

具有預警功能之氫氣感測系統

林坤緯

朝陽科技大學資訊工程系 副教授

kwlin@cyut.edu.tw

王宏益

朝陽科技大學資訊工程系 研究生

s9827641@cyut.edu.tw

摘要

本研究中，製作一個可攜式、低功耗且具有預警功能之氫氣感測系統。本研究系統包含氫氣感測器、溫/濕度感測器、數位/類比轉換器和微控制器。氫氣感測器感測範圍為百萬分之一(ppm)至數%濃度，檢測結果至 LCD 顯示器顯示出氫氣濃度。本研究關鍵的優點可以在室溫下操作，另一個優點本研究氫氣檢測系統在於檢測氫氣濃度可在 4 秒內檢測出。另外，危險訊息可以透過微控制器迅速發出警報與送出 SMS 訊息告知。

關鍵詞：氫氣感測器、SMS 服務。

Abstract

In this paper, a hydrogen detection system with portable, low power and Advance warning has been fabricated. The hydrogen detection system includes a hydrogen sensor, temperature / humidity sensors, digital / analog converter and microcontroller. Hydrogen sensor can detection hydrogen gas which range is between ppm to %. The results of hydrogen gas concentration are showed on the LCD display. The key advantage of this hydrogen detection system can be operated at room temperature. Another important advantage of the hydrogen detection system is that the hydrogen gas concentration can be detection in 4 Seconds. Furthermore, the message of the system can through the microcontroller to quickly rate of SMS.

Keywords: SMS service, hydrogen sensors.

1. 前言

近年來，由於石油日漸枯竭，人們尋找許多能替代的新能源，其中氫氣能源因為取之不盡而最受到重視。然而，氫氣是一種易燃且無色無味的氣體，只要在空氣中氫氣濃度介於4%至75%時即有爆炸的危險。所以，氫氣感測系統在工業控制和環境安全中的各種應用是不可缺少的。氫氣感測系統的重要零件是感測器、量測電路與警報系統。最近幾年，許多研究氫氣感測器著重於氫氣感測系統中[1-3]。在1995年，D. L. Hetherington 等人製作出一個可攜式氫氣感測器，主要利用感測器接觸到氫氣時，會產生電流變化來做感測之反應 [1]。在2005年，Sadaki Nakano 等人在實驗室研究出無線氫氣感測系統，可以把感測器所量測到的電壓或電流加以計算後，再經由無線方式傳送到 Server 端進行儲存[2]。但是，他們所做的氫氣感測系統必須將感測器加熱至 100℃，才能準確量測到氫氣濃度值。因此，功率消耗與高溫度的感測器會使氫氣感測系統的使用性與持久性受到損害。

在本研究中，我們製作一個可攜式、低功率且氫氣感測器不需加熱就能準確測量到氫氣濃度的氫氣感測系統。為了解決無網路或網路阻隔的問題，因此採用了藍芽傳輸技術來加以處理並記錄，並且結合 SMS 系統來發送訊息到使用者手機上。本篇研究中，將提出一個快速計算演算法，是利用濃度造成瞬間電流變化的速率方式計算，並達到快速判別氣體在外洩時的狀態並發出警報。

2. 系統概述

圖 1 顯示本研究之氫氣感測系統的架構圖，本系統主要包含了兩個感測器(氫氣感測器與溫/濕度感測器)、訊號處理電路、微控制器系統和藍芽模組。氫氣感測系統設計提供準確訊號與即時警報功能，本氫氣感測系統監測範圍可由數%氫氣濃度至百萬分之一(ppm)濃度。本研究之氫氣感測器是一個金屬氧化物半導體電晶體式氫氣感測器，它主要輸出信號為電流 I_{DS} ，並且容易與訊號處理電路相連接。該感測器的訊號經由訊號處理電路接收類比電壓訊號，再由數位/類比轉換器轉換成數位訊號，這些訊號將做為微控制器系統的輸入。數位/類比轉換器是採用 8 位元類比數位轉換，其準確度為 ± 1 LSB。然後，藉由微控制器系統輸出氫氣濃度值(ppm)並顯示在 LCD 顯示器上。微控制器系統輸出訊號亦可透過藍芽模組將訊號傳至伺服器端儲存。若達到警戒值可發出警報，並透過 SMS 系統服務通知相關人員。

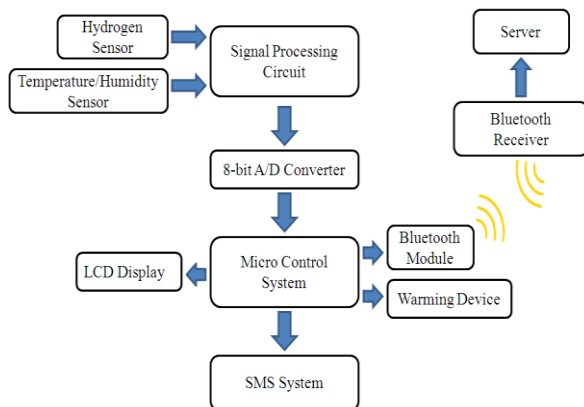


圖 1 氫氣感測系統之架構圖

2.1 感測器與特點

隨著半導體製程的快速發展，本研究採用金屬氧化物半導體電晶體式氫氣感測器作前端感測，可以減少感測器的體積。圖 2(a)是本研究之氫氣感測器橫切面圖。閘極為鈦觸媒金屬，源極及汲極之接觸金屬為金/鎳合金。圖 2(b)為本研究之氫氣感測器電路圖。源極和汲

極的阻抗值分別為 R_S 和 R_D 。當氫氣進入感測器表面時，氫氣將造成通道電阻改變，其改變值可用公式(1)表示：

$$R_{ch} = \frac{2L}{\mu n C_{ox} W (V_{GS} - V_t)} \quad (1)$$

其中 μ 為 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}$ 通道電子偏移率， C_{ox} 為氧化層電容， W 為閘極寬度， L 為閘極長度， V_t 為電晶體之臨界電壓。藉由閘極間的通道電子偏移率和閘極寬度與長度計算出 R_{ch} 。本研究之半導體氫氣感測器之電極，是經由金屬導線連接至封裝晶圓上，加以檢測氫氣濃度變化。

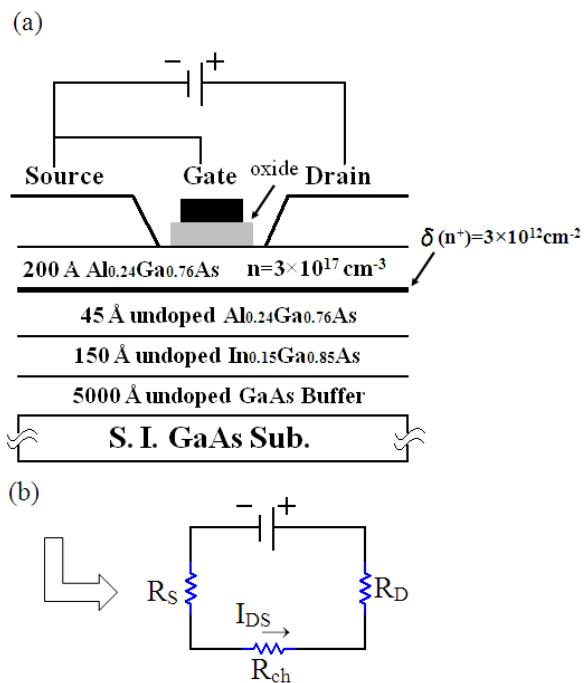


圖 2 (a)氫氣感測器橫切面圖 (b) 氫氣感測器之電路圖

2.2 訊號處理

因為氫氣濃度使氫氣感測器產生變化引起汲極電流值變化。該電流的變化通常非常小 (μA)，所以需要使用放大器將訊號放大。然而，使用多種感測器於感測器系統中，必須使用多工器分工作業，讓感測器(氫氣感測器、溫/濕度感測器)的值依照順序將訊號傳送於訊號處理電路中，如圖 3 所示。本研究為了實現簡單

與實用性高的氫氣感測系統，使用了 89S52 單晶片操作。圖 4 為本研究訊號處理流程圖，一開始我們將接收到的氫氣之電流值或電壓值與溫/濕度之值經由多工器分工，再使數位/類比轉換器進行數位轉換再傳送微控制器系統中，微控制器系統會將接收到的值加以計算並傳送到藍芽模組與 LCD 顯示器上顯示。

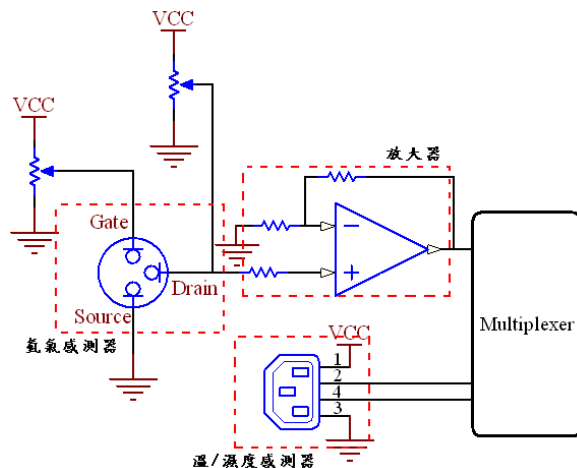


圖 3 感測器轉換電路圖

2.3 感測器傳輸機制與警告

氫氣感測系統包含兩個感測器(氫氣感測器、溫/濕度感測器)、訊號處理電路、微控制器系統和藍芽傳輸機制。該系統放置於適當的位置感測氫氣外洩，該系統的藍芽傳輸頻率 2.402GHz~2.480GHz ISM 上，工作電壓為 5 伏特，傳輸範圍為 500 公尺，該訊號能在 0.3 秒內迅速傳送到接收端。氫氣監控接收軟體開發是利用 .NET 來撰寫，該監控軟體可以使用在任何 Windows 作業系統上。它主要功能負責執行及時接收感測器傳送的數據、警報功能、SMS 服務，如圖 5 所示。本氫氣監控軟體能將接收到的資料，依照曲線圖的方式呈現，能及時更新資料庫資料，記錄資料接收時的日期、時間、氫氣電流值與溫/濕度。如果氫氣感測系

統偵測到危險的時候會發出警報訊息，例如發出警報鈴、LED 顯示燈閃爍、SMS 系統服務。該系統結合了 SMS 系統，該監控軟體在危險時能立刻判斷出氫氣外洩時的程度，能同時發出警報鈴與 SMS 服務，並傳送簡訊到相關人員中，並告知訊息內容，如圖 6 所示。

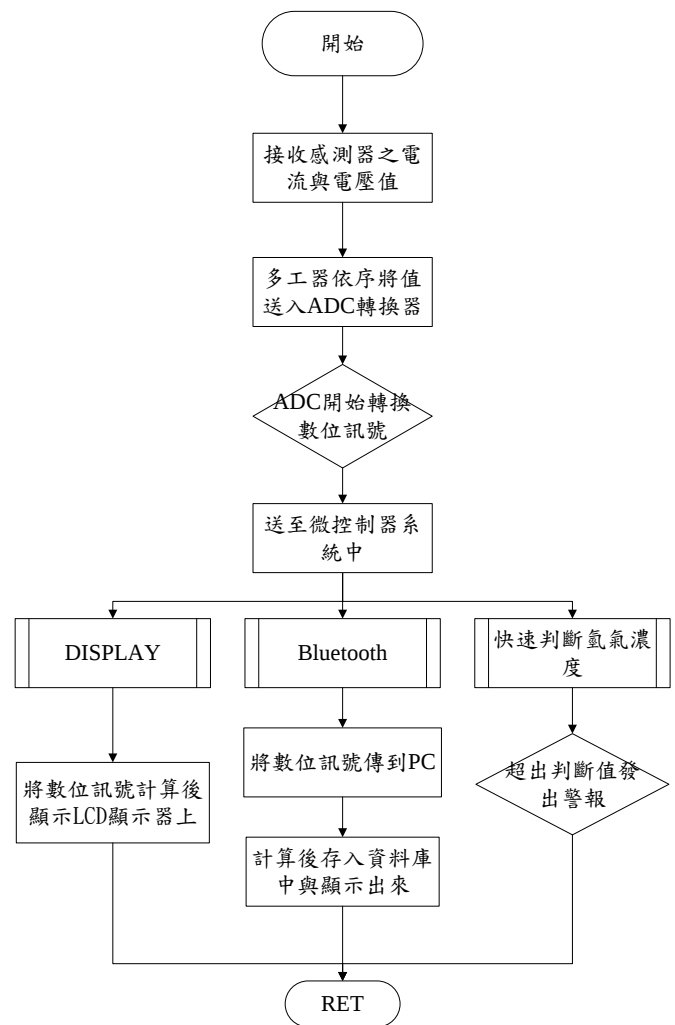


圖 4 訊號處理流程圖

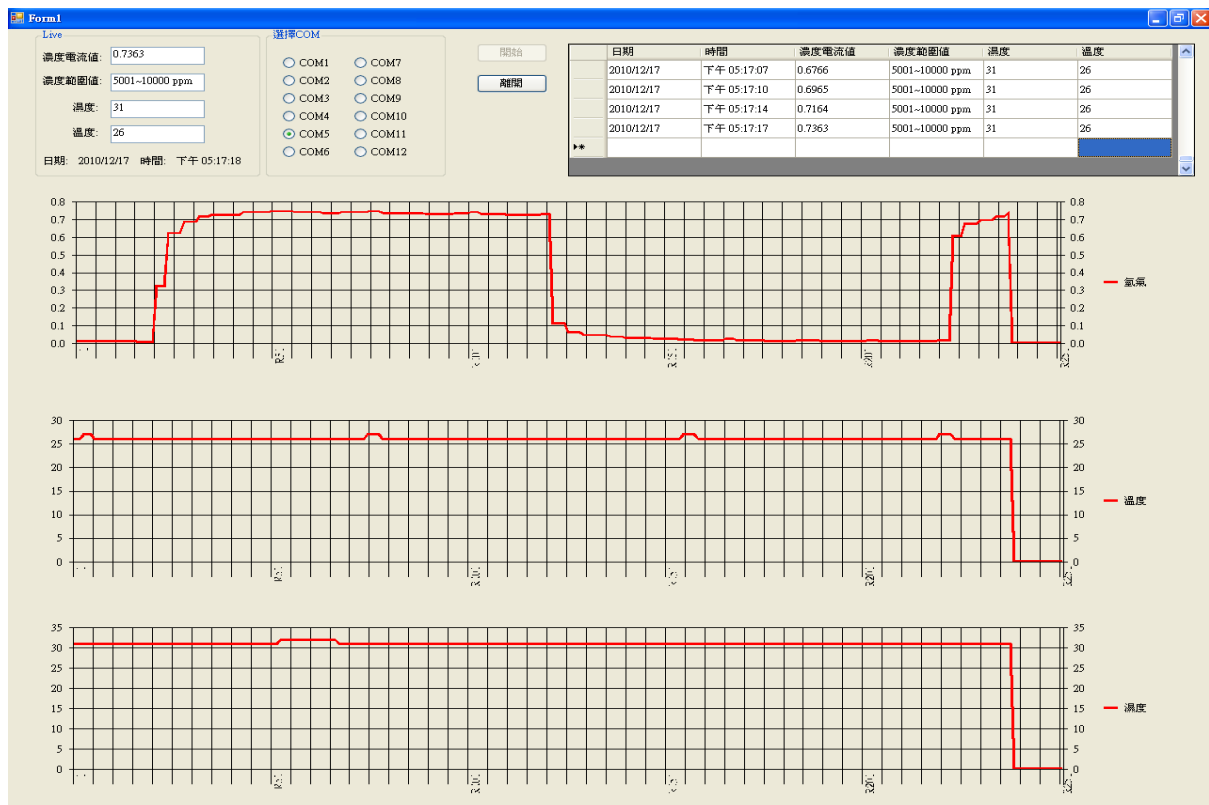


圖 5 本系統監控軟體



圖 6 本系統 SMS 系統之簡訊訊息

3. 結果與討論

本研究中，我們製作出全新的氫氣感測系統，該氫氣感測系統長為 9cm、寬為 8cm，如圖 7 所示。本系統除了可以使用 DC 驅動之外，亦可以使用 110 伏特使用變壓器來驅動該系統，可以在全天 24 小時檢測該地區是否有氫氣外洩。

在實際量測時，穩態輸入氫氣濃度之共源極輸出電流-電壓(I-V)的特性曲線圖，如圖 8

所示。當在 30°C 時，分別灌入氫氣濃度 15 ppm 和 1000 ppm 的響應曲線圖，如圖 8(a)所示。當氫氣進入感測器表面時，會造成感測器內的共源極電阻值改變，因為共源極的電阻改變，引起電流變化而通過氫氣氣體，這樣使氫氣反應可以直接量測到電流變化 I_{DS} 。圖 8(b)為感測器加熱至 92°C 時的特性曲線圖。圖 9(a)為本研究之氫氣感測器在 30°C 下的暫態響應，在點 A 為引入氫氣時；圖 9(b)為本研究之氫氣感測器在 92°C 時的暫態響應。由圖 9(a)(b)中可明顯看出，在較高的操作溫度時，氫氣感應電流的確有較大電流變化。可由圖 8、9 可知，本氫氣感測器即使在一般溫度下操作，本研究之感測器即有明顯的感測氫器濃度之能力。

傳統氣體檢測器系統設計是利用固定流量大小辨別，在超過警告值時會發出警報告知，也容易因溫度等外在因素造成誤判。然而，本研究在設計於以濃度造成瞬間電流變化速率來計算出氫氣濃度之值，由圖 8、9 看出，當不同氫氣濃度進入感測器時，電流有明顯的

變化，再將每個點變化時的電流加以計算出速率，公式如下：

$$\frac{d\Delta I}{dt} = \frac{\delta(I_{DS2} - I_{DS1})}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

表 1 為 30°C 和 92°C 時，氫氣感測器的響應時間以及初始電流變化速率。其中 τ_a 定義為電流到達電流變化量之 $(1 - e^{-1})$ 倍時所需時間，在 30°C 和 92°C 時之 10000ppm 氫氣濃度所需時間分別是 12 秒與 9 秒。由表 1 可清楚得知，當溫度越高時，所偵測氫氣濃度所需的時間越短，因為溫度高時，感測器內部中離子之間激烈互相碰撞，使得所需的時間相對減少。相對的，當氫氣濃度愈高時， $d\Delta I/dt$ 愈大，且隨著溫度升高 $d\Delta I/dt$ 也愈大。

所以在於傳統式氫氣感測器系統設計將感測器受熱提高溫度，使得感測濃度之能力所需的時間減少。本篇研究提出一個全新的方法，以濃度造成瞬間電流變化速率來計算出氫氣濃度值 $d\Delta I/dt$ ，不必將感測器提高溫度，也能清楚分辨與計算出氫氣濃度。

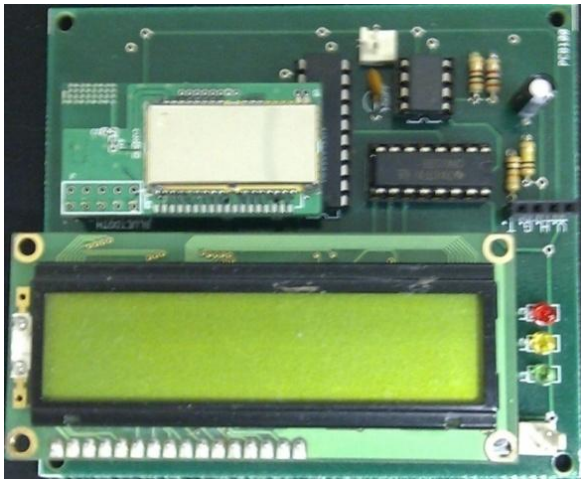


圖 7 氫氣感測器系統

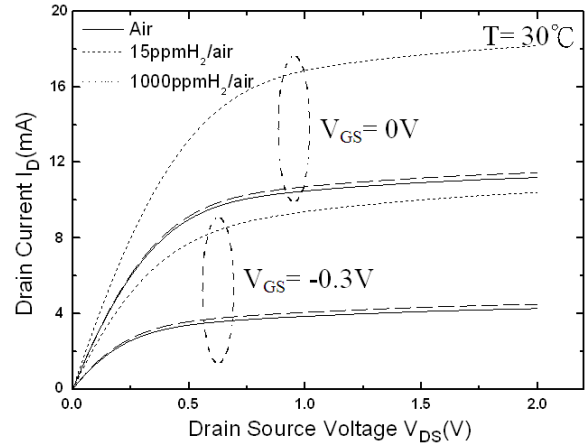


圖 8(a) 在 30°C 穩態時，共源極輸出電流-電壓 (I-V) 的特性

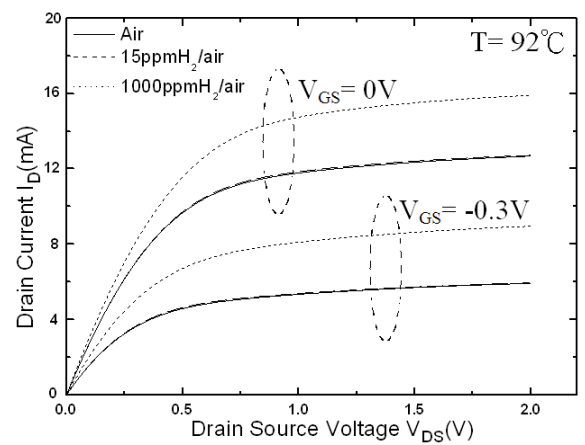


圖 8(b) 在 92°C 穩態時，共源極輸出電流-電壓 (I-V) 的特性

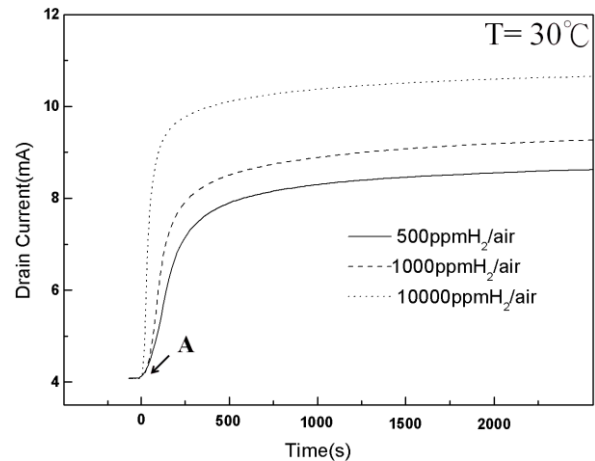


圖 9(a) 在 30°C 暫態時，共源極輸出電流-電壓 (I-V) 的特性

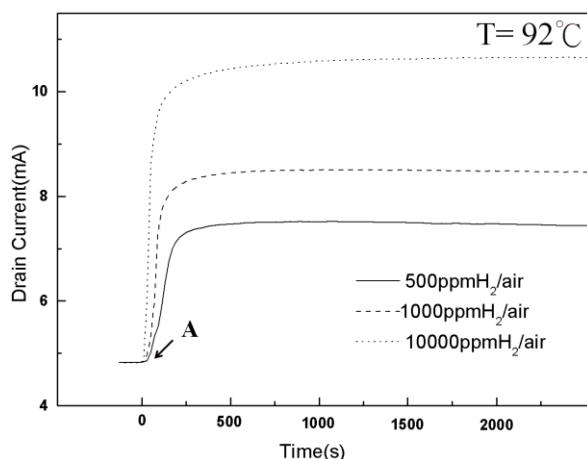


圖 9(b) 在 92°C 暫態時，共源極輸出電流-電壓 (I-V) 的特性

表 1 各溫度間的比較

溫度	係數 濃度	$\tau_a(s)$	$\frac{d\Delta I}{dt} (\mu A/s)$
30°C	500ppm	49	0.091
	1000ppm	34	0.152
	10000ppm	12	0.525
92°C	500ppm	15	0.16
	1000ppm	12	0.2809
	10000ppm	9	0.6232

4. 結論

本研究提出一個全新的氫氣感測器系統，該系統包含半導體金屬氧化物氫氣感測器、訊號處理電路與微控制器。另外，提出一個演算法快速的計算出氫氣濃度，在檢測氫氣濃度可在 4 秒內判斷該濃度大小。

在實際測量中，氫氣感測系統之氫氣感測器可以清楚表現出在於一般溫度下或是高溫下檢測氫氣濃度，都能穩定的檢測的氫氣濃度。該氫氣感測系統也結合藍芽模組的標準傳輸機制，將數據以數位方式傳送至伺服器中，以便人員遠端收集資料與監看。本研究之氫氣感測系統在未來可以結合嵌入式系統用於智慧型手機，監測人員可以隨時隨地觀看該氫氣感測系統。

參考文獻

- [1] D. L. Hetherington, R. W. Grant, K. L. Hughes, W. T. Corbett, R. C. Hughes, J. L. Rodriguez, and P. J. McWhorter, "A Portable Low-Power Hydrogen Gas Sensor System for Wide Range H₂ Detection," Circuits and Systems, 1994., Proceedings of the 37th Midwest Symposium on, 199 - 201 vol.1.
- [2] S. Nakano, Y. Goto, K. Yokosawa, K. Tsukada, "Hydrogen Gas Detection System Prototype with Wireless Sensor Networks," Sensors, 2005 IEEE, 159- 162.
- [3] Ho-Joon Seo, Kyu-Hyun Hwang, Dong-Hee Rhie, "Implementation of Gas Detection System for Hydrogen Gas Dissolved in Oil," Power Tech, 2005 IEEE Russia.
- [4] X. Yu^a, C. Li^a, Z.N. Low^a, J. Lin^a, T.J. Anderson^b, H.T.Wang^b, F. Ren^{b,*}, Y.L.Wang^c, C.Y. Chang^c, S.J. Pearton^c, C.H. Hsu^d, A. Osinsky^e, A. Dabiran^e, P. Chow^e, C. Balaban^f, J. Painter^g, "Wireless hydrogen sensor network using AlGaIn/GaN high electron mobility transistor differential diode sensors," Contents lists available at ScienceDirect, Sensors and Actuators B 135 (2008) 188–194.