

# 空洞共振器法（低損失誘電体平板測定）

Cavity resonance method (Measurement of a low loss dielectric plate)

清水 隆志

小林 禎夫

Takashi Shimizu

Yoshio Kobayashi

埼玉大学工学部 電気電子システム工学科

Department of Electrical and Electronic Systems, Saitama University

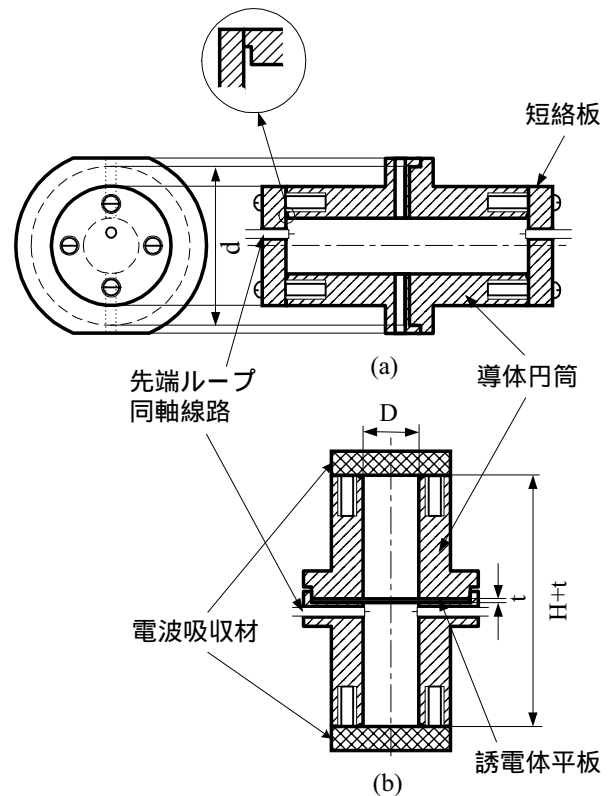
## 1. はじめに

空洞共振器法は、マイクロ波帯において誘電体平板の複素誘電率を非破壊かつ高精度に測定する方法として知られており<sup>[1]</sup>、既に工業標準新規・改正原案調査作成委員会において、JIS原案「ファインセラミックス基板のマイクロ波誘電特性の試験方法」が作成されている。

従来、ミリ波帯では、WRJ-500 方形導波管を用いて励振及び検波を行い、誘電体平板の複素誘電率の測定が行われている<sup>[2]</sup>。しかし、この方法は結合量の調整を試料の寸法を変化させて行うため、非能率的な測定法であった。本法では、共振器の励振および検波に同軸線路を用いることにより、結合量の調整を同軸線路の挿入長の変化によって行えるので、測定を容易にすることができる。また、導波管励振に比べ、周波数帯域を広くとることができるため、最低次TE<sub>111</sub>モードを使用して、モード判別を容易に行える。本報告では、ミリ波同軸励振空洞共振器法の概要について述べる。

## 2. 測定原理<sup>[3]</sup>

本測定では、図 1(a) に示す空洞共振器の用いて、TE<sub>01p</sub> (p=1,2,...) モードの共振周波数  $f_0$  および無負荷  $Q$ 、 $Q_u$  の測定値より、直径  $D$  (mm)、長さ  $H$  (mm) および比導電率  $\sigma_r$  をあらかじめ求めておく必要がある。つぎに、図 1(b) に示すように、誘電体平板をこの空洞の中央に装荷し、遮断TE<sub>01p</sub> モード誘電体円板共振器を構成する。比誘電率  $\epsilon_r$  はTE<sub>0m1</sub> (m=1,2,...) モードの共振周波数  $f_0$  の測定値より、また、誘電正接  $\tan\delta$  は無負荷  $Q$ 、 $Q_u$  の測定値より、図 1(c) に示すモードマッチング法による厳密な解析から求められた測定公式を用いて、縁端効果まで考慮した値が求められる<sup>[3]</sup>。これらの共振器の励振および検波には、先端に微小ループを持つ外径 1.2mm の UT-47 セミリジッド同軸線路を用いる。



$$\det F(f_0; \epsilon_r, t, D, H, d) = 0$$

$$\tan \delta = A / Q_u - BR_s$$

$$B = \frac{c}{240\pi^2 f_0 \epsilon_r} \frac{1}{(\Delta\epsilon_r / \Delta f_0)} \left( \frac{\Delta f_0}{\Delta H} + \frac{\Delta f_0}{\Delta R} + \frac{\Delta f_0}{\Delta g} \right)$$

$$R_s = \sqrt{\pi f_0 \mu_0 / \sigma} \quad (\Omega) \quad \sigma = \sigma_0 \sigma_r$$

$$\mu_0 W$$

図 1 測定に用いる共振器の構造図

(a) 空洞共振器

(b) 導体円筒遮断導波管内に

誘電体平板を装荷した共振器

(c) 測定公式

3. モード判別

共振モードの判別は、図1(b)に示す共振器構造で、誘電体平板の縁端部の影響を無視した見かけ上の比誘電率  $\epsilon_a$  の関数として計算されるモードチャートを用いて容易に行うことができる。

図2は  $D=6.985\text{mm}$ 、 $t=0.932\text{mm}$  の場合のモードチャートである。また、図2中の破線は測定に用いる  $\text{TE}_{011}$  モードを示している。図3は図1(b)の構造でPTFE平板を挟んだときの周波数応答の測定結果である。この場合、モードチャートから最も低い共振周波数  $25\text{GHz}$  が  $\text{TE}_{111}$  モードであり、 $38\text{GHz}$  が  $\text{TE}_{211}$  モード、 $48\text{GHz}$  が  $\text{TE}_{011}$  モードであると判別される。これより、 $\epsilon_a$  は約  $2.1$  である。また、 $\text{TE}_{112}$ 、 $\text{TM}_{012}$ 、 $\text{TE}_{113}$  モードのピークは結合が弱いために小さく、 $\text{TM}_{010}$ 、 $\text{TM}_{011}$  モードのピークは現れない。

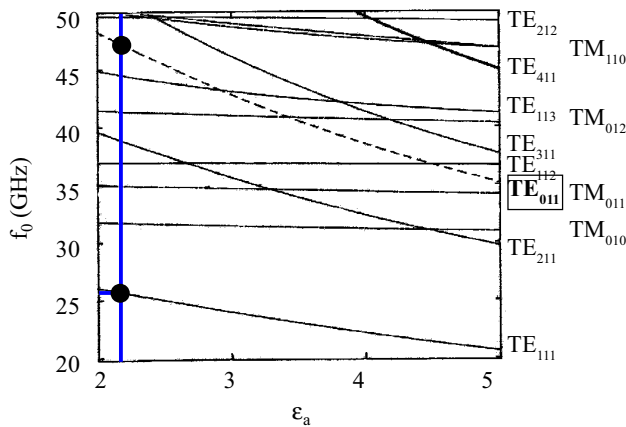


図2  $D=6.985\text{mm}$ 、 $t=0.932\text{mm}$  のモードチャート

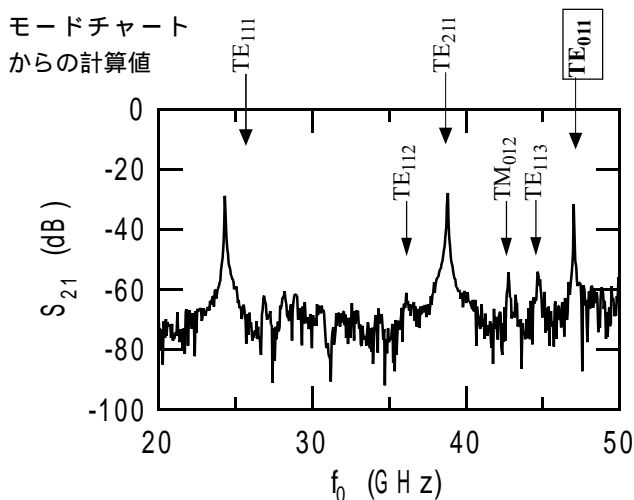


図3 PTFE 平板を挟んだときの周波数応答とモードチャートより計算された共振周波数によるモード判別

表1 誘電体平板の複素誘電率の測定結果 (20 )

材料	t (mm) $\pm \Delta t$	$f_0$ (GHz) $\pm \Delta f_0$	$Q_u$ $\pm \Delta Q_u$	$\epsilon_r$ $\pm \Delta \epsilon_r$	$\tan \delta$ $\pm \Delta \tan \delta$ ( $\times 10^{-4}$ )
PTFE	0.932 $\pm 0.022$	47.055 $\pm 0.001$	4440 $\pm 180$	2.099 $\pm 0.018$	1.98 $\pm 0.16$
Crythnex	0.823 $\pm 0.046$	46.459 $\pm 0.004$	4070 $\pm 170$	2.375 $\pm 0.010$	2.40 $\pm 0.18$
GaAs ( $\text{TE}_{021}$ )	0.607 $\pm 0.001$	39.050 $\pm 0.002$	1810 $\pm 200$	13.113 $\pm 0.015$	3.96 $\pm 0.26$
Alumina	0.717 $\pm 0.001$	27.812 $\pm 0.001$	3280 $\pm 30$	10.129 $\pm 0.012$	1.93 $\pm 0.03$

4. 測定結果

PTFE 平板、Crythnex 平板、GaAs 平板、Alumina 平板の複素誘電率測定を室温  $20^\circ\text{C}$  にて行った。その測定結果を表1に示す。但し、GaAs 平板の測定には、 $\text{TE}_{021}$  モードを使用し、その他の平板の測定には、 $\text{TE}_{011}$  モードを使用した。これらの測定結果は参考文献[1][2][4]に示す値と誤差の範囲内で一致している。

5. まとめ

同軸励振空洞共振器法は、 $50\text{GHz}$  において、低損失誘電体平板材料の  $\epsilon_r$  と  $\tan \delta$  の測定に有効であることを実証した。また、本法は温度依存性の測定が可能であり、空洞共振器の直径を  $3\text{mm}$  とすることにより、 $100\text{GHz}$  までの測定に有効であると期待される。

さらに、本測定法は現在、国際標準創成事業「通信器用ファインセラミックスの試験評価方法」の標準化技術委員会において、ミリ波帯における低損失誘電体の標準測定方法として検討されている。

<参考文献>

[1] Y.Kobayashi and J.Sato; "Nondestructive measurement of complex permittivity of dielectric plate materials by a cavity resonance method", 信学技報, MW87-53, pp.41-48, Oct, 1987.  
 [2] 中岡,小林; "50GHz帯における空洞共振器法による誘電体平板の複素誘電率の温度依存性の測定", 信学技報, MW97-118, pp27-30, Nov, 1997.  
 [3] 清水,小林; "ミリ波同軸励振空洞共振器法による誘電体平板の複素誘電率測定", 信学技報, MW99-25, pp73-76, May, 1999.  
 [4] W. E. Courtney; "Complex permittivity of GaAs and CdTe at microwave frequencies", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., MTT-25, pp.697-701, Aug, 1977.