

学位論文及び審査結果の要旨

氏名 知名 史博

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 工府博甲第561号

学位授与年月日 平成30年3月23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2項

学府・専攻名 工学府 物理情報工学専攻 専攻

学位論文題目 電圧パルス信号伝送を利用した断熱型量子磁束パラメトロンの大規模システム化に関する研究

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	羽路 伸夫
		横浜国立大学	教授	竹村 泰司
		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
		横浜国立大学	准教授	山梨 裕希

論文及び審査結果の要旨

近年の半導体集積回路技術は微細化の限界や消費電力の増大という問題に直面している。将来の情報社会を支えるため、更なる計算機システムの性能向上を推し進めるためには、革新的にエネルギー効率の高い集積回路技術が必要である。消費電力を大きく低減できる技術として、超伝導集積回路技術が注目されている。中でもAQFP (Adiabatic Quantum Flux Parametron)は回路要素全てが超伝導体で構成され、バイアス電流供給のための抵抗を必要しないことから静的消費エネルギーがゼロである。また回路の状態をAC励起電流により断熱的に変化させることで、動的消費エネルギーも動作周波数に比例して低減できる。そのため、AQFPを用いれば集積回路の消費電力を半導体回路に比べ6桁低減可能である。

本研究では、AQFPの大規模システム実現、実用化を目標とした。AQFPはmmオーダーの回路間で信号伝送を行うことが難しく、大規模化に伴い回路規模やレイテンシが増大してしまう問題がある。そこでAQFPの出力を電圧パルス信号に変換し、超伝導マイクロストリップラインで信号伝送を行う手法を考案した。回路の設計及び動作実証を行うことで本課題を解決することに成功した。実測において、AQFP間を直接インダクタンス

で接続した際の限界距離の4倍程度の長距離で正常に信号伝送が行えていることを確認した。また電圧パルス信号変換回路を用いてAQFPの出力を高速に読み出す高速信号電圧ドライバ回路を開発し、2GHzまでの正常動作を確認した。

一方でAQFP大規模システムの実現可能性を調べるため、ジョセフソン接合を約9万接合集積した歩留まり評価回路の設計・測定を行った。測定した全超伝導チップの平均歩留まりは46%であり、これはジョセフソン接合約4万2千接合分に相当する。またAQFPセルライブラリの最適化により、歩留まりが改善できることを示した。

最後に電圧パルス信号伝送を応用した大規模AQFPシステムの構築が実現可能であることを示すため、これを導入したAQFP 1-bit CPUの設計を行った。本手法を用いることにより、AQFP大規模システムのレイテンシを大幅に抑えることが可能であることを明らかにした。

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、特に超低消費エネルギー大規模集積回路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。