



サブ秒角でX線天体を撮影する多重像X線干渉計MIXIM (2) 開発の現状

○花坂 剛史, 川端 智樹, 林田 清, 朝倉 一統, 中嶋 大, 井上 翔太, 松本 浩典, 常深 博 (大阪大学) 田村啓輔 (名古屋大学) 栗木久光 (愛媛大学)

我々は、光学系を用いない新しいタイプの干渉計、多重像 X 線干渉計 MIXIM を提案している。構造は、数 μm ピッチの回折格子と X 線ピクセル検出器だけを組み合わせた単純な形式で、タルボ効果によりできる多数の格子自己像を利用する。すでに、マイクロフォーカス X 線源 (Wターゲット) を光源として、ピクセルサイズ $30 \mu\text{m}$ の XRPIX2b 検出器を用いて、 $21 \mu\text{m}$ 周期の干渉縞の取得に成功した。しかし、天体からの X 線は平行光のため、より高い位置分解能が求められる。そこで、ピクセルサイズ $4.25 \mu\text{m}$ の可視光用の CMOS イメージセンサ (GSENSE 5130) を導入した。可視光用ではあるが、 5.9 keV の X 線に対して常温で約 206 eV の分解能を得ている。また、マイクロフォーカス X 線源での格子の拡大像の取得にも成功した。さらに、Spring-8 の準平行光 ($E = 12.4 \text{ keV}$, 24.8 keV) を照射する実験を行った。像幅 1 秒の干渉縞の取得に成功し、同時にイベントの広がりを利用した偏光の検出にも成功した

マイクロフォーカス X 線源 → 球面波

XRPIX2b ($30 \mu\text{m}$) を用いた基礎実験

干渉条件を満たす位置 ($R = 235 \text{ mm}$) を含む、 $R = 42 \text{ mm}$, 102 mm , 235 mm の 3 点 $W\text{-L}\beta$ (9.8 keV) を中心とした、 8.8 keV – 10.8 keV のイベントに対して、電荷分割解析でサブピクセルの位置を求め、カウントマップを作成した

CA 方向に射影したプロファイルを作成し、周期解析により最適な周期を求め、その周期で重ね合わせた 1 周期分のプロファイルを作成した

ターゲット位置

振幅 0.172 ± 0.015 0.011 ± 0.006 0.0996 ± 0.0073

タルボ位置で周期 0.7 pix 、振幅 10% の干渉縞の取得に成功した

しかし、平行光では拡大率 1 なので、より高い位置分解能が求められる

GSENSE 5130 ($4.25 \mu\text{m}$) の導入

Photosensitive area	21.488 mm x 12.614 mm
Pixel size	$4.25 \mu\text{m} \times 4.25 \mu\text{m}$
Shutter type	Rolling shutter ← 今回はこっち
	Global shutter
Max Frame rate	32 fps @ 12-bit rolling HDR

常温大気中、Exposure = 1s で ^{55}Fe 照射 $\text{FWHM} = 206 \text{ eV} @ 5.9 \text{ keV}$

空乏層厚は約 $1 \mu\text{m}$ であり、広がったイベントも考慮すると、X 線に感度を持つ厚みは $26 \mu\text{m}$ 程度はあったことがわかった

実験装置 (回折格子+GSENSE)

電荷分割解析の導入なしに直接、拡大率 19 倍の格子像 (影絵) が得られた (タルボ条件を満たす位置ではない)

Spring-8 BL20B → 平面波

実験装置 (回折格子+GSENSE)

$E = 24.8 \text{ keV}$ では 3×3 に収まったイベントは少ないため、解析には使用しない

電荷分割解析でサブピクセルのイベント位置を決め、カウントマップ、投影プロファイルを作成した

Spring-8 の X 線は平行光なので期待周期は 1.129 pix となる

$E = 12.4 \text{ keV}$ の時のタルボ位置である $z = 46 \text{ cm}$ で周期解析を行うと 1.132 pixel にピークが見られた

この周期で重ね合わせたところ、振幅 15% 、1 秒角の干渉縞の取得に成功した

X 線偏光検出

- K 殻光電子は入射 X 線の偏光方向に放出されやすい
- X 線イベントは光電子の走る方向に広がりやすい
- Spring-8 の X 線は水平方向に偏光している

水平方向に広がった X 線イベントが多くなると期待される

カウント数 n に対して $N_{\text{?}} = n_{\text{?}}(0^\circ) / n_{\text{?}}(90^\circ)$ を求めてプロットした ? = 上下, 左右

モジュレーションファクター M は $M = 0.065 @ 12.4 \text{ keV}$, $0.146 @ 24.8 \text{ keV}$ で、偏光の検出に成功した

まとめ

- $4.8 \mu\text{m}$ ピッチの格子の等倍撮影に対応するため、可視光用 CMOS イメージセンサ GSENSE 5130 ($4.25 \mu\text{m}$) を導入し、常温で $\text{FWHM} = 206 \text{ eV} @ 5.9 \text{ keV}$ の性能で X 線を検出できることを示した
- マイクロフォーカス X 線源を用いて、拡大率 19 倍の縞を検出した
- Spring-8 での $E = 12.4 \text{ keV}$ の平行光に対しては、タルボ距離での干渉縞の取得に成功し、振幅 15% 、1 秒角の像が得られた
- ダブルイベントの広がりを利用した偏光検出に成功した