相転移材料の熱自由度を利用したニューロン回路とその自律動作

Autonomous Operation of Neuron Circuits Using Thermal Degree of Freedom in Phase Transition Materials

東大マテ　○矢嶋 赳彬，西村 知紀，鳥海 明
Univ. of Tokyo, ○Takeaki Yajima, Tomonori Nishimura, and Akira Toriumi
E-mail: yajima@adam.t.u-tokyo.ac.jp

人工知能アルゴリズムをより低消費電力で実装するために、専用ハードウェアの設計が急務となっている。低消費電力化のためには、クロック信号に合わせて 0/1 を切り替える従来のデジタル動作ではなく、神経回路のようにスパイク信号を利用した非同期で自律的な回路動作が有効である。そのような回路ではスパイク信号をキャパシタ電荷として積分し、その積分値がある閾値より上か下かの判別をするという「積分発火」がローカルに行われている[1]。しかしここで使われるキャパシタは微細化することができず、回路の集積化を妨げてきた。

ところで遷移金属酸化物の中では、温度・磁化・光・歪み等さまざまな非電荷自由度が重要な役割を演じており、特に相転移においてそれらの自由度は相互作用しながら劇的な変化を示す。キャパシタにおける「電荷」の自由度を、材料の非電荷自由度で置き換えられれば、キャパシタを用いない新しいニューロン回路を実現できる可能性がある。本研究では実際に、相転移材料の熱自由度を利用することで「キャパシタレス」なニューロン設計を行い、さらに周辺回路を用いない自律動作を実験的に実証した。

相転移材料として、ここでは室温近傍で温度に対して金属絶縁体転移を示す VO_2 を利用した。この材料は室温において絶縁状態にあるが、電圧を印加するとジュール熱が蓄積し、蓄積熱量（＝温度）が材料で決まる閾値（～320K）を超えたところで金属状態となる（Fig.1a,b）。このようにスパイク信号を電荷としてではなく熱として積分し、VO_2 の相転移によって閾値判別を行うのが、本研究で作製した“キャパシタレス“ニューロン回路である（Fig. 2）。さらに VO_2 の金属状態/絶縁状態を回路の双安定状態にそれぞれ対応づけることで、Fig. 3 に示すようにニューロン回路の自律動作を実証した。作製した「キャパシタレス」なニューロン回路は微細化が可能であり、それに伴って消費電力も低減できると予想される。本研究は JST-CREST Grant Number JPMJCR14F2 の助成を受けて行われた。[1] G. Indiveri, Frontiers Neurosci. **5**, 73 (2011).

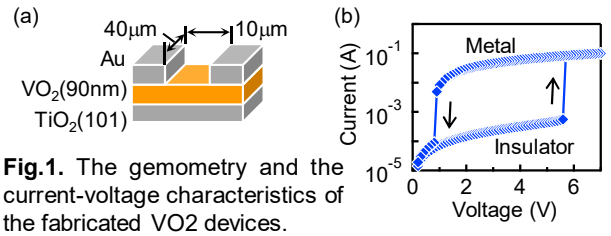

Fig.1. The gemometry and the current-voltage characteristics of the fabricated VO2 devices.

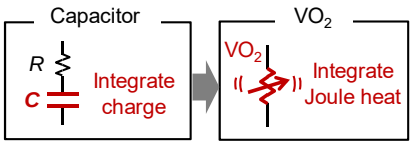

Fig.2. In this research the charge integration of capacitors is functionally substituted by the heat integration in VO_2.

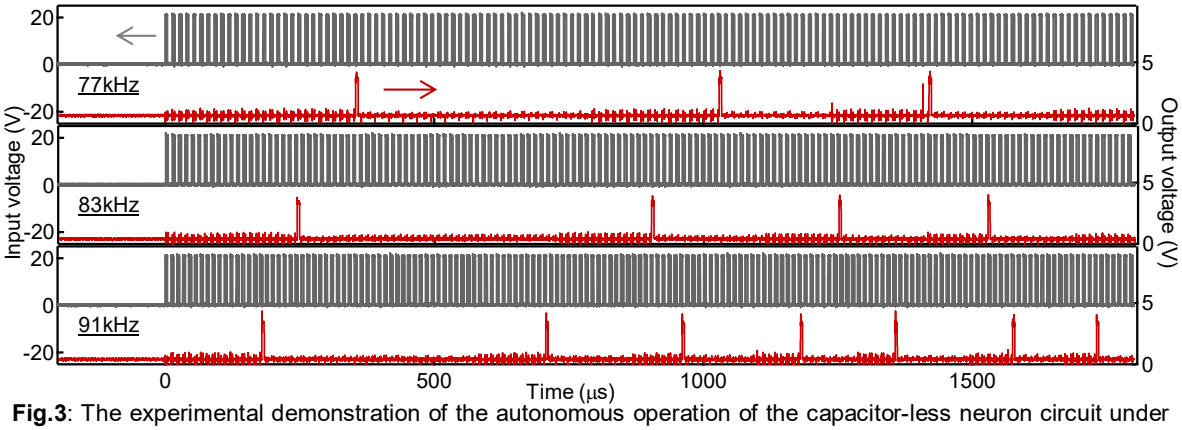

Fig.3: The experimental demonstration of the autonomous operation of the capacitor-less neuron circuit under 4 μs input spikes with various frequencies.

© 2018年 応用物理学会