

氏 名	小 寺 敏 郎
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 246 号
学位授与の日付	平成 13 年 3 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科・専 攻	工学科学研究科 情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	フェライトを含む導波系の時間領域解析
審 査 委 員	(主査) 教 授 中 山 純 一 教 授 松 浦 基 浩 教 授 政 宗 貞 男 助教授 島 崎 仁 司

論 文 内 容 の 要 旨

磁性体であるフェライトは、透磁率テンソルが負となる周波数領域があり、また、等価透磁率が直流磁界の強さや方向で変化し、さらに、非線形性を持つ媒質であり、古くから、アイソレータ、サーキュレータ、共振器、移相器などのマイクロ波・ミリ波デバイスに応用されてきた。このようなフェライトデバイスの設計や新たな多機能フェライトデバイスの考案には、フェライト中における電磁波の伝搬解析が必要である。従来の電磁界解析法としては、線形化したフェライトの透磁率を用いて、Maxwell方程式を解析的に解き、境界条件を満たす解を周波数領域で求める手法が多く用いられてきた。

本研究では、電磁界解析の手法として近年広く用いられるようになった時間領域有限差分法 (Finite Difference Time Domain Method) を用いている。この手法は、格子分割した空間において Maxwell 方程式を時間の差分方程式として数値的に解くものである。申請者は、Maxwell 方程式を空間および時間領域で差分化するとともに、ジャイロ磁気特性を表す磁気モーメントの歳差運動方程式 (Bloch の式) を空間および時間領域で差分化し、これらを連立して数値的に解く方法を考案した。従来の手法では不可能であった、デバイスの具体的形状や直流磁界の空間分布、フェライトの非線形性を含んだ解析ができることを明らかにし、フェライトを含む導波系の静磁波モードを含めた非線形電磁波伝搬解析に初めて成功した。

本論文は、5 章から成り立っている。第 1 章は序論であり、フェライトを用いたマイクロ波デバイスに関する従来の解析法とその問題点を整理している。次に、本論文が提案する時間領域有限差分法を用いれば、従来の解析上の問題点が解決できることを指摘している。また、本論文の構成について述べている。

第 2 章では、1 次元フェライト線路に対して時間領域解析を行い、高い入力電力時におけるフェライトの非線形性やフェライト磁気損失の影響が右円偏波成分に強く現れることなどを明らかにしている。

第 3 章では、解析を 2 次元のスラブ導波路に拡張し、静磁波伝搬 (静磁後退体積波) の時間領域解析を行っている。スラブ導波路の通過特性を明らかにし、また、入力パルス電力が増大すると、出力パルス幅が狭くなり尖頭値が増大するなどの興味深い結果を導いている。

第 4 章では、3 種の静磁波デバイスに関して解析を行っている。第 1 に不均一直流バイアス磁界の静磁波伝搬特性への影響について解析している。デバイスの具体的形状、詳細な磁界分布関数を考慮に入れた解析の結果、直流バイアス磁界の空間分布によって遅延特性ならびに周波数特性の改善が図られることを明らかにしている。第 2 にパラメトリック増幅の時間領域解析を行っている。フェライトを用いたパラメトリック増幅は 1950 年代から研究がなされていたが、近年、静磁波ソリトンの伝搬に伴う磁気材料の損失による減衰の補償や位相共役波の生成などが再び注目を浴びている。本研究で開発した手法を用いて解析し、励振および受信アンテナの位置によって利得特性を改善できることを明らかにし、さらに磁気損失

による波動の減衰に対する補償をパラメトリック増幅によって行えることを示している。第3に新しい動作原理に基づく静磁波ミキサの解析を行っている。静磁波を用いた信号のミキシングはフェライトの非線形現象の一つであり、線形動作を前提とする従来の手法では解析困難であった。本研究では数値解析をおこなうとともに、実際にデバイスを試作しマイクロ波帯で実験を行ってその特性を明らかにしている。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

マイクロ波フェライトデバイスに関する従来の解析的研究は、周波数領域での線形解析が主流であり、またデバイスの形状も単純なものに限定されていた。これに対し、本論文では、電磁波のマクスウェル方程式と磁気モーメントの運動方程式（Blochの式）を時間領域有限差分法を用いて数値的に解く解析法を提案している。この解析法の利点は、フェライト媒質の非線形性を考慮した定式化が可能で、また、各種の直流磁界分布や種々の形状をもつフェライトデバイスが解析できることである。申請者はこの方法を、1次元フェライト線路における電磁波の非線形伝搬、2次元スラブ導波路における静磁波の非線形伝搬、不均一直流バイアス磁界の静磁波伝搬特性への影響、パラメトリック増幅の時間領域解析、非線形静磁波ミキサの解析などに適用して多くの有用な知見を得ている。これらの研究は、以下の学術論文として公表されている。

- [1] Hitoshi Shimasaki, Toshiro Kodera, and Makoto Tsutsumi, "Analysis on Nonlinear Characteristics of Electromagnetic Waves in a Ferrite Waveguide by FDTD Method," IEICE Trans. Electron., vol.E81-C, No.12, pp.1831-1837, Dec. 1998.
- [2] Toshiro Kodera, Hitoshi Shimasaki, and Makoto Tsutsumi "An Analysis on Magnetostatic Waves by FDTD Method," IEICE Trans. Electron., vol.E83-C, No.5, pp.713-719, May 2000.
- [3] Toshiro Kodera, Hitoshi Shimasaki, and Makoto Tsutsumi, "An Analysis on the Mixer Characteristics of Magnetostatic Waves by Finite Difference Time Domain Method", Proc. of Intl. Conf. on Ferrite, pp.885-887, Mar. 2001.