

シリコンドライエッチングを用いた 4 インチ X 線光学系開発の現状

Current state of development of X-ray optics system using Silicon dry etching

○(PC) 中村 果澄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, 伊師 大貴¹,

藤谷 麻衣子¹, 野田 悠祐¹, 大橋 隆哉¹, 満田 和久² (1. 首都大、2. 宇宙研)

○(PC) Kasumi Nakamura¹, Yuichiro Ezoe¹, Kumi Ishikawa², Masaki Numazawa¹,

Kazuma Takeuchi¹, Masaru Terada¹, Daiki Ishi¹, Maiko Fujitani,¹

Yusuke Noda¹, Takaya Ohashi¹, Kazuhisa Mitsuda² (1.TMU, 2.ISAS)

Email : nakamura-kasumi@ed.tmu.ac.jp

我々は 2020 年を打ち上げ目標とする 超小型衛星 ORBIS, GEO-X などへの搭載に向け、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)。シリコンドライエッチングを用い 4 インチ Si 基板に穴幅 20 μm 、深さ 300 μm の微細穴を数万個製作し、その側壁を X 線全反射鏡として利用する (図1)。高温アニールで反射鏡の平滑化を行い、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 を膜付けし、最後に 2 段に重ねて Wolter I 型光学系が完成する。我々はこれまでに世界で初めて本手法で X 線結像を実証した。課題はエッチングや変形で生じる配置誤差と反射鏡のうねりによる形状誤差であり、目標は 2 回反射で <10 分角 (Half Power Diameter) である。

この課題を解決すべく我々は製作プロセスを見直し、配置精度と形状精度を向上した新たな光学系を製作し X 線で評価した。光学系は変形前であり、図2 のように光学系を光軸に対し 0.8° 傾け、X 線を照射し反射像を得る (図3)。そして反射像の期待される焦点位置とのずれから反射鏡の角度、反射像の広がりから形状精度を求めた。光学系の様々な箇所に照射した結果、配置精度は 8.7 ± 3.2 分角、形状精度は 21.0 ± 1.0 分角と求まった。いずれもドライエッチングで製作された X 線光学系として我々の知る限り世界最高レベルの垂直性と平坦性を実現しているが、目標達成にはそれぞれ約 2 倍、4 倍改善が必要である。さらに同光学系で変形後に同様の評価を行い、プロセスによる影響を定量的に確かめる予定である。並行して、新規プロセスとして形状の悪い基板の端を研磨で削る手法も試している。本講演では一連の光学系の開発状況について報告する。

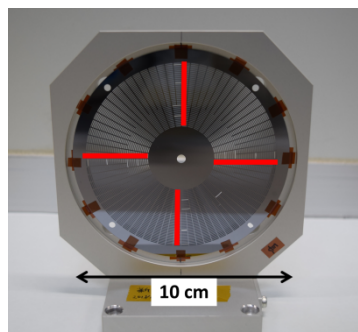


Figure 1. Single-stage 4-inch optics, Red lines indicate positions for X-ray test

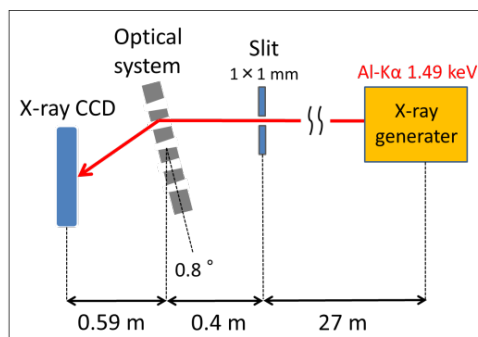


Figure 2. Setup of the X-ray beamline test

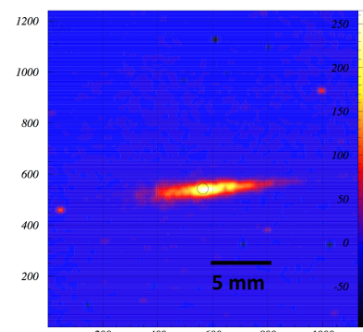


Figure 3. Examples X-ray image