

ГЕРМЕТИЧНЫЕ СВЧ-ВВОДЫ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

ЗАРУБЕЖНАЯ И ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПРОДУКЦИЯ

А.Андросов alex-1@mail.ru
К.Джуринский, к.т.н. kbd.istok@mail.ru

Герметичные металлокерамические СВЧ-вводы в изделиях микроэлектроники СВЧ на микрополосковых линиях (МПЛ) выполняют функцию вывода сигналов с МПЛ. Они применяются как самостоятельные элементы, но чаще их используют в сочетании с СВЧ-разъемами в составных соединителях (field replaceable connectors) [1]. В настоящее время разработано и выпускается большое количество типов и типоразмеров СВЧ-вводов. Авторы статьи рассматривают современное состояние этой области техники.

КОНСТРУКЦИЯ ГЕРМЕТИЧНЫХ СВЧ-ВВОДОВ

СВЧ-ввод представляет собой отрезок коаксиальной линии передачи, заполненной диэлектриком, с волновым сопротивлением 50 Ом в каждом сечении линии (рис.1). В качестве диэлектрика в большинстве случаев используют стекло с низкой диэлектрической проницаемостью, обеспечивающее миниатюризацию, упрощение технологии изготовления и снижение стоимости вводов. Реже для

этой цели применяют алюмооксидную керамику. Диэлектрическая проницаемость ϵ и тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ используемых

Таблица 1. Диэлектрические свойства стекол и керамики

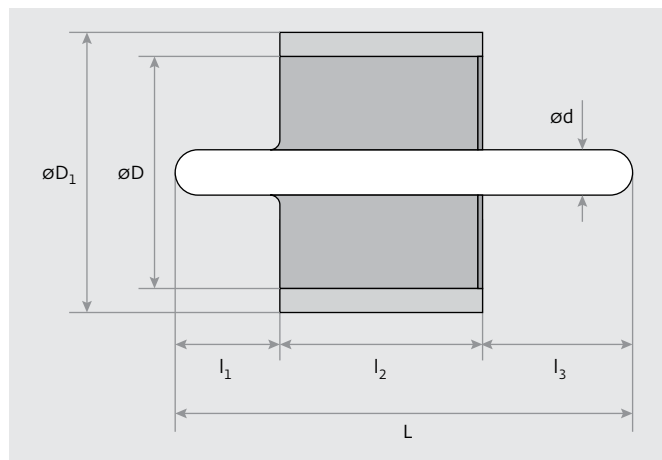


Рис.1. Конструкция СВЧ-ввода

Марка стекла и керамики	Параметр	Значение параметра на частотах, ГГц		
		3	10	38
Corning 7052	ϵ	5,04	4,93	4,9
	$\text{tg}\delta \times 10^4$	58	81	—
Corning 7070	ϵ	4,1	4,1	—
	$\text{tg}\delta \times 10^4$	12	21	—
Corning 9010	ϵ	—	6,3	—
	$\text{tg}\delta \times 10^4$	—	—	—
С 52-1	ϵ	5,5	5,2	5,1
	$\text{tg}\delta \times 10^4$	—	95	140
Алюмооксидная керамика	ϵ	—	9,8	—
	$\text{tg}\delta \times 10^4$	—	2	—

Таблица 2. Размеры коаксиальной линии ввода с предельной частотой 40 ГГц

Изолятор, стекло	ϵ	D/d	d, мм	D, мм
Corning 7070	4,1	5,38	0,38	2,04
C52-1	5,2	6,69	0,30	2,01

в СВЧ-вводах стекол зарубежного и отечественного производства и алюмооксидной керамики приведены в табл.1. Эти данные необходимы для расчета основных параметров вводов – предельной частоты, КСВН и потерь.

Для расширения частотного диапазона необходимо уменьшать размеры коаксиальной линии и применять диэлектрик с минимальной диэлектрической проницаемостью. За рубежом для частотного диапазона 0–65 ГГц используют стекло Corning 7070 с $\epsilon = 4,1$, на меньших частотах применяют также стекло Corning 7052 с $\epsilon = 4,9$. В России эти стекла не производят, и поэтому возможно применение только отечественного стекла C52-1.

Применение вместо стекла алюмооксидной керамики приводит к увеличению размеров вводов приблизительно в два раза. К тому же технология изготовления металлокерамических вводов значительно сложнее, чем металlostеклянных, а стоимость их выше. Поэтому керамику в СВЧ-вводах применяют только при высоких уровнях пропускаемой мощности и тепловых нагрузок.

Волновое сопротивление герметичного ввода Z и его предельная рабочая частота $f_{\text{пред}}$.

определяются внутренним диаметром наружного проводника D , диаметром центрального проводника d и диэлектрической проницаемостью стеклянного изолятора ϵ [1]:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \ln \frac{D}{d} = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \log \frac{D}{d} = 50 \text{ Ом}$$

или

$$\log \frac{D}{d} = 0,362\sqrt{\epsilon},$$

$$f_{\text{пред}} = \frac{190,8}{\sqrt{\epsilon}(D+d)} \text{ ГГц.}$$

Таким образом, при расчете размеров коаксиальной линии и выборе стеклянного изолятора необходимо решить систему двух уравнений:

$$\begin{cases} \log \frac{D}{d} = 0,362\sqrt{\epsilon}, \\ \sqrt{\epsilon}(D+d) = \frac{190,8}{f_{\text{пред}}}. \end{cases}$$

В итоге получим формулу для расчета диаметра центрального проводника ввода:

$$\log \left(\frac{190,8}{f_{\text{пред}} d \sqrt{\epsilon}} - 1 \right) = 0,362\sqrt{\epsilon}.$$

В качестве примера можно привести результаты расчета коаксиальной линии ввода с предельной частотой 40 ГГц с изоляторами из стекол Corning 7070 и C52-1 (табл.2).

Зарубежные компании имеют многолетний опыт конструирования герметичных СВЧ-вводов. Обобщенные данные по компаниям Thunderline-Z,

Таблица 3. Параметры и размеры зарубежных СВЧ-вводов с воздушным изолятором и изолятором из стекол с разной диэлектрической проницаемостью

d, мм	Corning 9010 $\epsilon = 6,3$		Corning 7052 $\epsilon = 4,9$		Corning 7070 $\epsilon = 4,1$		Воздух, $\epsilon = 1$
	$f_{\text{пред}}$, ГГц	D, мм	$f_{\text{пред}}$, ГГц	D, мм	$f_{\text{пред}}$, ГГц	D, мм	D, мм
0,23	–	–	51,4	1,45	64,1	1,24	0,53
0,28	32,5	2,06	41,9	1,78	52,3	1,52	0,58
0,30	27,5	2,46	38,7	1,93	48,3	1,65	0,69
0,38	21,8	3,10	30,9	2,41	38,6	2,06	0,86
0,46	18,2	3,71	25,7	2,90	33,1	2,49	1,04
0,51	16,3	4,15	23,1	3,23	29,8	2,74	1,17
Отношение D/d	8,1		6,3		5,4		2,3

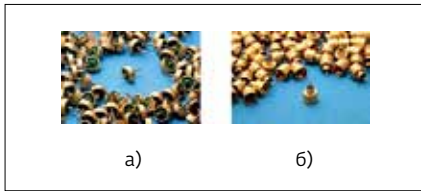


Рис.2. Герметичные СВЧ-вводы общего применения (а) и с механизмом защелкивания snap-on (б)



Рис.3. Герметичные вводы snap-on: гладкие (а), резьбовые (б) и запрессовываемые (в)



Рис.4. Вводы, впаиваемые низкотемпературным припоем (а), запрессовываемые (б) и ввариваемые лазерной сваркой (в)

SMP, Sinclair Manufacturing, AEP, Radiall и Delta приведены в табл.3.

Разработаны герметичные СВЧ-вводы общего применения: в качестве самостоятельных элементов или элементов составных соединителей, а также герметичные вилки соединителей SMP, SMPM и других типов, работающие на принципе защелкивания (snap-on, push-n) (рис.2). Герметичные вводы типа snap-on имеют три варианта исполнения: гладкие впаиваемые, резьбовые и запрессовываемые (рис.3). Они подробно рассмотрены в работах [1-3].

СВЧ-вводы общего применения рассматривались в работах [4, 5], но за последнее время были созданы оригинальные конструкции этих вводов, и их производство освоили новые компании. Например, для корпусов из алюминиевых и титановых сплавов разработаны вводы, которые впаиваются низкотемпературным припоем, запрессовываются и ввариваются лазерной сваркой (рис.4).

В свою очередь, впаиваемые вводы имеют две модификации: фланцевые (flanged) и гладкие без фланца (рис.5). Фланцевые вводы обеспечивают лучшую центровку в корпусе, и при пайке под фланец можно уложить кольцо припоя, но они не всегда удобны для применения в составных соединителях. Поэтому большинство вводов выпускают без фланца, а для припоя в корпусе изделия делают специальную проточку.

Центральный проводник вводов может быть круглым (одного диаметра по всей длине), ступенчатым (для применения в составных соединителях), с ленточным окончанием для присоединения к МПЛ. Размеры наружного проводника (штулки) и центрального проводника разные в зависимости от рабочего диапазона частот и назначения. Большинство компаний выпускает вводы с радиусным скруглением одного или обоих концов центрального проводника.

Самые миниатюрные вводы с центральным проводником диаметром 0,23-0,3 мм применяют для работы на частотах свыше 40 ГГц в составе соединителей типов К, OS-2,4, APC-2,4, APC-1,85, Mini-SMP. Вводы с центральным проводником диаметром 0,4-0,5 мм используют в составе соединителей SMA, SMP, OSP и других типов с предельными частотами 18-40 ГГц. Металлические проводники вводов изготавливают из сплава F15 (ковар, известный в нашей стране как железо-никель-кобальтовый сплав 29НК), что обеспечивает получение согласованных по коэффициенту термического расширения (КТР) надежных герметичных спаев со стеклом. После пайки со стеклом металлические детали вводов зарубежного производства покрывают золотом толщиной 1-5 мкм по подслою никеля. Золотое покрытие обеспечивает надежное соединение центрального проводника ввода с МПЛ и гнездовым контактом

Таблица 4. Гладкие и фланцевые вводы Thunderline-Z

d	D ₁	l ₁	l ₂	l ₃	D ₂ *	Число типоразмеров
Гладкие вводы						
0,23; 0,30; 0,38; 0,46; 0,51	1,0-4,0	1,0-7,6	1,0-2,8	1,0-19,0	-	183
Фланцевые вводы						
0,30; 0,38; 0,46	1,9-3,25	2,3-6,5	1,9-2,8	0,76-6,5	2,3-4,0	3

* D₂ – диаметр фланца



Рис.5. Вводы фланцевые (а) и гладкие (б)



Рис.6. Герметичные вводы компании SHP

СВЧ-разъема составного соединителя, а наружного проводника – с корпусом изделия.

ЗАРУБЕЖНЫЕ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СВЧ-ВВОДЫ

Герметичные СВЧ-вводы выпускают американские компании Special Hermetic Products, Thunderline-Z, Dynawave, Southwest Microwave, Coaxicom, Delta Electronics Manufacturing, Applied Engineering Products (AEP), Emerson (Johnson Components), Gilbert Corning, Sinclair Manufacturing Co, Anoisn Electronics, Micro Lambda LLC, Metal Processing Co., Sentury Seals, Platronics Seals; французские Radiall, Micronor 7 Doloy, Souriau PA@E, а также SRI Hermetics Co. (Австралия), Vac-Tрон (Испания), компании Юго-Восточной Азии и некоторые другие.

Таблица 5. Герметичные СВЧ-вводы компании Sinclair

Размеры вводов, мм (см. рис.1)				Число типоразмеров
d	D	l ₂	L	
0,23	1,72	1,4	2,8	1
0,30	1,93–2,18	0,85–2,4	2,3–9,8	15
0,38	1,27–2,49	1,0–1,6	1,3–4,6	14
0,41	2,4–2,8	1,6	6,3	3
0,46	2,16–2,79	1,5–5,6	4,3–14,7	16

Special Hermetic Products, Inc. (SHP) (www.shp-seals.com) уже свыше 60 лет является мировым лидером в производстве герметичных металлоглазчатых вводов, многовыводных сборок и соединителей на их основе (рис.6). Компания SHP выпускает 16 типов стандартных СВЧ-вводов с использованием стекла марок Corning 7052 и Corning 7070 для применения в изделиях с корпусами из алюминиевых сплавов. Вводы выполнены с фланцем, диаметр центрального проводника d составляет 0,3; 0,38; 0,46; 0,51 и 0,91 мм, длина корпуса l₂ от 1,0 до 1,75 мм, предельная частота от 23 до 45 ГГц. Кроме того, разработаны шесть типов прецизионных вводов с d, равным 0,23 и 0,3 мм, и предельной частотой до 65 ГГц. Центральный проводник ввода скруглен с одного конца, реже с обоих концов. Для применения в составных соединителях разработаны вводы

Таблица 6. Герметичные СВЧ-вводы компании Dynawave

Размеры вводов, мм (см. рис.1)					f _{пред.} ГГц	Число типоразмеров
d	D ₁	l ₂	l ₁	l ₃		
0,23	1,5	1,5	1,0	1,9–2,4	60	1
0,28	1,93	1,8; 3,2	0,7; 1,35	0,5; 2,5	46, 48	2
0,30	1,93–2,5	1,4–1,8	1,5–3,8	0,5–7,4	36–46	26
0,33	1,93	1,8	0,6–1,8	1,8–4,6	41–42	4
0,38	2,5–6,35	1,65–4,7	1,3–4,6	0,55–6,35	37	18
0,46	2,85	1,9	1,8–1,93	1,8–13,3	32	10
0,51	4,0–7,6	1,5–3,2	1,5–2,5	1,5–12,7	23–28	17
0,90	6,0–7,1	1,8–3,2	1,8–2,3	2,0–7,4	16	3
1,34	8,9	2,5	2,5	2,6	11	1

Таблица 7. Зарубежные герметичные СВЧ-вводы для составных соединителей






Компания	Размеры вводов, мм (см. рис.1)					f _{пред.} , ГГц (типы соединителей)
	d	D ₁	l ₂	l ₁	l ₃	
Radiall (www.radiall.com)	0,30	2,52	1,60	1,83	1,3; 4,57	46 (SMA-2,9)
		1,93	1,40	0,74	1,04	
	0,38	2,50	2,50	1,59	1,95	40 (SMP)
		2,50	1,56	1,59	1,3	
0,46	2,85	1,60	1,83	4,57	18 (SMA)	
Southwest Microwave (www.southwestmicrowave.com)	0,23	1,72	1,40	0,76	0,66; 2,03; 3,05	65 (1,85 мм) 50 (2,4 мм) 40 (2,92 мм) 36 (SSMA) 27 (Super SMA) 18 (TNC)
	0,30	1,93	1,40	1,0	0,74; 2,03	
	0,38	2,49	1,60	1,27	3,2	
	0,46	2,80	1,52	1,83	4,57	
	0,51	4,01	1,52	1,27	3,2	
	0,91	6,80	1,52	2,50	4,7	18 (N)
Coaxicom (www.coaxicom.com)	0,51/0,91	4,01	1,52	1,93	4,7	18 (SMA)
	0,51	4,01	1,52	1,52	5,2	
	0,46	2,79	1,52	1,83	4,57	
	0,38	2,46	1,52	1,83	4,57	
	0,30	2,46	1,52	1,83	4,57	
Delta Manufacturing (www.delta.com)	0,23	1,72	1,40	0,66; 3,05	0,78	8-65 (SMA, SMK)
	0,30	1,95; 2,52	1,4; 1,60; 1,75	0,74; 2,03; 4,57	1,0; 1,83	
	0,38	2,52	1,60	3,18; 4,57	1,27; 2,03	
	0,46	2,85	1,60	4,57	2,03	
	0,51	4,01	1,60	3,18; 4,57	1,27; 2,03	
	0,51/0,91	4,01	1,60	4,57	2,03	
Johnson Components (www.johnsoncomponents.com)	0,30	2,50	1,59	1,78	4,57	26,5 (SMA)
	0,38	2,50	1,59	1,83	4,57	
	0,46	2,79	1,52	1,83	4,57	
	0,51	4,01	1,52	1,78	5,16	
Gilbert Corning (www.corninggilbert.com)	0,30	1,90	1,40	2,3; 3,18	1,10	40 (GPO) 65 (GPPPO)
	0,38	2,50	1,60	1,52	1,27; 3,18; 5,1	

Таблица 7. Продолжение

Компания	Размеры вводов, мм (см. рис.1)					f _{пред.} ГГц (типы соединителей)
	d	D ₁	l ₂	l ₁	l ₃	
Molex (www.molex.com)	0,30	1,93	1,40	1,0	0,74; 2,03	27 (SMA)
	0,38	2,50	1,58	1,26	3,16	
	0,46	2,79	1,52	1,83	4,57	
	0,51	4,01	1,52	1,27	3,18	
Tyco (M/A-COM) (www.tyco.com)	0,30	1,9; 2,54	1,4; 1,7; 1,8	0,7; 3,4; 3,6	4,60	22 (OSP) 26,5 (SMA) 28 (OSSP) 50 (OS-50)
	0,38	2,54; 2,8	1,6; 1,7	3,40	4,60	
	0,46	2,85	1,70	3,40	4,60	
	0,51	4,01	1,6; 1,7; 1,8	2,3; 3,8	1,52	
Huber+Suhner (www.hubersuhner.com)	0,30	1,93	1,40	1,04	0,74	40 (SK) 18 (BMA)
	0,51	4,01	1,75	2,05	1,80	
Jyebao (www.jyebao.com)	0,30	2,50	1,59	1,78	4,57	18 (SMA)
	0,38	2,50	1,59	1,83	4,57	
	0,46	2,79	1,52	1,83	4,57	
	0,51	4,01	1,52	1,78	5,16	
Anritsu (www.usaanritsu.com)	0,23	1,72	1,40	0,79	0,6	65 (V102,V103)
	0,30	1,93	1,40	1,04	0,74	40 (K102, K103, K104)
Anoison (www.anoison.com)	0,23	1,73	0,76	1,4	0,66;3,05	18 (SMA) 40 (2,92 мм, SMP)
	0,30	1,93	1,02	1,4	0,74; 2,04	
	0,38	2,49	1,52; 1,73; 1,83	1,59; 1,09; 1,89	3,18; 1,73; 4,57	
	0,46	2,79	1,83	1,59	4,57	
	0,51	4,01	1,02	1,53	5,16	
	0,91	6,81	0,76	1,59	4,7	
Micro Lambda LLC (www.microlambda.com)	0,51/0,91	4,88	1,83	2,41	4,77	18 (SMA)
		4,01	1,78		4,82	
Rosenberger (www.rosenberger.de)	0,23	1,73	1,40	0,66	0,79	65 (RPC-1,85, mini-SMP)
	0,30	1,93	1,40	0,74	1,04	40 (RPC-2,92, SMP)

Примечания. Соединители типа 2,92-мм: обозначение взято от размера внешнего диаметра 50-омной воздушной коаксиальной линии D=2,92 мм с диаметром центрального проводника d=1,27 мм. Эти соединители стыкуются с соединителями типа SMA и 3,5-мм. Зарубежные фирмы обозначают их по-разному, например, RPC-2.92 (Rosenberger), SMA-2,9 (Radiall), SK (Huber+Suhner) и т.д. Соединители типа SMP – миниатюрные защелкиваемые соединители с d=0,38 мм, работающие до 40 ГГц (фирмы Radiall, Rosenberger). Соединители типа mini-SMP – миниатюрные защелкиваемые соединители с d<0,3 мм, работающие до 65 ГГц (фирма Rosenberger).

Таблица 8. СВЧ-вводы компании SRI Hermetics

СВЧ-вводы компании SRI Hermetics	Номер серии: типы вводов	Диаметр цент- рального прово- дника, мм	Размеры корпусов вводов, мм		Материал корпуса, в который устанавли- вают ввод лазерной сваркой
			Диаметр	Длина	
Фланцевые соединители SMA, BMA, SSMA					
	SRIFT 100:				
	SRIFT 103	0,51	5,6	3,7	Алюминиевый сплав, титан
	SRIFT 104	0,30	4,3		
	SRIFT 105	0,38	4,95		
	SRIFT 106	0,51	5,6		
Фланцевые соединители SMA, SSMA					
	SRIFT 110:				
	SRIFT 110-012	0,30	4,5	2,8	Алюминиевый сплав
	SRIFT 110-015	0,38	4,9		
	SRIFT 110-020	0,51	5,6		
Фланцевые соединители TNC					
	SRIFT 114	0,91	8,2	5,1	Алюминиевый сплав, титан
Резьбовые соединители SMA					
	SRIFT 501:				
	SRIFT 501-012	0,30	8,1	6,0	Алюминиевый сплав
	SRIFT 501-015	0,38			
	SRIFT 501-020	0,51			
	SRIFT 500:				
	SRIFT 503	0,51	7,9	7,9	Алюминиевый сплав, титан
	SRIFT 506				

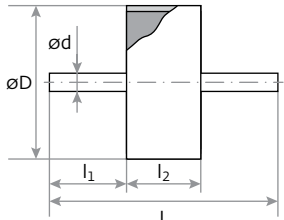
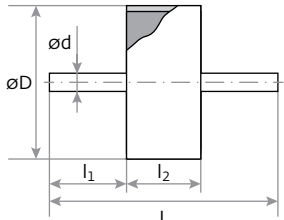
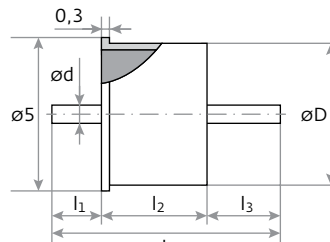
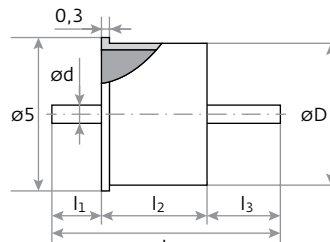
со ступенчатым центральным проводником диаметром 0,91 мм со стороны СВЧ-разъема и 0,3 мм – со стороны перехода на МПЛ.

В компании SHP разработана технология пайки металлостеклянных узлов высокого уровня: контролируются степень окисления металла, отсутствие в спае микротрещин и менисков стекла, качество покрытия вводов. Герметичность вводов гарантируется на уровне 10^{-8} см³/с (при давлении гелия 1 атм.).

В имеющейся технической информации этой компании из основных электрических параметров указаны только волновое сопротивление и предельная частота выпускаемых вводов.

Компания **Thunderline-Z**, которая в 2000 году объединилась с Fusite Engineered Products Group (www.fusite.com), входящей в свою очередь в крупную компанию Emerson network (www.emerson.com), – признанный в мире производитель герметичных вводов и на их основе – модульных блоков

Таблица 9. Герметичные СВЧ-вводы ФГУП "НПП "Исток"

Обозначение	Геометрические размеры, мм						Конструкция	Покрытие ввода	
	D	d	l ₁	l ₂	l ₃	L			
ТС3.575.343	2,4	0,3	1,0	4,0		6,0		НЗ.О-Ви(99,7)6	
ТС3.575.343-01			2,0	2,0				Н1.3л2	
КРПГ.433434.015	3,4	0,4	2,0	1,8	-	7,5			НЗ.3л-Ко(99,9)6 (допускается НЗ.О-Ви(99,7)6)
КРПГ.433434.015-01	3,8	0,5							
КРПГ.433434.015-02	3,4	0,4							
КРПГ.433434.015-03	3,8	0,5							
КРПГ.433434.015-03		0,5							
КРПГ.433434.048	3,8	0,9/0,5							
Э282-01	9,0	1,05	4,6	2,0	12,0				
ТС3.575.560	2,4	0,5	2,0		6,5				
КРПГ.433434.003	4,7	0,6	0,95	2,0	-	7,5		Н1.3л2	
КРПГ.433434.003-01			6,5					НЗ.О-Ви(99,7)6	
КРПГ.433434.003-02			0,95					6,5	6,5
КРПГ.433434.003-03			2,75					7,5	7,5
КРПГ.433434.003-04			2,75					7,5	7,5
ТС3.575.425	4,7	0,6	-	6,0	1,8	10,5		НЗ.О-Ви(99,7)6	
ТС3.575.425-01			-	3,5	2,4	7,5			

и герметичных корпусов изделий микроэлектроники. Вводы этой компании с центральным проводником диаметром от 0,23 до 1,0 мм обеспечивают работу в диапазоне частот от 3 до 65 ГГц. Герметичность вводов $1 \cdot 10^{-8}$ см³/с, сопротивление изоляции более 10000 МОм, волновое сопротивление (50±2) Ом, рабочий диапазон температур от -55 до 300°С. Особое внимание уделяется качеству спая стекла с металлом, мениски на торцевых поверхностях спаянных вводов отсутствуют, а они, как известно, значительно ухудшают КСВН вводов, работающих в миллиметровом диапазоне длин волн. Гладкие и фланцевые 50-Ом герметичные вводы (табл.4) занимают значительное место в общем объеме продукции компании.

Sinclair Manufacturing Co. (www.sinclairmfg.com) с начала 1960-х годов производит герметичные металлоглазненные вводы и многослойные сборки на их основе. Каталог этой компании насчитывает несколько сотен продуктов. Выпускается более сотни гладких и фланцевых вводов с согласованным и сжатым спаями

и с центральным проводником диаметром от 0,23 до 1,0 мм. Среди них имеются гладкие 50-Ом герметичные вводы серий FT0000 и FT0100, всего 49 наименований (табл.5).

Dynawave Inc. (www.dynawave.com) с 1985 года выпускает стандартные и специальные герметичные СВЧ-вводы, радиочастотные соединители и кабельные сборки. Герметичные СВЧ-вводы этой компании представлены в табл.6.

Большое число компаний применяют герметичные СВЧ-вводы для выпускаемых ими составных соединителей (табл.7).

Австралийская компания **SRI Hermetics** (www.SRIHermetics.com) запатентовала конструкцию СВЧ-вводов, устанавливаемых в корпуса изделий из титана и алюминиевых сплавов запрессовыванием и лазерной сваркой. Для запрессовывания вводы выполнены с накаткой, а для лазерной сварки предусмотрен элемент из титана или алюминиевого сплава (в зависимости от материала корпуса изделия). Запрессовывание исключает возможность нежелательного смещения ввода



Рис.7. Герметичные СВЧ-вводы предприятием ФГУП "НПП "Исток"

в корпусе изделия в процессе лазерной сварки. Разработаны серии вводов с диаметром центрального проводника 0,30; 0,38 и 0,51 мм для фланцевых и резьбовых составных соединителей TNC, BMA, SMA, SSMA, а также SMP и SMPM. СВЧ-вводы обеспечивают жесткость конструкции в диапазоне температур от -65 до 200°C, их герметичность составляет 10^{-9} см³/с. Основные характеристики СВЧ-вводов компании SRI Hermetics приведены в табл.8.

В России герметичные металlostеклянные вводы с волновым сопротивлением 50 Ом разработаны предприятием ФГУП "НПП "Исток" [1, 4]. Вводы применяют в изделиях микроэлектроники СВЧ для внутрисхемных и межблочных соединений, а также в составе коаксиально-микроразветвляющих переходов типов IX и III в соответствии с ГОСТ 20265-83 "Соединители радиочастотные коаксиальные. Присоединительные размеры". Разработаны гладкие и фланцевые вводы с диаметром центрального проводника 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 и 1,05 мм (рис.7, табл.9).

Вводы герметичны, скорость натекания по гелию менее $1,3 \cdot 10^{-11}$ м³Па/с, сопротивление изоляции более 1000 МОм, СВЧ-потери менее 0,1 дБ, диапазон рабочих температур от -60 до 125°C.

УСТАНОВКА ВВОДОВ В КОРПУСА ИЗДЕЛИЙ

Основной способ установки СВЧ-вводов в корпуса изделий – низкотемпературная пайка эвтектическими припоями олово-свинец, олово-золото. Размеры посадочного места в корпусе изделия под установку СВЧ-вводов по рекомендациям зарубежных компаний приведены на рис.8. Необходимо, чтобы ввод был установлен заподлицо с поверхностью корпуса изделия и не выступал за нее. Состав покрытия корпуса в месте установки, а также размеры компенсационной ступеньки определяет сам потребитель.

Герметичные СВЧ-вводы – необходимые компоненты элементной базы микроэлектроники СВЧ. Сегодня в распоряжении разработчиков составных радиочастотных соединителей, а также изделий микроэлектроники имеются самые разнообразные СВЧ-вводы. Однако компании-изготовители

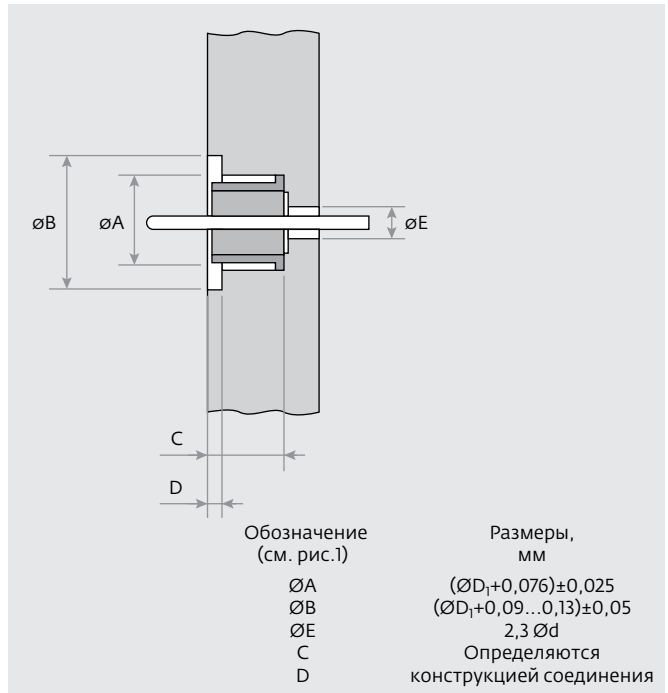


Рис.8. Размеры посадочного места в корпусе изделия под установку СВЧ-вводов

в большинстве случаев не приводят основные электрические параметры выпускаемых ими вводов: величины КСВН и потерь в зависимости от частоты. Как правило, указывают только точность воспроизведения волнового сопротивления (50 ± 1 или 50 ± 2) Ом. Величина КСВН определяется, прежде всего, особенностями применения СВЧ-вводов в изделии: правильностью их установки в корпусах изделий и соединения с микроразветвляющей линией.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Джуринский К.Б.** Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. – М.: Техносфера, 2006.
2. **Джуринский К.Б., Чебунин М.В.** Соединители SMP. Новые возможности для микроэлектроники СВЧ. – Компоненты и технология, 2008, №1, с.18-23.
3. **Джуринский К., Выходцев С.** Соединители с предельными частотами 40 и 65 ГГц фирмы Corning Gilbert. – Компоненты и технология, 2008, №5, с.80-85.
4. **Джуринский К.Б.** Миниатюрные коаксиальные СВЧ-вводы для микроэлектроники. Конструирование, расчет параметров. Применение. – Электроника: НТБ, 2000, №6, с.18.
5. **Джуринский К.Б., Калина В.Г., Родионов А.Д.** Коаксиальный СВЧ-ввод для герметичных модулей на основе гибридно-интегральных схем. – Электроника СВЧ, 1987, вып.7 (401), с.56.

