

光の量子性を最大限引き出す光検出技術 ～超電導転移端センサー～

光の究極単位 “光子”

私たちの周りに満ちあふれている光は、“光子（フォトン）”と呼ばれる素粒子の集まりであり、その光子1個は、電磁波の周波数に比例したエネルギーをもち、それ以上分けることができない光の究極的な最小単位となります。現在、計測・計量標準分野では、「単一光子レベルの光パワーの絶対量を測定する」ことは、極めて重要な研究テーマとなっています。この実現には、これまでの技術では不可能な高い検出効率と低い暗計数率で光子を検出する必要があります。超電導転移端センサー（Transition Edge Sensor：TES）はこれを実現できる有力な手法の一つとして期待されています。

超電導で光子を検出する

TESは、光子検出に金属の抵抗値がゼロとなる超電導現象を巧みに利用したデバイスです。光子のもつエネルギーがTES内部で吸収されるとわずかな温度上昇が生じますが、これによりTESは超電導状態から常電導状態へと転移します。この状態変化を、転移領域中の抵抗変化として検出するのがTESの動作原理です。この動作原理により、TESは、赤外～可視域の単一光子のエネルギー測定や、同時に到達する光子数を同定することが可能となります。一方、これまでTESの応答速度はマイクロ秒程度と遅く、計数率が数十kHzに限られてしまうのが欠点でした。私たちはこの解決にチタン系の超電導体をTESに適用することで、100ナノ秒程度の高速応答とMHz以上の計数率特性を実現することに成功しています。

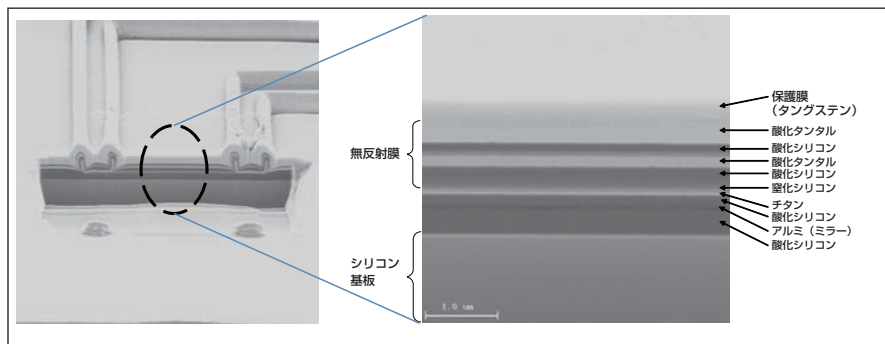


図1 光吸収キャビティ内に構築された超電導転移端センサー光検出部の断面画像

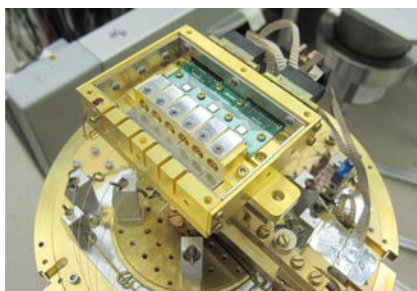


図2 超電導転移端センサーによる高精度光子検出装置

また、光を閉じ込めるための誘電体多層膜からなる吸収キャビティ内に超電導薄膜を挿入する構造を考案し、98%以上の検出効率を実現しました^[1]。

超電導転移端センサーの今後

TESによる光検出技術を用いると、既存の技術では不可能な高い検出効率とほとんどゼロの暗計数が得られます。これにより、光源のもつ量子的な特性を損なうことなく測定できるため、量子情報通信分野における多数の光子の操作が必要なエンタングル光子対の測定や光量子状態の非古典的操作^[2]、あるいは、TES素子を多数配列しこれを超電導多重読出回路などと組み合わせた単一光子の撮像デバイスなど、さまざまな応用が期待されています。計測・計量標準分野でも、国際単

参考文献

- [1] D. Fukuda *et al.*: *Opt. Express*, 19, 870 (2011).
- [2] N. Namekata *et al.*: *Nature Photon.*, 4(9), 655 (2010).

位系(SI)の一つであるカンデラ(cd)を一定の光周波数の光子数とプランク定数の積として再定義するための技術的な検討が進められています。

今後の展開

TESは、可視・近赤外の光子のみならず、テラヘルツ (THz) 領域から、X線、ガンマ線、 α 線など、さまざまなエネルギー粒子を検出できます。そのため、THzイメージングによるセキュリティ、X線蛍光分析などの産業応用、衛星搭載用X線分光装置、核燃料物質のプロファイリングなど、多岐にわたる応用が期待されます。

計測標準研究部門
光放射計測科 レーザ標準研究室
ふくだ だいじ
福田 大治