

文章编号:1671-251X(2018)07-0027-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018020033

# MEMS 低功耗催化甲烷传感器脉冲供电研究

沈国杰

(重庆大学 城市科技学院, 重庆 402167)

**摘要:**针对传统催化甲烷传感器功耗高的问题,在分析微型机电系统(MEMS)低功耗催化甲烷元件性能的基础上,提出脉冲供电工作方式。通过输出稳定性测试和灵敏度测试确定脉冲供电具体占空比,并对恒压供电和脉冲供电下元件的线性特性、零点温度特性、灵敏度特性、零点漂移及灵敏度漂移进行了测试。结果表明,脉冲供电工作方式不仅可极大地降低 MEMS 催化甲烷传感器的功耗,而且在零点漂移和灵敏度方面拥有更加优异的性能。

**关键词:**甲烷传感器;微型机电系统;脉冲供电;载体催化;MEMS 催化元件;低功耗

中图分类号:TD712.55 文献标志码:A

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180620.1021.001.html>

Research on pulse power supply of MEMS low power consumption catalytic methane sensor

SHEN Guojie

(City College of Science and Technology, Chongqing University, Chongqing 402167, China)

**Abstract:** In view of problem of high power consumption of traditional catalytic methane sensor, a pulsed power supply operation mode was proposed based on analysis of performance of MEMS low power consumption catalytic methane components. Specific duty ratio of pulse power supply was determined through output stability test and sensitivity test, and linearity, zero temperature characteristics, sensitivity characteristics, zero drift and sensitivity drift of the components under constant voltage supply and pulse power supply were tested. The results show that the pulse power supply operation mode can not only greatly reduce power consumption of MEMS catalytic methane sensor, but also has superior performance in zero drift and sensitivity.

**Key words:** methane sensor; microelectro mechanical system; pulse power supply; carrier catalysis; MEMS catalytic component; low power consumption

## 0 引言

瓦斯突出和爆炸是我国煤矿开采的主要灾害之一<sup>[1]</sup>。瓦斯的主要成分是甲烷,对甲烷浓度进行精确检测有利于瓦斯抽采计量,检测结果可用于瓦斯事故预警,保障人员和设备安全。我国煤矿广泛使用基于催化燃烧原理的甲烷传感器,其成本低,可靠

性高,检测精度高,环境适应力强。然而,传统的催化甲烷传感器功耗高,单路本安电源带载数量少,带载距离短,配套电源和布线成本较高,限制了其在无线监测上的应用<sup>[2]</sup>。特别地,煤矿瓦斯监控系统的智能化升级和传感层单总线覆盖需求对传感器功耗提出了更高要求<sup>[3]</sup>。传统的催化甲烷传感器的高功耗极大地制约了其在新型总线型监控系统上的

收稿日期:2018-02-12;修回日期:2018-05-21;责任编辑:胡娟。

基金项目:重庆市本科高校“三特行动计划”特色专业建设项目(渝教高[2015]69号)。

作者简介:沈国杰(1987—),女,重庆人,讲师,硕士,主要研究方向为检测技术与检测装置,E-mail:zds0520@126.com。

引用格式:沈国杰. MEMS 低功耗催化甲烷传感器脉冲供电研究[J]. 工矿自动化,2018,44(7):27-31.

SHEN Guojie. Research on pulse power supply of MEMS low power consumption catalytic methane sensor[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(7): 27-31.

应用<sup>[4]</sup>。

随着微型机电系统 (Microelectro Mechanical Systems, MEMS) 技术的兴起, 基于 MEMS 技术的新型催化甲烷传感器成为研究热点, 其不仅性能比传统催化元件更优异, 而且功耗远小于传统催化元件<sup>[5-7]</sup>。因此, 本文选用 MEMS 催化元件作为传感器的敏感元件, 在分析其性能的基础上提出脉冲供电工作方式, 进一步降低了元件长期工作的平均功耗。

### 1 MEMS 催化元件制作工艺

传统的催化元件采用催化珠悬空的设计方式, 易受冲击和振动的影响, 容易断丝, 其结构如图 1 所示<sup>[8]</sup>。

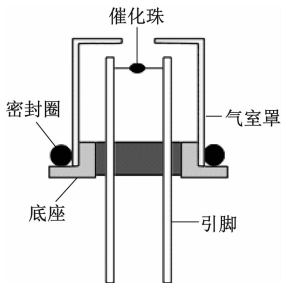


图 1 传统催化元件结构

Fig. 1 Structure of traditional catalytic component

MEMS 催化元件在检测原理上与传统催化元件相似, 其突出的性能优势主要来源于创新性的结构设计<sup>[9-10]</sup>。与传统催化元件不同, MEMS 催化元件采用以下工艺制作加热器: 在硅片晶元上蚀刻出蛇形凹槽, 用沉淀法将铂金材料沉淀于凹槽内, 形成蛇形电热丝。通过在不同加热器上分别印刷贵金属催化剂和惰性材料, 形成催化珠和补偿珠, MEMS 催化珠示意图和实物如图 2 和图 3 所示<sup>[11]</sup>。

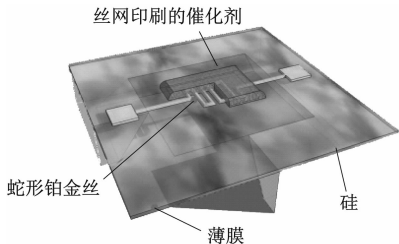


图 2 MEMS 催化珠示意

Fig. 2 Illustration of MEMS catalytic beads

蚀刻和印刷工艺确保了元件的高度一致性, 加热器嵌入在晶元上, 也极大地加强了元件的抗振动和抗冲击性能。特别地, 嵌入在硅片上的电热丝通电时能够迅速加热并获得稳定且均匀分布的温度场, 从而极大地降低功耗<sup>[12]</sup>。在 3 V 恒压供电模式

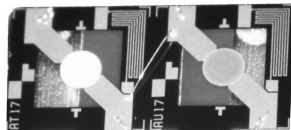


图 3 MEMS 催化珠实物

Fig. 3 Physical MEMS catalytic beads

下测试 MEMS 元件和传统元件的功耗, MEMS 催化甲烷元件功耗低至 120 mW, 而传统催化元件的功耗为 440 mW。

### 2 脉冲供电模式设计

为进一步降低功耗, 用脉冲方式给 MEMS 催化元件供电<sup>[13]</sup>。采用惠斯通电桥测量元件的输出信号, 电路如图 4 所示。

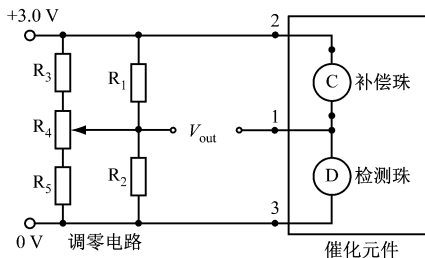


图 4 MEMS 催化元件测试电路

Fig. 4 MEMS catalytic component test circuit

MEMS 催化元件采用高精度 LDO 电源芯片 LP3985IM5-3.0 供电。测试前, 先在 3.0 V 恒压下通过调零电路对电桥调零, 使输出电压  $V_{out}$  接近 0。为确定占空比, 选用 2 个 MEMS 催化元件, 在实验室环境下 (20~23 °C) 分别采用 100 ms“ON”/700 ms“OFF”和 300 ms“ON”/700 ms“OFF”的驱动脉冲做元件稳定性测试, 结果如图 5 (上电时间为 100 ms) 和图 6 所示 (上电时间为 300 ms)。

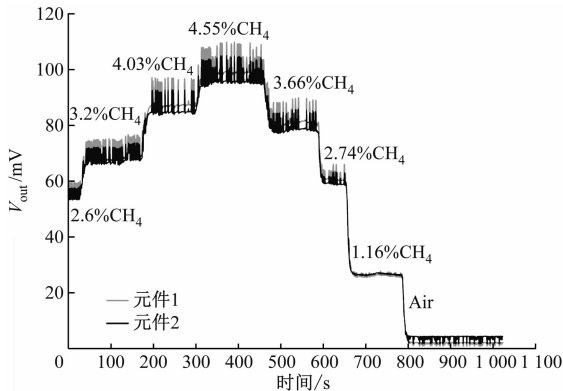


图 5 MEMS 催化元件稳定性测试结果 1

Fig. 5 Result 1 of MEMS catalytic component stability test

当上电时间“ON”为 100 ms 时, 催化元件通电时间太短, 未达到热平衡状态, 输出不稳定; 当上电时间延长至 300 ms 时, 元件输出稳定且灵敏度较

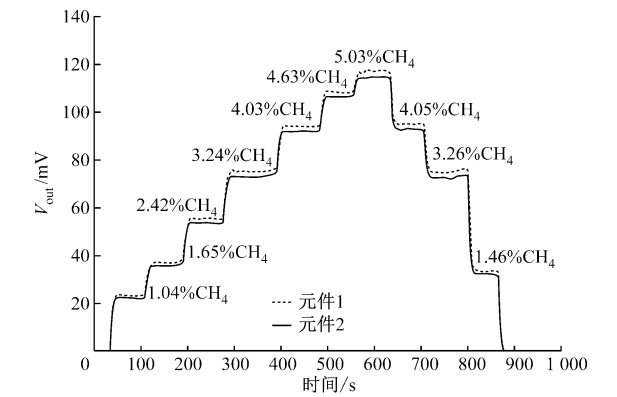


图6 MEMS催化元件稳定性测试结果2

Fig. 6 Result 2 of MEMS catalytic component stability test

高。继续延长上电时间,输出稳定性和灵敏度都没有明显变化,故选择上电时间为300 ms。进一步分析断电时间“OFF”的影响,分别测试恒压供电及断电时间为300,700,1 500 ms时元件的灵敏度,结果见表1。

表1 MEMS催化元件灵敏度测试结果

Table 1 Test results of sensitivity of MEMS catalytic component

| 断电时间/ms | 灵敏度/(mV · (1%CH <sub>4</sub> ) <sup>-1</sup> ) |      |
|---------|------------------------------------------------|------|
|         | 元件1                                            | 元件2  |
| 300     | 22.3                                           | 22.7 |
| 700     | 22.0                                           | 22.8 |
| 1 500   | 22.4                                           | 22.6 |

测试结果显示,断电时间对灵敏度影响不大。为兼顾传感器的响应时间,确定断电时间为700 ms。除非特别说明,下文的脉冲供电驱动皆为300 ms“ON”/700 ms“OFF”,该模式下,MEMS催化元件平均功耗只有恒压供电时的3/10,低至36 mW,不到传统元件功耗的1/10。

3 MEMS催化元件性能测试

在实验室环境下测试MEMS催化甲烷元件在脉冲供电和恒压供电下的关键性能指标。选用同一批次的3个元件,分别记为A,B,C,其中A和B采用脉冲供电,C采用恒压供电,所有测试均采用图4所示的电路,并在测试前预先调零。

3.1 线性测试

在20℃恒温条件下,分别测试2种供电方式下元件的线性特性,结果如图7所示。可见,3个元件线性特性一致,线性度均较好,灵敏度相近。

3.2 零点温度特性测试

将所有测试电路在常温下调零后置于恒温箱

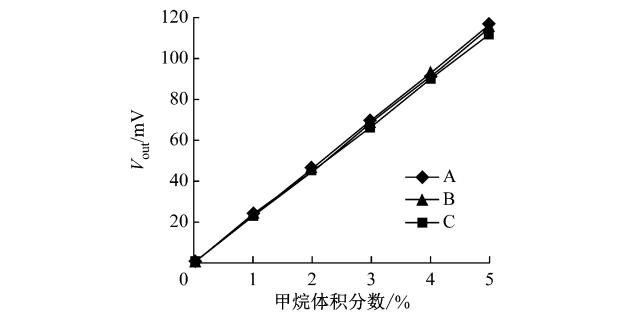


图7 MEMS催化元件线性特性测试结果

Fig. 7 Test result of linear characteristics of MEMS catalytic component

中,设置温度变化率不超过1.5℃/min,湿度保持恒定。测试时温度从低到高变化且每个温度点至少保持恒温2 h以上。测试结果如图8所示,随着温度的升高,2种供电模式下元件零点都向正向漂移,漂移特性较为一致且规律性强,可以对零点温度进行分段线性补偿<sup>[14]</sup>。

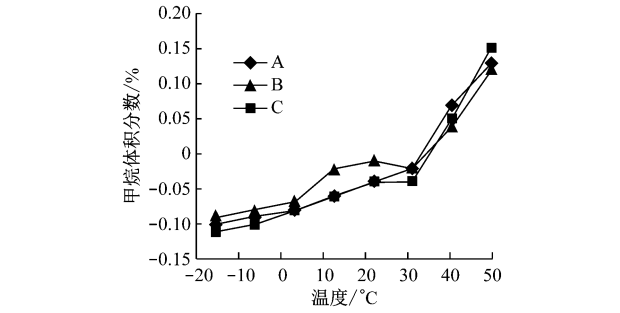


图8 MEMS催化元件零点温度特性测试结果

Fig. 8 Test result of zero temperature characteristics of MEMS catalytic component

3.3 灵敏度特性测试

为准确测试温度对灵敏度的影响,在恒温箱中给元件预先装上通气罩,用1根10 m长的铜制导气管连接通气罩,并将铜制导气管悬挂于恒温箱中,避免其与恒温箱壁接触,造成温度与箱内环境不一致。在20℃恒温下,先对电桥进行线性标定。测试过程中温度从低到高变化,以300 mL/min流速用导气管向元件通入体积分数为1%的甲烷样气。测试结果如图9所示,以20℃为参考,当温度降低时2种供电方式下元件灵敏度向上漂移,当温度升高时二者均向下漂移,漂移量小于5%。整体上,2种供电方式下灵敏度与温度成线性关系,可进行灵敏度-温度线性补偿。

3.4 零点漂移与灵敏度漂移测试

在灵敏度特性测试基础上进行零点漂移和灵敏度漂移测试。调节恒温箱温度使温度保持在20℃并对电桥进行调零,每天测试零点和灵敏度2次,记

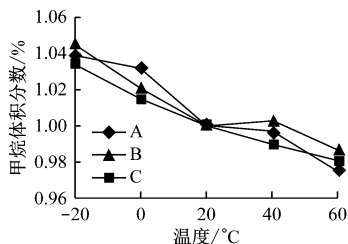


图 9 MEMS 催化元件灵敏度特性测试结果

Fig. 9 Test result of sensitivity characteristics of MEMS catalytic component

录平均值。测试过程如下：① 通入新鲜空气，测试元件零点；然后通入体积分数为 1% 的甲烷气体，测试灵敏度。② 通入体积分数为 0.5% 的甲烷气体 12 h。③ 通入新鲜空气，测试零点；通入体积分数为 1% 的甲烷气体，测试灵敏度。④ 通入新鲜空气 12 h。

零点漂移量和灵敏度漂移量分别用式(1)和式(2)计算。

$$\delta = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_i - Z_1}{S_1} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i - S_1}{S_1} \quad (2)$$

式中： $\delta$  为零点漂移量，%； $N$  为测量次数； $Z_i$  为第  $i$  次零点电桥电压，V； $S_i$  为第  $i$  次灵敏度测试电桥电压，V； $\theta$  为灵敏度相对漂移量，%。

持续测试 90 d，结果如图 10 和图 11 所示。

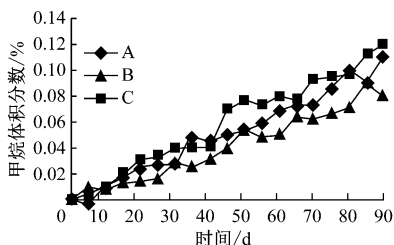


图 10 MEMS 催化元件零点漂移测试结果

Fig. 10 Test result of zero drift of MEMS catalytic component

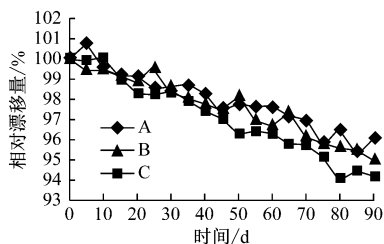


图 11 MEMS 催化元件灵敏度漂移测试结果

Fig. 11 Test result of sensitivity drift of MEMS catalytic component

由测试结果可知，MEMS 催化元件在脉冲供电下工作 90 d，平均零点漂移为 0.08% CH<sub>4</sub>，灵敏度衰减 4%；而恒压供电模式下零点漂移为 0.12% CH<sub>4</sub>，灵敏度衰减 6%。显然，采用脉冲供电方式时元件性能更好。

#### 4 结语

分析了 MEMS 催化元件制作工艺及其特性，提出了 MEMS 催化元件脉冲供电的工作方式，并对脉冲供电下 MEMS 催化元件的基本性能进行了测试。结果表明，该模式下 MEMS 催化元件功耗远小于传统催化甲烷元件，在长期稳定工作中有更优异的性能。

#### 参考文献 (References):

[1] 孙继平. 煤矿监控新技术与新装备[J]. 工矿自动化, 2015, 41(1): 1-5.  
SUN Jiping. New technologies and new equipments of coal mine monitoring [J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(1): 1-5.

[2] 郭江涛, 杨娟. 安全监控系统瓦斯异常报警实现方法[J]. 工矿自动化, 2015, 41(7): 109-111.  
GUO Jiangtao, YANG Juan. Realization method of gas abnormality alarm of safety monitoring system[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41 (7): 109-111.

[3] 孙继平. AQ 1029—2007《煤矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范》修订意见[J]. 工矿自动化, 2016, 42(3): 1-6.  
SUN Jiping. Revision amendments of AQ 1029-2007 Use Management Specification of Coal Mine Safety Monitoring System and Testing Instrument [J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(3): 1-6.

[4] 赵庆川. 基于无线 Mesh 网络的瓦斯监测节点设计[J]. 煤矿安全, 2016, 47(10): 101-104.  
ZHAO Qingchuan. Design of gas monitoring node based on wireless Mesh network[J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(10): 101-104.

[5] MOON H S, PARK S H, KIM S E, et al. Methane sensing characteristics and power consumption of MEMS gas sensor based on ZnO nanowhiskers[J]. Journal of Sensor Science & Technology, 2010, 19(6): 462-468.

[6] 牛舒帆. 基于纳米催化剂的 MEMS 甲烷催化燃烧传感器的研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2013.

[7] 丁黎明, 赵景波. 催化燃烧型甲烷传感器的研究[J]. 微计算机信息, 2007, 23(1): 177-178.

DING Liming,ZHAO Jingbo. Study on the catalyst combustion of CH<sub>4</sub> sensor [J]. Microcomputer Information,2007,23 (1):177-178.

[ 8 ] ROY S,SARKAR C K,BHATTACHARYYA P. Low temperature fabrication of a highly sensitive methane sensor with embedded co-planar nickel alloy microheater on MEMS platform[J]. Sensor Letters, 2012,10(3):760-769.

[ 9 ] 孙世岭. 基于 MEMS 技术的载体催化甲烷检测元件制作方法[J]. 工矿自动化,2016,42(4):47-50.

SUN Shiling. Product process of carrier catalytic methane detection component based on MEMS technology[J]. Industry and Mine Automation,2016, 42(4):47-50.

[10] MAIER K, HELWIG A, MÜLLER G. Towards MEMS Pellistor Spectrometers [J]. Procedia Engineering,2015,120:142-145.

[11] SU J,CAO L,LI L,et al. Highly sensitive methane catalytic combustion micro-sensor based on mesoporous structure and nano-catalyst [J]. Nanoscale,2013,5(20):9720-9725.

[12] 鲁文帅. 纳米催化剂原位打印的石英微热板甲烷传感阵列[D]. 北京:清华大学,2016.

[13] JANG W,KIM I H,JEONG Y S,et al. Characteristics of fabricated catalytic combustible micro gas sensor with low power consumption for detecting methane leakage of compressed natural gas bus[J]. Journal of Electroceramics,2013,31(3-4):280-285.

[14] AREFIN M S,REDOUTÉ J M,YUCE M R. A low-power and wide-range MEMS capacitive sensors interface IC using pulse-width modulation for biomedical applications [J]. IEEE Sensors Journal, 2016,16(17):6745-6754.