

Мартин Закс (Martin Sachs) | martin.sachs@db-electronic.de
Перевод: Андрей Новиков | andrej.novikov@uni-rostock.de

Теплоотводящие печатные платы

для монтажа мощных светодиодов

За счет постоянного расширения области применения мощных светодиодов, особенно в области светотехники, проблема теплоотвода становится все более актуальной. В статье представлен обзор возможностей для теплоотвода, материалов и правил дизайна, а также приведены конкретные примеры.

Обзор по отводу тепла на печатных платах

Наряду с возможностями теплоотвода с помощью радиаторов, которые, как правило, устанавливаются конечным потребителем вручную после монтажа печатной платы, существует множество методов, предлагаемых производителем печатных плат:

- Теплопроводящая паста:
 - однокомпонентная паста;
 - нанесение методом трафаретной печати;

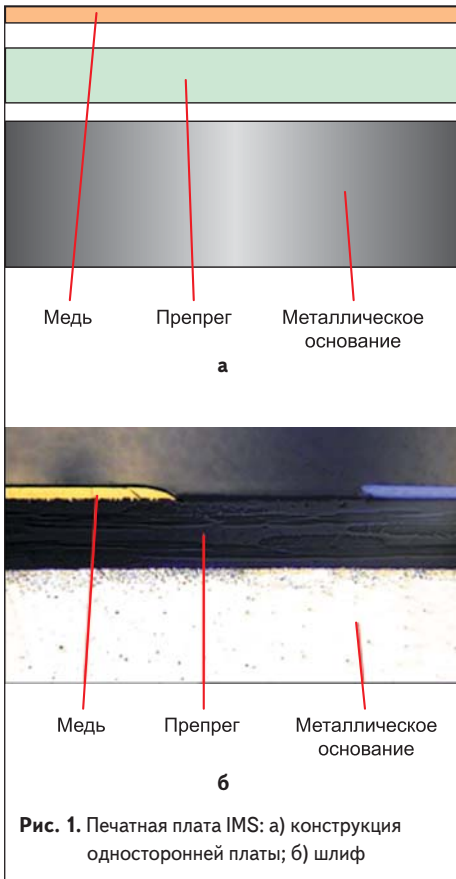


Рис. 1. Печатная плата IMS: а) конструкция односторонней платы; б) шлиф

- толщина: 100–500 мкм;
- применение в комбинации с теплоотводящими сквозными отверстиями (thermal vias);
- теплопроводность: примерно 2 Вт/м·К;
- преимущество: не требует больших затрат;
- недостаток: занимает площадь печатной платы.
- Печатные платы с толстым слоем меди:
 - толщина медного слоя: от 105 мкм;
 - применение преимущественно в силовой электронике с высокими токами;
 - теплопроводность меди: 400 Вт/м·К;
 - преимущество: отличная теплопроводность;
 - недостаток: ограничение по минимальной толщине проводников.
- Печатные платы IMS (изолированные металлические подложки).

Изолированные металлические подложки (IMS)

Два термина всегда используются в связи с теплоотводом и печатными платами: теплопроводность и тепловое сопротивление.

Теплопроводность описывает способность материала транспортировать тепло (энергию) и зависит от плотности материала, переносящего энергию. В таблице 1 представлены значения теплопроводности для материалов, которые обычно используются при изготовлении печатных плат.

Материалы с теплопроводностью ниже 0,8 Вт/м·К считаются термоизоляторами. Так

как печатная плата состоит из различных материалов, невозможно указать конкретное значение ее теплопроводности.

Для описания качества теплопроводности часто используется значение теплового сопротивления R_{th} (1). Это значение может быть определено на основе толщины слоя материала d , контактной площади A и теплопроводности λ :

$$R_{th} = d/(\lambda \times A). \quad (1)$$

Таким образом может быть рассчитано тепловое сопротивление каждого материала печатной платы. Общее сопротивление печатной платы IMS — это сумма отдельных сопротивлений:

$$R_{th} = R_{thCu} + R_{thPrepreg} + R_{thSubstrat} + \dots \quad (2)$$

Из этого следует, что чем тоньше слой материала и чем лучше теплопроводность, тем, соответственно, ниже тепловое сопротивление.

Отвод тепла с помощью металлического основания платы

В печатных платах этого типа вместо обычного базового материала используется металлическое основание или сердцевина из алюминия или меди. На это основание с помощью препрега закрепляется медная фольга. Металлическое основание является, таким образом, неотъемлемой частью печатной платы (рис. 1).

При этом возможны следующие варианты таких плат:

- односторонняя плата с глухими отверстиями;
- двусторонняя плата с глухими и сквозными отверстиями;
- многослойная плата;
- жестко-гибкая плата.

Таблица 1. Теплопроводность материалов печатных плат

| Материал — переносчик энергии | Теплопроводность, Вт/м·К |
|-------------------------------|--------------------------|
| FR4 | ~0,2 |
| Воздух | ~0,02 |
| Алюминий | ~220 |
| Медь | ~400 |
| Спец. препреги | ≥1 |

Таблица 2. Параметры для проектирования печатных плат с металлической сердцевиной

| | |
|---|--|
| Толщина металлической сердцевины | $d_{Kern} = 0,5-2 \text{ мм}$ |
| Толщина медной фольги | $d_{Cu} = 35-105 \text{ мкм}$ |
| Толщина препрега | $d_{Isolation} \sim 0,06-0,15 \text{ мм}^*$ |
| Минимальный диаметр металлизированного отверстия печатной платы | $d_{dk} \geq 0,3 \text{ мм}^{**}$ |
| Минимальный диаметр неметаллизированного отверстия печатной платы | $d_{ndk} \geq 1 \text{ мм}^{**}$ |
| Минимальный диаметр отверстия в металлическом основании | $d_{min} \geq 1 \text{ мм}^{**}$ |
| Расстояние между двумя металлизированными отверстиями | $a \geq 1,2 \text{ мм}^{**}$ |
| Минимальная фреза | $d_f \geq 1,6 \text{ мм}^{**}$ |
| Цвет паяльной маски | Зеленый, белый, черный |
| Финишные покрытия | HAL, HAL бессвинцовый, OSP, химический Ni/Au, химическое Sn*** |

Примечания. * Толщина препрега зависит от размера отверстий (в двусторонних печатных платах IMS), которые должны быть заполнены. ** Зависит от толщины металлического основания. *** Покрытие «химическое олово» принципиально не рекомендуется.

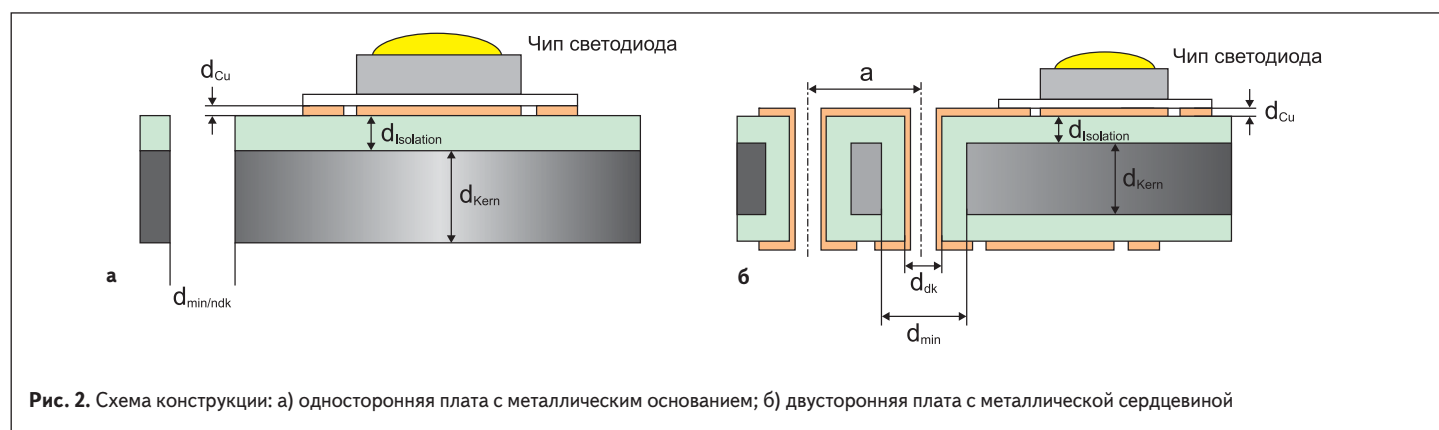


Рис. 2. Схема конструкции: а) односторонняя плата с металлическим основанием; б) двусторонняя плата с металлической сердцевиной



Рис. 3. Односторонняя плата с металлическим основанием: а) жесткая печатная плата (топология CREE); б) специализированное применение; в) конечный продукт

Общие правила проектирования приведены в таблице 2 и на рис. 2.

Примеры печатных плат с металлическим основанием различных конструкций

Надежность сквозного соединения может быть дополнительно повышена за счет его заполнения после сверления специальной пастой, а не избытком смолы препрега (рис. 3, 4).

Отвод тепла через металлическую подложку

При отводе тепла через металлическую подложку печатные платы изготавливаются как обычно, после чего они крепятся к подложке с помощью препрегов. Металлическая

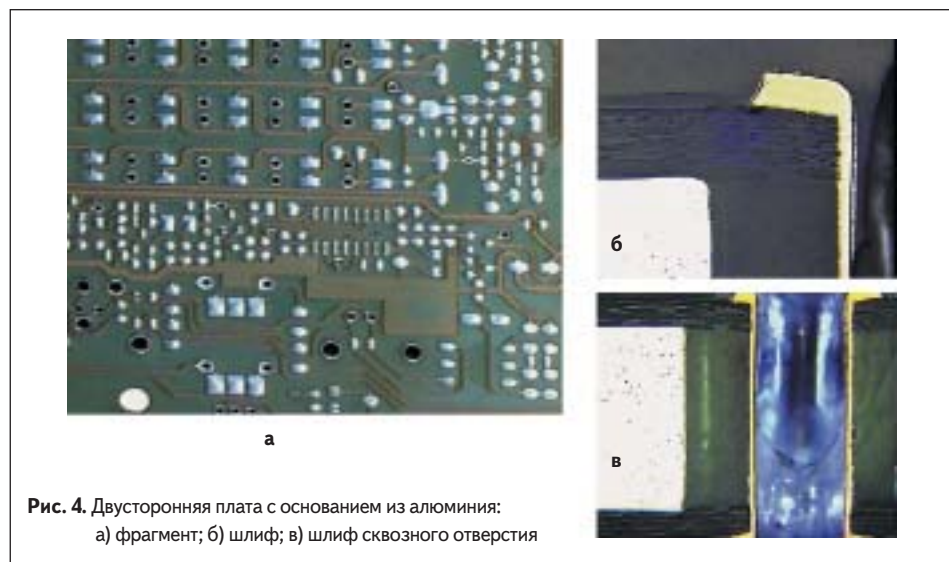


Рис. 4. Двусторонняя плата с основанием из алюминия: а) фрагмент; б) шлиф; в) шлиф сквозного отверстия

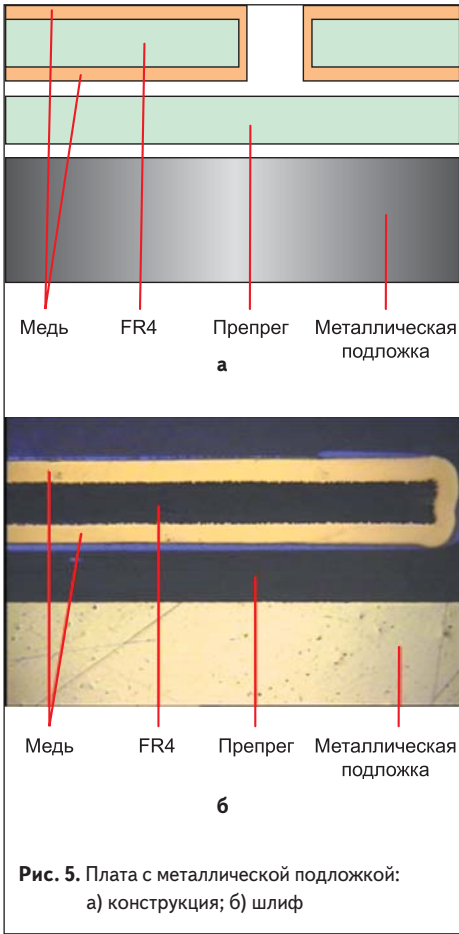


Рис. 5. Плата с металлической подложкой: а) конструкция; б) шлиф

подложка является, таким образом, неотъемлемой частью печатной платы (рис. 5).

Правила проектирования приведены в таблице 3 и на рис. 6.

При этом возможны следующие варианты конструкций таких плат:

- односторонняя плата с глухими отверстиями (нецелесообразно);
- двусторонняя плата с глухими и сквозными отверстиями;
- многослойная плата;
- жестко-гибкая плата;
- различные контуры печатных плат/подложек (рис. 7).

Для улучшения теплоотвода вместо FR4 может быть использован другой базовый материал с более высокой теплопроводностью. При использовании различных контуров печатной платы и металлической подложки последняя должна превышать размеры печатной платы как минимум с двух сторон для осуществления точного монтажа платы (рис. 8).

Области применения печатных плат IMS:

- Высокомощные светодиоды.
- Силовая электроника.
- Распределительные устройства.

Заключение

Представим некоторые важные рекомендации для оценки стоимости плат, изготовленных по технологии IMS, и по материалам, а также покажем преимущества и недостатки этой технологии.

Таблица 3. Параметры для проектирования печатных плат с металлической подложкой

| | |
|--|---|
| Толщина металлической подложки | $d_{Träger} = 0,5-2$ мм |
| Толщина медной фольги | $d_{Cu} = 35-105$ мкм |
| Толщина препрега | $d_{Isolation} \sim 0,06-0,15$ мм |
| Толщина печатной платы | d_{FR4} как можно тоньше (0,1–0,3 мм) |
| Минимальный диаметр отверстия в металлической подложке | $d_{min} \geq 1$ мм* |
| Минимальная фреза | $d_f \geq 1,6$ мм* |
| Цвет паяльной маски | Без ограничения |
| Финишные покрытия | Без ограничения |

Примечание. * В зависимости от толщины металлической подложки.

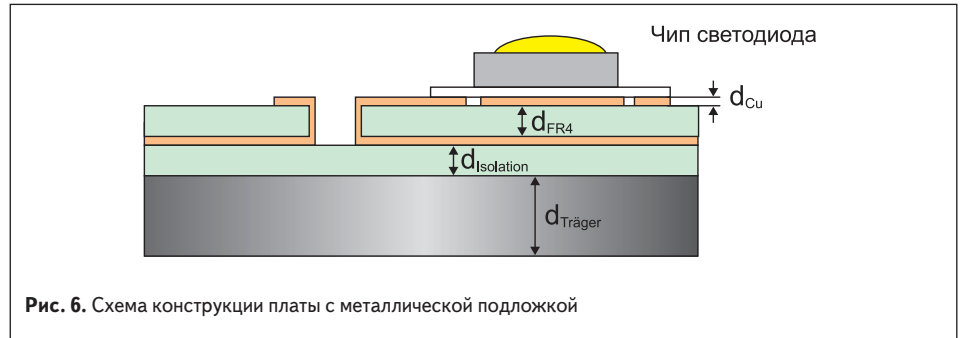


Рис. 6. Схема конструкции платы с металлической подложкой

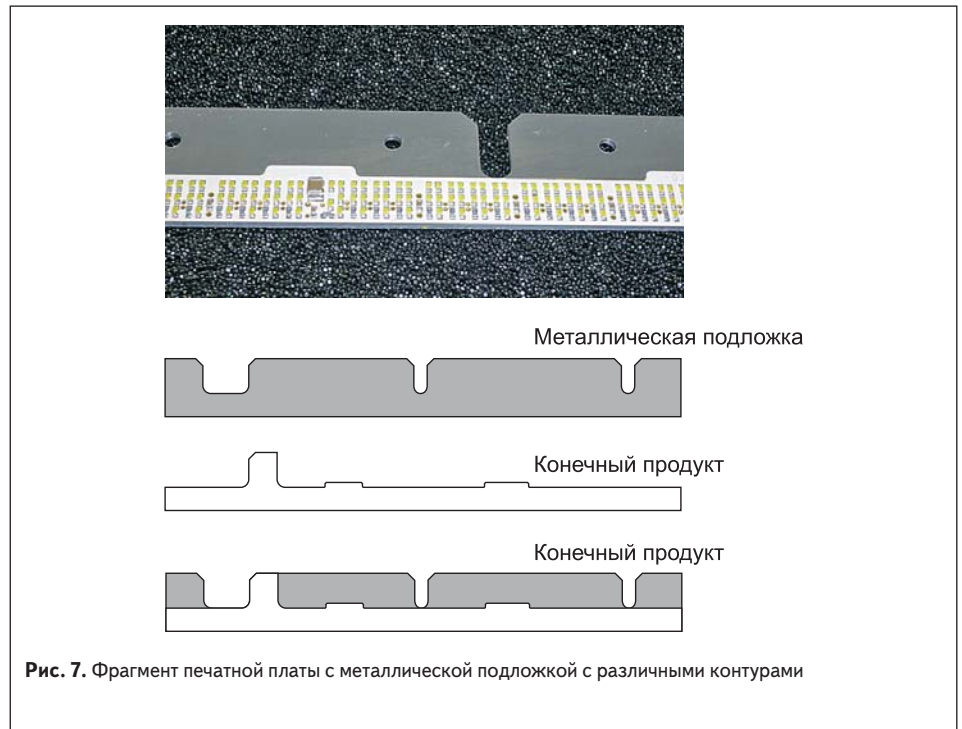


Рис. 7. Фрагмент печатной платы с металлической подложкой с различными контурами

Факторы, определяющие увеличение издержек:

- Толщина металлического основания или подложки (стоимость сырьевого материала).
- Толщина медной фольги (стоимость сырьевого материала).
- Количество высверленных отверстий (износ инструмента).
- Количество фрезированных структур (износ инструмента).

Используемые материалы:

- Печатные платы с металлической сердцевиной или основанием и препрегами FR4.
- Печатные платы с металлической сердцевиной или основанием и препрегами ≥ 1 Вт/м·К.

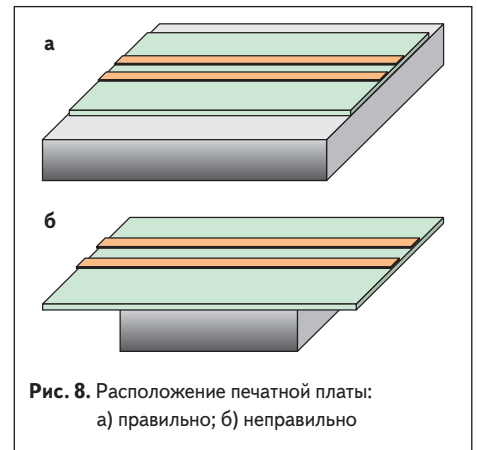


Рис. 8. Расположение печатной платы: а) правильно; б) неправильно

- Печатные платы с Berquist Thermal Clad (только односторонние печатные платы).
Преимущества печатных плат с металлическим основанием:
 - Сплошное соединение печатной платы и металлического субстрата.
 - Хороший теплоотвод.
 - Возможны контуры печатной платы и подложки, отличающиеся друг от друга.
 - Высокая механическая стабильность.
 - Нет необходимости в дополнительном отводе тепла.
- Недостатки печатных плат с металлическим основанием:
- Ограниченная степень интеграции.
 - На печатных платах с металлической подложкой возможен только односторонний монтаж поверхностных компонентов.
 - Высокая стоимость.
 - Большой вес.
 - Необходимы специальные знания для процесса изготовления (температурные режимы / предварительный нагрев).

Общие рекомендации

Рекомендации по теплопроводности и тепловому сопротивлению

Чем меньше эпоксидной смолы, тем лучше тепловое сопротивление. Для уменьшения сопротивления и улучшения теплопроводности используются смолы со специальными наполнителями. Однако это идет в ущерб адгезии: чем меньше эпоксидной смолы, тем хуже сцепление. Особенно важно учитывать это в процессах бессвинцовой пайки. В этом случае необходим разумный компромисс.

Рекомендации по толщине медной фольги

В печатных платах с металлической сердцевиной следует использовать медную фольгу не тоньше 70 мкм. Таким образом улучшается горизонтальный транспорт тепла, что приводит к лучшему охлаждению электронного компонента через печатную плату. ●

Примечание. Оригинал статьи опубликован в журнале PLUS (Produktion von Leiterplatten und Systemen. 2010. № 9. Германия).