

Многоликий FR-4

Зачастую на вопрос «Что используете?» следует однозначный ответ: «FR-4». Не так давно мы начали различать индивидуальность свойств материалов этой группы. «FR» означает лишь, что материалы этой группы имеют нормированную горючесть (негорючесть), все (!). Цифра «4» обозначает группу стеклоэпоксидных диэлектриков. Обозначение «FR» может относиться и к гетинаксам, и к материалам на другой основе.

**Аркадий Медведев,
профессор МАИ, д. т. н.**

Определяющими компонентами базовых материалов печатных плат являются связующие: полимерная основа (армирование — стеклом, бумагой, полиэфирными волокнами и т. д.) и фольга, которая тоже может иметь различное происхождение. Соответственно, различные базовые материалы могут классифицироваться по типу армирования, по системе используемых полимеров, по температуре стеклования (T_g) этих полимеров, а также по многим другим свойствам. Наиболее часто обращаются к спецификациям на базовые материалы, изложенным в стандарте IPC-4101 «Технические условия на базовые материалы для жестких и многослойных печатных плат». Легитимными для России являются стандарты Международной электротехнической комиссии (МЭК) и конкретно стандарты Технического комитета ТК-91 серии 61249, охватывающие всю номенклатуру современных материалов. Однако наиболее широко представлены базовые материалы в стандарте IPC-4101, ведомость которых приведена в таблице. Эта таблица дает только общую информацию, поэтому нельзя рассчитывать, что в ней собраны исчерпывающие данные. Однако с помощью этой таблицы можно понять, насколько разнообразен

сортамент базовых материалов для производства печатных плат. Поэтому указывать в КД наименование базового материала «FR-4» без расшифровки марки материала, дающей представление о его составе, просто некорректно.

Некоторые из этих данных вынесены в специальные ТУ, которые содержат необходимые подробности характеристик, таких как T_g , прочность на отслаивание медной фольги в различных условиях, объемное удельное сопротивление, удельное поверхностное сопротивление, влагопоглощение, напряжение пробоя диэлектрика, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла потерь, прочность на изгиб и дугостойкость, оценка качества фольги и диэлектрика по признакам внешнего вида, размерная устойчивость, коррозия и изгиб.

Увидеть более подробное описание существа базовых материалов можно в 6-м издании переводного справочника [1].

Литература

1. Платы печатные: Справочник / Под ред. К. Ф. Кубза. М.: Техносфера, 2011.

Таблица. Базовые материалы

№	Тип армирования	Полимерная система	Обозначение	T_g	Другие свойства
00	Бумага	Фенолоформальдегидная смола	XPC	Не оговаривается	UL94 HB
01	Бумага	Фенолоформальдегидная смола	XXXPC	Не оговаривается	UL94 HB
02	Бумага	Фенолоформальдегидная смола, огнестойкая	FR-1	Не оговаривается	UL94V-1
03	Бумага	Фенолоформальдегидная смола, огнестойкая	FR-2	Не оговаривается	UL94V-1
04	Бумага	Эпоксидная смола, огнестойкая	FR-3	Не оговаривается	UL94V-1
05	Бумага	Фенолоформальдегидная смола + огнестойкость фосфором	FR-2	Не оговаривается	UL94 V-1, ограничено содержание Br и Cl
10	Сердцевина из бумаги + наружный слой из стеклоткани E	Эпоксидная + фенолоформальдегидная смолы огнестойкие	CEM-1	100 °С минимально	UL94V-0
11	Сердцевина — стекломат E + стеклоткань E на поверхности	Полиэфир + виниловый эфир	CRM-5	Не оговаривается	UL94V-1 + неорганическое наполнение
12	Сердцевина — стекломат E + стеклоткань E на поверхности	Эпоксидная смола, огнестойкая	CEM-3	Не оговаривается	UL94V-1 с или без неорганического наполнения
14	Сердцевина — стекломат E + стеклоткань E на поверхности	Эпоксидная смола, огнестойкая	CEM-3	Не оговаривается	UL94V-1, ограничено содержание Br и Cl
20	Стеклоткань E	Эпоксидная смола без огнезащиты	G-10, MIL-S-13949/03-GE/GEN	Не оговаривается	UL94 HB
21	Стеклоткань E	Дифункциональная и многофункциональная эпоксидная смола, огнестойкая	FR-4, MIL-S-13949/04-GF/GFN/GFK/GBP/GFM	110 °С минимально	UL94V-0
22	Стеклоткань E	Неогнестойкая эпоксидная смола, сохраняющая стойкость при нагревании	FR-4, MIL-S-13949/04-GB/GBN/GBK/GBP/GBM	135...175 °С	UL94MB
23	Стеклоткань E	Огнестойкая эпоксидная смола, сохраняющая стойкость при нагревании	FR-4, MIL-S-13949/04-GH/GHN/GFK/GHP/GHM	135...185 °С	UL94V-1
24	Стеклоткань E	Многофункциональная эпоксидная смола, огнестойкая	FR-4, MIL-S-13949/04-GF/GFN/GFK/GBP/GFM	150 °С минимально	UL94V-0
25	Стеклоткань E	Эпоксидная смола + полифенилоксид, огнестойкие	FR-4, MIL-S-13949/04-GF/GFN/GFK/GBP/GFM	150...200 °С	UL94V-1

Таблица. Базовые материалы (продолжение)

№	Тип армирования	Полимерная система	Обозначение	Tg	Другие свойства
26	Стеклоткань E	Многофункциональная эпоксидная смола, огнестойкая	FR-4, MIL-S-13949/04-GF/GFN/GFK/GBP/GFM	170 °С минимально	UL94V-0
27	Однонаправленное стекловолокно E, слоями крест-накрест	Многофункциональная эпоксидная смола, огнестойкая	Без обозначения	110 °С минимально	UL94V-1
28	Стеклоткань E	Эпоксидная + неэпоксидная смола, огнестойкая	MIL-S-13949/04-GFN/GFT	170...220 °С	UL94V-1
28	Стеклоткань E	Эпоксидная смола + цианатный эфир (полицианурат), огнестойкие	MIL-S-13949/04-GFN/GFT	170...220 °С	UL94V-1
30	Стеклоткань E	Бисмалеимид триазин (BT) + эпоксидная смола	GPY MIL-S-13949/26-GIT/GMT	170...220 °С	UL94 HB
31	Не оговаривается	Обычная + многофункциональная эпоксидная смола	Без обозначения	90 °С минимально	Неармированная пленка с неорганическим наполнителем, теплопроводящая
32	Стеклоткань E	Обычная + многофункциональная эпоксидная смола	Без обозначения	90 °С минимально	Неорганический наполнитель, теплопроводящая пленка
33	Не оговаривается	Обычная + многофункциональная эпоксидная смола	Без обозначения	150 °С минимально	Неармированная пленка с неорганическим наполнителем, теплопроводящая
40	Стеклоткань E	Полиимид	GPY MIL-S-13949/10-GIN/GIJ/GIP/GIL	200 °С минимально	UL94 HB, с или без неорганического наполнителя
41	Стеклоткань E	Полиимид	GPY MIL-S-13949/10-GIL/GIP	250 °С минимально	UL94 HB, с или без неорганического наполнителя
42	Стеклоткань E	Полиимид + эпоксидная смола	GPY MIL-S-13949/10-GIJ	200 °С минимально	UL94 HB, с или без неорганического наполнителя
50	Арамидная ткань	Обычная + многофункциональная эпоксидная смола	MIL-S-13949/15-AF/AFN/AFG	150...200 °С	UL94V-1
53	Нетканая арамидная бумага	Полиимид	MIL-S-13949/31-BIN/BIJ	220 °С минимально	UL94 HB
54	Однонаправленное арамидное волокно, слоями крест-накрест	Полиимид + цианатный полиэфир (полицианурат)	Без обозначения	230 °С минимально	UL94V-1
55	Нетканая арамидная бумага	Обычная + многофункциональная эпоксидная смола	MIL-S-13949/22-BF/BFN/BFG	150...200 °С	UL94V-1
58	Нетканая арамидная бумага	Многофункциональная эпоксидная смола + неэпоксидная смола + огнестойкость фосфором	Без обозначения	135...185 °С	UL94V-0, ограничено содержание Вг и Cl
60	Кварцевая ткань	Полиимид	MIL-S-13949/19-QIL	250 °С минимально	UL94 HB
70	Стеклоткань S-2	Цианатный полиэфир (полицианурат)		230 °С минимально	UL94V-1
71	Стеклоткань E	Цианатный полиэфир (полицианурат)	MIL-S-13949/29-GCN	230 °С минимально	UL94V-1
80	Сердцевина из бумаги + наружный слой из стеклоткани E	Эпоксидная + фенолоформальдегидная с катализатором для аддитивного процесса смолы с огнезащитой бромом или сурьмой	CEM-1	100 °С минимально	UL94V-0, каолин или другой неорганический катализатор
81	Сердцевина из нетканой стеклоткани + наружный слой из стеклоткани E	Эпоксидная смола, катализируемая для аддитивного процесса смолы, огнестойкая	CEM-3	Не оговаривается	UL94V-0, каолин или другой неорганический катализатор
82	Стеклоткань E	Обычная и многофункциональная эпоксидные смолы, катализируемые для аддитивного процесса, огнестойкие	FR-4	110 °С минимально	UL94V-1, каолин или другой неорганический катализатор
83	Стеклоткань E	Обычная и многофункциональная эпоксидные смолы	FR-4	150...200 °С	UL94V-1, каолин или другой неорганический катализатор
90	Стеклоткань E	Полифениленовый эфир с огнестойкой защитой сурьмой и бромом	Без обозначения	175 °С минимально	UL94V-1
91	Стеклоткань E	Полифениленовый эфир с огнезащитой	Без обозначения	175 °С минимально	UL94V-1
92	Стеклоткань E	Эпоксидная + многофункциональная эпоксидная смолы с огнестойкой защитой фосфором	FR-4	110...150 °С	UL94V-1, ограничено содержание Вг и Cl
93	Стеклоткань E	Эпоксидная + многофункциональная эпоксидная смолы с огнестойкой защитой гидроокисью алюминия	FR-4	110...150 °С	UL94V-1, ограничено содержание Вг и Cl
94	Стеклоткань E	Эпоксидная + многофункциональная эпоксидная смолы с огнестойкой защитой фосфором	FR-4	150...200 °С	UL94V-1, ограничено содержание Вг и Cl
95	Стеклоткань E	Эпоксидная + многофункциональная эпоксидная смолы с огнестойкой защитой гидроокисью алюминия	FR-4	150...200 °С	UL94V-1, ограничено содержание Вг и Cl
96	Стеклоткань E	Полифениленовый эфир	Без обозначения	175 °С минимально	UL94V-1, ограничено содержание Вг и Cl
97	Стеклоткань E	Дифункциональная и многофункциональная эпоксидная смола	FR-4, MIL-S-13949/04-GF/GFN/GFK/GFP/GFM	110 °С минимально	UL94V-0, неорганический наполнитель
97	Стеклоткань E	Обычная и многофункциональная эпоксидная смола с огнезащитой	FR-4, MIL-S-13949/04-GF/GFN/GFK/GFP/GFM	150 °С минимально	UL94V-0, неорганический наполнитель
99	Стеклоткань E	Эпоксидная + многофункциональная модифицированная эпоксидная смола или неэпоксидная (максимум по весу — 5%)	FR-4	150 °С минимально	UL94V-0, неорганический наполнитель, Td, КТР по оси Z, требования по устойчивости к расслоению
101	Стеклоткань E	Эпоксидная + многофункциональная модифицированная эпоксидная смола или неэпоксидная (максимум по весу — 5%)	FR-4	110 °С минимально	UL94V-0, неорганический наполнитель, Td, КТР по оси Z, требования по устойчивости к расслоению
121	Стеклоткань E	Эпоксидная + многофункциональная модифицированная эпоксидная смола или неэпоксидная (максимум по весу — 5%)	FR-4	110 °С минимально	UL94V-0, Td, КТР по оси Z, требования по устойчивости к расслоению
124	Стеклоткань E	Эпоксидная + многофункциональная модифицированная эпоксидная смола или неэпоксидная (максимум по весу — 5%)	FR-4	150 °С минимально	UL94V-0, Td, КТР по оси Z, требования по устойчивости к расслоению
126	Стеклоткань E	Эпоксидная + многофункциональная модифицированная эпоксидная смола или неэпоксидная (максимум по весу — 5%)	FR-4	150 °С минимально	UL94V-0, неорганический наполнитель, Td, КТР по оси Z, требования по устойчивости к расслоению, 130 °С — максимальная рабочая температура
126	Стеклоткань E	Эпоксидная + многофункциональная модифицированная эпоксидная смола или неэпоксидная (максимум по весу — 5%)	FR-4	170 °С минимально	UL94V-0, Td, КТР по оси Z, требования по устойчивости к расслоению, 130 °С — максимальная рабочая температура