

Термостабильные СВЧ керамические материалы и полосно-пропускающие фильтры на их основе

Д.В. Кузьмич¹, Д.В. Карпова¹, О.М. Ершова¹, А.И. Морозова², А.И. Фирсенков¹, А.А. Иванов^{1,2}

¹ОАО «Завод Магнетон»

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: Представлены результаты разработки керамических материалов и выпускаемых образцов полосно-пропускающих СВЧ фильтров на объемных коаксиально-металло-керамических резонаторах из термостабильной керамики для поверхностного монтажа

Ключевые слова: СВЧ, термостабильная керамика, объемные резонаторы, диэлектрические резонаторы, коаксиально-металлокерамические фильтры

1. Введение

В 2018 году на VII Всероссийской конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ» ОАО «Завод Магнетон» представил результаты по разработке и отработке технологии серийного прототипирования и производства узкополосных фильтров на коаксиально-металлокерамических резонаторах из термостабильной керамики ТК-20 и ТК-40 в диапазоне частот 1000-2000 МГц.

За прошедший 2018 год на «Заводе Магнетон» освоено производство новой марки высокочастотной керамики с термостабильными электрофизическими характеристиками ТК-70.

2. Термостабильные керамические материалы и изделия на их основе

Зависимости относительной диэлектрической проницаемости (ϵ) и тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) в температурном интервале от минус 70°C до плюс 85°C на частоте 3 МГц представлены на рисунках 1а и 1б.

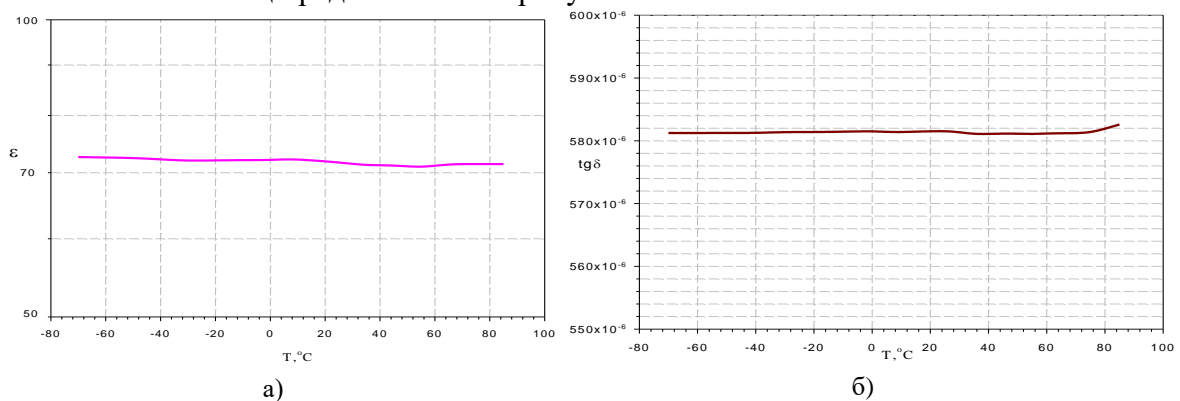


Рисунок 1. Зависимости характеристик керамики ТК-70 от температуры: а) относительной диэлектрической проницаемости; б) тангенса угла диэлектрических потерь

Изменения ϵ и $\text{tg}\delta$ от частоты, при температуре 23°C, показанные на рисунках 2а и 2б, характеризуют материал ТК-70 как обладающий малыми диэлектрическими потерями и имеющий слабую дисперсию ϵ от частоты.

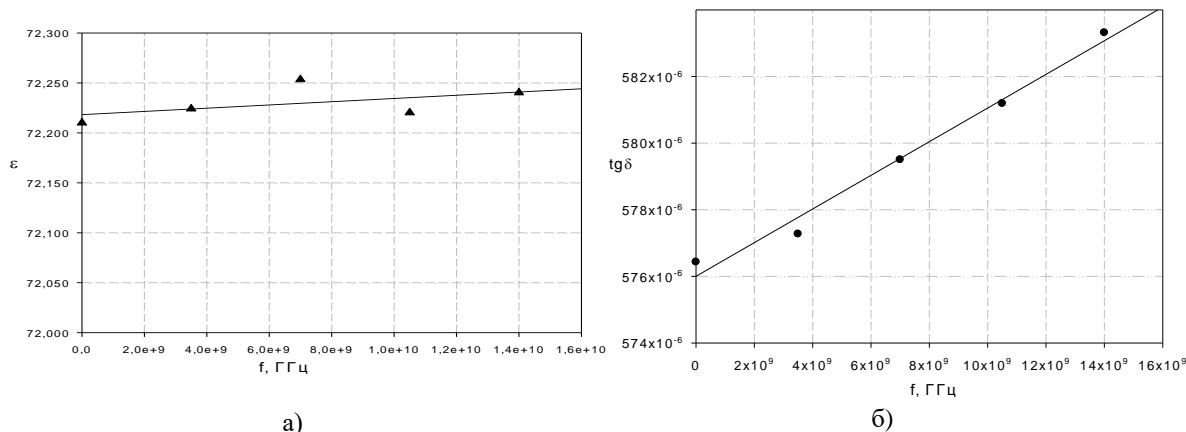


Рисунок 2. Зависимости характеристик керамики ТК-70 от частоты: а) относительной диэлектрической проницаемости; б) тангенса угла диэлектрических потерь

Основные параметры термостабильных СВЧ материалов, включая ТК-70, производимых на ОАО «Завод Магнетон» приведены в таблице 1, где TK_{ϵ} – температурный коэффициент относительной диэлектрической проницаемости, W – водопоглощение, ρ – кажущаяся плотность материала.

Таблица 1. Характеристики термостабильных материалов ряда ТК

Марка	$\epsilon' \pm 5\%$	$tg\delta_{\epsilon} \times 10^{-4}$	$TK_{\epsilon}', ppm/^{\circ}C$	Частота измере-	$W, \%$	$\rho, г/см^3$
				ний ϵ' и $tg\delta_{\epsilon}$, ГГц		
ТК-20	20	≤ 4	0 ± 20	9,4	$\leq 0,05$	3,78
ТК-40	40	≤ 4	0 ± 20	6,0	$\leq 0,05$	4,78
ТК-70	65-70	≤ 6	0 ± 20	3,5	$\leq 0,05$	5,66

Таким образом, керамика ТК-70 наряду с материалами по своим параметрам может быть использована для проектирования и изготовления различного класса устройств функциональной электроники, работающих в широком температурном и частотном диапазонах.

На основе этих материалов на «Заводе Магнетон» серийно выпускаются различного рода изделия: пластины, дисковые и цилиндрические резонаторы, а также многозвенные коаксиальные резонаторы моноблочного типа (рис. 3).



Рисунок 3. Изделия из микроволновых термостабильных керамик

Многосвязные керамические резонаторы служат основой для изготовления полосно-пропускающих фильтров. На сегодняшний день «Завод Магнетон» серийно выпускает коаксиально-металлокерамические фильтры трех типов: ФКП1-001, ФКП1-002 и ФКП1-003 с параметрами, представленными в таблице 2.

Таблица 2. Основные электрические параметры выпускаемых фильтров в НКУ

Условное обозначение фильтра	Номинальная частота, ГГц	Ширина полосы пропускания по уровню минус 3 дБ, МГц	Минимальные потери в полосе пропускания, дБ, не более	Внеполосное затухание, дБ, не менее
ФКП1-001-01-1,35-24	1,35	24	4	
ФКП1-001-02-1,43-24	1,43	24	4	
ФКП1-001-03-1,525-24	1,525	24	4	
ФКП1-001-04-1,415-38	1,415	38	3	50
ФКП1-001-05-1,54-40	1,54	40	3	
ФКП1-002-01-1,615-100	1,615	100	2	
ФКП1-003-01-1,96-200	1,96	200	2	

Тип фильтра -001, -002, -003 указывает на конструктивное исполнение: четырехзвенные, пятизвенные и шестизвенные соответственно.

Фильтры изготавливают в климатическом исполнении В2.1, являются стойкими к внешним воздействующим факторам, соответствующих группе унифицированного исполнения 4У и предназначены для работы в интервале рабочих температур минус 60 °С ÷ плюс 100 °С.

На рисунке 4 представлены графики АЧХ образца фильтра ФКП1-001 в диапазоне температур от минус 60 С° до плюс 100 С°.

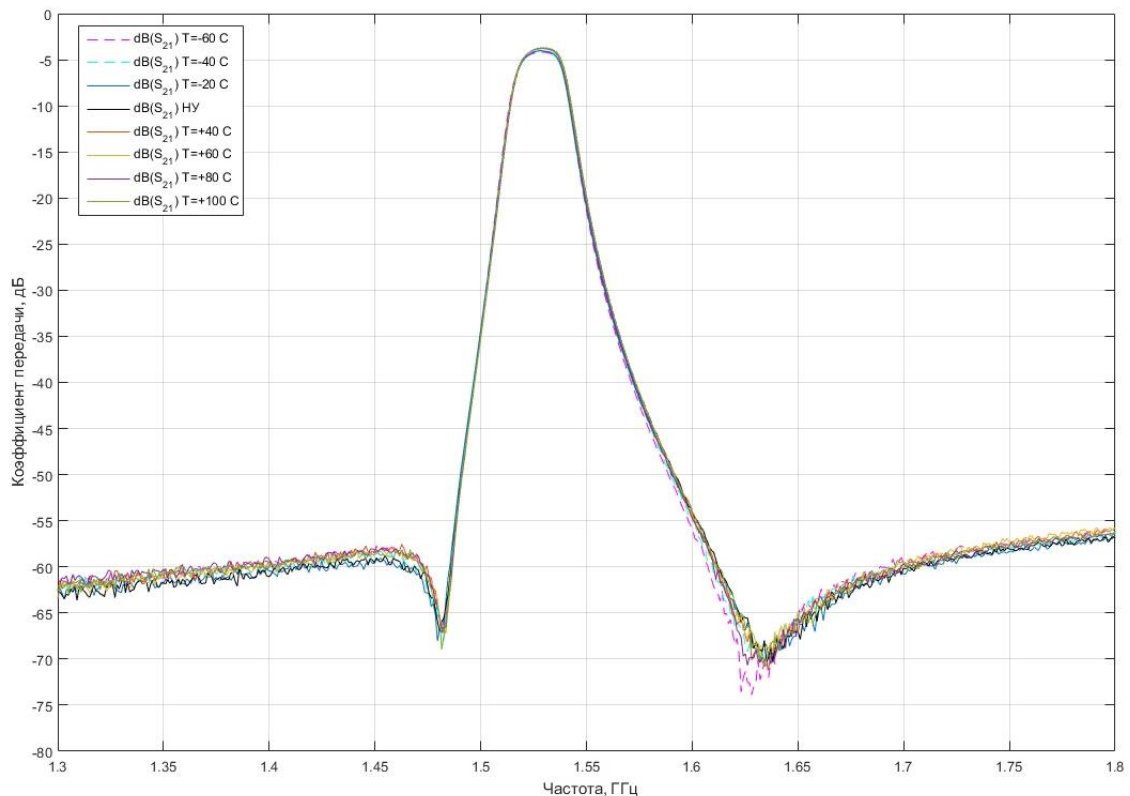
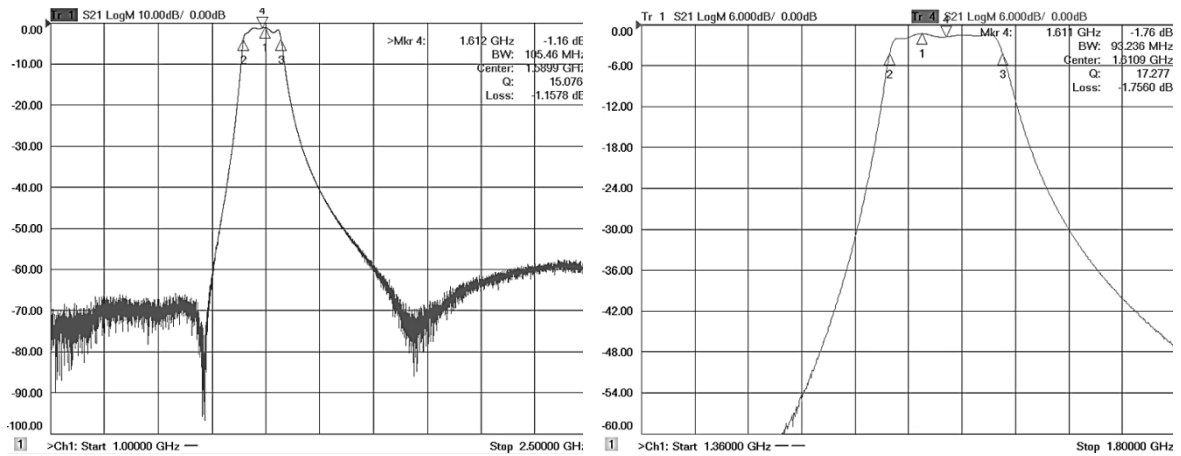
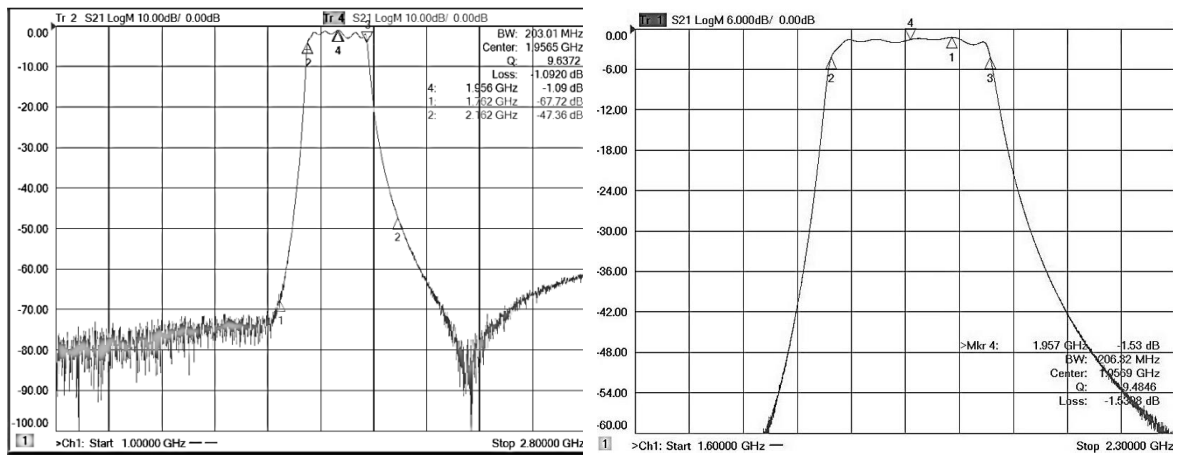


Рисунок 4. Графики АЧХ образца фильтра в диапазоне температур от минус 60 С° до плюс 100 С°

На рисунке 5а представлены графики АЧХ образца пятизвенного фильтра ФКП1-002, на рисунке 5б – графики АЧХ образца шестизвенного фильтра ФКП1-003.



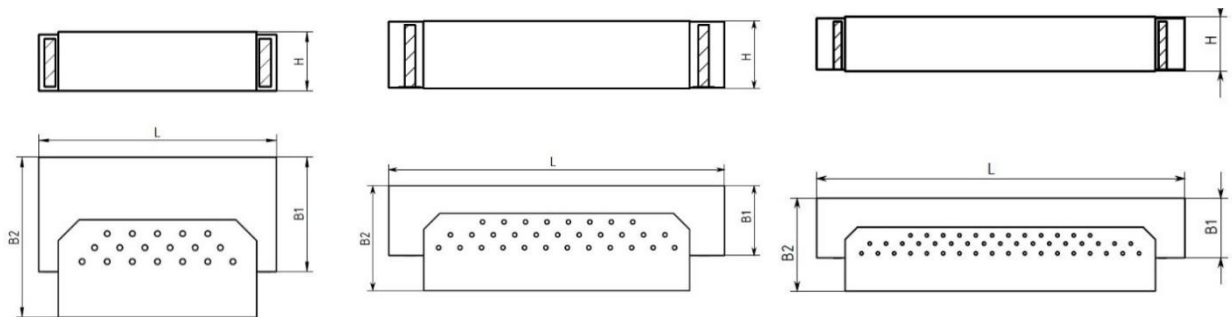
а)



б)

Рисунок 5. Графики АЧХ фильтров: а) ФКП1-002, б) ФКП1-003

Ниже на рисунке 6 и в таблице 3 представлены габаритные размеры фильтров ФКП1-001, ФКП1-002, ФКП1-003.



а) ФКП1-002 (четырёхзвенные фильтры)

б) ФКП1-002 (пятизвенные фильтры)

в) ФКП1-003 (шестизвенные фильтры)

Рисунок 6.. Габаритные размеры выпускаемых фильтров

Таблица 3. Габаритные размеры выпускаемых фильтров

Условное обозначение фильтра	Габаритные размеры, мм, не более			
	L	B1	B2	H
ФКП1-001-01-1,35-24		8,2		
ФКП1-001-02-1,43-24		7,7		
ФКП1-001-03-1,525-24	17,2	7,3	12	4,5
ФКП1-001-04-1,415-38		7,8		
ФКП1-001-05-1,54-40		7,3		
ФКП1-002-01-1,615-100	31,5	6,6	12	6,5
ФКП1-003-01-1,96-200	45,4	6,8	13	6,8

3. Заключение

ОАО «Завод Магнетон» успешно продолжает вести разработки в области СВЧ керамических материалов и изделий на их основе.

Выпускаемые ОАО «Завод Магнетон» коаксиально-металлокерамические фильтры имеют основные электрические параметры на уровне мировых производителей. Применяемая термостабильная керамика позволяет использовать данные фильтры в аппаратуре двойного назначения.

Список литературы

1. Безбородов Ю.М., Нарытник Т.Н., Федоров В.Б. Фильтры СВЧ на диэлектрических резонаторах // Техника. 1989.
2. Ильченко М.Е., Взятыхшев В.Ф., Гассанов Л.Г. Диэлектрические резонаторы // Радио и связь. 1989.
3. Д.В. Кузьмич, П.В. Нецветаева, А.И. Фирсенков. Полосно-пропускающие фильтры L-диапазона на коаксиально-металлокерамических резонаторах из термостабильной керамики // Электроника и микроэлектроника СВЧ. Сборник статей VII Всероссийской конференции. 2018. С. 111-114.
4. Фирсенков А.И., Канивец А.Ю., Касаткина Т.С., Ершова О.М., Иванова Л.П., Ершова П.В. Микроволновые диэлектрические материалы производства ОАО «Завод Магнетон» // Электроника и Микроэлектроника СВЧ. Сборник статей IV Всероссийской конференции. 2015. Т2. С 55-59
5. Паршин В.В., Серов Е.А., Ершова П.В. Исследование диэлектрических свойств современных керамических материалов в миллиметровом диапазоне // Электроника и микроэлектроника СВЧ. Сборник статей VI Всероссийской конференции. 2017. С. 418-422.