

カレントリサイクル技術を用いた単一磁束量子時間測定回路の低電流化

Reduction of the supply current of single-flux-quantum time-to-digital converter using current recycling techniques

◦佐野 京佑^{1,2}, 下田 知毅¹, 阿部 裕¹, 山梨 裕希¹, 吉川 信行¹ (1. 横浜国大工 2. 学振特別研究員)

◦Kyosuke Sano^{1,2}, Tomoki Shimoda¹, Yutaka Abe¹, Yuki Yamanashi¹, Nobuyuki Yoshikawa¹,

(1. Yokohama Nat. Univ., 2. Research fellow of JSPS)

E-mail: sano-kyosuke-cw@ynu.jp

1. はじめに

我々は、検出感度が分子量に依存しない超伝導ストリップイオン検出器 (SSID, superconducting strip ion detector) [1] と高速動作性に優れる単一磁束量子 (SFQ, single flux quantum) 信号処理回路を組み合わせた高分子用高精度質量分析システムを開発している。本研究では、イオンの飛行時間から分子量を特定する飛行時間型質量分析法 (TOF MS, time-of-flight mass spectrometry) を用いており、SFQ 回路部には飛行時間を高分解能で測定可能な時間測定回路 (TDC, time-to-digital converter) [2] を採用している。SFQ TDC は図 1 に示す様に、24-bit の時間測定用カウンタ、測定した時間データを格納するバッファ、時間データ読み出し用のシフトレジスタから構成される。本システムを用いた高分子の分析実験には既に成功しているが、SFQ TDC のバッファの容量不足により検出器信号の読み飛ばしが問題となっている。SFQ 回路の動作には一定のバイアス電流の供給が必要であり、この供給電流量は回路規模に比例し増大する。供給電流の増大に伴い冷凍機内の温度が上昇し、安定した SFQ 回路の動作が困難となるため、単純にバッファの容量を増やすだけでは上記の問題を解決することはできない。

今回、供給電流量の低減技術として提案されているカレントリサイクル技術 [3] を用いて本課題の解決を図った。

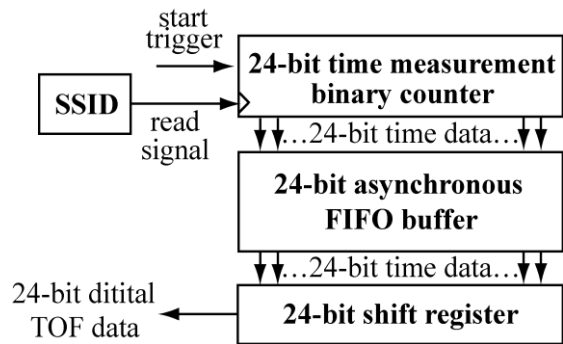


図 1. SFQ 時間測定回路の構成

2. カレントリサイクルを用いた SFQ TDC

SFQ TDC のバッファにはこれまで 3 段のシフトレジスタ (SR) が積まれており、全てに並列に電流が供給されていた。今回は、バッファ内 SR 及び読み出し用の SR を全て異なるグランドプレーン (GP) 上に配置し、1 段目のバッファ (SR buffer 1) に電流を供給後、buffer 2, 3, 読み出し用 SR と供給電流を順次再利用できるようにした。設計した TDC のレイアウトを図 2 に示す。また、カレントリサイクル適用前後の接合数及び供給電流量を表 1 に示す。カレントリサイクル技術により、供給電流量を 26% 低減することに成功した。本技術を用いることで供給電流量を保ったままバッファ容量を増大させることが可能となった。

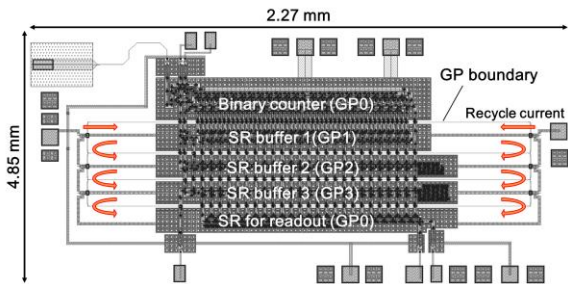


図 2. カレントリサイクル SFQ TDC のレイアウト

表 1. SFQ TDC の接合数及び供給電流量

	従来型	カレントリサイクル適用後
接合数	2684 JJ	3851 JJ
総電流供給量	303.4 mA	224.4 mA
リサイクル電流	-	88.2 mA

謝辞

本研究に使用された回路は、(独)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、AIST-STP2 プロセスを用いて作製された。

参考文献

[1] N. Zen, *et al.*, Appl. Phys. Lett., vol.98, 012601, 2012.

[2] K. Sano, *et al.*, Physica C, vol.504, pp97-101, 2014.

[3] M. W. Johnson, *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol.13, pp507-510, 2003.