

Measurements of Complex Permittivity of Dielectric Plates over the Ranges 6~60GHz Using a Balanced-type Circular Disk Resonator Method

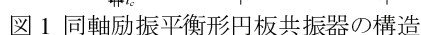
Shogo Kaneko Yoshio Kobayashi Zhewang Ma

†† サムテック(有)

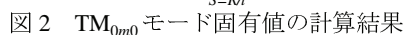
Saitama University SUMTEC, INC.

平衡形円板共振器法は誘電体基板の垂直方向の複素誘電率(比誘電率 ϵ_m , 誘電正接 $\tan\delta_n$)の測定に用いられる^[1]。最近、1個の共振器で共振周波数が異なるTM_{0m0}モードを用いて広帯域に複素誘電率測定を行うことが可能になった^[2]。本研究では、円板共振器の励振線を3.5mmコネクタ(~26.5GHz)から1.85mm(~65GHz)コネクタに付け替えることにより、マイクロ波からミリ波帯にわたる複素誘電率測定が実現されたので報告する。さらに、ごく最近1.0mmコネクタ(~110GHz)を用いることにより、110GHzにわたる測定も可能となったのであわせて報告する。

同軸励振平衡形円板共振器の構造を図 1 に示す。この共振器は直径 $2R$ の円形銅箔を厚さ t の 2 枚の基板で挟み、さらにそれを 2 枚の純銅平板で挟んで構成される。励振は円形銅箔の中心軸上に設けた直径 $2a$ の励振孔を介して同軸励振線により電界結合で行う。この励振構造では、円板中心部に電界が集中する TM_{010} モードのみが励振される。


$$\det H(\varepsilon_{rn}; f_{0m0}, R + \Delta R, a, M, t) = 0 \quad (1)$$

$$\det H(\varepsilon_{rn}; f_{0m0}, R + \Delta R, a, M, t) = 0 \quad (1)$$

$$\Delta R = \left(\frac{x_{0m0}}{X_{0m0, \Delta R}(s)} - 1 \right) R \quad (2)$$

$$f_c = \frac{c}{4t\sqrt{\epsilon_m}} \quad (3)$$
$$\tan \delta_n = \left(\frac{1}{Q''} - \frac{R_s}{B} \right) (1 + A) \quad (4)$$
$$R_s = \sqrt{\frac{\omega_0 \mu_0}{2\sigma}} \quad \sigma = \sigma_r \sigma_0 \quad (5)$$

3. 測定装置および測定条件

$$f_{cw} = \frac{j_{01}c_0}{2\pi a} \quad (6)$$

ただし、 $j_{01}=2.4048$ である。この装置では $2a=2.20\text{mm}$ よ
 $\omega=104\text{GHz}$ であり上限測定周波数 65GHz を十分満足し

いる。

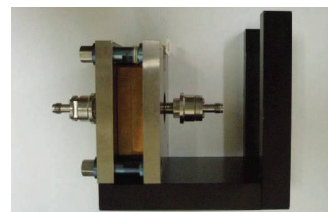


図3 1.85 コネクタ同軸励振平衡形円板共振器の外観

また 110GHz にわたる測定を行うために新たに 1.0 コネクタを用いた $2a=1.19\text{mm}$ ($f_{\text{cw}}=193\text{GHz}$) の共振器を製作した。 $2R=30\text{mm}$ の円形銅箔では 60GHz 以上で不要モードが発生し、モード判別が困難となったので、この装置では $t_c=25\mu\text{m}$ 、 $2R=15\text{mm}$ の円形銅箔を用いた。

4.1 シクロオレフィンポリマー(COP)基板の測定結果

COP 基板(日本ゼオン社, $t=0.378\text{mm}$)のネットワークアナライザ上の周波数応答波形を図 4 に示す。図中に示した TM_{0m0} モードを用いて測定した ϵ_r , $\tan\delta$ の結果を図 5 に示

す。2R=30mm および 15mm の円形銅箔による結果をそれぞれ▽印および×印で示す。このときの半径方向の遮断周波数は式(3)より 129GHz である。比較のための空洞共振器法および遮断円筒導波管法^[4]により求めた平面方向の複素誘電率(ϵ_r , $\tan\delta$)の測定結果を○印で示す。測定値は 5 回測定の前平均値で、測定誤差は標準偏差である。比誘電率および誘電正接にはともに異方性が認められない。2R=30mm および 15mm の円形銅箔による結果は誤差の範囲内で一致している。2R=15mm の場合 $\tan\delta$ のばらつき誤差が高次のモードになるにつれて大きくなっている。この原因は Q 値のばらつきが大きくなったためである。

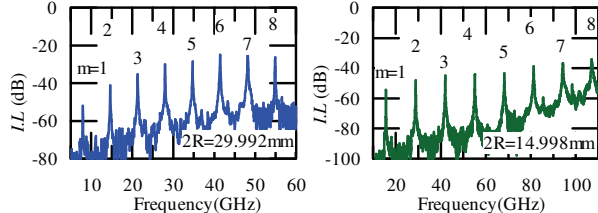


図 4 COP 基板の周波数応答波形(TM_{0m0}モード)

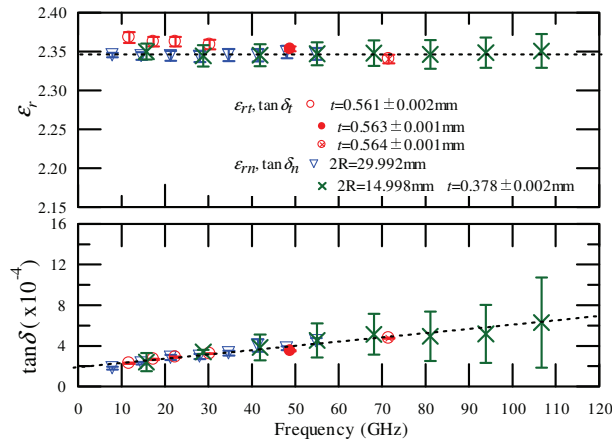


図 5 COP 基板の複素誘電率測定結果

4.2 ガラスクロス・PTFE(CGS)基板

CGS 基板(中興化成社, $t=0.376\text{mm}$)の周波数応答波形を図 6 に、 ϵ_r , $\tan\delta$ の測定結果を図 7 に示す。

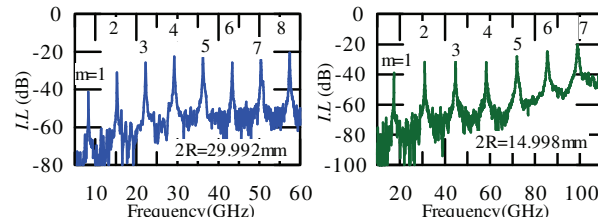


図 6 CGS 基板の周波数応答波形(TM_{0m0}モード)

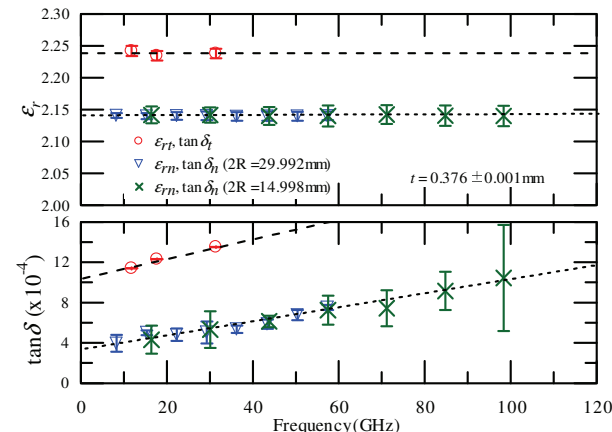


図 7 CGS 基板の複素誘電率測定結果

このときの半径方向の遮断周波数は 136GHz である。比誘電率および誘電正接にはともに異方性が認められる。

4.3 ガラスクロス・PTFE(CGA500)基板

CGA500 基板(中興化成社, $t=0.505\text{mm}$)の周波数応答波形を図 8 に、 ϵ_r , $\tan\delta$ の測定結果を図 9 に示す。2R=15mm において TM₀₇₀以降の TM_{0m0}モードは $S=14.8$ であるため図 2 より半径方向に放射した。このときの f_c は 86GHz である。比誘電率および誘電正接にはともに異方性が認められる。

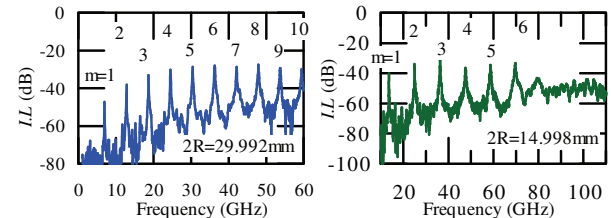


図 8 CGA500 基板の周波数応答波形(TM_{0m0}モード)

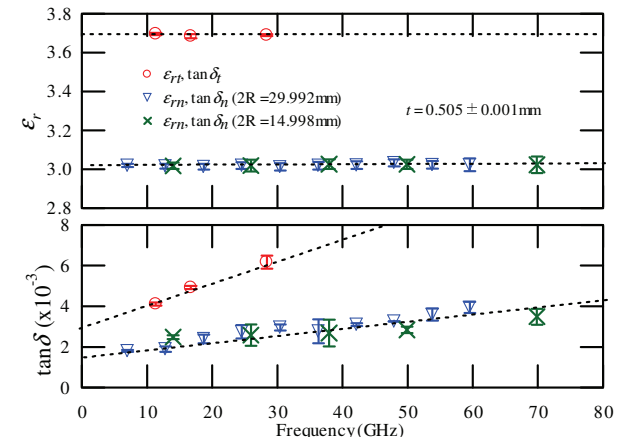


図 9 CGA500 基板の複素誘電率測定結果

5. まとめ

1.85mm コネクタを用いた平衡形円板共振器法により 7~60GHz にわたる 8 オクターブ以上の複素誘電率の測定が可能となった。さらには、1.0mm コネクタにより 110GHz にわたる測定が可能となった。最後に、共振器製作にご協力頂いた株式会社川島製作所に深謝致します。

参考文献

- [1]H. Kawabata, K. Hasuie, Y. Kobayashi and Z. Ma, "Multi-frequency measurements of complex permittivity of dielectric plates using higher-order modes of a balanced-Type circular disk resonator", in Proc. 36th European Microwave Conf. pp. 388-391, Sep. 2006
- [2]和田山修平, 小林禰夫, 馬哲旺, "シクロオレフィンポリマー基板のマイクロ波・ミリ波特性測定", 第 24 回エレクトロニクス実装学会講演大会論文集, pp. 130-131, Oct. 2010
- [3]Y. Kobayashi and M. Kato, "Microwave measurement of dielectric properties of low-loss materials by dielectric rod resonator method", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-33, No. 7, pp. 586-592, Jul. 1985.
- [4]小林禰夫, 清水隆志, "銅張誘電体積層基板のミリ波測定法と測定結果", 平 22 電気学会電子・情報システム部門大会, TC16-3, Sep. 3, 2010

連絡先

氏名: 小林 禰夫
所属機関: サムテック(有)
所在地: 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255
埼玉大学地域オープンイノベーションセンター
電話/ FAX: 048(856)1546 E-mail: kobayashi@sumtec.biz