

# Содержание

## Глава 1

<b>Конструкции и схемы изготовления печатных плат</b> .....	19
1.1. Почему «печатная плата»? .....	19
1.2. История .....	20
1.3. Классификация конструкций печатных плат .....	22
1.4. Методы изготовления печатных плат .....	25
1.4.1. Субтрактивные методы .....	25
1.4.1.1. Химический метод .....	26
1.4.1.2. Механическое формирование зазоров (оконтуривание проводников) ...	27
1.4.1.3. Лазерное гравирование .....	29
1.4.2. Аддитивные методы .....	29
1.4.2.1. Фотоаддитивный процесс .....	30
1.4.2.2. Аддитивный процесс .....	31
1.4.2.3. Нанесение токопроводящих красок или металлонаполненных паст .....	32
1.4.2.4. Горячая запрессовка металлического порошка (тиснение) .....	35
1.4.2.5. Штампование схем .....	35
1.4.2.6. Метод переноса .....	36
1.4.2.7. Общая оценка аддитивных методов .....	37
1.4.3. Полуаддитивные методы .....	38
1.4.3.1. Классический полуаддитивный метод .....	39
1.4.3.2. Аддитивный метод с дифференциальным травлением .....	41
1.4.3.3. Рельефные платы .....	41
1.4.4. Комбинированные методы .....	43
1.4.4.1. Комбинированный негативный метод .....	43
1.4.4.2. Комбинированный позитивный метод .....	44
1.4.4.3. Тентинг-метод .....	47
1.4.5. Выбор методов изготовления печатных плат .....	48
1.5. Методы изготовления многослойных печатных плат .....	52
1.5.1. Введение .....	52
1.5.2. Метод попарного прессования .....	52

1.5.3. Метод открытых контактных площадок и выступающих выводов .....	52
1.5.4. Метод послойного наращивания .....	56
1.5.5. Метод металлизации сквозных отверстий .....	58
1.5.6. МПП с микропереходами .....	66
1.5.6.1. Обоснование необходимости .....	66
1.5.6.2. МПП со скрытыми микропереходами на наружных слоях .....	67
1.5.6.3. Комбинация методов металлизации сквозных отверстий и послойного наращивания .....	69
1.5.7. Гибкие печатные платы .....	69
1.5.8. Выбор методов изготовления печатных плат .....	71

## **Глава 2**

<b>Элементы конструирования печатных плат .....</b>	<b>73</b>
2.1. Корпуса микросхем .....	74
2.1.1. Конструкции корпусов микросхем .....	74
2.1.2. Непосредственный монтаж кристаллов на подложку .....	76
2.1.3. Микрокорпуса (CSP) .....	79
2.1.4. Количество выводов и степень интеграции микросхем .....	80
2.2. Координатная сетка .....	82
2.3. Элементы проводящего рисунка .....	23
2.3.1. Печатные проводники .....	23
2.3.2. Металлизированные отверстия .....	84
2.3.3. Монтажные контактные площадки. Финишные покрытия. ....	86
2.3.4. Контактные покрытия .....	88
2.3.5. Топология токопроводящего рисунка .....	93
2.3.6. Избирательная лаковая защита (паяльная маска) .....	95
2.3.7. Деформация печатных плат .....	96
2.4. Плотность межсоединений .....	98
2.4.1. Методы увеличения плотности монтажа ПП .....	98
2.4.2. Влияние размеров контактных площадок на плотность трассировки .....	98
2.4.3. Уменьшение ширины проводников и зазоров ....	101

2.4.4. Увеличение количества слоев .....	103
2.4.5. Оценка плотности межсоединений .....	104
2.5. Быстродействие .....	107
2.5.1. Задержка сигналов .....	107
2.5.2. Погонная емкость .....	108
2.5.3. Волновое сопротивление .....	109
2.6. Энергопотребление .....	111
2.6.1. Цепи питания .....	111
2.6.2. Сопротивление цепей .....	111
2.6.3. Токонесущая способность проводников .....	113
2.7. Элементы кондуктивного теплоотвода .....	117
2.8. Себестоимость .....	

### Глава 3

<b>Базовые материалы</b> .....	121
3.1. Общие понятия. ....	121
3.2. Фольги .....	122
3.2.1. Электролитическая фольга (ED foil – electrodeposited copper foil). ....	122
3.2.1.1. Шероховатость. ....	123
3.2.1.2. Покрытия, создающие термический барьер. ....	123
3.2.1.3. Пассивационные и антиоксидантные покрытия. ....	124
3.2.1.4. Аппретирование. ....	124
3.2.1. Фольги с обработкой обратной стороны (RTF - Reverse-treated foil). ....	124
3.2.2. Отожженная катаная фольга. ....	125
3.2.3. Другие типы фольг .....	125
3.2.3.1. Фольга с двусторонней обработкой (DTF - Double-Treated Copper Foil) .....	125
3.2.3.2. Тонкомерная фольга .....	126
3.2.3.3. Резистивные фольги .....	127
3.2.3.4. Фольги из других металлов .....	127
3.3. Связующие .....	127
3.3.1. Общие сведения о связующих .....	127
3.3.1.1. Полимеры .....	127
3.3.1.2. Строение молекул полимеров .....	129

# Комплексные решения для производства печатных плат и выполнения гальванических покрытий

[www.nmaee.ru](http://www.nmaee.ru)



3.3.1.3. Стадии отверждения полимеров .....	130
3.3.1.4. Общие свойства полимеров .....	131
3.3.2. Температурные фазовые переходы в полимерах .	132
3.3.3. Эпоксидные смолы .....	133
3.3.3.1. Общие свойства .....	133
3.3.3.2. Диановые (дифункциональные) эпоксидные смолы .....	134
3.3.3.3. Тетра- и многофункциональные эпоксидные смолы .....	135
3.3.4. Другие связующие .....	137
3.3.4.1. Эпоксидные композиции .....	137
3.3.4.2. Бисмалеимид Триазин (BT - Bismaleimide Triazine) .....	137
3.3.4.3. Цианатный полиэфир .....	138
3.3.4.4. Полиимиды .....	138
3.3.4.5. Полибензимидазолы и полибензоксазолы .....	139
3.3.4.6. Полисульфоны .....	139

3.3.4.7. Сложные полиэфиры .....	139
3.3.4.8. Ненасыщенные олигоэфиры (полиэфиры) .....	140
3.3.4.9. Простые полиэфиры .....	141
3.3.4.10. Политетрафторэтилен .....	141
3.3.4.11. Фенолоальдегидные смолы .....	142
3.4. Армирующие наполнители композиционных материалов .....	142
3.4.1. Силикатные наполнители .....	143
3.4.1.1. Составы электротехнических стекол .....	143
3.4.1.2. Стекланные волокна .....	144
3.4.1.3. Стекланные ткани .....	145
3.4.2. Другие наполнители .....	147
3.4.2.1. Стекланный шпон .....	147
3.4.2.2. Арамидные волокна .....	147
3.4.2.3. Бумага .....	147
3.4.3. Простые наполнители .....	148
3.5. Технология изготовления материалов диэлектрического основания. ....	148
3.6. Основные типы фольгированных материалов .....	153
3.6.1. Сортамент композиционных материалов для диэлектрических материалов .....	153
3.6.2. Распространенные типы фольгированных материалов .....	156
3.6.2.1. Гетинакс (ГФ). ....	156
3.6.2.2. Эпоксидный гетинакс (FR-3) .....	156
3.6.2.3. Эпоксидный стеклотекстолит (СФ, G-10). ....	156
3.6.2.4. Нагревостойкий эпоксидный стеклотекстолит (СФН). ....	156
3.6.2.5. Нагревостойкие огнестойкие эпоксидные стеклотекстолиты (FR). ....	157
3.6.2.6. Полиэфирные текстолиты .....	157
3.6.2.7. Полиимид и цианатный полиэфир, армированные нагревостойкими тка .....	157
3.6.2.8. Комбинации материалов .....	158
3.6.2.9. Склеивающие материалы .....	158
3.7. Свойства фольгированных материалов .....	159

## ООО «Печатные платы»





**РАЗРАБОТКА**

- PCAD
- Berber
- Orcad
- Protel

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ**

- 2-6 слоев
- ДПП - 3 дня
- МПП - 5 дня
- покрытие ламелей
- серийное
- мелкосерийное
- срочное
- прототипы

**СБОРКА**

- поверхностный монтаж
- монтаж в отверстия
- смешанный монтаж

127055

г. Москва

ул. Суццевская

дом 21

тел./факс : (095) 787-65-01

(095) 787-65-02

(095) 787-65-03

www.pcbpro.ru

ppallpcb@sovintel.ru

3.7.1.	Физико-механические свойства .....	159
3.7.1.1.	Подготовка образцов к испытаниям .....	159
3.7.1.2.	Механическая прочность .....	160
3.7.1.3.	Релаксация .....	161
3.7.1.4.	Плотность .....	161
3.7.1.5.	Водопоглощение, влагостойкость .....	162
3.7.1.5.	Температурный коэффициент линейного расширения .....	163
3.7.1.6.	Теплопроводность материала основания .....	164
3.7.1.7.	Огнестойкость (горючесть). .....	164
3.7.1.8.	Коробление. ....	165
3.7.1.9.	Нагревостойкость. ....	166
3.8.	Прочность сцепления фольги с диэлектриком .....	167
3.8.1.	Методические вопросы. ....	167
3.8.1.1.	Способы отрыва фольги .....	167
3.8.1.2.	Зависимость усилия отрыва от толщины фольги .....	168

3.8.1.3. Приспособления для отрыва фольги .....	169
3.8.1.4. Ширина полоски фольги для отрыва .....	170
3.8.1.3. Определение стойкости к воздействию пайки (термоудару). .....	170
3.8.1.4. Определение стойкости к воздействию химических растворов ...	173
3.8.1.5. Стойкость к условиям, имитирующим гальванический процесс. ....	174
3.9. Электрические испытания .....	174
3.9.1. Сопротивление диэлектрика. ....	174
3.9.1.1. Сопротивление токам утечки по объему и по поверхности. ....	174
3.9.1.2. Сопротивление токам утечки вдоль поверхности слоистых пластиков. ....	177
3.9.2. Электрическая прочность изоляции .....	178
3.9.2.1. Стандартные испытания электрической прочности .....	178
3.9.2.2. Электрическая прочность вдоль слоев ...	178
3.9.3. Диэлектрическая проницаемость. ....	179
3.9.4. Диэлектрические потери. ....	181
3.9.4. Электрическое сопротивление фольги. ....	181
3.10. Размерная стабильность тонких фольгированных стеклотекстолитов .....	182

## Глава 4

<b>Фотошаблоны</b> .....	185
4.1. Материалы фотошаблонов – носители изображений .....	185
4.1.1. Общие свойства фотоматериалов .....	185
4.1.2. Серебросодержащие фотоматериалы .....	189
4.1.3. Диазопленки .....	197
4.1.4. Фотопленки для изготовления фотошаблонов ...	200
4.1.4.1. Общие сведения .....	200
4.1.4.2. Влияние влажности .....	200
4.1.4.3. Влияние температуры .....	201
4.1.4.4. Влияние режимов обработки .....	201
4.1.4.6. Размерная стабильность .....	202
4.1.4.8. Эффект «Серебряного слоя» .....	203
4.1.4.9. Время релаксации фотопленки .....	206

**РОСТ-А**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**  
**ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА**  
**И МОНТАЖА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

117342, г. Москва, ул. Бутлерова, 15  
 Тел.: +7 (095) 334-9461 Факс: +7 (095) 334-9611 E-mail: pcb@pcb.ru www.pcb.ru

4.1.4.10.	Неравномерность свойств фотопленок X и Y направлениях .....	204
4.1.4.11.	Гистерезис .....	204
4.1.4.12.	Подготовка фотошаблонов к работе ....	205
4.1.4.13.	Создание условий вакуумной гигиены в рабочих помещениях — «чистые» комнаты .....	205
4.1.4.14.	Пример расчета изменения размеров фотопленки .....	206
4.1.5.	Фотостекла .....	206
4.2.	Принципы прорисовки фотошаблонов .....	208
4.2.1.	Методы ручной работы .....	208
4.2.1.1.	Вычерчивание .....	208
4.2.1.2.	Метод аппликации примагничивающимися элементами .....	208
4.2.1.3.	Аппликация липкой лентой .....	208
4.2.1.4.	Метод скрайбирования двухслойной пленки .....	209
4.2.1.5.	Резание по эмали .....	209



4.2.2. Автоматические методы изготовления фотошаблонов .....	209
4.2.2.1. Векторный метод вычерчивания изображений .....	210
4.2.2.2. Наборный принцип .....	211
4.2.2.3. Растровый принцип .....	212
4.2.2.4. Возгонка масочного покрытия .....	215

## **Глава 5**

<b>Процессы печати</b> .....	218
5.1. Введение .....	218
5.2. Фотолитография .....	218
5.2.1. Фотополимеры .....	218
5.2.2. Фоторезисты .....	220
5.2.3. Процессы при экспонировании фоторезистов ...	233
5.2.4. Разрешающая способность .....	224
5.2.5. Экспонирование фоторезиста .....	226
5.2.6. Инженерное обеспечение качества изображения .....	228
5.2.7. Материалы паяльных масок .....	231
5.3. Трафаретная печать .....	232
5.4. Офсетная печать .....	239

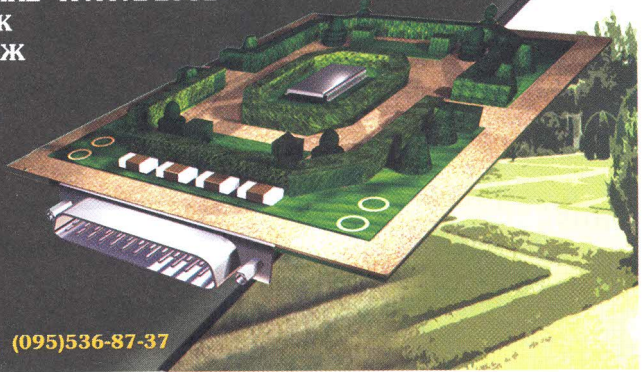
## **Глава 6**

<b>Системы совмещения</b> .....	241
6.1. Погрешности совмещения элементов межсоединений .....	241
6.1.1. Основные понятия о совмещении .....	241
6.1.2. Математическая модель погрешностей совмещения .....	243
6.1.3. Позиционные погрешности .....	245
6.1.3.1. Случайные погрешности .....	245
6.1.3.2. Систематические погрешности .....	246
6.1.4. Линейно зависимые погрешности .....	247
6.1.5. Суммарные погрешности .....	249
6.1.6. Размеры элементов совмещения .....	250
6.1.7. Пример расчета конструкционных размеров .....	252
6.1.7.1. Суммарные погрешности совмещения	


**ТелеРем**
[www.telerem.ru](http://www.telerem.ru)    [smd@telerem.ru](mailto:smd@telerem.ru)

## КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ

РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ  
 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ  
 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТРАФАРЕТОВ  
 DIP МОНТАЖ  
 SMD МОНТАЖ  
 ПРОВЕРКА  
 НАСТРОЙКА



(095)739-07-27; (095)536-87-37

	элементов соединений .....	252
6.1.7.2.	Минимальный размер контактной площадки .....	253
6.1.7.4.	Надежность соединения .....	253
6.2.	Системы совмещения .....	254
6.2.1.	Виды систем совмещения .....	254
6.2.1.1.	Размещение штифтов по одной стороне аготовки .....	255
6.2.1.2.	Четырехслотовая система .....	255
6.2.1.3.	L – конфигурация .....	255
6.2.1.4.	Оптические системы совмещения .....	255
6.2.2.	Оценка систем совмещения .....	256
6.2.3.	Оптическая система совмещения .....	257
6.2.4.	Оценка точности систем совмещения .....	259
6.2.4.2.	Автоматическая, оптическая система совмещения (MASS»LAM) .....	260
6.2.4.3.	Сравнение погрешностей .....	260
6.3.	Анализ погрешностей совмещения .....	261

6.3.1. Выделение составляющих погрешностей совмещения .....	261
6.4. Управление совмещением в производстве .....	264
6.4.1. Подготовка информации .....	264
6.4.1.1. Общие меры .....	264
6.4.1.2. Изменение формы контактных площадок .....	265
6.4.1.4. Формирование технологического контура .....	265
6.4.1.5. Симметрирование слоев МПП .....	267
6.4.2. Изготовление фотошаблонов .....	267
6.4.3. Сверление отверстий .....	268
6.4.3.1. Общие меры предотвращения смещения .....	268
6.4.3.2. Корректирование масштабной компенсации .....	268
6.4.4. Прессование .....	270
6.4.4.1. Обеспечение симметричности конструкции платы, подбор базовых материалов .....	270
6.4.4.2. Направление волокон стеклоткани .....	270
6.4.5. Обеспечение стабильности окружающей среды .....	271

## Глава 7

<b>Процессы печати</b> .....	273
7.1. Введение .....	273
7.2. Химические принципы процессов травления .....	274
7.2.1. Электрохимический ряд напряжений металлов .....	274
7.2.2. Принципы травления металлов .....	276
7.2.2.1. Травление с выделением водорода .....	276
7.2.2.2. Травление с восстановлением кислорода .....	277
7.2.2.3. Травление с образованием комплексов. ...	278
7.3. Травящие растворы в производстве печатных плат .....	282
7.3.1. Процессы и параметры травления .....	282
7.3.2. Травление в растворе хлорного железа (III) .....	284
7.3.3. Травление в персульфате аммония .....	286

## Группа PS-ELECTRO

ПЕЧАТНЫЕ  
ПЛАТЫ И МОНТАЖ

NEW!

ОПП, ДПП - 1-2 дня! МПП - 3-5 дней!

для заказов: [market@pselectro.ru](mailto:market@pselectro.ru)  
с пометкой "Суперэкспресс"**ЭЛЕКТРОКОННЕКТ (головной офис)**г. Новосибирск, 630117, ул. Арбузова 1/1  
тел/факс (383-3) 36-10-01, 36-10-03  
e-mail: [order@pselectro.ru](mailto:order@pselectro.ru); web: <http://www.pselectro.ru>

## г. Москва, ООО "Печатные Платы"

ул. Суздальская 21, тел/факс (095) 787-6501, 787-6502, 787-6503  
e-mail: [ppalpcb@sovintel.ru](mailto:ppalpcb@sovintel.ru)

## г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский филиал

ООО "Электроконнект", ул. 6-я Советская 24, оф. 210,  
тел/факс (812) 274-97-91, 271-56-87,  
e-mail: [pselectro@peterlink.ru](mailto:pselectro@peterlink.ru)

## г. Екатеринбург, ООО "КТЦ КЭБ"

ул. Белинского, 140/2, тел/факс (343) 251-29-69, 260-36-71  
e-mail: [cbk@ceb-e-burg.ru](mailto:cbk@ceb-e-burg.ru)

7.3.4. Травление в кислом растворе хлорида меди (II) .....	286
7.3.5. Травление в растворе хромовой кислоты .....	289
7.3.6. Травление в растворе перекиси водорода .....	289
7.3.7. Травление в щелочном растворе хлорита натрия .....	290
7.3.8. Травление в аммиачном комплексе хлорной меди .....	291
7.3.9. Осветление металлорезиста олово-свинец .....	292
7.4. Техника травления .....	293
7.5. Профильное травление .....	295
7.6. Очистка отверстий после сверления .....	296
7.6.1. Причины наволакивания смолы на стенки отверстий .....	296
7.6.3. Перманганатная очистка .....	297
7.6.4. Плазмохимическая очистка .....	299
7.6.6. Двойное сверление .....	300

