

超解像顕微鏡における螺旋型位相板の加工精度が分解能に与える影響

¹NTT-AT, ²北里大学, ³ブダペスト工科大学, ⁴オリンパス
 ○永井宏明, 小平晃, 丸山隆志, 奥哲, 熊谷寛, Bokor Nandor³, 池滝慶記⁴

I Influence on machining accuracy of spiral phase plate on a resolution in super-resolution microscope

○Koumei Nagai¹, Akira Kodaira¹, 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 with a toroidal hollow intensity distribution are demonstrated with super resolution microscopy (SRM) based on fluorescence depletion. We investigated the lateral resolution of SRM when a phase plate giving a phase change in spiral staircase form (spiral phase plate: SPP) was applied to erase beam. In the SPP, the positional accuracy of each phase plane and the accuracy of the phase difference between the respective phase planes have a large influence on the shape of the generated dark spot. We simulated the influence of processing accuracy of synthetic quartz phase plate manufactured by photolithography and etching process technology on generation of dark spot. As a result of the simulation, the error of the etching amount required for generating effective dark spot was the value that can be realized by the current process technology.

【序】 蛍光抑制と波面制御光学系による超解像顕微鏡法(SRM)では、照明光として波長の異なる2色の光を用いる。第1のレーザー光(ポンプ光)で第1励起電子状態(S1)へ遷移させた色素分子を第2のレーザー光(イレース光)で照射すると、誘導放出や誘導吸収が生じてS1分子のポピュレーションが減少して分子からの蛍光を抑制することができる。消去ビームが染色試料上にドーナツ型に集束すると試料上のポンプ光による蛍光スポットは焦点面の中心部近傍で回折限界以下に縮小する。このスポットでサンプルを走査することで、超解像顕微鏡蛍光画像を取得することができる^[1]。ドーナツ状のイレース光は螺旋状の位相分布を有する位相板、輪帯状の位相分布を有する位相板やこれらを組み合わせたハイブリッド位相板などが提案されているが、Fig.1に螺旋階段状の位相板によるDark spot生成の概略図を示す。

位相板の作製においては各位相領域で異なる構成の誘電体多層膜を形成する方法や、位相領域ごとに異なる深さで基板を加工する方法等によって所望の位相差を得ている。いずれの加工法においても光軸方向の加工誤差(膜厚や加工深さ)や光軸方向と垂直方向の加工誤差(位置精度や境界の急峻さ)が

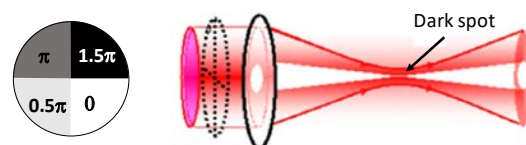


Fig. 1. Generation of dark spot by spiral phase modulation plate.

Dark spot の形状に影響を与える。

そこで本研究では位置合わせ精度に優れる半導体プロセスで製作する螺旋型位相板をモデルとして加工精度が Dark spot の形状すなわち分解能に与える影響について検討を行った。

【解析方法】位相板を透過したイレースを集光したときの3次元的強度分布は輪帯開口のフラウンホーファー回折の式を用いて解析的に表現できる^[2]。

シミュレーションでは位相板は石英基板を深さ方向に加工することで作製することとした。イレーズ光として $\lambda = 670 \text{ nm}$ を用いた場合に、各位相に対応した設計加工量はそれぞれ $6,610 \text{ nm}(0.5\pi)$ 、 $4,430 \text{ nm}(\pi)$ 、 $2,211 \text{ nm}(1.5\pi)$ となる。

各位相領域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するが、フォトリソグラフィは縮小投影型露光装置(ステッパー)を用いサブミクロンレベルと極めて高精度の位置合わせが可能である。Fig.3,に半導体プロセスによる位相板の加工例を示す。

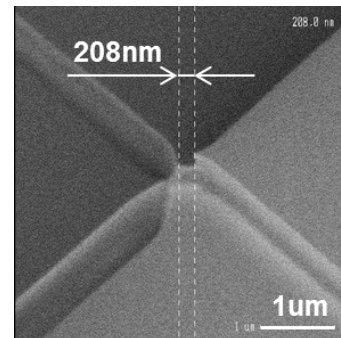


Fig. 3. SEM image of SPP crossing.

【結果・考察】

Fig.4, Fig.5 にシミュレーションの一例を示す。位相板の一領域に 0.1π の位相差を与えた場合、ドーナツ形状や Dark spot 形状に乱れが生じておりこのためポンプ光のスポット形状が大きくなることが予想できる。基板が石英の場合、 0.1π の位相差は約 400 nm のエッチング量に相当し、半導体プロセスではこれ以下の精度の加工は実現できると考える。また、位置精度についても誤差が Dark spot 形状に与える影響について報告する。

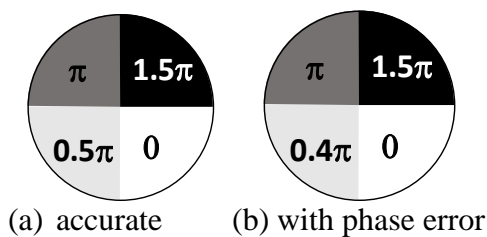


Fig. 4. Experimental Data.

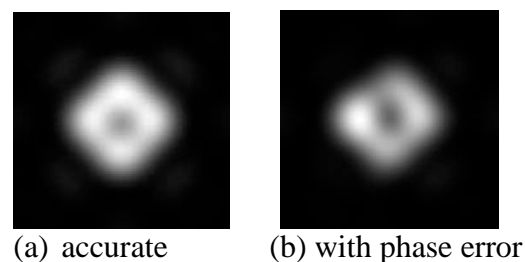


Fig. 5. Experimental Data.

【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).