

УДК 621.3.049.75

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С УСИЛЕННЫМ ТЕПЛОТВОДОМ

Бушмаков Алексей Александрович

*Студент 4 курса,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.С. Боброва,
ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Введение

Разработчик при проектировании радиоэлектронных устройств стремится снизить их массогабаритные характеристики. При этом компактная упаковка тепловыделяющих элементов на плате не позволяет эффективно рассеивать выделяемое ими тепло, получающееся за счет того, что не вся потребляемая мощность переходит в полезную. Нарушение теплового режима электронных компонентов влечет за собой снижение надежности, помехоустойчивости, а также выход из строя компонентов. Все это делает необходимость отвода тепла от радиоэлектронных компонентов актуальной задачей, требующей расширения базы типовых технологических приемов в соответствии с требованиями разработчиков радиоэлектронных устройств.

Конструкции печатных плат с усиленным теплоотводом

Типовая многослойная печатная плата (далее – МПП) представляет собой объединенные посредством прессования диэлектрические слои, на которых сформированы проводники электрической цепи.

Отвод тепла от печатных плат можно выполнить несколькими способами, рассмотрим некоторые из них.

Наиболее распространенный на данный момент – охлаждение источника тепла напрямую (рис. 1). Теплоотводящий элемент в таких платах может быть представлен в виде радиатора, вентилятора, трубок с циркулирующей в них жидкостью или их сочетанием. Теплоотводящий элемент присоединяется к источнику тепла через специальный изоляционный материал с высокой теплопроводностью. Основным недостатком такого способа охлаждения является большие габаритные размеры теплоотводящего элемента.

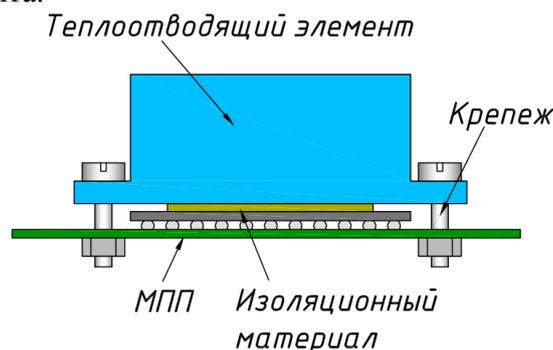


Рис. 1. Конструкция платы с отводом тепла напрямую

Также отводить тепло можно с помощью гипертеплопроводящего (далее – ГТП) пористого основания. ГТП основание представляет собой плоскую тонкую герметичную конструкцию, содержащую пористый материал – фитиль, заполненный жидким рабочим веществом – теплоносителем (аммиак, вода и т.п.). В фитиле имеются каналы для переноса пара (рис. 2). Перенос тепла вдоль панели осуществляется в результате движения рабочего вещества (в виде пара) по каналам от области нагрева к области охлаждения и обратно – в виде жидкости по фитилю. Недостатком такой конструкции является также большие габаритные размеры и невозможность изменить форму основания.

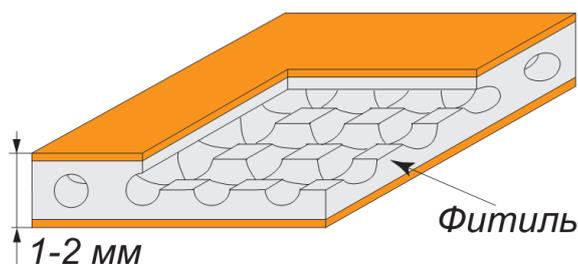


Рис. 2. Конструкция ГТП основания

В качестве основания для плат также можно использовать металлы с высокой теплопроводностью, например алюминий, медь. Теплопроводность алюминия $237 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, а у меди $380 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Не смотря на это, чаще используют алюминий, так как он дешевле. На рис. 3 изображена конструкция однослойной печатной платы с металлическим основанием, такие платы можно разделить на 3 вида: односторонние, двухсторонние и многослойные.

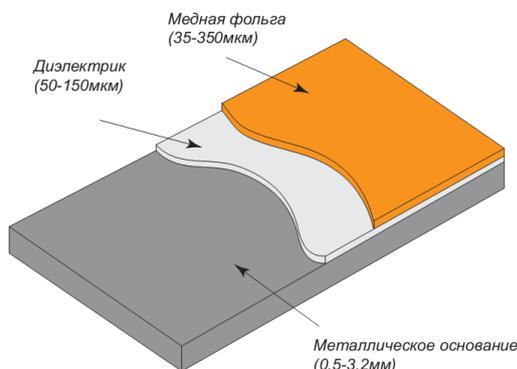


Рис. 3. Однослойная печатная плата с металлическим основанием

Базовым материалом таких плат служит металлическое основание, на которое накатана медная фольга толщиной $35\text{--}350 \text{ мкм}$ через изолирующий теплопроводный препрег.

Если плата подвергается большим механическим нагрузкам, то в качестве материала основания целесообразнее использовать стальное основание, но при этом необходимо учитывать, что его теплопроводность примерно в 4 раза ниже теплопроводности алюминия. Также при проектировании таких плат следует обратить внимание на то, что в данном случае применяется электропроводящее основание, что делает невозможным использование элементов, монтируемых в отверстия. На данных платах можно использовать только элементы поверхностного монтажа. Отверстия же могут использоваться только для крепежа.

На рис. 4 изображена двухсторонняя плата с металлическим сердечником. В таких платах в отличие от однослойных можно использовать элементы, монтируемые в отверстия.

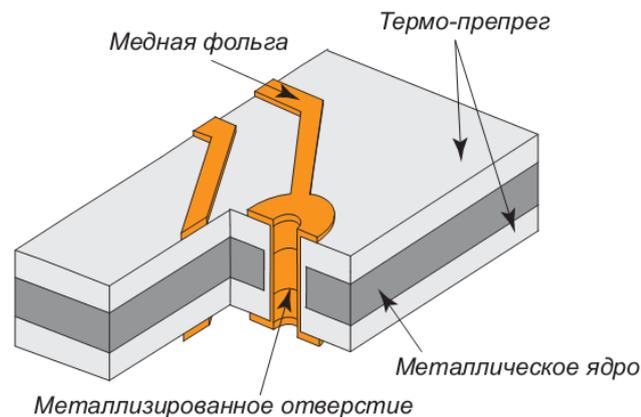


Рис. 4. Двухсторонняя плата с металлическим сердечником

МПП также можно изготовить на металлическом основании. Рассмотрим на примере четырехслойной печатной платы (см. рис. 5). Такие платы изготавливаются в два этапа: вначале изготавливается МПП, затем она напрессовывается на металлическое основание через теплопроводящий изоляционный слой. Трассировка в таких платах может занимать все слои. Причем, следует обратить внимание на то, что те слои, в которых наибольшее выделение тепла следует располагать ближе к металлическому основанию.

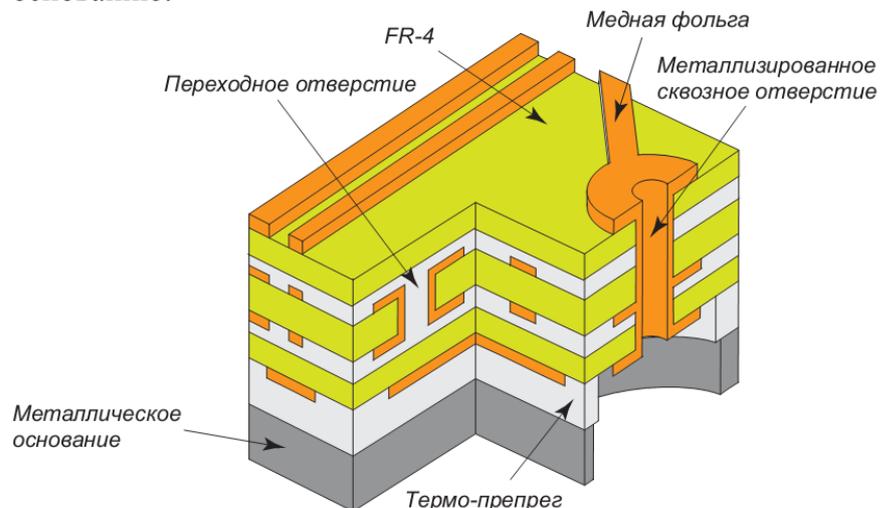


Рис. 5. Четырехслойная печатная плата с металлическим основанием

У таких МПП из-за электропроводящего основания исчезает возможность использования элементов, монтируемых в отверстия. Чтобы избавиться от этого недостатка необходимо, чтобы металлическое основание не проводило электричество или было изолировано. Изолировать алюминиевое основание можно с помощью его анодирования. При анодировании на всех поверхностях алюминия образуется оксид Al_2O_3 .

Таким образом, для установки элементов, монтируемых в отверстия, необходимо перед операцией прессования МПП с алюминиевым основанием в местах установки элементов, монтируемых в отверстия, просверлить отверстия и после провести анодирование поверхности.

Еще один вариант конструкции МПП с алюминиевым основанием изображен на рис. 6.

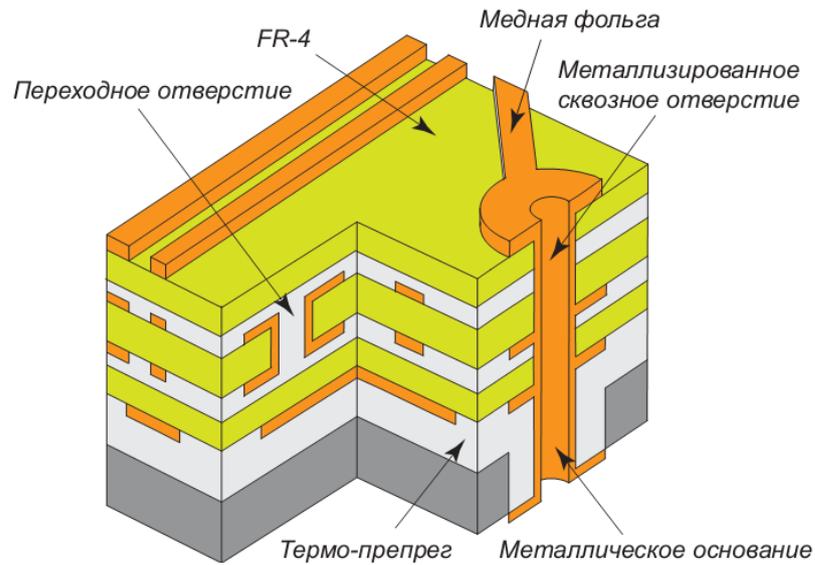


Рис. 6. Четырехслойная печатная плата с металлическим основанием

Преимуществом такой конструкции является возможность использования среднетекучего препрега. Но в отличие от предыдущей конструкции операция прессования здесь не является заключительной. После нее еще необходимо просверлить и металлизировать сквозные отверстия, а также сформировать проводящий рисунок на наружном слое МПП.

Проблему изолирования металлического основания также можно решить, используя металлический сердечник (см. рис. 7)

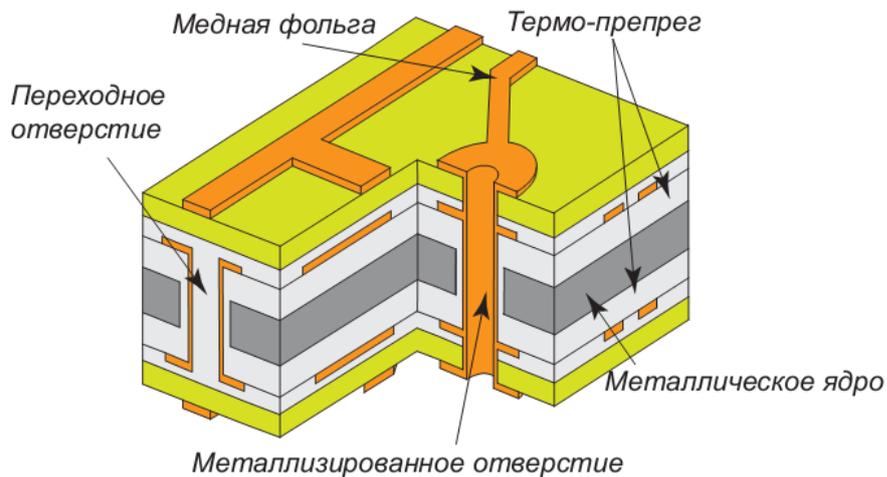


Рис. 7. Четырехслойная печатная плата с металлическим сердечником

Материалы МПП с усиленным теплоотводом

Материал металлического основания МПП должен обладать высокой теплопроводностью. Наиболее теплопроводным является медное основание, но из-за высокой стоимости меди чаще применяют алюминий. Для придания дополнительной жесткости конструкции обычно применяют стальное основание. Основные параметры материалов для печатных плат приведены в таблице 1.

Таблица 1. Материалы металлического основания

Параметры	Низкоуглеродистая сталь	Серебро	Медь	Алюминий	Ковар	Инвар
Коэффициент термического расширения, $\alpha \cdot 10^{-6} 1/K$	11	19,2	16,8	23,2	4,5-5,2	0,62-5,3
Теплопроводность, Вт/(м·К)	52-54	429	380-401	140-240	19	12,7
Плотность, г/см ³	7,7	10,5	8,9	2,7	8,35	8,13

Подбор теплопроводящего изоляционного материала

Для того чтобы металлическое основание эффективно передавала тепло от МПП, необходимо подобрать изоляционный материал с высокой теплопроводностью. Также очень важным параметром такого материала служит текучесть. Контролировать этот параметр необходимо в связи с тем, что при прессовании препрег может попасть в отверстия для выводов штырьевых элементов.

Основные материалы, с помощью которых можно скрепить МПП с металлическим основанием – это препрег и клеевое соединение.

Таблица 2. Препреги с высокой теплопроводностью

Препрег	Содержание смолы, %	Диэлектрическая постоянная	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Коэффициент термического расширения, $10^{-6} 1/K$
Arlon92ML	85-90	5,2(1МГц)	2(z)/3.5(x, y)	19-20
Arlon 91ML	80-90	5.5 (1 МГц)	1(z)/1.9(x, y)	23
Bergquist ThermalClad HT	80-90	7	4.1	25
Isola	80-90	3.96(100 МГц)	0.5	11
Rogers COOLSPAN® TECA	85	3,5 (100 МГц)	6	45
RO4450F	80-90	3.52(100 МГц)	0.65	17-19

Из таблицы 2 видно, что на сегодня наилучший показатель теплопроводности показывает препрег фирмы Rogers [1], но, несмотря на это, материал не подходит так, как коэффициент термического расширения диэлектрика сильно отличается от коэффициента алюминия. В многослойных печатных платах с металлическим основанием рациональнее использовать препреги фирм Arlon [2] и Bergquist [3]. Но такие препреги подойдут только к МПП, у которых нет элементов, монтируемых в отверстия. Это связано с тем, что при прессовании из-за высокой текучести этих материалов, отверстия для монтажа компонентов заполняются смолой. Поэтому для таких плат необходимо использовать низкотекучие препреги (см. табл. 3).

Таблица 3. Низкотекучие препреги

Препрег	Содержание смолы, %	Диэлектрическая постоянная	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Коэффициент термического расширения, 10^{-6} 1/К
Arlon 49N	65-72	4.4(1 MHz)	0.25	14-16
Isola FR406	65	4.3(1MHz)	0.3	17-20
Taconic FastRise 77	62-65	7.85(500MHz)	0.43	10-17

Технологический процесс прессования

Процесс прессования МПП с металлическим основанием можно разделить на два этапа. Первый этап – подготовительный, на котором происходит сборка пакета МПП из металлического основания, МПП и листа препрега (см. рис. 8). На втором этапе происходит прессование одновременно нескольких пакетов в заготовки МПП. Тщательность выполнения норм технологических операций на этих этапах во многом определяет качество самих плат. Следует обратить внимание на то, что комплектовать пакеты МПП необходимо таким образом, чтобы металлические основания в разных пакетах МПП располагались симметрично относительно центра набора этих пакетов. Причем если прессование производится в прессах с горячими плитами то, металлические основания МПП следует расположить со стороны плит.

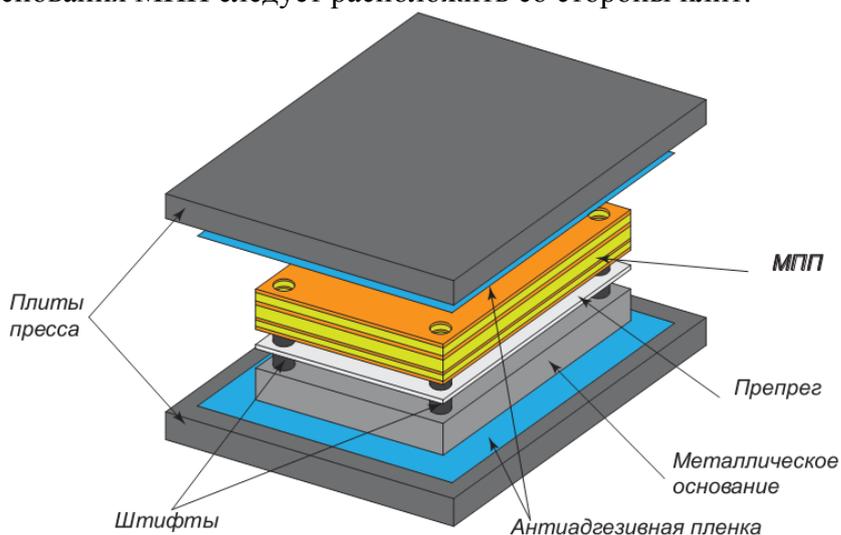


Рис. 8 Сборка пакета МПП с металлическим основанием

Собранные на первом (подготовительном) этапе пакеты МПП, переложённые прокладочным материалом, помещаются между плитами пресса. Камера пресса герметична и сам техпроцесс прессования происходит после откачки воздуха из нее. Давление воздуха в камере прессования современных прессов составляет менее 0,1 атмосферного. Такая глубина вакуума дает сразу несколько положительных эффектов. Во-первых, из препрега интенсивно улетучиваются остатки растворителя эпоксидной смолы, которые могут привести к образованию газовых пустот в структуре платы во время прессования. Во-вторых, во время прессования между элементами печатного рисунка будет очень мало воздуха, что приведет к качественному заполнению этих промежутков эпоксидной смолой [4].

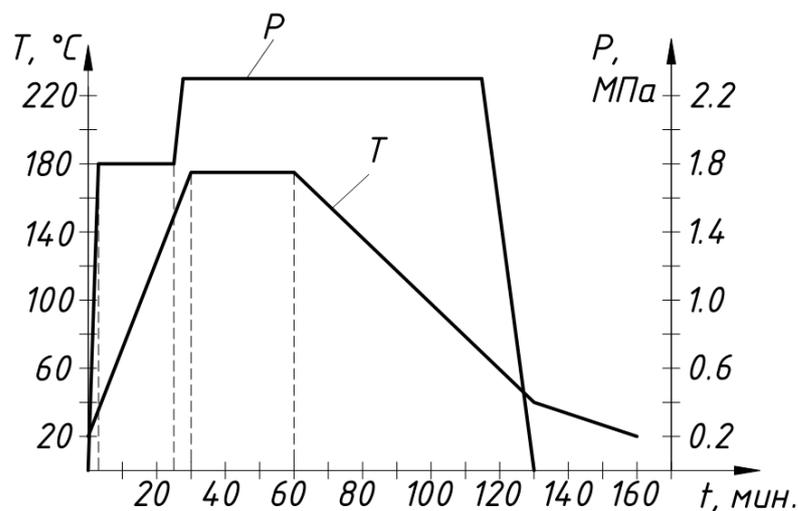


Рис. 9. Цикл прессования МПП

В начале цикла (см. рис. 9), когда температура в камере только растет, плиты пресса сжимаются с малым усилием ~ 1.8 МПа. После дегазации камеры и достижения в пакетах заготовок необходимой температуры (называемой температурой гелеобразования) препрег приобретает текучесть, и создается полное усилие прессования ~ 2.3 МПа. После этого производится выдержка в течение ~ 30 мин., необходимая для отверждения эпоксидной смолы. После отверждения температура в камере постепенно снижается, и опускается давление.

Заключение

Результаты анализа возможных конструкций МПП с усиленным теплоотводом позволяют сделать вывод о целесообразности реализации конструкции МПП на металлическом основании в силу её технологичности, мобильности и универсальности с точки зрения габаритов и формы.

Для изготовления специальных многослойных плат на металлическом основании, предусматривающих монтаж компонентов в отверстия, предлагается разработанная технология прессования МПП через низкотекучий препрег на анодированное алюминиевое основание с предварительно сформированными отверстиями под монтаж компонентов.

Литература

1. Информационные материалы фирмы Rogers – www.rogerscorp.com
2. Информационные материалы фирмы Arlon – www.arlon-med.com
3. Информационные материалы фирмы Bergquist – www.bergquistcompany.com
4. И. Барановский. Современный дизайн и технологии печатных плат: вопрос-ответ Разработка стека сложных многослойных печатных плат. Особенности формирования стека с учетом контроля импеданса проводников// CHIP NEWS Украина, № 6 (86), август, 2009. – 2-8 с.
5. Информационные материалы фирмы TACONIC – www.taconic-add.com
6. Информационные материалы фирмы Isola - www.isola-group.com
7. Ю. Муравьев. Особенности проектирования и производства печатных плат на металлическом основании//Производство электроники: технологии, оборудование, материалы, №2, 2010. – 35-38 с.