

Пластмассовые корпуса с открытой полостью для интегральной и СВЧ-электроники

Дмитрий БОДНАРЬ
bodnar@syntezmicro.ru

До настоящего времени металлокерамические и металlostеклянные корпуса остаются приоритетными для экстремального и военного применения электронных компонентов, поскольку для таких компонентов именно требования герметичности и влагостойкости являются одними из главных. Монолитные пластмассовые корпуса, неспособные обеспечить данные условия, но отличающиеся низкой стоимостью, предназначены для бытового и гражданского рынка электронных компонентов. Однако успехи, достигнутые в последние годы в области термопластичных жидкокристаллических полимеров и пластмассовых корпусов с открытой полостью, обещают сломать давнюю традицию.

Введение

Еще в 1994 году тогдашний министр обороны США Уильям Перри выступил с известным меморандумом об использовании в оборонной промышленности страны современных коммерческих технологий и бизнес-процессов лучших мировых поставщиков, а также о пересмотре и ограничении безоговорочного применения военных стандартов в военной аппаратуре в пользу современных коммерческих стандартов и спецификаций [1]. Этот меморандум провозгласил переход от дорогостоящих комплектующих, в том числе электронных компонентов в недешевых герметичных корпусах, к более доступным передовым коммерческим продуктам. После этого проектировщики в области военной электроники выяснили, что дорогие высокотемпературные герметичные ИС, изготовленные по военным техническим условиям, не нужны во многих сферах, например в кабине пилота [2]. Неудивительно, что сегодня по этим причинам значительная часть электронных компонентов в военных истребителях Boeing установлена в пластмассовых корпусах. Однако часть положений данного меморандума оказалась излишне оптимистичной, а для реализации других требовалось изменить консервативные взгляды военных и промышленного лобби. За последние 60 лет в мире доля военных ИС в общем объеме выпускаемых ИС непрерывно уменьшалась и в 2015 году составляла всего 0,8% (рис. 1) [3].

Современные коммерческие электронные компоненты выпускаются в пластмассовых корпусах, а военные электронные компоненты — в герметичных металлокерамических/металlostеклянных или в пластмассовых корпусах. В зарубежной литературе последних еще именуют «микросхемы, герметизированные пластмассой» (РЕМ — plastic-encapsulated microcircuits). Классические металлокерамические или металlostеклянные корпуса предусматривают монтаж чипа во внутреннюю полость корпуса, разварку выводов и дальнейший монтаж крышки корпуса одним из традиционных способов (наклейка, напайка, шовно-роликовая сварка). В керамических корпусах чип и проволочные соединительные выводы находятся в воздушной полости (air cavity), или, как ее еще называют, открытой полости (open cavity) корпуса (рис. 2а). Такие корпуса отличаются хорошей герметичностью, влагостойкостью, что необходимо для военного и экстре-

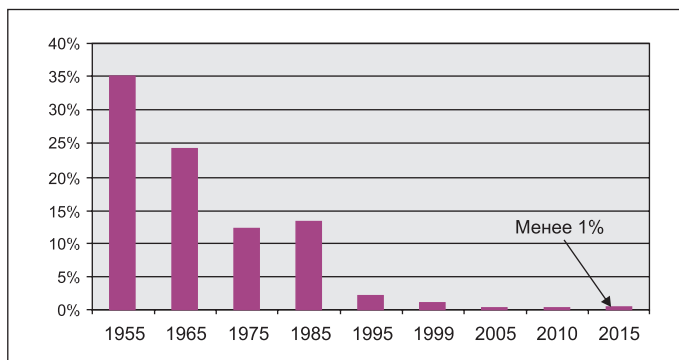


Рис. 1. Доля военных ИС в общем объеме выпускаемых в мире ИС в 1955–2015 гг.

мального применения. Технология заливных монолитных пластмассовых корпусов предусматривает монтаж чипа, проволочных выводов на металлическую выводную рамку и последующую герметизацию с помощью заливки пластмассовым компаундом (molded packaging) всего объема в зоне чипа и проволочных выводов. Поэтому такие корпуса не имеют открытой полости вокруг чипа (рис. 2б). Области применения электронных компонентов в пластмассовых корпусах весьма обширны, но до недавнего времени ограничивались бытовым и гражданским рынком, где отсутствовали жесткие требования по герметичности и влагостойкости. Причина — низкая влагостойкость пластмассовых компаундов, ранее применяемых для заливки и герметизации пластмассовых корпусов. Именно это, а также отказы советских электронных компонентов в пластмассовых корпусах в 1970–1980-х гг. в военной аппаратуре породили синдром страха у военных чиновников, принимающих решение о применении электронных компонентов в военной аппаратуре. Хотя за последние 20–30 лет материалы пластмассовых компаундов значительно изменились, что позволило успешно использовать пластмассовые корпуса в зарубежной военной аппаратуре, а температуру среды поднять до +175 °С, что даже выше типовых военных требований [4]. С учетом того что часть военной аппаратуры эксплуатируется даже в более щадящих условиях (на-

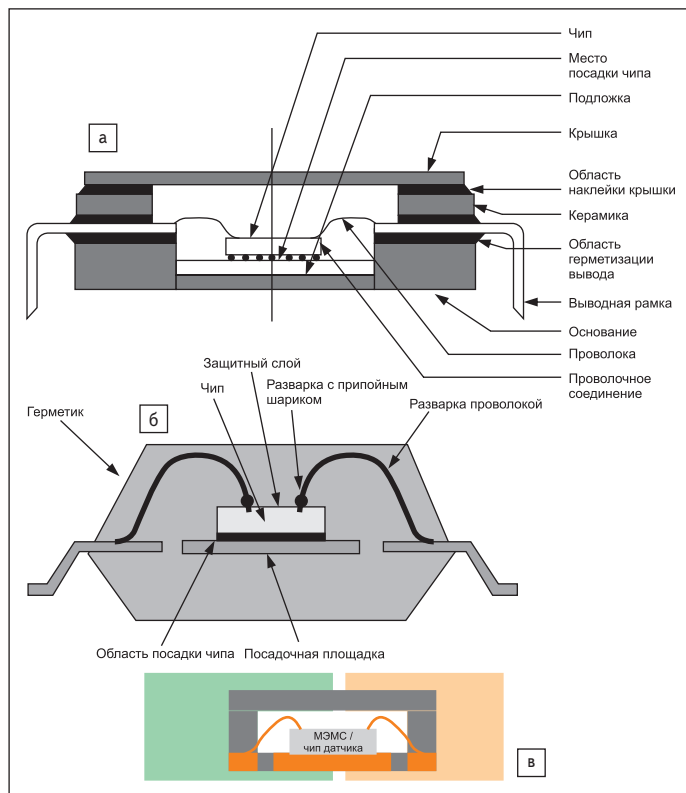


Рис. 2. Структура корпусов: а) металлокерамических; б) монокристаллических; в) пластмассовых с открытой полостью

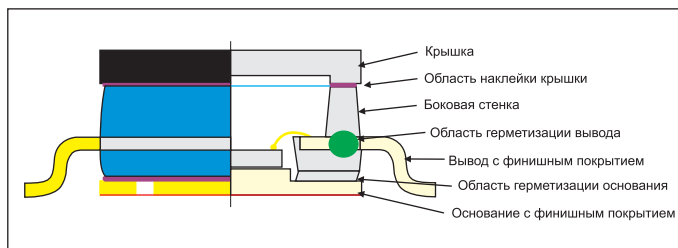


Рис. 3. Детальная структура пластмассового корпуса с открытой полостью

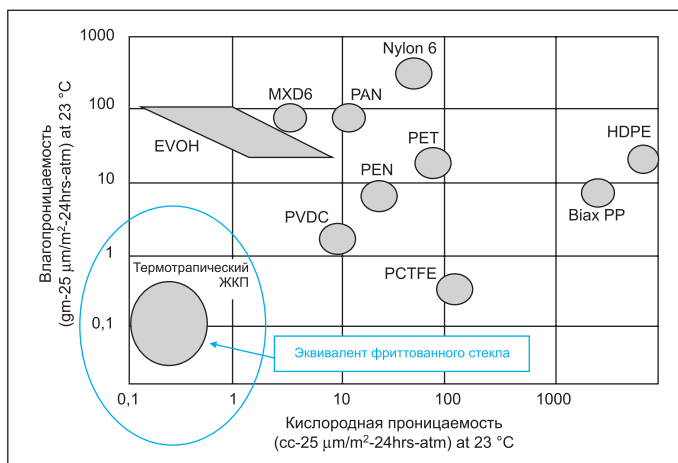


Рис. 4. Барьерные способности ЖКП к парам воды и кислороду в сравнении с другими типами пластмасс

земное, немобильное применение) в сравнении с гражданской аппаратурой (например, автоэлектроника, авионика, геологоразведка и бурение), а другая требует минимизации массо-габаритных параметров (воздушное применение), замена керамических корпусов на пластмассовые давно стала актуальной задачей. Не вызывает сомнения только применение ИС в керамических корпусах в спутниковых космических системах.

Однако есть много приборов, которые не могут функционировать в залитой пластмассовым компаундом среде. Среди них

MEMS с большим количеством мембранных структур, подвижных частей, предполагающих наличие свободного пространства вокруг чипа. К ним также относятся СВЧ-полупроводники с низкими диэлектрическими потерями, а также оптические датчики и устройства отображения информации, требующие открытого для светового потока пространства. Использование в таких приборах керамических корпусов также не приемлемо из-за больших в сравнении с пластмассовыми корпусами массо-габаритных размеров и высокой стоимости керамических

корпусов. Пластмассовые корпуса с открытой полостью для них являются безальтернативными [5, 6].

Типы и материалы пластмассовых корпусов с открытой полостью

На решение таких прикладных задач была ориентирована разработка пластмассовых корпусов с открытой полостью (open cavity package), чья типовая структура показана на рис. 2в, а более детальная — на рис. 3. Одной из наиболее важных частей этого корпуса являются боковые стенки из термопластичного жидкокристаллического полимера (ЖКП), или, по зарубежной классификации, LCP (Liquid Crystal Polymer). Особенность ЖКП заключается в очень низкой способности к поглощению паров воды (рис. 4) [7]. По стойкости к парам воды ЖКП идентичен обычному стеклу. Похожие результаты, близкие к стеклу, получены по проникающей способности гелия, обладающего одной из самых высоких характеристик проникновения (рис. 5) [8]. Высокие барьерные свойства ЖКП к парам воды и кислороду означают, что корпуса с применением ЖКП не только являются более герметичными в сравнении с традиционными монокристаллическими пластмассовыми корпусами, но в них отсутствуют риски десорбции паров воды при последующих обработках и термических операциях, то есть отсутствует угроза отказов, связанных с данным фактором. По ме-

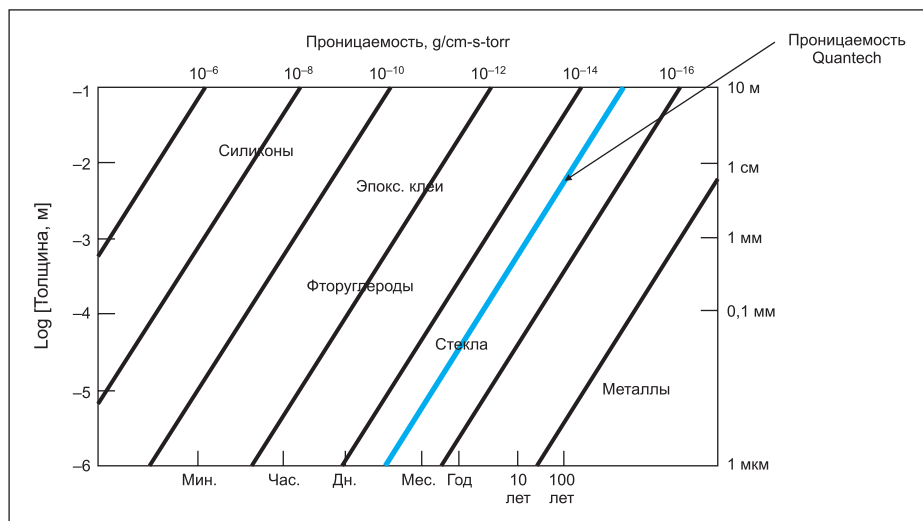


Рис. 5. Проникающая способность ЖКП по гелию в сравнении с другими материалами

Таблица 1. Параметры ЖКП Quantech компании Interplex QLP

Материал	Диэлектрическая постоянная (при 1 МГц)	Тангенс угла диэлектрических потерь	Объемное сопротивление, 150 °С (Ом·см)	Поглощение воды (после 24 ч выдержки), %	Прочность на изгиб, Н/мм ²	КТР, ppm/°С	Максимальная температура процесса, °С	Типовые отклонения, мил
Керамика AL ₂ O ₃	9,4	0,0005	> 10 ¹⁴	нет	28–35	7,2	700	±0,008
ЖКП Quantech	4,1	0,0007 (1–5 ГГц)	> 10 ¹⁵	< 0,08	170		350	±0,002

Таблица 2. Параметры ЖКП НТР1280 компании RJR Technologies

Материал	Физические		Механические				Электрические			
	Плотность, г/см ³	Поглощение воды, %	Прочность, фунт/кв. дюйм	Растяжение и разрыв, %	Модуль изгиба, фунт/кв. дюйм	Прочность на изгиб, фунт/кв. дюйм	Объемное сопротивление, Ом·см	Поверх. сопротивл., Ом	Тангенс угла диэл. потерь	Диэл. постоян.
НТР1280	1,67	0,02	21 000	1,2	2,4–10 ⁶	31 000	10 ¹²	10 ¹⁷	0,07 при 100 кГц	3,7 при 10 МГц

Таблица 3. Типы пластмассовых корпусов с открытой полостью

Тип корпуса	Вариант конструктивного исполнения корпуса, количество выводов			Крышка
	Разделенные	На ленте		
		С боковой стенкой ЖКП	С боковой стенкой ЖКП	
СВЧ мощные приборы и RFIC	Да 2—20 выводов	Да 2—20 выводов	Да	Пластмассовая Керамическая
QFN	Да 8—100 выводов	Да 8—100 выводов	8—100 выводов	Пластмассовая Керамическая Стеклопанель
SOIC, SOP	Да 8—28 выводов	Да 8—28 выводов	8—28 выводов	
QFP	Да 44—64 вывода	Да 44—64 вывода	44—64 вывода	

ханическим свойствам ЖКП — это прочный, жесткий, но не ломкий термопласт, не содержащий галогенов, невоспламеняющийся и стойкий к растворителям и агрессивным веществам. Кроме того, в отличие от классического эпоксидного компаунда ЖКП легко подвергается вторичной переработке.

Второй важный элемент пластмассовых корпусов с открытой полостью — герметизирующие эпоксидные клеи, предназначенные для монтажа боковых стенок из ЖКП на основание корпуса и для монтажа крышки к боковым стенкам ЖКП или к основанию корпуса (рис. 3). Такие клеи должны не только обеспечивать высокую адгезионную способность к материалам ЖКП, выводной рамке, крышке, но и гарантировать высокую герметичность после монтажа всех частей корпуса. Компания Interplex QLP совместно с Freescale Semiconductor разработала усовершенствованный ЖКП марки Quantech, отличающийся более высокой рабочей температурой +400 °С в сравнении с традиционными ЖКП [9]. В таблице 1 представлены основные параметры ЖКП Quantech в сравнении с керамикой AL₂O₃, а в таблице 2 —

параметры ЖКП марки НТР1280 компании RJR Technologies [10]. Кроме повышенной термостабильности, ЖКП марки Quantech обладает усиленной стойкостью к деформациям и механическим воздействиям и более жесткими свойствами в сравнении с классическими ЖКП.

В зависимости от исполнения, формы поставки и области применения пластмассовые корпуса с открытой полостью можно разделить на несколько типов (таблица 3). С экономической точки зрения наиболее важной является классификация корпусов на два формата: разделенные и на ленте. По исполнению разделенные корпуса напоминают керамические. Именно с данного формата (в разделенном виде) начиналось развитие пластмассовых корпусов с открытой полостью. Как и в керамических корпусах, разделенные пластмассовые корпуса с открытой полостью включают основание корпуса со сформированной боковой стенкой из ЖКП и крышку. Как прежде, так и сейчас подобные корпуса незаменимы для изготовления опытных образцов и для малосерийного производства. В зависимости от области

применения наибольшее распространение получили корпуса четырех типов:

- 1) безвыводные QFN-корпуса для интегральных микросхем и MEMS; в текущем понимании «безвыводные» означает, что на корпусе отсутствуют выступающие за его пределы металлические проволоочные выводы, а их функции выполняют тонкопленочные покрытия на боковых стенках и/или основании корпуса;
- 2) корпуса QFP с четырехсторонними формованными выводами под поверхностный монтаж для интегральных микросхем и датчиков;
- 3) корпуса SOIC, SSOP с двухсторонними формованными выводами под поверхностный монтаж для интегральных микросхем и датчиков;
- 4) корпуса для мощных СВЧ-приборов (транзисторов, RFIC, усилителей мощности и др.).

Разработчики предложили удачное решение: унифицировать по габаритно-присоединительным размерам пластмассовые корпуса с открытой полостью с классическими пластмассовыми, а также с некоторыми керамическими корпусами. Это позволило применить ИС в пластмассовом корпусе с открытой полостью без изменения конфигурации платы и оснастки для тестирования и испытаний ИС. Однако, по мере перехода клиентов от сборки опытных образцов к малосерийному и серийному производству, для снижения стоимости изделий поставщики начали разрабатывать корпуса с открытой полостью на ленте. Такой формат очень напоминает поставку металлических выводных рамок для классических монолитных

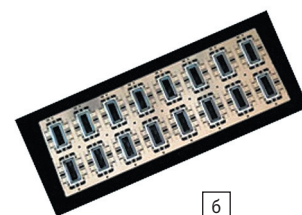
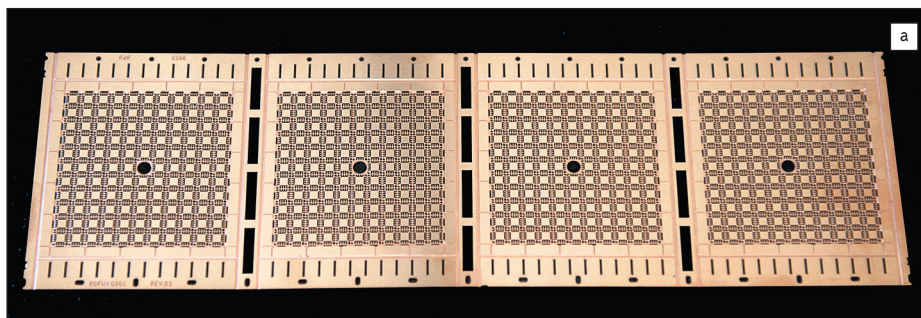


Рис. 6. Лента с пластмассовыми корпусами с открытой полостью: а) QFN; б) СВЧ

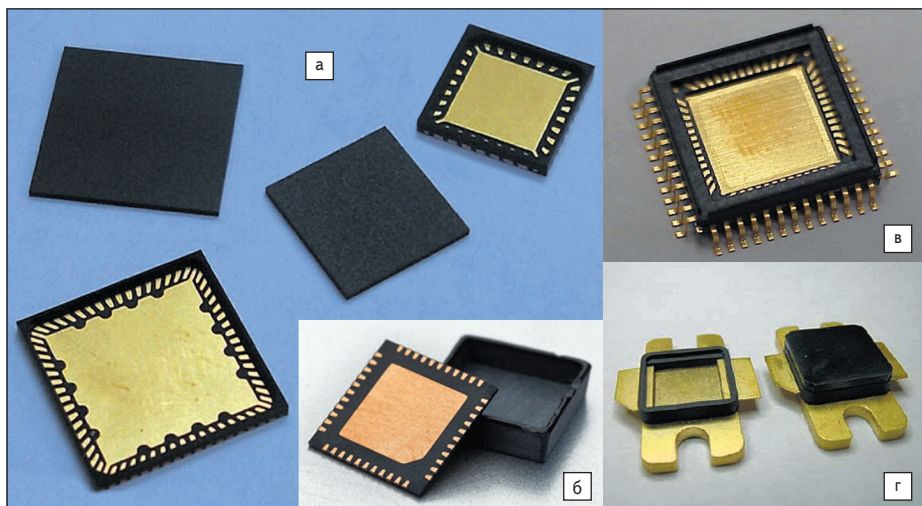


Рис. 7. Внешний вид крышки и корпусов QFN:

а) с предварительной смонтированной боковой стенкой из ЖКП; б) без нее; в) корпуса QFP; г) СВЧ-корпуса

пластмассовых корпусов. Основное различие в том, что на основании выводной рамки корпуса с открытой полостью смонтирована боковая стенка из ЖКП и дополнительно поставляется крышка, которая не нужна для классических пластмассовых корпусов.

Типовой вид ленточных пластмассовых корпусов с открытой полостью показан на рис. 6. Существует разновидность корпусов QFN, в которых на ленте отсутствует боковая стенка из ЖКП, а ее функцию выполняет полая П-образная крышка, наклеиваемая на основание корпуса на финишном этапе сборки. Внешний вид крышек корпусов QFN с боковой стенкой из ЖКП и без нее показан на рис. 7.

Переход от разделенного к ленточному формату корпусов потребовал создания оборудования для ручного, полуавтоматического и автоматического монтажа элементов корпуса для массового производства. Более подробно этот аспект будет рассмотрен в разделе «Оборудование для пластмассовых корпусов с открытой полостью».

Ленточный тип корпусов позволил значительно, в 3–5 раз снизить эквивалентную стоимость одного корпуса в массовом применении и довести ее в некоторых исполнениях до \$1 и менее за корпус. Такие цены в сочетании с очевидными техническими преимуществами открывают хорошие перспективы для более широкого распространения применения пластмассовых корпусов с открытой полостью.

У пластмассовых корпусов с открытой полостью есть еще одно преимущество перед керамическими и монокристаллическими корпусами — ремонтпригодность корпусов, имеющих негерметичность (утечку). Компания RJR Technologies выпускает двухкомпонентный эпоксидный клей, предназначенный для ремонта утечек как собственных, так и корпусов других компаний. Процедура ремонта очень простая и вклю-

чает смешивание двух компонентов клея, нанесение с помощью дозирующей иглы полученной смеси на область утечки и последующую сушку при комнатной температуре и нагреве до +120 °С в течение 1 ч.

СВЧ-корпуса с открытой полостью

В начальный период развития СВЧ-корпусов с открытой полостью они в основном были ориентированы на сборки опытных образцов, то есть на прототипирование. Их главное преимущество заключалось в скорости и дешевизне сборки малых опытных партий, не требующих больших затрат на приобретение оборудования, изготовление оснастки для сборки и испытаний. Габариты пластмассовых корпусов с открытой полостью соответствовали размерам монокристаллических корпусов, что избавляло от необходимости создавать но-

вую оснастку при измерениях и испытаниях. Однако с тех пор очень многое изменилось не только в усовершенствовании параметров и свойств применяемых материалов, но и в приближении СВЧ-корпусов с открытой полостью к массовому применению.

До недавнего времени керамические корпуса были основным компонентом при сборке мощных Si-, GaAs-транзисторов, монокристаллических СВЧ-схем (RFIC — Radio Frequency Integrated Circuit), усилителей мощности и т. д. Ужесточение экологических требований, а также необходимость снижения веса и стоимости электронных СВЧ-компонентов привели к разработке пластмассовых монокристаллических корпусов. В результате их применения удалось не только снизить себестоимость изготовления СВЧ-транзисторов, но и значительно улучшить тепловые характеристики и надежность по сравнению с такими же транзисторами, выполненными в керамических корпусах [11]. Сегодня ведущие мировые производители СВЧ-транзисторов — компании NXP, STMicroelectronics, Freescale Semiconductor (сейчас NXP) большую часть своей продукции выпускают именно в пластмассовых корпусах. А для применения в базовых станциях связи, и особенно в сфере WiMax и LTE, СВЧ-компоненты в пластмассовых корпусах остаются безальтернативными. Один из мировых лидеров в области ЖКП и корпусов с открытой полостью, компания RJR Technologies, в 2015 году достигла показателя выпуска 10 млн пластмассовых корпусов с открытой полостью. Именно СВЧ-корпуса для NXP, ST, Freescale составляют основную долю в этом объеме, что подтверждает переход пластмассовых корпусов с открытой полостью на новый уровень уже массового производственного, а не опытного применения.

На рис. 8 показаны основные компоненты СВЧ-корпуса с открытой полостью, состоя-

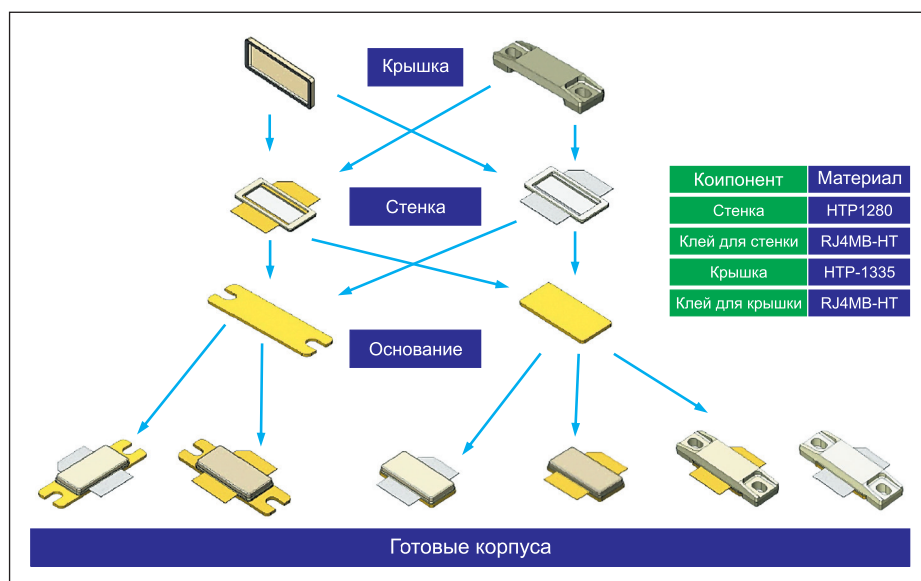


Рис. 8. Компоненты пластмассового СВЧ-корпуса с открытой полостью

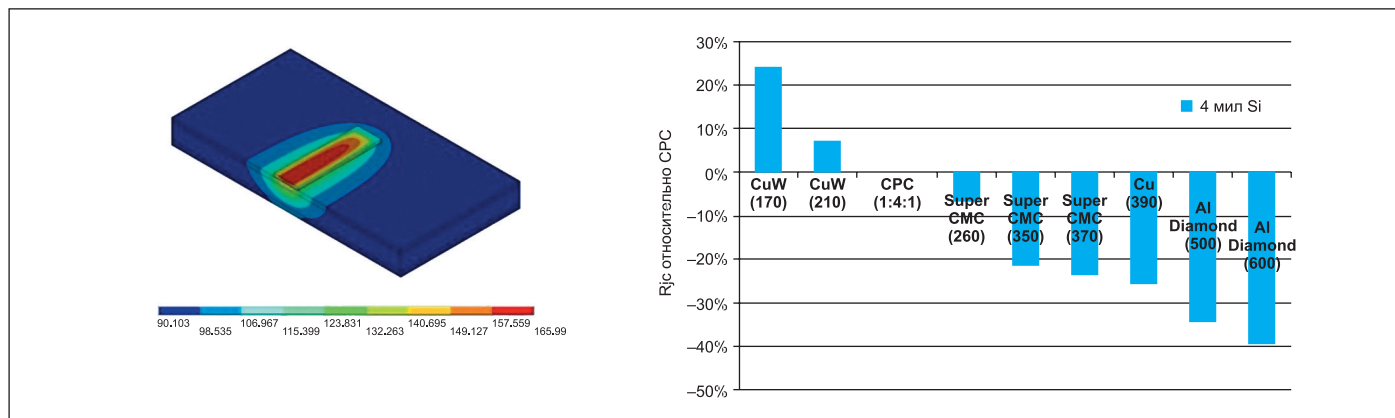


Рис. 9. Тепловые параметры различных металлических оснований для пластмассовых СВЧ-корпусов с открытой полостью

щего из металлического основания, боковой стенки из ЖКП с вмонтированными в нее металлическими выводами и пластмассовой крышки с нанесенным на ее обратную сторону сухим эпоксидным клеем (преформой). Материалы теплопроводящих оснований для керамических СВЧ-корпусов детально рассмотрены в статье [12]. Благодаря хорошим тепловым характеристикам в пластмассовых СВЧ-корпусах с открытой полостью применяются идентичные материалы, включающие сплавы CuW, композитные структуры CPC, CMC (рис. 9). Однако в пластмассовых СВЧ-корпусах, в отличие от керамических, открываются хорошие перспективы по использованию основания корпуса из чистой меди, а не ее сплавов и композитов. Из-за большой разницы в коэффициентах термического расширения меди, керамики Al_2O_3 и высокой температуры сборки керамических корпусов (около +800 °C) основания из чистой меди не применяются в керамических корпусах. Поскольку в пластмассовых корпусах отсутствует керамика Al_2O_3 , а максимальная температура составляет примерно +420 °C, то лучшие теплопроводящие свойства и дешевизна Cu в сравнении с медными сплавами и его композитами делают медь более предпочтительным материалом. Как сообщил президент RJR Technologies Will Salhuana, изготовители мощных СВЧ-транзисторов и RFIC, которые просто заменяют дорогие керамические корпуса пластмассовыми корпусами RJR, изготовленными по процессу ACP2 с основанием из меди, сразу уменьшают стоимость сборки на 50%, улучшая тепловое рассеивание на 30% [13].

Типовой процесс сборки транзистора или RFIC в пластмассовый СВЧ-корпус без предварительно смонтированных боковых стенок из ЖКП включает следующую последовательность операций:

- монтаж чипов на ленточное основание методом эвтектики Au-Si или напайкой с применением припоя AuSn;
- монтаж методом наклейки боковых стенок из ЖКП с металлическими выводами;
- разварка проволочных выводов;

- наклейка крышки с эпоксидной преформой;
- разделение корпусов на ленте;
- тестирование;
- испытания.

С учетом того что монтаж чипа выполняется до монтажа боковой стенки из ЖКП, температура посадки чипа ничем не ограничена и может применяться эвтектика Au-Si при +420...+430 °C, как и для керамических корпусов. Для корпусов с предварительно смонтированной боковой стенкой максимальная температура монтажа чипа ограничена значением +350 °C, даже с применением самых высокотемпературных ЖКП.

В отличие от керамических корпусов, покрытых слоями Ni-Au, в пластмассовых СВЧ-корпусах на теплопроводящее металлическое основание и выводы наносятся слои Ni-Pd-Au. Толщина финишного золотого покрытия варьируется по требованию заказчика, но в типовом варианте составляет 2–2,5 мкм.

Компания Freescale Semiconductor, один из мировых лидеров в области разработки и производства мощных СВЧ-транзисторов и RFIC, за последние 15 лет выпустила более 200 млн мощных СВЧ-приборов в пластмассовых монолитных корпусах [14]. Эти изделия характеризуются высокой мощностью (некоторые свыше 1 кВт), низкими значениями теплового сопротивления 0,24 °C/Вт и полным отсутствием отказов и рекламаций. Следующим шагом, предпринятым Freescale, стал переход к пластмассовым корпусам с открытой полостью.

Очевидно, что как пластмассовые монолитные, так и корпуса с открытой полостью будут и дальше применяться при выпуске СВЧ-приборов. Но каждая компания принимает решение в пользу какого-то из этих типов корпусов, учитывая технические, экономические и коммерческие особенности продуктов и областей применения.

Пластмассовые корпуса с открытой полостью для ИС и датчиков

В настоящее время в эту категорию пластмассовых корпусов с открытой полостью входят корпуса типа QFN, SOIC, SSOP, QFP, предназначенные для аналоговых и цифровых, оптических ИС, MEMS, датчиков изображений и т. д. Как уже отмечалось, для некоторых категорий приборов, в частности MEMS и оптических микросхем, такие корпуса являются безальтернативными.

В настоящее время пластмассовые монолитные QFN-корпуса — это один из наиболее перспективных вариантов в интегральной и маломощной СВЧ-электронике. Безвыводной формат исполнения (отсутствие внешних выводов за пределами корпуса), малые размеры, экономичность, простота в производстве, упаковке, применении стимулируют производителей и покупателей в расширении их применения. Очень важным дополнением к сказанному является унификация габаритно-присоединительных размеров керамических и пластмассовых

Таблица 4. Параметры пластмассовых корпусов с открытой полостью типа QFN, SOIC, SSOP, QFP

Тип корпуса	Размер тела корпуса, мм	Кол-во выводов	Шаг выводов, мм	Толщина корпуса, мм	Тип покрытия корпуса	Размер монтажного окна для чипа, мм	Материал крышки	Область применения
QFN	3×3, 7×7, 4×4, 8×8, 5×5, 9×9, 6×6, 10×10, 12×12	8, 10, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 54, 56, 64, 72, 80, 88, 100	0,5 0,65 0,8	0,65 0,8 0,9	Ni-Pd-Au	от 1,5×15 до 9,6×9,6	Пластмасса Керамика Стекло	Аналоговые ИС Цифровые ИС Оптические ИС Датчики MEMS
SOIC	5×4; 15,5×7,5; 8,8×4; 18×7,5; 10×4; 10×7,5; 13×7,5	8, 14, 16, 20, 24, 28	1,27	1,4 2,4		1,9×2,5 1,9×3 3,8×5,6		
SSOP	5×4	16	0,65	1,4		1,9×2,5		
QFP	10×10	44, 52, 64	0,5 0,65 0,8	1,14		6,86×6,86		

корпусов типа QFN, что позволяет без больших затрат заменить компоненты в разных вариантах корпусного исполнения.

В таблице 4 приведены основные характеристики данной категории корпусов. На зарубежных рынках их производят и реализуют несколько компаний: Mirror Semiconductor, IQLP, Quik-Pak, RJR Technologies, SEMPAC и другие [15–18]. В этой, наиболее массовой категории представлено более 30 типов QFN-корпусов с размерами от 3×3 мм до 12×12 мм и количеством выводов от 8 до 100. В зависимости от количества выводов их шаг меняется от 0,8 мм для маловыводных до 0,5 мм для многвыводных корпусов. Как уже говорилось, разные производители поставляют корпуса QFN как с боковой ЖКП стенкой, так и без нее. Во втором случае в комплект поставки входит плоское металлизированное основание и П-образная крышка. Такие корпуса без боковой стенки не допускают использования плоских прозрачных стеклянных крышек.

Хорошие высокочастотные свойства QFN-корпусов с открытой полостью обеспечиваются за счет низких значений тангенса угла диэлектрических потерь (0,03 при 10 ГГц) и диэлектрической постоянной ЖКП. Проведенные тестирования показывают, что эти корпуса гарантируют работу до 77 ГГц.

SOIC-корпуса представлены наиболее распространенными типами от 8 до 28 выводов с классическим узким (150 мил) и широким (300 мил) телом. Менее распространенный корпус SSOP выпускается в единственном 16-выводном исполнении.

Отдельного внимания заслуживают корпуса типа QFP. Монолитные корпуса QFP широко применяются для сборки аналоговых и цифровых ИС с количеством выводов до 304 и размером тела корпуса до 40×40 мм. Корпуса QFP с открытой полостью пока не достигают такого уровня сложности и ограничиваются максимальным размером 10×10 мм и количеством выводов до 64 (табл. 3). Очевидно, корпуса QFP с открытой полостью будут развиваться в направлении их увеличения и усложнения, и главной задачей станет максимальное приближение цены к стоимости монолитных корпусов.

Как показывает опыт развития новых компонентов и технологий сборки, компании из Азии быстро подхватывают и расширяют новые направления. Некоторые компании данного региона не только начали массово осваивать для MEMS технологию сборки в пластмассовых корпусах с открытой полостью, но и расширили номенклатуру таких корпусов, дополнив ее корпусами DIP и LED. Очевидно, именно в Азии произойдет бум массового освоения корпусов QFN с открытой полостью, в то время как корпуса для мощных СВЧ-транзисторов будут ориентированы на ведущие мировые компании этого направления продукции в Америке, Европе, а через их филиалы — и в Азии.

Таблица 5. Условия испытаний СВЧ-транзисторов Freescale Semiconductor в пластмассовых корпусах с открытой полостью

Тест	Длительность	Последующее тестирование	Отказы (кол-во образцов/годные)
Термоциклирование (воздух, –65...+150 °C, 15 мин)	500 циклов	DC&RF	Нет (45/45)
Термоциклирование (температура корпуса от +40 до +140 °C, электрическая нагрузка DC без достижения max Tj)	5000 циклов	DC&RF	Нет (45/45)
Надежность (высокая температура, электрическая нагрузка, Tj = 200 °C)	504 ч	DC&RF	Нет (45/45)
Температура/влажность (T = 85 °C, влажность 85%, без электрической нагрузки)	504 ч	DC&RF	Нет (45/45)
Высокая температура/влажность (T = +150 °C, влажность 85%, max электрическая нагрузка)	504 ч	DC&RF	Нет (45/45)
Пайка ((+260 ±5) °C, 3 цикла)	3 цикла	DC&RF	Нет (45/45)
Деформация выводов	—	—	Нет (15/15)
Паежность выводов	—	Визуальное	Нет (45/45)
Внешний вид выводов	—	Визуальное	Нет (45/45)

Результаты испытаний пластмассовых корпусов с открытой полостью

Поскольку пластмассовые корпуса с открытой полостью находятся между керамическими и пластмассовыми монолитными корпусами, к ним сложно применить стандарты испытаний, характерные для данных корпусов. Первым ограничением является испытание на проверку герметичности. Металлические крышки керамических корпусов для ИС герметизируются шовно-роликовой сваркой или напайкой, а органические и керамические крышки пластмассовых корпусов с открытой полостью — наклейкой на эпоксидную смолу, поэтому очевидно, что результаты испытаний герметичности обоих типов должны различаться. Однако в большинстве керамических СВЧ-корпусов также используется наклейка керамических крышек на эпоксидную смолу. Неприемлемо и соответствие стандартам классических монолитных пластмассовых корпусов, ведь к пластмассовым корпусам с открытой полостью предъявляются более высокие требования. Особенно по таким характеристикам, как герметичность и влагостойкость. Поэтому в зарубежной литературе пластмассовые корпуса с открытой полостью еще называют близкими к герметичным (Near Hermetic Package). К пластмассовым корпусам с открытой полостью предъявляются требования о соответствии тесту на грубую утечку (Gross Leak Test), а также третьему уровню чувствительности к влажности MSL-3 (Moisture Sensitivity Level) после операций:

- монтажа чипа;
- разварки выводов;
- герметизации крышки эпоксидной смолой;
- MSL-3 с последующей пайкой расплавлением припоя согласно JEDEC;
- 1000 циклов термоциклирования в диапазоне –65...+150 °C.

Однако некоторые производители пластмассовых корпусов с открытой полостью рекомендуют изготовителям ИС, применяющим их корпуса, более жесткие условия испытаний.

Рекомендуемые условия испытаний для корпусов IQLP:

- монтаж чипа ((410 ±5) °C, 3 мин);

- разварка выводов (+150 °C, 3 мин);
- наклейка крышки (+180 °C, 10 мин);
- тест на грубую утечку (+125 °C, 1 мин);
- обратный изгиб выводов на 30°;
- тест на грубую утечку (+125 °C, 1 мин);
- влагостойкость MSL-3 (10 дней, 30 °C, влажность 60%);
- пайка бессвинцовым припоем (+260 °C, 3 раза);
- тест на грубую утечку (+125 °C, 1 мин);
- 500 термоциклов (–65...+150 °C);
- тест на грубую утечку (+125 °C, 1 мин);
- продолжение до 1000 термоциклов (–65...+150 °C);
- тест на грубую утечку (+125 °C, 1 мин).

Рекомендуемые условия испытаний для корпусов RJR Technologies:

- контроль внешнего вида по MIL-STD-883, метод 2016;
- стабилизационная сушка, JESD 22-0113;
- Test MSL по JEDEC J-Standard-020C;
- пайка Sn-Pb: +183 °C (+168...+220 °C max), 60–150 с; безвыводные: +217 °C (+220...+260 °C max), 60–150 с;
- термоциклирование MIL-STD-883, метод 1010, режим C;
- термошок, 15 циклов, –65...+125 °C, воздух;
- механический шок MIL-STD-883, метод 2002;
- сушка, JESD 22-0113;
- способность к разварке выводов, MIL-STD-883, метод 2011.7;
- способность к посадке чипа, MIL-STD-883, метод 1010.10;
- целостность выводов, MIL-STD-883, метод 2004;
- способность к пайке выводов, MIL-STD-883, метод 2025;
- тест на вибрацию, MIL-STD-883, метод 2007.

Компания Freescale Semiconductor проводила испытания СВЧ-транзисторов для базовых станций в корпусах с открытой полостью с ЖКП компании IQLP. Тестирования включали термоциклирование с электрической и ВЧ-нагрузкой и без них, проверку при повышенной температуре и влажности (табл. 5). Данные операции сопровождалась тестами на грубую утечку. Результаты продемонстрировали надежность всех частей корпуса и полную альтернативу керамическим

Таблица 6. Результаты испытаний СВЧ- и QFN-корпусов с открытой полостью компании RJR Technologies

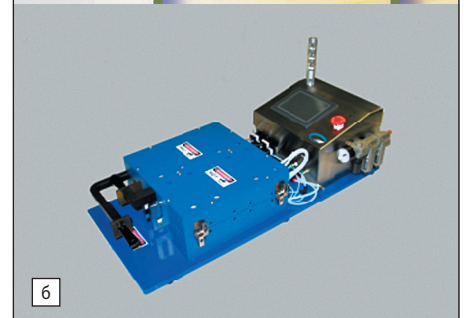
Тип испытаний	Обозначение	Регламент	Условия	Длительность цикла/отказы	Кол-во обр./кол-во отказов		
					Партия А	Партия В	Партия С
Корпуса СВЧ-транзисторов							
Чувствительность к влажности	MSL3	J-STD-020D	ИК-пайка, Т = 245 °С	По процедуре/ 0 отказов	80/0	80/0	80/0
Термоциклирование	TC	JESD22-A104	–65...+150 °С	1000 циклов/ 0 отказов	80/0	80/0	80/0
Корпуса QFN							
Чувствительность к влажности	MSL3	J-STD-020D	ИК-пайка, Т = 260 °С	По процедуре/ 0 отказов	70/0	70/0	70/0
Термоциклирование	TC	JESD22-A104	Режим G (–40...+125 °С)	500 циклов/ 0 отказов	210/0	–	–
Высокотемпературные	HTSL	JESD22-A103C	Режим А (+125 °С)	1000 ч/0 отказов	70/0	–	–
Низкотемпературные	LTSL	JESD22-A119	Режим А (–40 °С)	1000 ч/0 отказов	70/0	–	–

Таблица 7. Оборудование компании RJR Technologies для пластмассовых корпусов с открытой полостью

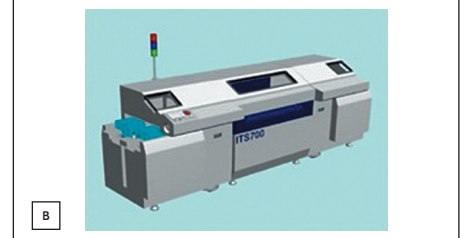
Тип оборудования	Назначение	Особенности	Производительность
ITS400	1. Наклейка крышек керамических и пластмассовых корпусов 2. Сборка пластмассовых корпусов с открытой полостью 3. Для исследований и лабораторий	1. Одна герметизирующая камера 2. Ручная загрузка 3. Автоматический программируемый процесс 4. Возможность работы только с разделенными пластиковыми корпусами с открытой полостью	–
ITS500	1. Наклейка крышек керамических и пластмассовых корпусов 2. Сборка пластмассовых корпусов с открытой полостью	1. Две герметизирующие камеры и производительность 2. Увеличенный размер камеры и производительность 3. Ручная загрузка 4. Автоматический программируемый процесс 5. Возможность работы с разделенными и 4 лентами корпусов с открытой полостью	До 200 шт./ч для больших СВЧ-корпусов
ITS600	1. Наклейка крышек керамических и пластмассовых корпусов 2. Сборка пластмассовых корпусов с открытой полостью	1. Две герметизирующие камеры 2. Увеличенный размер камеры и производительность 3. Автоматическое открывание и закрывание камер 4. Автоматический программируемый процесс 5. Возможность работы с разделенными и 4 лентами корпусов с открытой полостью	320 шт./ч для больших СВЧ-корпусов
ITS700	1. Наклейка крышек керамических и пластмассовых корпусов 2. Сборка пластмассовых корпусов с открытой полостью	1. Полностью автоматизированный процесс 2. Увеличенная в 5 раз производительность 3. На 66% меньше требуемая площадь размещения 4. Сокращение в 5 раз персонала 5. Возможность работы только с ленточными корпусами с открытой полостью 6. Для работы в составе производственной линии	1600 шт./ч для больших СВЧ-корпусов



а



б



в

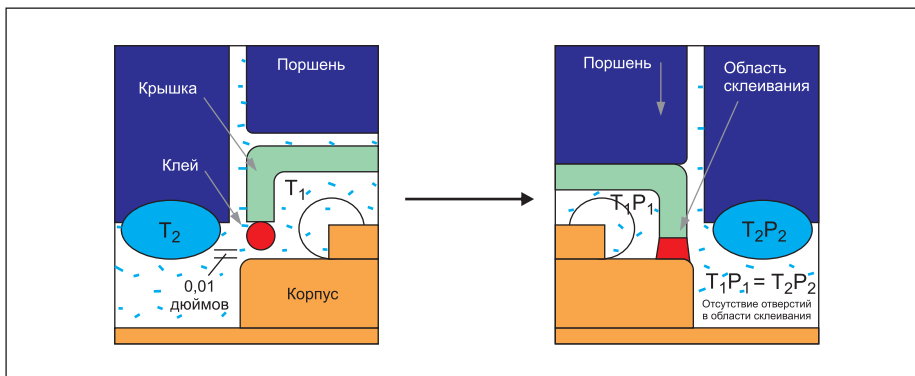
Рис. 11. Установки изотермической наклейки компании RJR Technologies:
а) ITS400; б) ITS500; в) ITS700

Рис. 10. Иллюстрация изотермического процесса наклейки крышек компании RJR Technologies

корпусов с открытой полостью. Основные типы и особенности данного оборудования представлены в таблице 7.

Изотермические системы герметизации ITS (Isothermal Sealing) компании RJR используют запатентованный процесс герметизации для исключения микроотверстий в эпоксидной смоле, возникающих при герметизации. Проблемой процесса наклейки крышек с эпоксидным клеем, вызывающей образование микропор в ходе герметизации, является увеличение внутреннего давления при нагревании воздуха во внутренней полости корпуса. На рис. 10 проиллюстрированы эти особенности. Запатентованный процесс герметизации включает выбор оптимальной последовательности операций, температуры, давления на крышку при наклейке, а также оптимизацию состава и параметров эпоксидной смолы для исключения микропор в клее. Фотографии установок ITS компании RJR Technologies показаны на рис. 11. Корпуса загружаются в левое приемное устройство камеры, а крышки с нанесенным эпоксидным клеем (преформой) — с противоположной стороны правого приемного устройства камеры. Расположение корпусов и крышек строго выровнено для их точного совпадения при соединении двух приемных устройств. Компания RJR выпусти-

корпусам. А для мощных СВЧ-транзисторов и RFIC (свыше 125 Вт) и частотой более 2 ГГц испытания показали преимущество пластмассовых корпусов с открытой полостью.

Компания RJR Technologies проводила тестирование своих корпусов для мощных СВЧ-приборов и серии QFN для маломощных СВЧ ИС и датчиков. Комплекс испытаний предусматривал термические, влажностные процедуры и контроль грубой утечки (табл. 6) [17]. Испытания также показали надежность всех частей корпуса.

Очевидно, что в дальнейшем доля пластмассовых СВЧ-корпусов в общем рыночном объеме будет возрастать за счет вытеснения транзисторов в керамических корпусах.

Оборудование для пластмассовых корпусов с открытой полостью

Сборочное оборудование для работы с пластиковыми корпусами с открытой полостью имеет мало общего с оборудованием для монолитных пластмассовых корпусов. Но для наклейки крышек с эпоксидной смолой для керамических и пластмассовых корпусов с открытой полостью применяется одинаковое оборудование. Компания RJR Technologies специализируется не только на разработке и производстве пластмассовых корпусов с открытой полостью, но и на оборудовании для наклейки крышек для всех типов корпусов и сборки пластмассовых

ла первую модель изотермической установки ITS100 в 1991 году и с тех пор разработала модели ITS200, 300, 400, 500, 600, обеспечивающие повышение производительности и качества. Проектируемая модель ITS700 ориентирована для работы в полном автоматическом режиме в составе производственной линии.

Установки ITS400, 500, 600, 700 предназначены также для наклейки боковых стенок ЖКП на основание пластмассовых корпусов с открытой полостью. Для реализации этих процессов на данном оборудовании необходима соответствующая оснастка для выбранного корпуса.

За последние два года АО «Синтез Микроэлектроника» приобрело у RJR Technologies две установки ITS500 и запустило их в эксплуатацию для процесса наклейки керамических крышек на керамические СВЧ-корпуса. Эксплуатация этого оборудования подтвердила отличное качество изотермической наклейки крышек, простоту и надежность процесса. Всего в мире было продано более 600 изотермических установок, что подтверждает высокий уровень и профессионализм компании RJR Technologies.

АО «Синтез Микроэлектроника» может поставлять российским компаниям установки герметизации серии ITS с сервисом подготовки и изготовления оснастки по техническим требованиям заказчика для корпусов и крышек клиента с последующим запуском оборудования. По запросу заказчиков возможна поставка элементов и пластмассовых корпусов с открытой полостью, а также постановка процесса их сборки на системах ITS.

Перспективы совершенствования пластмассовых корпусов с открытой полостью

Требования к изделиям полупроводниковой микроэлектроники непрерывно растут. Эти устройства должны работать все быстрее и в более жестких условиях, а их размеры и цены должны снижаться. Постоянное увеличение рабочей температуры перехода до +175 и до +200 °C, а в настоящее время

и до +225 °C, ставит все более сложные задачи не только перед разработчиками и производителями чипов, но и перед технологиями их корпусирования. А это предполагает разработку новых материалов, способных удовлетворить эти требования. Совершенствование текущих и создание новых материалов, направленных на улучшение адгезии ЖКП к металлическим выводным рамкам, повышение термостабильности ЖКП до 400 °C и более, увеличение влагостойкости до уровня MSL1 — таковы, очевидно, дальнейшие планы, предусматривающие совершенствование пластмассовых корпусов с открытой полостью. А для этого понадобится создание новых технологий и производственного оборудования. В ближайшие годы следует ожидать расширения номенклатуры корпусов по уровню сложности, размерам, количеству и шагу выводов.

Заключение

1. Пластмассовые корпуса с открытой полостью с применением термостабильных жидкокристаллических полимеров дают большие преимущества при их использовании в СВЧ-приборах, оптических ИС и MEMS.
2. Пластмассовые СВЧ-корпуса с открытой полостью позволяют повысить мощность, улучшить тепловые характеристики, снизить вес и себестоимость изготовления мощных СВЧ-транзисторов и RFIC при сохранении преимуществ керамических корпусов.
3. Пластмассовые корпуса с открытой полостью способны обеспечивать уровень влагостойкости MSL3 по J-STD-020 и полное соответствие требованиям тестов на грубую утечку, что подтверждает возможность их применения в различной, в том числе военной аппаратуре.
4. В мировой полупроводниковой электронике пластмассовые корпуса с открытой полостью из стадии опытных образцов давно перешли в стадию массового промышленного производства и применения, особенно для MEMS- и СВЧ-приборов. ■

Литература

1. Perry W. J. Military Standard Conversion. A New Way of Doing Business. 29 June 1994.
2. McHale J. Plastic ICs Get Hot in High-Temp Market. Military & Aerospace Electronics. July, 2001.
3. Green T., Terlizzi T. New Technology Challenges in Military // Space Microcircuits. Test Assembly & Packaging TIMES. April 2014.
4. High-Temperature Products. Texas Instruments. www.ti.com
5. Longford A. at all. Advantages of using LCP based pre-molded leadframe packages for RF & MEMS applications. Interplex Industries Inc. December 14, 2011.
6. Roman J. W., Ross R. J. Near Hermetic Air Cavity Plastic Packaging for Wireless, MEMS and Optical Applications. RJR Polymers, Incorporated.
7. Richard L. Liquid Crystal Polymers: New Barrier Materials for Packaging. Packaging Technology. October 1997.
8. Zimmerman M., Lee C. Plastic Air Cavity QFN with an Ultrasonic Lid Seal. Achieves True Hermetic Performance. Quantum Leap Packaging, Inc. November 15, 2007.
9. Dougherty D. at all. Multi-lead Organic Air-Cavity Package for High Power High Frequency RFICs. International Microwave Symposium. 2009.
10. Roman J. W., Ross R. J. Near Hermetic Air Cavity Plastic Packaging for Wireless, MEMS and Optical Applications. www.rjrtechnologies.com
11. Боднар Д. Мощные СВЧ-транзисторы и корпуса для российского и зарубежного рынков // Электронные компоненты. 2013. № 1.
12. Боднар Д. Металлические и композитные теплопроводящие материалы для мощных полупроводниковых корпусов // Компоненты и технологии. 2014. № 12.
13. RJR Technologies Announces Shipment of 10 Million Air Cavity Plastic (ACP) Packages. Oakland, California. May 4, 2016.
14. Leih D., Pelletier L., Shah M. Designing with Plastic RF Power Transistors. Freescale Semiconductor // White Paper. 2015. № 2, 9. www.freescale.com
15. www.mirrorsemi.com
16. www.icproto.com
17. www.rjrtechnologies.com
18. www.sempac.com