

Тенденции в производстве микросхем в пластиковых корпусах

Н. Плис, к. т. н.¹, В. Рудаков, д. ф.-м. н.²

УДК 621.3 | ВАК 2.2.2

Электронная промышленность производит различные по своему назначению микросхемы, большинство из которых изготавливаются в корпусном варианте. Материалами для корпусов являются металл, стекло, керамика и пластмасса. Корпуса из первых трех материалов выполняют все возложенные на них функции и являются высоконадежными. Однако они относительно дороги, процесс корпусирования микросхемы не поддается автоматизации, а в ряде случаев такой корпус является просто избыточным для электронного изделия. Что касается пластмассы, то хотя корпуса из этого материала не обладают высокой надежностью, однако они дешевле и процесс корпусирования поддается автоматизации. Кроме того, прогресс в разработке качественных полимерных материалов, а также применение новых методов защиты устройств с микросхемами в пластиковом корпусе, создает серьезную альтернативу первым трем материалам. Целью данной работы является обзор современных тенденций в производстве микросхем в пластиковых корпусах.

ЭВОЛЮЦИЯ ПОНЯТИЯ КОРПУСА

Одним из основных терминов в данной работе является корпус (микросхемы). От того, что мы понимаем под этим термином, во многом зависит его конструкция, технология изготовления и те функции, которые он должен в конечном итоге выполнять. К сожалению, в научно-технической литературе этому понятию уделяется недостаточно внимания. Часто содержание понятия корпуса микросхемы определяется интуитивно, в зависимости от характера его применения. Поэтому целесообразно привести определение корпуса (микросхемы) согласно нормативным документам и раскрыть его смысл. Тем более, что такие отечественные документы недавно претерпели изменения.

Рассмотрим старый ГОСТ 17021-88 (СТ СЭВ 1623-79) и процитируем определение термина корпуса микросхемы, данное в этом документе. Итак: «Корпус – часть конструкции интегральной микросхемы, предназначенная для ее защиты от внешних воздействий и для соединения с внешними электрическими цепями посредством выводов». Здесь микросхема включает в себя корпус как составную часть. Корпус же выполняет две функции, это «защита» и «соединение».

В новом ГОСТ Р 57435-2017, который вступил в силу совсем недавно, дается другое определение корпуса: «Корпус – совокупность сборочных единиц и (или) деталей, предназначенных для обеспечения защиты микросхемы от внешних воздействий, обеспечения теплопередачи, а также для организации электрических связей элементов и (или) компонентов с внешними электрическими цепями». В данном определении корпус уже не является составной частью микросхемы. Новое отечественное определение корпуса микросхемы в этом смысле совпадает с зарубежным определением корпуса, в частности SEMI International Standards: Compilation of Terms (Updated 0116)-2016. Корпус – это отдельное от микросхемы сложное устройство, выполняющее конкретные функции [1], которые представлены на рис. 1.

Что касается выводов, то они являются элементом конструкции не только корпусных, но и бескорпусных микросхем. Именно выводы или контактные площадки, предназначенные для монтажа в другие сборочные единицы и организации электрических связей с внешними устройствами, превращают полупроводниковый кристалл в интегральную микросхему.

МАТЕРИАЛ КОРПУСА

Многие электронные компании не только производят микросхемы в различных корпусах, но и разрабатывают новые. Это создает определенные трудности как в технологии их изготовления, так и в применении в различных

¹ АО «Ангстрем», первый заместитель генерального директора, plis@angstrem.ru.

² АО «Ангстрем», ведущий специалист, valeryrudakov@rambler.ru.

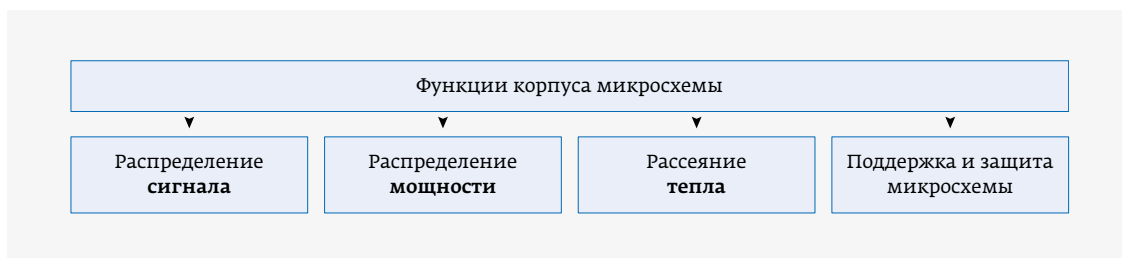


Рис. 1. Основные функции корпуса микросхемы [1]

электронных устройствах. Для упрощения технологического процесса изготовления микросхем и обеспечения эффективности их применения корпуса стандартизуют. В настоящее время количество стандартизованных корпусов достигает нескольких сотен. Кроме того, для упорядочивания стандартизованных корпусов осуществляется их классификация по различным признакам. Наиболее удачной до сих пор является классификация корпусов по используемому материалу. По данному признаку все корпуса традиционно подразделяются на три большие группы:

- металлостеклянные и стеклянные;
- металлокерамические и керамические;
- пластмассовые (полимерные, пластиковые).

В первую группу входят корпуса, материалами которых являются металл и стекло. К металлостеклянным относятся корпуса с металлическим основанием и выводами, изолированными стеклом. Стеклянными называются корпуса, основания которых изготавливаются из стекла с впаянными металлическими выводами. Крышки у таких корпусов могут быть как стеклянными, так и металлическими.

Вторую группу образуют корпуса, изготовленные из металла и керамики. Металлокерамические корпуса состоят из керамического основания с выводами и металлической крышки. В керамических корпусах основание и крышка изготавливаются из керамики.

Наконец третью группу составляют корпуса, выполненные из полимерного материала. Конструктивно они могут быть монолитными или с внутренним объемом. В монолитных корпусах отсутствует традиционная крышка. Пластмассовый корпус с полостью имеет основание, боковые стенки и крышку, которая может быть выполнена как из материала основания, так и другого материала, например изготовлена из стекла. В зарубежной научно-технической литературе пластиковые корпуса с внутренним объемом называют Air Cavity Package – корпус с воздушной полостью [2] или Open Cavity Package – корпус с открытой полостью [3]. В отечественной современной научно-технической литературе используются термины «корпус с открытой полостью» [4] или «корпус с полостью» [5]. Раньше такие пластиковые корпуса называли «полыми корпусами» [6].

ГЕРМЕТИЧНОСТЬ КОРПУСА

В последние годы самой обсуждаемой эксплуатационной характеристикой корпусов стала герметичность. Это вызвано прежде всего разработкой новых полимерных материалов, передовых технологий герметизации микросхем и массовым производством пластиковых корпусов для различных электронных устройств. Проблема герметичности корпуса также связана с возросшим применением микросхем в пластиковых корпусах в военной и аэрокосмической областях. В результате, кроме общепринятых терминов hermetic («герметичный») и non-hermetic («негерметичный»), в зарубежной литературе появились такие термины, как full-hermetic («полностью герметичный») и quasi-hermetic («квазигерметичный»), который в последствие было предложено заменить на термин near hermetic («почти герметичный») [7]. Кроме того, иногда термины негерметичный и квазигерметичный используются как синонимы [8]. Поэтому возникла необходимость в уточнении термина «герметичность», определении отличительных признаков указанных корпусов и классификации их по типу герметичности.

Согласно русскому языку, слово «герметичность» означает «непроницаемость для газов и жидкостей». Аналогично, американское словарное определение термина герметичность означает уплотнение (seal), которое является газонепроницаемым и непроходимым для потока газа. Фирма Texas Instruments указывает, что герметичное уплотнение препятствует проникновению газов и жидкостей во внутреннюю полость корпуса, где монтируется кристалл. В американских стандартах термин «герметичность» распространяется только на корпуса с уплотнением. В пластиковых монолитных корпусах отсутствуют воздушные полости, поэтому выполнить соответствующие тесты на герметичность, например с натеканием гелия, просто невозможно. Как мы видим, термин герметичность как в отечественной, так и зарубежной литературе имеет одинаковый физический смысл. Американский стандарт определяет по герметичности две большие группы корпусов для микросхем: 1) герметичные корпуса, которые должны иметь полость и состоять только из стекла, металла или керамики, а также их комбинации. В соответствии с этим требованием металлостеклянные и металлокерамические корпуса являются

герметичными; 2) негерметичные корпуса, которые не удовлетворяют требованию герметичности. К этой группе корпусов, априори, относятся все монолитные пластиковые корпуса. В ГОСТ 18725-83 (п. 1.2.4) дается определение «Микросхемы должны быть герметичными. Показатель герметичности микросхем, имеющих внутренние объемы, по скорости утечки газа не должен быть более:

- $5 \cdot 10^{-3}$ Па · см³ / с ($5 \cdot 10^{-5}$ л · мкм рт. ст./с) – для микросхем внутренним объемом до 1 см³;
- $5 \cdot 10^{-2}$ Па · см³ / с ($5 \cdot 10^{-4}$ л · мкм рт. ст./с) – для микросхем внутренним объемом более 1 см³».

Далее в этом ГОСТ 18725-83 указано, что проверка герметичности осуществляется для всех корпусов, «кроме микросхем монолитной конструкции» (п. 2.1.2.2.). Таким образом, одним отличительным признаком уровня герметичности корпуса является наличие (отсутствие) в нем полости. Если в качестве другого признака принять наличие (отсутствие) уплотнения между стенками корпуса и крышкой, а третьим признаком выбрать тип материала корпуса, тогда по уровню герметичности можно выделить четыре класса корпусов:

- А – полностью герметичные (FullHP – Full Hermetic Packages);
- В – герметичные (HP – Hermetic Packages);
- С – почти герметичные (NearHP – Near-Hermetic Packages);
- D – негерметичные (NonHP – Non-Hermetic Packages).

А-класс. Характерными признаками полностью герметичных корпусов являются:

- применение стекла в качестве материала корпуса;
- наличие внутреннего объема (полости);
- отсутствие уплотнения между основанием корпуса и крышкой.

В соответствии с этой классификацией к полностью герметичным относятся рассмотренные выше стеклянные корпуса – например, электронно-лучевые трубки и электронно-вакуумные лампы. В настоящее время только незначительное число электронных устройств нуждаются в вакууме и на смену стеклу пришли металлические и керамические материалы.

В-класс. Отличительными особенностями герметичных корпусов служат:

- использование металла или керамики в качестве материала корпуса;
- наличие внутреннего объема (полости);
- применение уплотнения между основанием корпуса и крышкой.

Мы видим, что общим признаком полностью герметичного и герметичного корпусов является наличие полости для монтажа кристалла микросхемы. К классу В относятся современные металлостеклянные и металлокерамические корпуса.

С-класс. Характерными признаками почти герметичных корпусов являются:

- использование пластика в качестве материала корпуса;
- наличие внутреннего объема (полости);
- применение уплотнения между основанием корпуса и крышкой.

Отличие от герметичного корпуса состоит в типе материала корпуса. К почти герметичным корпусам относятся пластиковые корпуса с внутренним объемом. Эта группа корпусов занимает промежуточное положение между герметичными и негерметичными корпусами.

D-класс. Отличительными особенностями негерметичных корпусов являются:

- использование пластика в качестве материала корпуса;
- отсутствие внутреннего объема (полости);
- отсутствие уплотнения между основанием корпуса и крышкой.

Все монолитные пластиковые корпуса относятся к негерметичным. Отсутствие внутренней воздушной полости у таких корпусов не позволяет проверить их на герметичность.

С появлением корпусов С-класса (почти герметичных корпусов) поднялась новая волна дискуссий о том, что считать герметичным [9]. Ведь теперь отличие почти герметичных корпусов от герметичных состоит только в другом качестве материала корпуса. Однако и эта граница между ними постепенно исчезает, так как последние достижения в области полимерных материалов указывают на существенное улучшение их свойств. В частности, был создан Liquid Crystal Polymer (LCP) – жидкокристаллический полимер, который по своим свойствам ничем не уступает металлу и керамике. В соответствии ГОСТ 18725-83: «Для микросхем, имеющих внутренние полости, герметизацию которых осуществляют заливкой или склеиванием полимерными материалами, допускается вместо проверки герметичности проводить проверку качества уплотнения по методу, указанному в стандарте на методы испытаний» (Примечание 1, с. 9).

Важно отметить одну особенность герметичных и почти герметичных корпусов. Все они включают такие элементы как основание, боковые стенки и крышку, которые отсутствуют у негерметичных корпусов. В свою очередь корпуса С-класса занимают промежуточное положение между герметичными и негерметичными корпусами. Несмотря на то, что негерметичные и почти герметичные корпуса не удовлетворяют существующим стандартам по герметичности, согласно анализу компанией Industry Growth Insights рынка электронных корпусов за 2021–2021 годы, пластиковые корпуса уже в 2020 году опередили керамические и заняли вторую позицию после металлических корпусов. Более того, многие разработчики корпусов считают, что будущее за пластиком [10–12].

ТРЕБОВАНИЯ ПО ВЛАЖНОСТИ

Первоначально ИС в пластиковых корпусах использовались в устройствах с малой рассеиваемой мощностью, работающих при нормальной или низкой влажности и в ограниченном диапазоне температур. Такие устройства выпускались большими сериями для коммерческих целей. Это было связано с тем, что герметизация пластиком не обеспечивала надежной защиты ИС от повышенной влажности и температуры. Влагопроницаемость полимерных материалов и наличие в них различных агрессивных жидких и газообразных веществ, мигрирующих с влагой к кристаллу, приводили к коррозии металлизации на нем, а низкая теплопроводность полимерного материала затрудняла отвод тепла.

Несмотря на достигнутые успехи в области компаундов, относительно высокое влагопоглощение вызывает

беспокойство в связи с ростом температуры пайки. Международными организациями IPC/JEDEC принят стандарт J-STD-020E, который устанавливает шесть уровней влажности для корпусов микросхем. Требования к каждому уровню влажности представлены в табл. 1.

В ГОСТ 18725-83 указано, что микросхемы должны быть устойчивы к климатическим воздействиям и сохранять свои параметры в процессе и после воздействия на них, в частности, «относительной влажности не более 98% при температуре 35 °С без конденсации влаги».

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Промышленное изготовление микросхем, в том числе и в пластиковых корпусах, связано с использованием разнообразных материалов и технологий. Их выбор и соответствующее применение влияют на качество

Таблица 1. Уровни чувствительности по влажности согласно IPC/JEDEC J-STD-020E

Уровень	Срок службы		Требования к выдержке				
			Стандартное		Ускоренный эквивалент		
			Время	Условие	0,40–0,48 эВ	0,30–0,39 эВ	Условие
Время	Условие	Время, ч	Условие	Время, ч	Время, ч		
1	Неограниченное	≤30 °С / 85% отн. влажн.	168 +5/-0	85 °С / 85% отн. влажн.	Нет данных	Нет данных	Нет данных
2	1 год	≤30 °С / 60% отн. влажн.	168 +5/-0	85 °С / 60% отн. влажн.	Нет данных	Нет данных	Нет данных
2a	4 недели	≤30 °С / 60% отн. влажн.	696 +5/-0	30 °С / 60% отн. влажн.	120 +1/-0	168 +1/-0	60 °С / 60% отн. влажн.
3	168 часов	≤30 °С / 85% отн. влажн.	192 +5/-0	30 °С / 60% отн. влажн.	40 +1/-0	52 +1/-0	60 °С / 60% отн. влажн.
4	72 часа	≤30 °С / 60% отн. влажн.	96 +2/-0	30 °С / 60% отн. влажн.	20 +0,5/-0	24 +0,5/-0	60 °С / 60% отн. влажн.
5	48 часов	≤30 °С / 60% отн. влажн.	72 +2/-0	30 °С / 60% отн. влажн.	15 +0,5/-0	20 +0,5/-0	60 °С / 60% отн. влажн.
5a	24 часа	≤30 °С / 60% отн. влажн.	48 +2/-0	30 °С / 60% отн. влажн.	10 +0,5/-0	13 +0,5/-0	60 °С / 60% отн. влажн.
6	Время на этикетке	≤30 °С / 60% отн. влажн.	Время на этикетке	30 °С / 60% отн. влажн.	Нет данных	Нет данных	Нет данных

Примечание 1: Уровни влажности определены после сушки микросхем в течение 24 ч при минимальной температуре 125 +5/-0 °С. Этот этап предназначен для удаления влаги из корпуса, чтобы он был сухим. После этого микросхемы помещаются в чистый, сухой и неглубокий контейнер так, чтобы корпуса микросхем не касались друг друга. Далее проводится процедура во влажной среде согласно условиям в табл. 1.

Примечание 2: Ускоренное эквивалентное условие выдержки во влажной среде можно использовать, если известна энергия активации (эВ) для диффузии влаги в материале корпуса микросхемы, которая находится в интервалах 0,40–0,48 эВ или 0,30–0,39 эВ. Ускоренное время выдержки во влажной среде может варьироваться в зависимости от свойств материала корпуса.

Таблица 2. Ограниченные в применении вещества согласно RoHS 2015/863/EU

п/п	Вещество	Единицы, ppm
1	Свинец (Pb)	<1 000
2	Ртуть (Hg)	<100
3	Кадмий (Cd)	<100
4	Шестивалентный хром (Cr VI)	<1 000
5	Полибромированные бифенолы (PBВ)	<1 000
6	Полибромированные дифениловые эфиры (ДЕНР)	<1 000
7	2-этилгексил фталат (ДЕНР)	<1 000
8	Бутилбензилфталат (ВВР)	<1 000
9	Дибутилфталат (ДВР)	<1 000
10	Диизобутилфталат (ДІВР)	<1 000

и экологическую безопасность продукции в течение всего срока ее службы. Поэтому данные о содержании тех или иных веществ в электронных компонентах должны быть представлены в удобной для пользователя форме. С учетом возросших требований к экологической безопасности, странами Европейского Союза в 2015 году была принята новая (третья по счету) директива 2015/863/EU (RoHS 3), ограничивающая содержание вредных веществ. В настоящее время перечень включает десять веществ, которые приведены в табл. 2. Как видно из табл. 2, максимальная концентрация ртути и кадмия в однородных материалах не должна превышать 0,01% их массы, а содержание остальных веществ в однородных материалах не должно превышать 0,1%. На сборочных операциях микросхем действие директивы распространяется, в частности, на пластик и припой. Необходимо отметить, что в соответствии с требованием директивы RoHS сертифицируются и производство, и продукция. Провести испытания и получить сертификат соответствия этой директиве можно в независимой тестовой лаборатории. В этом случае производство и продукция будут иметь маркировку RoHS compliant.

Россия не входит в Евросоюз и у нее нет никакого контроля за использованием приведенных в табл. 2 веществ. Наверное, можно сказать,

что нам все равно, потому что всё делается в Китае. Тем не менее, даже многие неевропейские производители уже перешли на выпуск продукции, соответствующей директиве RoHS.

При организации серийного производства микросхем в пластиковых корпусах необходимо принимать во внимание требования RoHS. Если невозможно полностью эти требования выполнить, то по крайней мере нужно с самого начала принимать меры по минимизации использования вредных веществ.

ТЕНДЕНЦИИ МЕТОДОВ МОНТАЖА МИКРОСХЕМ

Технология монтажа микросхем на печатную плату существенно изменилась в последние годы (рис. 2). Совсем недавно все микросхемы выпускались со штырьковыми выводами, которые запаивались в отверстия на печатной плате. Это так называемая технология монтажа в сквозные отверстия (ТНТ – Through Hole Technology). Преимуществом этой технологии является ее простота, так как производство таких плат не требует сложного оборудования и специальной подготовки. Недостатком является то, что отверстие на плате занимает много места, и расстояние между соседними выводами микросхемы должно быть существенно больше, чем при использовании технологии поверхностного монтажа (Surface Mount Technology, SMT), когда выводы микросхемы припаиваются к поверхности печатной платы. В связи с появлением микрокорпусов, соизмеримых с размером кристалла, таких как CSP (Chip Scale Package), μBGA, и слегка больше кристалла – SLICC (Slightly Larger than an IC Carrier) была разработана новая технология монтажа, которая называется технологией монтажа в масштабе кристалла (Chip Scale Technology, CST). В последние годы появился интерес к непосредственному монтажу кристаллов на плату

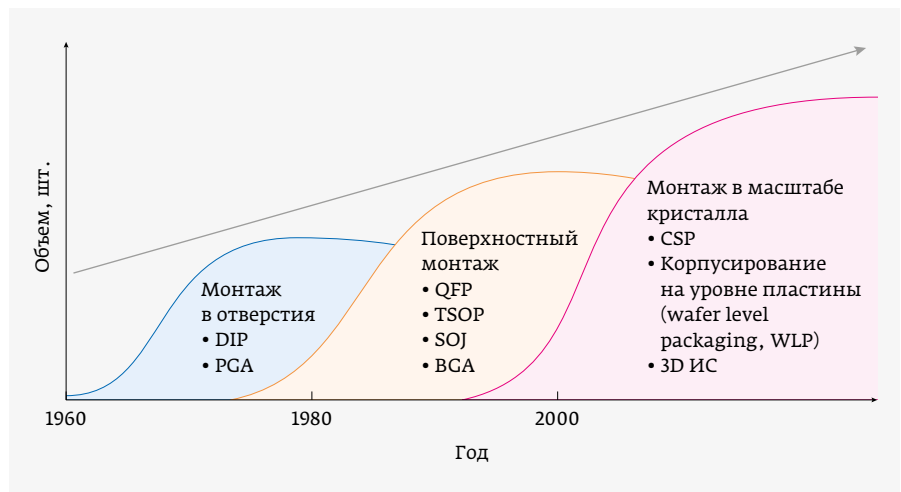


Рис. 2. Тенденции в технологии монтажа микросхем [13]

Таблица 3. Тенденция уменьшения толщины пластикового корпуса [14]. Значения приведены в мм

	LQFP	TQFP	VQFP	U/W/VQFP-mr
Смола	1,40	1,00	1,00	0,55/0,70/0,80
Кристалл	0,35	0,375	0,280	0,280/0,140
Выводная рамка	0,125	0,125	0,200	0,100-0,125
Зазор	0,150 макс.	0,150 макс.	0	0,025-0,050
Общая толщина корпуса	1,60 макс.	1,20 макс.	1,00 макс.	0,65/0,8/1,0 макс.

(Direct Chip Attach, DCA). Это в первую очередь кристалл на плате (Chip-on-Board, CoB), многокристальный модуль (Multi-Chip-Module, MCM) и интеграция на уровне пластины (Wafer Level Packaging, WLP). В работе [13] три рассмотренные выше последние технологии называются самыми важными достижениями в корпусировании микросхем.

Из рис. 2 следует, что на данный момент технология поверхностного монтажа микросхем на печатную плату существенно преобладает над традиционной технологией монтажа в сквозные отверстия. В то же время новая технология поверхностного монтажа микросхем – технология монтажа в масштабе кристалла, превышает по объему выпуска не только технологию монтажа в сквозные отверстия, но и традиционную технологию поверхностного

монтажа. Как показывает рис. 2, вершина новой технологии еще далеко не наступила, а пик традиционного поверхностного монтажа уже пройден.

ТЕНДЕНЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОРПУСОВ

Тенденция уменьшения толщины пластикового корпуса. При разработке новых электронных устройств все большее значение приобретает не только плотность упаковки элементов микросхем, но и габаритные размеры корпусов. Происходит уменьшение всех размеров корпуса, в том числе и толщины (рис. 3). В работе [14] показано на примере семейства корпусов QFP, что с разработкой нового типа корпуса этого семейства происходит одновременно уменьшение толщины кристалла, геометрических размеров отдельных элементов корпуса и общей толщины корпуса, а также снижается величина зазора между корпусом и печатной платой вплоть до их соприкосновения. Конкретные значения указанных величин представлены в табл. 3.

Тенденции объемов производства. На рис. 4 приведены данные о продажах по годам различных типов корпусов.

Тенденции рынка. В настоящее время существует большое количество публикаций, дающих прогноз по развитию корпусов, например [16–18]. В работе [16] прогнозируются пять ведущих промышленных технологий корпусирования, а также сегменты рынка для них. Все технологии и рынки для них представлены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что корпуса с FC хотя и стоят относительно дешево, однако используются только в двух сегментах рынка. Во всех сегментах рынка применяются самые дорогие корпуса на платформе SiP с пластиной.

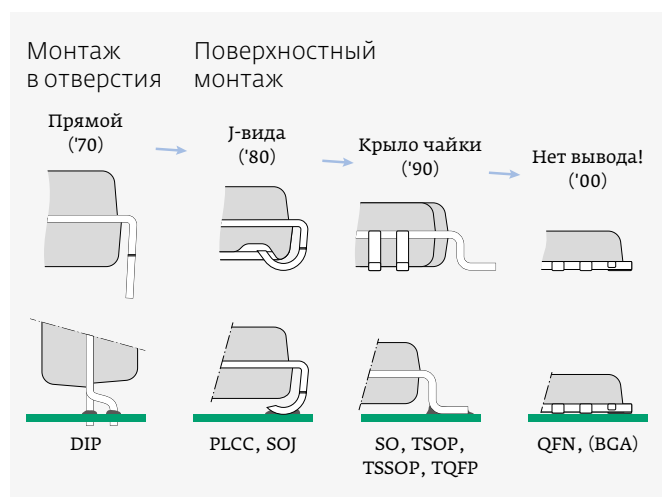


Рис. 3. Эволюция формы выводов [14]. Апостроф перед числом означает, что оно воспринимается как текстовый символ; авторы [14] с помощью этих символов показывают масштаб в уменьшении толщины корпуса микросхемы. Скобки у BGA означают возможность в будущем уменьшить толщину также корпуса BGA до указанного символического размера

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИКОВЫХ МИКРОСХЕМ

Коммерческие технологии. Как для монтажа в отверстия (THT), так и для поверхностного монтажа (SMT), в основном используются пластиковые корпуса. Наиболее распространенными из них являются PSOP/SO, PLCC, PQFP [19]. Помимо микросхем, выполненных по традиционным технологиям THT и SMT, существуют также

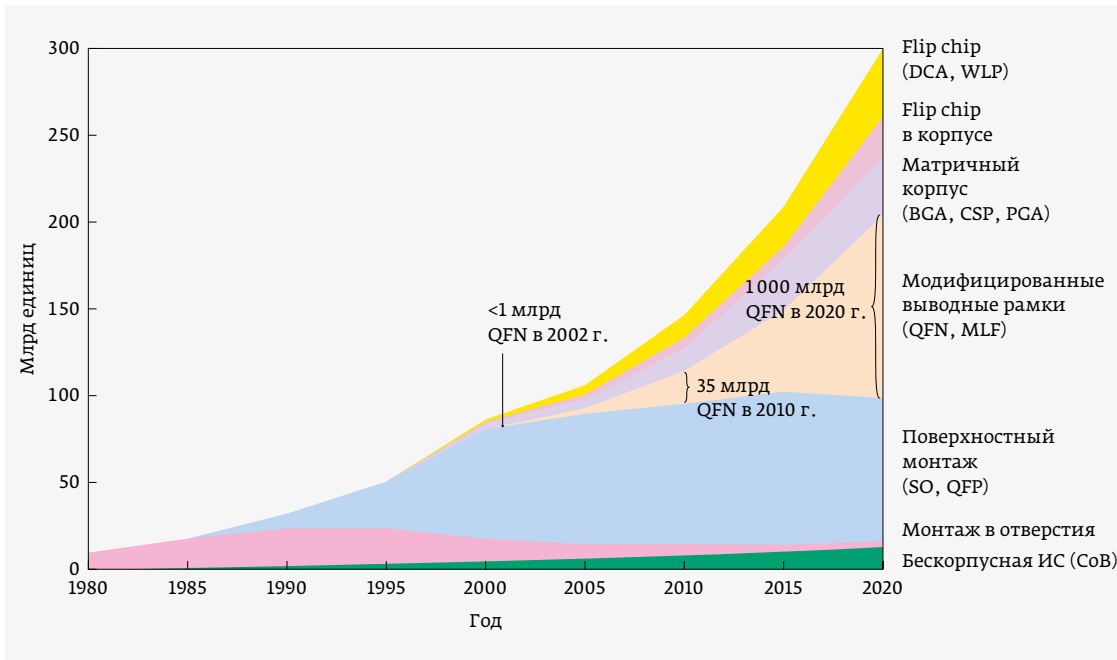


Рис. 4. Основные тенденции продаж пластиковых корпусов [15]

бескорпусные микросхемы, выполненные по так называемым технологиям с высокой плотностью межсоединений (High Density Interconnect, HDI). К ним относятся технологии автоматической сборки на ленте (Tape Automated Bonding, TAB), «кристалла на плате» (Chip on Board, CoB) и «перевернутого кристалла» (flip chip), которые обеспечивают гораздо большую плотность упаковки на плоском модуле микросхемы, чем стандартные технологии, в которых соединение кристалла и выводов осуществляется с помощью проволоки. Так, технологии CoB или flip chip позволяют получить в 2–3 раза большую плотность размещения компонентов на печатной плате. Еще более высокой плотности можно достичь за счет непосредственного размещения кристалла ИС на печатной плате, используя

технология FCoB (Flip Chip on Board – перевернутый кристалл на плате).

В таких устройствах, как портативные телевизоры, CD-плееры, видеокамеры и ноутбуки, где миниатюрность используемых электронных компонентов играет исключительно важную роль, до сих пор значительную долю составляют микросхемы в корпусах типа PSOP, тонком PQFP и CSP [19].

Специальные технологии. В работе [20] сделан обзор по использованию пластиковых микросхем в военной аппаратуре. Огромный объем (99%) электронного рынка в Северной Америке приходится на ВЧ-продукты, произведенные для коммерческих применений и только 1% – на департамент промышленности [21].

Таблица 4. Пять крупных целевых сегментов рынка [16]

Мобильность	Интернет	АМ	Память	ВПВ
1. Платформа FC с низкой стоимостью				
2. Платформа WLCSP				
3. Платформа МЭМС и корпусирование датчиков				
4. Платформа SiP с подложкой в качестве основания				
5. Платформа SiP с пластиной в качестве основания				

Примечание: Мобильность – способность переводить ИС на данной платформе из одного сегмента рынка в другой с минимальными затратами; АМ – автомобильный; ВПВ – высокопроизводительные вычисления; FC (flip chip) – монтаж методом перевернутого кристалла; SiP (system in package) – система в корпусе

Таблица 5. ВЧ и другие физические свойства герметичной керамики почти герметичного LCP [21]

Свойство	Обычная керамика	Жидкокристаллический полимер (LCP)
Диэлектрическая постоянная	9,7	2,9
Тангенс угла диэлектрических потерь	0,009	0,002
Температура теплового отклонения (Heat Deflection Temperature, HDT), °C	≥1 000	270
Стоимость квадратного дюйма	Приблизительно 10 долл.	Приблизительно 2 долл.
Водопоглощение, %	0,0	0,025
Плотность, Г/см ³	4,0	1,2
Герметичность (MIL-STD-882)	Да	Да

В табл. 5 приведены свойства керамики для герметичных корпусов и свойства LCP для почти герметичных корпусов.

Анализ пластиковых микросхем для коммерческих и военных применений дан в работе [22]. В табл. 6 приведены основные различия между коммерческими и военными микросхемами с корпусами из пластика и керамики, изготовленными предприятиями QML (Qualified Manufacturers List – список квалифицированных производителей) для военно-морских применений.

Отечественная компания АО «Ангстрем» (Зеленоград), ведущий разработчик и производитель интегральных микросхем и полупроводниковых приборов, начала выполнять проект «Разработка и освоение комплексной и высокоавтоматизированной производственной линии сборки интегральных микросхем и полупроводниковых приборов по продукции народного хозяйственного применения и двойного назначения в пластиковых корпусах (SO, TSSOP, SOT, QFN, DFN, TO) на кристаллах собственного производства и других производителей на отечественном сырье и материалах от 2-х до 500-т выводов». Реализация данного проекта весьма актуальна и позволит существенно улучшить решение вопросов импортозамещения, диверсификации, локализации.



ангстрем

Полностью отечественные электронные компоненты:

- >> Аналоговые микросхемы
- >> Микросхемы стандартной логики
- >> Микроконтроллеры
- >> Драйверы
- >> Микросхемы памяти
- >> Радиочастотная идентификация
- >> Силовая электроника

Более 10 000 наименований микросхем собственного производства для космоса, ОПК и гражданского рынка

www.angstrem.ru

Таблица 6. Основные различия между коммерческими и военными микросхемами [22]

	Коммерческий пластик	QML-пластик	QML-керамика
Начальная стоимость	Низкая	Средняя	Высокая
Температура окружающей среды	0–70 °С	–55...125 °С	–55...125 °С
Электрический тест	Согласно техническому описанию	SMD ²	SMD ²
Окончание вывода	Палладий, медь	Палладий	Погружение в горячий припой
Долгосрочная надежность	Хорошая	Хорошая	Лучшая
Оперативность поставщика	Зависит от дохода поставщика	Высокая	Высокая
Хранение и обработка	Дополнительные требования	Дополнительные требования	Без дополнительных требований
Доступность	Преобладающий рынок	Хорошая	Хорошая
Номенклатура продукта	Лучшая	Слабая, но улучшающаяся	Хорошая
Время для рынка	Лучшее	Хорошее	Хорошее
Контроль морального старения	Минимальный	Лучше	Лучший
Прослеживаемость (Traceability) ¹	От минимальной до хорошей	Лучшая	Лучшая
Специальные требования OEM	Недоступны	Недоступны	Доступны
Уведомление об изменении	Ограничено	GIDEP ³	GIDEP ³
Сертификация поставщика	Пользователь	DSCC ⁴	DSCC ⁴
Выбор поставщика	Критично	Менее важно	DSCC ⁴

¹ Возможность отслеживать продвижение продукта на всех этапах его жизненного цикла.

² Наличие устройства для электрического тестирования SMD ИС.

³ GIDEP (Government-Industry Data Exchange Program) – программа обмена данными между правительством и промышленностью.

⁴ DSCC (Defense Supply Center Columbus) – Центр оборонного снабжения Колумбуса.

Применение COTS-технологий. COTS (Commercial Off-The-Shelf – готовые к использованию) означает, что для построения систем специального назначения применяется особый подход, согласно которому используются промышленные микросхемы, а модули, блоки и т. п. выполняются в специальном исполнении и обеспечивают требуемые условия эксплуатации (например, устойчивость к климатическим, вибрационным, акустическим

и др. воздействиям). В COTS-технологии применяются готовые микросхемы открытого типа, ранее широко апробированные и/или стандартизованные на рынке общепромышленных гражданских приложений.

Концепция COTS возникла как инициатива министерства обороны США и оборонных ведомств ряда других западных стран, желающих сократить свои расходы за счет уменьшения доли дорогостоящих уникальных

решений и технологий. Для российских разработчиков в настоящее время, в условиях усложнения экономической ситуации и введения санкций, перекрывающих доступ к элементной базе оборонного и двойного назначения, такой способ экономии средств на создание аппаратуры с высокими техническими характеристиками особенно актуален. В настоящее время общая тенденция построения систем на базе стандартизованных COTS-компонентов проникла в военную и космическую области. Это касается и микросхем в пластиковых корпусах, которые могут применяться для «нежестких» внешних условий. Использование пластиковых COTS-микросхем для космических применений рассмотрено в работах [23, 24].

Корпус микросхемы представляет собой сложное устройство, которое выполняет самостоятельные, отдельные от микросхемы функции. Чтобы обеспечить выполнение необходимых функций, к микросхемам в пластиковом корпусе предъявляют более жесткие требования по надежности и герметичности. Кроме того, появление на рынке пластиковых корпусов с полостью вызвало необходимость их классификации по герметичности, а разработка новых полимерных материалов с улучшенными свойствами привела к тому, что микросхемы в пластиковом корпусе имеют тенденцию к увеличению рынка по объему, номенклатуре и применению.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kwak H., Hubing T.** An overview of advanced electronic packaging technology. Technical report: CVEL-07-001, 2007.
2. **Kim J. T., Ham K. S., Park S. I.** Plastic Air Cavity Encapsulation Process. – GaAs MANTECH, 1997. PP. 149–152.
3. Prototype Assembly with Open Cavity Packages. – MAJELAC Technologies, 2017.
4. **Боднарь Д.** Пластмассовые корпуса с открытой полостью для интегральной и СВЧ-электроники // Компоненты и технологии. 2016. № 11. С. 137–144.
5. **Громов В.** Металлокомпозитные корпуса с полостью. Альтернатива металлокерамическим корпусам микросхем и полупроводниковых приборов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2014. № 2. С. 106–112.
6. **Волков В. И.** Сборка и герметизация микросхемных устройств. М.: Радио и связь, 1982, 144 с.
7. **Gilleo K., Jones D., Brown R., Pham-Van-Diep G.** The Time is Right for Injection-Molded Packages. SMTA-International, Sept. 27, 2004, Chicago, IL, PP. 1–10.
8. **Zetterer Th., Herzberg J., Baehr J., Waxman K.** When Failure is not an Option – Packaging Materials and Technologies for the Reliable Protection of Medical Electronics. – IMAPS Proceedings 2018 (1): 512–16. <https://doi.org/10.4071/2380-4505-2018.1.000512>
9. **Green T. J.** Hermetic vs. “Near Hermetic” Packaging – a Technical Review. 2018. PP. 1–5, <https://www.tjgreenllc.com>.
10. **Гиллео К.** Будущее за пластиками // Печатный монтаж. 2006. № 6. С. 14–16.
11. **Bereznycky P.** Ceramic to Plastic Packaging. – Empfasis, 2010. PP. 1–8.
12. Ceramic to Plastic Packaging. – ACI Technologies, Inc. Techtips. 2017.
13. **Lopez-Buedo S., Boemo E.** Electronic Packaging Technologies. – Universidad Autonoma de Madrid. – <http://www.doe.carleton.ca/~tjs/10-Packaging.pdf>
14. **Federico Z.** Future Trends in Microelectronics Device Packaging. 2015. 22 p.
15. **Keller G.** A Review of Semiconductor Packaging. 2015.
16. **Huemoeller R., Arcedera A., Alapati R.** Five Industry-Leading Packaging Technologies. – Meptec Report. Winter 2016. PP. 20–23. – https://c44f5d406df450f4a66b-1b94a87d576253d9446df0a9ca62e142.ssl.cf2.rackcdn.com/2018/01/11_16-Big_Five_Industry-Leading_Packaging_Technologies.pdf
17. **Nakamura Y., Katogi S.** Technology Trends and Future History of Semiconductor Packaging Substrate Material. – Hitachi Chemical Technical Report. No. 55. PP. 24–29.
18. **Ahmad M.** Advanced packaging: five trends to watch in 2017. – Electronic Products Magazine. Website. 01/25/2017.
19. **Шумахер У.** Полупроводниковая электроника. Справочник. – Издательство: Infineon Technologies AG, 2004. 590 с.
20. **Pittman L. D., Chance V. O., Renegar P. L.** Use of Plastic Encapsulated Microcircuits (PEMs) in Military Equipment. – <https://nepp.nasa.gov/docuploads/C9B660A6-27EE-4A0F-A75017DBA3AE94CE/Use%20of%20PEMs%20in%20Military%20Equipment.pdf>
21. **Verdi F.** RF Packaging Advancements for Navy Applications. – <https://smtnet.com/library/files/upload/RF-Packaging.pdf>
22. **Biddle S. R.** Commercial Plastic Microcircuits – A Total Solution For Military Applications? – <https://nepp.nasa.gov/docuploads/6000C904-3093-44CA-96A78169BC195A26/Commercial%20Plastic%20Microcircuits%20A%20Total%20Solution%20For%20Military%20Applications.pdf>
23. **Gerke R. D., Shapiro A. A., Agarwal S., Peters D. M., Sandor M. A.** Use of Plastic Commercial Off-The-Shelf (COTS) Microcircuits for Space Applications. – Proceedings of InterPack 03: International Electronic Packaging. Maui, Hawaii, USA. July 6–11, 2003. – <https://asmedigitalcollection.asme.org/InterPACK/proceedings/InterPACK2003/36908b/801/299172>
24. **De Heus R.** Self Qualification Results. NiPdAu plated leadframes, Green Molding Compound and Green Die-Attach for TSSOP8/10/38 packages assembled at Subcontractor Amcor Technologies Philippines. 2005. Philips Internal Report No.: RNR-83-05/RdH/RdH-2028.