

MEMS X 線光学系の表面形状測定による鏡配置精度の評価

Evaluation of mirror alignment error of MEMS X-ray optics

○ 寺田優¹、沼澤正樹¹、江副祐一郎¹、武内数馬¹、伊師大貴¹、藤谷麻衣子¹、大橋隆哉¹、石川久美²、満田和久²、森下浩平³ (1. 首都大理、2. 宇宙研、3. 京大工)

○ M. Terada¹, M. Numazawa¹, Y. Ezoe¹, K. Takeuchi¹, D. Ishi¹, M. Fujitani¹, T. Ohashi¹, K. Ishikawa², K. Mitsuda², K. Morishita³ (1. Tokyo metropolitan Univ., 2. JAXA, 3. Kyoto Univ.)

E-mail: terada-masaru@ed.tmu.ac.jp

我々は MEMS 技術を利用した次世代 X 線望遠鏡を開発している。厚さ 300 μm 、 ϕ 70 mm の Si (111) 基板に、穴幅 20 μm の曲面微細穴を開け、球面に高温塑性変形して宇宙からの X 線を集光する (図 1 a)。球面変形は鏡の配置精度に直結するため重要だが、穴が微細なため回折を避けるために平行 X 線を部分照射することで評価する必要があった。

そこで我々は基板の表面形状測定から鏡の配置精度を評価する手法を開発した。反射鏡は基板の表面に対し法線の向きに母線を持つと予想されるため、表面形状をレーザー顕微鏡で測定し、表面形状の法線ベクトルから基板の各箇所での側壁の反射角 $\theta(r)$ を推定できる (図 1 b)。一方で、予想される反射角 $\theta_0(r)$ は基板全体を球面でフィットした最適な曲率と基板中心からの距離 r から推定できるため、これらを比較することで、反射角のばらつき、すなわち配置精度を評価できる。

我々は新たに製作した 1 回反射型光学系サンプルを用いて、表面形状測定と X 線測定から鏡の配置精度を基板の中心を通る垂直な 2 方向について測定した (図 1 c)。X 線測定は JAXA 宇宙研 30 m ビームラインを用いた。結果として、表面形状から予想される配置精度は角度分解能 (Half Power Diameter, HPD) で 11.4 ± 0.9 分角 (誤差は 1σ) であったのに対して、X 線測定の結果は 12.9 ± 1.4 分角であり、誤差の範囲で一致した。ここで、鏡の表面のうねりに起因する形状精度は、変形前の基板で同様の測定を行うことで、その影響を除去した。この結果は、表面形状から鏡の配置精度を見積もることが可能であることを示唆し、すなわち X 線測定の手間を大きく軽減できる。一方で、将来の宇宙ミッションで求められる配置精度は <5 分角であり、2-3 倍程度の改善を要する。

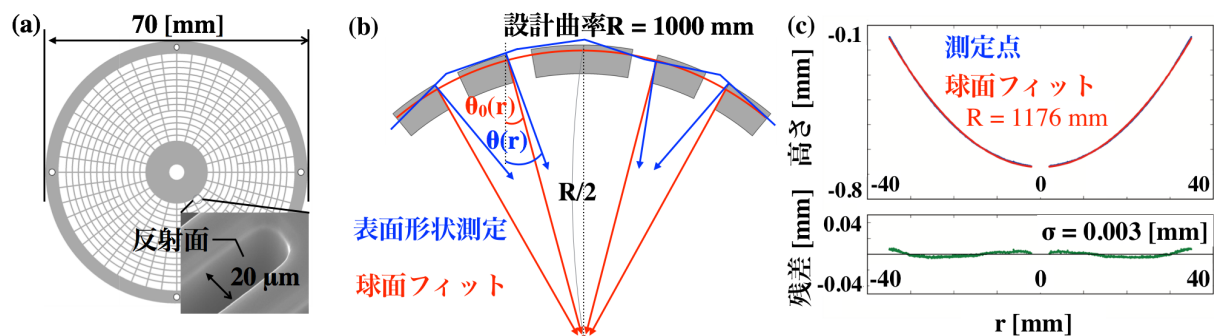


図 1: (a) MEMS X 線光学系の上面概念図と微細穴 (SEM 画像)。 (b) 光学系の側面図と反射角見積りの概念図。 (c) 表面形状測定と理想曲面フィット例。