

イオン液体リザーバー素子の性能評価における金属イオン種依存性の検討

Metal ion species dependence in performance evaluation of ionic liquid reservoir devices

東理大理¹, 産総研², 鳥取大工³, 豊田理研⁴, 長瀬産業⁵

○佐藤暖^{1,2}, 松尾拓真^{1,2}, 高相圭^{1,2}, 島久², 内藤泰久²,
秋永広幸², 野上敏材³, 伊藤敏幸⁴, 小林正和⁵, 木下健太郎¹

Tokyo Univ. of Sci.¹, AIST², Tottori Univ.³,

Toyota Physical and Chemical Research Institute⁴, NAGASE & CO., LTD.⁵

○D. Sato^{1,2}, T. Matsuo^{1,2}, S.-G. Koh^{1,2}, H. Shima², Y. Naitoh²,

H. Akinaga², T. Nokami³, T. Itoh⁴, M. Kobayashi⁵ and K. Kinoshita¹

E-mail: 1520526@ed.tus.ac.jp

【序論】ディープニューラルネットワークは、多種多様な認識問題での有効性が認められている一方、従来型コンピュータでの処理に伴う莫大な計算コストが課題となっている。そこで、AI 処理に特化したハードウェア開発機運が高まっており、中でも入力情報の特徴抽出を「物理系」で実現する物理リザーバーデバイスは、低消費電力かつ高性能の AI デバイスとして注目を集めている。物理リザーバーに要求される特性には、入出力変換の非線形性、高次元性、短期記憶特性が挙げられる^[1]。これまで、イオン液体 (IL) を金属イオンの酸化還元反応場として利用した物理リザーバーについて報告してきた^[2]。その特徴は生体に類似した固液融合構造であり、豊富な材料選択性をもつことである。本研究では IL に添加する金属材料に着目し、金属イオン種に依存した情報処理性能の変化を明らかにした。

【実験方法】作製した素子の模式断面図を Fig. 1 に示す。IL には [Bmim][Tf₂N] (pure-IL) と Cu²⁺、及び Ag⁺ を 0.4 M ドープした [Bmim][Tf₂N] 溶液 (Cu-IL, Ag-IL) を使用した^[3]。“0” を負、“1” を正バイアスに対応させた三角波電圧パルスを本素子に印加し、電流応答を利用することで、ランダムバイナリデータについての STM (Short-term Memory) タスク、PC (Parity Check) タスクを行った。STM タスクは T_{delay} タイムステップ前の入力が“0”であるか“1”であるかの判定、PC タスクは T_{delay} タイムステップ前までの“1”入力数の偶奇判定を行う二値分類タスクであり、それぞれ短期記憶特性、非線形性を評価する指標となる。このとき 1 パルスにつき 100 点で計測した電流値を仮想ノードとして扱った。連続した 200 パルスのうち 80% をトレーニングデータ、20% をテストデータとして利用し、線形回帰による学習後のタスク精度を相関係数で求めた。 T_{delay} を変化したときの相関係数の総和から MC (Memory Capacity) を算出することで、リザーバー性能を比較し、金属イオンの効果、及び金属イオン種依存性を評価した。

【結果・考察】Fig. 2 に素子の典型的な I - V 特性を示す。pure-IL 素子では、電気二重層容量による充放電電流が生じた。一方 Cu-IL, Ag-IL 素子では、金属イオン起因のファラデー電流が重畳されることで出力の複雑性が増加した。Fig. 3 に 1000 エポックの学習後の MC を示す。STM, PC タスクにおける Cu-IL 素子の MC は、pure-IL 素子と比較して、それぞれ 0.28, 0.30 増加した。電流波形の複雑性が短期記憶特性、非線形性に寄与したと推察される。また、Ag-IL 素子においても MC の増加傾向がみられたが、Cu-IL 素子と比較して増加幅は小さく、これは電圧印加に伴う金属析出による電流波形の不安定性に起因すると考えられる^[4]。これら結果より、適切な金属イオン種の選択により、物理リザーバーの性能を向上できると期待される。当日は IL リザーバーの情報処理能力を高める電流波形の特徴について詳細に議論する。

[1] G. Tanaka *et al.*, *Neural Networks*, 115, 100-123 (2019). [2] D. Sato *et al.*, *MEMRISYS 2021*, 4A-7 (2021). [3] H. Sato *et al.*, *Front. Nanotechnol.*, 3, 660563 (2021). [4] 佐藤他, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 13p-N207-5 (2021).

【謝辞】本研究の一部は、文部科学省委託事業ナノテクノロジープラットフォーム課題として物質・材料研究機構微細構造解析プラットフォームの支援 (課題番号 JPMXP09F21NM0006) を受けて実施されました。

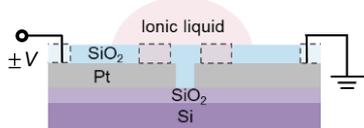


Fig. 1: Schematic view of the cross-sectional structure of the proposed device.

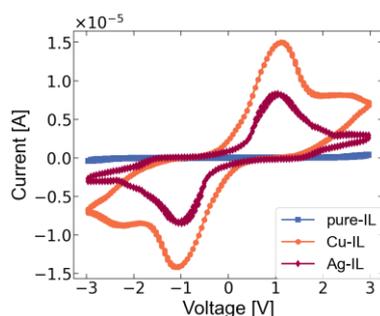


Fig. 2: Typical I - V characteristics under each condition.

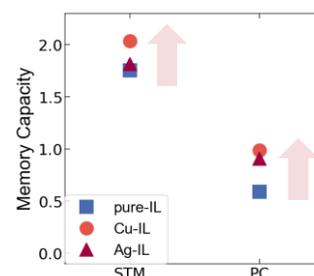


Fig. 3: Memory Capacities for STM and PC tasks.