単電子拡散律速凝集モデルの実装に向けた凝集過程の表現

Representation of aggregation process in
Diffusion Limited Aggregation model on single-electron circuits

○宮越遼河 [1]、大矢剛嗣 [1,2] (1 横国大院理工，2 横国大 IMS)
○Ryoga Miyakoshi[1], Takahide Oya[1,2]
1 Grad. School Eng. Sci., Yokohama Nat'l Univ., 2 IMS, Yokohama Nat'l Univ.
Email: miyakoshi-ryoga-wg@ynu.jp

【はじめに】

ナノテクノロジーの発展に伴い、様々なナノデバイスの研究が進められている。単電子回路はその一つであり、トンネル効果を利用し、電子を一個単位で制御することができる。特徴として、確率動作性や並列動作性を持つことが知られるが、最適な情報処理手法は確立されていない。

一方で、ブラウン運動する多数の粒子が、核となる粒子に付着し、樹状構造の集合体を形成する拡散律速凝集(DLA : Diffusion Limited Aggregation)という現象が金属樹の成長や雪結晶など、自然界の様々な所で見られる。この現象のプロセスを用いて汚泥吸着シミュレーション[1]などが行われるが、各粒子に対するランダムシミュレーションを行うため、粒子数を増やすことによって膨大な計算量が必要となる課題がある。

本研究では、単電子回路の確率動作性と並列動作性を活かした、計算効率の良い拡散律速凝集シミュレーション回路を構築し、単電子回路の新たな情報処理手法の一つとして確立させる。

【研究内容】

拡散律速凝集は各粒子の「ブラウン運動」と「凝集」の二つの要素を持つ。前回講演では、一方通行回路などを組み込んだ回路にさらに改良を加え、ブラウン運動回路を設計した[2]。本稿では、単電子回路を用いてブラウン運動する粒子が凝集する過程表現する。

今回は、単電子振動子(Fig.1-(a))に加え、閾値変動型単電子振動子(Fig.1-(b))を用いて凝集回路(Fig.2)を設計した。これは単電子振動子のトンネル接合直下にキャパシタを配置した構造を取り、一度電子トンネルが発生すると、このキャパシタにその分の電荷が蓄えられ、次に発生する電子トンネルのための閾値が変動する。この特性を利用し、「隣接座標が凝集体である場合、粒子は停止しその座標で凝集体の一部となる」という挙動を表現する。また、単電子振動子は電子トンネル後に電荷がチャージされてしまい、状態が保存できないため、凝集体の状態を保持するために、単電子メモリ(Fig.1-(c))を利用している。シミュレーション結果や考察などについては講演にて述べる。

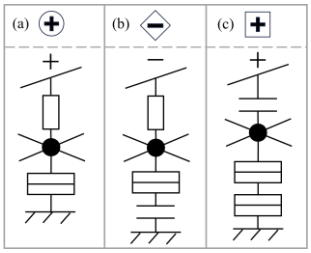

Fig.1 Single-electron circuits.
(a) oscillator, (b) threshold variable oscillator, (c) memory.
"+" and "−" in circle indicates polarity of bias voltage.

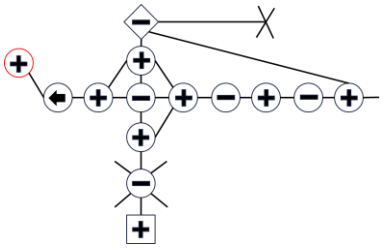

Fig.2 Single-electron aggregation circuits.
"×" in the circuits indicates to connected to the circuit of the adjacent the top, bottom, left, and right coordinates.

【参考文献】

[1] X. Guo, J.L. Wang, Journal of Molecular Liquids, 324, 114692 (2021).
[2] 宮越遼河, 他, 第 85 回応物学会秋季学術講演会, 19a-D63-3, (2024).

【謝辞】

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