

Выбор и подготовка базовых материалов для бессвинцовых процессов пайки

Изготовители электронных модулей и печатных плат (ПП) все чаще сообщают об отказах ПП во время и после процесса пайки вследствие расслоения ламината и разрыва металлизации. Из этого следует, что проблеме согласования критических свойств ламината с правилами дизайна и параметрами процессов изготовления электронных модулей необходимо уделить больше внимания. В данной статье представлена основная информация по этой теме и обсуждены два важных вопроса: выбор параметров ламината, а также, в связи с большим влиянием влажности воздуха на параметры ламината, подготовка к его обработке.

**Клаус Динглер
Хартмут Пошманн**

h.poschmann@arcor.de

**Перевод:
Андрей Новиков**

andrej.novikov@uni-rostock.de

Выбор базовых материалов

Параметры базовых материалов

Важнейшие и ключевые факторы для выбора базового материала — надежность процесса обработки, электрические, температурные и механические свойства, а также его доступность и стоимость. Вследствие более высокой температурной нагрузки при бессвинцовой технологии пайки с применением припоев SnAgCu и SnCu значительно возросли требования к базовым материалам. Необходимо учитывать, что на рынке также доступны и другие бессвинцовые припои с температурой плавления, близкой к припоям олово-свинец (например, припой SnZn и SnBi с индием или без него), которые могут быть без проблем использованы в комбинации со стандартным базовым материалом FR4. Однако данные припои используются преимущественно в Азии, например в Японии. Такие дефекты, как деламинация, разрыв металлизации отверстий, подъем контактной площадки и т. д., проявляются прежде всего при неправильном выборе базового материала для высоких температур обработки и многократных процессов пайки. Некоторые фирмы, предлагающие базовые материалы, используют в своих каталогах обозначение "LEADFREE-Material", которое при учете названных различных бессвинцовых припоев может «спровоцировать» выбор неподходящего ламината. Особенно важно согласование свойств базовых материалов с температурой процесса пайки.

При этом должны учитываться следующие параметры ламинатов:

- Tg — температура стеклования. Данная величина характеризует температуру, при которой происходит переход базового материала в «мягкое» состояние. Однако Tg не содержит информации о температурной устойчивости базового материала. Тем-

пература стеклования определяется тремя различными методами: DMA (Dynamical Mechanical Analysis — динамический механический анализ), DSC (Differential Scanning Calorimetry — дифференциальная сканирующая калориметрия) и ТМА (Thermal Mechanical Analysis — термомеханический анализ). Измеренные значения отличаются друг от друга примерно на 10 К в следующей последовательности: $Tg(DMA) > Tg(DSC) > Tg(TMA)$.

- T260/T288 — время до деламинации. Под этой величиной подразумевают время до начала деламинации при соответствующей температуре.
- Td — температура разрушения. Данная величина обозначает температуру, при которой вес базового материала уменьшается на 5%.
- CTEz (также Zcte) — коэффициент теплового расширения (Coefficient of Thermal Expansion) в направлении оси Z. Данной величине должно быть уделено наибольшее внимание. Выше температуры Tg возрастает и значение CTEz: в 4–5 раз по сравнению со значением ниже температуры Tg. Невнимание к данной величине может привести к деламинации, разрыву металлизации отверстий и подъему контактных площадок.

Значения Tg и CTEz связаны друг с другом: чем выше значение Tg, тем меньше температурная зона, в которой возможно повышенное расширение в направлении, перпендикулярном плоскости печатной платы, выше температуры стеклования. Теплостойкость базового материала зависит от используемых отвердителей и наполнителей. Различают материалы, отвержденные с помощью дициандиамида и фенола Novolack. Лучшей теплостойкостью и меньшим расширением в направлении оси Z обладают фенольно отвержденные материалы (системы на основе Novolack). Системы материалов, отвержденных с помощью дициандиамида, обла-

дают, однако, лучшим сцеплением с медной фольгой.

Переход на фенольно отвержденные материалы (системы на основе Novolack) с наполнителем может повлиять на характеристики полного сопротивления электронного модуля. В связи с этим при проектировании печатной платы необходимо сделать выбор базового материала и его электрических характеристик. Для процесса изготовления этот переход влечет за собой значительное сокращение срока службы сверл при обработке более хрупких материалов. Для обеспечения безупречного качества печатной платы ее характеристики должны быть известны производителю заранее.

Нормы и директивы для выбора ламината

Общепринятые издания с обзором параметров для материалов печатной платы — американская директива IPC-4101B [1] и ряд норм IEC 61249-xx [2]. В дополнение можно назвать немецкие промышленные нормы от DIN EN 123 000 до DIN EN 123 800 [3], которые приведены в обзоре норм FED (Fachverband für Elektronikdesign — Отраслевое объединение по проектированию электроники) для производства электроники FED-26-03.1 [4]. В последней редакции нормы IPC-4101B «Спецификация базовых материалов» также обсуждена тема бессвинцовых электронных узлов.

Мнения по поводу выбора базового материала

В качестве эксперта по данной проблематике выступает г-н Райнер Таубе, главный инструктор IPC (International Printed Circuit and Electronics — Международная ассоциация производителей печатных плат и электроники) по применению директивы IPC-A-610D «Критерии приемки электронных модулей» и представитель FED в TC91 IEC (International Electrotechnic Commission — Международная Электротехническая Комиссия). На заседании круга специалистов «Бессвинцовая электроника» в ноябре 2007 года он представил доклад на тему «Базовые материалы для бессвинцовых процессов пайки» [5]. Исходным пунктом данного доклада стала констатация факта того, что большинство проектировщиков печатных плат, изготовителей электронных модулей и конечных заказчиков не обладают достаточной информацией о свойствах базовых материалов и их влиянии на надежность печатной платы. Г-н Таубе провел анализ ряда исследований в этой области во всем мире. В ходе этой работы были выявлены многочисленные ссылки на ошибочность общего представления о большей надежности печатных плат с более высоким значением T_g для бессвинцовых процессов пайки по сравнению с базовыми материалами с низким значением T_g . Температура стеклования — лишь одно из многих свойств материала, и хотя значение T_g важно и должно быть учтено, для обеспечения надежности печатных плат также важен тщательный выбор и прочих параметров материала. К ним относятся температура разложения

(разрушения) T_d и коэффициент расширения CTE_z -ламината или печатной платы.

Г-н Вернер Энгельмайер из компании Engelmaier Associates L.C., USA опубликовал так называемый индекс влияния температуры пайки (Solder Temperature Impact Index, STII) [6], который может быть вычислен из трех вышеописанных параметров и должен достигать определенного минимального значения (≥ 215) для бессвинцовых процессов пайки. Данному значению соответствуют лишь два ламината (L126 и L129), которые рекомендованы директивой IPC-4101B.

Доклад г-на Таубе [5] содержит указания на то, что также может оказывать влияние на надежность. Из этого документа специалисты узнают, как могут быть выполнены требования по надежности за счет дизайна печатной платы и ее подготовки перед монтажом компонентов. Совместная рабочая группа «Проектирование печатных плат» организаций FED и VdL (Verband der Leiterplattenindustrie — Объединение производителей печатных плат) начала работу над проектом «Базовые материалы для процессов пайки припоями SnAgCu и SnCu». Его цель — заполнение информационных пробелов при сотрудничестве между разработчиками и производителями печатных плат, а также производителями электронных узлов.

В докладе г-на Йеремиаса из компании EADS Deutschland GmbH с названием «Печатная плата для бессвинцовых процессов с позиции авиационной электроники» [7] была затронута тема обеспечения надежности печатных плат в бессвинцовых электронных узлах. Детально был рассмотрен вопрос, каким дополнительным требованиям должны соответствовать печатные платы для обеспечения надежности после бессвинцового процесса пайки. Была установлена похожая взаимосвязь между параметрами T_g и CTE_z , как и в докладе г-на Таубе. Г-н Йеремиас представил возможные методы тестирования согласно нормам IPC-6012B «Квалификация и спецификация характеристик для жестких печатных плат» [8] и IPC-6016 «Квалификация и спецификация характеристик для печатных плат с высоким уровнем интеграции (HDI)». Докладчик установил, что для достижения необходимой уверенности в качестве ПП испытания печатных узлов методом термошока, описанные в норме IPC-6012B, должны быть дополнены. Критерии качества и приемки печатных плат согласно норме IPC-6012B для электроники 3-го класса (авиационной) не являются гарантией для нормально функционирующей и надежной печатной платы. Г-н Йеремиас предложил их дополнить.

Поглощение влаги и сушка печатных плат

Все базовые материалы гигроскопичны, однако это качество зависит от типа материала. Материалы FR4 без галогенов и с высокой температурой стеклования обладают повышенной гигроскопичностью. Зачастую это является причиной отказа печатных плат

в процессе изготовления электронных узлов при более высокой температуре пайки. При повышении температуры в процессе пайки в материале экспоненциально увеличивается давление пара поглощенной влаги, что ведет к дефектам, подобным при большом температурном расширении в направлении оси Z. Свойство гигроскопичности базового материала способствует поглощению молекул воды из окружающей среды поверхностью печатной платы, которые в дальнейшем диффундируют в базовый материал. Уже после суток хранения при температуре 40 °C и относительной влажности воздуха 92% достигается критическое значение содержания влаги 0,2% по весу. Кривая асимптотически поднимается: после 25 дней значение содержания влаги составляет 0,5% по весу, а после 150 дней — 0,6%. При обсуждении данного вопроса с экспертами было установлено, что 1/3 данного значения влажности уже изначально содержится в поступающих печатных платах, в очень короткий срок влажность достигает значения 2/3, остальная влажность накапливается в течение длительного срока хранения.

Строго рекомендуется проводить сушку печатных плат перед высокотемпературной обработкой, например, пайкой припоями SnAgCu и SnCu. Особенно это касается многослойных печатных плат. После сушки необходимо без задержки переходить к процессу изготовления, так как уровень влажности уже через несколько дней достигает значения до сушки.

Для эффективного процесса сушки необходимо, чтобы верхняя и нижняя стороны платы не содержали сплошных медных слоев, так как в данном случае влага не может быть удалена. Рекомендуется растривание медной поверхности.

Еще в 2003 году в рамках проекта «Свойства материалов печатных плат в зависимости от влажности и влияние процесса сушки на смачиваемость» компания Solectron провела исследования смачиваемости после поглощения влаги и сушки [9]. В ходе исследований было установлено, что результаты процесса сушки продолжительностью 1 час при 120 °C равносильны результатам после сушки в течение 1,6 часа при 110 °C; 2,1 часа при 100 °C; 3,1 часа при 90 °C и 5,6 часа при 80 °C. Для удаления влаги после двух месяцев хранения плат при 50% относительной влажности воздуха достаточно 4 часов сушки при 120 °C. После сушки или доставки плат в соответствующей упаковке необходимо хранить платы в сухом шкафу при относительной влажности менее 5%.

Подобные исследования с названием «Увеличение влажности и минимальные условия сушки печатных плат из эпоксидной смолы и полиимидного стекловолокна» были проведены институтом Institut de Soudure и Европейским Космическим Агентством [10]. Цель данных исследований — определение минимальных условий для удаления влаги и предотвращение повреждения базового материала в процессе пайки. Тестирование проходило при двух температурах: 105 °C и 120 °C. Было показано, что сушка при 120 °C эффективнее и, следовательно, предпочтительнее,

чем при 105 °С, при сохранении прочих параметров одинаковыми (12 часов при 120 °С и 48 часов при 105 °С). Относительно продолжительности процесса сушки было установлено, что для явной потери влаги достаточно 6 часов при 120 °С или при 105 °С. Однако для полной уверенности рекомендуется сушить платы 24 часа. Необходимо также учитывать металлургию финишных покрытий печатной платы.

Вышеописанные вопросы, а именно параметры печатных плат для «зеленой» электроники, выбор температуры стеклования, влияние влажности, рекомендации по сушке, практическое применение нормы IPC-4101B, а также тестирование паяемости, были затронуты в докладе г-на Лотара Вайгцеля на тему "Lead Free Halogenfree" в рамках PCB Design Conference 2007. Обширный манускрипт данного доклада (63 слайда) может быть бесплатно скачан по интернет-адресу [11].

Прочие проблемы и решения при изготовлении электронных модулей

В данной главе в дополнение к первой и второй главам представлены прочие аспекты обработки печатных плат и электронных узлов. Они представляют собой выборку из дискуссий на онлайн-форуме организации FED. С полным текстом этих обсуждений можно детально ознакомиться по адресу [12].

Причиной деламинации материала печатных плат при ремонте спустя несколько меся-

цев после изготовления электронного узла может быть накопление влаги. Для того чтобы избежать данного дефекта, рекомендуется проводить сушку плат перед ремонтом.

При доработке электронных узлов с помощью паяльника рекомендуется использовать материал с высоким значением Tg, так как в данном случае паяное соединение испытывает очень высокую температурную нагрузку.

Упаковка печатных плат для долгосрочного хранения является для многих небольших фирм очень важным вопросом. Необходимо следить за паронепроницаемостью запаянных пакетов. При запайке и эвакуации углы печатных плат не должны повреждать упаковку. Хорошая воздухопроницаемая и вакуумная упаковка может дополнительно предотвратить окисление поверхности печатной платы, но не может предотвратить рост интерметаллических фаз. Для предотвращения образования конденсата печатные платы должны быть, прежде всего, упакованы в сухом состоянии. Поставки производителей могут быть различно упакованы в зависимости от поверхности печатной платы. Печатные платы из Азии могут иметь вакуумную упаковку с пакетиком с силикагелем и без него.

Можно ли улучшить процесс сушки печатных плат с помощью вакуума? Данный вопрос получил негативный ответ на одном американском форуме: специалисты ссылались на физические условия. Процесс сушки печатных плат состоит из двух шагов: сначала влага диффундирует изнутри на поверхность печатной платы, а затем она испаряется в окру-

жающей среде. Концентрация молекул воды на поверхности зависит от температуры и влажности окружающей среды. Влажность воздуха в обычных сушильных шкафах при 120 °С составляет примерно 1%. Вакуум не может оказать существенного влияния на данное значение влажности. Следовательно, достаточно использовать обычный сушильный шкаф с температурой сушки, при которой не происходит повреждения компонентов. ■

Примечание. Оригинал статьи опубликован в журнале PLUS (Produktion von Leiterplatten und Systemen, 2008, No 3, Германия).

Литература

1. www.ipc.org или www.fed.de, рубрика News, специализированные статьи.
2. www.iec.ch
3. www.din.de
4. www.fed.de, FED-Shop
5. Доступно по адресу: r.taube@taube-electronic.de или www.taube-electronic.de
6. wiki.fed.de/fed-wiki/images/0/00/Engelmaier_PTV2.pdf
7. Доступно в офисе FED (info@fed.de).
8. www.fed.de, FED-Shop (на немецком языке).
9. <http://wiki.fed.de/fed-wiki/images/7/73/Solectron.pdf>
10. http://wiki.fed.de/fed-wiki/images/8/88/Institut_de_soudure.pdf
11. <http://wiki.fed.de/fed-wiki/images/4/4e/Leiterplatten-Material.pdf>
12. www.fed.de/e-mail-archiv