

原子層堆積法を用いた Co 成膜 Si 光学系の X 線反射率評価

Evaluation of X-ray reflectivity of Co-coated Si optics prepared by atomic layer deposition

東京都立大¹, 理研², 国立天文台³ ○(D) 福島 碧都¹, 伊師 大貴¹, 江副 祐一郎¹, 石川 久美¹,
内野 友樹¹, 作田 紗恵¹, 稲垣 綾太¹, 上田 陽功¹, 森下 弘海¹, 関口 るな¹, 辻 雪音¹,
村川 貴俊¹, 沼澤 正樹², 満田 和久³

TMU¹, RIKEN², NAOJ³ ○Aoto Fukushima¹, Daiki Ishi¹, Yuichiro Ezoe¹, Kumi Ishikawa¹,
Tomoki Uchino¹, Sae Sakuda¹, Ayata Inagaki¹, Yoko Ueda¹, Hiromi Morishita¹, Luna Sekiguchi¹,
Yukine Tsuji¹, Takatoshi Murakawa¹, Masaki Numazawa², Kazuhisa Mitsuda³

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

我々は地球磁気圏の X 線撮像を目指す超小型衛星 GEOspace X-ray imager (GEO-X: Ezoe et al. JATIS 2018) への搭載に向けて、マイクロマシン技術を用いた軽量な X 線望遠鏡の開発を進めている。厚み 300 μm の Si ウェハにドライエッチングで幅 20 μm の曲面穴を無数に形成し、その側壁を X 線反射鏡として利用する。水素アニールにより Si の融点付近で側壁を平滑化し、基板全体を球面状に塑性変形することで望遠鏡として利用できる (Ezoe et al. 2010 Microsys. Tech.)。Si は加工しやすい反面、重金属と比べると大反射角・高エネルギー側での X 線反射率が低い。そこで我々は、微細穴側壁への重金属膜付けが可能な原子層堆積法に着目した。重金属を含むガスと酸化ガスを交互に流して原子層を積み上げ、Si 表面への純金属成膜が可能である。我々は既に Ir, Pt の成膜を実証してきたが (Ishi et al. 2020 Appl. Phys. Express など)、地球磁気圏では太陽風に伴う電荷交換反応の存在が示唆されており、とりわけ OVII 輝線等に代表される 0.5 keV 付近の軟 X 線スペクトルが鍵を握る。そこで我々はさらにこの帯域での反射特性が優れる Co の成膜を試みた。

まず、試作品として穴のないベア Si ウェハの表面 (20 \times 20 mm²) に成膜を行った。膜厚は約 50 nm であり、原子間力顕微鏡による観察から表面形状も良好である (Fig. 1a)。次に我々は JAXA 宇宙研 30 m ビームラインを用いて、Al K α 特性 X 線 (1.49 keV) での Co 成膜面の反射率を測定し、大角度での大幅な反射率の向上を確認した。さらに、理論反射率と比較することで Co の表面粗さは 1 nm rms 程度と見積もられた (Fig. 1b)。これは GEO-X の衛星要求値 (≤ 1 nm rms) を満たしており、新たな成膜材料の候補として期待できる。同様に Cu L α (0.93 keV)、C K α (0.28 keV) でも評価を行い、表面粗さは 1–2 nm rms と概ね要求に近い性能を達成していることも分かった。今後、我々の微細穴光学系にも同様の手法で Co 成膜を行い、性能評価を行う予定である。

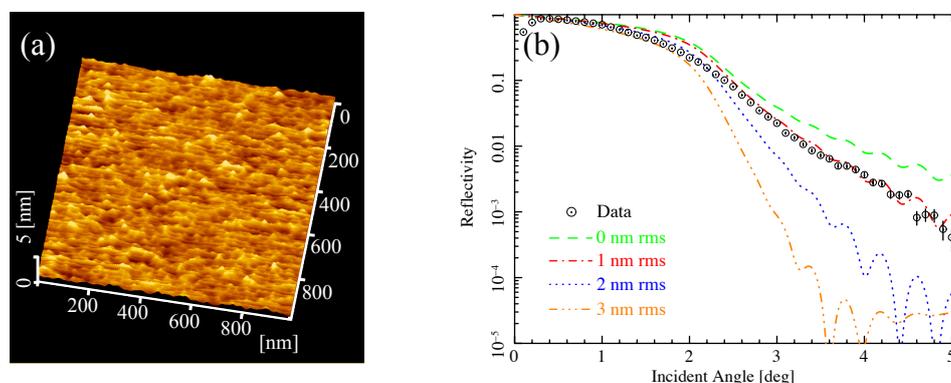


Fig. 1: (a) AFM image of a Co-coated surface at 1 μm scale. (b) X-ray reflectivity curve of Co-coated Si wafer at 1.49 keV. Dots indicate the measured values, while lines show theoretical values of each surface roughness.