

ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ОСНОВАНИЕМ: СВОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИИ

Теплоотводящие печатные платы с металлическим основанием уже достаточно давно из экзотического продукта превратились в массовое, промышленное решение. Они прочно 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 σ – 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 (АМг2,5) 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
ВеО	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

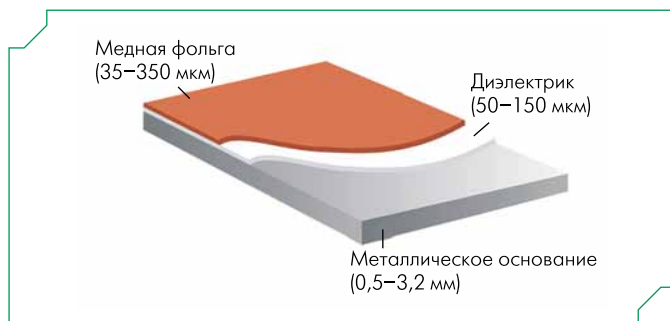


Рис. 1 Конструкция материала ПП с металлическим основанием

Таблица 2. Тепловые свойства сплавов алюминия

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

статок наиболее существен, 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), Ruikai (Китай), Denka (Япония) и др. На российском рынке в основном представлены материалы компаний Totking и Ruikai.

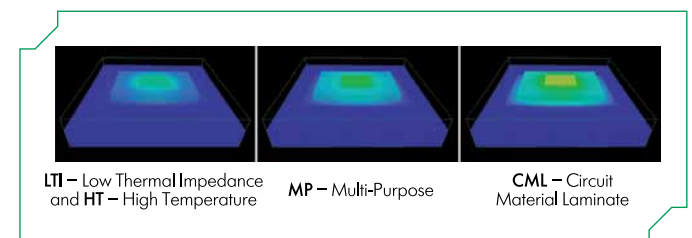


Рис. 2 Линейка материалов компании Bergquist

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, °С	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 Тепловая модель для различных типов диэлектрика компании Bergquist



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

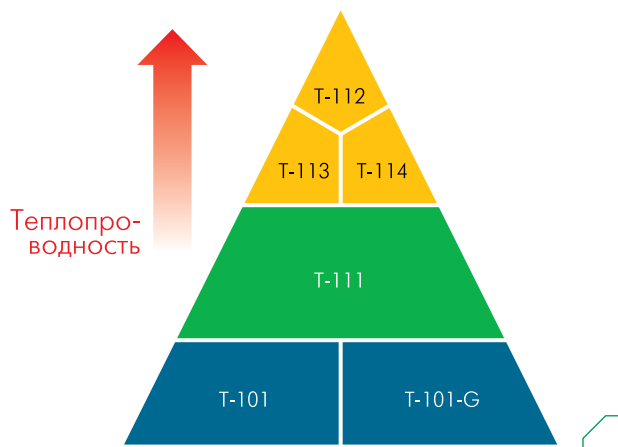


Рис.5 Линейка материалов компании Totking

Компания Bergquist выпускает целую продуктовую линейку диэлектриков (рис.2, табл.3), предназначенных для различных типов применений, включая материал HT 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 HT – 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 продуктовую линейку, аналогичную линейке ком-

T - X X X

- Тип:
 - 1 - Стандартная теплопроводность
 - 2 - Повышенная теплопроводность
 - 3 - Высокая температура стеклования (180°C)
 - 4 - Высокая термостабильность
- Усиление диэлектрика:
 - 0 - Стеклоткань
 - 1 - Нет
- Металл:
 - 1 - Алюминий
 - 2 - Толстая фольга (>140 мкм)
 - 3 - Железо
 - 4 - Нержавеющая сталь
 - 5 - Медь

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
Специальные материалы	T-114	Импортные алюминий и фольга, диэлектрик без стеклоткани, выдерживает 300°C 10 мин, ε = 3,9
	T-200	Ламинат с толстой фольгой (140–350 мкм), для высокомоощных 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, МОм	10 ⁷	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁸
Объёмное сопротивление, МОм·см	10 ⁸			
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 (АС)	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).

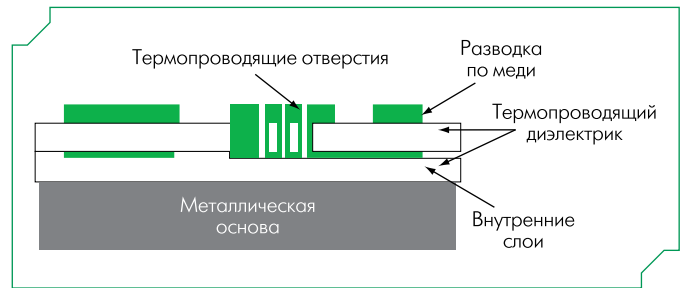


Рис.7 Конструкция многослойной ПП на металлическом основании

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 теплоотвода могут формироваться специальные термопроводящие 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.

Таблица 7. Свойства материалов компании Arlon

Материал	91ML	99 ML	92ML
Термоудар	300°C, 10 мин	Нет данных	300°C, 5 мин
Температура стеклования, °C	170	170	170
Диэлектрическая постоянная (1 МГц)	5,5	5,1	5,2
Теплопроводность по Z, Вт/(м·К)	1,0	1,1	2,0
Теплопроводность по X, Y, Вт/(м·К)	1,9	Нет данных	3,5
Горючесть	94V-0		

Отметим, что в данном случае можно использовать и выводной монтаж. Для этого в металлическом основании предусматриваются специальные вырезы, и после прессовки основания остается доступ для монтажа выводных и/или навесных элементов. При этом в качестве диэлектрика при прессовке платы к металлическому основанию необходимо использовать препреги с низкой текучестью связующего.

Для диэлектрических слоев в многослойных ПП выпускаются специальные диэлектрики. В частности, такие материалы (препреги и ламинаты) выпускает компания Bergquist под торговой маркой ThermalClad. Свойства таких материалов, отличающихся теплопроводностью 1,1–2,2 Вт/(м·К), мы рассмотрели выше (см.табл.3).

Помимо компании Bergquist препреги и ламинаты для таких многослойных ПП выпускает компания Arlon (США). Компания представляет серии материалов Arlon 91ML, 99ML и новейшую серию 92ML. Все эти материалы отличаются очень высокой теплопроводностью (табл.7).

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Механическая обработка ПП на металлической основе отличается рядом особенностей. При сверлении таких плат используются стандартные сверла, что и для ПП на основе FR4. Мелкие и средние серии таких печатных плат обрабатываются посредством фрезерования. При этом используются специализированные фрезы, например – типа МРК KEMMER ECA-30R.



Рис. 8 ПП на основе материалов CoolPoly компании Cool Polymers

Серьезные производители режущего инструмента выпускают специальные фрезы для обработки алюминия. Также активно применяется скрайбирование, для чего используются специализированные установки. В них используются специальные фрезы и дополнительные системы жидкостного охлаждения рабочего инструмента.

Крупные серии печатных плат на металлическом основании, как правило, обрабатываются штамповкой и скрайбированием.

Разумеется, стоимость материала с металлическим основанием высока – в среднем, для подложек с алюминиевой основой, в пять раз выше обычной. Тут важно отметить, что на стоимость ПП в целом, помимо массы других факторов, существенно влияет раскладка материалов под монтаж, т.е. коэффициент использования материала.

ПП С ТЕРМОПРОВОДЯЩИМ ПЛАСТИКОМ

Помимо изготовления ПП со структурой металлическая основа-диэлектрик-фольга, развиваются и другие технологии. Например, известна технология изготовления ПП на основе теплопроводящих пластиков компании Cool Polymers (США). В частности, компания производит теплопроводящий материал CoolPoly D5108 на основе сульфида полифенилена (Polyphenylene Sulfide – PPS). Этот материал обладает удельной теплопроводностью 10 Вт/(м·К), диэлектрической проницаемостью 3,7 (1 МГц) и напряжением пробоя 29 кВ/мм. При изготовлении печатных плат на такой материал химически осаждается медь, затем формируется слой гальванически осажденной меди и уже традиционным способом формируется токопроводящий рисунок (рис.8). Одна из серьезных проблем внедрения таких материалов – их относительно высокая цена. Достаточно сказать, что исходный гранулят, из которого производят пластиковое основание, в США стоит порядка 80–90 долларов за килограмм.

ДОСТУПНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ПП С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ОСНОВАНИЕМ

Технологии изготовления ПП с металлическим основанием уже достаточно распространены. В частности, в России компания "Резонит" свыше 1,5 лет производит ПП с алюминиевым основанием на материалах Totking и Ruikai, а также поставляет материалы для ПП с металлическим основанием. Выбор материалов китайских производителей связан с тем, что крупные заказы ПП производятся в странах ЮВА, производители которой в основном используют именно материалы компаний Totking и Ruikai. Перед запуском крупной партии заказчику необходимо получить прототипы, как можно более точно соответствующие серийным образцам, иначе результаты их испытаний не будут адекватны. Поэтому компания "Резонит" и поддерживает складской запас материалов Totking, чтобы иметь возможность быстро изготовить прототипные платы на основе именно тех материалов и технологий, которые затем будут использоваться при выпуске серийной продукции.