

情報担体を活用した集積デバイス・システム
2020年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書

田中雅光

名古屋大学 大学院工学研究科
助教

人工スピンで作る柔らかさ可変の担体による高エネルギー効率情報処理

§ 1. 研究成果の概要

超伝導を利用した単一磁束量子回路は、半導体集積回路では到達できない 100 GHz 級の動作が可能であり、ポストムーア時代を支える集積回路技術として期待される。本研究では、単一磁束量子に新たに「柔らかさ」と呼ぶパラメータを持たせ、エネルギー効率に特に優れたコンピューティングの基盤を創出することを目指す。情報担体が「柔らかい」とは外部の擾乱や相互作用の影響を受けやすい状態を指し、安定して情報を保持し、確実な操作ができる「堅い」状態から、「柔らかい」状態までを自在に制御し、その代わりスイッチングに伴う消費エネルギーを広い範囲で調整する。このような柔らかさ可変の情報担体を実現する人工スピン回路の集積化と、非厳密高エネルギー効率演算に適した近似計算アルゴリズム、アーキテクチャ探索に取り組む。

今年度は各種論理ゲートの基礎となる、人工スピン回路を数珠つなぎにした信号伝搬回路の動作解析と集積回路実現に向けた検討、設計を行った。人工スピン回路の試作は、これまでに確立している、産業技術総合研究所のニオブ 1 μm プロセスにより、通常のジョセフソン接合(0 接合)を含む集積回路部分を作製し、そのチップの上に、現有の装置を用いて磁性ジョセフソン接合を追加する構造とし、数値計算と実験により、低電力動作を確認した。柔らかさ可変の情報担体に適した近似計算アルゴリズム、アプリケーションの探索では、既存の Approximate Computing の調査と分類を行い、人工スピン回路の特徴に基づきターゲットアプリケーションの策定を行った。また、人工スピン回路を相互に結合し、熱雑音を利用したアニーリング計算による組合せ最適問題の求解ハードウェアについても検討を行い、ポテンシャルエネルギーの詳細な解析からスイッチングエネルギーを 4 K の熱雑音程度まで下げられる回路パラメータを明らかにした。

§ 2. 研究実施体制

(1) 田中グループ

① 研究代表者:田中 雅光 (名古屋大学 大学院工学研究科 助教)

② 研究項目

- ・ 人工スピン回路による論理ゲートの基本動作検証と設計手法の確立
- ・ 論理回路のモデル化に必要なパラメータの抽出
- ・ 磁性ジョセフソン接合を含む集積プロセスの開発、デモ用回路設計とチップ評価
- ・ 人工スピン回路の相互接続による情報処理回路の原理実証と解析

(2) 牧瀬グループ

① 主たる共同研究者:牧瀬 圭正 (産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門 クロスアポイントメントフェロー)

② 研究項目

- ・ 磁性ジョセフソン接合以外の部分の集積回路作製
- ・ 磁性ジョセフソン接合を含む集積プロセスの開発、デモ用チップ試作
- ・ 将来プロセスに向けた課題抽出

(3) 小野グループ

① 主たる共同研究者:小野 貴継 (九州大学 システム LSI 研究センター 准教授)

② 研究項目

- ・ 論理ゲートのモデルの作成と洗練、シミュレータ開発、デモ用演算器の仕様策定
- ・ 人工スピン回路の相互接続による情報処理回路の原理実証と解析
- ・ 柔軟かさ可変の情報担体を活用した近似計算アルゴリズム、アーキテクチャとシステム評価