

# ТЕХПОДДЕРЖКА

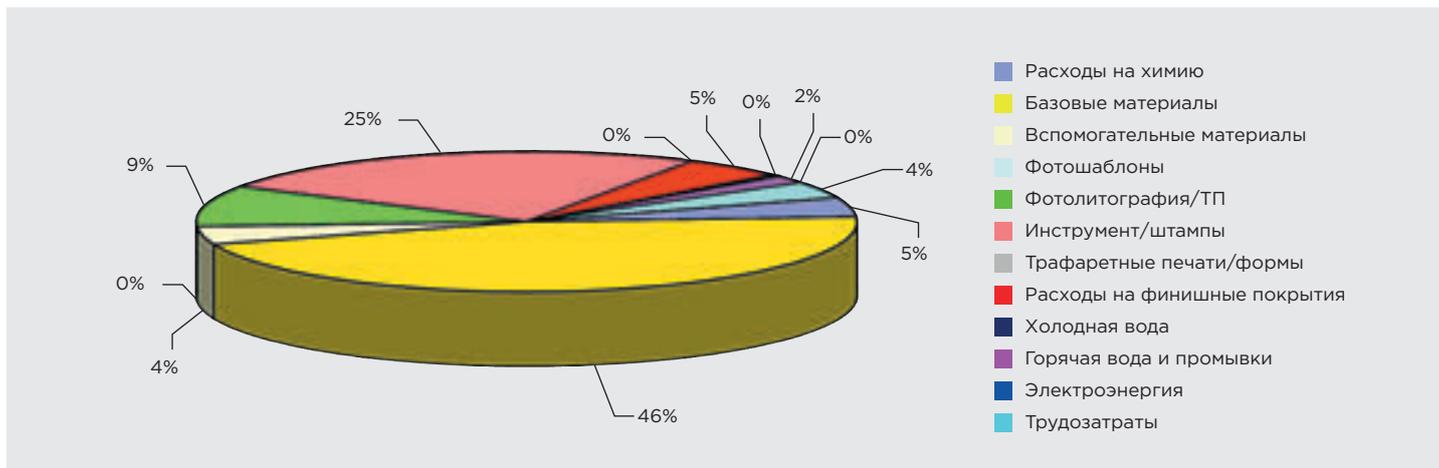
## НОВАЯ СЕРИЯ МАТЕРИАЛОВ для HI-TECH ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Текст: Игорь Крупенин  
Аркадий Медведев  
Оксана Семенова  
Петр Семенов  
Аркадий Сержантов



Развитие технологии печатных плат (ПП) подчинено общей тенденции развития электроники – увеличению функциональности и производительности. От ПП необходимо увеличение плотности компоновки электронных компонентов и межсоединений, уменьшение конструктивных задержек в линиях передачи информации. В свою очередь, это требует использования базовых материалов с хорошей размерной устойчивостью и уменьшенными значениями диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь. Работоспособность гигабитной электроники во многом зависит от состояния поверхности печатных проводников, так как на высоких частотах на ней сказывается скин-эффект<sup>1</sup>. Производители базовых материалов, стараясь удовлетворить этим требованиям, остаются в области композиционных материалов, чтобы не менять структуру сложившегося производства, основанного на использовании базовых технологий печатных плат. В статье представлены материалы и их свойства, соответствующие новым современным требованиям, от компаний Panasonic (Япония), Hitachi (Япония) и Isola (Германия).

<sup>1</sup> А. Медведев. Перспективный материал для изготовления печатных плат устройств СВЧ-диапазона//Электроника: НТБ № 8, 2017



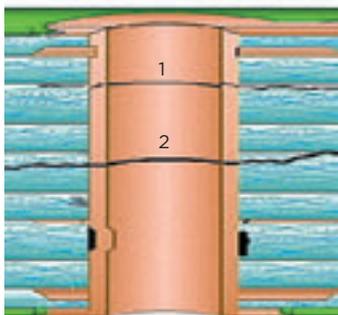
1 Структура формирования себестоимости печатных плат

Обычно в формировании себестоимости печатных плат стоимость базовых материалов является первоочередной. Новые материалы с улучшенными свойствами, очевидно, дороже обычных. Оправдано ли использование дорогостоящих материалов с позиций ценовой политики? Оказалось, что да, оправдано! Если обычные многослойные печатные платы (МПП) имеют структуру себестоимости, показанную на рис 1, т.е. 46 %, то сложные МПП – около 15 %. Снижение доли стоимости материалов в цене МПП достигается не только с помощью перераспределения доли затрат на операциях изготовления сложных МПП, но и, главным образом, на существенном увеличении выхода годных в основном благодаря высокому качеству материалов.

Давайте рассмотрим, благодаря чему достигаются высокие характеристики фольгированных композиционных материалов.

### Связующие – система полимеров

Связующие – самое слабое звено в композиционных материалах. Как правило, они определяют такие



2 Схема разрушения металлизированного отверстия при нагреве выше температуры стеклования  $T_g$  (1) и расслоения (2) в результате интенсивного испарения влаги при пайке

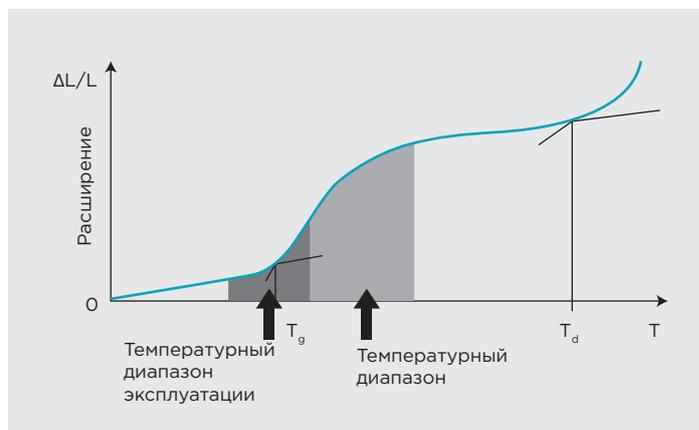
важные параметры как нагревостойкость МПП и размерную устойчивость слоев МПП, необходимую для точного совмещения элементов межсоединений в трехмерной структуре МПП.

Нагревостойкость нужна для обеспечения устойчивости плат к групповому нагреву плат для пайки компонентов поверхностного монтажа. При нагреве до температур пайки

металлизация отверстий испытывает большие напряжения, которые создаются из-за расширения основания печатных плат по оси Z. При недостаточной пластичности медных гальванических осадений металлизация отверстий под действием расширяющегося диэлектрика деформируется вплоть до разрушения (рис 2)<sup>2,3</sup>. Нагревостойкость в данном случае характеризуется температурой стеклования, выше которой деформация основания платы особенно высока (рис 3). Отечественные материалы, разработанные 50 лет назад применительно к ручному монтажу, сегодня не приспособлены для групповой пайки, так как их температура стеклования ( $T_g$ ) не превышает 105 °С. Сегодняшние материалы имеют  $T_g$  не более 140 °С. А новые материалы отличаются

<sup>2</sup> A. Medvedev. A Metalized-Hole PCB as a Strain Gauge//Instruments and Experimental Techniques, 2016/ № 6

<sup>3</sup> А. Медведев. Исследования термостойкости соединений металл-композит в многослойных печатных платах авионики//Конструкции из композиционных материалов, № 4, 2013.



3 Зависимость температурного расширения композиционного основания ПП по оси Z:  $T_g$  – температура стеклования,  $T_d$  – температура начала деструкции полимера

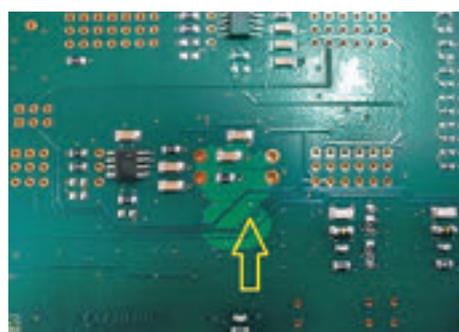
## Т 1

Основные свойства связующих различных фирм, поставщиков базовых материалов ПП

ПАРАМЕТР	МЕТОД	ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ	ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ	HITACHI MCL-BE-67G	PANASONIC MC-100MS/EX	ISOLA DE-104
Температура стеклования, Tg, °C	Термогравиметрический (ТГА)	°C	Лучше больше	140	137	135
	Термомеханический анализ (ТМА)		Лучше больше	220	147	Не норм.
Коэффициент термического расширения	По оси X, 30–120 °C	ppm	Лучше меньше	15	15	16
	По оси Y, 30–120 °C		Лучше меньше	17	15	16
	По оси Z	Ниже Tg	Лучше меньше	40	65	70
		Выше Tg	Очень критично	170	210	250
Влагопоглощение	E-24/50+D-24/23	%	Лучше меньше Очень критично	0,02	0,1	0,8

большим разнообразием и могут иметь Tg вплоть до 220 °C (Т 1).

Такой параметр как влагопоглощение особенно важен для СВЧ-устройств: относительная диэлектрическая проницаемость воды  $\epsilon_r = 81$  может сказаться на работоспособности линий связи МПП<sup>4</sup>. К тому же, если печатные платы перед пайкой не подсушивают



4 Вспучивание (расслоение) печатной платы в результате интенсивного испарения влаги при групповом нагреве во время пайки

(так бывает<sup>5,6</sup>), интенсивно испаряющаяся влага при температурах пайки расширяет композиционное диэлектрическое основание, что может приводить к необратимому расслоению плат (рис 4).

## Стекло – материал стеклоткани

В качестве стеклянных нитей традиционно использовалось электроизоляционное (бесщелочное) стекло на основе алюмосиликата. Оно хорошо вытягива-

лось в нити и выдерживало без разрушения процессы образования пряжи и ткани. Однако в последнее время это стекло перестало удовлетворять требованиям формирования высокочастотных электронных устройств: его относительная диэлектрическая проницаемость слишком велика,  $\epsilon_r = 9$ . В композиции со связующим ( $\epsilon_r = 3,2$ ) его суммарная диэлектрическая проницаемость составляет от 5 до 6 в зависимости от содержания смолы<sup>7</sup>. Для уменьшения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon_r$ ) и тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) предлагают использовать другой состав стекла – E-glass (безборное алюмосиликатное с легкими присадками окислов щелочноземельных металлов) с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 6$  и  $\text{tg}\delta \leq 0,004$ . В сочетании со связующим свойства такого композита на гигагерцовых частотах:  $\epsilon_r = 3,5\text{--}4,0$ ,  $\text{tg}\delta \leq 0,002^8$ .

## Плетение стеклоткани

Обычно стеклянные нити скручивают в пряжу, из которой ткют ткань. Сортамент стеклотканей зависит от толщины и плотности пряжи (Т 2).

Но нужно иметь в виду, что в процессе прессования материала при переходе смолы связующего из стадии «В» в стадию «С», смола испытывает полимеризационную усадку, а при остывании – термическую усадку. Возникающие при этом напряжения фиксируются припрессованной фольгой и переплетениями стеклоткани. Потом происходит усадка (изменением линей-

<sup>4</sup> А. Медведев. Перспективный материал для изготовления печатных плат устройств СВЧ-диапазона//Электроника: НТБ, № 6, 2017.

<sup>5</sup> А. Медведев, А. Сержантов. Кинетика влагонабора композиционных материалов//Технологии в электронной промышленности, № 4, 2014.

<sup>6</sup> А. Медведев. Когда дело не в плате. Рекомендации для технологов сборочно-монтажного производства// Электроника: НТБ, №10, 2017.

<sup>7</sup> А. Медведев. Печатные платы. Конструкции и материалы. М.: Технофера. 2005. – 304 с.

<sup>8</sup> Каталоги материалов ООО «Остек-Сервис-Технология». 2018.

T 2

Параметры пропитанной стеклоткани (препрега)

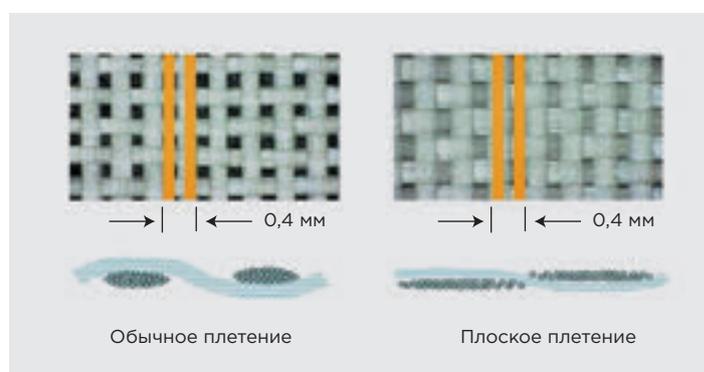
ОБОЗНАЧЕНИЕ СТЕКЛОТКАНИ	СОДЕРЖАНИЕ СМОЛЫ, %	ТИПИЧНАЯ ТОЛЩИНА, МКМ	ЧАСТОТА, ГЦ			
			1	20	40	50
1027	75	49	3,2	3,2	3,2	3,2
1035	70	60	3,3	3,3	3,2	3,2
1080	64	76	3,4	3,4	3,4	3,4
1078	75	118	3,4	3,4	3,4	3,4
3313	54	98	3,6	3,6	3,6	3,6
2116	56	132	3,6	3,6	3,6	3,6

ных размеров) после вытравливания рисунка (удаления части фольги). Скрученная пряжа и плетение стеклоткани как пружины берут на себя часть напряжений и дают определенную долю усадки материала слоев МПП. Для предотвращения этого явления нити стекла не скручивают в пряжу и получают плоское плетение, как показано на рис 5.

Существует еще одно преимущество плоского плетения: однородность диэлектрика для линий связи (рис 6).

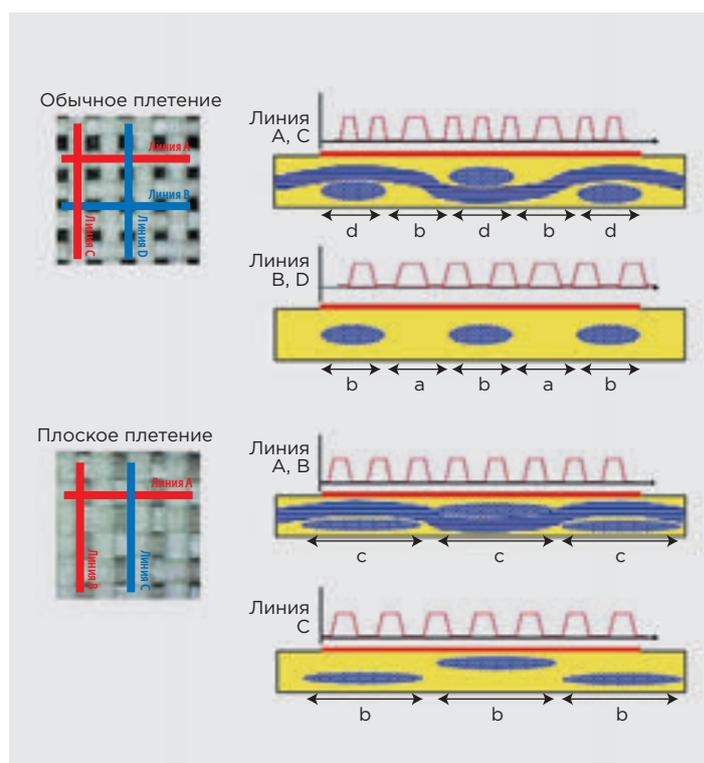
### Миграция

Для долговременной работоспособности электронных устройств очень важно обеспечить полное отсутствие на поверхности и в объеме композиционного материала процессов электрохимической миграции – выстраивание токопроводящих дорожек между разнопотенциальными цепями (рис 7). Для их образования необходимо сочетание двух факторов: влаги и напряжения. От поверхностной влаги более-менее успешно защищают влагозащитные лаки<sup>9</sup>. Но поскольку влага имеет уникальное свойство проникать повсюду, она может конденсироваться в капиллярах композиционных материалов<sup>10</sup>. В этом смысле слабое место в композиционных диэлектриках – поверхность стекловолкна в адгезии со связующим. Когда эта адгезия слаба, образуются тонкие капилляры, в которых конденсируется влага даже в условиях, близких к нормальным. Для мобильных устройств источником влаги может служить испарение человеческого тела, конденсат при переходе от холода к теплу (например, внос холодных устройств в теплое помещение) и т. п. Автомобильная электроника, авионика – это устройства, постоянно испытывающие стресс от ув-



5

Разновидности плетения стеклоткани



6

Иллюстрация однородности сигнала в линии при плоском плетении стеклоткани

<sup>9</sup> Н. Левкина, С. Ванцов, А. Медведев. Влагозащитные покрытия печатных плат // Электроника: НТБ, № 6, 2018.

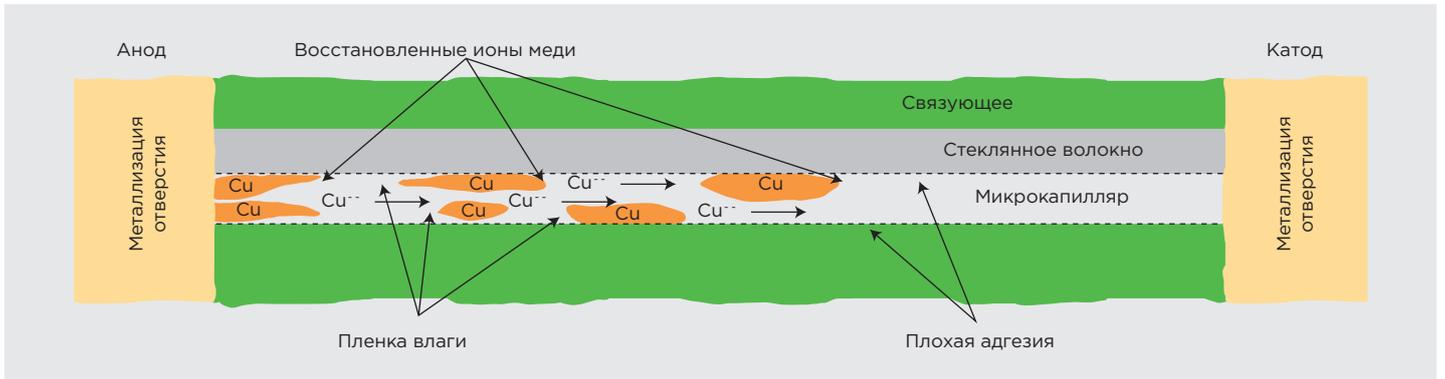
<sup>10</sup> А. Бекишев, А. Медведев, А. Сержантов. Надежность электроизоляционных конструкций на основе композиционных диэлектриков // Производство электроники, № 1, 2009.



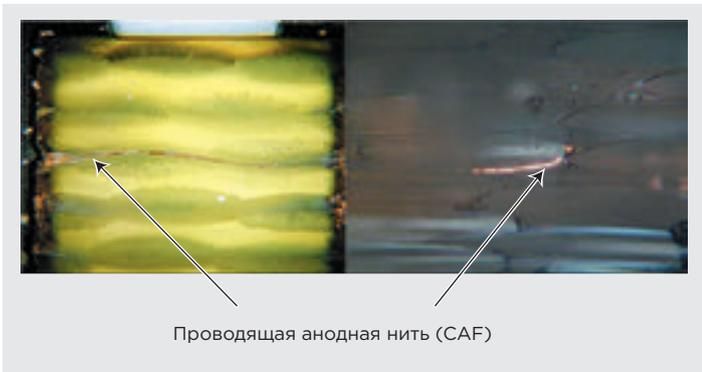
7  
Токопроводящие дорожки – дендриты – на поверхности печатных плат

лажнения. Так что одна из причин отказов аппаратуры – влага – естественно сопровождает эксплуатацию электронных устройств. Избавиться от процессов деградации изоляции можно, используя материалы, в которых отсутствуют микропоры и микрокапилляры.

Явление, которое характеризует устойчивость композиционных диэлектриков к процессам электромиграции, в международных стандартах назвали CAF: Conductive Anodic Filament – проводящая анодная нить (рис 8).



8  
Механизм образования токопроводящих дорожек в объеме печатных плат – токопроводящие анодные нити



9  
Микрошлифы отказавших на влаге печатных плат

Как это выглядит на самом деле можно увидеть на металлографических шлифах отказавших печатных плат (рис 9).

Композиционные материалы, в которых созданы условия для хорошей пропитки стеклянной пряжи и хорошей адгезией связующего со стеклом, показывают хорошие результаты на долговременную устойчивость к воздействию влажной среды (рис 10).

**Фольга**

Поскольку технологии всё дальше уходят в область высоких частот (высокая производительность электронных устройств), приходится считаться с таким



10  
Результаты испытаний композиционных фольгированных материалов фирмы Panasonic на воздействие сочетаний параметров среды: температура 85 °С, относительная влажность 85 %, напряжение поляризации – 100 В постоянного тока

**Т 3**

«Грубое» представление скин-эффекта

ЧАСТОТА	ТОЛЩИНА ПРОВОДЯЩЕГО СЛОЯ, МКМ
10 кГц	660
100 кГц	210
1 МГц	65
10 МГц	21
100 МГц	6,6
1 ГГц	2,1
10 ГГц	0,7

явлением как скин-эффект – перемещение проводимости высокочастотных сигналов в поверхностную область (рис 1 1)<sup>11</sup>. В Т 3 этот эффект показан в цифрах. Видно, что при работе на гигагерцовых частотах, свойственных сегодняшнему дню, скин-эффект уже существенен.

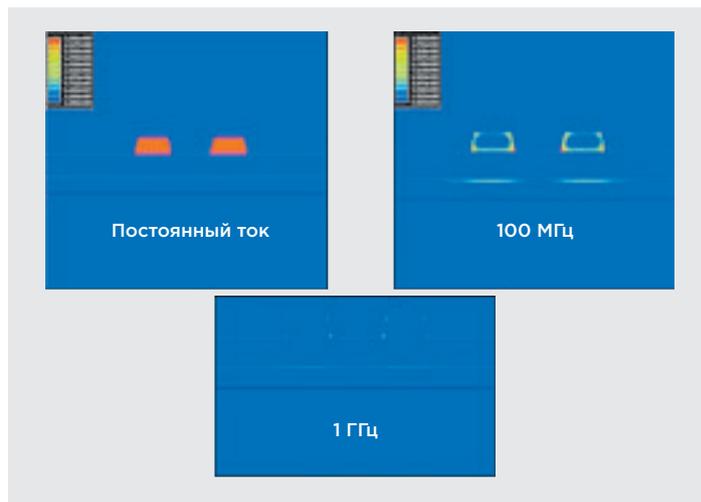
Можно видеть, что на высоких частотах размер скин-эффекта соизмерим с неровностями (шероховатостями) фольги (рис 1 2). На распространение сигнала это влияет отрицательно. Очевидно, что создать фольгу совсем без шероховатости очень трудно, к тому же шероховатость создает лучшие условия для обеспечения прочности сцепления фольги с диэлектриком. Тем не менее, применительно к материалам для СВЧ-устройств шероховатость фольги нормируют. Максимальные значения высоты профиля медной фольги согласно стандарту IPC 4562<sup>12</sup> указаны в Т 4.

### Заключение

Электронные устройства всё больше перемещаются в область СВЧ-диапазона, что требует применения соответствующих материалов. Последние разработки и предложения для рынка композиционных материалов с улучшенными диэлектрическими свойствами в сторону СВЧ позволяют производителям печатных плат оставаться в рамках базовых технологий, т.е. работать, не перестраивая существенно производство. А использование высококачественных, но более дорогих материалов снижает издержки производства, делая конечный продукт дешевле. 

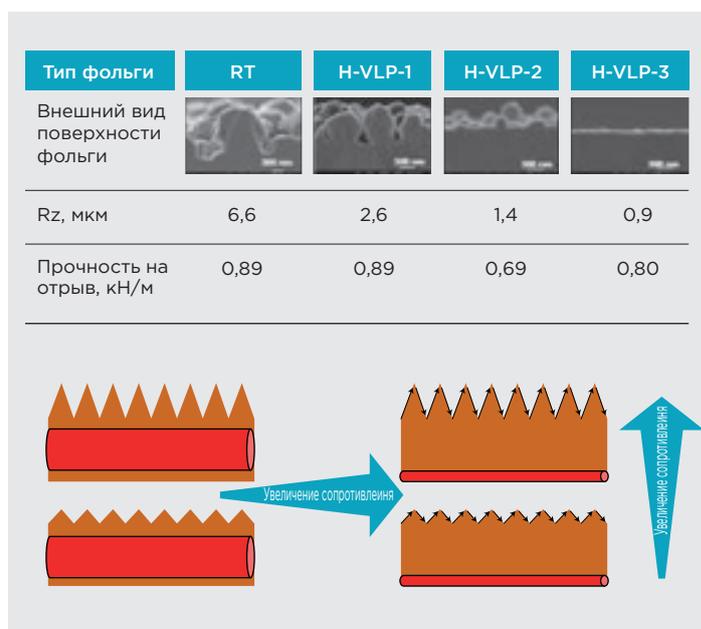
<sup>11</sup> А. Медведев. Перспективный материал для изготовления печатных плат устройств СВЧ-диапазона

<sup>12</sup> IPC 4562. Metal Foil for Printed Wiring Applications



**1 1**

Иллюстрация скин-эффекта



**1 2**

Влияние скин-эффекта на распространение сигнала

**Т 4**

Нормы на шероховатость фольги для материалов СВЧ-устройств по IPC 4562

ТИП ПРОФИЛЯ	МАКСИМАЛЬНАЯ ВЫСОТА ПРОФИЛЯ, МКМ
Стандартный профиль (S)	не обозначается
Низкий профиль (L)	10,2
Очень низкий профиль (V)	5,1