

論文審査の結果の要旨

氏名：河村 尚志

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：ミリ波帯チューナブルフィルタの高機能化に関する研究

審査委員：（主査） 教授 大谷 昭仁

（副査） 教授 作田 幸憲 教授 三枝 健二

産業のイノベーションを引き起こすためには最先端の計測技術が不可欠とされているが、これまでミリ波帯の計測技術に関しては確立されていない状況にあった。これはこの周波数帯の応用例が少なかったことや高速なデバイスの実現が難しく測定要求そのものが少なかったことなどが理由である。

しかしながら、近年の通信への大容量化要求やデバイス作製技術の向上により、第5世代モバイル通信では、20GHz から 60GHz のミリ波帯の使用が検討されるとともに、通信以外でも、79GHz を用いた自動車用高分解レーダや 100GHz 超 TV 伝送システムなどが検討され始め、ミリ波帯のスペクトラムを正確に測定するスペクトラムアナライザを確立して欲しいという要求が急激に高まってきていた。

一般に、スペクトラムアナライザの実現には、測定器内で生じるスプリアスや折り返し等を分離するため、プリセクタとして動作するチューナブルフィルタが必要となる。これまで、チューナブルフィルタとしては、YIG Tuned Filter（以下、YTF と記す）が主に用いられてきたが、YTF の場合、消費電力が周波数に比例して大きくなることや、周波数同調範囲が狭いという課題があり、ミリ波帯のスペクトラムアナライザに応用することはできないことが知られていた。このため、これらの課題を解決する新しいプリセクタ構造の考案が必要であり、何らかのブレイクスルーが必要とされてきた。

そこで、申請者はこれらの課題を解決するために、光技術をミリ波帯に持ち込むことを検討し、①導波管内にファブリペロー共振器を構成した Fabry-Perot resonator inside Waveguide（以下、FPW と記す）フィルタを提案し、本構成により広帯域な周波数チューニングが可能なフィルタがミリ波帯において実現できることを世界で初めて示すと同時に、シリコンミラーを用いた FPW フィルタの実現方法についても同時に検討を行い、その実現性について実証した。次に、②原理確認で課題となったシリコンミラーの損失を改善するための技術として全金属ミラーを用いた低損失化技術の研究を行い、目標とする帯域内で、シリコンミラーでの FPW フィルタの損失が 15dB であったのに対し、5dB 程度まで改善可能であることを示した。さらに、③FPW フィルタの周波数チューニング範囲の拡大を目指し、導波管にダブルリッジ構造を導入するとともに、チョーク構造の適正化技術の研究を行い、可変周波数範囲で比帯域 32% が実現できることを示した。最後に、④FPW フィルタのさらなる高周波化を目指し、300GHz 帯での実現性について検討し、比帯域 20% 程度の FPW フィルタが実現可能であるとの知見を示した。

本論文は、その成果をまとめたものであり、序論から結論までの 6 章からなる。以下、論文の章立てに沿って、研究の意義や審査判断の内容を報告し、論文審査の結果の要旨とする。

第 1 章では、近年の移動通信トラフィックの推移を示すと同時に、次世代無線通信システムの大容量化には、ミリ波帯周波数の利用が不可欠であることを述べている。このような社会的背景の下でミリ波帯の無線システムの実現には、正確なスペクトルを測定可能なスペクトラムアナライザの実現が必須であり、その実現には、プリセクタとして機能する新しいチューナブルフィルタ構造の考案が必要であることと、何らかのブレイクスルーが必要となることを示し、本研究の目的と意義、波及効果を明確にしている。

第 2 章では、光技術をミリ波帯に持ち込んだ新しい構造の FPW フィルタを提案し、シリコンミラーを用いた FPW フィルタの試作評価結果を示し、その実現性を世界で初めて明らかにしている。また、本提案 FPW フィルタの有用性やその特徴についても述べている。この論文で提案されたミリ波帯フィルタ構造は極めて独創性、新規性の高いものと判断される。

第3章では、第2章で試作したシリコンミラーを用いたFPWフィルタの損失を改善するための検討を行っている。ミラーを全金属化したFPWフィルタ構造を提案しているが、その検討にあたり、金属材料のシミュレーションに適用すべき定数を、別に用意した固定フィルタから実験的に求め、次にその定数を実際のFPWフィルタのシミュレーションに適用することにより、計算結果の精度を高め、実際に試作を行わなくてもシミュレーションのみで特性予測が可能となるアプローチ手法を示している。このようなアプローチ手法は、材料の加工精度等の影響を受けやすいミリ波帯の定数決定には非常に有効な方法と考えられ、今後のミリ波帯コンポーネントの設計の効率化にも寄与し得る内容となっている。また、FPWフィルタに全金属ミラーを適用することで、目標とする帯域内で、損失を5dB程度まで改善可能であることを示し非常に有用性の高い知見が示されたものとする。

第4章では、周波数可変幅を導波管フルバンドに広げる方法として、FPWフィルタの可動導波管にリッジ導波管構造を用いることを提案するとともに、実際に実機による検証を行い、リッジ導波管が帯域拡大に有効な手段となることを実証している。また、同時にチョーク構造の適正化技術を検討することで、可変周波数範囲で比帯域32%が実現できることを世界で初めて示している。本章で明らかにされた知見は、今後のFPWフィルタの実用化や製造コストの低減に資する内容と認めことができ、非常に有用性が高いものと考えられる。

第5章では、シミュレータを用いた計算結果から、FPWフィルタは、300GHz帯においても実現できる可能性が示され、比帯域20%程度が得られることが示された。本章で述べられた300GHz帯FPWフィルタは、FPWフィルタの構造がどこまでの高周波数に対応できるかを指し示すものであり、全金属ミラーを用いたFPWフィルタの周波数拡張性と設計の効率化に指針を与えるものであり、有効性の高い内容と判断できる。

第6章は、研究成果をまとめ、結論として整理している。

申請者の研究において、次世代のミリ波帯通信で必要となるスペクトラム解析装置用プリセレクトアとして、第1に、光領域の技術を導入し、周波数同調機能をもつFPWを世界に先駆け提案し、実用化したことは、新規性、独創性とも極めて高いものとする。第2に、300GHz帯でのチューナブルフィルタの研究においても、その実現可能性に関する研究を進めており、1990年以降、報告例が見当たらないミリ波帯におけるチューナブルフィルタの実現性にブレークスルーを与えた研究となっている。これら申請者の研究成果は、ミリ波帯においてプリセレクトアを用いる高感度・高ダイナミックレンジなスペクトラムアナライザの実現に留まらず、信号発生器やパワーメータなどの各種測定器に応用され得るものであり、電波資源のより一層の有効利用に資することができるものである。さらに、チューナブルフィルタ単体としても、無線設備開発の初期段階や実験において有用なコンポーネントであり、更なる利活用が期待されるものである。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するために必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものとする。

以 上

平成28年10月20日