



NGHXT 望遠鏡のための多層膜成膜について

佐治 重孝 (名古屋大学 Ux研究室)

E-mail : s_saji@u.phys.nagoya-u.ac.jp

松本浩典, 小林洋明, 田村啓輔, 栗木久光, 古澤彰浩, 宮澤拓也,

岡島崇, Will Zhang, 他 NGHXT WG

NGHXT 搭載高角度分解能望遠鏡の実現には、反射膜の内部応力による反射鏡基板の変形の克服が必須である。我々はこれまでに、薄板ガラスの薄片を用いた反射膜内部応力の評価を行ってきた。PtやIrの単層膜には突っ張る方向、NiV合金単層膜には引っ張る方向の内部応力が生じていた。また、内部応力が経年変化することも明らかとなった。これらの結果を踏まえ、内部応力の緩和方法の探求や、実際の望遠鏡基板への成膜・評価を行っている。

1. NGHXT搭載X線望遠鏡 概要と課題

NGHXT (Next Generation Hard X-ray Telescope) は 0.5–80 keV の広エネルギーバンド、15 秒角 (HPD) 以上の高空間分解能で撮像分光観測を行う小型衛星計画である。主な目的のひとつは、宇宙 X 線背景放射を空間分解し、巨大ブラックホールの進化を解明することである。望遠鏡全体で15 秒角の角分解能を実現するには、薄板反射鏡 (厚さ0.2 mm程度)単体の結像性能は2 回反射あたり10秒角を切ることが望まれる。これまでに、薄板ガラスを整形する方法では要求を満たす形状精度の反射鏡基板が実現されている。一方でその基板の上にX線反射膜を成膜すると、反射膜の内部応力が基板を歪めてしまう。

2. 薄板ガラス基板へ成膜

NASA / Goddard Space Flight Center で製作されたガラス基板 (0.4mm厚, 高さ200mm, 1/12円周分) に、200 Å のPt 単層膜を成膜した (図.1 上)。成膜により、2 回反射で13秒角相当の変形が生じた。実際の望遠鏡で使用される反射膜の厚さは20倍の4000Å程度であるため、結像性能10 秒角の達成には変形を2桁以上抑える必要がある。

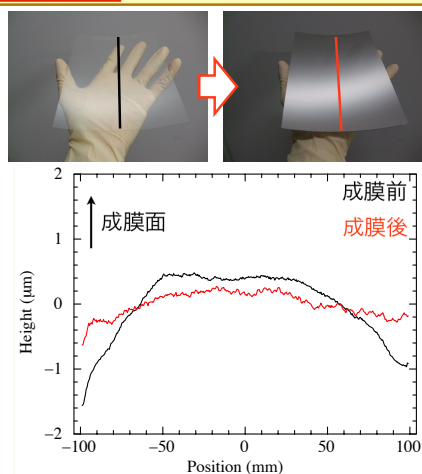


図.1 Pt単層膜(200Å)成膜前後の薄板ガラス製基板(上)と、成膜前後での母線方向の形状変化(下)

また、Ir単層膜(400Å厚)について製膜後の形状の時間変化を調査した。製膜後約1700時間までに、約20%の変形が緩和された。指数関数的な減少を仮定すると、応力緩和のタイムスケールは 87^{+3}_{-7} hrであった。

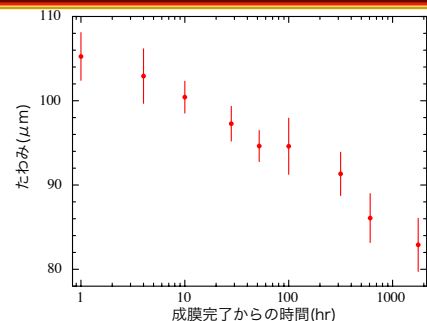


図.5 Ir 単層膜(400Å) の内部応力の経年変化

3. 変形緩和への試み

① 製膜後サンプルの加熱

Pt 400Åを成膜した基板を加熱し、膜の内部応力緩和を試みた。200℃までの加熱では、基板の変形量は有意に変化しなかった。400℃に加熱したところ、表面の膜が変質してしまった(表.1)。

表.1 Pt単層膜(400Å)サンプルを加熱した後のたわみ量の変化

段階	たわみ(μm)
加熱前	36 ± 2
50℃ × 24時間後	35 ± 2
200℃ × 12時間後	34 ± 2
400℃ × 12時間後	膜が変質

② 基板両面に成膜

基板の両面に反射膜を成膜することで変形を互いに打ち消す方法も試みた。表面にIr 200Å膜をつけたことで64 μmたわんだ基板の背面へ同じくIr200Åを成膜したところ、たわみは12 μmまで減少した(図.6)。一方で、目標の結像性能実現にはもう一桁の精度向上が必要である。

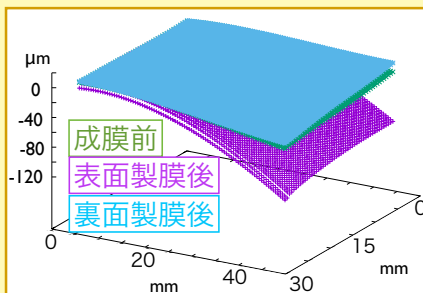


図.6 成膜前(緑)、表面成膜後(紫)、さらに背面に成膜後(青)の基板形状(上が成膜面)

4. 今後

○ 小片サンプル

成膜による変形量のコントロール精度を上げるために、成膜時の基板温度や真空度と変形量の依存性を調べる。

また、実際の望遠鏡では多層膜スーパーミラーが使用されるため、多層膜についての調査を重点的に進める。重元素比を変えた場合の変形量を調査するほか、3章で示した変形抑制方法について、多層膜の場合どの程度の形状維持が達成できるかを調査する。

○ ガラス基板サンプル

現在、基板内側への成膜に円筒外面用の成膜装置を用いているため、膜厚に約15%のむらがある。これを解決するために円筒内面へ一様に成膜できるステージを製作し、変形の定量評価につなげる。

2. 成膜による変形の調査

・評価方法

30mm×70mmの薄板ガラス(0.21mm厚)を片持ち梁にて固定し、成膜前後でのたわみを比較した(図.3)。目標精度の達成には、本測定でのたわみ量の変化を3 μm以内に収める必要がある。

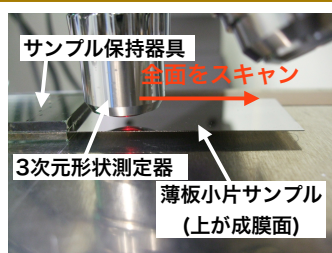


図.3 薄板ガラス小片サンプル測定風景(左)と測定結果(右)

・結果

これまでに、Pt、Ir、Ni90%+V10% 合金の単層膜を作成・評価した。物質・膜厚ごとの成膜による変形量を図.4に示す。PtとIrでは膜が突っ張る方向に変形した一方、NiV合金は膜が引っ張る働きをした。

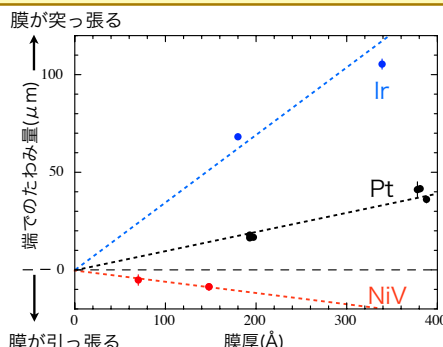


図.4 Pt(黒)、Ir(青)、NiV(赤)を成膜した際のたわみ量。エラーバーは、測定の再現性(1σ)を示す。