

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820126

研究課題名(和文)次世代移動体通信基地局用高性能超伝導トリバンド帯域通過フィルタの開発

研究課題名(英文)Development of high performance tri-band bandpass filter for next generation cellular base station

研究代表者

關谷 尚人 (SEKIYA, Naoto)

山梨大学・総合研究部・助教

研究者番号：80432160

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：次世代移動体通信基地局用超伝導トリバンド帯域通過フィルタ(TBPF)の開発を行った。TBPFはスタブ装荷メアンダライン共振器を用いたデュアルバンド帯域通過フィルタとステップインピーダンス共振器を用いたシングルバンド帯域通過フィルタを組み合わせ実現した。中心周波数は3.5 GHz, 4.25 GHz, 5.0 GHzとした。今回は基礎検討として4段TBPFの設計、作製、評価を行い、その発展として7段TBPFの設計を行った。フィルタの基板には超伝導体(YBa2Cu3O7)が成膜されているサファイア基板を用いた。4段DBPFの測定結果は非常に良い結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：A high-temperature superconducting (HTS) tri-band bandpass filter (TBPF) is developed for next generation cellular base station. The TBPF constructed with dual-band bandpass filter with stub-loaded meander-line resonators and single-band bandpass filter with step-impedance resonators. The center frequencies are 3.5 GHz, 4.25 GHz and 5.0 GHz. We designed and analyzed a 4-pole and 7-pole HTS TBPF. The 4-pole TBPF was fabricated using YBa2Cu3O7 thin film on r-Al2O3 substrate. The measured frequency responses of the filter match well with the simulation one.

研究分野：超伝導エレクトロニクス

キーワード：マイクロ波フィルタ 超伝導

1. 研究開始当初の背景

近年、スマートフォンやタブレットの普及により、映像などのデータ通信が爆発的に増大し、ネットワーク容量の逼迫と周波数資源の逼迫が世界的な問題となっている。これに対して、光ファイバ通信並みの高速・大容量通信と周波数の効率的利用を同時に実現可能な移動体通信基地局用 RF/マイクロ波フィルタの開発が急務となっており、さらに、そのフィルタ開発に当たっては高性能フィルタ（狭帯域、低損失、高度な周波数選択性）であることが要求されている。

高速・大容量通信を実現する一つの方法として分散した複数の周波数帯域を束ねて同時に使用するキャリアグリゲーション技術が提案されており、その要素技術としてマルチバンド帯域通過フィルタ (MBPF) の実現が求められている。

また、周波数の効率的利用を実現する方法として、超伝導体の利用が期待されている。超伝導体は一般的な金属と比較してマイクロ波帯域で表面抵抗が 2~3 桁ほど低いことから、超伝導体を MBPF に用いることで、低損失と急峻な遮断特性の両立を実現することが可能となり、周波数の有効利用が実現できる。

したがって、超伝導 MBPF の開発は高速・大容量通信及び周波数の効率的利用を同時に実現することができる唯一の方法である。

2. 研究の目的

本研究は高速・大容量通信及び周波数の効率的利用を同時に実現することができる高性能基地局用フィルタを開発するために以下のことを目的とする。

「3.5/ 4.25/ 5.0 GHz 帯を同時に通過する最高性能（狭帯域、低損失、急峻な遮断特性を有する）移動体通信基地局用超伝導 8 段トリバンド帯域通過フィルタ (TBPF) の開発。」

3. 研究の方法

提案する TBPF はデュアルバンド帯域通過フィルタ (DBPF) とシングルバンド帯域通過フィルタ (SBPF) を組み合わせて実現する。DBPF は二つの帯域を一つのデュアルバンド帯域通過フィルタで実現するため、各帯域の設計パラメータ（周波数、結合係数、外部 Q 値）を個別に設計する設計手法の開発が非常に重要である。

そこで、研究目的を達成するために以下の 2 段階に分けて研究を行った。

- (1) 4 段 DBPF と 4 段 SBPF を組み合わせた TBPF の設計、作製、評価。
- (2) 8 段 TBPF の設計

4. 研究成果

(1) 4 段 DBPF と 4 段 SBPF を組み合わせた TBPF の設計、作製、評価。

設計条件は DBPF の中心周波数を 3.5 GHz と 5.0 GHz とし、SBPF の中心周波数を 4.25 GHz とした。帯域幅はすべて比帯域幅 2% とし、帯域内リップルを 0.05 dB とした。基板にはサファイア基板 ( $\epsilon_r = 9.9$ ) を用い、超伝導薄膜には  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  を用いた。設計した TBPF の概略図を図 1 に示す。DBPF の共振器には共振周波数を独立調整できなおかつ小型なスタブ装荷型メアンダライン共振器を開発し、使用している。また、共振器間には導波路を用いて二つの帯域で個別に帯域幅を調整できる方法を開発した。SBPF の共振器にはステップインピーダンス共振器を採用した。設計した TBPF はフォトリソグラフィとイオンミリングによって作製した。

測定は冷凍機システムにフィルタを設置し、ネットワークアナライザで周波数特性を測定した。図 2 にシミュレーション及び、測定した TBPF の周波数特性を示す。図 2 より、広い帯域にわたってシミュレーションと測定結果が一致し、提案設計手法の有効性が明らかとなった。

次に、各帯域の周波数特性を図 3(a), (b), (c) に示す。各帯域ともに若干シミュレシ

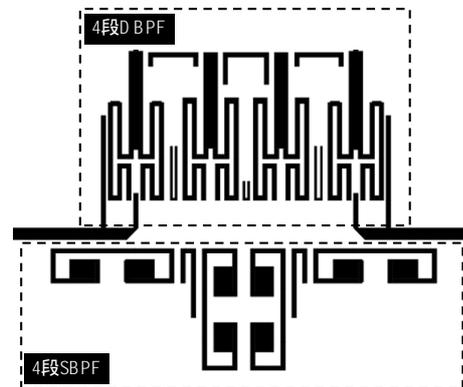


図 1 TBPF の概略図

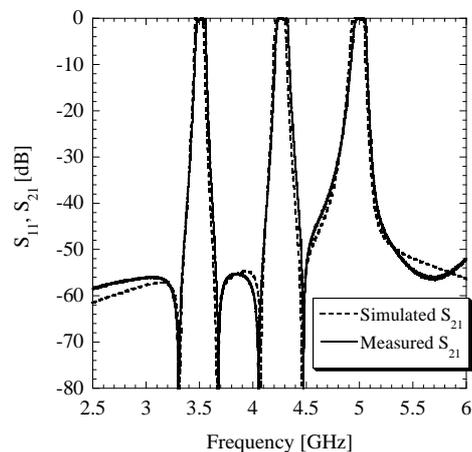


図 2 TBPF のシミュレーション及び測定の周波数特性

ンから測定がずれているのがわかる。これは基板の誘電率に異方性があり、その異方性をシミュレーションで完全に再現できないため、ずれたと考えられる。今後は異方性のない MgO 基板などを用いることでシミュレーションと測定結果が良く一致した特性が得られると考えられる。

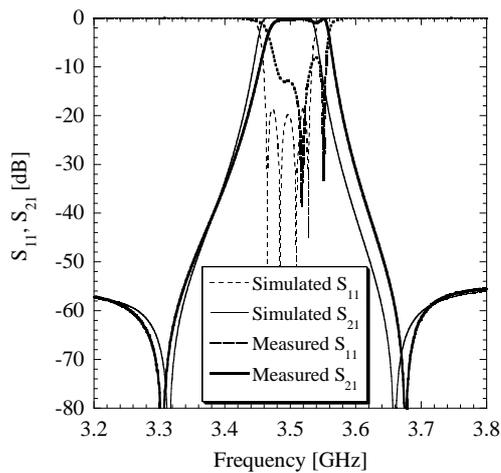


図 3(a) 3.5 GHz 帯の周波数特性

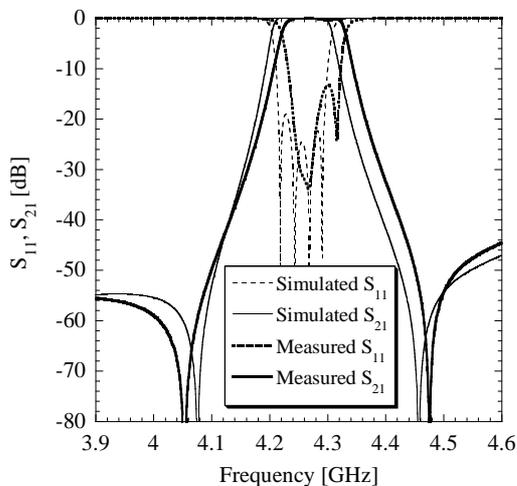


図 3(b) 4.25 GHz 帯の周波数特性

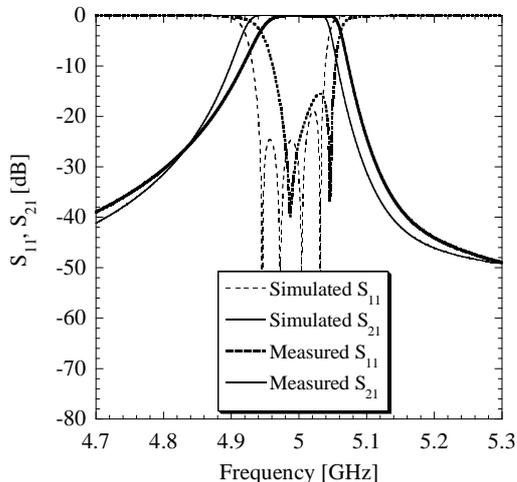


図 3(c) 5.0 GHz 帯の周波数特性

## (2) 8 段 TBPf の設計

当初計画では図 1 に示す DBPF をそのまま拡張し、8 段 DBPF を設計する予定であったが、隣接共振器以外の共振器との不要な飛越結合が大きいため、良好な周波数特性を示す DBPF の設計には至らなかった。そこで、飛越結合の小さい共振器構造に変更し、その共振器構造に合う新たな設計方法を採用し 7 段 TBPf の設計を行った。DBPF の中心周波数は 1.5 と 2.5 GHz とし、SBPF の中心周波数を 2.0 GHz とした。比帯域幅は 1.5 GHz 帯で 1.5%、2.0 GHz 帯で 1%、2.5 GHz 帯で 2% とした。

図 4 に設計した 7 段 DBPF のフィルタのパターンを示す。DBPF は図 1 とは違い、共振器を交互に反転させて結合をとるインターデジタル結合を採用した。SBPF には、デュアルバンド共振器の奇モード共振器部分を採用した。

設計した 7 段 TBPf のシミュレーションによる周波数特性を図 5 に示す。図 5 より、設計条件を満たす良好な周波数特性が得られた。

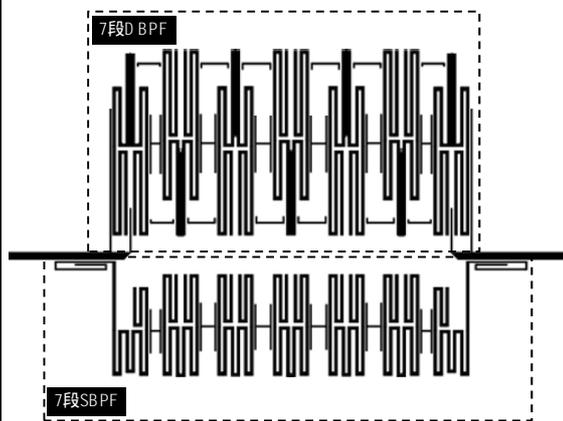


図 4 7 段 TBPf の概略図

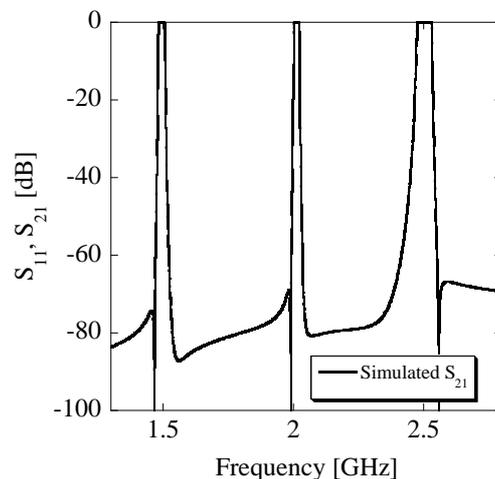


図 5 7 段 TBPf の周波数特性のシミュレーション結果

次に各帯域の周波数特性を図 6(a), (b), (c) に示す。各帯域ともに反射損が 20 dB 以下となり、非常に良好な周波数特性を実現した。

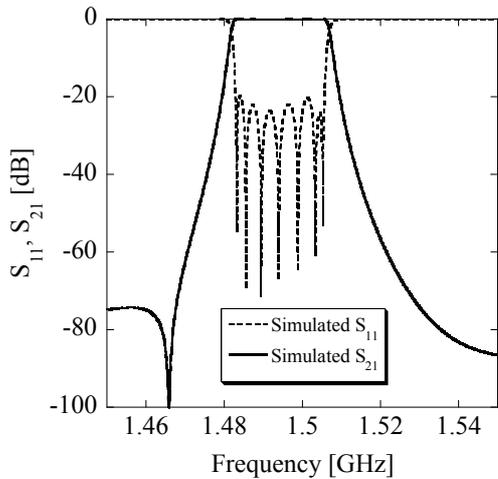


図 6(a) 1.5 GHz 帯の周波数特性

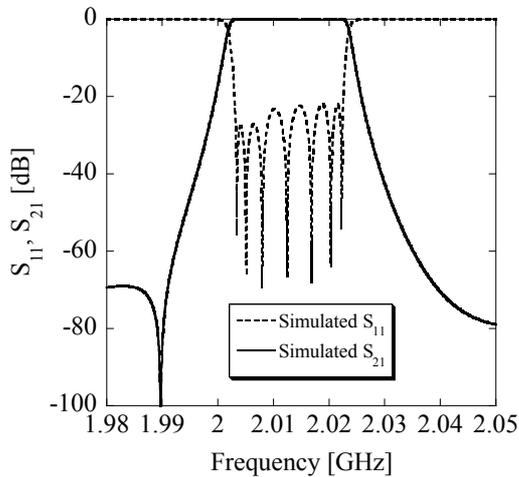


図 6(b) 2.0 GHz 帯の周波数特性

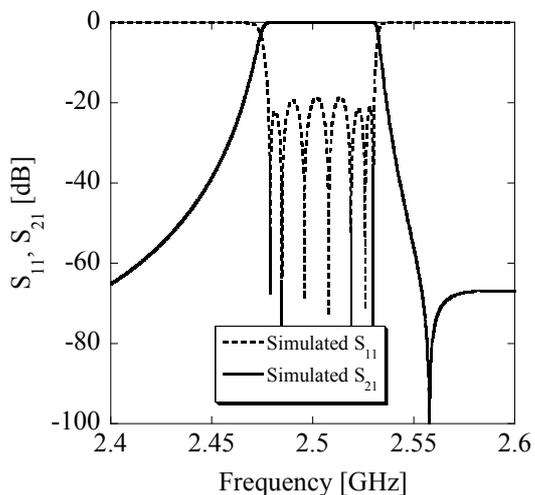


図 6(c) 2.5 GHz 帯の周波数特性

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- [1] N. Sekiya, S. Sugiyama, “design of miniaturized HTS dual-band bandpass filters using stub-loaded meander line resonators and their applications to tri-band band-pass filters,” IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol. 25, 1500805, 2015. 査読あり

〔学会発表〕(計 3 件)

- [1] 海野雄文, 關谷尚人, “スタブ装荷メアングライン共振器を用いた超伝導トリバンド帯域通過フィルタの設計,” 信学技報 WPT2016-6, MW2016-6(2016-04), pp. 27-32, 2016. 4/21 東京都港区芝公園
- [2] N. Sekiya, “Design of Tri-Band Superconducting Bandpass Filters with Sharp-Cutoff,” 28<sup>th</sup> International Symposium on Superconductivity, FDP-4, 2015-11. 東京都江戸川区船堀
- [3] N. Sekiya, S. Sugiyama, “Design of tri-band superconducting bandpass filter based on stub-loaded meander line resonator and stepped-impedance resonator,” Applied Superconductivity Conference, 4EPo2B-08, 2014-8. Charlotte, North Carolina, USA.

〔その他〕

ホームページ等

山梨大学 研究者総覧

[http://erdb.yamanashi.ac.jp/rdb/A\\_DisInfo.Scholar?ID=3ED79D6805215830](http://erdb.yamanashi.ac.jp/rdb/A_DisInfo.Scholar?ID=3ED79D6805215830)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

關谷 尚人 (SEKIYA NAOTO)  
山梨大学・大学院総合研究部・助教  
研究者番号：8 0 4 3 2 1 6 0

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし