

2024 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	視覚学習に向けた電極/Nb:SrTiO ₃ 界面の光電応答モデルの構築
キーワード	①リザバーコンピューティング、②界面準位、③視覚学習デバイス

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏 名	テイ ウメ 鄭 雨萌
配付時の所属先・職位等 (令和6年4月1日現在)	東京理科大学 先進工学部 物理工学科 助教
現在の所属先・職位等	東京理科大学 先進工学部 物理工学科 助教
プロフィール	約10年間にわたり電子材料の研究に従事してきました。特に、界面における電子トラップやイオンの移動経路と電気特性との関係解明に焦点を当て、エネルギー材料や次世代デバイスへの応用を目指しています。外国人女性研究者として、多様な文化や価値観を尊重しつつ、グローバルな視野と経験を活かして学生指導にも取り組んでいます。

1. 研究の概要

本研究では、金属／半導体 SrTiO₃界面における光電刺激応答に着目し、エッジAI デバイスへの応用が期待される光学習型リザバーデバイスにおける安定性の向上と過渡特性のメカニズム解明を行った。光の裏面照射手法により、Pt/Nb:SrTiO₃接合における光応答を確認し、それを通じて光記憶の制御とリセットの実現に成功した。従来の光リザバーデバイスと比較して、本デバイスは信頼性（耐久試験で10³サイクル以上の動作を維持）および制御性（光入力強度に対する出力応答の線形性向上）が大幅に改善されている。

2. 研究の動機、目的

近年、IoT 技術の進展により社会は工業化から知能化へと移行し、膨大なデータを活用する AI 技術の重要性が飛躍的に高まっている。従来型の「クラウドAI」は端末が生成したデータをすべてネットワーク経由でクラウドに送信し、重い学習処理をクラウド側で行った後に結果を端末へ戻す仕組みである。しかし、このプロセスでは通信遅延が回避できず、ネットワーク帯域への負荷も深刻である。そこで、端末側で処理を完結させる「エッジAI」が応答速度の高速化とシステム負荷の低減の観点から注目されている。エッジ搭載に適した低消費電力かつ小型軽量の AI デバイス開発が喫緊の課題である。

物理リザバーコンピューティング (PRC) は、物理系のダイナミクスをそのまま計算資源として利用するため、シンプルなデバイス構造で低消費電力を実現でき、次世代のエッジAIとして大きな期待を集めている。一般的な PRC デバイス (PRD) は入力層・リザバー（記憶）層・出力層から構成され、電圧印加による過渡応答などの物理過程を「学習」として用いる。しかし、利用可能な信号の時間スケールは物理ダイナミクスの緩和時定数により制約を受け、用途が限られるという課題がある。

本研究では、Nb ドープ SrTiO₃ (NSTO) を用いたリザバーデバイスに着目し、光照射制御と電圧制御という二つの励起手段を同時に用いた際の過渡特性を調査する。特に、電極／NSTO 界面における結晶欠陥由来の界面準位が電荷捕獲・放出を介してインターフェース抵抗と光誘起電流に与える影響のメカニズムを解明し、緩和時定数の制御技術を確認することを目的とする。これにより、広い時間スケールに対応可能で信頼性・制御性に優れた光学型リザバーデバイスの基盤を構築する。

3. 研究の結果

自作した連続的な小パルス等温過渡容量分光法により、界面準位分布の時間変化特性と電流緩和特性の依存性を明らかにした。これにより、電極／NSTO界面での欠陥準位が電荷捕獲・放出を介して過渡応答に寄与するメカニズムを定量的に把握可能となった。さらに、光の裏面照射手法を組み合わせた実験でPt/Nb:SrTiO₃接合の光電応答を直接観測し、光記憶の制御とリセット動作の両立に成功した。

従来の光リザバーデバイスと比較すると、本デバイスは信頼性および制御性で大幅な改善を示す。耐久試験では10³サイクル以上の動作維持を確認し、光入力強度に対する出力応答の線形性も向上。これにより、エッジAI用途に求められる高信頼・高制御性を両立した光学型リザバーデバイスとしての実用性を示した。

4. 研究者としてのこれからの展望

これまでに確立した界面準位制御と過渡特性解析手法を基盤に、今後は以下の方で研究を深化させる。①光・電気・熱など複数の刺激を組み合わせることで、より広い動作周波数帯域と適応性を持つ汎用的リザバーデバイスを設計・実証する。各刺激に対する応答特性を並列かつ統合的に利用し、多層リザバー構造の実現を目指す。②結晶欠陥やドーピング設計を精密に制御し、デバイスごとに最適化された緩和特性をネットワーク層でプログラム可能にする。これにより、単一デバイスで多様な時間スケールの信号処理が可能となる。③エッジAIにおけるリアルタイム音声認識や振動解析など、実際のアプリケーション要件を満たす評価プラットフォームを構築。小型・低消費電力デバイスのパッケージング技術を確認し、産業界や社会インフラへの橋渡しを図る。



5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

日本私立学校振興・共済事業団「女性研究者奨励金」を受け取り、大きな励みとなりました。研究継続を諦めかけた時期もありましたが、このご支援のおかげで自信を取り戻し、意欲を新たにしています。理学分野で活躍する女性研究者はまだ少数ですが、私自身の努力で優れた成果を挙げることで、科学の道に進むか迷っている少女たちに希望と勇気を届けたいと考えています。これからは、材料界面における最先端制御技術を開発し、それを応用した高性能学習デバイスの実現を目指します。今後ともご指導・ご支援のほど、よろしくお願い申し上げます。