

概要

石田研究室
松本 岳人

X線天文学においてX線望遠鏡の角度分解能の向上は、宇宙の構造と進化を理解する上で必要不可欠である。X線望遠鏡には回転放物面と回転双曲面で入射X線を2回反射させて集光・結像するWolter type I 光学系が用いられるが、角度分解能を格段に向上させるのは難しく、かつ莫大なコストがかかる。そこで我々は別の手段として前田ら[1]が考案した像再構成型X線光学系の開発を行っている。これは角度分解能向上を担う2枚の前置マスクと集光を担う望遠鏡、二次元検出器を組み合わせ、取得したフーリエ像から実空間での像を再構成する手法である。前置マスクのパターンが微細なほど、マスク間距離が大きいほど高い角度分解能を達成することができる。

本研究ではこの光学系の集光部分である Kirkpatrick-Baez (KB) ミラーの開発を行っている。KBミラーは、放物面の凹面鏡を2段に直交直列に配置することで2回反射し集光する光学系 (図1(a)) である。これを多段化 (図1(b)) することで高い集光力を実現する。本研究では、集光部分には高い角度分解能は求められていないことから、Si平板 (厚さ0.2mm、大きさ100mm×100mm) の両面に化学機械研磨 (CMP) を施し、反射面のみタングステン (W) を成膜したものを10段積層したKBミラー (図1(c)) を開発することとした。製作にあたっては、大きく分けて2つのことを行った。

1つ目は反射鏡を固定するためのアライメントバーとハウジングの製作である。まず、Fe-K α 線

(6398eV) に対して、有効面積が最大となるような反射鏡の位置と傾きを計算し、その通りに反射鏡を実装するためのスリットが刻まれたアライメントバーと、それを固定するためのハウジングの設計を行った。アライメントバーは長手方向に、0.6mmの調節幅を持っている。光学顕微鏡でのスリット位置の測定から、この調整機構により8本のアライメントバーは、反射鏡位置を概ね $\pm 5\mu\text{m}$ 以内に調整できることを確認した。これにより、反射光は最大20秒角程度広がるが、本研究の目的に照らして十分な精度である。

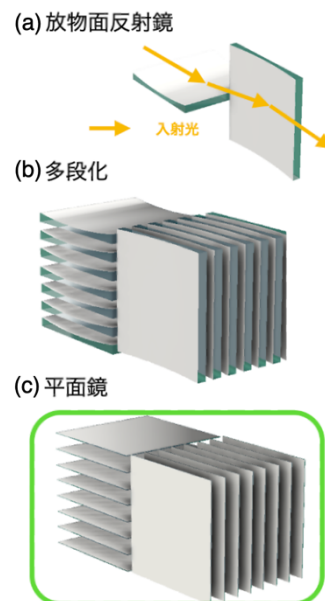


図 1 : KB ミラー

2つ目は反射鏡の製作である。製作する反射鏡の集光能力を見積もるために、Si基板に試験的にWを成膜した反射鏡のFe-K α 線に対する角度反射率の測定を、宇宙科学研究所D棟1階の30m X線ビームラインで行い、反射率の低下を招く表面粗さを見積もった。この結果を用いて実装用としてWの膜厚20nm以上を目標に反射鏡7枚の成膜を行い、KBミラー1段分の組み立てを行った。

組み上げたKBミラーの性能試験を30m X線ビームラインで行った。照射したX線はFe-K α 線である。最も光軸に近い反射鏡にのみX線を照射し反射像(図2)を取得したところ、反射鏡面に垂直方向に像が30mm(約15分角)から50mm(約25分角)程度も広がっていることが分かった。そこでまず厚さ0.2mmのSi基板の強度を調べたところ、現設計の反射鏡の支持方法では、そもそも基板が100 μ mほど撓んでしまうことがわかった。ハウジング内の反射鏡を重力のかからない縦向き状態で目視で確認すると、反射鏡自体に歪みがあることも判明した。そこで、本研究で用いた加工前のSi基板の反射像の測定を行ったところ、そもそもそれ自体の形状に問題があることが分かった。加えてその基板にWを成膜し、同様に反射像を取得したところ、反射像の輝度分布がW成膜前から変化していた。これらの検討や測定の結果から、Si基板を少なくとも4倍の0.8mm程度に厚くする必要があること、Si基板として歪みの少ないものを導入すべきこと、さらにはWを成膜したことによる形状変化を抑えるために、例えばWを基板の両面に成膜するなどの工夫をすべきことが分かった。また、反射プロファイルの鏡面内での位置依存性からアライメントバーの位置調節方法にも問題があったと考えている。

本発表ではこれらの具体的な製作方法、測定方法、測定結果、および今後の展望について述べる。

参考文献

- [1] Yoshitomo Maeda, Ryo Iizuka, Takayuki Hayashi, Toshiki Sato, Nozomi Nakaniwa, Mai Takeo, Hitomi Suzuki, Manabu Ishida, Shiro Ikeda, and Mikio Morii. 2019, *Publ. Astron. Soc. Japan* 71, 97.

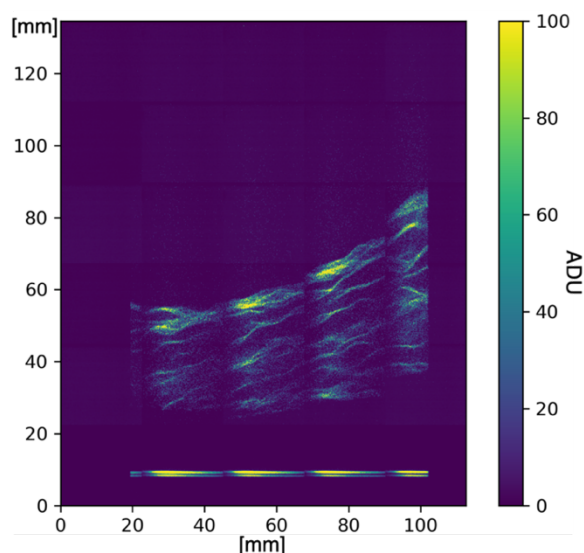


図 2 : KB ミラーの光軸に最も近い反射鏡の反射像