



МАТЕРИАЛЫ ФИРМЫ ROGERS CORPORATION

ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЧ И СВЧ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

И.Романова

Компания Rogers Corporation производит высокотехнологичные материалы для электроники и благодаря выпуску таких материалов, как ламинаты серий RT/duroid5000, RT/duroid6002, RO3000, RO4000 и ТММ формирует рынок материалов для высокочастотных приложений. Продукция этой компании используется в многочисленных областях, включая автомобильную технику, антенны, высокоскоростные цифровые устройства, военную технику, беспроводную связь, передовые технологии корпусирования и бытовую электронику.

Компания Rogers предлагает пользователям самые разнообразные материалы для производства высокочастотных печатных плат с относительной диэлектрической проницаемостью в диапазоне от 2,3 до 10,2 и малыми диэлектрическими потерями:

- фторопласты RT/duroid;
- армированные фторопласты RO3000, RO5000, RO6000;
- углеводородную керамику ТММ;
- армированные ламинаты ULTRALAM 2000;

Все материалы имеют стандартный ряд толщин и могут иметь одно- или двухстороннюю металлизацию из электроосажденной или накатанной фольги (медь, латунь, алюминий) заданной толщины.

Материалы Rogers имеют высокие параметры (тангенс угла потерь, диэлектрическую проницаемость и т.д.) и их предпочитает большинство производителей СВЧ печатных плат. Более того, возможна комбинация СВЧ-материала производства Rogers и FR4 при изготовлении печатных плат.

ВЧ и СВЧ печатные платы – это те же односторонние или двухсторонние печатные платы, которые изготавливаются на фторопластовом основании, но с коэффициентом диэлектрической проницаемости меньше 3, наименьшим тангенсом диэлектрических потерь и с высокой термомеханической стабильностью. В настоящее время таким требованиям отвечают печатные платы, изготовленные из материалов Rogers. Основные характеристики этих материалов представлены в таблице.

Все материалы имеют стандартный ряд толщин и двухстороннюю металлизацию из электроосажденной или накатанной фольги (медь, латунь, алюминий) заданной толщины.

RO3000 и RO3200 СВЧ – ламинаты на основе PTFE и керамики. Материалы серии RO3000 были первыми материалами Rogers, разработанными для широкого при-

менения в начале 1990-х годов. В состав серии входят RO3003 ($\epsilon=3,0$), RO3035 ($\epsilon=3,50$), RO3006 ($\epsilon=6,15$) и RO3010 ($\epsilon=10,2$). Эти материалы имеют отличные высокочастотные электрические свойства и высокую термостабильность при стоимости в несколько раз ниже стоимости RT/duroid6000. Коэффициент теплового расширения (КТР) по осям X и Y у этих материалов близок по значению к КТР меди и FR4, что дает возможность изготавливать надежные RO3000/FR4 гибридные сборки. Низкие диэлектрические потери (0,0013 на частоте 10 ГГц) дают большие преимущества при использовании ламината RO3003 в СВЧ-оборудовании.

Семейство ламинатов RO3200 включает в себя RO3203 ($\epsilon=3,02$) и RO3210 ($\epsilon=10,2$). Они разработаны специально для приложений, где требуется материал с характеристиками RO3000, но при этом требуется большая механическая прочность. Материалы RO3200 изготовлены путем комбинирования слоев PTFE/керамики и PTFE/армированного ламината, что обеспечивает повышенную жесткость. Как и материалы серии RO3000, данное семейство идеально подходит для изготовления многослойных печатных плат и гибридных конструкций с применением FR4.

RO4000 – армированный материал на основе термоактивного полимера с добавлением керамики. Эта серия СВЧ-материалов была разработана, чтобы, с одной стороны, обеспечить качественные СВЧ-характеристики, сравнимые с таковыми у фторопластосодержащих материалов, и, с другой стороны, максимально упростить технологию изготовления плат, т. е. сделать ее совместимой с традиционной технологией обработки армированных текстолитов (FR4). Материалы RO4000 представляют собой армированное стекловолокно с высокой температурой стеклования ($T_g > 280^\circ\text{C}$) с наполнением из термоактивного полимера с добавлением керамики. В отличие от материалов на основе фторопласта (PTFE) материалы серии RO4000 не тре-

Основные технические характеристики СВЧ-материалов компании Rogers

Тип, состав	Диэлектрическая проницаемость, ϵ 10 ГГц	Тангенс угла диэлектрических потерь, $\tan \delta$ 10 ГГц	Тепловой коэффициент 50–150°C ppm/°C	Объемное сопротивление, МОм·см	Поверхностное сопротивление, МОм	Влагопоглощение, %	Теплопроводность, Вт/м·К	Плотность, г/см ³	Стандарты толщины, мм
RT/duroid5870 PTFE стекловолокно	2,33±0,020	0,0012	-115	2×10 ⁷	2×10 ⁸	0,015	0,22	2,2	0,127; 0,254; 0,381; 0,508; 0,787; 1,575; 3,175
RT/duroid5880 PTFE стекловолокно	2,20±0,020	0,0009	-125	2×10 ⁷	3×10 ⁷	0,015	0,20	2,2	0,127; 0,254; 0,381; 0,508; 0,787; 1,575; 3,175
ULTRALAM2000 PTFE армированный ламинат	2,40–2,60±0,040	0,0019	-100	2×10 ⁷	4×10 ⁷	0,03	0,24	2,2	0,101; 0,256; 0,373; 0,482; 0,762; 1,524
RT/duroid6002 PTFE керамика	2,94±0,040	0,0012	+12	10 ⁶	10 ⁷	0,1	0,60	2,1	0,127; 0,254; 0,508; 0,762; 1,524; 3,048
RT/duroid6005 PTFE керамика	6,15±0,150	0,0019	-410	2×10 ⁷	7×10 ⁷	0,05	0,49	2,7	0,254; 0,635; 1,270; 1,905; 2,540
RT/duroid601OLM PTFE керамика	10,2±0,250	0,0023	-425	5×10 ⁶	5×10 ⁶	0,05	0,78	3,1	0,254; 0,635; 1,270; 1,905; 2,540
TMM3 Углеродородная керамика	3,27±0,032	0,0020	+39	3×10 ⁹	> 9×10 ⁹	> 0,04	0,70	1,78	0,381; 0,508; 0,762; 1,524; 3,175
TMM6 Углеродородная керамика	6,00±0,080	0,0023	-10	1×10 ⁸	1×10 ⁹	0,06	0,72	2,37	0,381; 0,635; 1,270; 1,905; 2,540; 3,175
TMM10 Углеродородная керамика	9,20±0,230	0,0023	-38	2×10 ⁸	4×10 ⁷	0,09	0,76	2,77	0,381; 0,635; 1,270; 1,905; 2,540; 3,175
TMM10 Углеродородная керамика	9,80±0,245	0,0020	-43	2×10 ⁸	4×10 ⁷	0,16	0,76	2,77	0,381; 0,635; 1,270; 1,905; 2,540; 3,175
RO4003C Углеродородная керамика	3,38±0,05	0,0027	+40	1,7×10 не ясно	4,2×10 ⁹	0,06	0,64	1,8	0,203; 0,508; 0,813; 1,524
RO4350B Углеродородная керамика	3,48±0,05	0,0037	+50	1,2×10 не ясно	5,7×10 ⁹	0,06	0,62	1,9	0,101; 0,168; 0,254; 0,508; 0,762; 1,524
RO4450B Углеродородная керамика Rprepreg	3,54±0,05	0,0040				0,05	0,60	1,88	0,101
RO3003 PTFE/керамика	3,00±0,04	0,0013	13	10 ⁷	10 ⁷	< 0,1	0,50	2,1	0,127; 0,254; 0,508; 0,762;
RO3203 PTFE/керамика армированный ламинат	3,02±0,04	0,0016	13	10 ⁷	10 ⁷	< 0,1	0,50	2,1	0,254; 0,508; 0,762; 1,524
RO3006 PTFE/керамика	6,15±0,15	0,0020	-160	10 ³	10 ³	< 0,1	0,61	2,6	0,254; 0,635; 1,270
RO3010 PTFE/керамика	10,2±0,30	0,0023	-280	10 ³	10 ³	< 0,1	0,66	3,0	0,254; 0,635; 1,270
RO3210 PTFE/керамика армированный ламинат	10,2±0,50	0,0027		10 ⁴	10 ⁴	< 0,1	0,81	3,0	0,635; 1,270

буют специальной химической или плазменной обработки поверхности при подготовке производства металлизированных переходных отверстий. Благодаря этому стоимость производства печатных плат и монта-

жа на СВЧ-материалах серии RO4000 сравнима с затратами для обычных слоистых пластиков на основе эпоксидных смол. Материал RO4003C имеет диэлектрическую проницаемость 3,38, а RO4350B – 3,48.



В серию RO4000 входят два препреговых материала: RO4403C и RO4450B, позволяющих строить многослойные структуры на основе материалов RO4003C и RO4350B, соответственно. Материал RO4403 имеет коэффициент диэлектрической проницаемости 3,17 и тангенс угла диэлектрических потерь 0,005. Материал RO4450B огнеупорный и имеет диэлектрическую проницаемость 3,54 и потери на уровне 0,004. Как и материалы серии RO4000, данные препреги полностью совместимы с традиционной технологией производства плат на основе FR4.

Материал серии RO4000 – это усиленные стеклом, гидрокарбонатные керамические термоактивные ламинаты с малым тангенсом диэлектрических потерь, диэлектрической проницаемостью от 2,3 до 10,2, разработаны специально для производства СВЧ печатных плат с рабочими частотами от 500 МГц и выше.

Материал серии RO4000B компания "Абрис Технолоджи" применяет в качестве базового материала для своих СВЧ печатных плат. На данном материале выполняется двухслойная печатная плата с металлизированными отверстиями. Обычно на верхнем слое расположены дискретные элементы изделия и элементы топологии. В настоящее время точность воспроизведения элементов топологии составляет ± 12 мкм, что достаточно для большинства применений. Нижний слой печатной платы представляет собой сплошной полигон "земли". Металлизированные отверстия обеспечивают электрическое соединение слоев и теплоотвод.

Эта двухслойная печатная плата соединяется с теплоотводящим основанием (обычно медным) через тонкую прокладку, обладающую хорошими тепло- и электропроводящими свойствами. Соединение осуществляется методом прессования. Таким образом, образуется единый "сэндвич" из высокочастотного базового материала и медного теплоотвода. Внешний контур может иметь достаточно сложную геометрию, возможна внутренняя фрезеровка пазов, вырезов, в том числе заданной глубины.

Для обеспечения защиты от коррозии, медь на поверхности ПП, а также медная подложка покрываются слоем гальванического золота (~2,5 мкм толщиной), которое позволяет применять как разварку золотой проволокой, так и пайку.

RO4360 – новый ламинированный материал. Имеет высокую диэлектрическую проницаемость 6,15 при 10 ГГц, применяется при изготовлении СВЧ-блоков и дает значительное сокращение (на 20–30%) площади, занимаемой изделием на печатной плате. RO4360 совместим с FR-4 и имеет такую же надежность и постоянство характеристик, что и материал RO4350B.

RO4360 – материал термостойкий, обладает отличной теплопроводностью 0,81 Вт/м/К, низким коэффициентом температурного расширения по оси Z, что позволяет получать в печатной плате надежные

металлизированные отверстия и упрощает процессы сверления по сравнению с ламинатами RO4350B.

Типичные области применения для RO4360 – СВЧ-электроника, а также он может заменить материал LTCC (низкотемпературная керамика). Материал RO4360 позволяет работать на частотах 4 ГГц и может стать основой для создания следующего поколения СВЧ-аппаратуры.

RT/duroid5870 и RT/duroid5880 – это PTFE композиты, армированные стекловолокном. RT/duroid5870 имеет диэлектрическую проницаемость $2,33 \pm 0,02$ и тангенс угла потерь 0,0012; RT/duroid5880 – $2,2 \pm 0,02$ и $0,0004-0,0009$, соответственно.

Эти материалы разработаны еще в 1960-х годах как альтернатива армированному фторопласту (PTFE) с низкой анизотропией коэффициента диэлектрической проницаемости. Диэлектрическая проницаемость этих материалов является наименьшей среди поставляемых в настоящий момент материалов Rogers, что делает их наиболее подходящими для СВЧ-устройств, где потери должны быть минимальны. Благодаря низкому влагопоглощению материалы RT/duroid5870 и 5880 идеально подходят для применения в условиях с высокой влажностью.

RT/duroid6000 – PTFE керамические ламинаты. Существует несколько разновидностей материалов данного типа.

Ламинаты RT/duroid6002 и RT/duroid6202 ($\epsilon = 2,94$) были разработаны в конце 1980-х годов, чтобы устранить некоторые недостатки материалов на основе фторопласта (PTFE). Исключительными свойствами этих материалов являются высокая стабильность диэлектрической постоянной в широком диапазоне температур и коэффициент теплового расширения, почти совпадающий с КТР меди. Все это делает данные материалы идеальным решением для изготовления многослойных конструкций, используемых в подверженном резким изменениям температуры аэрокосмическом оборудовании, где предъявляются жесткие требования к надежности металлизированных переходных отверстий, а также необходимы малые диэлектрические потери.

К данному классу относятся и материалы RT/duroid6006/6010LM – керамические PTFE ламинаты. Материалы RT/duroid6006 ($\epsilon = 6,15$) и 6010LM ($\epsilon = 10,2$) были разработаны в конце 1970-х годов с целью снижения габаритных размеров печатных плат, так как высокая диэлектрическая проницаемость позволяет реализовывать устройства меньшего размера.

ТММ – термостабильные СВЧ-ламинаты на основе углеводородной керамики. Материалы ТММ3 ($\epsilon = 3,27$), ТММ4 ($\epsilon = 4,5$), ТММ6 ($\epsilon = 6,0$), ТММ10 ($\epsilon = 9,2$) и ТММ10i ($\epsilon = 9,8$) объединяют лучшие свойства керамических и фторопластосодержащих материалов. Эти, разработанные в начале 1990-х годов, материалы имеют достаточную жесткость, чтобы обеспечить на-

дежное крепление навесных элементов, а также могут быть обработаны по традиционной для обычных печатных плат технологии, в отличие от дорогой тонкопленочной технологии, применяемой для обработки высококачественного поликора.

Ламинаты серии ТММ, аналогично RT/duroid6002, демонстрируют высокую стабильность электрических и механических параметров в широком диапазоне температур. Благодаря большому выбору номинала диэлектрических постоянных эти ламинаты находят применение в аппаратуре спутниковых систем связи, в частности, при производстве микрополосковых антенн.

Серия гибких печатных материалов R/flex.1000, R/flex.1100, R/flex.2001, Rflex.2005, R/flexCrystal. разработана для производства гибких односторонних и двухсторонних печатных плат и подходит для жестких температурных условий.

ULTRALAM2000 — PTFE армированный ламинат. Материалы Ultralam 2000 изготавливаются с применением стекловолокна марки 1080 и применяются в системах, где требуется повышенная надежность. Диэлектрическая проницаемость материала составляет от 2,4 до 2,6, а тангенс угла потерь — 0,0022.

Области применения: антенны для беспроводных коммуникационных систем; станции сотовой связи; спутниковые телевизионные приемники; СВЧ- и

ВЧ-компоненты; РЛ-системы; мобильные коммуникационные системы.

В рамках выставки "ЭкспоЭлектроника 2010" состоялась презентация "Новые материалы Rogers для производства печатных плат", и в рамках деловой программы выставки компания "Абрис" провела семинар по теме "Практика серийного изготовления СВЧ-блоков на импортных материалах (Rogers, Taconic др.) с медным основанием". Семинар собрал свыше 120 человек. На семинаре были освещены вопросы особенностей проектирования СВЧ-блоков и перехода на импортные материалы при их изготовлении, также была представлена освоенная компанией "Абрис" технология серийного изготовления СВЧ-блоков гражданского и военного назначения диапазона десятков гигагерц. Были рассмотрены достоинства и особенности импортных СВЧ-материалов печатных плат (Rogers, Taconic и др.), как альтернатива традиционной технологии на поликоре, и преимущества перехода на новые технологии. Основным вопросом, который интересовал участников семинара, планирует ли компания Rogers выпуск материалов со значением тангенса угла диэлектрических потерь $< 0,001$. Надо сказать, что в настоящее время Rogers производит значительное количество материалов с тангенсом, близким к этому значению: RO3003 — 0,0013 ; RT/d5870 — 0,0012; RT/d5880 — 0,0009 ;RT/d6002 — 0,0012. ■