

高温超電導マイクロストリップ形フィルタの研究

Development of Microstrip High-Temperature Superconductor Filters

馬 哲旺 (理工学研究科数理電子情報部門・准教授)

Zhewang Ma (Associate Professor of School of Science and Engineering)

1 まえがき

高温超電導を用いたマイクロ波フィルタは2010年の実用化を目指している第4世代移動体通信基地局の中核装置として位置づけられ、日本を含め、世界の通信関連研究機関およびメーカは積極的に研究開発を行っている。本研究では高温超電導 (HTS) 薄膜を用いたマイクロストリップ形フィルタの多段化と高性能化を目標に、研究開発を進めた。また、誘電体基板の両面に HTS 薄膜を施す必要のあるマイクロストリップ構造と比較して、基板の片面にのみ HTS 薄膜を製膜するコプレーナ (CPW) 構造のフィルタにつき、新しい構造を持つフィルタを提案し、その設計、試作および測定評価を行った。

2 研究内容

マイクロストリップフィルタについては、スパイラル共振器を用いることにより、中心周波数 1.93GHz, 帯域幅 $\Delta f=20\text{MHz}$, リップル幅 $RW=0.01\text{dB}$ の極めて小形な帯域通過フィルタ (BPF) の設計を行った。3 段及び 6 段の CT(cascaded trisection) フィルタ、8 段及び 10 段 CQ(cascaded quadruplet) フィルタをそれぞれ設計し、所望のフィルタ特性を得た^[1]。共振器間に飛び越し結合を設けることにより、通過域の片側または両側にそれぞれ減衰極を作り、非常に急峻な周波数特性を持つ準楕円関数フィルタを実現した。

図 1 は 10 段準楕円関数フィルタの等価回路を示す。2 段目と 5 段目及び 6 段目と 9 段目の共振器間に負の符号を持つ飛び越し結合を用いることで、通過域の低域側および高域側でそれぞれ 2 つの減衰極を設ける。誘電体基板には、厚さ $t=0.5\text{mm}$ 、比誘電率 $\epsilon_r=23.4$ の LaAlO_3 を用いる。マイクロストリップスパイラル共振器を用いて構成した 10 段準楕円関数フィルタを図 2 に示す。共振器は両端開放形半波長共振器のマイクロストリップ線路を S 字形に折り曲げて出来たものである。共振器のすべてのストリップ幅を 0.1mm 、ストリップ間隔を 0.05mm とする。電磁界シミュレータ Sonnet em を用いて各共振器の線路長、共振器間の間隔および入出力部分の寸法を設計し、フィルタの周波数特性を得る。設計した 10 段準楕円関数フィルタの周波数特性を図 3 に示す。帯域外

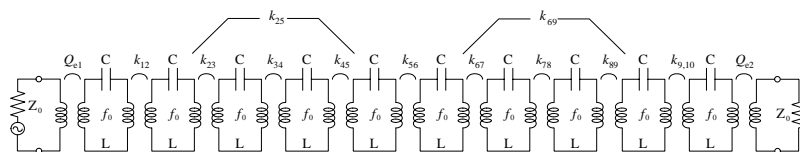


図 1 10 段準楕円関数フィルタの等価回路

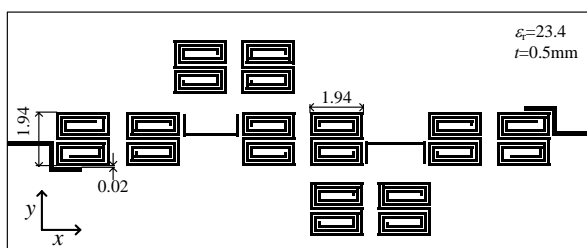


図 2 10 段準楕円関数フィルタの構造

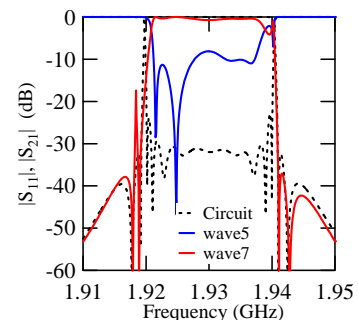


図 3 10 段準楕円関数フィルタの周波数特性

の左右にそれぞれ2つの減衰極が生じ、急峻なフィルタ特性が得られた。一方、帯域内の反射特性は大きく乱れており、今後更なる改善が必要である。

コプレーナフィルタについては、以前開発したCPW インターデジタル帯域通過フィルタに続き、CPW スパイラル共振器を用いた新しい構造を持つ高温超電導薄膜 BPF を提案し、その設計、試作および測定評価を行った^[2]。図4にCPW 1/4波長スパイラル共振器を用いた5段BPFの構造と寸法を示す。共振器は、一端を地導体に短絡することで1/4波長共振器を構成し、線路導体を内側に巻き込むことで小形化される。共振周波数5GHzとなる時の共振器の寸法は、縦・横2.11mm×1.00mm、線路幅0.1mm、スロット幅0.1mmである。フィルタの仕様は中心周波数5.0GHz、通過帯域幅160MHz、リップル0.01dBの5段チェビシェフBPFである。スパイラル共振器を用いたこのフィルタは、従来のインターデジタルBPFに比べ、面積で約1/3以下に小形化されている。図5にスパイラル共振器を用いた5段BPFの周波数特性の設計値と測定値の比較を示し、非常に良く一致した結果が達成された。通過帯域内の最小測定挿入損失は0.12dBで、最大リターンロスは14dBであり、優れた周波数特性を実現した。

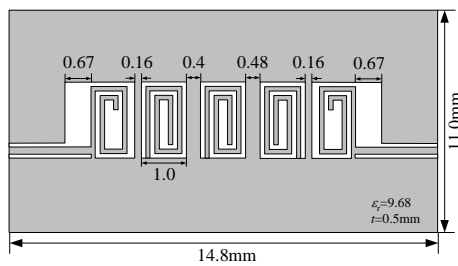
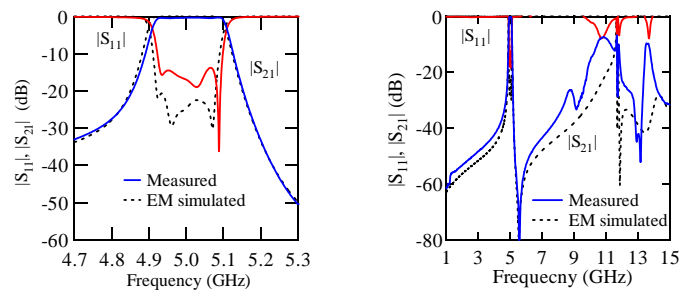


図4 CPW スパイラル共振器を用いた5段BPF



(a) 狭帯域特性

(b) 広帯域特性

図5 CPW 5段BPFの周波数特性の設計値と測定値の比較

その他、飛び越し結合を利用しない新しい有極形フィルタの設計手法について、コンポジット共振器と Stepped Impedance Resonator (SIR)を併用したフィルタ構造を提案し、フィルタ周波数特性において急峻な周波数選択性と広い阻止域を実現した^[3]。また、超広帯域 (UWB) 通信や多周波数共用フィルタに関する研究を行い、基礎的なデータと知見を得た。

3 まとめ

本プロジェクトで得た研究成果は高い評価を受けている。期間中研究論文や学術講演など合計25件を発表した。そのうち、IEEE MTT-S マイクロ波国際会議および Asia-Pacific Microwave Conference では論文6編、電子情報通信学会全国大会やマイクロ波研究専門委員会研究会では講演と報告併せて19件である。

発表論文 (一部)

- [1] 平林 伸文, 馬 哲旺, 小林 禧夫, “マイクロストリップスパイラル共振器を用いた準楕円関数フィルタの設計,” 電子情報通信学会 信学技報, vol.106, MW2006-87, pp. 69-74, 2006年9月.
- [2] Z. Ma, T. Kawaguchi, Y. Kobayashi, D. Koizumi, K. Satoh, and S. Narahashi, “A Miniaturized High Temperature Superconducting Bandpass Filter Using CPW Quarter-Wavelength Spiral Resonators,” 2006 IEEE MTT-S Int. Microwave Sym. Dig., WEPJ-5, pp. 1197-2000, June 2006.
- [3] Z. Ma and Y. Kobayashi, “Novel Design and Implementation Methods of High-Performance RF/Microwave Planar Filters Using Composite Resonators,” 2006 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, vol.3, pp. 1818-1823, Dec. 2006.