

宇宙マイクロ波背景放射Bモード偏光 観測衛星LiteBIRD の偏光変調器の開発

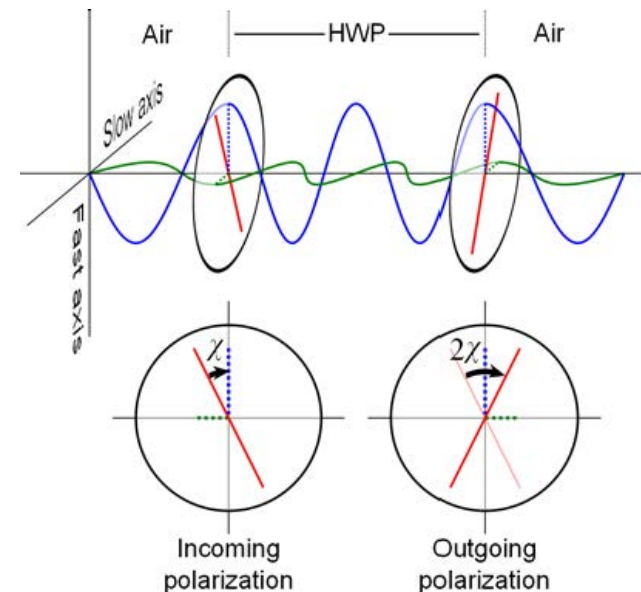
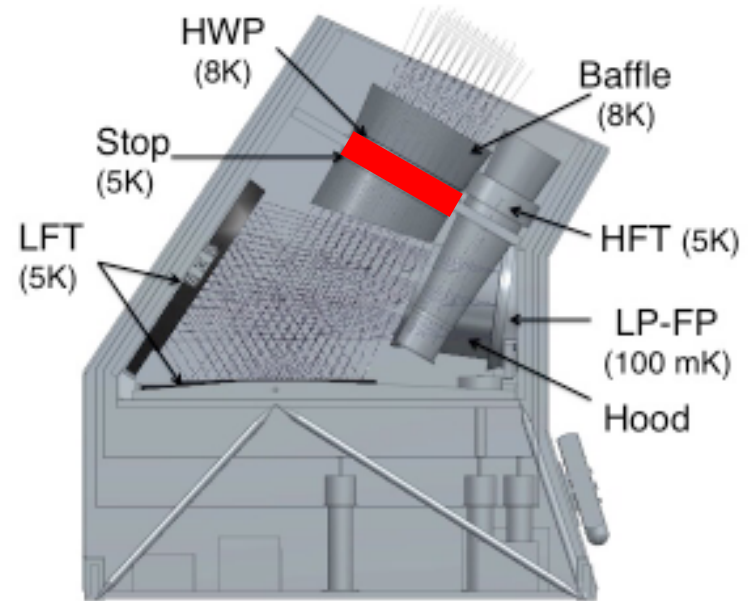
片山伸彦, 松村知岳, 桜井雄基, 菅井肇, 飯田輝人 (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構), 大崎博之, 寺尾悠, 下村俊貴 (東京大学新領域), 小林洋平 (東京大学物性研), 小西邦昭, 櫻井治之, 湯本潤司, 五神真 (東大理), 今田大皓, 山本亮, 宇都宮真, 片宏一 (JAXA/ISAS), 羽澄昌史 (高工研), 石野宏和, 小松国幹 (岡山大学), 中村正吾, 高久諒太, 金井啓晃 (横浜国立大学), 他 LiteBIRD Phase-A1 team

天文学会2017年秋季年会
於 北海道大学



背景

- LiteBIRDの科学目的・ミッション要求に答えるため、統計誤差、系統誤差を抑える必要がある
- 偏光変調器は
 - 偏光に感度のある一つの検出器で直交する二つの偏光を観測出来る
 - ⇒ 系統誤差を抑える
 - 変調する周波数を選ぶ事により、検出器の $1/f$ ノイズの影響を逃れる事が出来る
 - ⇒ 統計誤差を抑える



主な要求

項目	直径	温度	発熱量	回転数	寿命
要求	> 400mm	<10K	<3.5mW	>1Hz	>3年

- 重量・回転モーメント($\sim 30\text{Kg}$, $\sim 4\text{Kgm}^2$)
- 広帯域(35-270GHz)において
 - 透過率(90% by Aug. 2017, $\sim 99\%$ by Aug. 2018)
 - 変調効率(98%)
- ローンチロック機構(打ち上げ時～冷却完了まで)
- 磁気シールド (DC成分< 0.2 Gauss、AC成分< 5E-5 G/VHz)
- 回転角読み出し精度 (精度 1E-3 deg)
- 冷却保持機構
- 放射線耐性

ベースラインデザインと現状

- 直径400mm (D400)、厚さ3mmのサファイアを9枚重ねた半波長板 (D100で実現)
- (それに加えて) 表面 (両面) 全体に2mm程度の反射防止のための微細加工を行う ($\phi 34\text{mm}$ で実現)
- 高温超伝導磁石により磁気浮上 (D400で実現)
- 放射線耐性について放医研で試験中
- 回転・保持/冷却機構 (D65で実現、発熱測定)
 - 超伝導 (あるいは銅) コイルによる中空モータ
 - アクチュエータにより物理的に保持・冷却する機構
 - LED/フォトセンサによるエンコーダ

開発項目

- 低発熱連続回転駆動系
 - 東京大学新領域の大崎研と共同研究中
- 広帯域半波長板
 - 反射防止膜について、東京大学理学部湯本・五神研、物性研小林研、ミネソタ大、ドイツAZHと共同研究中
- 性能評価・較正システムの構築
- その他
 - 磁気シールド（大崎研と共同研究中）
 - 開発スケジュール（D100->D400->EM->FM）
 - パラメタ最適化
 - 製造業者の選定（駆動系、反射防止膜、設計・製造）

反射防止微細加工

設計

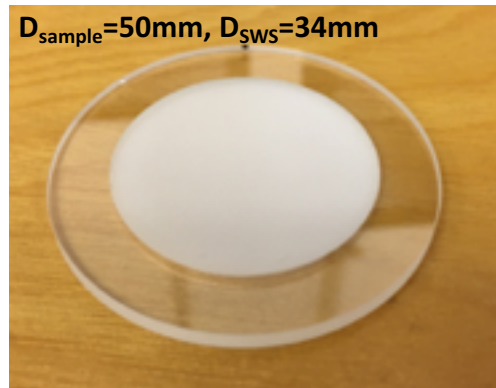
ピコ秒レーザー加工機を使いサファイアの片面にD34mmの微細構造を製作

製作

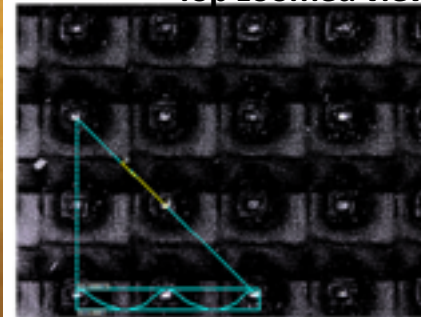
形状測定

透過率測定

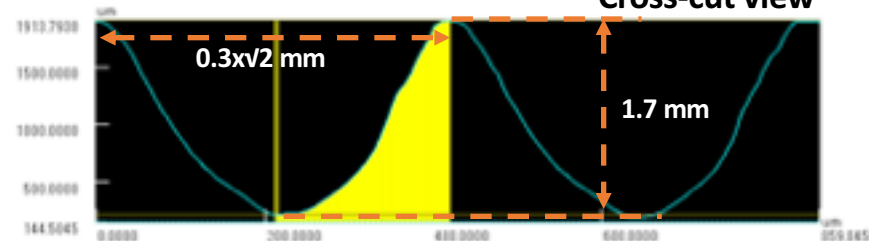
シミュレーションと比較



Top zoomed view

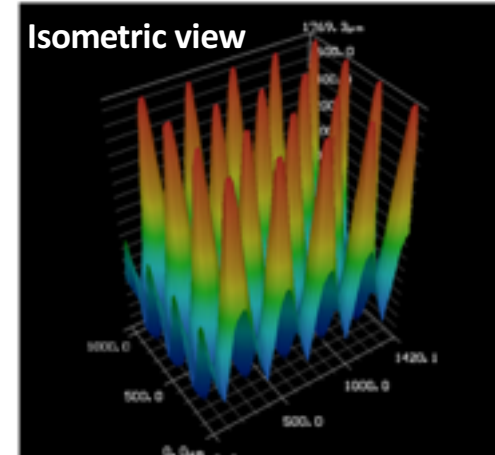


Cross-cut view

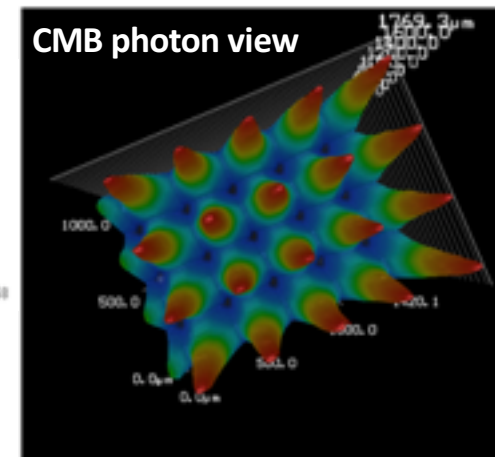


製造者の測定エラーのため、溝の深さ2mmで依頼するも1.7mmで出来上がって来た

Isometric view



CMB photon view



透過率の測定

測定した3次元形状を rigorous coupled waveguide analysis (RCWA) ソフトウェアの入力して、透過率を計算

設計

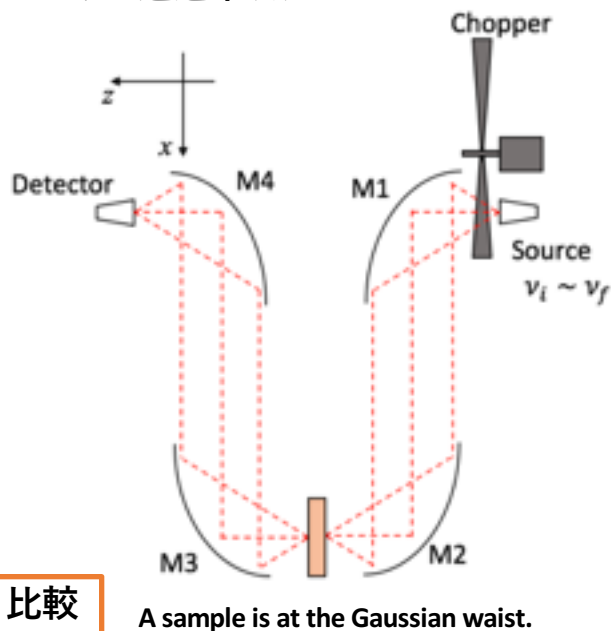
製作

形状測定

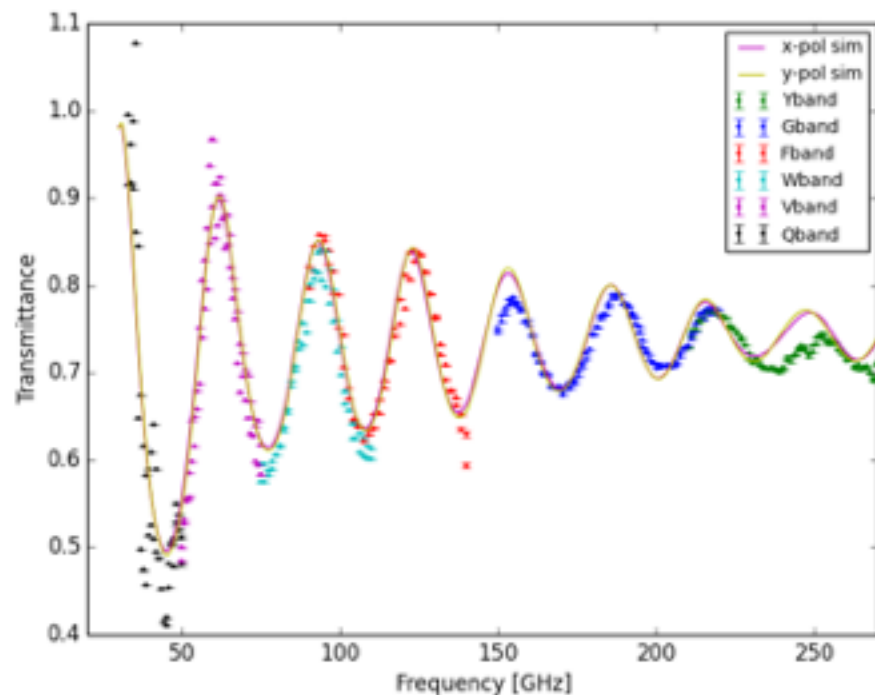
透過率測定

シミュレーションと比較

IPMUにおける透過率測定システム



測定結果：片面だと約75%の透過率

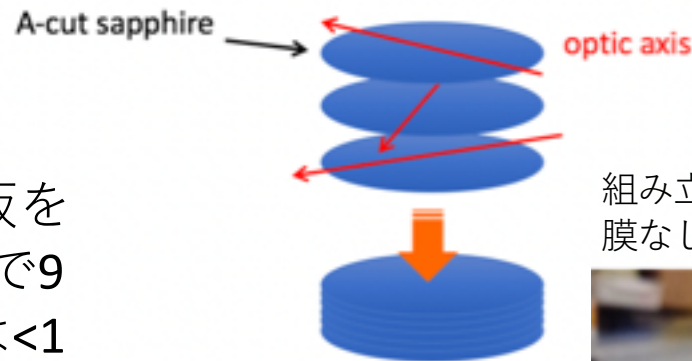


加工が片面なので、透過率自身は良くないが、シミュレーションと良く一致

Pancharatnam achromatic半波長板

Design and assemble

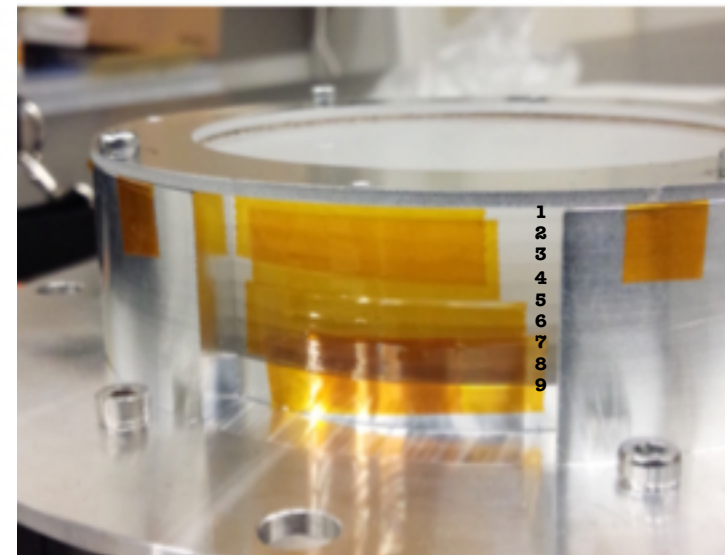
- 厚さ3.54mm直径約100mmのサファイア板を3次元測定器(UMM)状で9枚結合。角度の精度は<1 arcminを達成
- 在庫品のサファイア平板を使用したため、最適な厚みよりは幾分薄いものを使用、そのため中心周波数は188GHzであった
- 実機サイズ、最適な厚さのサファイア平板を製作してくれる会社あり



組み立てられた9層の半波長板、反射防止膜なし

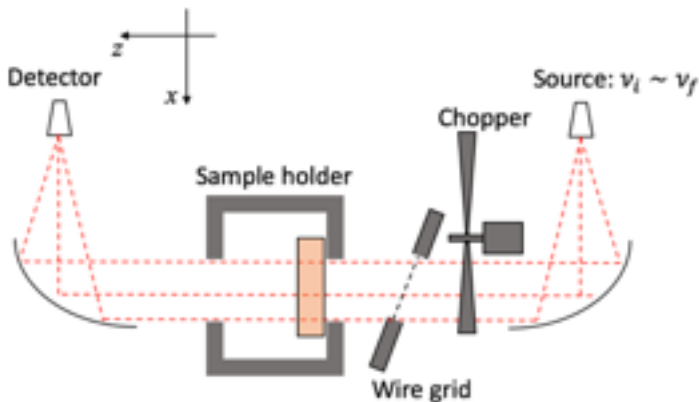


UMM at KEK

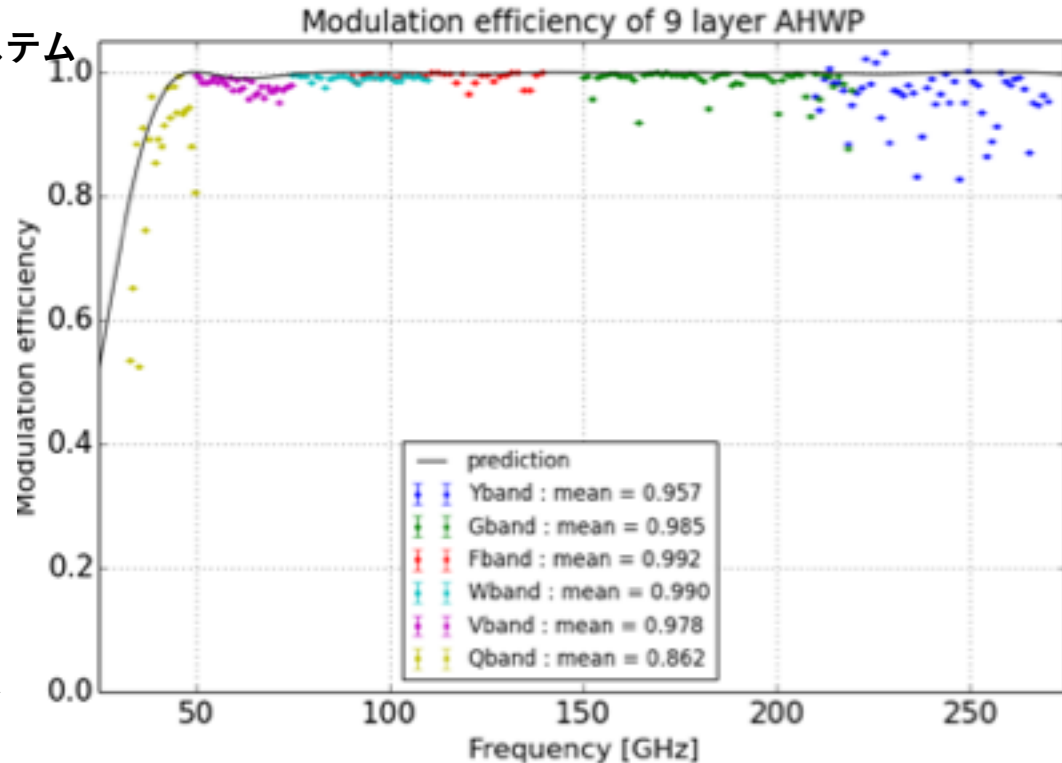


半波長板の偏光特性の測定

IPMUにおけるミリ波透過率・偏光特性測定システム



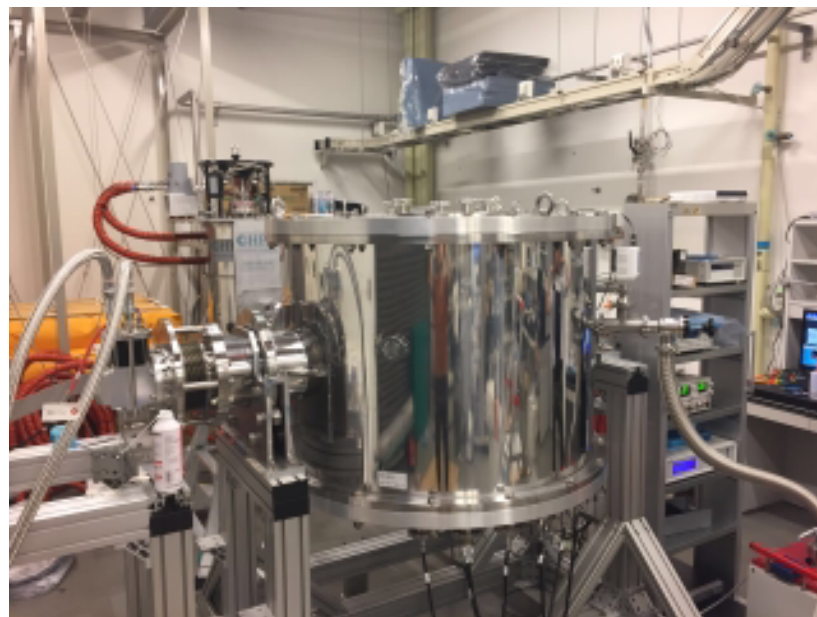
- 光源：35-270 GHz（6バンド）
- The source and the detector are sensitive to the linearly polarized light.
- ワイヤグリッドで直線偏光をつくり、AHWPをサンプルホルダ内に設置し、軸の周りに回転、時系列データから偏光特性を測定
- 広帯域で>98%を達成



低発熱連続回転・保持/冷却機構

- AC synchronous motorの開発
 - 永久磁石のロータ + 空芯コイルのステータ
 - $\sim 1\text{Hz}$ における安定回転 ($< xx \text{ rpm}/\sqrt{Hz}$)
 - コイルの発熱
 - $RRR(R@300K/R@4K) > 3000$ の高純度銅線または MgB_2 ($T_c=39\text{K}$)などの超電導線を使用
 - 小型コイルによる試験
 - 実機サイズの設計・製作をメーカーと交渉中
- KEKの鈴木さん、牧さんと保持機構の設計・試作中
- 実機サイズ軸受けを試作し、発熱等の測定準備中
 - 磁場の一様性についての検討を行った (含シミュレーション)
 - 一様性の高い磁器回路を検討・設計中、メーカーと製作を交渉中

大型クライオスタットでの試験

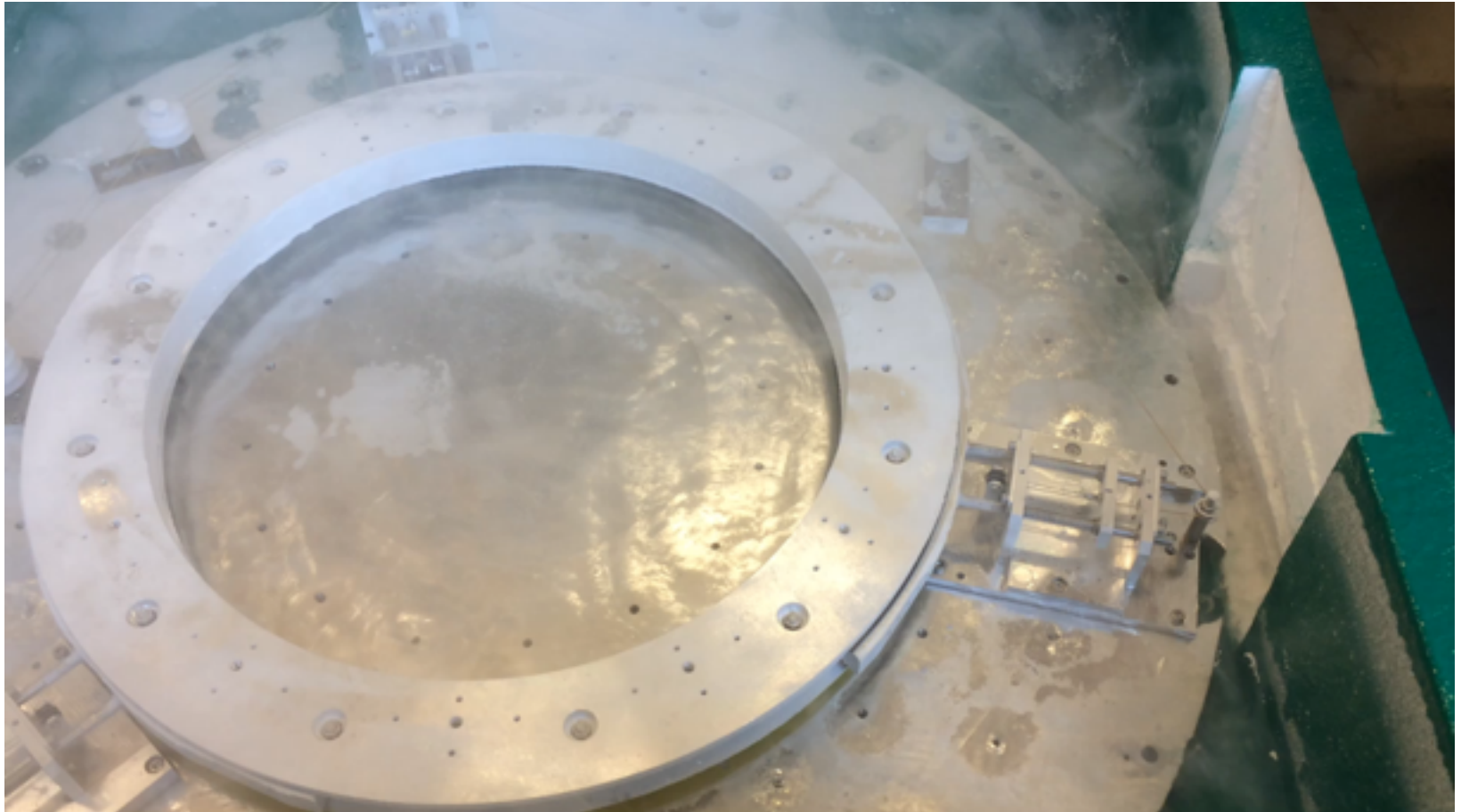


今回は、保持機構をリリースして磁気浮上軸受けが出来るかを試験

まとめ

- LiteBIRDの為の偏光変調器の開発を進めている
- 2018年には実機サイズのプロトタイプを製作
（反射防止微細構造は両面 $\Phi 100\text{mm}$ 程度）
- 測定システムを構築中（大型クライオスタットは既に使用を開始）
- LFTの周波数帯域、口径が決まり次第、パラメタの最適化を行う
- 大面積レーザー加工システムの設計・製作を物性研にて行う

磁気浮上、回転と保持システム



大型クライオスタットでの実験準備

