

長波長中間赤外線光学素子の開発

上塚 貴史 (東大天文センター)

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)

P-1

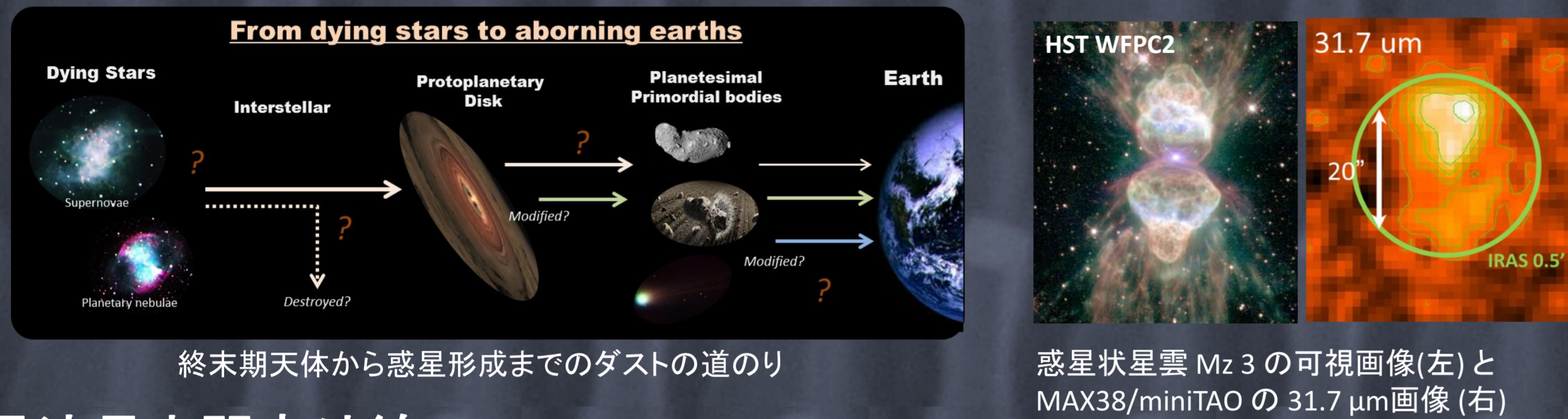
概要

MIMIZUKU/TAO や MCS/SPICA といった将来の観測装置の長波長中間赤外線 (30-40ミクロン) 観測の実現に向け、モスアイ反射防止加工を施した高効率のレンズ・グリズム、メンブレンメタルメッシュフィルタの開発を進めている。モスアイレンズ開発では 96% の高表面透過率を持つレンズの開発に成功した。モスアイグリズム開発では、グレーティング面の均一パターン形成に有効と思われるスプレーコートを用いたマスクパターン形成試験を実施。結果、マスクパターンが正しく形成され、スプレーコートをモスアイ加工に利用できる見込みを得た。メンブレンメタルメッシュフィルタ開発では基材となる SiC 膜 (膜厚 2 μm) の振動試験を実施。ロケットの振動レベルに近い振動に耐えることを確認し、メンブレンメッシュフィルタの宇宙応用の可能性を確認した。

長波長中間赤外線

中間赤外線天文学

宇宙の固体微粒子 (ダスト) の熱放射は中間赤外線で見える
→ 死にゆく星のダスト形成から惑星までのダストの進化を明らかにする

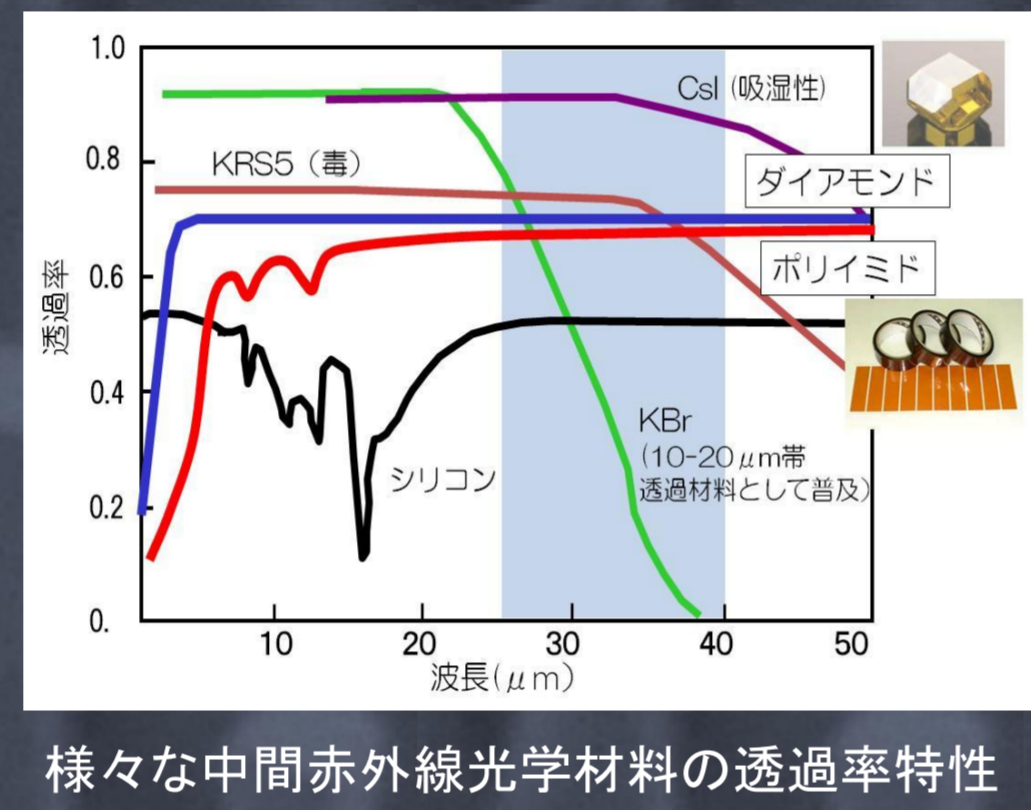


長波長中間赤外線

波長 30-40 ミクロンの波長帯。冷たい (<100K) ダストの観測に有効だが、地上からの観測が困難なため、高空間分解能観測が不足する未開拓波長帯。数少ない地上の観測可能望遠鏡 TAO 搭載の MIMIZUKU、および宇宙望遠鏡 SPICA の MCS により将来観測が進展すると期待される。

長波長中間赤外線光学素子開発

本波長帯は透明で扱いやすい光学材料が不足。シリコン・ゲルマニウムは入手・加工・透明性が良い材料だが反射ロスが大きい。このため、本波長帯は多層膜干渉を用いるバンドパスフィルタや高効率の透過光学素子がない。来る MIMIZUKU, MCS の時代に向け、これらを解決するモスアイレンズ・モスアイグリズム・メンブレンメッシュフィルタを開発している。



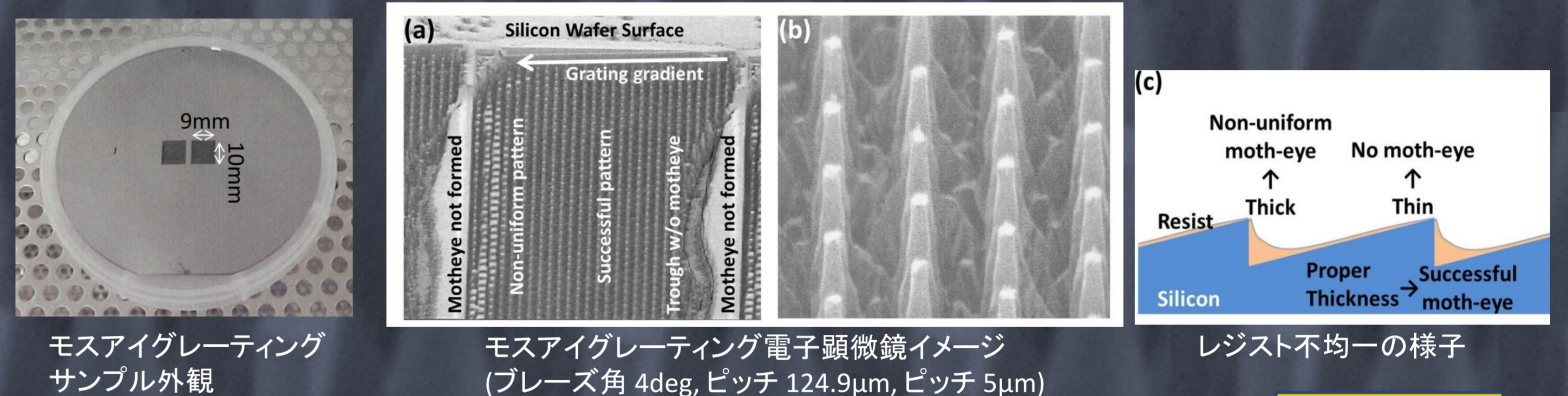
モスアイグリズム

シリコンモスアイグリズム

モスアイ付グリズムの実現は分光観測の効率向上につながる。両面モスアイ加工が実現すれば透過効率が二倍に向上、観測時間を半分に短縮できる。実現のハードルはグレーティング面へのモスアイ加工にある。

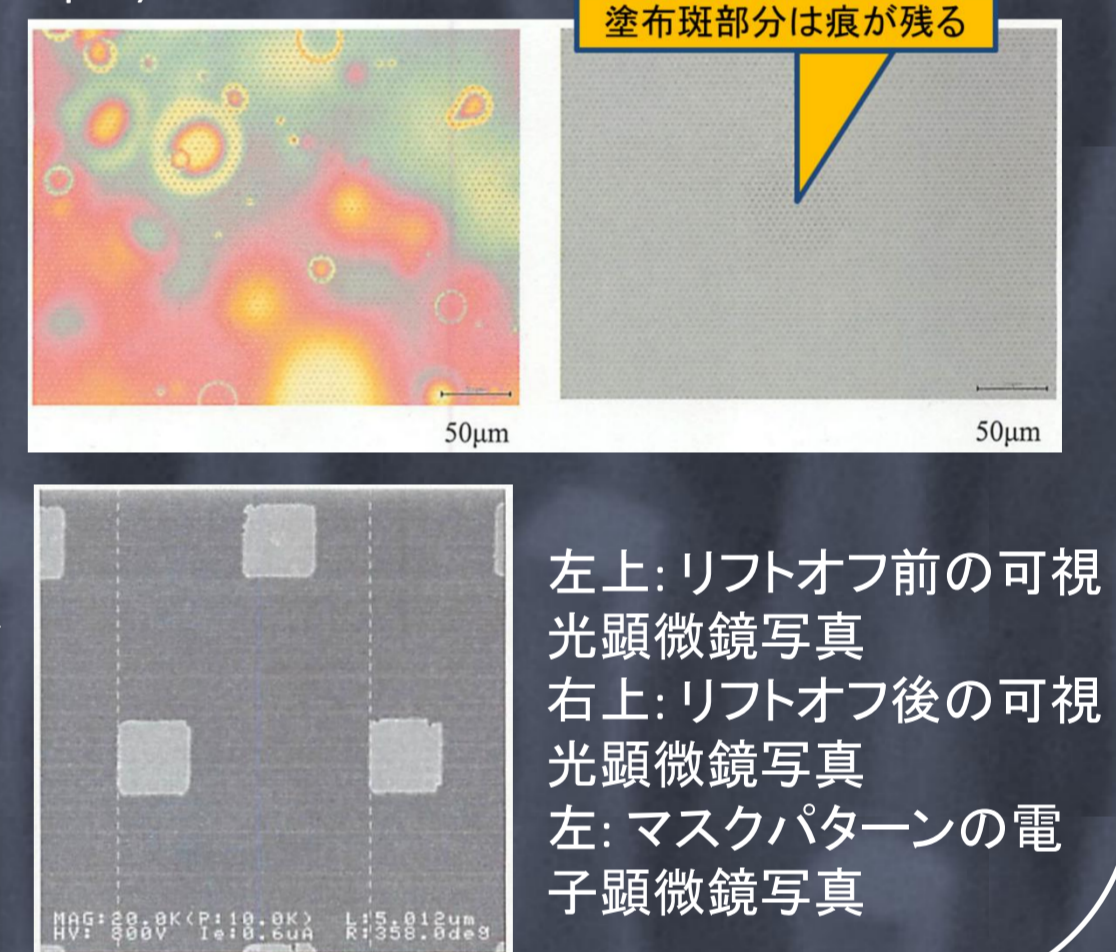
レジスト不均一問題

従来通りのモスアイ加工をグレーティング面に施したところ、階段構造の上部・下部に置いてパターン形成がうまくいかない事がわかった。これはレジストの不均一によりマスクパターンがうまく形成できなくなったためである。



スプレーコートによるマスク形成試験

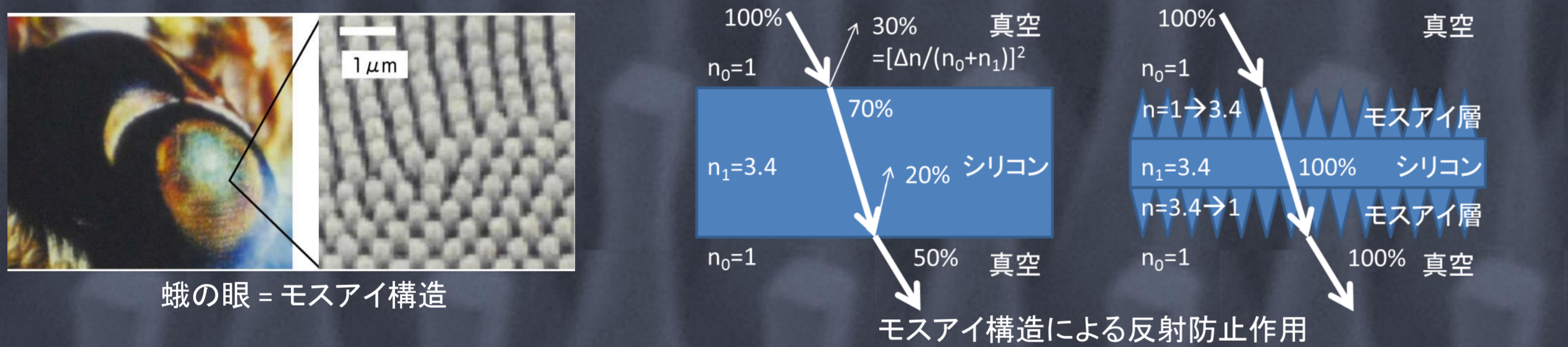
従来レジスト塗布にはスピンコートを採用していたが、複雑な構造に適用した際に斑が出やすい。一方スプレーコートは斑が出にくいとされている。そこでレジスト塗布にスプレーコートを採用してマスク形成実験を行った。結果、多少の斑が発生したが、マスクパターンが十分形成可能な事を確認できた。これを受け、グレーティング面へ実際に適用したサンプル試作を今後進めていく予定。



モスアイレンズ

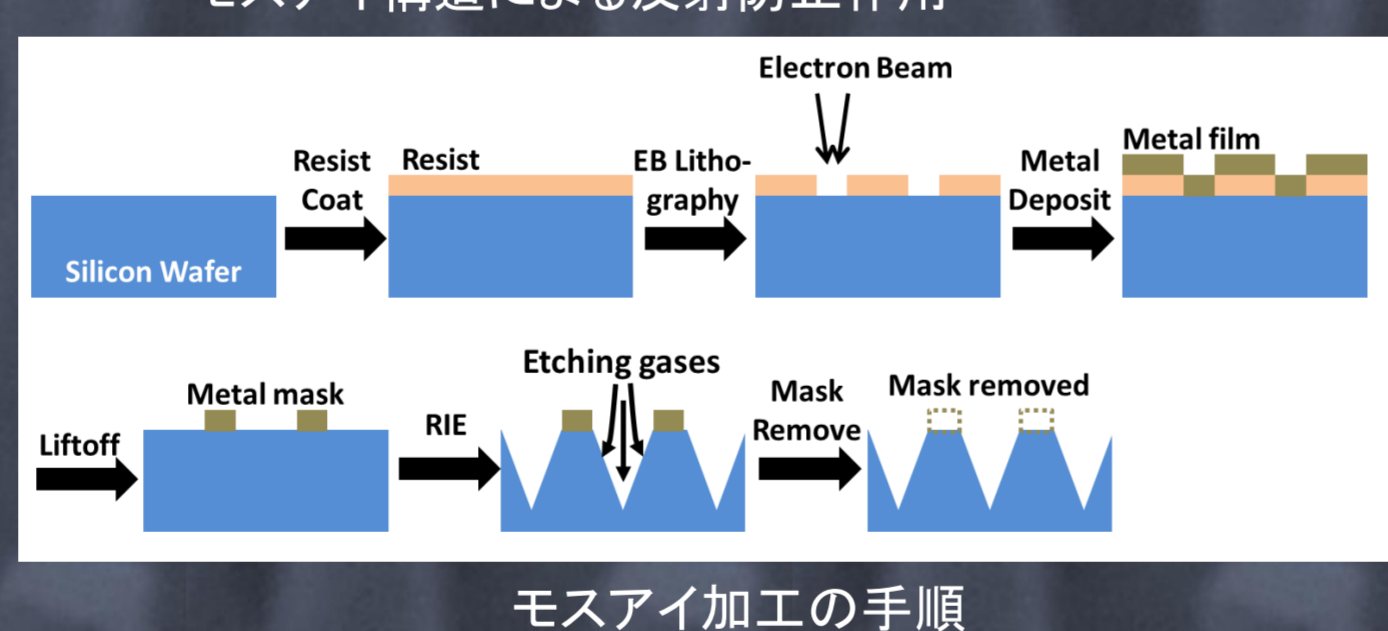
モスアイ構造の波長防止効果

モスアイ構造は蛾の眼の表面にあるような錐体構造群である。錐体の高さ程度の波長の光にとってこの構造は屈折率が滑らかに変化する媒質として振る舞い、反射の原因となる屈折率の段差が無くなるため反射防止効果が現れる。



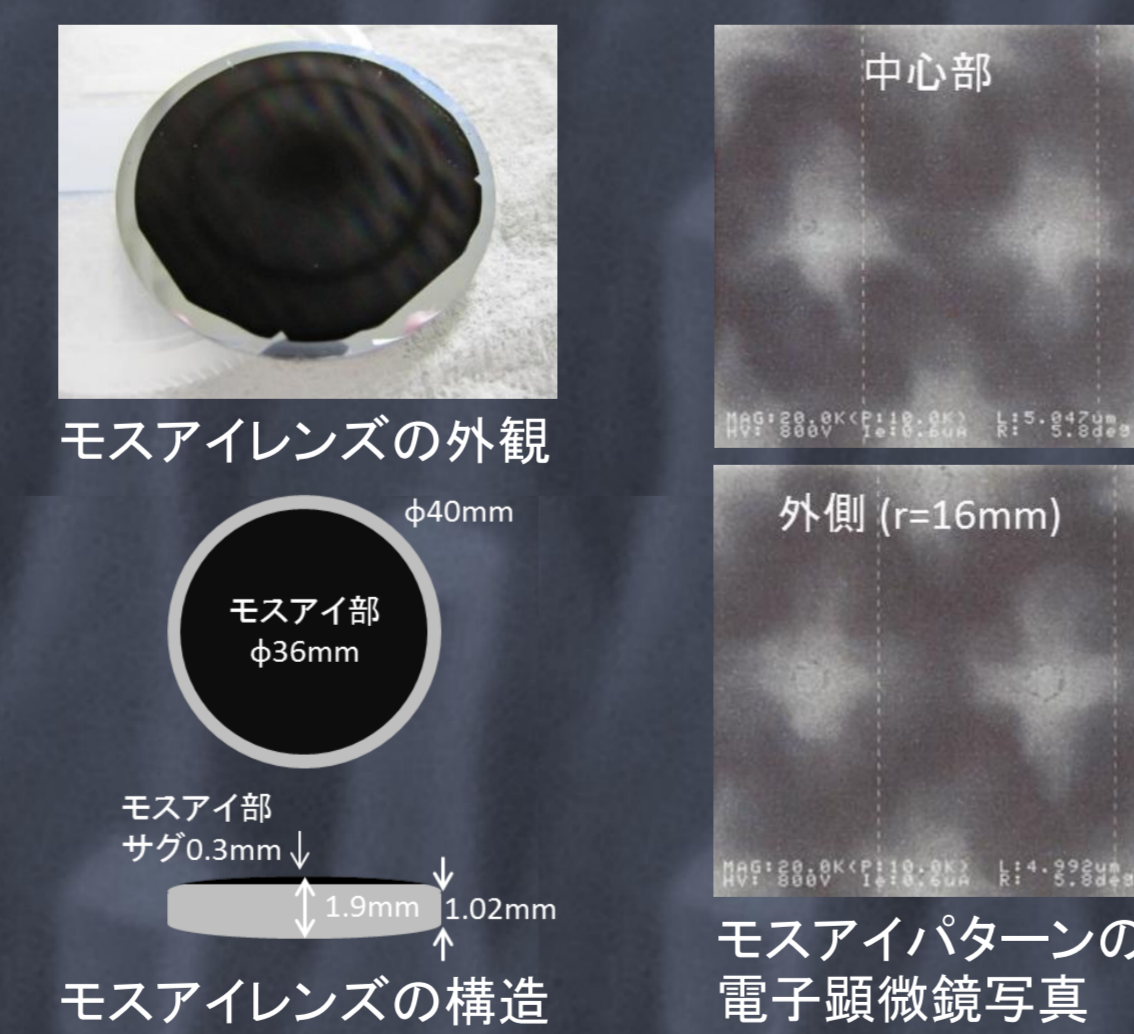
モスアイ加工

モスアイは電子線リソグラフィ、反応性イオンエッチングで形成する。長波長赤外線を対象とし、パターン深さを 15-20μm、ピッチを 5μm に設定する。



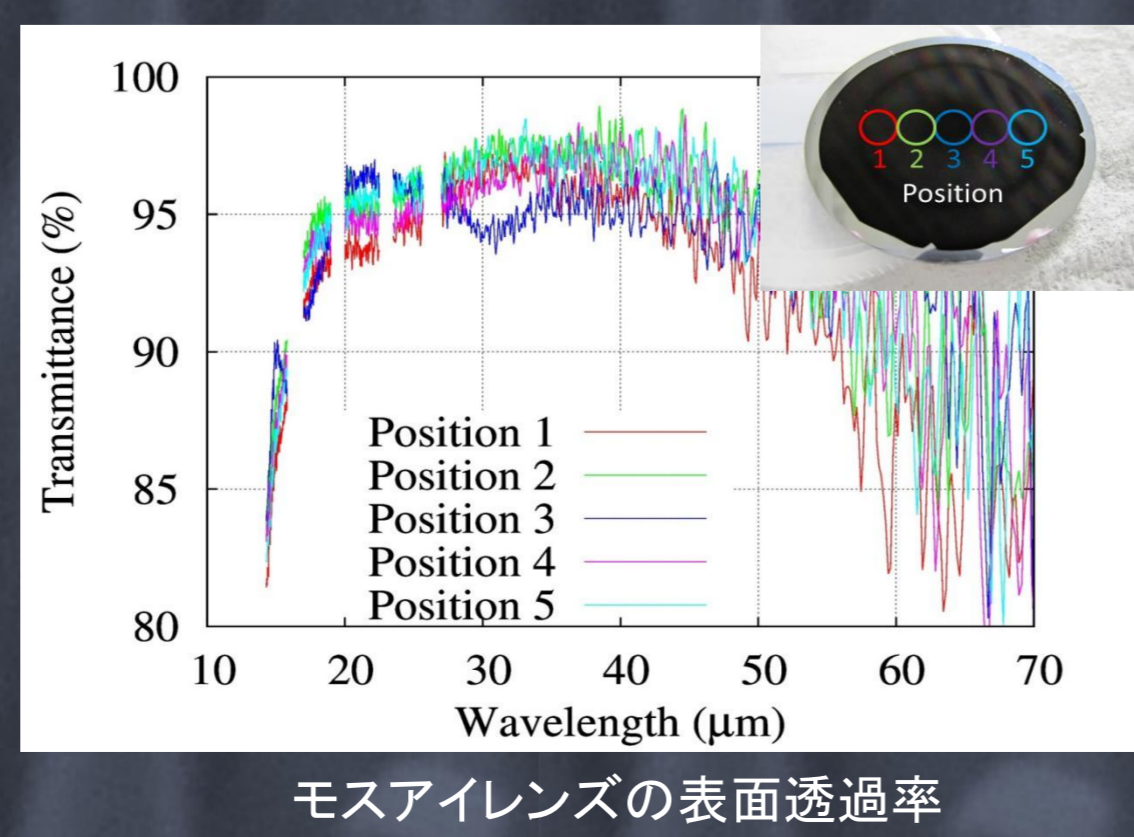
シリコンモスアイレンズ

モスアイ付のシリコンレンズが実現すれば、高効率の屈折光学系が実現可能となり、効率低下を避けつつ光学系をコンパクト化できる。これは冷却を要する長波長中間赤外線装置に有効である。ただし曲面へのモスアイ加工は電子線リソグラフィの焦点位置の問題から難度が高い。



凸レンズのモスアイ加工試験

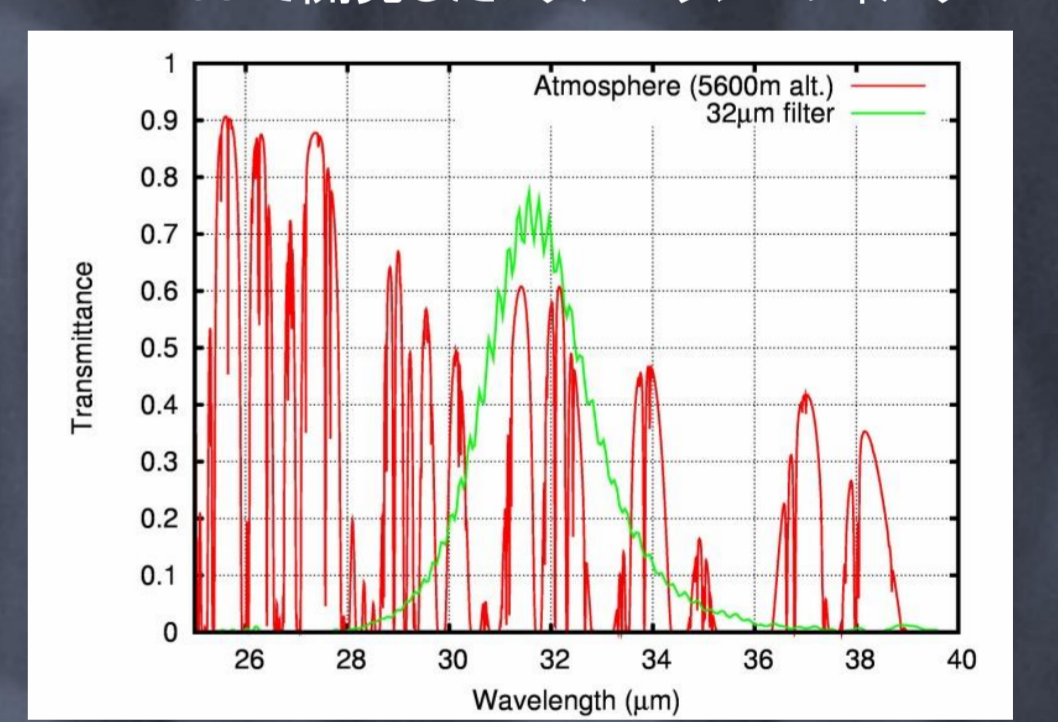
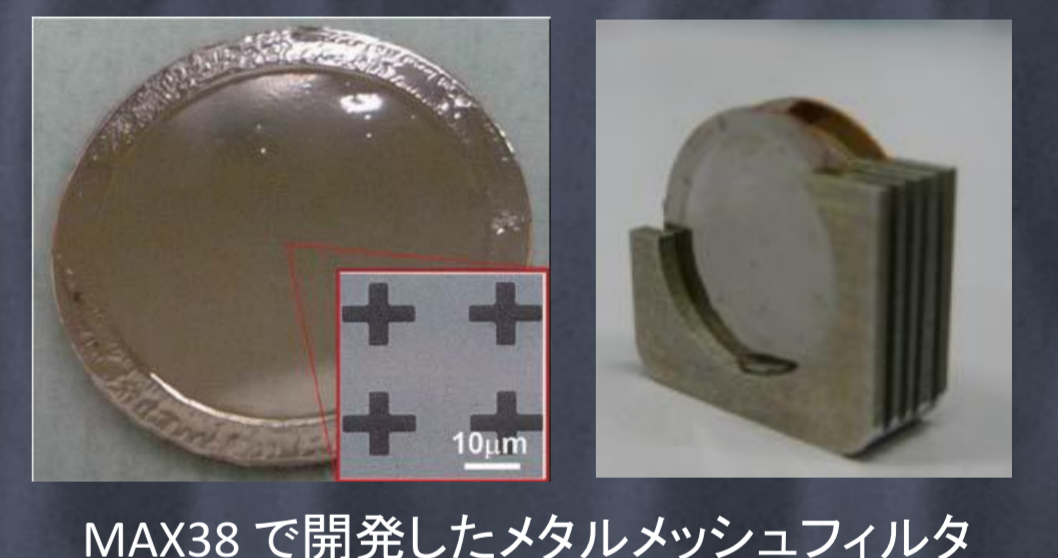
MIMIZUKU に搭載するシリコン両凸レンズ (f=93.8mm, D=40mm) の片面モスアイ加工を試みた。電子線描画の焦点位置は、パターン変化が許容範囲内で、広くパターン形成可能な位置を二点取り、φ36mm の領域のモスアイ加工ができた。透過率をフーリエ分光器で測定した結果、30-40ミクロン帯で 96±3% の表面透過率を φ25mm の領域で確認。同様の加工を両面で行えば高効率シリコンレンズが完成する見込みが立った。



メンブレンメタルメッシュフィルタ

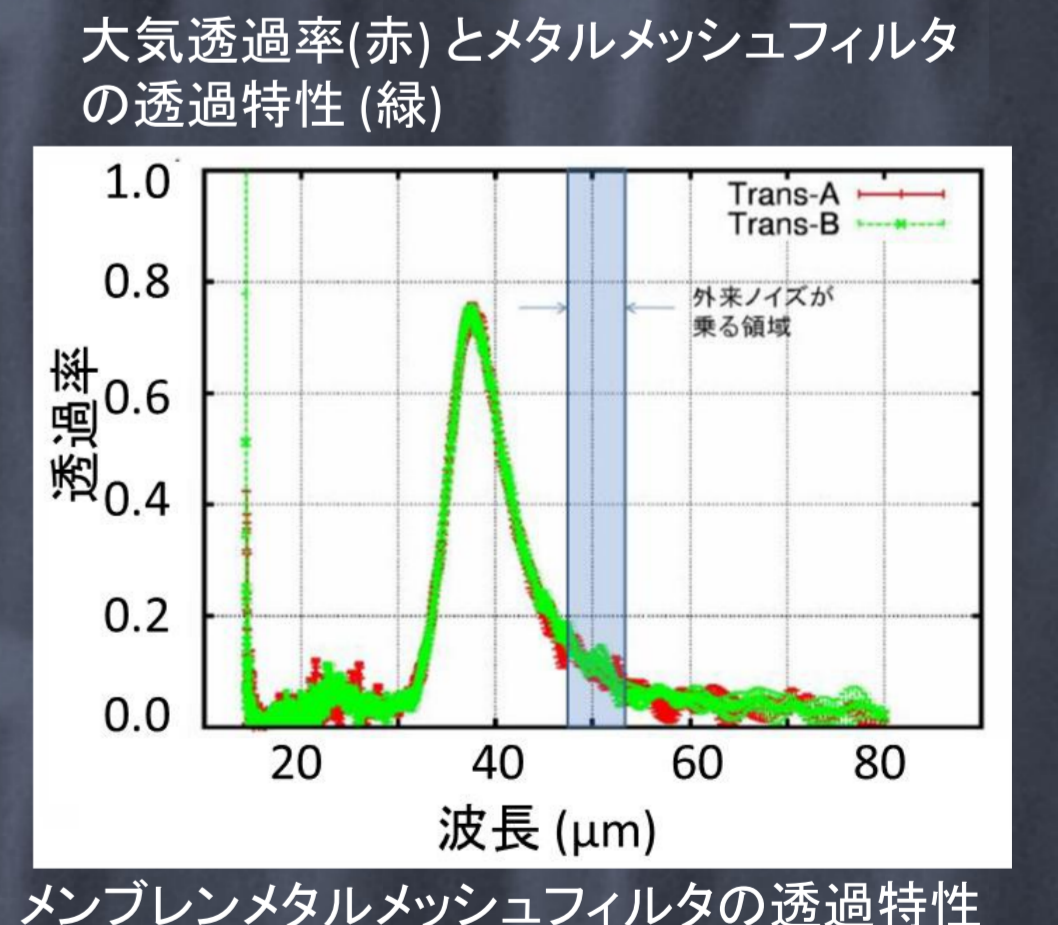
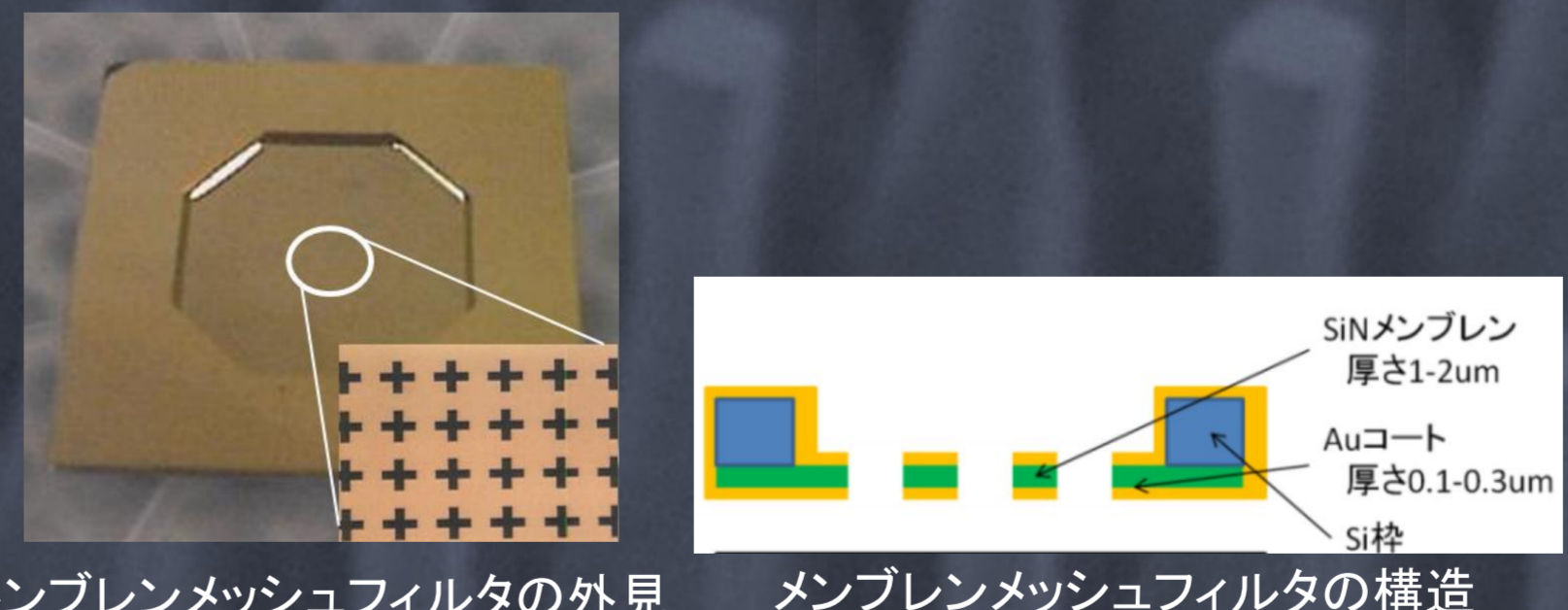
メタルメッシュフィルタ

周期的に穴の開いたメッシュ構造の金属薄膜は、メタルメッシュフィルタと呼ばれ、特定波長を透過するバンドフィルタの特性を持つ。遠赤外線・テラヘルツ帯でも使用され、長波長中間赤外線でも miniTAO 望遠鏡搭載 MAX38 で開発・使用実績がある。溜息で破れてしまう強度のため、ハンドリングに難がある。



メンブレンメタルメッシュフィルタ

強度の問題を解決すべく、SiC や SiN の丈夫な薄膜を金でコートしたメンブレンメタルメッシュフィルタの開発に着手している。下記に示す通り、メタルメッシュフィルタと同等のバンドパス機能を有する事が確認できている。



SiC 膜の振動試験

SiC 膜 (膜厚 2.1 μm) の振動試験を実施し、ロケット打ち上げの振動に耐える強度を持つかを調べた。フェアリングの振動の -3dB のパワー (右図緑線) までしか振れなかったが、60 秒の振動に耐えることを確認。これを受けメンブレンメタルメッシュフィルタは宇宙応用の可能性があることが分かった。今後メッシュパターンを刻んだフィルタの音響・振動試験を行い、宇宙用途の可能性を調べる。

