

原子層堆積法の宇宙 X 線望遠鏡への応用

Application of atomic layer deposition to astronomical X-ray telescopes

○ 福島 碧都¹、伊師 大貴¹、江副 祐一郎¹、石川 久美²、沼澤 正樹¹、大坪 亮太¹、鈴木 光¹、湯浅 辰哉¹、内野 友樹¹、作田 紗恵¹、満田 和久² (首都大¹、宇宙研²)

○ Aoto Fukushima¹, Daiki Ishi¹, Yuichiro Ezoe¹, Kumi Ishikawa², Masaki Numazawa¹, Ryota Otsubo¹, Hikaru Suzuki¹, Tatsuya Yuasa¹, Tomoki Uchino¹, Sae Sakuda¹, Kazuhisa Mitsuda²
(TMU¹, ISAS²)

E-mail: fukushima-aoto@ed.tmu.ac.jp

我々は、将来衛星への搭載に向けて MEMS (マイクロマシン) 技術を用いた軽量の X 線望遠鏡を開発している。厚み 300 μm の Si 基板にドライエッチングで幅 20 μm の微細な曲面穴を形成し、その側壁を X 線反射鏡として用いる。高温アニールで X 線反射に必要な数 nm rms の滑らかな側壁を実現した後、基板を球面に塑性変形することで天体からの平行 X 線が集光できる。Si は MEMS 技術で加工がしやすい反面、反射率は重金属と比べて大角度、高エネルギー側で低い (Fig. 1)。そこで、高アスペクト微細穴への金属膜付けが可能な原子層堆積法 (Atomic Layer Deposition: ALD) に着目した。重金属を含むガスと酸化ガスを交互に流すことで、純金属を原子層レベルで制御して膜付けできる。

我々は、200–300°C での高温の反応性を利用する Thermal-ALD を用いてインハウスで製作した光学系の側壁に Ir および Pt の完全成膜に成功した (Ogawa et al. Appl. Opt. 2013, Takeuchi et al. Appl. Opt. 2018)。X 線照射試験から高角度入射において大幅な X 線反射率の増大を確認したが、成膜初期の核形成遅延が無視できず、表面粗さは Pt の場合で 2.2 ± 0.2 nm rms と、将来衛星の要求 (<2.0 nm rms) 達成のためには改善を要する。

そこで、酸化ガスに O_2 プラズマを用いる Plasma-ALD を新たに試した (Ishi et al. in prep)。従来の O_2 ガスと比較して、成膜初期においても反応の活性化が期待できる。我々は、前駆体ガスとして $\text{Pt}(\text{Cp}^{\text{Me}})\text{Me}_3$ を用いて Pt を 20 nm 成膜することに成功した (Fig. 2)。X 線反射から見積もった側壁の表面粗さは 1.6 ± 0.1 nm rms と有意に改善し、将来衛星の要求も満たしている。下地となる Si 表面を滑らかにすることでさらに改善可能であることも分かってきた。

本講演では、X 線光学系への ALD を用いた膜付け手法を紹介するとともに、より低エネルギー X 線 (<2 keV) ターゲットに特化した最近の Co や Ni 等の成膜成果についても報告する。

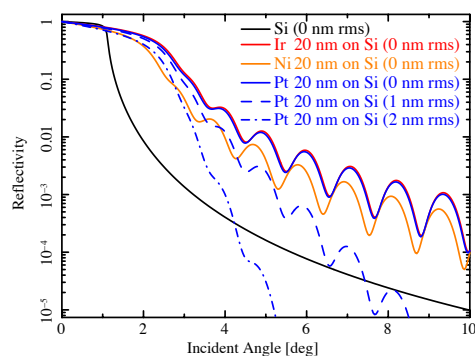


Fig. 1: Theoretical X-ray reflectivity of each surface material and the surface roughness.

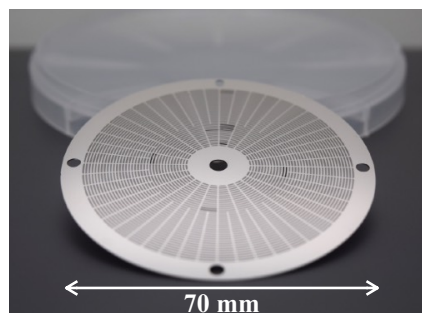


Fig. 2: Pt coated X-ray Optic fabricated with MEMS technology.