

X線 L I G A を用いた将来 X 線天文衛星に搭載する 超軽量望遠鏡の開発

Development of an ultra light-weight telescope for future X-ray astronomy satellites

江副 祐一郎^a, 小林 将士^b
Yuichiro Ezoe^a, Masashi Kobayashi^b

^a 首都大学東京大学院 理工学研究科, ^b オプトニクス精密

^aGraduate School of Science and Engineering, Tokyo Metropolitan University, ^bOptonics Precision Co. Ltd.,

X 線天文学では大気による吸収を避けるため、できるだけ軽量かつ角度分解能の良い望遠鏡が必要となる。将来の様々なミッションに向けて、我々は X 線 LIGA を用いた手法を考案し開発している。X 線 LIGA で製作した Ni 製の微細穴構造体の側壁を反射鏡として利用する。我々は X 線露光、現像、電析までを一貫して液浸で行うプロセスを用いて、2 回反射望遠鏡の 1 段分を試作した。穴幅は $\sim 20 \mu\text{m}$ 、基板の厚みは $\sim 200 \mu\text{m}$ である。今後、X 線結像試験を行って性能を評価する。

Ultra light-weight and high angular resolution telescopes are indispensable for future X-ray astronomy satellites. For this purpose, we have been developing a novel method based on X-ray LIGA. Micro pore structures made of Ni are fabricated by use of X-ray LIGA and side walls of the micro pores are used for X-ray total reflection mirrors. This year, we have completed a single-stage test optic with a micro pore width of $\sim 20 \mu\text{m}$ and a wafer thickness of $\sim 200 \mu\text{m}$. We will examine X-ray imaging quality of this optic.

Keywords: X-ray astronomy, X-ray LIGA, micro pore

背景と研究目的: X線はブラックホールや銀河団など様々な天体から放出されており、宇宙を探る主要な手段の一つになっている。天体からの微弱なX線を集光結像するためには、大面積でかつ角度分解能の良い望遠鏡が必要となる。X線は地球大気による吸収を受けるため、観測には主に人工衛星を用いる。そこで将来の中小型衛星や巨大衛星に向けて、より軽量で性能の良い望遠鏡が求められている。

我々は日本が世界をリードするマイクロマシン技術に着目した。薄い基板に多数の穴をリソグラフィーやエッチングで形成し、側壁を平滑化することでX線反射鏡として利用する[1,2,3]。X線 LIGA は本手法の最有力候補の一つである。X線リソグラフィーによって製作したPMMA金型にNiで電積をほどこすことで、高精度精度でかつ高い反射率の鏡を作成する。側壁は基板深さ方向に対しては $10 \mu\text{m}$ スケールでは nm rms オーダーに滑らかであり、X線全反射鏡として使用可能である。

我々は研究の第一段階として、約 1 cm 角の鏡チップを立命館大 杉山研究室主導の元、開発して、本手法で世界で初めてのX線全反

射実証に成功した。そこで今年度は世界初のX線 LIGA で製作した2回反射望遠鏡の1段分の試作へと進んだ。

実験: 今回、望遠鏡1段分を下記の手順で製作した。プロセスフローをFig. 1に示す。

- (1) メタクリル酸メチルポリマー(固体, 0.8g)とメタクリル酸メチルモノマー(液体, 0.15g)を混合する。
- (2) 上記の液体(5.24 g)にベンゾイル(0.1 g)、N-Nジメチルアニリン(0.05 ml)、トリエチレンジメタクリレート(0.05 ml)を混合する。これを液体PMMAと呼ぶ。
- (3) ガラス板の上にカプトンシートを敷き、その上にSUS基板を置く。
- (4) SUS基板に液体PMMAを塗布し、その上に $200 \mu\text{m}$ 厚のPMMAシートを載せる。
- (5) PMMAシートの上にカプトンシートを敷き、その上からガラス板を載せて 2 kg/cm^2 で5分プレスする。
- (6) プレス終了後、ガラスプレートに挟んだまま 40°C のオーブンで10時間以上ベークする。
- (7) カプトンフィルムに挟まれた SUS 基板

+PMMAシートを取り出して、露光用基板が完成する。

(8) 立命館大学SRセンター BL-6 にて、望遠鏡パターン用のフォトマスクを通して 0.69 A hour 照射する。フォトマスクはポリイミドメンブレンに Au 吸収体(厚み $\sim 3.5 \mu\text{m}$)が付いたものであり、オプトニクス精密にて製作した。マスクパターン精度は $< 1 \mu\text{m}$ である。

(9) オプトニクス精密にて、現像、洗浄、Ni 電積、およびPMMA 除去を行う。なおPMMA 除去前に基板の表裏からはみ出したNiを首都大にて手研磨で削り落とす。

結果、および、考察： Fig. 2 に完成したNi望遠鏡 1 段分の試作品を示す。35 mm ϕ の基板に $\sim 20 \mu\text{m}$ の穴幅の曲面穴が $\sim 20 \mu\text{m}$ 間隔で空いており、アスペクト比は 10 である。露光後の現像、洗浄、電積プロセスを全て液浸で行うことによって[4]、目立った倒壊などのない構造体の製作に成功した。X線LIGAを使用した微細穴構造体のX線望遠鏡の試作としては世界で初めてとなる。

側壁の表面を観察した所、100 nm オーダーの凸凹が残っている様子が見られた。X線全反射では $10 \mu\text{m}$ 以下のスケールで、おおよそ 1 nm rms 以下の粗さが求められる。現在の粗さは 1 nm オーダーかそれ以上と見積もられるため、今後、磁気流体研磨などによって改善が必要な可能性が高い。

また電積後、基板の表裏からはみ出している Ni を取り去るために手研磨を行ったのだが、この工程中は時間がかかる上、基板が $200 \mu\text{m}$ と薄いので変形してしまう恐れがあることが分かった。今後は最適な厚みの電積と、変形を防ぐ治具に納めた上での機械での自動研磨を導入することでプロセスの迅速化と研磨中の変形を防ぎたい。

最後に試作した望遠鏡 1 段分の性能は、側壁を破壊しての表面粗さ評価などが行いにくいいため、X線を照射して行う必要がある。そこで JAXA 宇宙研の 30 m ビームライン(現在、改修中)にて、来年度の測定を計画している。X線反射率、結像性能などからプロセスにフィードバックをかける。最終的には将来の木星探査衛星などのため、表面粗さ $< 1 \text{ nm rms}$ および角度分解能 < 6 分角を目指す。

文 献

- [1] Y. Ezoe, et al., Micro. Sys. Tech. **16** (2010) 1633
- [2] 加藤史樹, 博士論文, 立命館大学 (2009)
- [3] R.E. Riveros, et al., Appl. Opt. **49** (2010)

3511

論文・学会等発表

[4] M. Horade et al., Micro. Sys. Tech. (投稿済み)

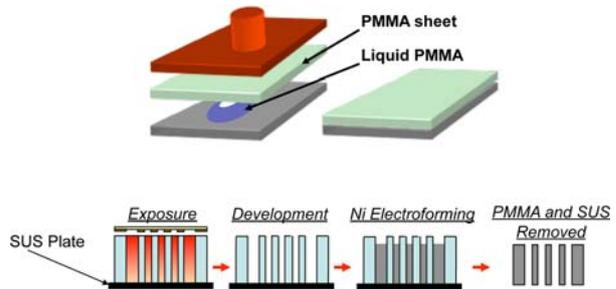


Fig. 1. Process flow of an X-ray LIGA optic

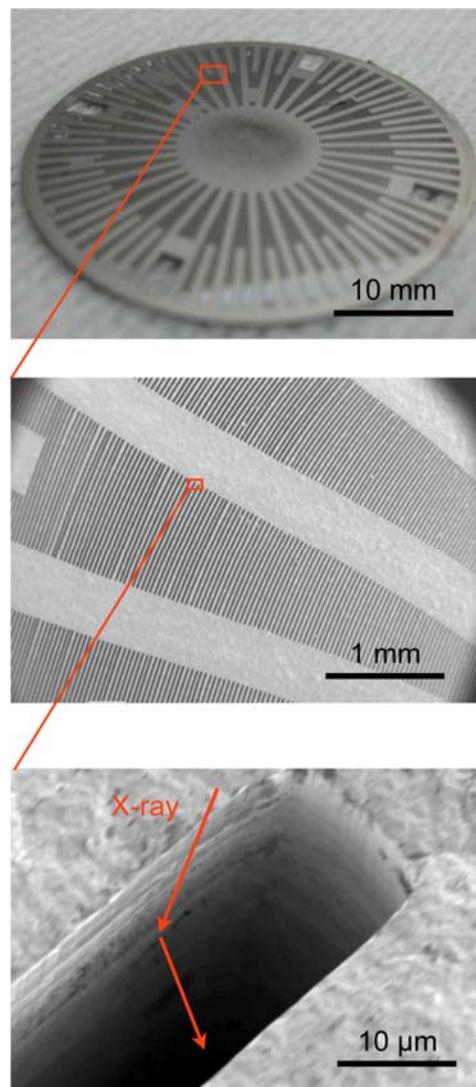


Fig. 2. Photographs of a fabricated single-stage Ni optic