

## 学位論文及び審査結果の要旨

氏名 佐野 京佑

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 工府博甲第526号

学位授与年月日 平成29年3月24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 単一磁束量子回路と超伝導検出器を用いた高精度質量分析システムの研究  
(英訳) Study on highly accurate time-of-flight mass spectrometry systems using single flux quantum circuits and superconducting detectors

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 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 山梨 裕希

## 論文及び審査結果の要旨

アルツハイマー病に代表される特定疾患の解明・治療法の開発のため、タンパク質などの生体高分子の高精度な質量分析が求められている。近年、分子量依存のない超伝導高感度検出器の研究が盛んに行われている。一方、単一磁束量子(single flux quantum: SFQ)回路は数十 GHz を超える高速性を有し、これを用いて高時間分解能の遅延時間測定回路(time to digital converter: TDC)を構成できる。本研究では、超伝導検出器と単一磁束量子回路を組み合わせた超伝導質量分析システムを構築することを目指した。本システムを実現することで、これまでに測定が困難であった巨大分子を高感度かつ高精度に測定することが可能となり、工学分野に留まらず、化学・医療など様々な分野への大きな貢献が期待できる。

本研究では、SFQ TDC と超伝導検出器とを実際に組み合わせた超伝導質量分析システムの構築に取り組んだ。まず、SFQ TDC と超伝導検出器とが各々単独で動作している冷凍機システムを室温を介して接続した。複数種類の生体分子に対して、本システムを用いた TOF MS 測定を行い、超伝導検出器と SFQ TDC を組み合わせた初の質量分析実験に成功

した。その後、両者を同一の冷凍機に組み込んだ単一冷凍機システムにおいても生体分子の TOF MS 測定に成功した。一方で、SFQ 回路へのバイアス電流供給による冷凍機内温度上昇や、SFQ 回路のバッファ容量の不足による検出器信号の読み飛ばしなどの課題も明らかになった。

SFQ 回路の動作には回路規模に応じた電流供給が必要であり、単純にバッファを大容量化することはできない。本課題の解決のため、SFQ 回路の低電流化技術「カレントリサイクル」に着目した。これは、SFQ 回路を同一規模の複数のブロックに分割し、ブロック間で供給電流をリサイクルする手法である。本研究では、磁場耐性の強い SFQ 伝送回路を検討し、バッファ容量を増大させた SFQ TDC へのカレントリサイクルを適用した。その結果、SFQ TDC のバッファ容量を 4 倍に増大させつつ、約 7 割の供給電流量の低減に成功した。

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、特に高性能分析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。