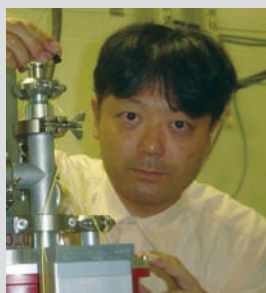


超伝導転移端センサーによる光子数識別技術

計測標準の高度化や量子情報通信の究極的な安全性につながる技術



福田 大治

ふくだだいじ

d.fukuda@aist.go.jp

計測標準研究部門
光放射計測科 レーザ標準研究室
研究員
(つくばセンター)

レーザーのパワーやエネルギー標準に関する研究開発・維持供給を担当しています。産業界に直結した標準供給を行う一方、単一光子レベルの微弱光を測定対象とした高度光計測技術の開発にも挑戦中です。この技術を、新たな産業の育成や次世代標準へと展開することを目指しています。

関連情報：

● 共同研究者

雨宮 邦招、沼田 孝之、座間 達也、佐藤 泰、吉澤 明男、土田 英実、藤野 英利、石井 裕之、板谷 太郎（産総研）、藤井 剛（産総研、日本大学）、井上 修一郎（日本大学）、佐々木 雅英（情報通信研究機構）、枝松 圭一（東北大学）

● 参考文献

[1] D. Fukuda *et al.*: *J. Low Temp. Phys.*, 151, 100-105 (2008).

[2] D. Fukuda *et al.*: *Metrologia*, 46, 288-292 (2009).

[3] J.Y. Cheung *et al.*: *J. Mod. Opt.*, 54, 373-396 (2007).

● 用語説明

量子効率：単一光子が検出器に入射した時、それが応答出力として検出される確率。

時間ジッタ：光子の検出器への入射時刻に対する出力信号時刻の揺らぎ。

光子数分解能：光子数ピークを正しく分離・検出できる能力を示す指標。

背景

光の強度を単一光子レベルの微弱光にまで弱めると、光のもつ量子的な性質が現れ始めます。この光子のもつ量子的な性質を利用すると、究極的な安全性をもつ通信（量子暗号通信）や超高速・大容量情報通信（量子情報通信ネットワーク）などが可能になると考えられています。また、生体蛍光試料からの時間相関単一光子計数による蛍光寿命測定や、レーザー環境計測による大気・汚染物質観測などでは、単一光子レベルの微弱な光子を検出することで究極的な感度が実現できます。

このように、微弱光を高度に計測できる単一光子計測技術、およびその性能である量子効率や時間ジッタ、光子数分解能などを校正・評価する技術は、産業上で重要な技術課題です。この実現に向け、産総研では、光パルス中の光子数を高い精度で測定可能な超伝導現象を利用した光子数検出器の開発を行っています^[1,2]。

超伝導転移端センサーによる光検出器

超伝導現象を用いた光検出技術の代表例として、ここでは超伝導転移端（TES; Transition Edge Sensor）による光検出器を紹介します。TESは、光パルスのエネルギーを熱として検出する測定器の1つです。図1のように吸収体で吸収された光エネルギーを、超伝導体の転

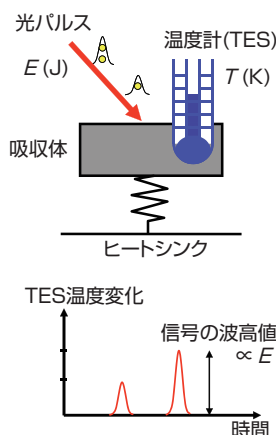


図1 超伝導転移端センサー (TES) による光子数識別器の模式図 (上) TES の応答信号例 (下) 光パルスのエネルギー E は吸収体で熱に変換され、この温度上昇が TES で検出される。TES の信号の波高値は、 E に比例する。

移領域を利用した TES 温度計で検出します。TES の抵抗変化は入射光パルスのエネルギーに比例するため、入射光子の波長特性（分光特性）、あるいは単一波長の光パルスに対しては光子数が同定できることになります。従来型の TES では応答速度が遅いことが欠点でしたが、産総研独自の高い超伝導臨界温度をもつ超伝導薄膜や光吸収構造を用いることで、高速性や高量子効率を実現しています。図2は、単一波長の弱コヒーレント光の光子数分布を測定したものです。各ピーク群は超伝導薄膜で吸収した光子数に相当し、光子数状態を明瞭に分離することに成功しています。

今後の展開

光子数識別技術は、単一光子源や相関二光子源の光子分布を直接評価することができ、量子効率などの次世代標準やレーザーパワー標準の高度化にきわめて重要な役割を果たします。さらには光子数に基づくSI単位カンデラ (Cd) の定義の書き換え^[3]などへの展開も、海外の計量標準研究機関で取り組まれています。光子数識別技術は、光の量子状態を自由自在に操るために必要な技術の1つです。そのため、現在の情報通信網への技術革新や絶対安全な通信システムの構築にも大きな役割を果たすと期待されています。

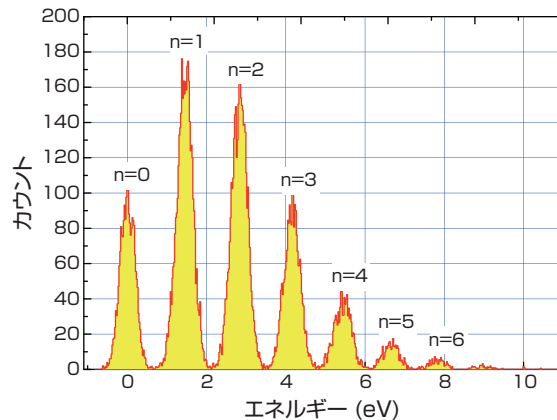


図2 波長 850 nm の弱コヒーレント光パルス測定時の検出応答信号の波高スペクトル 光パルスのエネルギーは、単一光子のエネルギー (1.46 eV) で離散化されているため、分布は検出器で吸収された光子数に応じてピーク状となる。n は光子数を表す。