

VMCO メモリの動作原理の理論的検討

Theoretical studies on the switching mechanism of VMCO memories

名大工¹, 名大院工², 名大未来研³, 千葉大院理⁴,○中西 徹¹, 長川 健太², 洗平 昌晃³, 中山 隆史⁴, 白石 賢二³Department of Eng., Nagoya Univ.¹, Grad.Sch.of Eng., Nagoya Univ.², IMaSS, Nagoya Univ.³, Chiba Univ.⁴○T. Nakanishi¹, K. Chokawa², M. Araidai³, T. Nakayama⁴, K. Shiraishi³E-mail: nakanishi.toru@e.mbox.nagoya-u.ac.jp

1. 研究背景

現在、抵抗変化型メモリは数多く報告されているが、それらは電流パスとしてフィラメントを形成するため、電流値に面積依存性がなく微細化には適さない。しかし、近年フィラメントを形成しない抵抗変化型メモリである VMCO (Vacancy Modulated Conductive Oxide) メモリが発明され、注目を集めている [1]。VMCO メモリとは Fig.1 に示すように酸化膜を電極で挟んだ積層構造を持つ不揮発性メモリであり、大きな特徴として電流値の面積依存性、低消費電力などが挙げられる。そのため、メモリの高密度化が容易であり、次世代不揮発性メモリとして大きく期待されているメモリの1つである。しかし、VMCO メモリの動作原理は未だ解明されていない。

本研究では密度汎関数理論に基づく第一原理計算によって、VMCO メモリの動作原理のモデルを提唱する。

2. 動作原理の仮説

VMCO メモリとは酸化膜に酸素空孔 (Vo) を導入し電気抵抗を変化させる抵抗変化型メモリである。よって、Vo を制御することによってスイッチングを実現していると考えられる。我々は Fig.2 に示すように Vo の制御が TiO₂/a-Si 界面で起こっているという仮説を立てた。よって我々は TiO₂/a-Si 界面に対する酸素を介した反応に注目した。TiO₂/a-Si 界面で起こり得る反応は、TiO₂ 中に Vo を形成する反応と Si を酸化し SiO₂ を形成する反応の2つである。これらの反応が電圧印加によって引き起こされるかを調べるため、それぞれの反応の際のエネルギー変化を計算によって調べ、TiO₂/Si のバンドダイアグラムと共に考察を行った。

3. 計算結果及び動作原理の考察

計算の結果、TiO₂ 中の1つの Vo 形成エネルギーは 4.41eV、SiO₂ の形成エネルギーは 8.42eV であることが分かった。この結果より、TiO₂ 中に2つ Vo を形成し、Si を酸化するという反応は 0.4eV 程度のエネルギー損が発生し、単純に考えた場合自発的には起こらないと考えられる。

続いてバンドダイアグラムも考慮に入れて考察を行う。第一原理計算により、TiO₂ の酸素欠陥準位は伝導帯下端から 0.5eV 下に現れることが分かった。Fig.3 に TiO₂ と Si のバンド図を併せて示す。Fig.3 より、TiO₂ の

欠陥準位より Si 側のフェルミ準位の方がエネルギー的に低い位置にあることが分かる。そのため、仮に Vo が形成された場合、欠陥準位を占有する電子は Si 側へ落ち、エネルギーの利得が発生する。この利得は Vo 形成及び Si の酸化反応におけるエネルギー損を上回るため、Vo 形成反応が進み、低抵抗状態 (LRS) が安定となる。また、電圧を印加することで電子の移動の際のエネルギーの利得を制御することができ、高抵抗状態 (HRS) を安定状態にすることも可能である。

以上より、電圧印加により Vo 形成及び Si の酸化反応を制御可能であり、これにより VMCO メモリの HRS と LRS をスイッチングできると考えられる [Fig.4]。実際の実験結果との対応を含めた詳しい議論は当日行う。

References

[1]. B.Govoreanu, et al, VLSI Symp. Tech., 2015

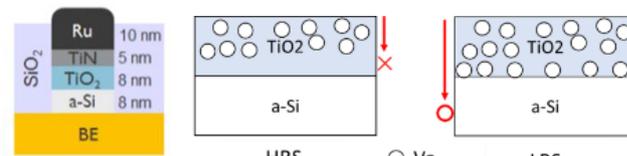
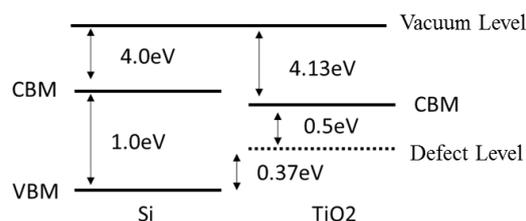


Fig.1 Schematic illustration of VMCO memory.

Fig.2 Our hypothesis of switching mechanism of VMCO memories. HRS and LRS are switched by controlling oxygen vacancies nearby TiO₂/a-Si interface.Fig.3 The band structures of TiO₂ with Vo and Si.

Defect level is higher than valence band maximum of Si by 0.37eV.

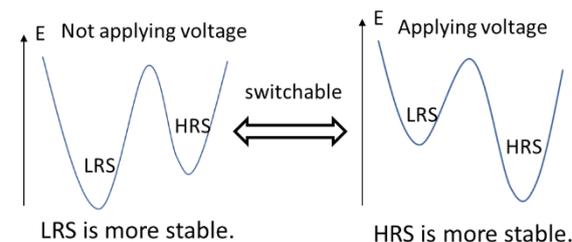


Fig.4 Stable state is switchable by applying voltage.