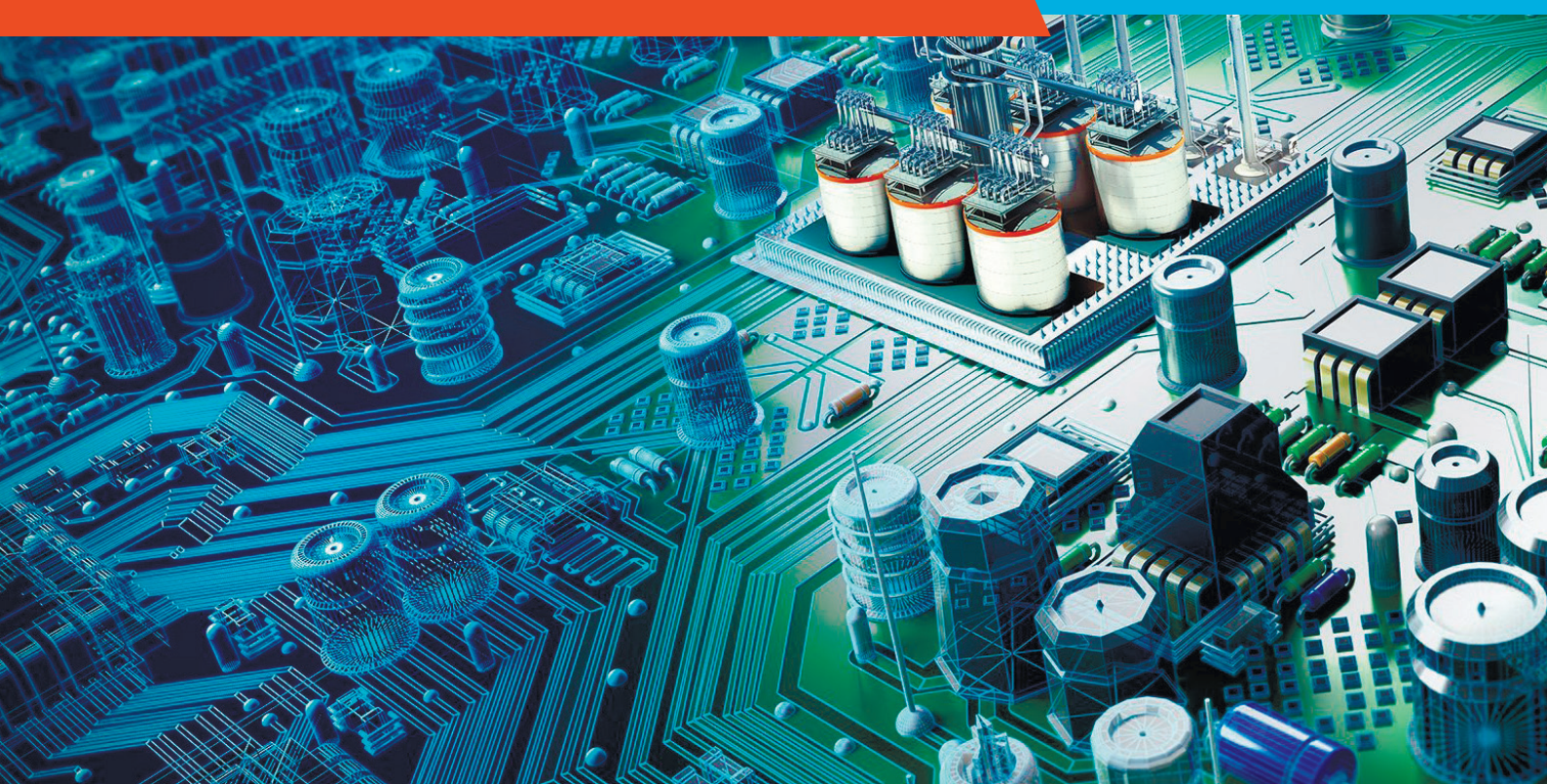


3 (7) | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2022 | ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



www.vniir-m.ru

www.elsert.ru

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИНФОРМАЦИЯ
СЕРТИФИКАЦИЯ, АТТЕСТАЦИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ
РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ
КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА СТАДИЯХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ QFN-КОРПУСОВ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

**APPLICATION OF MATERIALS AT THE STAGES OF MANUFACTURING QFN ENCLOSURES
FOR MICROELECTRONICS PRODUCTS**

Дормидошина Д. А., заместитель генерального директора АО «ЦКБ «Дейтон», эксперт по стандартизации; +7 (925) 104–77–96; dormidoshina@deyton.ru; **Рубцов Ю. В.**, генеральный директор АО «ЦКБ «Дейтон», эксперт по стандартизации; +7 (926) 009–37–00; e-mail: rubtsov@Deyton.ru

Dormidoshina D. A., deputy General Director of JSC «Central Design Office «Deyton», expert on standardization; +7 (925) 104–77–96; dormidoshina@deyton.ru; **Rubtsov U. V.**, General Director of JSC «Central Design Office «Deyton», expert on standardization; +7 (926) 009–37–00; e-mail: rubtsov@Deyton.ru

Аннотация. В настоящей статье представлены результаты исследований и разработки метода классификации QFN-корпусов по признакам свойств применяемых материалов с целью создания перспектив для возникновения потребности в них достаточной для их разработки и изготовления отечественными предприятиями.

Также в статье рассмотрены возможности обеспечения процессов сокращения барьеров, снижающих объём применения отечественных QFN-корпусов в изделиях отечественной микроэлектроники, решения проблем унификации их номенклатуры, классификации типоминалов QFN-корпусов, управления параметрами и качеством, а также для сокращения сроков принятия решения на этапах выбора корпусов.

Annotation. This article presents the results of research and development of a method for classifying QFN-packages according to the characteristics of the properties of the materials used in order to create prospects for the emergence of a need for them sufficient for their development and manufacture by domestic enterprises.

Also, the article considers the possibility of providing processes for reducing barriers that reduce the scope of use of domestic QFN-packages in domestic microelectronics products, solving the problems of unifying their nomenclature, classifying the type ratings of QFN-packages, managing parameters and quality, as well as reducing the time for making a decision at the stages of choosing packages.

Ключевые слова: корпус, QFN, материалы, керамика, пластик.

Keywords: package, QFN, materials, ceramics, plastic.



Дормидошина Д. А.



Рубцов Ю. В.

Введение

По прогнозам зарубежных аналитиков, в области электроники мировой рынок корпусов для изделий микроэлектроники к 2030 г. в стоимостном выражении достигнет 60 млрд долл. США по сравнению с 28 млрд – в 2021 г., при этом с 2022 по 2030 гг. среднегодовой темп роста составит более 9 % [1].

Корпуса изделий микроэлектроники играют решающую роль в защите элементов изделий от воздействий окружающей среды, обеспечении электрических соединений с внешними цепями и надёжности монтажа [2].

Стремительный прогресс информационных и сквозных технологий, развитие искусственного интеллекта, облачных вычислений инициируют растущий спрос на многофункциональные электронные изделия с высокой

степенью интеграции и низким энергопотреблением, а соответственно, и новые требования к их корпусам. В результате появились усовершенствованные конструктивные технологии корпусов систем 2,5D, 3D, корпус в корпусе, корпус на корпусе и др.

Основная часть

Основные тенденции развития корпусов:

- увеличение количества выводов;
- уменьшение минимального шага выводов компонентов в корпусах различных типов;
- переход от расположения выводов по периметру к расположению выводов под корпусом;
- интеграция нескольких компонентов в один корпус.

На рис. 1 изображён график, показывающий корпуса QFP, PBGA, FBGA с уменьшением минимального шага выводов компонентов с выводами типа «крыло чайки» и с шариковыми выводами, а также корпуса SON, QFN, FLGA с уменьшением минимального шага выводов корпусов с контактными поверхностями на примере компонентов для малогабаритных портативных устройств.

Уменьшение шага выводов пластиковых корпусов с шариковыми выводами PBGA (Plastic Ball Grid Array) и планарными выводами QFP (Quad Flat Package) фактически достигло своих пределов: 0,65 и 0,3 мм, соответственно. Минимальный шаг выводов FBGA (Fine-Pitch Ball Grid Array) и FLGA (Fine Pitch Land Grid Array) также достиг своего предельного

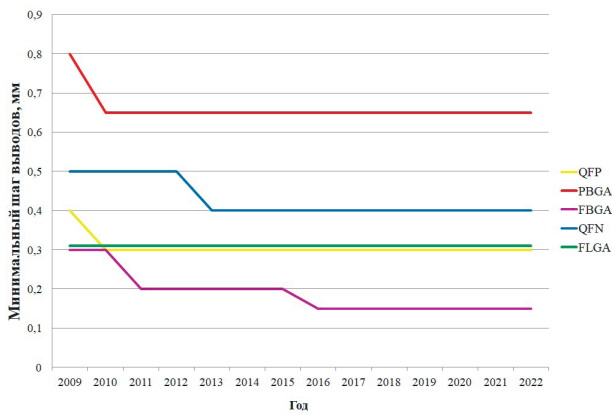


Рис. 1

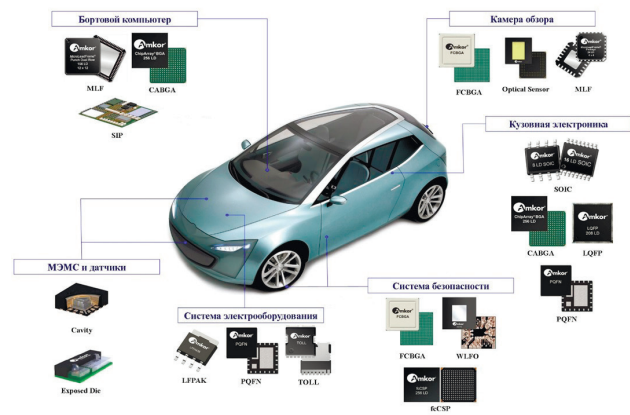


Рис. 2

значения. Формируются перспективы дальнейшего уменьшения шага выводов для корпусов QFN [3].

В 1998 г. на рынке была представлена конструкция прямоугольного плоского тонкого корпуса с выводными площадками по четырём сторонам типа QFN (Quad-Flat No-leads), которая отличалась от существующих малыми размерами, низкими затратами изготовления и отличными тепловыми и электрическими характеристиками. За последнее десятилетие новые разработки с однорядными и многорядными выводными площадками позволили QFN-корпусам в составе изделий микроэлектроники поддерживать гораздо больше операций ввода-вывода и, таким образом, занять весомое место среди номенклатуры комплектующих.

Корпуса QFN экономичны в производстве – они обычно имеют небольшое число выводов с гальваническим покрытием. Для соединения кристалла с выводами рамки используют либо проволочные соединения, либо технологии перевёрнутого кристалла flip chip.

QFN имеют открытую одну или несколько металлических площадок в нижней части корпуса, которые служат тепловым трактом от изделия к основанию или заземлению, если контактная площадка заземлена на печатной плате. Это в сочетании с высокими электрическими характеристиками, обеспечиваемыми короткими соединениями ввода-вывода, сделало QFN востребованными для использования в радиочастотных схемах мобильных телефонов и других беспроводных и портативных устройствах.

Многие разработчики зарубежных изделий микроэлектроники перешли от корпусов типа SO к QFN, и их популярность продолжает расти, поскольку новые разработки делают QFN способными выполнять

сложные функции. QFN с большим количеством рядов могут иметь более 700 выводов.

Применение изделий в QFN-корпусах для легкового автомобиля показано на рис. 2. Здесь силовые PQFN в системах управления схемами кузова и электрооборудования [4].

На текущий момент разработано и применяются сотни разновидностей зарубежных QFN-корпусов, что приводит к определённым трудностям при их выборе и оценке возможности применения, управления номенклатуры параметров и контроле качества изделий.

Основные конструкционные материалы, применяемые в QFN-корпусах

Материалы, на основе которых изготавливаются основные элементы QFN-корпусов, являются конструкционными материалами. Такими элементами QFN-корпусов являются: основания; стенки; крышки; многвыводные рамки. Они обладают рядом свойств, обеспечивающих их предназначение. В QFN-корпусах в качестве основных конструкционных используются керамические, металлические и пластиковые материалы.

Керамические материалы, применяемые в QFN-корпусах

Керамические материалы обладают высокой электрической изоляцией, прочностью, коррозионной и износостойкостью. В производстве QFN-корпусов используются алюмооксидные (Al₂O₃) керамические материалы компании Kyocera Corporate (Япония). Для изготовления QFN-корпусов используется керамика A473: White и A440: Black. Параметры такой керамики представлены в табл. 1. Значимыми свойствами такой керамики являются диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери.

Таблица 1

Тип керамического материала		ELECTRICAL				THERMAL		MECHANICAL	
		Dielectric Constant		Dielectric Loss Angle (x1.0E-4)		CTE(ppm/K) (RT-400 °C)	Thermal Conductivity (W/mK)	Flexural Strength (MPa)	Young's Modulus of Elasticity (GPa)
		1MHz	2GHz	1MHz	2GHz				
Alumina (Al ₂ O ₃)	A473	9.1	8.5	5	10	1	0,04	400	270
	A440	9.8	–	24	–	1	0,04	400	310

Таблица 2

Тип керамического материала		Состав, %				
		Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Other
Alumina (Al ₂ O ₃)	A473	90	6	1	0,04	2,96
	A440	92	6	1	0,04	0,96

Таблица 3

Тип керамического материала		Состав, %				
		Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Other
Alumina (Al ₂ O ₃)	A473	90	6	1	0,04	2,96
	A440	92	6	1	0,04	0,96
	BK94-1	94,40	2,76	–	–	Cr ₂ O ₃ 0,49 MnO 2,35

Такие высокие характеристики обеспечиваются составом керамики Куосера Corporate, представленным в табл. 2.

Отечественные предприятия в основном используют для изготовления корпусов корундовую керамику BK94-1. Её параметры ниже указанных для QFN-корпусов Куосера Corporate [5], есть примеси – оксид хрома, оксид марганца, их роль в обеспечении функциональности корпусов нуждается в исследовании. Сравнительные показатели химического состава представлены в табл. 3.

Однако при наличии потребности у специалистов отечественных предприятий имеется возможность добиться получения состава подобного A440.

Кроме Куосера Corporate на рынке существуют другие компании, изготавливающие, в т. ч. для применения в QFN-корпусах, НТСС (высокотемпературную) керамику – например, AdTech Ceramics (США), с более высокими диэлектрическими и тепловыми характеристиками и коэффициентом теплового расширения достаточно близким к кремнию, что позволяет оптимизировать размещение элементов в корпусе и тепловые режимы работы изделия. Технологии НТСС предполагают изготовление керамики из глинозёма Al₂O₃, SiO₂, MgO.

Компания StratEdge (США) разрабатывает и изготавливает QFN-корпуса со стеклокерамическими крышками с низкотемпературным уплотнением, основанием с высокой теплопроводностью для применения в силовых изделиях.

Стеклокерамические крышки с низкотемпературным уплотнением имеют в своём составе низкотемпературное кристаллизующее стекло и алюмооксидную керамику при соотношении 60 к 40 %, соответственно, при этом кристаллизующее стекло содержит оксиды кальция, алюминия, кремния и бора.

Компания Vishay Barry (США) изготавливает и применяет также НТСС керамику. При этом используются 3 варианта корпусирования:

1. Castellated Grounded Seal Ring – заземлённое уплотнительное кольцо с зубцами, которые позволяют формироваться галтелям припоя и, следовательно, делают возможным осмотр штыревых паяных соединений посредством визуального осмотра, без рентгеновского снимка.

2. Grounded Seal Ring – заземлённое уплотнительное кольцо, обычно припаивается к крышке (эвтектика AuSn), не зубчатое.

3. Неизолированное уплотнительное кольцо – присоединение крышки из эпоксидной смолы, не полностью герметичный корпус.

Эпоксидные смолы составляют основу для пластиковых QFN-корпусов. Это сложные органические соединения, состоящие из эпоксидных групп, проявляющие свои физические свойства в полной мере только в виде полимера. При взаимодействии с отвердителями (в качестве которых выступают амины, полиамиды, фенолформальдегидные смолы или ангидриды поликарбоновых кислот) термическим воздействием олигомеры образуют структуру связанных полимеров.

Это электрически стабильные материалы, имеющие минимальное содержание ионов, высокую диэлектрическую прочность, низкую ионную проводимость и постоянные диэлектрические характеристики в широком диапазоне температур.

Материалы для пластиковых QFN-корпусов изготавливаются, в основном, транснациональной компанией CAPLINQ Corporation (Нидерланды) на базе эпоксидных формовочных компаундов с наполнителями из диоксида кремния, типов: Hysol GR700 C3D (GR700-FM); Hysol GR 900 Q1G2; Hysol GR900 Q1L4; Hysol GR900C Q1L4E; Hysol GR910-C4.

Пластиковые корпуса дешевле, чем керамические и имеют меньший вес, но они гигроскопичны, что вызывает их растрескивание при сжатии-расширении накопившейся в микропорах влаги. Пластиковые корпуса имеют низкую надёжность соединения пластика с металлом (выводными площадками), что вызвано значительной разницей коэффициентов теплового расширения применяемых материалов. Низкая теплопроводность пластика является недостатком пластиковых корпусов, но для QFN этот недостаток устранён наличием в их конструкции площадки рассеяния тепла.

Типы эпоксидных формовочных компаундов зависят от свойств и предназначений изготавливаемых QFN-корпусов, в т. ч. от конструктивного исполнения внутренней полости и герметизации корпуса с закрытой

и открытой внутренней полостью. Первый тип корпуса формируется с присоединёнными элементами изделий заливкой компаунда, для второго типа – полость закрывается крышкой или остаётся открытой.

Наполнители эпоксидных формовочных компаундов применяются различного типа для обеспечения необходимой текучести, что способствует контролю коробления.

Эпоксидные формовочные компаунды с наполнителями обеспечивают стабильность размеров отверждённых корпусов и достаточную текучесть, что требует меньшие давления при литье. Меньшие давления позволяют применять менее дорогие формы с тонкими стенками. Отверждение проходит с минимальным выделением летучих веществ и с малой усадкой.

Недостатками эпоксидных формовочных компаундов являются: строгие требования к контролю температуры, т. к. текучесть компаундов весьма сильно зависит от температуры; форма должна быть герметичной для предотвращения появления излишнего грата (расплавленный материал, застывающий в виде потёков) вследствие текучести компаундов; требуется контроль твёрдости материалов для предотвращения деформации при выталкивании из формы; сильная адгезия эпоксидных компаундов вносит некоторые трудности при выемке изделий из формы.

Для исключения таких трудностей и исключения внесения посторонних предметов в корпуса используются очистители для пресс-форм, кондиционеры и антиадгезионные спреи, которые позволяют элементам корпусов легко покидать пресс-форму после формования. Кондиционеры защищают и смазывают пресс-форму, чистящие средства помогают удалять загрязняющие вещества и пятна с поверхности пресс-формы, а аэрозоли позволяют легко извлекать элементы корпусов из пресс-формы, не оставляя следов.

Независимо от того, используется обычное формование или автоматическое, изготовители должны выполнять техническое обслуживание своих пресс-форм после использования эпоксидных формовочных смесей. Для этого изготовителями нишевых продуктов и услуг представлен спектр специальных материалов для обслуживания пресс-форм.

Корпуса QFN/DFN изготавливаются как открытые пластиковые корпуса (OmPP), пластиковые корпуса с открытой полостью (OSPP) и пластиковые корпуса с закрытой полостью (Overmolded). Примеры таких корпусов представлены на рис. 3.

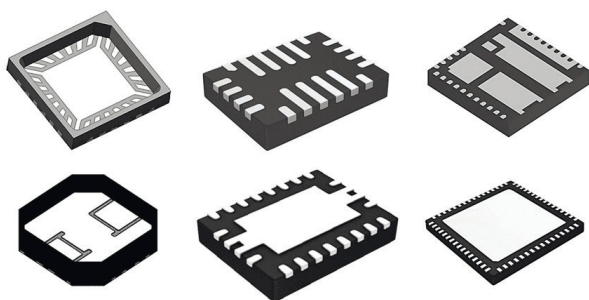


Рис. 3

OmPP – это предварительно отлитые элементы корпусов QFN с воздушной полостью, разработанные для обеспечения высококачественного и быстрого сборочного решения.

Корпуса QFN с OmPP с покрытием из золота и никеля QP Technologies представляются в широком ассортименте размеров от 1 x 2 до 12 x 12 мм с различными вариантами шага. Они протестированы на радиочастотах до 40 ГГц и заявлены альтернативой стандартной керамике для большинства изделий микроэлектроники. К ним могут применяться керамические или пластиковые крышки, которые не всегда являются обязательными.

При выполнении корпусирования используются технологии плёнок для прикрепления кристаллов на выводные рамки. Электрически непроводящие и проводящие, теплопроводные плёнки обеспечивают стабильность и поддержку при обращении с тонкими кристаллами и обеспечивают создание тонких слоёв соединения в корпусах с кристаллами.

Для различных технологий корпусирования используются специальные плёнки. Пример: LOCTITE ABLESTIK CDF 515P используется для размеров кристаллов от 3 x 3 до 8 x 8 мм; толщина плёнки – от 15 и 30 мкм; теплопроводность – 1.8 W/m·K; коэффициент теплового расширения – α_1 – 75 ppm/°C; коэффициент теплового расширения – α_2 – 274 ppm/°C; объёмное сопротивление – 4.0 x 10⁻⁴ Ohms·cm. Технология применения: 30-минутное повышение температуры от 25 до 200 °C, выдержка 60 мин. при 200 °C и 30-минутное повышение температуры от 25 до 175 °C, выдержка 60 мин. при 175 °C.

Для изготовления многовыводных рамок QFN-корпусов используются металлы:

– Copper 194: высококачественный сплав меди и железа Copper-Iron (CuFe), сочетающий в себе высокую электропроводность, оптимальную прочность на разрыв, хорошую паяемость и пластичность. Изготовитель Fisk Alloy, Inc Hawthorne (Хоторн, штат Калифорния, США). Для изготовления QFN-корпусов используются рамки толщиной 0.203 ± 0.008 мм.

– CDA 194: химический состав Cu, Fe, P, Zn; объёмное электрическое сопротивление – 2,49e⁻⁸ Ом·м; теплопроводность – 260 W/m·K; коэффициент теплового расширения – 17.6 μ strain/°C; диапазон плавления – 1080–1090 °C; удельная теплоёмкость – 0.385 J/g·K. Для изготовления QFN корпусов используются рамки толщиной 0.2540 ± 0.0076 мм. Данный материал используется в космических технологиях.

В описании QFN-корпусов используются принятые международными документами по стандартизации параметры, которые представлены в табл. 4.

Данные параметры необходимо вводить в национальную конструкторскую документацию [6] для однозначного понимания сущности тестирования QFN-корпусов.

Заключение

Стандартизация QFN-корпусов обеспечивается 2 отечественными и 30 зарубежными стандартами. Разработка и изготовление отечественных корпусов QFN должна быть обеспечена разработкой и внедрением новых стандартов с требованиями, которые соответствуют современным технологиям.

Обозначение	Описание	Единица измерения
T_J	Temperature of the die (Температура на кристалле)	$^{\circ}\text{C}$
T_A	Temperature of surrounding air (Температура окружающего воздуха)	$^{\circ}\text{C}$
T_C	Temperature of the package top (Температура внешней части корпуса)	$^{\circ}\text{C}$
T_B	Temperature of the board near the device (Температура основания под корпусом)	$^{\circ}\text{C}$
θ_{JC}	Thermal resistance between the die and the package (Тепловое сопротивление между кристаллом и корпусом)	$^{\circ}\text{C/W}$
θ_{JB}	Thermal resistance between the die and the PCB on which the IC is mounted (Тепловое сопротивление между кристаллом и печатной платой, на которой установлен корпус)	$^{\circ}\text{C/W}$
θ_{JA}	Thermal resistance between the die and the air surrounding the die package (Тепловое сопротивление между кристаллом и воздухом, окружающим корпус изделия)	$^{\circ}\text{C/W}$
Ψ_{JT}	Junction to Top of Package (Разница температур между кристаллом и верхней поверхностью корпуса, делённая на общую мощность)	$^{\circ}\text{C/W}$
Ψ_{JT}	Junction-to-Board (Разница температур между кристаллом и печатной платой, на которой установлен корпус, делённая на общую мощность)	$^{\circ}\text{C/W}$
P_b	Amount of power dissipated by the device through the board (Количество мощности, рассеиваемой изделием через основание)	W
P_c	Amount of power dissipated by the device through the package top (Количество мощности, рассеиваемой устройством через верхнюю часть корпуса)	W
P_t	The total power dissipated by the device (Общая мощность, рассеиваемая изделием ($P_T = P_b + P_c$))	W

Есть основание предполагать, что постоянный растущий спрос на корпуса QFN вытолкнет за пределы «старой» группы корпуса SO (Small Outline), которые появились в начале 1980-х гг., а затем, к 1995 г., стали наиболее широко используемыми.

В разработке корпусов необходимо проводить моделирование их свойств. На рис. 5 представлены:

а) разработанная АО «ЦКБ «Дейтон», STEP модель корпуса QFN, по документации отечественного предприятия;

б) 3D распечатка слоя, которая позволила найти ошибки в конструкции и своевременно их устранить.

Защита элементов изделий от воздействий окружающей среды, обеспечение электрических соединений с внешними цепями и надёжности монтажа важна для долговременной надёжности изделий микроэлектроники. Применяемые для изготовления QFN-корпусов материалы должны удовлетворять растущим требованиям применения, строгим требованиям испытаний и высоким характеристикам их свойств.

В данной статье показаны только основные применяемые материалы. Некоторые из них возможны к постановке на предприятиях отечественного производства уже сейчас и есть задел на будущее. Для

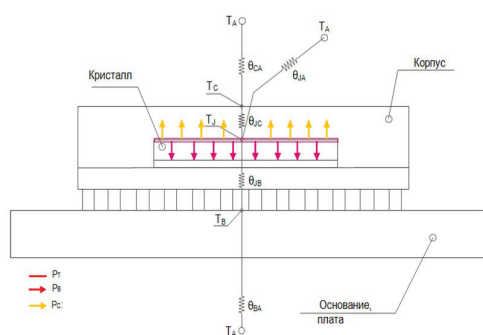
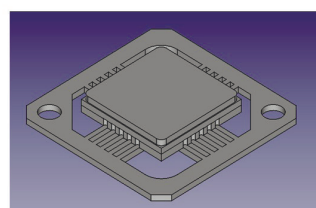


Рис. 4



а)



б)

Рис. 5

другой значительной части необходимы мероприятия по проведению исследований, разработке и постановке на производство. Учитывая перспективность QFN-корпусов такие мероприятия необходимо включать в соответствующие программы с господдержкой.

Литература

1. Advanced Packaging Update Market and Technology Trends. Volume 1-0422. April 2022. TechSearch International. <https://techsearchinc.com> [Электронный ресурс]. Дата актуальности: 01.05.2022 г.
2. ГОСТ Р 57435–2017 Микросхемы интегральные. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2017 г.
3. Vern Solberg. 2.5D and 3D Semiconductor

Package Technology. Evolution and Innovation. Solberg Technical Consultingю Saratoga, California USA [Электронный ресурс]. Дата актуальности: 01.05.2022 г.

4. Power packaging for medium power applications, designed for low on-resistance and high-speed switching MOSFETs. <https://amkor.com> [Электронный ресурс]. Дата актуальности: 01.05.2022 г.

5. KYOCERA C-QFN (CERAMIC QUAD FLAT NON-LEADED PACKAGES). https://global.kyocera.com/prdct/semicon/semi/std_pkg [Электронный ресурс]. Дата актуальности: 01.05.2022 г.

6. ГОСТ Р 54844–2011 Микросхемы интегральные. Основные размеры. М.: Стандартинформ, 2014 г.

УДК 535.92

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВНОСИМЫХ ПОТЕРЬ В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

FEATURES OF MEASUREMENT OF INSERTION LOSSES IN OPTICAL FIBER

Антонюк А. В., инженер-электронщик первой категории, ООО «ТестКомплект»; +7 (962) 935–01–50, il@test-komplekt.ru;

Мосин А. В., руководитель испытательной лаборатории, АО «Авиаприбор»; +7 (495) 155–15–65, mosin@aoap.ru

Antonyuk A. V., electronics engineer of the first category, LLC «TestKomplekt»; +7 (962) 935–01–50, il@test-komplekt.ru;

Mosin A. V., Head of the Testing Laboratory, Aviapribor JSC; +7 (495) 155–15–65, mosin@aoap.ru

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос о проблематике тестирования компонентов волоконно–оптических линий связи (далее – ВОЛС). Рассматриваются способы и особенности создания оптического контакта при тестировании оптического волокна. Приведены особенности тестирования малых объёмов выборки (длины) образца с учётом потерь, вносимыми оптическими разъёмами.

Annotation. The article deals with the issue of testing components of fiber–optic communication lines (fiber–optic communication lines). The methods and features of creating an optical contact when testing an optical fiber are considered. The features of testing small sample sizes (length) of the sample, taking into account the losses introduced by optical connectors, are given.

Ключевые слова: вносимые потери, возвратные потери, волоконно–оптические линии связи (ВОЛС), длина волны, источник излучения, испытательная лаборатория, модули оптического уплотнения, оптический рефлектометр во временной области, оптический кабель, оптические циркуляторы, рефлектограмма, рефлектометр.

Keywords: insertion loss, return loss, fiber–optic communication lines (fiber optic lines), wavelength, radiation source, testing laboratory, optical seal modules, optical time domain reflectometer, optical cable, optical circulators, reflectogram, reflectometer.

Введение

Волоконно–оптические линии связи (далее – ВОЛС) являются одним из наиболее надёжных сред для высокоскоростной передачи данных. Это обуславливает растущую необходимость в измерении параметров различных компонентов ВОЛС и их всестороннем тестировании.

Одним из основных параметров пассивных оптических компонентов ВОЛС является уровень вносимых потерь. Значимым (а в ряде случаев – основным) источником погрешности при измерении уровня вносимых потерь являются точки соединения компонентов ВОЛС с измерительным оборудованием.

В случае тестирования таких компонентов, как модули оптического уплотнения (оптические циркуляторы), максимальные вносимые потери проходного канала могут достигать значений порядка 0,5–1,0 дБ. Дополнительные потери, связанные с добавлением разъёмов для

тестирования, можно оценить в 0,25–0,3 дБ, что при общем допустимом уровне вносимых потерь является заметной, но не критичной величиной.

Для тестирования подобных компонентов испытательная лаборатория «ТестКомплект» оснащена источниками излучения с длинами волны 850, 980, 1300, 1310 и 1550 нм, а также измерителем оптической мощности, способным измерять разность мощностей с погрешностью 0,05 дБм в диапазоне мощностей от –10 до –30 дБм. Подобная точность позволяет весьма достоверно выявлять дефектные изделия.

Оптические входы/выходы подобных компонентов могут иметь как стандартные оптические разъёмы, так и являться неоконцованными волокнами. Во втором случае для ввода-вывода излучения в подобный компонент потребуется дооснащение его каким-либо типом оптического разъёма. В свою очередь для тестирования компонентов