

# LiteBIRD 焦点面デザイン



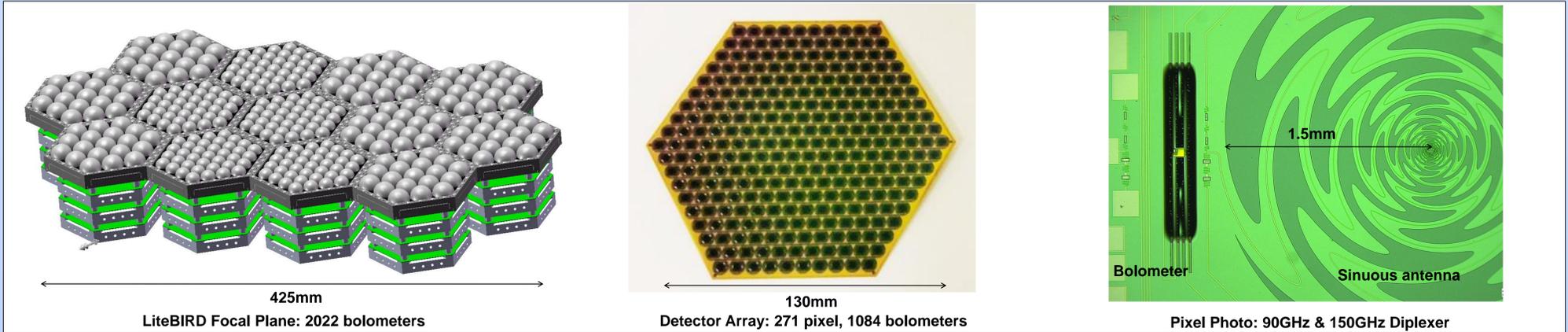
宇宙マイクロ波背景放射偏光観測に向けた

## アンテナ結合型広域周波数帯TESボロメーター検出器アレイの開発

鈴木有春<sup>1</sup>, K. Arnold<sup>1</sup>, J. Edwards<sup>3</sup>, G. Engargiola<sup>4</sup>, A. Ghribi<sup>1</sup>, W. Holzapfel<sup>1</sup>, A. Lee<sup>1;4</sup>, X. Meng<sup>5</sup>, M. Myers<sup>1</sup>, R. O'Brien<sup>2</sup>, E. Quealy<sup>1</sup>, G. Rebeiz<sup>3</sup>, P. Richards<sup>1</sup>, D. Rosen<sup>1</sup>  
他LiteBIRD Working Group

<sup>1</sup> University of California, Berkeley, Physics, Berkeley, CA 94720 USA  
<sup>3</sup> University of California, San Diego Electrical Engineering, La Jolla, CA 92092 USA  
<sup>5</sup> University of California Berkeley, Electrical Engineering, Berkeley, CA 94720 USA

<sup>2</sup> California Institute of Technology, Physics, Pasadena, CA 91125 USA  
<sup>4</sup> University of California Berkeley, Radio Astronomy, Berkeley, CA 94720 USA



### 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  $r \ll 0$  ( $< 0.01$ ) の感度で測定する実験に必要な条件:
  - 観測速度を上げ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、シンクロトロン放射、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→直線偏光などの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ボロメーターは使用条件を満たす検出器である

### レンズ結合型 Sinuous アンテナ

- Sinuous アンテナ をデザインする為の式<sup>2</sup>

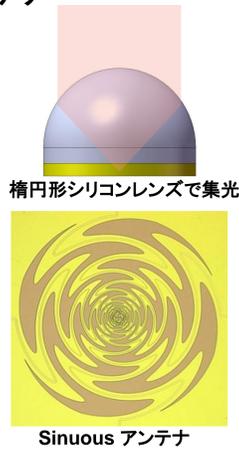
$$\phi = \alpha \sin \left( \frac{\pi \ln(r/R_o)}{\ln \tau} \right) \pm \delta \quad \text{for } R_o < r < R_o \tau^N$$

- 独自の変更および改良<sup>2</sup>

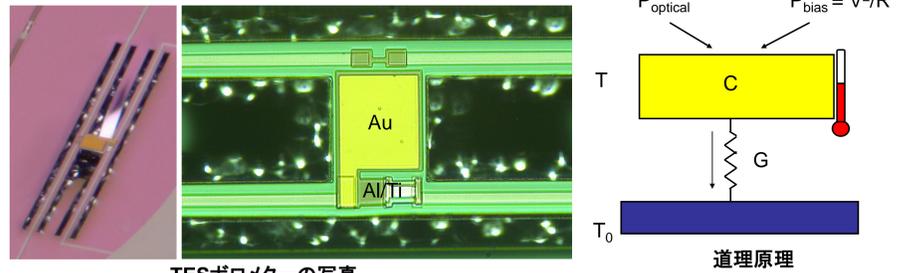
- ウエハー上で製作しキロピクセル化を可能にした
- 楕円形シリコンレンズを使用した放射指向性の向上<sup>3</sup>

- レンズ結合型Sinuousアンテナの利点

- 1ピクセルでブロードバンド検出が可能
- 直線偏光
- ホーンに比べ軽量、コンパクト



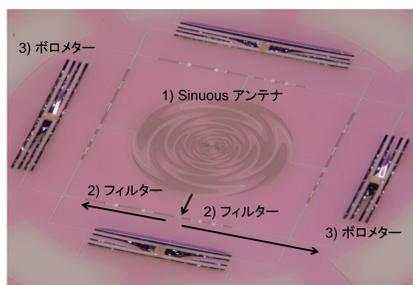
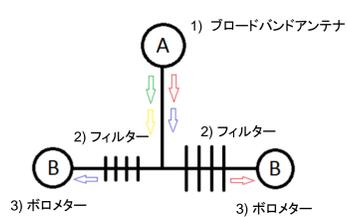
### TES ボロメーター



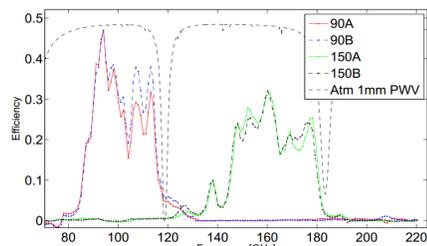
- 信号ノイズより低いノイズレベル(aW·√s)
- SQUIDを用いた低ノイズ+多チャンネルの読み出し(1Squid → 48 Bolometer)
- 地上(SPT,APEX,POLAREAR)、気球実験(EBEX)での実績
- 広域周波数帯アンテナとの結合も実証済み

### 多色化

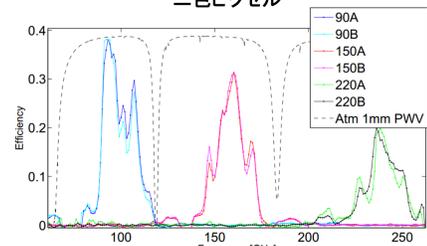
#### 多色化コンセプト



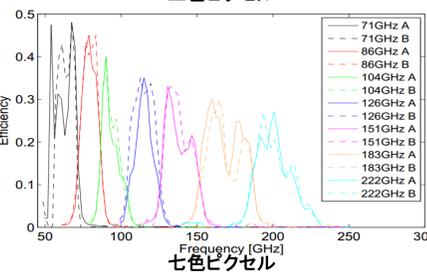
- 多色化することにより同じ焦点面で従来のN倍(Nは周波数帯の数)の情報が得られる
- マイクロストリップライン上でバンドパスフィルターを使い広域周波数の信号を細かい帯域に分ける



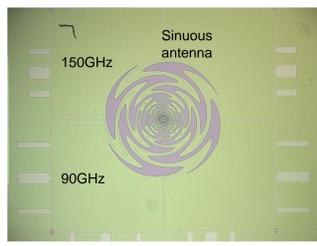
二色ピクセル



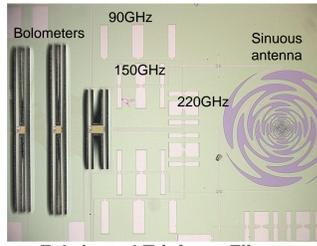
三色ピクセル



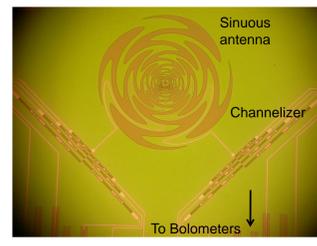
七色ピクセル



Fabricated Diplexer

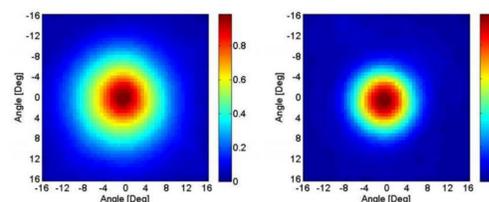


Fabricated Triplexer Filter



Fabricated Channelizer

### ビーム特性

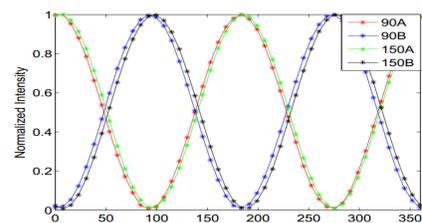


二色フィルターピクセルでのビームマップ

- 円形なビームを測定した
- 円形なビームは温度揺らぎを間違えて偏光として観測してしまうなどの誤差を抑える

Channel	Ellipticity	Beam Size @ -3dB
90 GHz	1.6%	7.0°
150 GHz	1.3%	5.3°

### 直線偏光

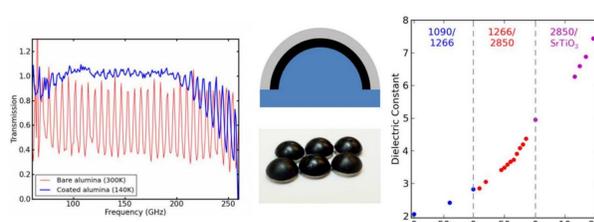


二色フィルターピクセルでの直線偏光測定

- ワイヤーグリッドを使い測定した
- 少ない交差偏波を測定した
- 少ない交差偏波はE-Mode偏光を間違えてB-Mode偏光と観測してしまうなどの誤差を抑える

Channel	Measured Cross-Pol.
90 GHz	< 0.3%
150 GHz	< 1.3%

### 広域周波数反射防止膜



アルミナにコーティングした物を測定

- 効率よく集光するためにはブロードバンドな反射防止膜が必要
- 反射防止膜を二枚重ねることによりブロードバンドな反射防止膜を実現

### References

- DuHamel, R. US patent 4658262 (1987)
- O'Brien, R. et al. Proceedings of SPIE, Vol 7020, pp. 7020H-7020H-11 (2008)
- D. Filipovic et al., IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques **40**, 1738 (1993)

### 謝辞

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