

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：32601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870700

研究課題名(和文) 高速伝送用フレキシブル基板の構造最適化およびチューナブルアンテナへの応用

研究課題名(英文) Structure optimization of microwave flexible substrate and its application for tunable antenna

研究代表者

須賀 良介 (Suga, Ryosuke)

青山学院大学・理工学部・助教

研究者番号：20398572

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：基板厚の薄いフレキシブルプリント基板の高周波用途に対する構造最適化のために、高周波回路の伝送特性およびアンテナの放射特性を評価した。まず、基板に用いる銅箔の表面粗さを無粗化、低粗度、標準と変化させ高周波線路の挿入損失を評価した。次にこの結果を踏まえて同基板を用いた5.8GHz用マイクロストリップアンテナを試作評価した。標準銅箔と比較して無粗化銅箔を用いることで放射素子の無負荷Qは約2倍となることが実験的に確認できた。さらに利得としては、標準銅箔と無粗化銅箔では3.6dBもの差があることがわかり、開発した基板の有用性を示すとともに、チューナブルアンテナへの応用可能性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：The characteristics of microwave circuits and microstrip antennas on thin substrate with various copper roughnesses were measured to optimize substrates for microwave applications. It is indicated quantitatively that the copper roughnesses of the fabricated circuits have major impacts for the insertion loss. Moreover, the gain of the fabricated microstrip antennas with optimized substrate was improved 3.6 dB compared with that with standard roughness. As a result, the application possibility of the optimized substrate was demonstrated.

研究分野：マイクロ波，ミリ波

キーワード：フレキシブルプリント基板 マイクロストリップライン マイクロストリップアンテナ 挿入損失 表面粗さ 利得

1. 研究開始当初の背景

一般的にコンピュータのマザーボード等に用いられるリジッド基板と比較して、フレキシブル基板(以降 FPC: Flexible Printed Circuits と称す)はその屈曲性を活かし、ハードディスクドライブのヘッド、携帯電話やノートパソコンのヒンジ部などの可動部における配線材として主に低伝送容量の信号伝送用途に利用されている。この屈曲性を実現するために、FPC の基板厚は 0.1mm 程度が標準であり、リジッド基板の 1/10 ~ 1/50 と非常に薄い構造が用いられている。一方携帯情報通信機器の小型化及び複数機能の混載に伴う各種電子部品の実装面積縮小のために、機器に搭載される全ての部品には薄型化や小型化が切望されている。そこで、FPC を用いて高性能な受動デバイスが実現できれば、多くの通信機器の特に薄型化・軽量化が期待できる。

しかし上述したように FPC の基板厚は、通常のプリント基板と比較して非常に薄いため、信号線とグラウンド間隔が狭くなる。つまり導体間における電界強度が高くなることにより誘電損失が、さらには導体を流れる電流密度が大きくなることにより導体損失の増加が懸念される。このような FPC を用いた高周波用線路の評価はなされてはいるが、まだ少なく一部の報告のみであり高周波の伝送特性などの報告例は少ない。

2. 研究の目的

本研究では高速信号伝送用 FPC の開発に向けて、FPC 材料として一般的に用いられる樹脂基板の比誘電率及び誘電正接を測定する。その上で、できるだけ低誘電率、低誘電正接の材料を選定し、回路設計に応用する。

次に従来あまり取得されていない FPC 基板の基礎的な高周波特性を取得し、学会等を通じてその情報を発信する。具体的には FPC 上に高周波線路を形成し、その伝送特性を評価する。具体的には単位長さ辺りの損失や FPC の伝送特性を評価する。

最後に高周波用途としての基板構造の最適化を行い、リジッド基板の特性を目標に低損失化・低背化を狙う。この最適化によりリジッド基板同等の特性が得られれば、多くの電子機器の薄型・軽量化に繋がる。そして開発した FPC を用いたアプリケーションの一例としてマイクロストリップアンテナの試作評価により最適化の効果を定量的に示す。

3. 研究の方法

空洞共振器法を用いて FPC 基板の複素比誘電率を測定し、FPC に適した誘電体材料を選定する。またその測定値を用いて高周波線路を設計および試作し、銅箔の表面粗さに対する挿入損失を評価することで、FPC のような薄型基板への銅箔表面粗さの挿入損失への影響を示す。さらにこれらの結果を踏まえてアンテナを試作評価することで FPC 基板のチューナブルアンテナへの応用可能性を示す。

4. 研究成果

4.1 FPC を用いた高周波回路の試作評価

本研究では低誘電正接基板としてガラスクロスにフッ素樹脂を含浸させた基板を選定した。また、その誘電率および誘電正接を共振器法により測定し、誘電率 2.17、誘電正接 1.53×10^{-3} を得た。

次に 100 μ m 厚の上記基板を用いてマイクロストリップライン(MSL)を作成した。ここで、表 1 に用いた銅箔の表面粗さと上記樹脂基板へ張付後のピール強度を示す。表面粗さは無粗化、高周波用途に使われる低粗度、標準の 3 種を選択し、全て一般的に求められる 1.0N/m 以上のピール強度を得ている。なお、銅箔厚は全て 12 μ m である。これらの表面粗さに対する MSL の減衰定数を評価した。

表 1. 試作した MSL に用いた銅箔の表面粗さ及びピール強度

	表面粗さ Sa [□m]	表面粗さ Ra [□m]	ピール強度 [N/mm]
無粗化	0.03	0.09	1.57
低粗度	0.49	0.39	1.57
標準	0.98	0.53	1.42

図 1 に試作した特性インピーダンス 50Ω の MSL の減衰定数の測定値を示す。同図より、銅箔の表面粗さによって減衰定数は大きく変化しており、無粗化銅箔は標準銅箔の減衰定数に比べて半分以下であることがわかる。これより薄型基板の減衰定数は、銅箔の表面粗さによる導体損の影響が多大であることを実験的に確認した。

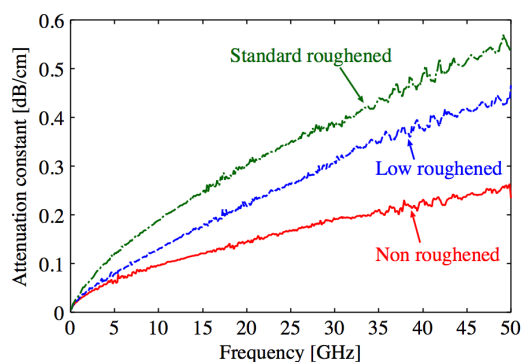


図 1 試作 MSL の減衰定数の測定結果

次に、各銅箔の実効比導電率を、図 1 に示した結果と電磁界シミュレータによる解析結果の比較により推定した。ここで比導電率とは万国標準軟銅の導電率 $\sigma_0 = 58 \times 10^6$ S/m との比を示している。図 2 に実効比導電率の推定結果を示す。同図より、無粗化銅箔では、測定誤差によって 1.0 を超えている周波数があるが、概ね 50GHz まで 1.0 で一定であり、表面粗さによる伝送損失の影響が少ないことが確認できる。

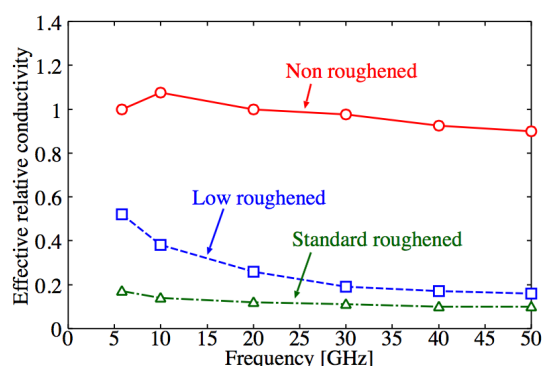


図 2 MSL に用いた銅箔の実効比導電率の推定値

4.2 FPC のアンテナへの応用

次に FPC を用いたマイクロストリップアンテナ(MSA)について検討した。これまでの検討から FPC のような薄型基板を用いたアンテナの設計では、放射素子の導体損および誘電体損が無視できず、反射損を抑えるためには一般的に用いられる設計式とは別にこれらの損失を含めた設計が必要であると考えられる。

4.2 節で議論した 3 つの基板それぞれについて MSA を試作評価した。各基板を用いたアンテナの指向性利得を等しくするために、放射素子の形状は 25.0mm×17.3mm と同一とし、上記の損失による反射損の影響を排除するために $\lambda/4$ 変成器を介して特性インピーダンス 50Ω の MSL により給電する構造とした。なお、一例としてアンテナの動作周波数は 5.8GHz とした。

図 3 に試作した MSA を、図 4 に MSA の (a)反射特性および(b)利得の周波数特性をそれぞれ示す。これらの結果から、各アンテナの動作周波数は試作誤差により 3%程度ずれてはいるが概ね設計通り動作していることが分かる。各放射素子の Q 値は無粗化銅箔で 37.7、標準銅箔では 19.0 と約 2 倍の Q が得られることが実験的に確認できた。さらに利得としては、標準銅箔と無粗化銅箔では 3.6dB もの差があることがわかり、開発した基板の有用性を示すとともに、チューナブルアンテ

ナへの応用可能性を示すことができた。

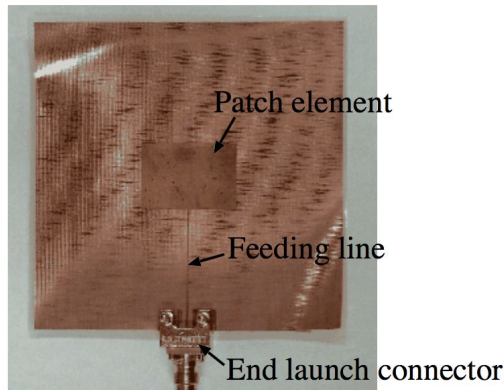
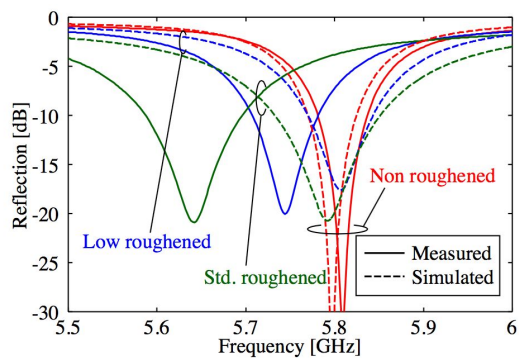
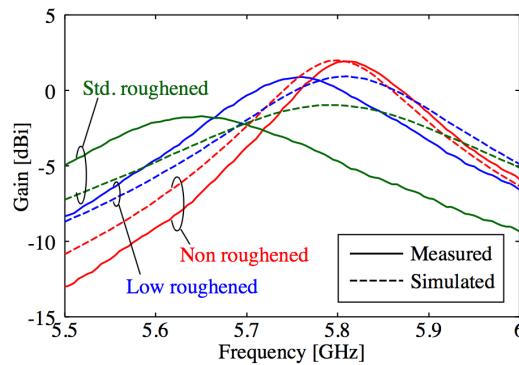


図 3 試作した MSA



(a) 反射特性



(b) 利得の周波数特性

図 4 試作した MSA の測定結果

5 . 主な発表論文等

[学会発表](計 4 件)

- [1] R. Suga, T. Suzuki, T. Uwano, Y. Akatsuka, K. Ishii, and O. Hashimoto, "Conductor loss evaluation of thin microstrip line with various copper roughnesses," Progress in electromagnetics research symposium 2015, 2015, June 9, Prague (Czech Republic), (to be presented).

- [2] 鈴木達也, 須賀良介, 上野伴希, 赤塚泰昌, 石井一彦, 橋本修, "薄型基板を用いたマイクロストリップアンテナにおける銅箔の表面粗さを考慮した設計," 電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会, EST2014-104, pp.143-147, 2015 年 1 月 29 日, 大阪大学 (大阪府・豊中市).
- [3] T. Suzuki, R. Suga, and O. Hashimoto, "Post-wall waveguide transmission loss depending on thickness of porous substrates and Its evaluation of leakage," Asia-Pacific Microwave Conference 2013, P2-24, 2013, Nov. 7, Seoul (Republic of Korea).
- [4] 鈴木達也, 須賀良介, 橋本修, "空孔付ポスト壁導波路の挿入損失の基板厚依存性," 電子情報通信学会 エレクトロニクスシミュレーション研究会 EST2013-13, pp.7-11, 2013 年 7 月 18 日, 稚内総合文化センター (北海道・稚内市).

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

須賀 良介 (Ryosuke, Suga)

青山学院大学・理工学部・助教

研究者番号 : 20398572