

超長時間アニール後の Si 微細穴 X 線光学系の鏡形状評価

Evaluation of mirror profile of silicon micropore X-ray optics after ultra long-term annealing

○ 伊師大貴¹, 江副祐一郎¹, 石川久美², 沼澤正樹¹, 藤谷麻衣子¹, 大坪亮太¹, 福島碧都¹,
鈴木光¹, 永利光¹, 湯浅辰哉¹, 金森義明³, 大橋隆哉¹, 満田和久²

首都大¹, JAXA 宇宙研², 東北大³

○ Daiki Ishi¹, Yuichiro Ezoe¹, Kumi Ishikawa², Masaki Numazawa¹, Maiko Fujitani¹,
Ryota Otsubo¹, Aoto Fukushima¹, Hikaru Suzuki¹, Hikaru Nagatoshi¹, Tatsuya Yuasa¹,
Yoshiaki Kanamori³, Takaya Ohashi¹, Kazuhisa Mitsuda²

Tokyo Metropolitan University¹, ISAS/JAXA², Tohoku University³

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

我々は半導体加工技術を応用した独自の Si 微細穴 X 線光学系を開発している (Ezoe et al. 2010 MST, Ogawa et al. 2017 MST など)。ドライエッチングで厚み 300 μm の Si 基板に幅 20 μm の曲面微細穴を多数開け、その側壁を高温アニールで平滑化して X 線反射鏡として利用する。高温塑性変形で基板を球面上に曲げ、原子層堆積法で Pt などの重金属を膜付けした後、異なる曲率を持つ基板を 2 枚重ねれば、X 線光学系として使用される Wolter I 型を得る。我々は本手法で世界初となる X 線反射結像を実証した。角度分解能に課題があり、その主な要因である >100 μm スケールの鏡形状とドライエッチングや変形で生じる鏡配置を改善する必要があった。

そこで要因の一つである鏡形状の改善のため、アニールにおけるプロセス時間を従来の 10 時間から 100 時間に伸ばし、各時間に対する鏡形状の変化を触針計で評価した。図 1 (a) に示すように 50 時間後で表面粗さ 10 nm rms @ 200 μm を達成したが、100 時間後には悪化している。これは図 1 (b) に示す反射面構造の変化が原因である。特に 200-300 μm 付近の反射面が顕著に変化しており、今後はプロセス時間の最適化で形状改善の見込みを得た。次に角度分解能を評価するため、100 時間アニール後の反射鏡 1 枚に X 線ビーム (Al $K\alpha$ 1.49 keV) を照射した。図 1 (c) に CCD で取得した反射光イメージの 1 次元プロファイルを示す。FWHM は 3-5 分角であるが、HPW (Half Power Width) は 10-15 分角となった。HPW に対して 200-300 μm 付近の反射面からのサブピークが寄与していると考えられ、0-200 μm 付近の反射面にのみ X 線ビームを照射した結果、予想通りサブピークの強度が減衰することを確認した。今後はサブピークの原因となる反射面を研削する、もしくは形状の良い反射面を選択することで角度分解能の向上が期待できる。

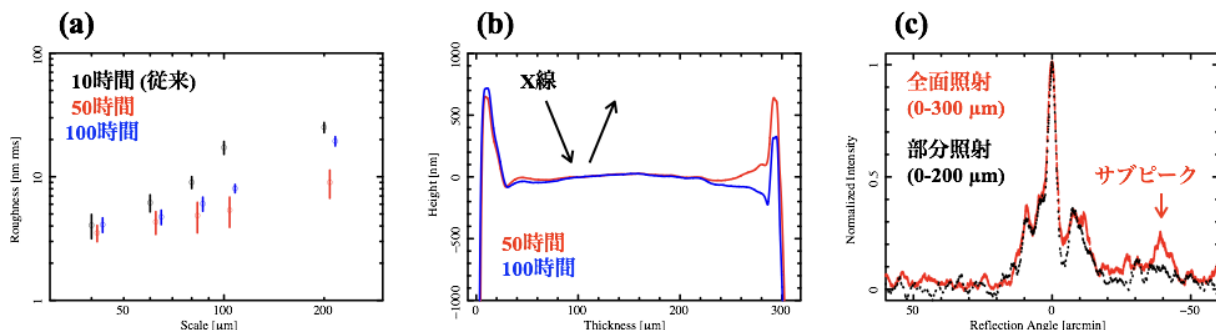


図 1. (a) 各スケールにおける反射面の表面粗さ。(b) 典型的な反射面プロファイルの形状。(c) 反射鏡 1 枚に X 線ビーム (Al $K\alpha$ 1.49 keV) を照射したときの反射光イメージの 1 次元プロファイル。