

Окончание. Начало в № 6`2005

Технология нанесения и обработки жидких защитных паяльных масок

Технологический процесс нанесения жидкой паяльной маски довольно сложен и помимо жесткого соблюдения режимов требует навыков и профессионального опыта исполнителей. Эта часть статьи посвящена некоторым технологическим особенностям применения и вопросам, возникающим в процессе работы с маской.

Татьяна Смертина

smertina@absolut.spb.ru

С чем связаны довольно жесткие требования к помещению и к чему приведет их нарушение?

Рекомендуемые технологические условия при работе с паяльной маской — чистая комната с температурой 20–25 °С, относительной влажностью 50–60% и неактивное освещение (желтый свет). Не допускается воздействие прямых и отраженных солнечных лучей и ламп дневного света.

Соблюдение требований по температуре и влажности в помещении имеет большое значение. Так как материал паяльной маски в жидком виде сильно гигроскопичен, повышенная влажность воздуха вызывает ухудшение тиксотропности маски, в результате чего маска теряет способность удерживаться на поверхности проводников, стекает и скапливается между ними на основании платы (рис. 1). Изменения температуры приводят к конденсации влаги на поверхности маски, изменению вязкости и толщины маски, а следовательно, условий полимеризации, то есть к нарушениям технологии и браку в покрытии.

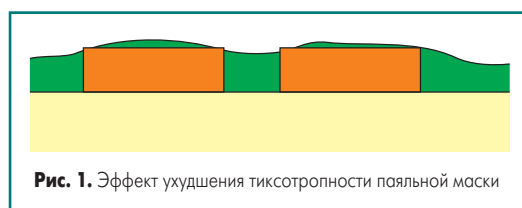


Рис. 1. Эффект ухудшения тиксотропности паяльной маски

Класс чистоты в помещении определяется классом точности выпускаемой продукции. Но следует также учитывать, что выполнение требований по чистоте должно осуществляться комплексно на всех этапах производственного цикла.

Рабочее помещение должно быть оборудовано как местной вытяжной, так и общей приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей предельно допустимый уровень содержания токсичных и пожароопасных веществ в воздухе рабочей зоны, указанный в паспорте безопасности на материал паяльной маски. Так как 25% материала паяльной маски составляют растворители (табл. 1), использование печей для операции сушки без вытяжной вентиляции не допускается.

Таблица 1. Общий химический состав жидких паяльных масок серии PSR-4000 (Taiyo Ink)

Категория	Название	Содержание, весовой %
Смола	Модифицированная эпоксидная смола, мономер	33,6
Смола	Эпоксидная смола	10,7
Наполнитель	Сульфат бария, двуокись кремния	23,0
Пигмент	Фталоцианин зеленый	0,3
Катализатор	Фотоинициатор, аминосоединения	6,2
Добавка	Выравнивающий агент	1,2
Растворитель	Органические растворители	25,0
Всего		100,0

В связи с переходом на применение жидких паяльных масок взамен сухих пленочных возник вопрос о методах заполнения переходных отверстий печатных плат. Возможно ли это осуществить с помощью жидких паяльных масок?

Да, возможно. Потребность в защите переходных отверстий в основном вызвана следующими факторами:

- предотвращение перетекания флюса, например при волновой пайке, на противоположную сторону платы через переходные отверстия;
- предотвращение затекания припоя через переходные отверстия при волновой пайке на верхнюю сторону платы, так как это может привести к образованию перемычек между проводниками или к замыканию SMD-площадок с монтируемыми компонентами.

Защиту отверстий можно осуществить различными способами [3]:

1. Перед нанесением защитной паяльной маски: отверстия заполняются тем же или другим материалом — материалом наполнителя, как правило, сцепляется с медной поверхностью.
2. Во время нанесения защитной паяльной маски: сухой пленкой или жидким материалом — материал защитной паяльной маски полимеризуется внутри или над отверстием, которое либо тентируется сверху, либо заполняется, при этом материал защитной паяльной маски сцепляется с медной поверхностью.

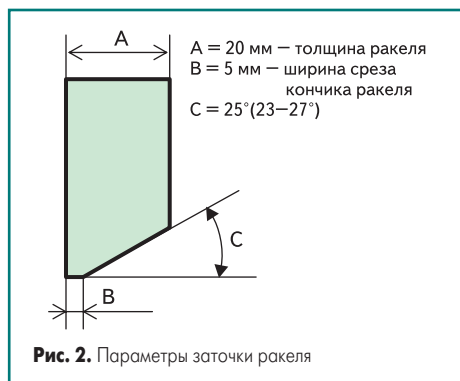
Таблица 2. Сравнение различных методов заполнения отверстий

1. толщина ракеля 20 мм		Направление движения ракеля
Тип трафарета	Шаблонный*	
Скорость нанесения	40–45 мм/с	
Угол нанесения	75°	
Угол надавливания (С)	менее 10°	
Твердость ракеля	70°	
Давление ракеля	6 кг/см ²	
Количество проходов ракеля	1 раз (1,6 мм толщина, 100% — заполнение отверстий)	
2. толщина ракеля 10 мм (метод проталкивания)		Направление движения ракеля
Тип трафарета	Шаблонный* или сетка 36Т	
Скорость нанесения	25–35 мм/с	
Угол нанесения	70–75° (проталкивание)	
Угол надавливания (С)	15–20°	
Твердость ракеля	70°	
Давление ракеля	6 кг/см ²	
Количество проходов ракеля	2 раза (1,6 мм толщина, 90–100% — заполнение отверстий)	
3. толщина ракеля 10 мм (стандартный метод)		Направление движения ракеля
Тип трафарета	Шаблонный* или сетка 36Т	
Скорость нанесения	15–20 мм/с	
Угол нанесения	40–50°	
Угол надавливания (С)	40–50°	
Твердость ракеля	70°	
Давление ракеля	6 кг/см ²	
Количество проходов ракеля	до 3 раз в зависимости от скорости нанесения (1,6 мм — толщина, 90–100% — заполнение отверстий)	

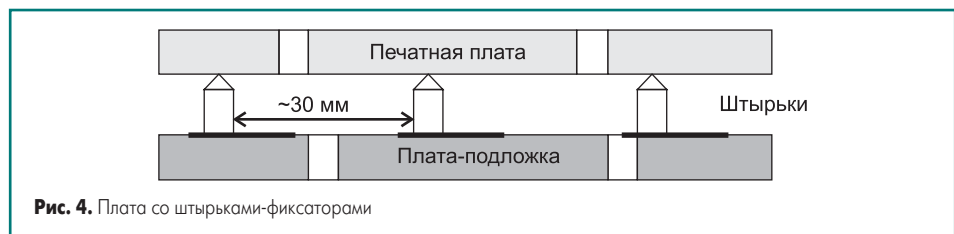
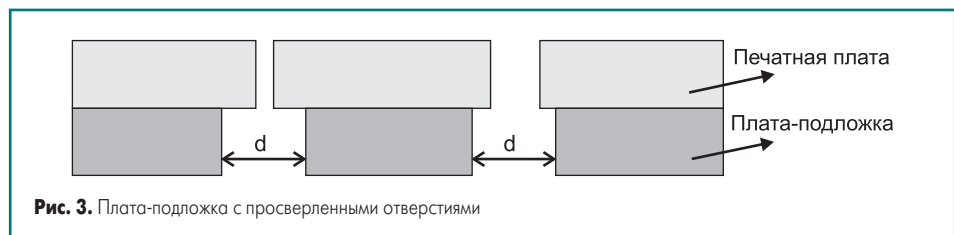
*Шаблонный трафарет используется только для заполнения отверстий. Отверстия на шаблоне должны быть только в тех местах, где требуется заполнение.

- После нанесения защитной паяльной маски, перед горячим лужением (HASL): отверстия заполняются тем же или другим материалом. Заполняющий материал сцепляется с паяльной маской и медной поверхностью.
- После нанесения защитной паяльной маски и горячего лужения (HASL): отверстия заполняются тем же или другим материалом. Заполняющий материал сцепляется с паяльной маской и припоем в отверстиях.
- Односторонняя или двухсторонняя защита отверстий: довольно часто встречающаяся ситуация, когда для электрических испытаний необходима только одна сторона отверстия. При этом кольцеобразный паз отверстия с одной стороны не должен быть покрыт защитной паяльной маской или заполняющим отверстие материалом.

Наиболее доступным, экономичным и простым методом защиты отверстий жидкой паяльной маской является второй. Он позволяет



одновременно заполнять отверстия и покрывать печатную плату маской, при этом адгезия достигается только с одним типом поверхности — медью. Операция производится методом сеткографии, диаметр заполняемых отверстий — до 0,6 мм. Материал фоточувствительной маски наносится на всю поверхность заготовки, затем рисунок получают методом фотолитографии. На практике приме-


Таблица 3. Факторы, влияющие на степень заполнения отверстий

Фактор	Условия		Степень заполнения	
Вязкость	Выше	Ниже		Больше
Сетка	Крупнее	Мельче	Больше	
Твердость ракеля	Тверже	Мягче	Больше	
Угол надавливания	Больше	Меньше		Больше
Скорость нанесения	Быстрее	Медленнее		Больше
Давление нанесения	Выше	Ниже	Больше	
Толщина эмульсии	Толще	Тоньше	Больше	
10 мм (толщ.), нанесение ракелем	Обычное	Проталкиванием		Больше

няются три основных метода заполнения (табл. 2):

- Метод с использованием ракеля специальной заточки. Параметры заточки ракеля указаны на рис. 2.
- Метод проталкивания с использованием обычного ракеля.
- Стандартный метод с использованием обычного ракеля.

Основным требованием процесса является обеспечение отвода воздуха из заполняемых отверстий во время прохождения ракеля. Для этой цели используются специальные платы-подложки.

Платы-подложки могут быть изготовлены из фольгированного стеклотекстолита с вытравленной фольгой и бывают двух типов:

- Платы с просверленными отверстиями (диаметр 2–3 мм), причем их расположение — в точном соответствии с заполняемыми отверстиями (рис. 3).
- Платы с фиксирующими штырями (рис. 4), которые используются для двухстороннего нанесения маски без предварительной сушки. Следов от фиксаторов на маске не остается, так как она обладает способностью самовыравниваться. Двухстороннее нанесение позволяет снизить трудоемкость и улучшить качество.

Для осуществления свободного выхода воздуха из заполняемых отверстий нужно стремиться к снижению времени покрытия, особенно для плат с различными диаметрами заполняемых отверстий. Факторы, влияющие на полную заполнение отверстий, указаны в таблице 3.

Важным параметром процесса является двухступенчатый режим термоотверждения, который позволяет стабилизировать свойства материала паяльной маски внутри заполненных отверстий:



Рис. 5. Эффект попкорна

- 1-я ступень — 80 °С, 60 минут;
- 2-я ступень — 150–160 °С, 60 минут.

Обе стадии процесса термоотверждения необходимо производить в одной и той же печи, так как перепад температур при перемещении плат в другую печь может вызвать нестабильность свойств материала маски: вытеканию ее из отверстий или расширению пузырьков воздуха и последующему взрыву («эффект попкорна», рис. 5). Высокая скорость нагрева недопустима, поэтому начальная температура в печи должна быть 40–60 °С (не выше 80 °С!).



Рис. 6. Маска PSR-4000 GHP3 с повышенной эластичностью

Несмотря на соблюдение мер по отводу воздуха из отверстий, все же присутствие воздушных пузырьков в столбике отверстия не исключено. При дальнейшей термообработке происходит значительное их расширение, а при охлаждении — уменьшение. Чтобы выдержать такие нагрузки, маска для заполнения отверстий должна обладать достаточной эластичностью, а использование обычных паяльных масок приводит к взрыву пузырьков воздуха, что недопустимо. Должны применяться маски целевого назначения (рис. 6).

Возможно ли с помощью сеткографического метода покрывать паяльной маской печатные платы с высокими проводниками, например 100–200 мкм?

Печатные платы с проводниками высотой более 100 мкм, конечно же, проще всего покрывать методом распыления, причем электростатическое распыление показывает лучшие результаты по сравнению с воздушным.

Но в случае наличия только сеткографического оборудования на предприятии показали высокую эффективность следующие способы [4] сеткографической печати:

1. Наносится 2 слоя маски с промежуточной сушилкой сначала на одну сторону, затем 2 слоя на другую. После этого производится одновременное экспонирование обеих сторон и проявление. Так как 1-й нанесенный слой маски будет подвергаться сушке 4 раза, а последний — только 1 раз, необходимо строго соблюдать время сушки. Например, если максимальное время предварительной сушки составляет 60 минут, а минимальное 15 минут, время сушки каждого слоя должно быть 15 минут. При этом время проявления можно увеличить с 60 до 90 с. Температуру проявителя повышать не следует, так как наилучшая проявляемость достигается при 30 °С. Предпочтительно использовать маски быстрого экспонирования, например, маску Taiyo PSR-4000 H855, характеризующуюся энергией экспонирования 150–250 мДж/см² (на поверхности фотшаблона) и широким технологическим окном предварительной сушки: от 15 до 60 минут.

2. Наносится 2 слоя маски с промежуточной сушилкой на одну сторону платы, затем экспонируется и проявляется. Следующим этапом производятся аналогичные операции на вторую сторону. Количество операций сушки на 1-й слой маски составляет 2 раза, поэтому технологическое окно операции сушки намного шире. Здесь также следует отметить, что подготовка поверхности меди должна производиться сразу на обе стороны платы: окисления меди не должно происходить, так как после проявления 1-й стороны термоотверждение маски не производится. Однако в случае появления окисных пятен перед нанесением на 2-ю сторону можно обработать платы в кислотном декапире. Применение же механической зачистки недопустимо, так как может повредиться слой еще не отвержденной маски на 1-й стороне. Рекомендации по проявлению такие же, как и в первом случае.

3. Третий способ является экстренным вариантом, если не удастся отработать техпроцесс по первым двум. 1-й слой маски наносится через трафарет только на высокие проводники, которые необходимо покрыть, а 2-й слой (после сушки) уже на всю поверхность печатной платы. Затем анало-

гично покрывается вторая сторона платы. Преимуществом этого способа является отсутствие опасности недопроявления, так как маска проявляется с тех мест, где нанесен только один слой. Следовательно, нет опасности избыточной сушки, и нет необходимости в разделении операций экспонирования на каждую сторону.

Термоотверждение производится по обычному режиму, но вследствие большой толщины паяльной маски возможна недостаточная полимеризация, поэтому применение дополнительной УФ-сушки компенсирует недостаток энергии для полимеризации. Увеличение времени отверждения не рекомендуется, так как это приведет к окислению меди под маской.

Какие существуют способы улучшения прокрываемости торцов проводников?

Данному дефекту (рис. 7) подвержены главным образом проводники, расположенные параллельно ракелю при его движении, а также тонкие проводники, попавшие в момент нанесения под параллельно расположенную нить сетки. Обычно для улучшения качества покрытия применяют следующие методы:

- изменение угла натяжения сетки (22,5°) по отношению к направляющим рамы;
- изменение угла положения заготовки по отношению к ракелю (рис. 8а);
- изменение угла расположения ракеля по отношению к печатной плате (рис. 8б).

Дополнительно улучшить прокрываемость можно следующими способами: снижением давления ракеля и скорости его движения, а также применением более мягкого материала ракеля. Использование сетки с более крупной ячейкой и более вязкого материала маски тоже улучшает качество.

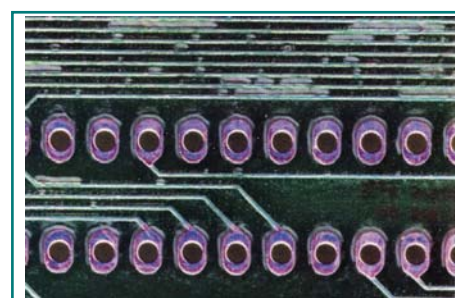


Рис. 7. Дефект непокрития торцов проводников, так называемых «пропусков» (IPC-A-600)

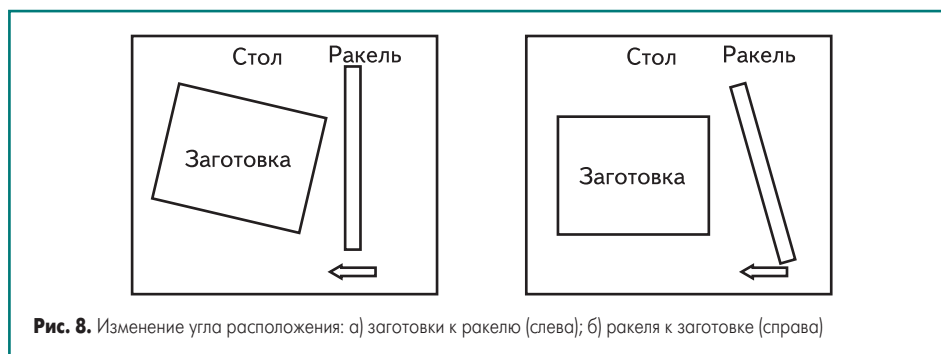


Рис. 8. Изменение угла расположения: а) заготовки к ракелю (слева); б) ракеля к заготовке (справа)

Существуют ли какие-либо профилактические меры по уходу за оборудованием для проявления паяльной маски?

С целью очистки струйно-распылительной системы для каждого типа паяльных масок используются специализированные очистители оборудования, но существуют и универсальные способы профилактики [4]:

1. Обработка 0,8–0,9%-ным раствором лимонной кислоты (температура раствора — комнатная).
2. Обработка 5%-ным раствором NaOH с добавлением 10% по весу этилового спирта (температура 50–70 °С).

Раствор для очистки составляется в отдельной емкости, затем он заливается в установку проявления, и включается распыление. После очистки раствор сливается, и производится промывка водой с помощью того же распыления.

В связи с тенденцией к переходу производителей электроники на бессвинцовые технологии возникает вопрос о поиске паяльных масок, совместимых с данными технологиями. Какими свойствами должны обладать такие маски?

Главным образом это касается таких свойств маски, как термостойчивость к обработке в бессвинцовых припоях при оплавлении припойной пасты, при пайке волной или горячем лужении HASL, а также устойчивости к химическим процессам покрытия никелем, золотом, серебром и оловом. По прогнозам зарубежных специалистов на 2009 год, мировой объем производства плат с финишным покрытием HASL сократится почти в 2 раза, а с покрытием OSP — увеличится в 1,4–1,5 раза по сравнению с 2005 годом (рис. 9) [4]. Несмотря на явно растущую тенденцию к росту распространения среди бессвинцовых финишных покрытий органических защитных покрытий (OSP) на японском и азиатском рынках, на европейском рынке прогнозируется увеличение применения иммерсионного олова, а на американском — серебра.

Среди финишных покрытий самым агрессивным воздействием на паяльную маску обладает процесс осаждения иммерсионного олова, поэтому устойчивость к нему и является определяющей при испытаниях на совместимость с бессвинцовыми технологиями наряду с устойчивостью к обработке в припоях при 288 °С.

Определяющим фактором устойчивости паяльных масок к химическому и термическому воздействиям является прочность сцепления с основой. Что касается термической устойчивости, то для ряда производителей паяльных масок эта задача решена (табл. 4). Нужно отметить, что заявляемые производителями масок свойства на устойчивость к различным химическим процессам подразумевают механический способ подготовки поверхности перед нанесением маски.

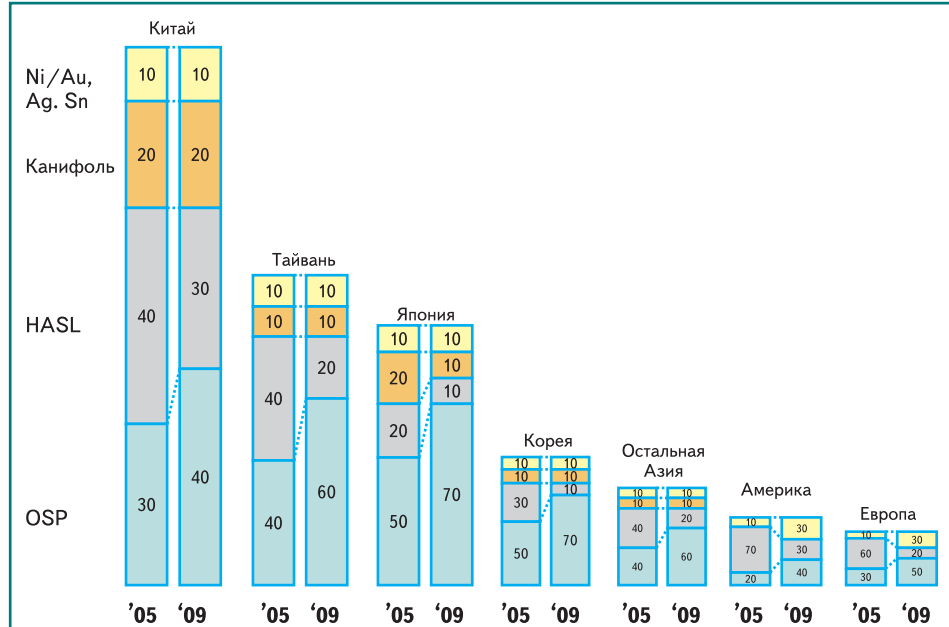


Рис. 9. Тенденции изменения мирового объема производства печатных плат с различными финишными покрытиями

Таблица 4. Результаты тестирования на термостойчивость паяльных масок серии PSR-4000 (Taiyo Ink)

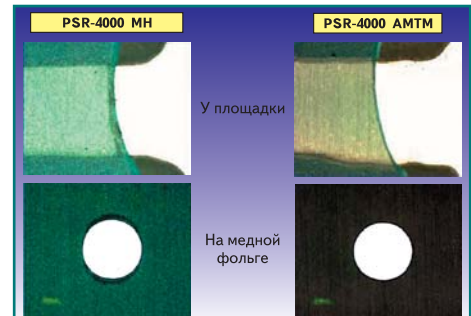
Наименование	Условия тестирования	Результат
PSR-4000 H85	Флюс на основе канифоли, плавление по припою при 288±5 °С в течение 20 с, 3 цикла. В промежутке между циклами погружение на 10 с в воду со льдом.	Нет отслоения
PSR-4000 H855		Нет отслоения
PSR-4000 GHP3		Нет отслоения
PSR-4000 AMTM		Нет отслоения

Производителям плат и паяльных масок давно известно, что химическая подготовка поверхности меди всегда гарантирует высокую адгезию маски, даже при иммерсионном лужении. Но при этом существуют две основных проблемы:

1. Внешний вид маски на плате. Вследствие шероховатости поверхности меди после химической подготовки медь под маской приобретает темно-коричневый цвет, что не приветствуется некоторыми заказчиками.
2. Себестоимость плат с химической подготовкой выше.

Чтобы снизить себестоимость плат, паяльная маска должна обладать стойкостью к иммерсионному олову даже с механической подготовкой поверхности. На настоящий момент пока только компанией Taiyo Ink (Япония) разработана и выпускается маска серии PSR-4000 AM, обладающая данными свойствами (рис. 10).

Маска PSR-4000 AMTM была разработана компанией Taiyo Ink специально для автомобильной промышленности, где платы эксплуатируются в жестких условиях: при температуре от –40 до 150 °С и влажности до 100%. Благодаря оптимизированной композиции материала маски с насыщенной трехмерной структурой поперечных связей и использованию катализаторов, образующими гидрофобную поверхность, достигается высокая электромиграционная устойчивость и эластичность маски, соизмеримая с коэффициентом температурного расширения меди (минимизация угрозы образования трещин при термоциклировании).



Условия тестирования:

1. Подготовка поверхности пемзовой зачистка? кислотная промывка? сушка
2. Сетка 100 ячеек на дюйм
3. Толщина маски 21 мкм
4. УФ-задубливание 1000 мДж/см²
5. Температура раствора 70 °С
6. Время выдержки: 20 мин.
7. Отслоение липкой ленты

Рис. 10. Результаты тестирования на устойчивость к процессу покрытия иммерсионным оловом

В настоящее время имеется такой широкий выбор жидких паяльных масок, а цены могут отличаться почти в 2 раза. Чем это объяснить? По каким критериям выбирать маску?

Как и любой другой материал, паяльные маски в основной своей массе делятся на 2 уровня: так называемые *hi-tech* и *low-tech*. Каждый производитель печатных плат подбирает маску, отвечающую, с одной стороны, техническим требованиям заказчика, с другой стороны, технологичную и экономически эффективную.

Основное отличие состоит в конечных свойствах на готовом изделии. По сути дела, любая маска, выходящая на мировой рынок, отвечает, как минимум, требованиям IPC 840С. А вот максимальные физические, электрические, химические параметры, которыми они

обладают, различны. Поэтому потребитель паяльных масок перед их применением должен провести тестирование на соответствие своим внутренним требованиям или требованиям заказчика.

Но помимо технических характеристик масок производителя печатных плат волнует технологичность материала масок (технологическое окно), процентный выход годной продукции, а также стабильность качества материала маски. Эти характеристики также определяют уровень цен.

Еще один фактор, который необходимо учитывать при выборе маски, — это совместимость с используемыми технологиями сборки, особенно в условиях перехода на бессвинцовые технологии и технологии смешанного монтажа. Поэтому тесное взаимодействие между конструктором, производителем и сборщиком помогает установить наиболее целесообразное с экономической точки зрения решение в зависимости от плотности монтажа, применяемых технологий пайки и тестирования и уровня производства.

Многие компании-производители паяльных масок, стремясь охватить наибольшую долю рынка, выпускают продукцию как *hi-tech*, так и *low-tech*-направлений. Так, компания

Таблица 5. Наиболее ходовые позиции паяльных масок серии PSR-2000 (Taiyo Ink)

Наименование	Цвет	Применение
PSR-2000 GL03/CA-25 GL01	Зеленый	Сеткография
PSR-2000 RD500/CA-25 KX50	Красный	Сеткография
PSR-2000 YT02/CA-25 KX50	Желтый	Сеткография
PSR-2000 CC220/CA-25 CC200	Зеленый	Метод «мокрой занавеси»

Taiyo Ink, уже зарекомендовавшая себя в России как производитель высококачественных паяльных масок, выводит в 2006 году на российский рынок серию масок PSR-2000 (табл. 5), производимую специально для азиатского рынка. Качество паяльных масок серии PSR-2000 подтверждено протоколом испытаний в соответствии с IPC840C класса «Н», а эффективность доказана многолетним опытом работы ведущих китайских производителей.

В декабре 2005 года специалистами одного из лидирующих производителей ПП г. Санкт-Петербурга ООО ИКЦ «Рой» была выпущена опытная партия печатных плат с паяльной маской PSR-2000 GL03. Снижение стоимости маски на 20–25% по отношению с обычной при сохранении качества и соответствии свойств паяльной маски требованиям заказчика является предпосылкой для

снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности продукции отечественных производителей.

Предприятия, обладающие квалифицированным техническим персоналом, который сможет быстро адаптировать недорогую паяльную маску к своим требованиям, технологическому процессу и оборудованию, окажутся в несомненном выигрыше, особенно в связи с тем, что сегодня значительная часть заказов из России размещается в странах Юго-Восточной Азии.

Литература

1. www.tkb-4u.com. Matte-surface solder masks reduce solder ball defects.
2. Смертина Т. Подготовка поверхности меди. Механическая или химическая? // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 3.
3. IPC-SM-840C. Qualification and Performance of Permanent Solder Mask.
4. Материалы, предоставленные компанией Taiyo Ink.
5. www.coates.com. Liquid photoimageable solder masks.
6. IPC-A-600. Acceptability of Printed Board.