

ЙОРГ ФРАНКЕ

3D-MID

МАТЕРИАЛЫ,
ТЕХНОЛОГИИ,
СВОЙСТВА

**ostec**
группа компаний

издательство
ПРОФЕССИЯ

Й. Франке

3D *MID*

МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИИ, СВОЙСТВА

*Перевод с английского языка
под редакцией И. А. Волкова*

Санкт-Петербург

2014



УДК 621.382
ББК 32.843; 32.844
Ф 83

Франке, Й.

Ф 83 3D *MID*. Материалы, технологии, свойства : пер. с англ. яз. ; под ред.
И. А. Волкова. — СПб. : ЦОП «Профессия», 2014. — 336 с.: цв. ил.

ISBN 978-5-91884-062-7

ISBN 978-3-446-43441-7 (англ.)

Изложены основы проектирования, изготовления и применения 3D *MID*-изделий на базе современных технологических и научных достижений. Представлен обзор технологий изготовления литых монтажных оснований и монтажа, включая анализ преимуществ и недостатков каждой технологии. Подробно описаны технологии структурирования и металлизации оснований, создание прототипов. В отдельных главах рассмотрены важные вопросы комплексной разработки 3D *MID*-изделий на основе систематического подхода, качества и надежности готовых изделий. Приведены многочисленные примеры применения изделий в различных отраслях. Определены перспективы развития 3D *MID*-технологий, основные тенденции в совершенствовании процессов, в создании новых материалов и новых направлений применения 3D *MID*-изделий.

Книга предназначена производителям и поставщикам литых монтажных оснований, технологий нанесения полупроводников, разработчикам и специалистам, отвечающим за внедрение 3D *MID*-изделий.

УДК 621.382
ББК 32.843; 32.844

Copyright © 2013 Carl Hanser Verlag, Munich/FRG. All rights reserved. Authorized translation from the original English language edition published by Carl Hanser Verlag, Munich/FRG

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Информация, содержащаяся в данной книге, получена из источников, рассматриваемых издательством как надежные. Тем не менее, имея в виду возможные человеческие или технические ошибки, издательство не может гарантировать абсолютную точность и полноту приводимых сведений и не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-3-446-43441-7 (англ.)
ISBN 978-5-91884-062-7

© Carl Hanser Verlag, Munich/FRG, 2013
© ЦОП «Профессия», 2014
© Перевод, оформление: ЦОП
«Профессия», 2014



Оглавление

Предисловие к русскому изданию	12
Предисловие	14
Таблица сокращений	16
1. Технология литых монтажных оснований и потенциал мехатронных интегрированных систем	21
1.1. Технологические основы	21
1.1.1. Определение и основополагающий принцип	21
1.1.2. Геометрическая классификация	22
1.1.3. Потенциал 3D <i>MID</i> -технологии	23
1.1.4. Эталонный процесс производства <i>MID</i> -оснований	25
1.1.5. Факторы, обуславливающие выбор технологии	26
1.1.6. Отличия от смежных областей	27
1.2. Смежные отрасли промышленности и области применения	28
1.2.1. Смежные отрасли промышленности	29
1.2.2. Области применения	30
1.3. Рынок <i>MID</i> -оснований, сравнение по регионам	32
1.3.1. История развития	32
1.4. Основные направления исследований в области <i>MID</i> -технологии (технологии производства литых монтажных оснований)	35
1.5. Ключевые факторы успеха проектов	38
1.6. Производственная кооперация по исследованию литых монтажных оснований (3D <i>MID</i>)	39
2. Материалы для 3D <i>MID</i>-оснований	41
2.1. Классификация <i>MID</i> -материалов	43
2.2. Свойства материалов и их характеристики, существенные для <i>MID</i> -изделий	44

2.2.1.	Механические свойства пластмасс	46
2.2.2.	Тепловые параметры	50
2.2.2.1.	Кратковременные температурные воздействия	50
2.2.2.2.	Длительные температурные воздействия	52
2.2.2.3.	Значимые тепловые свойства <i>MID</i> -изделий	52
2.2.3.	Электрические параметры	54
2.3.	Материалы для <i>MID</i> -технологии	55
2.3.1.	Термопласты для <i>MID</i> -изделий	56
2.3.1.1.	Стандартные термопласты	57
2.3.1.2.	Промышленные термопласты	58
2.3.1.3.	Высококачественные термопласты	60
2.3.2.	Модифицированные термопласты для <i>MID</i> -изделий	62
2.3.2.1.	Термопласты с радиационным структурированием поперечных связей	62
2.3.2.2.	Высоконаполненные термопласты	65
2.3.2.3.	Термопласты для выбранных технологий металлизации <i>MID</i> -изделий	69
2.3.3.	Термореактивные пластмассы для <i>MID</i> -изделий	75
3.	Структурирование и металлизация	78
3.1.	Процессы структурирования	78
3.1.1.	Простое литье под давлением	78
3.1.1.1.	Лазерное структурирование	79
3.1.1.1.1.	Процесс <i>LPKF-LDS</i> [®]	79
3.1.1.1.2.	Технология <i>ADDIMID</i>	85
3.1.1.1.3.	Альтернативные процессы лазерного структурирования	86
3.1.1.2.	Методы печати	89
3.1.1.2.1.	Метод печати <i>Aerosol-Jet</i> [®]	90
3.1.1.2.2.	Струйная печать	93
3.1.1.2.3.	Горячее тиснение	95
3.1.2.	Двухшаговое литье	100
3.1.3.	Литье со вставкой	101
3.1.3.1.	Литье со вставкой пленки	101
3.1.3.1.1.	Литье вспенивающихся термопластиков	101
3.1.3.1.2.	Компрессионное литье	102
3.1.3.1.3.	Литье со вставкой под давлением	103
3.1.3.1.4.	Другие варианты литья со вставкой	103
3.1.4.	Альтернативные процессы структурирования	104

3.1.4.1.	Технология нанесения грунта	105
3.1.4.2.	Тампонная печать	105
3.1.4.3.	Плазменные технологии	106
3.1.4.3.1.	Технология <i>Flamecon</i> [®]	107
3.1.4.3.2.	Технология <i>Plasmadust</i> [®]	108
3.2.	Металлизация	110
3.2.1.	Очистка поверхности носителя	112
3.2.2.	Металлизация	113
3.2.3.	Толщина и шероховатость покрытий	118
3.2.4.	Токопроводящая способность	122
4.	Технология сборки 3D MID-изделий	125
4.1.	Производственная цепь	125
4.2.	Трудности, возникающие при сборке	126
4.2.1.	Влияние геометрической формы	126
4.2.2.	Монтаж компонентов на трехмерные основания	127
4.3.	Автоматизированная сборка	130
4.3.1.	Требования	130
4.3.2.	Нанесение монтажного средства	130
4.3.3.	Монтаж компонентов	135
4.3.4.	Пайка оплавлением припоя	146
4.3.5.	Оптический контроль	147
5.	Технология формирования межсоединений	148
5.1.	Специфические характеристики и проблемы	148
5.2.	Монтажные средства	151
5.2.1.	Паяльная паста	152
5.2.2.	Проводящие и непроводящие клеи	153
5.2.2.1.	Изотропный проводящий клей	154
5.2.2.2.	Анизотропные проводящие клеи	155
5.2.2.3.	Непроводящие клеи	156
5.2.3.	Вдавливаемые стержни	156
5.3.	Процесс подключения	157
5.3.1.	Методы пайки оплавлением припоя	159
5.3.1.1.	Пайка инфракрасными лучами	159
5.3.1.2.	Конвекционная пайка	160
5.3.1.3.	Пайка в паровой фазе	160

5.3.2.	Процессы избирательной пайки	164
5.3.3.	Склеивание	165
5.3.4.	Метод вдавливания выводов	167
5.3.5.	Монтаж микросхем	170
5.3.5.1.	Проволочный монтаж	172
5.3.5.2.	Технология перевернутого кристалла	175
5.3.5.3.	Заливка	177
5.4.	Взаимодействие с периферийными устройствами	177
5.5.	Защита соединений от воздействия окружающей среды	179
6.	Качество и надежность	181
6.1.	Трудности, связанные с контролем качества	181
6.2.	Контроль качества на основе моделирования	183
6.3.	Методы неразрушающего контроля	184
6.3.1.	Методы оптических испытаний и контроля	184
6.3.2.	Автоматизированный оптический контроль	186
6.3.3.	Рентгенографический анализ	187
6.3.4.	Компьютерная томография	188
6.3.5.	Рентгенофлуоресцентный анализ	188
6.4.	Методы разрушающего контроля	189
6.4.1.	Адгезионная прочность	189
6.4.1.1.	Испытание на отслаивание	190
6.4.1.2.	Испытание на отрыв	191
6.4.1.4.	Испытание на срез	192
6.4.1.5.	Испытание сетчатым надрезом (испытание методом клейкой ленты)	192
6.4.2.	Измерение силы сдвига и испытание на растяжение	194
6.4.3.	Анализ подготовленных срезов	195
6.5.	Определение электрических характеристик	196
6.5.1.	Сопротивление	196
6.5.2.	Омический нагрев	198
6.5.3.	Изоляционные свойства	199
6.6.	Анализ надежности	199
6.6.1.	Трудности, характерные для <i>MID</i> -технологии	199
6.6.2.	Ускоренное старение	201
6.6.3.	Пример применения I: высокотемпературное <i>MID</i> -изделие	202
6.6.4.	Пример применения II: соединения посредством вдавливаемых стержней	205

7. Создание MID-прототипов	207
7.1. Классификация образцов и прототипов	207
7.1.1. Образцы для визуализации	208
7.1.2. Концептуальная модель	208
7.1.3. Полностью функциональный образец	209
7.1.4. Прототип	210
7.2. Процессы производства пластмассовых заготовок	210
7.2.1. Стереолитография	211
7.2.2. Технология селективного лазерного спекания	212
7.2.3. Моделирование методом наплавления	212
7.2.4. Литье под вакуумом в силиконовые формы	214
7.2.5. Фрезерование термопластичных заготовок	214
7.2.6. Литье под давлением	215
7.3. Образцы и прототипы, полученные методом <i>LPKF-LDS</i> [®]	216
7.3.1. <i>ProtoPaint LDS</i>	216
7.3.2. <i>LDS</i> -структурирование пластмассовых деталей, изготовленных методом <i>FDM</i>	218
7.3.3. <i>LDS</i> -структурирование деталей, отлитых в вакууме	218
7.3.4. <i>LDS</i> -структурирование для фрезерованных заготовок	218
7.3.5. <i>LDS</i> -структурирование форм, отлитых в пресс-формах быстрого прототипирования	218
7.3.6. <i>LDS</i> -структурирование деталей, отлитых в стальных пресс-формах с незакаленными вставками	219
7.4. Образцы и прототипы, изготавливаемые методом горячего тиснения	219
7.5. Образцы и прототипы, изготовленные методом двухшагового литья	219
7.6. Печать <i>Aerosol-Jet</i> на детали, изготовленной по <i>SLA</i> -технологии	220
7.7. Обзор различных комбинаций для прототипирования <i>MID</i> -изделий	220
8. Комплексная разработка MID-изделий	221
8.1. Системный подход к развитию <i>MID</i> -изделий	222
8.1.1. Руководство <i>VDI 2206</i> : Методология проектирования мехатронных систем	222
8.1.2. Методология Томаса Пейтца по оптимизации производства механических электронных модулей	224
8.1.3. Системный подход Инго Кайзера по развитию мехатронных систем	226
8.2. Требования	228
8.3. Концептуализация изделия	230

8.4. Концептуализация производственного процесса	232
8.5. Конструирование электронной части	237
8.6. Разработка производственного процесса	243
8.7. Разработка технологии монтажа и сборки	245
8.8. Планирование работы	247
8.9. Инструменты разработки <i>MID</i> -изделий	248
8.9.1. Каталоги промышленных образцов <i>MID</i> -изделий	249
8.9.2. Карты свойств процессов производства <i>MID</i> -изделий	251
8.9.3. Руководящие принципы <i>MID</i> -технологии	253
8.9.4. Особенности <i>MID</i> -изделий	254
8.10. Компьютерное моделирование	257
8.10.1. Требования к средствам разработки <i>MID</i> -изделий	257
8.10.2. Программные средства для конструкции и макета	264
8.10.3. Программные средства моделирования	268
8.10.4. <i>CAD/CAM</i> -цепи	273
9. Примеры внедрения	277
9.1. Органический светоизлучающий диод (<i>OLED</i>)	278
9.2. Датчик потока	279
9.3. Многополосная антенна для смартфонов	280
9.4. Позиционный датчик системы адаптивного круиз-контроля (<i>ACC</i>)	282
9.5. Датчик давления	283
9.6. Светодиод <i>MULTI LED</i>	285
9.7. Инсулиновая помпа	286
9.8. Пассивный <i>RFID</i> -транспондер УВЧ-диапазона	287
9.9. Светодиодный модуль камеры	289
9.10. Трехмерный модуль переключений	290
9.11. Крышка безопасности	292
9.12. Датчик солнечного света	294
9.13. Держатель микрофона для слухового аппарата	295
9.14. Переключатель положения сидения	296
9.15. Светодиодный индикатор	297
Литература	300
Авторы	312
Фирмы	317
Предметный указатель	326