高温超電導体・低損失誘電体材料のマイクロ波・ミリ波評価技術

Microwave and millimeter wave evaluation techniques of high-temperature superconductor and low loss dielectric material

小林 禧夫 清水 隆志 橋本 経 馬 哲旺

埼玉大学工学部電気電子システム工学科 〒338-8570 埼玉県さいたま市下大久保 255 TEL: 048 (858) 3477 FAX: 048 (857) 2529 E-Mail: yoshio@reso.ees.saitama-u.ac.jp

1. はじめに

本研究室では、マイクロ波およびミリ波帯にお けるデバイス設計あるいは新材料開発のため、低 損失誘電体材料の複素誘電率(比誘電率*ε_r*,誘電 正接 tan*ð*)および高温超電導体の表面抵抗 *R_s*の温 度依存性を高精度かつ高能率に評価できる自動 測定システムを開発した^{[1]-[3]}。

本報告では、その測定法の概要を紹介する。

2. 測定原理

測定原理は、共振法に基づく。図 1 に低損失誘 電体基板の複素誘電率測定用治具を示す。2 つに 分割した円筒導体の間に誘電体平板を挟んで構 成される。また、図 2 に誘電体円柱の複素誘電率 および導体平板の R_s の測定用治具を示す。2 枚の 導体平板の間に誘電体円柱を挟んで構成される。 これら共振器の共振周波数 f_0 と無負荷 Q, Q_u の測 定値より、 ε_r , tan $\delta \geq R_s$ が求まる。

3. 自動測定プログラム - SU-Series Program -

本研究室では、モード整合法およびリッツガレ ルキン法による電磁界解析に基づき、低損失誘電 体基板測定用プログラム(SU-PLATE、SU-CYLIN DER)および誘電体円柱および導体平板測定用プ ログラム(SU-ROD)を開発した。本ソフトは、 HT-BASIC が動作する Windows パソコン上で使用 する。また、測定機器を制御することにより、測 定試料の温度依存性を自動的に測定可能である。

4. 自動測定システム

図 3 に自動測定システムの写真、および SU-Series Program、Windows パソコン、測定機器から 構成されるブロック図を示す。



図 3 自動測定システム

測定は周波数掃引法による。共振器を冷却器内 に設置し、室温より最低到達温度(約 20K)まで十 分冷却する。その後、無振動下で測定を行うため に、冷却器のスイッチを止める。コンピュータは、 温度が自然上昇する際に変化する共振波形をネ ットワークアナライザ上で追尾しながら、 Q_u 測定 の最適状態に制御し続ける。それと同時に、温度 計を監視し続け、1Kの温度変化毎に $f_0 \ge Q_u$ を自 動測定する。この結果より、SU-Series Program が 測定試料の ε_r , tan δ , R_s を計算する。

5. 測定例

5.1 誘電体基板測定 - SU-PLATE / SU-CYLINDER -

図 4 は SU-PLATE による MgO 基板 (厚さ t=0.501mm、熱線膨張係数 τ =9.4ppm/K)の ε_r , tan δ の 温度依存性の測定結果である。また、図 5 は SU-CYLINDER による GaAs 基板 (t=0.607mm、 τ =6.9ppm/K)の測定結果である。これより、1K 毎 の高精度測定が実現されていることが分かる。

なお、本測定法に関する測定範囲および測定精 度は、それぞれ ϵ_r に関しては、 $1.1 \sim 50, \pm 0.2 \sim 1.0\%$ であり、 $\tan\delta$ に関しては、 $10^{-3} \sim 10^{-6}, \pm 2 \sim 10\%$ である。

5.2 誘電体円柱測定 - SU-ROD -

図 6 は SU-ROD による Sapphire 円柱 (τ = 5.3ppm/K)と、YBCO 薄膜(直径 ϕ =51mm)の測定結果である。TE₀₁₁ および TE₀₁₃ モ - ド用の 2 つの共振器を用いて 2 誘電体共振器法により測定を行った。この測定では Q_u 値が 800 万程度になるが、本ソフトを用いることにより R_s の高精度測定が可能である。また、低損失なサファイア円柱を用いることにより $R_s<0.1$ m Ω の測定が可能であり、その測定精度は、10%程度である。

なお、本測定法に関する測定範囲および測定精 度は、それぞれ ε_r に関しては、2~1000、±0.2~ 0.5%であり、tan δ に関しては、10⁻³~10⁻⁷、±5~20% である。

<参考文献>

- 小林, "マイクロ波・ミリ波帯における誘電体および超 電導体材料の標準測定法",信学技報, MW99-108, pp.1-6, Sept. 1999.
- [2] 吉川,橋本,小林,"誘電体共振器法による高温超電導 薄膜の表面抵抗のミリ波測定に関する検討",信学技 報, MW99-6, SCE99-6, Apr. 1999.
- [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の温度依存性の測定"、信学技報、 ED2000-188、MW2000-145、pp.1-6、Nov. 2000.







図 5 SU-CYLINDER による GaAs 基板の測定結果



図 6 SU-ROD による Sapphire 円柱と YBCO 薄膜の測定結果