

フォトリソナノジェット形成のためのマイクロ構造体の作製

Fabrication of microstructures for generation of photonic nanojet

佐野 太一¹⁾ コスムスパマラ クンピシット¹⁾

プッタラクサ ニティポン¹⁾ 石井 保行²⁾ 西川 宏之¹⁾

Taichi SANO¹⁾ Kunpisit KOSUMSUPAMARA¹⁾ Nitipon PUTTARAKSA¹⁾

Yasuyuki ISHII²⁾ Hiroyuki NISHIKAWA¹⁾

¹⁾ 芝浦工業大学 ²⁾ 量子科学技術研究開発機構

(概要)

陽子線描画 (PBW) により、ブルーレイディスク表面のナノ構造上に PMMA マイクロ円柱構造を作製し、レーザー顕微鏡によるナノイメージングへの適用可能性を検証した。円柱構造を介さない通常観察では識別できないライン幅 200 nm、間隔 100 nm のグレーディング状ナノ構造が、円柱構造を通じた観察で確認された。さらに円柱の形状および直径が像質に及ぼす影響を調べ、直径の縮小によりコントラストが向上する一方、シャープネスおよび焦点深度が低下する傾向を確認した。

キーワード : 陽子線描画 (PBW)、PMMA、マイクロ円柱構造、ナノイメージング、フォトリソナノジェット

1. 目的

微小球支援顕微鏡 (Microsphere-Assisted Microscopy: MAM) は、試料上に微小球を配置することで回折限界を超えた観察を可能にするが[1, 2]、観察部位への正確な位置合わせが難しい[3]。本研究では、任意の位置に任意形状の構造体を形成できる PBW を用い、PMMA マイクロ円柱構造を作製することで[4, 5]、従来の微小球に代わる位置制御可能なナノイメージング用構造体としての適用可能性を検証した。

2. 実施方法

約 5 mm 角のブルーレイディスク基板上に厚さ約 3 μm の PMMA (Kayaku Advanced Materials, 分子量 950 kDa) をスピンコートし、ビームエネルギー 1.0 MeV、ビームサイズ約 1 μm にて PBW により円柱構造を描画した。IPA と純水を 7:3 で混合した現象液中にて 20 分間現像し、レーザー顕微鏡および FE-SEM で形状を評価した。ナノ構造の観察では波長 405 nm のレーザー顕微鏡を用い、ブルーレイディスク表面から円柱上面まで 0.1 μm 間隔で像を取得した。PBW のスキャンステップ幅を変化させて作製した異なる直径のマイクロ円柱構造による観察像の FWHM、コントラスト、および焦点深度を評価した。

3. 結果及び考察、今後の展開等

設定直径 3-9 μm の PMMA マイクロ円柱構造を作製し、直径 5 μm および高さ 2.6 μm の円柱構造を含め、各条件で構造形成を確認した。マイクロ円柱なしでは解像できなかったブルーレイディスク表面のナノ構造が、円柱構造により明瞭に確認され、MAM における微小球の代替構造体として利用できる可能性が示された。

スキャンステップ幅を 200 nm から 500 nm に変化させると円柱の真円度は低下したが、像質への明確な影響は認められなかった。一方、円柱直径を小さくするとコントラストは向上したが、FWHM が増大し、焦点深度の低下が確認された。これは円柱構造が形成するフォトリソナノジェットの幅および長さの変化に係ると考えられる。今後は、円柱の寸法、表面形状、材料屈折率を最適化し、観察対象上の任意位置に形成できるナノイメージング素子としての展開を目指す。

4. 引用(参照)文献等

- 1) A. Darafsheh, J. Appl. Phys. 131, 031102 (2022).
- 2) A. Darafsheh, J. Phys. Photonics 3, 022001 (2021).
- 3) F. Wang et al., Nat. Commun. 7, 13748 (2016).
- 4) T. Sano et al., Jpn. J. Appl. Phys. 64, 03SP44 (2025).
- 5) K. Kosumsupamala et al., Appl. Phys. Lett. 123, 141102 (2023).