

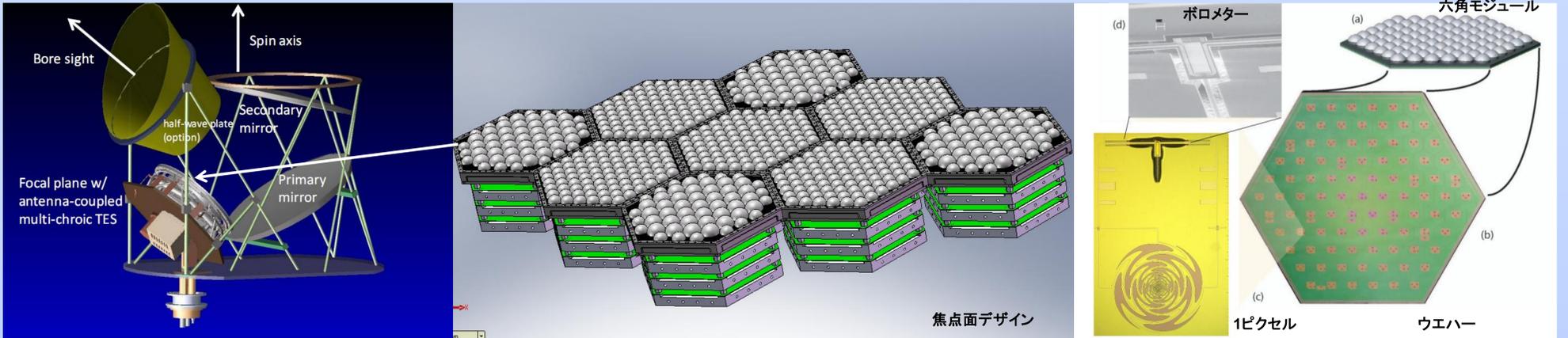
LiteBIRD 焦点面デザイン



宇宙マイクロ波背景放射(CMB)偏光観測に向けた

Sinusuousアンテナ結合型TESボロメータと広域周波数反射防止膜の開発

鈴木有春(UC Berkeley) 福家 英之, 松原 英雄, 満田 和久, 吉田 哲也, 佐藤 洋一, 篠崎 慶亮, 杉田 寛之, 石野 宏和^{AA}, 樹林 敦子^{AA}, 服部 香里^{AA}, 三澤 尚典^{AA}, 美馬 寛^{AA}, Adnan Ghribi^{BA}, William Holzappel^{BA}, Bradley Johnson^{BA}, Adrian Lee^{BA}, Paul Richards^{BA}, Huan Tran^{BA}, Julian Borrill^{CA}, 大田 泉^{DA}, 吉田 光宏^{EA}, 石徹白 晃治^{EA}, 片山 伸彦^{EA}, 佐藤 伸明^{EA}, 住澤 一高^{EA}, 田島 治^{EA}, 永井 誠^{EA}, 永田 竜^{EA}, 西野 玄記^{EA}, 羽澄 昌史^{EA}, 長谷川 雅也^{EA}, 樋口 岳雄^{EA}, 松村 知岳^{EA}, 木村 誠宏^{EA}, 鈴木 敏一^{EA}, 都丸 隆行^{EA}, 柳沼 えり^{FA}, 小松 英一郎^{GA}, 鶴澤 佳徳^{HA}, 関本 裕太郎^{HA}, 野口 卓^{HA}, 茅根 裕司^{IA}, 服部 誠^{IA}, 高田 卓^{JA}, 高木 雄太^{KA}, 中村 正吾^{KA}, 村山 慧^{KA}, 大谷 知行^{LA}, JAXA, 岡山大^{AA}, カリフォルニア大バークレー校^{BA}, ローレンスバークレー研究所^{CA}, 近畿大^{DA}, 高工研^{EA}, 総研大^{FA}, テキサス大オースティン校^{GA}, 国立天文台^{HA}, 東北大^{IA}, 筑波大^{JA}, 横国大^{KA}, 理研^{LA}



開発目的

- LiteBIRDなどCMB Bモード偏光観測実験に使用する焦点面検出器の開発
- テンソル・スカラー比 $r \ll O(0.01)$ の感度で測定する実験に必要な条件:
 - 小さい統計誤差を達成するための高い感度をもった検出器
 - 多色検出器を使った前景放射(ダスト放射、シンクロトン放射、など)の同時観測
 - リソグラフィ技術を用いた平面ウエハー上での作成によるキロピクセル化
 - 無偏光→直線偏光など(検出器が作る偽の直線偏光など)系統誤差の小さい直線偏光検出器
- 小型衛星に搭載する条件:
 - 多色焦点面を使った軽量・コンパクト化
 - アンテナ結合型を使った軽量・コンパクト化
- 広い波長帯域を持ったSinuous アンテナ結合型TESボロメータは上記使用条件を満たす検出器である

Sinusuous アンテナ

• Sinuous アンテナ¹ をデザインする為の式

$$\phi = \alpha \sin\left(\frac{\pi \ln(r/R_o)}{\ln \tau}\right) \pm \delta \quad \text{for } R_o < r < R_o \tau^N \quad (1)$$

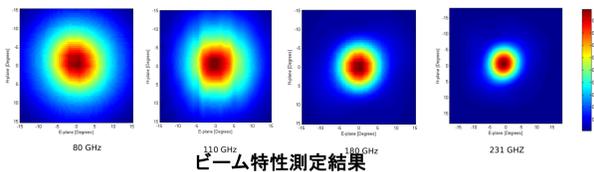
• 70-250GHzの波長帯域に合わせた内週 R_o と外周 $R_o \tau^N$

• 独自の変更および改良²

1. ウエハー上での製作、キロピクセル化、
2. 楕円形シリコンレンズを使用した放射指向性の向上

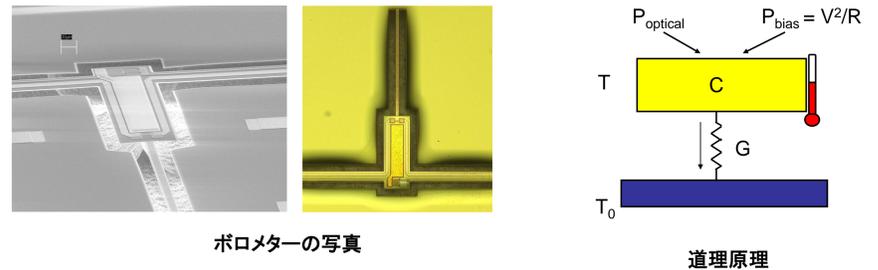
• テストピクセルの製作:

- 両直線偏光の読み取りを実現
- 多色フィルタとの結合
- ボロメータとの結合および検出



ビーム特性測定結果

TES ボロメータ



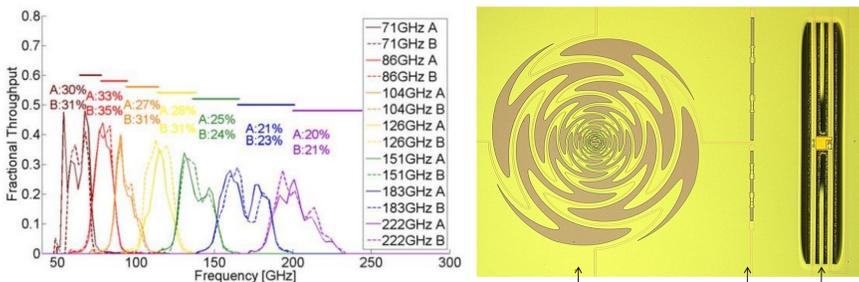
ボロメータの写真

道理原理

- 信号ノイズより低いノイズレベル($O(1) \text{ aW}\cdot\sqrt{s}$)
- SQUIDを用いた低ノイズ+多チャンネルの読み出し(1SQUID → 48 Bolometer)
- 地上(SPT, APEX, PolarBear-I), 気球実験(EBEX)での実績
- 広域周波数帯アンテナとの結合も実証済み

多色化

- 多色化することにより同じ焦点面で従来のN倍(Nは周波数帯の数の)の情報が得られる
- マイクロストリップライン上でバンドパスフィルタを使い広域周波数の信号を細かい帯域に分ける

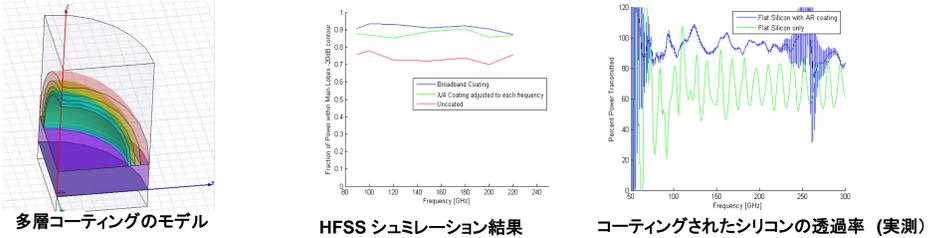


多色フィルタのスペクトル測定結果

Sinusuousアンテナ+多色フィルタ+ボロメータ

広域周波数反射防止膜

- 広域周波数へ移行する際に、レンズでの反射を防止する方法が問題となる
- 反射防止膜にRoger CorpのTMM#を使用(基板に使われる誘電体、#は誘電率)
- FTSを使って両面をコーティングされた平らなシリコンの透過率を測定した結果、90%と言う高い数値が出た。
- TMMをカーブがあるレンズに付ける為、プレスを製作
- レンズに数枚のコーティングを付けることに成功、只今測定中

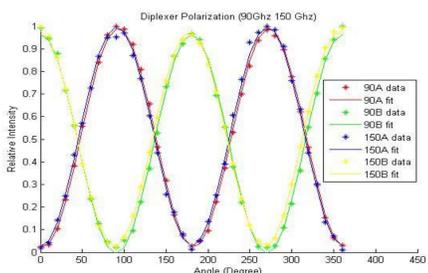


多層コーティングのモデル

HFSS シミュレーション結果

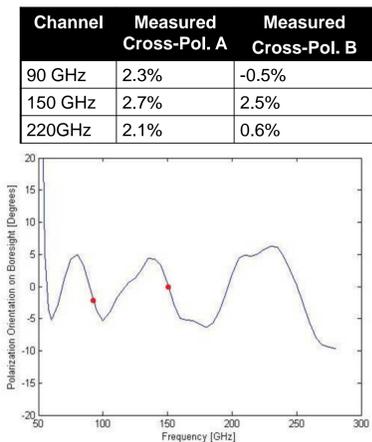
コーティングされたシリコンの透過率 (実測)

直線偏光

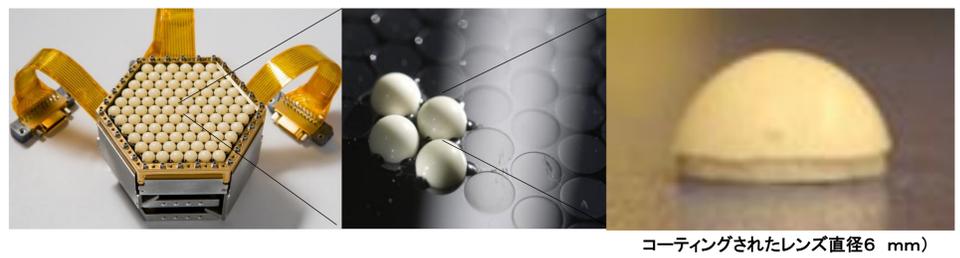


二色 90, 150 GHz の偏光測定結果

- 検出器による偽の偏光は検出されず
- シミュレーションでは0.4%ほどの偏光の漏れがある
- Sinuousアンテナは周波数で偏光の向きが変わる「傾き」がある



偏光の傾き: ADS シミュレーション 実験結果(赤)



コーティングされたレンズ直径6 mm

参考文献

1. DuHamel, R. US patent 4658262 (1987)
2. O'Brien, R. et al. Proceedings of SPIE, Vol 7020, pp. 7020H-7020H-11 (2008)
3. D. Filipovic et al., IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques **40**, 1738 (1993)
4. M. J. Myers et al., Applied Physics Letters **86**, 114103 (2005)
5. Deschamps, G.IRE Transactions on Antennas and Propagation (1959)
6. Kormanyos, B. et al., IEEE Trans Microwave Theory Tech. **41**, No 10 (1993)

謝辞

All devices fabricated in the UC Berkeley Microlab. This work was supported by NASA grant NNG06GJ08G.