

Особенности проектирования и производства печатных плат на металлическом основании

Юрий Муравьев, инженер-технолог, «Резонит»

В статье рассматриваются особенности проектирования и изготовления печатных плат на металлическом основании, дается краткий обзор материалов, используемых фирмой «Резонит» в производстве, а также представлены основные технологические возможности компании.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании электронных компонентов разработчик всегда стремится к тому, чтобы конечное электронное устройство было как можно меньших размеров. Однако поскольку далеко не вся потребляемая электронными устройствами мощность превращается в мощность полезных сигналов, на кристаллах ИС наблюдается значительное выделение тепла. Нарушение теплового режима работы ИС приводит к снижению помехоустойчивости, быстродействия и общей надежности электронного устройства. В связи с этим при уменьшении размеров устройства остро встает вопрос об отводе тепла. Рассмотрим на конкретном примере теплового расчета для светодиода основные факторы, определяющие ширину проводника на печатной плате.

ПРИМЕР ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА

Рассеиваемая мощность на светодиоде:

$P_D = V_F \cdot I_F$, где I_F — прямой ток; V_F — прямое напряжение.

Тепловое сопротивление между р-п-переходом и окружающей средой:

$\theta_{Ja} = (T_J - T_A) / P_D$, где T_J — рекомендуемая температура р-п-перехода; T_A — температура окружающей среды.

Тепловое сопротивление светодиода:

$\theta_{JB} = \theta_{Jc} + \theta_{cb}$, где θ_{Jc} — тепловое сопротивление между р-п-переходом и корпусом; θ_{cb} — тепловое сопротивление (припоя, пасты) между корпусом и печатной платой.

Тепловое сопротивление печатной платы:

$\theta_{BA} = \theta_{Ja} - \theta_{JB}$, где θ_{Ja} — тепловое сопротивление между р-п-переходом и окружающей средой; θ_{JB} — тепловое сопротивление светодиода.

Рассчитаем минимальную ширину проводника:

$$W_C = \left(\frac{T_S I^2 R_s}{K_S T_{RISE}} + T_S^2 \right)^{\frac{1}{2}} - T_S,$$

где W_C — ширина проводника, м; T_S — толщина диэлектрика, м; I — ток, А; $R_s = 1,78 \cdot 10^{-8} / T_C$ Ом·м — поверхностное удельное сопротивление слоя; T_C — толщина фольги, м; K_S — теплопроводность диэлектрика, Вт/(м·К); T_{RISE} — допустимое увели-

чение температуры, К. Рассмотрим на рисунках 1 и 2 графики зависимости ширины проводника от тока и толщины фольги (материал FR4 — стекловолокно; допустимое увеличение температуры — 10°C):

Рассмотрим график зависимости ширины проводника при тех же условиях, но на материале с алюминиевым основанием (материал T111, допустимое увеличение температуры — 10°C):

Сравнительный график для материалов FR4 и T111 представлен на рисунке 3.

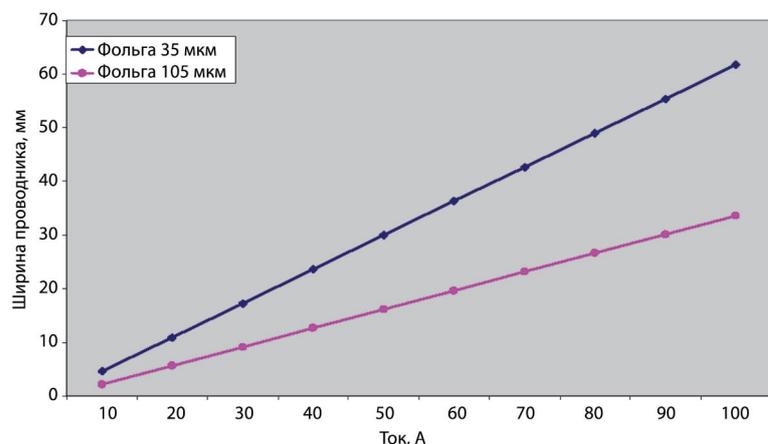


Рис. 1. Зависимость ширины проводника от тока и толщины фольги для материала FR4

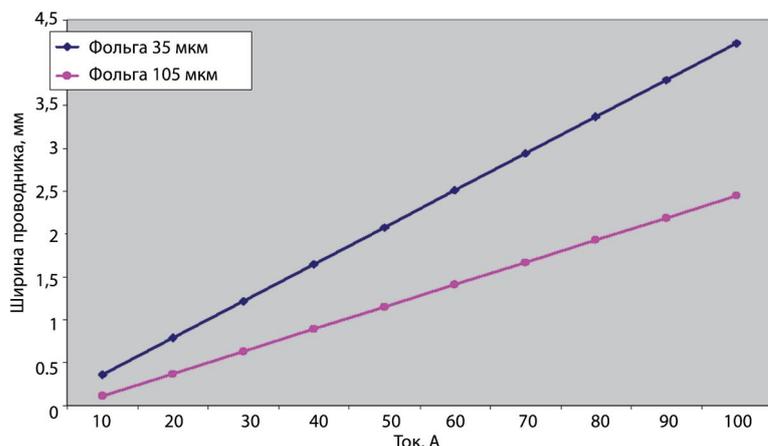


Рис. 2. Зависимость ширины проводника от тока и толщины фольги для материала T111 с алюминиевым основанием

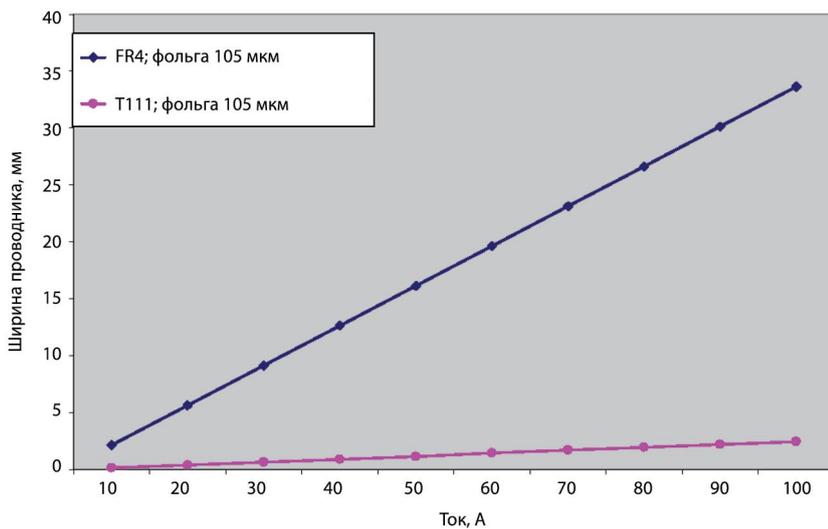


Рис. 3. Сравнительный график для материалов FR4 и T111



Рис. 4. Конструкция печатной платы с использованием T-preg

Как видно из рисунка 3, за счет применения материалов с теплоотводящим основанием можно в несколько раз уменьшить ширину проводников, что, в свою очередь, позволяет значительно сократить размеры устройств.

КОНСТРУКЦИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ ПОВЫШЕННОГО ОТВОДА ТЕПЛА

На рисунке 4 представлена конструкция печатной платы с использованием T-preg (термо-препрег) с медной фольгой с обеих сторон.

На теплопроводящий препрег с двух сторон накатывается медная фольга, что позволяет отводить тепло с первого слоя на второй с максимальной эффективностью.

На рисунке 5 изображена конструкция печатной платы с использованием металлического основания. Печатные платы с такой конструкцией можно разделить на две основные группы: однослойные; двухслойные и многослойные.

Базовым материалом однослойных печатных плат является медная фольга,

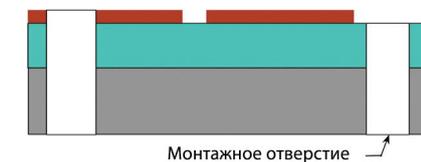


Рис. 5. Конструкция печатной платы с металлическим основанием

га, приклеенная через теплопроводящий изоляционный слой на металлическое основание.

В этом случае используется та же фольга, что и в материале на основе стекловолкна (FR4), толщина которой варьируется в пределах 35...350 мкм. Следует заметить, что материал имеет один слой фольги, т.е. его можно применять только в односторонних платах. В связи с этим для формирования рисунка печатной платы заготовки травятся в кислотном растворе по фоторезисту, т.е. процесс гальванического наращивания меди отсутствует. Это означает, что толщина фольги в процессе изготовления платы не изменяется.

В свою очередь, металлическое основание может быть алюминиевым, медным и стальным.

Теплопроводность алюминиевого основания составляет порядка 150 Вт/(м·К), а у меди — порядка 400 Вт/(м·К). Однако несмотря на такую разницу в теплопроводности, мы по большей части изготавливаем платы на алюминиевом основании, т.к. это является наиболее дешевым вариантом изготовления.

Стальное основание в основном используется для экранизации сигналов или ужесточения конструкции.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ОСНОВАНИИ

С одной стороны материал ламинирован медной фольгой, как и в случае одностороннего материала. Из-за того, что обратная сторона в данном случае является токопроводящим материалом, не представляется возможным использовать на плате элементы, монтируемые в отверстия (DIP-элементы). На таких платах используются только планарные элементы. Отверстия и пазы могут применяться только в качестве крепежных элементов.

Из-за того, что эти платы используются для максимального отвода тепла, при их проектировании желательно максимально использовать полигоны, не экономя на ширине проводников.

Следует также помнить о том, что обратная сторона платы — сплошной металл, способствующий возникновению паразитных емкостей, отрицательное влияние которых сложно недооценить.

В качестве маскирующего покрытия поверхности печатной платы применяется двухкомпонентная жидкая паяльная маска. В светодиодных приложениях для плат чаще выбирают черный цвет маски (для повышения контрастности RGB-цветов) или белый (отсутствует подсветка при белом свечении) цвет. Для остальных применений выбор цвета паяльной маски, например зеленого, синего или красного, производится из эстетических соображений.

Позиционные обозначения элементов выполняют, как правило, методом шелкографии краской любым контрастным к маске цветом.

Финишное покрытие площадок в большинстве случаев — оплавление ПОС63, но возможны и другие типы покрытий: бессвинцовое оплавление, иммерсионное золото, гальваническое золото, иммерсионное серебро, иммерсионное олово.

На рисунке 6 представлены образцы печатных плат на металлическом основании.

Рассмотрим еще один класс печатных плат с теплоотводящим основанием — двухслойные или многослойные печатные платы, наклеенные (напрес-

сованные) на теплоотводящий слой (см. рис. 7).

В таких платах металлическое ядро находится посередине, и тепло с токопроводящих слоев через термопрепрег отводится на это основание.

Конструкция многослойных печатных плат с металлическим основанием показана на рисунке 8.

На схеме приведен пример четырехслойной печатной платы, напессованной на теплоотводящее основание. На верхнем слое платы допускается выполнять размещение SMT- и DIP-элементов, а трассировка может занимать все слои (под DIP-элементы в металлическом основании фрезеруются окна для возможности монтировать эти компоненты с обратной стороны платы). После фрезерования металлическое основание через теплопроводящий изоляционный слой напессовывается к нижнему слою платы. В качестве теплопроводящего склеивающего диэлектрика используются материалы фирмы Arlon.

Следует заметить, что при проектировании таких плат особое внимание обращается на то, чтобы цепи, где выделяется максимальное количество тепла, размещались на нижнем (ближайшем к металлическому основанию) слое и имели как можно большую площадь.

Кроме того, эту конструкцию можно использовать для увеличения жесткости печатных плат. В этом случае желательно использовать стальное металлическое основание. Кроме того, необходимо уменьшить до минимального количество фрезерованных и высверленных окон в металлическом слое, т.е. максимально сократить число DIP-элементов.

На рисунке 9 представлен образец многослойной печатной платы с алюминиевым основанием (вид со стороны металлического основания).

МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ФИРМОЙ «РЕЗОНИТ» ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ОСНОВАНИЕМ

Медная фольга: 35; 70; 105; 140 мкм.

Металлическое основание: алюминий; медь; сталь.

На нашем производстве применяется материал с алюминиевым основанием толщиной 1,0; 1,5; 2,0 мм.

Изоляционный слой может представлять собой обычный препрег на

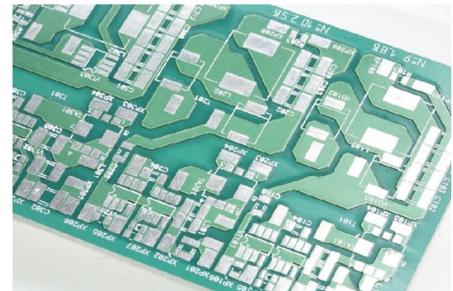
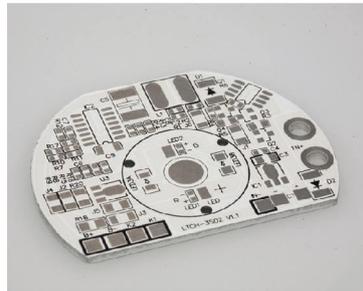
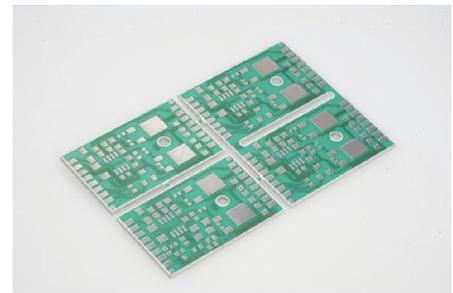
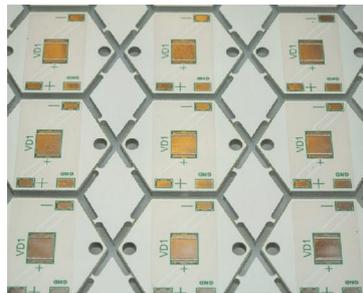


Рис. 6. Образцы плат на металлическом основании

основе стекловолкна. Это наиболее доступный и дешевый вариант, но он имеет один важный недостаток — низкую теплопроводность. Такой вариант у нас представлен в виде материала производства фирмы Rukai, и по классификации производителя этот изоляционный слой имеет название IMS-03. Его толщина составляет 75 мкм, тепловое сопротивление — 1,42°C/Вт.

Большой популярностью пользуются специальные теплопроводящие материалы из полимеров на основании керамики, толщина которых колеблется в пределах 75...150 мкм, а тепловое сопротивление составляет 0,45...1,0°C/Вт.

Такие варианты у нас представлены рядом материалов от производителей Ruikai, Bergquist и Totking.

Наиболее популярным в мире является материал фирмы Bergquist, но он имеет очень высокую цену. В случае если необходима максимальная теплопроводность, найти ему замену довольно-таки сложно, поскольку тепловое сопротивление изоляционных материалов этой фирмы лежит в пределах от 0,45...0,7°C/Вт.

В большинстве случаев мы изготавливаем платы с теплопроводящим основанием из материала T111 компании Totking. Он очень хорошо зарекомендовал себя и является оптимальным с точки зрения цена/качество. Тепловое сопротивление изоляционного слоя этого материала составляет 0,7°C/Вт. К его недостаткам можно отнести не очень высокое пробойное

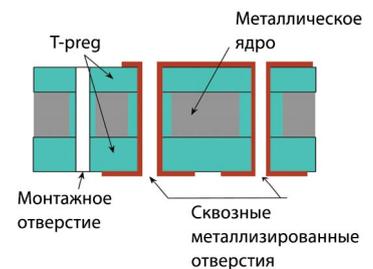


Рис. 7. Двухслойные печатные платы

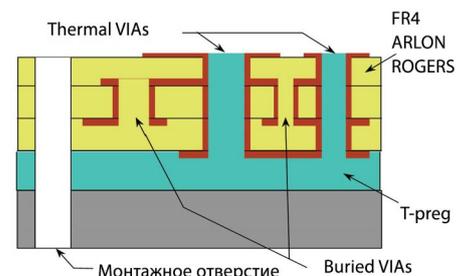


Рис. 8. Конструкция четырехслойной печатной платы на теплоотводящем основании

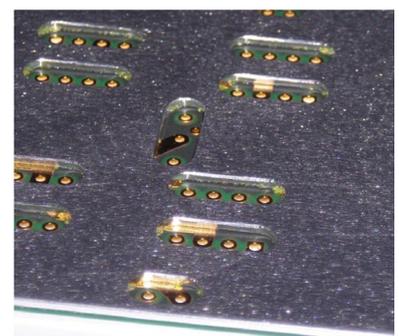


Рис. 9. Многослойная плата с алюминиевым основанием

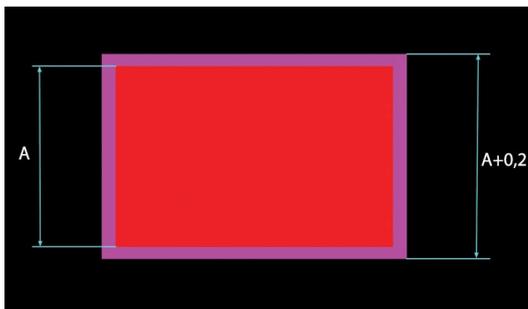


Рис. 10. Минимальное вскрытие площадки в маске

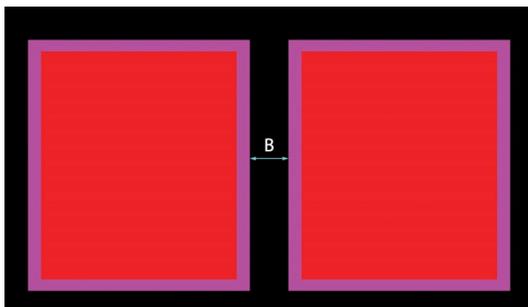


Рис. 11. Минимальная ширина масочного мостика

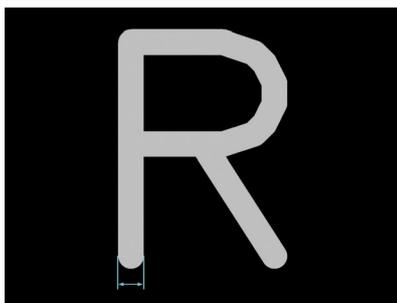


Рис. 12. Минимальная ширина линии маркировки

напряжение — 2,5 кВ. У материалов фирмы Ruikai оно колеблется в диапазоне 4,0...8,0 кВ и до 11 кВ — у материалов Verquist.

Однако в связи с тем, что в большинстве случаев такие платы применяются в изделиях с низким рабочим напряжением (блоки питания, светотехника), наиболее важным критерием выбора является наименьшее тепловое сопротивление материала.

В качестве диэлектрика для многослойных плат на металлическом основании в производстве «Резонита» используются следующие материалы: ARLON ML99; ARLON ML92 и ARLON 49N.

Показатели теплопроводности материалов:

- FR4 — 0,25–0,35 Вт/(м·К);
- ARLON 99ML — 1,1 Вт/(м·К);
- ARLON 92ML — 2,0 Вт/(м·К);
- ARLON 49N — 0,25 Вт/(м·К).

Из всех материалов, которые мы используем для многослойных печат-

ных плат с металлическим основанием, ARLON 49N имеет самую низкую теплопроводность. Однако благодаря тому, что у этого материала низкая текучесть, возможно изготовление плат с фрезерованными под DIP-монтаж окнами.

Варианты цвета паяльной маски: белая; черная; зеленая; синяя; красная. Варианты цвета шелкографии: белый; черный; желтый; зеленый. Варианты финишного покрытия площадок: оплавление ПОС63, бессвинцовое оплавление, иммерсионное золото, гальваническое золото, иммерсионное серебро, иммерсионное олово.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА «РЕЗОНИТ»

- используемый материал — T111;
- толщина алюминиевого основания — 1,0; 1,5 и 2,0 мм;
- толщина диэлектрика — 100 мкм;
- толщина медной фольги — 35 мкм;
- тепловое сопротивление диэлектрика — 0,7°C/Вт;
- минимальный зазор — 0,24 мм;
- минимальная ширина проводника — 0,24 мм;
- минимальное отверстие — 0,9 мм;
- отверстия более 4,0 мм — выполняются фрезеровкой;
- минимальный диаметр используемой фрезы — 2,0 мм;

- максимальный размер готовой платы — 380×320 мм;
- минимальный зазор от края платы до металла (фрезерование) — 0,25 мм;
- минимальный зазор от края платы до металла (скрайбирование) — 0,40 мм;
- минимальное расстояние от края платы до отверстия — одна толщина платы;
- минимальное вскрытие площадки в маске (см. рис. 10) — размер площадки +0,20 мм (0,10 мм на сторону);
- минимальная ширина масочного мостика (см. рис. 11) — 0,15 мм (желательно 0,20 мм);
- минимальная ширина линии маркировки (см. рис. 12) — 0,15 мм.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА «РЕЗОНИТ»

- используемый материал — RUIKAI; BERGQUIST; TOTKING;
- толщина алюминиевого основания — 1,0; 1,5; 2,0 мм;
- толщина диэлектрика — 75...150 мкм;
- толщина медной фольги — 35...140 мкм;
- тепловое сопротивление диэлектрика — 0,45...1,42°C/Вт.
- Минимальная ширина проводника/минимальный зазор:
 - для фольги 18 мкм — 0,10/0,10 мм;
 - для фольги 35 мкм — 0,15/0,15 мм;
 - для фольги 70 мкм — 0,20/0,20 мм;
 - для фольги 105 мкм — 0,25/0,25 мм;
 - для фольги 140 мкм — 0,30/0,30 мм;
- минимальный зазор от края платы до металла (фрезерование) — 0,20 мм;
- минимальный зазор от края платы до металла (скрайбирование) — 0,40 мм;
- минимальное расстояние от края платы до отверстия — одна толщина платы;
- минимальное вскрытие площадки в маске — размер площадки +0,10 мм (0,05 мм на сторону);
- минимальная ширина масочного мостика — 0,15 мм (желательно 0,20 мм)
- минимальная ширина линии маркировки — 0,15 мм.