

超伝導ストリップ光子検出器の原理実証のための研究

Study for the Operating Principle of Superconducting Strip Photon Detectors (SSPDs)

産総研¹, 横国大院工² ○全 伸幸¹, (M1)阿部 裕², 馬渡 康德¹, 藤井 剛¹, (D)佐野 京佑²,
山梨 裕希², 吉川 信行²

AIST¹, Yokohama Nat. Univ.² °Nobuyuki Zen¹, Yasunori Mawatari¹, Go Fujii¹, Yutaka Abe²,
Kyosuke Sano², Yuki Yamanashi², Nobuyuki Yoshikawa²
E-mail: n.zen@aist.go.jp

超伝導ストリップ光子検出器 (SSPD: Superconducting Strip Photon Detector) は、量子暗号通信を社会実装するための単一光子検出器として、国内外を問わず活発に研究開発が進められている^{1,2}。通信波長帯 (波長 1,550 nm) の単一光子に対する量子効率、タイミングジッタ、暗計数率等の特性は、アバランシェフォトダイオード等のその他の単一光子検出器の特性を凌駕しており、SSPDを用いた量子暗号ネットワーク「東京 QKD (Quantum Key Distribution)」等のフィールド試験において、50 km 圏敷設ファイバで数百 kbps の量子鍵生成速度が実証されている³。

一方、SSPD の動作原理は諸説があり、そのメカニズムが明確に解明されているわけではない。最も有力視されている動作原理は、光子入射に伴う超伝導秩序パラメータの変動によって超伝導ストリップ中に磁束-反磁束対が発生し、超伝導ストリップを流れるバイアス電流によるローレンツ力に起因する磁束-反磁束対の解離とその後の磁束量子の運動により、光子入射位置を中心に数十～数百 nm が超伝導状態から常伝導状態に転移するというものである^{4,5}。この初期に発生する磁束量子は、その生成の時間スケールが数ピコ秒と考えられているため⁵、その直接捕捉に成功すれば現状の SSPD の応答時間スケール (～ナノ秒) を 3 桁程度上回る単一光子検出器を実現できると思われるが、そのためには磁束量子自体を検出する必要があるため、通常の SSPD とケーブル等で接続される室温信号処理回路では不可能である。そこで、本研究では、超高速応答可能な SSPD の開発を目指し、超伝導ストリップから飛散する磁束量子を捕捉可能な単一磁束量子 (SFQ: Single Flux Quantum) 論理回路を SSPD に直接接続したデバイスを作製し、その検出原理の実証実験を行った。SFQ 論理回路は、ピコ秒オーダーの優れた応答特性と持つと同時に、磁束量子を情報担体とする論理回路でもあるため⁶、将来的には検出光子数を計数する等の信号処理自体も SFQ 論理回路にて実施する事を検討している。

¹S. Miki et al., *Appl. Phys. Lett.* **92**, 061116 (2008).

²F. Marsili et al., *Nat. Photon.* **7**, 210-214 (2013).

³M. Sasaki et al., *Opt. Express* **19**, 10387-10409 (2011).

⁴T. Yamashita et al., *Appl. Phys. Lett.* **99**, 161105 (2011).

⁵A. N. Zotova et al., *Phys. Rev. B* **85**, 024509 (2012).

⁶K. Nakamiya et al., *Physica C* **463-465**, 1088-1091 (2007).

謝辞

本研究のデバイスは、産総研の超伝導デバイス専用クリーンルーム (CRAVITY) において作製された。また、本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16K14261 の助成による。