

## AM-FPD22 に参加して

石崎 勇真

Yuma ISHISAKI

電子情報学専攻修士課程 2022 年度修了

### 1. はじめに

7月5日～8日に龍谷大学アバンティ響都ホールにて開催された AM-FPD22 に参加し、「Synaptic characteristics of ferroelectric capacitors for neuromorphic systems」という題目で発表を行った。

### 2. 研究背景・目的

近年ディープラーニングの進歩により、第三次人工知能ブームが訪れ、ニューラルネットワークの研究は盛んにおこなわれている。ニューラルネットワークの研究は、ソフトウェアレベルのものが中心である。これらは、超高性能のハードウェア上で複雑なソフトウェアで構成されており、コンピュータのサイズは大きくなり、消費電力も大きくなってしまふ。ハードウェアレベルで実行されるニューラルネットワーク（ニューロモーフィックシステム）は、ニューロンとシナプスの要素を実装する生体模倣システムであり、人間の脳と同じ利点がある。サイズは非常にコンパクトで、消費電力も小さい。低消費電力かつ単独で機能するニューラルネットワークを実現するにはハードウェアからのアプローチが適している。本研究では、強誘電体で構成されるメモキャパシタを用いたキャパシタ型シナプスを作製して大規模なニューラルネットワークの構築を目標としている。従来の研究では、酸化物半導体で構成されるメモリスタを用いた抵抗変化型シナプスを提案していた。しかし定常的に電流が流れるため、高集積化すると低消費電力にならないと考えた。そこで、より低消費電力にするために強誘電体を用いたキャパシタ型シナプスを提案する。これはメモキャパシタの電気的特性を利用したシナプス素子であり、キャパシタンスの変化をシナプスの結合強度に

対応させて学習を行うものである。メモキャパシタは、分極が反転するときおよび充放電するときに電流が流れるため低消費電力を実現できると考えた。本研究ではシミュレーションと作製したメモキャパシタを用いて、アナログとデジタル挙動を測定し、シナプスとしての有用性を確認した。その後にそのデバイスを用いて、ニューロモーフィック実験を行い、その実験ではメモキャパシタが連想記憶デバイスとして機能することを示した。

### 3. 作製方法

#### 3.1 アイランド型デバイス

強誘電体材料は  $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$  (PZT) を用いた。作製した試料の構造を図1に示す。PZT 薄膜は、Pt/Ti 基板上に PZT をゾルゲル法で成膜した。その後、アニール処理を  $700^\circ\text{C}$ 、1分で行った。最後に上部電極として Pt を成膜した。

#### 3.2 クロスポイント型デバイス

強誘電体材料は  $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$  (PZT) と  $(\text{Bi}, \text{La})_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  (BLT) を用いた。作製した2つの試料の構造を図2に示す。PZT は同様に手順で作製された。BLT 試料は、Pt/Ti 基板上に BLT をゾルゲル法で成膜した。その後、アニール処理を  $750^\circ\text{C}$ 、30分で行った。最後に上部電極として Au を蒸着法で成膜した。



図1 アイランド型 図2 クロスポイント型

### 4. 強誘電体の測定結果

この測定では、高電圧と低電圧を印加した時のそれぞれの静電容量を測定し、シナプスとしての有用性を確認した。図3にシミュレーションとアイランド型デバイスの結果を示す。デバイスの測定結果は

シミュレーションと類似した挙動を示した。また2点の静電容量は差を示し、シナプスとして有用であることが確認できた。しかし、アイランド型デバイスは構造上、動作の確認には最適であるがニューロモーフィック実験に使用できない。そのためクロスポイント型デバイスを用いて同様の実験を行った。図4にPZTとBLT試料の測定結果を示す。PZT試料ではヒステリシス特性を得ることができ、静電容量も大きな差を示した。しかし全ての交点において安定した結果を得ることができなかつたため、ニューロモーフィック実験への応用は難しいと考えた。BLT試料ではヒステリシス特性を得ることができ、静電容量も差を示した。またほとんどの交点で安定した結果を示し、ニューロモーフィック実験に最適なデバイスであると考えた。そのためこのデバイスをニューロモーフィック実験に応用した。

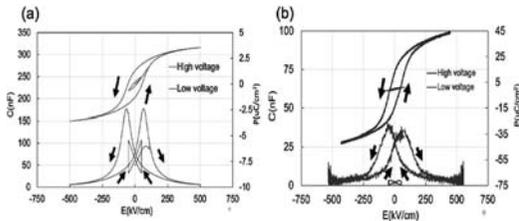


図3 P-E特性とC-E特性の測定結果

- (a) シミュレーション測定結果
- (b) アイランド型デバイス測定結果

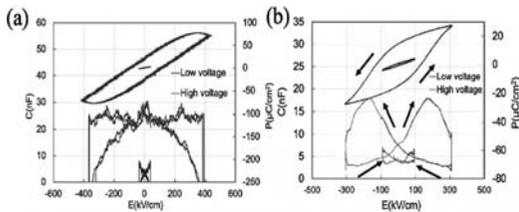


図4 クロスポイント型デバイスのP-E特性とC-E特性の測定結果

- (a) PZT試料
- (b) BLT試料

## 5. ニューロモーフィックシステム

図5にニューロモーフィック実験の概略図を示す。学習段階では、学習させる文字ピクセルに沿っ

た高電圧を上下電極の両方から印加した。そのため、メモキャパシタには高電圧が印加されて誘電分極が起こる点と電圧が印加されずに分極が起こらない点が存在する。想起段階では、学習させた文字の少し歪んだ文字ピクセルに沿った低電圧を下部電極のみに印加した。その結果、印加した低電圧と2点の静電容量で積和演算が行われ、結果が出力された。図6にニューロモーフィック実験の結果を示す。全てのデータにおいて入力した文字と最終的に出力された文字は一致しており実験の成功を確認した。またメモキャパシタはニューロモーフィックデバイスとしての有用性を示し、連想記憶として機能することを示した。

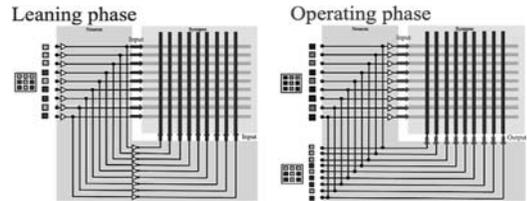


図5 ニューロモーフィック実験の構成と動作

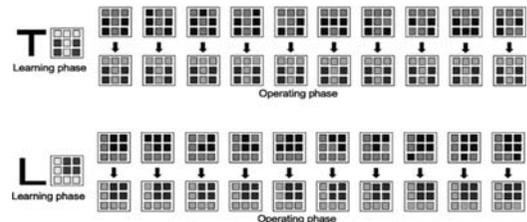


図6 ニューロモーフィック実験の結果

## 6. おわりに

今回の学会発表を通して、多くの方々からご意見をいただきました。企業や他大学の教授の方々からのご指摘は大きな刺激となり、今後の研究の発展や意欲を高めるこれ以上ない経験となりました。

最後に発表や研究に対して多大なご指導をいただいた木村睦教授、三菱マテリアル株式会社の羽賀様、土井様、北陸先端科学技術大学院大学の徳光教授に深く感謝いたします。