

# Micro Cantilever-Based Flow Meter for High Airflow Velocity Measurement

王禹翔、李佳言

E-mail: 9511345@mail.dyu.edu.tw

## ABSTRACT

This paper exploits a bending-up cantilever caused by residual stress to manufacture a micro gas flow sensor. Micro sensors not only have a smaller physical size than their traditional counterparts, but also provide a greater measurement accuracy and a higher sensitivity. In this study, mems techniques are used to deposit a silicon nitride layer on a silicon wafer to create a piezoresistive structure. A platinum layer is deposited on the silicon nitride layer to form a resistor and the structure is then etched to form a freestanding micro-cantilever. It is found that the cantilever bends upward slightly as a result of the released residual stress induced in the beam during the fabrication process. When an airflow passes over the cantilever beam, a small deformation occurs. Variations in the airflow velocity can therefore be determined by measuring the change in resistance caused by the beam deflection using an LCR meter. The experimental data indicate that the proposed gas flow meter has a high sensitivity ( $0.0533 \text{ } / \text{ms}^{-1}$ ), a high measurement limit ( $44.47 \text{ ms}^{-1}$ ) and a rapid response time.

Keywords : Flow sensor ; Micro-electro-mechanical-system (MEMS) ; Residual stress ; Micro-cantilever beam

## Table of Contents

目錄	封面內頁	簽名頁	授權書	iii 中文摘要	iv 英文摘要	v 誌謝	vi 目錄
	vii			x	xiii	xiv	
	圖目錄			目錄	符號說明	第一章 緒論	1.1 前言
機電系統	2	1.2.1	元件與應用	3	1.3 流量計	8	1.3.2 變面積式流量計
流量計	14	1.3.4	超音波流量計	15	1.3.5 渦輪式流量計	16	1.3.6 容積式流量計
究動機與目的	19	1.6	本文架構	20	第二章 原理與設計	21	2.1 殘留應力對微懸臂流量計之影響
2.1.2 懸臂翹曲與材料厚度之關係	23	2.2	壓阻效應對微懸臂流量計之影響	25	2.3	不同白金尺寸之尺寸設計	28
尺寸之尺寸設計	29	第三章	製程技術	31	3.1	製程技術簡介	30
表面之清潔	34	3.1.4	微影技術	36	3.1.5	蝕刻	39
白金感測電阻圖案	42	3.2.3	定義金電極圖案	43	3.2.4	定義懸臂結構之圖案	44
晶圓背部蝕刻	45	3.3	製程結果與討論	46	3.3.1	流量計之外觀	46
47	第四章	實驗結果與討論	4.1 熱應力造成懸臂翹曲角度之量測	48	4.1.1	量測原理	48
4.1.3 量測結果	49	4.2	感測特性量測方法	50	4.2.1	量測系統介紹	50
尺寸之流量計	50	4.1.2	不同懸臂尺寸之流量計	51	4.4	反應時間	51
51	4.4	反應時間	51	4.5	滯後現象	52	4.5 穩定度
52	第五章	結論	5.1 結論	53	5.2	未來展望	53
53	5.2	未來展望	53	參考文獻	92	圖目錄	圖1.1 流體管線內各物理量的關係
60	圖1.3	各式流孔板示意圖	61	圖1.4	流孔板分析	61	圖1.5 ASME建議之典型文氏管設計
62	圖1.6	文氏管原理圖	62	圖1.7	典型的流嘴圖	63	圖1.8 皮托管
63	圖1.9	變面積式流量計之示意圖	64	圖1.10	變面積式流量計量測原理圖	64	圖1.11 電磁流量計量測原理圖
65	圖1.12	電磁流量計	65	圖1.13	時間式超音波流量計	66	圖1.14 時間式超音波流量計原理
66	圖1.15	渦輪式流量計	67	圖1.16	容積式流量計	67	圖1.17 微懸臂流量計示意圖
68	圖2.1	薄膜應力原理圖	68	圖2.2	因不同應力所造成微懸臂各種形變示意圖	69	圖2.3 雙層懸臂之簡圖與其對應之幾何模型
69	圖2.4	懸臂之簡圖	70	圖2.5	外力與壓阻材料電阻變化關係圖	70	圖2.6 壓阻受力變形示意圖
71	圖2.7	微懸臂氣體流量計工作原理圖	71	圖2.8	不同白金電阻設計尺寸圖	Lpt=4450 μ m	72
72	圖2.9	不同白金電阻設計尺寸圖	Lpt=3000 μ m	73	圖2.10	不同白金電阻設計尺寸圖	Lpt=1500 μ m
74	圖2.11	不同白金電阻設計尺寸圖	Lpt=750 μ m	75	圖2.12	不同懸臂設計尺寸圖	Wbeam=400 μ m
76	圖2.13	不同懸臂設計尺寸圖	Wbeam=1200 μ m	77	圖2.14	不同懸臂設計尺寸圖	Wbeam=2000 μ m
78	圖3.1	化學氣相沉積之主要沉積機構	79	圖3.2	晶圓的蝕刻夾角	79	圖3.3 微懸臂流量計之主要製程圖
80	圖3.4	背部溼式蝕刻之光罩圖	81	圖3.5	懸臂於顯微鏡下之外觀	Wbeam=400? μ m	82
82	圖3.6	懸臂於顯微鏡下之外觀	Wbeam=1200? μ m	82	圖3.7	懸臂於顯微鏡下之外觀	Wbeam=2000? μ m
83	圖3.8	懸臂於掃描式電子顯微鏡下之側視圖	83	圖3.9	光罩設計錯誤導致懸臂過短之現象	84	圖4.1 原子力顯微鏡工作原理示意圖
84	圖4.2	懸臂翹曲角度量測系統原理示意圖	85	圖4.3	微調手動精密旋轉平台(LC-PR60, 坦聯企業)	85	圖4.4 臥型懸臂翹曲角度量測系統示意圖
86	圖4.5	門型懸臂翹曲角度量測系統示意圖	86	圖4.6	不同懸臂尺寸於不同溫度下其翹曲角度之變化圖	87	圖4.7 噴射氣流實驗機
87	圖4.8	量測系統示意圖	88	圖4.9	不同白金電阻尺寸流量計之風速對阻值之變化圖	88	圖4.10 不同懸臂尺寸流量計之風速對阻值之變化圖
89	圖4.11	懸臂尺寸Wbeam=400 μ m流量計之反應時間圖	89	圖4.12	懸臂尺寸Wbeam=1200 μ m流量計之反應時間圖	90	圖4.13 懸臂尺寸Wbeam=2000 μ m流量計之反應時間圖
90	圖4.14	壓阻長度					

為 $L_{pt}=3000\ \mu\text{m}$ 之流量計之滯後效應圖 91 表目錄 表1.1 感測效應 55 表1.2 微機電技術應用產品市場變化表 56 表2.1 應力單位換算表 57 表2.2 相關材料特性表 57 表3.1 不同CVD製程方式比較表 58 表3.2 製程上常用之光阻去除之方法 58 表3.3 反應式離子蝕刻常用的氣體 59 表4.1 各壓阻長度之氣體流量計之靈敏度 60 表4.2 各懸臂尺寸之氣體流量計之靈敏度 60

## REFERENCES

參考文獻 [1] 行政院國家科學委員會，微機電系統技術與應用，精密儀器發展中心，民國92年初版。

- [2] Qiu L., Hein S., Obermeier E., Schubert A., Micro gas-flow sensor with integrated heat sink and flow guide, *Sensors and Actuators A*, 54, 547-551, 1996.
- [3] Neda, T., Nakmura K., Takumi T., A polysilicon flow sensor for gas flow meters, *Sensors and Actuators A*, 54, 626-631, 1996.
- [4] Makinwa K.A.A., Huijsing J.H., A wind-sensor interface using thermal sigma delta modulation techniques, *Sensors and Actuators A*, 92, 280-285, 001.
- [5] Mailly F., Giani A., Bonnot R., Temple-Boyer P., Pascal-Delannoy F., Foucaran A., Boyer A., Anemometer with hot platinum thin film, *Sensors and Actuators A*, 94, 32.38, 2001.
- [6] Kim S., Nam T., Park S., Measurement of flow direction and velocity using a micromachined flow sensor, *Sensors and Actuators A*, 114, 312 – 318, 2004.
- [7] Svedin N., Stemme E., Stemme G., A static turbine flow meter with a micromachined silicon torque sensor, *Journal of Microelectro-Mechanical Systems*, 12(6), 937-946, 2003.
- [8] Su Y., Evans A.G.R., Brunnschweiler A., Ensell G., Characterization of a highly sensitive ultra-thin piezoresistive silicon cantilever probe and its application in gas flow velocity sensing, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 12, 780-785, 2002.
- [9] Lee C.Y., Lee G.B., Micromachine-based humidity sensors with integrated temperature sensors for signal drift compensation, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 13, 620-627, 2003.
- [10] 張原銘，" 二氧化矽及氮化矽薄膜機械性質之量測 "，國立中興大學機械工程學系碩士論文，2004。
- [11] Lee C.Y., Tsai C.H., Chen L.W., Fu L.M., Chen Y.C., Elastic-plastic modeling of heat-treated bimorph micro-cantilevers. *Journal of Microsystem Technologies*, In press, 2006.
- [12] 陳丕宇，" 應用MEMS微型壓力感測器於風洞實驗之研究 "，國立成功大學航空太空工程學系碩士論文，2001。
- [13] 許志豪，" 壓阻式微流量感測器之設計、製作與模擬探討 "，國立中正大學機械工程研究所碩士論文，2005。