

課題番号 : F-20-TU-0059  
利用形態 : 機器利用  
利用課題名(日本語) : 衛星搭載を目指す宇宙用 X 線望遠鏡の Si 高温アニールと化学機械研磨を複合した新プロセスの確立  
Program Title (English) : Establishment of high temperature annealing and chemical mechanical polishing of space X-ray telescope for future astronomy satellites  
利用者名(日本語) : 江副祐一郎<sup>1)</sup>, 鈴木光<sup>1)</sup>, 湯浅辰哉<sup>1)</sup>, 伊師大貴<sup>1)</sup>, 福島碧都<sup>1)</sup>, 内野友樹<sup>1)</sup>, 作田紗恵<sup>1)</sup>, 稲垣綾太<sup>1)</sup>, 上田陽功<sup>1)</sup>, 廣本悠透<sup>1)</sup>, 石川久美<sup>1)</sup>, 沼澤正樹<sup>2)</sup>, 金森義明<sup>3)</sup>  
Username (English) : Y. Ezoe<sup>1)</sup>, H. Suzuki<sup>1)</sup>, T. Yuasa<sup>1)</sup>, D. Ishi<sup>1)</sup>, A. Fukushima<sup>1)</sup>, T. Uchino<sup>1)</sup>, S. Sakuda<sup>1)</sup>, A. Inagaki<sup>1)</sup>, Y. Ueda<sup>1)</sup>, H. Hiromoto<sup>1)</sup>, K. Ishikawa<sup>1)</sup>, M. Numazawa<sup>2)</sup>, Y. Kanamori<sup>3)</sup>  
所属名(日本語) : 1) 東京都立大学大学院理学研究科, 2) 理化学研究所開拓研究本部, 3) 東北大学大学院工学研究科  
Affiliation (English) : 1) Department of Physics, Tokyo Metropolitan University, 2) RIKEN, 3) Graduate School of Engineering, Tohoku University  
キーワード/Keyword : 表面処理, 熱処理, X 線望遠鏡, 宇宙応用

### 1. 概要(Summary)

衛星を打ち上げて行う宇宙 X 線観測では、軽量で高性能の望遠鏡が求められる。我々のグループでは、MEMS 技術を用いた独自の超軽量 X 線望遠鏡を開発している<sup>[1]</sup>。薄い Si 基板にドライエッチングで微細穴を多数開け、側壁を X 線反射鏡に利用する。集光・結像性能の指標である角度分解能には、側壁の鏡形状が大きく寄与する。本研究では、鏡形状の改善に向けて、超長時間アニールと化学機械研磨を複合した新プロセスでサンプルを試作し、反射鏡 1 枚の角度分解能で 2.0 分角(FWHM)を達成した。

### 2. 実験(Experimental)

#### 【利用した主な装置】

ランプアニール装置

#### 【実験方法】

厚み 400  $\mu\text{m}$  の Si 基板に幅 20  $\mu\text{m}$  の未貫通微細穴を製作し、1100  $^{\circ}\text{C}$  で合計 50 時間アニールした。アニール前後でスリットを採取し、触針計と原子間力顕微鏡で鏡形状を評価した。後工程の化学機械研磨で表裏 50  $\mu\text{m}$  を削り、貫通穴として、X 線照射試験で角度分解能を評価した。

### 3. 結果と考察(Results and Discussion)

昨年度我々は、超長時間(50~100 時間)アニールで鏡形状を平坦化し、化学機械研磨で貫通穴にすることによって、角度分解能の大幅な改善見込みを得た<sup>[2]</sup>。今年度、サンプルを試作した結果、特に破損無く、超長時間アニールから化学機械研磨までプロセスを完遂できた。一

方、化学機械研磨後、研磨薬液等によって、マイクロラフネスが若干悪化する傾向が見られたが、再アニールを施すことで、化学機械研磨前と同程度までマイクロラフネスを改善できた。反射鏡 1 枚の角度分解能を X 線照射試験で評価した結果、2.0 分角(FWHM)を達成した。これは従来サンプルと比べ、約 1.5 倍の改善である。今後、アニール時間を延ばすことで、更なる改善が見込める。

我々が目標とする超小型 X 線天文衛星 GEO-X<sup>[3]</sup>搭載に向けて、同工程を施したサンプルの音響試験(H-IIA ロケット想定)等も実施した。特に破損は見られず、打ち上げ時の環境に十分耐え得ることが分かった。今後、振動衝撃試験、熱サイクル試験、熱真空試験等を実施予定である。

### 4. その他・特記事項(Others)

[1] Y. Ezoe, et al., *Microsystem Technologies*, 2010, 16, 1633

[2] A. Fukushima, et al., *Appl. Opt.*, 2019, 58, 5240

[3] Y. Ezoe, et al., *JATIS.*, 2018, 4, 046001

### 5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 鈴木光, 修士論文, 東京都立大学 2021 年

(2) 湯浅辰哉, 修士論文, 東京都立大学 2021 年

(3) 作田紗恵ほか, 宇宙科学シンポジウム, JAXA 宇宙研, 2021 年 1 月

### 6. 関連特許(Patent)

なし