二端子ニューロモルフィック素子に向けた酸化物中のプロトン揮発性の制御

Engineering Proton Volatility in Oxides for Two-Terminal Neuromorphic Devices

東大マテ¹ ⁰矢嶋 赳彬¹, 西村 知紀¹, 鳥海 明¹

Univ. of Tokyo¹, ^OTakeaki Yajima¹, Tomonori Nishimura¹, and Akira Toriumi¹

E-mail: yajima@adam.t.u-tokyo.ac.jp

従来のLSI 回路はディープラーニングに対するエネルギー効率が悪いため、生体の神経回路を 参考にした新しいハードウェアの構築が喫緊の課題となっている。しかし従来のトランジスタと キャパシタのみを用いる回路は構造が複雑化しやすいという問題があり、単純な回路でニューロ モルフィックな機能を実現するための新しい素子開発が望まれている。ところで生体の神経回路 を構成する素子は、短時間電位を維持するニューロンや、入力の時間差に応じて重みを変えるシ ナプスのように、特定の時定数の基づいて動作する。従って、任意の時定数を持つ2端子揮発メ モリを設計できれば、ニューロモルフィック回路を単純化するのに大きく役立つと考えられる。 これまで我々は、SiO₂上のアナターゼ TiO₂薄膜中に電気化学的にプロトンをドープできること、 ドープされたプロトンがある時定数で流出すること、そしてプロトンの出入れで TiO₂の結晶構造 が変化しないことを示してきた[1]。本研究では、さらに数 nm の SiO₂キャップを用いて、TiO₂薄 膜中に 5×10¹⁴/cm²を超える数のプロトンを閉じ込められること、また SiO₂キャップの厚みによっ て閉じ込められたプロトンの流出速度を制御出来ることを確認した。これらの結果は、TiO₂と SiO₂ を基本要素として固体中のプロトンの動きを制御し、新しい 2 端子ニューロモルフィック素子を 設計できる可能性を示唆している。

実験では、パルスレーザー堆積法と熱処理によって、SiO₂/Si 基板上に 50nm の多結晶アナター ゼ TiO₂ 薄膜を作製した[2]。さらに SiO₂ キャップをパルスレーザー堆積法によって作製し、この 時 TiO₂ 中に生成する酸素欠損を埋めるために再び熱処理を行った。作製した試料に、Al のアノー ド電極を蒸着し、アルカリ溶液中での酸化還元反応によって TiO₂ 薄膜にプロトンをドープした。 これまでの研究から、TiO₂薄膜(主に TiO₂/SiO₂界面)にプロトンがドープされることは分かって いたが、Fig. 1a のような SiO₂ キャップによってより大量のプロトンが閉じ込められると考えた。 その結果、SiO₂ キャップによって、ホール測定から見積もられる電子濃度(~プロトン濃度)が 劇的に増加すること[Fig. 1b]、さらにこのプロトンの流出速度を SiO₂ キャップの厚みによって制 御できることが分かった[Fig. 1c]。[1] T. Yajima *et al.*, JSAP Spring (2016). [2] T. Yajima *et al.*, Physica Status Solidi A (2016).



Fig. 1: (a) A schematic illustration of proton confinement in the anatase TiO_2 thin film with SiO_2 capping. (b) The sheet carrier density (N_{2D}) in the 50 nm TiO_2 thin film as a function of the SiO_2 capping layer thickness, which was extracted from the Hall measurement at *x* hours after the electrochemical doping. The electrochemical doping period was fixed to 60 sec. (c) The time decay of the sheet conductivity (~ proton concentration) of the SiO_2 -capped TiO_2 thin film after the electrochemical doping for 15 sec, except for the 4 nm cap which was doped for 420 sec.

10000001-208