

超軽量X線光学系の表面粗さ改善に向けた長時間アニール

Long-term annealing for surface waviness improvement of ultra-lightweight X-ray optics

○ 伊師 大貴¹, 江副 祐一郎¹, 石川 久美², 沼澤 正樹¹, 武内 数馬¹, 寺田 優¹, 藤谷 麻衣子¹,
糸山 隆仁¹, 大坪 亮太¹, 福島 碧斗¹, 大橋 隆哉¹, 金森 義明³, 満田 和久²

(1. 首都大理工, 2. 宇宙研 3. 東北大工)

○ Daiki Ishi¹, Yuichiro Ezoe¹, Kumi Ishikawa², Masaki Numazawa¹, Kazuma Takeuchi¹,
Masaru Terada¹, Maiko Fujitani¹, Takahito Itoyama¹, Ryota Otsubo¹, Aoto Fukushima¹,
Takaya Ohashi¹, Yoshiaki Kanamori³, Kazuhisa Mitsuda²

(1. Tokyo Metropolitan Univ., 2. ISAS, 3. Tohoku Univ.)

E-mail: ishi-daiki@ed.tmu.ac.jp

我々は2020年頃打ち上げ目標の超小型衛星ORBISやGEO-X搭載に向けて、独自の超軽量X線光学系の開発を行っている(Ezoe et al. 2010 MST, Ogawa et al. 2016 MSTなど)。Deep Reactive Ion Etching (DRIE)により4インチSi基板に穴幅 $20\mu\text{m}$ 、深さ $300\mu\text{m}$ の微細穴を製作し、その側壁をX線反射鏡として用いる。高温アニールによる側壁の平滑化を行い、平行X線を集光させるため基板を球面状に塑性変形する。さらに、原子層堆積法によりIrやPtなどを膜付けし、最後に2段重ねることでWolter I型光学系を得る。我々は世界で初めて本手法でX線結像を実証した。目標とする角度分解能HPD (Half Power Diameter) <10 分角に向けて開発を行っている。

我々は側壁の表面粗さ改善のため10時間の長時間アニールを行い、その表面形状をX線で評価した。小さいスケールの粗さが改善され、アニール後の表面粗さが $15\text{ nm rms @ }100\mu\text{m}$ と求められた(Fig. 1, 2)。側壁1枚をX線で評価した結果、表面粗さから生じるX線散乱成分が角度分解能に対して支配的であることを突き止め、現状の表面粗さを >3 倍落とすことで目標達成の見込みを得た。さらに長時間アニールにおいてDRIE直後を基準とした表面粗さの改善率に時間依存性が示唆され、 >100 時間の超長時間アニールが有効であると見積もられた。現在他のプロセスの条件出しと並行して超長時間アニールを行っている。本講演では長時間アニールによる表面粗さの評価と開発状況について報告する。

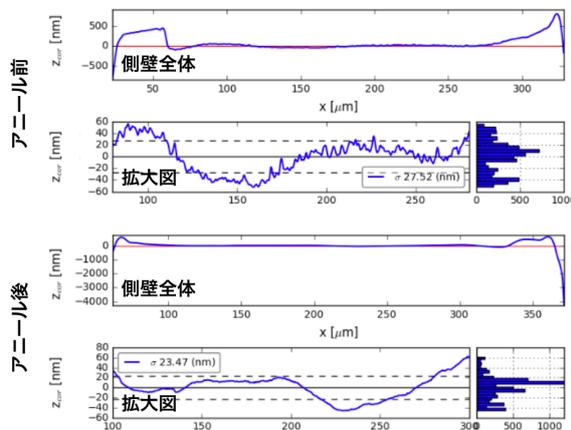


Fig. 1. Sidewall profiles measured by DEKTAK before annealing (top) and after (bottom).

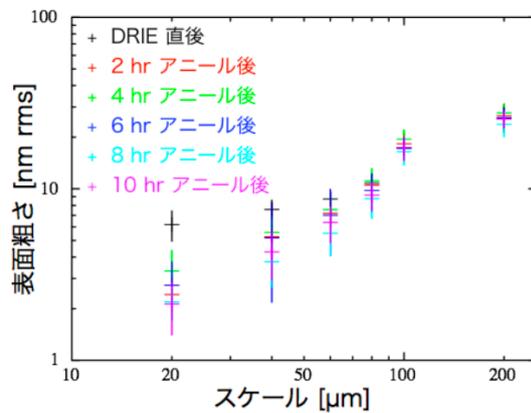


Fig. 2. Surface waviness of each scale.