

X線透過格子を用いた超解像 X 線位相イメージング装置の開発

Development of Laboratory-Based Super-Resolution X-ray Phase Imaging System With Transmission 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, 呉 彦霖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, Yanlin Wu¹, Hiroki Kawakami²,
Pouria Zangi³, Martin Börner³, Otto Markus⁴, Joachim Schulz⁴

E-mail: ikematsu@tohoku.ac.jp

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、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いる。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いる。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 線エネルギーでは回折効率が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、格子のサブ周期でスキャンす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 X 線) と三角位相格子を用いる広視野超解像システムを考案した。干渉性のある X 線により三角位相格子の下流にはスポット幅 $1\mu\text{m}$ 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ことに注意が必要である (図 1)。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。500 μm 厚ポリイミド基板に SU-8 を塗布し、ライン&スペースのマスクパターンを 6° 斜め照射する。形成されたポリマー (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、実効的に三角形の位相プロファイルを得ることができる (たとえば、周期 6.0 μm のとき高さは 28.5 μm)。

本講演では、完成した装置に三角位相格子を導入し、光学系の評価結果について報告する。また、超解像コンセプトの実証実験の現状についても議論を行う。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。



図 1: 超解像 X 線位相イメージング装置の波動場シミュレーションによる光学設計。非 Talbot 領域において三角位相格子から生成されるビームレットが撮影サンプルを局所的に照射する。