

Я.М. Перцель, Е.Г. Абрамова, Н.П. Пахомов

ОАО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения»

Особенности проектирования и технологии изготовления многослойных печатных плат для СВЧ устройств на основе жидкокристаллического полимера (LCP) серии Ultralam 3000

Рассматриваются технологические особенности изготовления многослойных печатных плат для СВЧ устройств на основе жидкокристаллического полимера (LCP) на базе стандартных технологий изготовления печатных плат. Также представлены результаты разработки многослойной печатной платы направленного ответвителя диапазона СВЧ, топология которого реализована на связанных неоднородных симметричных линиях.

В настоящее время одной из тенденций развития радиоэлектронной аппаратуры, предназначенной для приема и передачи информации, является смещение несущей частоты радиосигналов в область сверхвысоких частот (СВЧ), уменьшение габаритов и массы аппаратуры за счет применения современных материалов и технологий. Разработаны и разрабатываются относительно новые материалы, оборудование и технологические процессы, которые бы отвечали потребностям разработчиков в повышении быстродействия и функционального уплотнения аппаратуры.

В недавно появившихся на мировом рынке ламинатах серии Ultralam 3000 в качестве диэлектрика используется устойчивый к высоким температурам жидкокристаллический полимер (LCP). Эти материалы были специально разработаны для однослойных и многослойных конструкций печатных плат. Материалы хорошо подходят для высокоскоростных и высокочастотных плат сетевой телекоммуникационной аппаратуры, для высокоскоростных компьютерных интерфейсов и другой широкоплоской СВЧ аппаратуры.

Материалы, на основе жидкокристаллического полимера, характеризуются малыми и постоянными значениями диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, что является ключевым требованием при проектировании плат для высокочастотных и высокоскоростных изделий.

В рамках данной работы были рассмотрены возможности использования ламината Ultralam 3850, выпускаемого в виде листов с двойным медным покрытием. Для определения методов изготовления многослойных печатных плат, применительно к данному материалу, необходимо руководствоваться особенностями поведения жидкокристаллического полимера при изготовлении внутренних слоев, процессе прессования и получения металлизированных переходных отверстий. Технология получения рисунка схемы внешних слоев многослойной печатной платы, и нанесение финишных покрытий для материалов серии Ultralam 3000 не отличается от стандартных технологий, применяемых к материалам типа FR4 и описанных в [1].

Основная особенность при работе с материалами серии Ultralam 3000 заключается в процессе прессования многослойной печатной платы. Таким образом, во время процесса

прессования смола на основе жидкокристаллического полимера (LCP) претерпевает несколько значительных изменений. В начале этого цикла смола является твердым веществом с низкой плотностью поперечных связей и температурой плавления около 200 °С. По мере повышения температуры смола плавится и становится жидкостью с высокой вязкостью. По мере дальнейшего нагревания пресса вязкость этой жидкости падает. Когда смола начинает отверждаться, вязкость достигает минимума и начинает расти. Область вблизи минимума вязкости называют областью максимальной текучести. Чем шире эта область и ниже минимальная вязкость, тем больше имеет место растекание. При высокой степени текучести смол применяемых в материалах серии Ultralam 3000 начальный уровень отверждения низкий. Это приводит к более продолжительному времени повышения температуры, прежде чем вязкость смолы повысится благодаря ее отверждению. Избыточное давление во время этой части цикла может повредить жидкокристаллический диэлектрик и привести к неравномерности толщин слоев по длине платы, что не допускается требованиями к печатным платам рассчитанным на работу в СВЧ диапазоне.

Вторая часть цикла начинается с момента, когда смола разжижается и это продолжается до начала роста ее вязкости благодаря отверждению. В этой части цикла жидкая смола растекается и покрывает схему. Для определения надлежащей стадии плавления устанавливали термопару в центре края штабеля.

В третьей части цикла растекание останавливается и начинается отверждение смолы. Температура поддерживается максимальной для минимизации времени полного отверждения. Для данной системы она составляет примерно 282 °С. Последняя часть цикла является охлаждением. Давление сбрасывается после некоторого охлаждения, но до того, как штабель охладится до комнатной температуры.

Следует отметить, что материалы Ultralam 3000 в процессе прессования могут в значительной мере изменять свою толщину, при разработке многослойных печатных плат СВЧ назначения, где особую роль играет расстояние между проводниками, расположенными в различных слоях многослойной печатной платы, необходимо учитывать фактические размеры после процесса прессования. Следует учитывать недопустимость склеивания между собой пленки Ultralam 3908. Для увеличения толщины диэлектрика между проводящими слоями необходимо дополнительное чередование слоев Ultralam 3850 (со снятой медью) и пленки Ultralam 3908 с учетом фактического изменения толщины каждого слоя после спекания.

Рекомендуемая структура пакета для спекания многослойной печатной платы представлена на рис. 1.

В качестве прокладочного материала хорошо зарекомендовала себя бумага на основе керамического волокна способная выдерживать нагрев до 290 °С. Толщина прокладочного материала должна быть не менее 7 мм (или толще, если плоскостность покрытия вызывает сомнения) и обернута в алюминиевую фольгу. Используемая фольга из меди должна быть толщиной 35 мкм или 70 мкм и ориентирована блестящей стороной по направлению к фиктивным пластинам или многослойной части. Толщина очищенного

политетрафторэтилена (ПТФЭ) должна быть не менее 0,2 мм, но может варьироваться в зависимости от толщины многослойной части для получения нужной структуры.

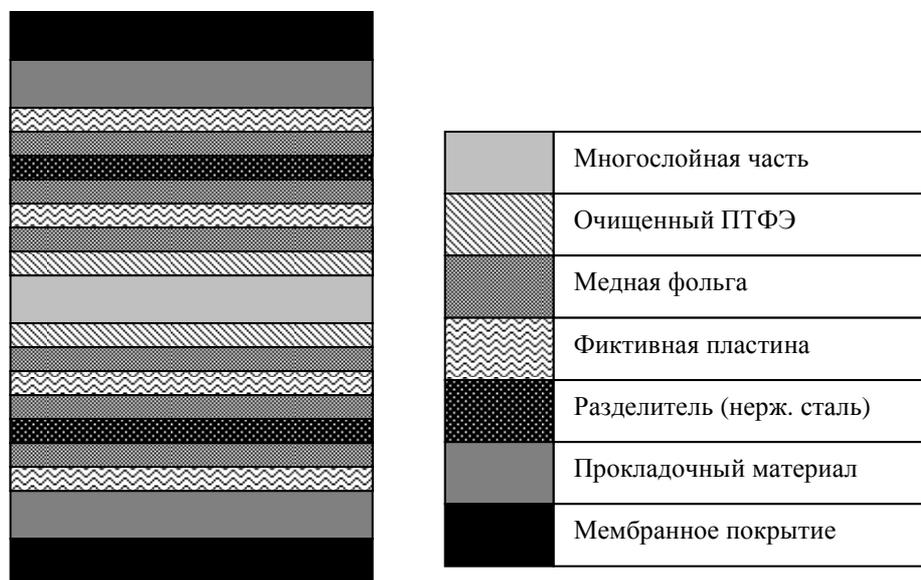


Рисунок 1

Фиктивные пластины могут быть из материала Ultralam 3850 толщиной 0,2 мм с медным покрытием или из другого материала близкой толщины, способного выдерживать нагрев до 290 °С.

Для реализации многослойных печатных плат трехдецибелных направленных ответвителей диапазона СВЧ была выбрана структура подложки, состоящая из слоев LCP материала Ultralam 3000 и материала FR-4 (рис. 2).

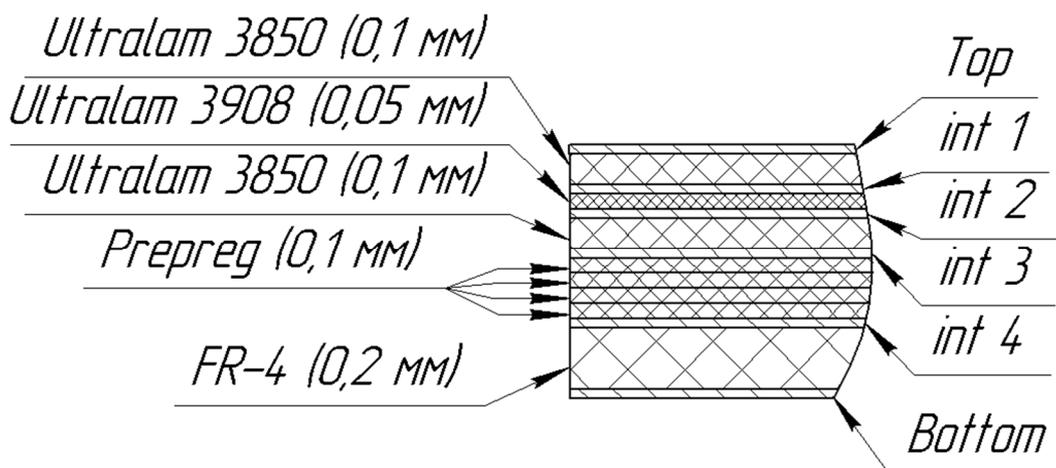


Рисунок 2

Процесс синтеза и топология предложенного в данной работе трехдецибелного направленного ответвителя подробно описана в [2]. Трехмерная модель (рис. 3а) и макет

многослойной печатной платы направленного ответвителя (рис. 3б), имеющего диапазон рабочих частот 2 – 4 ГГц, представлен на рис. 3.

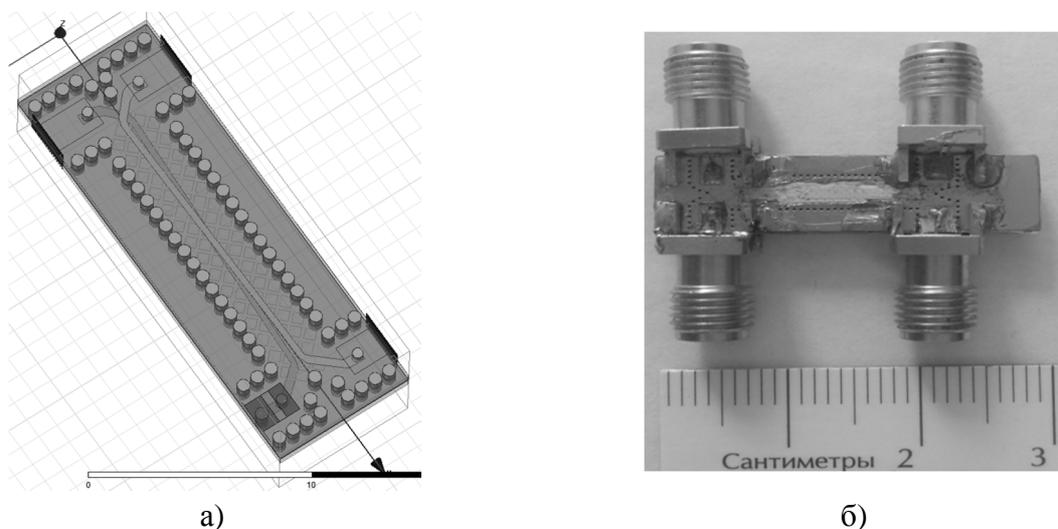
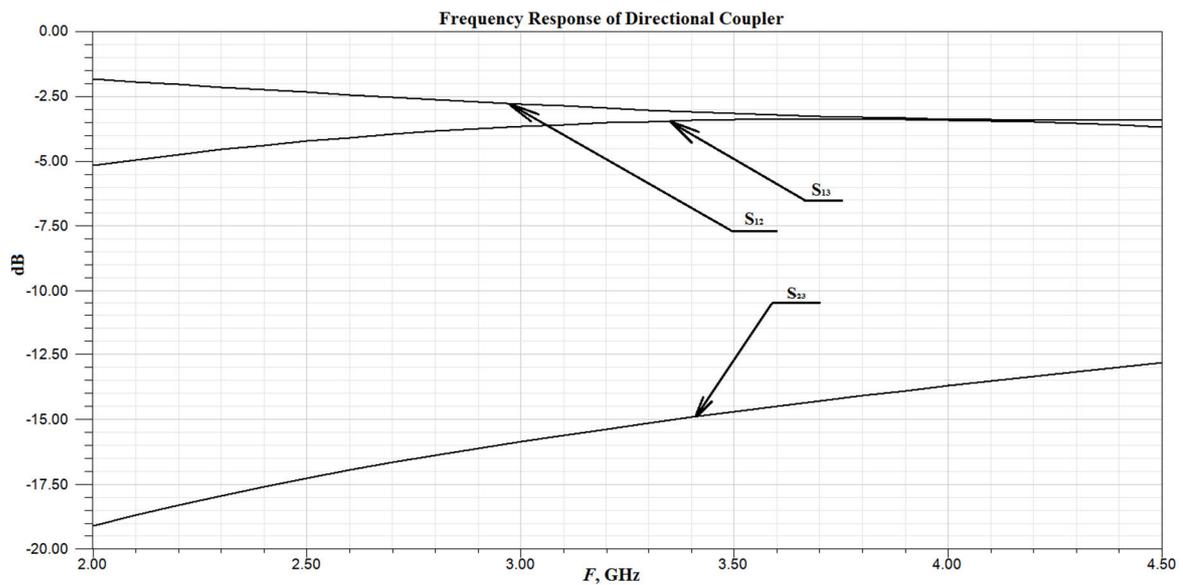


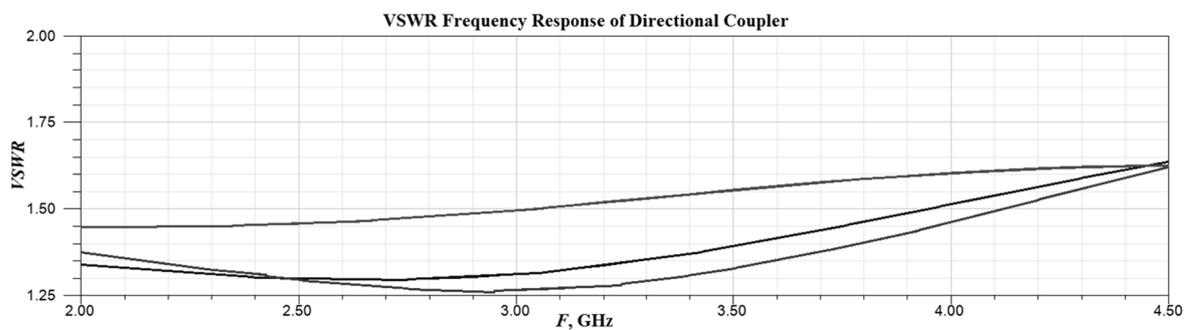
Рисунок 3

Экспериментальные исследования проводились при помощи векторного анализатора электрических цепей R&S ZVB4 и калибровочный набор ZV-Z229. Всего в ходе экспериментальных исследований были измерены электрические характеристики трех макетов, работающих в диапазоне частот 2 – 4 ГГц. Отклонение значений параметров от образца к образцу составляет не более 5 %.

На рис. 4 приведены частотные зависимости электрических характеристик направленного ответвителя: амплитудно-частотная характеристика – рис. 4а, частотная зависимость КСВН входа/выходов – рис. 4б. Неравномерность АЧХ в диапазоне рабочих частот для опытных образцов составила не более 0,5 дБ, развязка между прямым и ответвленным плечом опытного образца НО (параметр S_{23}) составила 15 дБ внизу и 12,5 дБ вверху диапазона рабочих частот, уровень КСВН входа/выходов в диапазоне рабочих частот макетов направленных ответвителей не превышает 1,6. Однако на заметно некоторое сужение диапазона рабочих частот макета направленного ответвителя по сравнению с прогнозируемым при расчете и моделировании. Таким образом, в ходе проведенной работы были исследованы методы и технологические процессы изготовления многослойных печатных плат СВЧ устройств на основе жидкокристаллического полимера LCP на примере материалов серии Ultralam 3000. Были изготовлены макеты направленных ответвителей на связанных неоднородных симметричных линиях, имеющих диапазон частот 2 – 4 ГГц, и проведены экспериментальные исследования электрических характеристик полученных макетов. Электрические характеристики макетов с высокой повторяемостью соответствуют расчетным параметрам.



а)



б)

Рисунок 4

Библиографический список

1 Голецкий Ф., Лейтес И., Петров Л. Разработка технологии изготовления высокоплотных СВЧ многослойных печатных плат. – Производство электроники: технологии, оборудование, материалы, 2008, № 8, с.23-27.

2 Абрамова Е.Г., Коновалов С.С. Разработка направленного ответвителя на диапазон частот 2-4 ГГц на основе связанных симметричных линий, выполненного в объеме многослойной подложки из низкотемпературной керамики. – Техника радиосвязи, 2013, выпуск 1 (19), с. 68-73.