

具有補償共振頻率溫度飄移係數功效的低介電損 ZnAl₂O₄-TiO₂陶瓷系統

黃正亮*、楊東榮、黃鐘加

國立成功大學電機資訊學院電機工程學系

huangcl@mail.ncku.edu.tw

Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, No. 1, pp. 119-124, January 2009

近

幾十年來，由於在微波無線通訊工業中使用具有獨特電特性之介電陶瓷材料以減少元件的尺寸及成本，已造成革命性的影響。特別是，根據 $\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r}$ 關係式 (其中 λ_0 為真空中的波長)，介電質的波長與 $\sqrt{\epsilon_r}$ 成反比關係，因此使用高介電常數的材料是達成尺寸縮小的主要方法。然而，當元件操作頻率從ISM(工業，科學和醫療專用)頻段延伸到毫米波範圍，開發高介電常數的材料已非當務之急的課題。反而，兼具有高品質因數及低介電常數特性的材料將扮演重要角色；其原因在於超高頻範圍之介電損耗可經由使用高品質因素之材料以大幅降低，同時低介電常數亦能提升訊號傳送速率，此外欲成為一個頻率穩定的被動元件，亦需具有共振頻率溫度飄移係數為零之特性要求。而最便捷且有效以達到零共振頻率溫度飄移係數的方法乃結合具有正及負溫度係數的二種化合物，形成一個固溶或混相的形式。然而，高介電常數材料通常具有高介電損失(低 $Qu \times f$ 值)及較大的正溫度係數；而低損耗陶瓷通常伴隨著具有低介電常數及負溫度係數。因此，欲合成兼具有高品質因數及低介電常數特性的材料便成為一難度頗高的議題。例如，混合MgTiO₃ ($\epsilon_r = 17$, $Qu \times f \sim 160,000$ GHz, $\tau_f \sim -50$ ppm/°C)及CaTiO₃ ($\epsilon_r = 170$, $Qu \times f \sim 3,600$ GHz, $\tau_f \sim +800$ ppm/°C)形成具有介電特性為($\epsilon_r = 21$, $Qu \times f \sim 56,000$ GHz, $\tau_f \sim 0$ ppm/°C)的0.95MgTiO₃-0.05CaTiO₃化合物，藉此折衷方案以達到補償溫度係數之功效。



文中不單只是研發具低介電常數的替代材料，我們試著尋求開發具有低介電常數、高品質因數以及一個大的正溫度係數特性之材料；於上述的補償問題中，它即可當作一種溫度係數補償物之使用。因此，我們針對ZnAl₂O₄-TiO₂系統的介電特性予以詳細研究，並討論樣品與混合比率、緻密性和燒結溫度彼此間之關連性。而ZnAl₂O₄和TiO₂互相共存並且形成一個兩相系統，並經由XRD繞射圖和EDS分析得到證實。同時，樣品的微波介電特性與燒結溫度、密度及ZnAl₂O₄/TiO₂莫耳數比等具有強烈的相依性。樣品的燒結溫度可經由增加TiO₂含量而達到有效地降低。陶瓷的 $Qu \times f$ 值亦能經由添加適當的TiO₂於適當的燒結溫度下而獲得顯著的提升。因此，經由0.5ZnAl₂O₄-0.5TiO₂陶瓷在1390度、持溫4小時條件下，可以得到一個高品質因數 ($Qu \times f \sim 277,000$ GHz)、低介電常數($\epsilon_r \sim 25.2$)及一個大的正溫度係數($\tau_f \sim 177$ ppm/°C)之特性。此特性可以用來作為具有極低損耗之介電材料的溫度係數補償物。

Table 1 (0.5ZnAl₂O₄-0.5TiO₂)相關材料系統之微波介電特性

No.	Composition	ϵ_r	$Qu \times f$ (GHz)	τ_f (ppm/°C)
1	MgTiO ₃	17	160,000	-50
		18	140,000	-50
2	Mg ₄ Nb ₂ O ₉	12.4	192,000	-70.5

		11	210,000	-70
3	$(0.5\text{ZnAl}_2\text{O}_4-0.5\text{TiO}_2)$	25.2	277,000	177
4	$0.23\text{MgTiO}_3-0.77(0.5\text{ZnAl}_2\text{O}_4-0.5\text{TiO}_2)$ at 1360°C/4 h	18.7	190,000	-1.8
5	$0.47\text{Mg}_4\text{Nb}_2\text{O}_9-0.53(0.5\text{ZnAl}_2\text{O}_4-0.5\text{TiO}_2)$ at 1390°C/4 h	13.4	210,000	1.8

為了證實所提出的材料確實可作為一個溫度係數補償物，我們將 MgTiO_3 和 $\text{Mg}_4\text{Nb}_2\text{O}_9$ 分別與 $0.5\text{ZnAl}_2\text{O}_4-0.5\text{TiO}_2$ 陶瓷混合以獲得低介電常數、高品質因數和共振頻率溫度漂移係數接近零的介電材料。表1說明這些陶瓷混合物的微波介電特性。因此，樣品的共振頻率溫度漂移係數可以有效獲得補償，並同時仍保留著極高的 $Q_{ux}f$ 值。此外我們亦設計一個圓形的雙模態微帶線帶通濾波器並製備在不同的介質基板上，即玻璃纖維(FR4)、氧化鋁(Al_2O_3)和 $(\text{MgTiO}_3)-(0.5\text{ZnAl}_2\text{O}_4-0.5\text{TiO}_2)$ 陶瓷基板。圖1顯示一個中心頻率設計在2.5 GHz濾波器之佈局及製作，同時其量測結果說明於表2。與FR4和氧化鋁比較，使用所提出的介電材料製備濾波器不僅可大幅減少插入損耗，並對於元件尺寸可以有效的達到縮小化之目的。

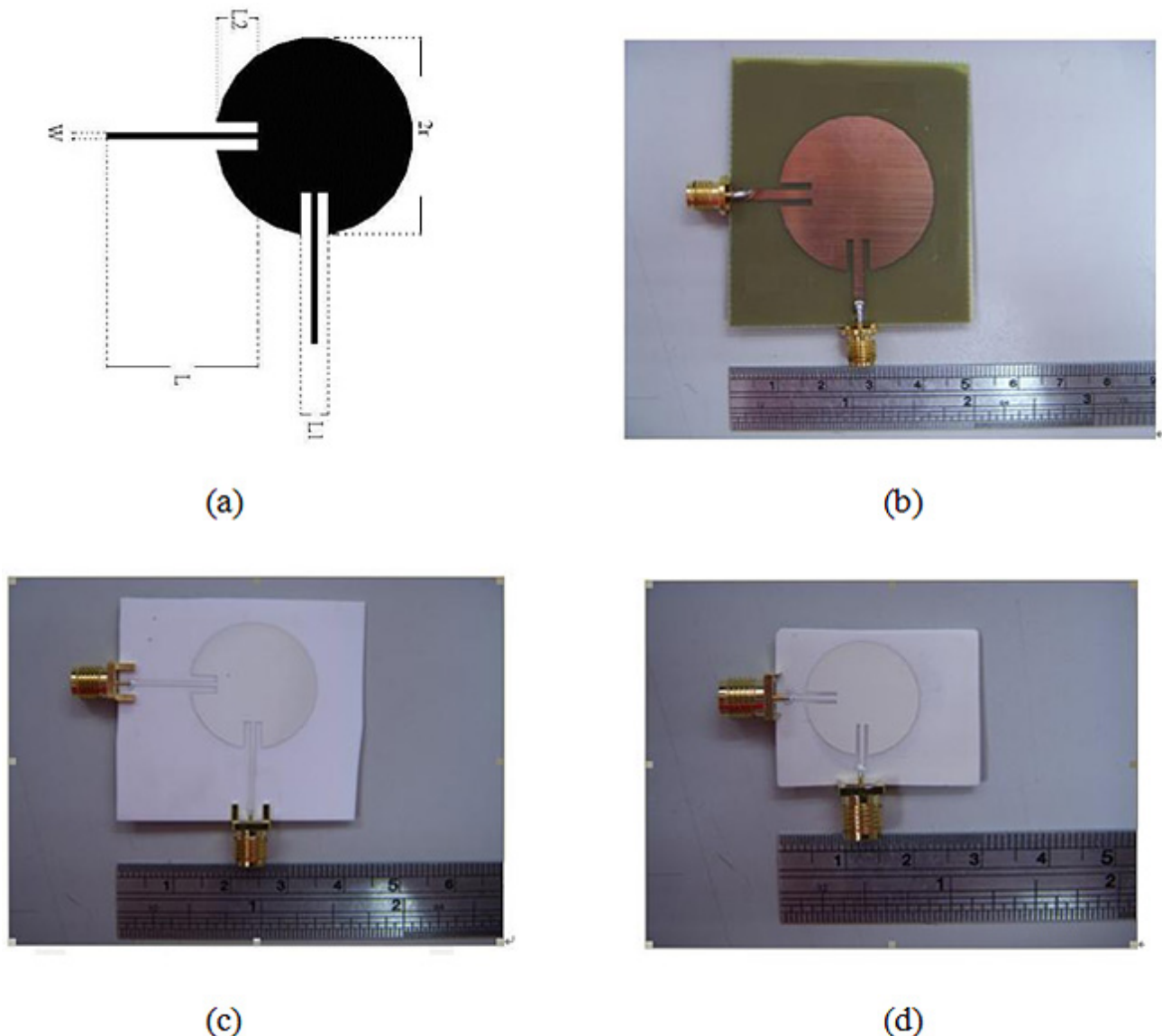


Fig. 1 (a) 中心頻率2.5 GHz之圓形雙模態微帶線帶通濾波器電路佈局並製備在 (b)玻璃纖維(FR4)、(c)氧化鋁(Al_2O_3)和 (d) $(\text{MgTiO}_3)-(0.5\text{ZnAl}_2\text{O}_4-0.5\text{TiO}_2)$ 陶瓷基板上

Table 2 濾波器之量測結果

Dielectrics	FR4	Alumina	Presented #4
ϵ_r	4.5	9.7	18.7
Tan δ	0.015	0.0001	0.000013
Central freq. (GHz)	2.52	2.48	2.55
Insertion loss (dB)	-3.8	-2.5	-0.8
Return loss (dB)	-27	-31	-37
Bandwidth (MHz)	220	200	205
Size (mm ²)	632	400	149

Copyright 2012 National Cheng Kung University