

# 量子ナノ構造を用いた反応拡散型ニューラルネットワークの構成法

Reaction-Diffusion Neural Networks for Semiconductor Quantum Nano-Structures with Single Electron Circuits

加賀谷 亮      大矢 剛嗣      浅井 哲也      廣瀬 哲也      雨宮 好仁  
 Ryo Kagaya      Takahide Oya      Tetsuya Asai      Tetsuya Hirose      Yoshihito Amemiya

北海道大学 大学院情報科学研究科  
 Graduate School of Information and Science Technology

## 1 まえがき

量子ナノ構造上にニューラルネットワークを構成する一つの方法を提案する。軸索や樹状突起上の神経インパルスの伝搬を、量子ナノ構造上のトンネル事象の伝搬に対応づける。近年、量子ナノ構造を用いた「反応拡散デバイス」に関する研究が行われており、本稿ではその構成を応用した単電子ニューロン回路を提案し、その応用として競合ニューラルネットの構成例について述べる。

## 2 単電子スパイクニューロン回路

図1に提案する回路構成を示す。回路は単電子トンネル振動子をキャパシタで結合したものである。ここで、 $V_{dd}$ は正の電圧、 $-V_{dd}$ は負の電圧でバイアスされた量子ドットを表す。軸索と樹状突起の回路を、トンネル接合におけるトンネル事象が双方向に伝搬するスパイク列の伝送（反応拡散）回路で表す。ここで、 $C_5$ のバイアス電圧（ $V_L$ ）を、(i)  $C_6$ における電子トンネルが $C_5$ のトンネルを誘発しない、(ii)  $C_2, C_3$ と $C_4$ における電子トンネルが $C_5$ のトンネルを誘発する、ように設定する。これによって、細胞体回路は、樹状突起からのスパイク列を軸索方向にのみ伝える一方伝送回路となる。

## 3 応用例：時間競合ニューラルネットワーク

提案した回路の応用として、時間領域で神経競合を行うニューラルネットを構成した（各ニューロンへの求心性入力スパイクのタイミングで符号化）。図2にスパイク列のフローを示す（ニューロン数 = 3）。ニューロン  $S_1$  が最初にスパイク列を受けるとする。 $S_1$  の出力は、各ニューロンの樹状突起に遠心性のスパイク列を作り出す。したがって、反応拡散系の性質により、 $S_2$  と  $S_3$  の求心性スパイク列は遠心性スパイク列により打ち消される。これが抑制の効果となる。図3にシミュレーション結果を示す（ $T = 0$  K,  $V_{dd} = 4.4$  mV,  $V_L = 2.4$  mV,  $C_i = 10$  aF）。最初の入力（ $I_1$ ）を受けた  $S_1$  のみが発火し、その他は発火しない、という理想的結果が得られた。また、この結果は、 $T < 1$  K まで保持された。

## 4 まとめ

提案した単電子ニューロン回路を用いた場合、温度が極めて低い場合（ $T < 1$  K）でのみ時間領域での競合が観測できた。動作温度をさらに上げるためには、ただ一つの勝者ではなく、複数のニューロンにより勝者を表す必要がある。今後は、スパイクの発火頻度を符号化できる単電子回路の構成、シナプス回路、および自己組織化を行うニューラルネットへの応用展開を目指す。

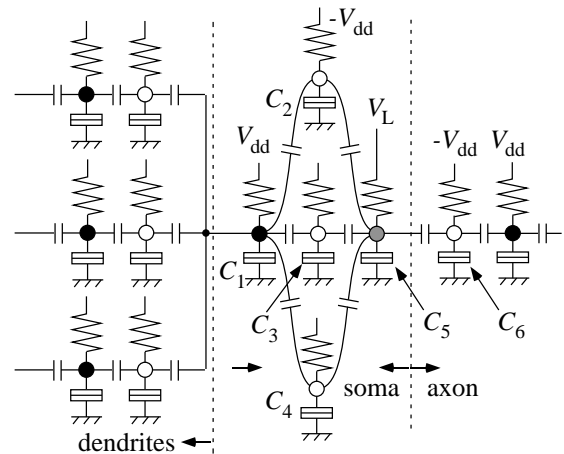


図1 単電子スパイクニューロン回路の構成

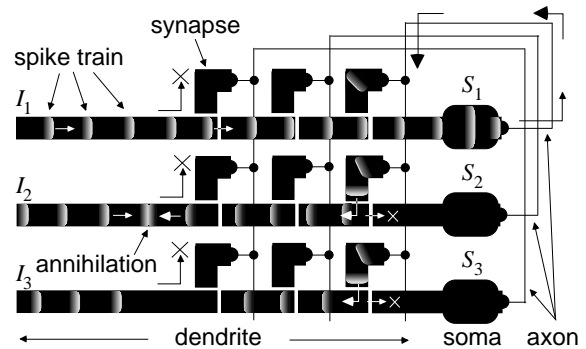


図2 競合ニューラルネットにおけるスパイク列の伝搬

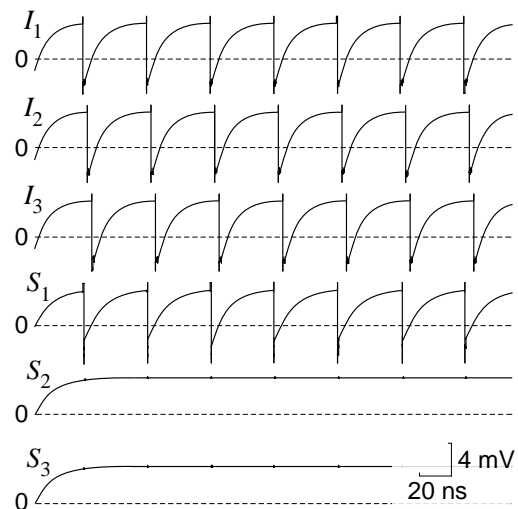


図3 動作シミュレーション結果（ $T = 0$  K）