

10-kA/cm² Nb 集積プロセスを用いた Double-Flux-Quantum Amplifier の再設計と動作検証

Redesigned Double-Flux-Quantum Amplifiers Fabricated Using 10-kA/cm² Nb Integration Process

電通大 情報理工 ○菅明裕太, 山崎洗生, 島田宏, 水柿義直

Univ. of Electro-Comm., ○Y. Somei, K. Yamazaki, H. Shimada, and Y. Mizugaki

E-mail: somei@w8-7f.ee.uec.ac.jp

1. 背景と目的

我々は交流電圧標準への応用に向け、SFQ 回路を使用した電圧波形合成回路の研究を行ってきた[1],[2]。その電圧出力部には量子精度で電圧増倍が可能な Double-Flux-Quantum Amplifier (DFQA)を用いている。DFQA の出力電圧は(1)式で表され、基本構成要素となる3接合ループ(Fig.1)の接続段数(N)と、SFQ の入力周波数 f_{IN} に比例する。

$$V_{OUT} = (N+1) \Phi_0 f_{IN} = (N+1) V_{IN} \quad (1)$$

DFQA から大きな電圧を得るためには、 f_{IN} を大きくする必要がある一方で、ある周波数 f_{INMAX} を超えると誤動作が生じ所望の電圧増倍率が得られなくなる。

これまで我々は2.5-kA/cm²のNb集積プロセスであるSTP2 [3] を用いてDFQAを作製してきた。本研究では10-kA/cm²のNb集積プロセスであるHSTP [4] を使用してDFQAを作製し、 f_{INMAX} 延いては最大出力電圧の改善を目指した。

2. 回路設計と試作

本研究では、臨界電流値の差を用いて3接合ループ内SFQの伝搬方向を制御する I_c -DFQAについて再設計した。回路レイアウトは、臨界電流値とMcCumber-Stewartパラメータが、STP2を用いた I_c -DFQAと同一になるようにし(Tab.1)、20倍増幅 I_c -DFQAをHSTPプロセスで設計した。ジョセフソン接合の臨界電流密度が4倍に向上したことで、スイッチング時間が約半分になり、最大動作周波数 f_{INMAX} が約2倍となることが期待される。

3. 結果

測定は液体ヘリウム中で行われた。オーバーバイアス法でSFQパルス列を入力し、入出力電圧をオシロスコープで観測することによって、正しく20倍増幅する最大入力電圧と対応する f_{INMAX} を求めた。その結果157 μ Vの最大入力電圧(f_{INMAX} =76GHz)まで20倍増幅を確認し、STP2の81 μ V(f_{INMAX} =39GHz)と比べて、最大入力電圧が1.95倍向上した(Fig.2)。

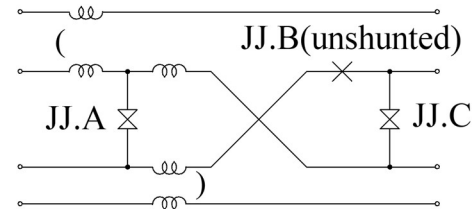


Fig.1 Schematic of 3 junction loop

Tab.1 Comparison of the 3junction loop parameters

		STP2	HSTP
JJ.A	$I_c/\mu A$ (β_C)	240 (0.98)	237 (1.1)
JJ.B	$I_c/\mu A$	217	219
JJ.C	$I_c/\mu A$ (β_C)	138(0.99)	139 (1.0)

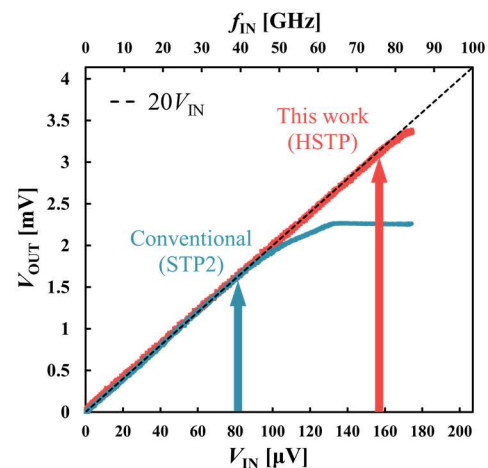


Fig.2 Input-output characteristics of DFQA.

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 17K04979 の助成と、東京大学 VDEC を通した日本ケイデンス株式会社の協力で行われた。本研究に使用されたデバイスは、産業技術総合研究所の超伝導クリーンルーム CRAVITYにおいて作製された。

参考文献

- [1] Q. P. Herr, IEEE Trans. Appl. Supercond. **15** (2005) 259. [2] Y. Mizugaki et al., IEEE Trans. Appl. Supercond. **29** (2019) 1400105. [3] S. Nagasawa, et al., IEEE Trans. Appl. Supercond. **5** (1995) 2447. [4] N. Takeuchi, et al., Supercond. Sci. Technol. **30**, (2017) 035002. [5] Y. Sato, et al., Physics Procedia **45**, p221-224 (2013)