

ミリ波サブミリ波多色カメラに用いるオンチップ広帯域フィルターの開発

○陳家偉、大島泰、吉岡佳輔、川邊良平（国立天文台）、小野哲、酒井剛（電気通信大学）、竹腰達哉、宇野慎介（東京大学）、美馬寛（理化学研究所）、成瀬雅人（埼玉大学）

概要(Abstract)

我々は、半導体基板上に実装した広帯域バンドパスフィルターでミリ波サブミリ波を弁別することで、広帯域多色カメラを実現することを目指している。シリコン基板上の伝送線路であるコプレナー線路を用いて、インダクタおよびキャパシタといった集中定数素子を作成した。その構造を用いて、中心周波数 149 GHz、バンド幅が 55 GHz のフィルターと、中心周波数 270 GHz でバンド幅が 67 GHz のフィルターを設計した。今後はこれらのフィルターを実際に製作し、評価する予定である。

1. イントロダクション

宇宙の構造形成史において、宇宙最大の天体である銀河団は衝突合体を繰り返すことで進化してきたと考えられている。銀河団の高温プラズマによって逆コンプトン散乱された宇宙背景放射の光子は、そのスペクトルが 10 GHz から 1 THz にわたる広い帯域で変形する。この現象は Sunyaev-Zel'dovich (SZ) 効果と呼ばれている。SZ 効果の表面輝度は銀河団の赤方偏移に依存しないため、遠方の銀河団に対して高い感度を持つ。銀河団の占める約 10 分角という広い視野で、ミリ波サブミリ波の広帯域で SED を観測から求めることができれば、この銀河団の質量や固有運動といった物理量を求めることが可能である。そこで我々は、ミリ波サブミリ波多色連続波カメラの開発を推進している。

広視野での観測が要求される連続波カメラには、周波数を弁別する方法が大きく 2 種類存在する。まずは、ダイクロイックミラーを用いて光学的に周波数を弁別する手法である。しかし、この手法では、観測色数と同数の焦点面が必要となり、冷却光学系など極低温部が著しく巨大化する。よって、この手法での多色の広視野カメラの実現は困難である。それに対して、検出器チップ上の超伝導伝送線路に周波数フィルターを作り込んで周波数弁別を行うことで、多色の広視野カメラの小型化が可能である。ただ、この手法は異なる周波数でビームを共有しているため、高周波数ではビームが細くなりスパースになり、それゆえ観測効率が下がってしまう。

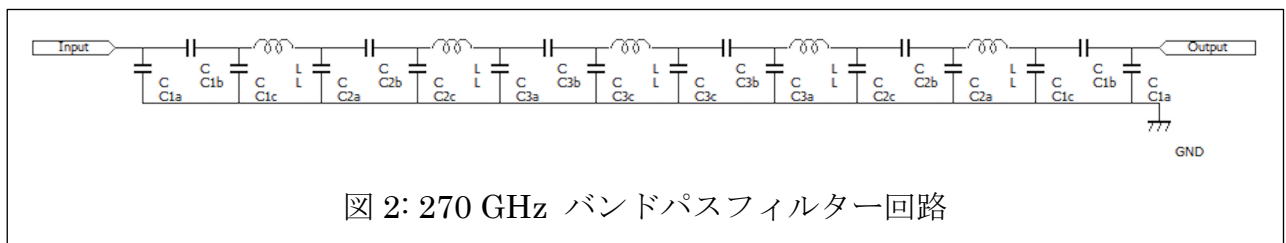
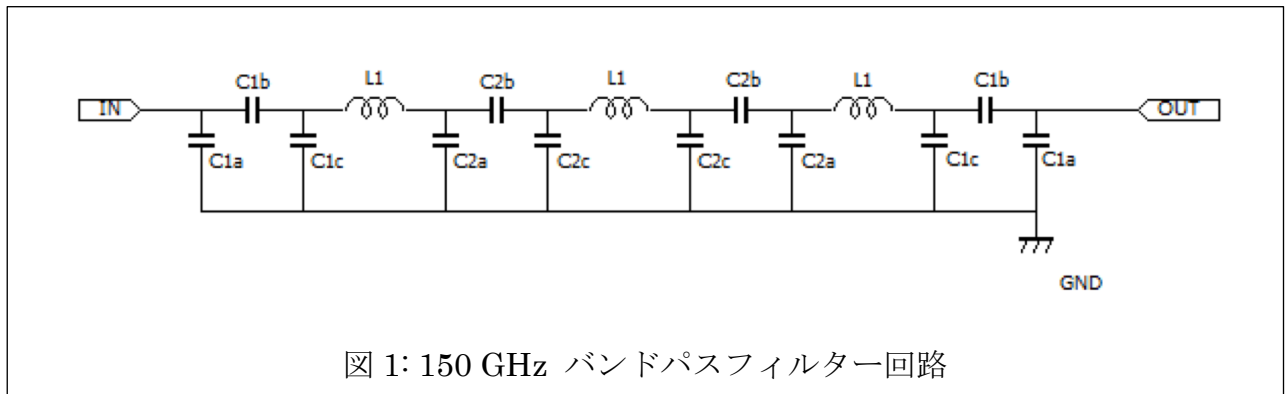
そこで我々は上記の二つの手法を組み合わせた 6 色カメラの開発を進めている。このカメラでは、300 GHz を境にダイクロイックミラーで 2 つの焦点面を作り、それぞれの焦点面で 150, 220, 270 GHz の 3 色と 350, 450, 650 GHz の 3 色を弁別して検出する。本研究では、作製が容易な低周波数側の焦点面に使用する 150 GHz と 270 GHz のバンド幅が 40 GHz 以上のバンドパスフィルターを設計した。

2. 設計手法

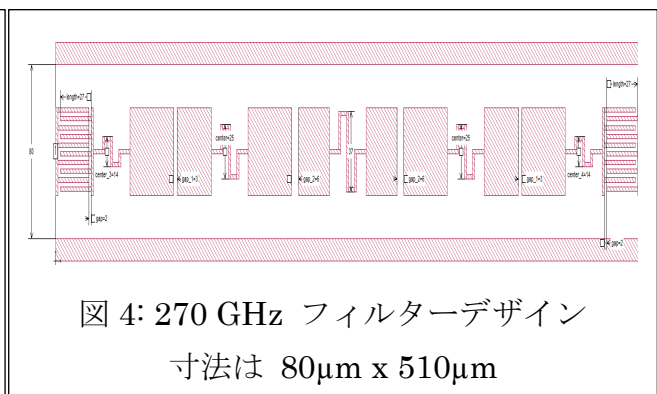
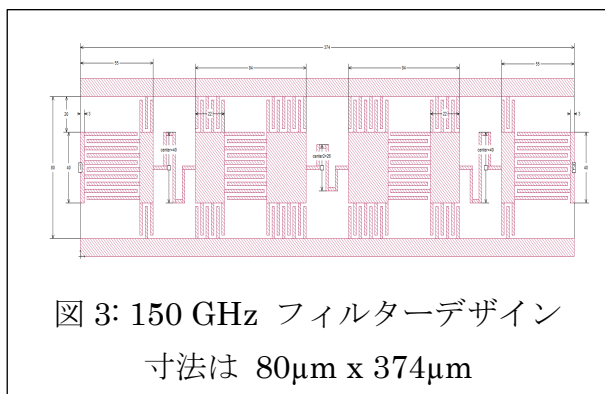
150, 220, 270 GHz の 3 色での観測効率を最大化するためには、検出器のピクセルサイズとして直径 6 mm 程度に収める必要がある。この中に、アンテナ、超伝導検出器 MKID、ハイブリッドカップラー を

配置した場合、フィルター1つに使用できる領域は $500\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$ 程度である。このため、小型のフィルターを開発する必要がある。そこで、構造が大きくなる分布定数フィルターではなく、インダクタやキャパシタなどの集中素子を用いた集中定数フィルターを設計した。

まず、中心周波数が 150, 270 GHz でバンド幅が 45 GHz のバンドパスフィルター回路を設計した。ここで、少ない段数で急峻な減衰を得られるチェビシェフフィルターでフィルター回路の設計を行った。他のバンドのバンド中心で透過率 -20 dB を達成するために、150 GHz バンドパスフィルターは3段、270 GHz バンドパスフィルターは5段のチェビシェフフィルターで設計した (図1、図2)。



次に、設計したフィルター回路と等価になる平面構造の設計を行った。検出器に MKID を使用するため、伝送線路には、高い特性インピーダンスを得ることができるコプレナー線路 (CPW) を用いる。CPW でキャパシタンスと等価になる構造としては、低いキャパシタンスを得られる CPW の間隙と高いキャパシタンスを得られる Interdigitated Capacitor (IDC) が存在する[1]。それに対して、CPW でインダクタンスと等価になる構造としてはメアンダー構造が存在する[2]。これらの構造をフィルター回路と等価になるように組み合わせることで、150 GHz と 270 GHz のフィルターデザインを作成した (図3、図4)。



3. デザインのシミュレーション結果

作成したフィルターデザインの透過率を電磁界シミュレータ Sonnet で計算した。150 GHz バンドパスフィルターデザインの透過率は、図 5 のようになった。ここから、このフィルターの中心周波数は 149 GHz、バンド幅は 55 GHz、透過域のリプルは 0.5 dB になった。また、270 GHz バンドパスフィルターデザインの透過率は、図 6 のようになった。ここから、このフィルターの中心周波数は 270 GHz、バンド幅は 67 GHz、透過域のリプルは 0.4 dB になった。

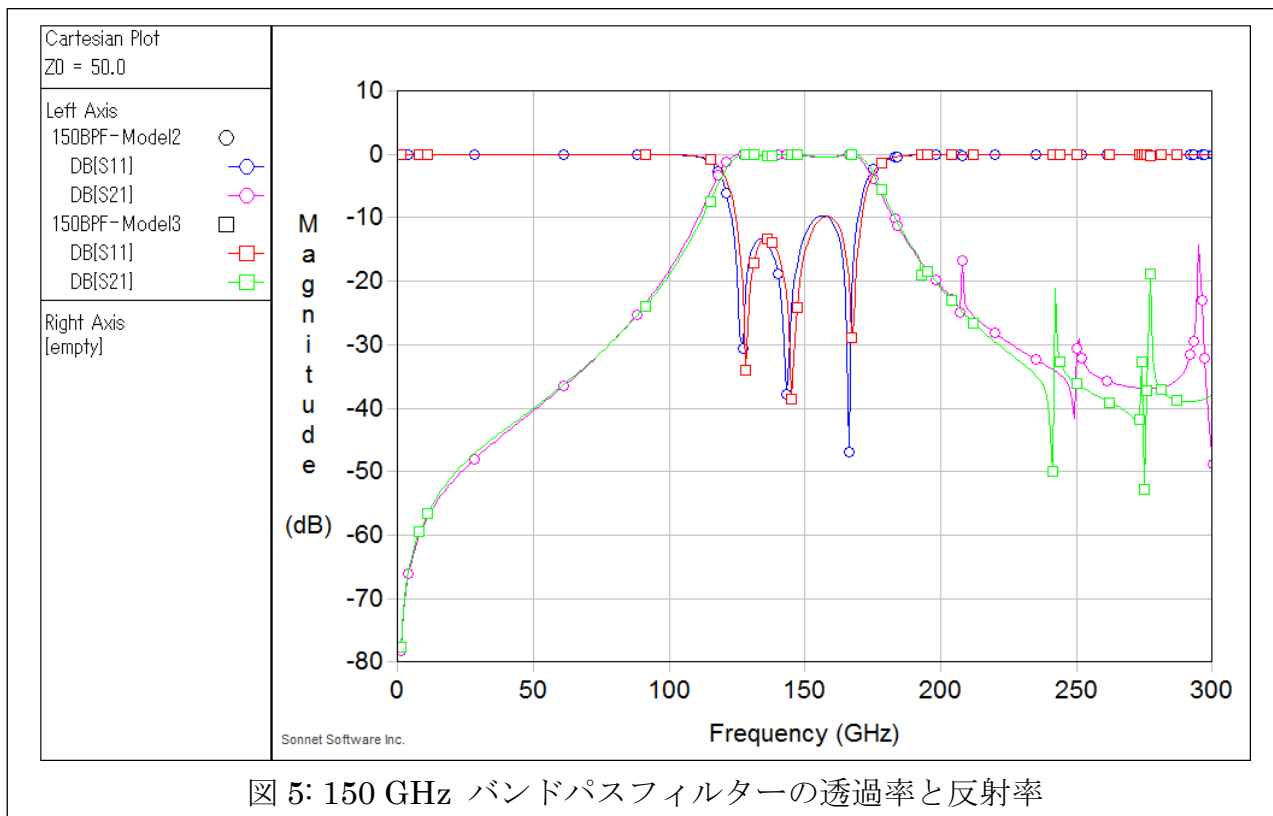


図 5: 150 GHz バンドパスフィルターの透過率と反射率

4. まとめと将来計画

本研究では、150, 270 GHz のバンドパスフィルターの設計を行った。作成したフィルターデザインは、どちらのフィルターでもミリ波サブミリ波での広帯域観測に適した十分に広いバンド幅を持ち、また、焦点面として利用可能な十分に小さな構造を実現した。今後は、今回決定したデザインを試作して、製造プロセスによる影響などを評価する予定である。

4. 参考文献

- [1] Naghed, M. and Wolff, I.: 1990, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 38(12), 1808
- [2] Stojanovic, G. and Damjanovic, M.: 2004, Serbian Journal of Electrical Engineering 1

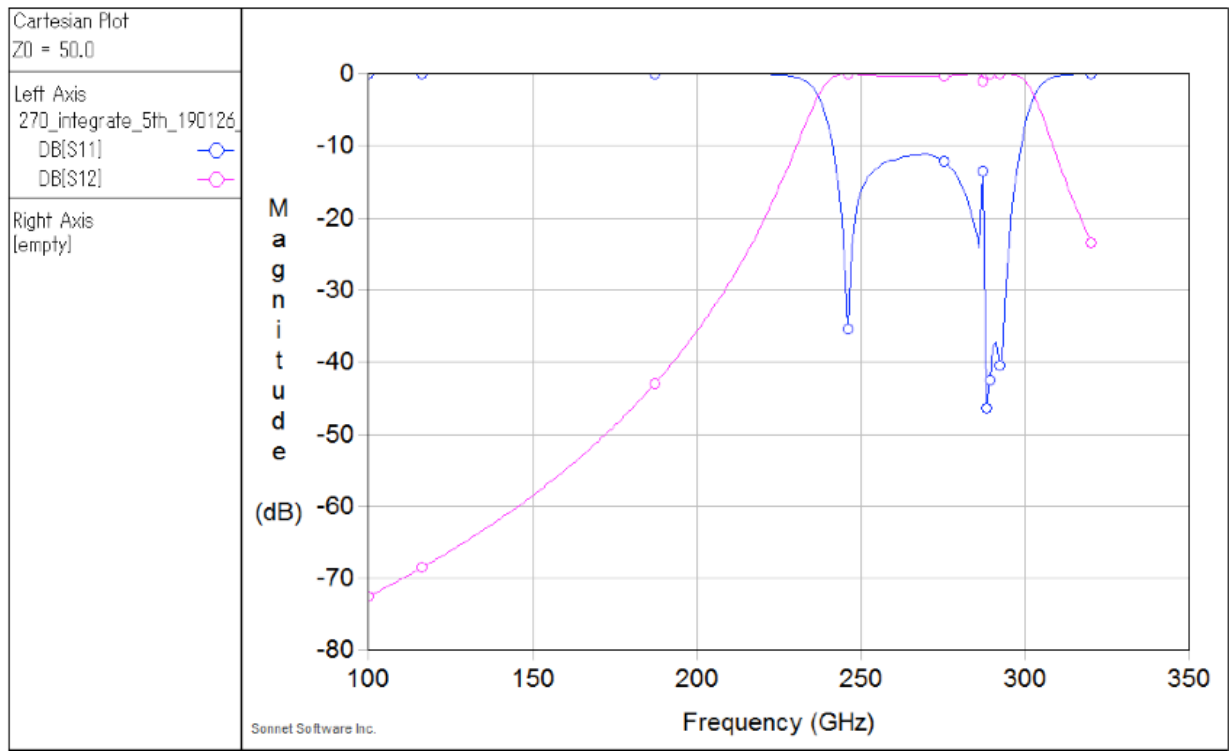


図 6: 270 GHz バンドパスフィルターの透過率と反射率