

三角位相格子を用いた実験室 X 線位相イメージング装置の ピクセル超解像化

Laboratory-Based Pixel Super-Resolution X-ray Phase Imaging System With Triangular Phase Gratings

東北大多元研¹, 浜松ホトニクス², カールスルーエ工科大³, マイクロワークス⁴

○池松 克昌¹、百生 敦¹、高野 秀和¹、上田 亮介¹、橋本 康¹、趙 卓軒¹、川上 博己²、

Pouria Zangi³、Martin Börner³、Otto Markus⁴、Joachim Schulz⁴

IMRAM Tohoku Univ.¹, Hamamatsu Photonics², Karlsruhe Inst. of Technology³, microworks⁴,

○Katsumasa Ikematsu¹, Atsushi Momose¹, Hidekazu Takano¹, Ryosuke Ueda¹, Koh Hashimoto¹,

Zhuoxuan Zhao¹, Hiroki Kawakami², Pouria Zangi³, Martin Börner³, Otto Markus⁴,

Joachim Schulz⁴

E-mail: ikematsu@tohoku.ac.jp

従来の X 線透視法では対応が難しかった生体軟組織や高分子材料を高感度で撮影可能な X 線位相イメージングの研究開発が近年急速な進展を見せている。通常の X 線透過格子を用いた Talbot 干渉計による X 線位相イメージングの空間分解能は、格子の周期 (一般に数 μm) で制限されるため、高い空間分解能を求めるアプリケーションでは問題となっており、これを克服するためフレネルゾーンプレート (FZP) などを用いた結像型 X 線顕微鏡と X 線透過格子を組み合わせる方法が、放射光施設のみならず実験室 X 線源でも実現されてきた。しかしながら、この方法は撮影視野を FZP の直径 (現状では 1 mm) より大きくできないという制限があり、高い X 線エネルギーでは FZP の回折効率も低下するため実用的な使用は難しい。

X 線位相イメージングの高空間分解能化に資する別のアイデアとして、我々は X 線位相格子の下流に現れる擬似集光効果に注目したピクセル超解像位相イメージング手法を提案している。すなわち、X 線集光位置に撮影サンプルを配置し、その撮影サンプルをサブ周期でスキャンするという超解像技術を用いることにより空間分解能の制限を超えることができると考えられる。ここで、実験室での装置化のため、マイクロフォーカス X 線源 (モリブデン標的からの 17.4 keV 特性 X 線を使用) と三角位相格子を組み合わせた 5 mm 角の撮影視野を持つ超解像システムを考案した。三角位相格子の下流には最小スポット幅 1 μm 程度 (周期 5.5 μm 三角位相格子の場合) の一次元集光ライン群が得られる。これらが撮影サンプルの微小領域に照射され、さらに下流に振幅格子を配置することにより位相シフト量を縞走査法により抽出する。なお、この光学設計では通常の Talbot 干渉計とは異なり、コーンビーム照射下で三角位相格子により生成される隣り合うビームレットは重なり合わないという特徴があり、このことが超解像コンセプトの成立を保証する。

装置に組み込む三角位相格子は、カールスルーエ工科大 KARA 放射光施設においてディープ X 線リソグラフィを用いて作製した。ポリマー (SU-8) 製三角位相格子の場合、その下流の波動場強度分布シミュレーションから三角形のスロープ角は 84° と決定された。よって、SU-8 を塗布した 500 ミクロン厚ポリイミド基板にライン&スペースのマスクパターンを 6° 斜め照射し、架橋反応により形成される SU-8 の矩形格子構造の周期・デューティ比と高さ (SU-8 膜厚) をコントロールすることで、実効的な三角位相プロファイルを得ることができる。

本講演では、プロジェクトの第一段階として、周期 8.0 μm 三角位相格子を使用した超解像コンセプト実証実験の現状について報告を行う。なお、本研究は、JST、戦略的国際共同研究プログラム (SICORP)、JPMJSC1809 の支援を受けたものである。