

Актуальные характеристики и правила изготовления металлических SMD-шаблонов

В статье описаны следующие шаблоны: Pad-Grate, Home Plate, Fine Pitch-BGA, Paste-In-Hole, для печати микроструктур, печати на кремниевой пластине и многоуровневые, а также изменения в них, связанные с переходом на бессвинцовую технологию. Обсуждены актуальные правила дизайна шаблонов с точки зрения фирмы-производителя, имеющей большой опыт в данной сфере. Представлены и новые области применения шаблонной печати, как, например, ремонт BGA-компонентов, нанесение токопроводящего клея и теплопроводящей пасты.

Йоханнес Нойтцлинг

vertrieb@rostock-lp.de

Перевод: Андрей Новиков

andrej.novikov@uni-rostock.de

Металлический шаблон, изготовленный при помощи лазерного структурирования, наиболее часто применяется для процесса печати паяльной пасты, а также может быть использован для нанесения клея. Для успешного процесса шаблонной печати наряду с выбором подходящих паст для соответствующего дизайна электронного узла также важен выбор толщины шаблона и определенной формы его отверстий. В статье представлены обобщенные решения, которые подлежат верификации и модификации в зависимости от конкретного применения.

Требования со стороны процесса печати к спецификации шаблона

Шаблонная печать с полной или частичной автоматизацией интегрирована в современный процесс монтажа электронных модулей. Печать паяльной пасты производится до установки SMD-компонентов и последующего процесса пайки оплавлением в конвекционной или конденсационной печи. Печать клея используется предпочтительно при смешанной установке компонентов (SMD и THT) вместо дозирования и производится до установки компонентов

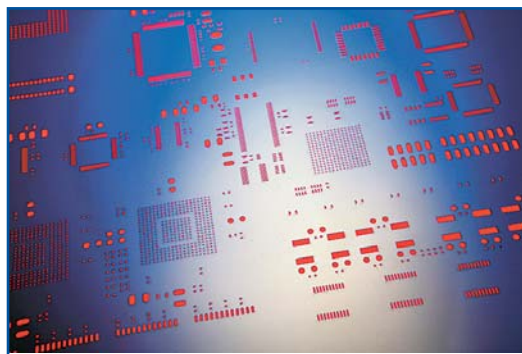


Рис. 1. Металлические SMD-шаблоны

и процесса пайки волной. Дополнительная запрессовка разъемов и/или механический монтаж завершают процесс.

Ключевые задачи шаблона для изготовления электронных модулей:

- прецизионное нанесение паяльной пасты и/или клея;
- образование отпечатков пасты с заданной формой и размерами без отрыва.

К процессу печати предъявляются также следующие требования:

- высокая повторяемость результатов печати,
- долгий срок службы шаблона,
- эффективная очистка шаблона,
- экономичность процесса, включая метод натяжения,
- высококачественная сталь — в качестве универсального материала для изготовления шаблона.

Технология лазерного структурирования имеет существенные преимущества по сравнению с другими методами изготовления и является наиболее экономичным решением. Металлические SMD-шаблоны (рис. 1) могут быть использованы для нанесения пасты для компонентов с малым шагом (Fine Pitch) и BGA-компонентов. Реперные знаки для определенной топологии печатной платы, также как контактные площадки, структурируются лазером с высокой точностью. После этого могут быть структурированы контактные площадки. С помощью таких параметров, как подача шаблона, частота импульса и диаметр фокуса лазерного луча, может быть создана оптимальная шероховатость стенок отверстий.

Структурированное отверстие для контактной площадки имеет трапециевидную форму (рис. 2), так как энергия плавления имеет максимальное значение со стороны лазерного луча и уменьшается в зависимости от толщины шаблона. В связи с этим при печати пасты шаблон лежит на печатной плате стороной, с которой происходит проникновение лазерного луча, чтобы во время отделения шаблона отпечатки пасты не были разрушены. Шаблонный лист

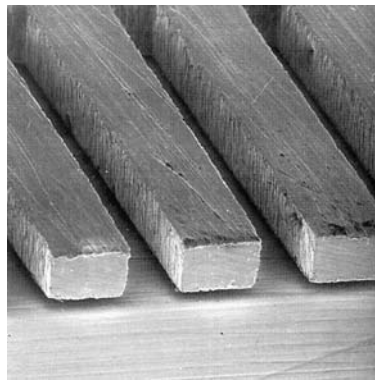


Рис. 2. Трапециевидная форма отверстия шаблона, структурированная лазером

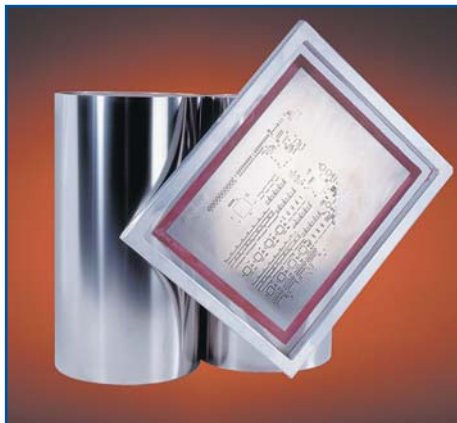


Рис. 3. Шаблон в рамке

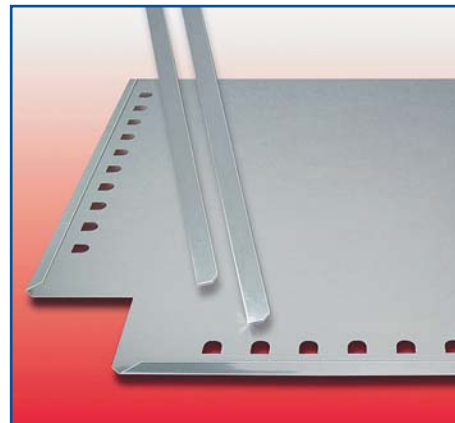


Рис. 4. Система быстрого закрепления шаблона

закрепляется, как правило, в рамке с натянутой металлической сеткой (рис. 3) или с помощью специальной перфорации краев листа в системы быстрого закрепления, которые в последнее время получили большое распространение (рис. 4). Третий вариант, который может быть использован, — это система VectorGuard (захват специальным профилем).

Дизайн шаблонов для печати паяльной пасты

Нанесение оптимального количества паяльной пасты на контактные площадки печатной

платы или контакты компонента возможно при выборе подходящих параметров, на основе накопленного опыта. Недостаточное количество пасты ведет к плохой паяемости и недостаточной ровности контактов компонента; избыточное количество пасты — к плохому выравниванию контактов, перемычкам припоя и разбрызгиванию припоя в виде шариков. Точная позиция и размеры отпечатков паяльной пасты без отрыва краев отпечатков при отделении шаблона от платы и без размазывания пасты после процесса печати предотвращают в первую очередь образование перемычек между контактами компонентов и разбрызгивание

припоя в виде шариков припоя на поверхности печатной платы. В ходе выполненного ранее анализа ошибок в процессе установки компонентов было выявлено значительное уменьшение количества ошибок при печати паяльной пасты, так как большое количество ошибок могло быть устранено за счет улучшения дизайна шаблона. Для оптимизации всех факторов влияния на процесс печати паяльной пасты необходимо иметь большой опыт, а также запастись терпением (табл. 1).

Современные лазерные установки позволяют реализовать всевозможные структуры отверстий практически без ограничений в соот-

Критерии материала

- Требования к материалу шаблона:
 - Доступность листов материала с определенной толщиной.
 - Высокая ровность при площади листа 620×850 мм².
 - Возможность соединения и натяжения.
 - Возможность разносторонней обработки.
 - Небольшая шероховатость стенок отверстий.
 - Возможность очистки.
 - Высокая прочность при циклической нагрузке.
 - Низкая стоимость.
- Оценка:
 - Универсальный материал: высококачественная сталь (различной закалки, опционально — с никелем).
 - Относительно пригодны: пластиковый лист, медь, латунь, ламинат со структурой бумаги.
 - Не пригодны: железо, алюминий, керамика.
- Примеры допусков листов высококачественной стали:
 - Толщина 0,10 мм ±0,005 мм, срез ±1,0 мм; максимальная диагональная деформация 3 мм.
 - Толщина 0,15 мм ±0,005 мм, срез ±1,0 мм; максимальная диагональная деформация 3 мм.
 - Толщина 0,20 мм ±0,008 мм, срез ±1,0 мм; максимальная диагональная деформация 4 мм.
- Характеристики натяжения:
 - Около 35 Н/см согласно норме VDI/VDE 3715, преимущественно с 4 сторон.
 - Хорошие характеристики при нажиме и отскоке.
 - Полное и быстрое принятие исходной формы.
 - Возможность обработки ракелем (износостойкость).

Таблица 1. Факторы, влияющие на процесс печати паяльной пасты

Факторы влияния	1-я фаза Течение пасты перед ракелем	2-я фаза Заполнение отверстий пастой	3-я фаза Отделение пасты от шаблона	4-я фаза Выравнивание пасты на печатной плате
Паяльная паста	Вязкость Объем пасты	Вязкость Тиксотропия Размер частиц припоя Предел текучести/пленка скольжения	Вязкоупругость Вязкость Силы сцепления Предельное напряжение Пленка скольжения	Вязкость Тиксотропия Поверхностное натяжение Предел текучести Форма частиц припоя
Установка для печати	Угол ракеля Скорость ракеля Сила давления ракеля	Скорость ракеля Сила давления ракеля	Скорость отрыва шаблона	
Шаблон	Качество поверхности шаблона	Форма отверстий шаблона Толщина шаблона	Форма отверстий шаблона Площадь стенок Размер контактных площадок Натяжение шаблона	Толщина шаблона, а следовательно, высота отпечатков пасты
Топология печатной платы		Отношение площади отверстия к контактной площадке	Суммарная площадь контактных площадок печатной платы	Расстояние между структурами



Рис. 5. Доля дефектов отдельных процессов в промышленном изготовлении электронных SMD-модулей (состояние на 2003 год)

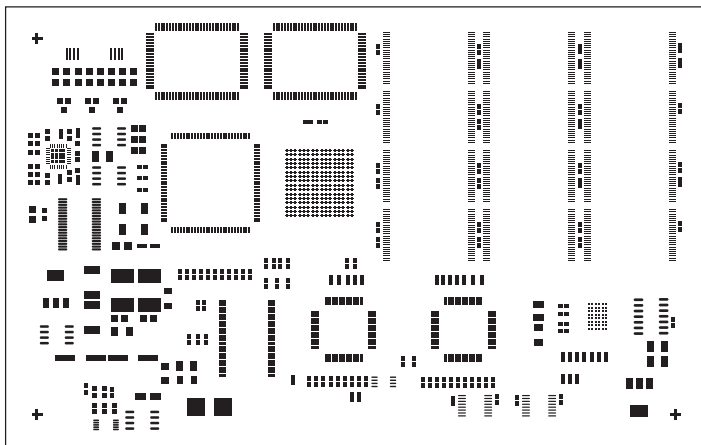


Рис. 6. Сложный дизайн отверстий

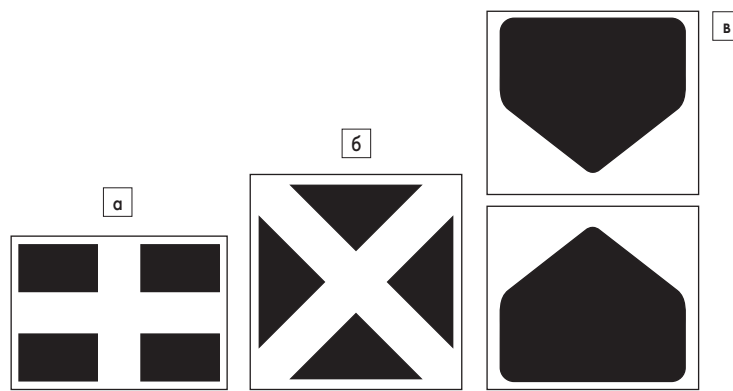


Рис. 8. Примеры специальных решений:
а) 90°-ная решетка для отделения пасты; б) 45°-ная решетка для отделения пасты; в) Home Plate отверстия

ветствии со спроектированным дизайном. В ходе проектирования печатной платы особенно важно использовать опыт технологов по изготовлению электронных модулей, так как на данном этапе должен быть произведен выбор паяльной пасты (пригодность для компонентов Fine Pitch), а также выбор параметров используемого оборудования (точность установки компонентов, температурный профиль пайки). Положение контрактных производителей зачастую осложнено тем, что они не могут производить изменений в топологии печатных плат.

Стратегии для дизайна отверстий SMD-шаблонов

При рассмотрении общей топологии печатной платы рекомендуется использовать стандартные правила (рис. 7):

1. Выбор толщины листа материала осуществляется в зависимости от топологии печатной платы и используемых компонентов («наибольший общий знаменатель» исходя из толщины 150 мкм).
2. Проводится оценка точности при печати пасты и установке компонентов, при необходимости — решение об уменьшении размеров отверстий для всей печатной платы, например на 10% (основное правило).
3. Размеры отверстий шаблона необходимо устанавливать дифференцированно, на-

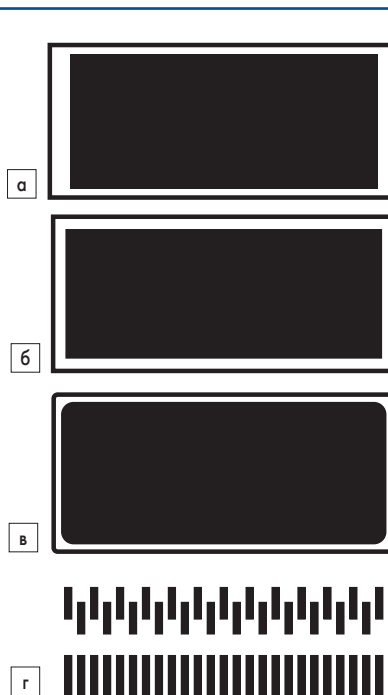


Рис. 7. Примеры стандартных правил:
а) уменьшение сторон отверстия на 10%;
б) одинаковое уменьшение сторон отверстия;
в) скругленные отверстия;
г) Tandem-Pads в качестве альтернативы одноуровневому расположению, например для ИС

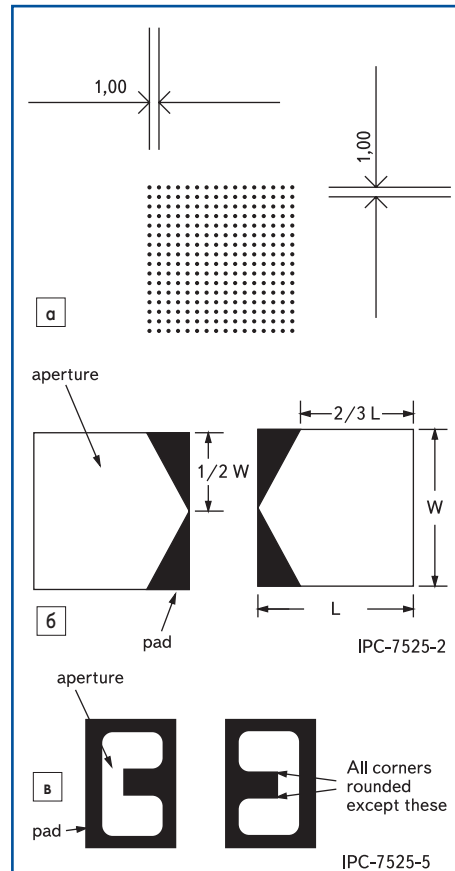


Рис. 9. Примеры тенденций в дизайне отверстий шаблона:
а) BGA с малым шагом;
б) Home Plate отверстия;
в) решение для компонентов MELF

пример, уменьшать на величину до 30%, при этом возможно независимое изменение длины и ширины отверстий.

4. Изменять все или только некоторые отверстия за счет сглаживания углов.
5. Проверять возможности смещенной печати для интегральных схем (Tandem-Pads), особенно для предотвращения перемычек припоя для компонентов с очень малым шагом. Кроме того, существуют специальные требования (рис. 8), которые ведут к различным решениям.

Изначальные опасения, связанные с недоступностью (для стандартных методов детектирования) паяных соединений компонентов BGA, могут быть развеяны после установления и тестирования процессов прецизионной шаблонной печати и точной установки компонентов.

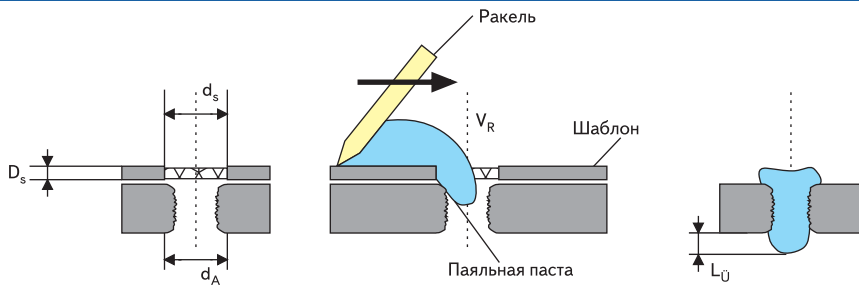
Особый интерес представляет собой дизайн шаблонов для электронных модулей с компонентами Fine Pitch-BGA, для которых, как правило, используется соотношение 1:1 между отверстиями шаблона и контактными площадками, но, исходя из общей топологии печатной платы, в большинстве случаев применяются шаблоны с толщиной 120 мкм (рис. 9).

Для двухполюсных компонентов в корпусе MELF необходима модификация отверстий шаблона, как, например, форма Home Plate.

Во многих печатных платах в последнее время также успешно используются микроструктуры с шагом до 0,5 мм. Для пассивных компонен-



Рис. 10. Пример для компонента μ BGA: а) топология печатной платы ($d = 0,2$ мм); б) паяльная маска ($d = 0,35$ мм); в) форма контактной площадки ($d = 0,33$ мм)



d_A — внешний диаметр контактной площадки
 d_s — диаметр просверленного отверстия в шаблоне = внешний диаметр контактной площадки $\times 0,1$ мм
 D_s — толщина шаблона = рекомендуемая толщина шаблона 150 мкм
 V_R — скорость ракеля = 30–150 мм/с¹⁾
 L_0 — выступ паяльной пасты = 1–1,5 мм

¹⁾ Скорость ракеля и сила прижима зависят от типа установки и паяльной пасты, например для пасты Sn62Pb36Ag2 с зернистостью 20–40 мкм ($V_R \approx 50$ мм/с)

Основные правила для разработки шаблонов:

1. Диаметр просверленного отверстия = диаметр контакта + мин. 0,254 мм
2. Расстояние от круглой контактной площадки до паяльной маски должно составлять примерно 0,15 мм

Рис. 11. Печать в отверстия (источник: Phoenix Contact GmbH & Co. KG)

тов формы 0402, исходя из соответствующего опыта, применяется соотношение 1:1 отверстий шаблона к контактным площадкам (рис. 10).

Технологически эффективным решением является печать пасты в отверстия печатной платы (Paste-In-Hole) при наличии соответствующих разъемов, что позволяет осуществить одновременный процесс пайки всех компонентов оплавлением (рис. 11). При этом могут быть достигнуты очень хорошие результаты — при соблюдении характеристик от производителя и основных правил топологии печатных плат.

Аналогично действует метод пайки Back-Side-Reflow, разработанный компанией Endress+Hauser, лишь с тем отличием, что при пайке ТНТ-компоненты размещены контактами наверх. При этом они зафиксированы в печатной плате с помощью особой геометрии отверстий (так называемая техника Softlock компании Würth Elektronik), а обратная сторона ПП активно охлаждается в печи оплавления.

Многоуровневые шаблоны для отпечатков пасты с большим объемом

Многоуровневые шаблоны (рис. 12, 13) применяются при смешанном монтаже компонентов с малым шагом, разъемов и/или силовых компонентов на одной стороне печатной платы, при большом различии необходимого ко-

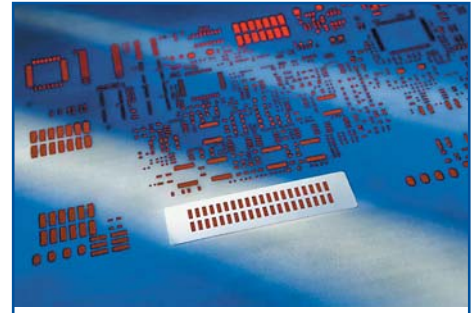


Рис. 12. Шаблон с двумя уровнями

личества паяльной пасты для осуществления процесса пайки и невозможного решения данной проблемы исключительно за счет модификации площади отверстий шаблона.

Исходная толщина стального листа перед травлением соответствует максимальной высоте отпечатка паяльной пасты. Окончательная толщина шаблона составляет не более 50% от исходной толщины.

Минимально возможная площадь ступени — около 5×5 мм², удаление больших площадей травлением оказывает негативное влияние на планарность шаблона. После травления создаются отверстия методом лазерного структурирования. Альтернатива данному методу — дорогостоящий процесс гальванического осаждения на никелевом шаблоне (Electroforming) и трудоемкая технология сварки (Patchwork).

При разработке многоуровневого шаблона необходимо учитывать правила дизайна для возможности изготовления, последующего процесса печати с помощью ракеля, а также для износостойкости шаблона. Особенно важно учитывать то, что общая ширина стенок ступени должна превышать 800 мкм.

Существуют определенные ограничения для изготовления электронных модулей с высокой плотностью интеграции с помощью многоуровневых шаблонов. В данном случае проблемы, связанные с отпечатками паяльной пасты, могут быть решены путем переработки концепта электронного узла или топологии печатной платы.

Шаблонная печать для бессвинцовых электронных узлов

Переход на изготовление бессвинцовых электронных узлов завершен. В то время как из-

Особые случаи

1. Дизайн отверстий в виде решеток с особенно большой площадью отверстий для улучшения отделения пасты за счет увеличения силы сцепления на печатной плате по сравнению со стенками отверстий.
2. Выбор размеров круглых отверстий шаблона для печати в сквозные отверстия печатной платы (Paste-In-Hole) для соответствующих разъемов, как правило, согласно рекомендациям производителя.
3. Печать Home Plate и прочие меры для предотвращения эффекта «надгробного камня» и разбрызгивания припоя.
4. Принятие во внимание ровности и качества печатных плат, как, например, выпуклая поверхность HAL или смещение паяльной маски.
5. При сложном дизайне необходим поиск особых решений, например электрополировка шаблона или применение многоуровневых шаблонов.

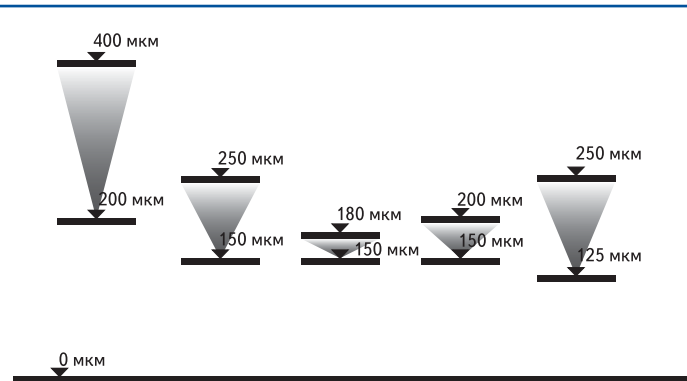


Рис. 13. Распространенные уровни

готовление паяльной пасты, доступность электронных компонентов и определенных составов при металлизации печатных плат, а также логистика требуют больших усилий, Европейская директива RoHS (Restriction of Hazardous Substances) не оказывает влияния на технологию шаблонной печати, включая печать ракелем и очистку шаблонов. Большинство шаблонов, разработанных для печати свинцовосодержащих паст, может быть использовано для печати бессвинцовых паст до следующей модернизации.

Более высокая вязкость бессвинцовых паяльных паст ведет к уменьшению текучести, в связи с чем уменьшение отверстий ведет к еще более меньшим отпечаткам пасты. Для стандартных применений, скорее всего, будут использоваться шаблоны с толщиной 150 мкм. Для применений с малым шагом (Fine Pitch) особое внимание необходимо уделять уменьшению шероховатости стенок отверстий (путем установки оптимальных параметров лазера, последующего полирования) и отсутствию смещений в шаблоне.

Многообещающее решение для дизайна тестовой печатной платы и шаблона — это матричное расположение типичных компонентов с вариацией размеров отверстий шаблона. Для тестирования необходимо, как минимум, два шаблона с различной толщиной. За счет дополнительной вариации различных паяльных паст и металлизаций ПП можно получить хорошо анализируемые результаты.

Шаблоны для печати на кремниевой подложке

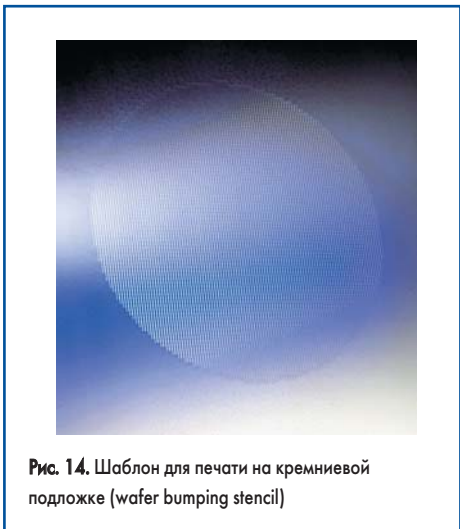


Рис. 14. Шаблон для печати на кремниевой подложке (wafer bumping stencil)

Особое применение — шаблоны для печати на кремниевой подложке (wafer bumping stencil) (рис. 14). Они характеризуются наименьшими смещениями в топологии и зачастую обладают высоким качеством поверхности и стенок отверстий за счет специальной дополнительной обработки.

Актуальные правила дизайна шаблонов

Представленные в таблице 2 правила для дизайна шаблонов, а также информация от производителей компонентов являются на

Таблица 2. Правила для дизайна шаблонов

Правило/директива	Краткое описание
1 FED-22-11	Актуальное положение для SMD-шаблонов согласно норме IEC. Обзор, оценка, расчет
2 IPC-7525	Правила дизайна шаблонов
3 IPC-D279	Правила дизайна для надежных электронных SMD-модулей
4 IPC-7351	Общие требования к поверхностному монтажу и контактам компонентов (февраль 2005)
IPC-SM-782A	Заменена (декабрь 1999)
5 FED-22-15	CAD-библиотека для будущих применений. Введение в IPC-7351 и IPC-7581 (декабрь 2004)
6 IPC-7095-A	Процесс дизайна и установки для компонентов BGA (октябрь 2004)

данный момент обобщенными правилами для паяльных паст. Отраслевые объединения, как, например, FED (Fachverband Elektronik-Design e.V. — Немецкое отраслевое объединение по разработке электроники), стараются дополнить эти правила результатами работы отдельных групп данного объединения.

Директива IPC-7525 Stencil Design Guidelines включает в себя все основные понятия, а также заданные значения размеров отверстий шаблона в зависимости от типа компонента при использовании свинцовосодержащих паяльных паст, для которых действительны следующие примерные значения для качественного нанесения паяльной пасты: Aspect Ratio >1,5 и Area Ratio >0,66 (рис. 15). На основании опыта применения бессвинцовых паяльных паст данные значения были скорректированы: Aspect Ratio >1,7 и Area Ratio >0,8.

Дизайн шаблонов для нанесения клея

При нанесении клея с помощью шаблона (рис. 16) необходимо обеспечить высоту отпечатка до нижней стороны корпуса компонента, а также надежное выравнивание компонента при пайке волной за счет дизайна формы отпечатков клея. Отпечатки клея имеют обычно форму круга вследствие наиболее выгодного значения поверхностного натяже-

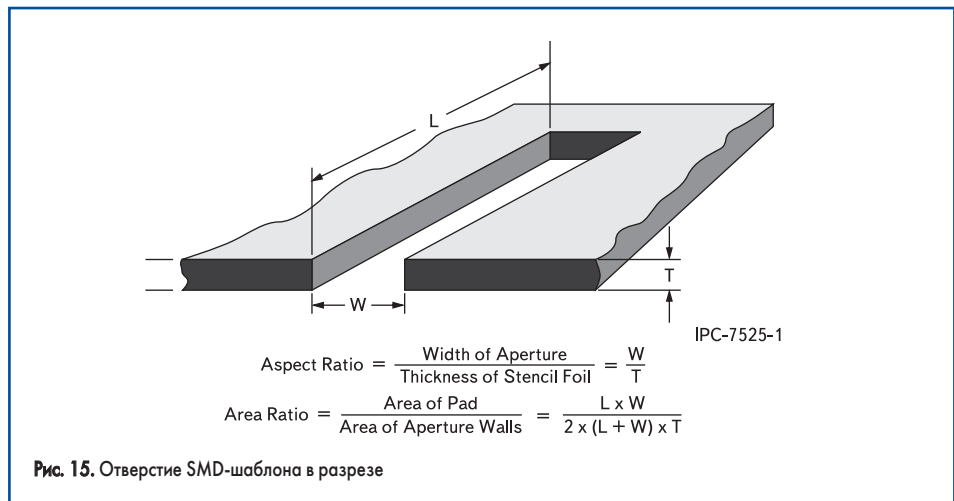


Рис. 15. Отверстие SMD-шаблона в разрезе

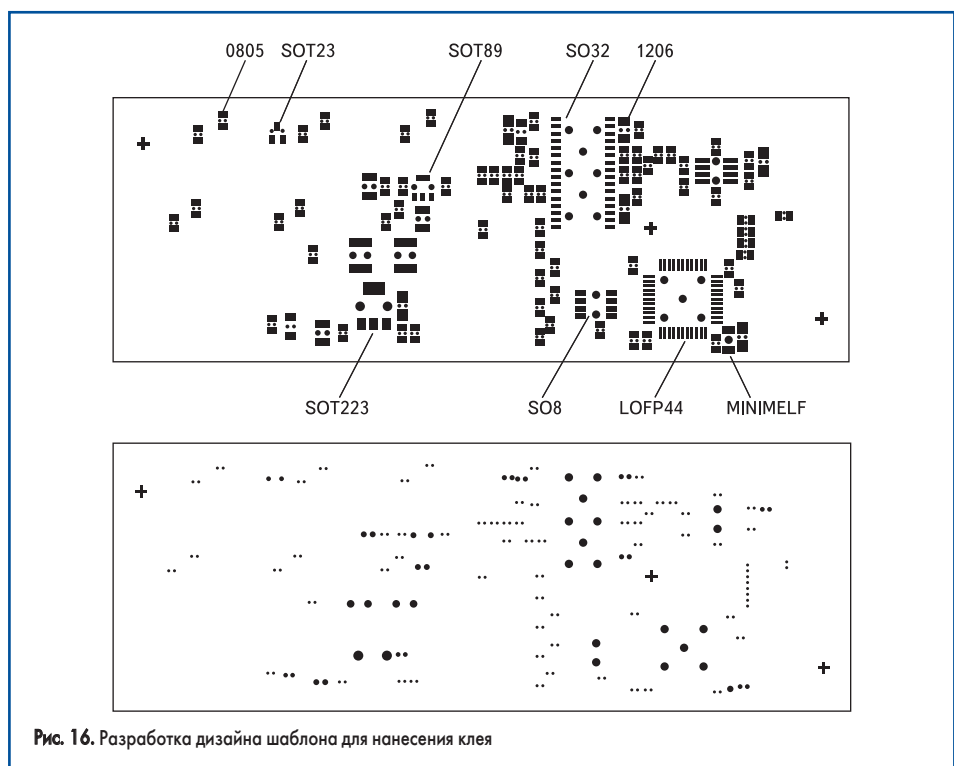


Рис. 16. Разработка дизайна шаблона для нанесения клея

ния, хотя возможны и индивидуальные изменения.

Шаблоны для нанесения клея, как правило, имеют толщину 250 мкм и могут быть надежно изготовлены и использованы в виде металлического шаблона, структурированного лазером. Для данных шаблонов используются такие же системы натяжения и архивирования, как и для шаблонов для нанесения паяльной пасты. Оба типа шаблонов имеют одинаковые сроки службы.

Дополнительное структурирование шаблона

При наличии соответствующих данных в электронном виде шаблон может быть дополнительно обработан с помощью лазерного структурирования. Рациональность дополнительной обработки может быть оценена при сравнении с затратами на изготовление нового шаблона. При приемлемом качестве уже бывшего в использовании шаблона возможно три варианта дополнительной обработки. Они представлены на рис. 17.

Реперные знаки

Типичные формы реперных знаков: двойной крест, крест, закрашенный квадрат, закрашенный квадрат, повернутый на 45°, круг и закрашенный круг. Необходимо учитывать следующее:

1. Реперные знаки (Fiducials) и отверстия для печати паяльной пасты и клея в металлическом SMD-шаблоне создаются с помощью лазерного структурирования.
2. Тем самым гарантируется высокая точность для детектирования реперных знаков оптической системой установки для печати пасты и позиционирования шаблона относительно печатной платы.
3. Если реперные знаки регистрируются оптической системой «снизу», то они структурируются лазером не насквозь шаблона и должны иметь достаточный контраст по отношению к остальной поверхности шаблона.

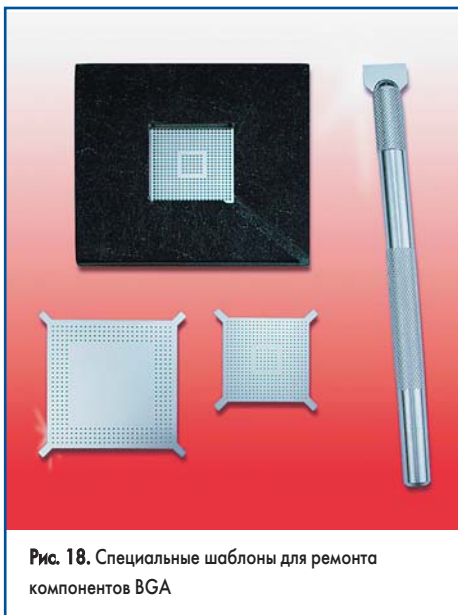


Рис. 18. Специальные шаблоны для ремонта компонентов BGA

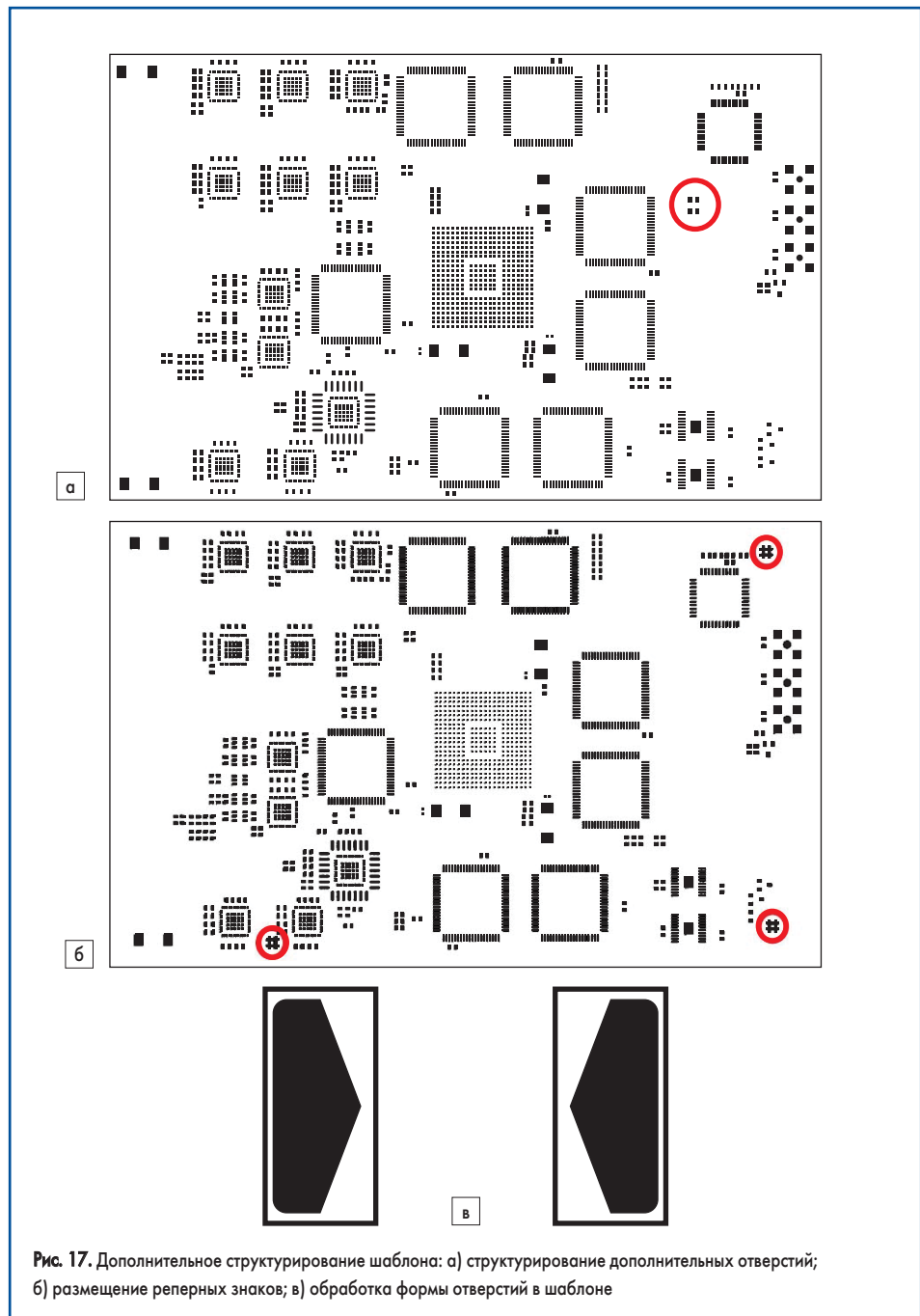


Рис. 17. Дополнительное структурирование шаблона: а) структурирование дополнительных отверстий; б) размещение реперных знаков; в) обработка формы отверстий в шаблоне

4. Контраст зависит от энергии лазерного луча. Избыточная энергия имеет негативное влияние на ровность поверхности шаблона.
5. Возможно дополнительное чернение, которое необходимо обновлять через определенное время.
6. Если оптическая система SMD-принтера работает «сверху», реперный знак структурируется как отверстие для нанесения пасты и заполняется после этого контрастным веществом. При изнашивании заполнение должно быть произведено повторно.

Специальные шаблоны для ремонта компонентов BGA

Новое применение металлических шаблонов — это процесс ремонта компонентов BGA (рис. 18), что является эффективным дополнением остальной системы после процесса пайки оплавлением. После выпайки BGA-компонента с печатной платы с помощью Reballing-

шаблона в специальном фиксаторе (в зависимости от формы компонента) наносится шарики припоя, которые затем оплавляются.

С помощью шаблона и специального фиксатора также возможно нанесение паяльной пасты. После этого происходит установка компонента и процесс пайки. Данный метод может быть использован как для бессвинцовых, так и для свинецсодержащих компонентов BGA и паяльных паст. Применение подобных шаблонов позволяет значительно уменьшить временные затраты на ремонт компонентов с контактами в виде шариков припоя.

Тенденции развития металлических SMD-шаблонов

Разработка и изготовление шаблонов оказывают значительное влияние на качество электронных узлов и, следовательно, делают необходимым согласование работы разработчиков и изготовителей печатных плат, производите-



Рис. 19. Будущие применения

лей шаблонов и электронных модулей (рис. 19). Также важно учитывать информацию, предоставляемую изготовителями компонентов, оборудования и паяльной пасты.

Дальнейшее использование шаблонной печати (рис. 20) имеет очень хорошие перспективы. Гарантия этого — улучшение уже существующих технологий и введение новых.

Важнейшие тенденции развития шаблонной печати:

1. Улучшение методов дополнительной обработки шаблонов (механическая, электрохимическая и электрофизическая обработка).
2. Структурирование без оплавления, отсутствие напряжений и трещин вследствие термообработки (например, с помощью фемтосекундного лазера).
3. Маркировка шаблонов с помощью штрих-кода или матричного кода.
4. Специальные шаблоны с вариацией толщины (многоуровневые шаблоны) или специальные шаблоны с выемками для печатных плат со смешанным монтажом (Pumpprint).
5. Дальнейшая разработка специальных систем быстрой фиксации шаблонов.
6. Улучшение нанесения пасты на печатные платы с микроструктурами с помощью новых моделей шаблонов (Micro Step).

Производство печатных плат и электронных модулей предлагает разнообразные возможности для использования метода шаблонной печати. Также возможны и другие применения, например для нанесения:

- токопроводящего клея (микроструктуры, альтернатива процессу пайки свинецсодержащими припоями);
- теплопроводящих паст;
- паяльной маски;



Рис. 20. Нанесение специальных материалов методом шаблонной печати

- красок;
- токопроводящих паст.

Применение метода шаблонной печати или альтернативных методов, таких как дозирование, трафаретная печать или струйная печать (Ink-Jetting), зависит от пригодности материала для печати, заданной высоты отпечатков и требований к структурам. Метод шаблонной печати позволяет наносить микроструктуры с заданной высотой отпечатков с большой точностью.

Примечание. Оригинал статьи опубликован в журнале PLUS (Produktion von Leiterplatten und Systemen, 2007, N 1, Германия).