固体電気二重層型イオンゲーティングリザバーによる神経様情報処理とカオスの縁学習

Edge-of-chaos learning achieved by ion-electron–coupled dynamics in an ion-gating reservoir

NIMS [1]，東理大 [2] ○西岡 大貴 [1]，並木 航 [1]，高柳 真 [1,2]，井村 将隆 [1]，
小出 康夫 [1]，樋口 透 [2]，寺部 一弥 [1]，土屋 敬志 [1]
NIMS [1], Tokyo Univ. Sci. [2], ○D. Nishioka[1], W. Namiki[1], M. Takayanagi[1,2], M. Imura[1],
Y. Koide[1], T. Higuchi[2], K. Terabe[1] and T. Tsuchiya[1]
E-mail: TSUCHIYA.Takashi@nims.go.jp, NISHIOKA.Daiki@nims.go.jp

深層学習をはじめとする人工知能(AI)は、脳神経回路網から着想を得た仮想的な大規模ネットワークを構築・学習することで高度な認知機能を獲得し、生成 AI においては従来の AI には見られなかった”人間らしさ”すら示す。AI によるこうした活動は我々に多大な利益をもたらす一方、それに伴う消費電力の増大は深刻さを増すばかりである。この問題の有望な解決策として期待される物理リザバー計算(PRC)は、物理系/材料系における時空間的状態発展を仮想的な脳神経回路網とみなして情報処理を行う枠組みであり、物理系に内在する非線形ダイナミクスに基づき直接情報処理を実行することから大幅な計算コストの削減が可能である。これまでにさまざまな物理系による認知タスクの実証が報告されている一方、高性能 PRC は光回路等の大型の物理系に限られ、集積化に有利なナノテクベースの PRC は性能面で遅れをとっていた。この解決のため、材料系に内在する知性を最大限に引き出す新しいプラットフォームの開発が求められていた。

こうした背景のもと、我々は半導体材料へのイオンゲーティングによる物性変調を計算資源とする新しい PRC のフレームワークであるイオンゲーティングリザバー(IGR)を開発した[1]。IGR はイオン伝導体と半導体で構成されるトランジスタ型の素子であり、材料系の選定次第で様々な非線形ダイナミクスを情報処理に利用できる点が最大の特徴である[1-4]。特に、Li 固体電解質と水素終端ダイヤモンドで構成される系では、究極の微小領域である電気二重層(EDL)の充放電過程がチャネル抵抗の動的な変化に影響されるイオン-電子連結ダイナミクスにより入力ゲート刺激に対するドレイン電流応答は複雑化され、図 1 に示すような多様な擬似神経応答を示す。こうした応答は IGR にカオスの縁と呼ばれる高い情報処理性能をもたらす力学状態を特徴づけ、力学系予測のベンチマークタスクでは小体積でありながら優れた計算性能を達成した[1]。当日は、ダイヤモンド型 IGR の動作原理と情報処理の詳細について議論するとともに、そこから派生した広範な材料系における様々な IGR について報告する[3,4]。本研究は JST さきがけ(JPMJPR23H4)および JSPS 科研費(22KJ2799, 24KJ0229)の支援を受けて遂行されました。

【参考文献】[1] D. Nishioka et al., *Sci. Adv.* **8** eade1156 (2022). [2] D. Nishioka et al., *Sci. Adv.* **10** eadk6438 (2024). [3] T. Tsuchiya et al., *Adv. Electron. Mater.* **10** 2400625 (2024). [4] D. Nishioka et al., *arXiv*:2501.02813 (2025).

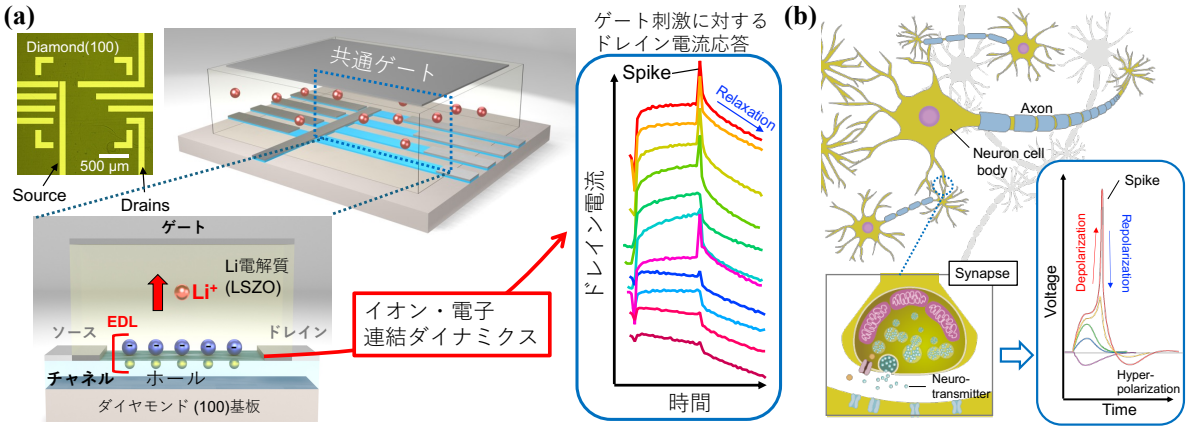

Figure. 1(a) Schematic illustration of an EDL-type IGR and its pseudo-neural response. [1] **(b)** Schematic illustration of a biological neuron and its electrical signals. [1]

© 2025年 応用物理学会