

# Преимущества печатных плат на металлической основе

Печатные платы на металлической основе обычно применяются для изделий, в которых необходимо рассеивать большую тепловую мощность во избежание повреждения компонентов. Платы этого типа обладают хорошей теплопроводностью и стабильностью размеров, а также могут иметь меньший вес, если в качестве металла для внутреннего слоя выбран алюминий.

Наиболее широко платы на металлической основе используются с мощными SMD-светодиодами, для работы которых требуются эффективные и надежные способы рассеивания тепла. Неверно выбранный метод теплоотвода может повлечь сбои в работе устройства, ведь неправильное рассеивание тепла препятствует корректному функционированию электронного изделия под нагрузкой высокой мощности.

Рахул Шашикантх  
(Rahul Shashikanth)

Перевод: Сергей Шихов

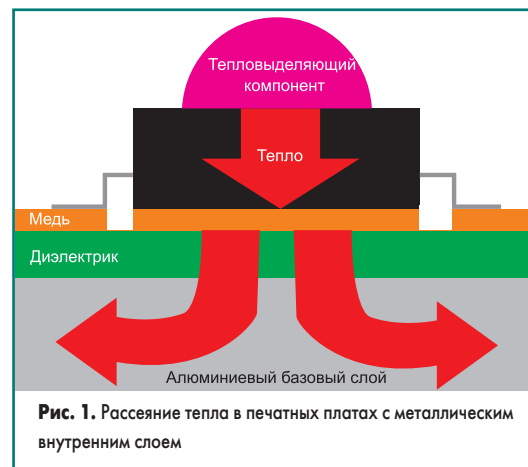
sergey@aconit.ru

## ЧТО ТАКОЕ ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

В печатных платах на металлической основе (Metal Core Printed Circuit Board, MCPCB) в качестве основы используется не традиционная подложка FR4, а металлические материалы. Цель такой архитектуры — отвести тепло, вырабатываемое некоторыми компонентами в процессе функционирования платы, от критических участков платы к менее важным областям, например, к металлической подложке радиатора или металлическому сердечнику. Таким образом, платы данного типа дают возможность управлять температурным режимом.

В многослойных MCPCB слои равномерно распределяются с обеих сторон металлического сердечника. Так, в 12-слойной плате металлическое ядро находится в центре, а сверху и снизу от него располагаются по шесть слоев неметаллического материала.

Платы типа MCPCB также называют изолированными металлическими подложками (IMS) или изолированными металлическими печатными платами (IMPCB). Во избежание двусмысленности в статье использована аббревиатура MCPCB.



В основном платы MCPCB состоят из изолирующих слоев с высокой теплопроводностью, металлических слоев и медной фольги (рис. 1).

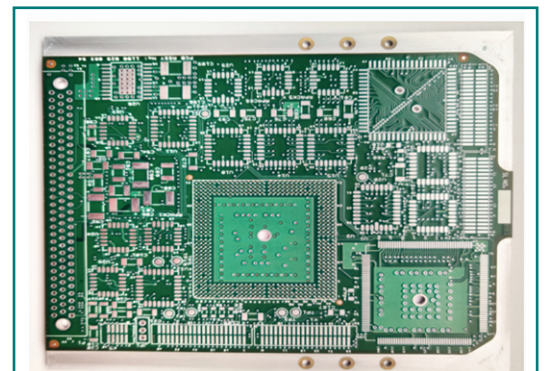
Базовая структура MCPCB содержит следующие элементы:

- паяльная маска;
- слой, содержащий проводящий рисунок;
- медный слой толщиной от 35 до 200 мкм (чаще всего от 35–70 мкм);
- диэлектрический слой;
- внутренний металлический слой — радиатор или теплоотвод.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

Платы MCPCB наиболее широко используются в устройствах LED — светодиодной подсветки как точечной, так и предназначенной для общего освещения. Также к сферам применения печатных плат на металлической основе можно отнести:

- автомобильную промышленность — управление двигателем для электрических или гибридных автомобилей;



**Рис. 2.** Пример печатной платы с металлическим внутренним слоем

- приводы для двигателей;
- твердотельные реле;
- устройства электропитания — стабилизаторы напряжения, импульсные стабилизаторы, DC-DC преобразователи;
- солнечные панели, фотоэлектрические элементы;
- различные системы управления движением.

### ТИПЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В МСРСВ

#### Алюминий

Алюминиевые печатные платы обеспечивают хорошие теплопередачу и рассеивание тепла. Поскольку они обладают относительно малым весом, то могут применяться в светодиодном освещении, устройствах для измерения звуковой частоты, коммуникационном электронном оборудовании.

Толщина внутреннего слоя печатных плат этого вида, как правило, варьируется в пределах 40–120 мил, причем наиболее часто используется толщина 40–60 мил.

Характеристики МСРСВ с алюминиевой подложкой:

- толщина алюминия: 2–8 мм.
- теплопроводность: 5–2,0 Вт/(м·К)
- прочность на отрыв: менее 9 фунт/дюйм;
- стойкость при пайке: SF: 288 °С, >180 с;
- напряжение пробоя: менее 3000 В;
- угол диэлектрических потерь: 0,03;
- воспламеняемость: UL 94V-0;
- размер заготовки: 18×24 дюйма.

В состав алюминиевой печатной платы входят стандартный диэлектрический материал и алюминиевый внутренний слой (рис. 1). Платы имеют теплопроводность 1–9 Вт/м·К и выдерживают температуру до +400 °С.

#### Типы алюминиевых печатных плат

##### Однослойные алюминиевые печатные платы

Это простейшая конструкция с одним слоем меди над диэлектрическим слоем. На плату такого типа можно монтировать только SMD-компоненты.

##### Двухслойная алюминиевая печатная плата с одной стороной для монтажа

Состоит из двух слоев меди и препрега, имеет одну сторону для установки компонентов (сверху).

##### Двухслойная алюминиевая печатная плата с двумя сторонами для монтажа

Структура очень похожа на двухслойную двустороннюю стандартную плату. Единственное отличие заключается в том, что между металлизированным отверстием и алюминиевым основанием необходима заливка смолой.

##### Четырехслойная алюминиевая печатная плата

Четырехслойная алюминиевая печатная плата имеет два медных слоя и два слоя препрега, которые располагаются по обе стороны от

Таблица 1. Сравнительные характеристики металлов для ПП

Металлический материал слоя печатной платы	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Коэффициент температурного расширения, мкм/м·°С	Особенности
Алюминий 5052 H32	138	25	Сплав Al-Mg-Cr Подходит для гибких плат, механической формовки Низкая цена
Алюминий 6061 T6	167	25	Сплав Al-Mg-Si-Cu Подходит для обработки на станках с ЧПУ и V-образной резки Средняя цена
Медь C110	386	17	Чистая медь Низкий КТР, высокая теплопроводность Дороже, чем алюминий

медных слоев. Теплопроводность такой платы косвенно пропорциональна количеству медных слоев в сборке.

#### Медь

Платы на медной основе имеют лучшие характеристики, чем алюминиевые. Однако есть ряд факторов, которые делают медь менее популярной, чем алюминий:

- медь дороже алюминия, а значит, медные печатные платы имеют большую себестоимость;
- медный слой тяжелее алюминиевого и требует более жесткой обработки;
- медь больше подвержена коррозии, чем алюминий.

#### Сравнительная характеристика меди и алюминия в качестве материала для печатной платы

Теплопроводность диэлектрического материала печатной платы на металлической основе измеряется в Вт/(м·К) (табл. 1).

#### Преимущества плат МСРСВ

В платах описываемого типа используется слой диэлектрического полимера с высокой теплопроводностью для более низкого теплового сопротивления.

- Чем выше проводимость материала, тем быстрее происходит теплообмен.
- Металлические платы можно подвергать травлению, формируя необходимую конфигурацию теплоотвода.
- Подложки из алюминия, как правило, легче, чем керамические.
- Металлические подложки долговечны и обладают большей проводимостью, чем изделия из эпоксидных смол.
- Металлы нетоксичны и подлежат вторичной переработке.



- Могут эксплуатироваться в условиях высокой вибрации. Риск отрыва компонентов меньше, поскольку металлический внутренний слой снижает вибрацию.

#### КОНСТРУКЦИЯ ПЛАТ МСРСВ

В типичных односторонних платах МСРСВ для монтажа светодиодов слой топологии из медной фольги соединяется со слоем теплопроводного диэлектрического материала. Этот диэлектрический слой дополнительно связан с более толстым слоем металла, которым может быть алюминий 5052 (5052H32), 6061 (6061T6) или медь C1100 (рис. 4).

#### Толщина диэлектрического слоя и металлического сердечника

Внутренний слой в платах МСРСВ состоит из металлической пластины, рассеивающей тепло. Толщина пластины находится в диапазоне 30–125 мкм. Толщина медной фольги составляет 35–350 мкм.

Металлический внутренний или внешний слой имеет самую большую толщину

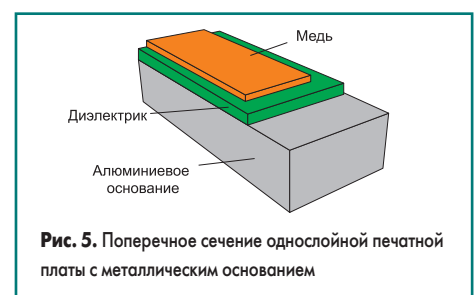
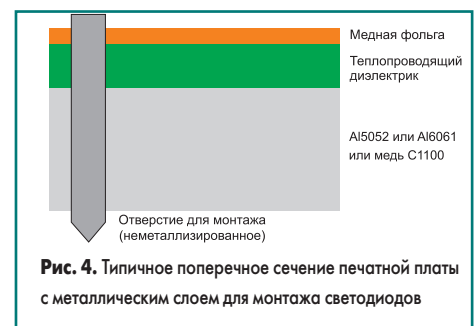


Таблица 2. Толщины слоев ПП

Медь	35 мкм
Толщина диэлектрика	100 мкм
Теплопроводность диэлектрика	1 to 3 Вт/м·К
Толщина алюминиевого слоя	1,5 мм

в плате. Наиболее часто используемые толщины составляют 1, 1,5 и 3,2 мм. Металлический слой обеспечивает жесткость, сохраняет плоскостность схемы и дает достаточную толщину, чтобы плата могла использоваться для монтажа компонентов с помощью стандартного SMT-оборудования. Открытая металлическая сторона платы обычно не имеет финишного покрытия или паяльной маски.

### Теплопроводящий препрег

Препрег электрически изолирует слой медной топологии от слоя металла и способствует передаче тепла между двумя слоями. Препрег эффективно отводит тепло, выделяемое компонентами, к основному металлическому слою. Чем выше теплопроводность слоя препрега, тем лучше теплопередача. Кроме того, чем ниже тепловое сопротивление, тем лучше передача тепла. Толщина диэлектрика обычно составляет 2–6 мил и также играет роль в теплопередаче.

### Металлизированные отверстия в платах MCPCB

Основной фактор, который следует учитывать в процессе проектирования плат на металлической основе, — сведение к минимуму количества компонентов, для которых потребуются металлизированные сквозные отверстия. Рекомендуется использовать SMD-компоненты.

Поскольку нижний слой MCPCB выполнен из металла, наличие металлизированных или неметаллизированных отверстий с выводами проводящих компонентов может стать причиной короткого замыкания. Если в конструкции платы необходимо использовать металлизированные отверстия, следует выполнить изоляцию металла отверстия. Для этого в металлическом внутреннем слое просверливается отверстие примерно на 40–50 мил больше, чем диаметр нужного металлизированного отверстия, затем оба отверстия заполняются непроводящим эпоксидным наполнителем, после чего подвергаются прессованию и удалению остатков присадочных составов с поверхности платы. Следующим этапом является прессование плат и сверление отверстия в металлическом покрытии. Оставшаяся часть производственного процесса выполняется в соответствии с обычной технологией.

В отличие от стандартных печатных плат для монтажа светодиодов, которым для отвода тепла требуются переходные отверстия под компонентами, в платах MCPCB отпадает необходимость в такого рода переходах, поскольку металлический слой сам обеспечивает отвод тепла. Это облегчает работу производителей, так как процесс сверления сводится к минимуму.

При изготовлении однослойных MCPCB после сверления допускается не выполнять химическое нанесение покрытия, а перейти непосредственно к разводке схемы. Далее производство идет по тому же алгоритму, что и при изготовлении стандартных плат с подложкой из FR4.

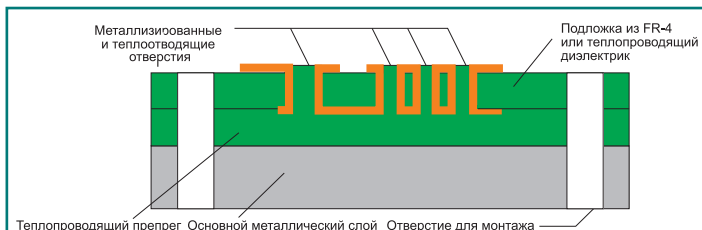


Рис. 6. Теплопроводящий препрег в MCPCB

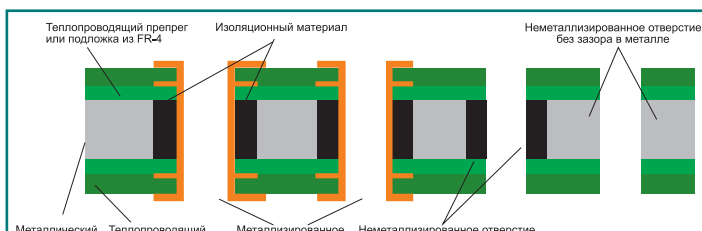


Рис. 7. Многослойная плата с металлическим внутренним слоем

## СТРУКТУРА СЛОЕВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

Структура MCPCB симметрична, то есть слои располагаются по обе стороны от металлического слоя многослойной платы. Заметьте, что количество слоев сверху должно быть равно количеству слоев снизу от металлического слоя. Как и в случае с любыми другими стандартными печатными платами, сохранение симметрии для медного слоя также предпочтительно, так как это позволяет избежать проблем с короблением плат.

## СРАВНЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ И ПЛАТ НА ОСНОВЕ FR4

Платы с металлическим внутренним слоем способны передавать тепло в 8–9 раз быстрее, чем печатные платы с подложкой из FR4, благодаря охлаждению тепловыделяющих компонентов за счет более быстрого рассеивания тепла. Диэлектрический материал в MCPCB делается настолько тонким, насколько это возможно, чтобы обеспечить кратчайший путь от источника тепла к металлическому слою, а значит более быстрый отвод тепла. Толщина диэлектрического материала обычно находится в диапазоне 0,003–0,006 дюйма.

## РАДИАТОР И ТЕПЛОТВОД — АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СПОСОБЫ РАССЕИВАНИЯ ТЕПЛА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Поскольку в статье много говорится о рассеивании тепла печатных плат, следует также упомянуть о радиаторах и теплоотводах. Основная идея их использования заключается в отводе тепла от тепловыделяющих компонентов, например, процессоров, в окружающую воздушную среду.

### Радиаторы

Радиаторы максимально увеличивают площадь поверхности и воздушный поток для рассеивания тепла. Площадь увеличивается за счет

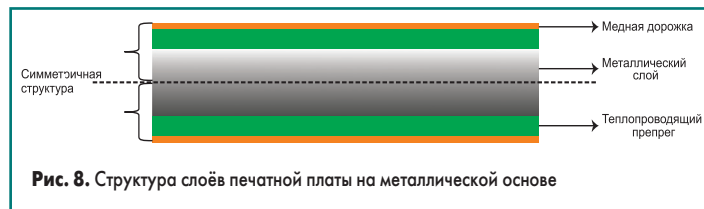


Рис. 8. Структура слоёв печатной платы на металлической основе

Таблица 3. Сравнение MCPCB и ПП с подложкой FR4

Параметр	Платы MCPCB	Стандартные платы с подложкой из FR4
Проводимость	Более высокая теплопроводность, типичные значения 1–7 Вт/м·К.	Низкая теплопроводность, типовые значения 0,3–0,4 Вт/м·К.
Толщина	Значение возможной толщины платы ограничено и зависит от толщины базовой металлической пластины и толщины диэлектрика.	Доступен широкий диапазон толщин.
Теплоотводящие отверстия	Металлические внутренние слои быстро рассеивают тепло. Нет необходимости в сквозных отверстиях для теплопередачи.	Скорость теплопередачи ниже. Необходимы отверстия для теплопередачи.
Металлизированные монтажные отверстия	Использование металлизированных отверстий не допускается для однослойных печатных плат. Компоненты монтируются на поверхность платы.	Возможно использование металлизированных отверстий.
Процесс обработки	Для выполнения V-образной надрезки требуется применение пил с алмазным покрытием для резки металла. В остальном нет отличий от стандартного процесса.	Стандартный процесс обработки, включающий сверление, фрезеровку, V-образные канавки, зенковку, цековку.
Паяльная маска	Белый цвет для светодиодных плат. Наносится только на верхний слой платы.	Возможны темные цвета, такие как зеленый, красный, синий и черный.
Жесткость	Способность выдерживать удары и вибрацию. В 2–4 раза жестче, чем конструкции из FR4 или полиимида.	Меньшая жесткость по сравнению с MCPCB.
Экономия	Дороже, чем платы из FR4.	Менее дорогие, чем MCPCB.

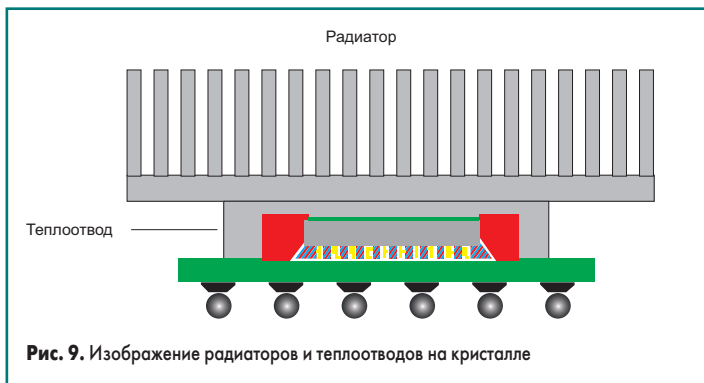


Рис. 9. Изображение радиаторов и теплопроводов на кристалле



Рис. 10. На печатной плате слева: радиатор; справа: теплопровод.  
Изображение предоставлено: [www.adl-usa.com](http://www.adl-usa.com)

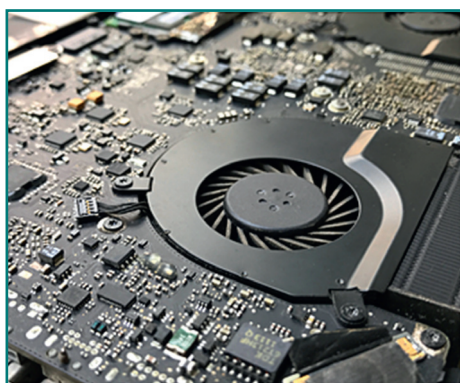


Рис. 11. Радиатор в печатной плате



Рис. 12. Радиатор с ребрами

установки на поверхность штифтов или ребер, а поток воздуха осуществляется с помощью встроенных охлаждающих вентиляторов. В некоторых случаях радиаторы рассеивают тепло быстрее, чем теплопроводы.

Существует два типа радиаторов:

- пассивные, не имеющие движущихся частей;
- активные, обеспечивающие охлаждение посредством пропускания через систему воздуха или жидкости и применяющиеся в ситуациях, когда объем тепла слишком велик.

Радиаторы обычно используются в процессорах, графических процессорах, силовых транзисторах и коммутационных устройствах.

### Теплопроводы

В отличие от радиаторов теплопроводы имеют сверху плоскую поверхность, что позволяет устанавливать их непосредственно на другую большую плоскую поверхность, где они передают тепло в более прохладную зону для последующего безопасного рассеивания.

Теплопроводы оптимальны для систем, работающих в условиях сильных ударов и вибрации, а также для герметичных и изолированных от окружающей среды устройств.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Управление температурным режимом имеет ключевое значение для обеспечения надёжности печатных плат высокой мощности и с высокой плотностью установки компонентов. Применение современных технологий изготовления плат на металлической основе, а также использование радиаторов и теплопроводов уменьшает риск перегрева, создавая оптимальный температурный режим для долгосрочной бесперебойной работы электронной сборки даже в условиях высокого напряжения, вибрационных нагрузок и повышенных температур.

*Комментирует Сергей ШИХОВ, директор по управлению проектами, «А-КОНТРАКТ»:*

Композитные структуры, объединяющие печатную плату и «массивную» металлическую пластину, известны достаточно давно. Благодаря развитию светодиодного освещения наиболее широкое распространение получили простейшие однослойные варианты, но и платы с более сложной архитектурой также востребованы и находят свое применение в различных сферах промышленности.

При условии соблюдения правил проектирования, таких как, например, симметричность структуры для многослойных печатных плат, МСПСВ дает возможность эффективно контролировать температурный режим электронного устройства, повышая его надёжность и обеспечивая работоспособность в течение всего срока службы.

