

# 具有脉宽调制输出的 CMOS 集成 流量传感器\*

黄 金彪 童 勤 义

(东南大学微电子中心, 南京)

1989年5月29日收到

本文介绍一种数字化输出的集成流量传感器, 传感器由温敏元件、加热元件和触发器组成, 电路连接使得传感器工作在加热和冷却的振荡状态, 产生方波输出, 其脉冲宽度用作为流速的量度。该传感器由通用的 CMOS 工艺制成。

主题词 传感器, 集成流量传感器, 数字化输出

## 一、引言

目前, 一般硅集成传感器输出均为模拟形式, 从系统的角度来看, 传感器的模拟输出信号需要经过模拟信号处理及 A/D 变换, 才可以跟数字处理系统(主要是指计算机)接口, 能否简化信号处理环节省去 A/D 变换, 开发能与计算机自然接口的数字化输出的传感器呢? 回答是肯定的, 而且这正是国际上的一个热门课题<sup>[1-3]</sup>。从传感器的发展角度来看, 传感器的发展落后于微电子电路的一个重要原因就是标准化的困难和缺乏批量市场, 解决这个问题的办法之一就是开发具有数字化输出或者时间量输出(例如周期、脉宽、占空比等)的传感器<sup>[4]</sup>, 这样的输出信号具有较高的噪音容限, 可以获得精确的测量结果。

有关集成流量传感器的报道已经许多<sup>[2-5]</sup>, 但其中大多数的输出都是模拟形式的<sup>[4,5]</sup>。国内有关数字化输出传感器的研究就更少见, 本文提出一种具有脉宽调制输出的集成流量传感器。

## 二、组成及工作原理

图 1 是传感器的组成, 在恒流偏置下的二极管 D 用于测量芯片温度, MOS 管 Q 和扩散电阻 R 组成加热支路, 运放为集成在传感器芯片上的 CMOS 运放, 在运放两端引进正反馈, 则形成一个施密特(Schmitt)触发器, 所有的电路工作在单 5V 电源下。这样组成的电路使得输出  $V_2$  在高低两个电平间转换、振荡,  $V_2$  的高低决定芯片的加热与否, 所以芯片温度也同时在两个温度水平间振荡, 振荡波形如图 2 所示, 图 2 中下面一根曲线代表

\* 国家自然科学基金资助项目。

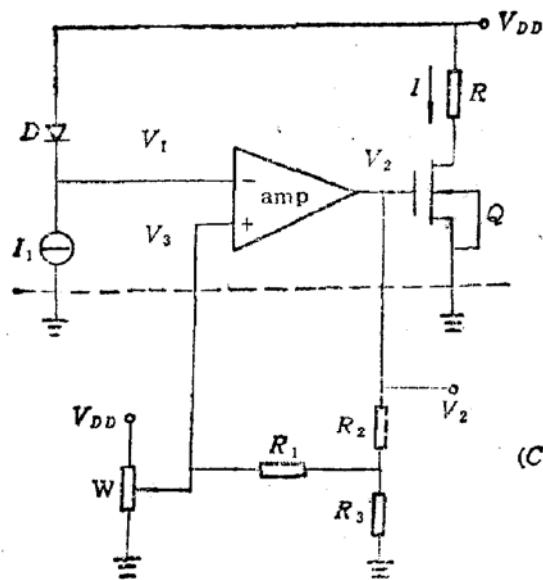


图1 传感器的组成、虚线上部分为传感器芯片内  
电路，虚线下部分为外接电路

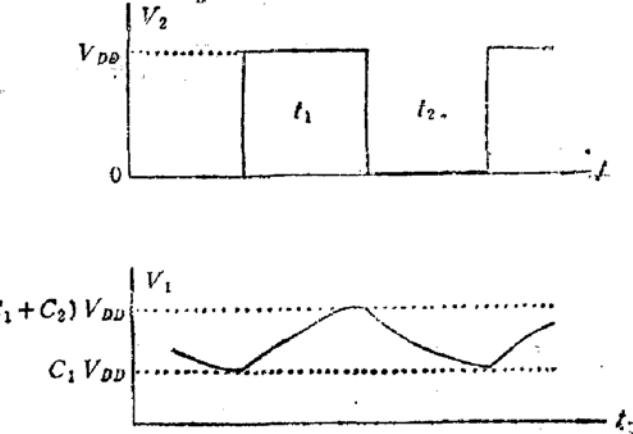


图2 传感器的芯片温度与触发器  
输出的波形图

$V_1$ ，它反映了芯片温度上升和下降的过程，上面一根曲线代表  $V_1$ 。传感器的具体工作过程为，当输出  $V_2$  为高电平时，加热管  $Q$  导通，芯片加热，芯片温度指数式地上升，于是  $V_1$  也上升，当  $V_1$  上升到某一值时，触发器翻转， $V_2$  变成低电平，此时芯片降温， $V_1$  下降，当  $V_1$  下降到某一值时触发器又翻转， $V_2$  又变成高电平。这样就产生一个持续的方波振荡输出，其高电平脉宽随着流速的增加而增加，这是由于流速增加，换热量增加，使得芯片温度上升过程减慢的缘故。相反，低电平脉宽随着流速的增加而降低。因此可用脉宽的变化作为流速的量度，而脉宽输出不需附加 A/D 变换环节就很容易与计算机接口。

在图 1 中，输出  $V_2$  的高电平为电源电压  $V_{DD}$ ，低电平为零，而  $V_3$  随着  $V_2$  的变化也有两个电平， $V_1$  就在这两个电平间上升和下降。根据电路理论可知， $V_3$  具有如下形式：

$$\begin{aligned} V_3 &= c_1 V_{DD} + c_2 V_2 \\ &= \begin{cases} c_1 V_{DD} & (V_2 \text{ 为低电平时}) \\ (c_1 + c_2) V_{DD} & (V_2 \text{ 为高电平时}) \end{cases} \end{aligned}$$

其中  $c_1$  和  $c_2$  为取决于反馈网络 ( $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  和  $W$ ) 的常数。

传感器工作时，能量守恒关系可以写成<sup>[4]</sup>

$$IV_{DD} = C \frac{dT}{dt} + (A + B\sqrt{V_f})(T - T_e) \quad (1)$$

其中  $IV_{DD}$  为芯片的加热功率， $I$  为加热电流， $C$  为传感器芯片的热容， $T$  为芯片温度， $t$  为时间， $A$  和  $B$  为常数， $V_f$  为流速， $T_e$  为流体环境温度。设  $V_1$  的温度灵敏度为  $S_1$ ，即  $V_1 = S_1 T$ ，则 (1) 式变成：

$$S_1 IV_{DD} = C \frac{dV_1}{dt} + (A + B\sqrt{V_f})(V_1 - V_e) \quad (2)$$

其中  $V_a = S_1 T_a$ , 芯片不加热时  $I = 0$ , 设加热时加热电流为  $I$ , 结合图 2 则可求得加热时间  $t_1$  和冷却时间  $t_2$ :

$$t_1 = \frac{C}{h} \ln \frac{S_1 I V_{DD} - h(C_1 V_{DD} - V_a)}{S_1 I V_{DD} - h[(C_1 + C_2) V_{DD} - V_a]} \quad (3)$$

$$t_2 = \frac{C}{h} \ln \frac{(C_1 + C_2) V_{DD} - V_a}{C_1 V_{DD} - V_a} \quad (4)$$

$$h = A + B \sqrt{V_f} \quad (5)$$

从(3)和(4)式可看出脉宽  $t_1$  和  $t_2$  均是流速的函数。

### 三、实验与结论

该传感器由标准的铝栅 CMOS 工艺制成, 传感器芯片尺寸为  $2.1 \times 1.65 \text{ mm}^2$ , 包括一个运放集成在传感器芯片上。传感器经封装后进行流速敏感试验, 图 3 是实验结果, 其测试条件为  $T_a = 28^\circ\text{C}$ , 芯片温度  $T$  在  $34^\circ\text{C}$  与  $37^\circ\text{C}$  之间振荡。由图 3 可以看出  $t_1$  随着流速的增加而增加, 而  $t_2$  随着流速的增加而降低。

利用振荡状态下的换热制成了一种脉宽调制输出的集成流量传感器, 这种传感器由通用的 CMOS 工艺制成, 并得到了满意的实验结果。进一步的工作将集中在脉宽输出与计算机之间的接口电路。

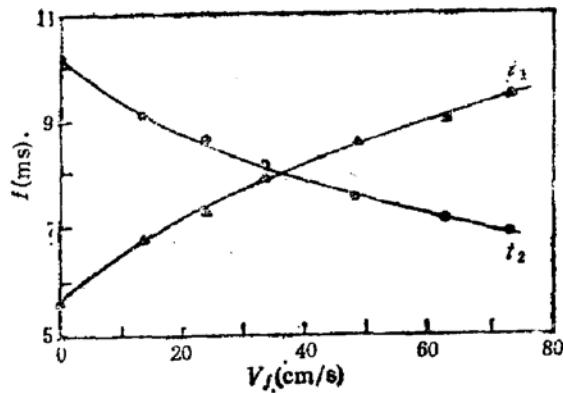


图3 加热脉宽  $t_1$ (▲) 和冷却脉宽  $t_2$ (●) 随流速变化的测量结果

### 参 考 文 献

- [1] S. Middelhoek, P. J. French, J. H. Huijsing, W. J. Lian. *Sensors and Actuators*, **15**, 119 (1988).
- [2] G. Stemme, *Sensors and Actuators*, **14**, 293 (1988).
- [3] Y. Pan, J. H. Huijsing. *Electronics Letters*, **24**, 542 (1988).
- [4] 黄金彪、李斌、童勤义、周明, 半导体学报, **10**, 55 (1989).
- [5] Y. C. Tai, R. S. Muller, *TRANSDUCERS'87*, 360 (1987).

## A CMOS Integrated Flow Sensor with Output Modulated by Pulse-Width

Huang Jinbiao and Tong Qinyi

(Microelectronics Center, South-East University, Nanjing 210018)

### Abstract

A CMOS integrated flow sensor with digital output has been introduced. The sensor consists of a temperature sensing stage, a heating stage and a Schmitt trigger. The circuits are connected to make the sensor work at the oscillation state of heating and cooling, producing a square wave output. The pulse width of the square wave is used as a measure of flow velocity. The sensor is fabricated by the conventional CMOS process.

**Key words** Sensors, Integrated flow sensors, Digital output