

レーザーコンパス

フォトン検出

土屋 裕*

Yutaka TSUCHIYA*

フォトンクス (光子工学) は1960年のレーザーの発明に端を発し、現在では良質のコヒーレント光が広く応用されている。特に最近、レーザー装置や実験技術、光計測技術の進歩に支えられて、量子光学や量子現象の研究が著しく進展した。エレクトロニクスに対してフォトンクスの時代が来るといわれてから久しいが、ようやくフォトンクスは、量子現象がますます重要になる21世紀での主役を目指して、本格的な飛躍期に入ったと考えられる。

本題のフォトン検出は、このようなフォトンクスを支える一つのキー技術である。例えば光計測は、非接触、無侵襲、高速、高感度、高精度、高空間並列性などの利点があり、さらに物質固有のスペクトル情報を利用することもできるため、今後の進展が期待されている。ところが、超高精度計測、極微弱光計測、超高速光現象の計測、極微小域計測などのように、計測精度が向上すると、いずれも計測に利用できる単位精度当たりのフォトン数が減少し、フォトン検出の性能、あるいは量子限界によって計測精度が制限される。この様子は、光通信における受信限界を向上させる場合でも同様である。

そもそも光は電磁波であり波動としての性質をもっているが、それと同時に粒子としての性質をもっている。このような光が検出されるときは粒子としての性質が現れ、 $h\nu$ なるエネルギー

をもつフォトンの空間的、時間的分布として検出される。ここでは h はプランク定数、 ν は光波の振動数である。かくして、フォトン検出が破壊型の検出であること、光計測の検出限界が単一のフォトンの検出にあること、計測のS/N比が光子数雑音 (光子数のゆらぎ)、つまり量子限界で制限されることが理解される。

通常、光検出の量子的限界は検出可能最小パワーで表され、帯域幅を B 、量子効率を η としたとき $h\nu B/\eta$ となる。したがって、量子限界を実現する究極のフォトン検出器は、量子効率 $=1$ で高速応答性を持ち、かつ単一フォトンを実測するのに十分な増幅性能をもたなければならない。また、空間分布を実測するには、2次元のフォトン検出機能が必要になる。

この種の検出器として、光電面を利用した2次元光子検出管があるが、光電面の量子効率が高々0.4程度であるため、その改善が強く望まれる。後述するような非古典光の計測では、特に、高い量子効率が不可欠である。また、冷却型CCDでは量子効率 ≈ 1 、開口率 $\approx 100\%$ 、およびショット雑音レベルの検出が達成されているが、増幅率が足りないため単一フォトンの検出ができない。これを可能にするには、光電変換による電子を、アバランシェ効果などを利用して電子増倍する機能が必要である。

さらに将来を考えれば、前記の量子限界を超

*浜松ホトニクス株式会社中央研究所 (〒434 浜北市平口5000)

*Hamamatsu Photonics, Central Research Laboratory (5000 Hirakuchi Hamamakita 434)

えるような新しい計測法の研究開発が必要になる。この場合、光子数確定状態のスライズド光など、非古典的な光をプローブ光として利用することが考えられる。また、微小信号のキャリアであるフォトン量子非破壊計測によって多重回計測して、SN比を改善する試みもされよう。さらに、この種の新しい原理を応用した無雑音光子数増倍が実現されるかも知れない。この光子数増倍は、スライズド状態の低雑音性が

光学的損失によって失われることを克服する意味で特に重要である。なお、これらを実現するには、透明で非線形光学定数の大きい材料が必要であるから、材料の探索が急務である。

レーザー学会会員諸兄による研究開発の推進によって、フォトン検出が量子限界に到達し、光検出や光計測の精度が上記の意味で量子限界を超えるのは、そう遠くないと期待している。