

生体模倣型情報処理に向けたドリフト拡散現象を利用した酸化物トランジスタの開発

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

生体ニューラルネットワークは、多数のニューロンと呼ばれる神経組織から構成され、ニューロンは生物の情報処理において重要な役割を担う(図(a))。ニューロンは外部からの刺激に対してリーク積分発火というふるまいを示す(図(b))。外部からスパイクと呼ばれるパルス状の刺激を受けるたびに膜電位と呼ばれる内部パラメータが上昇する。一方、信号の入力がないときは、時間とともに減少する。このような膜電位のふるまいは、リーク積分動作と呼ばれている。膜電位がある閾値を超えるとニューロンは発火し、スパイクを出力する。

このような生体神経組織の振る舞いを模倣することで、生体のように非常に小さなエネルギー消費で柔軟な情報処理を実現しようとするのが生体模倣型情報処理である。これまで我々は、固体中イオンのドリフト拡散現象に着目して、リーク積分動作を模倣したトランジスタ素子を報告してきた。今回は、トランジスタの構造、特に絶縁膜の制御で、イオンのドリフト拡散現象を制御できるのではないかと考え、これを利用したリーク積分動作の実証を試みたので報告する。

■ 活動内容

・素子の作製方法

酸化物半導体であるチタン酸ストロンチウムをチャンネルとした、電界効果トランジスタを作製した。この物質の格子中に含まれる酸素欠損 V_{O}^{2+} イオンが物質中を移動することでリーク積分動作が実現すると考えられる(図(c))。ゲート絶縁膜としては HfO_x を用い、リソグラフィによって素子を作製した。

・素子の評価

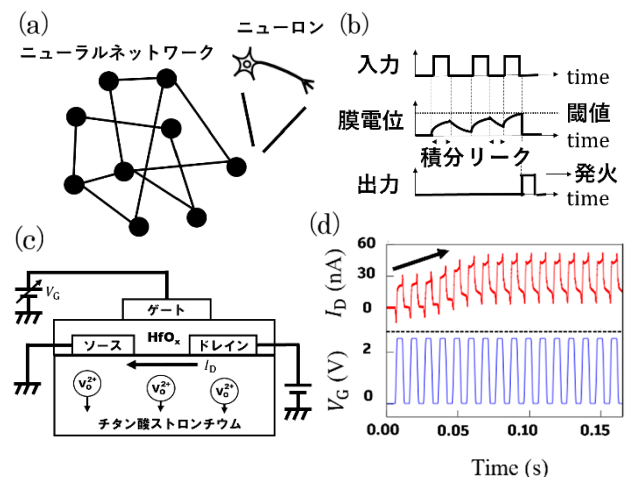
作製した素子はon/off比 10^4 の良好なトランジスタ特性を示した。次にゲート電圧パルスを加えると図(d)のようなドレイン電流の応答が見られた。電圧パルスを加えるとドレイン電流が徐々に増加していくふるまいが見られる。これは、生体ニューロンのリーク積分動作に類似しておりその時間スケールも 21 ms と、生体ニューロンのそれと近い値を持つことがわかった。このように、我々はトランジスタ素子で生体ニューロンの動作を模倣することに成功した。

・動作原理

素子のリーク積分動作には、酸素欠損のドリフト拡散が寄与していると考えられる。正のゲート電圧を印加すると、酸素欠損は正の電荷を持つので、チタン酸ストロンチウム中を移動する。これに伴って酸素欠損密度分布が変化するが、酸素欠損はチタン酸ストロンチウムに対してドナーとして働くので、トランジスタチャンネルの電子濃度に変調される。この時、イオンは電子と比べゆっくりと移動するので、21 msという比較的長い時間スケールで変化する、図(d)のようなドレイン電流の過渡的応答が見られたと考えられる。

・絶縁膜の効果

我々はこれまで、異なる絶縁膜をもつ、チタン酸ストロンチウムをチャンネルとした電界効果トランジスタを報告してきた。今回作製した HfO_x を絶縁膜とする素子は、これまで報告してきたパリレン絶縁膜を用いたトランジスタと比較して10~50倍高速に動作する。生体模倣型情報処理において、素子の時間スケールは情報処理性能を決める重要なパラメータであることから、このようなリーク積分動作の時間スケールの制御性は電力効率に優れた生体模倣型情報処理の実現に貢献すると期待できる。



図(a) ニューラルネットワークを構成するニューロン。

(b) ニューロンのリーク積分発火 (模式図)。(c) チタン

酸ストロンチウムをチャンネルとするトランジスタ。(d)

リーク積分動作の測定結果。

代表発表者 侯 祐輝(こう ゆうき)
所 属 東京理科大学 創域理工学研究科
産業技術総合研究所 電子光基礎技術部門
問合せ先 〒305-8565 茨城県つくば市東 1-1-1
MAIL : molcook0302.kou@aist.go.jp

■キーワード: (1) ニューラルネットワーク
(2) 電界効果トランジスタ
(3) リーク積分動作

■共同研究者: 鬼頭 愛 産業技術総合研究所
井上 悠 産業技術総合研究所
田村 雅史 東京理科大学
井上 公 産業技術総合研究所