

光電子増倍管を用いた数百ピコワットからフェムトワットまでの

光パワーに対する絶対応答度評価法の開発

Development of absolute optical responsivity evaluation method
for optical power from picowatts to femtowatts with photomultiplier tube

産総研 計測標準 °田辺稔, 丹羽一樹, 木下健一

AIST NMIJ °Minoru Tanabe, Kazuki Niwa, and Kenichi Kinoshita

E-mail: tanabe-m@aist.go.jp

光電子増倍管 (Photomultiplier tube: PMT) は、熱型や他の光電型の光検出器と比較して単一光子レベルまで低ノイズに検出可能、高速動作可能な点で優れており、高エネルギー物理学や宇宙天文学、分光分析や環境測定など幅広く使用されている。また、PMTはフォトカソードや内部の高電圧を調整することで、様々な波長や広いダイナミックレンジでの測定が可能であるが、PMTは、応答が直線的な範囲で使用されるか、あるいは直線的であるという仮定の元で使用されている。特に、PMTを用いた広いダイナミックレンジでの微弱光測定は、バイオや医療分野解析において重要な基盤技術である。本研究では、PMTの応答非直線性を高精度に測定し、その結果を用いてフェムトワットから数百ピコワットの広い光パワーに対する絶対応答度を評価する技術の開発を実施した。

光検出器の絶対応答度評価法として、参照値が校正された上位標準となるフォトダイード(PD)を用いた方法があるが、光パワーが数マイクロワットであり、PMTでは1/1000倍以下に光パワーを減衰させる必要がある。その光パワーを減衰させるために一般的に行われる方法として、光減衰器を用いて微弱光パワーまで減衰させ絶対応答度を評価する方法があるが、光減衰器の偏光や入射波長による依存性を別途評価する必要がある。しかし、その妥当性を微弱光を用いて検証することは困難である。そこで、以下に示すようなPDとPMTの応答非直線性評価を組み合わせ、微弱光での応答度を評価する手法を提案した。まず、PDの応答非直線性評価の結果を元に、分光応答度の評価結果を数百ピコワットの光パワーまで拡張させる。次に、数百ピコワットの光パワーでPDとPMTの比較測定を行い、PMTの絶対応答度を評価する。最終的に、PMTの応答非直線性を評価しフェムトワットの光パワーまで絶対応答度を拡張させる。以上の評価法の原理実証実験は、マイクロワットレベルでシリコンフォトダイオード(Si PD)の応答非直線性を評価するための装置[1]を改良して実施した。図1に、波長660 nmのレーザ光を用いて評価したSi PDとPMTの絶対応答度測定結果を示す。Si PDで測定できないようなピコワット未満の光パワーにおけるPMTの絶対応答度を評価可能であり、応答非直線性も含めて評価できることがわかった。また、数百ピコワットからフェムトワットの光パワー範囲で0.3~3%の不確かさであり、微弱光パワーに対して高精度な絶対応答度測定法を原理実証に成功した。

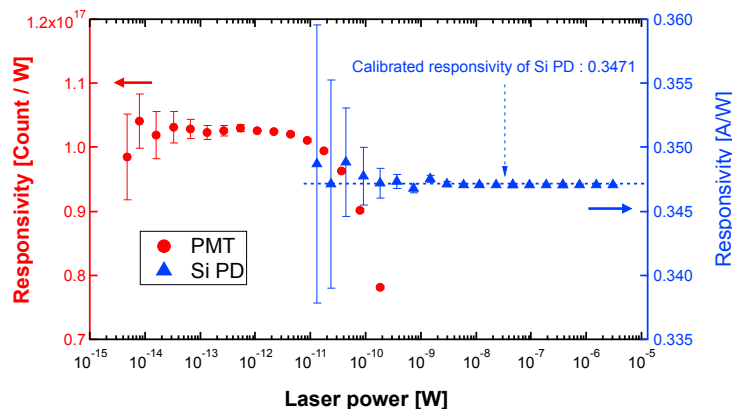


図1 Si PD と PMT の絶対応答度測定結果 (入射波長 660 nm)

参考文献

[1] M. Tanabe et al, Applied Optics Vol. 55, Issue 11, pp. 3084-3089 (2016).