

## ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ОСНОВАНИЕМ: СВОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИИ

**Т**еплоотводящие печатные платы с металлическим основанием уже достаточно давно из экзотического продукта превратились в массовое, промышленное решение. Ониочно заняли свою нишу, которая в последние годы стремительно расширяется, в частности, в связи с развитием светодиодной осветительной техники. Многие компании разрабатывают и производят материалы для таких плат. В многообразии продукции основных поставщиков таких материалов поможет ориентироваться предлагаемая статья.

С ростом степени интеграции элементной базы и плотности размещения компонентов на печатных платах (ПП) все большее значение приобретает учет тепловых процессов. Проблему теплоотвода решают различными методами. Один из основных – применение плат с теплопроводящей основой.

Для эффективного отвода тепла основа платы должна обладать низким термическим сопротивлением. Оно определяется как  $R=d/(\sigma \cdot S)$ , где  $\sigma$  – удельная теплопроводность материала,  $d$  – его толщина (длина теплопроводящего участка),  $S$  – площадь сечения теплопроводящего участка.

Наиболее высокой теплопроводностью обладают металлы и подложки на основе керамических материалов (табл.1). Но последние, в силу известных причин (стоимость, механическая прочность, невозможность получения плат большого размера, сложность обработки и т.п.), используются только для специальных задач. Поэтому вот уже много лет во всем мире расширяется применение печатных плат с металлическим основанием. Такие платы уже достаточно широко используются в светодиодных устройствах, в различных преобразователях тока, приводах электродвигателей, блоках питания, в сварочной технике и т.п. В зарубежной литературе для теплопроводящих плат с металлическим основанием используется несколько терми-

нов: IMST (Insulated Metal Substrate Technology), MCS (Metal Core Substrate), Hitt Plate и IMS (Insulated Metal Substrate).

Конструктивно материал для ПП с металлическим основанием состоит из металлического основания, диэлектрика и фольги (рис.1). Толщина фольги колеблется от 35 до 350 мкм, диэлектрика – от 50 до 150 мкм, металлическое основание составляет от 0,5 до 3,2 мм. Наиболее употребительным, в частности – для светодиодной техники является металлическое основание толщиной 1–1,5 мм, диэлектрик толщиной 100 мкм, медная фольга толщиной 35 мкм.

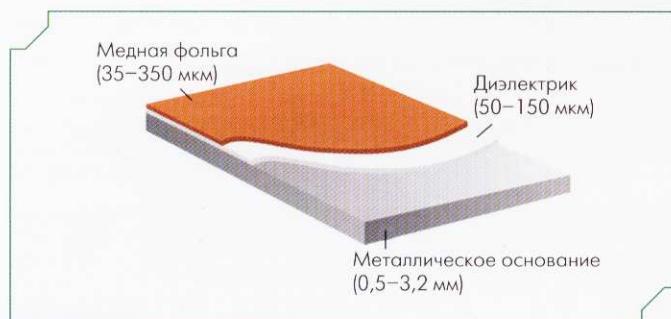
### МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ОСНОВАНИЕ

В качестве металлической основы используются различные сплавы алюминия, а также медь, железо и нержавеющая сталь. Рассмотрим каждый из этих материалов подробнее.

Среди сплавов алюминия (табл.2) наиболее употребимы материалы 1100 (по ГОСТ – АД), 5052 (AMg2,5) и 6061 (АД33). Сплав алюминий 1100 (АД) очень близок по составу к чистому алюминию. Из-за этого он обладает очень хорошей теплопроводностью (220 Вт/(м·К)) и пластичностью. Вместе с тем, он обладает такими очень серьезными недостатками, как невысокая механическая прочность и высокая вязкость. Последний недо-

**Таблица 1.** Теплопроводность различных материалов, Вт/(м·К)

Алмаз	1001–2600
Серебро	430
Медь	382–401
Золото	320
BeO	220–240
AlN	200–240
Алюминий	202–236
Кремний	150
Латунь	97–111
Железо	92
Платина	70
Олово	67
Сталь	47
Кварц	8
Стекло	1

**Рис. 1** Конструкция материала ПП с металлическим основанием**Таблица 2.** Тепловые свойства сплавов алюминия

Сплав	Коэффициент теплового расширения (20–100°C), 10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>	Теплоемкость (0–100°C), Дж/(кг·К)	Теплопроводность (20°C), Вт/(м·К)
1100	23,6	904	222
5052	23,8	900	138
6061-T6	23,6	896	167

статок наиболее существенен, поскольку он затрудняет механическую обработку платы посредством фрезерования. Но для штамповки такой материал идеален.

Сплав алюминий 5052 (AMg2,5) наиболее употребителен из-за своей технологичности и дешевизны. Он обладает не самой высокой теплопроводностью 140 Вт/(м·К), но для большинства применений ее вполне достаточно.

Сплав алюминий 6061 (АД33) отличается повышенной коррозионной стойкостью и достаточно высокой теплопроводностью – порядка 170 Вт/(м·К). Материал хорошо обрабатывается фрезерованием. Основной его недостаток – высокая цена.

Помимо алюминиевых материалов в теплопроводящей ПП достаточно распространены медные основания. Медь об-

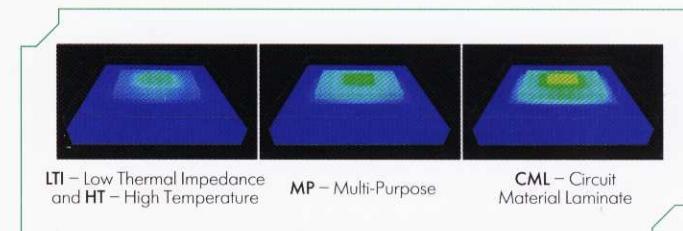
ладает рядом выраженных недостатков. Этот материал вязок, а потому плохо обрабатывается фрезерованием. Он отличается низкой коррозионной стойкостью и очень высокой ценой. Но эти недостатки компенсирует высочайшая теплопроводность меди – 390 Вт/(м·К), что в ряде применений является решающим преимуществом.

В качестве оснований теплопроводящих ПП используют и нержавеющую сталь. Ее явные достоинства – высокие коррозионная стойкость и механическая прочность, существенно превосходящие алюминиевые и медные материалы. Но у стали низкая теплопроводность и относительно высокая цена. Кроме того, фрезерное оборудование, используемое для производства ПП, плохо приспособлено для обработки стали.

## ДИЭЛЕКТРИКИ

Самый важный элемент ПП, наиболее серьезно влияющий на их свойства и стоимость, – это диэлектрики. В качестве диэлектрика используются препреги FR4 (стеклоткань с эпоксидным связующим), препреги на основе стеклоткани и эпоксидной смолы с различными теплопроводящими наполнителями, теплопроводящие композитные материалы, а также полиимид. Наиболее часто в теплоотводящих ПП используются композитные материалы.

Законодателем мод в области теплопроводящих материалов для электронной техники выступает компания Bergquist (США). Она одной из первых освоила серийное производство материалов для ПП с алюминиевым и медным основанием (ThermalClad). Кроме нее, сегодня на рынке наиболее активны компании Laird (торговая марка – Thermagon) (США), Totking (Китай), Ruihai (Китай), Denka (Япония) и др. На российском рынке в основном представлены материалы компаний Totking и Ruihai.

**Рис. 2** Линейка материалов компании Bergquist**Таблица 3.** Свойства материалов Bergquist различных типов

Тип материала	CML	MP	LTI	HT
Диэлектрическая постоянная			7	
Напряжение пробоя, кВ	10	8,5	6,5–11,0	6,0–11,0
Температура стеклования, °C	90	90	90	150
Теплопроводность, Вт/(м·К)	1,1	1,3	2,2	2,2
Горючесть*			94V-0	

\* Здесь и далее горючесть приведена по классификации Underwriters Laboratories

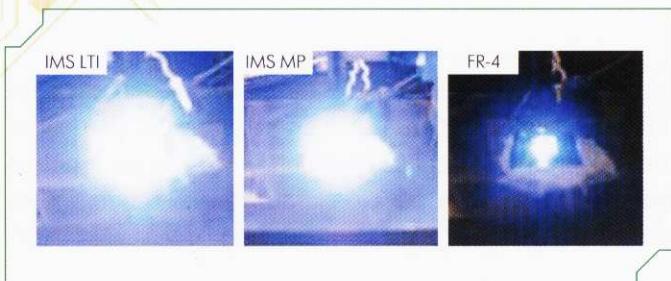


Рис.3 Термовая модель для различных типов диэлектрика компании Bergquist



Рис.4 Деградация светодиодов белого света в зависимости от типа диэлектрика

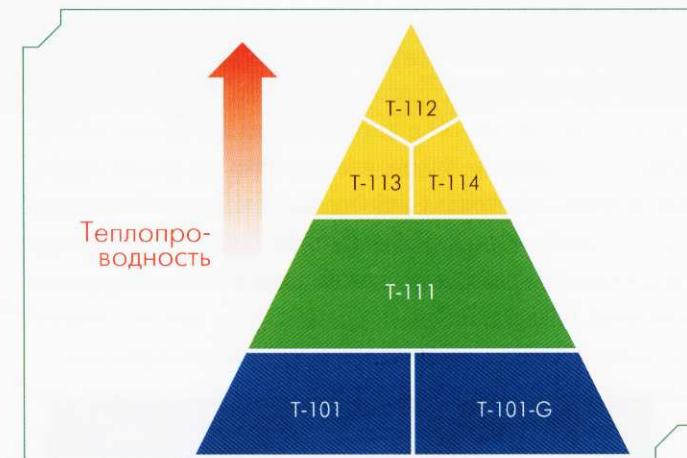


Рис.5 Линейка материалов компании Totking

Компания Bergquist выпускает целую продуктную линейку диэлектриков (рис.2, табл.3), предназначенных для различных типов применений, включая материал НТ для высокотемпературных применений. Различие их свойств демонстрирует тепловая модель устройства, смонтированного на ПП одинаковой конструкции, но с разным типом диэлектрика (рис.3) – FR4 в материале CML, в материалах MP, LTI и НТ – композитные материалы с теплопроводящими наполнителями.

Важность использования теплоотводящих ПП иллюстрирует эксперимент по деградации свойств светодиодов белого света, смонтированных на ПП с металлическим основанием, но с различным типом диэлектрика (рис.4). Видно, что из-за плохого

отвода тепла через диэлектрик типа FR4 светодиод сильно деградирует. Приемлемые результаты демонстрируют ПП с диэлектриком типа MP, а наилучшие – с диэлектриком LTI.

Китайские производители предпочитают следовать за лидером индустрии. Так, компания Totking, не изобретая велосипед, предлагает продуктную линейку, аналогичную линейке ком-



Рис.6 Маркировка материалов компании Totking

**Таблица 4.** Материалы компании Totking

Класс	Тип	Описание
Материалы на алюминиевой основе	T-101-G	Алюминий с медной фольгой, выгодная цена
	T-101	Импортные алюминий и фольга, более термостойкий
	T-111	Импортные алюминий и фольга, диэлектрик без стеклоткани, теплопроводность 1,8–3,0 Вт/(м·К)
	T-112	Импортные алюминий и фольга, диэлектрик без стеклоткани, теплопроводность 2,5–5,0 Вт/(м·К)
	T-113	Импортные алюминий и фольга, температура стеклования 180°C
	T-114	Импортные алюминий и фольга, диэлектрик без стеклоткани, выдерживает 300°C 10 мин, ε = 3,9
Специальные материалы	T-200	Ламинат с толстой фольгой (140–350 мкм), для высокомощных цепей
	T-300	Ламинат на основе железа, высокие магнитопроводность и прочность
	T-400	Ламинат на основе нержавеющей стали, высокая коррозионностойкость
	T-500	Ламинат на основе меди, высочайшая теплопроводность

**Таблица 5.** Свойства материалов компании Totking

Материал	T-101	T-111	T-112	T-114
Усилие отрыва, Н/мм	1,5	1,5	1,3	1,3
Термоудар	288°C, 90 с	288°C, 60 с	288°C, 60 с	288°C, 600 с
Напряжение пробоя, кВ/мм			30	
Температура стеклования, °C	150	130	130	200
Поверхностное сопротивление, МΩ	$10^7$	$10^6$	$10^6$	$10^8$
Объемное сопротивление, МΩ·см				10 <sup>8</sup>
Теплопроводность, Вт/(м·К)	1,5–2,0	1,8–3,0	2,5–5,0	1,5–2,0
Горючесть			94V-0	

**Таблица 6.** Свойства основных материалов компании Ruikai

Материал	LED-0602	IMS-H01	IMS-H02	IMS-03
Усилие отрыва, Н/мм	2,2	2,4	2,4	2,2
Термоудар	300°C, 5 мин			
Напряжение пробоя, кВ (AC)	4	8	5	4
Диэлектрическая постоянная	4,8	4,6	4,3	3,7
Тангенс угла потерь	0,016	0,015	0,018	0,032
Поверхностное сопротивление, МОм	$6,0 \cdot 10^7$	$6,2 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^7$	$10^6$
Объемное сопротивление, $\times 10^8$ МОм·см	1,6	1,7	1,4	1,0
Теплопроводность, Вт/(м·К)	1,1	1,13	1,3	0,75
Горючесть	94V-0			

пании Bergquist (рис.5). Однако эта линейка отличается рядом особенностей (рис.6, табл.4 и 5). Остановимся на ней подробнее. Мы пробовали работать с материалами различных китайских производителей и выбрали именно компанию Totking. Эта компания производит материалы с алюминиевым, медным и стальным основанием для различных задач. Кроме того, выпускаются и материалы с основанием из железа, предназначенные для задач, требующих высокой магнитопроводности. Отдельно выделены материалы с толстой фольгой.

Широко известна и продукция компании Ruikai, тесно сотрудничающей с фирмой Bergquist (табл.6).

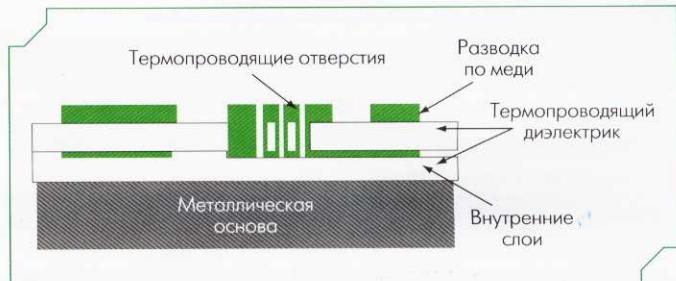


Рис.7 Конструкция многослойной ПП на металлическом основании

### МНОГОСЛОЙНЫЕ ПП

Помимо односторонних плат, на металлическом основании выпускаются двухсторонние и многослойные ПП. Конструкция таких плат (рис.7) состоит из металлической основы, на которую напрессовывается ПП, в качестве материала диэлектрических слоев в которой используется не FR4, а специализированные материалы с высокой теплопроводностью. Но поскольку теплопроводность полимерного диэлектрика существенно хуже, чем у меди или алюминия, в многослойных ПП для улучшения теплопроводности могут формироваться специальные теплопроводящие металлизированные отверстия, позволяющие увеличить площадь сечения теплоотвода (см. рис.7). А при проектировании слои с наибольшей площадью металлизации стремятся располагать как можно ближе к металлической основе.

**РЕЗОНИТ**  
Ваш производитель печатных плат

(495) 777-80-80  
(495) 730-50-00  
(812) 608-80-80  
(343) 216-56-62

СВЧ печатные платы

Гибкие печатные платы

Гибко-жесткие печатные платы

Платы с металлическим основанием

Срочные печатные платы

Мелкие и средние партии плат

Крупные серии печатных плат

Монтаж печатных плат

Контрактное производство