

MIPT、生体メモリを模倣するデバイスを作製

MIPT (Moscow Institute of Physics and Technology)の研究チームは、生きた脳のシナプスのように働くデバイスを作った。これは、情報を蓄積し、長くアクセスしないしていると、徐々にそれを忘れていく。二次メモリストとして知られる新しいデバイスは、酸化ハフニウムに基づいており、生物脳が学習する仕方を真似るアナログニューロコンピュータ設計への展望を提供している。研究成果は、ACS Applied Materials & Interfaces に掲載された。

ニューロコンピュータは人工知能(AI)を有効にするものであり、脳の働き方を模倣する。それはシナプスの形でデータを保存する。シナプスは、神経細胞、つまりニューロン間を接続するネットワークである。ほとんどのニューロコンピュータは、従来のデジタルアーキテクチャであり、仮想ニューロンやシナプスを起動するために数学モデルを使う。

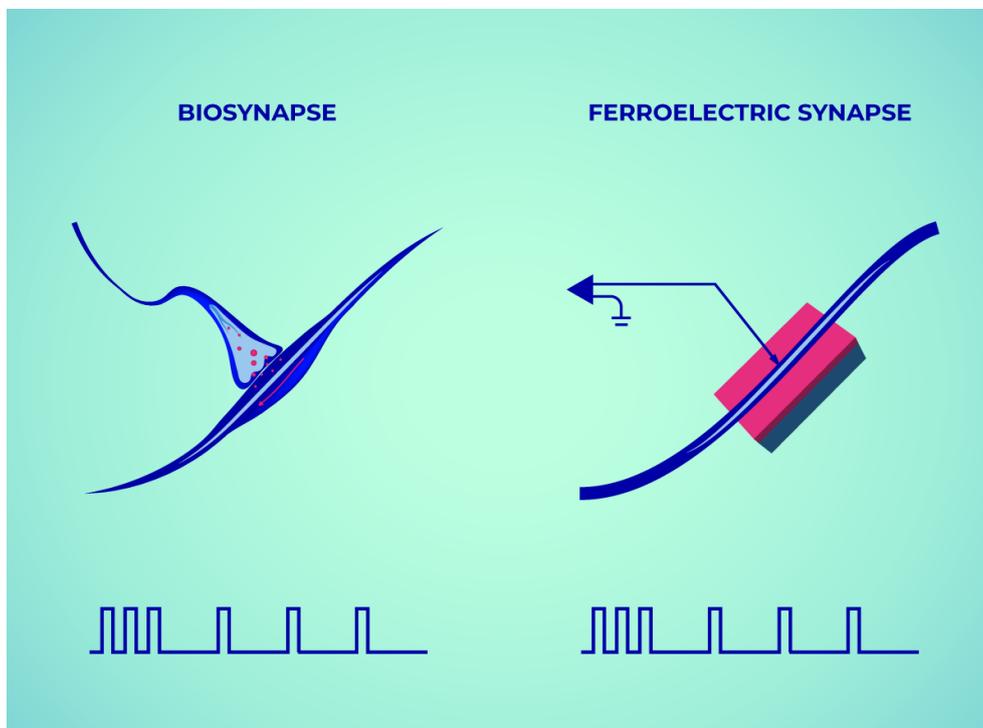


図 1 左の画像は、生物の脳のシナプスを示している。人工アナログ(右)の背後にあるインスピレーション。右は、強誘電体トンネル接合として実装されたメモリストデバイス。つまり、チタンナイトライド電極(ブルーの線)とシリコン基板(マリンプルー)の間に挿入された薄い酸化ハフニウム膜(ピンク)、これは第 2 電極として折り畳まれている。電気パルスが、酸化ハフニウムの極性、つまり伝導性を変えることで高抵抗と低抵抗の間

でメモリスタをスイッチングする(Credit: Elena Khavina/MIPT Press Office)。

もう1つの方法として、実際のオンチップ電子コンポーネントが、ネットワークで個々のニューロンとシナプスを表す。この、いわゆるアナログアプローチは、計算を飛躍的に高速化し、エネルギーコストを減らす可能性がある。

仮定のアナログニューロコンピュータのコアコンポーネントはメモリスタ(memristor)である。この言葉は、“memory”と“resistor”の混成語であり、それが何であるかを非常にうまく要約している。つまり抵抗として機能するメモリセルである。大雑把に言うと、高抵抗はゼロをエンコードし、低抵抗は1をエンコードする。これは、「メモリ」と「レジスタ」の混成語、レジスタとして機能するメモリセルをうまくまとめている。要するに、高抵抗は0をエンコードし、低抵抗は1をエンコードする。これは、シナプスが2つのニューロン(1)間の信号を伝えるのと類似している。一方、シナプスの不在は、無信号、つまり0になる。

しかし、問題点がある。実際の脳では、活性シナプスは、時間とともに強くなる傾向があり、一方、不活性シナプスは、反対も真である。シナプスの柔軟性として知られるこの現象は、自然学習と記憶の基礎の一つである。それは、試験のために詰め込みの生物学を説明している、また、めったにアクセスしない記憶が減衰する理由も説明している。

2015年に提案された二次メモリスタは、自然の記憶力の再現、シナプス柔軟性で完成させようとする試みである。これを実装するための第1メカニズムは、メモリスタにナノサイズの伝導ブリッジを架けることに関わる。最初に抵抗を減らすと、ブリッジは時間とともに自然に衰退し、忘却をエミュレートする。

論文の筆頭著者、MIPT ニューロコンピューティングシステム Lab の Anastasia Chouprik は「このソリューションの問題は、デバイスが、時間とともに挙動を変える傾向があり、長い動作の後に、壊れることである」と言う。「シナプス柔軟性を実装するためにわれわれが用いたメカニズムは、もっとロバストである。実際、システムの状態を1000億回スイッチングした後、それはまだ正常に動作していた。したがって、研究チームは耐久性テストを中止した」。

ナノブリッジの代わりに MIPT チームは、自然メモリを真似るために酸化ハフニウムを利用した。この材料は、強誘電体である。その内部拘束電荷分布、電気偏極は、外部電界に応じて変わる。電界が除去されると、その材料は、それが獲得した分極を維持する、

強磁性体が磁化されたままにとどまる仕方である。

物理学者は、その二次メモリスタを強誘電体トンネルジャンクションとして実装した、薄いハフニウム酸化膜を挿入された2つの電極(図1、右)。デバイスは、電気パルスにより低抵抗と高抵抗状態の間で切替え可能である。電気パルスが、強誘電体膜の分極、したがってその抵抗を変える。

「われわれが直面した主要な課題は、適切な強誘電体層の厚さを考えることだった。4nm が理想的であることが証明された。それをわずか1nm 薄くすると、強誘電体特性はなくなる、厚い膜は、電子をトンネリングするには障壁が広すぎる。分極切替えでわれわれが変調できるのはトンネリング電流だけである」と Chopuprik は付け加えている。

ハフニウム酸化膜が他の強誘電体材料、ハフニウム酸化膜などより優れているのは、それが現在のシリコン技術ですでに使われていることである。例えば、インテルは、2007年以來、ハフニウム化合物をベースにしたマイクロチップを製造している。

想像力の成果では、研究チームは、シリコンと参加ハフニウム酸化膜の界面における欠陥を利用することで「忘れやすさ」を実行した。それら不完全性は、ハフニウムベースのマイクロプロセッサの不利益と見なされており、エンジニアは、他の幻想を化合物に組み込むことで、その不完全さを回避する方法を見つけなければならなかった。そうしないで、MIPT チームは、その欠陥を利用した。それによってメモリスタの伝導性が時間とともに減衰する。正に、自然の記憶と同じである。