

## 【基盤研究(S)】

### 理工系(工学I)



## 研究課題名 断熱モード単一磁束量子回路の導入によるサブ $\mu$ Wマイクロプロセッサの研究

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】

超伝導リング中の量子化された磁束を情報担体とする単一磁束量子(Single Flux Quantum: SFQ)回路は、100GHzを超える高速動作が可能でありながら、その消費電力は半導体に比べて3~4桁小さい。そのため、高性能計算機などの大規模なデジタルシステムの実現を最終目標とし、欧米諸国と日本を中心に研究が進められている。

本研究では、高速低消費電力で知られるSFQ回路の極限的な低消費電力化を実証する。断熱モード動作など、低消費電力化への回路的ブレイクスルーを中心に、アーキテクチャ、プロセスも含めすべての知見を導入する。これにより、SFQ回路の消費電力を従来の1/400から1/10<sup>5</sup>に低減する。本研究では、これらの技術を確認し、最終的に50 $\mu$ Wで動作する16bマイクロプロセッサの動作実証を行う。加えて、学術的にも未踏領域となる高性能サブ $\mu$ Wマイクロプロセッサを実現する基盤技術を確認する。

### 【研究の方法】

本研究は、断熱モード動作に基づく低消費電力化法、及び動作マージンを飛躍的に向上させる新たな回路構成法を用いて超低消費電力SFQ回路の原理実証を行う。加えて、インダクティブロード技術、ゲート間PTL配線技術、サブ $\mu$ m接合プロセスによる臨界電流低減技術、非同期アーキテクチャ技術をSFQ大規模集積回路の設計に適応し、総合してSFQ回路の消費電力を従来の1/400から1/10<sup>5</sup>に低減する。

図1に示すように提案する断熱モードSFQ回路は、QFP(Quantum Flux Parametron)と同様な回路構成をとるが、スイッチングに際してヒステリシスを持たない回路パラメータを利用することにより断熱的な状態変化を可能とする。本回路は、断熱モード動作により原理的にk<sub>B</sub>T熱雑音程度( $\sim 10^{-22}$ J)のエネルギーでの論理動作が可能である。

### 【期待される成果と意義】

現在、CMOS回路を含めすべての集積回路は、発熱によりその性能が制限されている。発熱の問題の抜本的解決には、論理回路自体の低消費電力化が必要であるが、これには断熱モード動作が有効である。特に単純な物理系であるSFQ回路は、

k<sub>B</sub>T熱雑音程度の消費エネルギーでの動作が期待できる。この値は最新のCMOS回路に比べて6桁以上、低消費電力化されたSFQ回路自身よりも3桁以上小さく、冷凍機の電力を見込んでも、ハイエンド情報機器の消費電力を圧倒的に低減できる。

### 断熱モードSFQ回路の動作原理

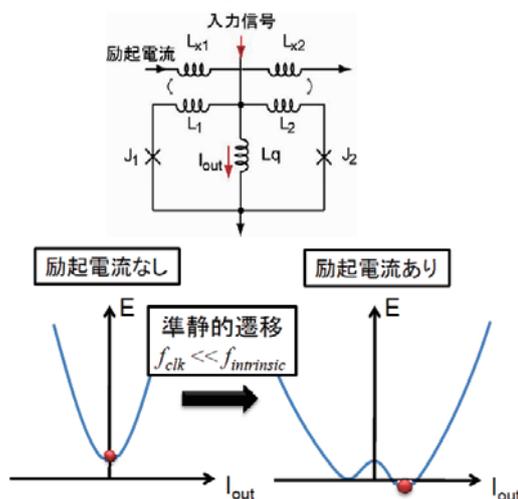


図1 断熱モードSFQ回路の動作原理

### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- H. Park, Y. Yamanashi, K. Taketomi, N. Yoshikawa, M. Tanaka, K. Obata, Y. Itou, A. Fujimaki, N. Takagi, K. Takagi, S. Nagasawa, "Design and Implementation of SFQ Half-Precision Floating-Point Adders," IEEE Trans. Appl. Superconductivity, vol. 19, pp. 634-639, 2009.
- T. Nishigai, S. Yamada, N. Yoshikawa, "Design and implementation of low-power SFQ circuits using LR-load biasing technique," Physica C, vol. 445-448, pp. 1029-1033, 2006.

### 【研究期間と研究経費】

平成22年度-26年度  
163,300千円

### 【ホームページ等】

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