

РАЗРАБОТКА ВАКУУМПЛОТНОГО КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА СО СТАБИЛЬНЫМИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

К. В. Муравьева

Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова», г. Нижний Новгород

Эффективность и функциональность современной радиоэлектронной аппаратуры в значительной степени зависят от стабильности свойств и экономической доступности используемых для этих целей материалов, а также их поведения в процессе эксплуатации [1, 2]. В большинстве изделий СВЧ-техники в силу конструктивных особенностей требуется вакуумплотная керамика с определенными и стабильными значениями диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь.

К важным характеристикам материалов относятся минимальный разброс значений их свойств и стабильность показателей в течение срока службы. Керамика относится к материалам с очень хорошей стабильностью свойств в течение длительного времени. Существенными недостатками изготовления вакуумплотных изделий из корундовой керамики по существующей технологии являются высокая температура обжига (1600–1800) °С и рабочая среда обжига: водород или вакуум [5]. Это обуславливает высокие энергозатраты и повышенную опасность производства.

В настоящее время с развитием глобальных спутниковых навигационных систем ведутся интенсивные разработки бортовой аппаратуры спутниковой навигации. К данным приборам предъявляются жесткие требования по стойкости и прочности к воздействиям внешних факторов, а также к массогабаритным характеристикам при постоянном наращивании функциональных возможностей. Особую актуальность приобретает задача миниатюризации приемных антенн. Внешний вид антенны представлен на рис. 1.

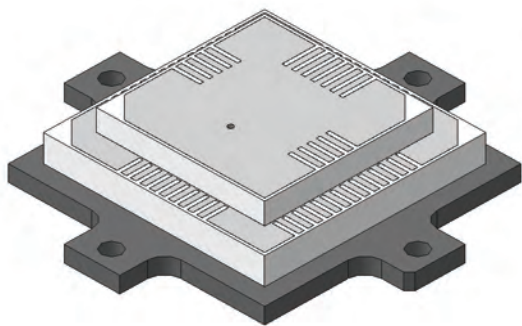


Рис. 1. Внешний вид микрополосковой антенны

Поскольку микрополосковые антенны имеют элементы, настраиваемые на требуемую рабочую частоту, важное значение приобретает разброс диэлектрических параметров керамического материала.

Однако разброс значений диэлектрических свойств для подавляющего большинства традиционных керамических материалов чаще всего ограничен только с одной стороны, с формулировками «не более» или «не менее».

Достижения последних лет в области технологии убедительно показали, что возможности создания новых керамических материалов далеко не исчерпаны [3, 4].

Успехи в первую очередь связаны с развитием методов получения высокодисперсных порошков, использованием основного компонента оксида алюминия (Al_2O_3) в виде устойчивой α -фазы с процентным содержанием не менее 94 % и введением новых модифицирующих добавок. Поэтому имеются достаточные основания для замены традиционных материалов на новый керамический материал с улучшенными свойствами и с пониженной температурой спекания в воздушной среде.

По ранее разработанной технологии керамика изготавливалась путем мокрого измельчения и перемешивания отдельно взятых компонентов глинозема ГН и нерастворимых оксидов MgO и TiO_2 в форме рутила. При введении добавки в виде отдельных компонентов MgO и TiO_2 даже при длительном перемешивании происходило неравномерное распределение компонентов в объеме глинозема. Это являлось главной причиной нестабильности свойств керамики.

В настоящей работе в качестве исходного сырья использовался молотый и немолотый глинозем марок ГН, ГК-1 и ГЭФ.

Исследование микроструктуры поверхности образцов из керамики на основе немолотого глинозема марок ГН, ГК-1, ГЭФ показало наличие пористых, прочных и крупных агрегатов, затрудняющих спекание заготовок до высокой плотности и не позволяющих использовать немолотое сырье. Поэтому в данной работе использовалось сырье глинозема марок ГН, ГК-1, ГЭФ, предварительно прокаленное и измельченное в водной среде до определенной удельной поверхности с размером частиц от 1 до 3 мкм.

В качестве исходных компонентов для разработки и изготовления эвтектической добавки были использованы порошки углекислого магния $MgCO_3$ и оксида TiO_2 в форме анатаза, которые предварительно измельчались и смешивались в водной среде в течение 1 ч. Полученная добавка подвергалась термообработке на воздухе. Введение разработанного состава эвтектической добавки в глинозем при мок-

ром измельчении и перемешивании позволило проводить процесс обжига керамических заготовок в воздушной среде при пониженной температуре спекания.

Для обжига заготовок на воздухе использовался режим, графически представленный на рис. 2.

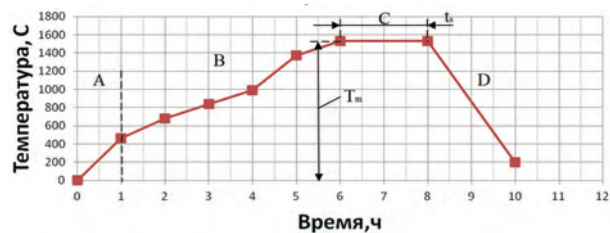


Рис. 2. Режим спекания и обжига вакуумплотной керамики: участок А – период сушки, В – период подъема температуры, С – период выдержки при максимальной температуре, D – период охлаждения вместе с печью, T_m – максимальная температура обжига; t_s – время выдержки при максимальной температуре

По разработанному маршруту, представленному на рис. 3, были изготовлены пять партий вакуумплотной керамики на основе различных марок глинозема, 90 комплектов заготовок излучателей общим количеством 360 шт. и образцы-свидетели для контроля материала и качества обжига.



Рис. 3. Блок – схема маршрута изготовления вакуумплотной керамики и изделий на ее основе

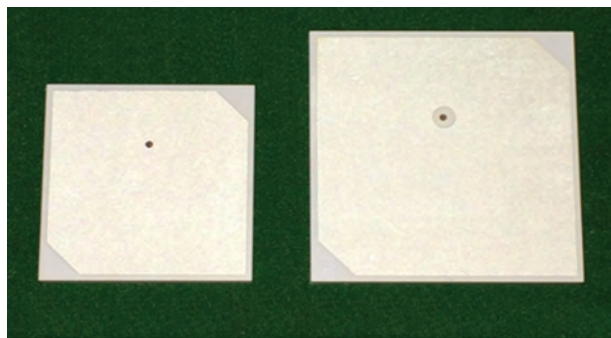


Рис. 4. Внешний вид заготовок

Образцы-свидетели контролировались по внешнему виду на отсутствие вздутий, включений, пузырей, трещин, и на соответствие электрофизических параметров (диэлектрическая проницаемость ϵ , тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$, предел прочности при статическом изгибе $\delta_{\text{изг}}$, водопоглощение W , плотность ρ , пористость Π) установленным требованиям по действующим на предприятии методикам.

Сравнительные характеристики традиционной широко применяемой керамики ВК-94-1, нашей более ранней разработки «Кортим» и нового материала «Кармелит» приведены в таблице.

Сравнительные характеристики основных показателей керамики ВК-94-1, «Кортим», «Кармелит»

Основные показатели	ВК-94-1	«Кортим»	«Кармелит»
Диэлектрическая проницаемость ϵ	$\leq 10,3$	8,9–10,6	$9,5 \pm 0,2$
Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$	$\leq 6 \cdot 10^{-4}$	$\leq 6 \cdot 10^{-4}$	$(2-4) \cdot 10^{-4}$
Кажущаяся плотность, г/см ³	$\geq 3,65$	$\geq 3,6$	3,65–3,86
Водопоглощение, %	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$	0,001–0,009
Открытая пористость, %	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$	0,01–0,034
Предел прочности при изгибе, не менее, МПа	320 (для материалов по ОСТ 11 0309 от 49 до 149)	160	240
Температура обжига, °С	1600–1800	1550	1550
Среда обжига	водород, формиргаз	воздух	воздух
Продолжительность цикла обжига, ч	48	21,5	10

Разработанный состав и технология изготовления вакуумплотной керамики, получившей наименование «Кармелит», на основе различных марок глинозема изготавливаются полностью из отечественного сырья и гарантируют высокую повторяемость значений относительной диэлектрической проницаемости материала в пределах $9,5 \pm 0,2$ от партии к

партии при стабильно малой величине диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$, которая не превышает $6,0 \cdot 10^{-4}$. Дополнительные параметры керамики: водопоглощение 0,001–0,009 %; кажущаяся плотность 3,65–3,86 г/см³; открытая пористость 0,01–0,034 % и предел прочности при статическом изгибе свыше 240 МПа. Температура спекания нового материала не превышает 1550 °С, среда спекания – воздух.

Новый материал успешно применен при создании приемных антенн бортовой аппаратуры спутниковой навигации. Свойства материала обеспечили отсутствие необходимости корректировки размеров излучателей для подстройки их в зависимости от диэлектрической проницаемости материала и возможность конструктивного совмещения антенны с электронным блоком, исключив разъемные кабельные соединения между ними и существенно снизив габариты и массу аппаратуры.

Литература

1. Непочатов Ю. К. Автореферат диссертационной работы: Разработка составов и технологии получения корундовой бронекерамики с радиопоглощающим феррит-содержащим покрытием. Томск, 2014.
2. Амелина О. Д. Разработка беспепиковой технологии вакуумплотной керамики группы ВК-100 для нужд электронной техники: дис. канд. техн. наук 05.27.06. Москва, 2016.
3. Ротенберг Б. А. Керамические конденсаторные диэлектрики. С-Пб.: ОАО НИИ «Гириконд», 2000.
4. Бакунов В. С., Беляков А. В. и др. Оксидная керамика: спекание и ползучесть. М.: Издательский центр РХТУ им. Менделеева, 2007.
5. Гаршин А. П. и др. Керамика для машиностроения. М.: Научтехлитиздат, 2003.