

## 分子膜ギャップ型原子スイッチの SPICE モデル

### A behavioral model of molecular gap atomic switches for SPICE

北海道大学<sup>1</sup>, 早稲田大学<sup>2</sup> ○(B)久保田 宙<sup>1</sup>, 長谷川 剛<sup>2</sup>, 赤井 恵<sup>1</sup>, 浅井 哲也<sup>1</sup>

Hokkaido Univ.<sup>1</sup>, Waseda Univ.<sup>2</sup>, °Hiroshi Kubota<sup>1</sup>, Tsuyoshi Hasegawa<sup>2</sup>, Megumi Akai-Kasaya<sup>1</sup>, Tetsuya Asai<sup>1</sup>

E-mail: kubota.hiroshi.ik@ist.hokudai.ac.jp

不揮発メモリ素子である原子スイッチの AI デバイス応用が盛んに行われている。その応用範囲拡大のため、SPICE などの回路シミュレータで利用可能な原子スイッチのモデル構築の必要性が高まっている。本研究では分子膜ギャップ型原子スイッチの定性的数理モデルを構築し、その HSPICE 実装および評価を行った。

原子スイッチの電極内銀イオンおよび電極間の銀原子の状態(空間的局所性)をそれぞれ $\sigma_r, \sigma_0$ とする(図1)。印加電圧 $V_{in}$ を外力として $\sigma_r$ (電極の内部状態)が変化し、この $\sigma_r$ を外力として $\sigma_0$ (電極間の状態)が同図のように変化すると仮定した。原子スイッチが持つ双安定性を二重井戸ポテンシャルで表現し、ブリッジが形成される前(OFF状態)と、ブリッジが形成・維持される(ON状態)の二状態を $\sigma_0$ で表わす(図2)。このポテンシャルから図3右に示すダイナミクスを求めた。また、原子スイッチの ON/OFF 抵抗比は数桁あるため、抵抗値を $\sigma_0$ の指数関数( $R = k_R \times \exp(-\beta\sigma_0)$ )で表した( $k_R, \beta$ は定数)。

この原子スイッチモデルを HSPICE に実装した。図3左にその DC スウィープ特性を示す。図4は周期の異なるパルス電圧を与えた場合のコンダクタンスの時間変化を表したものである((a)は5秒周期,(b)は2秒周期のパルス)。文献[1]で示されている分子膜ギャップ型原子スイッチの特性にフィッティングできている。今後は当モデルをレザバー計算などに組み込む予定である。

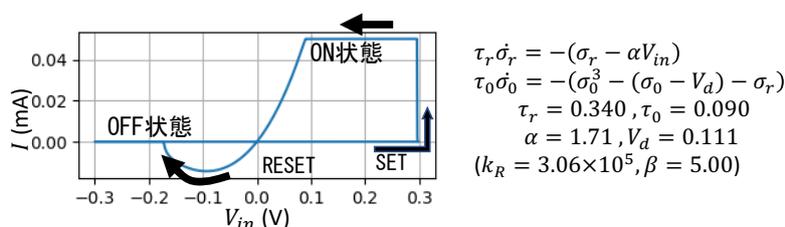


図3: 提案数理モデル(右)とDCスウィープ特性(左)

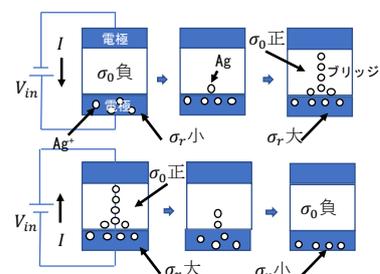


図1: 原子スイッチの定性モデル

(上: ブリッジ形成過程;

下: ブリッジ消失過程)

$$V \equiv \frac{\sigma_0^4}{4} - \frac{(\sigma_0 - V_d)^2}{2} - \sigma_r \sigma_0$$

$V_d$ は定数

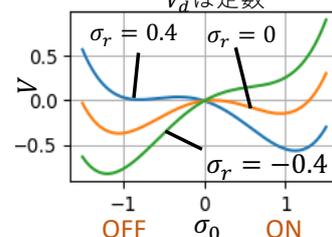


図2: 仮定したポテンシャル

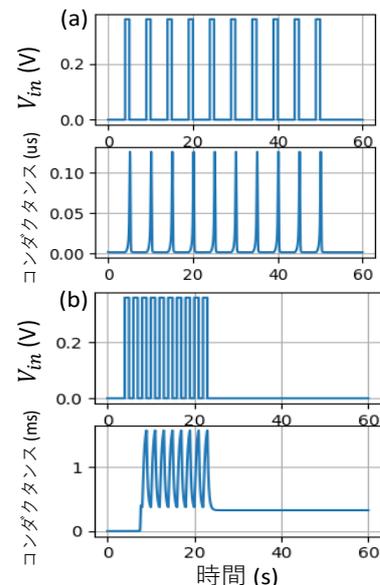


図4: 振幅0.36 V, 幅1.0 sのパルス波

によるコンダクタンスの変化

参考文献: [1] Suzuki, A., Tsuruoka, T., & Hasegawa, T.: Time-Dependent Operations in Molecular Gap Atomic Switches. *Phys. Status Solidi B*, 256, 1900068, (2019).