

ミリ波サブミリ波多色連続波カメラに用いるオンチップ広帯域バンドパスフィルターの設計

陳家偉^{1,2}、大島泰²、小野哲³、酒井剛³、竹腰達哉¹、宇野慎介¹、吉岡佳輔^{2,3}、美馬覚⁴、成瀬雅人⁵、川邊良平^{1,2}

1 東京大学 2 国立天文台 3 電気通信大学 4 理化学研究所 5 埼玉大学

1. はじめに

銀河団の物理量を推定するためには、広い視野の 100 GHz から 1THz までのスペクトル形状を観測する多色連続波カメラが必要である。多色連続波カメラには、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（光学フィルター）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、冷却光学系などが著しく巨大化する。それに対して、検出器チップ上の超伝導伝送線路のマイクロストリップ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[1]。

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, 220, 270 GHz のバンド幅が 40 GHz 以上のバンドパスフィルター (BPF) を設計した。

2. BPF に対する要求と条件

まず、BPF に対する要求を説明する。入力した光子を高効率で検出器に伝送するため、BPF のバンド幅は 40 GHz 以上が要求される。それに加えて、透過域のリプルは 3 dB 以内になることが要求される。また、他の BPF の中心周波数の透過率が -20 dB 以下になることが要求される。

次に、BPF の構造について説明する。検出器チップは、シリコン基板上のニオブ薄膜で作成される。BPF の後段に設置する検出器から、BPF の出力インピーダンスが 50 Ω になる必要がある。それゆえ、この帯域では世界初の、コプレナー線路 (CPW) の広帯域 BPF を設計した。

3. BPF の設計

まず、中心周波数が 150, 270 GHz でバンド幅が 45 GHz の BPF 回路を設計した。他のバンドのバンド中心で透過率 -20 dB となるように、150 GHz BPF は3段、270 GHz BPF は5段のチェビシェフフィルターで設計した。

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。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。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。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、各バンドの BPF デザインを作成した (図 1)。

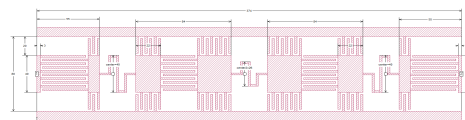


図1. 150 GHz の BPF デザイン

4. BPF デザインの特性

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 BPF デザインの透過率は、図 2 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 BPF デザインの中心周波数は 270 GHz、バンド幅は 67 GHz、透過域のリプルは 0.4 dB になった。220 GHz BPF デザインの中心周波数は 220 GHz、バンド幅は 53 GHz、透過域のリプルは 0.4 dB になった。

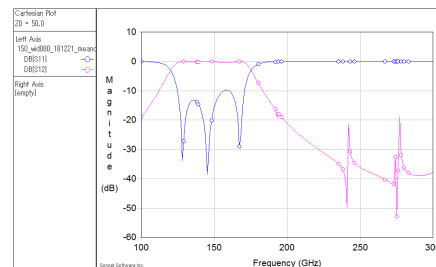


図2 150 GHz BPF の S パラメータ

5. まとめ

本研究では、要求を満たす 150, 220, 270 GHz のバンドパスフィルターを設計した。次は、今回作成したフィルターデザインを実際に製作し、評価を行う予定である。

参考文献

[1] Suzuki, A.: 2013, Ph.D. thesis, University of California, Berkeley