

長波長中間赤外線光学素子の開発

東大天文センター 特任研究員 上塚 貴史
宮田隆志、酒向重行、浅野健太郎、内山瑞穂
岡田一志 (東大天文センター)、今田大皓(筑波大学)
和田武彦、中川貴雄 (ISAS/JAXA)
中村友彦、左近樹、尾中敬 (東京大学)

概要

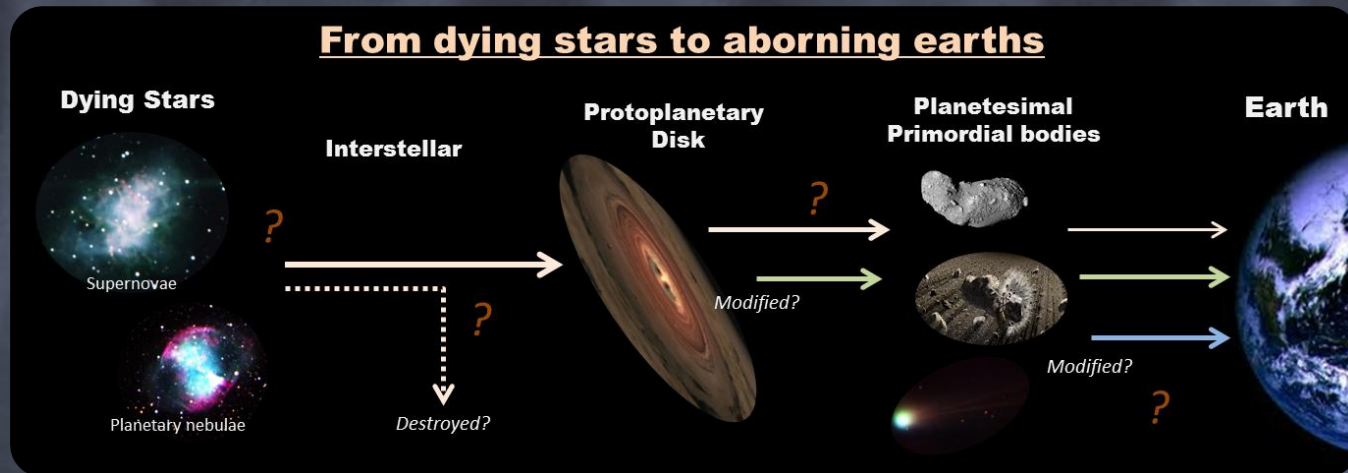
長波長中間赤外線 (波長 30—40 ミクロン) 向け光学素子の開発の現状についてご報告

- モスアイシリコンレンズ
 - 表面透過率 $96 \pm 3\%$ の片面モスアイ凸レンズ製作に成功
- モスアイグリズム
 - スプレーコートを用いたマスクパターン製作に成功
- メンブレンメタルメッシュフィルタ
 - SiC メンブレン (膜厚 $2\mu\text{m}$) の振動試験通過

イントロダクション

長波長中間赤外線天文学

中間赤外線天文学: 宇宙の物質形成・惑星形成までの理解

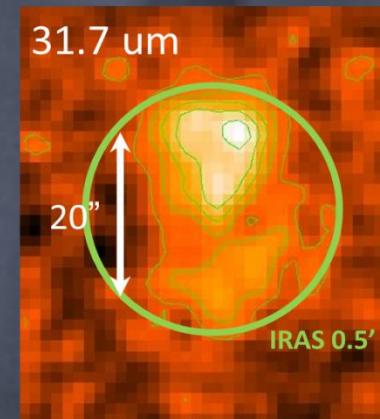


長波長中間赤外線天文学

- 波長: 30—40 ミクロン
 - 低温 (<100K) ダスト観測に有効
- ダスト形成過程・放出史に迫る

次世代観測装置

MIMIZUKU/TAO, MCS/SPICA



惑星状星雲 Mz3 の可視(左) 赤外線(右) 画像

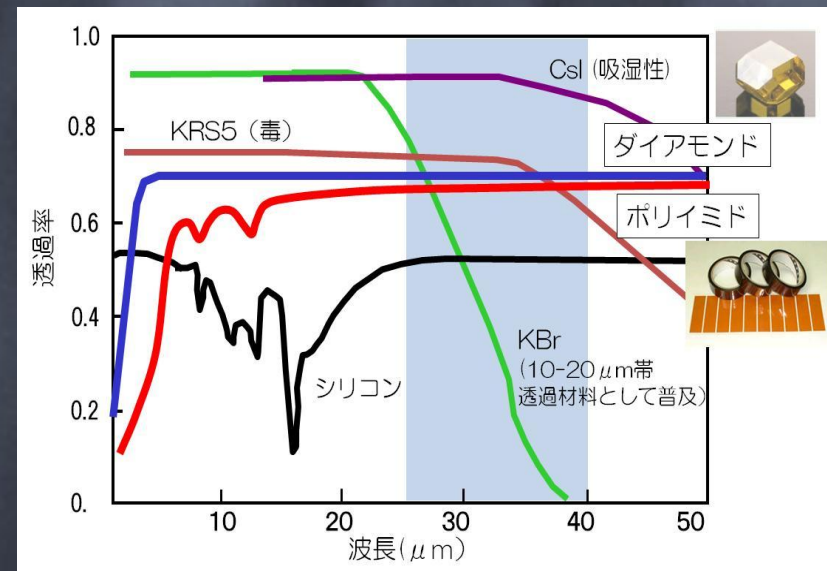
新規光学素子開発の必要性

長波長中間赤外線

- 安定した透過材料の少ない波長域
 - Si は良い材料だが反射ロスが大
- 反射防止機構、バンドパスフィルタの開発が求められる

開発中の光学素子

- 反射防止機構
 - モスアイレンズ
 - モスアイグリズム
- バンドパスフィルタ
 - メンブレンメタルメッシュフィルタ



中間赤外線光学材料の透過率特性

モスアイレンズ

モスアイ反射防止構造

反射 = 屈折率の変化で起きる

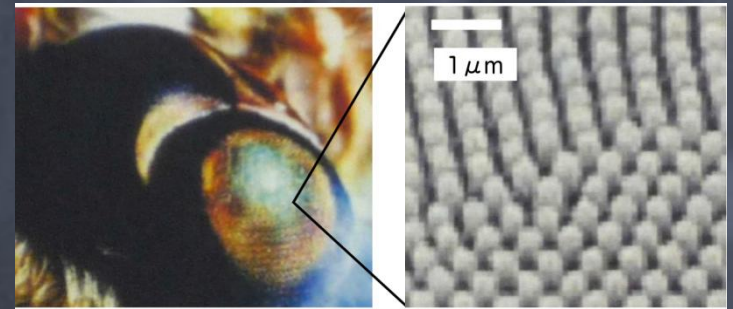
モスアイ構造

- 無数の錐体構造
 - 屈折率変化が連続的
- 反射防止作用

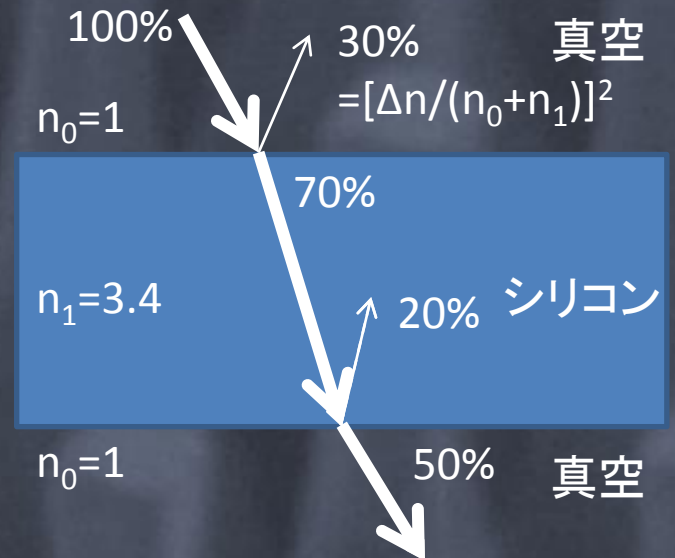
単一材料で構成できる
→ 冷却サイクルに強い

実用技術の流用

- 可視光モスアイ加工技術の応用
- レンズ・グリズムを開発



蛾の目 = モスアイの構造



モスアイ構造による反射防止作用

モスアイ反射防止構造

反射 = 屈折率の変化で起きる

モスアイ構造

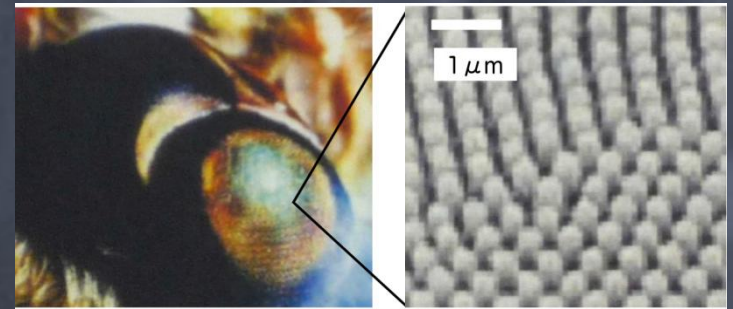
- 無数の錐体構造
 - 屈折率変化が連続的
- 反射防止作用

単一材料で構成できる

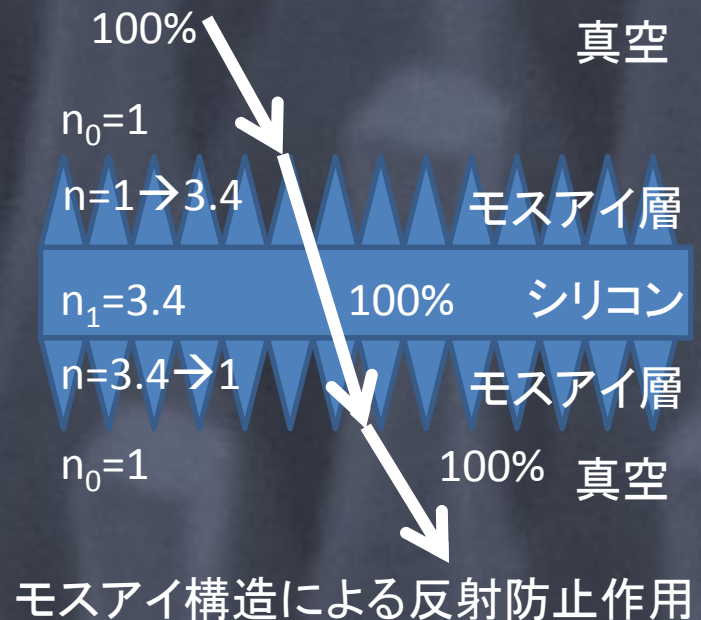
→ 冷却サイクルに強い

実用技術の流用

- 可視光モスアイ加工技術の応用
- レンズ・グリズムを開発



蛾の目 = モスアイの構造

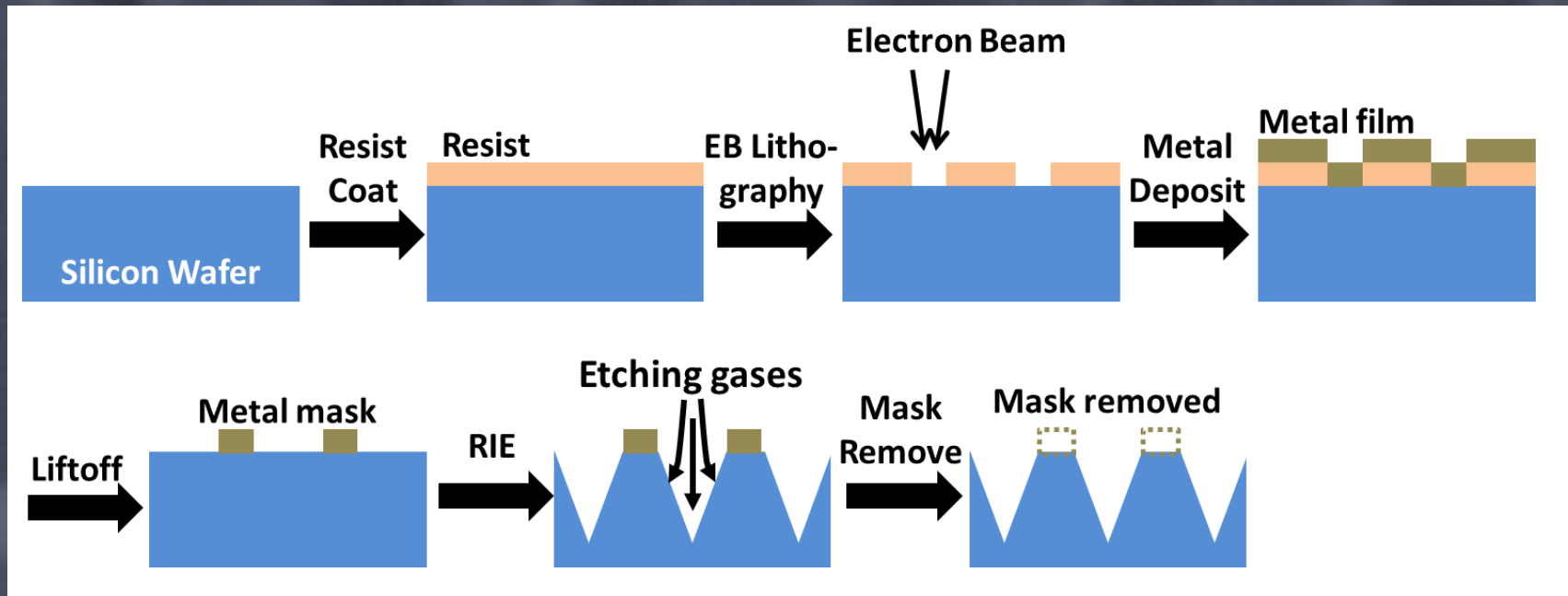


モスアイ加工手順

MEMS 技術を用いて作製

電子線リソグラフィ
→マスクパターンの作成

反応性イオンエッチング
→錐体構造の形成



モスアイ構造の加工手順

モスアイレンズ

モスアイレンズ = 装置のコンパクト化
ハードル: 曲面への加工

MIMIZUKU 向けサンプル作製

- 焦点距離: 93.8mm
- 直径: 40mm (有効径: 33mm)
- 曲率半径: 455mm
- サグ: 0.3mm

電子線描画の焦点ずれ問題
→ 焦点位置を二段階として加工

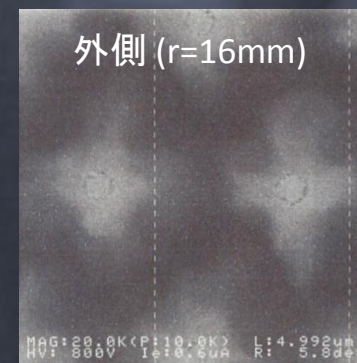
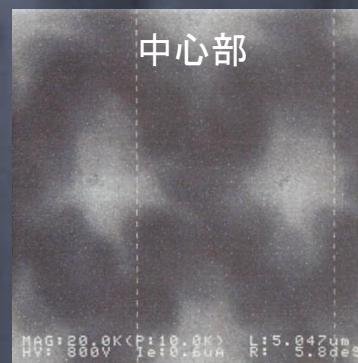
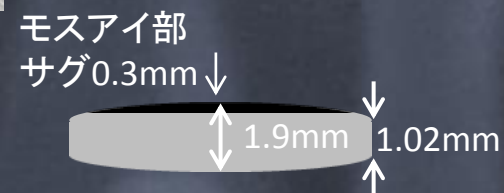
モスアイパターン

ピッチ: 5.0 μ m (中心-外側)

深さ: 17 μ m (中心), 15 μ m (外側)

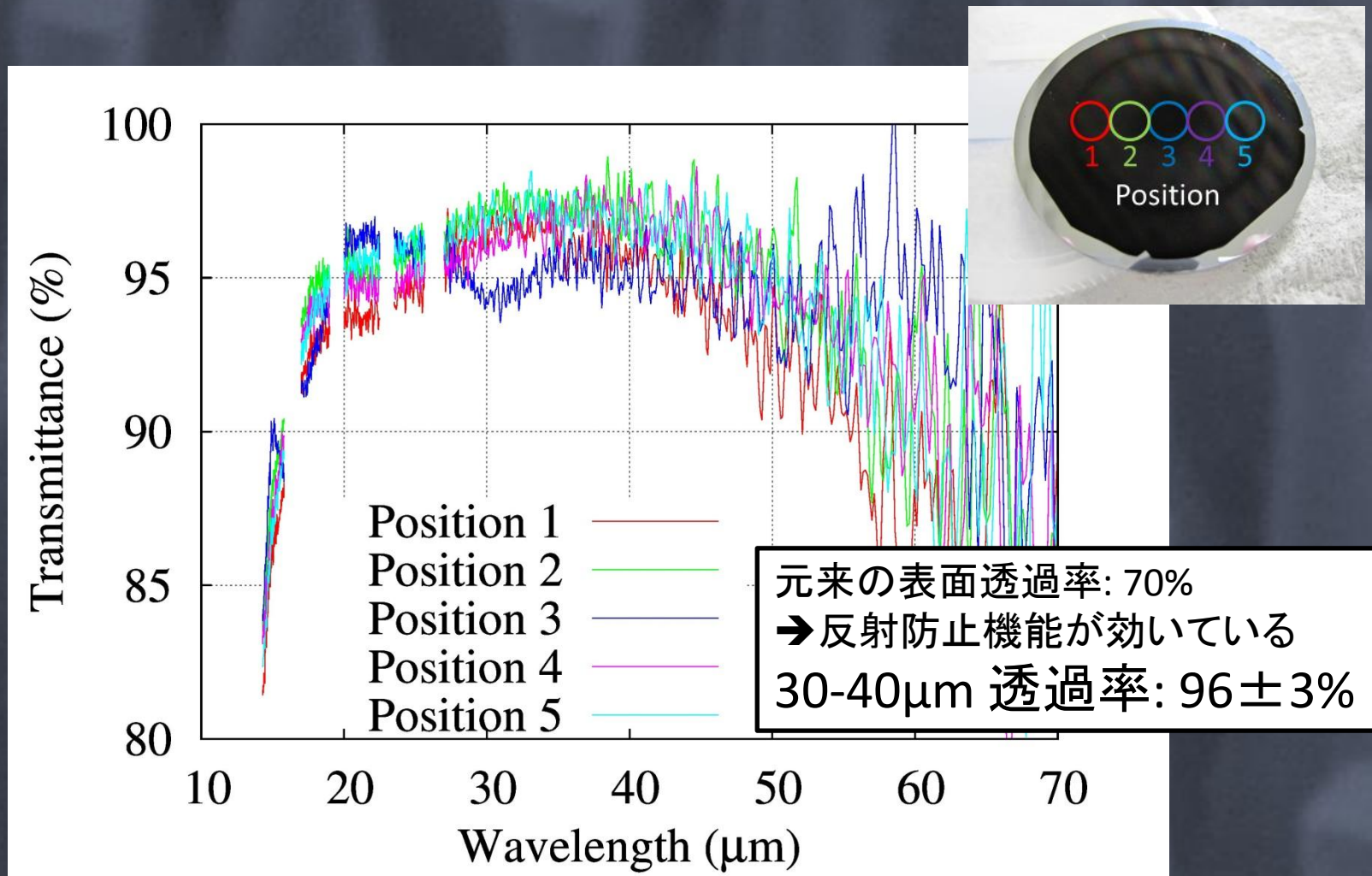


モスアイレンズの
外見 (上) および構造図 (右)



モスアイ構造の電子顕微鏡写真

モスアイレンズの表面透過率



広い領域 (25mm ϕ) で高い透過率特性 → 実用の見込み立つ

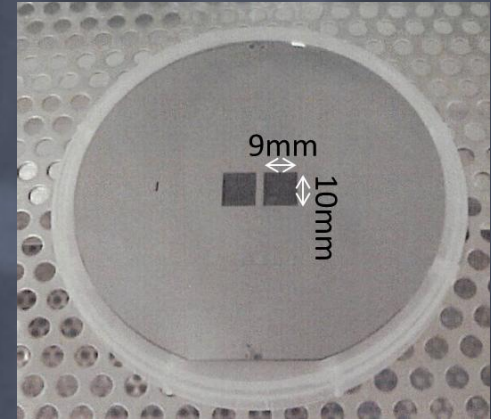
モスアイグリズム

モスアイグリズム

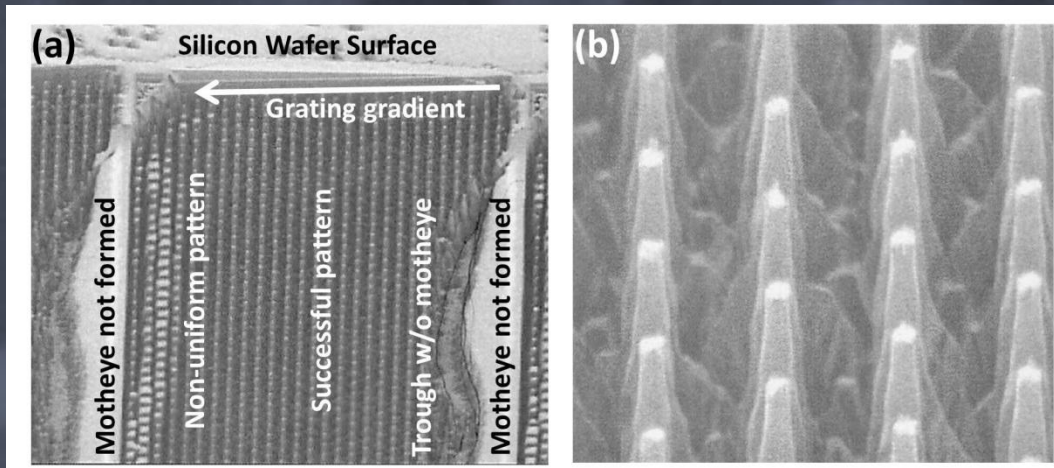
両面モスアイグリズム = 観測効率の向上
ハードル: 凹凸構造への加工

グレーティング面へのモスアイ加工

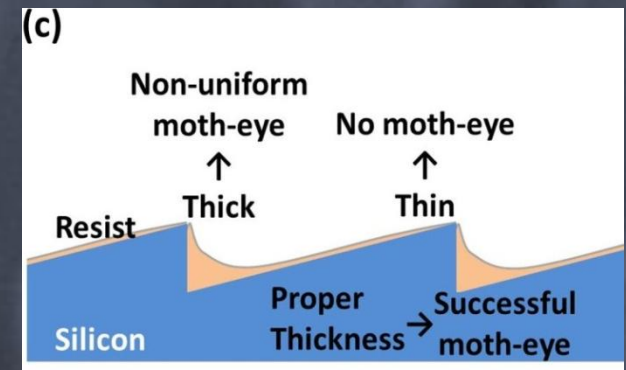
- 階段構造の淵でパターン形成失敗
- レジスト不均一に起因
- レジストの均一化が課題



モスアイグレーティングサンプル外観



モスアイグレーティング電子顕微鏡イメージ
(ブレース角 4deg, ピッチ 124.9 μ m, ピッチ 5 μ m)

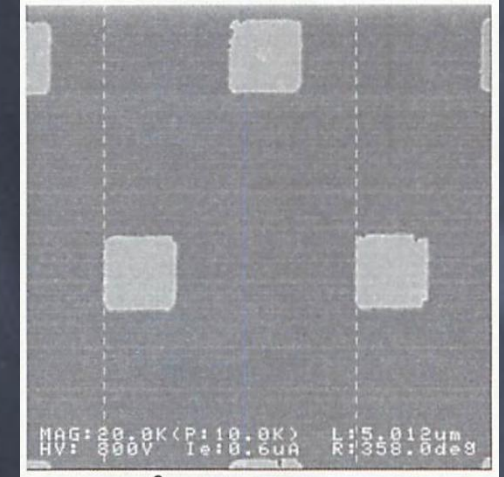


レジスト不均一の様子

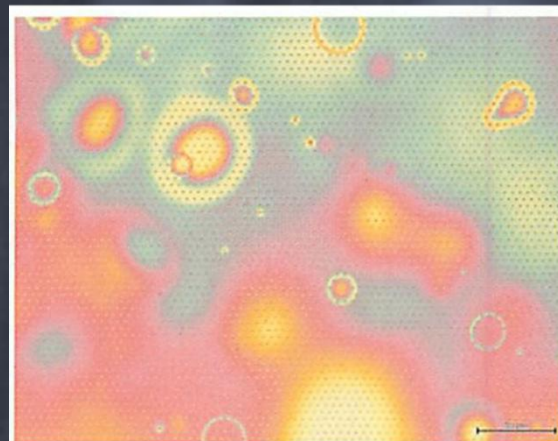
レジストコーティングの改良

レジストコート方法を変更

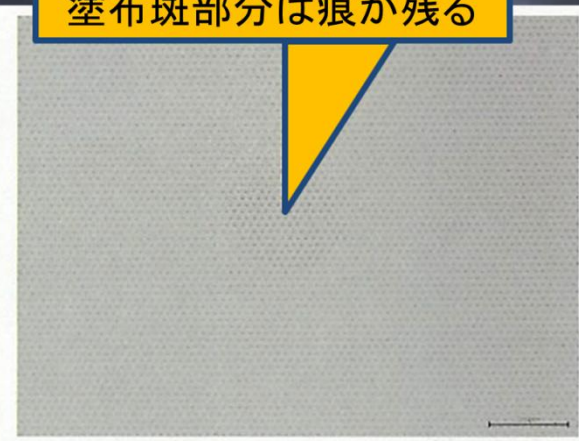
- スピンコート→スプレーコート
 - 凹凸面へのコートに有利
- 平面への塗布・マスクパターン作成試験
 - 若干ムラが出たがパターン形成は可能
 - 今後グレーティング面モスアイ加工へ



マスクパターンの電子顕微鏡写真



50μm

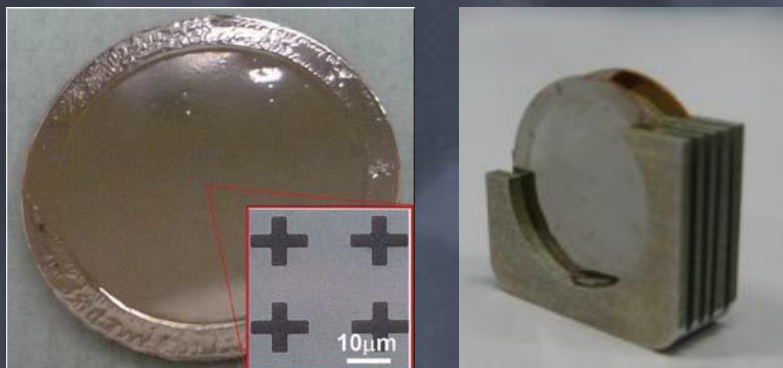


50μm

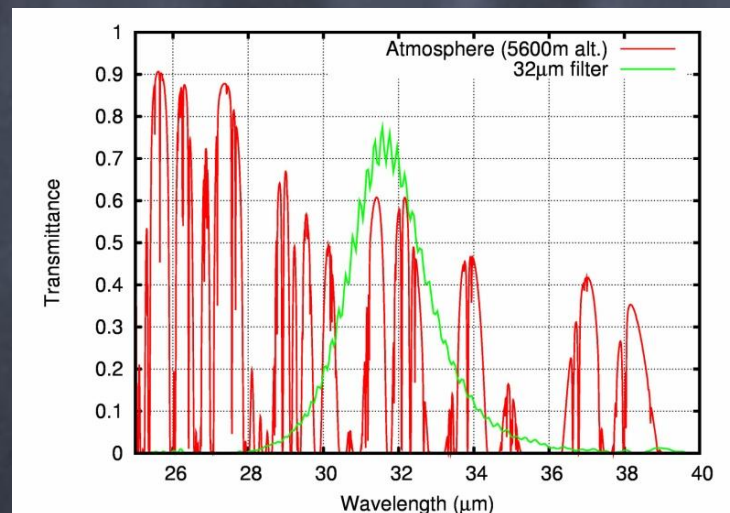
リフトオフ前(左)後(右)の可視光顕微鏡写真

メンブレンメタルメッシュフィルタ

メタルメッシュフィルタ



メタルメッシュフィルタとスタックした様子

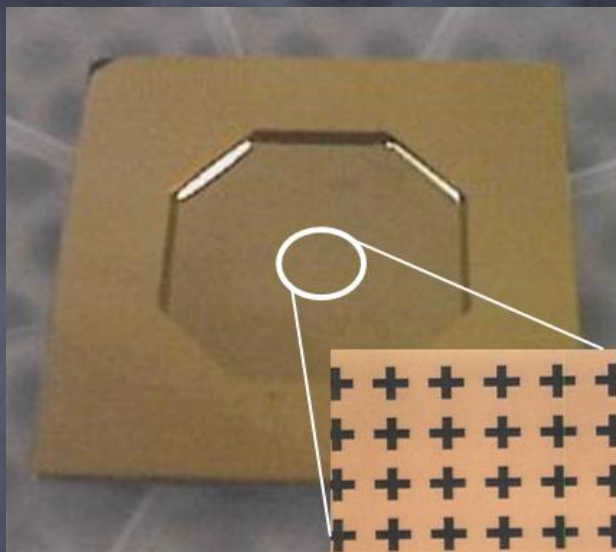


大気透過率(赤)とメッシュフィルタの透過特性(緑)

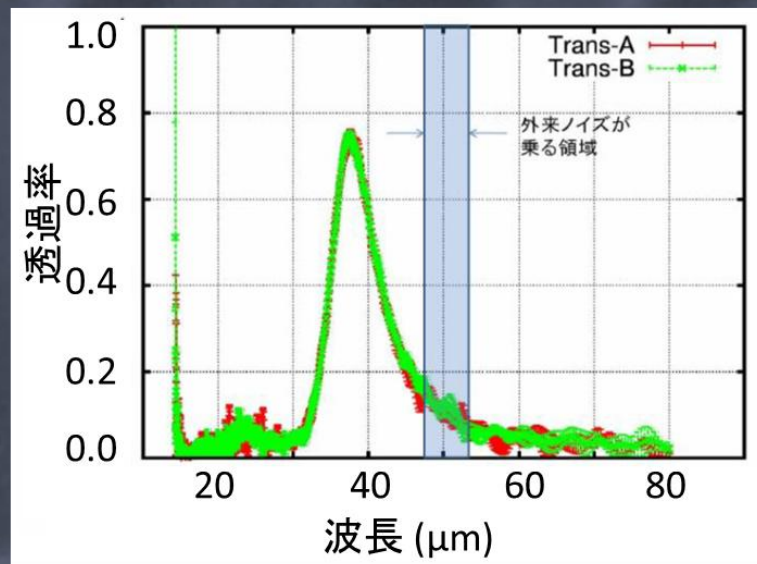
メタルメッシュフィルタ

- 1ミクロン厚の金膜にメッシュパターン
- バンドパス特性を持ち、遠赤外線・テラヘルツ帯で利用
- 光学材料の乏しい長波長中間赤外線に有用
- ただし溜息で壊れる

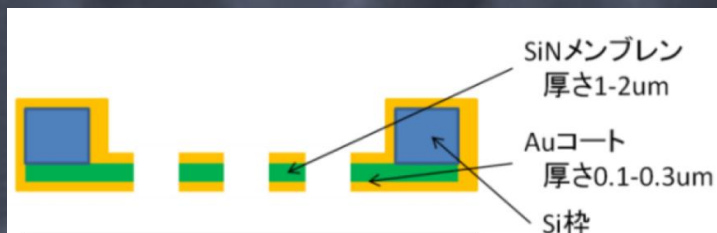
メンブレンメタルメッシュフィルタ



メンブレンメッシュフィルタサンプルの外見



メンブレンメッシュフィルタの透過特性

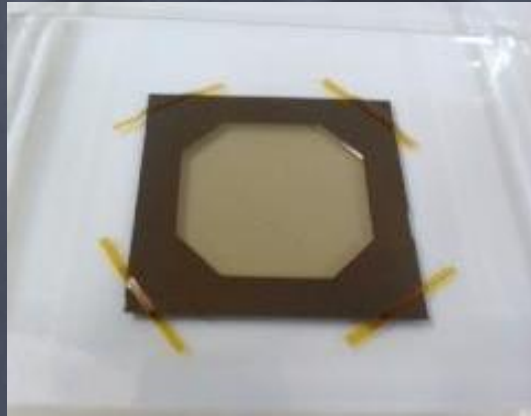


メンブレンメッシュフィルタの構造

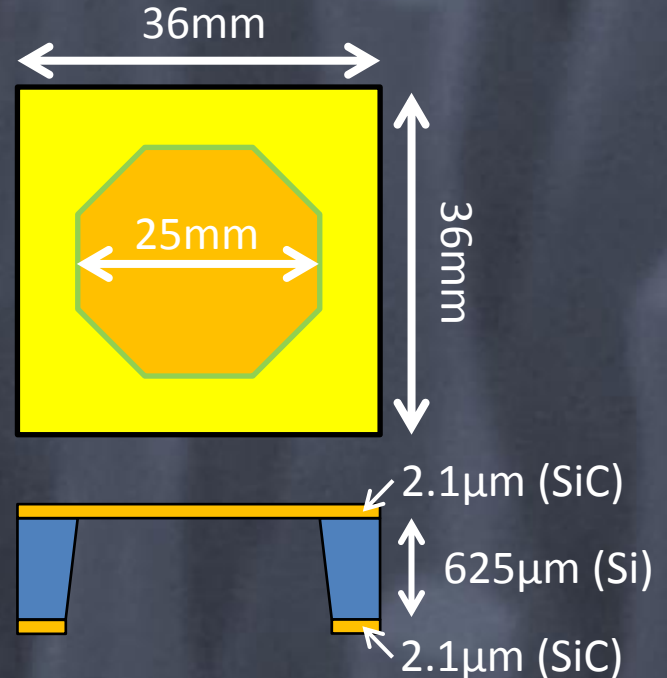
メンブレンメタルメッシュフィルタ

- 丈夫な薄膜を基材に据えて強化
→ハンドリング性能の向上
宇宙分野への応用
- バンドパス特性が出る事も確認

メンブレンの振動試験



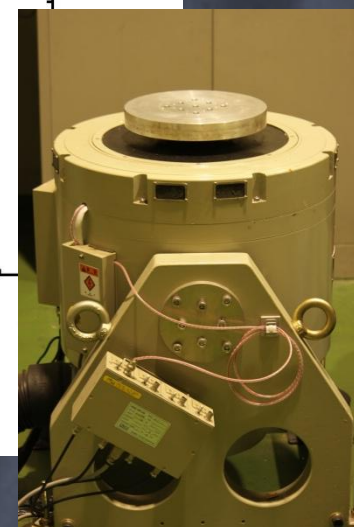
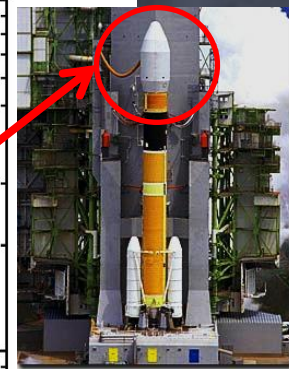
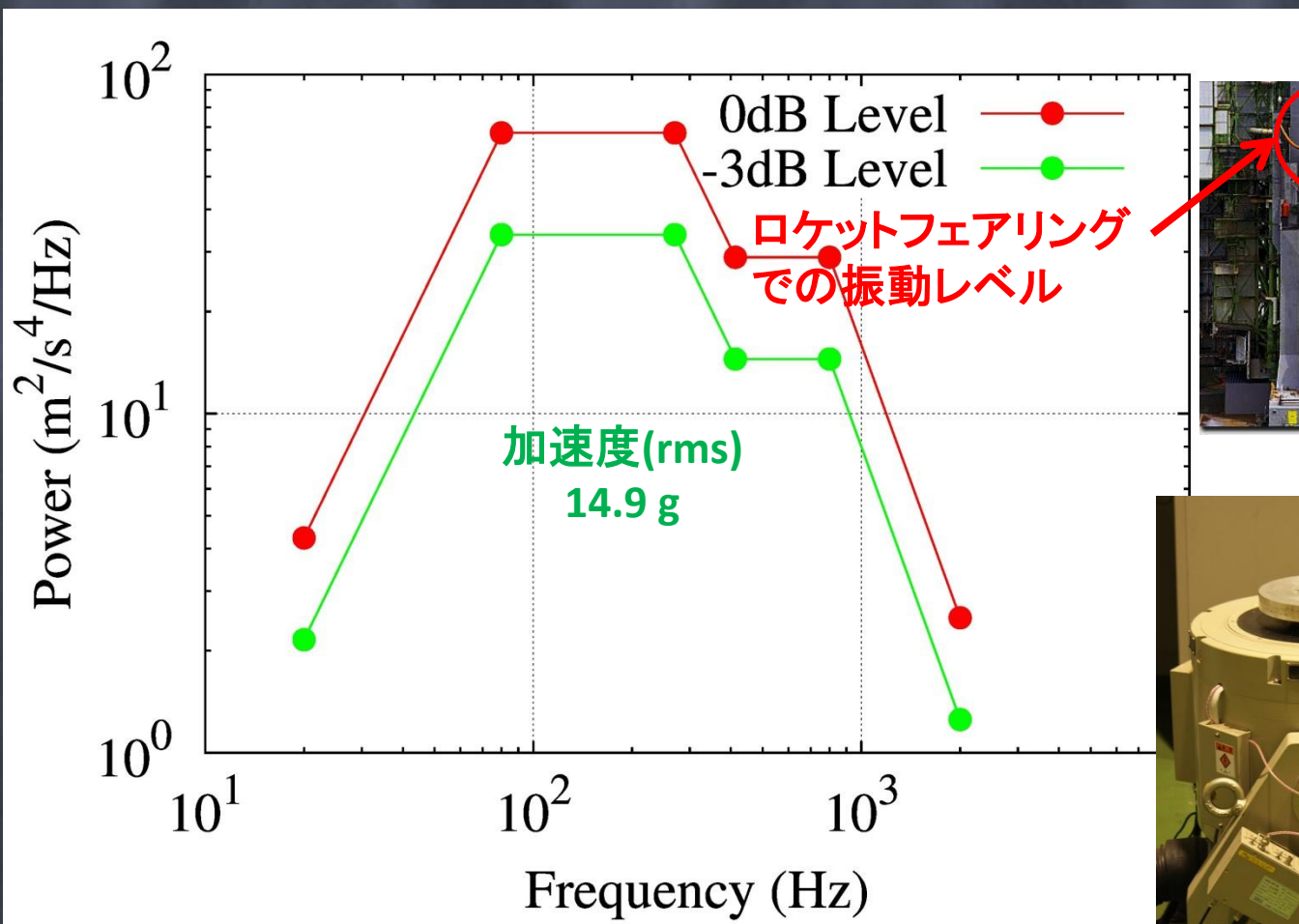
振動試験サンプルの外見 (上)と構造図 (右)



基材のメンブレンの振動耐性を調査

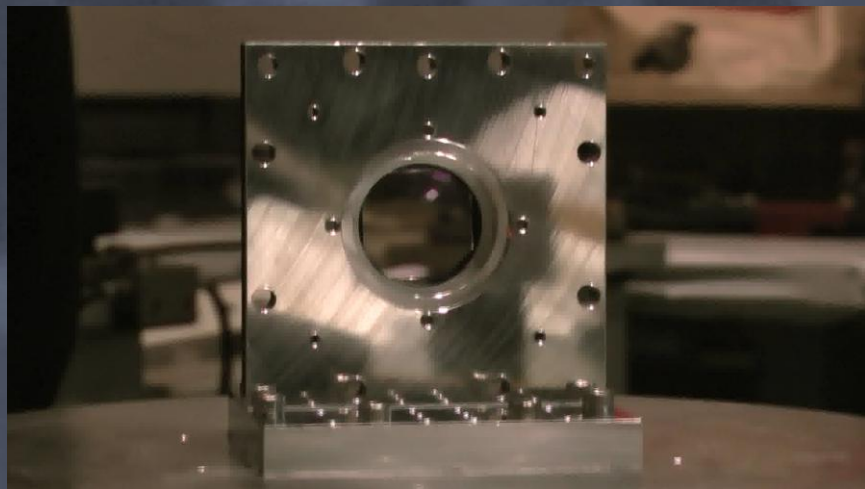
- SiC メンブレン (膜厚: 2.1ミクロン)
- メッシュパターン無し

メンブレンの振動試験



振動のパワースペクトル

メンブレンの振動試験



振動試験の様子 (左: 平行振動, 右: 垂直振動)

振動負荷: -3dB レベル x 60 sec x (垂直・平行振動)

目視確認: 変性・破損は認められず

→2ミクロン SiC 膜は宇宙応用の見込みあり

今後パターン付サンプルの振動試験/音響試験に

まとめ

まとめ

長波長中間赤外線による低温ダスト観測に向けた
新規光学素子開発を進行中

モスアイレンズ

- 高透過率モスアイの形成に成功
- 今後は両面への形成

モスアイグリズム

- スプレーコートを用いた形成に可能性を確認
- モスアイ形成試験を進める

メンブレンメタルメッシュフィルタ

- SiC 2ミクロン膜が振動試験を耐え、宇宙応用への可能性
- メッシュパターンサンプルの音響・振動試験へ