

## 学位論文及び審査結果の要旨

氏 名 竹内 尚輝

学位の種類 博士（工学）

学位記番号 工府博甲第424号

学位授与年月日 平成26年3月26日

学位授与の根拠 学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項

学府・専攻名 工学府 物理情報工学専攻

学位論文題目 **Extremely energy-efficient integrated circuits using adiabatic superconductor logic**（断熱型超伝導論理回路を用いた超低電力集積回路の研究）

論文審査委員 主査 横浜国立大学 教授 吉川 信行  
横浜国立大学 教授 荻野 俊郎  
横浜国立大学 教授 羽路 伸夫  
横浜国立大学 准教授 荒川 太郎  
横浜国立大学 准教授 大矢 剛嗣

## 論文及び審査結果の要旨

論理デバイスのポテンシャルエネルギーをシングルウェル形状からダブルウェル形状にゆっくりと断熱的に変化させることで、論理デバイスのスイッチングエネルギーを極限的に小さくすることができる。本論文では、この原理に基づき超伝導量子磁束パラメトロンを断熱的に動作させることで、微小な消費エネルギーで動作する論理デバイスが実現できることを提案し、その基礎研究を行った。まず、断熱型磁束量子パラメトロン(adiabatic quantum flux parametron: AQFP)の消費エネルギーを数値シミュレーションにより評価し、AQFPが断熱的に動作するための回路パラメータ条件を導出した。これにより、AQFPの消費エネルギーがクロック周波数に比例して低下することを示した。また、超伝導共振器を用いた実験によりAQFPの消費エネルギーの測定を行ない、5GHzのクロック周波数に対して10zJを得た。この値は、半導体デバイスに対して5桁程度小さい。更に、ダンピング抵抗を取り除いた高Qジョセフソン接合を用いたAQFPの消費エネルギーを評価し、回路の消費エネルギーが $k_B T$ 熱雑音以下になり得ることを示した。最後に、AQFPゲート

を用いた可逆回路を新規提案し、消費エネルギーのシミュレーションによる評価と、回路の物理的可逆動作の実証に初めて成功した。以上の成果は、論理デバイスの消費エネルギーを極限的に低減するための新技術を確立したものである。

これらの研究成果は、超伝導デジタルエレクトロニクス技術、特に超低消費電力情報機器の実現に対して極めて意義のあるものと高く評価される。よって、本論文は物理情報工学専攻の博士論文として十分な内容を有すると認める。