

【基盤研究(S)】

大区分C



研究課題名 超伝導シングルフォトンカメラによる革新的 イメージング技術の創出

情報通信研究機構・未来 ICT 研究所・上席研究員

てらい ひろたか
寺井 弘高

研究課題番号：18H05245 研究者番号：10359094

キーワード：単一光子検出器、イメージセンサ、超伝導デジタル信号処理

【研究の背景・目的】

光子の空間・時間情報の高精度な検出は、量子情報処理、量子通信、光子分光、天体観測、バイオイメーキング等、幅広い分野で重要となる基盤技術である。現状最も優れた感度を持つイメージセンサである冷却 CCD は月明かり（約 1 ルックス）の 1 億分の 1 の光を検出することが可能であるが、光子数に換算すると 1 秒あたり数万個に相当する。それよりも微弱な光を検出するためには光子計数が可能な光電子増倍管やアバランシェ光検出器を用いる必要があるが、イメージセンサとして機能する大規模フォーマットのアレイはこれまでのところ実現していない。また、近赤外光は生体内部に浸透するため生体深部を観察するのに有用な波長帯域であるが、近赤外領域での CCD の感度は可視領域に比べると著しく低く、フレームレートは最も高速な電子増倍 CCD (EMCCD) でも 20 kHz 程度である。

超伝導ナノワイヤ光子検出器 (SSPD) は、深紫外から中赤外に渡る幅広い波長範囲に感度を持ち、量子情報分野での利用が進んでいる。1.55 μm での検出効率は 90% を超え、1 cps 以下の低暗計数率、20 ps 以下のタイミングジッタという優れた低ノイズ性、高時間精度を有している。SSPD の 2 次元アレイ化により、深紫外～赤外での高い検出感度、超低ノイズ、高い空間・時間分解能を兼ね備えた光子イメージング技術の実現が期待されるが、冷凍機に実装できるケーブル数の制約から、これまでに実現しているアレイ規模は 64 ピクセル程度である。本研究では、単一磁束量子 (SFQ) 回路による極低温信号処理技術を導入することで、これまでの限界を打破し、超伝導シングルフォトンカメラとも呼ぶべき 100x100 ピクセル規模の SSPD アレイの実現、高い空間・時間分解能を持つ革新的光子イメージング技術の創出を目指す。

【研究の方法】

NIST が提案する行列読み出し方式の 2 次元 SSPD アレイと極低温信号処理を組み合わせた図 1 に示す構成で、大規模 SSPD イメージセンサの実現を目指す。極低温信号処理回路として、これまで取り組んできた SFQ 回路に加えて、より小さなバイアス電流で駆動可能な断熱型磁束量子パラメトロン (AQFP) を導入する。SSPD アレイ信号処理回路の作製は AIST Nb 標準プロセスを用いて行い、最終的に 100x100 ピクセル規模の SSPD イメージセンサを実

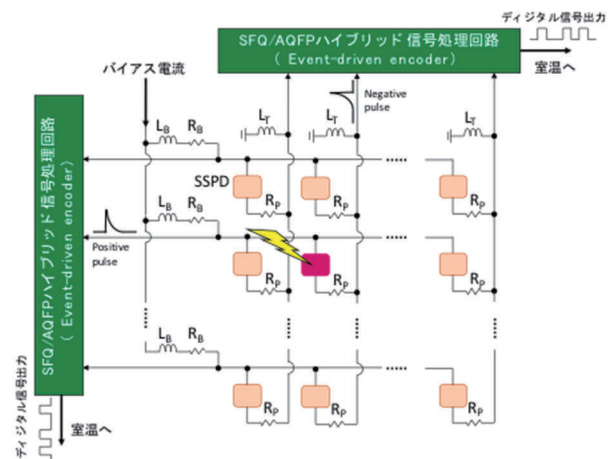


図 1 超伝導単一光子イメージセンサの構成

現し、光子分光システムやバイオイメーキングでその有用性の実証を目指す。

【期待される成果と意義】

本研究により、深紫外～中赤外という広い波長帯域で、光子計数可能な感度と低ノイズ、高い空間・時間分解能を兼ね備えた究極のカメラとも呼ぶべきイメージセンサを実現できれば、バイオ・医療、先端計測を始めとする様々な分野で革新的なツールとなり、新しい学術の創出に大きく寄与するものと考えている。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- N. Takeuchi, T. Yamashita, S. Miyajima, S. Miki, N. Yoshikawa, and H. Terai, Optics Express 25, 32650 (2017).
- S. Miki, T. Yamashita, H. Terai, and Z. Wang, Optics Express 21, 10280 (2013).
- H. Terai, S. Miki, T. Yamashita, K. Makise, and Z. Wang, Appl. Phys. Lett. 97, 112510 (2010).

【研究期間と研究経費】

平成 30 年度～34 年度
149,400 千円

【ホームページ等】

<http://www2.nict.go.jp/frontier/super/terai@nict.go.jp>