

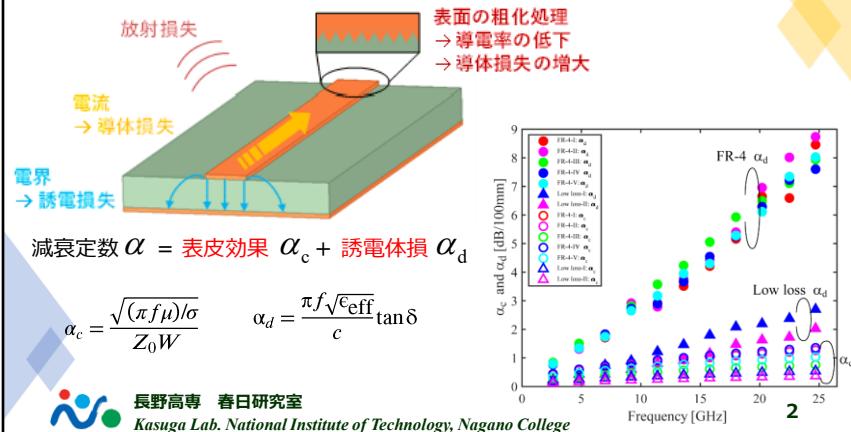
BCDRを用いた基板の誘電損失と 表面粗さによる電気伝導性の測定

5E 春日研究室 柳原魁人

5E、春日研究室の柳原です。
これから「BCDRを用いた基板の誘電損失と表面粗さによる電気伝導性の測定」について、発表を始めます。

研究背景

- これからの社会を支えるのは高周波技術。
- データセンター内等のハードウェアでは、とても高い周波数(100 GHz)での通信が必要になる。



まず、この研究の背景について説明します。

これからの社会で発展するAIや5G, 6Gなどでは、情報を高速で処理するため、サーバやデータセンターといったハードウェアにおいて、100GHzという非常に高い周波数での通信が求められるようになっていきます。

しかし、周波数が高くなると、基板では信号の損失が大きな問題となります。損失は主に「導体損失」と「誘電損失」の2つに分けられます。右下のグラフは、一般的なFR-4という材料と高性能な低損失材料の損失特性を比較したものです。FR-4は低コストで、低周波では優秀な材料ですが、高周波になると誘電損失が増大し、損失は誘電損失が支配的になることがわかっています。これまで、この誘電損失に関する研究は数多く行われてきましたが、導体損失、特に導体表面の粗さが影響する「表皮効果」に関する評価は、まだ十分に行われていないのが現状です

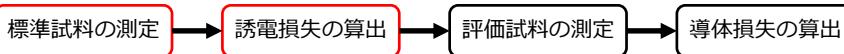
研究の目的・やったこと

目的

- 表面粗さによる電気伝導性への影響を明らかにする。

やったこと

- 平衡円板共振器法（BCDR法）による誘電率の測定。
- 導電率測定のため誘電率の測定を行う。



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

3

そこで本研究では、「表面粗さが電気伝導性に与える影響を明らかにすること」を目的としました。

この「表面粗さ」は導体損失に影響を与えるということが予想されるため、その影響を評価するには、まず導電率、すなわち表皮効果の評価を行う必要があります。

実験の手順としましては、まず標準試料を測定し、基板材料そのものの誘電損失を算出します。次に、その結果を用いて評価試料を測定し、最終的に導体損失を算出します。

今回は誘電損失の算出まで行いました。

基板材料の特性比較

基板名	メーカー名	公称厚	用途
L-6504C2 (FR-4)	東芝ケミカル	0.3mm	高耐久性、高熱伝導性、低価格であり、1GHz以下の帯域でよく使われる。
R-5775GH (MEGTRON6)	パナソニック	0.3mm	1GHz以上・高速通信向け高性能材料。

MEGTRON 6 は FR4 に比べて 高周波帯でも低損失な材料で、
サーバやデータセンタなどで使用されていく。
MEGTRON6のような低損失材料の評価が必要



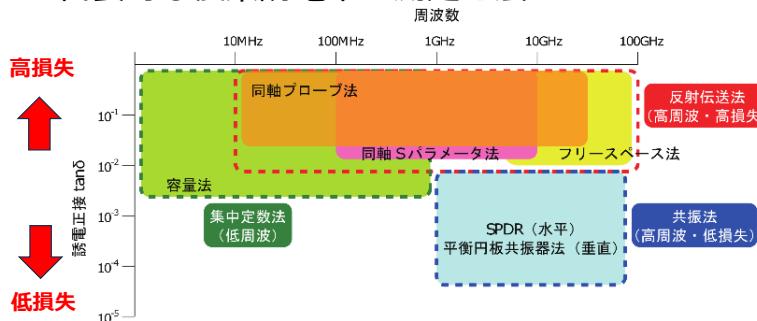
長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

4

今回の測定では、特性の異なる2種類の基板材料を評価対象としました。一つは、安価で広く使われている汎用的な材料である「FR-4」です。こちらは主に1GHz以下の比較的低い周波数帯での使用が想定されています。もう一つが、高性能な低損失材料である「MEGTRON6」です。こちらは、サーバーや高速通信機器などで用いられる、1GHz以上の高周波帯に対応した材料です。先ほどの背景で述べたような高速・大容量通信が求められるこれからの社会においては、このMEGTRON6のような高性能材料の特性を正確に評価し、活用していくことが不可欠となります。

代表的な複素誘電率の測定方法



共振法, BCDRが今回の材料, 誘電率, 導電率測定に適している



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

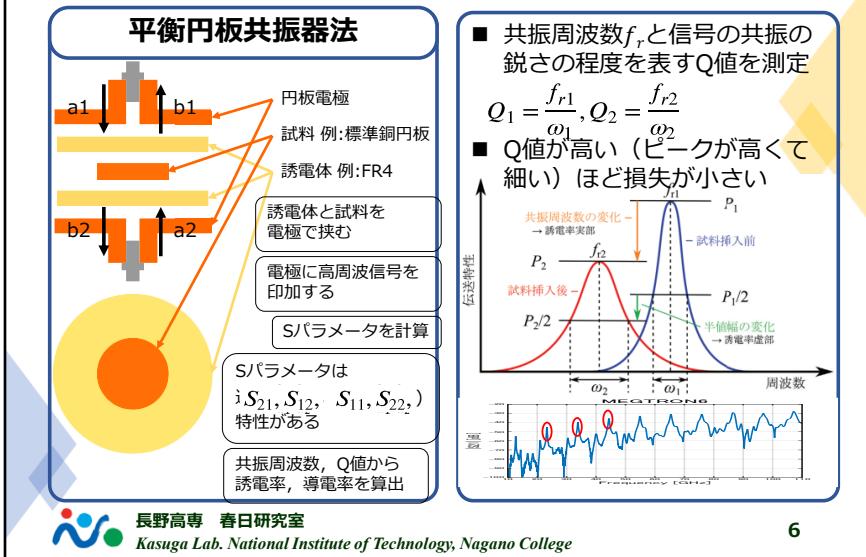
5

こちらは、代表的な複素誘電率の測定方法をまとめたものです。

今回、測定対象とするMEGTRON6は、「高周波」かつ「低損失」な材料です。このグラフの右下の領域に該当しますが、この領域の測定に最も適しているのが「共振法, BCDR法」であることがわかります。

また、BCDR法は誘電率だけでなく、本研究の目的である導電率の測定も可能であるため、今回この手法を採用しました。

平衡形円板共振器の測定原理



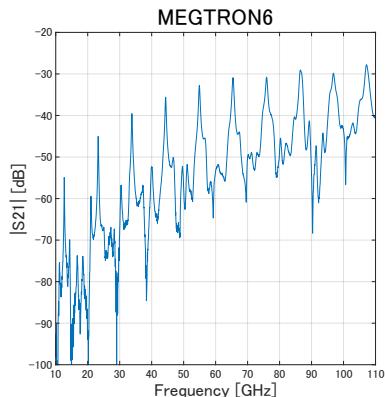
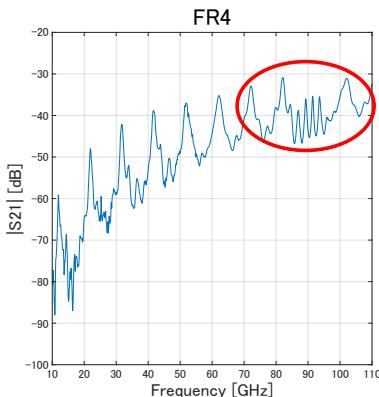
それでは、BCDR法の測定原理についてご説明します。

BCDRとは「平衡円板共振器法」の略称です。この図のように、測定したい基板を円盤電極で挟み込みます。そして、一方の電極から高周波信号を入力し、基板を透過してきた信号をもう一方の電極で測定します。この時の透過特性が、Sパラメータの一つであるS21です。

右下のグラフが、実際に測定されるS21の例です。特定の周波数で鋭いピークが現れます。この周波数を「共振周波数」と呼びます。そして、このピークの鋭さを表す指標が「Q値」です。Q値が高い、つまりピークが鋭いほど、その材料の損失が小さいことを意味します。

BCDR法では、この共振周波数とQ値を精密に測定することで、材料の誘電率や導電率を算出します。

Sパラメータ



FR4→損失高, ばらつき多, 鋭くないので損失が大きい

MEGTRON→損失低, ばらつき少, 鋭いので損失が小さい



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

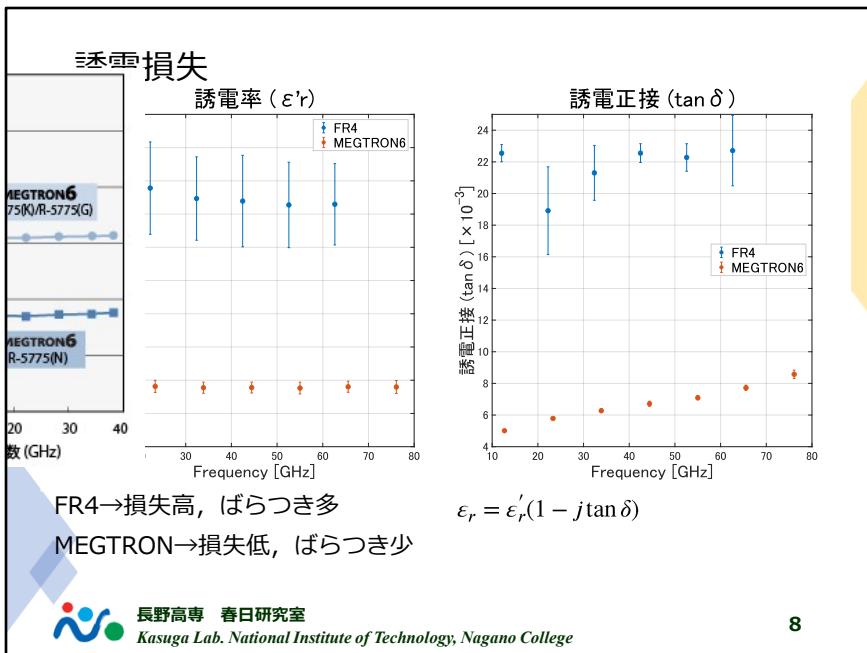
7

こちらが、実際に測定したS21の透過特性です。左がFR-4、右がMEGTRON6の結果です。

グラフに現れている多数の山が、先ほど説明した共振のピークに対応します。ご覧の通り、MEGTRON6のピークはFR-4に比べて鋭いことがわかります。

これは、MEGTRON6の方が損失が小さいことを意味しています。

また、この赤丸で囲んだ高周波数の部分については、ピークの形が崩れており測定の信頼性が低いと判断したため、今回の誘電率の計算からは除外しました。



先ほどのSパラメータから算出した誘電特性が、こちらのグラフです。左が比誘電率、右が損失の指標となる誘電正接を示しています。青い点がFR-4、赤い点がMEGTRON6です。このグラフは、FR-4は6回、MEGTRON6は4回測定した結果の平均値をプロットし、データのばらつきをエラーバーで表示しています。

この結果から、MEGTRON6はFR-4と比較して、広い周波数帯で誘電正接が低く、つまり低損失であることが明確にわかります。また、MEGTRON6は測定値のばらつきも小さく、再現性の高いデータが得られました。

今回得られた値は、両基板とともにメーカーの公表値や先行研究で報告されている値と非常によく一致しており、今回の測定が正確に行われたことを裏付けていると考えています。

結果と課題

- ・表面粗さの評価のために導電率を測定をした。
- ・今回は導電率測定のため誘電率測定をした。
- ・MEGTRON6基板で誘電率を測定することができた。
- ・測定結果から、MEGTRON6基板の特性を確認できた。
- ・今後は、導電率の測定を進める。



長野高専 春日研究室
Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

9

最後に、今回の結果と今後の課題をまとめます。

結果として、今回はBCDR法を用いることで、MEGTRON6のような高周波・低損失な基板の誘電率を、精度良く測定できることを確認しました。

今後の課題としましては、今回得られた誘電率のデータを基に、本研究の目的である導電率の測定、そして表面粗さが電気伝導性に与える影響の評価へと進めてまいります。

以上で発表を終わりります。ご清聴ありがとうございました。