

# 平面回路の導体損失に関する最近の研究動向

## マイクロウェーブ展 MWE2010 12/8 出展社セミナー

石飛徳昌 info@SonnetSoftware.co.jp

(有) ソネット技研 <http://www.SonnetSoftware.co.jp/>

### 1 まえがき

新しい導体プロセスの開発により、高周波回路のパフォーマンスの導体損失への依存性が高まっている。ところが導体表面の粗さが導体損失に与える影響について解析モデルの精度は十分でない。ここでは粗さモデルの歴史を振り返り、最近の精密な測定と新しい解析モデルを紹介する。

### 2 導体表面粗さモデルの歴史

1949にMorgan[1]は、導体表面の粗さを幾何学断面の場合に解析し、HammerstadとJansen[2]がそれをより複雑な断面形状に拡張した。彼らのモデルでは表面粗さに起因する導体抵抗は、滑らかな金属の二倍まで増加するとされていた。

1980年代から実用化された高周波用シミュレータのほとんどがこのモデルを採用した。ところが粗さの測定そのものが容易でないことから、粗さモデルを使用せず“導電率”を実用的な範囲で実測値と合致するように修正する設計手法は現実的な対処であった。[3]

### 3 基板モデルの最近の研究

銅張り積層板の平面方向と垂直方向では誘電率も誘電正接も異なること。また、導体表面は滑らかでも誘電体に接着された界面の粗さは大きく、粗さに起因する等価抵抗率も大きいことは早くから認識されていた。[4]

ところがそれらパラメータの測定は容易でなく、最近ようやく精密な測定が可能になった。[5] 図1は、それらの実測値の一例で、導体の表面と界面の比導電率の実測値が示されている。このデータでは同一導体の表面と界面の比導電率の比  $\sigma_{rf}/\sigma_{rb}$  は3倍に達している。Morganのモデルではこれは2を越えないはずである。そして2010年、Morganのモデルで見逃されていた表面インダクタンスについて考慮したモデルの開発と検証がなされた。[6]

### 4 むすび

導体の微細構造は複雑で製造プロセスの進歩は今後も新しいモデルの開発を要求するであろう。新しいモデルの開発が新しい導体プロセスに先行するとは考えにくいから、新しいプロセスを使った回路設計にあたってはモデルの特性や限界を把握した利用が必要になるだろう。

### 参考文献

[1] S.P.Morgan, “Effect of surface roughness on eddy current losses at microwave frequencies,” J.Applied Physics, vol.20, pp.352-362, Apr.1949.

- [2] E.Hammerstad and O.Jensen, “Accurate models of computer aided microstrip design,” IMS1980 Dig., pp.407-409.
- [3] 石飛, “単一の製法で製作した試料による基板材料の誘電体損失と導体損失の測定,” 信学技報, Vol.MW2007-87, pp. 23 - 30, Sep. 1998.
- [4] Brian C.Wadell, “Transmission Line Design Handbook,” 1991, Artech House, Boston ISBN 0-89006-436-9
- [5] 小林・相羽・吉富, “銅張りプリント配線基板のマイクロ波特性評価,” 超高速高周波エレクトロニクス実装学会 Vol.7, No.4, pp.11-16, Feb.2008.
- [6] Allen F.Horn et., “Conductor Profile Effects on the Propagation Constant of Microstrip Transmission Lines,” IMS2010 Dig., pp. 868 - 871, Jun. 2010.

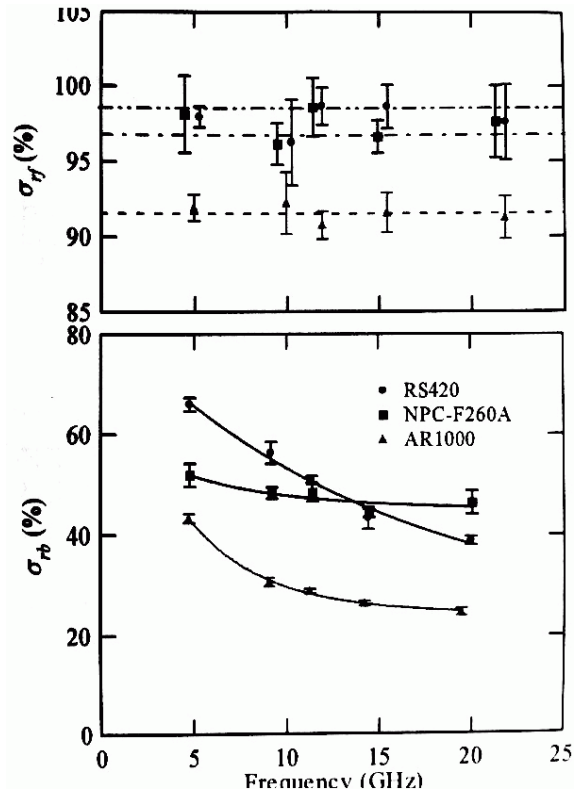


図1 プリント基板表面導体の比導電率の測定値  
(上) 導体表面の比導電率  $\sigma_{rf}$  は純銅の90%以上だが、  
(下) 導体界面の比導電率  $\sigma_{rb}$  は純銅の30%以下まで低下する場合がある。