

МИНИАТЮРНЫЕ КОАКСИАЛЬНЫЕ СВЧ-ВВОДЫ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ, ПРИМЕНЕНИЕ

К. Джуринский

При создании современных герметизированных генераторных, усилительных, приемопередающих и преобразовательных СВЧ-модулей на микрополосковых линиях (МПЛ) первостепенное значение приобретает техника передачи сигналов с МПЛ при помощи коаксиальных выводов СВЧ-энергии. И если информация, посвященная разработкам изделий СВЧ, достаточно обширна и разнообразна, сведений о коаксиальных СВЧ-выводах явно недостаточно. Попытаемся восполнить этот пробел.

Коаксиальные вводы сверхвысокой частоты (СВЧ-вводы) в изделиях микроэлектроники выполняют функцию вывода сигналов с МПЛ без отражений и потерь. Такие вводы могут применяться как самостоятельные элементы, но чаще их используют в сочетании с СВЧ-разъемами в составных соединителях (field replaceable connectors). Классический пример таких устройств – соединители типа К [1]. Кроме того, СВЧ-вводы используют для подвода напряжения питания, а также управляющих и модулирующих сигналов в изделиях с унифицированными корпусами. Волновое сопротивление СВЧ-выводов для микроэлектроники, за исключением специальных применений, равно 50 Ом. К специальным применениям можно отнести установку СВЧ-вывода перпендикулярно МПЛ, в этом случае волновое сопротивление близко к 30 Ом. В телевизионной технике общепринято использовать элементы тракта с волновым сопротивлением 75 Ом.

Конструкция СВЧ-выводов включает наружный цилиндрический и внутренний проводники, а также герметично спаянный с ними диэлектрик (рис. 1). В качестве диэлектрика в основном используют электровакуумное стекло с низкой диэлектрической проницаемостью, обеспечивающее миниатюризацию, упрощение технологии изготовления и снижение стоимости вводов [2]. Изредка для этой цели применяют специальные ситаллы и керамику. Диэлектрические свойства используемых в СВЧ-выводах стекол отечественного и зарубежного производства, а также, для сравнения, алюмооксидной керамики приведены в

табл. 1. Эти данные необходимы для расчета основных параметров вводов.

Металлические проводники вводов изготавливают из сплава 29НК (ковар), согласованного по коэффициенту термического расширения (КТР) со стеклами марок C52-1 и Corning 7052, что обеспечивает получение надежных герметичных спаев, выдерживающих испытания на термоциклирование. Для получения согласованных по КТР спаев со стеклами C37-2 и Corning 7070 наиболее подходит вольфрам.

Таблица 1. Диэлектрические свойства монолитных стекол и алюмооксидной керамики [3,4]

Марка стекла	Параметр	Значение при частотах			
		1 МГц	3 ГГц	10 ГГц	38 ГГц
C52-1	e	5,7	5,5	5,2	5,0
	tgδ · 10 ⁴	30	–	95	140
C37-2	e	4,2	–	4,0	–
	tgδ · 10 ⁴	4,0	–	15	–
Corning 7052	e	5,1	5,04	4,93	–
	tgδ · 10 ⁴	26	58	81	–
Corning 7070	e	4,0	–	4,0	–
	tgδ · 10 ⁴	8	12	21	–
Алюмооксидная керамика	e	10,3	–	9,8	–
	tgδ · 10 ⁴	2	–	2	–

После пайки со стеклом металлические детали вводов покрывают золотом толщиной 1–5 мкм по подслою никеля. Золотое покрытие обеспечивает надежное соединение внутреннего проводника ввода с МПЛ и гнездовым контактом СВЧ-разъема, а наружного проводника – с корпусом изделия. Вместо золота можно использовать покрытия никелем и его сплавами или сплавами олово-висмут. Правда, при создании изделий микроэлектроники повышенной надежности и долговечности использовать сплав олово-висмут вместо золота не рекомендуется.

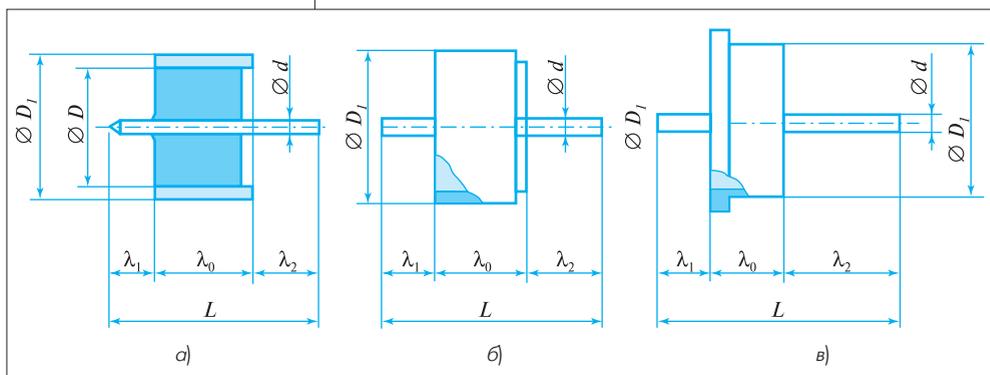


Рис. 1. Конструкция СВЧ-выводов: а) типовых, б) самоустанавливающихся, в) с буртиком



Основные параметры СВЧ-вводов – величина волнового сопротивления (Z_0), значения КСВН (s) и ВЧ-потерь (a) в требуемом диапазоне частот – рассчитываются по формулам, приведенным в табл. 2 [5,6]:

Таблица 2. Основные уравнения для расчета СВЧ-вводов

№ п/п	Параметр	Формула
1	Волновое сопротивление Z_0 , Ом	$Z_0 = \frac{60}{e} \ln \frac{D}{d} - \lg \frac{138}{e} \frac{D}{d}$ (1.1)
2	Погрешность волнового сопротивления ΔZ_0 , Ом, в зависимости от:	
	допуска на диаметр D , ΔD , мм	$\Delta Z_0 = \frac{60}{e} \frac{\Delta D}{D}$ (2.1)
	допуска на диаметр d , Δd , мм	$\Delta Z_0 = -\frac{60}{e} \frac{\Delta d}{d}$ (2.2)
	допусков ΔD и Δd , мм	$\% \Delta Z_0 = \frac{60}{e} \sqrt{\frac{\Delta D^2}{D^2} + \frac{\Delta d^2}{d^2}}$ (2.3)
	эксцентриситета e , мм	$\Delta Z_0 = -240 \frac{e^2}{D^2 + d^2}$ (2.4)
	отклонения диэлектрической проницаемости	$\frac{\Delta Z_0}{Z_0} = \frac{1}{2} \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon}$ (2.5)
3	КСВН, s	$s = 1 + \frac{\% \Delta Z_0}{Z_0}$ (3.1)
4	ВЧ-потери a , дБ/м: в проводниках, $a_{\text{ме}}$	$a_{\text{ме}} = \frac{1,98 \cdot 10^{-5}}{\lg \frac{D}{d}} \left(\frac{1}{\epsilon} + \frac{1}{D} \frac{D-d}{d} \right) e^{-mfr}$ (4.1)
	в диэлектрике, $a_{\text{диэл}}$	$a_{\text{диэл}} = 9,08 \cdot 10^{-8} f \operatorname{tg} \delta e^{-m}$ (4.2)
	общие, $a_{\text{общ}}$	$a_{\text{общ}} = a_{\text{ме}} + a_{\text{диэл}}$ (4.3)

Примечание. D и d – диаметры наружного и внутреннего проводников, измеряемые в миллиметрах (рис. 1а); e и $\operatorname{tg} \delta$ – относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь диэлектрика; e – эксцентриситет, измеряемый в миллиметрах; m – магнитная проницаемость материала проводников (на сверхвысоких частотах $m=1$); r – удельное электрическое сопротивление материала проводников, Ом $\text{мм}^2/\text{м}$; f – частота, Гц.

Как следует из уравнения (1.1), величина волнового сопротивления зависит от отношения диаметров наружного и внутреннего проводников D/d и диэлектрической проницаемости e . Если диэлектрик уже выбран, отношение D/d – величина практически постоянная. Так, при использовании в СВЧ-вводах с волновым сопротивлением 50 Ом в качестве диэлектрика стекла С52-1 отношение D/d равно 6,7. Замена стекла алюмооксидной керамикой приводит к увеличению этого отношения пропорционально $e_{\text{керамика}}/e_{\text{стекла}}$. В результате размеры вводов необходимо увеличить приблизительно в два раза. К тому же технология изготовления металлокерамических вводов значительно сложнее и дороже, чем металlostеклянных. Поэтому керамику в СВЧ-вводах применяют только в исключительных случаях (при высоких уровнях пропускаемой мощности и тепловых нагрузок).

Погрешность волнового сопротивления и значение КСВН зависят от таких факторов, как допуски на диаметры проводников, экс-

центриситет их взаимного расположения, величина зазоров между проводниками и диэлектриком, шероховатость поверхностей проводников, разброс значений диэлектрической проницаемости, форма свободных поверхностей диэлектрика. Чем меньше геометрические размеры СВЧ-ввода, а следовательно, чем выше его предельная частота, тем жестче требования к точности его изготовления (табл. 3). При этом особое внимание следует уделять точности изготовления внутреннего проводника ввода. Требования к точности изготовления еще и от назначения вводов. Например, в случае применения их в прецизионных измерительных трактах погрешность волнового сопротивления не должна превышать 0,2%, что соответствует величине КСВН 1,002 [5]. При этом допуск на диаметр внутреннего проводника должен быть не более нескольких микрон, а на диаметр наружного проводника – 10 мкм. Допуски для СВЧ-вводов, предназначенных для промышленных изделий микроэлектроники, обычно составляют 25–50 мкм.

Влияние эксцентриситета на погрешность волнового сопротивления и КСВН значительно слабее влияния неточности диаметров проводников (табл. 4), и при использовании СВЧ-ввода в качестве самостоятельного элемента им можно пренебречь. Однако в составном соединителе из-за неточности совмещения с СВЧ-разъемом эксцентриситет ввода может привести к отражению сигналов.

На поверхностное сопротивление и на значение эффективного диаметра проводников влияет и шероховатость поверхности. Правда, влияние шероховатости на погрешность волнового сопротивления становится ощутимым, лишь когда величины шероховатости и допусков на диаметры проводников – одного порядка.

В значительной степени КСВН СВЧ-вводов зависит от зазоров между диэлектриком и проводниками. С этим следует особо считаться, если в качестве диэлектрика используются органические материалы, например фторопласт. В случае его применения необходимо обеспечить плотную посадку диэлектрика между проводниками. Для вводов металlostеклянной конструкции данный эффект не проявляется.

Таблица 4. Зависимость погрешностей волнового сопротивления и КСВН СВЧ-вводов от эксцентриситета

Диаметр, мм	Значения $\% \Delta Z_0$ и s при различном эксцентриситете						
	0,05 мм		0,1 мм		0,2 мм		
d	D	$\% \Delta Z_0$, Ом	s	$\% \Delta Z_0$, Ом	s	$\% \Delta Z_0$, Ом	s
0,3	2,0	0,150	1,003	0,60	1,012	2,40	1,05
0,4	2,7	0,085	1,002	0,34	1,007	1,35	1,03
0,5	3,45	0,052	1,001	0,21	1,004	0,84	1,016

Влияние отклонения диэлектрической проницаемости на параметры согласования СВЧ-вводов и погрешность волнового сопротивления иллюстрируют результаты расчета, приведенные в таблице 5. Причины изменения диэлектрической проницаемости – ее частотная зависимость (см. табл. 1), колебание химического состава

Таблица 3. Зависимость погрешностей волнового сопротивления и КСВН от допусков на диаметры внутреннего Δd и наружного ΔD проводников

Диаметр, мм	Значения $\% \Delta Z_0$ и s при допусках Δd и ΔD							
	0,01 мм		0,025 мм		0,05 мм		0,1 мм	
	$\% \Delta Z_0$, Ом	s	$\% \Delta Z_0$, Ом	s	$\% \Delta Z_0$, Ом	s	$\% \Delta Z_0$, Ом	s
$d = 0,3$ мм	0,88	1,018	2,2	1,040	4,4	1,09	8,8	1,18
$d = 0,4$ мм	0,66	1,013	1,65	1,033	3,3	1,07	6,6	1,13
$d = 0,5$ мм	0,53	1,010	1,32	1,026	2,65	1,05	5,3	1,10
$D = 2,0$ мм	0,13	1,003	0,32	1,006	0,65	1,013	1,3	1,03
$D = 2,7$ мм	0,10	1,002	0,25	1,005	0,50	1,010	1,0	1,02
$D = 3,45$ мм	0,08	1,0016	0,20	1,004	0,40	1,008	0,8	1,016

Таблица 5. Зависимость волнового сопротивления и КСВН СВЧ-вводов от погрешности относительной диэлектрической проницаемости

Параметр	Значения $\frac{D Z_0}{Z_0}$ и ε при различных $\frac{D \varepsilon}{\varepsilon}$			
	5%	10%	15%	20%
$\frac{D Z_0}{Z_0}, \%$	2,5	5,0	7,5	10
ε	1,025	1,05	1,075	1,1

стекла разных партий, наличие в стекле неоднородностей и газовых пузырьков. Такие пузырьки в монолитном стекле возникают в процессе его пайки с металлом при наличии загрязнений и при перегреве. При соблюдении технологии изготовления вводов пузырение стекла исключается. Нередко в качестве диэлектрика СВЧ-вводов применяют порошковое стекло, особенность которого – закрытая пористость. Диэлектрическая проницаемость порошкового стекла меньше, чем у монолитного стекла аналогичного состава, и существенно зависит от величины пористости. По нашему мнению, для изготовления СВЧ-вводов, особенно работающих на частотах выше 10 ГГц, необходимо применять только монолитное стекло. Дополнительное преимущество оптически прозрачного монолитного стекла – возможность контроля в нём внутренних дефектов и напряжений, что важно для изделий повышенной надежности.

На параметры согласования СВЧ-ввода при встраивании его в радиочастотный тракт влияет также величина и форма мениска стекла на торцевых поверхностях. В отличие от низкочастотных вводов торцевая поверхность стекла СВЧ-вводов не должна иметь форму выпуклого мениска. Она должна быть либо плоской, либо специальным образом утопленной, как показано на рис. 1а, т.е. стекло не должно выступать за пределы наружного проводника.

Высокочастотные потери в СВЧ-вводе условно разделяют на потери в проводниках и потери в диэлектрике (уравнения 4.1 – 4.3). Потери в проводниках пропорциональны f и зависят от размеров проводников и свойств материалов, из которых они изготовлены. При этом около 80% всех потерь в проводниках – это потери на внутреннем проводнике ввода. Потери в диэлектрике зависят от частоты, определяются его диэлектрическими свойствами и не зависят от диаметров проводников. Результаты расчета высокочастотных потерь в СВЧ-вводах приведены в таблице 6. Эти потери резко возрастают с ростом частоты, особенно на частотах выше 10 ГГц. С уменьшением размеров вводов уровень потерь возрастает. В реальных СВЧ-вводах высокочастотные потери на частоте 10 ГГц не превышают 0,1 дБ, на частоте 38 ГГц – 0,25 дБ.

Для некоторых применений (сверхмаломощные устройства, измерительные устройства высокой чувствительности) необходим более низкий уровень потерь в СВЧ-вводе. Для этого в качестве диэлектрика следует применять стекла с лучшими диэлектрическими свойствами, например стекла Corning 7070 или C37-2. Их диэлектрическая проницаемость на 20–30%, а тангенс угла диэлектрических потерь в 4–6 раз меньше, чем у традиционно используемых стекол Corning 7052 или C52-1. Благодаря меньшей величине ди-

электрической проницаемости можно при неизменном диаметре наружного проводника увеличить в 1,1–1,2 раза диаметр внутреннего проводника, сохранив требуемую величину волнового сопротивления. Применение стекол с лучшими диэлектрическими свойствами позволяет снизить уровень потерь на СВЧ в несколько раз. Потери можно уменьшить до 1,5 раз, укорачивая длину наружного проводника (размер $\frac{1}{3}$ на рис. 1). Если на проводники (прежде всего на внутренний) нанести покрытие из материала с высокой электропроводностью, например медное, потери в проводниках можно снизить на 20–50%. Необходимо только учитывать, что медь из покрытия, нанесенного на металлические проводники, в процессе высокотемпературной пайки со стеклом диффундирует в металл. Чтобы после пайки на проводниках еще осталось покрытие, его исходная толщина должна быть не менее 12 мкм.

В диапазоне низких частот потери в СВЧ-вводах практически определяются потерями в проводниках. Однако, начиная с частоты, равной нескольким гигагерцам, основной вклад вносят потери в диэлектрике.

На рынке электронных компонентов представлены **СВЧ-вводы зарубежных и отечественных производителей** (табл. 7). За рубежом вводы выпускают фирмы M/A-COM, Southwest Microwave, Northeast Electronics, Dynawave, Thunderline-Z, Advanced Technology Group, Balo Hermetics, Xeram Packaging, United Glass to Metall Sealing и др. Самые миниатюрные вводы с внутренним проводником диаметром 0,3 мм применяют для работы на частотах до 85 ГГц в составе соединителей типов K, OS-2,4, APC-2,4, APC-1,85. Вводы с внутренним проводником диаметром 0,4–0,5 мм используют в составе соединителей с предельными частотами 18–26 ГГц (типов SMA, OSP и др.) и как самостоятельные элементы. Все вводы рассчитаны на 50-Ом волновое сопротивление. На частотах до 18 ГГц КСВН СВЧ-вводов оценивается величиной $\varepsilon = 1,02 + 0,003f_{ГГц}$. На частоте 10 ГГц КСВН не превышает 1,05, на 18 ГГц – 1,075. Величины высокочастотных потерь и КСВН вводов на частотах более 18 ГГц в рекламных материалах фирм не указаны. Вместо них приводятся параметры самих соединителей, в состав которых входят СВЧ-вводы. Все СВЧ-вводы металлостеклянной конструкции герметичны. Их герметичность, характеризующая скоростью натекания гелия через ввод, не хуже $1 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{с}$ ($10^{-9} \text{ м}^3/\text{Па} \cdot \text{с}$). Диапазон рабочих температур СВЧ-вводов – от -55 С до +125 С. Отечественные СВЧ-вводы, выпускаемые ГНПП “Исток”, по своим параметрам практически не отличаются от зарубежных аналогов [10].

Следует отметить некоторые особенности зарубежных вводов:

- диаметр их внутреннего проводника не превышает 0,5 мм, что соответствует стандартной ширине полоска МПЛ;
- длина наружного проводника равна 1,3–1,6 мм;
- в вводах для работы на частотах выше 45 ГГц в качестве диэлектрика используется стекло Corning 7070 с низкими значениями диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь.

Целесообразность таких решений очевидна. Однако применение в зарубежных СВЧ-вводах в качестве диэлектрика спеченного по-

Таблица 6. Высокочастотные потери в проводниках, диэлектрике и общие потери СВЧ-вводов со стеклом марки C52-1 в качестве диэлектрика

Диаметр d, мм	Металл проводников	Потери дБ/мм·10 ³ на частотах								
		1 МГц			10 ГГц			38 ГГц		
		$\alpha_{\text{ме}}$	$\alpha_{\text{диэл}}$	$\alpha_{\text{общ}}$	$\alpha_{\text{ме}}$	$\alpha_{\text{диэл}}$	$\alpha_{\text{общ}}$	$\alpha_{\text{ме}}$	$\alpha_{\text{диэл}}$	$\alpha_{\text{общ}}$
0,3	Ковар	0,16	0,0006	0,16	14,8	19,7	34,5	28	108,2	136,2
0,4		0,12	0,0006	0,12	11,0	19,7	30,7	21	108,2	129,2
0,5		0,09	0,0006	0,09	8,8	19,7	28,5	17	108,2	125,2
0,3	Медь	0,03	0,0006	0,03	2,7	19,7	22,4	5,2	108,2	113,4



рошкового стекла, по нашему мнению, не всегда оправдано.

Выходные параметры изделия в значительной степени зависят от правильности его **установки в корпус** и соединения СВЧ-ввода с МПЛ. Как правило, толщина стенки корпуса в месте установки ввода превышает длину наружного проводника ввода. Типичные толщины стенок зарубежных корпусов 3,2; 4,8 и 6,4 мм, отечественных – от 3 до 6 мм. Поэтому в стенке корпуса создают соединительную ступень, представляющую собой отрезок воздушной коаксиальной линии с волновым сопротивлением 50 Ом (рис. 2). Диаметр ступени В определяется из известного соотношения $B=2,3d$, где d – внутренний диаметр ввода.

Можно выделить три области, где существует емкостная неоднородность. Коэффициент отражения от каждой из этих неоднородностей пропорционален значениям емкости и частоты. Поэтому с влиянием емкостной неоднородности на СВЧ следует особенно считаться. В области I отражение возникает из-за неточности совмещения ввода с СВЧ-разъемом (для составных соединителей). Такая неточность обусловлена прежде всего эксцентриситетом расположения проводников ввода и разъема, а также допусками на их диаметры. В областях II и III из-за различия диэлектрических проницаемостей воздуха ($\epsilon=1$) и диэлектрика (для стекла $\epsilon=4,0-5,2$, для материала подложки ϵ достигает 10) происходит скачок емкости. Емкостную неоднородность компенсируют при помощи индуктивной секции тракта. Роль индуктивности играют воздушные промежутки. Сущность компенсации заключается в изъятии на этих участках диэлектрика с высокой (по сравнению с воздухом) диэлектрической проницаемостью и уменьшении за счет этого емкостной неоднородности. Размер воздушных промежутков не превышает нескольких десятых долей миллиметра и, как правило, подбирается экспериментально.

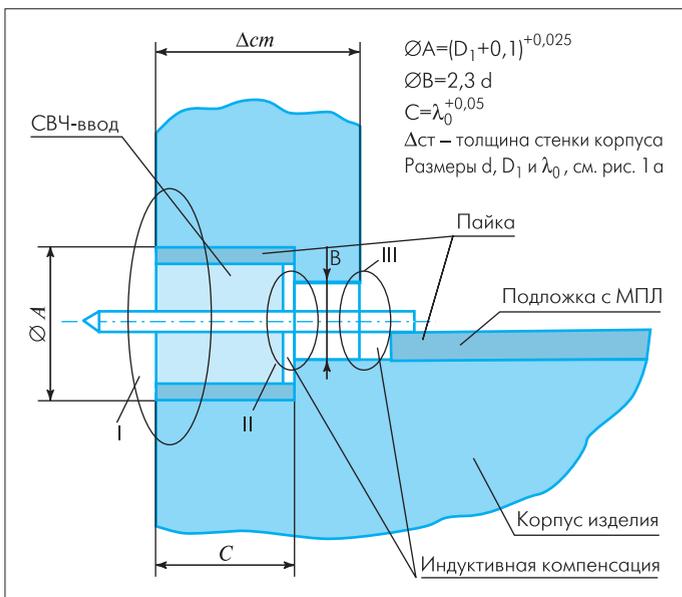


Рис. 2. Пример установки СВЧ-ввода в изделие

Таблица 7. Геометрические размеры зарубежных [7–9] и отечественных [10] СВЧ-вводов

№	Тип ввода	Изготовитель	Номинальные размеры, мм					
			d	D ₁	l ₀	l ₁	l ₂	L
СВЧ-вводы зарубежных фирм								
1	2098-3250-94*	M/A-COM	0,3	2,5	1,6	1,8	4,6	8,0
2	8598-0294-00*		0,3	1,9	1,4	1,1	0,7	3,2
3	2098-3441-94*		0,4	2,5	1,6	1,8	4,6	8,0
4	2098-3251-94*		0,45	2,8	1,6	1,8	4,6	8,0
5	2098-0294-00*		0,5	4,0	1,7	2,1	1,8	5,6
6	2098-3323-94*		0,5	4,0	1,8	2,1	5,6	9,5
7	2098-3332-94*		0,5	4,0	1,6	1,6	1,6	4,8
8	2098-3347-94**		0,5	4,5	1,7	2,8	2,9	7,4
9	290-07G*	Southwest Microwave	0,3	1,9	1,4	2,0	0,7	3,1
10	E10K-101*	Northeast Electronics	0,3	2,5	1,5	1,5	5,0	8,0
11	E10K-102*		0,5	2,5	1,5	1,9	4,6	8,0
12	E10K-103*		0,5	2,5	1,3	1,4	1,5	4,2
13	E15K-101*		0,5	2,5	1,5	1,5	5,0	8,0
14	E15K-102*		0,5	2,5	1,5	1,5	2,4	8,4
15	E15K-103*		0,5	2,5	1,5	1,8	1,5	4,8
16	E15K-104*		0,5	2,5	1,5	1,5	0,8	3,8
17	E15K-105*		0,5	2,5	1,5	2,0	2,7	6,2
Отечественные СВЧ-вводы								
1	ТС3.575.343*	ГНПП "Исток"	0,3	2,4	4,0	1,0	1,0	6,0
2	ТС3.575.343-01*		0,3	2,4	2,0	2,0	2,0	6,0
3	КРПГ433434. 015-02*		0,4	3,4	1,8	2,0	2,7	6,5
4	КРПГ433434.015-03*		0,5	3,8	1,8	2,0	2,7	6,5
5	КРПГ433434.003***		0,6	4,7	2,0	0,95	4,55	7,5
6	КРПГ433434.003-02***		0,6	4,7	2,0	6,5	3,5	12,0
7	ТС3.575.425***		0,6	4,7	6,0	2,7	1,8	10,5
8	ТС3.575.425-01***		0,6	4,7	3,5	1,6	2,4	7,5
9	Э282-01*		1,05	9,0	3,0	4,6	4,4	12,0

Примечания: * рис. 1,а; ** рис. 1,б; *** рис. 1,в.

СВЧ-вводы впаивают в корпуса изделий с предварительно нанесенным защитным покрытием при помощи низкотемпературных припоев. В современных корпусах применяют следующие покрытия: Хим Н18.О-Ви(99,7)6, Хим Н18.Н1.Пд-Н(80)1, Хим Н18(Н-Б)6, серебро, золото. В качестве припоя обычно используют сплав ПОС-61 (температура плавления 183–190 С) и паяльные пасты на его основе. Наш опыт показывает, что наилучшее качество пайки достигается при использовании бесканифольной водорастворимой паяльной пасты ППВ-190 ТСО.029.023 ТУ на основе припоя ПОС-61 [7, 11]. Пайку производят на воздухе при температуре 190–220 С с выдержкой при этой температуре в течение 10–15 с. Остатки флюса легко удаляются промывкой в воде даже без применения ультразвука.

Размеры посадочного места под установку СВЧ-ввода приведены на рис. 2. При установке ввода необходимо выполнить следующие условия:

- обеспечить хорошее заполнение припоем всех зазоров, включая торцевые поверхности наружного проводника ввода;
- исключить наплывы припоя и остатки флюса в соединительном канале;
- обеспечить расстояние от плоскости МПЛ до оси внутреннего проводника ввода не более 0,8 мм;
- выполнять соединение внутреннего проводника ввода с МПЛ либо непосредственной пайкой или сваркой к полоску, либо с использованием перемычки из золота толщиной 20–50 мкм;
- предусмотреть в перемычке компенсационную петлю с тем, чтобы избежать образования в ней разрывов и трещин при термостатировании.

В заключение следует отметить, что несмотря на кажущуюся простоту СВЧ-вводов, их создание и рациональное применение

требует знания многих областей техники: техники СВЧ и радиоизмерений, технологии спаев стекла с металлами и низкотемпературной пайки, гальванотехники. Настоящая работа является попыткой систематизировать современные представления в этой области.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Browne J.** Precision Coaxial Cables and Connectors Reach 45 Ghz. – *Microwaves and RF*, 1983, № 9, p. 131.
2. **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.
3. Справочные данные на стекла для электровакуумных приборов. – М.: НИИЭС, 1986.
4. **Эспе В.** Технология электровакуумных материалов. – М.: Энергия, 1968.
5. **Sladek N.J.** Основные соображения по расчету и применению прецизионных коаксиальных соединителей. – *Зарубежная радиоэлектроника*, 1967, № 10, с. 101.
6. **Ефимов И.Е., Останкович Г.А.** Радиочастотные линии передачи. – М.: Связь, 1977.
7. Coaxial connectors, adapters, tools and accessories. Каталог фирмы M/A-COM Omni-Spectra, 1997.
8. Проспект фирмы Southwest Microwave, 1994.
9. 50-Ohm Kovar Feedthroughs are Now Stock Items in a Range of Finishes and Configurations. Реклама фирмы Northeast Electronics Corp.– *Microwave System News*, 1985, v. 15, N7, p. 27.
10. **Джуринский К.Б.** Коаксиальные радиокомпоненты нового поколения для микроэлектронных устройств СВЧ. Справочные материалы по электронной технике. – ОНТИ, 1996.
11. Патент РФ 1808590, МКИ В23К35/24. Паста для низкотемпературной пайки/В.Ф. Шиханов, Н.П. Литвиненко. – Оpubл. в Б.И. 1993, № 14. Приоритет от 9.07.90.

Контактный телефон: (095) 465–8624