

【基盤研究(S)】

理工系 (工学)



研究課題名 熱力学的極限に挑む断熱モード磁束量子プロセッサの研究

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授 よしかわ のぶゆき  
吉川 信行

研究課題番号: 26220904 研究者番号: 70202398

研究分野: 電子デバイス、電子機器

キーワード: 電子デバイス、集積回路

【研究の背景・目的】

将来のエクサスケールの高性能コンピュータの実現のためには、演算におけるエネルギー効率が今より格段に高い論理回路が必要不可欠である。一方で、論理回路の1ビット当たりの消費エネルギーに下限値が存在するかどうかは未解決の問題である。情報機器の低消費エネルギー化を進めるためには、この問題の本質的な理解が極めて重要である。

本研究は、Josephson 接合の超伝導位相をゆっくりと断熱的に変化させることで、高速性が特徴の磁束量子回路において、熱力学的極限に迫る究極的な低消費エネルギー化を図る。図1に半導体 CMOS 回路、従来の単一磁束量子(SFQ)回路、ならびに本提案の断熱モード磁束量子(AQFP)回路のビットエネルギーとクロック周期の関係を示す。AQFP回路はCMOSに対して6桁以上のエネルギー低減化が可能であり、冷却を考慮しても十分な優位性を持つ。本研究ではAQFP回路を中核とし、それを情報処理システムとして実用化するために不可欠なメモリと3次元集積回路プロセスを開発する。プロジェクトの最終目標として、3次元集積化された16b AQFPプロセッサの5GHzでの高速動作実証を目指す。

【研究の方法】

断熱モード回路とは、回路を断熱的にゆっくりと動作させることで演算エネルギーを低減する方法である。AQFP回路では、図2の様に回路のポテンシャルをシングルウェルからダブルウェルに断熱的に変

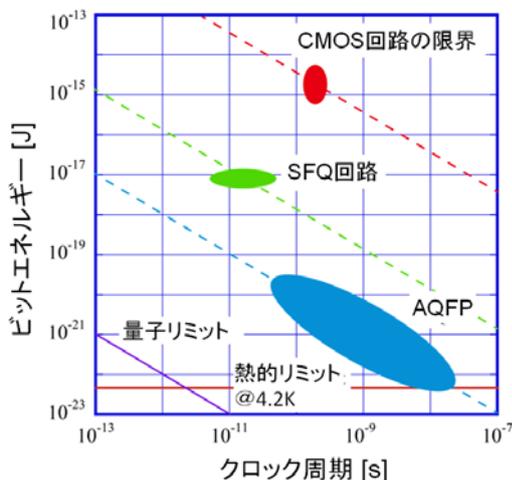


図1 各種論理回路のビットエネルギーとクロック周期の関係

化させる。これにより回路の抵抗成分に生じる電圧を抑制し、演算における消費エネルギーを極限まで小さくする。信号のエネルギーは断熱モード回路では、消費されることなく全て電源に回収され、再利用される。超伝導回路は本質的に無損失であり、断熱モード動作における低エネルギー性能を極限まで発揮できる。

【期待される成果と意義】

本研究の成果は、論理回路の消費エネルギーの熱力学的限界を明らかにするという意味で学術的に大きな意味を持つばかりでなく、冷凍機の電力を見込んでハイエンド情報機器の消費電力を圧倒的に小さくできる。更に本技術による極限的な低消費電力回路は、量子ビットシステムや超伝導検出器など、多くの分野への波及効果が期待できる。

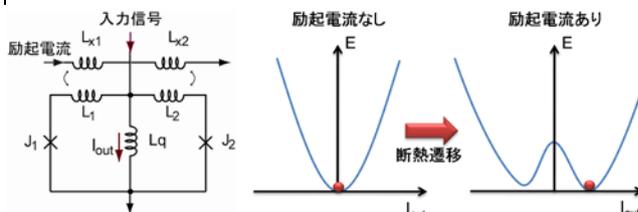


図2 AQFP論理ゲートとそのポテンシャル変化

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- N. Takeuchi, Y. Yamanashi and N. Yoshikawa, "Measurement of 10 zJ energy dissipation of adiabatic quantum-flux-parametron logic using a superconducting resonator," Appl. Phys. Lett., 102, 052602 (2013).
- N. Takeuchi, Y. Yamanashi and N. Yoshikawa, "Simulation of sub- $k_B T$  bit-energy operation of adiabatic quantum-flux parametron logic with low bit-error-rate," Appl. Phys. Lett., 103, 062602 (2013).

【研究期間と研究経費】

平成26年度-30年度  
150,300千円

【ホームページ等】

<http://www.yoshilab.dnj.ynu.ac.jp/jpn/nyoshi@ynu.ac.jp>