

Производство печатных плат

Ф. Галецкий

Современные технологии

Печатные платы — важнейший элемент любого электронного устройства. Технология их изготовления определяет качество изделия в целом, его себестоимость и надежность. В нашей стране производство печатных плат, как и вся промышленность, поставлено в крайне тяжелые условия. В этой ситуации заинтересованные фирмы, предприятия, институты объединились в Союз развития печатного монтажа, чтобы не только сохранить созданное в прежние годы, но и продвигаться к главной цели — созданию современной индустрии печатных плат. Автор статьи, президент этого Союза, знакомит с основными технологиями производства печатных плат, развиваемыми и поддерживаемыми в России.

Создание рисунка проводников на слоях печатных плат

Наиболее общие показатели уровня развития печатных плат — ширина проводников и диаметр межслойных переходов. В процессе совершенствования технологии ширина проводников уменьшается, а число межслойных переходов увеличивается — за счет уменьшения их размеров и использования поверхностных контактных площадок для присоединения выводов компонентов (табл. 1, рис. 1)*.

При получении проводящего рисунка слоев печатных плат применяют два вида технологии: на основе субтрактивных методов и посредством аддитивного формирования. В субтрактивной технологии рисунок печатных плат получают травлением медной фольги по защитному изображению в фоторезисте или по металлорезисту, осажденному на поверхность гальванически сформированных проводников в рельефе фоторезиста на фольгированных диэлектриках. Наиболее распространены три варианта технологических схем получения проводящего рисунка печатных плат по субтрактивной технологии: первый — травление медной фольги на поверхности диэлектрика по защитному изображению в фоторезисте при изготовлении односторонних и двухсторонних слоев многослойных плат (рис. 2); второй — травление медной фольги с гальванически осажденным сплошным слоем меди по защитному изображению рисунка схемы и с защитными завесками над металлизированными отверстиями (рис. 3); третий — процесс травления по металлорезисту (рис. 4). Рассмотрим более подробно второй и третий варианты технологических схем.

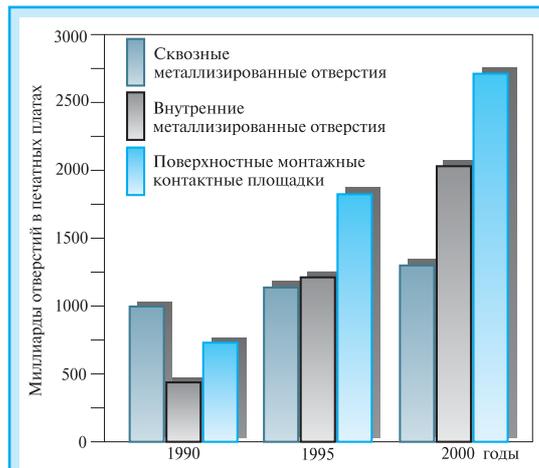


Рис.1. Общее количество отверстий в печатных платах в мире

вают медь до требуемой толщины (35–40 мкм). Далее на сверленные подложки накладывают пленочный фоторезист, который создает защитное изображение схемы и защитные завески над металлизированными отверстиями, не попадая внутрь самих отверстий. По защитному изображению в фоторезисте с пробельных мест схемы вытравливают медь. Образованные фоторезистом завески защищают металлизированные отверстия от воздействия травящего раствора.

Способ травления медной фольги по защитному изображению рисунка схемы и с защитными завесками над металлизированными отверстиями называют также *теннинг-процессом*, или *методом образования завесок над отверстиями*. В ходе данного процесса в заготовках фольгированного диэлектрика просверливаются отверстия и проводится химическая металлизация их стенок. Затем в отверстиях и на всей поверхности фольги электролитически дораци-

вают медь до требуемой толщины (35–40 мкм). Далее на сверленные подложки накладывают пленочный фоторезист, который создает защитное изображение схемы и защитные завески над металлизированными отверстиями, не попадая внутрь самих отверстий. По защитному изображению в фоторезисте с пробельных мест схемы вытравливают медь. Образованные фоторезистом завески защищают металлизированные отверстия от воздействия травящего раствора.

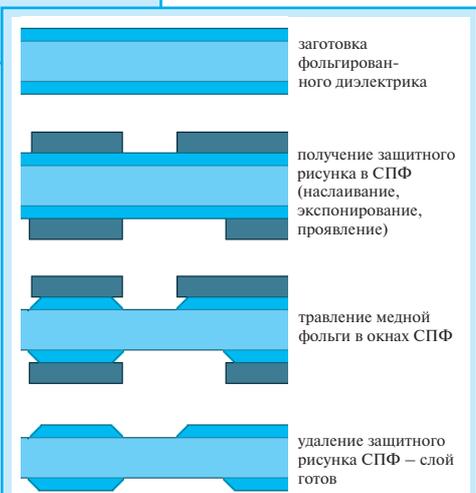


Рис.2. Технологическая схема изготовления слоев субтрактивным методом с использованием сухого пленочного фоторезиста (ДФФ)

Уровни печатного монтажа

Таблица 1

Уровни печатного монтажа	Характеристики						Уровень		Метод
	Ширина проводников и зазоров, мкм	Шаг сквозных переходов, мм	Шаг внутренних переходов, мм	Число проводников в шаге переходов	Шаг планарных ламелей, мкм	Шаг матричных площадок, мкм	печати	монтажа	
0	200/200	1,25	0,625	1	0,625	2,5	0	0	субтрактивный
1	150/150	0,625	0,625	—	0,5	1,25	1	1	
2	75/75	1,0	1,0	2	0,5	1,0	2	2	ПАФОС
3	50/50	1,0	1,0	3	0,5	1,0	3	2	
4	50/50	0,5	0,5	1	0,25	0,5	3	3	
5	50/50	0,25	0,25	—	0,25	0,5	4	4	

* European Joint Conference IV "PCB World Market & Quality Aspects in Manufacturing Fine-line, High-density and SMT PWB's". — St.Pb, June 1994, p.99,183.

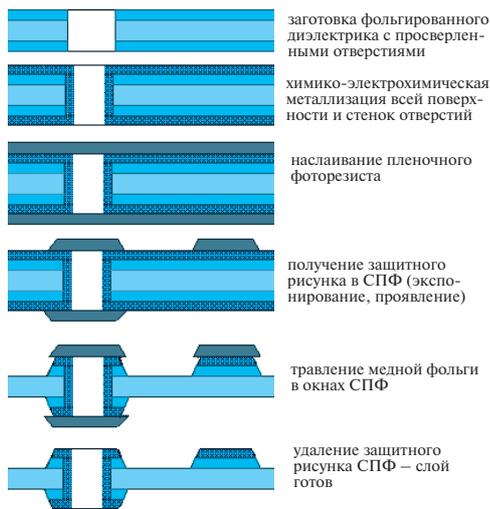


Рис. 3. Технологическая схема изготовления слоев методом "тентинг" с использованием СПФ

При травлении меди профиль поперечного сечения проводников приобретает форму трапеции с большим основанием на поверхности диэлектрика. Анализ замеров показывает, что разброс ширины проводников растет с увеличением толщины фольги. Например, при травлении фольги толщиной 5 мкм разброс ширины составляет около 7 мкм, при толщине фольги 20 мкм – 30 мкм, а при толщине 35 мкм – около 50 мкм. Искажения ширины медных проводников по отношению к их изображению на фотошаблоне-негативе направлены в сторону заужения.

Обычно для получения изображений применяется пленочный фоторезист толщиной 15–50 мкм. Однако в тентинг-процессе для сохранения целостности защитных завесок над отверстиями при операциях проявления и травления, проводимых посредством разбрызгивания растворов под давлением 1,6–2 атм и более, используется фоторезист толщиной не менее 45–50 мкм. Для надежного тентинга диаметр контактной площадки должен в 1,4 раза превышать диаметр отверстия, а минимальный поясok изображения контактной площадки (ширина между краем контактной площадки и отверстием) – составлять не менее 0,1 мм. Кроме того, в размеры изображений на фотошаблоне необходимо вводить величину заужения, т.е. прибавлять эту величину к номинальному значению ширины проводника.

Для получения слоев печатных плат с металлизированными переходами при ширине проводников менее 125 мкм и толщине 50 мкм используется *техно-*

логический процесс травления по металлорезисту. Как и в предыдущем варианте, в этом процессе пленочный фоторезист наслаивается на заготовки фольгированного диэлектрика, прошедшие операции сверления отверстий и предварительной металлизации медью. В процессе фотолитографии резиста защитный рельеф получают над теми местами фольги, которые необходимо удалить. Затем последовательно осаждают медь и металлорезист на освобожденные от пленочного фоторезиста участки поверхности и на стенки отверстий. После удаления фоторезиста незащищенные слои меди вытравливаются.

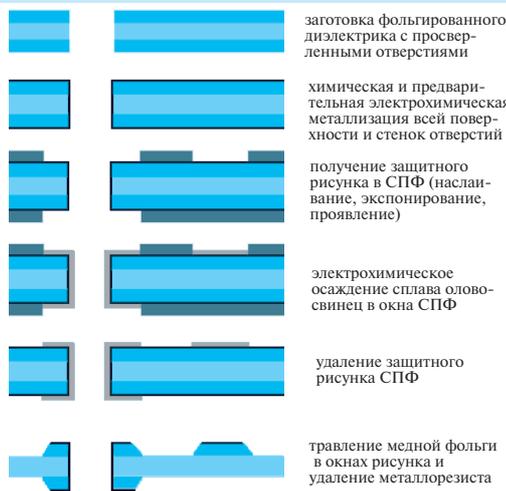


Рис. 4. Технологическая схема изготовления слоев субтрактивным методом с использованием металлорезиста (олово-свинец)

Предварительная металлизация стенок отверстий и поверхности фольги диэлектрика производится на минимально возможную толщину – 8–10 мкм. Для получения изображений используют тонкие пленочные фоторезисты.

Подготовка поверхности подложки под наслаивание пленочного фоторезиста из-за небольшой толщины фольги и металлизированного слоя проводится химическим способом. Наслаивание проводится по специально подобранному режиму, при низкой скорости (0,5 мкм/мин) и при температуре нагрева валков $115 \pm 5^\circ\text{C}$ на подогретые до температуры 60–80°C заготовки. Экспонируют изображение на установках с точечным источником света, обеспечивающих высококоллимированный интенсивный световой поток на рабочую поверхность копировальной рамы. Дозирование и контроль световой энергии автоматические. Фотошаблоны-позити-

вы должны иметь резкость края изображения 3–4 мкм против 7–8 мкм у фотошаблонов, применяемых для получения изображений с разрешением 200–250 мкм. Изображения проявляются в специальных процессорах в стабилизированном трихлорэтаноле. Следы органики с поверхности подложки удаляются обработкой в окислителе – 20%-ном растворе серной кислоты в течение двух минут с последующей промывкой в воде и калориферной сушкой в конвейерной струйной установке. Далее для повышения гальваностойкости защитного изображения проводится световое дублирование.

Проводящий рисунок формируют последовательным гальваническим осаждением слоев меди толщиной 20–40 мкм и олова/свинца (ПОС-61) – 9–12 мкм либо никеля – 3–5 мкм. После удаления фоторезиста в медноаммиачном травильном растворе производится травление медной фольги с металлизированным слоем суммарной толщиной 10–15 мкм. Металлорезист ПОС-61 удаляется в травильном растворе в струйной конвейерной установке. Если в качестве металлорезиста использован никель, то его слой остается на поверхности проводника. При этом никелевая часть проводника оказывается несколько шире медной. Поэтому применение сплава олово/свинец с последующим его удалением – процесс более технологичный. Из сказанного следует, что субтрактивная технология имеет ограничения по разрешению (табл. 2).

Технология формирования слоев методом ПАФОС

Для изготовления печатных плат с шириной проводников и зазоров 50–100 мкм при толщине проводников 30–50 мкм рекомендуется полностью аддитивный электрохимический метод ПАФОС*. От субтрактивных процессов он принципиально отличается тем, что металл проводников не вытравливают, а наносят. Проводящий рисунок создается на временных "носителях" – листах

Таблица 2
Минимально воспроизводимая ширина проводников при субтрактивной технологии

Ширина проводников	Толщина проводников
50 мкм	5–9 мкм
100–125 мкм	20–35 мкм
150–200 мкм	50 мкм

из нержавеющей стали, поверхность которых предварительно покрывается гальванически осажденной медной шиной толщиной 2–5 мкм. На этих листах формируется защитный рельеф пленоч-

* Галецкий Ф.П. Способ изготовления многослойных печатных плат. Авторское свидетельство СССР N 970737, 1982 г.

ного фоторезиста. Проводники получают гальваническим осаждением тонкого слоя никеля (2–3 мкм) и меди (30–50 мкм) по рисунку освобождений в защитном рельефе. На верхнюю поверхность сформированных проводников наносят адгезионные слои. Затем пленочный фоторезист удаляют и проводящий рисунок на всю толщину впрессовывают в диэлектрик. Прессованный

фотошаблоне, разброс замеров – в пределах 5–10 мкм. Искажения ширины проводников на поверхности подложки относительно изображений на фотошаблоне в среднем составляют 10–20 мкм, суммарный интервал разброса ширины проводников по всей высоте фоторельефа не превышает 15–20 мкм.

Профиль рельефа фоторезиста зависит от модели светокопировальной

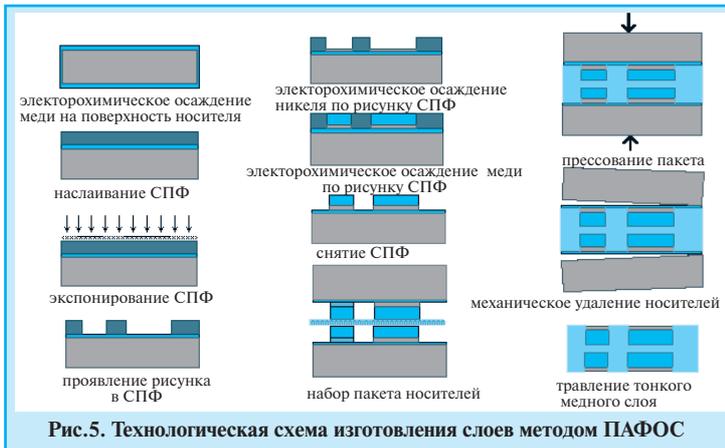


Рис.5. Технологическая схема изготовления слоев методом ПАФОС

слой вместе с медной шиной механически отделяют от поверхности временных носителей.

В слоях без межслойных переходов медная шина стравливается (рис. 5). При изготовлении двухсторонних слоев с межслойными переходами перед травлением тонкой медной шины создают межслойные переходы посредством металлизации отверстий с контактными площадками (рис. 6). Проводящий рисунок, утопленный в диэлектрик и сверху защищенный слоем никеля, не подвергают воздействию травильного раствора при удалении медной шины. Поэтому форма, размеры и точность проводящего рисунка определяются рисунком в рельефе пленочного фоторезиста, т.е. процессами фотохимии.

Лучшее качество подготовки поверхности медной шины на временных носителях достигается при зачистке водной суспензией пемзы. Однако механическая обработка не всегда возможна, так как она иногда повреждает медную шину, особенно на носителях больших размеров. Поэтому предпочтительнее химическая обработка в растворе персульфата аммония на струйных конвейерных установках. Этот процесс обеспечивает адгезию и химическую стойкость защитных изображений на стадиях гальванического формирования проводящего рисунка и щелочного оксидирования.

При соблюдении условий проведения процессов в пленочных фоторезистах ширина проводников на высоте 0,2–0,7 толщины фоторезиста равна ширине изображения проводника на

отсутствием нагрева рабочей копировальной поверхности (например, устройства НМW-201 и ОРТИ-ВЕАМ 7100), образуется рельеф фоторезиста с ровными боковыми стенками и малым наклоном к поверхности подложки.

Лазерное формирование рисунка методом ПАФОС

Несмотря на все достоинства техники изготовления фотошаблонов (ФШ), остается ряд существенных проблем, заставляющих искать новые пути прямого формирования рисунка схем. Фотошаблон на фотопленке меняет свои линейные размеры при изменении температуры и влажности. Точность ФШ зависит от точности плоттера и устройств изготовления базовых отверстий. Определенные сложности возникают и при получении линий шириной менее 100 мкм – возрастают, например, требования к чистоте помещений, поскольку дефекты, вызываемые попаданием пылинок на изготавливаемые ФШ с линиями шириной 50 мкм, устранить практически невозможно. При экспонировании резиста через ФШ также встречаются проблемы. Они связаны с тем, что на защитном полиэфирном слое (толщиной 25 мкм) между ФШ и резистом неизбежно происходит рассеяние света, особенно при слабо коллимированном источнике. Это заметно ухудшает разрешение фоторезиста.

Лазерные методы формирования рисунка, разработанные нами, полностью устраняют перечисленные недостатки. Разрешающая способность лазерного формирования определяется возможностями оптической системы, модовым составом лазерного излучения, расходимостью лазерного луча и его размером. Лучше всего для этих целей подходят CO₂-лазеры, доступные широкому кругу пользователей. Они просты в обслуживании, обладают большим ресурсом и достаточно стабильны. Луч CO₂-лазера одномодового состава может быть сфокусирован в точку диаметром 35–40 мкм.

Лазерный метод формирования рисунка непосредственно в диэлектрике исключает процессы изготовления фотошаблонов и все последующие фотолитографические операции. Метод ПАФОС, ориентированный на аддитивную технологию, обеспечивающую формирование прецизионного проводящего рисунка с проводниками шириной 50 мкм, существенно увеличивает выход годных изделий и снижает производственные затраты. Однако это не исключает успешного применения лазерных методов и в других технологиях изготовления печатных плат.

Печатные платы с теплопроводными слоями

Для получения хороших характеристик устройства на печатной плате необходимо учитывать рассеиваемую компонентами мощность и условия работы. Размещение ИС на жесткой печатной плате должно обеспечивать эффективную теплопередачу от кристаллов к теплообменным элементам конструкции устройства. При этом желательно не ухудшить условия разводки электрических связей. Одно из возможных решений – разделить проводники и пеленки

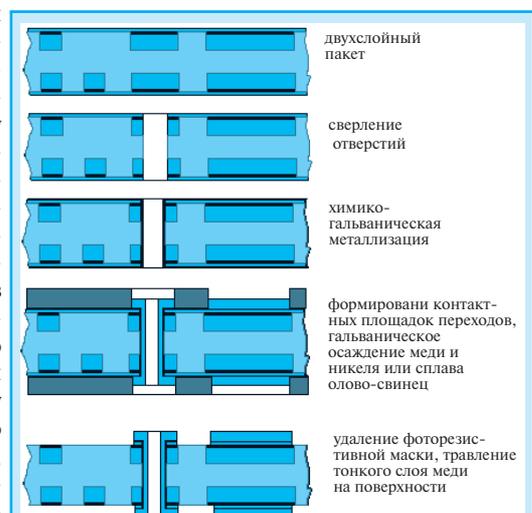


Рис.6. Формирование переходов в двухслойном пакете, изготовленном методом ПАФОС

реходы на плате на два вида: для передачи электрических сигналов и для теплопередачи от микросхем до теплообменников. Законченная конструкция в этом случае представляет собой печатную плату с металлической пластиной — слоем, служащим для увеличения отвода тепла от кристаллов. Платы такого типа можно производить на стандартных производственных линиях.

Паяльные маски для наружных слоев печатных плат

Паяльная маска — необходимый элемент конструкции печатных плат, так как их стеклооксидная основа не обладает достаточной теплостойкостью при температурах пайки (220–240°С). Без паяльной маски за время пайки (0,5–2,5 мин) может произойти поверхностная деструкция материала диэлектрика.

По методу формирования паяльные маски делятся на два типа:

— маски, рисунок которых создается методом трафаретной печати. Как правило, это составы на эпоксидной основе, отверждаемые термически или УФ-излучением. При относительной дешевизне основной их недостаток — низкая разрешающая способность и необходимость использования сеткографического трафарета;

— маски, полученные фотолитографическим методом (фоторезистивные паяльные маски), позволяющим формировать рисунок любой сложности. В последнее время этот метод, получил наибольшее распространение.

Нанесение паяемых покрытий на печатные платы

Из всего многообразия способов нанесения паяемого покрытия на медную поверхность проводников печатных плат можно выделить два наиболее популярных: метод двойной печати резиста и метод лужения с выравниванием припоя горячим воздухом (HAL, HASL). При одинаковом конечном результате чисто медные проводники защищены паяльной маской, а все паяемые поверхности покрыты

припоем — эти методы существенно различаются в реализации.

Первый метод предусматривает создание в фоторезисте рисунка электрической схемы, по которому в резисте осаждают медь и сплав олово/свинец. После травления образуются защищенные этим сплавом проводники и контактные площадки. Далее наносят второй слой резиста, который защищает слой олова/свинца на контактных площадках. Незащищенные участки этого слоя и второй слой фоторезиста удаляют, оставляя чистые медные цепи и покрытые оловом/свинцом контактные площадки. Затем наносят паяльную маску, а слой олова/свинца оплавляют.

К сожалению, поверхность сплава олово/свинец, как электроосажденного металла, сильнопористая, и ее очень трудно очистить от различных загрязнений, в том числе остатков фоторезиста. К тому же растворы, используемые при удалении резиста, вступают в химические реакции с оловом, изменяя состав сплава. Приложение фоторезистивной паяльной маски и процесс проявления — еще один источник загрязнений. Дополнительная обработка до оплавления сплава только усугубляет ситуацию. Многократные циклы отжига также ухудшают паяемость, вызывая рост олово-медных интерметаллитов — по существу непаяемых элементов. Все это снижает надежность изделий и коэффициент выхода годных.

HAL- и HASL-метод, заключающийся в нанесении расплавленного припоя на чистые медные контактные площадки печатных плат, не защищенные паяльной маской, аналогичен обычному позитивному процессу. После травления меди с пробельных мест удаляется сплав олово/свинец и паяльная маска наносится на чистые медные проводники. Затем печатную плату погружают в расплавленный припой (Sn-Pb, 63/37), который наносится на свободные от паяльной маски поверхности — контактные площадки.

В тентинг-процессе после травления рисунка отсутствует операция снятия металлорезиста. Поэтому одно из преимуществ лужения с выравниванием припоя — меньшее число этапов в технологическом процессе. Другое достоинство метода — исключение химической обработки припоя, которая могла бы загрязнить его поверхность или изменить состав. Кроме того, снижаются термические воздействия, вызывающие рост интерметаллитов. Контактные площадки после этого процесса отлично смачиваются.

Наряду с рассмотренными методами, достаточно популярны такие тех-

нологии, как металлические покрытия иммерсионным и химическим золотом поверх химического никеля, иммерсионным серебром, химическим и иммерсионным палладием, иммерсионным оловом. Применяются и органические покрытия, главным образом на основе бензимидазола или имидазола. Кстати, нанесение органического покрытия — технологически самый простой процесс (этапы: очиститель, микротравнитель и погружение в покрывную ванну). Металлизацию никель/золото часто используют в качестве финишного покрытия в тех схемах, где критично сопротивление коррозии или снашивания. Отметим, что иммерсионная металлизация обычно очень тонка. Толщина слоя золота — 0,05–0,2 мкм. Печатные платы для поверхностного монтажа чаще всего изготавливают с использованием таких процессов покрытия, как выравнивание припоя, нанесение сплава никель/золото, органическое покрытие меди, нанесение слоев оплавленного олова/свинца, палладия, серебра. Доля различных методов обработки паяемых поверхностей в общем объеме производства печатных плат приведена в табл. 3.

Производство печатных плат в России

Не секрет, что Россия пока не располагает индустрией печатных плат мирового уровня. Вряд ли кто-либо станет отрицать необходимость ее создания в нашей стране, поскольку потребность в печатных платах очень высока. Размещать заказы на их производство за границей невыгодно не только из-за высоких цен и накладных расходов (таможня, транспортировка). Передав заказ за рубеж, практически невозможно обеспечить защиту от несанкционированного копирования и тиражирования оригинальной конструкции и трассировки. Кроме того, затруднена оперативная обратная связь, что особенно важно при выпуске макетных и опытных образцов. Возрождение в России собственного производства — задача широкомасштабная. Для ее решения ведущие в данной области фирмы, организации, предприятия, заводы, исследовательские и учебные институты, университеты страны объединились в Союз развития печатного монтажа — UPBR, о чем уже говорилось на страницах журнала “Электроника: НТБ” (1996, N3-4, с. 46). Связаться с Союзом развития печатного монтажа можно через Internet <http://www.users.nevalink.ru/fragal/upbr.htm>; E-mail: franzgal@dol.ru, fragal@neva.spb.ru; либо по телефонам (095) 382-00-38, (812) 511-26-19.

Таблица 3

Доля различных методов обработки паяемых поверхностей в общем объеме производства печатных плат, %*

Метод обработки	1993 г.	1996 г.
Обработка припоем с выравниванием горячим воздухом	24	55
Традиционное оплавление припоя	22	15
Золото поверх никеля	17	20
Органические покрытия	5	8
Другие	32	2

*Bob Willis. PCB Solder Finish survey for the electronics industry. UK Survey Results. October 1996, England