

ひずみと光の履歴に応答する 軽くて柔らかい自己発電型人工シナプス

立命館大学 理工学部 機械工学科
教授 小林 大造

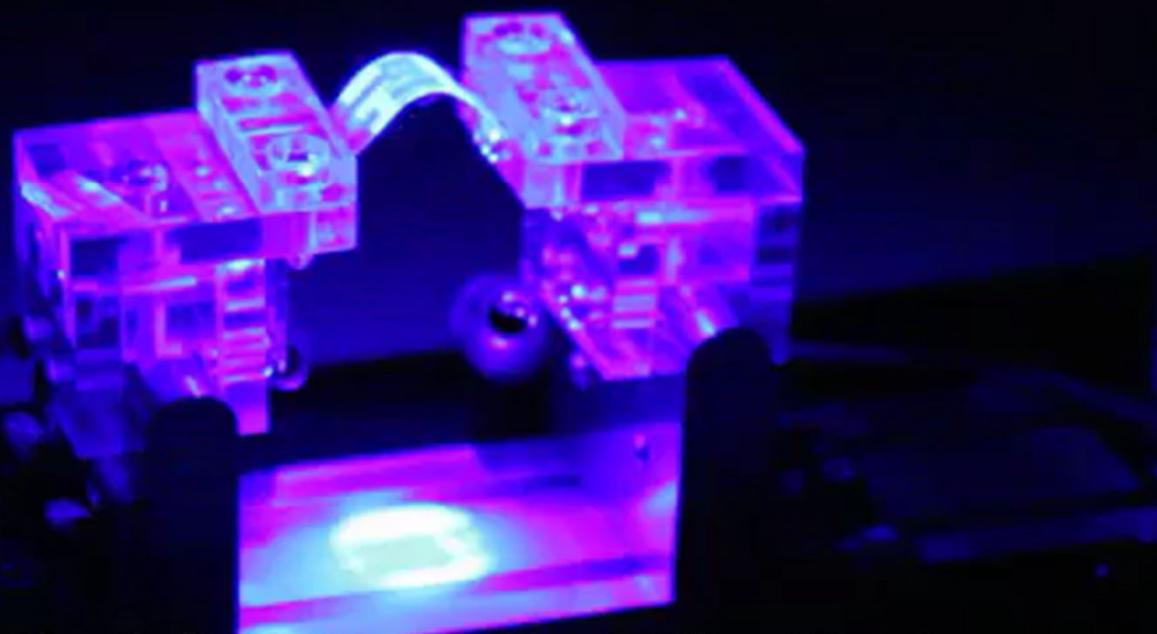
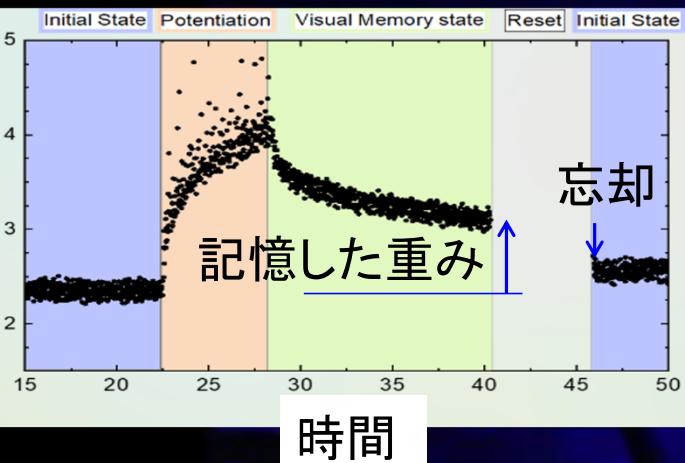
2025年10月9日

Artificial visual synapse

Collaborative study between Ritsumeikan University(RU)
and The Polytechnic University of Catalonia(UPC)

光入力(照度・繰返し・周期)による不揮発的な増強と、
ひずみ・応力の入力による変調可能な太陽電池

光入力
(書込み) 暗時
ひずみ/
応力
(消去)



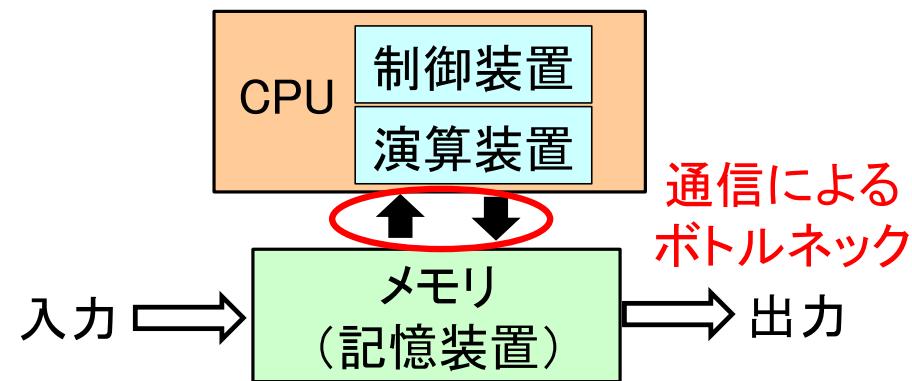
Z. Jehl Li-Kao, T. Kobayashi et al., "Investigating The Interplay of Piezoelectricity and Synaptic Plasticity in Se-Based Photodiodes for Optically Controlled Memristors on Flexible Substrates" 2024 MRS Spring Meeting, Seattle(USA), Apr 24, (2024)

背景



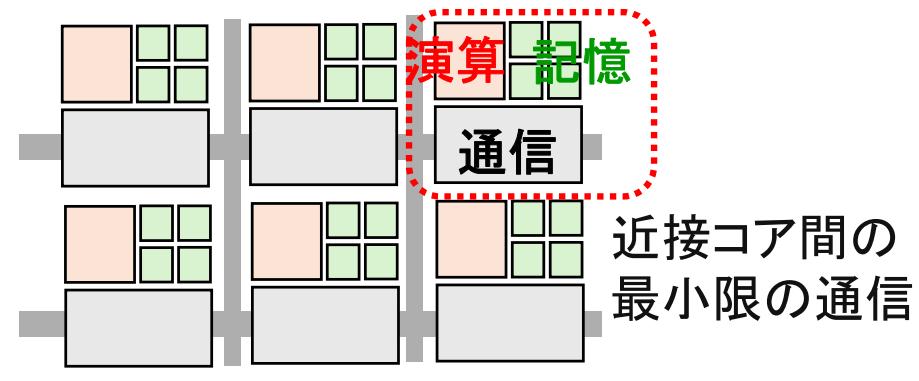
従来ノイマン型コンピュータ

プログラムを記憶装置に記憶し、命令やデータ処理を逐次実行するコンピュータ



ニューロモルフィックコンピュータ

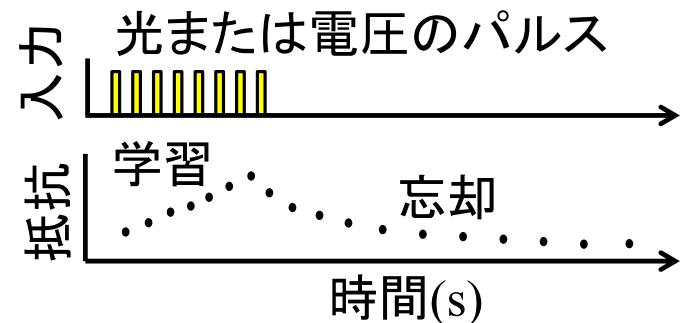
脳の神経細胞であるニューロンを模した電子回路で構成されるコンピュータ



新技術の特徴・従来技術との比較

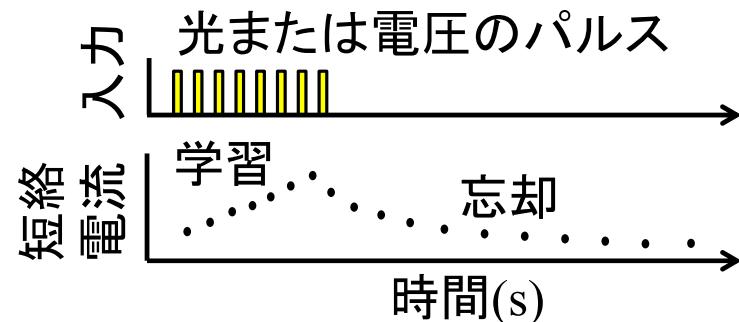
従来技術1 メモリスタ

入力信号の履歴に応じた抵抗変化を用いたシナプス
→ 抵抗計測のための電力が必要



従来技術2 自己給電型光電子シナプス

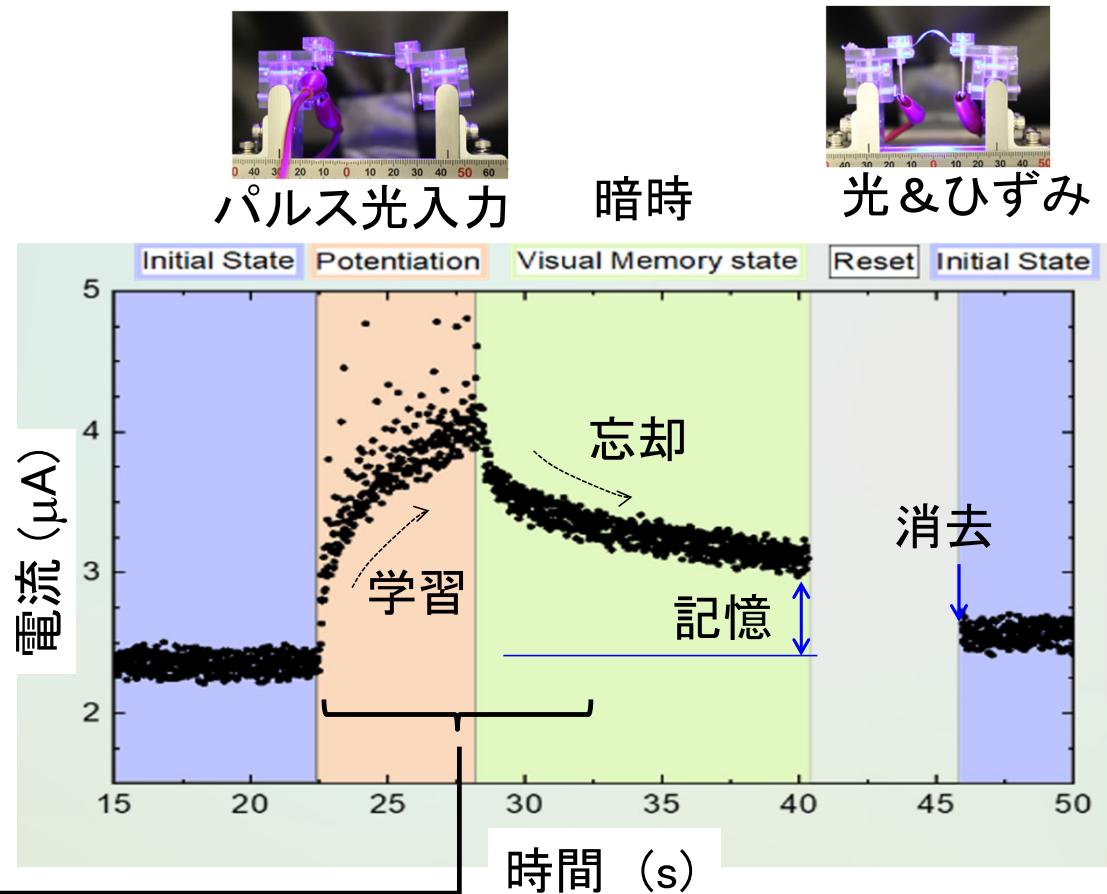
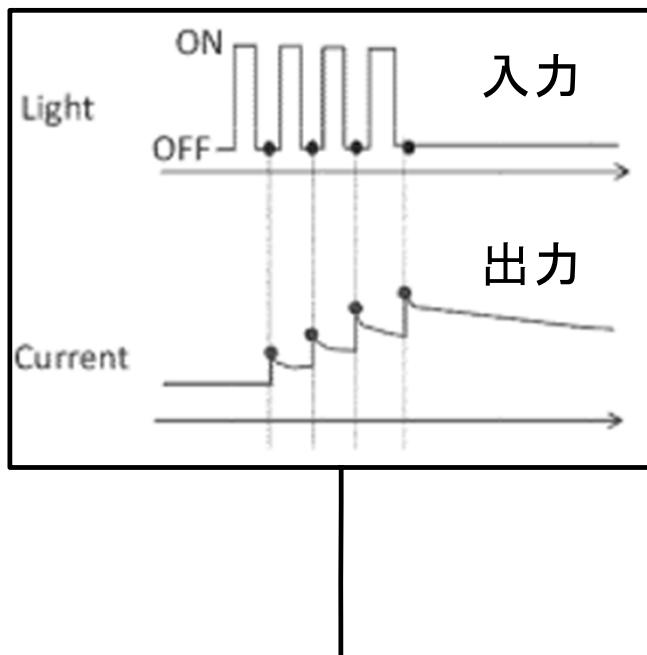
太陽電池の時定数の制御を用いたシナプス素子
→ 無給電化が期待されるが刺激(入力)は光のみ



新技術の特徴 力学的刺激と光刺激の履歴に応答する自己給電型シナプス

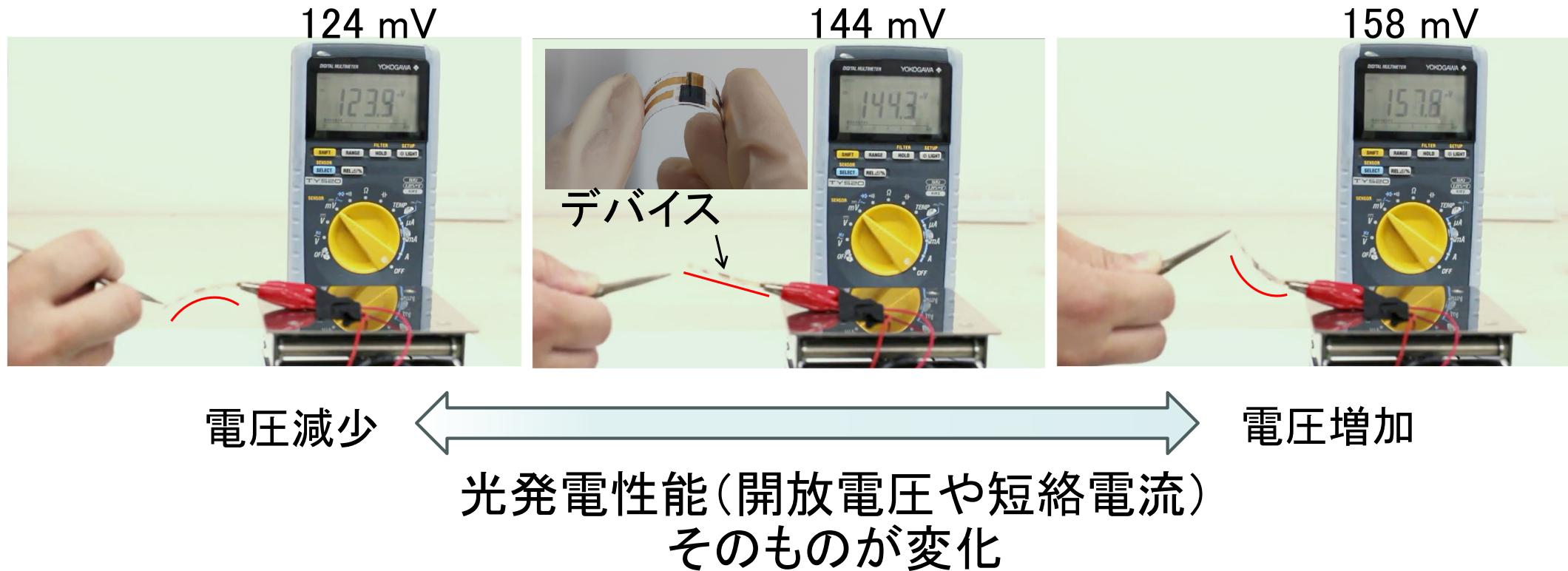
ひずみと光の履歴に応答する 自己発電型人工シナプス

光パルス(波長455nm、周波数100Hz)、約5秒間
暗時の電流測定ではバイアス電圧0.8Vを印加



[3] Zacharie Jehl Li-Kao, Sergio Giraldo, Kunal Tiwari, Taizo Kobayashi, Edgardo Saucedo, "Zero-Energy Neuromorphic Visual Computing with Photocurrent-Based Memory in ZnMgO/Se Synapses", 2025 MRS Spring Meeting & Exhibit, Apr 9, 2025

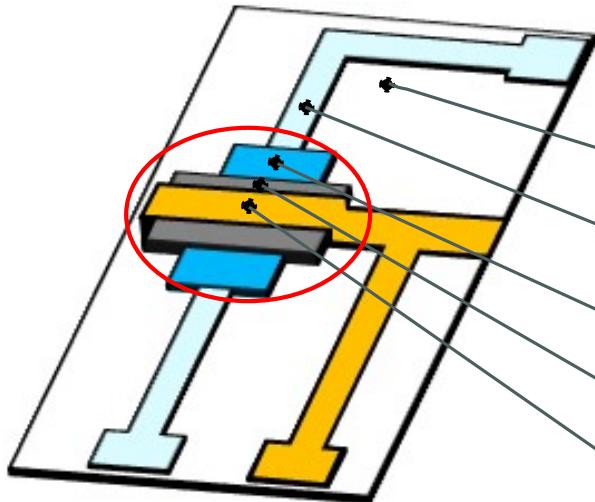
歪による光電変換の増強・抑制



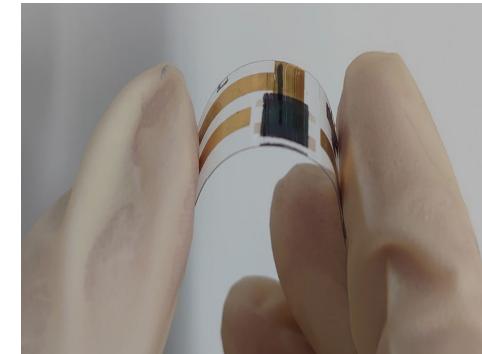
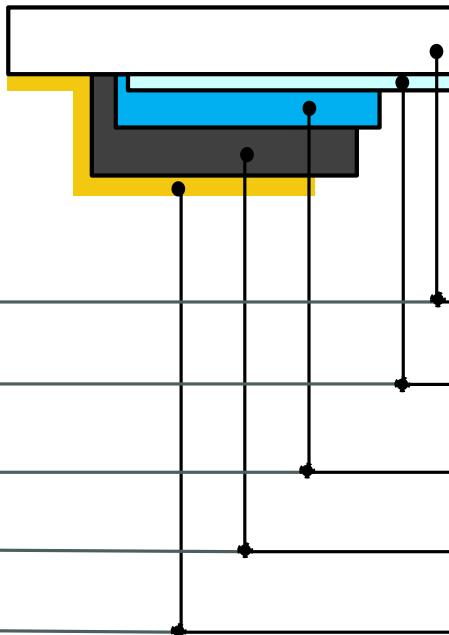
[4] J. Fujimura, Y. Adachi, T. Takahashi and T. Kobayashi, "Impact of piezo-phototronic effect on ZnMgO/Se heterojunction photovoltaic devices" Nano Energy, Vol. 99, 107385 (2022)

デバイスの構造

【見取り図】



【PN接合部断面図】

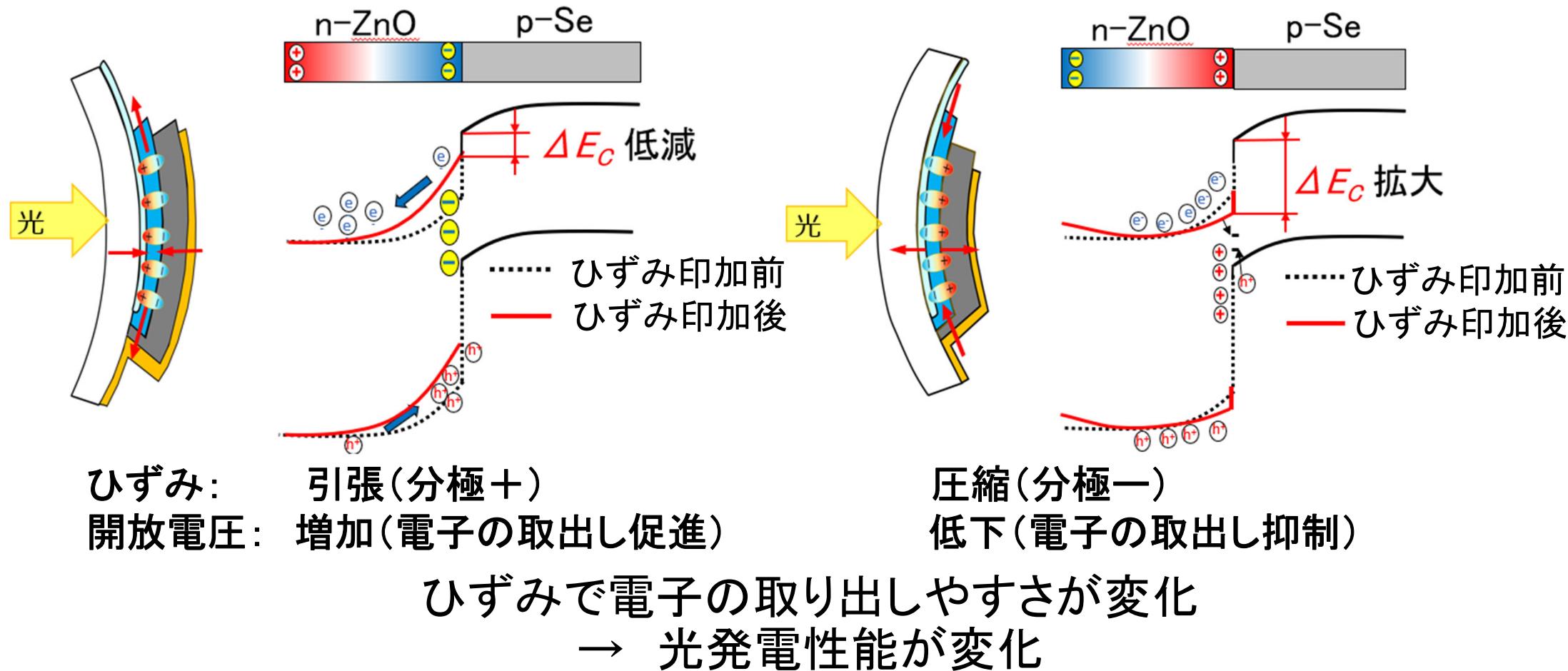


PETフィルム(125 μ m)
ITO透明電極(150 nm) スパッタ法
酸化亜鉛系(N型, 70 nm) スパッタ法
セレン(P型, 500 nm) 蒸着法
金電極(80 nm) 蒸着法

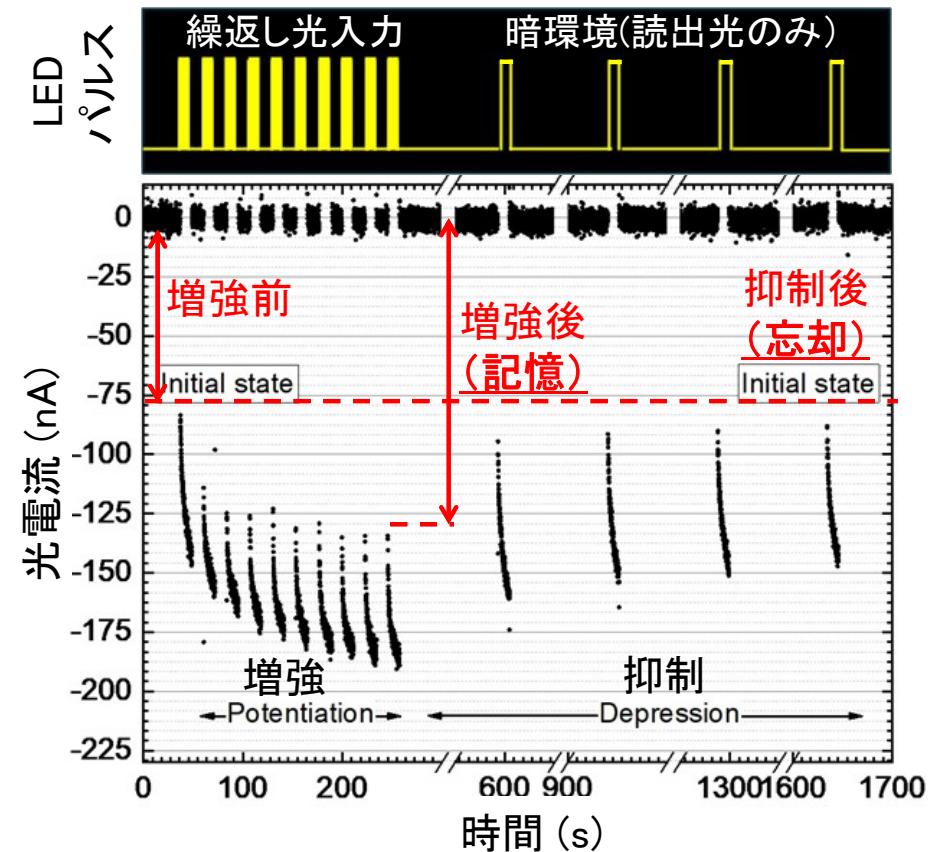
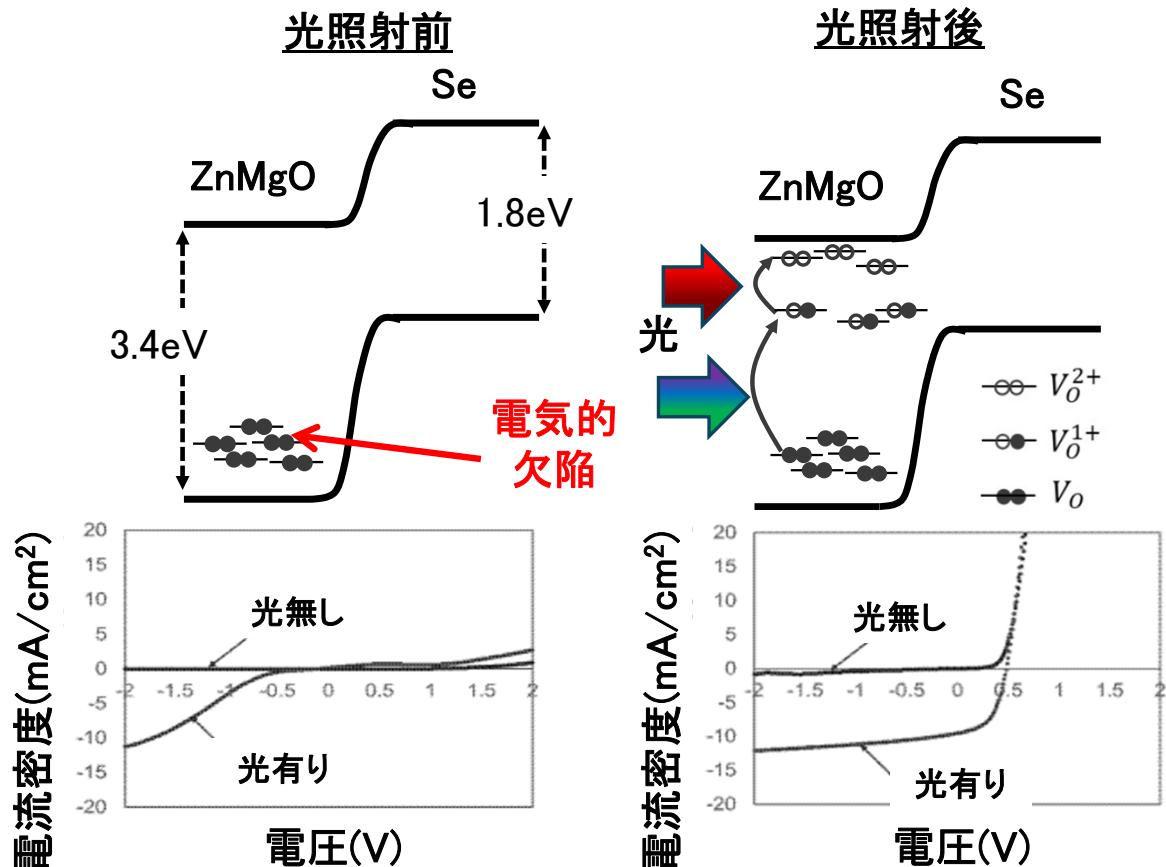
蒸着とスパッタによるシンプルな薄膜の積層

[4] J. Fujimura, Y. Adachi, T. Takahashi and T. Kobayashi, "Impact of piezo-phototronic effect on ZnMgO/Se heterojunction photovoltaic devices" Nano Energy, Vol. 99, 107385 (2022)

ひずみによる増強・抑制の動作原理



記憶と忘却の動作原理

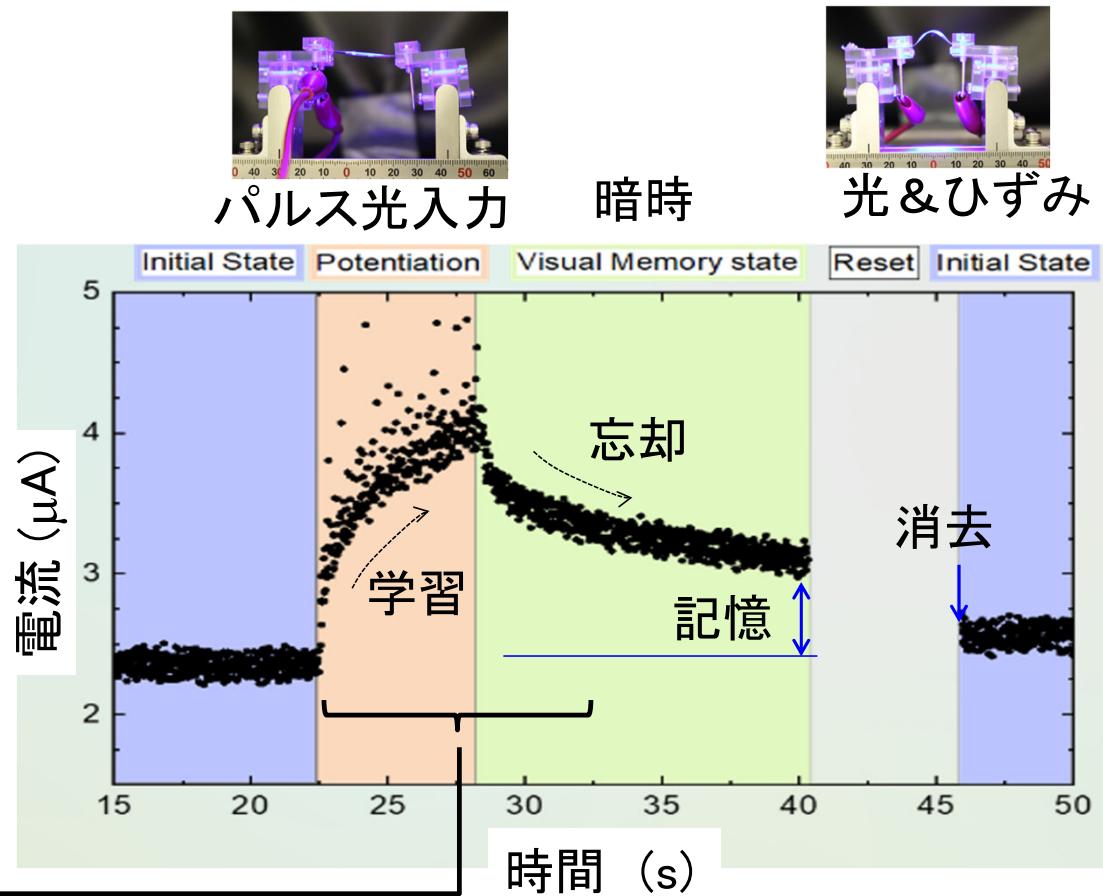
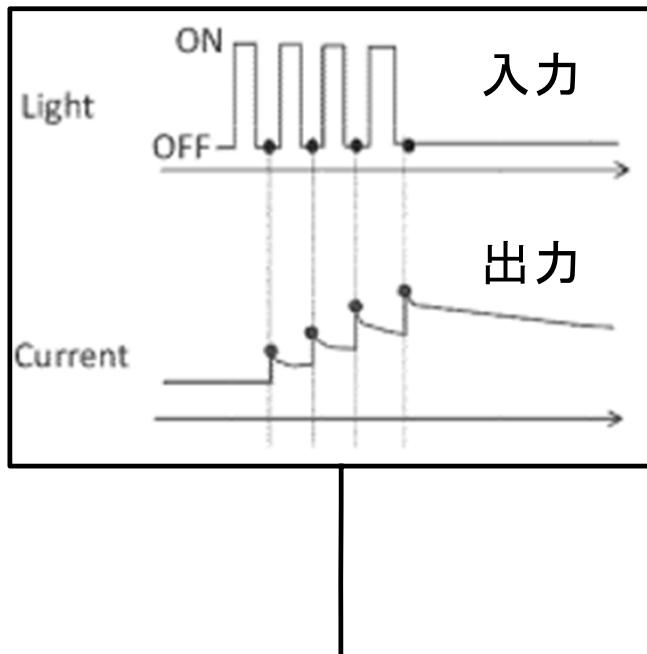


光照射履歴によって光発電性能が増強 → 欠陥の充放電

[5] P.A. Rodnyi, K.A. Chernenko, I.D. Venevtsev, 2018, published in Optika i Spektroskopiya, 2018, Vol. 125, No. 3, pp. 357–363.

ひずみと光の履歴に応答する 自己発電型人工シナプス

光パルス(波長455nm、周波数100Hz)、約5秒間
暗時の電流測定ではバイアス電圧0.8Vを印加



[3] Zacharie Jehl Li-Kao, Sergio Giraldo, Kunal Tiwari, Taizo Kobayashi, Edgardo Saucedo, "Zero-Energy Neuromorphic Visual Computing with Photocurrent-Based Memory in ZnMgO/Se Synapses", 2025 MRS Spring Meeting & Exhibit, Apr 9, 2025

想定される用途

ウェラブルセンサ+ニューラルネット複合システム

変形や応力と関連した自己給電型の機械量センサ
ネットワーク化により力学刺激と光刺激の分布から物体を
認識するエッジデバイス

スパイキングニューラルネットワークデバイスへの応用

入力信号の時系列パターンに応じてシナプス重みを変化
シナプス重み → 時系列信号 → 信号の空間分布を得られる

- ・ 上記以外に、シナプスと同じデバイスで、IoT用照明光発電
デバイスや自己光給電型のひずみセンサとしての応用も期待できる。

実用化に向けた課題

- 人工シナプス素子への適用はラボ試作品で動作確認済
- 人工シナプス素子の画像処理などへの用途開拓に伴う課題の洗い出しが必要
- 人工シナプスを取り込んだ画像処理システム開発も連携させて開発する必要もあり
- 実用化に向けては、センサー企業や画像処理システム開発メーカーと連携しながらの開発推進が求められるため伴走する企業も必要である。
- 16素子のみとPC処理の試作では画素数増の必要あり
- 繰り返し変形に強いフレキシブル材料への置き換えの検討

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・ピエゾフォトトロニクスを用いた単シナプス素子の概念設計・試作プロトタイプが完了	
現在	・単シナプス素子の基礎性能の確認完了(長期・短期増強/抑制、曲げ印加の効果などの確認)	JST創発的研究支援事業に採択
2年後	・シナプス素子の多チャンネル化・ネットワーク化の進展 ・(光学的なシナプス:文字認識応用の動作確認)	
3年後	・シナプス素子の多チャンネル化・ネットワーク化の進展 ・(力学的なシナプス:立体の物体認識応用の動作確認)	評価基礎データの提供 サンプル提供が実現
5年後	・フレキシブルなシナプス素子の性能向上 (例:曲げ耐久性試験の実施など)	サンプル提供が実現

企業への期待

- ・ ラボスケールの設備では性能安定化と大量生産が難しい
大面積多面取り生産で単価の低減と性能安定化が期待
多数個のシナプス素子のネットワーク化による応用開拓が期待
→薄膜作製や電子計測・データ処理を得意とされるメーカーとの連携を希望。
- ・ ひずみセンサを応用した機械量(加速度、圧力など)計測と光計測を組み合わせた新規な用途開拓に期待
→ センサメーカーを中心に広範囲な企業との連携を希望。

企業への貢献、PRポイント

- ・ 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- ・ 本格導入にあたっての技術指導等

本技術に関する知的財産権

発明の名称：人工シナプス及びピエゾフォトロニック素子の使用方法

出願番号：PCT/JP2025/015644

出願人：学校法人立命館

発明者：小林 大造、ザッカリー・イエル

発明の名称：人工シナプス及び方法

出願番号：特願2025-062731

出願人：学校法人立命館

発明者：小林 大造、ザッカリー・イエル

お問い合わせ先

立命館大学
研究部 BKCリサーチオフィス

TEL 077-561-2802
e-mail liaisonb@st.ritsumei.ac.jp