

2010年臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

編號：100018-11

作品名稱

氣體式毒氣淨化器

得獎獎項

工程學科大會獎三等獎

新加坡正選代表:2010年新加坡青年科學節

學校名稱：台北市立麗山高級中學

作者姓名：何秉倫、李詔徹

指導老師：林昇佃 教授、張堯卿 老師

關鍵詞：活化金觸媒、一氧化碳、警報器

作者簡介



我是何秉倫(左)，自幼就想當一位對地球和對社會有所貢獻的科學家，雖然家裡資源不豐富，但是家人還是不遺餘力地支持我學習，於是高中選課時，就加入學校的化學專題課程。於是，我與夥伴立志在高中生涯中一起發現問題與解決問題，踏入這個與教科書上截然不同、未知的領域，藉此提升生活經驗、英語能力與態度。當然在實驗過程中會有些小挫折，就不斷告訴自己：研究目的本就不是求一個完美的解，而是以僅有的資源達到最高利用，精神正是如此！爸爸很喜歡在家裡燒木炭取暖，真的很擔心他年老後，哪天我不在家，他一沒注意可能就會因一氧化碳而中毒。雖然，現在父親已經不在世了，但我仍然想在這個研究領域上求一個結果；美好且完整的結果。

我是李詔徹(右)，很榮幸成為學校的一份子並加入化學專題，雖然在這領域中碰到一些挫折與困難，甚至幾次報名科展比賽都被淘汰，不過我覺得做科展最重要的不是在科展比賽中拿下佳績，而是在做專題研究的過程中，我所學習到的東西，不論是蒐集資料、論文、整合資料、表達能力、研究的精神還是處理問題的能力，這些才是最重要的，畢竟僅憑我們高中所學的知識還有研究經費能在學科領域中做出重大突破的還是在少數吧！但是無論如何，我都抱持一貫的想法，那就是做任何事情都盡我所能去做好它，即使結果不理想也不會感到遺憾。

摘要

由於一氧化碳之毒性氣體無色無味且不易發現，對我們的生活造成嚴重的威脅，本作品建構出一套可發布警報、能在極短的時間轉化一氧化碳的毒氣淨化器，也進而說明其獨特性與前瞻性。

本研究的核心，在於室溫下能啟動金觸媒的轉化機制，亦針對平常少被討論、以含浸法製作的金觸媒加以分析和提升，發現利用 NH_4OH 鹼溶液處理方式並以 573K 的 O_2 煅燒處理活化觸媒，能有效提升 1% $\text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 觸媒對 $\text{CO}+\text{O}_2$ 的反應活性。使用相同製備方式在 Au/TiO_2 觸媒上於 250K 即可達到 100% 的 CO 轉化率。創造一個簡易的流程來製備高活性的觸媒，其作用活性的範圍溫度也相當廣。

本淨化器在實驗中的運作狀況下，能完全轉換一氧化碳含量至低於中毒安全標準內，本系統還設計一道封閉閘門，有利於金觸媒的活性封存。

本作品具有較低成本的觸媒量產流程與材料，觸媒本身也可回收後再活化，此能更符合觸媒市場需要；機體器材替換容易、安全性高等能有效避免中毒意外的發生。

Abstract

The poisonous gas carbon monoxide which is colorless and tasteless isn't found easily. It causes a serious threat to our life. We create a poisonous gas purifier that can issue an alert and convert carbon monoxide into carbon dioxide in short time. It means this works is promising and special.

The point of the works is to start the conversion operation in formal temperature. We also focus on analyzing and promoting the activity of Au catalysts made with incipient-wetness impregnation method. We found using NH_4OH solution and burning in 73K O_2 could activate catalysts efficiently. Even using the same method on Au/ TiO_2 catalysts can convert up to 100% at 250K. The range of activity temperature is very wide.

In our experiment, the purifier can convert carbon monoxide completely and make the concentration under the safe standards. To expand the activity of Au catalysts, we designed closed gates that can avoid dusts impacting the catalysts when the purifier doesn't work.

This works with a lower cost of catalyst production process, also can be recycled and revived. The component of the machine is not only easier to be replaced, but also has high safety. It can effectively prevent poisoning accidents.

壹、研究動機

民國 98 年 12 月至 99 年 1 月這短短的一個月，全國因一氧化碳中毒造成 13 人死亡受傷人數高達 82 人，全世界更有相當高的比例因一氧化碳中毒意外而造成不可挽回悲劇，其中又以家庭、礦坑及隧道工程居多。

近年來，對於金觸媒催化一氧化碳的反應已廣泛地運用於各類產品中，如：濾毒裝置、CO 檢測裝置等方面。由此可知金觸媒頗具有商業價值，但缺點依舊是不易量產且成本過高，而後皆因時效性的問題而作罷。我們在閱讀大量的文獻後，便著手進行我們的毒氣淨化器開發計畫。

金觸媒也會隨著應用特性、溫度或是其他內外因素而使之貢獻有限，先前研究發現以沉澱法製備之觸媒性能較佳；製作在低溫下即可反應之觸媒相當不易且耗時、耗成本。以含浸法製備金觸媒的活性因效能不好而少被探討，亦製備出同等級之高活性金觸媒需要一種更低成本、高量產化的製作流程。



最近發生之案例：2010/01/22

貳、研究目的

- 一、設計並製作出一套可快速偵測有毒氣體並發出警報的系統，結合能在室內與短時間轉化一氧化碳的觸媒。
- 二、提升金觸媒活性與效率，延長淨化器使用範圍與壽命。
- 三、找到一個簡易、低成本的製作方式來量產高活性的金觸媒，進而說明其延展應用的可能。

參、研究器材

實驗試藥

1. 氯化金(Gold(III)Chloride) AuCl_3 ，Strem，純度：99%
2. 氧化鋁(gamma-Alumina) $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ，Strem，low soda，純度 99%，S.A. =146 m^2/g
3. 二氧化鈦(Titania) TiO_2 ，Degussa P25(含 15%的 rutile 其餘為 anatase)，S.A. = 57.2 m^2/g
4. 氨水(Ammonia) NH_4OH ，Merck，濃度：25%，密度：0.91 g/cm^3
5. 氧氣(Oxygen) O_2 ，純度：99.8+%
6. 氦氣(Helium) He，純度：99.995+%
7. 氫氣(Hydrogen) H_2 ，純度：99.999+%
8. 氧氣(Oxygen) O_2 ，純度：20% O_2 in He
9. 一氧化碳(Carbon monoxide) CO，純度：4% CO in He

實驗器材(觸媒部分)

1. 氣體管線零組件：

4-way Valve, Valco

10-way Valve, Valco

sampling Valve, Valco

Gas Purifier, Alltech

Oxygen Trap, Alltech

Mass Flow Controller, Tylan General(FC-280)

Mass Controller Box, Tylan General(RO-28)

U 型反應器，Pyrex 玻璃製成，1/4"OD，反應床高 1cm

2. 類比數位轉換模組：

ADAM-4011，16 bit Analog Input Module

ADAM-4520，Isolated RS-232 to RS-422/485 Converter

PWR-243，Switching power supply for panel mounting

3. 分析儀器：

氣相層析儀(GC)：Shimadzu GC-8A

TEM (High Resolution Transmission Electron Microscopy；HRTEM)

CO Analyzer：Summit 707

(些許積體電路部分位於本作品附錄)

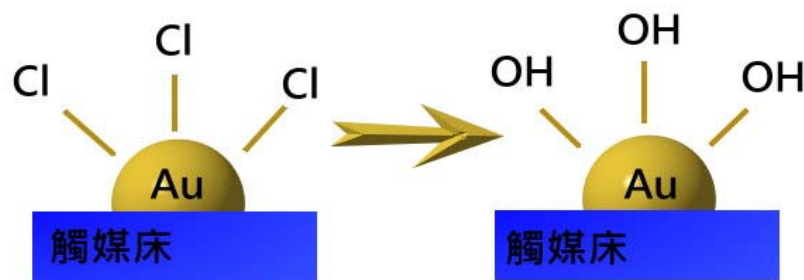
肆、實驗過程及方法

一、文獻探討與器材使用

1. 金觸媒作用機制及製備方法

作為本作品中淨化器成品的核心研究，故先行了解金粒子在奈米尺度下具有表面之力學性質。金的活性可以從尺度的大小做初步的劃分，平均粒徑小、接觸面積大活性較高，也因為此尺度的金物性敏感，很容易被改變。從參考文獻【二】張俊明等人的證明方法可以得知，其對一氧化碳的反應活性與氣體運動機制和晶體結構有密切的關係，晶體很有可能因其他的因素而受破壞。

再者，觸媒反應活性與轉化機制我們不易分析，對於轉化器的影響也不大，所以我們在參考文獻【六】Masatake Haruta 所提出的奈米金分析與進行許多對一氧化碳轉化中可得知 $\text{CO} + \text{O}_2$ 的運動推測，甚至能淨化過濾其他毒性氣體的可能性，其中也包括不會造成觸媒中毒情況的證明。



圖四-1

尤其是經過烘箱處理過的觸媒，原料中 Au-Cl 的結構完整、不易破壞，因為通常做為活性中心的主要原料是 AuCl_3 為主的酸性溶液。但隨著 pH 值的增加，將 Cl^- 逐漸被 OH^- 所取代，當 pH 值大於 9 之後則主要是以 Au(OH)_4 形式存在。

參考文獻【四】Y. M. Wang 認為：在較低 pH 值環境下，Au 較易形成大顆粒而影響活性，進而提出將觸媒（沉澱法製備之）經過 NH₄OH 溶液含浸過後，分析發現原本存在之 Au-Cl 結構完全消失，由此可見，將金觸媒經過 NH₄OH 鹼性溶液含浸處理後，能有效將 Cl 離子去除，如圖四—1。

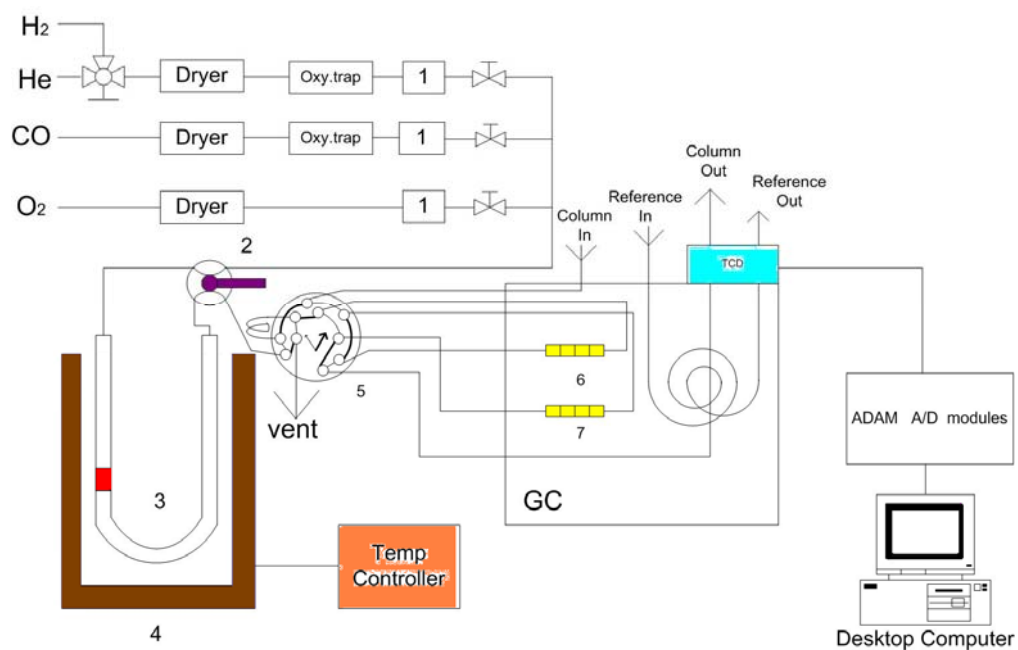
傳統金觸媒一般以氧化物為擔體之製備方法有許多種，考慮在觸媒機能優異之前提下，製作流程簡單與成本低廉等因素，我們整理過去較受青睞的方法之優缺點，定名如表四—1：

表四—1

Product	Advantage	Defect	Load
A. Impregnation	能夠減少觸媒鑲嵌進的時間較為短暫，較直接、陽春。	此含浸法未浸泡過鹼液，在轉化 CO 的過程中，效能低。	X
B. Deposition-precipitation	在文獻(實驗中)中發現浸泡過鹼液之觸媒，在轉化 CO 的過程中，效能有顯著的提升。	置於 50 mL 去離子水中讓觸媒沉澱下來，使觸媒粒子能鑲嵌進在體中，但較為耗時且良率不高。	1%
C. Ours	結合含浸法及沉澱析出法之優點，改進其缺點，達到轉化 CO 的效能提升，同時降低製作觸媒的時間。	在超低溫的作用活性不如沉澱法製備之觸媒。	1%

係先前的研究有鑑於 B.析出沉澱法所製備的觸媒轉化率優良，而常做為研究與改良第一優先。本研究捨棄太過繁瑣、艱澀細膩的製作觸媒方法，使用少被討論的含浸法，含浸法製備出來的觸媒除了在於效率差之外，在國內外不曾以其他方式加工和改良，本研究嘗試製作同等效能之低金含量的金觸媒，以符合其應用性與未來做為商用觸媒便宜、簡單的條件。

2. 氣相沉析儀分析 (Gas Chromatograph)



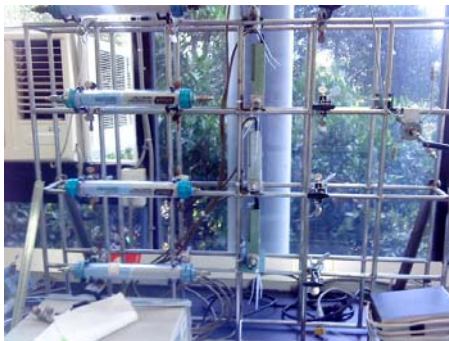
圖四—2

反應系統裝置圖

- 1、流量控制器
- 2、四通閥
- 3、U型反應管
- 4、高溫爐
- 5、十通閥
- 6、Column1 : Chemsorb 102 (5' * 1/8, S.S)
- 7、Column2 : Molecular Sieve 5A (5' * 1/8, S.S)

- (1) 設定好 GC 的分析條件，做為基線校正之標準。
- (2) 通入 He 氣體進入觸媒反應床中，並設定反應溫度開始升溫，達到溫度穩定時，轉動四通閥使反應器，調整反應氣體濃度為 1%CO(7.6 torr)與 10%O₂(76 torr)與 2%CO(15.2 torr)，總流量為 40SCCM，通入系統中，20 分鐘穩定後，轉動取樣閥，run 兩次 bypass 並記錄之，作為實驗分析的取樣標準。
- (3)轉動四通閥使反應氣體 CO+O₂ 進入觸媒反應床進行反應，每 10 分鐘以取樣閥取樣進入 GC 分析，以固定溫度下反應 60 分鐘的數據代表觸媒在該溫度下的活性。
- (4) 反應測試 1 小時後關閉混合之反應氣體，改通 He 氣體，設定下一個反應溫度進行升溫，重複步驟 2 之步驟 4 直至反應測試完成。
- (5)為了觀察觸媒活性對於在反應測試過程中的穩定性，於升溫實驗結束後接著降溫實驗，若觸媒是穩定的，則升溫、降溫之活性應該在同一趨勢線上，此時所得活性可視為 steady state 活性。

3. 反應活性分析方法



本實驗的數據分析方法是：將不同分壓的反應物打入 GC 中，先建立反應物與產物分壓對 GC 訊號強度面積變化的校正圖，在進行反應之前，先進行 GC 對反應物初始濃度所產生的訊號面積校正，以此作為

進行活性反應數據分析的參考值。

根據進行觸媒活性反應時 GC 對反應物與產物分壓產生的訊號面積變化，藉由上述的校正圖當作一個基準值，可以從反應管出口氣體中得知各成分的濃度，再依序計算出轉化率與活性。

4. 轉化率的計算

本研究轉化率的定義是以反應前後碳原子總數為參考值，然後以反應前後 CO 分子對應 C-原子的變化量來計算轉化率，此法計算轉化率時，反應器出口 CO 碳原子數目需平衡，就是所謂的 C-Balance，其值與 bypass 數值相同時，代表實驗測試結果是精確的。

C-Balance 計算如下：

$$C - Balance = (P_{CO} + P_{CO_2}) / P_{CO, feed}$$

本研究計算轉化率定義如下：

$$CO \text{ Conversion} = \frac{\Delta P_{CO}}{P_{CO} + P_{CO_2}}$$

5. 活性的計算

本研究活性的計算是利用填充床反應器的 Differential Form 方程式來計算，再以所使用的觸媒克數為計算活性基準，即為每克金觸媒所能催化之 CO 氧化還原的量，其計算方法如下：

$$CO \text{ Activity} = CO \text{ Conversion} \times 40 \frac{cm^3}{min} \times 1\% \text{ or } 2\% CO \times \frac{1 mol}{22414 cm^3} \times \frac{1 min}{60 sec} \div Au \text{ catalysts weight (g)}$$

6. TEM 分析

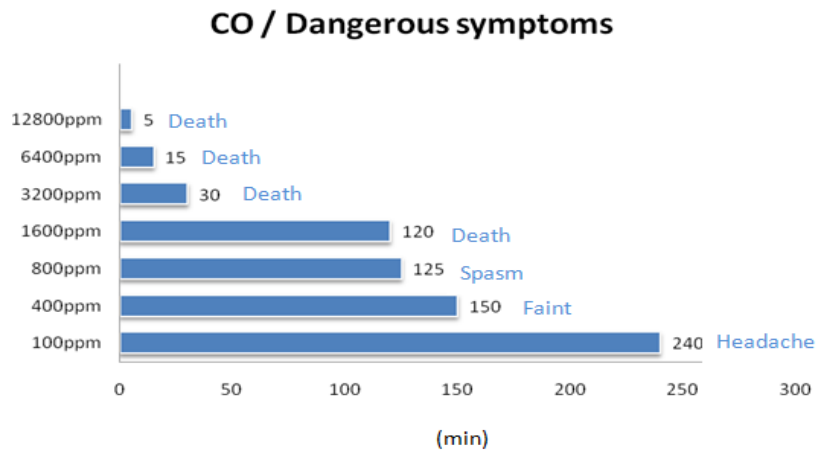
取少量的觸媒於瑪瑙研鉢細磨，之後倒入適量的酒精混和，再將樣

品放置樣品瓶內於超音波振盪器振盪 10 分鐘，之後將樣品適當的滴在銅網上後進行分析。

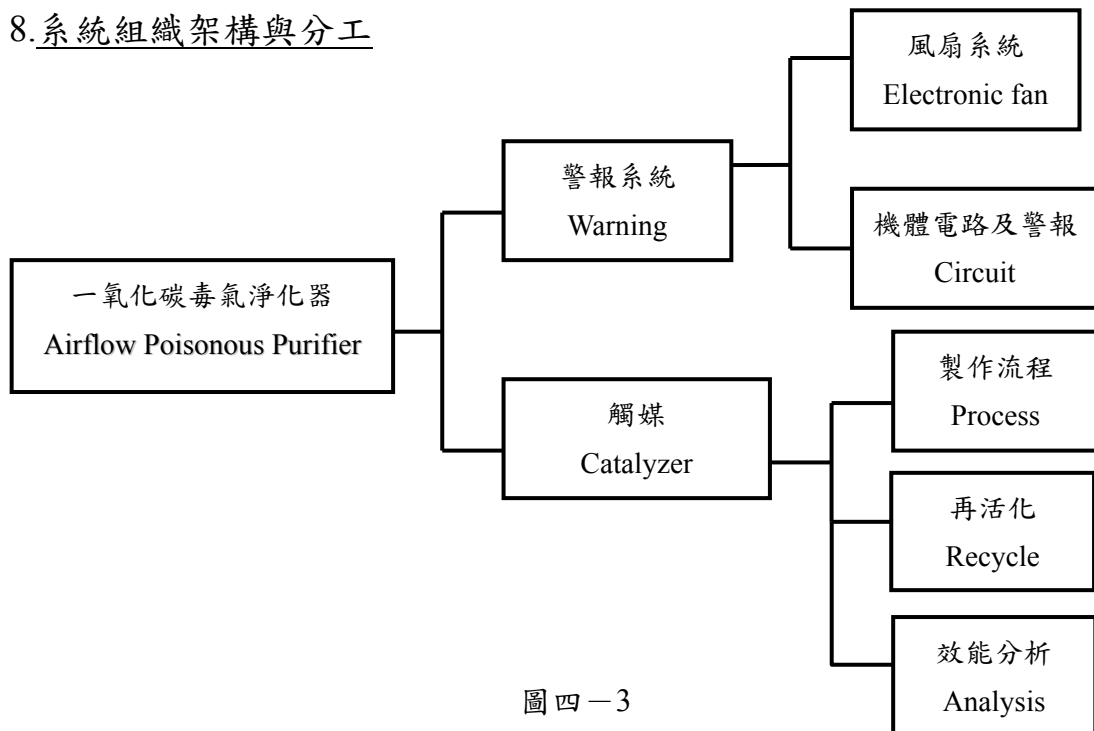
7. 模擬測試

對特定空間做為一個基礎參考點，於開放環境下，燃燒過程中產生之一氧化碳與觸媒轉化器敏銳度、轉化效率量測並製圖說明。在安全標準值內本專題研究才算達成目標，如：

表四—2



8. 系統組織架構與分工



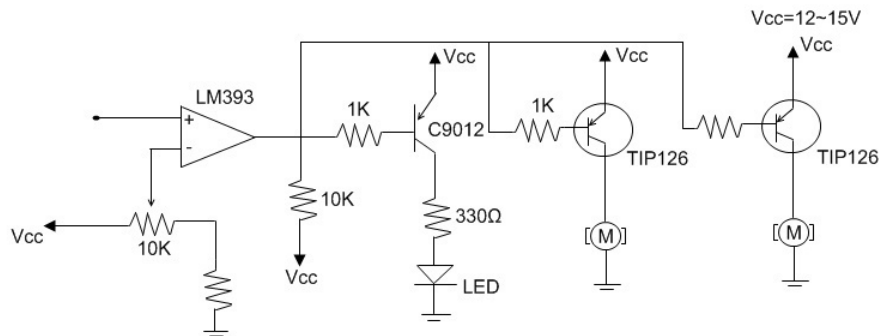
圖四—3

二、實驗步驟

1.機台部分

(1)電路配設的啟蒙概念

利用筆記型電腦風扇的感熱原理來預設電路。在機體和觸媒部分構想建立後，即開始設計電路與硬體設備，為了讓感應器與風扇系統同步，感應器偵測到氣體並發出警報時，我們設計的電路能同時對風扇發出啟動訊號。



本電路之偵測原理採用不容易損壞的半導體型，利用 SnO_2 金屬氧化物半導體氣敏材料，能夠探測 0.005%~0.5% 範圍的 CO 氣體，如果，相對濃度足夠的話即不考慮範圍問題，本機器設備具有偵測 CO 以外的毒氣、烷類氣體，並發出警報的能力。

(2)擇優觸媒與機台結合後的模擬測試

(2.1)將測試過、最符合我們需求的高活性金觸媒置入觸媒轉化器內

(2.2)選用一個密閉的透明箱，在其中導入未知量 ppm 的 CO 氣體，藉此模擬一個災害的產生的突發狀況，本系統的工作狀況與觸媒轉化器敏銳度，加以闡釋在空間中實際應用程度的可行性，並將轉化效率的結果繪表。

2.觸媒部分

(1) 不同製備方法之 1% $\text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 乾淨觸媒活性探討

(1.1)將原材料除去有機雜質及水分的前處理：

將篩網係數 80~120nm 的氧化物載體 (Al_2O_3) 均勻置於船形坩鍋並放入管狀高溫爐中，通 N_2 氣體並升溫至 823K，當溫度到達 823K 時，通 O_2 氣體鍛燒 1 小時(此時流量比 $\text{N}_2:\text{O}_2=4:1$)，然後關閉 O_2 氣體，只通 N_2 氣體且待其自然降至室溫。



(1.2)以文獻探討之 B.C 二種不同方法製配乾淨的觸媒：

B : Deposition-precipitation

將 1g Al_2O_3 置於 50ml 去離子水中，持續攪拌並滴入 (氯基：氫氧基=1：1) 的鹼溶液調整 Ph 值達到 10.5，再取適量的 AuCl_3 溶於 10ml 之去離子水中，將 AuCl_3 溶液緩慢滴入氧化物擔體溶液中，並持續攪拌 1.5 小時，然後再靜置 1 小時後抽氣過濾，於室溫下真空乾燥即可。

C : Ours

先取適量的 Al_2O_3 置於一燒杯中，緩再取適量的 AuCl_3 溶於 10ml 之去離子水中，兩者初濕混合後均勻攪拌，在室溫下真空乾燥

製備成乾淨的 $\text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 觸媒。持續攪拌並浸泡入（氯基：氫氧基 = 1：1）的鹼溶液調整 pH 值達到 7 以上，並於烘箱 383K 下乾燥 4 個小時即可。

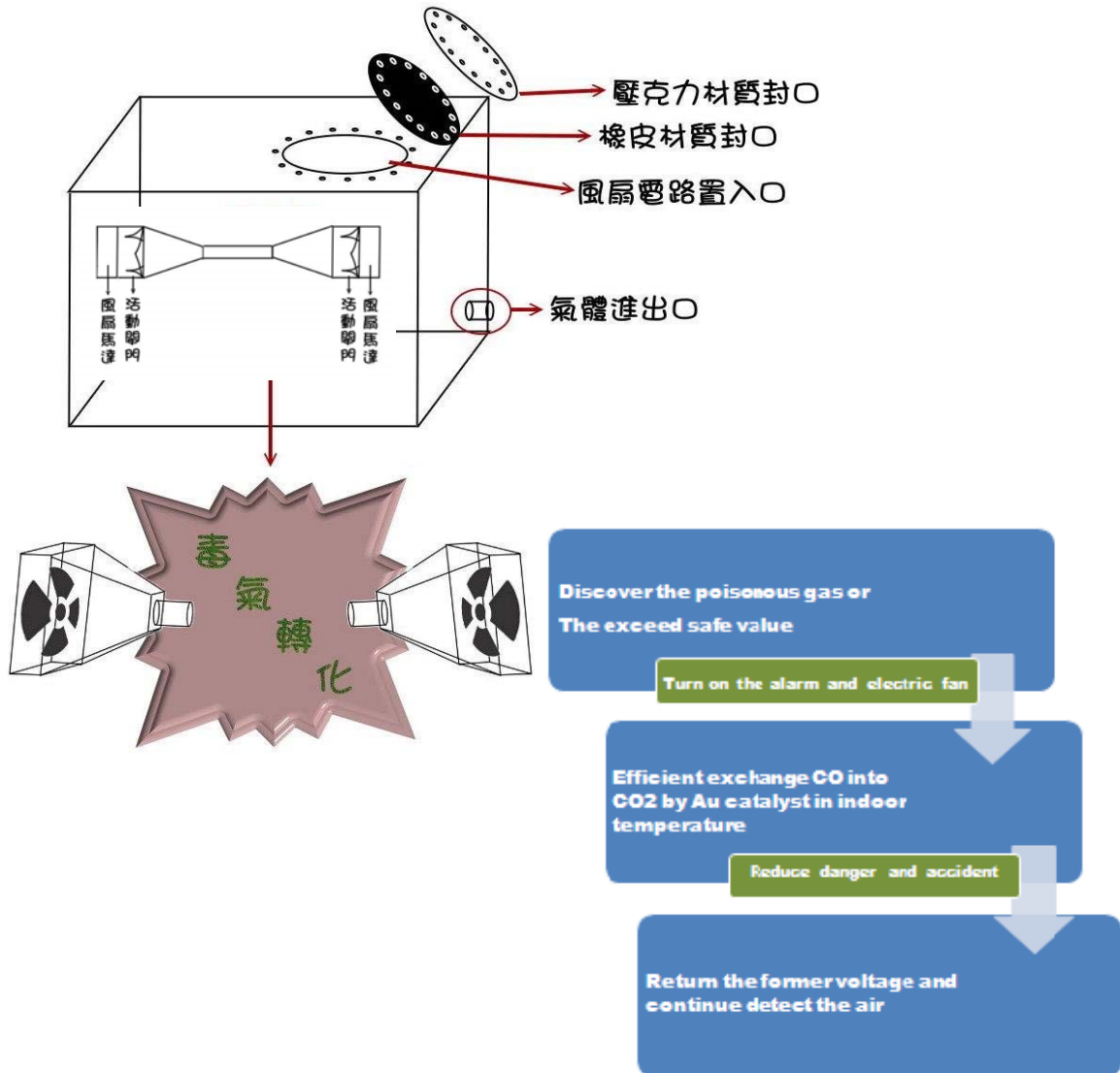


- (1.3) 以 GC 測量兩種觸媒對一氧化碳轉化效率，並繪製圖表
- (2) 不同製備方法之 $1\% \text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 反應前經過氧氣前處理之效能比較
 - (2.1) 將兩金觸媒置於 573K 進行 O_2 鍛燒之前處理步驟
 - (2.2) 以 GC 測量兩種觸媒對一氧化碳轉化效率，並繪製圖表
- (3) 不同鹼溶液處理 $1\% \text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 之效能比較
 - (3.1) 選用初濕含浸法之流程來進行此實驗
 - (3.2) 採用二種實驗常用鹼液（ NH_4OH 、 NaOH ）來活化金觸媒
 - (3.3) 以 GC 測量三種觸媒對一氧化碳轉化效率，並繪製圖表
- (4) 不同鹼溶液 $1\% \text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 反應前經氧氣活化前處理之效能比較
 - (4.1) 將三種金觸媒置於 573K 進行 O_2 鍛燒之前處理步驟
 - (4.2) 以 GC 測量三種觸媒對一氧化碳轉化效率，並繪製圖表
- (5) $1\% \text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 與 $1\% \text{Au}/\text{TiO}_2$ 在相同製配條件下之效能比較
 - 以 GC 測量兩種觸媒對一氧化碳轉化效率，並繪製圖表

(6) 再活化後之觸媒效能比較

將擇優的觸媒經反應過後的殘餘觸媒粉末加以回收，浸泡於上述實驗結果用之鹼液(NH₄OH)再活化，並測試結果，評估觸媒回收的再現性。

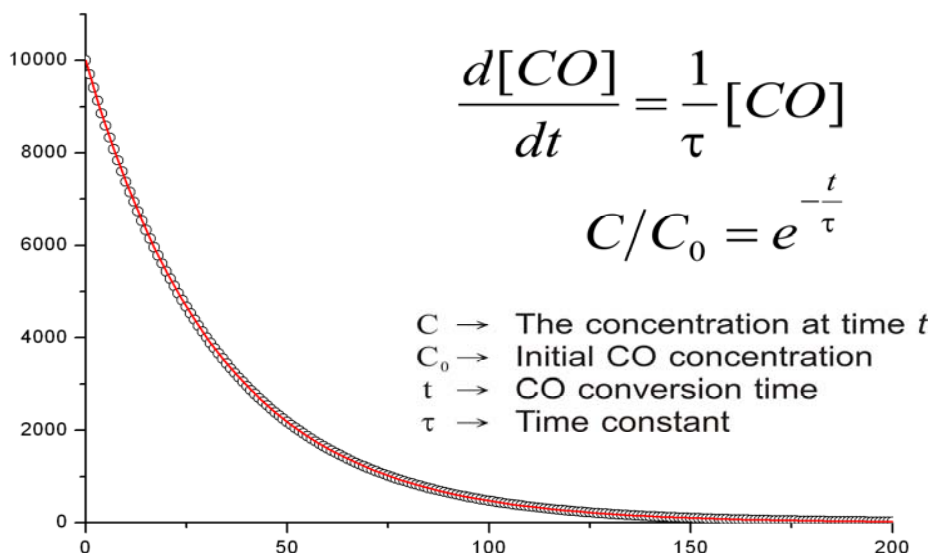
工作機制如下圖說明：



圖四-4

伍、 研究結果與討論

一、偵測器原理設計



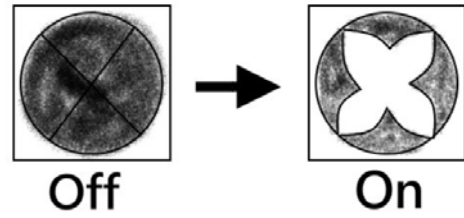
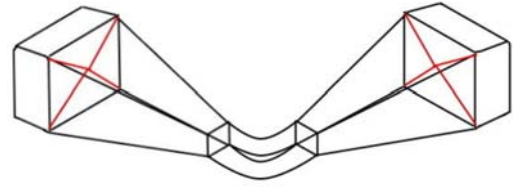
圖五-1

利用三用電表探測並輔助我們來設定感應器，在發出警報時，電壓會從 5V 降低到 4V，於是我們再利用電壓比較器 LM393 設計出以 4.5 為基準點，當電壓降低少於 4.5V 時，便會有訊號傳出到風扇系統與警鈴系統，當輸出的電壓值持續在低電位時，風扇的轉速會增快直到最高轉速，當偵測之氣體數值漸降時，風扇的轉速也會同步漸慢，達到我們的設計理念，如圖五-1。

1. 觸媒與機台壽命

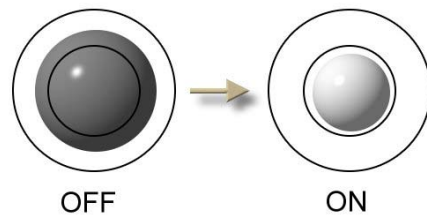
依據 sensor 所提供的資料得知偵測年限約為三年，而我們特別設計一單向閘門裝置於兩側的風扇上，並用玻璃綿將粉末固定於橡皮管，若於未啟動的封閉情況下，有單向閘門及玻璃棉的阻擋，粉塵不易進入而污染觸媒使其降低活性，使其管柱內約一公克的金觸媒活性得已封存達三年以上，僅有啟動時才打開閘門，有效解決活性時效性短的問題，如圖五-二、圖五-三。

初期



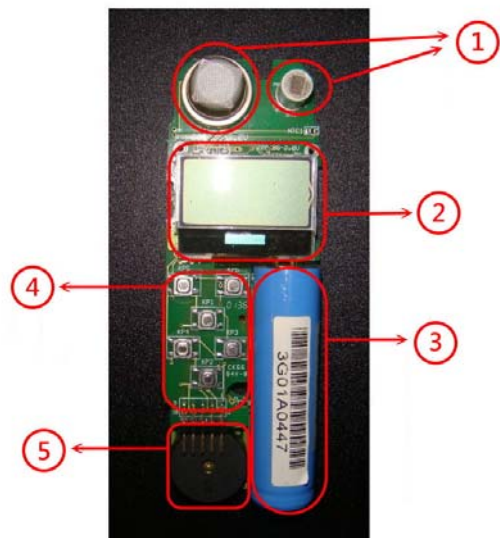
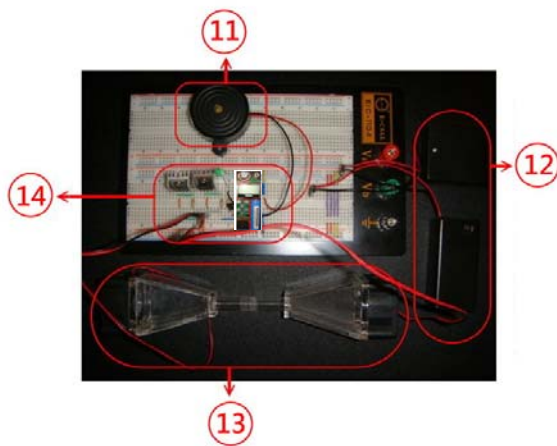
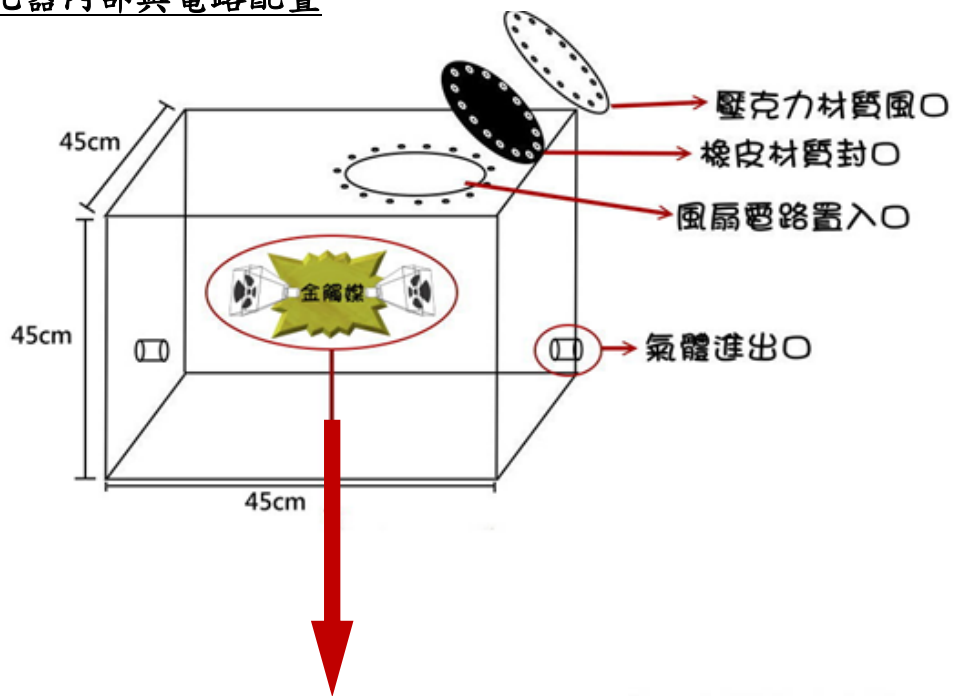
圖五-2

後期



圖五-3

2. 淨化器內部與電路配置

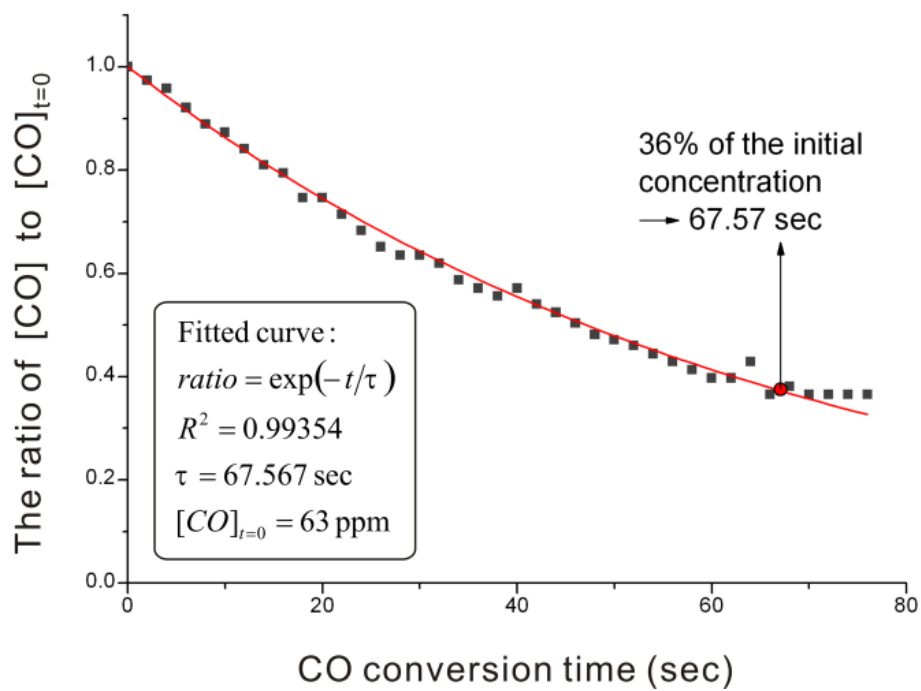


- 1、一氧化碳偵測探頭
- 2、液晶顯示器
- 3、內建蓄電池
- 4、原操作按鈕
- 5、內建警報器
- 11、外接警鈴
- 12、電源供應器(可外接)
- 13、觸媒中心風扇組
- 14、內部電路

二、擇優觸媒與機台結合後的模擬測試結果

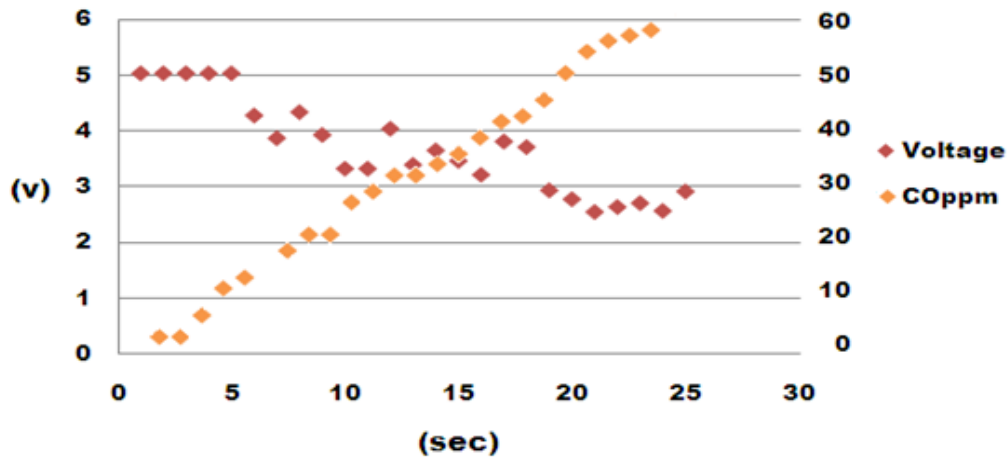
如同研究方法所敘述的，本實驗在一個密閉的 $45 \times 45 \times 45 \text{cm}^3$ 的透明箱，投入混雜含 CO 的氣體（每次測試的使用量相同），藉此模擬一個災害的產生的突發狀況，產生非純的一氧化碳氣體；藉著 CO Analyzer : Summit 707 偵測器來監測空間中氣體的濃度，加以闡釋在空間中實際應用程度的可行性，並將轉化效率結果繪表。結果如下：

(1) 以 $1\% \text{Au}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 做為機台之觸媒活性中心測試結果



圖五-4

我們將實驗機器連續進行三天，同一時間進行本實驗，我們從圖五-4 所得數據中發現效率均變動不多，利用實驗後平均值數據；包含感應器的反應狀況、轉化時的空間濃度，由此可以看出轉化器的敏銳度是足夠的，顯示觸媒的轉化能力在一氧化碳持續產生的狀況也相當高，無色無味的 CO 在約一分半鐘的時間內完全淨化。



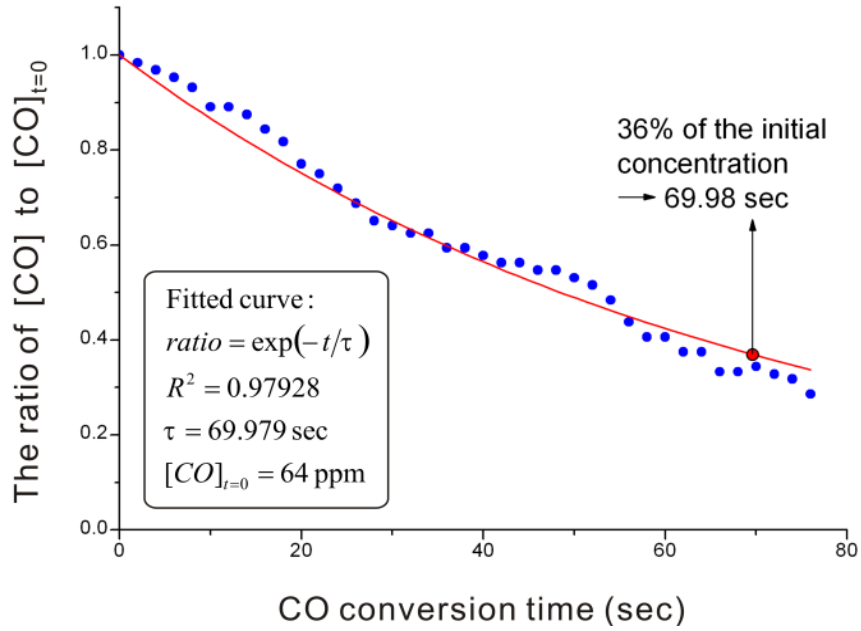
附圖五-1

在實驗空間中，將 Sensor 電壓的變化圖和一氧化碳變動圖表做對照，有助於我們更了解整個偵測器內部的運作情況，我們取圖五-1 電壓變化量對圖五-4 中 Test1 的 COppm 數值變化繪製成圖表。

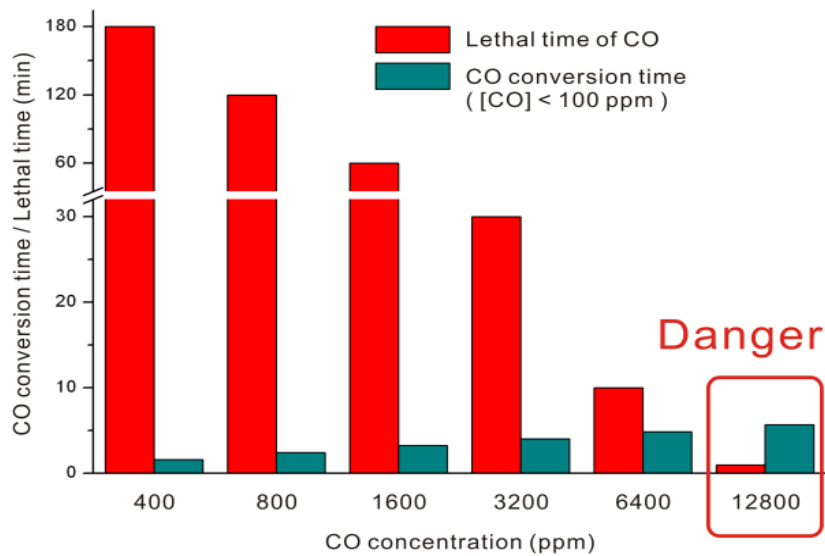
如附圖五-1，同一秒數下，當一氧化碳持續在空間中生成時，偵測器內所產生的電壓是具波動性的，但我們依然可以看出漸低的趨勢，也證明 Sensor 的偵測機制是以吸附氣體量的多寡及表面電子密度的改變來定義濃度，同時降低電壓。

藉由如此的特性我們將電路改造，將偵測器釋出的電壓藉由放大器來運作下一套系統（例如：風扇、熱水器斷電等）。

(2) 以 1%Au/TiO₂ 做為機台之觸媒活性中心測試結果



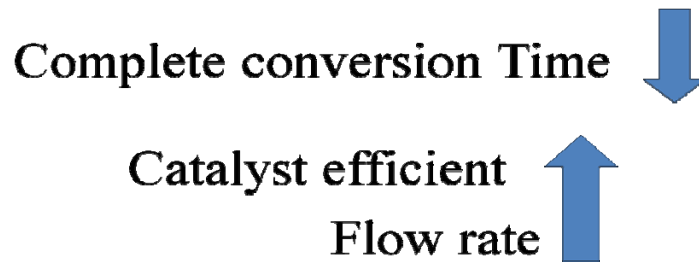
圖五-5



圖五-6

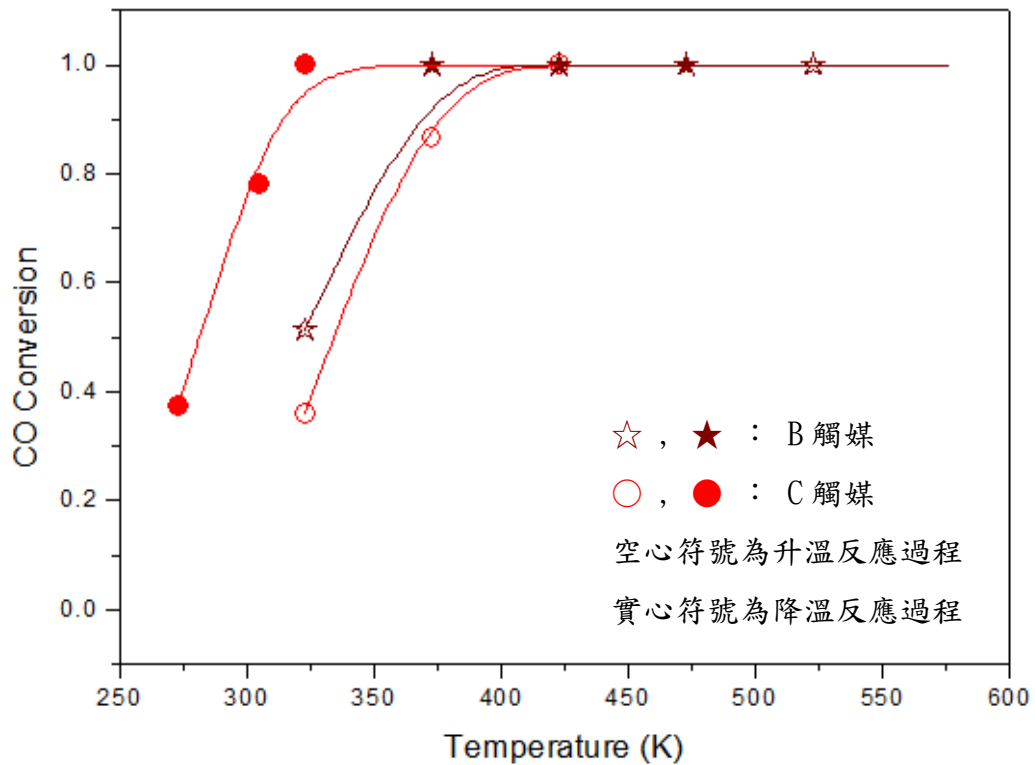
在圖五-5 中可以發現，1%Au/TiO₂ 進行轉化時所需秒數比較少，可是在進行此反應需求性能其實與 1%Au/Al₂O₃ 差不多，以宏觀的角度來論這兩個觸媒的優越性，其實不分上下。如果使用者要以此研究之觸媒進行一個微觀的反應，建議 1%Au/TiO₂ 還是較為卓越。

由圖五-4、圖五-5 的實驗結果可以看作是一個函數遞減的圖形，保守推估與圖五-1 的推論做擬合的結果如圖五-6，確實在單位時間下我們的機器足以應付 6400ppm 以下的情況，至於高過 10000ppm 的場合可以藉由增加觸媒的量、觸媒網裝設方式或是抽風系統的流速，皆是可以做為此機器提升效能的可行做法。所以無論選用哪一種觸媒擔任淨化器的觸媒，從以上的數據可以得知使用此作品所製備的觸媒皆有不錯的結果，室溫空間中的一氧化碳再也不會對我們構成威脅。



圖五-7

三、不同製備方法之 1% $\text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 乾淨觸媒效能比較

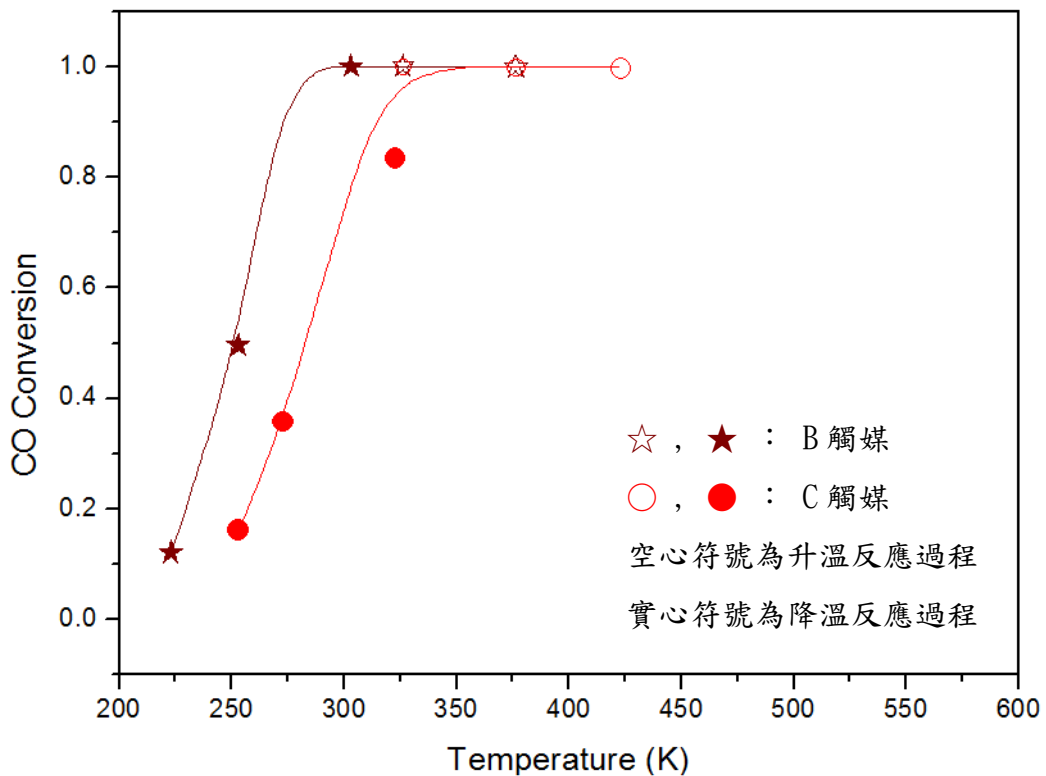


圖五-8

接下來的實驗，每一個繪製的檢量點皆為連續一個小時通入 10000ppm 的 CO 氣體，由圖五-8 顯示，兩種觸媒在升溫過程中，C 觸媒對一氧化碳的轉化效率需要較高溫的活化條件，約 425K 才可到達 100%，與參考用 B 觸媒差不多，而可在 C 觸媒在降溫的曲線可以得知，約 300K 有 80% 的轉化率

1. 降溫過程中，C 觸媒在室溫下已經具有一定的活性，本實驗驗證，當我們把觸媒泡入先前調整好的鹼液中，此步驟較同級觸媒的調整方法相對簡易，也可製備出優越的金觸媒。
2. 我們推估觸媒在高溫處理後比較具有高活性，所以先做高溫鍛燒來降低觸媒反應前的活化能並試圖維持觸媒活性時效。

四、不同製備方法之 1%Au/Al₂O₃ 反應前經過氧氣前處理之效能比較



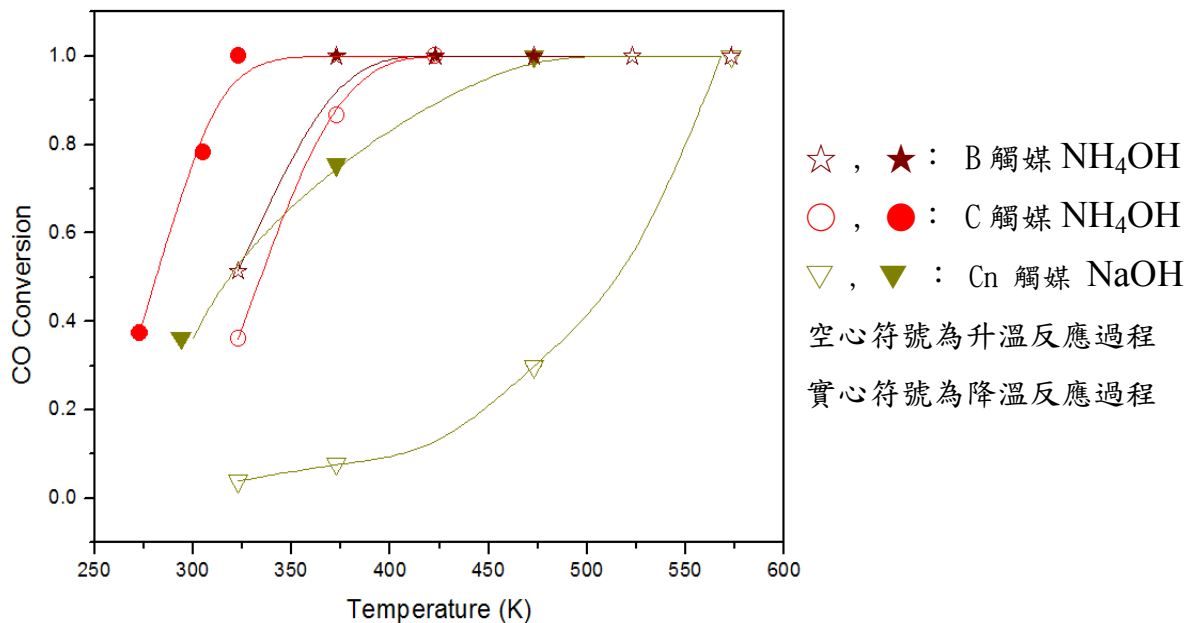
圖五-9

由圖五-8 的實驗中，了解觸媒的活性中心與浸泡過鹼液有關，且觸媒在作用前需給予一定的熱能量。後續實驗將以 O₂ 進行一系列的升溫前處理，設

法將提升觸媒在室溫下具有高活性，圖五-9 即是將金觸媒置於 573K 進行 O₂ 鍛燒之前處理步驟後再進行轉化的結果。

1. 圖五-9 可以看出 C 觸媒在升溫至 325K 的條件下具有 100% 的活性，在室溫下可繼續維持其轉化活性。
2. 由實驗結果得知，無須再提供更多的熱能量就可以使金觸媒在室溫中達到高轉化率。也同時發現以沉澱法製備之 B 觸媒在低溫下的轉化效率有進一步提升。

五、不同鹼溶液處理 1% Au/Al₂O₃ 之效能比較

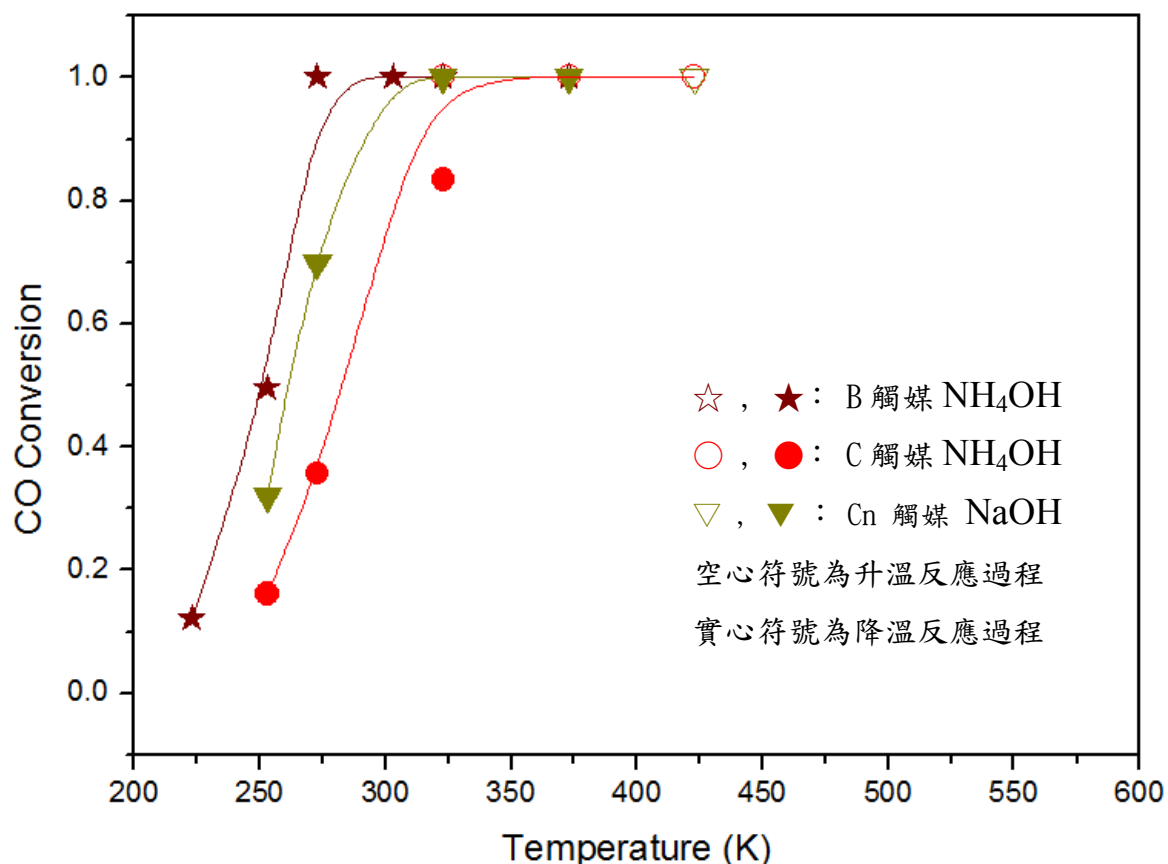


圖五-10

經過前述的實驗後，我們發現有機會提升觸媒活性，當然也不放棄在鹼液上改變的可能性，所以取用兩種實驗室常用的鹼液來當成製備的鹼液成分。

1. 圖五-10 顯示的三個觸媒皆是未經過氧氣鍛燒前處理的反應結果，▼ Cn 觸媒需要較高溫的活化條件，室溫 300K 的轉化效率僅 38% 左右，可以驗證使用 NH₄OH 製備之觸媒比 NaOH 的效果好。
2. 本實驗研判，在一般室溫下的 NH₄OH 揮發性高的特性，除了可以順利將觸媒本體的氯基取代之外，較不會有其他物質殘留。

六、不同鹼溶液 1%Au/Al₂O₃ 反應前經氧氣活化前處理之效能比較

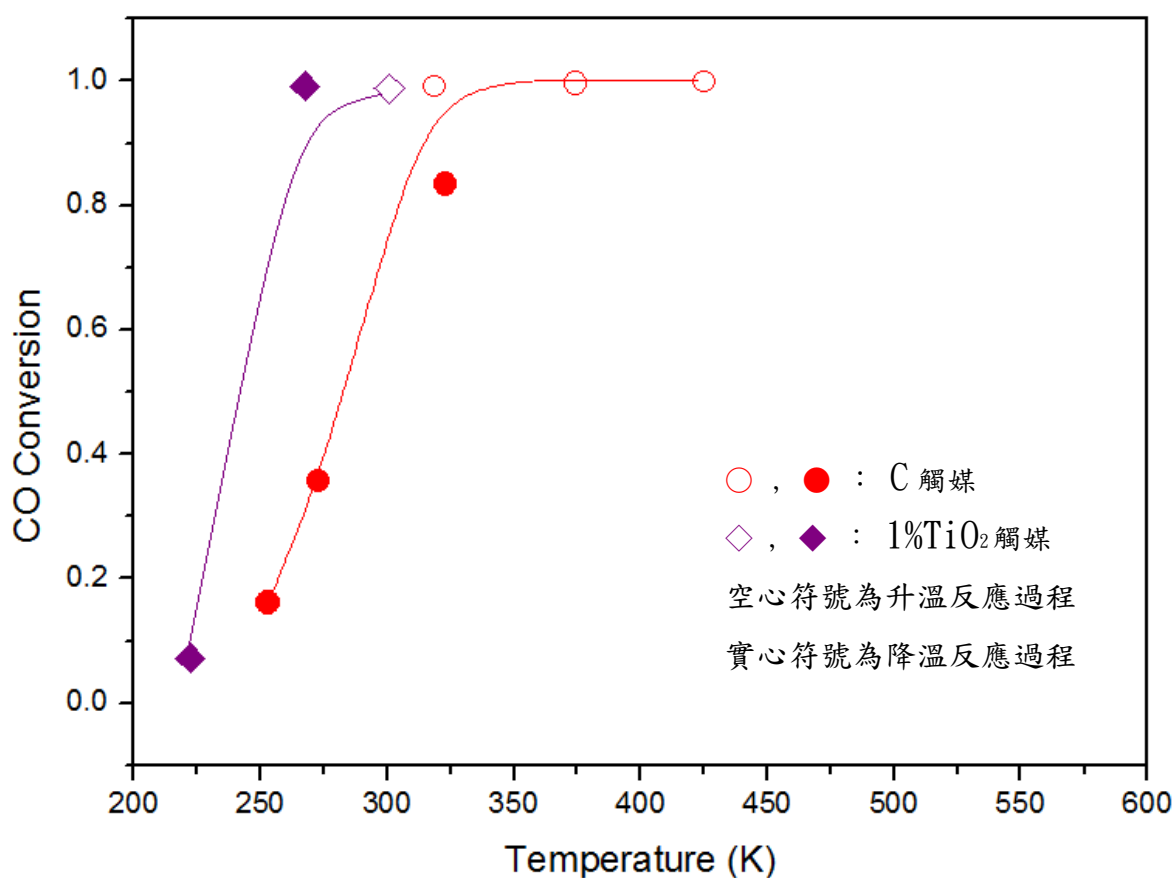


圖五-11

圖五-11 實驗是將圖五-10 的三種觸媒樣品全數進行 O₂ 鍛燒前處理，除了展現原觸媒的再現性外，與其他兩者間進行比較結果，▼ Cn 觸媒在低於 300K 仍然有 100% 的轉化活性。

1. 在進行前處理後的結果發現，在低於室溫 300K 的環境比較起來，● C 觸媒的表現依然相當穩定。而以 NaOH 鹼處理的▼Cn 觸媒則需升溫至較高的溫度（需要更多的活化能），在降溫的時後才具有良好活性與更大的應用溫度。★ B 觸媒明顯在低溫的性能有所提升。

七、1% $\text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 與 1% Au/TiO_2 在相同製配條件下之效能比較

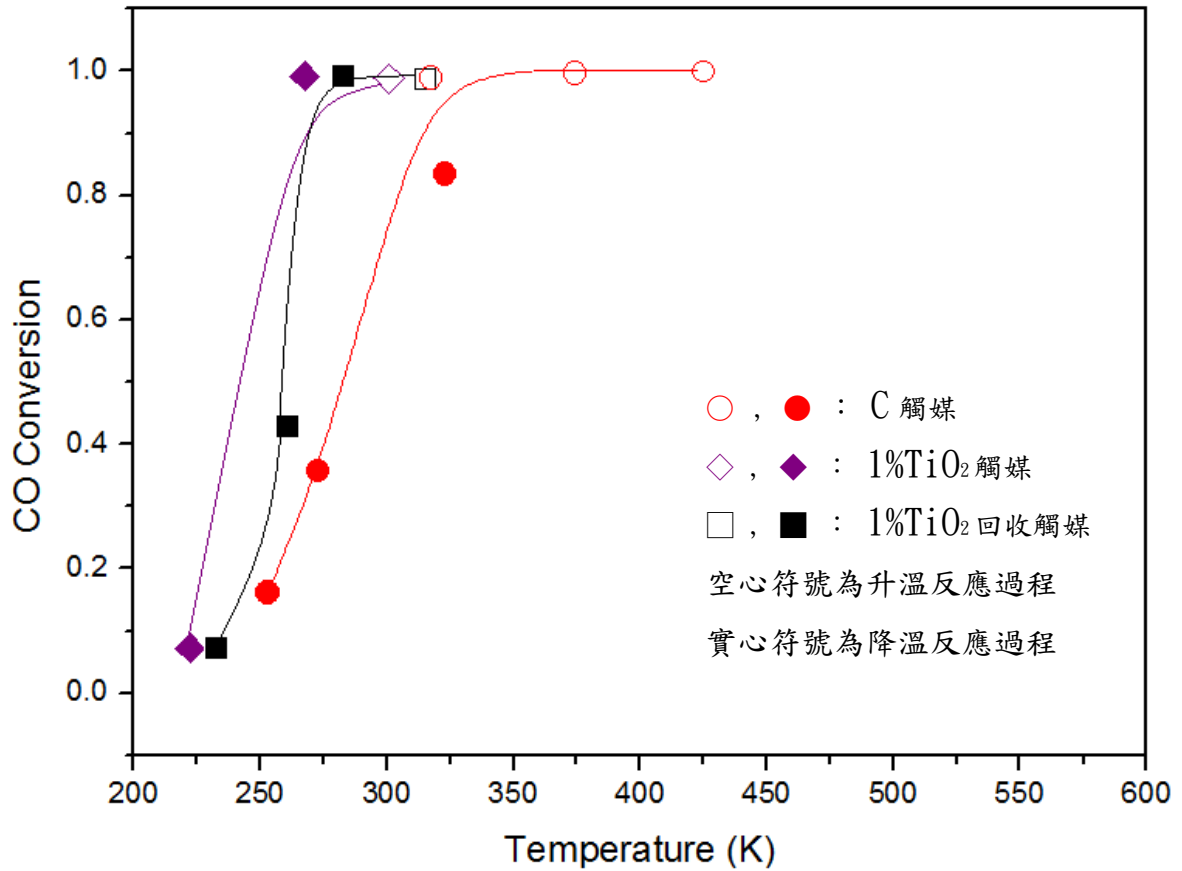


圖五-12

圖五-12 中，此 \blacklozenge 觸媒是利用 C 觸媒的完整做法來進行製備，當然包括 O_2 的鍛燒前處理，差異只在於使用之觸媒載體改為 TiO_2 並和 C 觸媒進行比較。

1. 圖五-12 結果可以發現其轉化效率是本作品所研製觸媒之冠，製作單純、有良好的溫度應用範圍(250K \uparrow)，在室溫下即可達到 100%的轉化率，低溫甚至可達零下 23 $^{\circ}\text{C}$ 。
2. 綜合以上實驗，我們的到兩個較佳的觸媒，並加載於轉化器上，作為轉化之活性中心進行模擬實驗。

八、1% Au/Al₂O₃ 與 1% Au/TiO₂ 觸媒再活化後之效能比較

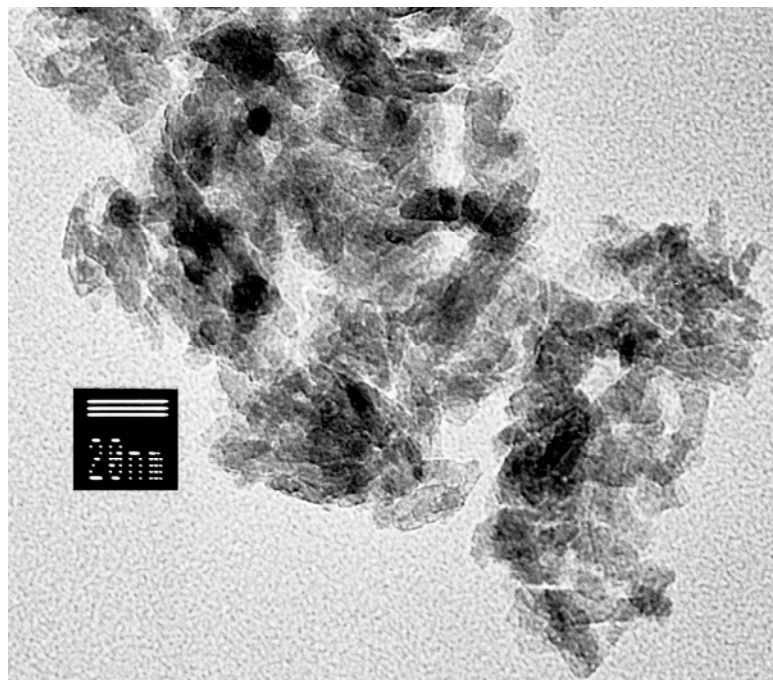


圖五-13

圖五-13 為本研究的最後一個觸媒轉化效率實驗，因為要將反應過、暴露於空氣中的觸媒回收進行再活化，將原 1% Au/TiO₂ 粉末暴露於室內空氣 200 小時之後，浸入原 NH₄OH 液經攪拌八個小時後再過濾，也同樣通過 573K 進行 O₂ 鍛燒之前處理，步驟後達到其觸媒修飾與再活化之目的。280K 對 CO 轉化效率依然可以維持 100%，用簡易的方式可再活化金觸媒達到高活性。

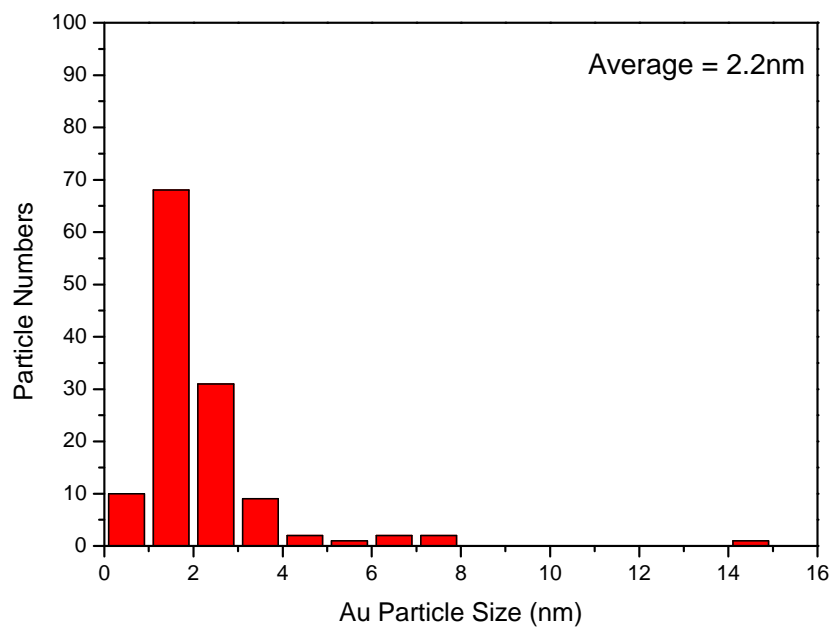
九、本專題研製之 C 觸媒 1%Au/ γ -Al₂O₃ 分析

(A) TEM 圖



圖五-6 觸媒活性 Activity@573K(μ moleCO/g-cat./s) : 1.190^d

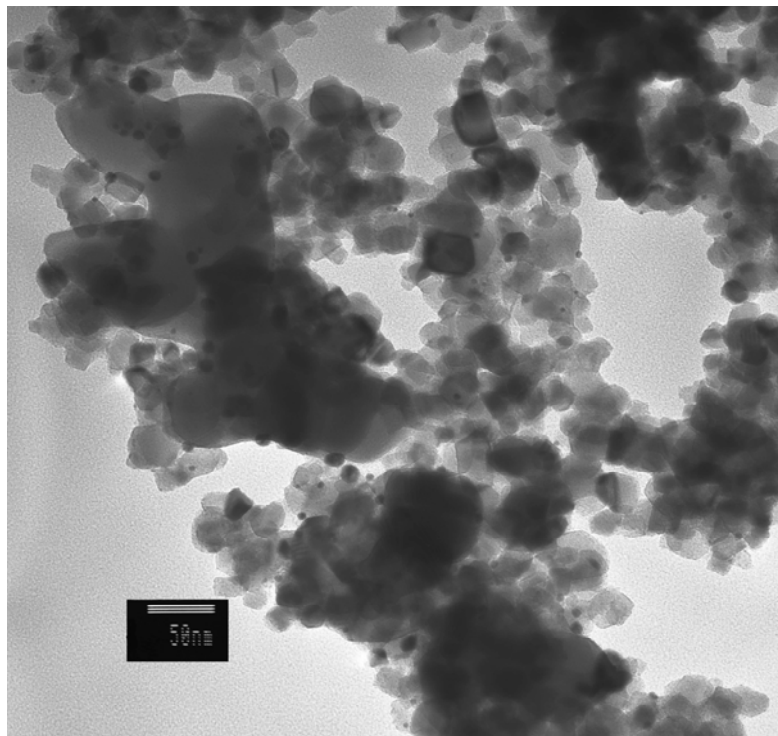
(B) Au 平均粒徑分佈圖



圖五-7 此為 Au(311)計算所得之顆粒大小

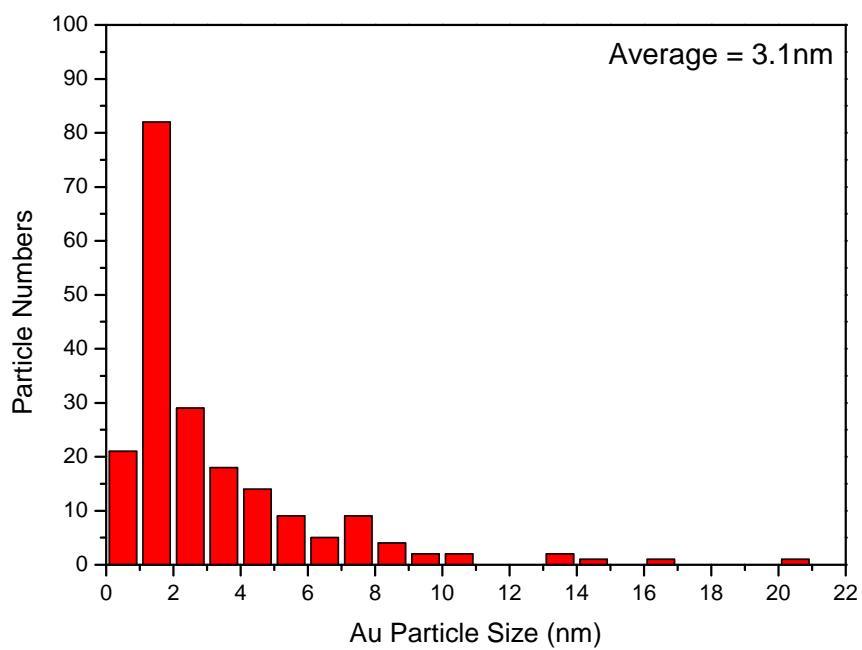
十、本專題研製之 C 觸媒 1%Au/TiO₂ 分析

(A) TEM 圖



圖五-8

(B) Au 平均粒徑分佈圖



圖五-9 此為 Au(311)計算所得之顆粒大小

陸、結論與應用

- 一、 本作品含警報(聲音和燈光)與轉化功能，在密閉空間中進行測試，對 10ppm 含量以上的 CO 與烷類氣體感測極為敏銳，將 CO 完全轉化的作用時間不到 1.5 分鐘，已達防範中毒與安全值標準。
- 二、 本作品元件採用市面上容易取得的低成本材料，有利於機器生產的普遍性與大眾化的接受度、利於量產，利用 LED 警示燈可快速檢測是否損壞電路或硬體。
- 三、 對於工作處所的空气品質比較差(微粒或粉塵過多)，會使觸媒的生命週期縮短，活性中心作用 200 ± 50 小時不等之問題。本作品試圖延展觸媒生命週期並封存在機器內，風扇組內加裝單向閥(Check Valve)設計之活動閘門，總計能有三年之長壽命。



圖六-1

- 四、 利用 NH_4OH (pH 值 11.04) 活性較大的氫氧基取代 AuCl_3 的氯基，將奈米金粒子尺度縮小至 2~3nm 且因為 NH_4OH 的揮發性比 NaOH 高，較不會有雜質殘留，成功提升含浸法觸媒在室溫下工作的轉化能力。

- 五、 實驗發現，觸媒製程中在高溫處理下較有高活性的反應結果。本作品也提升沉澱法觸媒的活性。
- 六、 延續四、五所述，我們選用 1%Au/Al₂O₃ 實驗顯示，在 300K 即達到對 10000ppm 之一氧化碳達 83%轉化率。以相同的製備方式 1%Au/TiO₂ 觸媒，則在 273K 即可達到 100%的轉化率，較同級觸媒相比，於材料成本與製作流程的縮減皆有明顯改良，也達到我們研究目的。
- 七、 以 B(析出沉澱法)製備之觸媒雖然擁有比 C 製備法(本作品研發之初濕含浸法)更大的溫度應用範圍，可是在鹼液改質的流程上，控制不易，造成許多工業上與實驗上製備的困難處。以本作品研發的方法製作觸媒，可以有效控制並提升實驗的良率，不管是沉澱法還是含浸法皆適用。
- 八、 觸媒再活化，使用先前所製備好的 NH₄OH 並將觸媒浸入，經攪拌八個小時後再過濾，即可將活性回復近，此方法是本觸媒的特色之一。

應用與延展

本淨化器首創將警報器與淨化器做一個結合，同時將金觸媒從製備成本到應用壽命的延長，完成一套完整的構思。先前也有人把觸媒浸泡過水後，測試觸媒在水氣充沛的情況下會增加對氣體的選擇性，所以現在我們不但要進行水氣測試及金觸媒活性保持膠質材料開發，將燃料電池的 CO 有效除去且能取代現汽機車排氣管的高成本材料。

雖然金觸媒的發展與應用已接近尾聲，但在本研究進行的過程中，美國山迪亞國家實驗室同時啟動了一個光觸媒的計畫並預計 2010 年 4 月中發表，參考文獻【一】此實驗室率先提出直接利用二氧化碳來當作燃料媒介的方法，目的在於：以不再產生額外的溫室氣體方式取得能量，簡稱「水煤氣製氫法」，在工程計劃過程中，原本反應之光觸媒的研發與收集陽光的

問題已積極解決之外，工程師們後來遇到的瓶頸在於產物的安全性問題與應用方案。首先是產物；一氧化碳、氧氣與氫氣的取得與儲存，再者是製程後的燃料產物，釋放出二氧化碳及其他物質是否符合低耗能的原則等，皆是值得再評估的項目。於是，利用此金觸媒對 $\text{CO}+\text{O}_2$ 高活性與應用溫度範圍廣泛的特性，在此反應中扮演還原性觸媒的重要角色，貢獻在於可容易分離氫氣與二氧化碳，藉此能安全且方便直接取得氫能，作用溫度廣泛亦可有許多應用空間；二氧化碳不用再被釋回大氣中而需重新捕捉，有望得到一個半永久性的能源。



圖六-2

我們在日前也向對方提出此類的方案，目前仍在網路熱烈討論中。

<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=splitting-carbon-dioxide>

柒、參考文獻

- 一、 James E. Miller (2009) Why not split harmful carbon dioxide into harmless carbon and oxygen
- 二、 張俊明、鄭靜、魏金明 (2005) 奈米金顆粒的催化作用之密度泛函理論研究/物理雙月刊
- 三、 Dong-Hai Li, Yan-Xia Jiang, Ying Wang and Shi-Gang Sun (2008) Silver Nanoparticles Confined in SBA-15 Mesoporous Silica and the Application as a Sensor for Detecting Hydrogen Peroxide
- 四、 Y. M. Wang (1999) The $\text{NO}+\text{CO}$ reaction over Al_2O_3 - and

modified Al₂O₃ supported Au catalysts / Yuan-Ze University, Taiwan, The Master Thesis

五、 Jun-Hong Liu, Ai-Qin Wang, Yu-Shan Chi, Hong-Ping Lin, and Chung-Yuan Mou* (2008) Synergistic Effect in an Au-Ag Alloy Nanocatalyst: CO Oxidation

六、 Masatake Haruta (1997) Size- and support-dependency in the catalysis of gold

【附錄】相關說明與數據

一、電路耗材

電阻一批

1KΩ ×3

10KΩ×2

330Ω ×1

LED

電晶體 TIP126

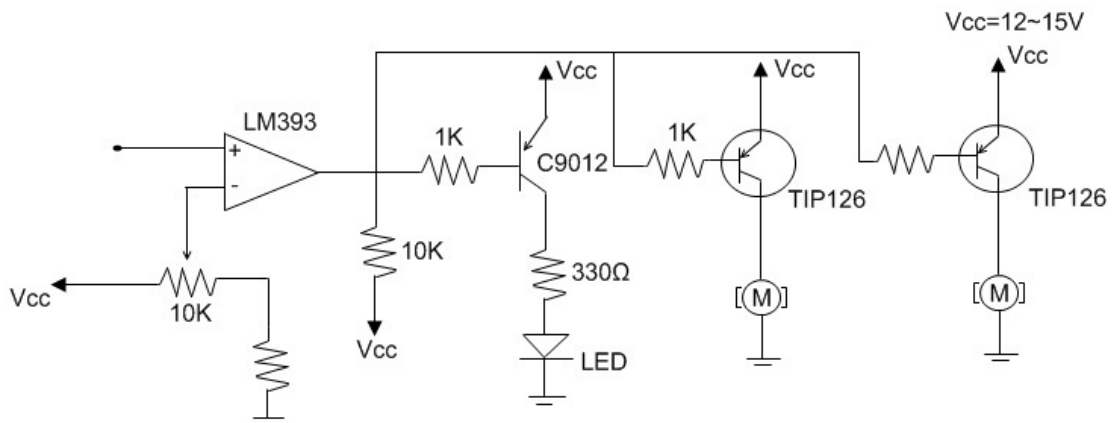
電晶體 C9012

電壓比較器 LM393

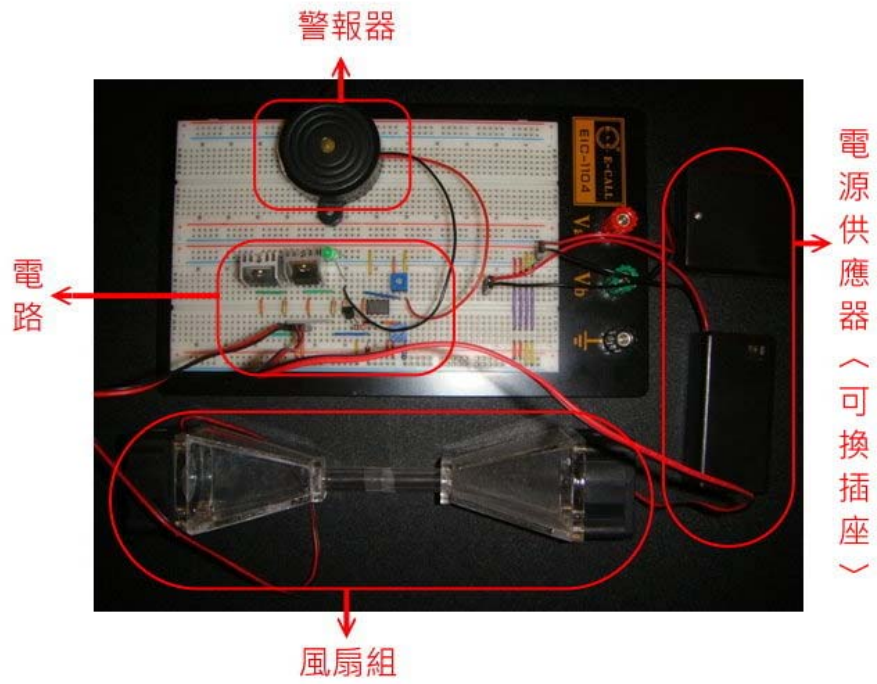
風扇馬達

二、設計圖及成品圖例

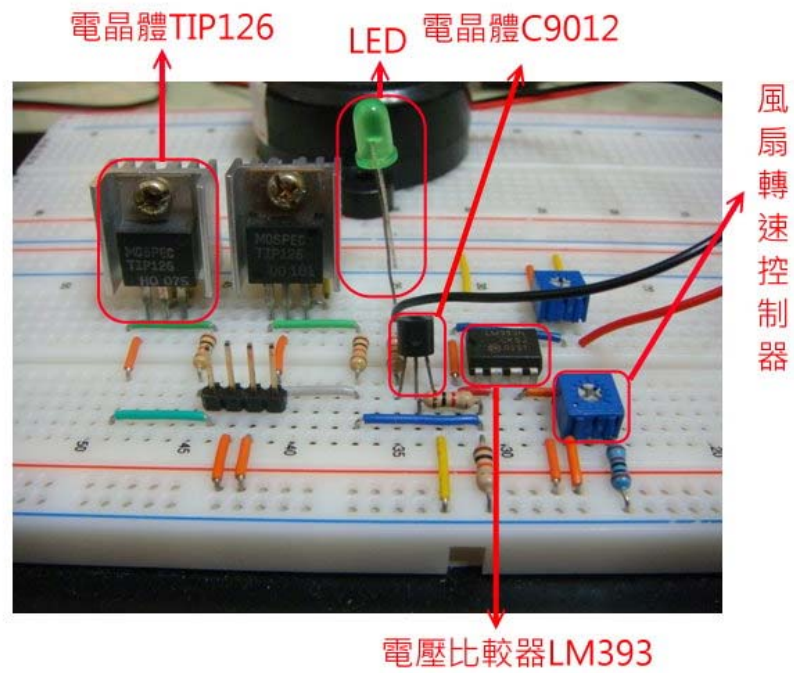
淨化器內部電路圖



附圖二-1



實體圖例及說明 附圖二-2



上圖是還未接上一氧化碳感應器的麵包板測試電路。 附圖二-3

三、電路設計理念說明

從原理上氣體感測器可以分為三大類：

- A) 利用物理化學性質的氣體感測器：如半導體式（表面控制型、體積控制型、表面電位型）、催化燃燒式、固體熱導式等。
- B) 利用物理性質的氣體感測器：如熱傳導式、光干涉式、紅外吸收式等。
- C) 利用電化學性質的氣體感測器：如定電位電解式、迦伐尼電池式、隔膜離子電極式、固定電解質式等。

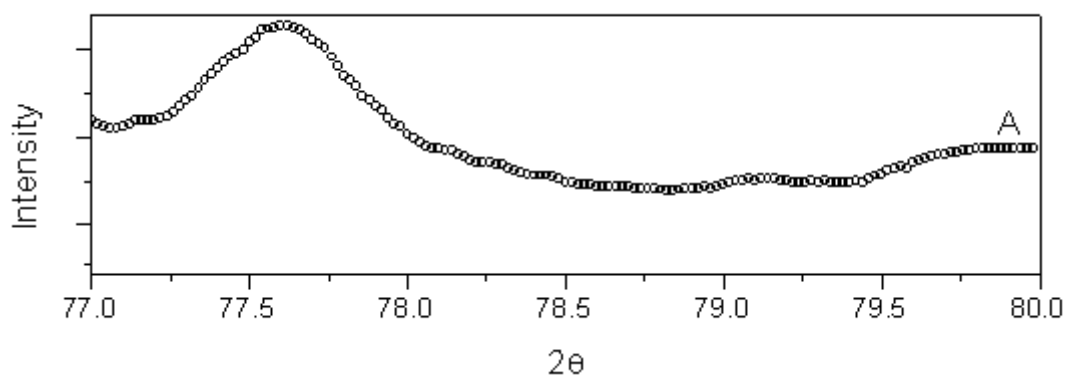
本電路之偵測原理採用不容易損壞的半導體型，利用 SnO_2 金屬氧化物半導體氣敏材料，通過顆粒超微細化和工藝製備 SnO_2 奈米顆粒，並以此作為基體催化劑，經過適當燒結後進行表面修飾和除去雜質，製成燒結型 CO 敏感元件，能夠探測 0.005%~0.5% 範圍的 CO 氣體，如果，相對濃度足夠的話即不考慮範圍問題。

此 Sensor 具備兩個探頭，具有對氣體的專一性，是一種即時分析的設計，烷類等易燃氣體以正離子狀態吸附在金屬氧化物半導體表面；氧脫附放出電子，可燃性氣體以正離子吸附狀態後放出電子，使氧化物半導體導帶電子的密度增加，使電阻值下降，若可燃性氣體不

存在了，金屬氧化物半導體又會自動恢復氧的負離子吸附，電阻值又會升高回初始狀態。有這樣的特性才能確保在工作期間，不因吸附過多氣體分子而導致電壓值持續下降，造成我們的風扇持續轉動。藉由電路放大器可以將 detector 發出的訊號轉換成動力，讓串連的警示燈、警示鈴、風扇啟動，亦可說，本機器設備也具有偵測 CO 以外的毒氣、烷類氣體，並發出警報的能力。

TiO₂ 活性判定依據

新鮮 Au/TiO₂ 含浸觸媒之 DRS 圖譜



Catalyst	Au Particle size (nm) ^a		T _{1/2} (K) ^c	
	XRD ^a	TEM	fresh	O ₂ 573K
TDR	29.6	--	>573	310 ^d

a：為 Au(311)計算所得之顆粒大小

c：取降溫反應過程之 T_{1/2}

1%**Au/Al₂O₃**

附表五-2

Test 1		Test 2		Test 3	
Ppm	sec	ppm	sec	ppm	sec
5	2	6	2	7	2
14	4	15	4	16	4
18	6	19	6	20	6
24	8	25	8	26	8
30	10	31	10	32	10
35	12	33	12	37	12
37	14	38	14	39	14
42	16	43	16	44	16
46	18	47	18	48	18
54	20	55	20	56	20
60	22	61	22	62	22
62	24	63	24	63	24
63	26	64	26	62	26
61	28	62	28	61	28
60	30	61	30	60	30
57	32	58	32	59	32
55	34	56	34	57	34
54	36	55	36	56	36
52	38	53	38	54	38
50	40	51	40	52	40
49	42	50	42	51	42
46	44	47	44	48	44
46	46	47	46	48	46
44	48	45	48	46	48
42	50	43	50	44	50
40	52	41	52	42	52
39	54	40	54	41	54
39	56	40	56	41	56
38	58	39	58	40	58
36	60	37	60	38	60
35	62	36	62	37	62
34	64	35	64	36	64

35	66	36	66	37	66
33	68	34	68	35	68
32	70	33	70	34	70
31	72	31	72	33	72
29	74	30	74	32	74
28	76	29	76	32	76
28	78	29	78	30	78
27	80	28	80	29	80
26	82	27	82	28	82
25	84	26	84	27	84
24	86	25	86	26	86
24	88	25	88	26	88
26	90	27	90	28	90
22	92	23	92	24	92
23	94	24	94	25	94
22	96	23	96	24	96
23	98	24	98	22	98
22	100	23	100	24	100
22	102	23	102	24	102
21	104	22	104	23	104
21	106	22	106	23	106
21	108	22	108	23	108
19	110	20	110	21	110
18	112	19	112	19	112
18	114	19	114	18	114

1%Au/TiO₂

附表五-3

Test 4		Test 5		Test 6	
Ppm	sec	ppm	sec	ppm	sec
4	2	5	2	6	2
14	4	15	1	16	4
22	6	23	3	24	6
29	8	30	5	31	8
35	10	36	7	37	10
44	12	45	9	46	12
49	14	50	11	51	14
53	16	54	13	55	16
57	18	58	15	59	18
60	20	61	17	62	20
63	22	64	19	65	22
63	24	64	21	65	24
62	26	63	23	64	26
61	28	62	25	63	28
60	30	61	27	62	30
58	32	61	29	60	32
56	34	57	31	58	34
56	36	57	33	58	36
55	38	56	35	57	38
53	40	54	37	55	40
51	42	53	39	53	42
48	44	49	41	51	44
47	46	48	43	49	46
45	48	46	45	47	48
43	50	44	47	45	50
40	52	42	49	43	52
40	54	41	51	42	54
39	56	40	53	41	56
39	58	40	55	41	58
37	60	38	57	39	60
37	62	38	59	39	62

36	64	37	61	38	64
35	66	36	63	37	66
35	68	36	65	37	68
34	70	35	67	36	70
34	72	35	69	36	72
33	74	34	71	35	74
32	76	33	73	34	76
30	78	31	75	32	78
27	80	28	77	29	80
25	82	26	79	27	82
25	84	26	81	27	84
23	86	24	83	25	86
23	88	24	85	25	88
21	90	20	87	23	90
21	92	21	89	22	92
21	94	22	91	23	94
20	96	21	93	22	96
20	98	21	95	20	98
18	100	18	97	19	100

致 謝

國立台灣科學教育館

國立台灣科技大學 化工系 / 林昇佃教授、觸媒反應研究室

國立台灣大學 化學系主任 / 牟中原教授

美國山迪亞國家實驗室 / Dr. James L. Miller

工業技術研究院 / 劉毅弘研究員

台北市立麗山高級中學 / 張堯卿、吳明德、林銘棋老師

台北市立西松高級中學 / 呂雲瑞老師

新竹科學園區漢熠資訊 / 陳禹成工程師

諾瓦奈米材料股份有限公司/楊先生

國立台灣大學 化學研究所 / 鄭修暉學長

國立台灣大學 電機工程學系 / 李詔熙學長

國立台灣大學 資訊工程學系 / 史宜平學姊

台北醫學大學 醫學系 / 王聖宇學長

國立臺灣師範大學附屬高級中學/ 臧翊真同學

◎感謝我們的父母能支持我們，沒有他們，我永遠都不知道自己有多少毅力！

還有已故的蘭迪·鮑許教授，您的一席話擁有無比的魔力。