

少数キャリア拡散による CMOS 反応拡散系のダイナミクス

CMOS reaction-diffusion system using minority-carrier transport in semiconductors

高橋 基容 大矢 剛嗣 廣瀬 哲也 浅井 哲也 雨宮 好仁

Takahashi Motoyoshi, Oya Takahide, Hirose Tetsuya, Asai Tetsuya, Amemiya Yoshihito

北海道大学 大学院 情報科学研究科

Department of Information Science and Technology, Hokkaido University

1. はじめに

少数キャリア拡散を利用すると高速動作の反応拡散系をシリコン上に実現することができる。具体的な構成法として、先に CMOS 回路と少数キャリア拡散を組み合わせた反応拡散デバイスを提案した(末尾文献)。このデバイス上で活性因子と抑制因子に対応する少数キャリアを拡散させると、少数キャリア濃度の複雑な時空間パターンが発生する。以下にその動作を報告する。

2. 少数キャリア反応拡散デバイス

このデバイスの構造を図1に示す。活性因子と抑制因子の二つの拡散場をもつ。それぞれの拡散場はn形シリコン基板上的p形セルの配列からなる。活性因子の拡散場のセル(活性セル)と抑制因子の拡散場のセル(抑制セル)は対になっており、CMOS回路に接続されている。いま一つのセルが基板に少数キャリア(正孔)を注入すると、その正孔は拡散して周囲のセルに入ってそれらの電位を上げる。このようにして少数キャリア拡散を媒体としてセルが相互に結合する。セル間隔を変えることで等価的な拡散係数を変えることができる。反応拡散系のダイナミクスを模擬するためには、活性セルの電位が上昇するとキャリア注入が増加し、抑制セルの電位が上昇するとキャリア注入が減少するようなCMOS回路を接続すればよい。

3. 化学反応を模擬するCMOS回路

そのCMOS回路の構成を図2に示す。活性セルと抑制セルの電位のバランスによりノード2と3の電位が変化し、それによってセルの活性・抑制の状態が制御される。主要な動作を以下に示す。

【活性セルへの刺激による活性化】 周囲から活性セルに正孔が流入(活性セルの刺激) → ノード1の電位が上昇 → M1がオン → ノード2の電位が低下 → M2がオン → 活性セルに電流が流れる(正孔が注入され周囲に拡散して活性因子として働く)。

【活性状態から休止状態への遷移】 活性化したときM2と同時にM3がオン → ノード3の電位が上昇 → M4がオン → 抑制セルに電流が流れる(拡散した正孔は抑制因子として働く) → ノード4の電位上昇によりM5がオン → M7オン → M8オン → ノード2の電位が上昇 → 活性セルの電流が減少。なお、M5がオンとなるのでM6もオンとなり抑制セルの電流も最終的には減少する。

【抑制セルへの刺激による非活性化】 周囲から抑制セルに正孔が流入(抑制セルの刺激) → ノード4の電位が上昇 → M5がオン → 上記と同様の過程で活性化が抑制される。

4. 拡散場における正孔濃度の時空間パターン

拡散場には正孔濃度の時空間パターンが発生する。その挙動をシミュレーション解析した。図3に一例を示す。25個のセルを環状接続した1次元系で、活性因子の拡散場の正孔濃度を時空間座標上に表したものである。図の横軸が活性セルの位置に対応し(右端セルと左端セルは隣接)、縦軸は時間を表す。中央の活性セルに刺激を与えると、そこから発生した正孔により近傍セルも活性化される。抑制因子の拡散係数を大きくとれば、離れたところでは抑制因子の効果が大きいのでセルは抑制される。更に離れたところでは抑制因子が少なくなるのでセルは活性化されやすくなる。活性/抑制因子の拡散係数比に応じて、いろいろな時空間パターンが発生する。

(文献) 高橋, 他, 電子情報通信学会ソサエティ大会, A-2-1, 2004年9月。

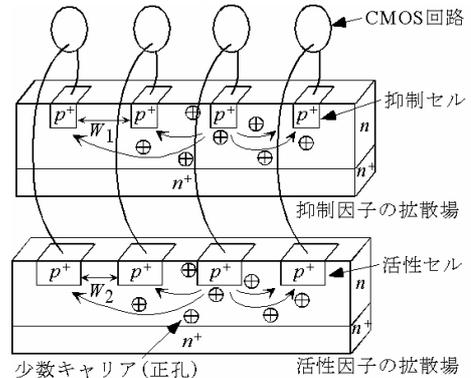


図1 反応拡散デバイスの構造。二つの拡散場とCMOS回路からなる。

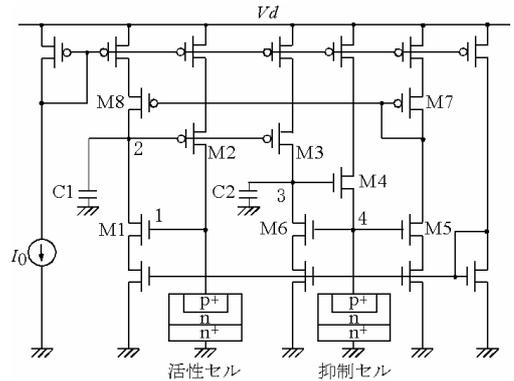


図2 化学反応を模擬するCMOS回路。

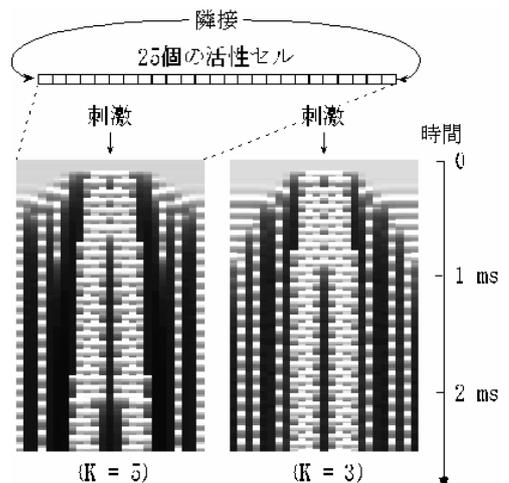


図3 1次元セル配列に発生する正孔濃度の時空間パターン。活性セル直下の正孔濃度を示した。正孔濃度が高いところは白色、低いところは暗色。拡散係数比 $K = (\text{抑制因子の拡散係数}) / (\text{活性因子の拡散係数})$ 。