokiej częstotliwości, a zewnętrzne - ze standardowego wysokotemperaturowego materiału typu FR4 HighTg.

Zalecamy podczas projektowania wielowarstwowych obwodów drukowanych zapytać u producenta obwodów o typowe struktury warstw, oraz o możliwe rodzaje przelotek w wybranej strukturze. Więcej na ten temat można dowiedzieć się dzwoniąc do naszego biura lub pobierając broszury nr 2 oraz nr 3 na naszej stronie internetowej.

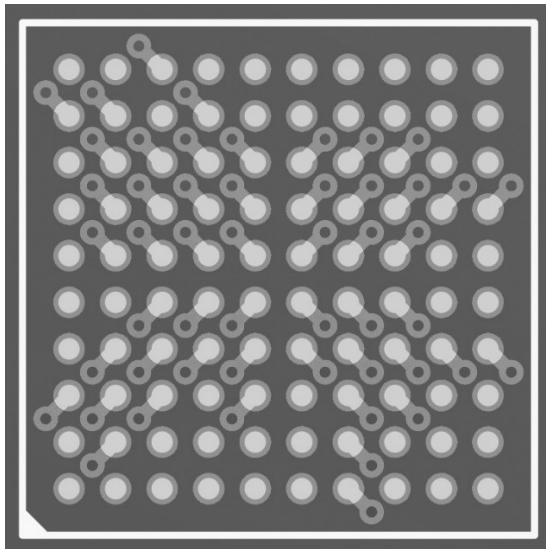
#### **4.7 Stosowanie metody Fanout**

W przypadku BGA z dużą ilością wyprowadzeń, stosowanie metody fanout (od ang. fan out – rozłożyć równolegle), czyli połączenia każdego padu kontaktowego BGA z przelotką rozmieszczoną obok tego padu w sposób tworzący regularną mozaikę, jest koniecznie wymagany. Stosowanie



tej metody pozwala znacznie skrócić czas projektowania. W praktyce, przy układach, liczne wyprowadzenia które tworzą prostokątną matrycę, podczas trasowania sygnałów powodują wielokrotny wzrost ryzyka zablokowania dostępu do którejś części tych padów, więc bez metody fanout trasowanie sygnałów jest możliwe tylko w przypadku układów z niewielką ilością wyprowadzeń.

W przypadku, kiedy pod układem BGA z drugiej strony płytki drukowanej nie ma innych podzespołów, zastosowanie metody fanout jest dość prostym zadaniem. Metoda ta polega wtedy na rozłożeniu przelotek w kierunku od centrum układu na zewnątrz i podzieleniu ich na kwadranty (patrz rysunek nr 16).



Rys. 16. Metoda fanout

Największą trudność stanowi planowanie fanout dla BGA z nieregularnym masywem wyprowadzeń, lub kiedy pod układem z drugiej strony płytki są inne podzespoły.

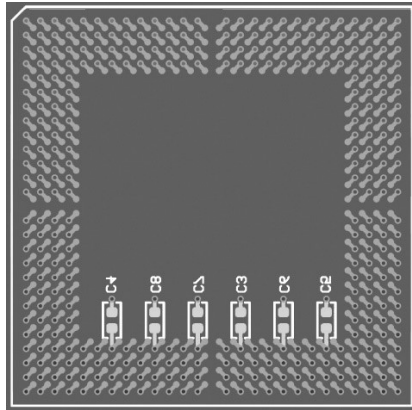
Dla peryferyjnych padów BGA, ścieżki od których mogą być wyprowadzone bez przejścia na inną warstwę (zwykle to pady zewnętrznych dwóch rzędów) zastosowanie fanout nie jest wymagane. Wyjątek stanowią kontakty BGA, które musimy połączyć z warstwami uziemienia i zasilania.

#### 4.8 Kondensatory blokujące

Kondensatory blokujące to kondensatory, które bocznikowo zasilają układ scalony i działają jako lokalne źródło zasilania. Jest to niezbędne do tłumienia zakłóceń elektrycznych o wysokiej częstotliwości w obwodach na płycie drukowanej. Są one włączane między obwodami zasilania.

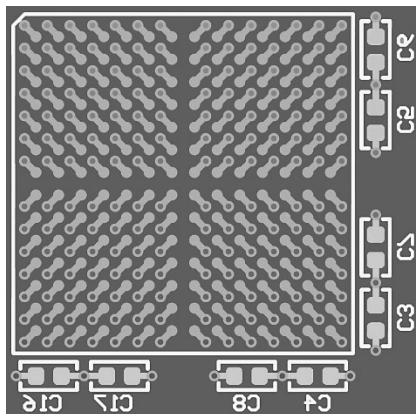
Podczas rozmieszczenia kondensatorów blokujących na obwodzie drukowanym ważne jest, aby zminimalizować długość przewodników łączących ten kondensator a wyprowadzenie zasilania układu. W przeciwnym przypadku własna pasożytna indukcyjność przewodników drukowanych rekompensuje korzyści uzyskane z użycia kondensatora blokującego. Również ważnym zadaniem jest dobór wartości tych kondensatorów, biorąc pod uwagę parametry układu, wymagania do zasilania oraz warunki w których powinno pracować urządzenie.

Istnieje kilka wariantów rozmieszczenia kondensatorów blokujących w zależności od konfiguracji wyprowadzeń układów BGA. Pierwszy z możliwych wariantów podaliśmy na rysunku nr 17. Ten wariant jest możliwy w przypadku, kiedy układ BGA ma w środku obszar wolny od kulek. Wtedy kondensatory można rozmieścić w tym obszarze z odwrotnej strony płytki drukowanej. Kondensatory należy rozmieścić w taki sposób, aby wyjście zasilania BGA było połączone z kondensatorem najkrótszym odcinkiem przewodnika. Taka orientacja pozostawia większą przestrzeń dla routingu sygnałów.

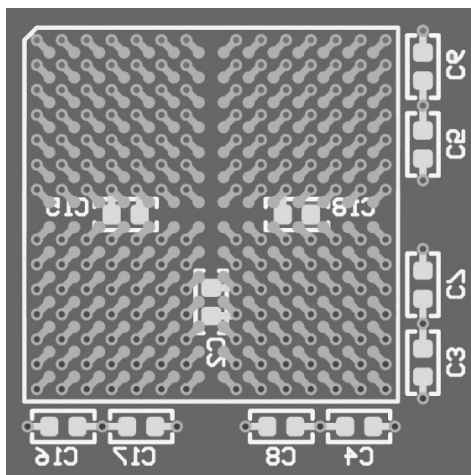


Rys. 17. Przykład rozmieszczenia kondensatorów blokujących

W przypadku BGA z wyprowadzeniami całkowicie pokrywającymi przestrzeń pod układem, jak pokazane na rysunkach nr 18 i 19, kondensatory blokujące nadal powinny być jak najbliżej wyprowadzeń zasilających.



Rys. 18. Przykład rozmieszczenia kondensatorów blokujących w przypadku BGA z dużą ilością padów



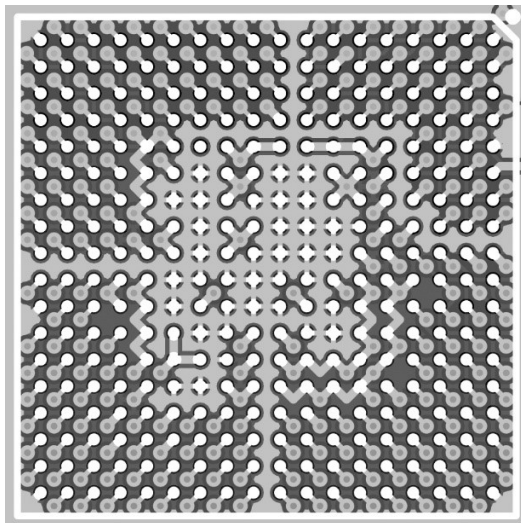
Rys. 19. Jeszcze jeden przykład rozmieszczenia kondensatorów blokujących

Jeśli kondensatory znajdują się po tej samej stronie płytki co i układ BGA, trzeba je rozmieścić blisko obudowy BGA, jak najbliżej wyprowadzeniom zasilania, jedyne biorąc pod uwagę ewentualne wymaganie zachowania odstępu technologicznego wokoło BGA (czasem wymaganego przez firmę montującą lub do ewentualnych napraw w trakcie eksploatacji urządzenia). Najbardziej jednak skuteczne kondensatory oddziałują będąc rozmieszczone na przeciwnej stronie płytki drukowanej.

Niektóre warianty rozmieszczenia kondensatorów blokujących są bardziej preferowane pod kątem najskuteczniejszego działania (patrz rysunek nr 19), natomiast z tym mogą się wiązać pewne mankamenty, na przykład utrudnienia podczas analizy zdjęć rentgenowskich w ramach sprawdzania jakości połączeń lutowanych lub niemożliwość zastosowania szerszych połączeń miedzianych na płytce, służących do doprowadzenia zasilania/uziemia do wewnętrznych kulek układu.

#### 4.9 Wypełnienie poligonami

Nie poleca się wykonywać całkowitych obszarów miedzianych pod układem BGA (patrz rysunek nr 20). Wynika to z tego, że w przypadku, kiedy pad kontaktowy BGA stanowi nieodizolowany miedziany punkt, a raczej część poligonu otwartego oknem w masce przeciwłutowniczej, powstaje ryzyko niedostatecznych połączeń lutowanych, przy czym im bliżej centrum układu, tym wyższe jest to ryzyko. Powodem tego jest odchylenie kształtów połączeń lutowanych w przypadku padów utworzonych oknem w masce od wymaganych kształtów, bazujących na geometrii odizolowanych padów.



Rys. 20. Nieodpowiednie wypełnienie miedzią obszaru pod układem BGA

Następnym wymaganiem któremu trzeba sprostać podczas projektowania płytek drukowanych z układami BGA jest prawidłowy sposób wykonania ścieżek podłączanych do padów kontaktowych. Jeśli szerokość ścieżek będzie większa lub równa rozmiarowi padu, podnosi się ryzyko rozplywania pasty z padu w kierunku ścieżki, przez to na padzie zabraknie

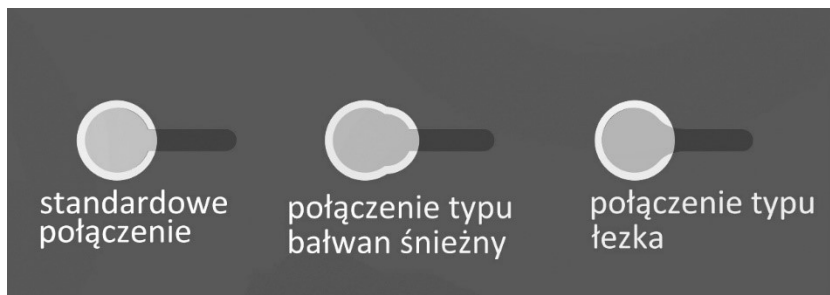
pasty, co negatywnie wpłynie na jakość lutowania kontaktu, a zatem i niezawodności pracy urządzenia

Aby uniknąć tego efektu, przy projektowaniu płytki drukowanej z układem BGA, zaleca się stosowanie zasady trzech kwadransów, która polega na tym, że szerokość ścieżek, doprowadzanych do padów kontaktowych, nie powinna przekraczać 75% ich średnicy. Również, na płycie drukowanej należy ukrywać przelotki znajdujące się pod układem BGA za pomocą maski przeciwłutowniczej.

#### 4.10 Stosowanie metod Teardrops i Snowman

Połączenia w kształcie łezki (teardrops) można stosować w miejscach gdzie ukryta maską ścieżka łączy się z padem otwartym spod maski przeciwłutowniczej. To pomaga zmniejszyć mechaniczne i termiczne obciążenia połączenia lutowanego. Ponadto, pozwala uniknąć zagłębień w których mogą znajdować się pozostałości z procesu trawienia płytki drukowanej, co w konsekwencji może prowadzić do pogorszenia jakości połączeń lutowanych. Takie połączenia można stosować zarówno przy padach SMD, jak i w przypadku padów z otworami (do przewlekanych podzespołów) – patrz rysunek nr 21.

W większości programów CAD do projektowania płytek PCB istnieje możliwość automatycznego wygenerowania połączeń w kształcie łezek, natomiast można je zastąpić ręcznym dodaniem wtórnych padów w miejscu połączenia głównego padu a ścieżki. Taka metoda nazywa się metodą na bałwana (od angielskiego snowman – bałwan śnieżny). Rozmiar wtórnych padów zwykle jest o 0,05 mm mniejszy od głównego padu, a od centrum cofnięty o 0,075 mm w stronę ścieżki.



Rys. 21. a. standardowe połączenie      b. połączenie snowman  
c. połączenie w kształcie łezki

#### 4.11 Fiduciale

Dobłą praktyką jest umieszczenie na płycie drukowanej z BGA markerów referencyjnych, takich jak lokalne fiduciale, oznakowanie obrysu obudowy BGA i indeks pierwszego wyprowadzenia układu. Lokalne fiduciale należy umieścić w dwóch przeciwległych rogach BGA poza gabarytami obudowy. Najczęściej są to otwarte spod maski okrągłe izolowane pady (bez otworu) o średnicy 1 mm z otwarciem w masce 2 mm. Polecane rozmiary, kształty i odległości od obudowy fiduciali należy sprawdzić u producenta. Oznakowanie obrysu BGA lepiej wykonać w postaci zakątek w dwóch przeciwnych lub we wszystkich czterech stronach układu z odstępem 0,25 mm od rzeczywistych wymiarów obudowy. Oznakowanie obudowy BGA można wykonać zarówno na miedzi jak i na warstwie opisowej, polecamy jednak robić to na warstwie miedzianej, z tego powodu, że w tym przypadku oznakowanie oraz pady powstaną jednocześnie na tym samym etapie technologicznym, co wyklucza ewentualne cofnięcia oznakowania względem padów. Oznakowanie obrysu BGA ułatwia podczas inspekcji wizualnej sprawdzenie centrowania układu BGA po montażu. Indeks pierwszego wyprowadzenia BGA lepiej umieszczać na warstwie opisowej (sitodruku). Może być o dowolnym kształcie.

#### **4.12 Uwagi, których trzeba przestrzegać się podczas trasowania BGA**

Podczas projektowania obwodów drukowanych warto pamiętać i wykonywać następujące zalecenia:

1. Wyjaśnić z jakiego materiału zrobione jest podłoże, z jakim rodzajem obudowy BGA mamy do czynienia i jakie są zalecenia producenta dotyczące trasowania układu.
2. Oszacować wymaganą ilość warstw
3. Ustalić z producentem obwodów drukowanych czy ich poziom technologii jest wystarczający do produkcji płytek zawierających BGA z takim rastrem jaki projektujemy
4. Szczegółowo sprawdzić warstwy (płaszczyny) zasilania/uziemienia
5. Ustalić jakie są wymagane odstępstwa wokół obudowy BGA (pod kątem przydatności do montażu/napraw)
6. Oszacować wymagania do odprowadzenia ciepła
7. Rozmieścić układy BGA jeśli można jak najdalej od innych podzespołów o wysokiej gęstości wyprowadzeń
8. Rozmieścić układy BGA jeśli można jak najdalej od krawędzi płytki drukowanej
9. Stosować metodę fanout do wyprowadzenia sygnałów od BGA
10. Nie wypełniać miedzią przestrzeni pod BGA
11. Ukryć maską przeciwłutowniczą wszystkie przelotki pod BGA
12. Przestrzegać się reguły trzech kwadransów odnośnie szerokości ścieżek podłączanych do padów BGA



## 5. Montaż układów BGA na obwodzie drukowanym

### 5.1 Nakładanie pasty lutowniczej

Do montażu układów BGA z kulkami ze stopów eutektycznych Sn63/Pb37 zarówno jak i bezołowiowych typu Sn/Ag/Cu (na przykład PBGA) zalecane jest stosowanie pasty lutowniczej. Chociaż istnieją technologie montażu bazujące na użyciu wyłącznie topników, jednakże montaż na pastę lutowniczą ma szereg zalet:

- Zwilżanie - pasta działa jako topnik, poprawiając zwilżanie kulki lutu i padów kontaktowych
- Brak przesunięcia układów. Pasta ze względu na wysokie napięcie powierzchniowe pomaga utrzymać BGA na swoim miejscu w trakcie obsadzenia i montażu
- Mniej problemów z płaskością. Pasta pomaga wyrównać w niektórych granicach różnice w płaskości kulek i padów
- Regulacja ilości lutu. Pasta jest dodawana do całkowitej ilości lutu w połączeniu lutowanym łączącym kulkę z padem, co pozwala dostosować jego ilość do osiągnięcia najlepszych wyników
- Większy luz - układ bez pasty będzie miał mniejszy (około 0,050 mm) luz z powierzchnią płytki drukowanej, co może obniżyć termiczną niezawodność urządzenia
- Samocentrowanie - zdolność do BGA do samocentrowania będzie większa w przypadku stosowania pasty lutowniczej

W przypadku kulek z topiącego się stopu, do uzyskania rzetelnego połączenia z padem ilość pasty nie jest tak ważna, ponieważ główny wkład w wolumen lutu w połączeniu dodaje sama kulka. W przypadku kulek z wysokotemperaturowego nierozpływającego się stopu Sn10/Pb90, stosowanego w ceramicznych obudowach BGA, bardzo ważnym zadaniem jest nakładanie dokładnej ilości pasty. Zgodnie z IPC-7095 dla formowania rzetelnego połączenia lutowanego podczas montażu CBGA należy użyć co najmniej 0,08 mm<sup>3</sup> i nominalnie 0,12 mm<sup>3</sup> pasty lutowniczej na każdy pad.

Zaleca się używać pasty z topnikiem niewymagającym czyszczenia, ponieważ mycie płytki pod obudową BGA może być utrudnione. Dla większości zastosowań BGA z rastrem 0,8 mm i więcej, właściwym wyborem będzie 3-ci typ pasty zgodnie z klasyfikacją J-STD-005, o wymiarach cząstek lutu 25-45  $\mu\text{m}$ . Do BGA z mniejszym rastrem lepiej wybrać pastę 5-go typu, z rozmiarem cząstek lutu 10-20  $\mu\text{m}$ .

Na proces nakładania pasty znacznie wpływają cechy i jakość wykonania szablonów do pasty. Zalecamy stosowanie szablonów wykonanych ze stali nierdzewnej cięciem laserowym z obowiązkowym polerowaniem elektrycznym. Szczegółowe zalecenia dotyczące projektowania szablonów do pasty lutowniczej są podane w normie IPC-7525.

## 5.2 Wymagania do automatów montujących

Jeśli wasz automat jest w stanie montować obudowy QFP z rastrem do 0,5 mm, to nadaje się również do montażu wszystkich aktualnie produkowanych obudów BGA. W przypadku użycia nowoczesnych automatów do montażu wystarczy aby dokładność pozycjonowania wynosiła 0,050mm.

Do montażu BGA z małym rastrem bardzo pomocna jest dolna kamera, pozwalającą namierzać współrzędne poszczególnych kulek układu BGA a nie tylko przesunięcie całej obudowy. Bardzo wygodne jest, jeśli automat jest w stanie rozpoznać BGA w trybie automatycznym, co znacznie zwiększa wydajność montażu. Konieczne jest, aby automat miał możliwość kontroli nacisku wzdłuż osi z. Zbyt duży nacisk podczas obsadzania układów BGA doprowadzi do wyciskania pasty spod kulek, co będzie skutkowało powstawaniem mostków zwarć podczas rozplływania pasty w piecu. Do zanurzenia kulek na 0,025-0,050 mm w pastę lutowniczą zalecana maksymalna siła docisku wynosi 3 Nm. Z drugiej strony, zbyt mały nacisk może spowodować niedokładne centrowanie układu BGA i doprowadzić do powstania braków połączeń lutowanych.

Podczas przygotowania do montażu warto sprawdzić ograniczenia co do maksymalnych rozmiarów obudów BGA jak i do minimalnych rastrów. Zazwyczaj dostępne są dodatkowe akcesoria do automatów, które pozwalają na zamontowanie dużych obudów z małym rastrem.

### 5.3 Lutowanie płytek z BGA

Najbardziej preferowaną metodą lutowania układów BGA jest lutowanie w piecu z przymusową konwekcją gorącego powietrza. Producenci układów BGA, z reguły nie podają specjalnych zaleceń odnośnie termoprofilu dla pieca, więc dobór profilu bazuje na ogólnych zasadach montażu w piecu. Czujniki temperatury zaleca się ustawiać w taki sposób, aby jeden z nich znajdował się jak najbliżej wewnętrznego rzędu kulek obudowy BGA.

Kulki układów BGA wykonane z wysokotemperaturowego stopu o temperaturze topnienia powyżej 300°C, nie rozpływają się w piecu. To pozwala kontrolować obsadzenie układu i zapewnia bardziej przewidywalną strukturę połączenia lutowanego przy stosowaniu szerokiej gamy past lutowniczych, w tym bezołowiowych. Należy zauważyć, że kulki z wysokotemperaturowego stopu wymagają bardziej precyzyjnej kontroli czasu rozplływania pasty, ponieważ są gorzej zwilżane w porównaniu do kulek ze stopu eutektycznego. Czasem układy BGA z kulkami ze stopów eutektycznych mogą być skłonne do nadmiernego obsadzenia z przyczyny większej wagi układu, rozmiarów padów kontaktowych, większego czasu lutowania w piecu. Takie nadmierne obsadzenie może spowodować zwarcia pomiędzy wyprowadzeniami, osobliwie w narożnikach układu. Aby zapobiec temu problemowi, należy ściśle kontrolować ilość i kształt odcisku pasty na padach zgodnie z nominalną wartością luzu między obudową BGA a płytką, zarówno jak i profil temperaturowy w piecu. Największe dopuszczalne zmniejszenie wysokości kulek wynosi 25% od pierwotnej średnicy.

Czasem podczas lutowania BGA mamy do czynienia z efektem ubytków w połączeniach lutowanych (void). Zgodnie z IPC-A-610D, ubytki są

defektem, tylko wtedy jeśli całkowita powierzchnia pustek przekracza 25% powierzchni przekroju kulki na zdjęciu rentgenowskim. Poniżej tego progu pustki nie są wadami i nie mają większego wpływu na niezawodność połączeń. Należy zauważyć, że ubytki czasem są obecne w kulkach nieużywanych układów jeszcze do etapu lutowania. Część z nich jest zlokalizowana w samych kulkach i jest skutkiem ubocznym produkcji kulek, a część znajduje się w pobliżu granicy kulka/pad obudowy BGA i jest konsekwencją procesu napawania kulek do obudowy.

W razie potrzeby (na przykład, do zastosowań krytycznych), warto organizować kontrolę wstępną obudów BGA w celu wykrycia obecności i wielkości ubytków. Metoda organizacji kontroli wejściowych i wyjściowych w celu wykrycia ubytków według różnych kryteriów akceptacji jest szczegółowo opisana w IPC-7095.

Oddzielnym przypadkiem kontroli pustek jest sytuacja, kiedy w padach kontaktowych na płytce drukowanej są przelotki. W tym przypadku kryteria akceptacji montażu powinny być indywidualne ustalone przez klienta i dostawcę usług montażu.

W celu zmniejszenia prawdopodobieństwa powstania ubytków w połączeniach lutowanych należy podjąć następujące przeciwdziałania:

- Wrażliwość na wilgoć. Ściśle przestrzegać zaleceń producenta układów BGA, dotyczących czułości komponentów co do wilgotności.
- Jakość i ilość pasty. Należy nanosić odpowiednią ilość pasty lutowniczej aby zagwarantować wysokiej jakości połączenia lutowane. Nie należy używać pasty, której wygasł termin przechowywania. Przed montażem, konieczna może okazać się 100%-inspekcja jakości nakładania pasty na pady.
- Nie dopuszczać zbyt dużej różnicy w rozmiarach padów kontaktowych na płytce co do rozmiarów kulek. Polecamy posługiwać się tabelą nr 4 do prawidłowego wyboru rozmiaru padów.

- Prawidłowy profil temperaturowy w piecu. Powstanie ubytków możliwe jest zarówno przy użyciu profili RSS, jak i RTS (dla RTS stwierdzono nieznacznie większą ilość pustek w połączeniach lutowanych). Szczególną uwagę należy zwrócić na proces wyparowania rozpuszczalnika z pasty lutowniczej, od którego zależy powstawanie pustek, nie dopuszczając do zbyt szybkiego nagrzewania pasty. Niektórzy producenci past lutowniczych opracowują specjalne profile zmniejszające efekt pustek.
- Specjalne pasty lutownicze low void. Dobre wyniki daje stosowanie past lutowniczych specjalnie zaprojektowanych w celu zmniejszenia ubytków w połączeniu lutowanym.

#### **5.4 Mycie płytek z BGA**

Zalecamy stosować materiały do montażu BGA niewymagające mycia, ponieważ usunięcie topnika spod obudowy BGA jest bardzo utrudnione. Jeśli z jakichkolwiek przyczyn mycie płytek po montażu jest wymagane, warto przestrzegać zaleceń producenta układów BGA i korzystać tylko z past, topników, płynów do mycia lub rozpuszczalników które są kompatybilne z materiałami obudowy BGA. Warto również w odpowiedni sposób dobierać technologie mycia płytek drukowanych. Na przykład - mycie ultradźwiękiem, przy całej jego skuteczności, niestety, nie jest kompatybilne z wieloma podzespołami elektronicznymi, w tym z niektórymi BGA.

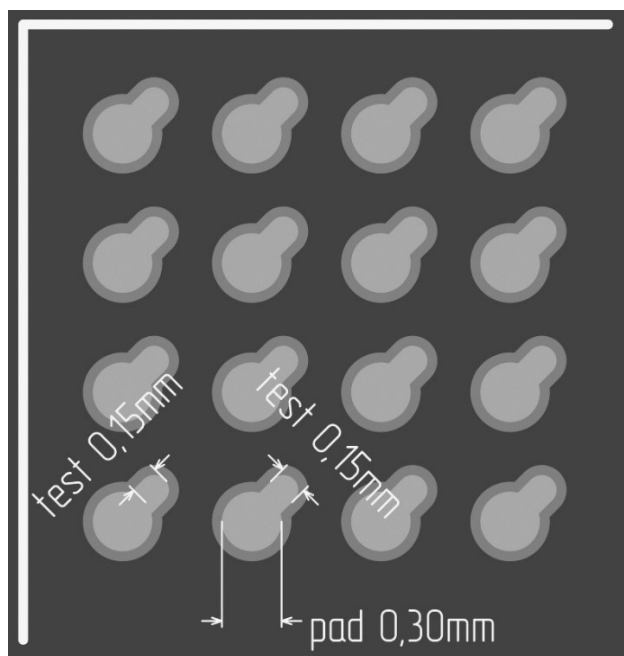
#### **5.5 Nanoszenie powłok chroniących oraz kompaundów wypełniających**

Powłoki wilgocioodporne (Conformal Coating) powinny spełniać wymagania IPC-CC-830 i mogą stanowić następujące typy: akrylowe (AR), epoksydowe (ER), uretanowe (UR), silikonowe (SR) lub paraksylenowe (XY). Warto kierować się zaleceniami producenta BGA podczas wyboru rodzaju pokrycia wilgocioodpornego i sposobu jego nakładania.

Kompaundy wypełniające (Underfill/Stacking) (kompozycje polimerowe na bazie różnych polimerów lub monomerów, przeznaczone do wypełnienia lub impregnacji przewodzących elementów płytki oraz podzespołów w celu ich izolacji) są nakładane pod obudowę BGA (lub po krawędziach BGA). Stosuje się je w celu nadania większej sztywności połączenia obudowy BGA z płytką, zarówno w celu zmniejszenia niedopasowania współczynników rozszerzalności cieplnej płytki jak i obudowy BGA. Stosowanie kompaundów zwiększa niezawodność i trwałość urządzeń elektronicznych, jednak jednocześnie znacznie utrudnia lub nawet uniemożliwia naprawy BGA.

## 5.6 Kontrola połączeń lutowanych w płytkach z BGA

Wizualna kontrola jakości połączeń lutowanych w przypadku obudowy BGA czasem jest ograniczona i ma swoją specyfikę. Sprzęt do kontroli wizualnej pozwala kontrolować nie więcej niż dwa zewnętrzne rzędy wyprowadzeń. Światłowodowy system wizualizacji pozwala kontrolować przekrzywienia obudowy w kierunku pionowym, czy też brak lub obecność kolapsu kulek. Kontrola rentgenowska charakteryzuje się dużymi potencjalnymi możliwościami weryfikacji jakości, ale niestety wymaga komentarza osoby technicznie doświadczonej w tematach zdjęć rentgenowskich połączeń lutowanych. Zazwyczaj rentgenowski sprzęt kontrolny wyposażony jest w oprogramowanie umożliwiające ocenę pewnych cech połączeń lutowanych w trybie automatycznym, ale wiąże się to z pewnymi wymaganiami projektowania płytek drukowanych z BGA. Przykładowo do analizy w trybie automatycznym będą wymagane specjalne wskaźniki zwilżalności padów kontaktowych, które trzeba dodać do padów na etapie projektowania płytki.



Rys. 22. Wskaźniki zwilżalności padów

## 6. Podsumowanie

W niniejszej broszurze rozpatrzyliśmy główne aspekty stosowania obudów BGA w urządzeniach elektronicznych. Mamy nadzieję, że powyższe informacje będą pomocne i pozytywnie wpłyną na wybór projektanta odnośnie stosowania układów BGA w swoich produktach. Dzięki ponad 15-oletniej historii obudowy BGA stały się zjawiskiem zwykłym w branży elektronicznej, podstawowe problemy związane z ich zastosowaniem są rozwiązywalne i standaryzowane.

## 7. Kontakty

W razie jakichkolwiek pytań zachęcamy do kontaktu z nami. Dzięki temu zawsze uzyskacie Państwo wyczerpujące informacje zarówno w zakresie projektowania i konstrukcji obwodów, jak również praktyczne informacje określające czas wykonania i dostawy obwodów. Zawsze chętnie i z przyjemnością dzielimy się naszą wiedzą oraz doświadczeniem, a także dbamy o najwyższą jakość wykonywanych przez nas obwodów, co może potwierdzić grono naszych klientów w Polsce i poza granicami kraju.

Bardzo chętnie przygotujemy również szczegółowy kosztorys produkcji obwodów drukowanych. Dzięki temu będziecie Państwo mogli od razu po wykonaniu projektu poznać koszt produkcji zarówno pierwszej partii prototypowej, jak i również koszt produkcji seryjnej.

Nasze biuro mieści się w Warszawie przy ulicy Aleje Jerozolimskie 214.

Można też skontaktować się z nami telefonicznie pod numerem (22) 335-98-26, oraz 500-742-225 lub napisać do nas wiadomość na adres e-mail: [biuro@nanotech-elektronik.pl](mailto:biuro@nanotech-elektronik.pl)

Z poważaniem,

Zespół Nanotech Elektronik Sp. z o.o.