

中華民國國家標準	精密陶瓷微波射頻介電特性試驗法	總號	14390
CNS		類號	R3206

Method of test for dielectric properties of fine ceramics at microwave frequency

1.適用範圍：本標準規定主要使用於微波濾波器及振盪器之低損失介電體共振器用精密陶瓷材料，在微波頻帶之介電特性試驗方法。

2.用語釋義

(1)介電陶瓷(dielectric ceramic)：若將高電阻材料置於電場下，則其材料中的各種荷電載體會自原來位置稍微移動，而正負兩電極即互相偏向逆方向，產生偶極。具有可利用此偶極機能的陶瓷，即為介電陶瓷。

(2)介電常數[relative permittivity (dielectric constant)]：外加電場 E 於兩電極板中間夾有介電體時，電流密度 D 與 E 之比值($D = \epsilon E$)。設對真空之介電常數為 ϵ_0 時，以介電體之介電常數 $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$ 表示之。

(3)複合介電常數 ϵ_r (complex relative permittivity)：以向量表示之交流電場強度 E(V/m)與交流電流密度 D(C/m)之複合比，除以真空介電常數 ϵ_0 ($8.854 \times 10^{-12} \text{F/m}$) 所得之值。

$$\epsilon_r = \frac{D}{\epsilon_0 E} \text{----- (1)}$$

設複合介電常數之實數成分為 ϵ' (稱為介電常數)，虛數成分為 ϵ'' ，則 ϵ_r 以下式表示之。

$$\epsilon_r = \epsilon' - j \epsilon'' \text{----- (2)}$$

(4)介電正切 $\tan \delta$ (Loss factor)⁽¹⁾：介電體損失角 δ 之正切。若使用複合介電常數之實數成分，虛數成分，則 $\tan \delta$ 以下式表示之。

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \text{----- (3)}$$

註⁽¹⁾： $\tan \delta$ 亦稱為介電損失正切(dielectric loss tangent)，係外加交流電場於介電體時所發生之能量損失大小。多半為對電場變化之偶極化延緩所致。 δ 稱為介電損失角， $\tan \delta$ 稱為介電正切。設介電損失為 W，介電常數為 ϵ ，真空介電常數為 ϵ_0 ，電場為 E_0 ，角頻率為 ω ($= 2 \pi f$)，即有

$$W = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E_0^2 \omega \tan \delta \text{ 之關係。}$$

(5)介電常數之溫度係數 TC_ϵ (temperature coefficient of permittivity)：介電常數之溫度變化數值，除以對應溫度之變化數值所得之數值。

$$TC_\epsilon = \frac{\epsilon_r - \epsilon_{ref}}{\epsilon_{ref} (T - T_{ref})} \times 10^6 (\text{ppm/K}) \text{----- (4)}$$

(共 11 頁)

公 布 日 期
88 年 10 月 29 日

經 濟 部 標 準 檢 驗 局 印 行

修 訂 公 布 日 期
年 月 日

印行日期94年10月

本標準非經本局同意不得翻印

式中， ϵ_r ：於溫度 T 下之介電常數(F/m)

ϵ_{ref} ：於基準溫度 T_{ref} 下之介電常數(F/m)

(6)共振頻率之溫度係數 TCF(temperature coefficient of resonance frequency)：共振頻率由於溫度之變化數值，除以對應溫度變化數值所得之數值。

$$TCF = \frac{f_T - f_{ref}}{f_{ref}(T - T_{ref})} \times 10^6 (\text{ppm/K}) \text{-----} (5)$$

式中， f_T ：於溫度 T 下之共振頻率(kHz)

f_{ref} ：於基準溫度 T_{ref} 下之共振頻率(kHz)

備考：TCF 為介電體材料固有之值，與介電常數，溫度係數 TC_ϵ 間，有下列近似式之關係。

$$TCF = -\frac{1}{2} TC_\epsilon - \alpha \text{-----} (6)$$

式中， α ：介電體之線膨脹係數

(7)表面電阻 R_s (surface resistance)：表示自導體表面流入內部電磁場逸散之等價電阻。設導體板導電率為 σ ，則 R_s 以下式表示之。

$$R_s = \sqrt{\frac{\pi f_0 \mu}{\sigma}} (\Omega) \text{-----} (7)$$

式中， μ ：導體板之透磁率(H/m)

(8)比導電率 σ_r (relative conductivity)：導體板導電率 σ 對 IEC 28 所規定國際標準軟銅，於 20°C 下之導電率 $\sigma_0 (= 5.8000 \times 10^7 \text{S/m})$ 之比。

$$\sigma_r = \frac{\sigma}{\sigma_0} \text{-----} (8)$$

3.試驗項目：試驗項目為介電常數 ϵ' ，介電正切 $\tan \delta$ ，共振頻率之溫度係數 TCF 及 $\tan \delta$ 之溫度依賴性。再者，本試驗可適用之測定頻率， ϵ' 及 $\tan \delta$ 之範圍如下。TCF 及 $\tan \delta$ 溫度依賴性之測定溫度範圍為 $-40 \sim +85^\circ\text{C}$ 。

測定頻率：2~20GHz

ϵ' ：5~500

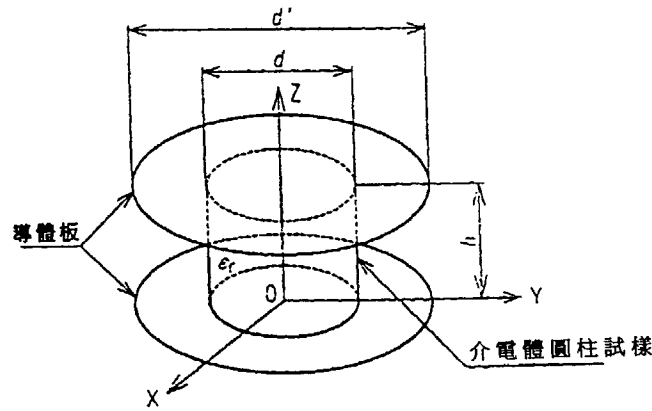
$\tan \delta$ ： $10^{-5} \sim 10^{-2}$

4.測定原理：本試驗方法係以 2 片平行導體板，將介電體圓柱試樣兩端面短路，以構成 $TE_{011}^{(2)}$ 模式之介電體共振器。介電體共振器之共振頻率(f_0)及無負荷 $Q(Q_u)$ ，依試樣之 ϵ' ， $\tan \delta$ ，尺度及導體板之比導電率決定之。因此，測定共振頻率(f_0)及無負荷 $Q(Q_u)$ ，以求 ϵ' 及 $\tan \delta$ (參照圖 1)。

並且，測定 TE_{011} 模式於 $-40 \sim +85^\circ\text{C}$ 之 f_0 及 Q_u ，以求 TCF 及 $\tan \delta$ 之溫度依賴性。

註⁽²⁾：垂直於導波軸之平面上有電場之模式，稱為橫電場模式(Transverse electric mode)，簡稱 TE 模式。附加之數字，表示自左依序為圓柱座標之軸轉方向，徑方向，軸方向之電場強度的波節數及波腹數。

圖 1 兩端以平行導體板短路之介電體圓柱試樣



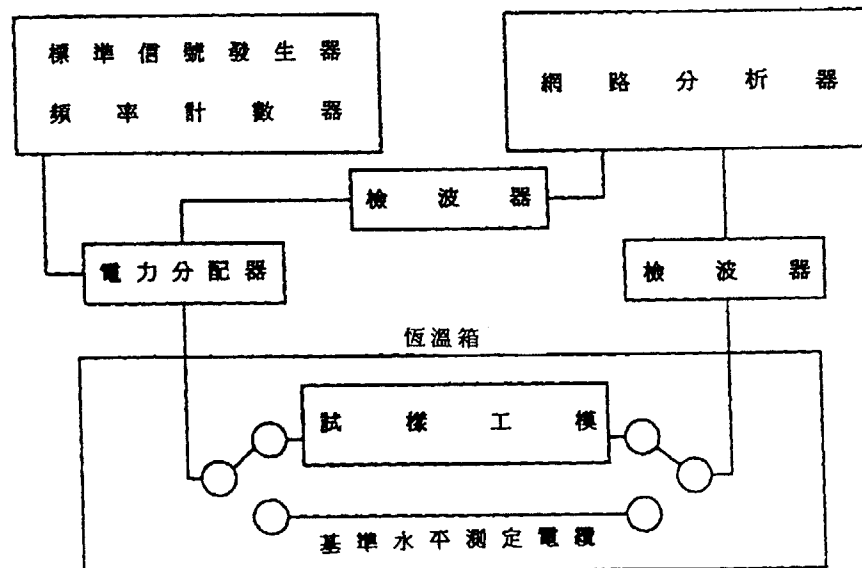
5. 試驗環境：除非有特別指定，試驗環境之溫度為 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相對濕度為 $(50 \pm 10)\%$ 。

6. 裝置及工模(Jig)

6.1 裝置：裝置之構成示意圖如圖 2 所示。自高穩定標準信號發生器（以綜合控制之掃描發振器為宜）所發出之信號，以電力分配器分割為 2 股，其中一股作為基準信號回到網路分析器，而另一股作為試驗信號到達安裝試樣之工模。透過試樣之試驗信號，作為與基準信號之振幅比，縱軸為透過減衰量，橫軸為頻率之型態，顯示在顯示器上。在此項測定中，僅需要透過電力之振幅資訊，並不需要位相資訊。

測定 TCF 及 $\tan \delta$ 之溫度依賴性時，須使用具有可控制 $\pm 1^\circ\text{C}$ 溫度精度之恆溫箱。

圖 2 試驗裝置



6.2 工模

6.2.1 ϵ' 及 $\tan \delta$ 試驗用工模： ϵ' 及 $\tan \delta$ 試驗用工模，以 2 片導體板及 2 條耦合共振電纜所構成（參照圖 3）。2 片導體板可調整其間隔，以互相保持平行之狀態。

表 1 表示導體板之尺度及材質。因導體板須具有高導電率，須使其表面粗