

# 應用於高氣體流速之微懸臂流量感測器

王禹翔、李佳言

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

## 摘要

本文目的乃於應用殘留應力(Residual Stress)在微懸臂(Micro-cantilever Beam)上產生的翹曲之特性來製作微型結構的氣體流量計。微型感測器除了較一般傳統感測器有更小的體積外，也因其尺寸的微型化而更易達到精密的量測與較佳的靈敏度。本研究運用兩面皆沉積一層氮化矽(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)的矽晶圓，並選擇白金(Pt)作為感測電阻，對其進行體型微細加工(Bulk Micromachining)以製作出具有壓阻結構之微懸臂，其中懸臂白晶圓蝕刻成形後，會因其殘留應力的釋放而使懸臂產生翹曲的狀態。當氣體流過懸臂時對其所產生的形變，藉由量測懸臂上白金電阻值之變化後便可知氣體的流速變化大小。本研究之實驗結果顯示其偵測靈敏度最高可達0.0533 ( /ms<sup>-1</sup>)，而量測範圍最大可達44.47(ms<sup>-1</sup>)，亦擁有快速的反應時間與高穩定度。

關鍵詞：殘留應力；微懸臂；流量計；微機電系統技術

## 目錄

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 圖目錄	x 目錄	xiii 符號說明	xiv 第一章 緒論 1.1 前言	1 1.2 微
機電系統 2 1.2.1 元件與應用	3 1.3 流量計	6 1.3.1 差壓式流量計	8 1.3.2 變面積式流量計	13 1.3.3 電磁
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	17 1.4 論文回顧	18 1.5 研
究動機與目的 19 1.6 本文架構	20 第二章 原理與設計 2.1 殘留應力對微懸臂流量計之影響	21 2.1.1 應力分布	21	21
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 2.4 不同懸臂	28 2.4 不同懸臂
尺寸之尺寸設計 29 第三章 製程技術 3.1 製程技術簡介	30 3.1.1 加工技術	30 3.1.2 薄膜製程	32 3.1.3 晶圓表	32 3.1.3 晶圓表
面之清潔 34 3.1.4 微影技術	36 3.1.5 蝕刻	39 3.2 製程步驟簡介	41 3.2.1 晶圓選擇與準備	42 3.2.2 定義
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 3.2.5 定義背部蝕刻圖案	44 3.2.6 矽	44 3.2.6 矽
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 3.3.2 光罩繪製的技巧	46 3.3.3 蝕刻控制	46 3.3.3 蝕刻控制
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 4.1.2 量測模組設計與建構	48	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 4.3 風速對阻值之響應	50 4.3.1 不同白金	50 4.3.1 不同白金
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 4.5 滯後現象	52 4.5 穩定度	52 4.5 穩定度
52 第五章 結論 5.1 結論	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1.2 流
孔板 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	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	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	71 圖2.8 不同白金電阻設計尺寸
圖Lpt=4450 μ m	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	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	76 圖2.13 不同懸臂設計尺寸	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	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	81 圖3.5 懸臂於顯微鏡下之外
觀Wbeam=400?悞	82 圖3.6 懸臂於顯微鏡下之外觀Wbeam=1200?悞	82 圖3.7 懸臂於顯微鏡下之外觀Wbeam=2000?悞	83	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	84 圖4.1 原子力顯微鏡工作原理示	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	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	87 圖4.7 噴射氣流實驗機	87 圖4.7 噴射氣流實驗機
化圖	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	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	89 圖4.12 懸臂尺	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	90 圖4.14 壓阻長度	90 圖4.14 壓阻長度
為Lpt=3000 μ 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	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3.2 製程上常用之光阻去除之方法
58 表3.3 反應				

## 參考文獻

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。