

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.

Мартин Закс (Martin Sachs)

martin.sachs@db-electronic.de

Перевод: Андрей Новиков

andrej.novikov@uni-rostock.de

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;
 - 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

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

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 теплоизоляторами. 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 крепится 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.

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

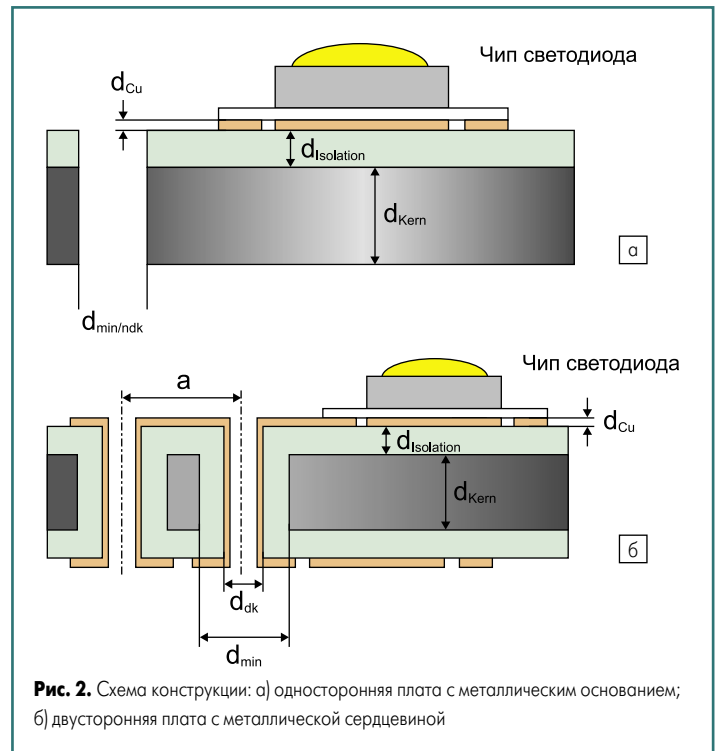
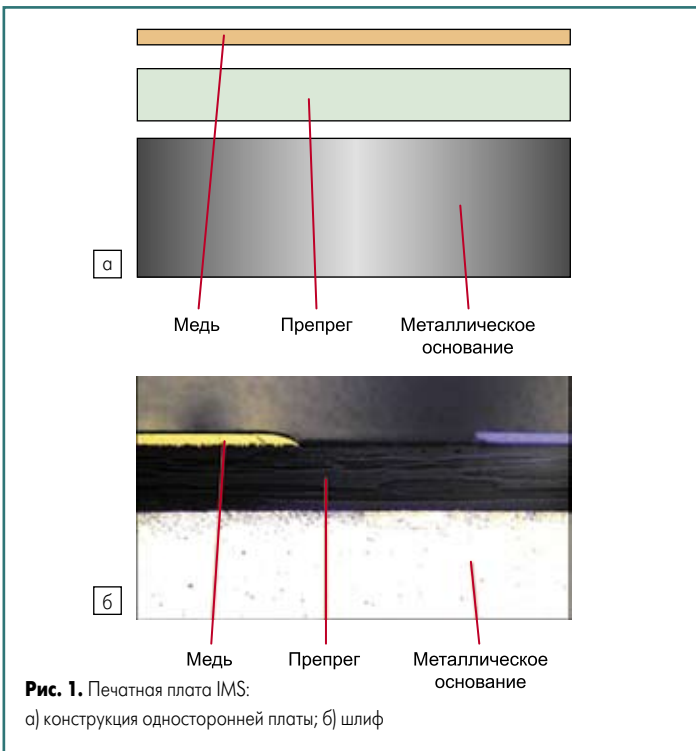


Таблица 2. Параметры для проектирования печатных плат с металлической сердцевиной

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.

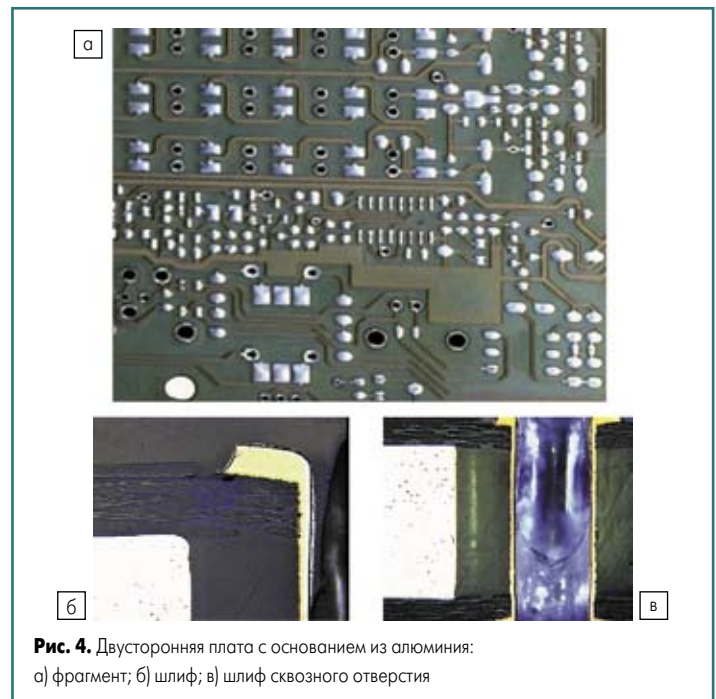
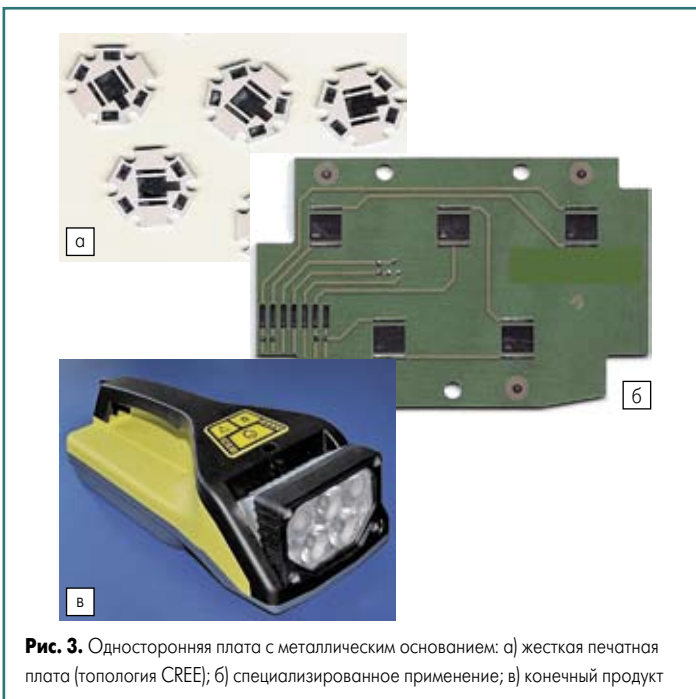
*** Покрытие «химическое олово» принципиально не рекомендуется.

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



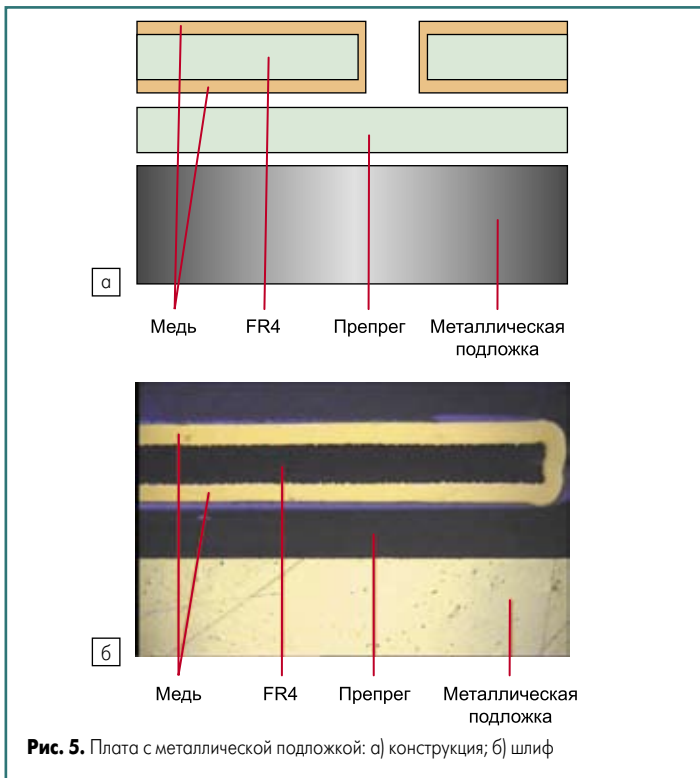


Рис. 5. Плата с металлической подложкой: а) конструкция; б) шлиф

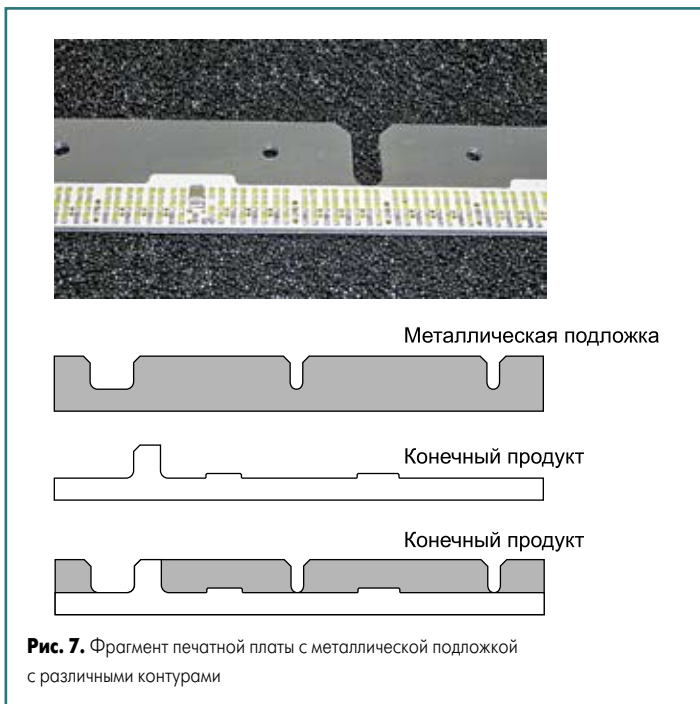


Рис. 7. Фрагмент печатной платы с металлической подложкой с различными контурами

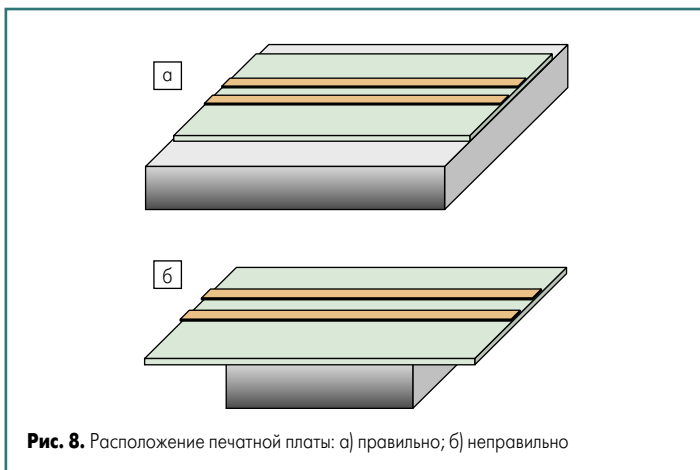


Рис. 8. Расположение печатной платы: а) правильно; б) неправильно

Таблица 3. Параметры для проектирования печатных плат с металлической подложкой

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

Примечание. * В зависимости от толщины металлической подложки.

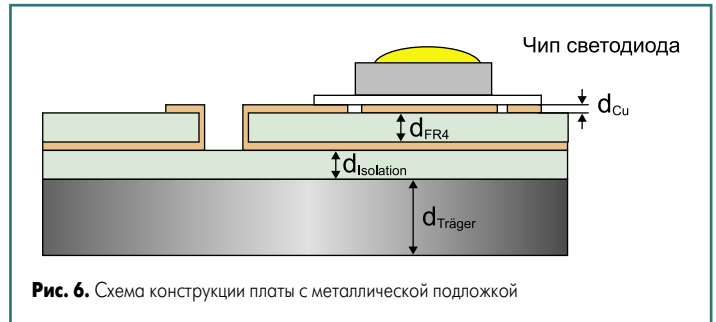


Рис. 6. Схема конструкции платы с металлической подложкой

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.

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 $\geq 1 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$.
- 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 ис-

пользуются 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).