

拡散現象を模擬するアナログ CMOS 回路

An Analog CMOS Circuit Imitating Diffusion Phenomena

大黒 高寛, 浅井 哲也, 雨宮 好仁

Daikoku Takahiro, Asai Tetsuya, and Amemiya Yoshihito

北海道大学 工学部

Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

1. はじめに

反応拡散系の動作を LSI 上で電子的に実現することにより、新しい情報処理デバイスを構成できる(文献)。そのときに必要な回路要素として、物質拡散を模擬するアナログ CMOS 回路を設計した。この回路を用いた“拡散系”では拡散係数の値を任意に変化させることができる。負の拡散係数も可能である。

2. 電子回路による拡散現象の模擬

拡散系を微小なセルの集合体とみなし、セル内では物質濃度が均一とする。拡散はセル間で生じる。この拡散系を電子回路で図1のように模擬する(図は1次元系の例)。各セルはキャパシタ C を持つ。キャパシタの蓄積電荷が物質に相当する。キャパシタ電圧 u_i は蓄積電荷量に比例するので、 u_i を物質濃度とみなす。隣接セルをつなぐ抵抗を通して、電荷(物質)がセル間を拡散する。

この抵抗に普通の抵抗素子を使うと、拡散係数を変えることができない。そこで、CMOS 回路を用いて、抵抗値が可変の抵抗デバイスを構成した。

3. アナログ CMOS 回路による可変抵抗

可変抵抗デバイスを図2に示す。MOS トランジスタの差動対を使用し、ソースバイアス電流 (I_0) と負荷バイアス電流 ($I_0/2$) を流す。この回路の電圧電流特性は $I = g_m(u_i - u_{i+1})$ となる。 g_m は差動対の伝達コンダクタンスであり拡散係数に対応する。バイアス電流によって g_m の大きさを変えることができる。

バイアス電流源にカスコード接続の電流ミラーを使って可変抵抗デバイスを設計し、図1の1次元系で電荷が拡散する様子を調べた。図3はシミュレーション結果の一例である。時間とともに電荷分布が広がっていく様子を示している。

4. 負の拡散係数

可変抵抗デバイスにおいて、二つのトランジスタのゲートとドレインを図4のように交叉接続する。このとき回路の特性は $I = -g_m(u_i - u_{i+1})$ となり、拡散係数の値は「負」となる。負性拡散があると、図1の系において電荷分布の不均一性が時間とともに大きく成長する。シミュレーション例を図5に示す。初期擾乱が空間的な振動の形で成長していく。この性質をパターンの強調や特徴抽出に利用することができる。

(文献) 大黒, 他: 信学技報 NLP2001-131 (2002)

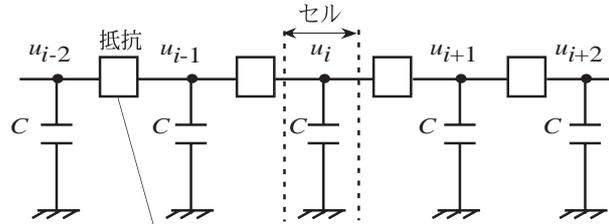


図1 拡散系を模擬する回路構成

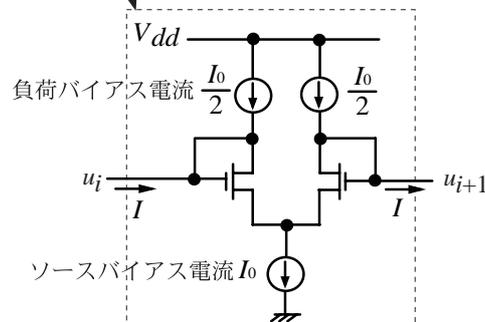


図2 MOS差動対による可変抵抗デバイス

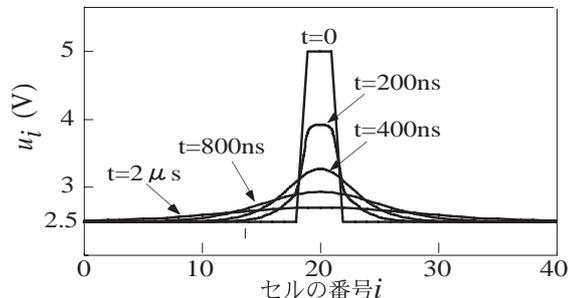


図3 一次元系における拡散の動作

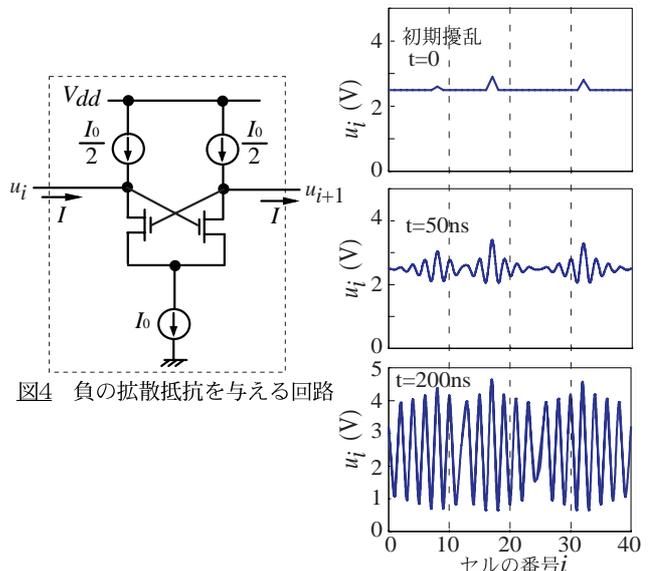


図4 負の拡散抵抗を与える回路

図5 負性拡散の動作