Chung Yuan Journal
Vol. 28, No. 3, 2000, pp.103-107

一種經濟型紅外線高感度二氧化碳氣體偵測器之製作

廖峻德　劉光弘　許迪竣

中原大學醫學工程學系
台灣省中壢市普仁 22 號

曹拯元

中原大學建築學系
台灣省中壢市普仁 22 號

陳玉惠

中原大學化學系
台灣省中壢市普仁 22 號

(Received: April 26, 2000 ; Accepted: August 16, 2000)

摘　要

利用氣體對應於可被不同波長之紅外光的吸收特性，應用於材料受不同程度燃燒後釋出煙霧成分與濃度之量測，以早期偵測低濃度、火災產生前所釋放之特殊煙霧氣體，以減少財物及人員的傷害爲目的。對於火源的位置而言，時間的把握是非常重要的因素。而將感測裝置小型化有利於探測位置較不受空間因素及取樣數的影響。本先期研究利用二氧化碳分子吸收特定波長紅外光的特性做校正，將此波長範圍加以過濾出，轉換成以電壓顯示，達到快速檢測出非常態二氧化碳的濃度。基於此原理與方法，選擇適當的濾片，亦可檢測其它紅外光可吸收氣體。本原型裝置對二氧化碳做校正，經實驗室級測試，將濃度與輸出電壓值（紅外線感測的強度）修正爲線性關係以利於應用。測試結果顯示：可將之利用在偵測低濃度之特定氣體，其相關係數達-0.9039。進一步可針對影響因子，如：氣體擴散、放置地點、操作環境、及對二氧化碳靈敏度做評估。

關鍵詞：氣體偵測器，紅外光，二氧化碳，低濃度。

壹、緒　論

利用氣體對應於不同波長紅外光之吸收，目前已經被廣泛的應用於易燃材料受不同程度燃燒後釋出煙霧成分之量測（如：利用 TG-FTIR）[1,2]。故可將此量測技術應用於火警的早期偵測上，將可更準確於傳統偵煙裝置、並快速的得到火災的警訊。隨著國人生活水準的提昇與工作現場安全的需要，對於自身的住家及週邊、工作場所或公共設施的安全也愈加重視。根據消防署之統計，每年平均大約有七千七百件大小火警事件發生，而其中有百分之二十是因爲使用電器用品不慎而導致火災發生，另有百分之十五是由於無法立即察覺起火點而導致火災，因此，經常性的用電檢查及良好之警報系統有加強的必要性[3,4]。

偵測火災煙霧，依裝置的原理、感測物質方式的不同，而有不同的設計；有些裝置在沒有火災的情況下，如僅產生香煙之煙氣、鍋爐室之高溫等，偵測器有可能因無法判斷，視爲火警而產生誤報，特別是常用的煙探測器。本研究研發的感測系統以光電式的架構：利用特定氣體可被紅外光吸收來量測，例如：以高於常態存在之二氧化碳濃度而非煙霧濃度。其最大的優點在於：二氧化碳氣體的擴散遠比煙霧（視爲固體）來的快，尤其是燃燒產生含熱的二氧化碳氣體。另外，本研究以工業安全爲主要考量，在量測的氣體濃度範圍設定由 0-5000ppm±2%，可視其所需量測的環境來調整氣體濃度範圍，並以低濃度即能偵測爲目的。再者，改變紅外光濾片範圍，亦可偵測非常態存在之可被紅外光吸收氣體的濃度。

貳、紅外線吸收範圍選擇

紅外線早在十九世紀初就被英國科學家 Herschel 所發現，紅外線爲波長介於 0.78μm 至 1000μm 的電磁波，因其位在可見光範圍之外，但接近紅光範圍。當氣體溫度大於 0°K 時，氣體分子便位於不同的能階狀態，吸收或輻射特定頻率的電磁波，並以特有的頻率振動。當其由高能階躍遷至低能階時，假設能量減少ΔE，便向周圍環境輻射波長爲 $\lambda = hc/\Delta E$ 的電磁波，而每一種躍遷即對應一條光譜線，所有可能的躍遷所產生的光譜線便組合成該氣體的放射光譜。相反地，若分子吸收了波長爲λ的電磁波，則獲得了 $\Delta E = hc/\lambda$ 的能量，就會被激發，由低能躍遷至高能階且能量差爲ΔE。由於各級能階差爲固定值，因此被吸收的電磁波需符合此固定值，才可以和氣體分子發生交互作用而被吸收，反之則不被吸收。因此，氣體分子對能量的吸收和輻射有強烈的選擇性，吸收光譜和放射光譜有一致性[5,6]。

當分子內的正負電荷重心沒有在同一點時，則稱此分子爲具有電偶極，電荷量與電荷間距離的乘積則稱爲電偶極矩（electric dipole moment）。因紅外線的能量對應於分子共價鍵的振動能量，並可使分子的偶極矩隨振動而改變。只有不對稱性分子的振動和轉動，因爲電荷間距離不斷的改變，造成電偶極矩改變，才能輻射或吸收紅外線，例如：一氧化碳及二氧化碳等。二氧化碳爲直線形的三原子分子，其振動模式分爲伸展振動(stretching)和彎曲振動（bending），伸展振動是沿鍵軸方向運動，改變鍵的長短，又可分爲對稱與不對稱兩種型態，而彎曲振動是兩個氧原子相對運動以改變鍵角大小；對稱性伸展振動並沒有紅外線吸收，兩種彎曲振動模式因能量相同，所以其吸收波峰重疊於波長爲 15μm 處，另一個不對稱伸縮振動的吸收峰在波長 4.26μm 處[5,6]。

本研究利用此種相關判別特性，將紅外線波長在 4.26μm 時的波峰強度過濾出來，並且利用此波峰的特性值轉換爲電訊號（本研究以伏特數表示）後，可對應到二氧化碳的濃度。同理，利用本裝置的量測原理與方法，也可應用到其它特定、不對稱氣體分子的偵測。

參、紅外線高感度氣體偵測器設計

本設計可分爲三部份：入口及光源部分、樣本氣體管路及電子電路設計。

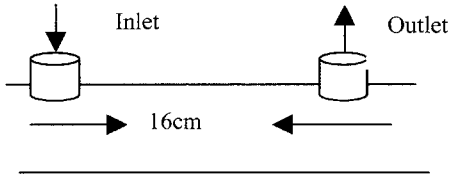
一、入口及光源部分：

此部分是監測裝置接觸外界而產生不同的感應信號，如電流或電壓等。在入口部分裝置風扇輔助吸入氣體，屬主動式感測器，如果由氣體分子靠擴散方式進入則爲被動式監測器。兩者最大的差異爲偵測的反應時間（response time）。一般而言，主動式的反應時間較快。在紅外線光源部分，根據黑體輻射原理（$B(T)=C_1/(\lambda^5(e^{C2/\lambda T}-1)$;其中 C_1 和 C_2 分別爲第一和第二輻射常數：$C_1=2hc^2=1.191*10^{-5}$ erg/sec-cm^2 -deg；$C_2=hc/K=1.44$ cm-deg)，將一物體加熱至適當的溫度便能輻射出紅外光，由公式計算可以得到，若將物體表面溫度加熱至 680°K 時，物體便能輻射出波長爲 4.26μm 的紅外光。但是，實際上，由於大部分的物質均爲灰體（gray body），其放射率對吸收率之比值小於 1，造成輻射能量最強的波長位置較理論值低，所以需將物體的溫度加熱至大約 1000°K，才可使紅外線輻射光譜最大輻射強度的波長位置位在 4.26μm 的位置。

若以溫度考量，以低溫型加熱面板爲最適當的紅外線光源[7]，但低溫型加熱面板加熱時間較長，不符合即時的需求，再加上對成本的考量（本研究之目的之一），所以在紅外線光源部分，採用商用的鎢絲燈泡，其優點爲價格便宜、體積小、加熱速度快、維修方便等；缺點爲其最大輻射能量位置不位於波長 4.26μm。此問題在本研究之設計乃利用電子電路來加以補償（依光度減弱曲線）。由於任何溫度爲 0°K 以上的物質都會輻射出紅外光，並且有可能包含 4.26μm 的波長[8]，故本實驗利用脈波式電源供應紅外線光源，以阻隔周圍環境產生的紅外線對儀器的干擾方法，或稱爲電子遮光（Chopping），其閃爍頻率大約爲 2~3Hz。

二、樣本氣體管路部份

樣本氣體管路包含了三個部分，包括了氣室（gas cell）、紅外線濾波鏡（IR window）、紅外線強度檢測器。在氣室的設計上，基於經濟型的考量，選擇塑膠性的材料，其內徑爲 1cm，管厚爲 0.1cm，其排列方式爲光源置於起始端（圖二左端），透過濾鏡後，光源進入氣室，並將感測原件置於尾端。並且由於所設定的二氧化碳濃度最高爲 5000ppm，在經過測試後，選擇長度爲 16cm 的塑膠圓管來當作氣室，包含：進氣及出氣兩個管口（圖一）。

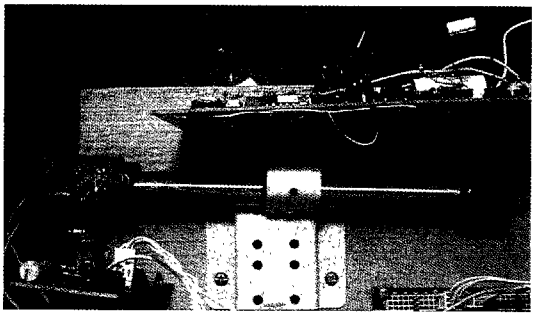


圖一　氣室（gas cell）示意圖。

在紅外線濾波鏡（IR window）的選擇上，考慮其對紅外線的過濾範圍、穿透性、散射性等條件，故選擇 sapphire 的鏡片，其特性爲最大的透光率波長範圍包含所需要的 4.26μm。並可將其裝置在氣室的頭端，以過濾出特定波長的紅外光源，並將其導入氣室中，以利於二氧化碳氣體被其吸收。紅外線強度檢測器爲一裝置於氣室尾端之光電感測器，其主要目的爲檢知經過樣本氣體吸收後所殘餘紅外光強度；目前較常被使用的紅外線的感測器根據其動作原理可大略分爲下列幾種：光電感測器、熱感偵測型、火

焰燃燒游離型（Thermal Conductivity Detector）、電化學型（Electrochemical Detector）等。在本研究中，選擇 PbSe 製程的光電感測器，其原因爲其操作環境最適合用於量測二氧化碳濃度，PbSe 在室溫環境下，其波長可感測範圍介於 1~5μm，最大感測度約在 3.8μm 處，其值接近二氧化碳吸收的紅外線波長（4.26μm）。

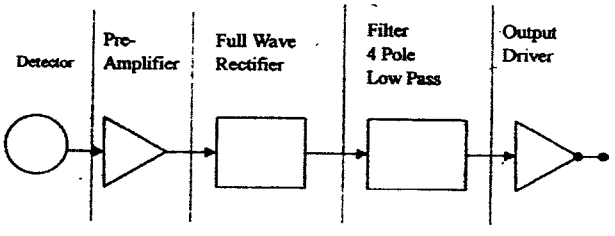
樣本氣體管路（圖二）爲本系統最主要的部分：鎢絲燈泡所產生的紅外線光源經過紅外線濾波鏡濾波後，將波長約 4.26μm 的紅外光送入氣室中，再由氣室中樣本氣體內的二氧化碳將其吸收，最後由光電檢知器接收其被吸收後所殘餘之紅外光，經由光電檢知器將其轉換成電訊號後，輸入電子電路做分析處理。



圖二　樣本氣體管路實體圖。

三、 電子電路

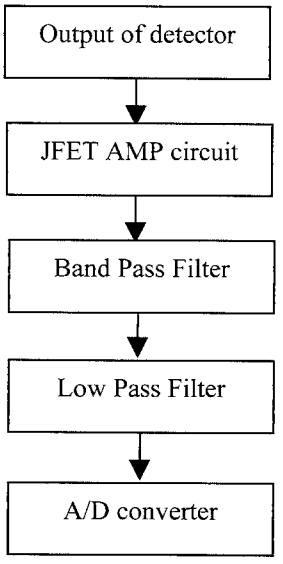
電子電路包括了電源供應、偵測的訊號放大及背景雜訊的濾除（圖三）。



圖三　電子電路設計簡圖。

在電源供應部分，由於需同時驅動燈泡和放大器等元件，故需要同時供應 5V 及±12V 的直流電壓電源，在此考慮到未來應用時，置換的方便性，所以將一組市售的小型電源供應器置入感測器中，並且利用電源供應器將 110V 交流電轉換成 5V 及±12V 的電壓輸出。另外，也可選擇電池提供電源。

放大線路與信號處理的線路包含：JFET 放大電路、帶通濾波器、低通濾波器及 A/D 的轉換，其整合方塊圖如下（圖四）。

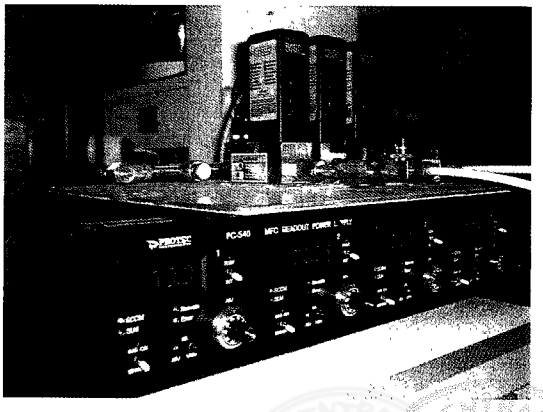


圖四　電子電路設計之整合方塊圖。

肆、 結果與討論

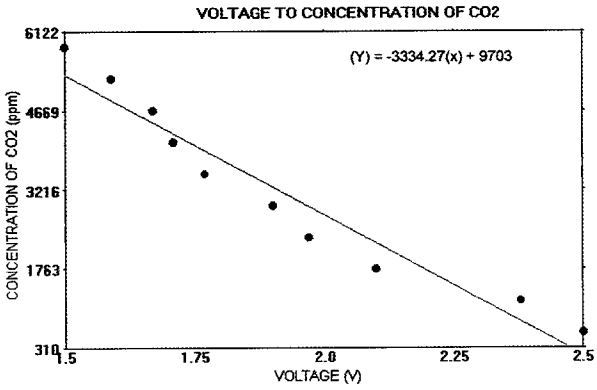
一、 系統校正與修正關係：

爲得到量測電壓值與二氧化碳濃度的關係，以利於進一步應用，需先得到二氧化碳濃度對應電壓之校正曲線，進而可判斷出即時的二氧化碳濃度。基於此，利用精密質量流量控制器（圖五）[9]以取得不同濃度之二氧化碳氣體：質量流量控制器爲 PROTEC 公司所生產，內含有三組通道（channel），可分別對氮、氧、二氧化碳三種氣體，控制其輸入流量在 0~5000sccm，並且加以完全混合後將其釋出。



圖五　質量流量控制器。

選擇氮氣爲平衡氣體，因氮氣本身不吸收紅外光；再利用質量流量控制器取得數種不同濃度的二氧化碳，以直接對應紅外線高感度氣體感測器輸出之電壓，取得與二氧化碳濃度之校正曲線（圖六）。爲利於偵測裝置的判斷與應用，可得到如圖示之迴歸修正的線性相關係數（correlation coefficient=0.9039）。此方法也可應用到其他特定氣體的判別。在實驗過程中，將高濃度之氮氣通入氣室中，使起始之氣室潔淨、紀錄此時之輸出電壓值做爲參考值。



圖六：二氧化碳濃度對應電壓之關係圖。

二、 可應用範圍：

有關火警警報的處理，時間因素是非常重要的。利用紅外線高感度氣體偵測器來早期預知火警的發生是值得探討的方向。而目前較常被使用之有關紅外線探測儀器，其平均價格約爲台幣六萬多元[10]，本研究所設計之經濟型紅外線感測器價位約可降低三成左右，故其發展空間非常的廣泛。本研究所設計的原型機，其校正的測試環境爲實驗室級，因此，在放置的位置及場所上，針對待測氣體的通風性或氣體擴散性因素先設定爲理想的狀態。爲了避免受此因素影響，實驗或實際使用前，降低氣室內的二氧化碳含量，可減少本裝置的判斷誤差。另外，需要有隨機的修正項或隨環境調整的參考氣室，以加強應用的範圍。再者，由於在某一空間產生燃燒時，熱的煙霧容易向上擴散其熱流。所以，在裝置紅外線氣體偵測儀時，需將其置於取樣穩定，即較易保持封閉性的位置，或置於離地面較適當之位置，以了解特定區域內，可能產生與火警相關的煙霧之釋出氣體產物，增進偵測判別的可靠性與時效性。結合其它因素的考量，才能較準確的利用本紅外線氣體偵測裝置，達到早期偵測火警的目的。

誌　謝

本研究之經費來自於中原大學工學院創新育成中心及初期本校校整合型研究群計畫（CY86-RG-002），在此，作者感謝校整合型防火計劃參與人員：機械系鄧治東教授、蔡瑞益教授，工業系宮大川教授，室內設計系陳其澎教授，提供本研究應用之方向的思考。

參考文獻

1. I. Pitkanen, J. Huttunen, H. Halttunen and R. Vesterinen, "*Evolved Gas Analysis of Some Solid Fuels by TG-FTIR*", Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 56. 1253-1259, 1999.
2. A. Jensen and K. Dam-Johansen, "*TG-FTIR Study of the Influence of Potassium Chloride on Wheat Straw Pyrolysis*", *Energy & Fuels*, 12, 929-938, 1998.
3. M. A. Bramson, Infrared Radiation, New York, Plenum Press, 1968.
4. P. Kruse, L. McGlauchlin and R. B. McQuistan, Elements of Infrared Technology. New York, Wiley, 1982.
5. G. Woodbury, Physical Chemistry: Spectroscopy, Chap. 17, 456-487, Brooks/Cole Pub. Comp., 1997.
6. I. Tinoco, JR, K. Sauer and J. C. Wang, Physical Chemistry: Principles and Applications in Biological Sciences: Molecular Structures and Interactions: Spectroscopy, Chap. 10, 3rd ed., 545-635, Prentice-Hall Inc., 1995.
7. 金忠達，"光學式 CO2 感測器的研製"，中原大學醫學工程研究所碩士論文，1997。
8. R. J. Reynolds, K. Aldous and K. C. Thompson, Atomic Absorption Spectroscopy, London, Griffin, 1979.
9. 劉光弘，廖峻德 "公共空間氣氛感測裝置之氣體稀釋分析儀的研製"，八十八年度國科會大專生專題研究計劃（NSC 88-2815-C-033-011-E），1999。
10. 鄭煜騰，"氣體感測器的市場分析與發展概況"，科儀新知第十八卷五期, 1997。

Making and Evaluation for an Economic Type of Infrared-active CO_2 Gas Sensor

JIUNN-DER LIAO, KUAN-HONG LIU AND DI-JIUN SHU

Department of Biomedical Engineering
Chung Yuan Christian University
Chungli, 320 Taiwan, R.O.C.

JEN-YUAN CHAW

Department of Architecture
Chung Yuan Christian University
Chungli, 320 Taiwan, R.O.C.

YUI-WHEI CHEN

Department of Chemistry
Chung Yuan Christian University
Chung-Li, 32023, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

This study utilizes the characteristic of specific gas corresponding to its sensitivity of infrared absorption peaked at a particular wavelength number, which applies to detect gaseous molecule for a material bearing different degrees of burning and then measures the composition and concentration of released mass. Present device aims to conduct early detection of specific gas at low concentration and typical by-products, correlate to the likely occurrence of fire, and reduce the loss of properties and lives. Concerning about the location before provoking flames, to hold the time factor is of great significance. Consequently, miniature gas sensing device takes the advantages of independent from dimension of detection and of sampling numbers. This developed infrared gas sensor used CO_2 for calibration, filtered out a range of interest wavelengths, converted and displayed as voltages, and associated with the concentration of CO_2. Experimental result of this prototype gas-sensing device has demonstrated a modified linear relationship between output voltage (correlated with the intensity of infrared absorbance) and calculated CO_2 concentration, which could be integrated for further applications. Our testing result also indicates a feasible approach to detect low concentration of specific gas. The correlation coefficient for CO_2 detection reaches -0.9039. Further studies can extend to factors, such as diffusion of gases, locations, environment of the device, and sensitivity to CO_2 gas.

Key words: *Gas sensing device, Infrared, CO_2, low concentration.*

NATIONAL CENTRAL LIBRARY ROC