

熱伝導による位相遅れを利用した CMOS 発振回路

CMOS oscillators based on phase shift in conduction of heat

平井 孝明, 廣瀬 哲也, 浅井 哲也, 雨宮 好仁
Hirai TakaAki, Hirose Tetsuya, Asai Tetsuya, Amemiya Yoshihito

北海道大学 大学院 情報科学研究科
Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

1. はじめに

集積回路において、チップ内で近接しているデバイス間の熱伝導によりアナログ信号の伝達が可能である。このとき信号に位相推移（移相）を生じるので、それを利用した移相発振器をつくることができる。発振の周波数は移相領域の構造と物性定数（熱伝導率、比熱）で決まる。低周波の発振に適している。

2. 熱伝導を利用した移相器

信号の位相を推移させる移相器を図 1 に示す。シリコン基板上に温度センサとして MOS トランジスタをつくり、その上に酸化膜を介して多結晶シリコンのヒータを置く。ヒータに電流を流すと熱が発生し、その熱が酸化膜の中を伝導して MOS トランジスタの温度を上げる。ヒータの電流を変化させると MOS トランジスタの温度も変化するが、その過程には熱伝導による遅れがあり位相推移が発生する。

この移相器において熱が関与する部分の小信号等価回路を図 2 に示す。回路の入力 Q は単位時間あたりのヒータの発生熱量であり、出力 θ は MOS トランジスタの温度である。移相器は熱抵抗と熱容量のはしご形回路として動作し、ある周波数において伝達関数の虚数部が 0 になる。ループ利得が 1 になるように増幅器で信号を帰還するとその周波数で発振する。

3. 温度センサと発振器の構成

温度センサの MOS トランジスタは微小な温度変化を検出する必要があるため、温度による電流変化の大きいサブスレッショルド領域で動作させる（温度上昇で電流増加）。二個の移相器を使用し、図 3 のように入出力を差動で動作させる。入力であるヒータ電流の差（ $i_+ - i_-$ ）によって二つの MOS トランジスタに温度差（したがって電流の差）が発生し、それに応じた差動電圧（ $v_+ - v_-$ ）が出力される。

この温度センサの電圧出力を増幅して図 4 のように差動回路（ M_1 - M_2 ）を駆動し、二つの移相器のヒータに電流を流す。この帰還により移相器の損失を補償すれば発振が生じる。なお、このような移相発振器の他に、熱伝導による信号遅れを利用した弛張発振器をつくることもできる。

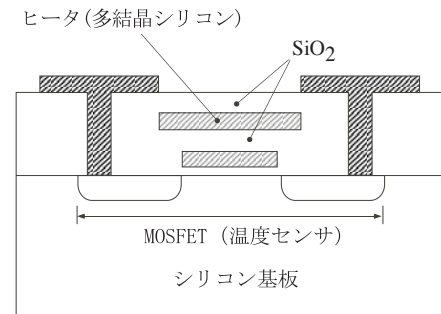


図 1 熱伝導を利用した移相器

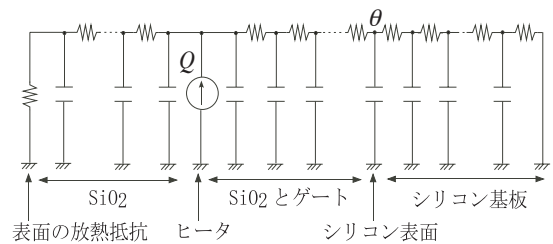


図 2 移相器の小信号等価回路

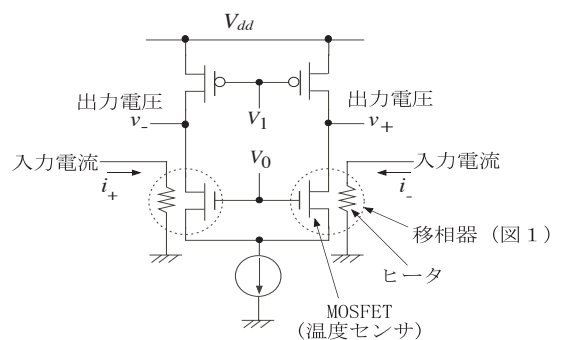


図 3 差動回路による温度センシング

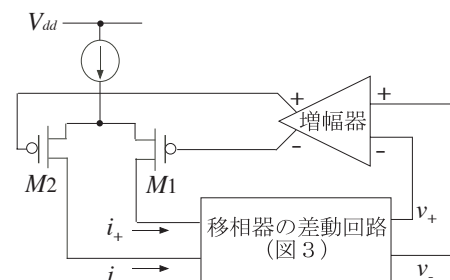


図 4 発振回路の構成