

VO₂ ニューロンにおけるスパイク誘起-金属絶縁体転移Spike-Induced Metal-Insulator Transition in VO₂ Neuron Circuits

東大マテ ○矢嶋 超彬, 西村 知紀, 鳥海 明

The 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。特に従来回路の限界を超えて低消費電力化を行うためには、個々のニューロンやシナプス回路に基づく“ニューロモルフィックハードウェア”が有望である。しかし実際には個々のニューロン回路が巨大であり、回路の集積化が難しいという深刻な問題がある。そこで近年、回路機能の一部を材料特性で置き換えることで回路の集積化を容易にしようという発想のもと、VO₂ 等の金属絶縁体転移材料を用いたニューロン回路が提案されている[1]。この材料は、室温で電圧を印加すると、ジュール熱と電場に刺激されて絶縁状態から金属状態へと相転移する。さらに我々のグループは、VO₂ に複数のスパイク電圧を連続で印加すると、単一スパイクでは転移しないが複数スパイクでは転移するという、ニューロンの積分発火特性と類似の性質を示すことを明らかにしてきた[2]。しかし、スパイク電圧のように時間に対して激しく変動する電圧に対して、VO₂ がどのような転移を示すのか系統的に調べた研究はない。そこで本研究では、VO₂ に様々な周波数の AC 電圧を印加することで、変動電圧によって誘起される金属絶縁体転移の支配パラメータを明らかにした。

厚み 90nm の単結晶 VO₂ 薄膜を TiO₂(101)基板上に製膜し、金電極によって幅/長=40/10 μ m の 2 端子素子を作製した。1kHz 以下の AC 電圧に対しては、VO₂ 薄膜は Fig.1a のように半周期ごとに金属絶縁体転移を繰り返した。これは瞬間電圧に対して金属絶縁体転移が誘起されるという点で、DC 電圧に対する金属絶縁体転移と同じである。一方で 100kHz 以上の AC 電圧を印加したところ、Fig.1a のように半周期ごとの転移は見られなくなり、金属状態（または絶縁状態）が維持されるようになった。そしてこの金属状態と絶縁状態は AC 電圧の振幅によって切り替わり、その際にはヒステリシスを示した。Fig.1b はこれらの結果を AC 電圧の周波数についてまとめたものである。AC 電圧の周波数に対して従来の DC 転移から高周波での特異な振る舞い (“AC 転移”) へと遷移することがわかる。AC 転移に関してより詳細に調べるために 1MHz での特性に着目すると、Fig.1 のように電流と電圧の RMS (root mean square) 値が DC 転移の電流電圧特性と一致することが分かった。これは、変動電圧に対する VO₂ の転移が、純粋にジュール熱 ($\propto V^2$) に起因しており、変動電圧の二乗平均で支配されることを意味している。これをもとに VO₂ ニューロンについて考えると、VO₂ ニューロンが発火するためには、入力スパイクの間隔 ($\sim t_{in}$) を VO₂ の熱拡散時間 (τ_{mat}) より短く設計して、入力電圧の二乗平均をニューロンの閾値以上にしなければならないことが分かった。本研究は JST-CREST Grant Number JPMJCR14F2 の助成を受けて行われた。[1] M. D. Pickett, Nature Nanotech. **12**, 114 (2013). [2] 矢嶋, JSAP 春 (2016).

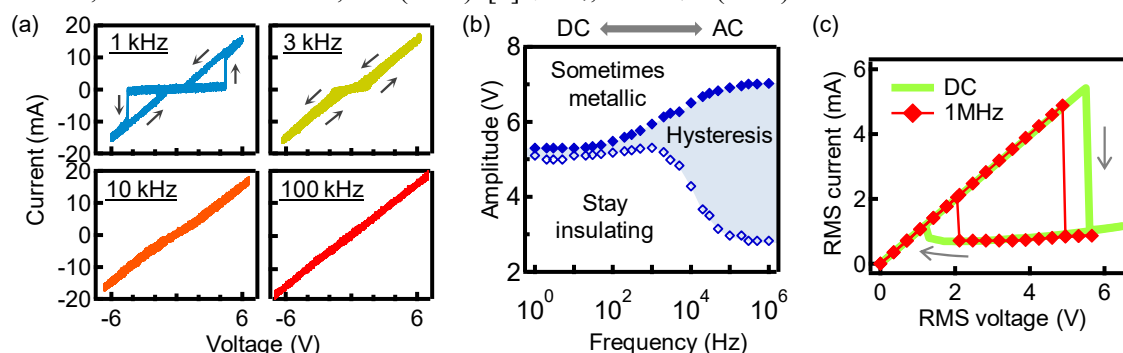


Fig. 1. (a) AC current-voltage characteristics of the VO₂ two-terminal device for various AC frequencies. (b) Frequency dependence of the VO₂ metal-insulator transition induced by the AC voltage. (c) RMS (root mean square) current vs. RMS voltage in VO₂ for the 1MHz AC voltage.