

マイクロマグネティクスシミュレーションを用いた 3D-MQCA NAND/NOR ゲートの提案

岩城圭亮、野村 光、中谷亮一

(大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻)

Numerical simulation study of 3D-MQCA NAND/NOR logic gate

K. Iwaki, H. Nomura, and R. Nakatani

(Graduate School of Engineering, Osaka Univ.)

磁性量子セルラーオートマタ(MQCA: Magnetic quantum cellular automata[1])をはじめとする微小磁性体を用いたデバイスは、低消費電力・低発熱といった特徴を持つ。このため、次世代を担う情報処理デバイスとして期待されている。MQCA 素子として、平面的に磁性体を配置した素子や[2], 近年では、三次元的な構造を有するものも提案されている [3]。しかしながら、三次元化した際の微小磁性体間の相互作用の複雑さのため、磁性多層膜を有するドットから構成される 3D-MQCA は未だ提案されていない。そこで、本研究では 3D-MQCA NAND/NOR ゲートの構造を提案し、OOMMF (the object oriented micromagnetic framework)を用いた動作検証を行う。

Figure 1 に、3D-MQCA NAND/NOR ゲートの概要図を示す。本素子は、3つの入力(Input)セルと一つの出力(Output)セルを有する。静磁気相互作用力により、InputA と Output は強磁性的に、InputB と Output, InputC と Output は反強磁性的に結合している。それぞれの Input から Output への漏洩磁場強度が、十分に近い値となるよう素子の幾何構造を決定している。

マイクロマグネティクスシミュレーション条件として、セルサイズは $5 \times 10 \times 5 \text{ nm}^3$ 、交換スティフネス定数 $A = 1.3 \times 10^{-11} \text{ A/m}$ 、飽和磁化 $M_s = 800 \text{ kA/m}$ とした。外部磁場は x-y 平面内でドットの磁化容易軸から 45° の向きに印加し、その強度を 0 kA/m から 100.5 kA/m まで 1.26 kA/m 刻みで変化させた。

Figure 2 に代表的なシミュレーション結果を示す。Fig. 2(a)は $(I_A, I_B, I_C) = (0, 0, 0)$ と設定した外部磁場を印加する前の磁化状態を、Fig. 2 (b)は外部磁場を 57.8 kA/m 印加した際の磁化状態を示す。この場合、InputB NAND InputC = Output となり、NAND ゲートとして動作していることがわかる。Input ならびに Output の取り得るすべての初期状態($2^4 = 16$ 通り)からシミュレーションを行った結果、外部磁場強度が 57.8 kA/m から 64.1 kA/m の間で本素子は、NAND/NOR プログラマブルゲートとして動作することが確認された。

本研究結果により、これまで二次元的な配置でのみ実現されていた MQCA 素子が三次元方向に拡張可能であることが示された。素子を三次元化することで、演算素子の密度を向上させることができる。さらに、ホログラフィックメモリとなど、三次元的な情報の書き込み、読み出しを行うデバイスとの融合も期待できる。

参考文献

- 1) R. P. Cowburn and M. E. Welland, *Science*, **287**, 1466(2000)
- 2) H. Nomura and R. Nakanani, *Appl. Phys. Express*, **4**, 013004(2011)
- 3) R. Lavrijsen, *et. al*, *Nature*, **493**, 647(2013)

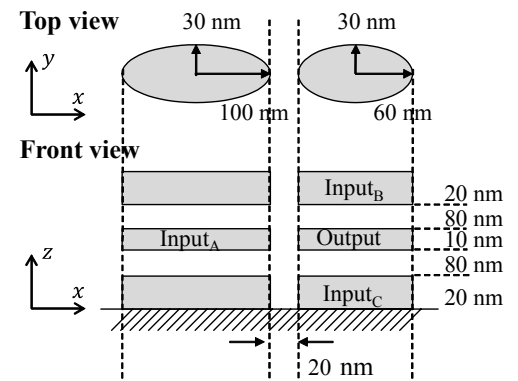


Fig.1 Schematic illustration of the 3D-MQCA NAND/NOR logic gate.

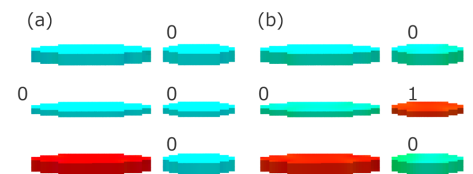


Fig.2 (a)Initial state and (b) logic operation result of the 3D-MQCA.