

結合無線感測網路 之微型氣象站

李佳言

Leecy@mail.npust.edu.tw

國立屏東科技大學 車輛工程系 教授
分機：7561

王禹翔

歐吉森企業有限公司 工程師

馬榮華

陸軍軍官學校 機械工程學系 教授

近年來，新興的微機電系統(MEMS)技術和微加工技術常被使用來製作微感測器。新興的微機電系統(MEMS)技術和微加工技術已成為一種感測器微型化的熱門方法。更重要的是，微感測器藉由整合成熟的邏輯IC技術或其它感測器，可大幅提升其功能和可靠性。為了有效評估氣候的變化，需對收集空間環境的溫度、濕度、氣壓、氣流方向和速度等參數。由過去的研究報告可知微機電感測器可用於監控如壓力[1]、流速[2,3]、溼度[4,5]、溫度和多參數(兩種或更多)[6~10]等參數。

本研究整合白金電阻溫度感測器(RTD)、金指叉電極(IDEs)與聚酰亞胺層用於量測溼度、以白金壓敏電阻為基礎的壓力感測器以及用於判別氣流方向與速度的風速風向計。溫度量測是根據電阻因環境溫度的變化而呈線性關係變化作為量測原理。利用聚酰亞胺層的介電常數隨環境濕度變化而變化的特性，以覆蓋吸水性的聚酰亞胺層金指叉電極上作為濕度計測量溼度。透過經由背部蝕刻後所釋放成形的薄膜結構上分別製作八對加熱器與感測電阻及四壓敏電阻作為流量感測器和壓力感測器。氣流方向是藉由具方向性之氣流通過感測器所造成感測器電阻波動來作為判定依據。而氣流流速可由感測電阻之變化總和來求得。最後，溫度、溼度、壓力、氣流流速和方向變化所產生的訊號經由連接微機電感測器與Octopus II感測節點間的類比電路放大並轉換成電壓訊號。最後，Octopus II感測節點將類比訊號轉換成數位訊號，並以無線方式發送至資料紀錄器或電腦，如圖一所示。

微機電式氣象監測系統之感測器是製作於沉積一層氮化矽薄膜之矽晶片上，並製作白金電阻作為加熱器和感測器。圖二所示為本研究製作的感測器之配置和尺寸圖。

於圖二(a)中，感測器包括白金電阻溫度感測器、帶有金指叉電極的溼度感測器、白金壓敏電阻為基礎的壓力感測器和用於判斷氣流方向與速度的氣體流量感測器。當中透過金電極作為連接感測器與感測電路。

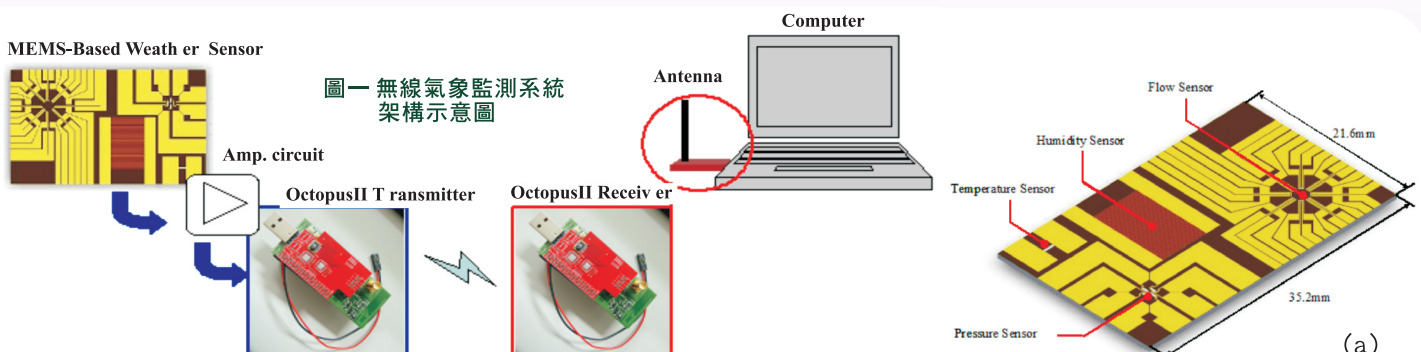
如圖二(b)所示，金電極沉積製作於白金電阻溫度感測器的兩側。而白金電阻溫度感測器的尺寸大小為1800mmX300mm(長X寬)。溫度測量是依電阻隨環境溫度的變化而改變的電阻值來測量。圖二(c)所示為濕度感測器配置，其包含具水汽吸附能力的聚酰亞胺(PW-1500, Toray Industries, Inc.)和同一平面的金指叉電極。在壓力感測器所用的壓敏電阻[圖二(c)]和[圖二(d)]的流量感測器所用的電阻皆沉積製作於經背部蝕刻加工所製成之相同尺寸(3000mmx3000mm)之氮化矽薄膜上，其用於流速計具有絕熱效果；而同樣結構再經由背部密封而得一真空腔體，則可作為壓力感測器之用。

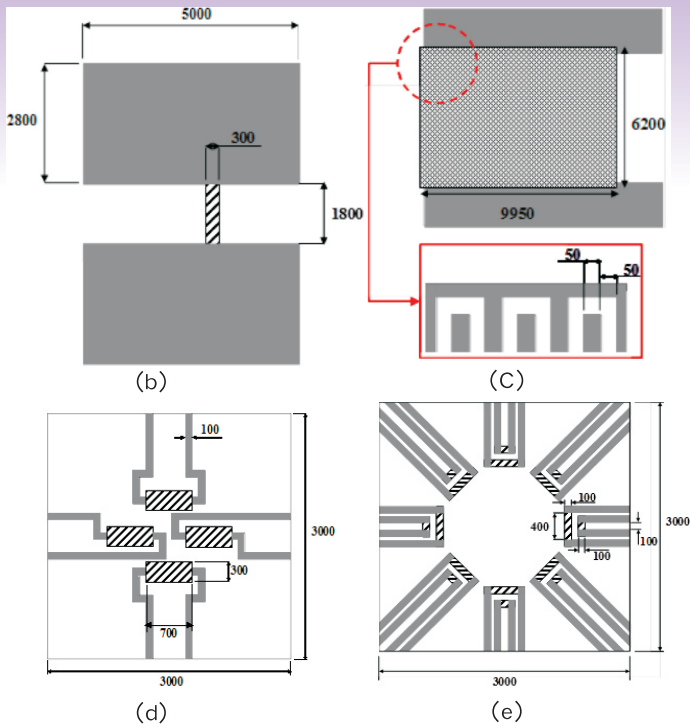
在圖二(e)中的流量感測器，以八對加熱器與感測器電阻來感測

薄膜上的氣流方向和速度。加熱器和感測器的尺寸分別是100mmX100mm和400mmX100mm。當一電場施加在加熱電阻上，量測風速風向是基於八個電阻間因氣流的焦耳效應所產生不同的溫度變化反應進行量測。當氣流以一方通過這些電阻，便可測得每對電阻器間的訊號變化差異。通過操控和評估所有感測電阻器上獲得的訊號，不論方向的流量和速度，都能準確測量到。在這項研究中的無線感測網路平台設備(Octopus II-A)被用來進行類比/數位轉換和無線傳輸。TinyOS的開發環境是一開放原始碼、可視窗化和控制的工具(TonyOS是一個開放原始碼的操作系統，專為低功耗無線設備，如感測器網路、一般計算、個人區域網路、智慧化建築和智慧化感測器等)。Octopus II的核心處理晶片MSP430F611是由德州儀器公司生產製造，而無線通訊晶片則採用Chpcon公司根據IEEE 802.15.4規範生產之CC2420晶片。

在這項研究中，白金電阻被用作為壓敏電阻、加熱和感測電阻，並用來測量薄膜的變形量和溫度，以金作為電極連接外部類比電路。用金作為電極旨在以低電阻率降低導線中的電阻抗。圖三為微機電式氣象監測系統之感測器製造過程。首先沉積一層1.0μm低應力氮化物層於單面拋光之矽晶片的兩側。於沉積白金之前，先沉積一層鉻(0.02μm)作為黏附層。接著以電子束蒸鍍方式沉積0.1μm的Pt層。用同樣技術沉積製作金(0.4μm)作為導線電極。為了形成薄膜結構，故採用通以SF₆的反應性離子蝕刻製程定義背部蝕刻的氮化物遮罩層圖形，並以氫氧化鉀水溶液(40 wt%, 85°C, J. T. Baker)的濕式蝕刻製程進行背部蝕刻與薄膜成形。接著旋塗與定義圖形一層聚酰亞胺(PW-1500, Toray Industries, Inc)作為水汽感測層，固化後厚15μm並以此原理作為濕度感測器。最後透過UV黏合劑(OPAS-101, 立昕科技, 台灣)將玻璃基板與感測器晶片背部於負壓狀態下進行膠合，形成一個真空密封的空氣壓力測量室。

本研究對微機電式氣象監測系統之感測器進行性能測試設置如圖四所示。溫度、溼度和壓力對感測器特性影響，將恆濕恆溫箱(HRM-80FA, 泰琪, 台灣)設置於真空腔體中進行。該恆濕恆溫箱能提供30%RH~95%RH的濕度和20~85°C的溫度。恆濕恆溫箱可單獨調整溫度和濕度，並維持於恆定水平。濕度和溫度測量過程中使用一參考感測器濕度/溫度測量儀(HT-3009, 路昌電子公司, 台灣)。壓力變化透過使用真空幫浦和空氣壓縮機來改變試驗腔體內的空氣壓力，而參考壓力計(PG-100, 日本電產科寶電子株式會社, 日本)測量當下壓力值。本研究所述之風速感測器設置於旋轉工作台(LCPR60, 坦聯企業有限公司, 台灣)進行風洞測試。改變氣流速度於在0~8ms⁻¹之間以評估分布在薄膜上八個不同點感測電阻器之訊號響應，同時一參考用風速計(AM-4203,





圖二 微機電式氣象監測系統的尺寸配置圖。(a)外觀，(b)熱電阻，(c)溼度感測器，(d)壓力感測器和(e)流量感測器的配置和尺寸。(單位： μm)

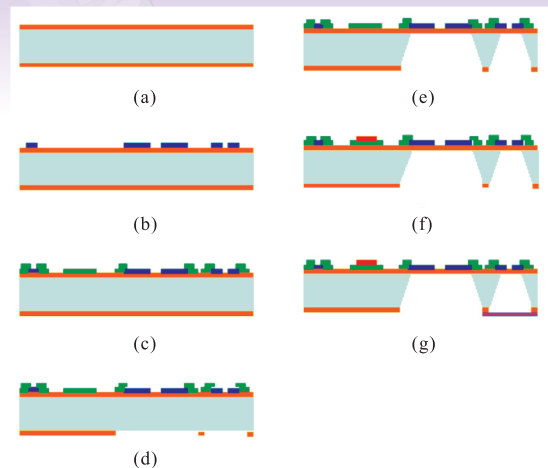
路昌電子公司，台灣)量測當下之空氣流率。

透過連接於感測器和Octopus II感測節點間的類比電路將溫度、溼度、壓力、氣流速度和氣流方向的電壓訊號放大並調變為特定電壓。通過Octopus II感測節點將感測器類比電壓訊號轉換成數位訊號，並無線發送至數據紀錄器。圖五和圖六為感測器訊號轉換和測定訊號路徑。當氣流通過時，電阻值變化量可透過設置於薄膜上八個方向之感測電阻得知，而氣流速率則可由感測電阻之總變化量推算得知。然後將電阻訊號經由惠斯登電橋轉換與放大成電壓訊號。經由Octopus II-A之微控制器的數位類比轉換後，再將數位訊號發送至Octopus II-A接收端進行後續數據資料之換算判斷。

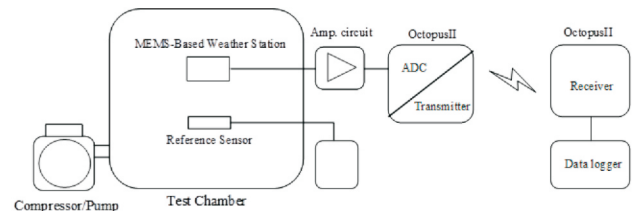
本研究提出以微機電技術和無線感測網路技術為基礎的無線氣象監測系統用以監測溫度、溼度、壓力、氣體流速和方向。無線氣象監測系統之感測器利用微機械加工技術整合由白金電阻溫度感測器、電容式溼度感測器、壓敏電阻式壓力感測器和熱式風速風向計。於訊號放大與數位類比轉換後，以Octopus II-A感測節點利用無線感測器網路技術進行接收和發送訊號。實驗結果證明了，隨環境溫度變化，溫度感測器的響應呈線性增加。其TCR值平均為 $8.2 \times 10^{-4} (^{\circ}\text{C}^{-1})$ ，壓力感測器的電阻隨空氣壓力增加而變化，其計算出的平均靈敏度為 $3.5 \times 10^{-2} (\Omega/\text{KPa})$ 。其中溼度感測器的靈敏度，隨環境溫度上升而增加，其介電常數在溫度影響下，分別在 27°C ， 30°C 下， 40°C 下和 50°C 溫度下分別為16.9，21.4，27.0，和38.2 (pF/%RH)。氣流速度為通過流量感測器之所有感測電阻的變化總和，其感測靈敏度於消耗功率分別為0.2，0.3，0.5 W下為 4.2×10^{-2} ， 9.2×10^{-2} 和 $9.7 \times 10^{-2} (\Omega/\text{ms}^{-1})$ 。

參考文獻

- [1]Chen, L.T.; Chang, J.S.; Hsu, C.Y.; Cheng, W.H. Fabrication and Performance of MEMS-Based Pressure Sensor Packages Using Patterned Ultra-Thick Photoresists. *Sensors* 2009, 9, 6200-6218.
- [2]Wang, Y.H.; Lee, C.Y.; Chiang, C.M. A MEMS-based Air Flow Sensor with a Free-standing Microcantilever Structure. *Sensors* 2007, 7, 2389-2401.
- [3]Ma, R.H.; Wang, D.A.; Hsueh, T.H.; Lee, C.Y. A MEMS-Based Flow Rate and Flow Direction Sensing Platform with Integrated Temperature Compensation Scheme. *Sensors* 2009, 9, 5460-5476.
- [4]Arshak, K.; Twomey, K. Thin films of $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ for Humidity Sensing Applications. *Sensors* 2002, 2, 205-218.
- [5]Arshaka, K.; Twomey, K.; Egan, D. A Ceramic Thick Film Humidity Sensor Based on MnZn Ferrite. *Sensors* 2002, 2, 50-61.
- [6]Gogoi, B.P.; Mastrangelo, C.H. A Low Voltage Force-Balanced Barometric Pressure Sensor. In *Proceedings of International Electron Devices Meeting (IEDM)*, San Francisco, CA, USA, 8 - 11 December 1996; pp. 529 - 532.
- [7]Mayer, F.; Haberli, A.; Jacobs, H.; Ofner, G.; Paul, O.; Balter, H. A Single Chip CMOS Anemometer. In *Proceedings of International Electron Devices Meeting (IEDM)*, Washington, DC, USA, 7 - 10 December 1997; pp. 895 - 898.
- [8]Rittersma, Z.M. Recent Achievement in Miniaturized Humidity Sensors—A Review of Transduction Techniques. *Sens. Actuata* 2002, 96, 196 - 210.
- [9]Lee, C.Y.; Lee, G.B. Humidity Sensors: A Review. *Sens. Lett.* 2005, 3, 1 - 14.
- [10]Bakker, A. CMOS Smart Temperature Sensor—An Overview. In *Proceedings of the IEEE Conference on Sensors*, Orlando, FL, USA, 12 - 14 June 2002; pp.1423 - 1427.



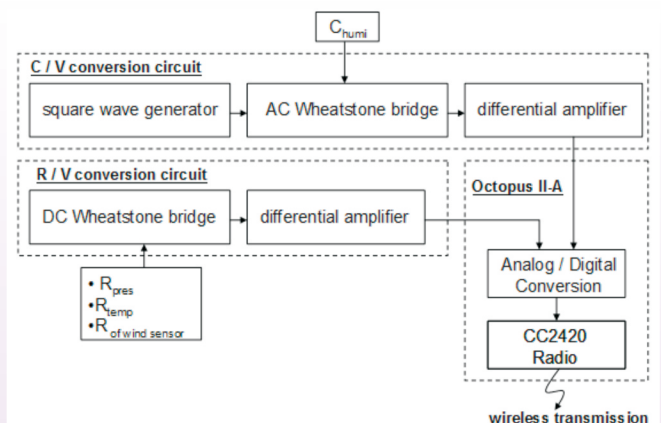
圖三 簡易的微機電式氣象監測系統之感測器製程示意圖。(a)低應力氮化物沉積於矽晶片，(b)電子束蒸鍍白金/鉻薄膜，(c) 電子束蒸鍍金/鉻薄膜，(d)SF6反應性離子蝕刻，(e)背部蝕刻，(f)旋塗聚酰亞胺吸水層，(g)UV接著劑膠合並形成真空密封的壓力感測腔體。



圖四 無線氣象監測系統之溫度、溼度和壓力實驗設置示意圖。

Sensor	Amp. Circuit	μ -controller
Flow Sensor	R_e	V_e
	R_w	V_w
	R_s	V_s
	R_n	V_n
	R_{se}	V_{se}
	R_{nw}	V_{nw}
	R_{ne}	V_{ne}
	R_{sw}	V_{sw}
Pressure Sensor	R_{pres}	V_{pres}
Temperature Sensor	R_{temp}	V_{temp}
Humidity Sensor	C_{humi}	V_{humi}
		Direction
		Velocity
		Pressure
		Temperature
		Humidity

圖五 感測器信號判定路線圖。



圖六 微機電式氣象監測系統感測器之類比電路和信號轉換路徑的示意圖。