

Particle Computation に学ぶ単電子論理ゲートの課題とその改善策

Performance improvements of single-electron logic gates inspired from particle computation

○水野 創樹¹、大矢 剛嗣^{1,2}

1 横浜国立大学 大学院理工学府, 2 横浜国立大学 総合学術高等研究院

○Soki Mizuno¹, Takahide Oya^{1,2}

1 Graduate School of Engineering Science, Yokohama National University,

2 Institute for Multidisciplinary Sciences, Yokohama National University

Email: mizuno-soki-gb@ynu.jp

1. 研究背景・目的

近年、情報化社会が進展していく中で、非ノイマン型の情報処理デバイスが求められている。その中で、単電子デバイスが注目されている。単電子デバイスは、電子の一個単位での制御、並列処理、非線形動作といった優れた特徴を有している。しかし、単電子回路の最適な情報処理手法は確立されていない。そこで、本研究では粒子と障害物を用いて情報処理を行う Particle Computation^[1](PC)に着目した。PCでは、格子状のマスに粒子と障害物を配置する。配置された粒子に対して“Go Up”(u)、“Go Right”(r)、“Go Down”(d)、“Go Left”(l)という任意の方向へ粒子を移動させる命令を与える。粒子が移動する際に障害物や静止している粒子に衝突した場合、そのマスで静止する。各命令は全粒子が静止するまで実行される。命令を繰り返すことで情報処理が実行され、全ての命令セットを実行した後、最終的な粒子の配置が情報処理の結果となる。PCでは、複雑な論理ゲートの実現が報告されており、さらに様々な応用が期待できる情報処理手法である。本研究では、単電子回路の優れた特徴を生かし、PCを利用した単電子情報処理デバイスの構築を目的とする。

2. 研究内容

前回は二粒子で命令セットが<d, l, u, r, d>である単電子PC回路シミュレーションについて報告した^[2]。今回は現在の回路構成における課題とその解決策について報告する。

単電子PC論理ゲート回路では、粒子を命令方向に移動させる命令方向回路と粒子の静止した位置を記録する衝突判定回路を命令ごとにそれぞれ用意することによって情報処理を実行する。前回の報告では、伝搬する際に粒子が消えてしまう問題を、命令方向回路を次の命令方向回路と接続するという構成を用いて解

決した。しかし、粒子ごとの伝搬速度に差が生まれてしまっており、それぞれの粒子の伝搬に影響を与える可能性が高く、期待通りに動作する確率が極めて低い。そこで、伝搬速度の差を小さくするために多重トンネル接合型の振動子を利用する。トンネル接合が複数あることによって電子トンネルの発生確率が平均化されるため、確率を与える伝搬速度の差が小さくなりやすい。

今回の報告では、多重トンネル接合型の振動子を用いた単電子PC論理ゲート回路(Fig. 1)を設計し、動作確認をシミュレーション上により行った。詳細は講演にて述べる。

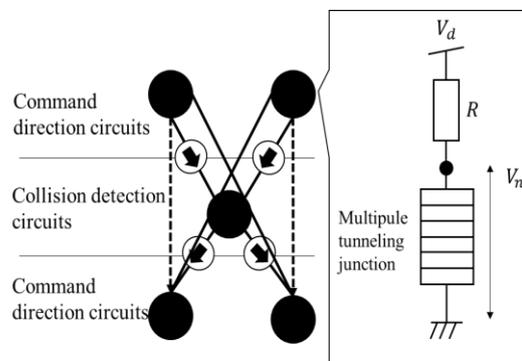


Fig. 1 Single-electron PC circuits with single-electron oscillators using multiple tunneling junctions

【参考文献】

- [1] Becker, A.T., *et al.*, Particle computation: complexity, algorithms, and logic., *Nat Comput* vol.18, pp.181-201, (2019).
 [2] 水野 他, “Particle Computation に学ぶ単電子論理ゲートの改良と進展,” 第85回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-D63-1 (2024).

【謝辞】

本研究の一部は JSPS 科研費・基盤研究 (A)(JP23H00169)の助成を受け実施された。