

Использование керамики производства АО «ЗПП» в металлокерамических корпусах, работающих в СВЧ-диапазоне

Е. Ермолаев¹, Ш. Шугаев², Р. Ахметгалиев³

УДК 621.3 | ВАК 05.27.01

Материалы из высокотемпературной керамики находят широкое применение при создании устройств СВЧ-диапазона. Они используются в качестве диэлектрической подложки для изготовления линий передач и элементов СВЧ-трактов, в качестве основы для изготовления антенн. Помимо этого, широкое применение керамика находит и при изготовлении металлокерамических корпусов для полупроводниковых интегральных схем, активно применяемых и эффективно работающих в СВЧ-диапазоне. В данной работе представлены результаты исследований диэлектрических свойств керамических подложек производства АО «Завод полупроводниковых приборов». По результатам проведенных исследований отмечается возможность применения данной керамики для создания совершенно новых, перспективных металлокерамических корпусов, рассчитанных для работы в СВЧ-диапазоне до 40 ГГц включительно.

Появление возможности изготавливать на территории АО «Завод полупроводниковых приборов» СВЧ-корпуса для интегральных микросхем обусловлено, прежде всего, внедрением в стандартную технологию изготовления керамической массы нетривиальных методов и технологических подходов, позволивших модифицировать фазовый состав керамической массы по части оптимального соотношения кристаллической и стекловидной фаз. Вследствие положительных результатов проведенных исследований были значительно улучшены диэлектрические свойства керамических подложек. Приобретенный опыт, знания и правильное прогнозирование диэлектрических свойств в зависимости от фазового состава керамического материала и конструктивных особенностей изделий по результатам математического моделирования позволяют специалистам АО «ЗПП» проводить разработку СВЧ-корпусов, полностью соответствующих ТЗ, с первого раза.

В качестве примера, в табл. 1 и на рис. 1, 2 представлены внешний вид и характеристики некоторых СВЧ-корпусов, изготавливаемых на территории АО «Завод полупроводниковых приборов».

Для исследования диэлектрических свойств корпусов микросхем использовался метод, основанный на измерении параметров линий передач. Одной из особенностей метода является то, что в результате прямых измерений могут быть получены значения эффективной диэлектрической проницаемости, которая зависит не только от свойств самой керамической подложки, но и от конфигурации металлизационных участков, размещенных в объеме корпуса микросхемы [1]. Данный метод является наиболее приближенным к практике, поскольку учитывает множество воздействующих факторов, в том числе потери на металлических участках и их шероховатость.

Для вычисления искомых электрических параметров использовали следующие выражения:

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{10h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} + 0,041 \left(1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right] - \frac{\epsilon_r - 1}{4,6} \frac{t}{\sqrt{\frac{W}{h}}}, \quad (1)$$

где ϵ_{eff} – эффективная диэлектрическая проницаемость керамического материала; ϵ_r – относительная диэлектри-

¹ АО «Завод полупроводниковых приборов» (АО «ЗПП»), заместитель главного конструктора.

² АО «ЗПП», главный конструктор – начальник конструкторско-технологического управления.

³ АО «ЗПП», заместитель главного технолога.

Таблица 1. Технологические нормы изделий «Корпус ЯЛГК.301176.304» и МК 5159.24-1

Параметр	Значение	
	Корпус ЯЛГК.301176.304	МК 5159.24-1
Габаритные размеры тела корпуса, не более, мм	4,35×4,35×1,12	7,2×7,2×2,26
Масса, не более, г:		
корпуса	0,11	0,3
основания	0,09	0,24
крышки	0,02	0,06
Размеры монтажной площадки, не менее, мм	1,25×1,25	3,8×3,8
Количество контактных площадок	16	24
Шаг контактных площадок, мм	0,35	0,6
Размеры гарантированных зон контактных площадок, не менее, мм	0,3×0,08	0,2×0,3
Количество выводных площадок	16	24
Шаг выводных площадок, мм	0,5	1
Уровень фона адсорбированного газа (гелия) основания корпуса, не более, Па·см ³ /с (л·мкм рт. ст./с)	1,33·10 ⁻⁴ (1·10 ⁻⁶)	1,33·10 ⁻⁴ (1·10 ⁻⁶)
Показатель герметичности по эквивалентному нормализованному потоку через паяные соединения в основании (вакуумплотность), не более, Па·см ³ /с (л·мкм рт. ст./с)	1,33·10 ⁻⁴ (1·10 ⁻⁶)	1,33·10 ⁻⁴ (1·10 ⁻⁶)
Показатель герметичности корпуса по эквивалентному нормализованному потоку, не более, Па·см ³ /с (л·мкм рт. ст./с)	6,65·10 ⁻³ (5·10 ⁻⁵)	6,65·10 ⁻³ (5·10 ⁻⁵)
Сопротивление изоляции в низковольтном комплектном устройстве (НКУ) при напряжении 100 В, не менее, Ом	1·10 ⁸	1·10 ⁹
Электрическая прочность изоляции (макс. испытательное напряжение), не менее, В	200	200
Сопротивление токоведущих дорожек и выводных площадок, Ом	Не более 0,025	0,08
Внутреннее тепловое сопротивление для максимального размера источника тепла, не более, °С/Вт	80	15,5
Емкость связи, пФ	Не более 0,4	0,7
Емкость проводников, пФ	Не более 0,4	0,8
Максимально допустимый ток, А	Не более 4,3	1,8
Индуктивность токоведущих дорожек, нГн	Не более 9,4	2,5

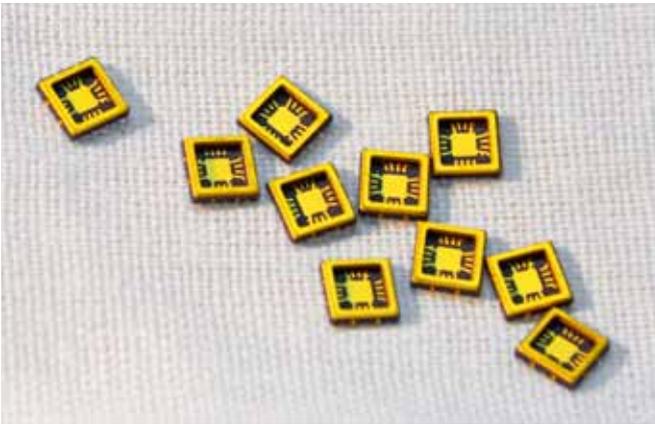


Рис. 1. Внешний вид изделия «Корпус ЯЛГК.301176.304»

ческая проницаемость керамического материала; W – ширина микрополосковой линии (проводника); h – толщина керамической подложки; t – толщина металлизации.

При известных погонных параметрах микрополосковой линии (МПЛ) – удельной теплоемкости (C) и удельной проводимости (G) – значения тангенса угла диэлектрических потерь были найдены из соотношения:

$$G = \omega C \cdot \operatorname{tg} \delta. \quad (2)$$

Для определения погонных значений R , L , C , G , суммарных потерь в линии, значения ϵ_{eff} использовали метод калибровки Multiline TRL (Thru-Reflect-Line) [2–4]. На рис. 3 представлены частотные зависимости усредненных коэффициентов отражения S_{11} и передачи S_{21} для самых длинных микрополосковых линий передач на керамических подложках толщиной 0,5 и 1 мм.

По результатам измерений можно отметить, что коэффициент отражения получился не хуже –15 дБ

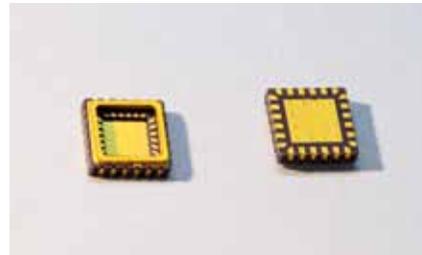


Рис. 2. Внешний вид изделия МК 5159.24-1

в исследуемом интервале частот от 0 до 40 ГГц – для образцов толщиной 0,5 мм, и в интервале частот от 0 до 15 ГГц – для образцов толщиной 1 мм, что говорит о достаточно неплохих характеристиках микрополосковой линии передач. Уменьшенный рабочий диапазон частот образцов толщиной 1 мм объясняется большой толщиной керамической подложки, вследствие чего на более высоких частотах в подложке начинают распространяться волны с модами более высоких порядков и микрополосковая линия передачи перестает работать в правильном режиме. Поэтому в дальнейших расчетах для образцов толщиной 1 мм ограничились указанным диапазоном частот.

Расчетные данные по эффективной диэлектрической проницаемости керамических образцов производства АО «ЗПП» исследуемых толщин представлены на рис. 4.

Таблица 2. Результаты расчета ϵ_r для керамического материала при частоте 1,8 ГГц

h , мм	0,5	1
ϵ_r	8,774	8,91
ϵ_{eff}	5,89	6,01

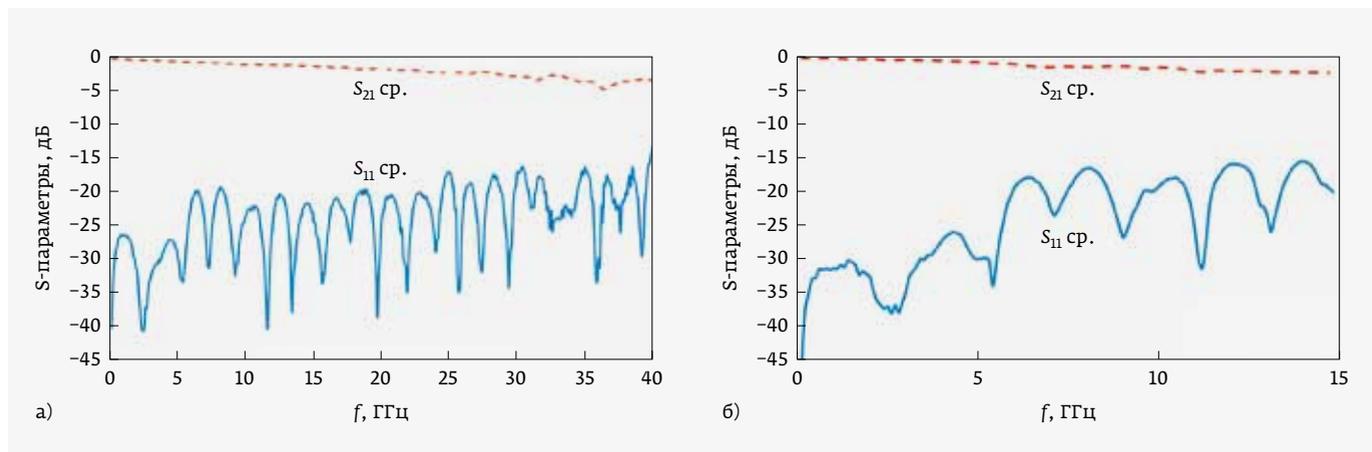


Рис. 3. Коэффициент отражения (S_{11}) и коэффициент передачи (S_{21}) для керамических подложек: а – толщиной 0,5 мм; б – толщиной 1 мм

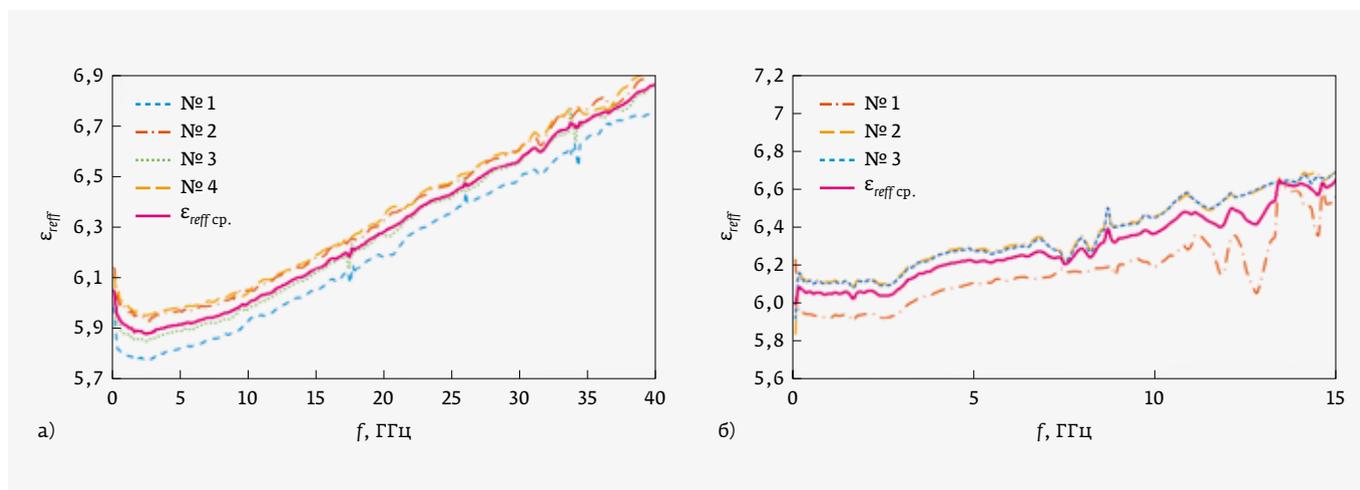


Рис. 4. Расчетные значения эффективной диэлектрической проницаемости для керамических подложек производства АО «ЗПП»: а – толщиной 0,5 мм; б – толщиной 1 мм

Исходя из полученных значений и зная параметры микрополосковой линии, на основе выражения (1) можно вычислить относительную диэлектрическую проницаемость керамики в исследуемом частотном диапазоне. В качестве примера в табл. 2 представлены результаты расчета ϵ_r при частоте 1,8 ГГц для керамических образцов исследуемых толщин.

Также в результате проведения исследований были получены значения для погонных потерь (α , дБ/см) в микрополосковой линии передач, проводимости (G , См/см) и емкости (C , пФ/см). На основе этих данных и с использованием выражения (2) были получены значения тангенса угла диэлектрических потерь, которые наглядно представлены на рис. 5.

Из представленных графиков можно сделать следующие выводы:

- для керамических образцов толщиной 0,5 мм значения $\text{tg}\delta$ лежат в диапазоне от 0,003 до 0,006 во всем исследуемом диапазоне частот. В качестве итогового значения для $\text{tg}\delta$ можно принять значение 0,055, полученное по верхней границе аппроксимации;
- для керамических образцов толщиной 1 мм значения $\text{tg}\delta$ лежат в диапазоне от 0,002 до 0,008 во всем исследуемом диапазоне частот. Средняя оценка по аппроксимации составила 0,006.

Для сравнительной оценки полученных характеристик материала производства АО «ЗПП» в табл. 3 приведены

Таблица 3. Сравнительные характеристики керамики производства АО «ЗПП» с материалами других производителей

Материал	ϵ_r	$\text{tg}\delta$	α для МПЛ, дБ/м	Примечание
Керамика (АО «ЗПП»)	$8,82 \pm 0,09$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	12,3 при частоте 5 ГГц	
Керамика А459 (Kyocera)	8,8	$6 \cdot 10^{-4}$	–	
Керамика ВА-916 (NTK)	9,0	$7 \cdot 10^{-3}$	–	
Керамика AS970 (MARUWA)	9,8	$2 \cdot 10^{-4}$	12,4 при частоте 10 ГГц	Используется для высококачественных СВЧ-подложек
Керамика ВК 100-1 (Кинешма)	9,7	10^{-4}	–	Используется для высококачественных СВЧ-подложек
Керамика ВК-96 (С-Компонент)	9,8	$3 \cdot 10^{-4}$	–	Используется для высококачественных СВЧ-подложек
Ламинат RO4350В (Rogers corp.)	3,48	$3,7 \cdot 10^{-3}$	10-12 при частоте 5 ГГц	

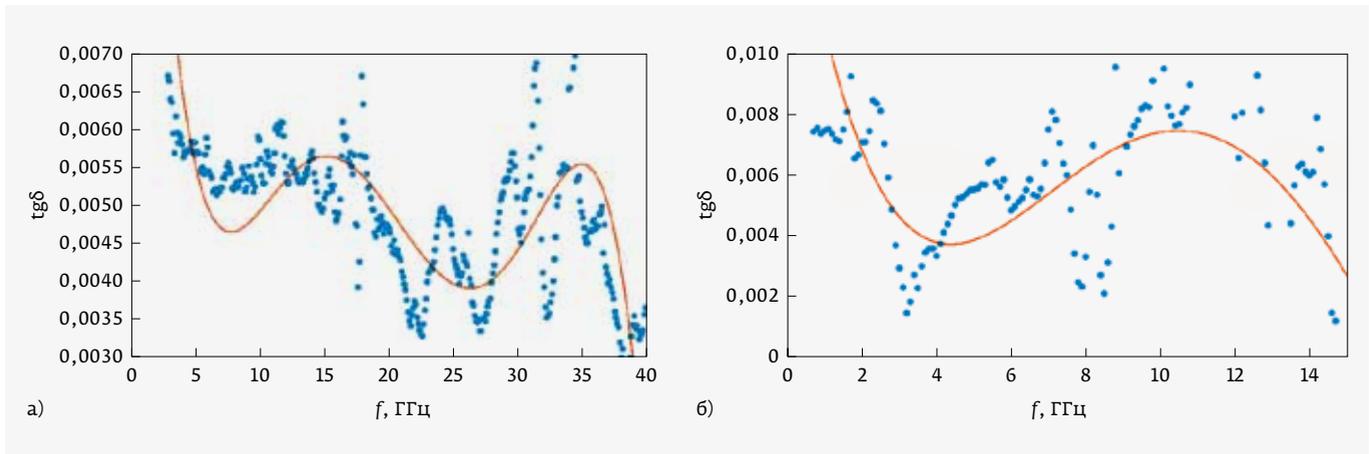


Рис. 5. Расчетные значения тангенса угла диэлектрических потерь для керамических подложек производства АО «ЗПП»: а – толщиной 0,5 мм; б – толщиной 1 мм

значения диэлектрических параметров керамики других известных производителей.

В заключение проведенных исследований необходимо отметить следующие наиболее важные моменты:

1. Микрополосковые линии передач, изготовленные на керамических подложках толщиной 0,5 мм, показали хорошие параметры по передаче и отражению в интервале частот от 0 до 40 ГГц. Коэффициент отражения на всем исследуемом интервале частот оказался лучше, чем -15 дБ.
2. Микрополосковые линии передач, изготовленные на керамических подложках толщиной 1 мм, также показали хорошие результаты по передаче и отражению. Однако толщина подложки не позволяет использовать такую конструкцию микрополосковой линии передач на частотах выше 15 ГГц в силу возникновения паразитных волновых мод. Коэффициент отражения в этом частотном диапазоне также оказался лучше -15 дБ.
3. Сравнительный анализ характеристик материала производства АО «ЗПП» с керамикой сторонних производителей показал, что измеренные значения диэлектрической постоянной хорошо совпадают со значениями материала Kyocera A459, где $\epsilon_r = 8,8$ (значения приведены для 1 МГц), однако значения для $\text{tg}\delta = 0,0006$ отличаются на порядок [2]. Также полученные значения схожи с характеристиками материала NTK BA-916, где $\epsilon_r = 9,0$ (значения приведены для 10 ГГц), а $\text{tg}\delta = 0,007$ [3]. При этом отметим, что указанные материалы японских производителей схожи по составу с керамикой производства АО «ЗПП» и содержат около 90% оксида алюминия (Al_2O_3).
4. В целом получены стабильные характеристики микрополосковой линии передач в интервале частот

от 0 до 40 ГГц, что однозначно позволяет использовать керамику производства АО «ЗПП» для изготовления корпусов, работающих в СВЧ-диапазоне.

5. В результате приобретения уникального опыта по модификации состава керамического материала, в настоящее время в АО «Завод полупроводниковых приборов» все больше уделяют внимание разработке и освоению в производстве СВЧ-корпусов, в том числе и с большим числом (400–800) выводов для больших (БИС) и сверхбольших (СБИС) интегральных схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Князев Н. С., Харитонов Ф. В., Малкин А. И.** Исследование методов измерения электродинамических параметров диэлектрических материалов / Пояснительная записка от Уральского федерального университета, ИРИТ-РТФ, кафедра ВЧСРТ. Екатеринбург, 2015. С. 7–8.
2. **Savin A. A., Guba V. G., Ladur A. A., Bykova O. N.** Method of printed circuits and semiconductor substrates material parameters extraction using wideband reflection measurements // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. V. 1015. Issue 2. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/2/022018>.
3. **Terán-Bahena E. Y., Sejas-García S. C., Torres-Torres R.** Characterization of Transmission Lines on PCB from S-Parameters by Determining the Dielectric and Conductor Losses at the Crossover Frequency // *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*. 2018. V. 8. Issue 5. PP. 867–874. <https://doi.org/10.1109/TCPM.2018.2824321>.
4. **Marks R. B.** A multiline method of network analyzer calibration // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 1991. V. 39. Issue 7. PP. 1205–1215. <https://doi.org/10.1109/22.85388>.

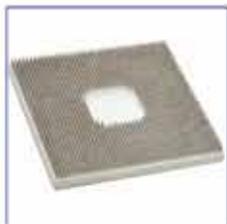


ЙОШКАР-ОЛА, РЕСПУБЛИКА МАРИЙ ЭЛ

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ЗАВОД ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ»



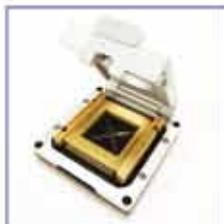
Выводные рамки



Металлокерамические
корпуса



Нагревательные
элементы



Контактные
устройства



Графитовая
оснастка



Оптоэлектронные
корпуса



424003, Россия, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Суворова, 26
Тел.: +7-8362-45-70-09, 45-67-68.
info@zpp12.ru marketing@zpp12.ru

zpp12.ru