

(続紙 1)

京都大学	博士（情報学）	氏名	田村 昌也
論文題目	Research on a compact and high-performance filter for wireless LAN and suitable sensor structure for downsizing of measurement equipment based on control of electromagnetic waves （電磁波制御技術を用いた小型で高性能な無線LAN用フィルタ、及び測定装置の小型化に適したセンサ構造に関する研究）		
(論文内容の要旨)			
本論文は、電磁波制御技術を利用したWireless LAN (WLAN) 用フィルタ及びバイオセンサに関する研究結果をまとめたものである。本論文の目的は2つある。1つは、通信品質を劣化させることなくスマートフォンやタブレットなどの携帯機器の小型・薄型化を実現することで、もう1つは、自宅や病院にて容易に定量的な診断を実現することである。本論文では、前者を実現するために、メタマテリアルを利用した共振器とそれを用いたフィルタの設計方法を明らかにし、WLAN用フィルタの小型・低背化を論じている。後者に関しては、プラズモンを励起する新構造の動作原理を明らかにし、装置の小型化に適したバイオセンサへの適用可能性について論じている。 第1章は序論であり、研究の背景、バンドパスフィルタ及びバイオセンサに関する従来の研究の概要を述べている。そして、その中から課題を明確化し、本研究の内容を示すことで本研究の位置づけを明らかにしている。 第2章では、従来の設計手法、いわゆる右手系の原理を利用した小型共振器を有する平衡－不平衡フィルタについて述べている。WLANに用いられる平衡－不平衡フィルタは、バンドフィルタとバランで構成されるため、フィルタのサイズと挿入損失はそれらの和となる。これらを改善するため、SIR (Stepped Impedance Resonator)とSRR (Split Ring Resonator)の効果を持つ小型共振器を提案している。まずこの共振器の動作原理を示し、設計方法を明らかにしている。そして、この共振器を用いて平衡不平衡フィルタを設計・試作し、従来の平衡－不平衡フィルタと比較を行っている。 第3章では、メタマテリアルの表現方法の一つであるCRLH-TL (Composite Right/Left-Handed Transmission Line)の概念を利用した共振器と、それを使ったフィルタの設計手法について述べている。これまでに提案されてきたメタマテリアルフィルタは非常にサイズが大きい。そこで、これらの課題を解決するため、-1次モードで動作する1/4波長CRLH-TL共振器を提案している。まず、この共振器の動作原理をシミュレーションと実験結果によって示している。そして、この結果を元に従来の共振器と比較を行う。次にこの共振器を使ったフィルタの設計方法を明らかにしている。最後に、バンドパスフィルタを試作し、フィルタ特性を示している。 第4章では、第3章で提案した1/4波長CRLH-TL共振器を用いた平衡－不平衡フィルタについて述べている。この章では、2つのフィルタ設計手法を明らかにしている。1つは、第2章で述べた共振器の原理をこのメタマテリアル共振器にも適用する設計手法であり、もう一つは、1/4波長CRLH-TL共振器間の容量結合と誘導結合を利用した設計手法である。それぞれフィルタ設計方法を明らかにした後、WLANに用いられる平衡－不平衡フィルタを設計・試作し、従来の平衡－不平衡フィルタとの比較を行っている。 第5章では、プラズモン現象を利用した新しいバイオセンサの構造について述べている。表面プラズモン共鳴を励起する構造の一つとして、MIM (Metal-Insulator-Metal) 構造がある。しかしながら、その動作原理はこれまで明らかにされてい			

い。そこで、金属と入射光の関係からMIMのこの動作原理を明らかにし、光フィルタ理論を使ってMIM構造を設計できることを示している。続いて、絶縁体層に試液を注入してその濃度と共鳴波長の関係を比較し、センサとして動作することを示している。

第6章は結論であり、本研究によって得られた成果をまとめるとともに、今後の展開を述べて総括としている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、電磁波制御技術を利用したWireless LAN (WLAN) 用フィルタ及びバイオセンサに関する研究をまとめたものである。得られた主要な研究成果は次の通りである。

(1) 従来の設計手法である右手系の原理を利用した小型共振器を有する平衡－不平衡フィルタの挿入損失について検討し、これを改善するため、SIR (Stepped Impedance Resonator) とSRR (Split Ring Resonator) の効果を持つ小型共振器を提案した。その動作原理を解明し、設計方法を明らかにすると共に、この共振器を用いて平衡不平衡フィルタを設計・試作し、従来の平衡－不平衡フィルタと比較を行って提案手法の有効性を立証した。

(2) メタマテリアルの表現方法の一つであるCRLH-TL (Composite Right/Left-Handed Transmission Line) の概念を利用した共振器と、それを使ったフィルタの設計手法について検討し、従来の提案の主な制約であった大きなサイズの問題を解決するため、 -1 次モードで動作する $1/4$ 波長CRLH-TL共振器を提案した。まず、この共振器の動作原理をシミュレーションと実験結果によって示し、その結果を元に従来の共振器と比較を行った。次にこの共振器を使ったフィルタの設計方法を明らかにし、バンドパスフィルタを試作して、良好なフィルタ特性を保ちつつ小型化を達成した。

(3) 前項で提案した $1/4$ 波長CRLH-TL共振器を用いた平衡－不平衡フィルタについて、2つのフィルタ設計手法を開発した。1つは、第1項で述べた共振器の原理をこのメタマテリアル共振器にも適用する設計手法であり、もう一つは、 $1/4$ 波長CRLH-TL共振器間の容量結合と誘導結合を利用した設計手法である。それぞれのフィルタ設計方法を用いてWLANに用いられる平衡－不平衡フィルタを設計・試作し、従来の平衡－不平衡フィルタより優れた性能を実現できることを実証した。

(4) プラズモン現象を利用した新しいバイオセンサの構造を提唱した。表面プラズモン共鳴を励起する構造の一つとして、MIM (Metal-Insulator-Metal) 構造があるが、その動作原理はこれまで明らかにされていなかった。金属と入射光の関係からMIMのこの動作原理を明らかにし、光フィルタ理論を使ってMIM構造を設計できることを示した。さらに、絶縁体層に試液を注入してその濃度と共鳴波長の関係を比較し、センサとして動作することを立証した。

以上要するに本論文は、電磁波制御技術をWireless LAN (WLAN) 用フィルタ及びバイオセンサの設計に適用し、これらの小型・薄型化や簡易な製品化を可能とする技術を開発するとともに、その有用性ならびに優れた特性を明らかにしたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年7月31日に実施した論文内容とそれに関連した口頭試問の結果合格と認めた。