

ФОРМ-ФАКТОР РАДИОЧАСТОТНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Часть 1

Выбор того или иного форм-фактора и технологии корпусирования РЧ-компонента определяется необходимыми параметрами изделий, материалами и серийностью. Об этом и пойдет речь в статье.

ВВЕДЕНИЕ

На начальном этапе разработки РЧ-компонентов важны два связанных процесса: выбор его форм-фактора и выбор способа корпусирования компонента.

• **Форм-фактор (ФФ)** — конструктивная характеристика технического изделия, описывающая некоторую совокупность его ключевых технических параметров, например габаритные размеры, форму, положение и типы дополнительных элементов (выводов, соединителей), размещаемых на изделии, их положение и ориентация, требования к вентиляции, напряжениям и прочие параметры.

• **Корпусирование РЧ-компонентов** — завершающая стадия их производства. При производстве ИС в процессе корпусирования полупроводниковый кристалл устанавливается в корпус. Обычно процесс корпусирования ИС состоит из этапов прикрепления кристалла на основание или носитель кристалла, электрического соединения контактных площадок кристалла с выводами корпуса и при необходимости герметизации корпуса. Затем следует окончательное тестирование РЧ-компонентов. Нужно отметить, что корпусирование электронных устройств — одна из наиболее трудоемких и дорогостоящих операций, особенно при разработке аппаратуры специального назначения — военного и космического.

Выбор того или иного форм-фактора и технологии корпусирования РЧ-компонента определяется необходимыми параметрами изделий, материалами и серийностью.

В современной электронной технике для спецприменений все более отчетливо прослеживается **тенденция миниатюризации и интеграции**. В отличие от дискретной цифровой техники, в которой до последнего времени интеграция в основном наблюдалась на уровне кристаллов, в комплексных системах, где в одном устройстве могут быть соединены цифровые и аналоговые ИС, пассивные компоненты, микроэлектромеханические МЭМС и микрооптоэлек-

тромеханические системы МОЭМС, СВЧ приемопередающие устройства, эти процессы идут практически параллельно как на кристалльном уровне, так и на уровне гибридных интегральных схем (ГИС) и систем в корпусе (СВК). Еще недавно типовые конструкции электронных РЧ-модулей выполнялись на основе печатной платы с устанавливаемыми на ней припаянными стандартными компонентами или с помощью наборов компонентов на поликорковых, ситалловых подложках, размещенных в массивном металлическом корпусе и соединенных между собой паянными или сварными соединениями с использованием отечественной элементной базы. Такие варианты выполнения РЧ-компонентов устраивали потребителей в области авионики, аэрокосмической техники и мобильных приложений. Но сегодня, с появлением новых технологий корпусирования, идет быстрая замена данного сегмента электроники на современную компонентную базу [1].

Корпусирование маломощных СВЧ-микросхем на уровне полупроводниковой пластины имеет ряд существенных достоинств. В случае сложных схем — это повышение степени интеграции и многофункциональности при снижении объема, массы и стоимости устройств; в случае однофункциональных схем — возможность миниатюризации аппаратуры в условиях массовой сборки. Во всех случаях сформированные на пластине корпуса позволяют значительно повысить рабочую частоту и расширить частотный диапазон СВЧ-микросхем.

Однако нередко не все составные части компонента требуют корпусирования, а только его наиболее чувствительные микроэлектронные компоненты — например, СВЧ монолитные схемы (МИС). Как правило, корпусированные компоненты отличаются высокой **механической прочностью** и хорошим **теплоотводом**. Еще одна характеристика — **влагостойкость** корпусированных приборов соответствует первому уров-

ню стандартных требований к влажности, это допускает их длительное хранение и надежное использование при автоматизированной сборке на линиях монтажа. Площадки под пайку расположены на нижней поверхности корпуса и не требуют никаких дополнительных соединений. Согласованные с 50-омной линией, РЧ-компоненты помимо систем связи могут использоваться и в военной технике.

Современные технологии 3D-интеграции в производстве РЧ-компонентов позволяют эффективно улучшить массогабаритные характеристики электронного узла не столько за счет повышения степени интеграции компонента, сколько за счет совершенствования технологий, внедрения новых материалов и конструкций пассивных компонентов, плат, оптимизации расположения и свойств элементов, коммутационной составляющей системы. Наиболее перспективными направлениями в этой области представляются технологии формирования многослойных структур со встроенными во внутренние слои пассивными компонентами RLC, а также каналами охлаждения, локальными столбиковыми теплоотводами, МЭМС и МОЭМС, выполненными с применением низкотемпературной LTCC-керамики и современных полимеров на основе фторопласта и металлоорганических соединений, в том числе гибких [1]. Эффективным в таких случаях является встраивание в техпроцесс блоков тонкопленочной технологии для СВЧ-компонентов.

Гибкость и свобода дизайна, которые в полной мере реализуются на базе трехмерных 3D-технологий, позволяют легко изменять изделие во время проектирования или в процессе производства. При правильном выборе форм-фактора и технологии корпусирования основные характеристики РЧ-компонента — его линейные размеры, положение, геометрия — могут быть изменены в процессе опытного производства, что значительно сокращает сроки перехода от прото-

типа к реальному действующему образцу. Более того, в этом случае даже в ходе серийного изготовления можно оперативно вносить изменения без кардинальной перестройки технологического процесса.

Каждый сегмент рынка имеет собственные показатели уровня технологий в определенный период времени и свою специфику, определяющую стратегию организации соответствующих производств. Очевидно, что организация производства изделий потребительской электроники существенно отличается от производства компонентов для автомобильной электроники, изделий военного и космического назначения и, тем более, компонентов медицинской техники. Из-за отсутствия полной информации о современных вариантах форм-факторов и способов корпусирования компонентов при создании новых производств иногда закладываются не самые оптимальные модели из других сфер их применений, что может приводить к существенному снижению эффективности работы создаваемого производства [1].

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящее время различные РЧ-компоненты представлены на рынке большим числом вариантов конструктивного выполнения. Все большее распространение в наборе их характеристик и параметров получает во многом неопределенный и размытый термин «форм-фактор».

В самом общем смысле, «**форм-фактор**» — некая общая характеристика компонента, которая задает определенный набор его параметров, прежде всего, касающихся его конструктивного исполнения.

Зачастую форм-фактора необходимо придерживаться при разработке и производстве компонента, прежде всего, для обеспечения возможности использования продукта совместно с изделиями различных производителей.

Следует отметить, что применительно к персональным компьютерам (ПК) эта характеристика используется давно и проработана наиболее детально. Отдельные компоненты системного блока и элементы его корпуса должны быть изготовлены в соответствии с единым стандартом, которым и становится форм-фактор ПК, иначе они по-

просту не смогут работать совместно. Некоторые требования форм-фактора ПК обязательны для производителей, другие, как, например, выполнение системы охлаждения, могут быть продуктом индивидуального решения производителя. Детальные спецификации большинства форм-факторов ПК разрабатывает компания Intel.

Как правило, форм-фактор носит рекомендательный характер. Нормативные документы форм-фактора, если они существуют, определяют его обязательные и дополнительные характеристики. Некоторые производители могут не следовать спецификациям форм-фактора, намеренно игнорируя совместимость, другие крупные производители предлагают свои спецификации или вводят рекомендации. Однако подавляющее большинство компаний-изготовителей предпочитает соблюдать стандартные спецификации, поскольку ценой соответствия существующим нормативным документам является совместимость компонентов с изделиями других производителей в будущем.

Термин «форм-фактор» употребляется применительно к техническим изделиям: оборудованию связи, абонентским устройствам, корпусам компьютеров и их компонентам, радио- и электронным компонентам. Далее в работе излагается ряд соображений о разнообразии и применимости форм-факторов РЧ-компонентов. В оборудовании систем связи достаточно широкое распространение получили названия форм-факторов мобильных телефонов: «моноблок», «слайдер», «раскладушка», которые не задают при этом никаких строгих стандартов.

Основываясь на анализе приводимых в различных источниках определениях, можно дать такое обобщенное определение, которого будем придерживаться далее:

Форм-фактор (*Form Factor*) — конструктивная характеристика технического изделия, описывающая некоторую совокупность его ключевых технических параметров, например габаритные размеры, форму, положение и типы дополнительных элементов (выводов, соединителей), размещаемых на изделии, их положение и ориентацию, требования к вентиляции, напряжениям и прочим параметрам.

Отдельные организации или объединения производителей осуществляют де-

ятельность, направленную на разработку и установление требований, норм, правил, обязательных и рекомендуемых для применения характеристик, то есть стандартизацию определенных форм-факторов. Для таких ситуаций целесообразно применить несколько другое определение:

Форм-фактор — стандарт, задающий габаритные размеры технического изделия, описывающий дополнительные совокупности его технических параметров, например форму, типы дополнительных элементов, размещаемых в устройстве на нем, их положение и ориентацию.

Анализ достижений и тенденций развития электронной техники показывает, что все более отчетливо прослеживается тенденция **миниатюризации** и **интеграции** компонентов. Еще одной тенденцией этого развития является переход ряда устройств телекоммуникационных систем в мобильный или портативный вариант. И наконец, создаются комплексные системы все более высокой степени интеграции, где в одном электронном устройстве могут быть соединены цифровые, аналоговые, пассивные и МЭМС-компоненты, СВЧ приемопередающие устройства. Перечисленные процессы в таких системах идут параллельно как на уровне разработки чипов (кристаллов), так и на уровне создания систем в корпусе (SIP).

В силу этих обстоятельств можно отметить, что в сообществе производителей электронной техники постоянно происходит выделение новых форм-факторов, отчасти связанное с введением новых стандартов, но в основном вызываемое совершенствованием как РЧ-технологий, так и развитием процессов производства радиоэлектронных средств.

В этом процессе важным моментом является **установление границы** между форм-фактором РЧ-компонента и вариантом корпуса, видом технологии изготовления или корпусирования.

Классификация и названия различных видов ФФ компонентов далее приведены в соответствии со сложившейся в настоящее время в сообществе специалистов практикой их применения.

Анализ интернет-ресурсов и баз поисковых систем РЧ- и микроволновых компонентов позволяет заключить, что на рынке представлены РЧ-компоненты

Таблица 1. Устоявшиеся форм-факторы РЧ-компонентов

РЧ-компоненты	Приборы	СВЧ ИС	Усилители
Коаксиальные модули (Module with Connectors, Connectorized); Поверхностный монтаж (Surface Mount SMD); Вставной плагин (Plug-In); Волноводный (Waveguide); Монтаж в отверстия платы (Dip); Некорпусированный (Die); РЧ-вставки (Drop In)	Портативный (Portable); Настольный (Benchtop, Bench Top); Стоечный (Rack Mounted, Rackmount); Носимый (Handheld); Модули PXI, VXI	РЧ-вставки (Drop-in); Поверхностный монтаж (Surface Mount SMD); ИС с массивом шариков BGA; Одночиповый (Single-chip); Многочиповый (Multi-chip Multilayer)	Модульный (Module); СВЧ МС (IC / MMIC); Волноводный (Waveguide); Некорпусированный (Die); Паллеты (Pallet); Системы и подсистемы РЧ-усилителей (RF Amplifier System / Sub System)

со следующими устоявшимися и наиболее часто применяемыми форм-факторами (таблица 1).

Примером **комплексной проработки форм-факторов** может служить разработка комплекса оборудования Объединенной системы тактической радиосвязи США JTRS (*Joint Tactical Radio System*) [2]. В процессе этой разработки проведено радикальное упрощение различных форм-факторов в военной электронике США, в первую очередь в радиоустройствах и оборудовании шифрования. Оборудование JTRS является программно определяемым радиооборудованием SDR (*Software Defined Radio*), в котором многие из электронных компонентов, и даже фундаментальные методы обработки сигналов, такие как использование супергетеродинных архитектур, заменено компьютерно управляемыми цифровыми сигнальными процессорами DSP. Первоначально определенные для использования в военных целях 26 различных форм-факторов архитектур оборудования JTRS были сокращены до 13:

- Ground Mobile Radio (GMR);
- Multifunctional Information Distribution System for JTRS (MIDS-J);
- Manpack;
- Handheld;
- Airborne, Maritime and Fixed Site Small Airborne (AMF-SA);
- AMF-MF (Maritime/fixed site);
- Small form factor (SFF) A&H — for Intelligent Munitions Systems and Unattended Ground Sensors (UGS) in the Future Combat Systems (FCS);
- SFF B, C and I (for Ground Soldier Systems);
- SFF D (for aerial systems);
- SFF J (for Networked Missile Launcher System in FCS).

Мини-гlossарий

Полезным для понимания сути обзора может быть приведение ряда определенных, постоянно используемых с незначительными вариациями в профессиональной среде:

Компонент — неделимая составная часть электрического или радиоэлектронного изделия, имеющая самостоятельное функциональное назначение, как, например, микросхема, транзистор, резистор, конденсатор, соединитель и т.д.

Компонент — это устройство, части которого находятся в конструктивном единстве и функциональной взаимосвязи.

Стандарт ГОСТ Р 52003–2003 [3] устанавливает ряд терминов, отражающих систему понятий в области уровней разуплотнения радиоэлектронных средств

по функциональной и конструктивной сложности:

- **Радиоэлектронная система; РЭС-система.** Радиоэлектронное средство, представляющее собой функционально законченную совокупность радиоэлектронных комплексов и устройств, обладающее свойством перестроения своей структуры для рационального решения тактических и/или технических задач при изменении условий эксплуатации.
- **Радиоэлектронный комплекс; РЭК.** Радиоэлектронное средство, представляющее собой функционально законченную совокупность радиоэлектронных устройств, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, выполненное с использованием интерфейсов и обладающее свойством перестроения своей структуры для сохранения работоспособности при решении тактических и/или технических задач в различных условиях эксплуатации.
- **Радиоэлектронное устройство; РЭУ.** Радиоэлектронное средство, представляющее собой совокупность функционально и конструктивно законченных сборочных единиц и используемое для решения технической задачи в соответствии с его назначением. Радиоэлектронное устройство реализует функции передачи, приема и преобразования информации.
- **Радиоэлектронный функциональный узел; РЭФУ.** Радиоэлектронное средство, представляющее собой функционально и конструктивно законченную сборочную единицу, выполняющую радиотехническую и/или электронные функции (ию) и не имеющее самостоятельного применения.
- **Шкаф РЭС.** Радиоэлектронное устройство, представляющее собой совокупность входящих в него электронных устройств и устройств, без которых невозможна его эксплуатация, выполненное на основе несущей конструкции третьего уровня.
- **Блок РЭС.** Радиоэлектронное устройство или радиоэлектронный функциональный узел, выполненный на основе несущей конструкции первого или второго уровня.
- **Ячейка РЭС.** Радиоэлектронное устройство или радиоэлектронный функциональный узел, выполненный на основе несущей конструкции первого уровня.
- **Электронный модуль; ЭМ.** Конструктивно и функционально законченное радиоэлектронное устройство или радиоэлектронный функциональный узел, реализованный в модульном или магистрально-модульном (шинная связь модулей) исполнении с обеспечением конструктивной, элек-

трической, информационной совместности и взаимозаменяемости.

Приведем еще ряд аббревиатур, используемых в специальной литературе по данной тематике:

- **AAP (Area Array Packaging)** — корпус РЧ-компонента, в котором любая часть площади поверхности может использоваться для создания соединения, а не только пространство по внешнему периметру;
- **BOM (Bill Of Material)** — ведомость материалов, представляющая собой полный список сборочных узлов, деталей или материалов, которые используют при выпуске промышленного изделия, с указанием необходимого количества по каждой позиции [4];
- **COTS (Commercial off the Shelf)** — готовые коммерческие изделия;
- **MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit)** — СВЧ интегральная схема (СВЧ ИС);
- **NRE (Non-Recurring Engineering)** — единовременные затраты на проектирование;
- **SWaP (Size, Weight and Power)** — размер, вес и энергопотребление;
- **SWAP-C (Size, Weight, Power and Cost)** — размер, вес, энергопотребление и стоимость.

КОРПУСИРОВАНИЕ РЧ-КОМПОНЕНТОВ

Одной из наиболее важных характеристик РЧ-компонента, зачастую определяющей его форм-фактор, является вид его корпуса. Ряд компаний вообще использует вид корпуса ИС как основной классификационный признак форм-фактора компонента.

Корпусирование электронного компонента, в процессе которого компонент размещается в корпусе, является завершающим этапом микроэлектронного производства. Корпусирование интегральных схем состоит из ряда этапов: прикрепления кристалла на основание или его носитель, электрического соединения контактных площадок кристалла с выводами корпуса, герметизации корпуса и финального тестирования ИС.

Корпуса большинства советских ИМС соответствовали требованиям ГОСТ 17467–72 (позже ГОСТ 17467–88), который предусматривал четыре типа корпусов.

В настоящее время при корпусировании РЧ-компонентов российские специалисты руководствуются рядом стандартов:

- ОСТ 11 073.915–2000 «Микросхемы интегральные. Классификация и система условных обозначений».
- ГОСТ Р 54844–2011 «Микросхемы интегральные. Основные размеры».

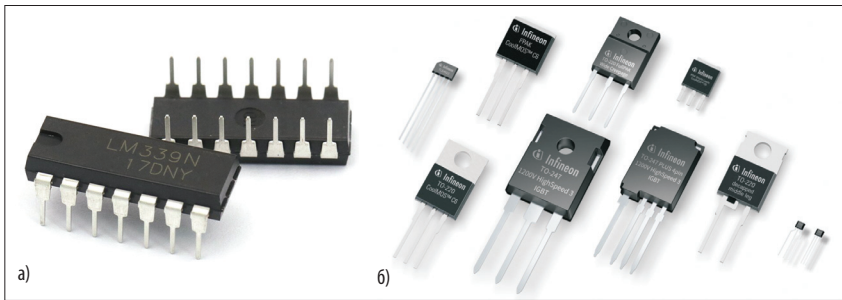
- ГОСТ 19480–74 (с изменениями 1985 г.) «Микросхемы интегральные. Термины, определения и буквенные обозначения электрических параметров».
- ГОСТ 17467–79 «Микросхемы интегральные. Основные размеры».
- ГОСТ 17467–72 «Микросхемы интегральные. Корпуса, типы и размеры».
- ГОСТ 17467–88 (СТ СЭВ 5761–86) «Микросхемы интегральные. Основные размеры».
- ГОСТ 18725–83 «Микросхемы интегральные. Общие технические условия».

В общеупотребляемой отечественной классификации **по конструктивно-технологическому признаку** различают корпуса:

- металлокерамические (керамическое основание, соединенное с металлической крышкой с помощью сварки, выводы изолированы стеклом);
- металлополимерные (подложка с элементами и выводами помещается в металлическую крышку, после чего осуществляется герметизация путем заливки компаундом);
- металлокерамические (керамическое основание, соединенное с металлической крышкой с помощью сварки или пайки);
- керамические (керамическое основание и крышка, соединенные между собой пайкой);
- пластмассовые (пластмассовое основание, соединенное с пластмассовой крышкой опрессовкой).

Каждый вид корпуса характеризуется габаритными и присоединительными размерами, числом выводов и расположением их относительно плоскости основания корпуса.

- **Планарные выводы ИС** — выводы, которые лежат в плоскости основания корпуса. Планарные выводы по сечению, как правило, прямоугольные.
- **Штыревые выводы ИС** — выводы, которые перпендикулярны плоскости основания корпуса. Штыревые выводы



▲ **Рис. 1.** Классический корпус DIP ИС для монтажа в сквозные отверстия печатных плат и THT-компоненты компании Infineon Technologies

по сечению, как правило, круглые или прямоугольные.

Наиболее востребованными корпусами для интегральных микросхем являются [5]:

- корпуса микросхем типа 4 по ГОСТ P54844 (тип CLCC);
- корпуса типа 4 по ГОСТ P54844 (тип CQFP);
- корпуса микросхем типа 4 по ГОСТ P54844 (тип CFP);
- корпуса для интегральных микросхем типа 4 тип по ГОСТ P54844 (тип FP);
- корпуса для микросхем типа 2 по ГОСТ P54844 (тип ФПЗС);
- корпуса микросхем типа 2 по ГОСТ P54844 (DIP-);
- корпуса микросхем типа 4 по ГОСТ P54844 (тип DLCC);
- корпуса микросхем типа 6 по ГОСТ P54844 (тип uPGA);
- корпуса микросхем типа 8 по ГОСТ P 54844–2011 BGA (LGA);
- корпуса микросхем типа 8 по ГОСТ P54844 (тип DBGA/DLGA).

КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ МОНТАЖА В СКВОЗНЫЕ ОТВЕРСТИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ THT

При использовании технологии монтажа в сквозные отверстия печатных плат THT (*Through Hole Technology*) выводы компонентов вставляются в предварительно проделанные отверстия печатной платы, а затем припаиваются к металлизированным от-

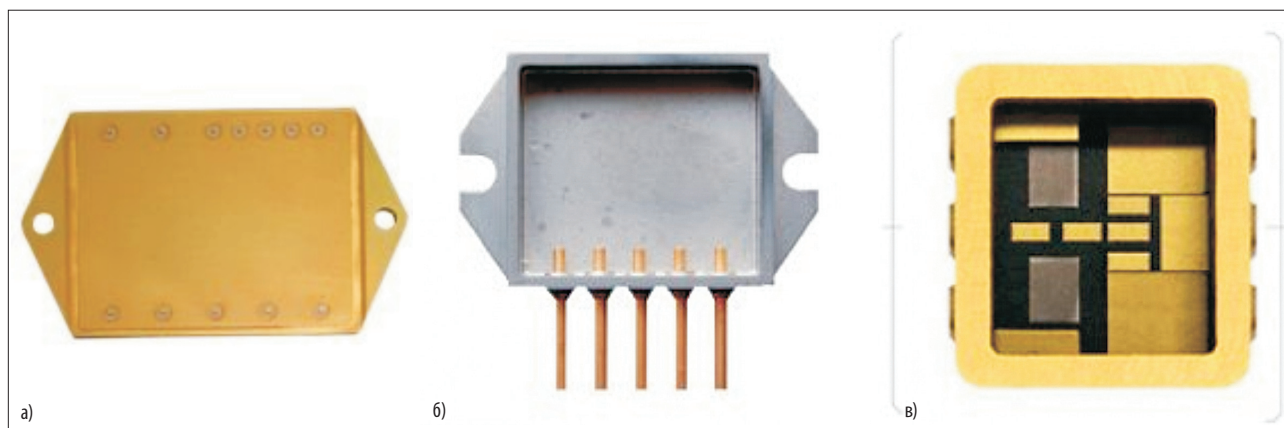
верстиям или расплавляются на противоположной стороне платы [6, 7]. Данную технологию называют также выводным, штырьковым, навесным, сквозным или DIP-монтажом (рис. 1).

Технология монтажа в отверстия применяется сейчас в электронных устройствах, в которых используются компоненты с большими массогабаритными показателями, силовых блоках и блоках питания, а также в изделиях с повышенными требованиями к надежности, подвергающихся большим механическим нагрузкам. Она предназначена для монтажа компонентов в DIP-корпусах, электролитических и подстроечных конденсаторов, силовых компонентов, реле, соединителей, переменных резисторов, панелей ИМС и т. д.

Технология монтажа в отверстия активно применяется в условиях единичного и мелкосерийного многономенклатурного производства, где из-за частой смены выпускаемых моделей автоматизация процессов монтажа неактуальна.

Анализ информационных материалов Интернета и публикаций компаний-производителей показал, что основными типами корпусов THT-компонентов, **применяющимися для монтажа в сквозные отверстия** печатных плат в настоящее время, являются:

- SIP (Single in-line package) — многывыводной корпус с однорядным расположением штыревых выводов;



▲ **Рис. 2.** Металлокерамические корпуса PP5452-12(a), МК FPP2522-05 (б) и корпус для микросхем (в) 2141.06-A 2 (тип DIP), производимые компанией «Тестрибор»

- DIP (Dual in-line package) — корпус с двухрядным расположением штыревых выводов;
- CDIP (Ceramic DIP, CerDIP) — керамический DIP-корпус;
- CerDIP (Ceramic Dual In-line Package, glass seal) — DIP-корпус, герметизированный стеклом керамический корпус с двурядным расположением штыревых выводов;
- QIP (Quadruple in-line package) — корпус с двусторонним четырехрядным (зигзагообразным) расположением выводов;
- SDIP (Skinny DIP) — тонкий DIP-корпус;
- ZIP (Zig-zag in-line package) — плоский корпус с зигзагообразно расположенными шахматном порядке выводами;
- MDIP (Molded DIP) — литой DIP-корпус микросхемы;
- PDIP (Plastic DIP) — пластиковый DIP-корпус;
- SPDIP (Shrink Plastic DIP) — сжатый пластиковый DIP-корпус;
- FDIP (Windowed Frit-Seal DIP) — корпус с окошком для записи информации;
- HDIP (Heat-dissipating DIP) — теплоотсеивающий DIP-корпус.

На рис. 2а показан металлокерамический корпус PP5452-12, выпускаемый российской компанией «Тестприбор» — 12-выводной металлокерамический корпус для гибридных схем, многокристалльных модулей, фильтров, сенсоров. Выводы выполнены из материала ковар, в качестве изолятора используется оксид алюминия (Al₂O₃). Корпус представляет собой плоскую платформу с вертикальным расположением выводов. Там же на рис. 2б приведено изображение металлокерамического корпуса FPP2522-05 с пятью изолированными выводами. Основным способом монтажа этих корпусов является **монтаж в отверстия печатных плат**.

Металлокерамический 6-выводной корпус, также выполненный компанией «Тестприбор», предназначен для микросхем 2141.06-A типа 2 по ГОСТ Р 54844-2011 с выводами, расположенными по двум длинным сторонам перпендикулярно плоскости основания (рис. 2в). Все открытые металлизированные поверхности и металлические части основания корпуса имеют антикоррозионное золотое покрытие. Габаритные размеры тела корпуса — не более 8,60×7,54×4,22 мм.

Достаточно редко компании относят производимые компоненты к классу **сборок с монтажом в сквозные отверстия (Thru-hole assembly)**. На рис. 3 показан предлагаемый компанией Tyco Electronics промышленный соединитель ввода/вывода (*Industrial Mini I/O*)



▲ Рис. 3. Промышленный соединитель ввода-вывода Tyco Electronics

Connector System) в конфигурации **сборки с монтажом в сквозные отверстия**.

В настоящее время технология монтажа в отверстия уступает свои позиции более прогрессивной технологии поверхностного монтажа, в особенности при массовом и крупносерийном производстве изделий.

КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА SMT

При необходимости сокращения размера и улучшения эффективности производства комплексных систем диапазона СВЧ и ММВ, специалисты могут использовать технологии поверхностного монтажа SMT (*Surface Mount Technology*).

В стандарте ГОСТ Р 50044-2009 [8] применены следующие термины с соответствующими определениями:

- **поверхностный монтаж** — электро-монтаж изделий на поверхность печатной платы с подсоединением токоведущих элементов изделий к контактным площадкам печатной платы.
- **изделие электронной техники для поверхностного монтажа** — изделие электронной техники, конструкция которого обеспечивает его электро-монтаж на контактные площадки, расположенные на поверхности печатных плат.

Компоненты для технологии поверхностного монтажа SMT устанавливаются на печатную плату с помощью пайки выводов компонентов к верхней поверхности платы на стороне монтажа компонентов без использования сквозных отверстий в печатной плате.

Компоненты для поверхностного монтажа называют также планарными компонентами, чип-компонентами, SMC (*Surface Mounted Components*), SMD (*Surface Mounted Device*) и SMT (*Surface Mounted Technology*) компонентами.

По форме, конструкции выводов и их числу изделия подразделяют на ряд групп [8]:

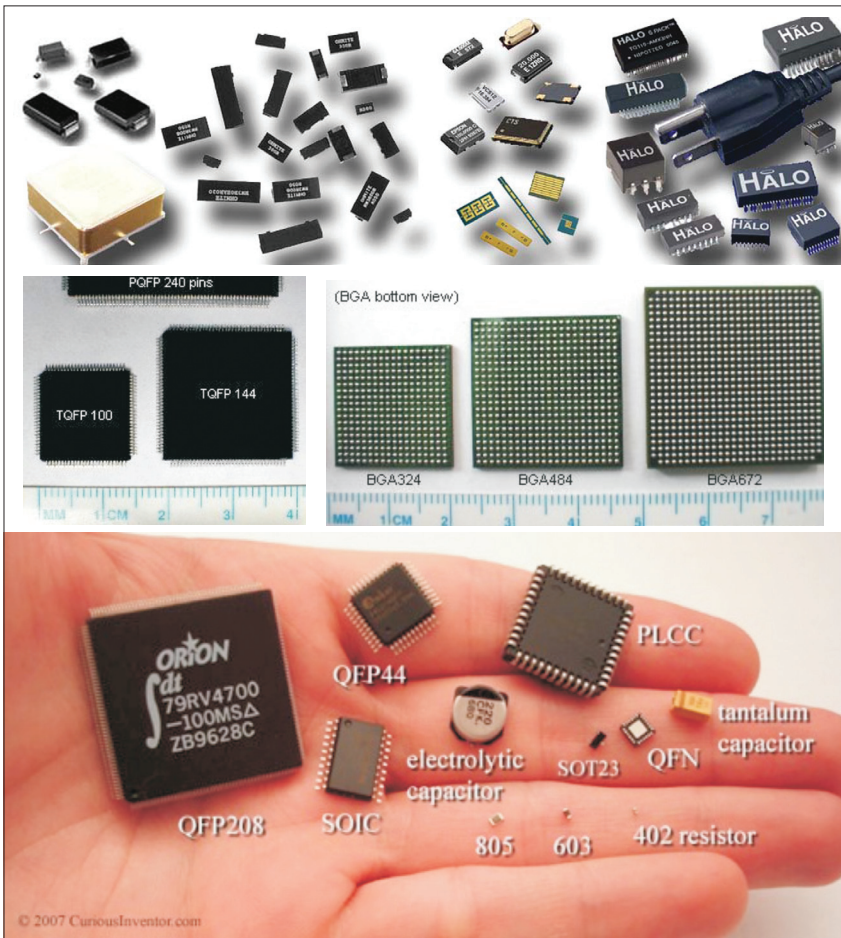
- прямоугольной формы с выводами в виде двух, трех или четырех контактных площадок;
- прямоугольной формы многовыводные с выводами в виде контактных площадок;
- прямоугольной формы выводные с жестко отформованными выводами;
- цилиндрической формы с выводами в виде металлизированных торцов и (или) контактных металлических или металлизированных колпачков;
- сложной формы с двумя, тремя или четырьмя жестко отформованными выводами или выводами в виде контактных площадок;
- сложной формы многовыводные с жестко отформованными выводами.

Технологию **поверхностного монтажа** печатных плат также называют ТМП- (технологией монтажа на поверхность), SMT- и SMD-технологией. Основное ее отличие от технологии монтажа в отверстия состоит в том, что компоненты монтируются на поверхности печатной платы, что уменьшает количество операций и увеличивает скорость и качество производства плат.

Промышленное **оборудование установки компонентов поверхностного монтажа (pick-and-place)** может быстро монтировать SMT-компоненты, точно и экономически эффективно. Технология SMT является широко используемой альтернативой процессам монтажа, при которых вставляют выводы или клеммы через отверстия и расплавляют на месте с противоположной стороны платы.

Основными типами корпусов компонентов, **применяющимися для поверхностного монтажа** в настоящее время, являются (рис. 4):

- QFP (*Quad Flat Package*) — квадратный корпус с планарными выводами с четырех сторон;



▲ Рис. 4. Примеры SMT-компонентов

- LCC (*Leadless Chip Carrier*) — керамический корпус, не имеющий выводных контактов;
- QFN (*Quad Flat No leads*) — квадратный пластиковый корпус, не имеющий выводных контактов;
- SOIC (*Small Outline Integrated Circuit*) — прямоугольный корпус с двумя рядами выводных контактов;
- BGA (*Ball Grid Array*) — прямоугольный корпус с массивом выводных контактов в виде шариков из припоя на нижней стороне корпуса;
- корпуса microBGA, Ultra-Fine Ball Grid Array (mBGA или uBGA) с числом выводов до 2000 имеют шаг выводов 0,75 или 0,5 мм.
- LGA (*Land Grid Array*) — квадратный корпус с плоскими выводами на посадочной поверхности корпуса. Корпуса LGA предусматривают возможность установки в специальный соединитель;
- PLCC (*Plastic Leaded Chip Carrier*) и CLCC (*Ceramic Leaded Chip Carrier*) представляют собой пластиковые или керамические квадратные корпуса с расположенными по краям контактами, предназначенные для установки в специальную панель.

Традиционно поверхностный монтаж используется в диапазоне частот до 6 ГГц. На более высоких частотах

SMT-корпусирование обычно не применяется потому, что у изделий с таким форм-фактором возникает ряд проблем.

В топологии SMT радиочастотные линии передачи являются неэкранированными, и компоненты **не имеют адекватного заземления**. Это приводит к возникновению в устройствах нежелательных излучений, связей и генерации.

Другая проблема использования РЧ-систем поверхностного монтажа — **отсутствие простого способа тестиро-**

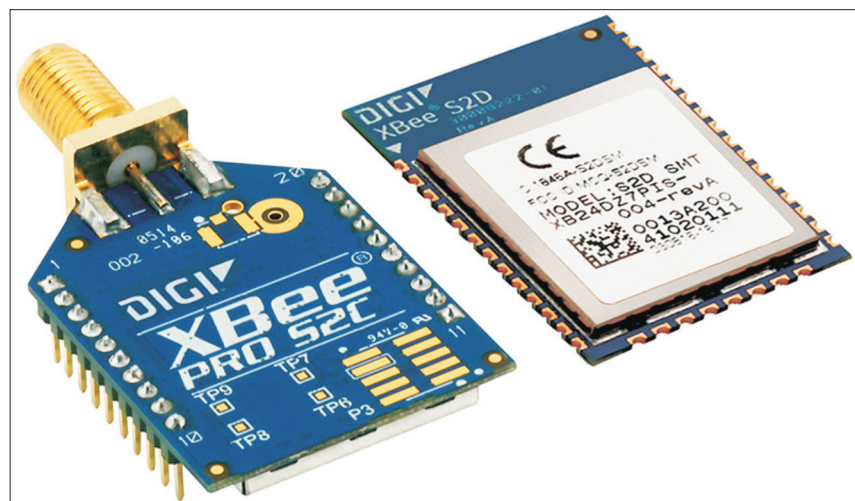
вания отдельных компонентов схемы и получения их параметров и характеристик. Подключаемые традиционным образом компоненты можно легко соединить с портами тестового оборудования и получить точные характеристики, поскольку такие компоненты имеют необходимые выводы и соединители. Для SMT-компонентов необходимо найти или даже разработать и изготовить соответствующую испытательную оснастку, которая позволит подключить устройство к портам тестового оборудования.

При измерении параметров устройства на испытательном стенде результаты часто бывают неточными и отличаются от получаемых при установке устройства непосредственно на плате SMT. Это происходит из-за разницы в параметрах подключения и связанных с этим паразитными потерями. Вот почему уменьшение размеров и увеличение степени интеграции систем диапазона СВЧ и ММВ требует использования альтернативных подходов.

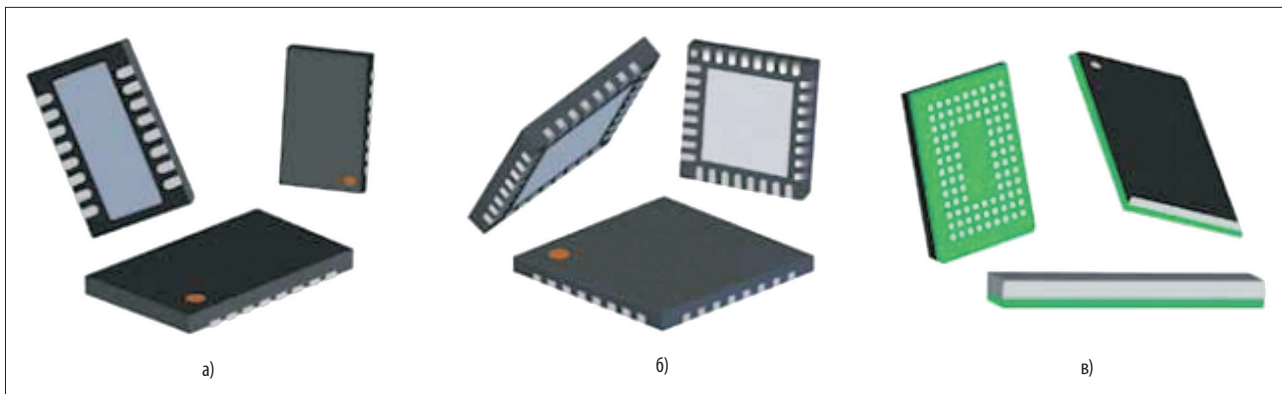
Ряд компонентов в вариантах для поверхностного монтажа обладает недостаточной надежностью или довольно дороги, поэтому зачастую производители используют **технологии смешанного монтажа** с одновременным применением на платах SMT- и THT-компонентов.

Модуль **XBee** является наиболее развитым в семействе радиомодулей, выпускаемых компанией Digi International. Эти модули позволяют легко и экономически эффективно реализовать систему беспроводной РЧ-технологии.

Модули **XBee** выпускаются в двух форм-факторах (рис. 5): для монтажа в отверстия печатной платы (*Through-Hole*) и поверхностного монтажа (*Surface Mount*), с различными вариантами антенн. Почти все варианты модулей доступны в форм-факторе THT и имеют одинаковую площадь. При этом клиентам доступны несколько протоколов



▲ Рис. 5. РЧ-модуль XBee в THT и SMT форм-факторах



▲ Рис. 6. Типы корпусов компонентов с контактными площадками на нижней стороне корпуса: SON (а), QFN (б), LGA (в)

и разнообразные РЧ-функции, что предоставляет большую гибкость в выборе лучших вариантов.

КОМПОНЕНТЫ С КОНТАКТНЫМИ ПЛОЩАДКАМИ НА НИЖНЕЙ СТОРОНЕ КОРПУСА ВТС

Компоненты с контактными площадками на нижней стороне корпуса (*Bottom Termination Component, BTC*) получают все большее распространение благодаря меньшей толщине корпуса, меньшей площади посадочного места на плате, меньшим паразитным параметрам корпуса, более высоким тепловым характеристикам (рис. 6).

Информацию по применению ВТС и некоторых других типов корпусированных компонентов можно найти в нормативных документах, приведенных в таблице 2.

КОМПОНЕНТЫ С КОНТАКТНЫМИ ПЛОЩАДКАМИ НА НИЖНЕЙ СТОРОНЕ КОРПУСА ВТС

В стандарте ГОСТ Р 50044–2009 [8] дано определение шарикового контакта: вывод изделия, выполненный в виде шарика припоя.

Корпуса РЧ микросхем BGA (*Ball Grid Array, массив шариков*) представляют собой поверхностно монтируемые из-

Таблица 2. Стандарты IPC по различным вопросам применения компонентов с контактными площадками на нижней стороне корпуса

Стандарт	Название	Год выпуска
IPC-7093	Руководство по конструированию и процессу сборки с применением компонентов с контактными площадками на нижней стороне корпуса	2011
IPC-A-610E	Критерии приемки электронных сборок	2010
IPC-7525A	Руководящие указания по конструированию трафаретов	2007
IPC-7351B	Общие требования по конструированию контактных площадок и печатных плат для поверхностного монтажа	2010
IPC-4761	Руководство по защите переходных отверстий печатных плат	2006

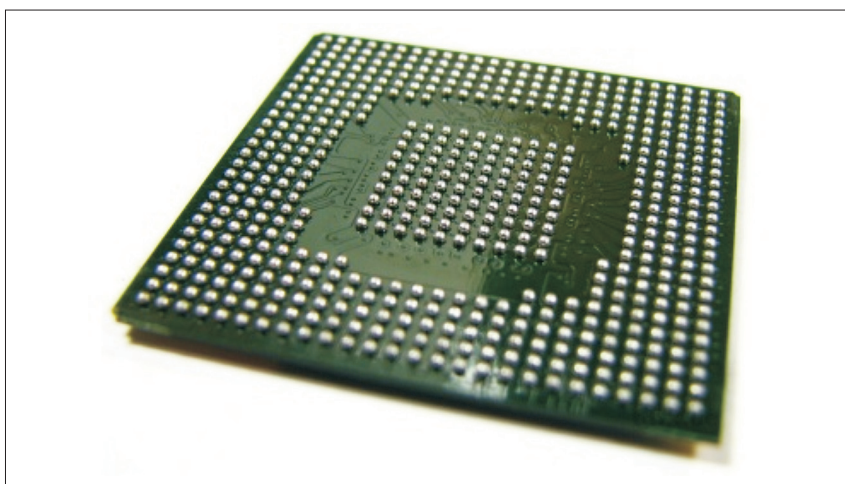
делия, выводы которых реализованы в виде массива шариков на нижней стороне подложки. Массив шариков представляет собой сферические элементы, расположенные под корпусом ИС так, что ни один из выводов не выступает за пределы корпуса (рис. 7). Применение BGA-корпусов — это решение проблемы производства миниатюрного корпуса компонентов с большим количеством выводов, которых в современных РЧ-системах высокой степени интеграции постоянно не хватает.

Решетчатый массив шариков BGA (*ball grid array*) представляет собой тип корпуса для поверхностного монтажа — носитель чипа (*Chip Carrier*), используемый для электронных компонентов. Корпуса BGA могут иметь больше соединительных контактов (выводов), чем мо-

жет быть достигнуто в DIP- или плоских (*flat package*) корпусах. Для этого в них может использоваться вся нижняя поверхность корпуса, а не только периметр. Выводы также в среднем короче, чем при расположении контактов по периметру, что ведет к улучшению характеристик РЧ-компонентов на высоких частотах.

Массивы выводов при использовании поверхностного монтажа «двухлинейно-по-бокам» (SOIC) производятся все с меньшим расстоянием и шириной выводов для сокращения места, занимаемого выводами, и это вызывает сложности при монтаже данных компонентов. Выводы располагаются слишком близко, вследствие чего растет процент брака из-за спаивания припоем соседних контактов.

Компоненты BGA не имеют такой проблемы, так как припой наносится на заводе в нужном количестве и месте. Как правило, BGA-выводы представляют собой шарики из бессвинцовых сплавов припоя, нанесенные на контактные площадки с обратной стороны микросхемы. Пайка для BGA-компонентов требует точности и обычно выполняется с помощью автоматизированных процессов. При монтаже корпус компонента располагают на печатной плате, он нагревается с помощью паяльной станции или инфракрасного источника, так что шарики начинают плавиться. В процессе оплавления припой из паяльной пасты сплавляется с шариками и образует плотное соединение между контактными площадками печатной платы и выводами BGA-компонента. Сочетание определенного припоя, температуры пайки,



▲ Рис. 7. ИС в корпусе BGA с массивом шариковых выводов

флюса и паяльной маски не позволяет шарикам полностью деформироваться. Во время пайки электронный компонент фактически «плавает» и автоматически фиксируется на нужном месте благодаря силам поверхностного натяжения расплавленного припоя.

Следующим преимуществом перед микросхемами с выводами других видов является лучший тепловой контакт между микросхемой и платой, что в некоторых случаях позволяет отказаться от установки теплоотводов, поскольку тепло отводится от кристалла на плату более эффективно. В ряде случаев в центре корпуса создается одна большая контактная площадка-радиатор, которая припаивается к дорожке теплоотводу. Если BGA-микросхемы рассеивают достаточно большие мощности и теплоотвод по всем шариковым выводам недостаточен, то к корпусу компонента может быть прикреплен или приклеен радиатор.

По мере увеличения сложности современных микросхем и радиооборудования увеличивается число контактов ввода/вывода, что приводит к появлению новых и все более сложных BGA-корпусов. Следует отметить их технологичность, так как они позволяют оптимальным образом разместить заданное количество выводов на ограниченной площади с сохранением достаточного зазора между ними. Все выводы находятся на одной плоскости с нижней стороны корпуса, поэтому их длина меньше, чем у микросхем, имеющих другие факторы. Это приводит к **снижению паразитных излучений**, а значит, положительно отражается на качестве обрабатываемых сигналов.

Поскольку корпуса BGA имеют множество выводов, большая часть из них может быть использована в качестве выводов питания и заземления. В некоторых современных микросхемах число выводов питания почти вдвое превышает количество сигнальных выводов. Размещение их в нужном месте позволяет **снизить паразитную индуктивность вывода**. Блокировочные конденсаторы при этом могут быть встроены непосредственно в подложку или введены внутрь корпуса, что опять-таки улучшает РЧ-характеристики устройств.

ПЛАНАРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ (PLANAR PACKAGING)

Большая советская энциклопедия (БСЭ) дает следующее определение:

Планарный процесс (*planar*, от лат. *planus* — плоский, ровный)

• первоначально планарный процесс — совокупность технологических операций, проводимых для получения полупроводниковых (ПП) приборов с электронно-дырочными перехода-

ми, границы которых выходят на одну и ту же плоскую поверхность ПП пластины и находятся под слоем защитного диэлектрического покрытия;

• в современном, более широком смысле такой процесс — совокупность технологических операций, проводимых для получения практически любых ПП приборов и интегральных схем, в том числе и таких, у которых границы электронно-дырочных переходов не выходят на одну плоскую поверхность. Термин «планарный прибор» появился в 1959 году, когда американской фирмой «Фэрчайлд» (Fairchild) были созданы первые планарные кремниевые транзисторы.

«Википедия» дает такое определение:

Планарная технология — это совокупность технологических операций, проводимых для получения полупроводниковых приборов с электронно-дырочными переходами, границы которых выходят на одну и ту же плоскую поверхность пластины и находятся под слоем защитного диэлектрического покрытия. Планарная технология обеспечивает одновременное изготовление в едином технологическом процессе большого числа дискретных полупроводниковых приборов или интегральных схем на одной пластине. Чтобы гарантировать требуемые параметры транзисторов, выполненных в корпусах для поверхностного монтажа, необходимо обеспечить высокое качество посадки кристаллов на кристаллоноситель.

Таким образом:

Планарные выводы ИС — выводы, которые лежат в плоскости основания корпуса. Планарные выводы по сечению, как правило, являются прямоугольными.

Планарные компоненты совсем не имеют выводов или имеют короткие выводы.

Отсутствие на несущей плате отверстий для установки компонентов снижает затраты на изготовление изделия. Планарные компоненты унифицированы, в несколько раз меньше, вдвое дешевле выводных аналогов. Модули, собранные по технологии поверхностного монтажа, имеют плотное размещение компонентов, малое расстояние между компонентами и контактными площадками. Уменьшение длины проводников улучшает передачу РЧ- и слабых сигналов, сокращается паразитная индуктивность и емкость компонентов. Планарные радиоэлементы имеют низкую цену. Поверхностный монтаж сегодня распространен намного шире монтажа в отверстия, себестоимость сборки постоянно снижается.

Таким образом, **основными достоинствами** планарных структур являются

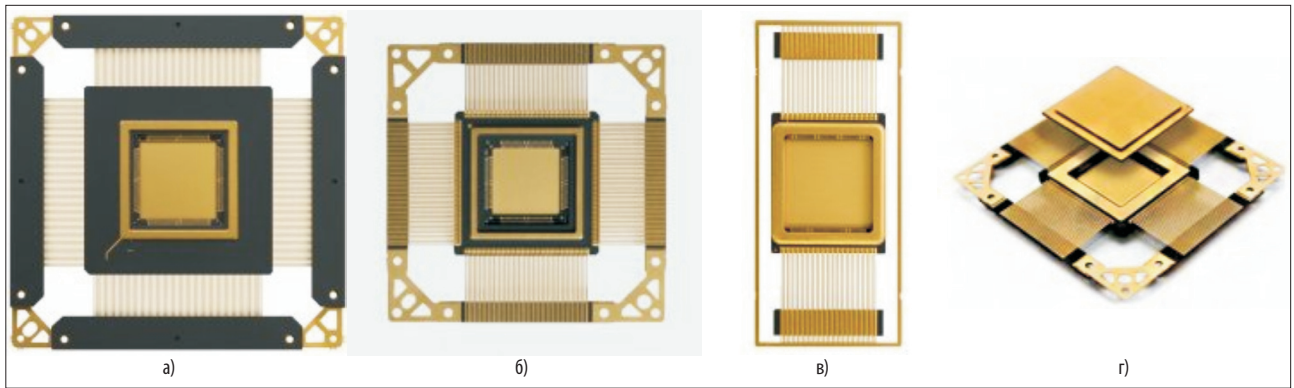
малые размеры и вес, а также низкая стоимость производства.

Однако поверхностный монтаж обладает рядом **недостатков** [10]. Жесткое крепление компонента за корпус к проводящим слоям приводит к разрушению компонентов, при воздействии перепадов температур. Модули, собранные с применением планарных компонентов, боятся **перегрева при пайке, сгибов и ударов**. Эти воздействия приводят к трещинам компонентов. Разработчик печатных плат должен проектировать проводящий рисунок, обеспечивающий равную скорость нагревания контактов компонента благодаря симметричности тепловых полей. Технология групповой пайки включает в себя режим работы оборудования и технологическую оснастку, обеспечивающие одинаковую скорость нагревания контактов каждого компонента для исключения брака. Необходимо точно соблюдать требования переноса пасты на плату и режим работы паяльного оборудования. Повышаются требования к транспортировке и хранению планарных компонентов и материалов для монтажа. Отработка трассировки проводников на плате предполагает больше средств. Возрастают затраты на технологическую оснастку при выпуске опытных партий. **Ремонт** изделий, собранных с применением поверхностного монтажа, предусматривает использование специализированных инструментов.

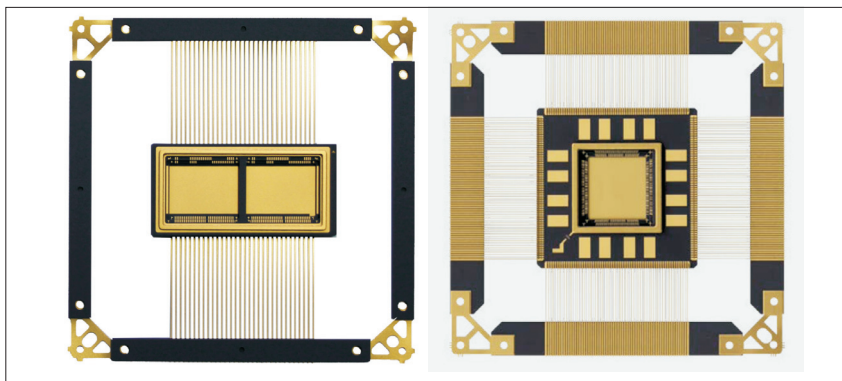
Российским разработчиком и производителем металлокерамических и металлокерамических корпусов для микроэлектроники, в том числе и корпусов для планарных компонентов, является АО «Тестприбор» (Москва). Компания обеспечивает полный цикл по изготовлению изделий и выпуску соответствующей конструкторской и технической документации с возможностью единичного и серийного производства [11].

В настоящее время компания разрабатывает и изготавливает корпуса любого уровня сложности, по качеству и характеристикам соответствующие мировым стандартам требованиям ОСТ 110694-89 и ГОСТ РВ 5901-004-2010 [12, 13]. На рис. 8 показаны:

- 304-выводной металлокерамический планарный корпус типа 4 по ГОСТ 17467-88 [4] «Корпуса типа 4 по ГОСТ Р54844 (тип CQFP)» [5];
- корпуса типа 4 по ГОСТ Р54844 (тип CQFP) «Металлокерамический корпус микросхемы 4250.208-1 (тип CQFP)»;
- 72-выводной металлокерамический планарный корпус типа 4 по ГОСТ 17467;
- крайний справа на рис. 8 — специализированный 144-выводной металлокерамический планарный корпус типа 4



▲ Рис. 8. Металлокерамические корпуса, выпускаемые АО «Тестприбор»



▲ Рис. 9. Корпус МК 4164.64-1 и корпус МК 4244.256-3, выпускаемые АО «Тестприбор»

по ГОСТ Р 54844–2011 [14] с интегрированными радиационно-защитными экранами.

На рис. 9 представлен внешний вид планарных металлокерамических корпусов с 64 и 256 выводами.

Постоянное уменьшение габаритов изделий электроники, особенно мобильных устройств, приводит к тому, что разработчикам необходимо применять компоненты с минимальными размерами. Для полупроводниковых компонентов, пассивных резисторов и конденсаторов выбор достаточно велик. А вот что касается трансформаторов и дросселей, то в большинстве случаев разработчики используют стандартные громоздкие компоненты с проволочной намоткой. В последнее время им на смену приходят **планарные трансформаторы** (*Planar Transformers*) на основе многослойных печатных плат [15]. Изготовление планарных компонентов

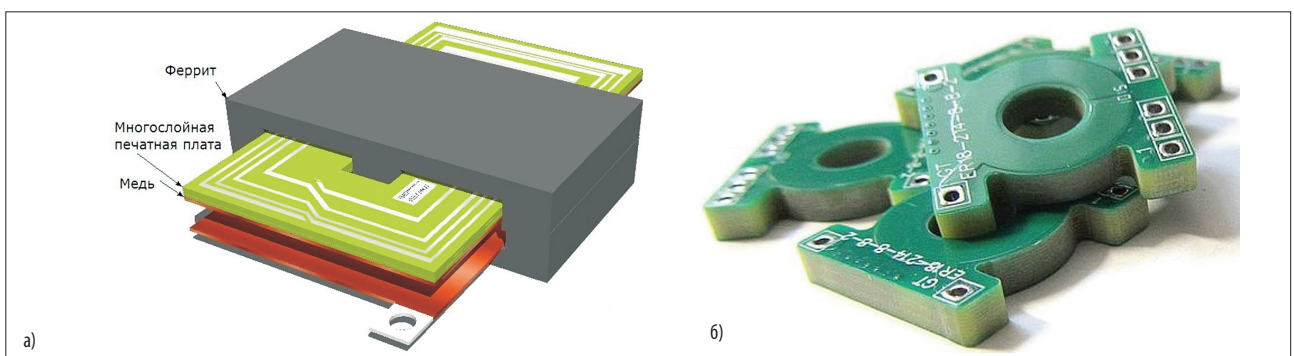
на основе многослойных печатных плат является альтернативой стандартным трансформаторам и дросселям с проволочной намоткой (рис. 10а). Стоимость многослойных печатных плат постоянно снижается, поэтому планарные трансформаторы станут хорошей заменой обычным.

Линейки таких устройств предлагают компании **ISE, Himag Planar, Payton Planar Magnetics, CET Technology** и ряд других. На рис. 10б показаны планарные трансформаторы, предлагаемые одним из производителей — компанией «А-КОНТРАКТ» — российским изготовителем печатных плат. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Научно-практический журнал «Вектор высоких технологий», учредитель Группа компаний Остек//Вектор высоких технологий. 2013. № 2. www.ostec-3d.ru/upload/iblock/f54/publication.pdf
2. Joint Tactical Networking Center. www.public.navy.mil/jtnc/Pages/home.aspx

3. ГОСТ Р 52003–2003 «Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств. Термины и определения».
4. ГОСТ Р МЭК 62264–1–2010, п. 3.4 «Интеграция систем управления предприятием. Часть 1. Модели и терминология».
5. ГОСТ Р 54844 «Микросхемы интегральные. Основные размеры».
6. ОСТ 45.010.030–92 «Электронные модули первого уровня РЭС. Установка Изделий электронной техники на печатные платы. Технические требования. Конструкция и размеры».
7. ГОСТ 29137–91 «Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования».
8. ГОСТ Р 50044–2009 «Изделия электронной техники для поверхностного монтажа радиоэлектронной аппаратуры. Требования к конструктивной совместимости».
9. ГОСТ Р МЭК 61191–2–2010 «Печатные узлы. Часть 2. Поверхностный монтаж. Технические требования».
10. Поверхностный монтаж элементов на печатную плату. www.intellect.icu/poverkhnostnyj-montazh-elementov-na-pechatnyuy-platu-527
11. Сайт компании «ТЕСТПРИБОР». www.test-expert.ru/
12. ОСТ 11 0694–89 «Микросхемы интегральные. Корпусы. Общие технические условия».
13. ГОСТ РВ 5901–004–2010. «Изделия электронной техники военного назначения».
14. ГОСТ Р 54844–2011. «Микросхемы интегральные. Основные размеры. Interated microcircuits. Basic dimensions».
15. Шихов С. Планарные трансформаторы на основе многослойных печатных плат//Компоненты и технологии. 2003. № 6.



▲ Рис. 10. Конструкция планарного трансформатора и изделия, предлагаемые компанией А-КОНТРАКТ