

# 熱伝導による発振器の動作解析

CMOS oscillators that make use of 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 Tetuya, Asai Tetuya, Amemiya Yoshihito

北海道大学 情報科学研究科

Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

## 1. はじめに

集積チップ上の近接したデバイス間の熱伝導を利用するとアナログ信号の伝達が可能である。このとき熱伝導の遅れにより信号の位相が推移するので、それを利用して移相発振器をつくることができる。発振周波数は移相領域の構造と物性定数（熱伝導率, 比熱, 密度）で定まる。ここでは MOS 構造の移相器を用いた移相発振器の回路設計と動作解析を行った。

## 2. MOS 構造を利用した移相器

熱伝導による移相器の構造を図 1 に示す。温度センサとなる MOSFET の上に酸化膜を介して多結晶シリコンのヒータを置く。ヒータの電流を変化させると MOSFET 表面の温度が変化し、そのため MOSFET 電流も変化する。そのとき酸化膜中の熱伝導による遅れがあるので移相推移が発生する。温度に対する感度を高めるために、温度センサ MOSFET はサブスレッショルド領域で動作させる。

## 3. 熱伝導増幅器の構成

この移相器を持つ増幅回路（熱伝導増幅器）を設計して図 2 に示す。入出力ともに差動構成である。移相器も二つ使用する。入力電圧  $V_{in}$  で駆動回路を動かしヒータに電流を流す。発生した熱は移相器の中を伝導して温度センサ MOSFET の電流を変化させる。その変化をセンサ回路により出力電圧  $V_{out}$  として取り出す。なお、温度を電圧、熱流を電流と見なせば、移相器は抵抗と容量のはしご型等価回路で表現できる。

熱伝導増幅器の利得と位相推移の周波数特性をシミュレーション解析した。結果の一例を図 3 に示す ( $0.35 \mu\text{m}$ -2poly-4metal CMOS パラメータを使用)。今回設計した構造では、移相器の信号減衰がかなり大であった。それを補うためにセンサ回路を高利得に設計したが、それでも位相推移が  $180^\circ$  の周波数では利得が 1 以下になったので、このままでは負帰還を行っても発振しない。そこで三つの熱伝導増幅器をループに接続して三相発振器を構成し、増幅器 1 段あたり位相推移が  $60^\circ$  の周波数で発振させることとした。

## 4. 発振動作の解析

熱伝導増幅器 3 個による三相発振器の動作をシミュレーションで確認した。得られた発振波形(立上がり部分)を図 4 に示す。図の点線は一つの熱伝導増幅器の差動出力波形であり、実線は熱伝導増幅器の中の二つの温度センサ MOSFET の表面温度差である。発振周波数は  $1.25 \text{ MHz}$  であった。この値は図 3 から予想される発振周波数  $0.76 \text{ MHz}$  (位相推移が  $60^\circ$  の周波数) より高い。したがって今回の回路は正確な移相発振を行うに至っていない。その理由は、センサ回路が高利得でその出力振幅が大きいため、ヒータ駆動回路の電流振動が大振幅に振れて弛張発振ぎみの動作となったことによる。この点を解決するための回路構成を現在検討中である。

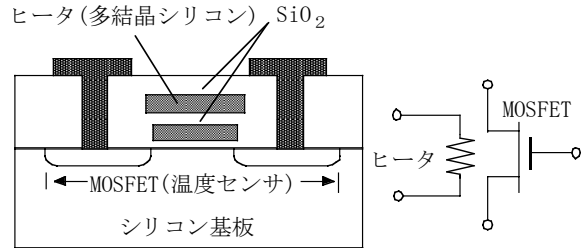


図 1 MOS 構造内の熱伝導を利用した移相器

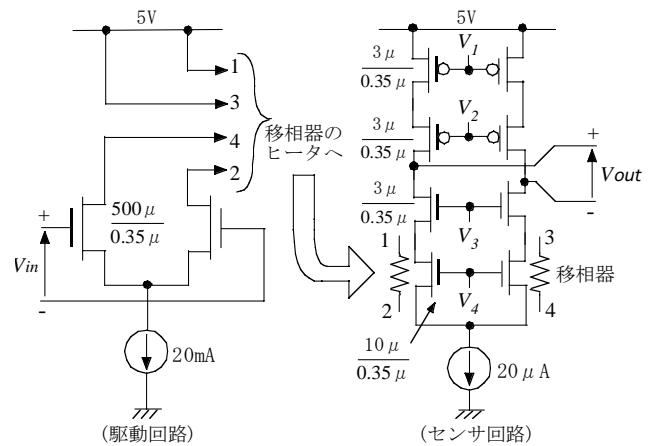


図 2 熱伝導増幅器の構成

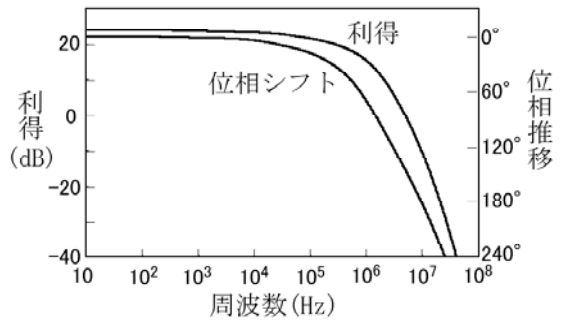


図 3 熱伝導増幅器の利得と位相推移の周波数特性

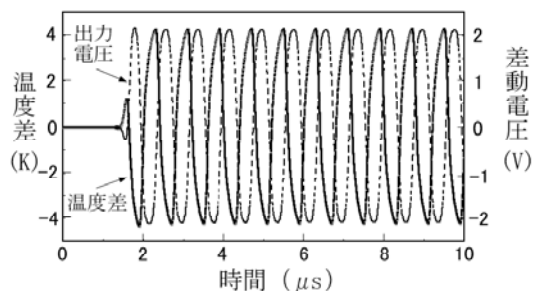


図 4 熱伝導増幅器の三段接続による移相発振