

半導体の少数キャリアを利用した反応拡散デバイス

Reaction-Diffusion Devices using Minority-Carrier Transport in Semiconductors

西宮 優作 浅井 哲也 雨宮 好仁

NISHIMIYA Yusaku, ASAI Tetsuya, AMEMIYA Yoshihito

北海道大学 工学部

Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

1. はじめに

非平衡状態で化学反応と拡散現象が混在したシステムを反応拡散系という。自然界に生じる秩序やリズム、および生体の自己組織化などは反応拡散系が生み出す現象の典型例である。ここでは半導体の物理現象を利用して反応拡散系を模擬することを試みる。第一段階として、少数キャリアの自触媒増殖と拡散移動を利用した反応拡散デバイスを提案した。

2. 反応キネティクスを発生させるセル回路

反応拡散系の単位セルとして図1の回路を考える。キャパシタCと pnpn 素子Thを並列に結び、トランジスタMを介して電流*i*を流す。この回路の変数はキャパシタの蓄積電荷量 *u* と pnpn素子に蓄積された少数キャリア(主としてp領域の電子)の電荷量の絶対値 *v* の二つである。pnpn 素子のフィードバック機構により、少数キャリア電荷 *v* は自触媒的に増加する。その分だけキャパシタ電荷 *u* が消費される。本回路は基質-消費系の一環である。

3. セル回路の動作特性 (反応キネティクス)

このセル回路は電源電圧 *V_{dd}* が pnpn 素子の降伏電圧より大きいとき振動モード、小さいとき興奮モードで動作する。振動モードでのシミュレーション例を図2に示す。キャパシタ電荷 *u* と少数キャリア電荷 *v* の値は規格化してある。キャパシタの電圧が pnpn 素子の降伏電圧を越えると pnpn 素子内に少数キャリアが発生する。その少数キャリアが自触媒的に増加して pnpn 素子がオン状態となる。同時にキャパシタ電荷は pnpn 素子に流れて減少する。その結果としてセル回路は「興奮期 不応期 休止期」のサイクルを繰り返して弛張発振を生じる(図2(a))。相平面上のリミットサイクルもあわせて図示した(図2(b))。

4. 少数キャリア拡散によるセル間の結合

多数のセル回路の pnpn 素子を同一基板上に配列して図3の構造をつくる。そうすると、一つの pnpn 素子で発生した少数キャリアが拡散して周囲の pnpn素子に移動できるようになる。すなわち二次元の反応拡散系をシリコンチップ上に実現できる。

セル配列 7×7 での動作シミュレーション例を図4に示す。いますべてのセルを興奮モードに設定し、中心のセルに少数キャリアを外部から注入すると、そのセルから興奮領域がリング状に広がる(図4(a))。このリングの下半分を除去すると、切断部からは反応拡散系に特徴的な螺旋パターンが発生する(図4(b))。

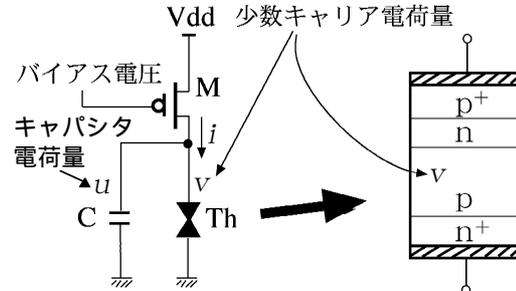


図1 反応キネティクスを発生するセル回路

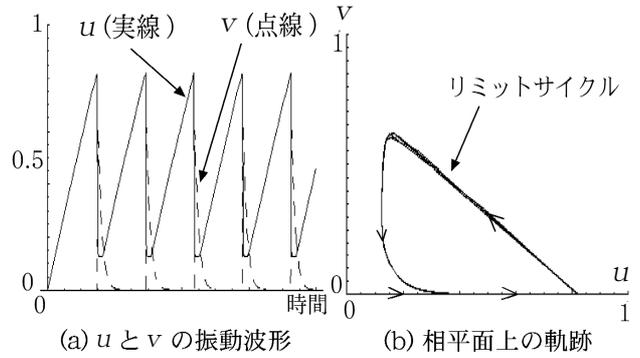


図2 セル回路の動作シミュレーション

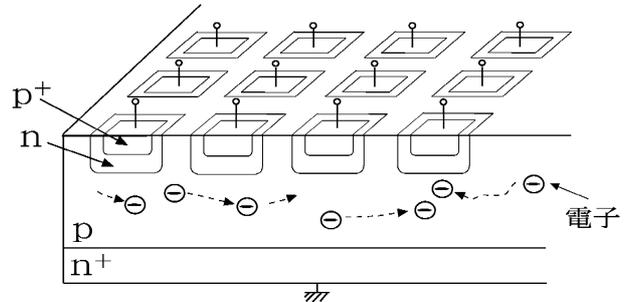
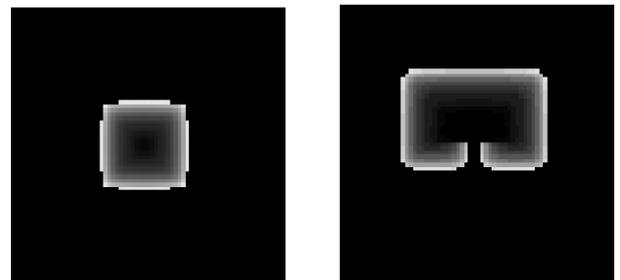


図3 多数のセルの集積構造 (pnpn 素子のみ図示)



(a) リングパターン (b) 螺旋パターン (興奮領域を白で表す)

図4 集積構造の動作 (パターン形成)