

クーロン閉塞を利用する金ナノ粒子リザーバーの並列化による性能向上

Improved performance of the Coulomb-blockade-based gold-nanoparticle reservoirs connected in parallel

電通大基盤理工 ○(M2) 林 優生, 小林 海斗, 島田 宏, 水柿 義直

Department of Engineering Science, The Univ. of Electro-Communications (UEC Tokyo),

°Y. Hayashi, K. Kobayashi, H. Shimada, Y. Mizugaki

E-mail: y-hayashi@mizugaki.es.uec.ac.jp, y.mizugaki@uec.ac.jp

1. はじめに

リザーバーコンピューティング (RC) の中核となるリザーバー層を, 様々な物理デバイスで置き換えた物理リザーバーが注目されている[1]. 我々は, 金ナノ粒子 (GNPs) ランダム配列を物理リザーバーとして用い, 用いる端子数やナノ粒子の粒径によって性能が変化することを検証してきた[2][3]. GNPs ランダム配列の非線形性はトンネル伝導のクーロン閉塞を起源とするものである. 本研究では, 複数の端子を持つ GNPs リザーバーを並列化することで性能向上を図った.

2. 実験方法

酸化膜付き Si 基板上に, 半径約 300 nm の円周上に端部が配置された 6 個の金電極を電子線リソグラフィと真空蒸着により作製した. SiO₂ 表面上に GNPs を固定するために基板表面をシラン化させ, 粒径 15 nm の金ナノ粒子コロイド溶液に液浸させた. その後, ナノ粒子および金電極表面を 1, 10-デカンジチオール単分子膜で修飾させ, 再びコロイド溶液に液浸させることで GNPs ランダム配列が形成された. 本研究では, 1 チップ上に 2 つの素子 (Reservoir1 と Reservoir2) を作製した (Fig. 1). Fig. 2 に並列構成の概略図を示す. 素子を液体窒素中 (77 K) で冷却した後, 共通の入力信号を各リザーバーの 1 端子に入力し, それぞれ他端子からの出力電圧をオシロスコープにて測定した. 本研究では, 入力電圧のパルス間隔を変化させ, 単一リザーバーそれぞれ, および 2 リザーバー並列時の NARMA2 モデルの時系列予測を行い, 予測誤差を比較した.

3. 実験結果

Fig. 3 に単一リザーバーのみ, および並列構成にした場合の予測誤差を示す. 単一リザーバーの結果と比較すると, どのパルス間隔においても並列構成のほうが Normalized mean square error (NMSE) が小さくなり, パルス間隔 0.25ms にて NMSE は 0.132 となった. 並列構成にて NMSE が小さくなったのは, 多様な応答を利用できるためだと考えられる.

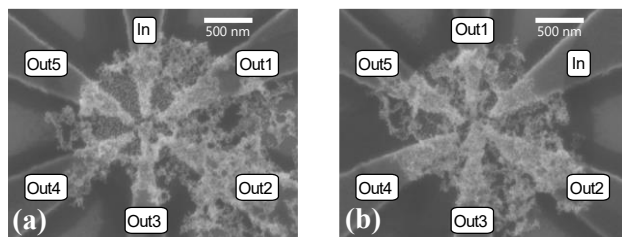


Fig. 1 SEM images of GNPs random arrays with 6 electrodes. (a) Reservoir1, (b) Reservoir2.

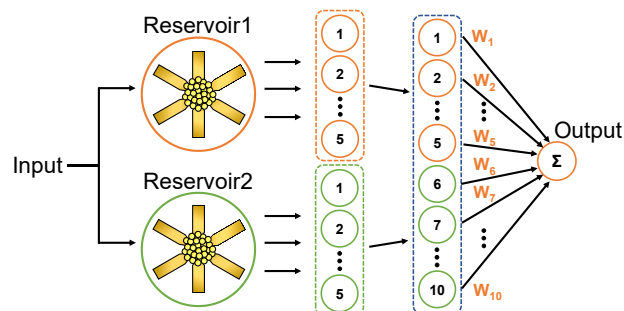


Fig. 2 Schematic diagram of two GNPs reservoirs in parallel configuration.

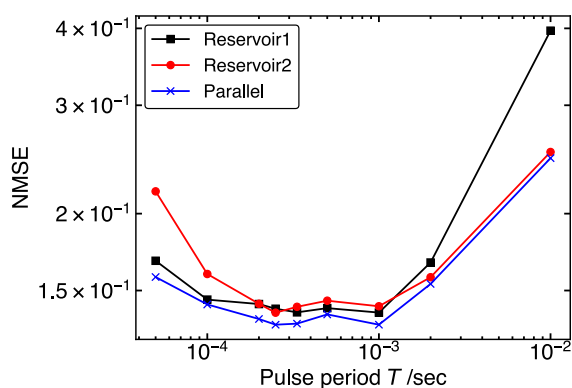


Fig. 3 NMSE values of the NARMA2 task for different reservoir configurations.

謝辞 本研究の一部は, JSPS 科研費 JP20H02201 の助成のもと行われた.

参考文献 [1] G. Tanaka, et al., Neural Networks. **115** (2019) 100. [2] 林他, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 23a-P09-1 (2024). [3] K. Kobayashi, et al., Jpn. J. Appl. Phys. **63** (2024) 064501.