

新型 X 線干涉計の検討

○坂田 和也、北本 俊二、村上 弘志 (立教大学)

1. Introduction

現在最も角度分解能がよい X 線反射望遠鏡は米国の人工衛星「Chandra」でその角度分解能は 0.5 秒角である。しかし、この分解能は原理的境界より遥かに悪い。

原理的境界を達成するひとつの方法は X 線干涉計である。米国では X 線干涉計を用いてマイクロ秒角の分解能を達成しようと MAXIM 計画が進められている。[1]しかし、MAXIM 計画では干涉縞を取得するには鏡から撮像点までの距離を 500km 離す必要があるという問題がある。これを改善し新たな干涉計を試作することが本研究である。

2. 新型 X 線干涉計

望遠鏡の原理的境界は波長/口径で求まる。従って、望遠鏡の口径を大きくすることで分解能を上げることができるが望遠鏡を大きくすることには技術的に境界がある。そのため考えられたのが離して設置した複数の望遠鏡の信号を光学的に干涉させ、超大型望遠鏡と同じ分解能を得る干涉計である。

MAXIM 計画での干涉計は 2 つの鏡で光を反射させて、斜めに進ませて干涉させるものである。2 つの鏡の間隔を d 、鏡から撮像点までの距離を L とすれば光路の傾き角 θ はおよそ $\frac{d}{2L}$ となり、縞間隔はおよそ $\lambda \times \frac{2L}{d}$ となる。[1]

従って、縞間隔を大きくする場合、鏡の間隔を小さくするには境界があることを考えれば鏡から撮像点までの距離を長くしなければならない。実際に MAXIM 計画では鏡と撮像点までの距離は 500km 程である。この点が MAXIM の問題点であり、鏡と撮像点までの距離を短かくする構造をつくる必要がある。

縞間隔が鏡から撮像点までの距離に依らないような構造が図 2 に示すものである。半透膜を用いる事が特徴である。図 2 の構造を用いることで基本的に 2 つの光路は、同じ距離および光路となる。そのため縞間隔がセッティングの誤差角で決まる。このように半透膜を用いる事で MAXIM の欠点を無くすることができる。

この干涉計が現実的なものとして機能することを確認するために実験室で試験できるものが必要である。そこで可干涉な X 線をあてるために、図 3 のように半透膜で 2 つに分離させ、それらを合成させ干涉させる斜入射型マッハツェンダー干涉計を考えた。

図 3：新型 X 線干涉計

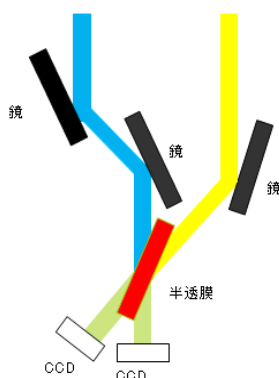
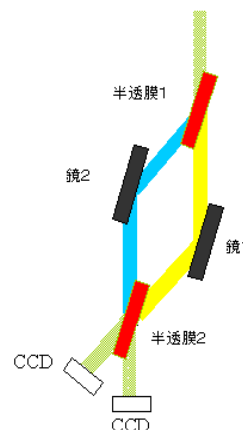


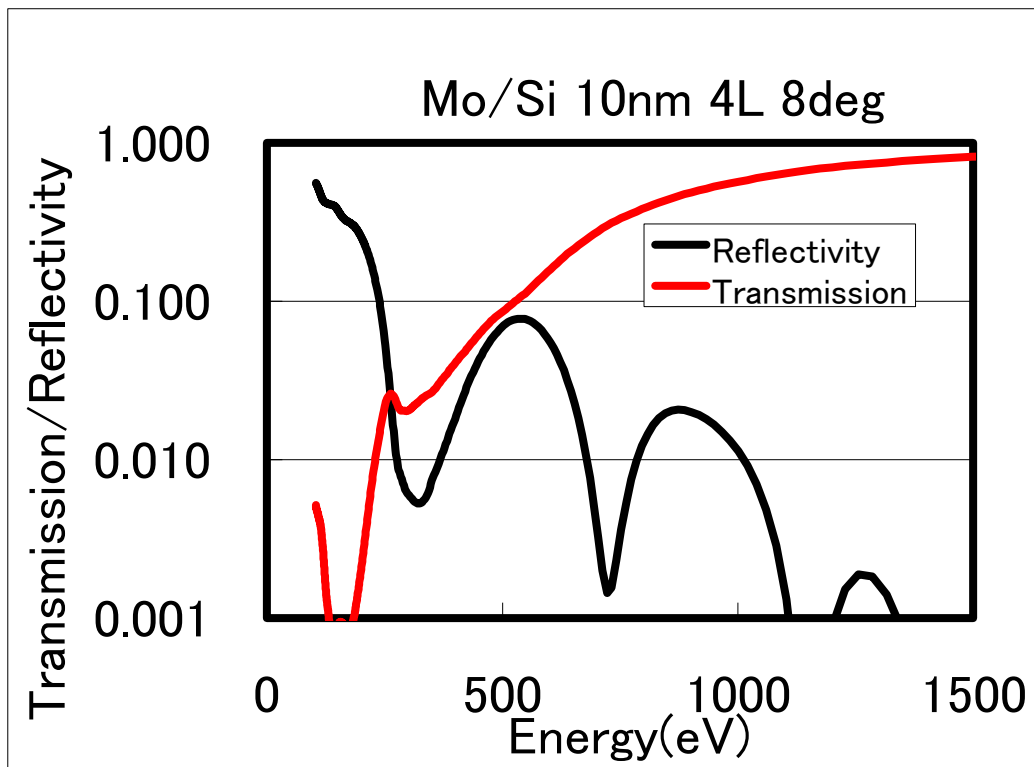
図 4：斜入射型マッハツェンダー干涉計



3. 半透膜

X線の半透膜は、基板を無くした多層膜を用いることで可能となる。干渉が起きる条件として、可干渉距離がある。干渉が起きる最大の行路差で、観測波長を λ 、波長幅を $\Delta\lambda$ とすると分解能は $\frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ 、可干渉距離は $\frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$ となる。天体観測ではある程度の波長幅が必要であり、多層膜を考える。図4は Mo/Si 多層膜で、反射率と透過率を計算したものである。8°斜入射で酸素の K α 線に対してエネルギー幅が標準偏差で 50eV で $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} \sim 10$ である。ある程度のエネルギー幅と約 8%の反射率をもち、天体観測で十分使用可能である。

図4：Mo/Si 多層膜のシュミレーション



4. 要求精度

新型 X 線干渉計を試作して実験する際、必要な精度を考えなければいけない。考える精度は平行度と位置のずれである。

実験で用いる光の波長は、酸素の KX 線 (2.37nm)、炭素の KX 線 (4.4nm)、あるいは技術的に比較的易しい 13.5nm の予定である。要求精度の定義として平行度は縞間隔 0.3mm 以上でかつ、幅 1mm のビーム内で干渉が起きるものとし、位置のずれは可干渉距離よりも短いという条件にした。

ここで $\Delta\lambda$ は、特性 X 線である酸素の KX 線と炭素 KX 線は自然幅で定め、13.5nm は連続 X 線の一部を抽出するため半透膜で定める。平行度と位置のずれの結果を表 1、表 2 に示す。

表 1：平行度

波長 [nm]	平行度 [秒角]
2.37	1.6
4.4	3.0
13.5	2.8

表 2：位置のずれ

波長 [nm]	位置のずれ [μm]
2.37	324
4.4	1000
13.5	0.96

5. 要求精度を満たす装置

要求精度を満たすには、平行度はピエゾ素子駆動ステージ、位置のずれはマイクロメータで達成できる。平行度は、鏡と半透膜での反射で決まるビームの傾き角と CCD の傾き角に依存する。それぞれの傾き角を調整するためには、水平面と垂直面の回転移動が必要であり、合計 4 つのピエゾ素子駆動ステージが必要である。

6. 今後の予定

要求精度確認のためのピエゾ素子を用いた可視光による実験を行う。

参考文献

[1] <http://gsfc.nasa.gov/docs/vision.html>