

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用バッファの大容量化

Capacity enlargement of buffers in single-flux-quantum time-to-digital converters using a current recycling technique

横国大院工¹, 学振特別研究員² ○(D)佐野 京佑^{1,2}, (M1)阿部 裕¹, 山梨 裕希¹, 吉川 信行¹

Yokohana Nat. Univ.¹, Research fellow of JSPS²,

°Kyosuke Sano^{1,2}, Yutaka Abe¹, Yuki Yamanashi¹, Nobuyuki Yoshikawa¹

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, 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う冷凍機内配線の発熱によりチップ温度が上昇し, 安定した SFQ 回路の動作が困難となる. このため, 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 SFQ バッファの大容量化に取り組んだ.

2. カレントリサイクルを用いた SFQ TDC

従来の SFQ TDC のバッファは, 複数段のシフトレジスタ (SR) から構成されており, その全てに並列に電流が供給されていた. 今回, 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, 次段のバッファ (buffer 2, 3, ...) 及び読み出し用 SR にリサイクルする仕組みを取った. 本技術を適用し, 12 段のレジスタからなるバッファを有する大容量 SFQ TDC を設計し, その動作を評価した. 設計した TDC のレイアウトを図 1 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. 本技術により, 供給電流量を約 7 割低減することに成功した.

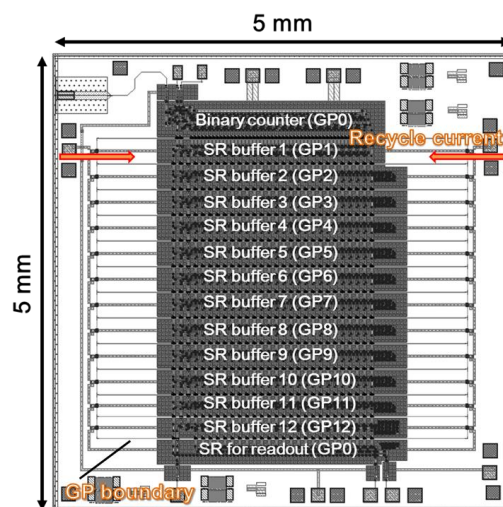


Fig. 1 Layout of SFQ TDC using a current recycling technique, which has twelve 24-bit buffers.

Table 1 Number of Josephson junctions (JJs) and supply currents in SFQ TDC

	Without current recycling	With current recycling
Number of JJs	6,377 JJ	9,570 JJ
Total supply current	775.7 mA	224.7 mA
Recycle current	-	88.5 mA

謝辞

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, 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.