

C-8-13

## 低消費電力単一磁束量子回路における受動線路の評価 Study on passive transmission lines for low-power single flux quantum circuits.

伊藤将人<sup>\*1</sup>  
Masato Ito滝波拓海<sup>\*1</sup>  
Takumi Takinami額縁智仁<sup>\*1</sup>  
Tomohito Kouketsu北山敦史<sup>\*1</sup>  
Atsushi Kitayama田中雅光<sup>\*1</sup>  
Masamitsu Tanaka藤巻朗<sup>\*1</sup>  
Akira Fujimaki名古屋大学<sup>\*1</sup>

Nagoya University

### 1. はじめに

単一磁束量子(SFQ: Single flux quantum)回路は、高速動作性及び低消費電力性を有し、電磁波速度での信号伝送が可能な受動線路(PTL: Passive Transmission Line)を持つことから、半導体の抱える発熱・配線遅延の問題を解決する回路として期待されている。しかし、冷凍機を含めても十分な優位性を確保するため SFQ 回路の更なる低消費電力化が求められている。

SFQ 回路の消費電力はジョセフソン接合(JJ)のスイッチによる動的消費電力とバイアス抵抗等で消費する静的消費電力に大別され、静的消費電力が SFQ 回路の消費電力の大部分を占めている。静的消費電力の削減のために、我々はこれまでに電源電圧を低減した低電圧駆動 SFQ 回路の研究を行い、従来の SFQ 回路の 420 分の 1 まで低消費電力化した小規模回路の動作実証に成功している。[1]

一方、PTL は線路上にバイアス電流を必要とせず消費電力が生じないため、SFQ 回路の更なる低消費電力化のためには低電圧駆動 SFQ 回路における PTL 設計技術の確立が必要である。しかし、低電圧駆動 SFQ 回路においてはジョセフソン接合(JJ: Josephson Junction)のスイッチ時にバイアス電流が急峻に減少することにより、SFQ パルスの波高値が従来に比べ減少してしまい、PTL を用いた安定した長距離信号伝送ができない可能性が懸念される。

本稿では低電圧駆動 SFQ 回路における PTL 送信機・受信機のバイアスマージンの調査結果について述べる。

### 2. PTL 送受信機の動作評価

本研究では電源電圧を従来の 2.5mV より低減し、500 $\mu$ V、50 $\mu$ V、20 $\mu$ V で設計を行い、PTL 長さを 1mm、3mm、5mm での検討を行った。また、波高値の低下を抑えるために、送受信機のバイアスラインのみに 15pH のインダクタンスを挿入して設計[2]をし、比較を行った。設計した PTL 送受信機のチップ写真を図 1 に示す。

PTL 送受信機の低速試験でのバイアスマージンの測定を行った結果を図 2 に示す。この結果より、低速試験において電源電圧が 20 $\mu$ V の PTL 送受信機まで動作することを確認した。また、電源電圧が 20 $\mu$ V 及び 50 $\mu$ V においては PTL 長さ 5mm の時にインダクタンスを挿入したものとしていないものでバイアスマージンが大きく変化した。この結果は測定を行った 3 チップで共通に見られた現象である。このことから、PTL 配線が長くなることにより、波高値が低下したままでは信号のエネルギーが不十分であり安定した信号伝送をすることができないと考えられる。

今回の実験では PTL 送信機・受信機のバイアスマージンの評価を行うため、PTL 送信機・受信機が独立の電流源によって駆動されている。このため、本実験では PTL 送受信機が電圧源駆動とは必ずしも言えない状況になっており、SFQ パルスの波高値が低下しない状況であると推

定される。このことから回路応用を考えた場合には更にバイアスマージンが低下することが考えられる。

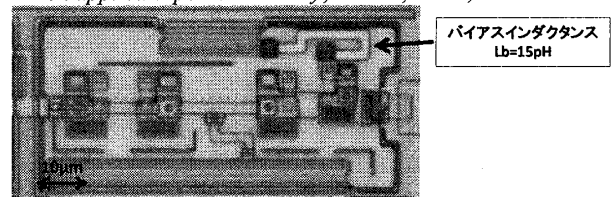
また、本実験では低速のみの評価であったが、PTL 設計技術確立のためには、動作が最も厳しくなる共振周波数での動作を保証する必要がある。今後、上記の内容を含め検討を行う予定である。

### 謝辞

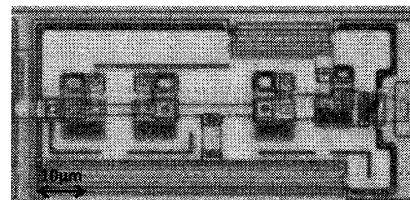
本研究は、科研費(基盤 S 22226009)及び JST-ALCA の支援を受けたものである。本研究に用いた回路は ISTEK の STP2 プロセスを用いて作製した。回路作成には産業技術総合研究所が一部寄与している。

### 参考文献:

- [1] 伊藤将人他「低消費電力単一磁束量子シフトレジスタの評価」電子情報通信学会 2011年3月
- [2] Y. Yamanashi "Study of LR-Loading Technique for Low-Power Single Flux Quantum Circuits" *IEEE Transactions on applied superconductivity*, vol. 17, No. 2, June 2007.



(A) バイアスインダクタンス 15pH



(B) バイアスインダクタンス n/a

図1. PTL 送信機のチップ写真

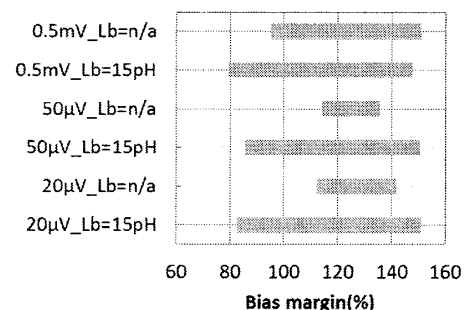


図2. PTL長さ5mm時の受信機のバイアスマージン