

1. Procesy lutowania w świetle dyrektyw Unii Europejskiej	11
1.1. Dyrektywa RoHS	15
1.1.1. Dokumenty dotyczące dyrektywy RoHS.....	15
1.1.2. Zasadnicze postulaty zawarte w dyrektywie RoHS.....	16
1.1.3. Wyłączenia z dyrektywy RoHS.....	18
1.1.4. Zgodność z dyrektywą RoHS	22
1.1.5. Badanie na zgodność z dyrektywą RoHS.....	24
1.2. Dyrektywa WEEE	27
1.3. Kierunki zmian w montażu bezołowiowym	31
1.3.1. Stopy bezołowiowe.....	31
1.3.2. Topniki.....	31
1.3.3. Pasty lutownicze.....	32
1.3.4. Płytki drukowane.....	32
1.3.5. Podzespoły.....	32
1.3.6. Środki myjące	32
1.3.7. Agregaty do lutowania na fali.....	33
1.3.8. Piece do lutowania rozplywowego	33
1.3.9. Procesy lutowania	34
1.3.10. Znakowanie elementów, podzespołów i zespołów w wykonaniu bezołowiowym....	35
Literatura do rozdziału 1	37
2. Podstawy procesu lutowania	41
2.1. Zwilżanie.....	42
2.1.1. Procesy kapilarne	45
2.2. Procesy dyfuzyjne.....	46
2.3. Związki międzymetaliczne	47
Literatura do rozdziału 2	52
3. Bezołowiowe materiały lutownicze	53
3.1. Bezołowiowe stopy lutownicze	54
3.1.1. Zamienniki stopów SnPb	54
3.1.2. Właściwości stopów bezołowiowych.....	56
3.1.2.1. Temperatura topnienia.....	56
3.1.2.2. Napięcie powierzchniowe.....	57
3.1.2.3. Napięcie międzyfazowe.....	59
3.1.2.4. Gęstość.....	61
3.1.2.5. Współczynnik rozszerzalności cieplnej.....	62
3.1.2.6. Rezystywność	63
3.1.2.7. Wytrzymałość mechaniczna.....	63
3.1.3. Znormalizowane stopy bezołowiowe	64
3.2. Topniki do lutowania bezołowiowego	65
3.2.1. Funkcje topników w procesie lutowania.....	66
3.2.2. Klasyfikacja topników	66
3.2.3. Właściwości ciekłych topników do lutowania na fali	70

3.3.	Bezołowiowe pasty lutownicze	72
3.3.1.	Składniki bezołowiowych past lutowniczych.....	73
3.3.1.1.	Proszki bezołowiowych stopów lutowniczych	73
3.3.1.1.1.	Kształt cząstek proszku	73
3.3.1.1.2.	Wielkość i granulacja cząstek proszku	74
3.3.1.1.3.	Zawartość tlenu w proszku	75
3.3.1.2.	Zawartość stopu w paście	75
3.3.1.3.	Topniki do past bezołowiowych	75
3.3.2.	Właściwości bezołowiowych past lutowniczych	77
3.3.2.1.	Lepkość	77
3.3.2.2.	Zwilżalność	79
3.3.2.3.	Osiadanie.....	80
3.3.2.4.	Koalescencja	82
3.3.2.5.	Kleistość.....	82
3.4.	Bezołowiowe luty rdzeniowe	84
	Literatura do rozdziału 3	86
4.	Badania bezołowiowych materiałów lutowniczych	89
4.1.	Badanie właściwości bezołowiowych stopów lutowniczych.....	90
4.1.1.	Skład chemiczny stopu.....	90
4.1.2.	Temperatura topnienia	90
4.1.3.	Gęstość stopów mierzona metodą dylatometryczną.....	91
4.1.4.	Napięcie powierzchniowe stopów mierzone metodą maksymalnego ciśnienia w pęcherzykach gazowych.....	92
4.1.5.	Napięcie powierzchniowe i międzyfazowe stopów lutowniczych mierzone metodą Miyazaki	93
4.1.6.	Zwilżanie podłoża stopami bezołowiowymi	95
4.1.6.1.	Meniskograficzny pomiar siły i czasu zwilżania	95
4.1.6.2.	Pomiar kąta zwilżania	98
4.1.6.2.1.	Metoda leżącej kropli luty	98
4.1.6.2.2.	Metoda meniskograficzna.....	99
4.1.7.	Pomiar rezystywności stopu.....	100
4.1.8.	Pomiar wytrzymałości stopu na rozciąganie	100
4.1.9.	Badanie współczynnika rozszerzalności cieplnej stopów metodą dylatometryczną	101
4.2.	Badanie właściwości topników.....	102
4.2.1.	Badanie skuteczności działania topnika	102
4.2.1.1.	Metoda meniskograficzna.....	102
4.2.1.2.	Próba rozplywności luty miękkiego.....	102
4.2.2.	Działanie korozyjne topnika.....	103
4.2.2.1.	Próba lustra miedzi	103
4.2.2.2.	Próba korozji miedzi	104
4.2.3.	Badania jakościowe na obecność halogenków w topniku – próba z papierkiem z chromianem srebra	105
4.2.4.	Badania ilościowe zawartości halogenków w topniku.....	105

4.2.5.	Badanie rezystancji powierzchniowej izolacji (SIR).....	106
4.2.6.	Gęstość topnika.....	108
4.2.7.	Zawartość części stałych (nielotnych) topnika	109
4.2.8.	Liczba kwasowa	109
4.3.	Badanie właściwości bezołowiowych past lutowniczych	110
4.3.1.	Lepkość past lutowniczych.....	110
4.3.1.1.	Właściwości reologiczne past lutowniczych	110
4.3.1.1.1.	Granica płynięcia	112
4.3.1.1.2.	Współczynnik tiksotropii (β)	112
4.3.1.1.3.	Współczynnik rozrzedzenia ścinaniem χ	114
4.3.2.	Właściwości technologiczne past lutowniczych	114
4.3.2.1.	Zwilżalność podłoża pastami lutowniczymi.....	114
4.3.2.2.	Osiadanie pasty lutowniczej	115
4.3.2.3.	Koalescencja pasty lutowniczej.....	117
4.3.2.4.	Kleistość pasty lutowniczej.....	118
4.3.2.4.1.	Metoda stałego nacisku wstępnego.....	119
4.3.2.4.2.	Metoda nacisku punktowego	119
4.3.2.4.3.	Metoda zadanej głębokości zanurzenia	119
4.4.	Badanie właściwości lutów rdzeniowych.....	121
	Literatura do rozdziału 4	122
5.	Lutowność podzespołów i płytek drukowanych	125
5.1.	Badanie lutowności płytek drukowanych.....	126
5.1.1.	Meniskograficzna metoda kąpielą lutowniczą.....	126
5.1.2.	Meniskograficzna metoda kropli lutu.....	129
5.1.3.	Metoda zanurzenia obrotowego (badanie pól lutowniczych i otworów metalizowanych).....	130
5.2.	Badanie lutowności podzespołów.....	131
5.2.1.	Jakościowe metody oznaczania lutowności podzespołów	132
5.2.1.1.	Metoda kąpielą lutowniczą „zanurz i patrz”	132
5.2.1.2.	Metoda lutowania rozpliwowego.....	133
5.2.2.	Ilościowe metody badania lutowności podzespołów.....	133
5.2.2.1.	Meniskograficzna próba kąpielą lutowniczą	133
5.2.2.2.	Meniskograficzna próba kropli lutu.....	133
5.2.2.3.	Parametry i kryteria oceny lutowności podzespołów metodami meniskograficznymi.....	135
	Literatura do rozdziału 5	136
6.	Bezołowiowe powłoki lutowe na płytkach drukowanych.....	137
6.1.	Właściwości bezołowiowych powłok na płytkach drukowanych.....	139
6.1.1.	SnCu i SnAgCu naniesione metodą HASL.....	140
6.1.2.	Ni/Au (ENIG)	143
6.1.3.	Ni/Pd/Au (ENEPIG)	144
6.1.4.	Cyna immersyjna.....	145
6.1.5.	Srebro immersyjne	147
6.1.6.	Powłoki organiczne (OSP)	149
	Literatura do rozdziału 6	150

7. Zjawiska specjalne powodujące uszkodzenia podzespołów i płytek drukowanych	153
7.1. Zjawisko generowania dróg przewodzenia w dielektryku	154
7.2. Zaraza cynowa	156
7.3. Wiskery	156
7.4. Pełzająca korozja	161
Literatura do rozdziału 7	161
8. Kompatybilność podzespołów i płytek drukowanych z procesem lutowania bezołowiowego	163
8.1. Podzespoły elektroniczne	166
8.1.1. Kompatybilność powłoki zabezpieczającej lutowność końcówek lub wyprowadzeń	167
8.1.1.1. Podzespoły do montażu powierzchniowego	167
8.1.1.2. Podzespoły z kontaktami sferycznymi typu BGA	170
8.1.2. Stosowanie podzespołów z końcówkami/wyprowadzeniami zawierającymi ołów	170
8.1.3. Wytrzymałość cieplna korpusów i obudów podzespołów	171
8.1.4. Podzespoły wrażliwe na wilgoć	173
8.1.5. Wady połączeń lutowanych związane z podzespołami	177
8.2. Płytki drukowane	178
8.2.1. Powłoki zabezpieczające lutowność płytek drukowanych	178
8.2.2. Podłoża płytek drukowanych	179
8.2.3. Wielowarstwowe, złożone płytki drukowane o dużych wymiarach	180
8.2.4. Wady połączeń lutowanych związane z płytką drukowaną	181
8.3. Magazynowanie i manipulowanie podzespołami do lutowania bezołowiowego	182
Literatura do rozdziału 8	183
9. Procesy lutowania w montażu elektronicznym	185
9.1. Techniki lutowania w zależności od konstrukcji zespołu	186
9.2. Metody lutowania rozplwowego w warunkach bezołowiowych	188
9.2.1. Opis procesu	188
9.2.2. Metody dostarczania ciepła	189
Literatura do rozdziału 9	192
10. Bezołowiowe konwenkcyjne lutowanie rozplwowe	193
10.1. Aspekty procesu	194
10.2. Wybór bezołowiowej pasty lutowniczej	195
10.2.1. Wpływ pasty na niezawodność procesu lutowania	195
10.2.1.1. Stop bezołowiowy	197
10.2.1.2. Topnik w pastach bezołowiowych	198
10.2.1.3. Manipulowanie bezołowiową pastą lutowniczą	199
10.2.1.4. Bezpieczeństwo pracy z pastami bezołowiowymi	200

10.3. Nanaszenie past lutowniczych metodą druku przez szablon.....	201
10.3.1. Systemy nanoszenia pasty	203
10.3.2. Czynniki decydujące o dokładności procesu drukowania.....	204
10.3.3. Efektywność transferu pasty	206
10.3.4. Wpływ rakli w procesie drukowania past bezołowiowych.....	207
10.3.5. Wpływ szablonu w procesie drukowania past bezołowiowych.....	210
10.3.6. Kontrola i urządzenia do weryfikacji ilości nałożonej pasty	214
10.4. Proces lutowania rozpliwowego.....	215
10.4.1. Okno procesowe	215
10.4.2. Przebieg charakterystyki temperaturowo-czasowej.....	216
10.4.3. Optymalizacja procesu lutowania	219
10.4.4. Kompatybilność konstrukcji zespołu na płytce drukowanej z lutowaniem bezołowiowym.....	220
10.4.5. Szybkość przebiegu procesu lutowania	222
10.4.6. Monitorowanie przebiegu procesu lutowania	222
10.5. Kompatybilność urządzeń	225
10.5.1. Konwekcyjne piece tunelowe	225
10.5.2. Ogólne wymagania	225
10.5.3. Monitorowanie pracy pieca.....	226
10.5.4. Transporter i system podparcia płytek.....	227
10.5.5. Strefy grzania	228
10.5.6. Strefa chłodzenia	231
10.5.7. Zarządzanie przepływem par topnika.....	232
10.5.8. Instalacja azotu i lutowanie w azocie	233
10.6. Przykład procesu i połączeń lutowanych.....	235
10.7. Wady lutowania	237
10.7.1. Niezwilżenie i odwilżenia.....	237
10.7.2. Tworzenie mostków lutu.....	239
10.7.3. Luźne kulki lutu rozproszone na powierzchni płytki	240
10.7.4. Kulki lutu pod podzespołami typu R/C.....	241
10.7.5. Efekt nagrobkowy	242
10.7.6. Wciąganie lutu	244
10.7.7. Powstawanie pustych przestrzeni w połączeniu lutowanym	245
10.7.8. Wady połączeń lutowanych ukrytych pod obudową podzespołu.....	246
10.8. Lutowanie rozpliwowe podzespołów do montażu przewlekanego.....	249
10.8.1. Etap projektowania połączenia THR.....	250
10.8.2. Czynniki optymalizacji wypełnienia otworu	252
10.8.3. Wymagania dotyczące podzespołów	253
10.8.4. Proces osadzania podzespołów.....	254
10.8.5. Proces lutowania rozpliwowego.....	254
10.8.6. Ocena połączeń lutowanych.....	255
Literatura do rozdziału 10.....	256
11. Bezołowiowe lutowanie na fali	259
11.1. Opis procesu.....	260
11.2. Stopy lutownicze.....	261

11.3. Topniki	261
11.3.1. Kompatybilność topnika	261
11.3.2. Przykład stosowania topnika w procesie bezołowiowym	263
11.3.3. Znormalizowane wymagania ogólne.....	264
11.3.4. Bezpieczeństwo pracy z topnikami.....	265
11.4. Przebieg procesu lutowania.....	265
11.4.1. Działanie fali	265
11.4.2. Podstawowe parametry procesu	266
11.4.3. Monitorowanie warunków lutowania na fali	268
11.5. Nadmierne formowanie żuźla	269
11.6. Kompatybilność urządzeń i materiałów konstrukcyjnych urządzeń	271
11.6.1. Systemy nanoszenia topnika	271
11.6.2. Strefa grzania wstępnego	273
11.6.3. Wanna lutownicza	275
11.6.4. Moduły formowania fali	276
11.6.5. Nóż powietrzny.....	280
11.6.6. Transporter.....	281
11.6.7. System podtrzymywania płytek.....	281
11.6.8. Instalacja azotu	282
11.6.9. Kompatybilność materiałów konstrukcyjnych	283
11.6.9.1. Nowe materiały konstrukcyjne	284
11.6.9.2. Wymiana stopu w wannie lutowniczej	286
11.6.9.3. Przykład zastosowania nowych rozwiązań w praktyce	288
11.7. Monitorowanie składu stopu.....	288
11.7.1. Niebezpieczeństwo zanieczyszczenia ołowiem.....	288
11.7.2. Inne zanieczyszczenia	289
11.8. Przykład procesu i połączeń lutowanych.....	291
11.9. Wady lutowania	294
11.9.1. Wygląd połączenia	295
11.9.2. Niewystarczająca ilość lutu w połączeniu	296
11.9.3. Tworzenie mostków lutu.....	297
11.9.4. Sople lutu	298
11.9.5. Obecność kulek lutu na powierzchni płytki	298
11.9.6. Efekt cieniowania (dotyczy podzespołów SMD).....	299
11.9.7. Nadmiarowe sferyczne wypełnienie lutem z jednej strony połączenia lutowanego (dotyczy podzespołów SMD).....	300
11.9.8. Puste przestrzenie w połączeniach lutowanych.....	301
11.9.9. Odrywanie się części lutu połączenia od podłoża.....	302
11.9.10. Mostki w postaci włoskowatych kryształów.....	303
Literatura do rozdziału 11	303

12. Bezołowiowe zmechanizowane lutowanie selektywne	305
12.1. Opis procesu.....	306
12.2. Sposoby lutowania.....	310
12.2.1. Lutowania przez przeciąganie.....	310
12.2.1.1. Długość końcówek.....	311
12.2.1.2. Inne wymagania.....	311
12.2.2. Lutowanie przez zanurzenie.....	312
12.2.2.1. Wymiary dyszy i inne wymagania.....	313
12.3. Przebieg procesu lutowania selektywnego.....	313
12.3.1. Transport.....	313
12.3.2. Topnikowanie.....	313
12.3.3. Grzanie wstępne.....	315
12.3.4. Pozycjonowanie płytki.....	317
12.3.5. Lutowanie.....	317
12.3.5.1. Lutowanie przez przeciąganie.....	317
12.3.5.2. Lutowanie przez zanurzenie.....	318
12.4. Stosowanie atmosfery azotu.....	320
12.5. Urządzenia do lutowania selektywnego i programowanie.....	321
12.6. Przykład procesu i połączeń lutowanych.....	324
12.7. Wady lutowania.....	328
Literatura do rozdziału 12.....	328
13. Bezołowiowe lutowanie ręczne	329
13.1. Aspekty procesu.....	330
13.2. Lutowanie ręczne za pomocą lutownicy.....	330
13.3. Druty lutownicze.....	332
13.4. Uwagi dotyczące działania topnika.....	333
13.5. Narzędzia do lutowania ręcznego.....	334
13.6. Stabilność cieplna procesu lutowania ręcznego.....	335
13.7. Powtarzalność warunków formowania połączenia lutowanego.....	336
13.8. Wzrost roli efektywności przekazywania ciepła.....	338
13.9. Konstrukcja i trwałość grota.....	339
13.10. Procedury postępowania w operacji bezołowiowego lutowania ręcznego za pomocą lutownicy.....	341
13.10.1. Procedura lutowania.....	341
13.10.2. Procedura użytkowania grota.....	342
13.11. Wady lutowania.....	343
13.12. Stosowanie azotu w lutowaniu ręcznym.....	343
13.13. Bezpieczeństwo pracy w procesie bezołowiowego lutowania ręcznego.....	344
Literatura do rozdziału 13.....	345

14. Mycie po procesie lutowania	347
14.1. Rodzaje zanieczyszczeń	348
14.1.1. Zanieczyszczenia jonowe	349
14.1.2. Zanieczyszczenia niejonowe	352
14.1.3. Inne zanieczyszczenia	353
14.2. Mycie i środki myjące	353
14.2.1. Mycie rozpuszczalnikami	354
14.2.2. Mycie półwodne	357
14.2.2. Mycie wodne	357
14.3. Sprawdzanie odporności materiałów na rozpuszczalniki	358
14.4. Sprawdzanie rozpuszczalności pozostałości topnika	359
14.5. Oznaczanie czystości zespołów po myciu	359
14.5.1. Kontrola wizualna	360
14.5.2. Oznaczanie zanieczyszczeń jonowych	360
14.5.3. Rezystancja powierzchniowa izolacji (SIR)	363
Literatura do rozdziału 14	364
15. Ocena połączeń lutowanych	365
15.1. Mechanizmy uszkodzeń	367
15.2. Znormalizowane podstawy oceny połączeń lutowanych	369
15.3. Badania i metody kontroli jakości połączeń lutowanych	371
15.4. Cechy połączenia lutowanego	373
15.4.1. Zwilżenie i wygląd wypełnienia lutem	373
15.4.2. Kształt i wypełnienie połączenia lutowanego	374
15.4.2.1. Podzespoły do montażu powierzchniowego	374
15.4.2.2. Podzespoły do montażu powierzchniowego z połączeniami lutowanymi ukrytymi pod obudową	378
15.4.2.3. Podzespoły do montażu przewlekane	380
15.5. Kruchość połączeń lutowanych spowodowana obecnością złota	381
15.6. Integralność połączeń lutowanych	382
15.6.1. Czynniki oddziałujące na integralność połączenia	383
15.6.2. Wpływ obciążenia termomechanicznego na integralność połączenia	385
15.6.3. Badania wytrzymałości mechanicznej połączeń lutowanych	387
15.6.3.1. Badanie wytrzymałości na ścinanie	389
15.6.3.2. Badanie wytrzymałości na wyrywanie końcówki	391
15.6.4. Programy badań starzeniowych	392
Literatura do rozdziału 15	396