

量子増強イメージングのための低損失顕微光学系の実証

Realization of ultra-low-loss microscopic optics for quantum-enhanced imaging

東大院工[○](M1) 落合夏葉, 小関泰之

Univ. of Tokyo, [○]Natsuha Ochiai, Yasuyuki Ozeki

E-mail: ochiai127@ginjo.t.u-tokyo.ac.jp

近年、量子増強計測法が量子限界を超える高い感度を得る手法として注目を集めている[1-4]。しかし、光学系の透過率が信号対雑音比の増強度を制限するため、高透過率な光学系が必要である。従来の光学顕微鏡の透過率は40%程度であり、これでは量子増強の効果が得られない。本研究では、我々が実証した高透過率ビーム整形法[5]と反射防止(AR)コートをかいた対物レンズとカバーガラスを組み合わせ、89.5%という超高透過率の光学系を実現したので報告する。

Fig. 1(a)にアキシコンを用いた超低損失ビーム整形法の模式図を示す。 d や L などのパラメータを最適化することで、信号強度や空間分解能を犠牲にせずに光損失を抑えることができる。この設計の最適化のため、波長850 nmの光に対するARコートをかいた対物レンズ(Thorlabs, 60 \times , NA=0.65)とカバーガラスを特注し、それらの透過率位置依存性を計測した。この結果を考慮し、ビーム整形を用いた場合の透過率、空間分解能を数値計算で求めた。結果をFig. 1(b), (c)に示す。横軸は d を D_p で規格化したビーム径であり、さらに $r = D/D_p$ を変えて比較した。 $r = 0.95$ のとき、Fig. 1(b)より規格化ビーム径が0.56において透過率は91%と高く、このときFig. 1(c)より、空間分解能も高い。一方、従来のガウシアンビームでは透過率は93%と高いものの、空間分解能が低い。よってこのビーム整形を用いることで空間分解能を犠牲にせずに透過率を高められることが分かる。

この設計をもとに顕微光学系を構築した。模式図をFig. 2(a)に示す。レーザを拡大した後、アキシコンペアに入射し、Fig. 2(b)に示すリングビームを整形する。その後1/2倍に縮小し対物レンズに入射する。焦点面P1, P2におけるビームスポットをそれぞれFig. 2(c), (d)に示す。Fig. 2(c)から低強度のリングとともに単峰のビームスポットが形成されていることが分かる。Fig. 2(d)のスポットサイズは0.12 mmであり、数値計算と一致した。また、光学系全体の透過率は89.5%となった。

以上より、アキシコンビーム整形法と高透過率対物レンズ・カバーガラスを組み合わせることで空間分解能を落とさずに、光学系の高透過率化を実証した。詳細は講演で報告する。

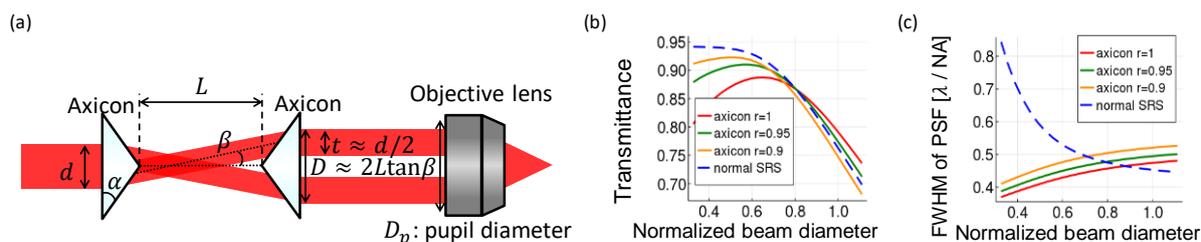


Fig. 1 (a) Schematic of axicon-based beam shaping. (b) Numerally calculated transmittance. (c) Numerally calculated spatial resolution.

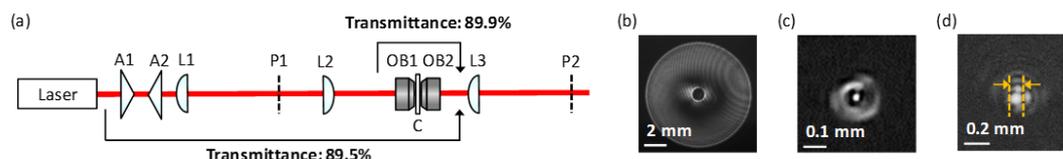


Fig. 2 (a) Schematic of microscopic optics. A1, A2: axicons, L1: lens, $f = 100$ mm, L2: lens, $f = 200$ mm, L3: lens, $f = 250$ mm, OB1, OB2: objective lens. C: two cover slips pasted with water. P1: focal plane after L1, P2: focal plane after L3. (b) Beam pattern after A2. (c) Focal spot at P1 after L1. (d) Focal spot at P2 after L3.

参考文献

- [1] M. A. Taylor *et al.*, Nat. Photon. **7**, 229 (2013).
 [2] G. Brida *et al.*, Nat. Photon. **4**, 227 (2010).

- [3] A. Mosset *et al.*, Phys. Rev. Lett. **94**, 223603 (2005).
 [4] Y. Michael *et al.*, Npj Quantum Inf. **5**, 81 (2019).
 [5] N. Ochiai *et al.*, J. Opt. Soc. Am. B **36**, 1342 (2019).