

# フレキシブルプリント基板材料の湿度条件下における マイクロ波帯伝送特性について

電子技術部 電子システムチーム 土屋 明久  
菅間 秀晃  
櫻井 正己  
日高 直美  
青山学院大学 理工学部 橋本 修

フレキシブルプリント基板(FPC)材料であるポリイミドは高い吸湿率を示し、その複素比誘電率は湿度条件によって変化する。これがマイクロ波帯で使用する伝送線路に及ぼす影響を検討するため、ポリイミド基板を用いて伝送線路を作製し、25°C60%RHの湿度条件下と乾燥条件下の伝送特性を評価した。その結果、マイクロストリップ線路の湿度条件下における透過特性( $S_{21}$ )は乾燥条件下に比べ20GHzにおいて1.3dBの損失を示した。また、差動伝送線路の湿度条件下における差動モードの透過特性( $S_{dd21}$ )は、乾燥条件下に比べ20GHzにおいて約1.0dBの損失を示した。しかし、アイパターン解析により、線路長や信号速度などを考慮すれば湿度の影響によらず高速伝送線路として十分に利用可能であることが確認できた。

キーワード：フレキシブルプリント基板、伝送線路、マイクロ波、複素比誘電率、湿度

## 1 はじめに

近年電子機器の高速化、高機能化に伴い取り扱うデータ量は増え、これに対処するためにPCI-Express、S-ATAなどの高速伝送技術が広く利用されている。この高速伝送技術の利用周波数はマイクロ波帯域に達することから従来のマイクロ波帯域以下の周波数で考慮する必要のなかった表皮効果や誘電損などによる影響がみられ、今後マイクロ波帯を利用するためにはこれらの特性について十分に考慮した設計をすることが必要となる。また、携帯電話などの狭い実装空間を有効に利用する為の技術として利用されているフレキシブルプリント基板(FPC)は今後高周波回路への展開も期待されている<sup>1)</sup>。

このFPC材料として利用されているポリイミドは高い吸湿率を示し、湿度の影響によりマイクロ波帯域において複素比誘電率が変化する<sup>2)</sup>。これまでに我々はポリイミドの湿度条件下における複素比誘電率を測定し、報告している<sup>3)</sup>。この中で評価用の伝送線路に使用したポリイミド基板も測定しており、湿度条件下の複素比誘電率の実部は、乾燥条件下に比べ約5%大きな値を示し、また、湿度条件下の誘電正接は乾燥条件下に比べ10GHzで約3倍大きな値を示すことを報告している。

これがマイクロ波帯で使用する伝送線路に及ぼす影響を検討するため、我々はFPC材料のポリイミドを用いて、プリント基板などで広く利用されているマイクロストリップ線路と高速シリアルデータ伝送で利用されることが多い

差動伝送線路を作製し、湿度条件下における伝送特性を評価した。

## 2 測定

### 2.1 測定試料

図1は湿度条件下における伝送特性の評価をするために作製した2種類の伝送線路の構成について示している。マイクロストリップ線路は特性インピーダンスが50Ωとなるように、差動伝送線路は差動インピーダンスが100Ωとなるように設計しており、また、線路の導体表面部分には導体保護用にカバーレイが付けられている。

### 2.2 測定方法と手順

上記の伝送線路の測定方法として、4ポートベクトルネットワークアナライザ(アジレントテクノロジー製E8363B+SパラメータテストセットN4420B)に基板の伝送特性測定用プローバシステム(カスケードマイクロテック製)を取り付け、それにPLTS(アジレントテクノロジー製物理層テストシステム)を用いて周波数10MHzから20GHzまでのシングルエンド及び差動のSパラメータを測定した。ここで、測定する伝送線路に異なる湿度条件を与える手順について述べる。はじめに、室内に保存してあった測定試料を乾燥した状態とするため、測定試料を120°Cの電気炉に入れて真空状態で24時間加熱し、その後、室温まで冷却し、この条件を条件Aとした。この時に測定試料を電気炉から取り出して室内に放置すると吸湿してしまうため、十分に乾燥させたシリカゲルを入れた容

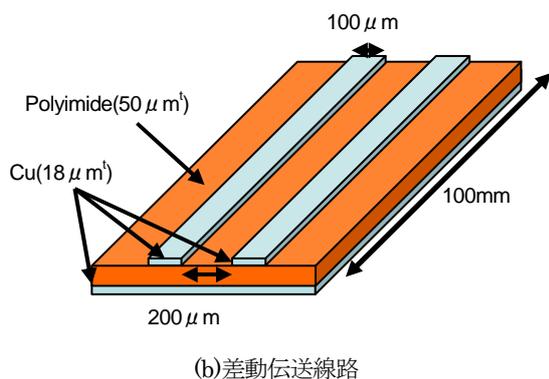
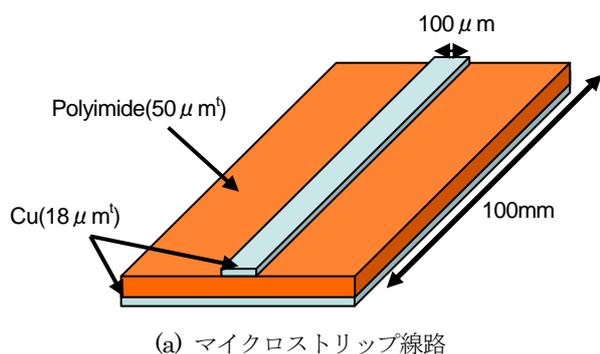
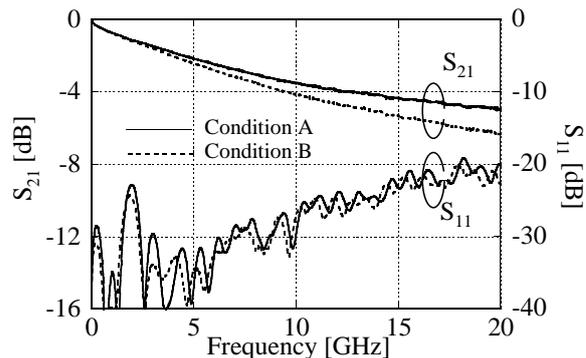


図1 伝送線路の構成

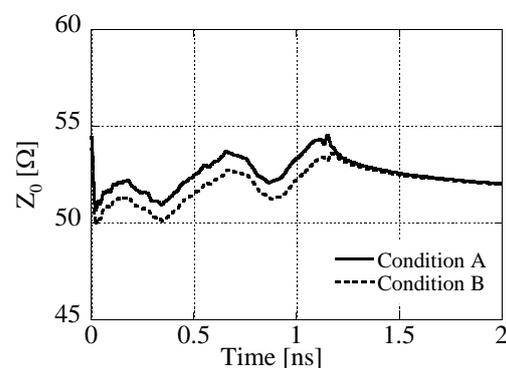
器内に保存した。次に、条件 A から湿度条件を測定試料に与えるために 25°C, 60%RH に設定した恒温恒湿槽内で 24 時間放置し、この条件を条件 B とした。これら二つの条件を測定試料に与え、各条件下の伝送特性を評価した。

### 3 測定結果

前節の複素比誘電率の測定結果を踏まえて、図2はマイクロストリップ線路の各湿度条件下での反射( $S_{11}$ )及び透過( $S_{21}$ )特性と特性インピーダンス( $Z_0$ )の測定結果を示している。反射透過特性の測定結果に着目すると、 $S_{11}$  は各条件ともに全ての周波数で-20dB 以下と小さく、条件による差は見られなかった。一方、 $S_{21}$  の条件 A と条件 B の差は 3GHz 以下で見られなかったが、3GHz 以上から見られるようになり、条件 B は条件 A に比べ 10GHz において 0.6dB、20GHz において 1.3dB の損失を示した。この  $S_{21}$  の差は  $S_{11}$  を考慮すると、反射によるのではなく伝送線路上での損失であり、複素比誘電率の変化によるものであると考えられる。さらに、特性インピーダンスの測定結果に着目すると、条件 B の特性インピーダンスは、条件 A に対し、線路上で約 1Ω 小さな値を示した。この特性インピーダンスの減少の原因は複素比誘電率の上昇によって線路の容量成分が増加したことによるものと考えられる。このようにポリイミド基板をマイクロストリップ線路として



(a) 反射透過特性



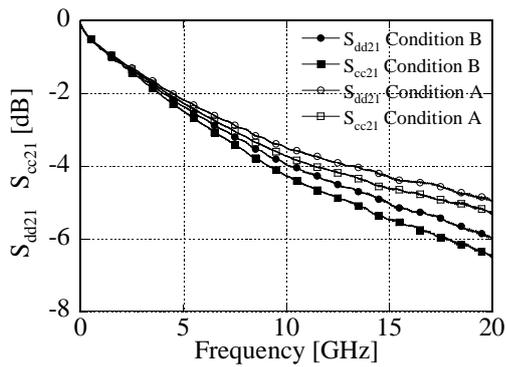
(b) 特性インピーダンス

図2 マイクロストリップ線路の湿度条件下における伝送特性

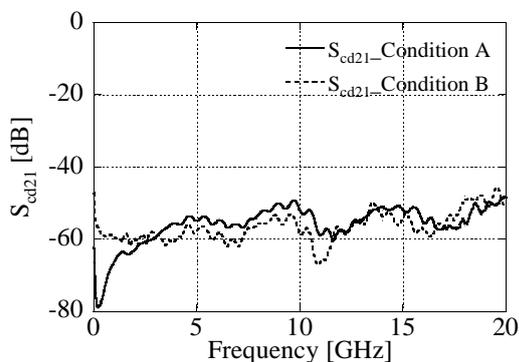
用いた場合の湿度の影響を定量的に確認できた。

次に差動伝送線路の伝送特性について述べる。通常、差動伝送線路の伝送モードには二つのモードがあり、隣接する二つの線路の電圧の位相が同相の場合は同相モード、二つの線路の電圧の位相が逆相の場合は差動モードである。通常、高速伝送線路として利用する場合は差動モードを用いている。この二つのモードの電磁界分布において、差動モードの電界は、隣り合う線路間で相互に結合するため二つの線路間に集中し、同相モードの電界はグラウンドとの間に集中する。このため基板の誘電率の変化によって受ける影響も各モードによって違いを示すと考えられる。

図3は各条件における差動伝送線路の差動モードの透過特性( $S_{dd21}$ )と同相モードの透過特性( $S_{cc21}$ )と差動モードから同相モードへの変換量( $S_{cd21}$ )の測定結果を示している。まず、 $S_{dd21}$  に着目すると、3GHz 以下で各条件による差はみられなかったが、条件 B は条件 A に比べ 10GHz において 0.5dB、20GHz において 1.0dB の損失を示した。ここで、 $S_{cc21}$  と  $S_{dd21}$  を比較すると、条件 A の差異は 20GHz において 0.3dB であったのに対し、条件 B の差異は 0.5dB であった。このことから、湿度の影響によって



(a)各モードの透過特性



(b)差動モードから同相モードへの変換量

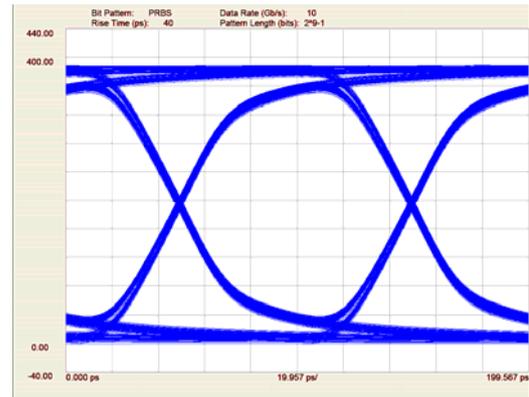
図3 差動伝送線の湿度条件下における伝送特性

各モードとも伝送損失が大きくなり、また、伝送モードによりその影響に差が現われる事が確認できた。次に  $S_{cd21}$  に着目すると、条件 A と条件 B は共に -40dB 以下と小さな値を示しており、また、差異はほとんど見られなかった。この事から、湿度によって差動線路内に線路間の不均一や雑音の原因となる同相モードを生じる事が十分に少ないものと確認できた。

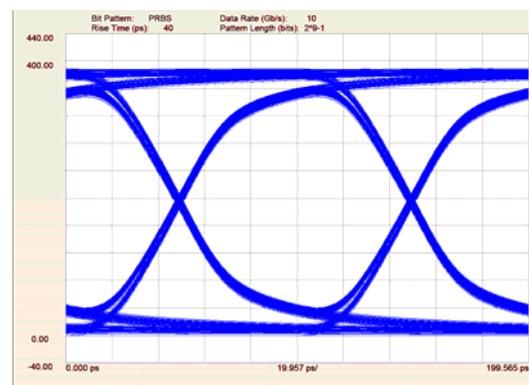
## 4 考察

これらの測定結果より、実際に伝送特性に与える湿度の影響について検討してみる。高速伝送線路として利用する場合、送信側から送った波形が、受信側でどのようになっているのか評価する必要がある。そこで、伝送減衰量や位相差など実際の波形から判断する方法として、測定した S パラメータから計算したアイパターンを解析した。

差動伝送線の差動モードの伝送特性から計算した各条件におけるアイパターンを図4に示す。このアイパターンの伝送する信号の条件は(ビットパターン;PRBS, データレート;10Gbps, 立ち上がり時間;40ps, パターン長;2<sup>9</sup>-1)とした。この条件 A と条件 B のアイパターンを比較すると、両者ともに開口部分が十分であり、各条件の波



(a)条件 A のアイパターン



(b)条件 B のアイパターン

図4 各条件におけるアイパターン

形に差はほとんどみられなかった。このことから今回作成した 100mm の伝送線路は約 10Gbps 程度の信号であれば湿度条件によらずに伝送可能であると考えられる。

以上の考察から、ポリイミドを用いた FPC は湿度による影響を受けるが、線路長や信号速度などを考慮すれば湿度の影響によらず高速伝送線路として十分に利用可能である。

## 5 まとめ

FPC 材料ポリイミドを用いて伝送線路を作製し、湿度条件下における伝送特性を評価した結果、マイクロストリップ線路の湿度条件下における透過特性( $S_{21}$ )は、乾燥条件下に比べ 20GHz において 1.3dB の損失を示した。また、差動伝送線の湿度条件下における差動モードの透過特性( $S_{dd21}$ )は、乾燥条件下に比べ 20GHz において約 1.0dB の損失を示した。これらの測定結果を用いて高速伝送線路として利用した場合について検討し、その影響についてアイパターンを用いて解析した結果、線路長や信号速度などを考慮すれば湿度の影響によらず高速伝送線路として十分に利用可能であることを確認した。

今後は湿度以外の外部環境の影響について、複素比誘電

率及び伝送特性を検討する予定である.

## 文献

- 1) 山田幹也 ; “フレキシブルプリント基板(FPC)の業界動向と将来の展望,” 実装技術ガイドブック 2008, 工業調査会, pp.16-22, (2008).
- 2) K. Fukunaga, S. Kurahashi ; “Influence of water absorption on high frequency characteristics of insulation layers of printed circuit boards,” IEEJ Trans. Electrical and Electronic Engineering, 2, 596, (2007).
- 3) 土屋, 菅間, 櫻井, 日高, 橋本 ; “マイクロ波帯におけるフレキシブルプリント基板材料の湿度条件下における複素誘電率とその伝送特性”, 信学会論文誌 C, J93-C, 189 (2010).

# Evaluation of Transmission Characteristics on Relative Humidity for Flexible Printed Circuit Board in Microwave Band

Akihisa TSUCHIYA Hideaki SUGAMA Masami SAKURAI Naomi HIDAHA  
and Osamu HASHIMOTO

We evaluated transmission characteristics of microstrip line and coupled microstrip line fabricated with Polyimide films in relative humidity and drying condition at the frequency range from 10MHz to 20GHz . As a result, transmission loss of microstrip line in 25°C and 60%RH increased by 1.3dB at 20GHz compared to drying condition. On the other hand, transmission loss of coupled microstrip line in 25°C and 60%RH increased by 1.0dB at 20GHz compared to drying condition . We will discuss influence of relative humidity on transmission loss of microstrip line.