

超伝導ナノワイヤ単一光子検出器を用いた 光子数識別システムに向けた単一磁束量子信号処理回路の開発

Development of a single flux quantum-based signal processor for
a photon-number-resolving system by using
superconducting nanowire single photon detectors

情通機構¹, 神戸大²

○宮嶋 茂之¹, 知名 史博¹, 藪野 正裕¹, 三木 茂人^{1,2}, 寺井 弘高¹

NICT¹, Kobe Univ.²

○Shigeyuki Miyajima¹, Fumihiro China¹, Masahiro Yabuno¹, Shigehito Miki^{1,2}, Hirotaka Terai¹

E-mail: miyajima@nict.go.jp

我々は超伝導ナノワイヤ単一光子検出器(SSPD or SNSPD)を用いた少数光子数識別システムに向けた単一磁束量子(SFQ)回路による後段信号処理回路の開発を行った。SSPD は高検出効率、低暗計数率、高計数率、低ジッタ等の優れた特長を持ち、量子情報通信をはじめとする様々な分野への応用がなされている。さらに、応答速度の向上、光子イメージング、光子数識別など、SSPDのさらなる高度化を目指した場合、複数のSSPDを用いる必要性が生じるが、我々はこれらの極低温信号処理回路としてSFQ回路の適用を提案し、これまでにSFQ回路を用いた4chマージ回路、同時計数回路、エンコーダ回路等の開発を行い動作実証に成功している[1]-[3]。今回我々は高時間精度で0、1、2の光子数識別を可能とするSFQ信号処理回路の開発を行った。回路のブロック図をFig. 1に示す。設計した回路は2個の磁気結合型DC/SFQ converter (MC-DC/SFQ converter) が用いられており、2 pixelのSSPDと接続し、2個の光子数まで識別可能な回路となっている。各々のMC-DC/SFQ converterからは、Fig. 1に示すようにConfluence Buffer (CB)で単純にマージする経路と、ANDゲートへの経路の2つに分岐される。CBを使った単純なマージ回路では2 pixelのSSPDに同時に光子が入射した場合に、CBが持つ2つの入力端に同時にSFQパルスが到達する。この時に発生するCBでの誤動作を避けるためにANDゲートを用いた。ANDゲートのクロック信号はMC-DC/SFQ converterから伝搬された信号を分岐して生成しており、この経路に遅延時間 Δt を与えている。この遅延時間 Δt が光子数識別システムの時間窓に対応する。2 pixelのSSPDの両方が光子を検出した際に、2個の光子検出の時間差がこの時間窓 Δt より短いときのみANDゲートから出力が得られる。その結果、CBでマージされた経路は検出光子数が“1”、ANDゲートからの出力は検出光子数が“2”の情報を有する信号となっている。時間窓は20 ps、100 ps、200 psの3種類が用意されており、独立したバイアス電流線を用意してバイアス電流の供給の有無でどの時間窓を使用するか選択することができる。

この回路を0.1 W Gifford-McMahon (GM) 冷凍機に実装し、外部から信号を与えて回路動作評価を行った。回路は正常に動作し、特定の入力信号の時間差において“1”及び“2”の出力が確認された。講演では実験及び結果の詳細を報告する。

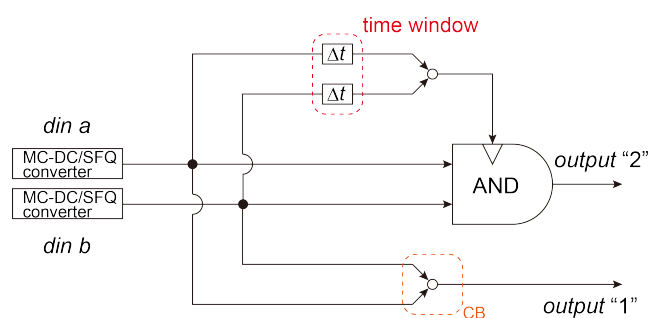


Fig. 1. Block diagram of the designed SFQ circuits for a photon-number resolving system.

[1] T. Yamashita, *et al.*, Opt. Lett., 37(14), 2982-2984 (2012).

[2] S. Miyajima, *et al.*, Supercond. Sci. Tech., 30, 12LT01 (2017).

[3] S. Miyajima, *et al.*, Opt. Exp., 26(22), 29045-29054 (2018).

謝辞 本研究の一部はJST CREST (JPMJCR1671)、JSPS 科研費(JP19H02206、JP19K15057)の助成を受けたものである。また本研究に使用された回路は、産業技術総合研究所(AIST)の超伝導クリーンルーム(CRAVITY)において作製された。