

博士論文内容の要旨

専攻名 先端工学専攻

氏名 伊丹 豪

1. 論文題目

Study on electromagnetic-wave control in conductive periodic structures and its applications for devices

2. 論文要旨 (和文 2,000 文字程度)

本論文は、電磁界理論とその応用コンセプトであるメタマテリアル設計に基づいた、次世代の通信・デバイスに資する応用技術に関する論文である。

まず、第 1 章で、研究の背景について説明している。広義のメタマテリアルである擬似表面プラズモン生成構造や周波数選択板は、その電磁的性質を人工的な媒質パラメータで制御できる特徴を持つが、その制御性は学術的価値な価値はあり応用可能性は示されつつも技術として具体化されていないのが現状である。本研究では、これらの周期構造の制御性に関する理論的考察と応用技術としての具体的な検証内容を記述している。

全体の概要として、周期構造の境界的作用と媒質的作用の制御条件に関する理論的考察を行い、そこから得られた表面波伝搬(SSPP)、インピーダンス表面(FSS)、人工媒質の知見をもとに、ミリ波・テラヘルツデバイス応用と無線通信環境制御に資するマイクロ波帯応用技術の実現可能性について報告する。

第 2 章の、周期構造の境界的作用と媒質的作用の制御条件に関する理論的考察では、SSPP・FSS で代表的に用いられている開口構造(MHA)とその逆構造(MPA)を用いて、構造の厚みとそれに対応する現象変化の関係性について議論する。境界面として作用する場合、その電磁的特性が電界と磁界の双対性よりバビネの定理に従うことが知られている。一方で、媒質としてみた場合構造表面上に SSPP が生成することがわかっているため、構造が厚さ変化によって、境界面から媒質と変化するとき、バビネの定理が崩れる瞬間が訪れるはずである。まず MHA と MPA における SSPP 生成理論について説明しバビネの定理の破れ

について理論的に議論し、構造の厚みを変化させたときの両構造のもつ周波数特性の変化について数値解析と実験によって確認した結果を報告する。

第 3 章では、ミリ波・テラヘルツデバイス応用の一つ目として、高周波伝送路からの染み出し抑制を目的とした SSPP 伝送路設計時の表皮深さ(skin depth)の理論的な予測モデルとその実験的な検証を行った。その結果、予測値と実験値の良好な一致が得られた。

第 4 章では、応用技術の二つ目として、上記周波数帯の SSPP 生成構造の動的制御による簡易生体診断手法を提案し、その実現可能性について実験的に検証した。具体的にはまず近傍電界による SSPP の動的制御を用いた診断メカニズムの妥当性を検証したのちに、本診断手法を用いた生体を含む種々のサンプルの二次元イメージング実験を行った。その結果、近傍電界による SSPP の動的制御によって局所的な誘電応答が得られることを確認し、導体、誘電体、生体擬似材料、生体(がん細胞を含むラットの肺)の誘電率分布が実験的に得られ、生体診断手法としての実現可能性が示された。

以降の章では、無線通信環境に資する電磁界制御技術として、広帯域・小型到来方向推定装置(DOA 装置)と簡易設計可能な周波数適応空間フィルタ(適応 FSS)を設計・作製した結果について報告する。

第 5 章の DOA 装置では、周期構造媒質を用いて無線通信の主要周波数帯である 2-6 GHz 帯を対象としたサブ波長散乱パターン形成空間を設計し、散乱パターンを用いて、到来波の周波数・到来角情報の抽出可能性について数値解析と実験によって検証した。その結果、上記空間内で定在波が生じることを確認し、この散乱パターンが周波数・到来角に応じて変化しその挙動は数値解析と実験で同様の傾向を示すことを確認した。

第 6 章の適応 FSS では、外部電源を用いず 1 セットの設計モデルで任意の動作周波数に適応可能な 3 層型の FSS を設計・作製した。層同士の重ね合わせ状態を特定の方向にずらすことで層間で形成される電気容量を変化させて動作周波数帯を変化させることができる。本原理の妥当性を等価回路・数値解析・実験によって検証した。その結果、等価回路モデルの妥当性を確認し解析結果と実験結果が良好な一致を示すことがわかった。

第 7 章では上記を踏まえた本論文の結論を述べる。