超伝導転移端センサによる単一光子の分光測定

Single photon spectroscopy with superconducting transition edge sensors

○福田 大治 [1,2]、丹羽 一樹 [1] 、小林 稜 [1,2]、沼田 孝之 [1]、田辺 稔 [1]、神代 暁 [1]、井上 修一郎 [2]
(1. 産総研、2. 日本大学)
°Daiji Fukuda[1,2], Kazuki Niwa[1], Ryo Kobayashi[1,2], Takayuki Numata[1], Minoru Tanabe[1], Satoshi Kohjiro[1], Shuichiro Inoue[2], (1. AIST , 2. Nihon Univ.)
E-mail: d.fukuda@aist.go.jp

はじめに

極微弱な光を高精度に検出する手法として、我々は超伝導転移端センサ(TES; Transition Edge Sensor)による単一光子分光測定技術の開発を行っている[1]。TES はエネルギー分散型の検出器であり、その入射光子のエネルギー情報（波長）を一つ一つの光子に対して測定することが出来る。そのため、分光器等を用いた分散測定とは異なり、感度を劣化させることなく光子の情報を最大限引き出すことが出来る検出技術として、高感度イメージングセンサなどへの適用が期待されている。今回、可視域～近赤外領域の波長で光子を TES にて分光測定し、その特性について評価した。

実験・結果

実験はTi/Auの近接二重層による光ファイバー結合 TES 素子を用いて行った。実験に使用した TES は、受光面積 5 μm×5 μm、超伝導転移温度 252 mK、常伝導抵抗値 2.66 Ωであり、応答時定数 200 ns、波長 1.5 μm における検出効率 83 %の性能を持つ。光入力として波長 405 nm, 850 nm 及び 1553 nm の 3 種類のパルスレーザ光源を用いて、平均光子数 2 個/パルス以下程度にまで光強度を減弱させたレーザ光をそれぞれ TES に照射し、各入射波長で波高スペクトルを取得した。観測された波高スペクトルの例を図１に示す。Poisson 分布に従うピーク群が観測され、各ピークは TES で検出された光子数を表している。各ピークでは、光子数 n 個の光子が吸収して検出されたと仮定（すなわち、波長 λ の光子 n 個のエネルギーE が TES に付与された）し、入射光子のエネルギーと TES 応答の関係を求めた結果を図２に示す。TES の応答は、E<4 eV 程度までは良好な線形性を示していることが分かった。一方、これよりエネルギーが高い領域では、線形性が崩れ、応答が飽和していく傾向がある。また、図２には、波高スペクトルの各ピークの半値幅より求めたエネルギー分解能も示す。各ピークの半値幅は入射光子のエネルギーによらずほぼ一定値であったが、TES 応答の非直線性の影響のため E>4 eV ではエネルギー分解能は相対的に大きな値になっていく傾向がある。一方、E<4 eV の領域では、エネルギー分解能は 0.18 eV(FWHM)のほぼ一定値となることが分かった。このエネルギー分解能は、波長 405 nm の単一光子を波長分解能 24 nm で分光測定できることに相当する。今後、超伝導転移温度の最適化を行えば、さらなる波長分解能の向上も期待できる。

謝辞

本研究で用いた素子の作成は、産総研の超伝導クリーンルーム CRAVITY、産総研ナノテクノロジープラットフォーム NPF 及び物材研微細加工プラットフォームの支援を受けて行った。

参考文献

[1] D. Fukuda and et al., Optics Express, vol. 19, no. 2, pp. 870-875 (2011).

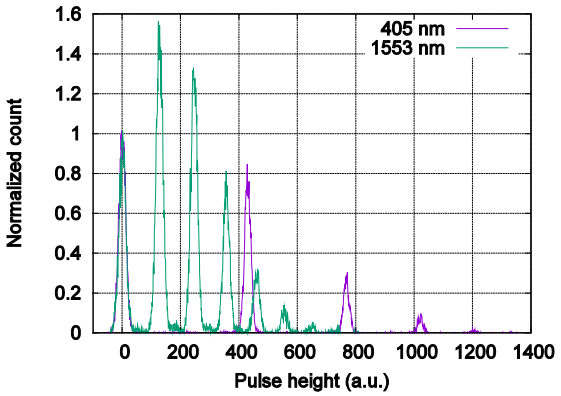

図１　可視及び通信波長帯域の波高スペクトル測定例

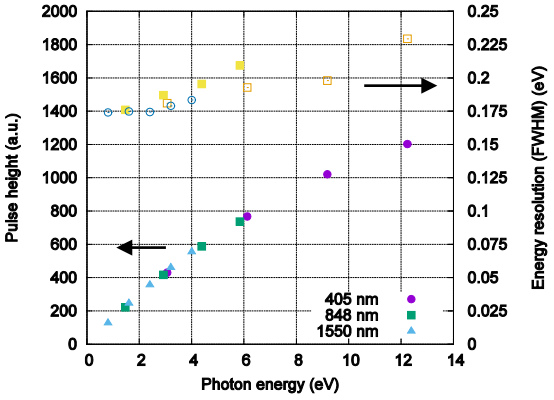

図２　光子エネルギーに対する TES 応答波高とエネルギー分解能の関係

© 2016年 応用物理学会