イオン液体リザバーの相補的かつ協調的な学習による性能向上

Improving performance by complementary and cooperative learning with ionic liquid reservoirs

東京理科大学 ○(B)荒井 朝陽 ， 高 相圭 ，小出 太貴 ，佐藤 蓮太 ，大平 一路 ，木下 健太郎

Tokyo Univ. of Sci. °Asahi Arai , Sang-Gyu Koh , Taiki Koide , Renta Sato , Ichiro Ohira , Kentaro Kinoshita

E-mail: 1518003@ed.tus.ac.jp

【背景】物理ダイナミクスによる入力信号の非線形変換を利用し、低計算コストで高い学習効率の達成が可能なリザバーコンピューティング (Reservoir Computing：RC) が注目されている。我々は生体信号の発生に関わるイオン拡散のダイナミクスとの時間的類似性に着目し、イオン液体 (Ionic Liquid：IL) の誘電緩和をリザバー応用することが有用であると考えた。本研究では、IL の高デザイン性を活かし、カチオン分子の側鎖長によって粘性を操作し、電気二重層形成の時間スケールを制御した。これにより、IL リザバーの扱う信号の時間スケールに合わせて学習効率を最適化できることが示された。さらに異なる粘性の IL リザバーを並列駆動させることで、処理可能な信号の時間スケールを拡大できることが明らかになった。【実験方法】SiO_2 基板状に形成された 1 対の Au 電極間に IL を供給することで Au/IL/Au 構造の素子を作製した。IL として[$Xmim^+$][Tf_2N^-](X = E , B , H , O)を用いた。[$Emim^+$]<[$Bmim^+$]<[$Hmim^+$]<[$Omim^+$]の順にアルキル側鎖長が長く、粘性が高くなる。同構造に三角電圧パルスを印加し、出力電流を読み取った。ここで、入力した三角波電圧の高さは ±1.2 V であり、電圧の正、負よりそれぞれ ”1”、”0” の 2 値データを表現した。三角波の幅(タイムステップ t_{width})は 1～10 μs まで 1 μs 刻みで変化させた。出力信号に対して t_{width} あたり 90～100 個の仮想ノードを設定した。学習性能評価のためランダムな 2 値データの入力に対する短期記憶(STM)タスクを行い、その積分値である記憶容量(MC)を算出した。また、各 IL における誘電緩和の緩和時定数 τ を複素インピーダンス法により測定した。【結果および考察】Fig. 1 に各 IL における MC の t_{width} 依存性を示す。Fig. 1 より粘性の増加と共に MC がピークをとる t_{width} が長くなることが確認できる。また複素インピーダンス法により測定された複素誘電率の実部と虚部の周波数依存性を Fig. 2 の挿入図に示す。Fig. 2 に複素誘電率の虚部がピークをとる周波数から見積もられた τ を IL の粘性 (IL 種) に対してプロットした。Fig. 2 より、アルキル側鎖長が長くなり粘性が増加すると共に、τ が増加することが分かる。即ち、Figs. 1, 2 より τ の増減と MC がピークをとる t_{width} の増減が対応することから、入力信号のタイムスケールと物理リザバーの特徴的な τ の適切なマッチングが MC 向上に寄与することが示された。更に、4 種の IL リザバーを並列に接続することで構成される物理リザバーの MC (Fig. 1 星印) は、何れの t_{width} においても単一 IL の場合に比べて向上した。これは τ の異なるリザバーを並列に使用することで、相補的かつ協調的な学習が可能となり、ダイナミックレンジの広い RC デバイスの実現が可能であることを意味する。

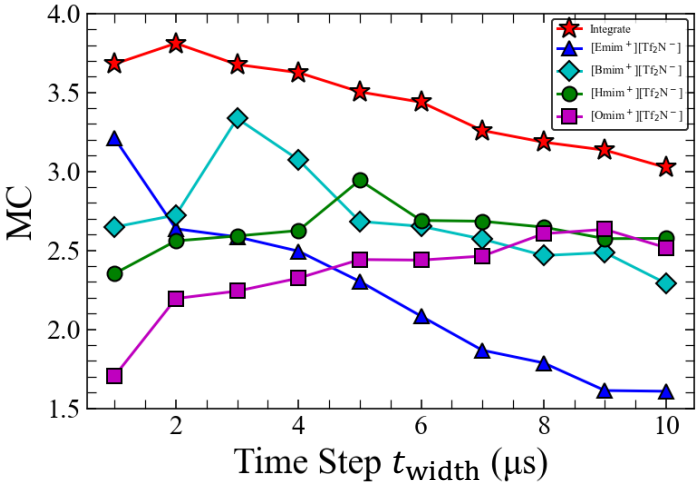

Fig. 1 t_{width} dependences of MC for STM tasks.

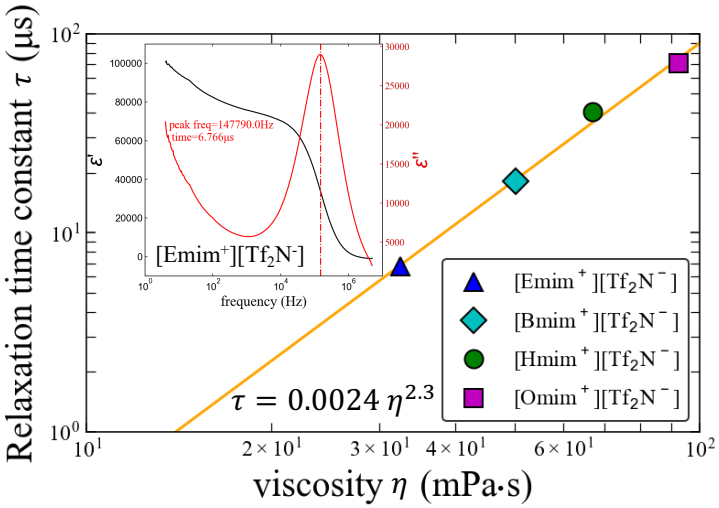

Fig. 2 Viscosity (IL type) dependence of τ. Inset: Frequency dependences of complex permittivity of [$Emim^+$][Tf_2N^-].

© 2022年 応用物理学会