

# 節能氫氣感測系統

林坤緯  
朝陽科技大學資訊  
工程系副教授  
e-mail :  
kwlin@cyut.edu.tw

廖石龍  
朝陽科技大學資  
管所博士班

鄭榮中  
朝陽科技大學資  
工所

廖冠弘  
朝陽科技大學資  
工所

## 摘要

本研究成功製作半導體式氫氣感測器以及氫氣節能感測系統。本研究之無線感測系統以灰色內插法成功達到不影響感測特性下減少傳輸資料量之效果以及於接收端進行補點還原。本研究的有以下兩個特色，一、當感測到氫氣時，系統才會啟動可以達到節能之功用。二、氫氣進行感測時資料直接進行減點動作後再做傳輸。傳統的感測系統對每一次的感測資訊皆進行即時傳送，因此將會使傳輸元件無時無刻都處於工作狀態對系統造成相當大的電力損耗，而本系統利用資料減點將感測端的感測資訊透過減點動作後待一段時間之後再將資料傳出，此作法擁有兩項優點 1.降低電力消耗。2.降低傳輸量。此系統之建立將有成功解決無線傳輸電力損耗之問題。

**關鍵詞：**氫氣感測器、灰色內插法、減點傳輸。

## Abstract

In this study, we have successfully produced a hydrogen sensor based on semiconductor-type and energy-saving hydrogen sensing system. The wireless sensing systems successfully achieve the goal of reduce the amount of hydrogen sensing data by using gray interpolation without affect the characteristics of the sensing and reduction the sensing data at the server end. Our study has two distinguishing features. When hydrogen gas arrived, the hydrogen sensing system started. The other feature is that the sensing data will remove

redundant data before transmission. Conventional sensing system delivers the data immediately. The transmission system work all the time, the power consumption is a big problem. The method of our study has two advantages, one is we can reduce the power consumption, the other is we can reduce the amount of transmission data. The establishment of this system will be successfully resolved the problem of wireless transmission power consumption.

**Keywords:** hydrogen sensor, gray interpolation, reduce the sensing data.

## 1. 簡介

氫氣具有非常廣闊的應用層面，舉凡電子工業、食品工業、冶金工業、精細有機合成、航空航天工業等領域都具有相當的應用範疇，氫氣的特性是無色、無味、無臭、無毒且具有相當高的可燃性，若空氣氫氣濃度若達 4.65 - 93.9 vol %時，還具有爆炸之危險，因此發展氫氣感測器系統是必要的。

雖然傳統氫氣感測器已經發展數十年，但絕大部分仍存有體積大、價格高外，信號易游離，再現性差等缺點，傳統的氫氣感測器在製作上，多是利用陶瓷做為基材，結合網印與燒結的方式製作而成。雖然有不錯的靈敏度，但由於是採用單件式的生產方式 (single-unit production)，不能成批的大量製造，所以價格昂貴，而不論是熱響應時間，或氣體響應時間都略長，且體積龐大，降低了實用性。因此發展

一輕薄短小的智慧型主動元件氫氣感測器已是當今一項重要課題。近年來，由於半導體技術的進步，以半導體結構作為半導體氫氣感測器之研究引起了許多人的興趣以及製作。其結構採用鈹金屬之原因在於鈹具有良好的觸媒活性[1]，在含有氫氣的環境中，能將吸附於表面的氫分子解離為氫原子，而部分的氫原子將會擴散穿過鈹金屬並吸附於金屬與氧化層介面，這些氫原子經極化後，會造成氧化層與矽半導體介面的蕭特基能障高度改變，也因此改變了元件的電性。此外，感測電路的設計與測量同時也不斷的增進其精度與效率[2][3]，為了安全考量通常會在易於洩漏氫氣處安置感測電路，而這些地方通常必須以無線傳輸，在無線傳輸系統的應用上最重要的問題之一就是電力問題，傳統的解決方式以配置休眠時機即可大幅改良此問題[4]，然而傳輸進入休眠期間將出現安全性的問題，在傳輸安全以及電力損耗通常無法兼顧，本研究將提出解決此一困擾之方案，一、我們將自製一個半導體氫氣感測器，此半導體氫氣感測器具有低功耗的特性，二、將感測到的氫氣響應以[5]使用到灰色多項式演算法進行減點，大幅縮減感測數據卻不失真結果。三、感測到氫氣濃度時才開啟傳輸功能。透過以上三項達到節能的功用。

本研究之感測系統，由具高靈敏、快速反應、且低功耗之感測器並配合其感測電路，即時擷取訊號透過一階微分來進行減點，使傳輸系統大幅縮小傳輸量與傳輸時間，伺服端使用灰色多項式內插將減點後訊號進行修補，其成功將資料縮小為原資料量之 10%，還原補點後與原資料誤差為 0.28%。

### 實驗方法

圖一為本實驗之半導體式氫氣感測器之橫截面圖，經過每秒鐘 500cc 流量之不同氫氣濃度量測可得如圖二之結果。從圖二可以發現氫氣感測器的變化量取決於氫氣之濃度，我們可以發現氫氣濃度高低與

感測器的反應遵循一種規律的變化，且感測器所測量的感測資訊數據龐大，在資料的儲存與傳送時我們可以利用一階微分對於即時採樣資料進行選擇，做出傳輸與不傳輸的判定，傳輸關鍵資料且忽略冗餘資料是本研究的一大特色。

灰色系統理論於 1982 年由中國學者鄧聚龍教授所提出。灰色系統 GM(1,1) 模型最大的優勢在於，不需大量資料數據僅需四筆數據即可進行建模。

由實驗模擬得知在 GM(1,1) 建模中，原始資料經過一次累加生成處理，其資料並不一定具有指數型態，也因此將造成資料內插與預測時有較大的誤差，若使用 GPM(L,N) 來進行內差則可改良此問題[4][5]，GPM(L,N) 是 GM(1,1) 的改良，將 GM(1,1) 差分方程式改成多項式，其中 L 為多項式階數，N 為變數個數。

本研究所使用的灰色多項式內插法，是使用 GPM(L,N) 模型的再改良 1-D GPI，也就是一維二階多項式模型，三點建模。透過灰色多項式計算出其內插或預測值。

在 [5] 中假設原始資料記為  $D = \{D(k), \text{for } 1 \leq k \leq 3\}$ ，使用 GPI 的實行步驟敘述如下：

Step 1. 將三筆資料記為  $\{D(k), 1 \leq k \leq 3\}$ ，經過 1-AGO 得到：

$$D^{(1)} = \{\sum_{i=1}^k D(i), 1 \leq k \leq 3\}. \quad (1)$$

Step 2. 令  $D^{(1)}(k)$  具有一維多項式型態：

$$D^{(1)}(k) = ak^2 + bk + c, \text{ for } 1 \leq k \leq 3. \quad (2)$$

Step 3. 將  $1 \leq k \leq 3$  帶入公式(2)，可得到以下公式：

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D^{(1)}(1) \\ D^{(1)}(2) \\ D^{(1)}(3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 4 & 2 & 1 \\ 9 & 3 & 1 \end{bmatrix}^{-1}. \quad (3)$$

Step 4. 取得(3)之解後根據其進行一次反累加生成運算取得估計值  $\bar{D}(k+1)$  如下公式(4)

$$\bar{D}(k+1) = \bar{D}^{(1)}(k+1) - \bar{D}^{(1)}(k). \quad (4)$$

本研究使用灰色多項式內插法，進行資料傳輸後的還原。

### A. 無線氫氣感測電路系統

欲預防氫氣外洩，發展出高靈敏度、

高響應速度且可靠度佳的氫氣感測系統是必須的。感測端電路運用半導體技術與單晶片製作，感測訊號經感測電路放大，經由單晶片監控空氣中的氫氣濃度值達成預警危險之效果。

圖三為氫氣感測系統 Client 端之流程圖，感測電路不斷的抓取數據且傳輸電路處於休眠狀態，直至微分值變動量有記錄必要或者已過 200 點未執行記錄則會啟動傳輸電路將資料傳出，使用此方法將大幅減少傳輸電路之工作時間。

本研究之無線氫氣感測系統總共分為 Sever 端與 Client 端兩部分，Client 端之電路圖如圖四所示。Client 端由單晶片控制氫氣感測器與放大電路及藍牙傳輸模組構成，藉由放大電路將氫氣感測訊號給放大，此放大動作可以協助單晶片進行氫氣濃度判斷，內部單晶片使用一階微分演算法對感測訊號進行處理，從中判讀其氫氣濃度，並預測氫氣濃度以決定是否發佈警報。而為同時保障可降低功耗與同時維護安全問題，我們在藍牙模組的控制上做了一個特別的設定，藍牙模組是 Client 與 Sever 之間的無線連結橋梁，為求降低其功耗我們使藍牙模組長時期進入休眠狀態，但必須了解到氫氣感測系統的最高目的是其安全性，若感測系統是單純的固定休眠定期開啟，則系統的安全性會在藍牙休眠期間存在一個空窗期的隱憂，為解決這個隱憂因此我們讓單晶片若偵測到感測訊號具有不正常浮動現象發生，便會即時啟動藍牙傳輸模組，傳送訊號至 Sever 端以避免感測不正確，而 Client 端在於工作狀態會去偵測即時之感測訊號但是對於感測訊號的會做一簡單演算法處理。此外必須考量單晶片系統的儲存空間是有限的，氫氣感測資料將透過單晶片程式之演算法，對感測資料進行減點後儲存，透過減點降低儲存資料量。事實上在藍牙傳輸模組開啟的狀況下，其對於 Sever 傳輸量是非常小的。Sever 端主要在於統合各 Client 端傳輸之資料，對其進行應當處理與紀錄，如對於 Client 端的介紹所述，我們可以知道當 Sever 端接收到訊號時，訊號狀態已經是於

Client 減點完畢之情形，Sever 去除進行分析訊號並執行各項處理外，還需為其減點的感測訊號做出補點處理，這裡補點所使用的方法為灰色多項式內差法，將其補點後進行儲存完成監測系統之儲存，若氫氣監測狀態具有危險，Sever 端會利用 Short Message Service(SMS)發出警告簡訊通知使用者，同時也會利用 e-mail 來進行各單位之通知。

藉由 Sever 與 Client 兩邊之配合，此無線氫氣感測系統，Sever 端可同時監測多點並且透過 Client 端之藍牙休眠與減點達到 Client 之低功耗需求，在由灰色多項式內插法進行補點完成系統紀錄，藉此協助系統達到高安全性、低功耗、且可靠度佳等效果。

## B. 系統工作流程

氫氣感測器對於不同的氫氣濃度皆擁有不同的反應程度，感測系統就是藉由此特性，對於氫氣濃度進行感測，而本系統則是利用此感測器之特性，配合灰色演算法進行模擬，從模擬的過程中成功證實了，其灰色內插演算法可以使 0ppm、15 ppm、50 ppm、100 ppm、200 ppm、500 ppm、1000 ppm、5000 ppm、10000 ppm，九種現已取得之實驗數據進行減點與補點，依然可以獲得高相似度以確保系統之高安全性與演算法可信度。

圖五為感測器之穩態測量圖，我們使用其 50 ppm、100 ppm、500 ppm 進行三點建模，並執行灰色多項式內插，以內插 200ppm 之內插值，在藉由實際已測量出之 200ppm 之內插值，來確認其準確度。圖五為氫氣感測器 200ppm 實際值與以灰色多項式內插方法所內插之 200ppm 內插值。

氫氣與感測器的暫態關係是系統實際運作時所偵測之狀態，暫態同時也是監控感測區域氫氣濃度的重要依據，在此處我們利用減點技術大幅的降低實際感測系統的暫態資料量，從圖六(a)為實際感測系統 200ppm 之暫態圖而圖六(b)為減點後 200ppm 採樣點。實際用於傳輸數據，也就是圖六(b)之減點圖，因其傳輸量較原本

200ppm 之完整數據資訊的傳輸量相比，數目僅是其原數據量 10%。故此減點之效益對於藍牙模組傳送所使用之功耗必然有絕對的影響，降低其藍牙傳輸模組工作量以求系統之藍牙模組盡速進入休眠狀態，達成降低功耗之目標。

儘管實際有傳輸之數據，是透過減點後的離散資訊，但從圖六(c)可以發現到透過灰色多項式內插法將採樣點完全補足後，其失真率是完全不影響系統工作之安全性。

### 結論

本研究現已發展設計出，氫氣感測器、感測電路、無線傳輸電路、單晶片控制系統、伺服端監測系統，並成功整合上述各區塊製作出無線氫氣感測系統，實際運作下效果良好，伺服端可透過後續處理補足感測端未傳送之資料，並且整體系統在監控中，確實達到安全、即時、降低功耗等目標。

系統在實際使用上經過 500ppm 暫態之實作，整體感測所採樣之電壓電流資訊共 4000 點，而透過傳輸後共減去 90% 資料量，也就是說傳輸系統只比一般傳輸所運用之系統傳輸時間之 10% 則可完成傳輸，伺服端雖只取得 10% 之資料，但透過灰色多項式完成補點後，補點資料與實際 4000 點資料，僅存在 0.28% 誤差。

### 致謝

特別感謝國科會贊助本研究計畫。

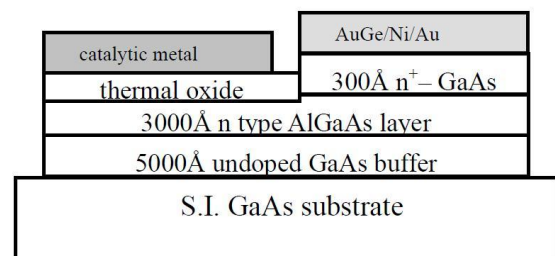
國科會編號: NSC 101-2221-E-324 -025 -

### 參考文獻

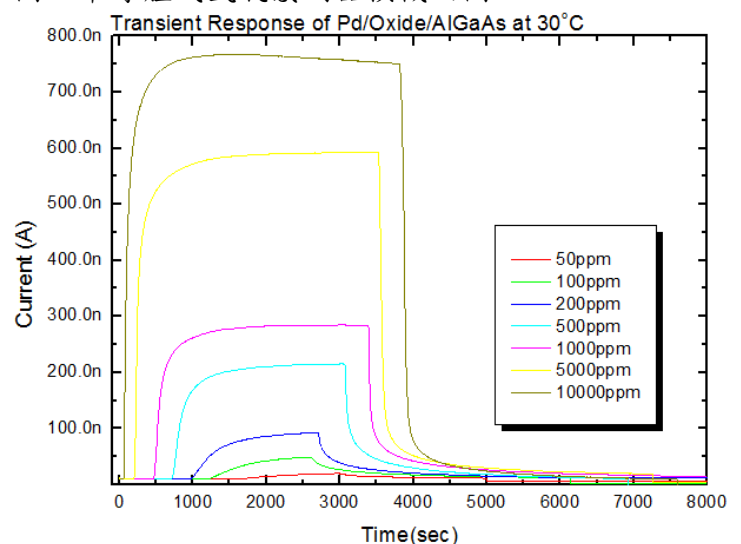
- [1] Min Gyun Chung, Dai-Hong Kim, Dong Kyun Seo, Taewoo Kim, Hyeong Uk Im, Hyun Myoung Lee, Ji-Beom Yoo, Seong-Hyeon Hong, Tae June Kang, Yong Hyup Kim, Flexible hydrogen sensors using graphene with palladium nanoparticle decoration. *Sensors and Actuators B* 169 (2012) 387–392
- [2] Lucia Bissi, Michele Cicioni, Pisana Placidi, Stefano Zampolli, Ivan Elmi, Andrea Scorzoni, A Programmable Interface Circuit for an Ultralow Power Gas Sensor. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND*

MEASUREMENT, VOL. 60, NO. 1, JANUARY 2011

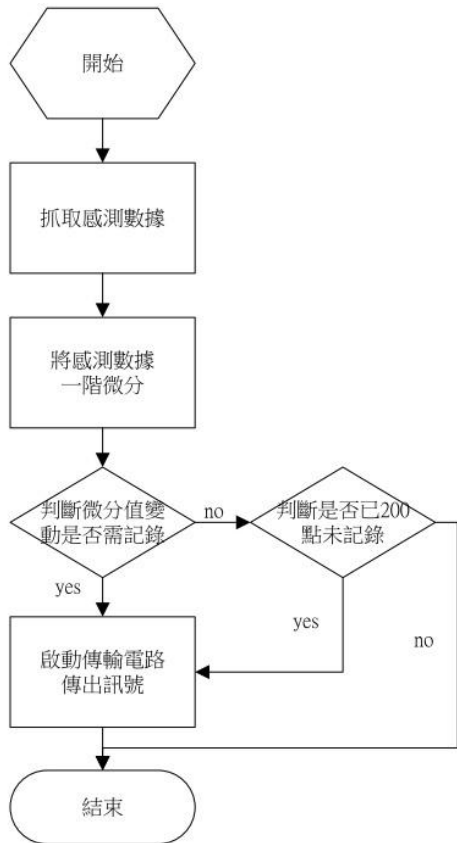
- [3] Fabio Rastrello, Pisana Placidi, Andrea Scorzoni, A System for the Dynamic Control and Thermal Characterization of Ultra Low Power Gas Sensors. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, VOL. 60, NO. 5, MAY 2011
- [4] C. H. Hsieh, H. C. Chen, and R. H. Huang, "Gray polynomial model," *J. Gray Syst.*, VOL. 19, pp. 203–208, 2007.
- [5] Kun-Wei Lin, Chi-Shiang Hsu, Analysis of Hydrogen Gas Sensing Characteristics Based on a Grey Polynomial Differential Model(GPDM) Algorithm. *IEEE SENSORS JOURNAL*, VOL. 11, NO. 9, SEPTEMBER 2011



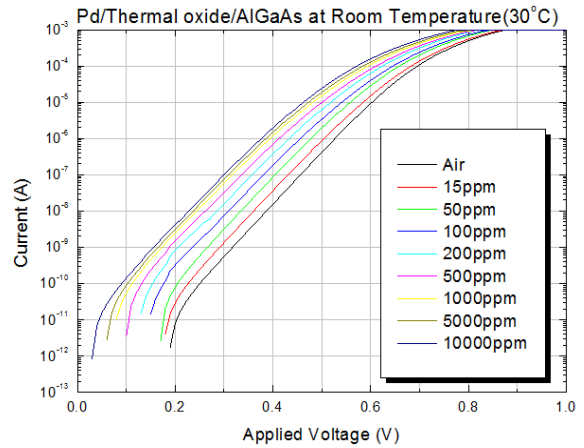
圖一半導體式氫氣感測器橫截面圖



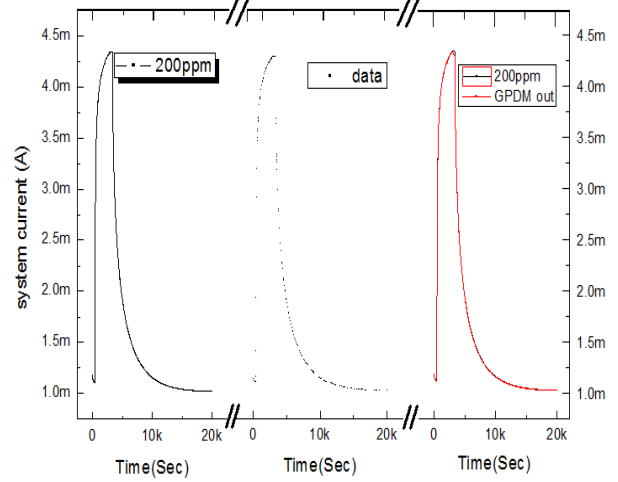
圖二 不同氫氣濃度感測暫態圖



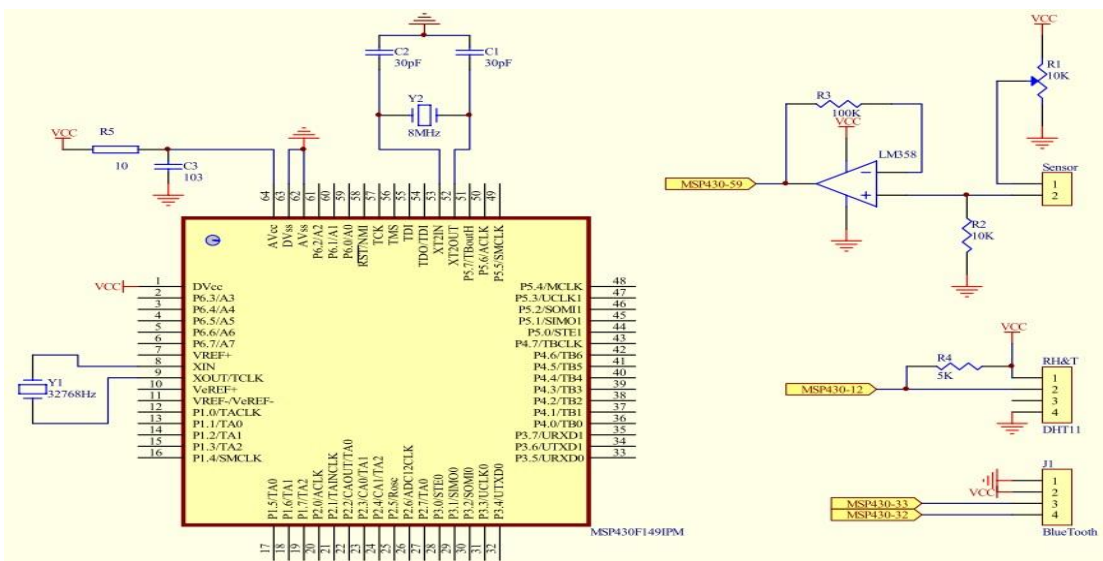
圖三 Client 端流程圖



圖五 不同氫氣濃度穩態感測



圖六 (a)200ppm H<sub>2</sub>/air 量測暫態圖  
(b)200ppmH<sub>2</sub>/air 減點暫態圖  
(c)200ppmH<sub>2</sub>/air 量測暫態與補點後暫態比較



圖四 Client 端電路圖