

ミリ波ホーン OMT-MKID カメラの開発

Development of Millimeter-wave Horn Coupled OMT-MKID camera

関本裕太郎 Y. Sekimoto¹, 新田冬夢 T. Nitta², 村山洋佑 Y. Murayama², 服部将吾 S. Hattori², 永井誠 M. Nagai², Agnes Dominjon¹, Wenlei Shan¹, 長谷部孝 T. Hasebe¹, 木内等 H. Kiuchi¹, 松尾宏 H. Matsuo¹, 野口卓 T. Noguchi¹, 関口繁之 S. Sekiguchi³, Shibo Shu³, 清水貴之 T. Shimizu³, 成瀬雅人 M. Naruse⁴, 川崎繁男 S. Kawasaki⁵, 三田信 M. Mita⁵, and 宮地晃平 A. Miyachi⁵

¹ 国立天文台 National Astronomical Observatory of Japan

² 筑波大学 University of Tsukuba

³ 東京大学 University of Tokyo

⁴ 埼玉大学 Saitama University

⁵ 宇宙科学研究所 ISAS/JAXA

1 はじめに

ミリ波からテラヘルツにかけては宇宙マイクロ波 2.7K 背景放射や低温 (< 100 K) の星間ダストからの熱放射など初期宇宙や銀河の形成を探るのに適した波長帯である。宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光観測や遠方銀河の広域観測をおこなうために広帯域コルゲートホーン及び平面 OMT-MKID の開発を行っている。

MKID (microwave kinetic inductance detector) は、多数のマイクロ波超伝導共振器の共振周波数を少しずつずらすことにより、周波数多重化を行う [1]。入射した光子がクーパー対を壊して超伝導薄の表面インピーダンスが変化するのを超伝導共振器の振幅及び周波数の変化として読み出す。MKID は、量子型検出器であり、超伝導転移温度の $1/7$ 程度に冷却する必要がある [2]。MKID 単体では、Al を用いて $NEP\ 2 \times 10^{-18}\ \text{W Hz}^{-1/2}$ を達成している [3]。

2 OMT-MKID

我々は偏光を高感度かつ高精度にて観測するために、広帯域コルゲートホーンアレイ及び平面 OMT(偏波分離器)、周波数分離 フィルター、MKID を組み合わせた設計を進めている [4]。図 1 に、ミリ波平面 OMT 及び MKID の概念図を示す [5]。コルゲートホーンから入力したミリ波の信号は根元の円形導波管を通り、4 つのプロープで直交 2 偏波が平面回路に入力される。4 つのプロープは SOI ウェハを深掘りした Si メンブレン $6\ \mu\text{m}$ 厚の上の Nb 薄膜 ($t = 200\ \text{nm}$) からなる。裏彫りの位置合わせにナノエレの両面アライナーを使わせていただいた。プロープからの信号はインピーダンスを $50\ \Omega$ に変換した後に 180 度ハイブリッドカプラーに入力される。ここで円形導波管の基本

モードとなる TE₁₁ モードのみが、次の周波数分離フィルターに伝送される。円形導波管の高次モードは、この 180 度ハイブリッドによって、除去される。周波数分離フィルターは、マイクロストリップ回路で、80 - 110 GHz と 130 - 160 GHz の 2 バンドを選択する設計である。選択された信号は CPW Al MKID によって検出される。

コルゲートホーンは、先端技術センターで切削加工で製作したオクターブバンドを超える広帯域を持ち、かつ、交差偏波の少ないビームを持つ [6]。広帯域コルゲートホーン (120 - 270 GHz, 80 - 160 GHz) を切削加工で試作し、測定した。その結果、電磁界シミュレーションと $-40\ \text{dB}$ レベルで一致している。

OMT-MKID と広帯域コルゲートホーンを組み合わせて、コンパクト 0.1K 冷却システム [7] と組み合わせるビームパターンを測定した。また、偏波特性のデータ取得にも成功した。

3 焦点面設計

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の B モード偏光の観測によって、熱いビッグバンを引き起こしたインフレーション理論 (K. Sato 1981) の検証が可能となる。原始重力波からの CMB B-mode 偏光を観測する衛星 LiteBIRD の MKID 焦点面検出器のコルゲートホーンアレイのレイアウト (図 3) や熱設計を示した [4]。

謝辞

本研究は、科研費 JP25247022 の助成を受けたものである。

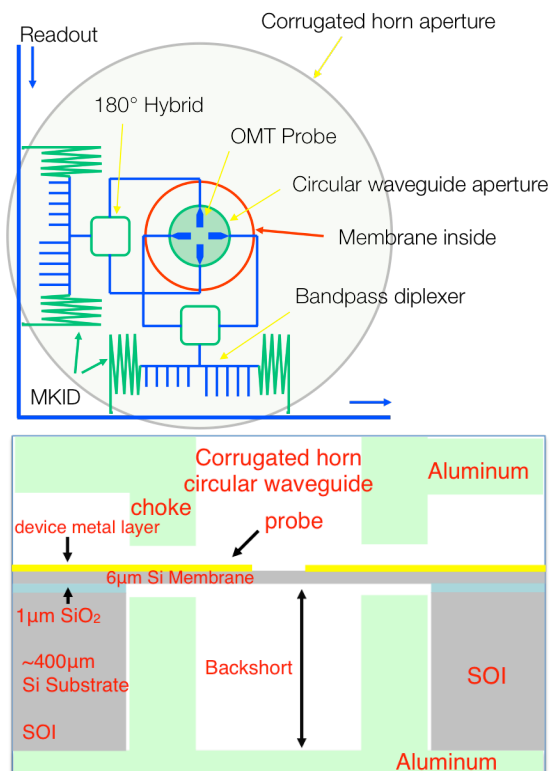


図 1: ミリ波 OMT-MKID 上面図と断面図

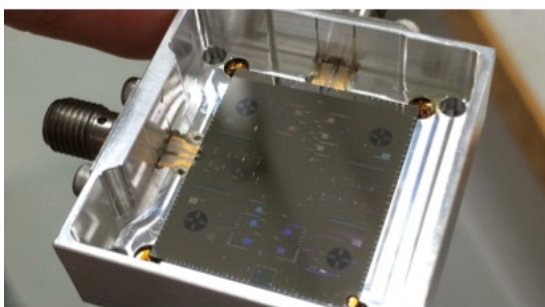


図 2: ミリ波 OMT-MKID 上面図と断面図

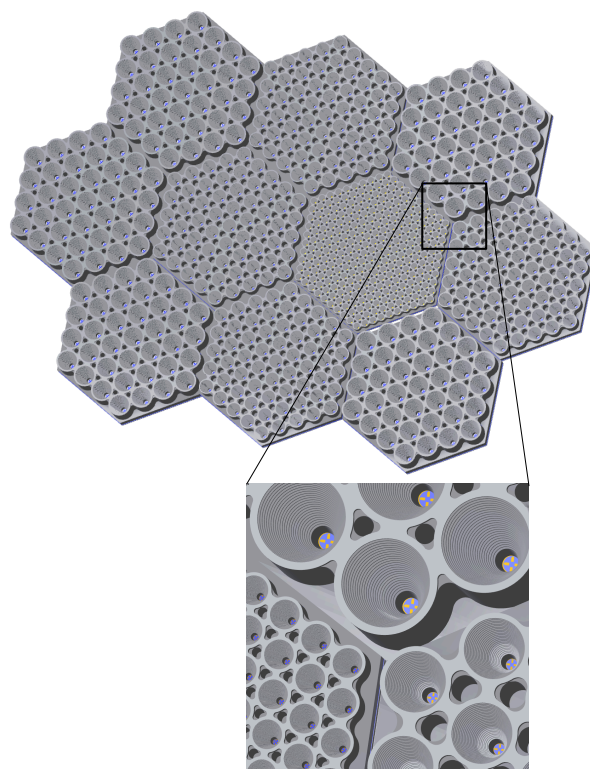


図 3: CMB B-mode 観測用の焦点面検出器の設計

参考文献

- [1] J. Zmuidzinas, Ann. Rev. of Cond. Matter Phys. **3**, 169 (2012).
- [2] M. Naruse et al., Journal of Low Temperature Physics **167**, 373 (2012).
- [3] K. Karatsu et al., Journal of Low Temperature Physics (2016).
- [4] Y. Sekimoto et al., Proc. SPIE **9914**, 99142A (2016).
- [5] S. Shu et al., Proc. SPIE **9914**, 99142C (2016).
- [6] S. Sekiguchi et al., IEEE transactions on Terahertz Science and Technology (2017).
- [7] S. Sekiguchi et al., IEEE Transactions on terahertz science and technology **5**, 49 (2015).