

超解像顕微鏡用高精度ハイブリッド位相板の開発

¹NTT-AT(株), ²北里大学, ³ブダペスト工科大学, ⁴オリンパス(株)
 ○小平 晃, 永井 宏明, 丸山 隆志, 奥 哲, 熊谷 寛, ボコル ナンドール³, 池滝 慶記

Development of High Performance Hybrid Phase Plate for Super-Resolution Microscopy

○Akira Kodaira¹, Koumei Nagai¹, Takashi Maruyama¹, Satoshi Oku¹,
 Hiroshi Kumagai², Bokor Nandor³, Yoshinori Iketaki⁴

¹NTT Advanced Technology Corporation, Japan

²Kitasato University, Japan

³Budapest University of Technology and Economics, Hungary

⁴OLYMPUS Co. Ltd., Japan

【Abstract】 The phase-plates which generate Laguerre-Gaussian beam are demonstrated in a super-resolution optical microscope. Based on the two-color fluorescence dip, the hybrid type phase-plate is designed so as to have both structure of annular phase plate and spiral phase plate and is expected to realize the improvement of depth and breadth resolution simultaneously. The hybrid phase-plates are fabricated by photolithography and etching process technology, where their accuracy is improved compared with the previous one. The plate has a diameter of 20mm and a thickness of 500-600 μ m, which can be applied to a commercial microscope without modification.

【序】

蛍光抑制と波面制御光学系による超解像顕微鏡法 (Super-Resolution Microscopy : SRM)では、分子を第一のレーザー光 (ポンプ光)で S_1 状態に励起した後に第二のレーザー光 (イレース光)を照射することで S_1 分子のポピュレーションが減少するため分子からの蛍光を抑制することが出来る。この現象を利用し、ガウス分布を持つポンプ光とドーナツ状に整形したイレース光を染色試料へ同軸上で入射することにより、ドーナツ状の周縁部では蛍光が消失し回折限界よりも小さい蛍光スポットが得られる。この蛍光スポットを試料上で走査させることにより超解像観察が可能となる^[1]。

同軸上に導入されたポンプ光とイレース光は位相板を用いることにより超解像観察に必要な形状に整形することができる。位相板には螺旋状の位相分布を有し横方向の空間分解能に優れた位相板 (Spiral Phase-Plate : SPP)と、輪帯状の位相分布を有し光

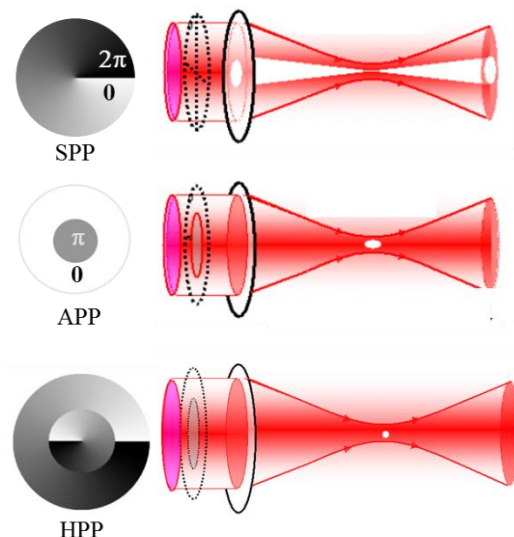


Fig. 1. Structure of phase-plates and phase modulation.

軸方向の分解能に優れた位相板 (Annular Phase-Plate : APP) がある。また、SPP と APP それぞれの構造を合わせ持つ位相板 (Hybrid Phase-Plate : HPP)は横方向および光軸方向に高い分解能を示すことが期待されている^[2]。

これらの位相板の作製方法として、屈折率の異なる膜を積層させる多層膜を用いる方法や、基板上への成膜や基板の加工により膜厚を変化させることによる方法がある。しかし、多層膜や基板上への成膜による作製法では各位相間の境界面での垂直性や位置合わせ精度が課題となっている。

そこで本研究では半導体プロセスを用いることで位置合わせ精度の向上と境界面の垂直性に優れた位相板の作製を試みた。

【位相板の作製】

位相板は石英基板を加工することにより作製した。各位相に対応した加工量はポンプ光とイレース光に用いる光源の波長によって決定される。本研究ではポンプ光には $\lambda = 515 \text{ nm}$ 、イレース光には $\lambda = 670 \text{ nm}$ を用いた場合に、ポンプ光の位相は変わらず、イレース光に位相差が生ずる位相板の作製を目的とした。

各種位相板は半導体プロセスの一つであるフォトリソグラフィ技術により加工領域を決定し、半導体加工技術により石英基板を加工することにより作製した。フォトリソグラフィは縮小投影型露光装置 (ステッパー)を用いた。ステッパーの位置合わせ精度はサブミクロンレベルと極めて高精度であるため、従来法と比較して高い位置合わせ精度での位相板の作製が可能である。石英基板の加工には CF 系ガスによる反応性イオンエッチング (Reactive Ion Etching : RIE)を用いた。

【結果・考察】

作製した SPP の交差部分の SEM 画像(Fig. 3)を示す。加工量はそれぞれ $1/2\pi = 6.255 \mu\text{m}$ 、 $\pi = 4.256 \mu\text{m}$ 、 $3/4\pi = 2.211 \mu\text{m}$ であり、ほぼ設計どおりの値であった (Table 1)。また位相面の交差部の位置ズレは 200nm 程度であり、高い位置合わせ精度を実現した。今回作製した位相板の面内均一性や各位相面境界の垂直性の評価結果、また位相板を用いた超解像観察の結果についても報告する。

Table 1. Etching depth of SPP.

Phase difference	Designed [μm]	measured [μm]
$1/2\pi$	6.610	6.255
π	4.430	4.256
$3/2\pi$	2.220	2.211

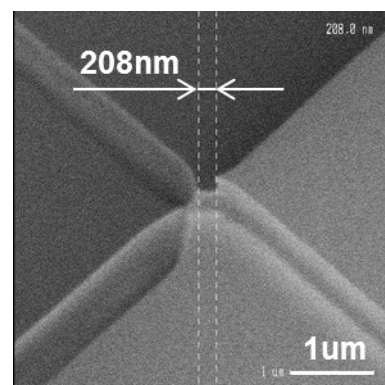


Fig. 3. SEM image of SPP crossing.

【謝辞】 この開発は国立研究開発法人科学技術振興機構の研究成果展開事業 (先端計測分析技術・機器開発プログラム) による成果である。

【参考文献】

- [1] Y. Iketaki, et al. CLEO2000, San Francisco, USA, CThL5 (2000)
 [2] N. Bokor, Y. Iketaki, *Appl. Spectrosc.* 68, 353 (2014).