Нинг-Ченг Ли

# ТЕХНОЛОГИЯ ПАЙКИ ОПЛАВЛЕНИЕМ, ПОИСК И УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТОВ:

## *ПОВЕРХНОСТНЫЙ МОНТАЖ, BGA, CSP И FLIP CHIP ТЕХНОЛОГИИ*

# Reflow Soldering Processes and Troubleshooting: SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies

Ning-Cheng Lee

NEWNES
BOSTON OXFORD AUCKLAND JOHANNESBURG
MELBOURNE NEW DELHI

Библиотека Гильдии
профессиональных технологов
приборостроения

# Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и flip chip технологии

Нинг-Ченг Ли

ГИБ 70
отд 179
от 25.09.07

ТЕХНОЛОГИИ

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ТЕХНОЛОГИИ»
Москва 2006

Библиотека Гильдии
профессиональных технологов
приборостроения

УДК 621.3.049.75
ББК 30.61
Н 11

Перевод с английского: Нисан А.В., Соловьев А.В.
Научный редактор: д.т.н., профессор Кечиев Л.Н.

**Нинг-Ченг Ли**
**Н 11** Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и flip chip технологии. — М.: Издательский Дом «Технологии», 2006 г. — 392 с., илл., табл.

**ISBN 5-94833-015-X**

Книга посвящена технологическим инновациям в области монтажа и производства электронных компонентов. Подробно описаны изменения в процессах пайки оплавлением, их влияние на механизмы появления дефектов и, следовательно, методики поиска повреждений во время этих технологических процессов на различных типах плат. Она предназначена для инженеров-технологов по производству электроники, инженеров-конструкторов и студентов технологических специальностей. В книге представлены обширные знания, которые описывают и объясняют новые технологии для инженеров, а также помогают повысить квалификацию производственного персонала.

**УДК 621.3.049.75**
**ББК 30.61**

*Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель. При нарушении авторских прав применяются меры в соответствии с нормами Российского законодательства в области авторских прав.*

Данное издание «Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и flip chip технологии» Нинг-Ченг Ли публикуется по договоренности с Elsevier Science Ltd, The Boulevard, Langford Lane, Kidington, OX5 1 GB, England

ISBN 0-7506-7218-8
© Elsiever Science
ISBN 5-94833-015-X
© Издательский Дом «Технологии», 2006

**To my mother, Shu-shuen Chang, for her care and encouragement**
**To my wife, Shen-shwen Lee, for her understanding and fullsupport**

**Моей матери Шу-шуен Чанг за заботу и ободрение**
**Моей жене Шен-чвен Ли за понимание и полную поддержку**

# Оглавление

*Предисловие* 14

**1 Введение в технологию поверхностного монтажа 15**
1.1. Технология поверхностного монтажа 15
1.1.1. История и преимущества 15
1.1.2. Поверхностно-монтируемые изделия 17
1.1.3. Типы технологий сборки 20
1.1.4. Технологии пайки при поверхностном монтаже 23
1.1.5. Преимущества технологии с использованием паяльной пасты при поверхностном монтаже 24
1.2. Тенденции в технологии поверхностного монтажа 25
1.2.1. Движущие силы технологии 25
1.2.2. Компоненты с матричным расположением выводов 29
1.3. Заключение 36
Литература 37

**2 Теоретические основы припоев и пайки 39**
2.1. Теория пайки 39
2.1.1. Растекание 40
2.1.2. Течение жидкости 41
2.1.3. Растворение основного металла 41
2.1.4. Интерметаллические соединения 44
2.2. Влияние компонентов сплава на смачивание 48
2.3. Диаграмма состояния и пайка 49
2.4. Микроструктура и пайка 51
2.4.1. Механизмы деформации 51
2.4.2. Предпочтительные припои и операция пайки 54
2.4.3. Влияние примесей на пайку 54
2.5. Заключение 58
Литература 58
Приложение 2.1. Влияние поверхностного натяжения флюса на растекание расплавленного припоя 60

**3 Технология паяльных паст 63**
3.1. Реакции с участием флюса 63
3.1.1. Кислотно-основные реакции 63
3.1.2. Окислительно-восстановительные реакции 65
3.1.3. Флюсы для пайки оплавлением 67
3.2. Химия флюсов 67
3.2.1. Смолы 67
3.2.2. Активаторы 69
3.2.3. Растворители 71
3.2.4. Реологические добавки 72
3.3. Порошкообразный припой 72

3.3.1. Распыление 73
3.3.2. Размер и форма частиц 75
3.4. Состав и производство паяльных паст 78
3.5. Реология паяльных паст 80
3.5.1. Основы реологии 81
3.5.2. Измерение вязкости паяльной пасты 82
3.6. Требования к реологии паяльных паст 83
3.6.1. Влияние состава на реологию 86
3.7. Заключение 88
Литература 88

**4 Процессы сборки печатных узлов по технологии поверхностного монтажа 91**
4.1. Паяльные пасты 91
4.1.1. Пасты: обращение и хранение 91
4.1.2. Нанесение пасты 91
4.2. Анализ автоматов трафаретной печати 98
4.2.1. Трафареты 98
4.2.2. Ракели 108
4.2.3. Трафаретная печать и контроль нанесения 112
4.3. Установка компонентов 114
4.4. Пайка оплавлением 116
4.4.1. Инфракрасная пайка 119
4.4.2. Пайка в паровой фазе 119
4.4.3. Конвекционная пайка 121
4.4.4. Кондукционная пайка 122
4.4.5. Термокомпрессия 123
4.4.6. Лазерная пайка 123
4.5. Влияние среды на пайку 124
4.6. Особые процессы пайки оплавлением 124
4.6.1. Ступенчатая пайка 124
4.6.2. Пайка оплавлением смешанного припоя 124
4.6.3. Нанесение пасты в отверстия под штырьковые компоненты 125
4.7. Контроль качества паяных соединений 127
4.8. Отмывка 128
4.9. Внутрисхемный контроль 131
4.10. Принцип локализации и устранения дефектов процесса с применением пайки оплавлением 132
4.11. Заключение 133
Литература 133

**5 Проблемы, возникающие в технологии поверхностного монтажа до пайки 135**
5.1. Отделение флюса 135
5.2. Образование корки 135
5.3. Затвердевание пасты 136
5.4. Неудовлетворительное время сохранения свойств пасты на трафарете 136
5.5. Неудовлетворительное отделение пасты от ракеля 139
5.6. Неудовлетворительная толщина отпечатков 141
5.7. Смазывание 144

5.8. Недостаточный объем пасты 147
5.9. Закупоривание иглы 149
5.10. Расползание 150
5.11. Низкая клейкость 154
5.12. Малое время сохранения клейкости 155
5.13. Заключение 156
Литература 157

**6 Проблемы, возникающие при поверхностном монтаже во время пайки оплавлением 159**
6.1. «Холодные» соединения 159
6.2. Отсутствие смачивания 160
6.3. Уменьшение способности смачиваться 162
6.4. Выщелачивание 165
6.5. Интерметаллические соединения 167
6.5.1. Общие вопросы 167
6.5.2. Золото 172
6.6. Эффект надгробного камня 175
6.7. Сдвиг 179
6.8. Капиллярное затекание 181
6.9. Образование перемычек 184
6.10. Образование пустот 188
6.11. Отсутствие электрического контакта 193
6.11.1. Эффект подушки 193
6.11.2. Другие виды отсутствия электрического контакта 193
6.11.3. Отслаивание галтели 194
6.11.4. Местное расширение контактных площадок 194
6.12. Образование шариков припоя 196
6.13. Образование бусинок припоя 200
6.14. Разбрызгивание 205
6.15. Заключение 209
Литература 209

**7 Проблемы, выявляемые после пайки 211**
7.1. Белый налет 211
7.2. Обугленные остатки флюса 214
7.3. Плохой контакт при внутрисхемном контроле 214
7.3.1. Количество остатков флюса 215
7.3.2. Растекание остатков флюса по верхней стороне платы 216
7.3.3. Растекание остатков флюса по нижней стороне платы 216
7.3.4. Твердость остатков флюса 217
7.3.5. Атмосфера при пайке 217
7.3.6. Металлическая составляющая паяльной пасты 217
7.3.7. Что важнее: мягкость остатков или их количество? 217
7.3.8. Пасты с мягким остатком против паст с канифольным среднеактивированным флюсом 220
7.3.9. Многократные испытания на тестопригодность 221
7.4. Проблемы, связанные с поверхностным сопротивлением изоляции и электрохимической миграцией 222
7.4.1. Поверхностное сопротивление изоляции 222
7.4.2. Электрохимическая миграция 222

7.4.3. Влияние химического состава флюса на значение сопротивления изоляции 223
7.4.4. Влияние температуры пайки 230
7.4.5. Влияние чистоты веществ, используемых при производстве печатных узлов 232
7.4.6. Влияние конформных покрытий и герметизации 232
7.4.7. Влияние взаимодействия флюса и паяльной маски 232
7.4.8. Влияние взаимодействия остатков флюса паяльной пасты и флюса для пайки волной 232
7.5. Отслоение/образование пустот/некачественное отверждение конформных покрытий/герметизирующих веществ 233
7.5.1. Образование пустот 233
7.5.2. Отслоение 233
7.5.3. Неполное отверждение 234
7.6. Заключение 234
Литература 235

**8 Формирование матричной структуры выводов компонентов 237**
8.1. Критерии применения припоя 237
8.1.1. Сплавы, используемые для формирования выводов и монтажа компонентов flip chip 238
8.1.2. Сплавы, используемые для формирования выводов и монтажа компонентов BGA и CSP 238
8.1.3. Бессвинцовые припои 238
8.2. Формирование выводов и возможные проблемы 239
8.2.1. Формирование выводов методом наращивания 239
8.2.2. Формирование выводов с использованием расплавленного припоя 242
8.2.3. Формирование выводов с использованием отвержденного припоя 245
8.2.4. Формирование выводов с использованием паяльной пасты 266
8.3. Заключение 274
Литература 275

**9 Монтаж и ремонт компонентов BGA и CSP 277**
9.1. Процесс монтажа 277
9.1.1. Общие правила конструирования трафаретов 278
9.1.2. Установка компонентов BGA и CSP 280
9.1.3. Пайка оплавлением 281
9.1.4. Контроль 282
9.2. Ремонт 283
9.2.1. Последовательность технологических операций 283
9.2.2. Предварительная сушка 284
9.2.3. Демонтаж компонента 284
9.2.4. Оборудование для пайки оплавлением 285
9.2.5. Подготовка места под установку компонента 285
9.2.6. Добавление припоя 285
9.2.7. Установка компонента 286
9.2.8. Пайка BGA и CSP 286
9.3. Трудности, возникающие при монтаже и ремонте 286

9.3.1. Паяные соединения с дефицитом припоя 286
9.3.2. Недостаточное самовыравнивание 288
9.3.3. Недостаточное смачивание 292
9.3.4. Пустоты 293
9.3.5. Образование перемычек 303
9.3.6. Отсутствие контакта 305
9.3.7. Разная высота паяных соединений 308
9.3.8. Перепонки припоя 309
9.3.9. Шарики припоя 310
9.3.10. Эффект «попкорна» и расслоение 310
9.4. Заключение 310
Литература 311

**10 Монтаж компонентов flip chip с помощью пайки оплавлением 313**
10.1. Монтаж flip chip 313
10.1.1. Традиционный монтаж flip chip 314
10.1.2. Компаунд с малым временем отверждения 321
10.1.3. Эпоксидный флюс 321
10.1.4. Технология «no-flow» 321
10.1.5. Технология поверхностного монтажа 322
10.1.6. Бесфлюсовая пайка 324
10.1.7. Нанесение компаунда на полупроводниковые пластины 324
10.1.8. Компрессионно-потоковое нанесение компаунда на полупроводниковые пластины 324
10.2. Проблемы, возникающие при монтаже компонентов flip chip с использованием пайки оплавлением 326
10.2.1. Смещение 326
10.2.2. Недостаточное смачивание 328
10.2.3. Образование пустот 330
10.2.4. Образование пустот при заливке компаундом 333
10.2.5. Образование перемычек 336
10.2.6. Отсутствие контакта 337
10.2.7. Растрескивание компаунда 338
10.2.8. Отслоение компаунда 340
10.2.9. Отделение частиц заполнителя в компаунде 341
10.2.10. Нанесение недостаточного количества компаунда 343
10.3. Заключение 343
Литература 343

**11 Оптимизация температурного профиля пайки с помощью анализа механизма возникновения дефектов 345**
11.1. Реакции флюсования 345
11.1.1. Временные и температурные требования для реакций флюсования 345
11.1.2. Значение реакций флюсования до начала пайки 346
11.2. Температура пайки 347
11.2.1. Холодные паяные соединения и плохое смачивание 347
11.2.2. Обугливание, расслоение, образование интерметаллических соединений 347
11.2.3. Выщелачивание 347
11.3. Стадия охлаждения 347

11.3.1. Рост интерметаллических соединений 347
11.3.2. Размер зерен 347
11.3.3. Растрескивание компонента из-за внутренних напряжений 348
11.3.4. Деформация паяных соединений 348
11.3.5. Отслоение припоя или контактной площадки из-за внутренних напряжений 348
11.4. Стадия предварительного нагрева 348
11.4.1. Расползание пасты и образование перемычек 348
11.4.2. Образование бусинок припоя 349
11.4.3. Капиллярное затекание припоя 349
11.4.4. Эффект надгробного камня и сдвиг компонентов 350
11.4.5. Образование шариков припоя 350
11.4.6. Плохое смачивание 350
11.4.7. Образование пустот 350
11.4.8. Отсутствие контакта 351
11.5. Анализ времени 351
11.5.1. Стадия предварительного нагрева 351
11.5.2. Стадия стабилизации 351
11.5.3. Температура в зоне пайки 351
11.6. Оптимизация профиля пайки 351
11.6.1. Обобщение характеристик требуемого профиля пайки 351
11.6.2. Разработка оптимизированного профиля пайки 355
11.7. Сравнение с традиционными профилями пайки 356
11.7.1. Традиционные профили 356
11.7.2. История традиционного профиля пайки 356
11.7.3. Применение традиционного профиля пайки 357
11.7.4. Ограничение традиционных профилей 357
11.7.5. Ранние технологии массовой пайки печатных узлов 357
11.7.6. Технология пайки с помощью принудительной конвекции 357
11.7.7. Потенциальные дефекты, связанные с традиционным профилем пайки 358
11.8. Исследование 358
11.8.1. Профили пайки для низкотемпературных паяльных паст 358
11.8.2. Профили пайки для высокотемпературных паяльных паст 359
11.8.3. Ограниченная стойкость к окислению 359
11.8.4. Неравномерное распределение по плате компонентов с высокой теплоемкостью 359
11.8.5. Пайка в азотной атмосфере 360
11.8.6. Скорость потока воздуха 360
11.8.7. Отладка оптимального профиля 360
11.9. Внедрение профиля пайки с линейным возрастанием температуры 361
11.10. Заключение 363
Литература 363

**12 Пайка бессвинцовыми припоями 365**
12.1. Начальные мероприятия 366

12.2. Недавние мероприятия 366
12.3. Влияние мероприятий по исключению свинца в Японии 368
12.4. Реакция Соединенных Штатов Америки 368
12.5. Что такое бессвинцовое соединение? 368
12.6. Критерии бессвинцовых припоев 369
12.7. Конкурентоспособные бессвинцовые припои 369
12.7.1. Sn96,5/Ag3,5 369
12.7.2. Sn99,3/Cu0,7 369
12.7.3. Sn/Ag/Cu 369
12.7.4. Sn/Ag/Cu/X 370
12.7.5. Sn/Ag/Bi/X 370
12.7.6. Sn/Sb 370
12.7.7. Sn/Zn/X 371
12.7.8. Sn/Bi 371
12.8. Стоимость 372
12.9. Покрытия контактных площадок на печатных платах 372
12.10. Компоненты 372
12.11. Тепловое повреждение 373
12.12. Другие проблемы 373
12.13. Деятельность по исключению использования свинца в производстве электроники 373
12.14. Мнения разработчиков бессвинцовых технологий 374
12.15. Выбор пионеров в применении бессвинцовых технологий 374
12.16. Возможный план внедрения бессвинцовых технологий 375
12.17. Безопасны ли бессвинцовые технологии? 375
12.18. Выводы по внедрению бессвинцовых технологий 375
12.19. Выявление и устранение проблем при пайке бессвинцовыми припоями 376
12.19.1. Совместимость с процессом пайки оплавлением 376
12.19.2. Отслоение галтели 376
12.19.3. Проводящие анодные структуры 380
12.19.4. Зернистая структура поверхности паяного соединения 380
12.19.5. Трехкомпонентная низкотемпературная эвтектическая фаза Sn/Pb/Bi 381
12.20. Заключение 382
Литература 382

*Предметный указатель* 385