

同軸管による高周波材料定数の測定

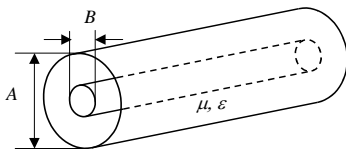
キーワード：同軸管、マイクロ波、比誘電率、比透磁率、ベクトルネットワークアナライザ

概要

マイクロ波における材料定数(比誘電率および比透磁率)測定法に、同軸管と呼ばれる2導体伝送路を試料ホルダとして用いる方法があります。この測定法は1つの同軸管で広帯域(VHF~マイクロ波帯)の測定が可能である、複素比誘電率と複素比透磁率が同時に得られる、損失材料の測定に向いている等の特徴があり、電波吸収体等マイクロ波材料の評価に広く利用されています。ここでは、ベクトルネットワークアナライザ(VNA)と同軸管による材料定数測定法について紹介します。

原理

図1に同軸管の構造を示します。材料定数を測定するには、試料を充填した同軸管の入力インピーダンスや伝送特性をVNA等により測定し、それらから特性インピーダンス Z_c と伝搬定数 γ を求めます。 Z_c と γ の求め方には種々の



- ・特性インピーダンス $Z_c = \frac{\sqrt{\mu/\epsilon} \ln(A/B)}{2\pi}$
- ・伝搬定数 $\gamma = j\omega\sqrt{\mu\epsilon}$

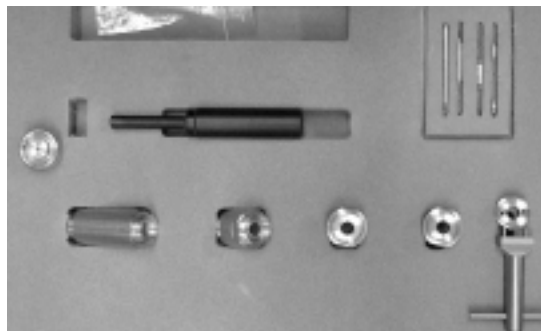


図2 同軸管サンプルホルダーキット
CSH2-APC7

方法があります。

比誘電率 ϵ_r 、比透磁率 μ_r の試料を充填した同軸管の特性インピーダンス Z_c と伝搬定数 γ は、それぞれ $Z_c = \sqrt{\mu_r/\epsilon_r} Z_{c0}$ 、 $\gamma = j\omega\sqrt{\mu_r\epsilon_r}/c_0$ (Z_{c0} は試料未充填時の特性インピーダンス、 c_0 は真空中の光速)と表されますので、 Z_c と γ の測定値から比誘電率 ϵ_r と比透磁率 μ_r を求めることができます。

図2に同軸管サンプルホルダキット(関東電子応用開発(株)製CSH2-APC7)、表1にCSH2-APC7の諸元を示します。

試料

被測定材料は旋盤等を使用し、内径3.04mm、外径7mmのトロイダル状に加工します。

内導体および外導体と試料との間の空隙があると、その部分は空気の比誘電率となるため、測定誤差が生じます。試料内導体間、試料外導体間に同じ幅の空隙(1 μ m、3 μ m、10 μ m)が存在すると仮定し、試料の比誘電率と測定値の関係を計算した結果を図3に示します。空隙が大きいほど、試料が高誘電率であるほど、比誘電率は実際より小さく測定されることが分かります。

なお、空隙に導電性塗料を充填することで、誤差を低減できますが、試料端面に塗料が付着すると測定誤差を生じることがあります。

表1 同軸管サンプルホルダーキット
CSH2-APC7の諸元

項目	仕様
特性インピーダンス(試料無)	50
コネクタ	APC7
長さ L(mm)	2, 5, 10, 20, 40
外導体内径 A(mm)	7.00
内導体外径 B(mm)	3.04

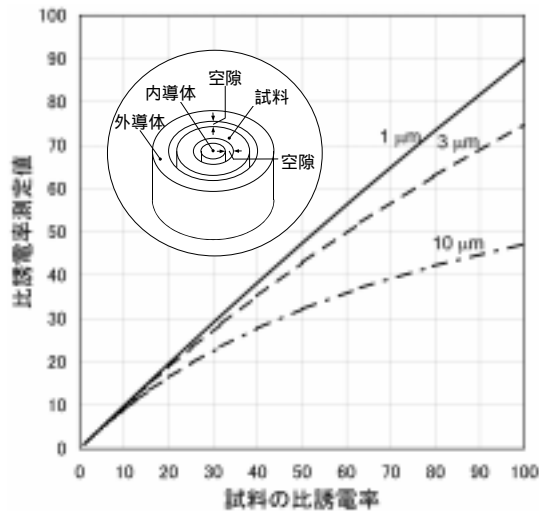


図3 試料と内・外導体との間の空隙が比誘電率の測定値に及ぼす影響

測定例

図4に示す測定システムを用いて、ある磁性体材料について行った測定を紹介します。材料を内径3.04mm、外径7mm、厚さ3mmのトロイダル状試料に加工して同軸管に挿入し、同軸管の出力端を短絡および50 負荷の2条件で終端して、それぞれの終端条件における入力端での反射係数 S_{11} を VNA(HP 8753D)により測定しました。

測定した S_{11} より計算した材料定数を図5に示します。

この試料は加工誤差により試料と同軸管との間に空隙が生じていたため、銀を含む導電性塗料を空隙に充填した状態でも測定を行いました。比誘電率が実際より小さく測定される現象が導電性塗料の充填により抑制されていることが図5(a)から分かります。

また、比透磁率の測定においても図5(b)に示すように導電性塗料を充填した場合と充填しなかった場合で測定結果に差異が見られました。この現象は、空隙の存在により試料の外導体と面する表面付近に表皮電流が生じたと考えたと説明できます。

このことから、比透磁率測定においても導電性塗料の充填は測定誤差の抑制に効果があるとと言えます。

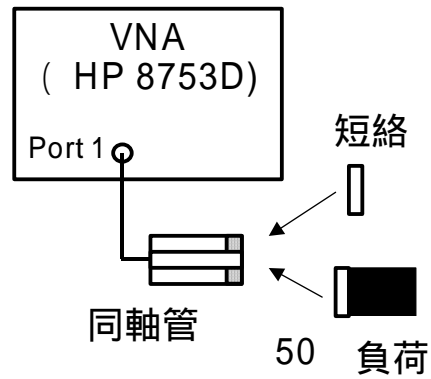
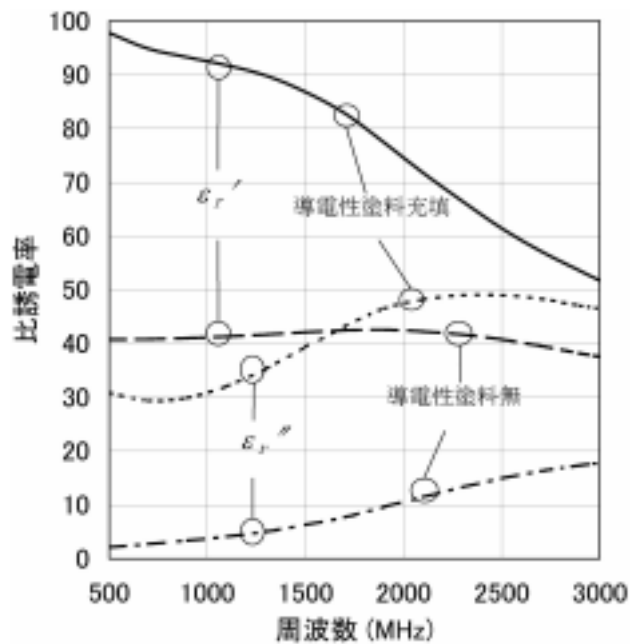
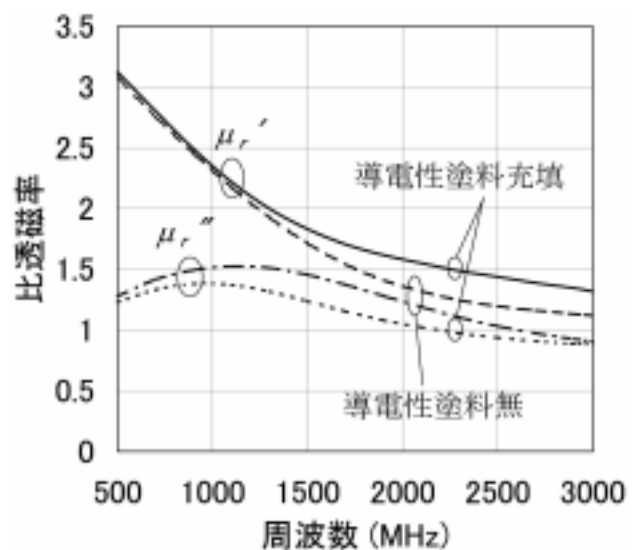


図4 測定システム



(a) 比誘電率



(b) 比透磁率

図5 材料定数の測定例