

## 【基盤研究(S)】

### 大区分D



## 研究課題名 単電子制御による量子標準・極限計測技術の開発

NTT 物性科学基礎研究所・量子電子物性研究部・上席特別研究員

ふじわら あきら  
藤原 聡

研究課題番号：18H05258 研究者番号：70393759

キーワード：単電子、量子計測三角形、量子ホール、量子電気標準

#### 【研究の背景・目的】

ナノ構造における帯電効果を利用した単電子の操作や検出は、量子電流標準、高感度センサなど高精度エレクトロニクスや極限計測技術への応用が期待できる。本研究では単電子の超高速転送技術、超高速検出技術、単電子検出による転送精度の絶対評価技術、高精度電流通倍技術、量子ホールアレイを用いた微小電流計測技術を開発し、これらを統合的に組み合わせることにより、電気標準の整合性の検証実験である「量子計測三角形」(図1)の世界一の精度での実現を目指す。また、超精密微小電流発生・検出技術、リアルタイム計測技術など極限計測技術の基盤技術を確立する。

#### 【研究の方法】

NTT、産総研、電通大の3つのチームで、必要なデバイス技術、測定技術を開発し、それらを組み合わせることにより、5か年計画で量子計測三角形の高精度実験を実施する。

NTTにおいては、ナノアンペア以上の電流標準の実現のため、クロック周波数サブ10 GHz動作相当の高電流単電子転送を可能とするシリコン単電子素子(図2)の開発に取り組む。サブ10 GHz動作における単電子ダイナミクスの物理や単電子転送の高周波動作限界を支配するエラー機構を解明し、転送の高精度化を実現する。

産総研においては、上記単電子電流標準をジョセフソン電圧標準と比較可能な電圧に変換するために、高抵抗量子ホールアレイ抵抗標準(10M オーム)の開発に取り組む。また、量子計測三角形の実験に向けて、全量子電気標準(単電子電流標準、量子ホールアレイ抵抗標準、ジョセフソン電圧標準)搭載型システムを単一冷凍機内に構築する。

電通大においては、高精度電流通倍を行うための高誘電体絶縁膜を用いた強結合量子電流ミラーを開発する。また、「量子計測三角形」の実験に対して相補的に必要となる単電子転送精度の絶対評価のため、

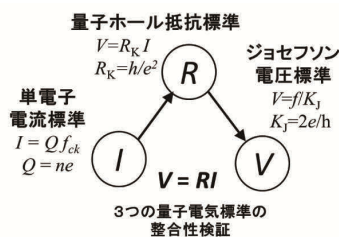


図1 量子計測三角形

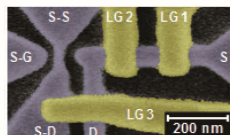


図2 シリコン単電子デバイス

単一磁束量子を用いたサブ10 GHz超高速単電子検出技術の動作実証と開発を進める。

以上のデバイス技術、評価技術を組み合わせることにより、0.1ppm以下での量子計測三角形の実験を目指す。

#### 【期待される成果と意義】

量子計測三角形は、基礎物理定数であるプランク定数や素電荷量などの関係性に矛盾がないかの検証実験として数十年にわたり実現が期待されてきたものであり、世界最高精度での実験を行うことにより大きな学術的インパクトを創出できる。また、高精度な電流標準や量子ホールアレイ抵抗標準の実現は、電子計測機器の校正やポータブル型量子電気標準の開発につながるものであり、産業基盤や計量標準分野に貢献できる。さらに、超高速・高感度電荷検出や超精密微小電流発生・検出技術は、抵抗精密評価、単一分子・化学反応センサ、放射線センサなど材料、化学、工業、医療分野など電気量の関連する広範な領域への応用が期待できる。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- G. Yamahata, K. Nishiguchi, and A. Fujiwara, Gigahertz single-trap electron pumps in silicon, Nat. Commun. 5, 5038 (2014).
- G. Yamahata et al., Gigahertz single-electron pumping in silicon with an accuracy better than 9.2 parts in 10<sup>7</sup>, Appl. Phys. Lett. 109, 013101 (2016).
- N. Kaneko, Review of Quantum Electrical Standards and Benefits and Effects of the Implementation of the 'Revised SI', IEEJ Trans. 12 627 (2017).

#### 【研究期間と研究経費】

平成30年度～34年度

151,400千円

#### 【ホームページ等】

NTT:

<http://www.brl.ntt.co.jp/people/afuji/index-j.html>

[http://www.brl.ntt.co.jp/j/group\\_004/group\\_004.html](http://www.brl.ntt.co.jp/j/group_004/group_004.html)

産総研: <https://unit.aist.go.jp/ripm/qelec-std/>

電通大: <http://inaho.pc.uec.ac.jp/>