Ламинаты. Медная фольга, покрытая смолой

Цикл статей: Разработка стека сложных многослойных печатных плат. Особенности формирования стека с учетом контроля импеданса проводников. Часть 4.

Конструкции ламинатов

Ламинатами называются фольгированные с одной или двух сторон армированные стекловолокном диэлектрики.

Изготавливаются они из одного (для тонкомерных ламинатов) или нескольких слоев препрега, облицованного с двух (реже – с одной) сторон медной фольгой. При прессовании такого пакета материалов, смола препрега полимеризуется и ламинат приобретает законченный вид.

Ламинаты – композитные материалы, они обладают как диэлетрическими, так и проводящими свойствами. Свойства диэлектрического основания ламината во многом определяются свойствами полимеризованной смолы, а проводящие свойства – свойствами медной фольги. Рассмотрим основные параметры конструкций ламинатов, применяемых для производства МПП, и их свойства на примере материалов марки DURAVER®-E-Cu quality 117 фирмы Isola.

Как видно из таблицы, толщины тонкомерных ламинатов полностью определяются толщиной стеклоткани препрегов, лежащих в их основе. Для ламинатов большей толщины, состоящих из нескольких слоев препрега, толщина может варьироваться в зависимости от степени сжатия заготовки при прессовании ламината. Таким образом, при большем сжатии, в облой уходит больше смолы и ламинат будет тоньше. Об этом же свидетельствует и разное содержание смолы в ламинатах разной толщины, но одинаковой конструкции.

Ламинаты поставляются в виде листов стандартных размеров. Размеры эти соответствуют размерам листов препрега, из которого состоит ламинат. Основные размеры листов ламинатов: 1020x1220 мм (40”x48”), 1070x1220 мм (42”x48”), 1020x1020 мм (40”x40”), 915x1220 мм (36”x48”), 970x1220 мм (38”x48”).

Стандартные конструкции ламинатов марки DURAVER®-E-Cu quality 117 (нач.)

Номинальная толщина диэлектрика, мм	Номинальная толщина диэлектрика, дюймы	Отклонение толщины по IPC-4101B класс B, мм	Отклонение толщины по IPC-4101B класс C, мм	Конструкция	Содержание смолы, %
0,075	0,003	±0,018	±0,013	1 лист препрега 1080	63
0,100	0,004	±0,018	±0,013	1 лист препрега 2116	45
0,125	0,005	±0,025	±0,018	1 лист препрега 2165	47
0,150	0,006	±0,025	±0,018	1 лист препрега 2157	47
0,200	0,008	±0,038	±0,025	1 лист препрега 7628	44
0,250	0,010	±0,038	±0,025	2 листа препрега 2165	47
0,300	0,012	±0,050	±0,038	2 листа препрега 2157	47
0,360	0,014	±0,050	±0,038	2 листа препрега 7628	39
0,410	0,016	±0,050	±0,038	2 листа препрега 7628	44
0,510	0,020	±0,064	±0,050	3 листа препрега 7628	39
0,540	0,022	±0,064	±0,050	3 листа препрега 7628	39

Стандартные конструкции ламинатов марки DURAVER®-E-Cu quality 117 (прод.)

Номинальная толщина диэлектрика, мм	Номинальная толщина диэлектрика, дюймы	Отклонение толщины по IPC-4101B класс B, мм	Отклонение толщины по IPC-4101B класс C, мм	Конструкция	Содер-жание смолы, %
0,610	0,024	±0,064	±0,050	3 листа препрега 7628	44
0,710	0,028	±0,064	±0,050	4 листа препрега 7628	39
0,760	0,030	±0,064	±0,050	4 листа препрега 7628	42
0,900	0,035	±0,100	±0,075	5 листов препрега 7628	39
1,000	0,039	±0,100	±0,075	5 листов препрега 7628	44
1,080	0,042	±0,130	±0,075	6 листов препрега 7628	39
1,200	0,047	±0,130	±0,075	6 листов препрега 7628	44

Все типы ламинатов, которые используются для изготовления МПП, облицованы фольгой с двух сторон. Фольга имеет стандартную толщину — 18 мкм (1/2 oz) или 35 мкм (1 oz). По запросу можно получить ламинаты и с другой толщиной фольги: 12 мкм (1/3 oz), 50 мкм, 70 мкм (2 oz), или с комбинациями разных толщин. Например, с одной стороны ламинат облицован фольгой 12 мкм для изготовления проводящего рисунка с высокой плотностью, а с другой стороны облицован фольгой 35 мкм для изготовления питающих слоев в виде полигонов. Обычно количество меди отображается в маркировке листа ламината в массовом эквиваленте. Например, обозначение FR-4 High TG H/1OZ 0,36±0,038 48X36 S1170 указывает, что это ламинат категории FR-4 (не горюч), марки S1170 фирмы Shengyi, высокотемпературный, с температурой стеклования 170°C, толщиной листа 0,36±0,038 мм, размером листа 36x48 дюймов (915x1220 мм), толщиной меди с одной стороны 18 мкм (на что указывает буква H, от слова half – половина), а с другой 35 мкм (1 oz) [13]. В обозначении толщины меди могут употребляться также буквы T (от third – треть унции меди, т.е. 12 мкм толщины) и D (от double – две унции меди, т.е. 70 мкм толщины).

Основные параметры ламинатов

Ламинаты имеют ряд параметров, соблюдение которых жестко регламентируется рядом стандартов, в первую очередь, стандартами IPC-4101...4124. Эти параметры можно разделить на механические, температурные и электрические. К механическим параметрам относятся: механическая прочность, податливость (способность сохранять постоянную силу сжатия, не обнаруживая текучести или разрушения, сохраняя прочность сборки), плотность, влагостойкость, прочность сцепления фольги с диэлектрическим основанием ламината. К электрическим параметрам относятся: объемная и поверхностная проводимость диэлектрика, электрическая прочность ламината, проницаемость материала, потери в нем. К температурным параметрам относятся: температура стеклования, температура декомпозиции (разрушения структуры макромолекул полимеризованной смолы), коэффициент теплового расширения. Все эти параметры для материалов марки DURAVER®-E-Cu quality 117 фирмы Isola сведены в таблицу.

Основные параметры ламинатов марки DURAVER®-E-Cu quality 117 (нач.)

Свойство	Единица измерения	Для ламинатов толщиной менее 0,50 мм	Для ламинатов толщиной 0,50 мм и более
Прочность меди на отрыв для меди толщиной 17 мкм для меди толщиной 35 мкм	Н/мм	 1,40 1,50	 – 1,80

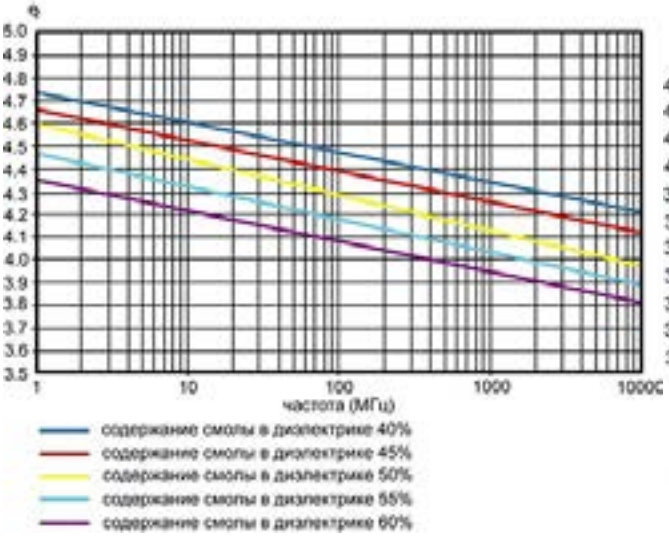
Основные параметры ламинатов марки DURAVER®-E-Cu quality 117 (прод.)

Свойство	Единица измерения	Для ламинатов толщиной менее 0,50 мм	Для ламинатов толщиной 0,50 мм и более
Механическая прочность вдоль основы ткани Вдоль утка ткани	Н/мм2	- -	600 490
Податливость	%	–	0,2
Влагостойкость	%	–	0,15
Объемное сопротивление диэлектрика в сухом состоянии после воздействия термоудара в 125°С на протяжении 24 часов	МОм·см	– 1,4·107	4,0·108 5,0·106
Поверхностное сопротивление диэлектрика в сухом состоянии после воздействия термоудара в 125°С на протяжении 24 часов	МОм·см	– 2,9·107	3,3·107 1,7·107
Электрическая прочность	кВ/мм	45	–
Проницаемость при частоте при частоте 1 МГц	-	4,5 – 4,9	4,6 – 4,9
Потери при частоте 1 МГц	tg?	0,013	0,016
Температура стеклования, Tg	°С	-	170
Температура декомпозиции	°С	-	300
Коэффициент теплового расширения вдоль основы стеклоткани ниже Tg вдоль основы стеклоткани выше Tg вдоль утка стеклоткани ниже Tg вдоль утка стеклоткани выше Tg в вертикальной оси ниже Tg в вертикальной оси выше Tg	мм/мм·°С	-	12·10-6 7·10-6 17·10-6 12·10-6 60·10-6 260·10-6

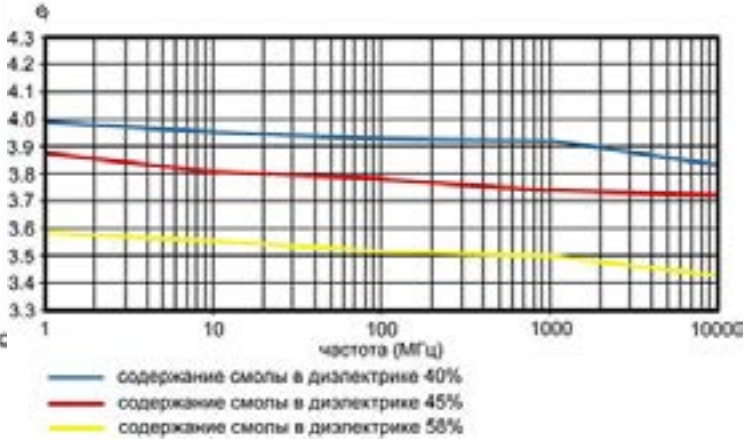
Следует обратить внимание на тот факт, что некоторые параметры ламинатов зависят от ориентации волокон стеклоткани. Прочность на изгиб ламината по основе плетения стеклоткани всегда выше, чем по утку. Это объясняется более высокой плотностью и степенью скрученности волокна нитей основы, применяемых при изготовлении стеклотканей. Особо следует обратить внимание на температурный коэффициент линейного расширения ламинатов. Как и в случае с прочностью, расширение ламината при нагревании больше именно в сторону утка, так как нити утка более податливые и тонкие, чем нити основы. По этой причине при изготовлении печатных плат ламинат и препреги во время закладки в пресс всегда ориентируются нитями основы вдоль длинной стороны платы. Расширение диэлектрика в оси перпендикулярной плоскости полотна стеклоткани всегда более значительно, чем в плоскости. Это происходит потому, что в этой оси стеклоткань является только наполнителем и практически не армирует материал (не сдерживает его расширение). Особенно ярко это явление выражено после достижения диэлектриком температуры стеклования. Подвижность макромолекул смолы увеличивается и происходит интенсивный сдвиг в сторону наименьшего сопротивления – вдоль вертикальной оси. Коэффициент теплового расширения вдоль утка и основы стеклоткани при этом уменьшается. Как видно из таблицы 5, при температурах выше Tg коэффициент теплового расширения ламината вдоль оси Z становится значительно больше, чем для меди – ?Cu=17•10-6 мм/мм•°С. Такая

большая разница иногда приводит к образованию обрывов каналов металлизированных отверстий. Особенно часто такая ситуация возникает в том случае, если переходные отверстия имеют очень малый диаметр, например 0,20 мм. Это делает невозможным осаждение на их стенках достаточного количества меди, необходимого для обеспечения прочности канала металлизации на разрыв при тепловом расширении платы. Для плат, которые предполагается эксплуатировать при повышенных тепловых нагрузках, а также для HDI-плат, на которые будет вестись монтаж бессвинцовых компонентов, рекомендуется использовать термостабильные материалы. Например, ламинаты и препреги марки IS420 от фирмы Isola [12] или S1000-2 от фирмы Shengyi [13]. Для подобных материалов применяется сложный состав дифункциональных и многофункциональных эпоксидных смол с неорганическим наполнителем, который несколько ограничивает текучесть смолы. Температурный коэффициент расширения (при температурах выше Tg) таких материалов не превышает 200•10-6 мм/мм•°С.

Еще один важный параметр, который обязательно необходимо учитывать при проектировании сложных стеков печатных плат с контролем импеданса, – диэлектрическая проницаемость ламинатов и препрегов в плате. Следует помнить, что данные, которые указываются производителями в даташитах на материалы, — это, как правило, проницаемость стандартного ламината толщиной 1,60 мм на частоте 1,00 МГц. Диэлектрическая проницаемость на частоте 1,00 МГц чистой смолы составляет 3,40...3,60, а проницаемость стекол – 8,00...10,00, в зависимости от состава стекла. Поэтому результирующая проницаемость композитных стеклоэпоксидных материалов зависит от соотношения массовых долей стеклоткани и эпоксидной смолы, как это показано на рисунке. Таким образом, проницаемость ламината толщиной 0,075 мм на частоте 1 МГц будет составлять около 4,30, ламината толщиной 0,250 мм – 4,65, а ламината толщиной 0,90 мм – 4,75. Аналогичная ситуация будет и с препрегами в составе МПП. Чем меньше содержание смолы в препреге после прессования платы, тем больше проницаемость такого препрега.



Зависимость диэлектрической проницаемости материалов марки DURAVER®-E-Cu quality 117 от частоты и содержания смолы



Зависимость диэлектрической проницаемости материалов марки FR408 от частоты и содержания смолы

Помимо зависимости диэлектрической проницаемости ламинатов и препрегов от содержания смолы, существует еще и зависимость проницаемости от рабочей частоты сигналов на плате. Из рис. 16 видно, что ламинат толщиной 0,10 мм, содержание смолы в котором составляет 45%, на частоте в 1 МГц будет иметь проницаемость 4,65, при частоте 100 МГц проницаемость составит уже 4,40, а при частоте 500 МГц – 4,30. Такое поведение диэлектриков объясняется сложным составом эпоксидных смол, компоненты которых по-разному

ведут себя при повышении частоты. Для сложных плат, требующих контроля импедансов цепей и имеющих цепи которые работают с разными скоростями передачи (тем более аналоговые высокочастотные цепи), применение стандартных материалов типа FR-4 не рекомендуется. Как правило, для изготовления таких плат (а это в основном платы к мобильным телефонам, системам GPS и навигации, обработки цифрового видео и т.п. высокотехнологичным устройствам), применяются материалы с высокой стабильностью проницаемости. Один из таких материалов – FR408, производства Isola. Высокая частотная стабильность этого материала объясняется применением только многофункциональной эпоксидной смолы строго определенного состава и определенной степени полимеризации макромолекул. В составе смол не применяются никакие наполнители, кроме стекловолокна, к которому также предъявляются определенные требования по чистоте и качеству пряжи.

Медная фольга, покрытая смолой

Еще один базовый материал, широко используемый при конструировании плат HDI, который называется RCC (Resin Coated Copper Foil), — медная фольга, покрытая смолой. Основное отличие RCC от ламинатов – отсутствие стеклоткани. RCC изготавливается из тонкомерной фольги, покрытой двумя слоями эпоксидной смолы. Первый слой, расположенный непосредственно возле фольги, представляет собой полностью полимеризованную смолу, находящуюся в стадии С [16]. Этот слой смолы предотвращает возможность случайного контакта фольги с более глубокими проводящими слоями в процессе прессования платы. Следующий слой – смола, находящаяся в стадии В. Именно этот слой участвует в процессе прессования и служит для соединения слоев. В стандартной конфигурации могут использоваться три типа фольги: толщиной 18 мкм (1/2 oz), толщиной 12 мкм (3/8 oz) и толщиной 9 мкм (1/4 oz). Толщина слоев смолы всегда одинакова – по 35 мкм каждого слоя. По запросу могут быть изготовлены RCC с нестандартной конфигурацией. Например, с толщиной фольги 5 мкм или с толщиной смолы по 50 мкм каждого слоя.

Основные параметры RCC фирмы Isola сведены в таблицу

Свойство	Единица измерения	Значение
Прочность меди на отрыв для меди толщиной 18 мкм после воздействия термоудара в 125°С	Н/мм	4,2 4,0
Влагостойкость	%	1,04
Объемное сопротивление диэлектрика в сухом состоянии после воздействия термоудара в 125°С	МОм·см	5,87·108 7,17·107
Поверхностное сопротивление диэлектрика в сухом состоянии после воздействия термоудара в 125°С	МОм·см	4,71·108 9,39·107
Электрическая прочность	кВ/мм	69
Проницаемость при частоте при частоте 1 МГц	-	3,43
Потери при частоте 1 МГц	tg?	0,025
Температура стеклования, Tg	°С	160
Коэффициент теплового расширения	мм/мм·°С	57·10-6