

氏 名	ポロフニユク アンド烈イ POROKHNYUK ANDREY
学位(専攻分野)	博士 (工学)
学位記番号	博甲第 696 号
学位授与の日付	平成 26 年 3 月 25 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	工芸科学研究科 設計工学専攻
学位論文題目	Design of Phase-Nonreciprocal CRLH Metamaterials for Antenna Applications (アンテナ応用のための非相反 C R L H メタマテリアルの設計)
審査委員	(主査)教授 門 勇一 教授 裏 升吾 教授 政宗貞男 准教授 上田哲也

論文内容の要旨

本論文は伝送線路型の非相反メタマテリアルの特性解明とアンテナ応用に関する研究成果をまとめたものであり 5 章からなっている。

第 1 章はメタマテリアルで発現する電磁現象を解説すると共に、この分野におけるこれまでの研究の概要を述べて、本論文の占める位置を明らかにした。

第 2 章は伝送線路型の非相反メタマテリアルでは、同一周波数で一方の伝搬方向に対しては正屈折率を、逆方向伝搬に対しては負屈折率を示している。この現象を応用することにより、指向性ビーム走査漏れ波アンテナにおいて、利得および指向性の改善や、新しいタイプの伝送線路共振器の一つとして、共振周波数を固定したまま共振器サイズと電磁界分布の位相勾配を自由に変えることのできる擬似進行波共振器の構成が可能であることを述べた。

第 3 章は従来の漏れ波アンテナの基本的な問題の一つとして、ビームスクイントの問題があることを指摘した。ビームスクイントとは、放射方向が周波数に依存して変化してしまうことを意味し、速波領域で動作する従来の漏れ波アンテナ技術では解決できない問題であった。一方、非相反メタマテリアルからなる擬似進行波共振型アンテナにおいては、線路のもつ非相反移相特性が動作周波数付近において、近似的に周波数に比例するよう設計することにより、ビームスクイントが大幅に低減することが可能となることを示した。

更に、擬似進行波共振型アンテナを構成する非相反移相メタマテリアルにおいて、非相反移相量の周波数分散を最適に設計するために、ダブルスタブ構造の採用を提案した。解析方法としては、メタマテリアルを構成する単位セルを微小領域に分割し、各領域のモード解析と伝送線路モデルを組み合わせることにより、全体構造に対する伝搬モードおよび非相反移相量の定式化を行っている。その結果、線路の両側に挿入された 2 種類のスタブの長さの組み合わせを最適に設計することにより、擬似進行波共振アンテナの動作周波数付近において、非相反移相量が近似的に周波数に比例するよう設定することが可能であることを数値計算および測定結果から確認した。

第 4 章は擬似進行波共振器の電磁界分布が、一様振幅で、位相勾配を持っている特徴を応用することにより、回転方向の切り替えが可能な円偏波アンテナの構成法を提案し、数値計算により、

動作することを示した。

第5章ではマイクロストリップ線路からなる従来の非相反移相メタマテリアルにおいては、非相反移相量の値が十分大きくならず、例えばビーム走査アンテナへの応用の際には、ビーム走査角がそれにより制限される問題があることを指摘した。この問題を解決する手段としてコプレーナ線路構造の採用を提案し、非相反移相量の大幅な増大が可能なことを示した。その結果、従来のマイクロストリップ線路からなる非相反移相メタマテリアルの場合に比べて、非相反移相量が数倍程度改善していることを数値計算により明らかにした。

論文審査の結果の要旨

本論文は伝送線路型の非相反メタマテリアルの特性に関する理論的ならびに実験的研究結果とアンテナ応用に関する研究結果をまとめたものであり、その成果は要約すると以下の通りである。

すなわち伝送線路型の非相反メタマテリアルにおいて非相反性発現のメカニズムを理論的に解析して定式化した。これにより利得および指向性に優れた新しいタイプの指向性ビーム走査漏れ波アンテナとして擬似進行波共振器を提案し、共振周波数を固定したまま共振器サイズと電磁界分布の位相勾配を自由に変えることが可能であることを示した。次に、従来の漏れ波アンテナの基本的な問題の一つであるビームスクイントについて、線路のもつ非相反移相特性が動作周波数付近において、近似的に周波数に比例するよう設計することにより、ビームスクイントが大幅に低減する可能性を示した。更に、全体構造に対する伝搬モードおよび非相反移相量の定式化を行い、非相反移相量の周波数分散を最適に設計するために有用なダブルスタブ構造を提案している。加えて、アンテナへの応用研究の成果としては回転方向の切り替えが可能な円偏波アンテナ構成と非相反移相量の大幅増大が期待できるコプレーナ線路型のビーム走査アンテナ構造を提案しており、その先駆的研究は高く評価できる。

本論文は、レフェリー制度の確立した以下の4編の学術論文を基礎としている。

- 1) Andrey Porokhnyuk, Tetsuya Ueda, Yuichi Kado, Tatsuo Itoh,
“Mode Analysis of Phase-Constant Nonreciprocity in Ferrite-Embedded CRLH Metamaterials”
IEICE Transactions on Electronics, Vol.E96-C, No.10, pp. 1263-1272, 2013.
- 2) Andrey Porokhnyuk, Tetsuya Ueda, Yuichi Kado, Tatsuo Itoh,
“Mode Analysis of Nonreciprocal Metamaterials Using a Combination of Field Theory and Transmission Line Model”
2012 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2012) Digest, WE4J-5, pp. 1-3, 2012.
- 3) Andrey Porokhnyuk, Tetsuya Ueda, Yuichi Kado, Tatsuo Itoh,
“Design of Nonreciprocal CRLH Metamaterial for Non-squinting Leaky-Wave Antenna”
2013 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2013) Digest, TH1H-1, pp. 1-3, 2013.
- 4) Andrey Porokhnyuk, Tetsuya Ueda, Yuichi Kado, Tatsuo Itoh
“Phase-Constant-Nonreciprocal CRLH Metamaterials Based on Coplanar Waveguides”

To be published in Journal of Applied Physics, May 2014.

以上から、本論文の内容は十分新規性と独創性、さらには工学的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。