

# Керамические материалы для корпусов ИМС и полупроводниковых приборов

Алексей МАКСИМОВ  
testpribor@test-expert.ru

Зачастую отечественные корпуса по качеству уступают зарубежным аналогам, а закупать их или готовые элементы за границей в необходимых отечественному производству количествах нежелательно. Кроме того, стала заметной тенденция резкого снижения номенклатуры и объемов, а порой и полного прекращения выпуска отдельных типов корпусов российскими производителями. Ввиду этого при разработке изделий электроники и электронной техники как гражданского, так и военного назначения, а так же при модернизации уже существующих систем и устройств разработчики сталкиваются с проблемой недостатка номенклатуры производимых в РФ корпусов, а зачастую и отсутствия некоторых их типов.

Основным материалом металлокерамических, стеклокерамических и других корпусов является керамика (рис. 1). Для проведения сравнительного анализа изделий рассмотрим основные свойства иностранных и отечественных керамических материалов.

В производстве корпусов используют алюмооксидную, минолундовую, стеатитовую, кордиеритовую и бериллиевую керамику,

но для корпусов полупроводниковых приборов и ИМС наиболее часто применяют алюмооксидную керамику, отличительные особенности которой:

- высокая устойчивость к воздействию теплового удара, влаги, химическим реагентам;
- широкий диапазон рабочих температур;
- хорошие (но не лучшие) диэлектрические и тепловые свойства;

- повышенная стабильность размеров;
- твердость;
- коэффициент теплового расширения (КТР) достаточно близкий к КТР кремния;
- технологичность при применении групповых методов обработки.

Алюмооксидная керамика (высокоглиноземистая корундовая керамика) содержит до 99,5% оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ). Химический состав некоторых марок отечественных керамических материалов приведен в таблице 1, иностранных — в таблице 2.

Важнейшими свойствами керамики являются диэлектрические потери и диэлектрическая проницаемость. Они имеют очень важное значение при использовании токов высокой частоты и высокого напряжения, поскольку величина диэлектрических потерь пропорциональна квадрату напряжения и частоте тока.

Таблица 1. Химический состав различных марок алюмооксидной керамики, используемой отечественной промышленностью

Марка керамики	Химический состав, %							
	$Al_2O_3$	$SiO_2$	CaO	$ZrO_2$	MgO	$TiO_2$	$Cr_2O_3$	MnO
ВК87	86,7	4,86	1,62	1,26	0,75	0,96	3,85	—
ВК91-2	90,5	5,9	1,7	1,3	0,60	—	—	—
М-7/ВК94-2	94,2	3,7	2,1	—	—	—	—	—
22ХС/ВК94-1	94,4	2,76	—	—	—	—	0,49	2,35
Алунд/А-995	99,5	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 2. Химический состав алюмооксидной керамики, используемой фирмой Куосега (Япония)

Марка керамики	Химический состав, %				
	$Al_2O_3$	$SiO_2$	MgO	$Fe_2O_3$	Остальные примеси
А-440	90	6	1	0,04	2,96
А-473	92	6	1	0,04	0,96

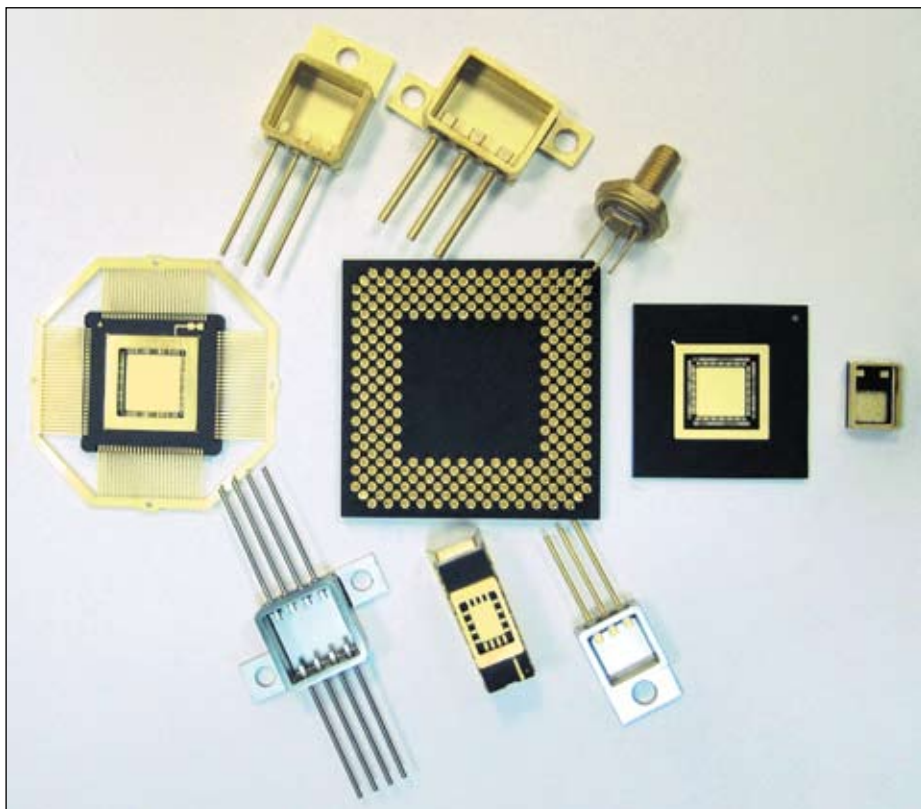


Рис. 1. Керамические корпуса

Именно поэтому зачастую к параметрам керамических материалов предъявляют очень высокие требования, так как значительные диэлектрические потери не только затрудняют работу прибора, но и часто делают ее невозможной. В связи с этим тщательно изучают причины, которые определяют те или иные диэлектрические свойства керамических материалов. За последние годы в этом направлении проделана большая работа, позволившая на основе применения различных окислов (например, окисла титана) получить новые виды керамических материалов с малыми потерями, а также керамические материалы с высокой диэлектрической проницаемостью. Рассмотрим подробнее зависимость диэлектрических потерь в керамике от частоты и температуры.

Диэлектрическими потерями называют ту часть энергии переменного электрического поля, которая при прохождении тока через диэлектрик теряется в нем, превращаясь в тепло. Вследствие этих потерь керамические материалы в сильных высокочастотных электрических полях могут разогреваться и нарушать нормальную работу прибора.

Если участок изоляции находится под постоянным напряжением, то значение диэлектрических потерь  $P$ :

$$P = U^2/R_{ИЗ} = U \times I = I^2 \times R_{ИЗ} \quad (1)$$

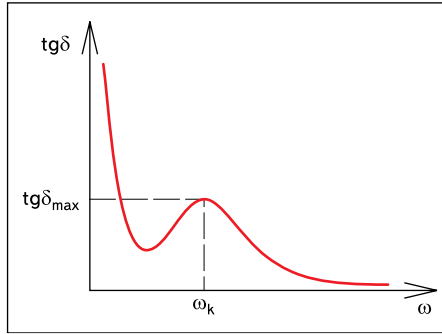
где  $I$  — сквозной ток утечки через изоляцию,  $A$ ;  $U$  — постоянное напряжение, приложенное к участку изоляции,  $B$ ;  $R_{ИЗ}$  — сопротивление участка изоляции,  $Om$ .

Однако чаще всего рассматриваются керамические материалы не под постоянным, а под переменным напряжением. В этом случае значение потерь  $P$  ( $Bт$ ), на участке с емкостью  $C$  ( $\Phi$ ), при действующем значении приложенного к этому участку синусоидального напряжения  $U$  ( $B$ ) и частоте  $f$  ( $\Gammaц$ ) (угловая частота  $\omega = 2\pi f$ , ( $рад/с$ )), равно:

$$P = U^2 \times \omega \times C \times tg\delta, \quad (2)$$

где  $\delta$  — угол диэлектрических потерь.

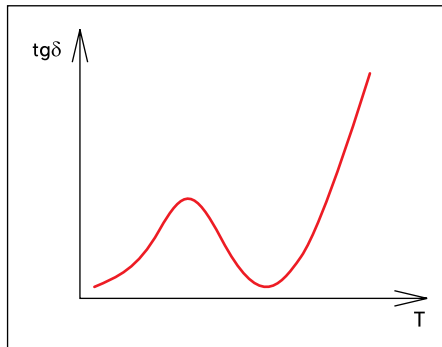
Тангенс угла диэлектрических потерь является важнейшим параметром, и в инженерной практике наиболее часто использует-



**Рис. 2.** Теоретическая зависимость  $tg\delta$  от частоты приложенного к диэлектрику напряжения

ся для характеристики способности диэлектрических материалов рассеивать энергию в электрическом поле. Рассмотрим влияние и зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты и температуры:

- Графически теоретическая зависимость  $tg\delta$  от частоты приведена на рис. 2, из которого видно, что при  $\omega \rightarrow 0$  значение  $tg\delta \rightarrow \infty$ . На самом деле при  $\omega = 0$  потери конечны и определяются в соответствии с выражением (1). При  $\omega \rightarrow \infty$   $tg\delta \rightarrow 0$ . На частоте  $\omega = \omega_k$  характеристика имеет максимум  $tg\delta_{max}$ .
- Как общее правило,  $tg\delta$  диэлектрических материалов увеличивается при повышении температуры  $T$  (по крайней мере, в достаточно широком диапазоне  $T$ ). Пример зависимости  $tg\delta$  от температуры приведен на рис. 3.



**Рис. 3.** Зависимость  $tg\delta$  от температуры

**Таблица 3.** Значения  $\epsilon$  и  $tg\delta$  для некоторых марок отечественной алюмооксидной керамики

Марка керамики	Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$ при 20 °С на частоте		Тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ при 20 °С на частоте	
	10 <sup>6</sup> Гц	3 × 10 <sup>10</sup> Гц	10 <sup>6</sup> Гц	3 × 10 <sup>9</sup> Гц
ВК87	10,5	—	6 × 10 <sup>-3</sup>	—
ВК91-2	10,5	—	6 × 10 <sup>-4</sup>	—
М-7/ВК94-2	9,5	8,6	4 × 10 <sup>-4</sup>	9 × 10 <sup>-4</sup>
22ХС/ВК94-1	9,5	8,6	6 × 10 <sup>-4</sup>	15 × 10 <sup>-4</sup>
Алунд/А-995	—	10	—	5 × 10 <sup>-4</sup>

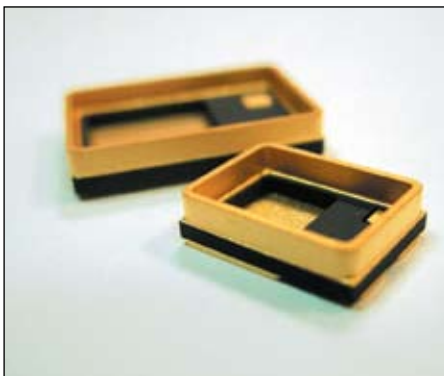
**Таблица 4.** Значения  $\epsilon$  и  $tg\delta$  для некоторых марок иностранной алюмооксидной керамики

Марка керамики	Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$ при 20 °С на частоте		Тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ при 20 °С на частоте	
	10 <sup>6</sup> Гц	2 × 10 <sup>9</sup> Гц	10 <sup>6</sup> Гц	2 × 10 <sup>9</sup> Гц
А473	9,1	8,5	5 × 10 <sup>-4</sup>	10 × 10 <sup>-4</sup>
А440	9,8	—	24 × 10 <sup>-4</sup>	—
А443	9,6	—	5 × 10 <sup>-4</sup>	—
А0600	9	8,8	10 × 10 <sup>-4</sup>	21 × 10 <sup>-4</sup>
А0700	9,4	9,2	6 × 10 <sup>-4</sup>	6 × 10 <sup>-4</sup>
НА-921	9,4	8,8	5 × 10 <sup>-4</sup>	10 × 10 <sup>-4</sup>
ВА-914	9,8	9,0	4 × 10 <sup>-4</sup>	10 × 10 <sup>-4</sup>

Для сравнительного анализа в таблицах 3 и 4 приведены значения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и тангенса угла диэлектрических потерь ( $tg\delta$ ) различных марок отечественной и иностранной керамики при разных значениях частоты.

С 2010 г. ЗАО «ТЕСТПРИБОР» разрабатывает и изготавливает корпуса для приборов специального назначения. Компанией уже созданы и серийно освоены в производстве 23 типа металлокерамических корпусов для микросхем и 14 типов металлокерамических и металлостеклянных корпусов для полупроводниковых приборов — как для поверхностного монтажа (SMD), так и штыверного типа. Наибольший интерес представляют металлокерамические SMD-корпуса и серия металлостеклянных корпусов ТО.

Для полупроводниковых приборов разработаны и освоены производством серии SMD-3/2/1/0,5/0,2 (рис. 4). Корпуса изготавливаются по технологии высокотемпературных керамических модулей с использованием



**Рис. 4.** Металлокерамические корпуса SMD

**Таблица 5.** Основные характеристики SMD-корпусов

Параметр	Тип корпуса (габариты, мм)					
	SMD-0,2 (8,05×5,5)	SMD-0,5 (10,16×7,52)	SMD-1 (15,88×11,43)	SMD-2 (17,55×13,4)	SMD-3 (30,9×19,8)	MBSS0507-N3 (7×5)
Максимальная высота корпуса, мм	2,8	—	—	3,35	3,81	2,13
Размер монтажного окна, мм	3×3,28	4,2×5,1	8,4×8,2	9,94×9,74	20,17×16,11	5,4×3
Глубина монтажного колодца, мм	—	0,5	1	—	—	—
Расстояние от монтажной площадки до внутренней поверхности крышки, мм	—	2	2,58	2,6	3,1	—
Размер контактных площадок, мм	1,24×0,79	0,95×1,0	1,7×1,9	2,2×2,2	3,6×3,5	1×3
Размер внешних выводных площадок, мм	2,07×2,07	3,05×2,42	4×3,55	3,74×3,74	5×5,15	5×3,7
Сопротивление изоляции, минимальное, Ом	10 <sup>9</sup>					
Покрывание основания корпуса	H23л.3					
Метод герметизации	Шовно-роликовая сварка					
Масса корпуса, г	—	0,8	2,1	—	—	—
Диапазон рабочих температур, °С	-65...+350					

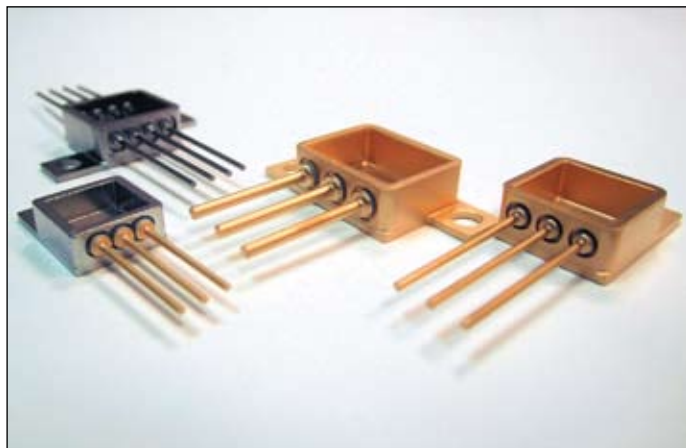


Рис. 5. Корпуса серии ТО

ем алюмооксидной (высокоглиноземистой корундовой) керамики с содержанием оксида алюминия 90–92%. При изготовлении теплоотвода и токопроводящих частей корпуса используется сплав меди и вольфрама, все металлические и металлизированные части основания имеют финишное золотое покрытие. Благодаря этому выполняются повышенные требования по герметичности и температурным характеристикам корпусов (табл. 5).

В сентябре 2010 г. начались опытные поставки корпусов серии ТО: ТО-254, ТО-257, ТО-258, ТО-259, НТО-259А, ТО-267 (рис. 5). Корпуса этой серии металлические с изолированными стеклом или керамикой выводами. Они предназначены для монтажа в отверстия печатной

платы. Для увеличения отвода выделяемого прибором тепла конструкцией корпуса предусмотрена возможность его крепления к радиатору. В качестве материала для теплоотводов используется сплав меди и вольфрама, что обеспечивает лучшую по сравнению с аналогами герметичность и более высокие температуры эксплуатации (табл. 6).

Сейчас компания «ТЕСТПРИБОР» может разработать и изготовить корпуса практически любого уровня сложности с качеством, соответствующим мировым стандартам. При этом большое внимание уделяется обеспечению полного соответствия создаваемых корпусов требованиям разработчиков ИМС в части конструкции, эксплуатационных характеристик и сроков изготовления. ■

Таблица 6. Основные характеристики ТО-корпусов

Параметр	Тип корпуса						
	ТО-259	ТО-258	ТО-257	ТО-254	восьми-выводной ТО-254	НТО 259А	ТО-267
Шаг выводов, мм	5,08	4,9	2	3,81	2,54	7,62	4,8
Габариты тела корпуса, мм	13,7×17,5	13,7×17,5	10,7×10,7	13,7×13,7	13,7×13,7	22×18,5	17,7×13,7
Размер монтажного окна корпуса, мм	11,05×14,95	15,4×11,7	8×7,5	9,25×9,25	11,16	16×16,66	11,05×15
Максимальная высота корпуса, мм	6,7	6,7	4,95	6,55	6,5	8,6	6,6
Покрытие	Золото Никель	Золото	Никель	Золото Никель	Золото Никель	Никель	Золото
Число выводов	3	3	3	3	8	2	5
Диаметр выводов, мм	1,47	1,55	0,82	0,95	0,8	—	0,75
Сопротивление изоляции, минимальное, Ом	10 <sup>9</sup>						
Метод герметизации	Шовно-роликовая сварка						
Диапазон рабочих температур, °С	–65...+350						