

Современные высокотемпературные материалы для производства высоконадежных многослойных печатных плат

Александр Пахнин, pab@nicevt.com
Павел Казаков

С каждым годом сложность многослойных печатных плат возрастает, и вместе с ней ужесточаются требования к условиям эксплуатации. При этом снижение надежности таких плат недопустимо. Обеспечить долгосрочную надежность печатных плат высокой сложности при жестких условиях эксплуатации позволяют современные базовые материалы с улучшенными рабочими характеристиками.

ВВЕДЕНИЕ

Читая спецификацию на тот или иной базовый материал для изготовления печатных плат, мы обнаружим более двух десятков параметров, которые его характеризуют. Все параметры можно разделить на две группы: физико-механические и электрические. Физико-механические параметры характеризуют поведение материала при изменении температуры или приложении определенных усилий, а электрические параметры характеризуют материал с точки зрения электрических потерь.

Так как в рамках данной статьи подробно рассматривать все характеристики базовых материалов для изготовления печатных плат не планировалось, мы остановимся только на основных характеристиках.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЗОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Температура стеклования T_g (glass transition temperature) — одна из основных характеристик полимеров, а диэлектрики базовых материалов яв-

ляются не чем иным, как полимерами. Это температура, при нагреве выше которой диэлектрик базового материала переходит из твердого состояния в пластичное. Причем, данный переход происходит скачкообразно.

При нагреве базового материала диэлектрик, входящий в его состав (равно как и медь) увеличиваются в размере. Параметр, характеризующий увеличение размера при нагреве, называется **коэффициентом температурного расширения** или сокращенно **КТР**. Расширение диэлектрика по разным осям будет разным, причем расширение по оси Z в разы превышает расширение по осям X и Y. Это обусловлено тем, что диэлектрик армирован стеклянными волокнами только по осям X и Y (рис. 1). В свою очередь, форма стеклянных волокон вдоль этих осей различна, а соответственно, различны и КТР.

Также следует знать, что КТР не является величиной постоянной: при температурах ниже T_g это $КТР_1$, а при превышении T_g — $КТР_2$ ($КТР_2$ в 4—5 раз превышает $КТР_1$). Исходя из вы-

шесказанного, следует, что расширение материала печатной платы при нагреве происходит нелинейно. Зависимость расширения печатной платы по оси Z от температуры наглядно представлена на рис. 2.

Чем опасен нагрев печатной платы выше температуры стеклования? При температуре выше T_g происходит резкое увеличение КТР диэлектрика с 45...55 до 200...250 мкм/м°C, что в соответствии с графиком, представленным на рис. 2, ведет к резкому расширению диэлектрика по оси Z. КТР меди же остается прежним и составляет 15 мкм/м°C. Длительное воздействие температур, превышающих T_g , неминуемо приводит к разрыву стенок металлизированного отверстия в печатной плате (рис. 3).

Еще одной важной характеристикой базового материала является **температура деструкции T_d** (decomposition temperature). Это температура, при которой происходит разложение полимера, входящего в состав базового материала, которое сопровождается разрывом химических связей и поте-

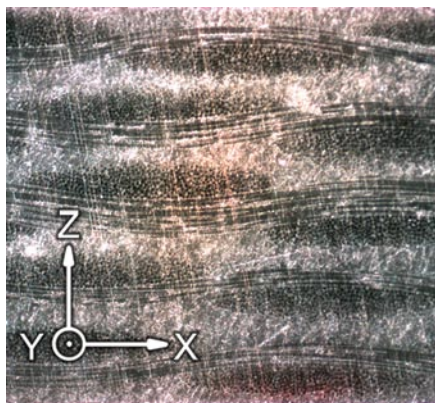


Рис. 1. Расположение армирующих стеклянных волокон в базовом материале

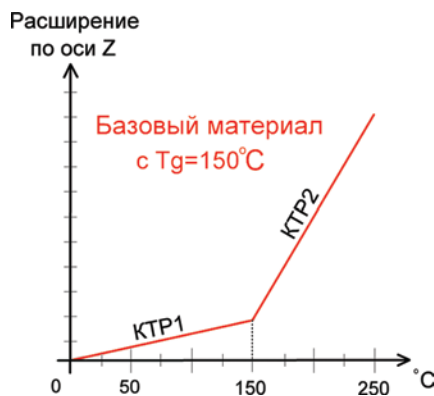


Рис. 2. График температурного расширения печатной платы по оси Z



Рис. 3. Разрыв стенки металлизированного отверстия в результате чрезмерного температурного расширения диэлектрика

рей массы изделия (5% и более). Разложение полимера в конечном итоге приводит к расслоению базового материала.

Разработчику необходимо выбирать параметры базовых материалов T_g и T_d , исходя из температуры монтажа компонентов. В странах Европы в соответствии с директивой ROHS, ограничивающей содержание вредных веществ, отказались от финишного покрытия олово-свинец. Вместо него применяются бессвинцовые финишные покрытия, требующие температуры пайки на 30°C выше, чем для покрытий, содержащих свинец. К примеру, такая температура пайки недопустима для стандартных FR-4 с $T_g = 135^\circ\text{C}$.

При эксплуатации электронной аппаратуры печатные платы могут подвергаться значительным температурным воздействиям, поэтому ещё на стадии проектирования электронного модуля разработчику необходимо выбрать базовый материал не только с требуемыми электрическими характеристиками, но и способный обеспечить долгосрочную надежность будущей печатной платы. Таким образом, мы переходим к следующей важной характеристике базового материала — **максимальной рабочей температуре**. Это максимальная температура, при которой материал может находиться сколь угодно долго без начала процесса деструкции полимера.

А теперь скажем пару слов об электрических характеристиках базовых материалов.

Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_r , (устаревшее назва-

ние — **диэлектрическая постоянная D_k**) — безразмерная физическая величина, характеризующая свойства изолирующей (диэлектрической) среды, её реакцию на электрическое поле. Величина ϵ_r показывает, во сколько раз сила взаимодействия двух электрических зарядов в диэлектрике меньше, чем в вакууме. Следует отметить, что диэлектрическая проницаемость — величина переменная, в значительной степени зависящая от частоты электромагнитного поля. Поэтому вместе со значением ϵ_r базового материала указывают частоту, при которой производилось измерение. Практическое применение значение диэлектрической проницаемости находят при расчете волновых и дифференциальных сопротивлений (импеданса) линий передачи.

Вторым важным электрическим параметром, характеризующим потери мощности в диэлектрике (диэлектрические потери) при переменном напряжении, является **тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$** . Измерение $\text{tg}\delta$ используют для оценки состояния изоляции. Чем больше $\text{tg}\delta$, тем хуже состояние изоляции. Т.к. тангенс угла диэлектрических потерь зависит от частоты переменного тока, то по аналогии с диэлектрической проницаемостью необходимо указывать величину $\text{tg}\delta$ вместе с частотой, при которой производилось измерение.

СОВРЕМЕННЫЕ БАЗОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В России импортные базовые материалы для изготовления печатных

плат представлены рядом крупных производителей: Matsushita (Япония), ILM (Китай), Kingboard (Китай), Isola (Германия). Наибольшей популярностью среди них пользуются материалы фирма Isola. Это объясняется их высоким качеством и постоянством физико-механических и электрических характеристик. Ассортимент продукции фирмы Isola представлен более чем тремя десятками наименований базовых материалов. Для удобства поиска подходящего базового материала все марки материалов разбиты на группы по основным характеристикам. В таблице 1 приведены основные группы материалов для производства печатных плат фирмы Isola. Каждая группа представлена одним самым популярным материалом.

Стандартный **FR-4 DE104** и **FR-4 High Tg IS420** уже давно известны и активно используются российскими разработчиками электронной аппаратуры. Материал **FR408HR**, представленный фольгированным диэлектриком и прокладочной стеклотканью, пока ещё не так популярен. Но превосходное сочетание высокой температуры стеклования, низкого КТР и низких диэлектрических потерь делает этот материал незаменимым при изготовлении печатных плат с высокоскоростными линиями передачи с контролируемым импедансом, эксплуатирующихся в электронных блоках при высоких температурах.

При производстве материала **FR408HR** используются многофункциональная эпоксидная смола и стеклянное волокно (E-glass), позволяющие снизить на 30% коэффициент температурного расширения и на 25% сократить диэлектрические потери по сравнению с аналогичными материалами. FR408HR с успехом может применяться в качестве базового материала в системах, работающих на частотах до 10 ГГц ($5 \text{ ГГц}/\epsilon_r = 3,64/\text{tg}\delta = 0,0098$; $10 \text{ ГГц}/\epsilon_r = 3,65/\text{tg}\delta = 0,0095$). К таким системам относятся роутеры, серверы, ноутбуки, беспроводные сети, навигационные системы, мобильные телефоны, следящие системы. Максимальная рабочая температура данного материала составляет 150°C, это позволяет использовать электронные блоки на базе плат из FR408HR в самых жестких условиях без потери надежности.

Таблица 1. Популярные марки базовых материалов фирмы Isola

Материал		Tg, °C	Td, °C	КТР по оси Z, мкм/м°C		Макс. рабочая температура*, °C	Относительная диэлектрическая проницаемость		Тангенс угла диэлектрических потерь	
Группа	Марка			T < Tg	T > Tg		100 МГц	2 ГГц	100 МГц	2 ГГц
Стандартные FR-4	DE104	135	310	70	250	130	4,6–4,9 (1 МГц)	0,0190 (1 МГц)		
FR-4 High Tg (повышенной термостойкости)	IS420	170	340	40	200	150	4,24	4,04	0,0150	0,0210
Материалы для обеспечения целостности сигнала	FR408HR	200	360	55	230	150	3,72	3,68	0,0072	0,0092
Материалы с высокими рабочими характеристиками	P96/P26	260	416	55	-	210	3,90	3,76	0,018	0,017

* Значение получено Isola опытным путем, отличается от сертифицированной UL максимальной рабочей температуры.

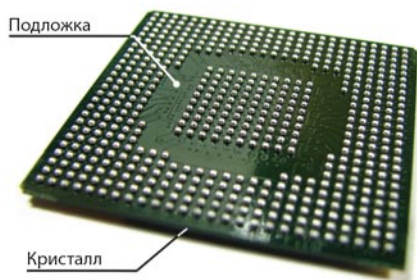


Рис. 4. BGA-компонент с подложкой из высокотемпературного материала

Опыт работы с данным материалом в ОАО «НИЦЭВТ» показывает, что при изготовлении многослойных печатных плат FR408HR обрабатывается аналогично стандартному FR-4. Исключение составляют операции прессования и сверления. Особый состав полимера требует измененного режима прессования [200°С/240 Н/см²/4,5 часа] против [180°С/170 Н/см²/2 часа] для обычного FR-4. В связи с высоким Tg при сверлении материала происходит меньшее наволакивание смолы на торцы контактных площадок в отверстия, но образуется значительно больше осколков материала, что требует корректировки стандартных режимов сверления печатных плат. В спецификации на материал имеется таблица режимов сверления, которая должна стать отправной точкой в процессе подбора оптимальных режимов сверления для конкретного производителя.

P96/P26 — последняя, но, пожалуй, самая интересная марка материала, которую мы рассмотрим в данной статье. Производитель отнес её к груп-

пе материалов с высокими рабочими характеристиками. Данная группа является самой малочисленной в линейке материалов фирмы Isola и в неё попадают только материалы с уникальными характеристиками. Таким материалом и является P96/P26.

В конце 2008 года фирма Isola представила линейку базовых материалов P96/P26 на основе огнестойкой полиимидной смолы (P96 — фольгированный диэлектрик, P26 — прокладочная стеклоткань). Эти материалы не горючи и хорошо подходят для военной, коммерческой или промышленной электроники, требующей повышенной термостойкости. Несмотря на крайне высокую Tg = 260°С, материал лишен излишней хрупкости и невысокой адгезии к фольге, характерной для термореактивных полиимидов.

Материал P96/P26 прекрасно подойдет для изготовления подложек под BGA-компоненты (рис. 4), т.к. его Tg значительно превышает 180°С — температуру стеклования материалов на основе смеси эпоксидной смолы и бисмалеимид-триамина, традиционно используемых для изготовления подложек под BGA. А благодаря высоким электрическим характеристикам, данный материал можно использовать при изготовлении плат с высокоскоростными линиями передачи.

Ещё одной областью, испытывающей потребность в материале P96/P26, являются геолого-технологические исследования скважин в процессе бурения, призванные осуществлять контроль состояния скважины на всех

этапах её строительства и ввода в эксплуатацию. Максимальные рабочие температуры скважинных приборов контроля достигают 180°С.

Понимая, что в скором времени P96/P26 найдет и в России ряд применений, ОАО «НИЦЭВТ» приняло решение закупить пробную партию материала, изготовить из него опытные образцы печатных плат и провести испытания готовых образцов.

Технологами производственного комплекса была разработана тестовая шестислойная печатная плата, состоящая из фольгированного диэлектрика P96 и прокладочной стеклоткани P26. Еще на этапе запуска в производство был учтен тот факт, что в процессе прессования изменения размеров у материалов из полиимида больше, чем у материалов на основе эпоксидной смолы.

Прессование выполнялось по нестандартному режиму (рис. 5), т.к. материал имеет низкую текучесть и требует длительного времени полимеризации. По аналогии с нетекучими прокладочными стеклотканями цикл прессования дополнен 30-минутным вакуумированием без приложения давления. Упрощенно цикл прессования можно записать [220°С/170 Н/см²/4,5 часа].

Исходя из режимов сверления, рекомендованных производителем материала, были подобраны режимы, обеспечивающие стабильно высокое качество стенок отверстий для последующей металлизации. Для очистки торцов контактных площадок внутренних слоев от наволакивания смолы допускается использовать как перманганатную, так и плазмохимическую очистку отверстий. Однако при использовании плазмохимической очистки стенки отверстий могут получиться настолько гладкими, что придется проводить дополнительную перманганатную очистку для обеспечения качественной адгезии гальванической меди к диэлектрику.

Печатные платы, изготовленные в ОАО «НИЦЭВТ» по новой или измененной технологии, проходят проверку по показателям типовых испытаний. Тестовые многослойные ПП из материала P96/P26 также прошли проверку по ГОСТ 23752-79 на соответствие техническим требованиям. Программа проверки включала в себя следующие пункты:

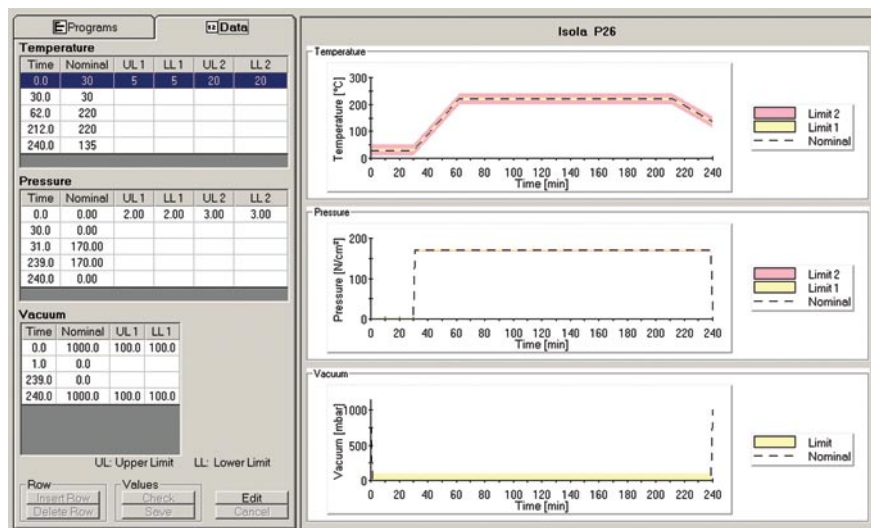


Рис. 5. Режим прессования материала P96/P26 в «горячем» прессе

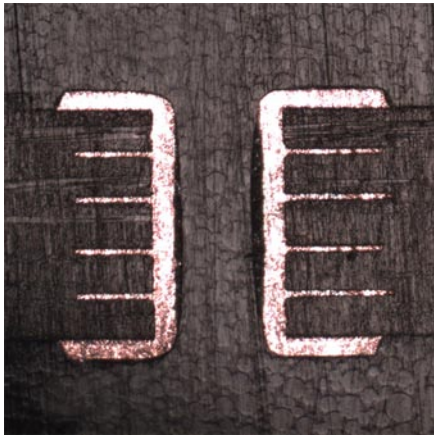


Рис. 6. Микрошлиф тестовой платы после термоудара

проверка паяемости и устойчивости к перепайкам, измерение сопротивления изоляции во влаге и проверка устойчивости к термоудару в расплавленном припое. Термоудар ПП в расплавленном припое предназначен для проверки целостности металлизации на стенках отверстий и отсутствия отслоения меди от диэлектрика при температуре 260°C. После выполнения программы проверки из тестовых плат были изготовлены микрошлифы.

Анализ микрошлифов показал, что на стенках металлизированных отверстий не образовалось микротрещин, угловые соединения с медью на наружном слое сохранили целостность и все торцы контактных площадок на внутренних слоях, подходящих к отверстию, имеют надежный контакт (рис. 6).

Замеры сопротивления металлизации на тестовых платах до и после термоудара показали, что значения сопротивлений не изменились, что подтверждает целостность соединений. Платы из материала Р96/Р26 были изготовлены по новой технологии и успешно прошли проверку в соответствии с техническими требованиями ГОСТ. А значит, можно смело сказать, что платы будут эксплуатироваться в самых жестких условиях без снижения надежности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние несколько лет производителям базовых материалов, предназначенных для изготовления многослойных печатных плат удалось значительно повысить физико-механические характеристики своей

продукции, причем электрические характеристики также остались на высоком уровне. Такая ситуация на рынке базовых материалов позволяет разработчикам электронной аппаратуры реализовывать все более сложные проекты, т.к. появилась возможность эксплуатировать печатные платы высокой сложности в самых жестких условиях без потери надежности.

В свою очередь, ОАО «НИЦЭВТ», как высокотехнологичное контрактное производство, готово поделиться с российскими разработчиками электроники своими знаниями и опытом в области изготовления высоконадежных многослойных печатных плат, предназначенных, в том числе для космической техники, систем жизнеобеспечения и оборонной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.isola-group.com
2. Спецификации на материалы фирмы Isola: DURAVER-E-Cu 104, IS420, FR408HR, P96/P26.
3. А. Медведев Печатные платы. Конструкции и материалы. — М.: Техносфера, 2005.
4. www.ru.wikipedia.org



ОАО «НИЦЭВТ»
www.nicevt.com

117587, Москва
Варшавское шоссе, 125
Тел./факс: (+7 495) 319-1378
Отдел заказов
Тел: +7 (495) 319-0627
E-mail: ok@nicevt.com



Печатные платы **Механическая обработка**

Монтаж **Гальваника** **Порошковое покрытие**

ПОЛНЫЙ ЦИКЛ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Высокотехнологичное контрактное производство, предоставляющее услуги по изготовлению печатных плат, электронных модулей, корпусных, механических деталей и узлов, стоек и электротехнических шкафов, а также нанесению защитных порошковых, гальванических и лакокрасочных покрытий.