低損失シート材料における垂直電界を考慮した 複素誘電率測定法の研究

学位論文内容の要旨

アンテナ、フィルタ、伝送線路にはプリント基板が使われるが、精度が高く複雑な設計が必要となり、シミュレータを用いるようになった。それに伴い、シミュレーションに使用する比誘電率および誘電正接の測定に対しても、より正確なデータが求められるようになってきた。

特に、異方性のあるプリント基板を使用する際に、問題が生じている。例えば、使用する方向ではない方向の比誘電率および誘電正接しか測定できない場合、シミュレーションして製作したアンテナ等の特性が大幅にずれてしまう。

プリント基板の面方向の比誘電率および誘電正接の実際的な測定法については、世界中で研究開発が行われてきたが、プリント基板の面に垂直方向の比誘電率および誘電正接を正確に測定する技術は確立されていない。

本論文はこれらの研究課題に取り組んだものである。プリント基板における測定の重要点は、如何に小さい誘電正接を測定できるかにある。誘電正接が 10^{-4} まで測定できれば、実用的な要求はほぼ満たす。比誘電率の測定精度: $\pm 2\%$ 、誘電正接の測定精度: $\pm 4\%$ 、そして誘電正接の最小測定値: 10^{-4} を目標とした。なお、測定範囲は 1MHz-200MHz, 800MHz-14GHz, 18GHz-110GHz を目標とした。

以下、各章の概要を述べる。

第1章は序論であり、研究の背景および比誘電率、誘電正接測定の必要性と現在求められている課題を挙げ、本論文の位置づけおよび構成について述べる。

第2章では、シート材料に対し垂直電界方向の複素誘電率測定の原理、測定法の概観および誘電率発生メカニズムについて述べる。

第3章では、1MHz から 200MHz の範囲においては、共振器を液体窒素に浸漬して、コイルの導体損を減少させた理論を確立し、その後測定装置を製作し、実験を行う。そして

理論値と実験値を比較検討する。

第4章では、800MHz から 14GHz の範囲においては、ストリップライン共振器を用いる。この場合、誘電体層が2層で、各々が異なる比誘電率と誘電正接の場合のシミュレーションを行うことによって、試料の比誘電率と誘電正接を求めた。この方法を用いると試料にストリップラインパターンを製作しなくても良いという大きな利点がある。加えて、0.1mm 厚の薄い試料も測定できた。

第5章では、第4章に続いて、ストリップラインではなく、マイクロストリップライン共振器を用いた場合について述べる。

第6章では、シート材料に対し、平行電界方向の比誘電率、誘電正接の測定法として、摂動方式空洞共振器法の原理と測定例を示した。そして、今まで述べてきた、基板面に垂直方向の比誘電率および誘電正接との比較を行い、次章で述べるミリ波領域での基板面に垂直方向の比誘電率および誘電正接算出に必要な係数を示す。

第7章および第8章では、18GHz から 110GHz の範囲においては、開放タイプのファブリペロー共振器を用いた。なお、この場合、比誘電率と誘電正接はシートの面に平行な方向になる。この測定値の精度は非常に高い。この値を垂直方向に変換する。変換値には、800MHz-14GHz の場合の平行と垂直の値の比を用い良い結果を得た。

第9章では、シート材料に対して平行磁界方向の高周波磁性材料測定法を加えた。この測定法を加えることにより、シートの垂直方向に電界、平行方向に磁界のある試料、例えばマイクロストリップラインやストリップラインを誘電の磁性シートに形成し、新しい伝送路、アンテナおよび機能部品の開発に寄与できる。

第10章は、本論文の結果であり、本研究で得られた成果をまとめた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 野 島 俊 雄
副 査 教 授 宮 永 喜 一
副 査 教 授 小 柴 正 則
副 査 教 授 小 川 恭 孝
副 査 准教授 山 本 学

学 位 論 文 題 名

低損失シート材料における垂直電界を考慮した 複素誘電率測定法の研究

アンテナ、フィルタ、伝送線路等の多くはプリント基板で製作されており、精度が高く複雑な設計が必要であることから数値シミュレータを用いるようになった。それに伴い、シミュレーションに必要な基板材料の比誘電率および誘電正接の測定に対しても、より正確なデータが求められるようになってきている。これまで、基板の面方向の比誘電率および誘電正接の実際的な測定法について多くの研究開発が行われているが、基板の面に垂直方向の比誘電率および誘電正接を正確に測定する技術は確立されていない。

本論文は、測定周波数範囲を 1MHz-200MHz, 800MHz-14GHz, 18GHz-110GHz とし、比誘電率の測定精度:± 2%、誘電正接の測定精度:± 4%、そして誘電正接の最小測定値: 10^{-4} 実現を目標とした高精度複素誘電率測定法について検討している。

第 1 章は序論であり、研究の背景および比誘電率、誘電正接測定の必要性と現在求められている課題を挙げ、本論文の位置づけおよび構成について述べている。

第 2 章では、シート材料に対し垂直電界方向の複素誘電率測定の原理、測定法の概観および誘電率発生メカニズムについて述べている。

第 3 章では、測定対象周波数 1MHz から 200MHz の範囲において、共振器を液体窒素に浸漬しコイルの導体損を減少させた理論を確立した上で、測定装置を製作し、実験を行っている。さらに、理論値と実験値を比較し検討している。

第 4 章では、測定対象周波数を 800MHz から 14GHz の範囲とし、ストリップライン共振器を用いた測定法について検討している。誘電体層が 2 層、各層が異なる比誘電率と誘電正接を有する場合について、シミュレーションにより試料の比誘電率と誘電正接を求めている。ここで提案さ

れた方法は、試料上のストリップラインパターンが不要であるという利点があり、さらに、0.1mm 厚の試料も測定可能であることを示している。

第 5 章では、マイクロストリップライン共振器を用いた場合について、第 4 章と同様の検討を行っている。

第 6 章では、シート材料に対し平行電界方向の比誘電率、誘電正接の測定法として、撮動方式空洞共振器法の原理と測定例を示している。さらに、基板面に垂直方向の比誘電率および誘電正接との比較を行い、次章で述べるミリ波領域での基板面に垂直方向の比誘電率および誘電正接算出に必要な係数を明らかにしている。

第 7 章および第 8 章では、測定対象周波数を 18GHz から 110GHz の範囲とし、開放タイプのファブリペロー共振器を用いた複素誘電率測定法について検討している。平行電界方向における測定結果に対し、800MHz-14GHz の測定で得られた比誘電率と誘電正接の垂直/平行比を用いることで、低損失シートに垂直な電界方向の複素誘電率測定が可能であることを明らかにしている。

第 9 章では、シート材料に対し平行磁界方向の高周波磁性材料測定法について検討している。

第 10 章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめている。

これを要するに、著者は、無線通信装置の開発に寄与する複素誘電率測定技術に関して有益な新知見を得たものであり、情報通信技術の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。