光子を用いた量子計測

Quantum metrologies using photons

○竹内 繁樹 (京大工)

°Shigeki Takeuchi (Kyoto Univ.)

E-mail: takeuchi@kuee.kyoto-u.ac.jp

量子重ね合わせ状態や、不確定性原理、量子もつれといった、量子力学の本質的な性質を利用した新たな機能の実現をめざす、量子情報科学が近年急速に進展している。その応用の一つとして、量子計測が最近注目されている。広範に利用される光計測との関連から非常に重要である「光子を用いた量子計測」においては、光子間の量子もつれが重要な役割を担う。本公演では、光子を用いた量子計測について、「量子もつれ顕微鏡」、および量子光を利用した光コヒーレンストモグラフィ(OCT)に関する最近の研究成果を紹介する[1]。

「量子もつれ顕微鏡」とは、量子もつれ光を光源として利用した顕微鏡である。レーザー光などの「古典光」を光源として用いる場合、光干渉計の感度は、含まれる光子数 N に対して、 $\sqrt{N}$ に比例する。これは、標準量子限界(SQL)またはショットノイズ限界と呼ばれる。しかし、光源として量子もつれ光を用いた場合、この限界を超えることが可能になる[2]。我々は今回、経路もつれ状態にある光子対を用いた微分干渉顕微鏡である「量子もつれ顕微鏡」を提案、実現し、その信号雑音比が、古典光を光源とした微分干渉顕微鏡を超えることを実証した[3]。

次に、量子光の OCT への適用について紹介する。広帯域光の低コヒーレンス干渉を用いて、媒質の深さ方向の情報を得画像化する OCT[4]は、眼底検査ではすでに不可欠な技術であるが、その OCT の深さ方向分解能を制限する要因として、群速度分散が問題となる。分解能を向上するために光源を広帯域化するほど、群速度分散により干渉信号が広がってしまうというジレンマが存在する。その壁を打破する方法の一つとして、周波数もつれ状態にある光子対を光源とし、それらの2光子量子干渉を用いる「光量子コヒーレンストモグラフィ(QOCT)」がある[5]。周波数もつれの為に、2光子量子干渉縞(ディップ)の幅は、偶数次の群速度分散の影響を受けない。最近我々は、 $3\mu\text{m}$ という高分解能領域で、QOCT の群速度分散耐性の実証に成功した[6]。講演では、これらの研究の最新状況や、フォトニクスとの融合による光量子回路の展望についても述べる。

本研究の一部は、JST-CREST、新学術領域「量子サイバネティクス」、JSPS-FIRST、科研費、科学技術振興調整費、物質・デバイス領域共同研究拠点の支援を受けて行われた。

[1] 竹内繁樹、日本物理学会誌、vol. 69, No. 12, 853 (2014).

[2] T. Nagata, R. Okamoto, J. L. O'Brien, K. Sasaki and S. Takeuchi, Science, vol. 316, 726, (2007).

[3] T. Ono, R. Okamoto, and S. Takeuchi, Nature Communications, vol. 4, 2426 (2013).

[4] D. Huang, et. al., Science, 254, 1178 (1991).

[5] A. F. Abouraddy, et. al., Phys. Rev. A, 65, 053817 (2002).

[6] M. Okano, et. al., Phys. Rev. A, vol. 88, 043845 (2013).