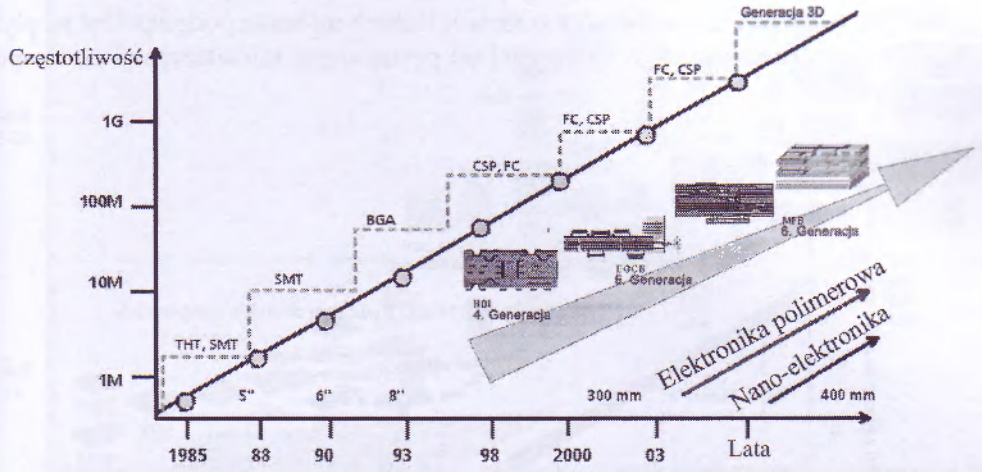
1. Wstęp 5
2. Poziomy i technologie montażu 9
3. Montaż drutowy 19
4. Montaż flip chip 27
5. Elementy, obudowy, architektura wyprowadzeń 41
5.1. Elementy czynne i bierne do montażu przewlekanego 41
5.2. Elementy bierne do montażu powierzchniowego 42
5.3. Obudowy układów scalonych 45
6. Podłoża. Płytki obwodów drukowanych 55
6.1. Rodzaje podłoży 55
6.2. Wytwarzanie płytek obwodów drukowanych 59
6.3. Płytki wielowarstwowe 62
6.4. Powłoki kontaktowe 67
6.5. Projektowanie mozaiki ścieżek i pól kontaktowych 71
7. Podstawy procesu lutowania, stopy i pasty lutownicze 75
7.1. Lutowanie 75
7.2. Montaż bezołowiowy 76
7.3. Zwilżanie 79
7.4. Procesy kapilarne 84
7.5. Procesy dyfuzyjne 86
7.6. Związki międzymetaliczne 87
7.7. Stopy lutownicze bezołowiowe 89
7.8. Topniki i ich rola w tworzeniu połączenia lutowanego 91
7.9. Pasty lutownicze 93
8. Technologie lutowania 99
8.1. Techniki lutowania w zależności od konstrukcji zespołu 99
8.2. Lutowanie ręczne 100
8.3. Lutowanie na fali 102
8.4. Lutowanie rozpływowe 110

9. Wady połączeń lutowanych 123
9.1. Niezwilżanie 125
9.2. Wady lutowania w montażu przewlekanym 126
9.3. Wady lutowania w montażu powierzchniowym 129
9.4. Wady połączeń lutowanych wykonanych techniką flip chip 132
9.5. Wady specyficzne dla lutów bezołowiowych 134
9.6. Metody kontroli jakości połączeń lutowanych 135
10. Mycie po procesie lutowania 139
10.1. Zanieczyszczenie 139
10.2. Skutki zanieczyszczeń 140
10.3. Mycie i środki myjące 143
10.4. Kontrola czystości 144
11. Kleje i klejenie 147
11.1. Kleje strukturalne 147
11.2. Kleje przewodzące elektrycznie 149
11.3. Kleje przewodzące cieplnie 157
11.4. Sposoby dozowania kleju 161
12. Połączenia i złącza 165
12.1. Połączenia rozłączne 165
12.2. Połączenia nierozłączne 170
12.3. Przewody i kable 172
13. Narażenia środowiskowe. problemy odprowadzenia ciepła 175
13.1. Niezawodność w montażu elektronicznym 175
13.2. Narażenia środowiskowe 176
13.3. Narażenia mechaniczne 177
13.4. Narażenia termiczne 181
13.5. Odprowadzanie ciepła 183
13.6. Chłodzenie 185
Literatura 195

1. WSTĘP

W wielu dziedzinach działalności człowieka urządzenia elektroniczne stają się nieodzownym elementem, bez których trudno sobie wyobrazić funkcjonowanie we współczesnym świecie. Dotyczy to przede wszystkim urządzeń informatycznych, telekomunikacyjnych, medycznych i wielu innych; nie sposób wszystkich ich wymienić. Obserwuje się również nieustannie wzrastający popyt na zminiaturyzowaną elektronikę użytkową o wysokim poziomie funkcjonalności. Dotyczy to między innymi takich urządzeń, jak: telefony komórkowe, kamery cyfrowe i aparaty fotograficzne, komputery osobiste, pamięci przenośne (ang. *pendrive*) itp. Jednym z podstawowych kryteriów oceny funkcjonalności urządzenia elektronicznego jest szybkość jego działania. Na podstawie tego kryterium (dokładniej – częstotliwość taktowania zegarów mikroprocesorowych) na rysunku 1.1 przedstawiono kierunek rozwoju przemysłu elektronicznego począwszy od lat osiemdziesiątych zeszłego stulecia do najbliższej przyszłości.



Rys. 1.1. Kierunek rozwoju przemysłu elektronicznego wg [1]

Wzrost częstotliwości pracy przyrządów półprzewodnikowych jest możliwy dzięki zastosowaniu coraz to nowocześniejszych technologii wytwarzania struktur półprzewodnikowych. Podstawową komórką składową każdego przyrządu półprzewodnikowego (układu scalonego) jest tranzystor. W chwili wynalezienia zajmował on przestrzeń kilkunastu centymetrów sześciennych, a już we wczesnych latach dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia wytwarzano tranzystory w skali rzędu 500 nm. W chwili obecnej do-

minują konstrukcje, w których podstawowe odległości są znacznie mniejsze niż 100 nm. Miniaturyzacja rozmiarów tranzystora odbywa się w myśl zasady prawa Moore'a, które mówi, że ekonomicznie optymalna liczba tranzystorów w układzie scalonym ulega podwojeniu co 18 miesięcy. Oczywiście rozmiary tranzystora nie mogą być zmniejszane w nieskończoność i niebawem prawo Moore'a przestanie obowiązywać.

W wyniku tak znacznego postępu technologicznego powstaje konieczność umieszczenia na określonej powierzchni układu scalonego coraz większej liczby wyprowadzeń, które pozwalają na przyłączenie do struktury półprzewodnikowej wejściowych i wyjściowych sygnałów. Innymi słowy, nieustanny wzrost miniaturyzacji przyrządów półprzewodnikowych stwarza konieczność zagęszczenia wyprowadzeń w obudowach układów scalonych. Przyczyniło się to do opracowania w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia obudów typu BGA (ang. *Ball Grid Array*) i później CSP (ang. *Chip Scale Package*), które do chwili obecnej są najczęściej stosowanymi obudowami wielowyprowadzeniowych układów scalonych (rys. 1.1).

Niezależnie od złożoności oraz przeznaczenia urządzenia elektronicznego, nieodzowną jego częścią, oprócz podzespołów elektronicznych, jest płytka obwodu drukowanego. Stanowi ona zarówno obwód elektryczny, za pomocą którego łączone są ze sobą w sieć podzespoły elektroniczne, jak również pełni ona rolę nośnika mechanicznego dla wszystkich przyłączanych podzespołów. W zależności od rodzaju montowanych na płytce podzespołów elektronicznych wymagany jest odpowiedni sposób ich montażu. Na rysunku 1.2 przedstawiono rozwój technik montażu podzespołów na płytkach obwodów drukowanych w zależności od postępującej miniaturyzacji podzespołów elektronicznych.