

INŻYNIERIA MATERIAŁOWA II

Połączenia lutowane spoiwa i pasty lutownicze

Tworzenie połączeń elektrycznych

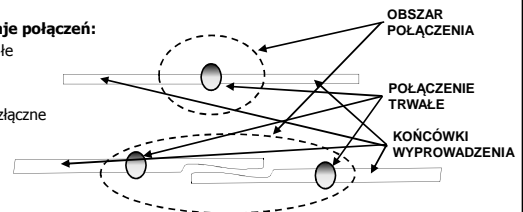
Definicja połączenia elektrycznego elementów:

Wyprowadzenia metalowe dwóch elementów są połączone elektrycznie jeżeli elektrony z siatki krystalicznej jednego metalu mogą się przemieszczać swobodnie do siatki krystalicznej drugiego.

Rodzaje połączeń:

- Stałe

- Rozłączne



Tworzenie połączeń elektrycznych

Łączone elementy:

- Naturalną cechą powierzchni elementów metalowych jest:
 - ✓ **CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI;**
 - ✓ **WARSTWY IZOLACYJNE (NA POWIERZCHNI TAKICH MATERIAŁÓW JAK Cu, Ag, Al, STOPY CYNY, W SKUTEK REAKCJI ZE SKŁADNIKAMI ATMOSFERY NP.: TLEN, SIARKA TWORZĄ SIĘ WARSTWY IZOLACYJNE O GRUBOŚCI 0,1 MIKROMETRA);**
- Aby uzyskać odpowiednie połączenie elektryczne należy usunąć warstwę izolacyjną => mała rezystancja połączenie; możliwy przepływ prądu elektrycznego.

Tworzenie połączeń elektrycznych

Różne techniki tworzenia połączeń stałych:

- Z wprowadzeniem dodatkowej fazy łączącej

- ✓ LUTOWANIE;
- ✓ ZGRZEWANIE;
- ✓ KLEJENIE;

- Z wykorzystaniem naprężeń stykowych

- ✓ OWIJANIE;
- ✓ ZACISKANIE;
- ✓ ZAKLESZCZANIE.



Tworzenie połączeń rozłącznych jedynie poprzez naprężenia stykowe nie przekraczające granicy sprężystości materiałów

Tworzenie połączeń elektrycznych

Tworzenie połączeń stałych z dodatkowa fazą łączącą:

- Proces tworzenia połączenia:
 - ✓ **LUTOWANIE – CHWILOWE STOPIENIE ŁĄCZĄCEGO STOPU;**
 - ✓ **ZGRZEWANIE – STOPIENIE PRZYPOWIERZCHNIOWEJ WARSTWY ŁĄCZONYCH METALI;**
 - ✓ **KLEJENIE – TRWAŁA ZMIANA STANU SKUPIENIA KLEJU;**
- Usuwanie warstwy izolacyjnej:
 - ✓ **TOPNIKI (LUTOWANIE);**
 - ✓ **ROZPUZSZCZALNIKI (ZGRZEWANIE LUB KLEJENIE).**

Tworzenie połączeń elektrycznych

Tworzenie połączeń stałych z wykorzystaniem naprężeń stykowych:

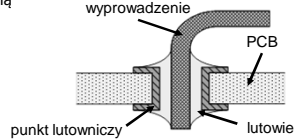
- Proces tworzenia połączenia:
 - ✓ **ZBLIŻENIE ŁĄCZONYCH POWIERZCHNI NA ODLEGŁOŚCI ATOMOWE**
 - ✓ **TWORZĄ SIĘ ODKSZTAŁCENIA NA POZIOMIE MIKRONIERÓWNOŚCI**
- Usuwanie warstwy izolacyjnej:
 - ✓ **W WYNIKU DZIAŁANIA NAPRĘŻEN WYWOŁANYCH NACISKIEM**



Połączenia lutowane

Montaż – połączenia lutowane:

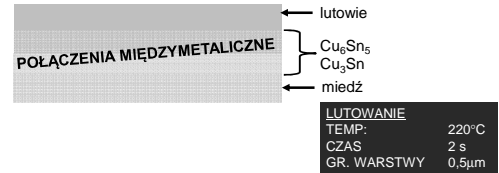
- Lutowanie jest procesem polegającym na łączeniu elementów metalowych za pomocą dodatkowego roztopionego metalu zwanego lutem (spoiwem).
- Temperatura topnienia lutu jest znacznie niższa od temperatury topnienia łączonych metali (W ELEKTRONICE STOSUJE SIĘ NAJCZĘŚCIEJ TZW. **LUTOWANIE MIĘKKIE** => TEMP. TOPNIENIA LUTU < 450°C).
- Połączenia lutowane stanowią obszary łączonych metali pokryte lutem wraz z tym lutem.



Połączenia lutowane

Połączenie lutowane powstaje w wyniku zajścia szeregu zjawisk:

- zwilżenie łączonych powierzchni,
- wnikiwanie lutu w nierówności łączonych metali,
- dyfuzji,
- powstawania związków międzymetalicznych (łączony metal-lut).



Połączenia lutowane

Budowa połączenia lutowanego zależy od:

- składu chemicznego łączonych metali i lutu,
- właściwości fizycznych łączonych metali i lutu,
- temperatury procesu,
- odległości między łączonymi powierzchniami,
- sposobów ochrony złącza przed utlenianiem,
- czystości łączonych powierzchni,
- metody lutowania,
- ...

Spoiwa lutownicze - luty

Wymagania stawiane lutom:

- dobre zwilżanie łączonych metali przez lut,
- powinowactwo chemiczne lutu do metali łączonych,
- jak najmniejszy zakres krystalizacji lutu,
- dostateczna wytrzymałość mechaniczna i plastyczność,
- dobra przewodność elektryczna,
- zbliżone współczynniki rozszerzalności cieplnej lutu i łączonych metali,
- dobra i w miarę zbliżona odporność lut i metali łączonych na korozję,
- trudne utlenianie lutu w stanie ciekłym,
- brak drogich, deficytowych i szkodliwych dla zdrowia pierwiastków.

Spoiwa lutownicze - luty

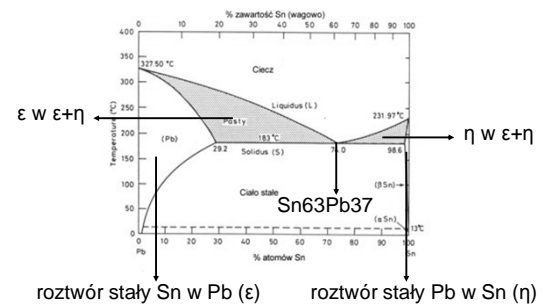
Luty:

- Podstawowym składnikiem lutów jest CYNA – Sn;
- Przemiana alotropowa Sn w temperaturze 13,2°C => „zaraza cynowa”;
- Przeciwdziałanie „zarazy cynowej” – dodatek 5% ołowiu; 0,5% antymonu; lub 0,1% bizmutu

Spoiwa lutownicze - luty

Luty ołowiane:

Wykres fazowy stopu cyna – ołów (SnPb)



Spoiva lutownicze - luty

Właściwości połączenia eutektycznego SnPb:

- Niska temperatura topnienia (183°C);
- Dodatek ołowiu zmniejsza skłonność do rozpuszczania Cu i Ag w lutowiu;
- Silne mechaniczne połączenie z: Cu, Sn, Pb, Ag, Au (Pb zmniejsza napięcie powierzchniowe Sn i poprawia zwilżalność);
- Odporność na utlenianie w trakcie eksploatacji urządzenia;
- Niska rezystancja;
- Doskonała znajomość technologiczna procesu lutowania z SnPb.

Spoiva lutownicze - luty

Konieczność zastąpienia spoiwa SnPb:

- Dyrektywa Unii Europejskiej nr 2002/95/EC „Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment” (RoHS) czyli dyrektywa o ograniczeniu stosowania określonych substancji niebezpiecznych;
- Nowelizacja prawa w krajach członkowskich do 13 sierpnia 2004;
- Przewidywany termin wprowadzenia technologii bezołowiowej - do 31 grudnia 2005;
- Ostateczny termin dostosowania technologii – 1 lipca 2006.

Spoiva lutownicze - luty

Luty bezołowiowe:

Skład spoiwa (% masy)							Temp. (°C)	
Sn	Pb	Ag	Cu	In	Bi	Ga	sol.	liq.
63	37						183	183
62	36	2					179	179
92		3,3			4,7		210	215
90		3,3		3,7	3		206	211
83,4		4,1	0,5	12			185	195
93		0,5	6			0,5	209	214
96,5		3	0,5				217	219
95,7		3,6	0,7				217	218
95,5		4	0,5				217	219
96		2,5	0,5		1		214	218
96,5		3,5					215	221

Spoiva lutownicze - luty

Luty bezołowiowe SAC i SAC+X+Y:

- Temperatura solidusu ponad 30°C wyższa niż w przypadku SnPb;
- Znacząco twardsze i sztywniejsze materiały niż SnPb;
- Wysoka zawartość cyny powoduje niebezpieczeństwo powstawania „wąsów” (whiskersów);
- Większa różnorodność powstających defektów;
- Odporność na uszkodzenia zmęczeniowe maleje wraz z zawartością Ag;
- Odporność na udary mechaniczne rośnie wraz z zawartością Ag.

Topniki

Topniki - wymagania:

- temperatura topnienia niższa, a temperatura wrzenia wyższa od temperatury topnienia lutu;
- obojętność chemiczna względem lutowanych metali i lutu, agresywność wobec warstwy tlenków i innych związków niemetalicznych;
- wypływanie pozostałości topnika i rozpuszczonych w nim związków na powierzchnię lutu;
- łatwe usuwanie resztek topnika i powstałego żużla;
- niezmienność składu chemicznego i właściwości przy dłuższym przechowywaniu;
- brak składników szkodliwych dla zdrowia i środowiska.

Topniki

Topniki można podzielić na trzy grupy:

- typu no-clean, low solid (nie wymagające mycia, o małej zawartości części stałych),
- oparte na żywicach syntetycznych bądź naturalnych (np. kalafioniowe),
 - ✓ w celu zwiększenia ich aktywności dodaje się aktywatory;
 - ✓ zaleca się usuwanie pozostałości tych topników po procesie lutowania;
- wodne,
 - ✓ topniki wysokoaktywne, które muszą być zmywane po procesie lutowania;
 - ✓ zmywanie z wykorzystaniem podgrzewanej wody pod ciśnieniem;

Pasty lutownicze

Pasty lutownicze:

Wykorzystywane w lutowaniu rozplwowym.

Skład past lutowniczych:

- LUT - proszek lutowniczy (około 90% proporcji wagowej; 50% proporcji objętościowej)
- NOŚNIK (około 10% proporcji wagowej; około 50% proporcji objętościowej)
 - ✓ Topnik
 - ✓ Rozpuszczalniki
 - ✓ inne



Pasty lutownicze

Pasty lutownicze – podstawowe zadania:

- wymagania stawiane spoiwom;
- stabilizacja elementów elektronicznych w czasie układania i lutowania;
- możliwość drukowania lub dozowania ciśnieniowego;
- oczyszczanie pól lutowniczych i końcówek elementów przed fazą zasadniczego lutowania;
- dobra zwilżalność;
- uniemożliwienie dostępu tlenu do lutu w trakcie lutowania i krzepnięcia.

Pasty lutownicze

Pasty lutownicze – właściwości reologiczne:

- Reologia (*rheos* – prąd, nurt; *logos* – nauka) nauka o prawach powstawania i narastania w czasie odkształceń mechanicznych materiałów w różnych warunkach termodynamicznych i fizykochemicznych.
- Nauka o deformacji i płynięciu materiałów pod wpływem sił odkształcających.
- Podstawowym parametrem decydującym o właściwościach reologicznych materiałów jest lepkość.

Pasty lutownicze

Pasty lutownicze – właściwości reologiczne:

Tiksotropowość: izotermiczna zmiana konsystencji cieczy pod wpływem ruchu mechanicznego, która utrzymuje się przez pewien czas po ustaniu działania siły.

Zjawisko to manifestuje się inną lepkością pasty w trakcie jej tłoczenia i po nałożeniu na pola lutownicze

Pasty lutownicze

Pasty lutownicze – podstawowe właściwości:

- kleistość
- osiadanie
- koalescencja
- zwilżalność
- zawartość zanieczyszczeń jonowych

Pasty lutownicze

Nanoszenie past lutowniczych:

- Z dozownika – średnica igły większa niż 7-krotność (standardowo 10-krotność) średnicy największych ziaren w paście;
- Drukiem przez sito (aktualnie metoda mało popularna);
- Drukiem przez szablony.

Pasty lutownicze

Pasty lutownicze – szablony:

- Szerokość okna w szablonie ograniczona wielkością ziaren w pastce lutowniczej;
- Grubość szablonu ograniczona wymiarem charakterystycznym okien w szablonie ze względu na:
 - ✓ druk pasty
 - ✓ odrywanie szablonu od PCB
- Grubość szablonu ograniczona rozstawem wyprowadzeń elementów.

Lutowność

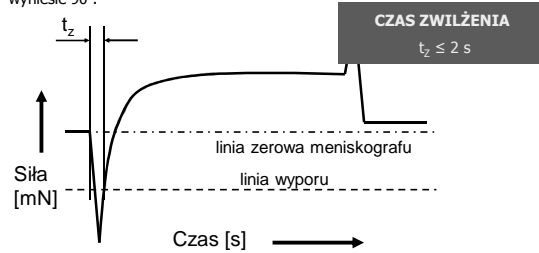
Połączenie lutowane – lutowność:

LUTOWNOŚĆ – PODATNOŚĆ POWIERZCHNI METALU NA ZWILŻANIE PRZEZ LUT W OKREŚLONYCH WARUNKACH (UWZGLĘDNIAJĄC STRUKTURĘ I STAN POWIERZCHNI, RODZAJ ZASTOSOWANEGO TOPNIKA, SKŁAD LUTU, CZAS I TEMPERATURA LUTOWANIA)

Lutowność

Badanie lutowności:

Czas zwilżenia t_z [s]- czas od momentu zetknięcia się testowej płytki miedzianej z powierzchnią roztopionego stopu lutowniczego do momentu gdy kąt zwilżenia wyniesie 90° .

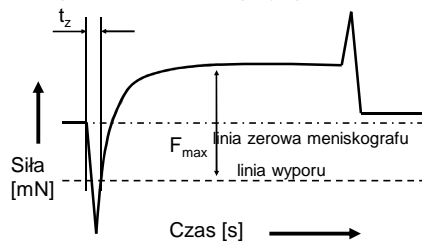


Lutowność

Badanie lutowności:

Maksymalna siła zwilżenia $P_{max} = F_{max} / L$
 F_{max} [mN] – siła zwilżania
 L – długość zanurzenia metalicznej części próbki

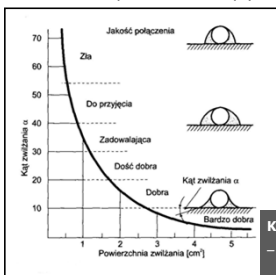
MAKSYMALNA SIŁA ZWILŻENIA
 $P_{max} \geq 120 \text{ mN/m}$



Lutowność

Lutowność – kąt zwilżenia:

Zależność kąta zwilżenia od powierzchni rozplwywu



INŻYNIERIA MATERIAŁOWA II

Połączenia elektryczne,
połączenia lutowane i błędy lutownicze

Połączenia lutowane

Metody lutowania:

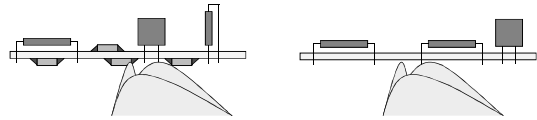


Lutowanie na fali

Montaż powierzchniowy – operacje technologiczne poprzedzające

lutowanie na fali:

- Dozowanie/drukowanie kleju
- Układanie elementów
- Utwardzanie kleju
- Odwracanie płytki



Lutowanie na fali

Fazy procesu lutowania na fali:

- Topnikowanie
- Podgrzewanie wstępne
- Podgrzewanie wtórne
- Lutowanie na fali

Lutowanie na fali

Fazy procesu lutowania na fali:

- Topnikowanie
 - ✓ METODA PIANOWA
 - ✓ METODA FAŁOWA
 - ✓ METODA NATRYSKOWA
- Podgrzewanie wstępne
- Podgrzewanie wtórne
- Lutowanie na fali

Grubość warstwy mokrego topnika
3 – 20 mikrometrów

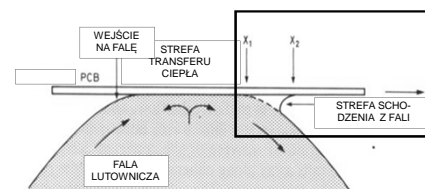
Lutowanie na fali

Fazy procesu lutowania na fali:

- Topnikowanie
- Podgrzewanie (wstępne+ wtórne)
 - ✓ **CEL:**
 - Podgrzanie płytki podłożowej (eliminacja szoku cieplnego, który może powodować uszkodzenie elementów oraz odkształcenia PCB; przyspieszenie lutowania i skrócenie osiągania przez płytkę temp. ciekłego lutu).
 - Odparowanie rozpuszczalnika;
 - Uaktywnienie topnika;
 - ✓ **ŹRÓDŁA CIEPŁA:**
 - Gorące powietrze;
 - Promienniki bliskiej i dalekiej podczerwieni.
- Lutowanie na fali

Lutowanie na fali

Lutowanie na fali:



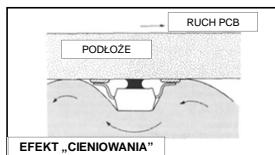
- Lutowie odrywa się od zwilżonych powierzchni w punkcie X_2 a niezwilżonych w punkcie X_1
- $X_2 - X_1$ może wynieść nawet 25 mm

Lutowanie na fali

Lutowanie na fali:

POJEDYNCZEJ

- ✓ Fala stacjonarna (LAMINARNA) – płytka powinna poruszać się z tą samą prędkością co wypływający lut => eliminacja „sopli”; wada: efekt cieniowania;
- ✓ Fala strumieniowa (TURBULENTNA) – eliminacja efektu cieniowania; wada: niewystarczająca do usunięcia nadmiaru lutowia z łączonych powierzchni; efekt mostkowania, kuleczkowanie.

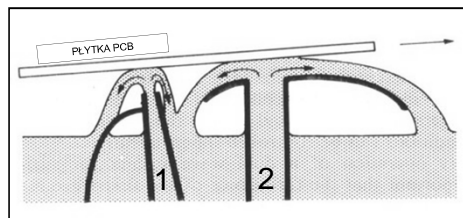


Lutowanie na fali

Lutowanie na fali:

PODWÓJNEJ

- ✓ Fala laminarna + turbulentna (pierwsza fala jest falą turbulentną o wysokiej dynamice przepływu; druga fala jest falą laminarną o wysokiej skuteczności w usuwaniu nadmiaru lutowia z łączonych powierzchni)



Lutowanie rozpliwowe

Montaż powierzchniowy – operacje technologiczne poprzedzające

lutowanie rozpliwowe:

- Nanoszenie pasty lutowniczej
 - ✓ Z dozownika;
 - ✓ Drukiem przez sito;
 - ✓ Drukiem przez szablon.
- Układanie elementów

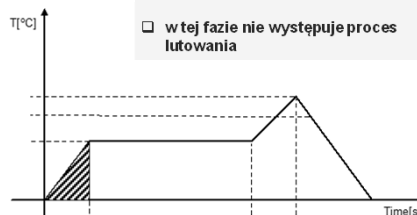
Lutowanie rozpliwowe

Fazy procesu lutowania rozpliwowego:

▪ Nagrzewanie wstępne

- Wygrzewanie
- Rozpliw
- Chłodzenie

- uwolnienie substancji nośnych z pasty, typowy gradient temperatury -2°C/s; temperatura końcowa: 120°C – 160°C
- w tej fazie nie występuje proces lutowania



Lutowanie rozpliwowe

Fazy procesu lutowania rozpliwowego:

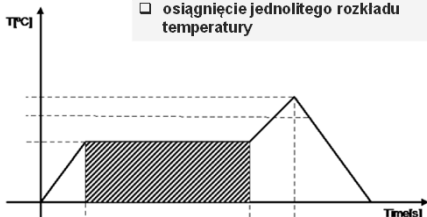
▪ Nagrzewanie wstępne

▪ Wygrzewanie

▪ Rozpliw

▪ Chłodzenie

- aktywacja topnika w całej objętości pasty, temperatura powyżej 145°C, czas 30s-150s
- osiągnięcie jednolitego rozkładu temperatury



Lutowanie rozpliwowe

Fazy procesu lutowania rozpliwowego:

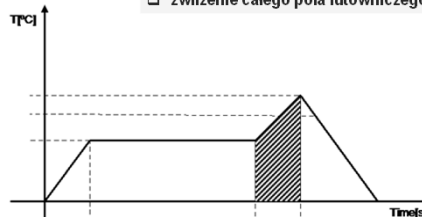
▪ Nagrzewanie wstępne

▪ Wygrzewanie

▪ Rozpliw

▪ Chłodzenie

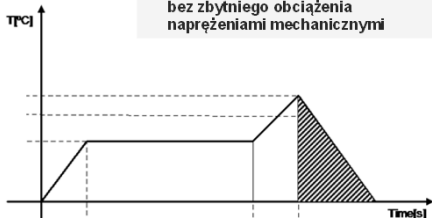
- stopienie składników metalicznych (temp 215-220°C, czas 30s-90s)
- zwilżenie całego pola lutowniczego



Lutowanie rozpliwowe

Fazy procesu lutowania rozpliwowego:

- Nagrzewanie wstępne
 - Wyrzewanie
 - Rozpliw
 - Chłodzenie
- wytworzenie połączenia elektrycznego i mechanicznego
 - jak najszybsze schłodzenie płytki bez zbytniego obciążenia naprężeniami mechanicznymi



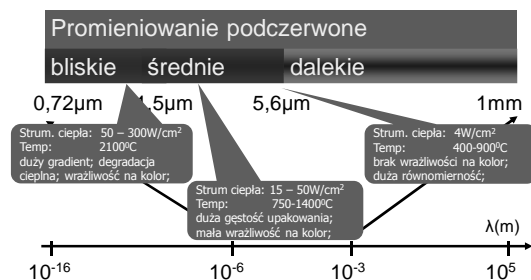
Lutowanie rozpliwowe

Metody lutowania rozpliwowego:

- W parach nasyconych
- W podczewieni
- W warunkach konwekcji naturalnej
- W warunkach konwekcji wymuszonej

Lutowanie rozpliwowe

Lutowanie rozpliwowe w podczewieni:



Lutowanie rozpliwowe

Lutowanie rozpliwowe w warunkach wymuszonej konwekcji:

- Bardziej równomierne nagrzewanie;
- Minimalizacja gradientów na płytce drukowanej (w przypadku bliskiej podczewieni - 15°C; przy źle rozmieszczonych podzespołach nawet 30°C; w przypadku procesu lutowania bezołowiowego wymagany jest gradient nie przekraczający kilku °C);
- Większa skuteczność przekazywania ciepła;
- Większa wydajność.

Lutowanie rozpliwowe

NA FALI	ROZPLIWOWE
Elementy THD również jednostronnie elementy SMD	Dedykowana metoda dla elementów SMD
Lutowie w postaci fali	Pasta lutownicza
Bardzo duże wykorzystanie lutowia;	Niewielkie i efektywne wykorzystanie lutowia
Nanoszenie kleju; układanie elementów; utwardzanie; odwracanie	Drukowanie pasty; układanie elementów
Faza topnienia poprzedzająca właściwy proces lutowania	Topnik jest składnikiem pasty lutowniczej
Topnikowanie, wygrzewanie, lutowanie właściwe	Nagrzewanie wstępne, wygrzewanie lutowanie, chłodzenie

Montaż drutowy

Montaż drutowy

Wykorzystywany jest do wykonania połączeń elektrycznych pomiędzy metalicznymi kontaktami struktury półprzewodnikowej a zewnętrznymi wyprowadzeniami obudowy.

Techniki montażu:

- zgrzewanie termokompresyjne (termokompresja),
- zgrzewanie ultradźwiękowe (ultrakompresja),
- zgrzewanie ultratermokompresyjne (ultratermokompresja),
- zgrzewanie mikroszczelinowe zwane również mikrogrzewaniem oporowym.

Montaż drutowy

Montaż drutowy

ZALETY

- duża elastyczność procesu,
- wysoki stopień automatyzacji,
- stosowanie standardowych struktur,
- niskie koszty procesu,
- łatwa kontrola optyczna wykonanych połączeń oraz możliwość ewentualnej naprawy wadliwie wykonanych połączeń,

WADY

- mała niezawodność połączeń drutowych,
- ograniczona gęstość połączeń (maksimum możliwości praktycznie już osiągnięto)

Montaż drutowy

Zgrzewanie termokompresyjne

Połączenie drutowe formowane jest w wyniku:

- wywarcia znacznego nacisku za pomocą narzędzia o określonym kształcie powodującego odkształcenia plastyczne
- w podwyższonej temperaturze przekraczającej 300°C (ok. 340°C)

Formowanie kulki:

- drut złoty;
- palnik wodorowo tlenowy lub częściej palnik elektryczny (wyładowanie elektryczne)

Montaż drutowy

Zgrzewanie termokompresyjne

OGRANICZENIA:

- wysoka temperatura procesu (ok. 340°C);
- ogranicza zastosowanie procesu tylko dla drutów o mniejszych średnicach (20-50µm) ze względu na konieczność wywołania dużego nacisku.

Montaż drutowy

Zgrzewanie ultrakompresyjne

Połączenie drutowe formowane jest w wyniku - dostarczenia energii ultradźwiękowej do obszaru połączenia (energia nie może ulegać rozproszeniu) oraz zastosowania odpowiedniego nacisku.

ZALETY:

- proces łączenia wykonywany jest w temperaturze otoczenia,
- nie wywołuje zmian strukturalnych w obszarze złącza,
- można wykorzystywać druty w szerokim zakresie średnic 20 - 300µm.

WADY:

- złożoność narzędzi do ultrakompresji;
- koszt urządzeń.

Montaż drutowy

Zgrzewanie termoultrakompresyjne

- łączy w sobie zalety zgrzewania termokompresyjnego i ultradźwiękowego,
- urządzenie dla tego procesu wyposażone jest w elementy wspólne dla termo- i ultrakompresji (system formowania kulki, zrywania drutu, generator ultradźwiękowy, elementy grzejne),
- w czasie wykonywania połączenia, podawana jest energia drgań ultradźwiękowych dzięki czemu może być użyta mniejsza siła docisku oraz podłoże podgrzewane jest do temperatury znacznie niższej niż przy termokompresji (nie przekracza 200°C),
- w ultratermokompresji stosowany jest głównie drut złoty, ale bywa również stosowany drut miedziany, który charakteryzuje się większą wytrzymałością ale wymaga dodatkowego usuwania tworzących się na powierzchni cienkich warstw izolacyjnych.

Technologia TAB

Tape Automated Bonding - automatyczny montaż wyprowadzeń tasimkowych osadzonych na taśmie polimerowej

- taśma polimerowa wykonana jest z poliimidu (duża odporność temperaturowa),
- montaż wyprowadzeń tasimkowych do kontaktów struktury wykonywany jest narzędziem o temperaturze 350 ÷ 400°C, które dociska jednocześnie wszystkie doprowadzenia tasimkowe do podwyższonych kontaktów struktury

ZALETY

- duża gęstość połączeń, pomimo obwodowego rozmieszczenia wyprowadzeń,
- bardzo duży stopień automatyzacji montażu,
- duża niezawodność połączeń
- bardzo dobre właściwości mikrofalowe połączeń.

Technologia flip-chip

Flip-chip (C4)

- znana również pod nazwą technologii C-4 (ang. *controlled collapse chip connection*),
- struktury półprzewodnikowe z kontaktami podwyższonymi, wykonanymi ze złota lub stopu lutowniczego
- technologia montażu flip-chip charakteryzuje się:
 - ✓ największą niezawodnością,
 - ✓ największą gęstością połączeń,
 - ✓ największą wytrzymałością połączeń,
 - ✓ bardzo krótkimi połączeniami.

Technologia flip-chip

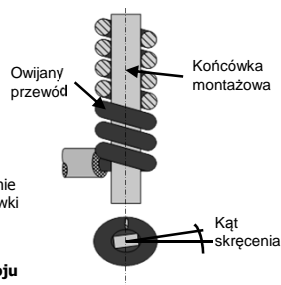
Flip-chip (C4)

- jedną z podstawowych operacji jest wytworzenie kontaktów podwyższonych na strukturze półprzewodnikowej,
- kontakty miękkie – lutowie
 - ✓ najczęściej poprzez drukowanie pasty lutowniczej (średnica od 50 μm do kilkuset mikrometrów)
 - ✓ łączenie z podłożem – lutowanie miękkie
 - ✓ zjawisko samocentrowania się struktur
- kontakty twarde – złoto
 - ✓ najczęściej wykorzystując montaż drutowy ultratermokompresyjny
 - ✓ drut urywany jest tuż przy powierzchni kulki
 - ✓ łączenie z podłożem – kleje przewodzące

Połączenia na bazie naprężeń stykowych

Połączenia owijane:

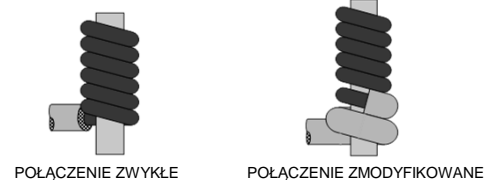
- Połączenie owijane powstaje w wyniku owinięcia 6 -9 zwojów odizolowanego końca przewodu (miedzianego) na końcówce montażowej.
- Końcówka montażowa musi mieć kilka ostrych krawędzi i charakteryzować się dużą sprężystością.
- Siła naciągu drutu powoduje powstanie naprężeń na styku przewodu i końcówki oraz jej sprężyste skrócenie.
- **Stosowane tylko w przypadku przewodów drutowych o przekroju okrągłym!!!**



Połączenia na bazie naprężeń stykowych

Połączenia owijane:

- Ze względów wymiarowych: połączenia normalnowymiarowe (przewód o średnicy 0,5 mm; przekątna końcówki montażowej powyżej 1,2 mm) oraz miniaturowe.
- Druty o średnicach powyżej 1,0 mm są zbyt sztywne; o średnicach poniżej 0,15 mm zrywają się.
- Dwie odmiany połączeń: połączenia zwykłe oraz połączenia zmodyfikowane



Połączenia na bazie naprężeń stykowych

Połączenia owijane - cechy:

- + połączenie gazoszczelne;
- + duża trwałość (naprężenia zmniejszają się o połowę po 40 latach);
- + zapewnia bezawaryjną pracę w szerokim zakresie napięć i prądów (ograniczenia wynikające ze średnicy stosowanych drutów);
- + duża niezawodność w każdym środowisku;
- + brak podgrzewania elementów przy tworzeniu połączenia;
- + mała rezystancja połączenia;
- + duża wytrzymałość mechaniczna i odporność na wibracje (tylko połączenie modyfikowane);
- + połączenia naprawialne

Połączenia na bazie naprężeń stykowych

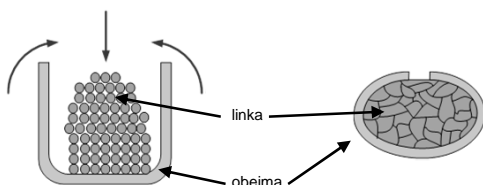
Połączenia owijane - cechy:

- połączenie wykonywane maszynowo (nawijarka);
- pokojowa temperatura pracy (max. 70°C)
- ograniczenie stosowanych drutów (\varnothing 0,15 – 1,0 mm)

Połączenia na bazie naprężeń stykowych

Połączenia zaciskane:

- Naprężenia stykowe potrzebne do wytworzenia połączenia uzyskuje się poprzez zaciśnięcie twardej końcówki montażowej na miękkim przewodzie miedzianym.
- Wywierany nacisk odształca powierzchnie metalowe i linka wypełnia całą objętość połączenia.



Połączenia na bazie naprężeń stykowych

Połączenia zaciskane - cechy:

- + połączenie trwałe;
- + proste do wykonania;
- + zapewnia bezawaryjną pracę w szerokim zakresie napięć (mV – kV) i prądów (mA – kA);
- + duża szczelność i odporność na korozję;
- + duża niezawodność w każdym środowisku;
- + duża wytrzymałość mechaniczna;
- + odporność na wibrację;
- + mała rezystancja połączenia;
- + brak podgrzewania elementów przy tworzeniu połączenia;

Połączenia na bazie naprężeń stykowych

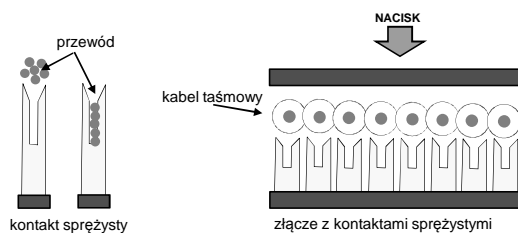
Połączenia zaciskane - cechy:

- połączenie nienaprawialne;
- stosowane tylko w przypadku linek.

Połączenia na bazie naprężeń stykowych

Połączenia zakleszczane:

- Naprężenia stykowe potrzebne do wytworzenia połączenia uzyskuje się poprzez wciśnięcie miedzianego przewodu w szczelną płaskiej sprężystej końcówki.
- Nie ma potrzeby usuwania izolacji z końcówki przewodu.



Błędy lutownicze

- Delaminacja
- Efekty geometryczne
- Cieniowanie,
- Mostkowanie,
- Efekt nagrobkowy,
- Wysysanie spoiwa,
- Efekt kuleczkowania,
- Zimne połączenia,
- Białe osady.

Błędy lutownicze

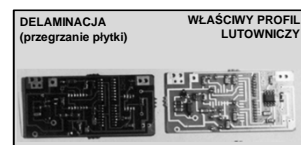
DELAMINACJA:

Objawy:

- ✓ Spalenie, lub zwęglenie płytki
- ✓ Separacja warstw laminatu
- ✓ Zmiana koloru płytki
- ✓ Czarne punkty

Przyczyny:

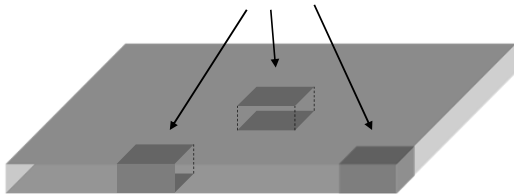
- ✓ Niewłaściwy profil lutowniczy
- ✓ Niewłaściwy typ zastosowanego laminatu dla wybranej technologii montażu i lutowania



Błędy lutownicze

EFEKTY GEOMETRYCZNE:

Różna pozycja na płycie, różne właściwości w czasie lutowania

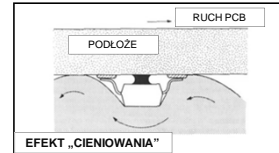


Błędy lutownicze

CIENIOWANIE:

Objawy:

- ✓ lutowanie nie dociera do wyprowadzenia ani do pola lutowniczego, w efekcie nie powstaje połączenia lutownicze.



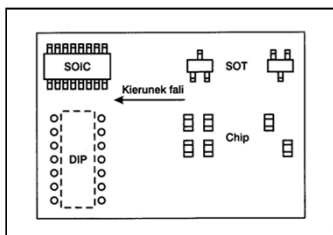
Rozwiązania:

- ✓ specjalne kształty wyprowadzeń,
- ✓ turbulentny przepływ fali lutowniczej
- ✓ odpowiednie rozmieszczenie geometryczne elementów w stosunku do kierunku fali lutowniczej

Błędy lutownicze

CIENIOWANIE:

Optymalne rozmieszczenie podzespołów podczas lutowania na fali



Błędy lutownicze

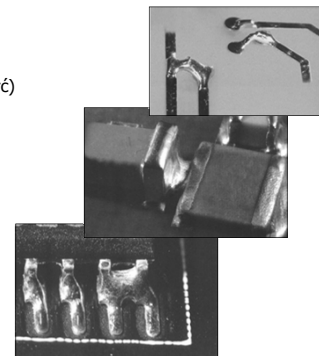
MOSTKOWANIE

Objawy:

- ✓ Tworzenie się mostków (zwarć) pomiędzy wyprowadzeniami.

Rozwiązania:

- ✓ Zabiegi projektowe oraz technologiczne zależne od metody lutowania.

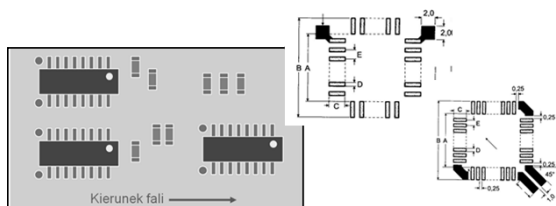


Błędy lutownicze

MOSTKOWANIE

Lutowanie na fali - rozwiązania:

- ✓ Wprowadzanie pałeczek lutowia, czyli pół zbierających nadmiar lutowia;
- ✓ Odpowiednie rozmieszczenie elementów; (np.: układy SOIC równoległe do kierunku fali, układy w obudowach QFP pod kątem 45°);

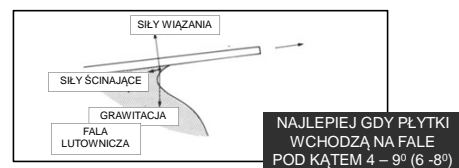


Błędy lutownicze

MOSTKOWANIE

Lutowanie na fali - rozwiązania:

- ✓ Pochylenie transportera płytek,
- ✓ Kształtowanie fali (płytki odchylające; fala podwójna).



Błędy lutownicze

MOSTKOWANIE

Lutowanie rozpułkowe - przyczyny:

- ✓ Zbyt duża ilość pasty na polu lutowniczym;
- ✓ Niedokładne ułożenie pasty na polu lutowniczym (rozsmarowanie, niedopasowanie wzoru);
- ✓ Pasta o niewłaściwych parametrach (np: pasta zbyt stara, utleniona, niedopasowanie materiałów itp.)

Lutowanie rozpułkowe - rozwiązania:

- ✓ polepszenie precyzji i rozdzielczości druku,
- ✓ właściwe dobranie objętości pasty lutowniczej,
- ✓ spowolnienie nagrzewania wstępnego,
- ✓ użycie topników o krótszym czasie zwilżania.

Błędy lutownicze

EFEKT NAGROBKOWY

Objawy:

- ✓ Mały podzespoł w wyniku lutowania „staje” na jednym ze swoich wyprowadzeń.

Przyczyny:

- ✓ Niewłaściwy projekt pól lutowniczych,
- ✓ Mała dokładność układania elementów,
- ✓ Nieodpowiednia ilość pasty na polu lutowniczym,
- ✓ Nieodpowiedni docisk elementu w procesie układania,
- ✓ Nierównomierna szybkość zwilżania w obrębie PCB.

Błędy lutownicze

EFEKT NAGROBKOWY

Rozwiązanie:

- ✓ Należy sprawdzić reguły projektowania ścieżek, jakość druku i lutowność podzespołów;
- ✓ Spowolnienie szybkości nagrzewania oraz wydłużenie czasu nagrzewania;
- ✓ Zastosowanie topnika o dłuższym czasie zwilżania (istnieje niebezpieczeństwo mostkowania).

Błędy lutownicze

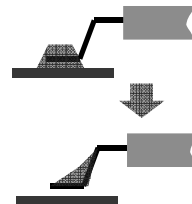
WYSYSANIE SPOIWA

Objawy:

- ✓ Pocynowane wyprowadzenie podzespołu pochłania lutowie nie pozostawiając go na punkcie lutowniczym.

Przyczyny:

- ✓ Gradient temperatur pomiędzy płytka a wyprowadzeniem. Wyprowadzenie o wyższej temperaturze topi lut i pocynowana warstwa absorbuje lutowie.



Błędy lutownicze

WYSYSANIE SPOIWA

Rozwiązania:

- ✓ Poprawny profil lutowania,
- ✓ Podzespoły o gwarantowanej planarności wyprowadzeń,
- ✓ Topniki o temperaturze aktywacji w pobliżu temperatury rozpułwu,
- ✓ Końcówki elementów metalizowane stopem o temperaturze topnienia wyższej niż temperatura topnienia stopu lutowniczego.

Błędy lutownicze

EFEKT KULECZKOWANIA

Przyczyny:

- ✓ nadmiernie duża frakcja drobnego ziarna,
- ✓ utlenione spoiwo,
- ✓ nadmierne osiadanie pasty,
- ✓ rozprysk spoiwa,
- ✓ zły profil lutowania,
- ✓ źle dobrana aktywność topnika,
- ✓ nadmierny docisk podzespołu w procesie układania na płytce,
- ✓ źle zaprojektowane pola lutownicze,
- ✓ niewłaściwa maska przeciwłutowa.

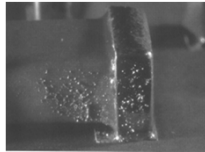


Błędy lutownicze

EFEKT KULECZKOWANIA

Rozwiązania materiałowe:

- ✓ świeża pasta lutownicza o dopracowanym składzie pod kątem aktywności topnika i osiadania, nie zawierająca i nie chłonna wilgoci,
- ✓ unikanie past o dużej frakcji ziaren, poniżej 25 μm ,
- ✓ dobra lutowność wyprowadzeń podzespołów,
- ✓ właściwe zaprojektowanie pól lutowniczych względem metalizacji podzespołów,
- ✓ odpowiednia maska przeciwłutowa



Błędy lutownicze

EFEKT KULECZKOWANIA

Rozwiązania technologiczne:

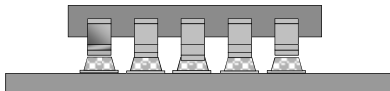
- ✓ pole nadruku pasty mniejsze od pola lutowniczego na płytce drukowanej,
- ✓ prawidłowy druk pasty, bez przesunięć i rozsmarowań,
- ✓ prawidłowe mycie szablónów,
- ✓ unikanie przedłużonej czasowo ekspozycji pasty w atmosferze powietrza,
- ✓ weryfikacja profilu lutowania.

Błędy lutownicze

ZIMNE POŁĄCZENIA

Przyczyny:

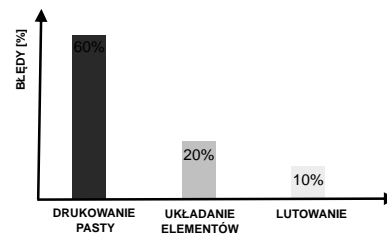
- ✓ niedostateczna ilość lub brak pasty na polu lutowniczym
- ✓ brak koplarności końcówek elementów,
- ✓ nadmierne zanieczyszczenie pól lutowniczych lub końcówek elementów,
- ✓ niewłaściwa aktywność lub przedwczesna utrata aktywności przez topnik,
- ✓ zły profil lutowania.



Błędy lutownicze

Lutowanie rozpliwowe

Najczęściej błędy pojawiają się na etapie:



Błędy profilu lutowania rozpliwowego

	Zanieczyszczenie powierzchni	Zbyt niska temp. lutowania	Zbyt wysoka temp. lutowania	Nierównomierny rozkład temp.	Niedobór topnika	Zbyt niska prędkość przesuwu przesuwu	Zbyt duża prędkość przesuwu przesuwu	Narazenie na wibracje w trakcie krzepnięcia	Nieodpowiednia pasta lutownicza
Mostkowanie		X			X		X		X
Delaminacja			X			X			
Zimne luty		X					X	X	
Niepełny rozpliw lutowania		X		X			X		X
Kuleczkowanie	X	X	X		X	X	X		
Efekt nagrobkowy			X	X				X	X

INŻYNIERIA MATERIAŁOWA II

Operacje kontrolno-pomiarowe

Operacje kontrolno-pomiarowe

Operacje kontrolno-pomiarowe mogą być zorientowane na:

- Zapobieganie defektom
 - ✓ Odpowiednie sterowanie parametrami procesów technologicznych oraz ich ewentualna korekcja;
 - ✓ Kontrola materiałów wejściowych (ewentualna modyfikacja);
 - ✓ Kontrola jakości podzespołów przed montażem;
- Wykrywanie defektów
 - ✓ Wykrywanie defektów tuż po montażu

„Im wcześniej znajdziesz i naprawisz defekt
tym mniej będzie Cię to kosztowało”

Operacje kontrolno-pomiarowe

Klasyfikacja testów kontrolno-pomiarowych:

- **IN-LINE**
 - ✓ Sprawdzenie poprawności poszczególnych operacji w linii produkcyjnej;
 - ✓ Systemy automatyczne lub półautomatyczne (większy obiektywizm) pracujące w pętli sprzężenia zwrotnego;
 - ✓ Dedykowane do konkretnej linii produkcyjnej (wysoki koszt);
- **OFF-LINE**
 - ✓ Umieszczone w pobliżu więcej niż jednej linii produkcyjnej;
 - ✓ Bardziej elastyczne rozwiązania umożliwiające testowanie na różnych etapach wytwarzania obwodów drukowanych (wolniejsze, niższy koszt);
 - ✓ Wdrażanie nowych wyrobów, przezbieranie linii produkcyjnej.

Operacje kontrolno-pomiarowe

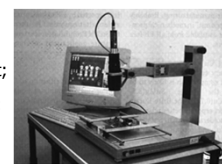
Rodzaje testów:

- MVI (Manual Visual Inspection) – test wizualny
- AOI (Automatic Optical Inspection) – automatyczny test optyczny
- ICT (In-circuit Test) – test wewnątrzobwodowy
- IR (Infrared Thermal Imaging System) – automatyczny test promieniami podczerwonymi
- AXI (Automatic X-ray Inspection) – automatyczny inspekcja rentgenowska
- FT (Functional Test) – test funkcjonalny

Operacje kontrolno-pomiarowe

Test wizualny MVI:

- Przeprowadzany jest okiem nieuzbrojonym lub z wykorzystaniem mikroskopu (standardowe powiększenie 2 do 10 razy; wymagania mogą być wyższe np.: inspekcja otworów metalizowanych nawet 100 razy);
- Człowiek:
 - ✓ 1/500 s aby zidentyfikować obiekt;
 - ✓ Oko ludzkie potrafi się adaptować do różnych warunków;
 - ✓ Ocena subiektywna.
- Test obszarów wymaga wzrokowego dostępu.



Operacje kontrolno-pomiarowe

Automatyczna inspekcja optyczna AOI:

- Może być integrowana w różnych miejscach linii produkcyjnej;
- Obrazy w odcieniach szarości oraz kolorowe;
- Elementy zakwestionowane w teście AOI zostają poddane testowi MVI;
- Wykrywane defekty:
 - ✓ Brakujące lub odwrócone elementy, odwrócona polaryzacja oraz efekt nagrobkowy;
 - ✓ Mostki, przesunięcia i rotację elementów;
 - ✓ Defekty geometryczne ;



Kontrola wizualna

Kontrola wizualna na etapie nadruku pasty lutowniczej:

- Ilość pasty na indywidualnym polu lutowniczym 0,8 mg/mm² (w przypadku podzespołów typu fine-pitch – 0,5 mg/mm²);
- Dopuszczalne odchylenie masy pasty ±20%;
- Dla podzespołów typu 0805, 1206 lub SOT23 przesunięcie nadruku nie powinno przekraczać 0,2 mm, a dla QFP o rastrze mniejszym niż 0,8mm nie powinno przekraczać 0,1 mm;

Nadruk o większych przesunięciach kwalifikuje się
do zmycia i ponownego nałożenia

Operacje kontrolno-pomiarowe

Inspekcja rentgenowska AXI:

- Prześwietlenie promieniami X umożliwia wykrycie wad w obszarach niedostępnych dla systemów AOI;
- Systemy AXI dają obrazy w odcieniach szarości; obszary o większej gęstości/grubości – obszary ciemniejsze;

Operacje kontrolno-pomiarowe

Inspekcja rentgenowska AXI:

- Wysoka rozdzielczość, duże powiększenie;
- Inspekcja bezinwazyjna z możliwością zmiany kąta nachylenia;
- Możliwość testowania gęsto upakowanych płytek;
- Wykrywane defekty
 - ✓ Mostki, rozwarcia;
 - ✓ Podniesione wyprowadzenia;
 - ✓ Przemieszczenie podzespołów, efekt nagrobkowy;
 - ✓ Pustki lub niedopuszczalne zmiany kształtu;
 - ✓ Defekty w BGA (mostki, pustki, brakujące kuleczki, brak scentrowania).

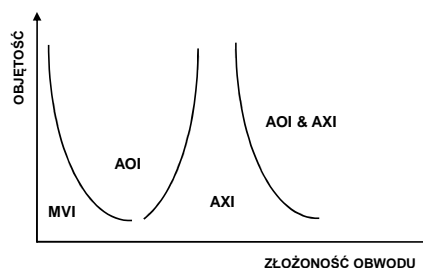
Operacje kontrolno-pomiarowe

Porównanie AOI oraz AXI:

AOI	AXI
Doskonała metoda do detekcji defektów związanych z rozmieszczeniem elementów	Doskonała metoda do detekcji defektów ukrytych związanych z połączeniami lutowanymi
Dokładność rozmieszczenia elementów	Grubość wytworzonych połączeń lutowanych
Zdolność wykrywania defektów widocznych	Zdolność wykrywania defektów ukrytych (nieдоступnych dla AOI lub MVI)
Możliwość zdefiniowane w ramach danego procesu + sprzężenie zwrotne	Możliwość inspekcji płytek dwustronnych i wielowarstwowych w pojedynczym cyklu
Programowanie systemu: mniej niż 1 dzień	Programowanie systemu: standardowo 2 – 3 dni
Rozwiązanie tańsze niż AXI	Rozwiązanie droższe niż AOI

Operacje kontrolno-pomiarowe

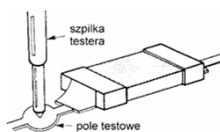
Zastosowanie różnych systemów w zależności od rodzaju PCB:



Operacje kontrolno-pomiarowe

Test wewnętrzny ICT:

- Przeprowadzany jest z wykorzystaniem zespołu głowic szpilkowych w postaci macierzy sond (Bed of Nails Method) bądź też kilka sond przemieszczających się nad testowanym obiektem (Two Probe, Flying Probe Method);
- Wykrywane defekty: zwarcia, rozwarcia (w wyłączeniu złej jakości połączeń lutowanych tymczasowo eliminowanych pod wpływem nacisku), zdefektowane lub złe podzespoły;
- W przypadku utrudnionego dostępu do podzespołu konieczność wprowadzenia na etapie projektowania punktów testowych.
- Doskonałe rozwiązanie przy długich seriach i szybkiej produkcji.



Operacje kontrolno-pomiarowe

Test funkcjonalny FT:

- Przeprowadzany jest z wykorzystaniem testera pozwalającego na wprowadzenie sygnałów w różne punkty układu, symulację pracy poszczególnych elementów układu i zbieranie odpowiedzi przez złącza;
- Wykonywany jest w ostatniej fazie produkcji;
- Podstawowe zadanie: weryfikacja funkcjonalności poszczególnych elementów i całego układu;

Operacje kontrolno-pomiarowe

Wykrywalność błędów z wykorzystaniem różnych testów

	PRZERWA	ZMARCIE	BRAK ELEMENTU	BŁĄD UŁOŻENIA	POLARYZACJA	WARTOŚĆ	FUNKCJONAL- NOŚĆ	ZMARCIE ZASILANIA
MVI								
AOI								
AXI								
IR								
ICT								
FT								

WYKRYWALNOŚĆ: pełna - częściowa - brak

Strategie testowania

Wybór strategii testowania zależy od:

- Złożoności projektu płytki (rodzaje obudów i wyprowadzeń; rozstaw wyprowadzeń);
- Różnorodność i wielkość serii (koszt testów zmienia się wraz ze skalą produkcji);
- Precyzja i szybkość techniki testowania (czyli ile czasu potrzeba na znalezienie defektu);
- Koszt testowania (koszt testera, obsługi serwisu, oprogramowania, zamocowania itp.).