

【特別推進研究】

理工系



研究課題名 パルスを情報伝達担体とする超低電力100GHz級超伝導量子デジタルシステムの探求

名古屋大学・大学院工学研究科・教授 藤巻 明 (ふじまき あきら)

研究課題番号： 18H05211 研究者番号：20183931

キーワード： 単一磁束量子、半磁束量子、磁性ジョセフソン接合

【研究の背景・目的】

インターネットに代表されるデジタル技術の広範な普及によって、我々の社会生活は、大きな変貌を遂げつつある。利便性が大幅に向上した反面、サービスを支えるデータセンタの電力消費量は上昇する一方であり、エネルギー効率の高いデジタルシステムの構築が喫緊の課題となっている。

超伝導単一磁束量子 (SFQ) 回路は、情報伝達を担う信号が幅数ピコ秒のインパルス状である。従来の半導体集積回路において高速化と低消費電力化を阻む原因であった充放電現象から解放されるため、100 GHz 級の周波数で動作するエネルギー効率の高い集積回路が SFQ 回路には期待されている。

しかしながら、マトリクスメモリでは SFQ 回路であってもアドレス選択には、充放電現象を使わざるを得ず、この解決が実用化に向けての最後の課題であった。本研究では、磁性ジョセフソン接合を導入することで、記憶セルの 2 状態間の遷移に必要なエネルギーを大幅に低減化し、パルスで動作するメモリを構築する。半磁束量子 (HFQ) 回路と呼ばれるこの回路の基本要素は、量子計算機で使われる磁束量子ビットと同じ構造をしている。親和性の高さを活かし、将来は量子計算機と融合し、革新的なエネルギー効率を持つデジタルシステムを構築する。

【研究の方法】

低消費電力化の鍵を握るデバイスは、量子力学的位相差が初期状態で通常のジョセフソン接合 (0 接合) に比べ、 π だけシフトしている磁性ジョセフソン接合 (π 接合) である。0 接合と π 接合を 1 つの超伝導リングに組み込むと π 接合の初期位相の効果が顕著に表れる π シフト量子干渉計 (π SQUID) が構成される。

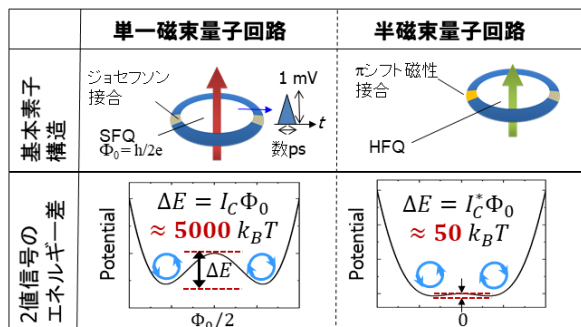


図1 各磁束量子回路の基本構造とポテンシャル

図1が SFQ 回路と HFQ 回路の構成要素と、情報の“1”と“0”を区別する二重ポテンシャル井戸の形状を示したものである。通常は井戸の底部が安定状態となる。2 状態間の遷移には、外部からエネルギーを与える必要があるが、HFQ 回路の基本素子となる π SQUID では、その大きさを SFQ 回路の 1/100 程度とできる。また、外部からの直流磁束がない状況で双安定状態が実現されることから、低消費電力化も図れる。本研究では、SFQ/HFQ 集積回路によるマイクロプロセッサとメモリの構築を目指す。

【期待される成果と意義】

SFQ 集積回路では、高速化を図ることで 100 GHz に迫る周波数でマイクロプロセッサを実証する。加えて、HFQ 回路によるマトリクスメモリの研究を進め、最終的には両者を一体化したデジタル回路を構築する。

π SQUID を利用することで、SFQ 回路を極限まで高速化可能となる。この実験を通し、不確定性関係が古典計算に与える影響について検証する。さらに将来は、量子計算機との親和性の高さを活かし、真に高性能な計算機システムの構築を目指す。

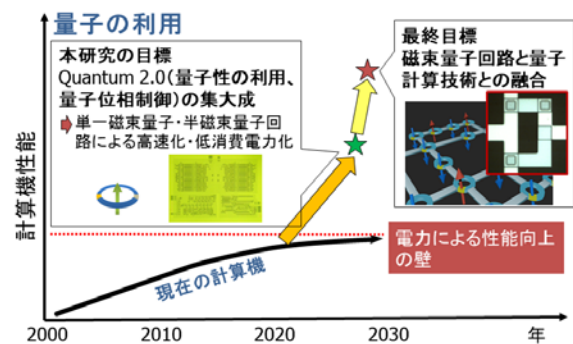


図2 本研究の発展性

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・T. Kamiya, M. Tanaka, A. Fujimaki, et al., IEICE Trans. Electron., E101-C(5), pp.385-390, 2018.

【研究期間と研究経費】

平成 30 年度－34 年度 473,400 千円

【ホームページ等】

<http://www.super.nuee.nagoya-u.ac.jp/tokusui/>