

## НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СЕРИЙНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЧ-БЛОКОВ

В последнее время вырос интерес к серийному изготовлению электронных СВЧ-блоков: антенн, усилителей СВЧ-мощности, приемников и передатчиков СВЧ-сигнала. Эти устройства применяются в радарх (в том числе системах контроля скоростного режима), базовых станциях GSM и других средствах связи, в системах контроля доступа и периметра, системах телеметрии и т.п. Трудности производства СВЧ-блоков обусловлены двумя основными особенностями, присущими данным устройствам, — это рабочие частоты в десятки гигагерц и довольно большая рассеиваемая тепловая мощность. Компания "Абрис-Технолоджи", входящая в холдинг RCM Group, предлагает новую технологию серийного изготовления СВЧ электронных блоков, позволяющую в разы увеличить эффективность производства по сравнению с традиционным подходом. Данную технологию можно без преувеличения считать технологическим прорывом.

При изготовлении СВЧ-устройств разработчики должны решить ряд проблем, связанных с потерями в линиях передачи рассеянием в материалах. В первую очередь им нужно выбрать соответствующие материалы для печатной платы, исходя из следующих важнейших параметров: диэлектрической постоянной, тангенса угла диэлектрических потерь и толщины диэлектрика. Именно эти параметры влияют на характеристики будущих электронных СВЧ-блоков. Материалы для высокочастотных печатных плат должны иметь диэлектрическую проницаемость, стабильную в широком диапазоне частот, и низкий показатель потерь в диэлектрике.

Диэлектрическая постоянная, как известно, определяет паразитную емкость линии передачи, а также скорость распространения электромагнитной волны в диэлектрическом материале. Чем выше диэлектрическая постоянная, тем медленнее распространяется сигнал, ниже волновое сопротивление и выше паразитная емкость линии передачи.

Диэлектрическая постоянная любого материала зависит от частоты. Некоторые материалы имеют достаточно малую



С. Шихов  
sergey@rcmgroup.ru

частотную зависимость, которой можно пренебречь, у других эта зависимость сильно выражена. Результатом данной зависимости является частотная зависимость волнового сопротивления, которая может вызвать рассогласование линии передачи, увеличение потерь сигнала и вывести схему из строя.

Чтобы не допустить чрезмерного влияния толщины диэлектрика на параметры СВЧ-блоков, необходим строгий допуск на толщину диэлектрика. Известно, что изменение толщины диэлектрика на 20% относительно расчетного приводит к изменению значения импеданса примерно на 12%.

Тангенс угла диэлектрических потерь определяет затухание электромагнитной волны, связанное с рассеянием в процессе распространения волны в диэлектрике. Этот параметр зависит от внутренней структуры базового диэлектрика. Видеаленадо применять материалы с минимальным данным параметром, однако материалы с очень низким значением тангенса угла потерь весьма дороги.

### БАЗОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЧ- И СВЧ-ПРИМЕНЕНИЙ

Все предлагаемые сегодня базовые материалы (материалы для оснований) можно разделить на две группы — в зависимости от типа исходного материала, а также способа построения готовой композитной структуры: материалы на основе политетрафторэтилена (тефлон, фторопласт-4, PTFE); материалы, не использующие политетрафторэтилен.

Также существуют различные варианты построения композитных структур для получения заданных электрических и механических свойств, такие как использование керамического порошка в качестве наполнителя или стекловолокна или стеклоткани для армирования материала.

Материалы на основе политетрафторэтилена (PTFE)  
Материалы на основе PTFE одними из первых появились на рынке базовых ВЧ- и СВЧ-материалов, в сегодня используются во многих областях электронной промышленности. Производство печатных плат с применением таких материалов отличается от производства плат на основе обычных стеклотекстолитов (типа



Таблица 1. Основные характеристики материала CER-10

Характеристика	Значение	Примечание
Диэлектрическая постоянная	10	10 ГГц/23°C
Тангенс угла потерь	0,0035	10 ГГц/23°C
Объемное сопротивление, МОм•см	2,1•10 <sup>8</sup>	
Поверхностное сопротивление, МОм	1,1•10 <sup>9</sup>	
Электрическая прочность, кВ/мм	44	
Предел прочности, Н/мм <sup>2</sup>	46	
Прочность на изгиб, Н/мм <sup>2</sup>	107	
Коэффициент теплового расширения, ppm/°C	13–15(X,Y)46(Z)	-55...288°C
Коэффициент теплопроводности, Вт/м/К	0,63	100°C
Влагопоглощение, %	0,02	48 ч, 50°C
Прочность фольги на отрыв, Н/мм	1,61	После пайки
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3,05	23°C
Класс горючести	94V-0	UL
Стандартные толщины, мм	0,64 0,76 1,19 1,27 1,58 1,91 2,54 3,18	

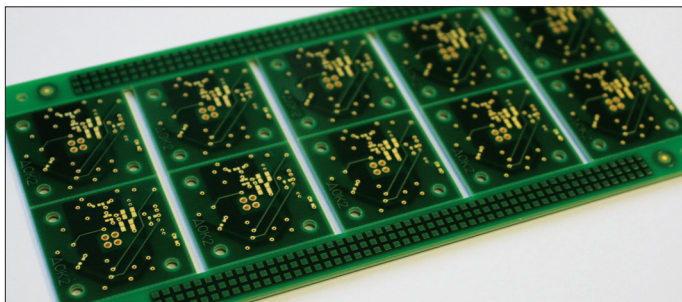


Рис. 1. Печатная плата на материалах FR4 High Tg 170 + Rogers 4003C

FR-4), однако для современного технологического оборудования данные особенности не представляют особых проблем.

В качестве примера рассмотрим материал CER-10 производства компании Taconic ([www.taconic-add.com](http://www.taconic-add.com)). Он представляет собой органически-керамический композитный материал со значением диэлектрической постоянной  $\epsilon = 10$ . Материал армирован стеклотканью, в качестве наполнителя применяется специализированная керамика. CER-10 очень устойчив к термическим воздействиям, обладает отличными однородными электрическими свойствами, а также низким влагопоглощением. В табл. 1 приведены характеристики данного материала. Материалы, не использующие политетрафторэтилен. К той же группе базовых материалов относятся, например, материалы серии RO4000 производства компании Rogers Corporation. Серия высокочастотных материалов RO4000 была разработана, чтобы, с одной стороны, обеспечить качественные СВЧ-характеристики, сравнимые с параметрами фторопласта содержащих

материалов, и, с другой стороны, максимально упростить технологию изготовления плат, совместив ее с традиционной технологией обработки армированных текстолитов (FR4).

Материалы RO4000 представляют собой армированное стекловолокно высокой температурой стеклования ( $T_d > 280^\circ\text{C}$ ) с наполнением из термореактивного полимера с добавлением керамики. В отличие от материалов на основе фторопласта (PTFE) в данном случае не требуется специальной химической или плазменной обработки поверхности при подготовке производства металлизированных переходных отверстий.

На основе этих материалов можно изготавливать как двухслойные, так и многослойные печатные платы (рис. 1), в том числе гибридные структуры (с использованием обычного FR4 для некоторых слоев).

Основные характеристики материалов серии RO4000 приведены в табл. 2.

### ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВЧ-БЛОКОВ

Надо сказать, что традиционно для изготовления в качестве материала подложки СВЧ-устройств применяют поликоробескорпусные компоненты (сrazваркой золотой проволокой) в качестве

Таблица 2. Основные характеристики базовых материалов серии RO4000

Характеристика	Значение		Примечание
	RO4003C	RO4350B	
Диэлектрическая постоянная	3,38±0,05	3,48±0,05	10 ГГц/23°C
Тангенс угла потерь	0,0027	0,0037	10 ГГц/23°C
	0,0021	0,0031	2,5 ГГц/23°C
Температурный коэффициент диэлектрической постоянной, ppm/°C	40	+ 50	-100...255°C
Объемное сопротивление, МОм•см	1,7•10 <sup>10</sup>	1,2•10 <sup>10</sup>	
Поверхностное сопротивление, МОм	4,2•10 <sup>9</sup>	5,7•10 <sup>9</sup>	
Электрическая прочность, кВ/мм	31,2	31,2	0,51 мм
Модуль упругости, МПа	26,889	11,473	
Предел прочности, МПа	141	175	
Прочность на изгиб, МПа	276	255	
Коэффициент теплового расширения, ppm/°C	11(X) 14(X)	14(Y) 16(Y)	
	46(Z)	35(Z)	-55...288°C
Температура стеклования, °C	> 280	> 280	
Температура декомпозиции, °C	425	390	
Коэффициент теплопроводности, Вт/м/К	0,64	0,62	100°C
Влагопоглощение, %	0,04	0,04	48 ч, 50°C
Прочность фольги на отрыв, Н/мм	1,05	0,88	После пайки
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,79	1,86	23°C
Класс горючести	—	94V-0	UL
Стандартные толщины, мм	0,2030,305 0,4060,508 0,8131,524	0,101 0,168 0,254 0,338 0,422 0,508 0,762 1,524	



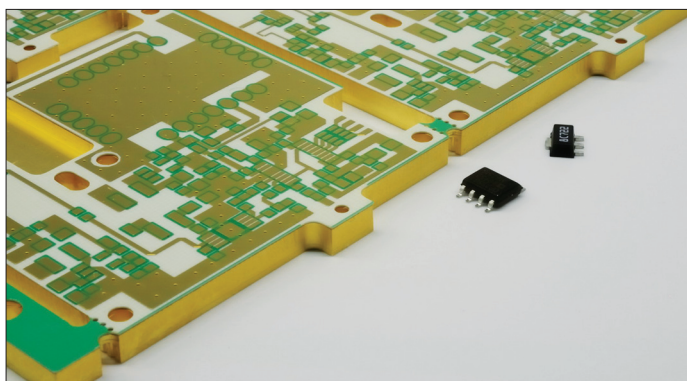


Рис. 2. Плата на материале серии Rogers

элементов схемы. Для улучшения теплоотвода с обратной стороны подложки часто располагают радиатор. Однако данная технология позволяет производить "штучный товар" и малоприменима в серийном производстве. Большой объем ручных операций, необходимый для "традиционной" технологии, увеличивает срок производства и количество брака (зачастую выход годных изделий не превышает 20%, что ведет к значительным издержкам из-за потери дорогостоящих комплектующих). А из-за плохой воспроизводимости параметров изделия приходится долго настраивать каждый блок.

Компания "Абрис-Технолоджи" предлагает новое техническое решение — уникальную технологию серийного производства электронных СВЧ-блоков с рабочими частотами 6, 12 и 24 ГГц. По этой технологии были изготовлены и успешно испытаны системы контроля скоростного режима. Инновационность технологии в том, что она кардинально меняет временные параметры изготовления электронных СВЧ-блоков.

В качестве базовых применяются высокочастотные материалы компании Rogers серии RO4000. На них выполняется двухслойная печатная плата (ПП) с металлизированными отверстиями. Обычно на верхнем слое расположены дискретные элементы изделия и элементы топологии. Сегодня точность воспроизведения элементов топологии составляет  $\pm 12$  мкм, что достаточно для большинства применений. Нижний слой ПП представляет собой сплошной полигон "земли". Металлизированные отверстия обеспечивают электрическое соединение слоев теплоотвод. Нарис. 2 приведен общий вид платы, изготовленной на материале серии Rogers.

Данная двухслойная печатная плата соединяется с теплоотводящим основанием (обычно медным) через тонкую прокладку

(препрег), обладающую хорошими тепло-и электропроводящими свойствами. Коэффициент теплопроводности для используемого препрега составляет 7 Вт/м·К, а объемное электрическое сопротивление — 0,0002 Ом/см. Соединение производится методом вакуумного прессования. Таким образом, образуется единый "сэндвич" из высококачественного базового материала и медного теплоотвода. Внешний контур может иметь достаточно сложную геометрию, возможна внутренняя фрезеровка пазов, вырезов, в том числе заданной глубины.

Для защиты от коррозии медь на поверхности ПП, а также медная подложка покрываются слоем гальванического золота (примерно 2,5 мкм толщиной), которое допускает как разварку золотой проволокой, так и пайку. Нарис. 3 приведено сечение СВЧ-платы.

В качестве дискретных элементов применяются элементы в корпусах для SMD-монтажа. Элементы в корпусах, разумеется, обладают несколькими худшими характеристиками, чем бескорпусные, однако для большинства применений это не существенно. Кроме того, SMD-элементы позволяют использовать автоматический монтаж, что существенно облегчает процесс сборки и дает значительно более воспроизводимый результат (а это в разы уменьшает время настройки готовых блоков).

Печатные платы и электронные блоки для СВЧ-применений выпускаются компанией "Абрис-Технолоджи" уже несколько лет (рис. 4). В первое время ЭБ изготавливались на двухсторонних многослойных печатных платах (МПП) из материалов Rogers серии 4000 (также использовались "гибридные" структуры МПП, объединяющие материалы Rogers с обычным FR-4 в составе единой печатной платы).

С осени 2009 года внедряется технология производства СВЧ-электронных блоков на основе материалов Rogers с медным основанием (толщина медного основания 1 и 3 мм). Платы на металлическом основании (рис. 5) обладают большой теплоемкостью, что делает вопрос обеспечения качественного монтажа электронных компонентов достаточно нетривиальным. Результаты испытаний установочной партии данных изделий полностью удовлетворили требования клиента, что доказало верность выбранного технологического решения.

Несмотря на имеющиеся недостатки базовых материалов Rogers по сравнению с традиционными материалами (например, поликором), с точки зрения технологии базовые материалы компаний Rogers, широко известные на рынке материалов ПП для высокочастотных применений, имеют значительные преимущества по характеристиками обладают достойным качеством.

Так, при использовании поликора и подобных ему материалов структура топологии элементов на поверхности ПП обычно формируется с использованием тонкопленочной технологии, что требует применения глубокого вакуума. Такое производство является весьма дорогостоящим, занимает значительное время, и выход годных изделий сравнительно небольшой. Кроме того, существуют большие трудности в соединении под-

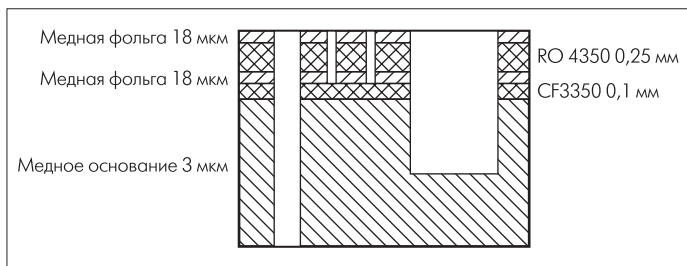


Рис. 3. СВЧ-плата в сечении

ложки из керамических материалов с металлическими теплоотводящими основаниями. Также на подобных материалах практически невозможно сделать металлизацию сквозных отверстий, а тем более создать многослойную структуру. Базовые материалы Rogers лишены этих недостатков. Более того, на основе этих материалов возможно создать "гибридную" схему, объединяющую в составе единой печатной платы как СВЧ-часть, так и низкочастотную схему управления, что сокращает время сборки и уменьшает стоимость готового изделия. Подобные решения физически невозможно применить на базе керамических материалов типа поликора.

Несмотря на существование температурной зависимости диэлектрической проницаемости (она существует для любого материала), климатические испытания СВЧЭБ, изготовленных по новой технологии, показали функциональность изделий в широком диапазоне температур (от -60 до 80 °С). Таким образом, во многих случаях данная зависимость мало влияет на характеристики конечного устройства (разумеется, ее необходимо учитывать на этапе проектирования). Кроме того, компания Rogers выпускает целую линейку термостабильных базовых материалов.

Точность изготовления элементов топологии по новой технологии "Абрис-Технолджи" составляет ±10 мкм для большинства применений этого более чем достаточно. Кроме того, применение бескорпусных элементов подразумевает изготовление или единичных, уникальных изделий (примонтаж вручную), или очень крупных серий (только тогда оправдано применение автоматизированного монтажа бескорпусных элементов). Ручной монтаж гарантирует низкую повторяемость характеристик готового изделия, а следовательно и необходимость длительной настройки каждого прибора, и высокий процент брака. В нашем случае используются SMT-элементы и традиционная технология автоматического монтажа (рис. 6). Это обеспечивает хорошую повторяемость характеристик и низкий процент брака, а также смягчает требования по геометрии контактных площадок.

Обеспечение качественного теплоотвода — одна из ключевых задач при проектировании и изготовлении электронных

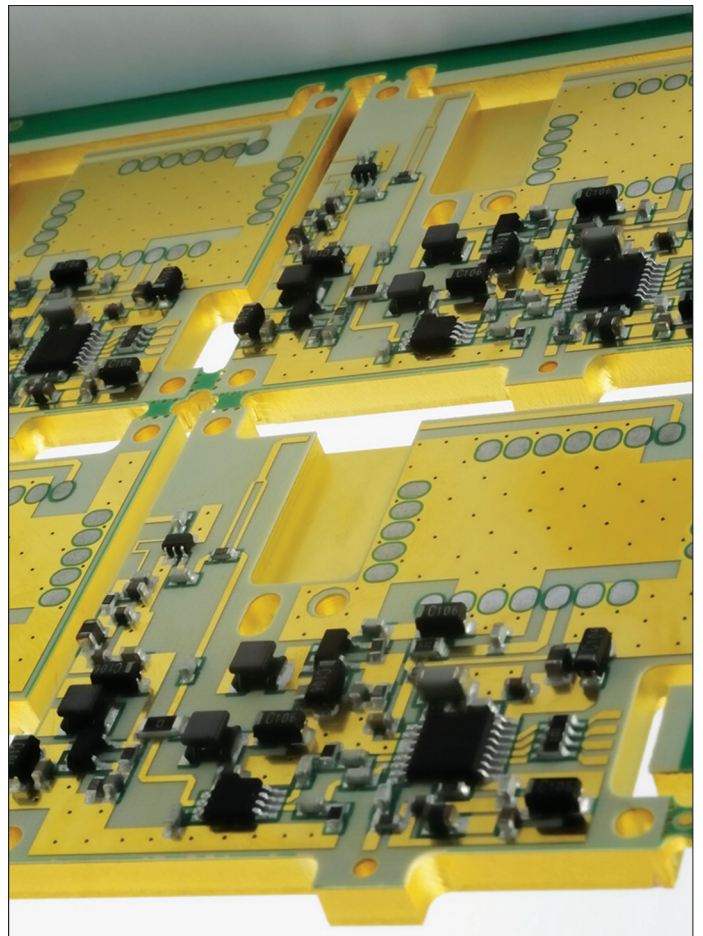


Рис. 5. СВЧ-плата с монтажом

СВЧ-блоков. Дискретные элементы, применяемые в данных изделиях, присвоив относительно небольшие размеры рассеивают достаточно большую мощность, а характеристики самих элементов, а также их ресурс и работоспособность во многом зависят от температуры.

В решении компании "Абрис-Технолджи" активные элементы выполнены в корпусах с центральной теплоотводящей площадкой (термопадом). Теплоот корпуса элемента, припаянного к базовой плате через термопад, отводится при помощи переходных отверстий (диаметром 0,2 мм) на обратную

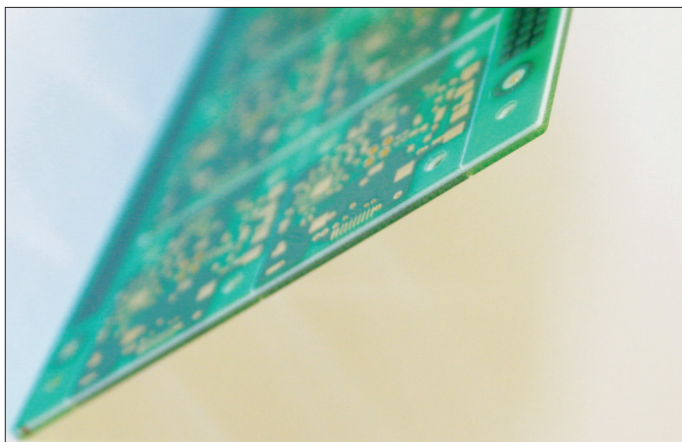


Рис. 4. Печатная плата: 6 слоев, FR4 High Tg 170 + RO4003C

ООО  
СМП



ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН  
[www.SMD.ru](http://www.SMD.ru)

электронные

## для поверхностного

монтажа

**НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК**

Корпусы, конденсаторы большой ёмкости, до 1000 мкФ

АЛЬТЕРНАТИВА ДОРОГОСТОЯЩИМ ТАНТАЛОВЫМ КОНДЕНСАТОРАМ



Москва, ул. Балтийская, 13; e-mail: [sales@smd.ru](mailto:sales@smd.ru)  
Тел.: (493) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780



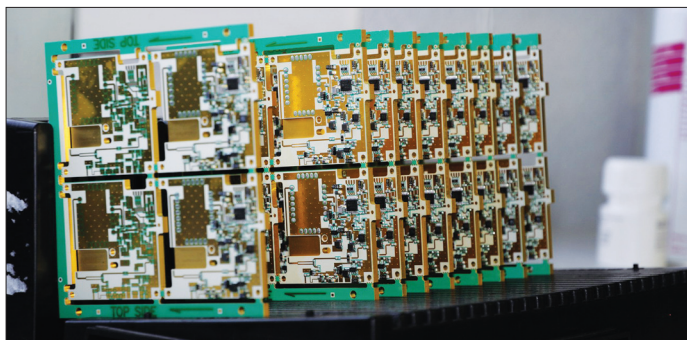


Рис. 6. СВЧ-платы с монтажом

сторонупечатнойплаты. ОбратнаясторонаПП, побольшо-мусчету, представляетсобойединныйполигон"земли". Также с обратной стороны изделия при помощи специализированногопрепрега, обладающегоотличнойтепло-иэлектропроводностью, размещаетсямедноеоснование(толщиной1или3мм), играющее роль теплоотвода. Базовую плату соединяют с меднымоснованиемметодомпрессованияввакууме в процессе изготовления подложки. В дальнейшемтеплорассеиваетсяметаллическимоснованиемэлектронногоблокана корпус готового изделия (рис.7).

Накачество теплоотвода влияет качество припрессовке медного основания, выполнения переходных отверстий, а также качество монтажа (пайки) навесных элементов. Опыт компании "Абрис-Технолджи" позволяет обеспечить необходимые тепловые характеристики готовых электронных блоков.

Особенностью печатных плат для СВЧ-применений является достаточно сложная (в отличие от традиционных ПП) геометрическая форма. Корпус готового изделия обычно представляет собой несколько объемных "резонаторов", в каждом из которых находится один функциональный блок (генератор, смеситель, усилитель и т.п.) устройства. Таким образом, печатная плата, предназначенная для установки в этот корпус, имеет контур, отличный от прямоугольного. Кроме того, зачастую требуется фрезерование углублений различной формы и размера, чтобы создать волны воды или установить ком-

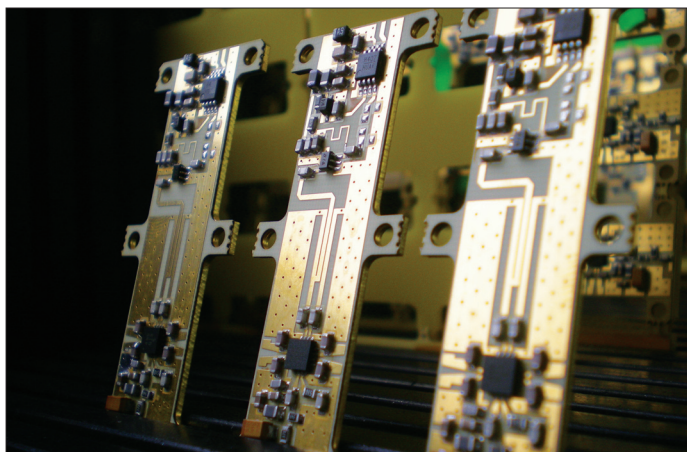


Рис. 7. СВЧ-плата с монтажом

поненты на заданную высоту. Поэтому появляется необходимость в сложной механической обработке данных плат в трех плоскостях. Надежные тепловой и электрический контакты возможны, только если качество механообработки очень высоко, т.е. требуются хорошая плоскостность и низкая шероховатость. Все процессы отработаны, обеспечивается высококачественная трехмерная механическая обработка.

Новая технология позволяет проводить гальваническое наращивание золота или никеля на данные платы (такие требования предъявляются не только для специальных применений). Обычно покрытие гальваническим золотом применяют для создания межсоединений (на самой плате или от отдельных плат между собой) методом сварки. Кроме того, это покрытие обеспечивает защиту проводящего рисунка и медного основания от климатических факторов. Пример печатной платы со сложным контуром приведен на рис.8.

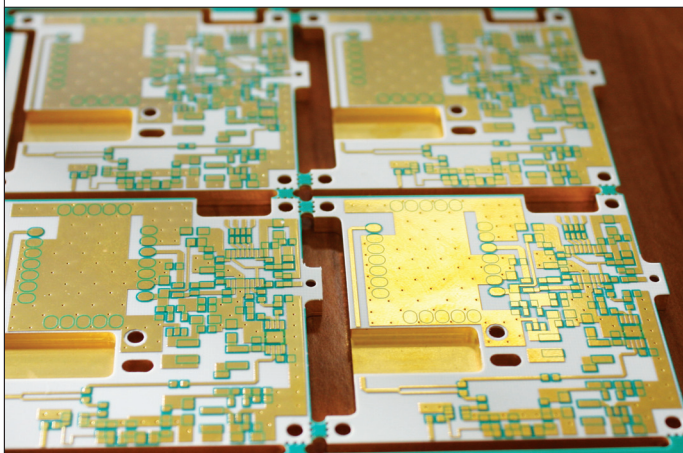


Рис. 8. Печатная плата со сложным контуром

Компания "Абрис-Технолджи" – один из ведущих контрактных производителей России – занимается поставками печатных плат любой сложности с 2001 года. На 2500 кв. м производственных и офисных площадей расположились современные линии автоматического поверхностного монтажа печатных плат с установщиками Siemens. Электронные блоки проходят электрический, функциональный, оптический и рентген-контроль, по необходимости проводятся различные испытания блоков. На каждом этапе жизненного цикла изделия обеспечивается техническая поддержка.

Компания гарантирует точность монтажа печатных плат любой сложности и объема, в том числе BGA, BGA, FlipChip, CSP, TQFP, Finepitch компонентов  $\pm 50$  мкм. Все участки обладают комплексной антистатической защитой.

Помимо основных услуг по контрактному производству компания выпускает продукцию под своей торговой маркой – источники питания и антивандальные клавиатуры.

Более подробную техническую информацию, а также все о линейку материалов можно найти на сайтах производителей базовых материалов Rogers Corporation <http://www.rogers-corp.com>, Taconic Advanced Dielectric Division <http://www.taconic-add.com>





# ЗАО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ СВЧ

Почтовый адрес: 105120 Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11  
Тел. (495)917-21-03, (495)917-25-62, факс (495)917-19-70, e-mail: mwsystems@mail.ru

**ИНТЕЛЛЕКТ. КАЧЕСТВО.**



- ПОЛНЫЙ СПЕКТР УСЛУГ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СЕРИЙНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ МОЩНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ (0,5-18 ГГц) И ДРУГИХ СВЧ УСТРОЙСТВ
- СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНОЛОГИИ
- ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА/КАЧЕСТВО

[www.mwsystems.ru](http://www.mwsystems.ru)

Некоторые серийно производимые твердотельные широкополосные СВЧ усилители:

Наименование	Тип усилителя	Δf, ГГц	Ky, дБ, тип.	Ky, дБ, не более	P <sub>н</sub> , Вт, тип.	P <sub>н</sub> , Вт, тип.	Kш, дБ, не более	KСВН, не более	Примечание
PM12-08-1	Мощный	1-2	47	3	16	24	-	2	
PM24-08	Мощный	2-4	40	3	20	26	-	2	
PM31-04MC	Мощный	2-4	30	3	10	12	-	2	
AB10M	Мощный	4-8	38	3	7	8-12	-	2	
PM46-1 <b>нов!</b>	Мощный	4-8	42	4	2,2	2,5	-	2	Цифровое управление усилителем
PM18-1 <b>нов!</b>	Мощный	8-18	36	6	-	1,8	-	2,5	Цифровое управление усилителем
A303	Мощный	2-4	37	2	2,5	3,5	-	2	
PMCB16-82	Мощный	0,8-1,6	40	4	-	100	-	2	
MSPA-1010-28	Предварительный	1-1	35	4	0,8	1,6	-	2,5	
MSPA-1020-28	Предварительный	1-2	39	3	0,4	0,6	-	2	
MSPA-2040-20	Предварительный	2-4	35	3	0,8	1,8	-	2	
MGLA2-20100-4,0	Малошумящий	2-18	28	4	0,01	-	4	2,5	
Серия HV	Малошумящие	2-18	30-35	5	0,01-0,05	-	4-5	2,5	В т.ч. HV

Усилители имеют термостатную конструкцию, встроенные стабилизаторы питания, температурную компенсацию усиления (температурные изменения усиления не более 1,5 дБ в диапазоне от -50 до +75 градусов Цельсия), возможность импульсного режима (опция), встроенный детектор выходной мощности (опция).

СВЧ усилители, находящиеся в разработке или осваиваемые в производстве в 2010 году:

Наименование	Тип усилителя	Δf, ГГц	Ky, дБ, не менее	Ky, дБ, не более	P <sub>н</sub> , Вт, тип.	KСВН, не более	Срок окончания ОКР
PM412-3	Мощный	4-12	40	5	8	2,5	2010
PM118-4	Мощный	8-18	36	5	5	2,5	2011
PM0625 G2	Мощный	0,8-2,5	35	4	25	2,5	2010
PM0825 G4	Мощный	0,8-2,5	40	4	50	2	2010
PM24-G2	Мощный	2-4	35	4	20	2	2010
PM24-G4	Мощный	2-4	40	4	40	2	2011

