

超伝導回路を用いたサブミリ波オンチップ分光計の設計

Superconducting on-chip spectrometers at sub-millimeter wavelength

埼玉大工¹, 国立天文台² ○成瀬 雅人¹, 田之上 寛之¹, 新井 慧一¹, 関本 裕太郎², 野口 卓², 田井野 徹¹, 明連 広昭¹

Saitama Univ.¹, NAOJ², °Masato Naruse¹, Hiroyuki Tanoue¹, Keiichi Arai¹, Yutaro Sekimoto², Takashi Noguchi², Tohru Taino¹, Hiroaki Myoren¹

E-mail: naruse@super.ees.saitama-ua.cjp

ミリ波サブミリ波天文学においても、光・赤外天文学分野のような多素子かつ低分散分光を行えるような検出器システム(連続波カメラ)の開発が求められている。本研究が開発する高感度かつ簡素で堅牢性が高い分光カメラは、CMB B-mode 観測衛星 LiteBIRD や筑波大学が提案している南極望遠鏡などの将来計画にも利用可能である。

ミリ波サブミリ波帯では光赤外領域に比べて波長が長いため、カメラを多色化する際に分光機能を光学系に組み込むとシステムが複雑・巨大になる恐れがあるため、検出器と同一チップ上に分光器を配置することを提案する。分光器は超伝導回路を用いたバンドパスフィルターによって構成され、超伝導検出器と同様にフォトリソグラフィ技術を使って作製する。検出器には多素子化が容易で、地上での観測限界以上の感度(6×10^{-18} W/Hz^{1/2})を達成している[Naruse+2013 IEEE TST]力学インダクタンス検出器(MKID)を用いる。

本研究が提案する連続波分光カメラでは、広帯域アンテナを用いて観測信号をチップに結合させた後、バンドパスフィルターによって観測帯域のみ超伝導検出器へ通過させる(Fig.1)。本研究では一つのアンテナに帯域 10–15%程度のフィルターを 3 つ接続する 3 色カメラの設計を行った。

まずはマイクロ波帯でフィルタ特性が実証されている 8 段のマイクロストリップ線路を用いたオープンループチェビシェフフィルタ[J. Hong+2000 IEEE MTT]を 150, 220, 440 GHz 用に最適化した。絶縁層の厚み、線幅等を変化させて、0.5 μm の加工誤差を許容しつつ各バンドで帯域 15%を確保できた[fig.2]。一方で加工精度の観点からこの方式では 500 GHz 程度が周波数の上限であることもわかった。これを踏まえ、0.8, 1, 1.3 THz 用では集中定数素子回路によるバンドパスフィルター[Kumar+2009 IEEE Trans. on Appl. Supercond.]を用い 10%以上の帯域を確保した。

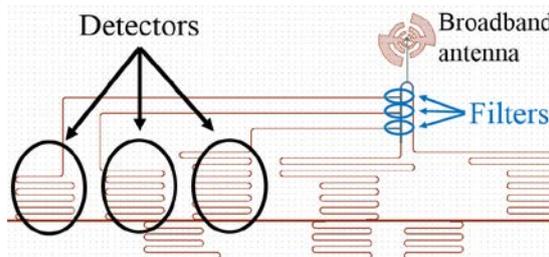


Fig1: Design of on-chip three-band sub-mm wave camera

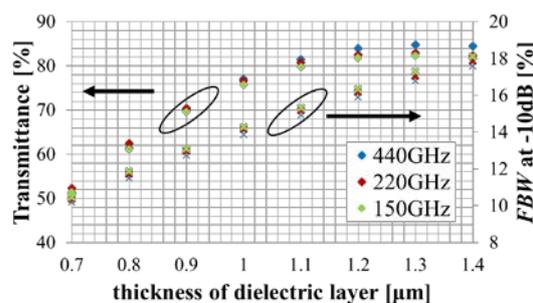


Fig2: Bandwidth dependence on MS's insulator thickness