

# 國內外空氣品質感測器現況介紹

## Introduction of the Domestic and International Situation on Air Quality Sensor

黃國政、陳奕璇、楊青青、蕭文澤

Kuo-Cheng Huang, Yi-Hsuan Chen, Ching-Ching Yang, Wen-Tse Hsiao

隨資訊網路與感測技術進步，聯網科技正帶動新科技浪潮。空氣品質係影響到人們的周遭生活起居，本文介紹國內／外空氣品質感測器現況、利基市場與國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心與台灣半導體研究中心在氣體感測器元件與整合測試平台開發的技術能量（如：薄膜製程、微機電系統製程技術、系統電路設計製作與驗證測試平台建立）。由前端空氣品質感測元件模組發展至後端數據資訊彙整分析等應用，建立氣體感測器元件國產化技術，以垂直整合產業、建立整體系統團隊，以推動空品物聯網整合系統，佈局全球市場。

With the advancement of information networks and sensing technologies, networking technology is driving a wave of novel technologies. Air quality affects people's daily lives. This paper introduces the current status of domestic/outside air quality sensors, the technical energy developed by the niche market. Moreover, the National Applied Research Laboratories, Taiwan Instruments Research Institute (TIRI) and Taiwan Semiconductor Research Institute (TSRI) on gas sensor components and integrated test platforms (i.e., thin film process, micro-electromechanical system process technology, and system circuit design and production and verification test platform established). From the front-end air quality sensing component module to the back-end data information integration analysis and other applications, the localization technology of gas sensor components is established to vertically integrate the industry and establish an overall system team to promote the empty goods internet of things (IoT) integration system.

### 一、前言

每年在十一月到隔年三月為台灣空氣品質最糟的時段，其原因不外乎是境內／境外與氣流等影響所造成空氣品質指標 (air quality index, AQI) 超標。根據世界衛生組織 (WHO) 統計，AQI 氣體對於人體健康影響甚鉅，其影響層面涵蓋呼吸系統、腦神

經系統、心血管系統等，若長久暴露於空氣品質不良區域除危害身心健康外，亦使得所在區域活動率下降，進而連帶影響整體區域經濟發展<sup>(1-5)</sup>。為此，行政院環保署特別針對空氣品質，建構空氣品質指標 (表 1)，提供一般民眾在日常生活與行動建議。AQI 定義各項污染物包含：細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>)、懸浮微粒 (PM<sub>10</sub>)、二氧化硫 (SO<sub>2</sub>)、氮氧

表 1. 空氣品質等級指標分類 (資料來源：行政院環保署空氣品質監測網)。

| 指標等級                                      | 1       | 2     | 3     | 4                                              | 5     | 6     | 7                                                                                      | 8     | 9     | 10                                                                        |
|-------------------------------------------|---------|-------|-------|------------------------------------------------|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|---------------------------------------------------------------------------|
| 分類                                        | 低       | 低     | 低     | 中                                              | 中     | 中     | 高                                                                                      | 高     | 高     | 非常高                                                                       |
| PM <sub>2.5</sub> 濃度 (μg/m <sup>3</sup> ) | 0—11    | 12—23 | 24—35 | 36—41                                          | 42—47 | 48—53 | 54—58                                                                                  | 59—64 | 65—70 | ≥ 71                                                                      |
| 一般民眾活動建議                                  | 正常戶外活動。 |       |       | 正常戶外活動。                                        |       |       | 任何人如果有不適，如眼痛，咳嗽或喉嚨痛等，應該考慮減少戶外活動。                                                       |       |       | 任何人如果有不適，如眼痛，咳嗽或喉嚨痛等，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。                                   |
| 敏感性族群活動建議                                 | 正常戶外活動。 |       |       | 有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童感受到癥狀時，應考慮減少體力消耗，特別是減少戶外活動。 |       |       | 1. 有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。<br>2. 老年人應減少體力消耗。<br>3. 具有氣喘的人可能需增加使用吸入劑的頻率。 |       |       | 1. 有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童，以及老年人應避免體力消耗，特別是避免戶外活動。<br>2. 具有氣喘的人可能需增加使用吸入劑的頻率。 |

化物 (NO<sub>x</sub>)、一氧化碳 (CO) 與臭氧 (O<sub>3</sub>)，其對人體健康影響程度，經換算後得知不同汙染物副指標值，描述如表 2。

## 二、物聯網產業應用與周邊裝置需求

物聯網 (internet of things, IoT) 源自 1995 年比爾·蓋茲 (Bill Gates)，物與物互聯論述。2005 年國際電信聯盟正式提出物聯網時代來臨。將物聯網融入生活一部份，其應用已在近幾年實現，包含：穿戴型裝置、醫療照護、居家監控、智慧工廠、智慧城市與環境監控等應用<sup>(6-10)</sup>。國際研究顧問機構 Gartner 在「新興技術發展週期 (Hype Cycle for Emerging Technologies)」報告指出，物聯網、巨量資料、雲端運算等技術，為全球最熱門且發展最快的技術之一，發展週期將達 10 年以上 (圖 1)<sup>(9-10)</sup>。同時彙整全球物聯網設備裝置需求，統計至 2020 年相關設備需求達 80 億套 (涵蓋家庭／消費、運輸／物流、建築／基礎設施與城市／工業應用)，複合年成長率將達 8%<sup>(10)</sup>。

在氣體感測器市場部分，2015 年根據 Markets&Markets、Techsci 與工研院 IEK 在全球

氣體感測器市場預估於 2020 年可達 80 億美元市場。氣體偵測設備可分為感測器 (sensor)、偵測器 (detector) 與分析 (analyzer) 等三大領域。其中，氣體分析 (analyzer) 可測量氣體種類、氣體偵測 (detector) 用於監測氣體並提供警報，氣體感測器 (sensor) 為氣體偵測的關鍵元件。圖 2(a) 為自 2014 年起至 2020 年氣體感測器設備產值，由圖中顯示可知，其產值將逐年提高。圖 2(b) 為，全球氣體偵測器需求量，將由 2013 年的 2055 萬部提升至 2020 年的 2773 萬部。其年複合成長率 (compound annual growth rate, CAGR) 將達 4%，藉以因應各種環境需求。

有鑒於此著手進行國內／外廠商在 AQI 空氣品質感測器盤點，經盤點結果發現，國內幾乎沒有廠商針對 AQI 氣體感測器進行研發與量產。僅有少數廠商針對室內用 CO<sub>2</sub> 與揮發性有機物質 (volatile organic compounds, VOCs) 氣體感測器開發與系統整合 (SI) 廠商 (圖 3)，在感測器研發部分大多由國外廠商領導。為此，經由政府研究資訊系統 (GRB) 中蒐集彙整科技部歷年來 (自民國 82 年起) 在氣體感測器研發專案計畫案件數量，以關鍵字 CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, HCHO, VOCs, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>、氣體感測器

表 2. 污染物濃度與污染副指標值對照表 (資料來源：行政院環保署空氣品質監測網)。

| 空氣品質指標 (AQI)            |                                        |                                               |                                                       |                                                      |                            |                                       |                                       |
|-------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| AQI 指標                  | O <sub>3</sub><br>(ppm)<br>8 小時<br>平均值 | O <sub>3</sub><br>(ppm)<br>小時<br>平均值<br>註 (1) | PM2.5<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<br>24 小時<br>平均值 | PM10<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<br>24 小時<br>平均值 | CO<br>(ppm)<br>8 小時<br>平均值 | SO <sub>2</sub><br>(ppb)<br>小時<br>平均值 | NO <sub>2</sub><br>(ppb)<br>小時<br>平均值 |
| 良好<br>0~50              | 0.000—0.054                            | —                                             | 0.0—15.4                                              | 0—54                                                 | 0—4.4                      | 0—35                                  | 0—53                                  |
| 普通<br>51~100            | 0.055—0.070                            | —                                             | 15.5—35.4                                             | 55—125                                               | 4.5—9.4                    | 36—75                                 | 54—100                                |
| 對敏感族群<br>不健康<br>101~150 | 0.071—0.085                            | 0.125—0.164                                   | 35.5—54.4                                             | 126—254                                              | 9.5—12.4                   | 76—185                                | 101—360                               |
| 對所有族群<br>不健康<br>151~200 | 0.086—0.105                            | 0.165—0.204                                   | 54.5—150.4                                            | 255—354                                              | 12.5—15.4                  | 186—304<br>註 (3)                      | 361—649                               |
| 非常不健康<br>201~300        | 0.106—0.200                            | 0.205—0.404                                   | 150.5—250.4                                           | 355—424                                              | 15.5—30.4                  | 305—604<br>註 (3)                      | 650—1249                              |
| 危害<br>301~400           | 註 (2)                                  | 0.405—0.504                                   | 250.5—350.4                                           | 425—504                                              | 30.5—40.4                  | 605—804<br>註(3)                       | 1250—1649                             |
| 危害<br>401~500           | 註 (3)                                  | 0.505—0.604                                   | 350.5—500.4                                           | 505—604                                              | 40.5—50.4                  | 805—1004<br>註 (3)                     | 1650—2049                             |

註 (1)：一般以臭氧 (O<sub>3</sub>) 8 小時值計算各地區之空氣品質指標 (AQI)。但部分地區以臭氧 (O<sub>3</sub>) 小時值計算空氣品質指標 (AQI) 是更具有預警性，在此情況下，臭氧 (O<sub>3</sub>) 8 小時與臭氧 (O<sub>3</sub>) 1 小時之空氣品質指標 (AQI) 則皆計算之，取兩者之最大值作為空氣品質指標 (AQI)。

註 (2)：空氣品質指標(AQI) 301 以上之指標值，是以臭氧 (O<sub>3</sub>) 小時值計算之，不以臭氧 (O<sub>3</sub>) 8 小時值計算之。

註 (3)：空氣品質指標 (AQI) 200 以上之指標值，是以二氧化硫 (SO<sub>2</sub>) 24 小時值計算之，不以二氧化硫 (SO<sub>2</sub>) 小時值計算之。

為搜尋標的。統計彙整共計：15 件 (自 82 年起迄今)+3 件 (物聯網 (IoT) 專案)+7 件 (AQI 氣體感測器服務平台專案，(執行中))，如圖 4 所示。

經由盤點彙整結果可知，我國學界與研究機構在氣體感測器研發已累積許多相關研發成果，加上台灣學術界在微機電與薄膜製程、IC 設計與製作擁有實力堅強的研發團隊，同時在產業界晶圓代工及封裝測試專業分工各司其職，憑藉在學界研發實力與產業上／中／下游進行垂直整合，藉以孕育出台灣具代表性的空氣品質物聯網感測器產業供應鏈。彙整 AQI 氣體感測器的研發契機如表 3 所示。

AQI 氣體感測器依據其感測器種類、偵測尺度、價格與尺寸，可分為光學式、電化學式、薄膜電阻式、化學場效電晶體式與金屬氧化物半導體式，彙整成如圖 5 所示，其偵測尺度與價格成正

比關係。國外大廠所研發之感測器元件大多為電化學式 (如  $\alpha$ phasence、CITY TECHNOLOGY、MEMBRAPOR、FIGARO) 與光學式 (Seed、Amphenol、DYNAMENT) 如圖 6 所示。國內學術界所研發之 AQI 氣體感測器分別於半導體式與光學式這兩大區塊中，以目前所研發的感測器規格，其偵測濃度與偵測範圍部分優於國外大廠。為此可孕育出國產化特有的氣體感測器，總結各類氣體感測器進行特色評價描述 (圖 7)，彙整如下：

光學式：擁有響應速度快與使用週期 (壽命) 長特性

電化學式：擁有高精度特性，但有使用期限。

半導體式：為新型感測器，因製程成本低廉，未來將有機會取代電化學式感測器。

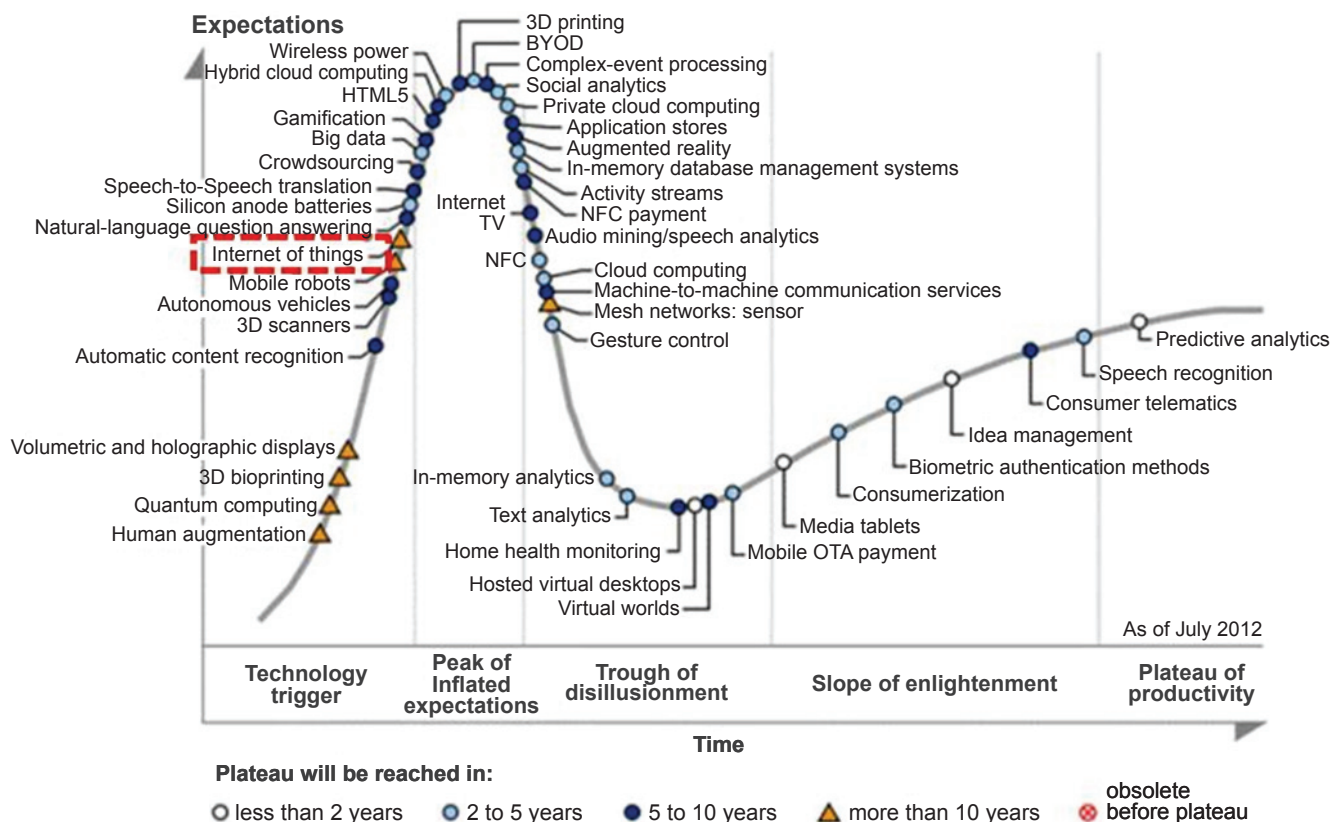


圖 1. 新興技術發展週期<sup>(9, 10)</sup>。

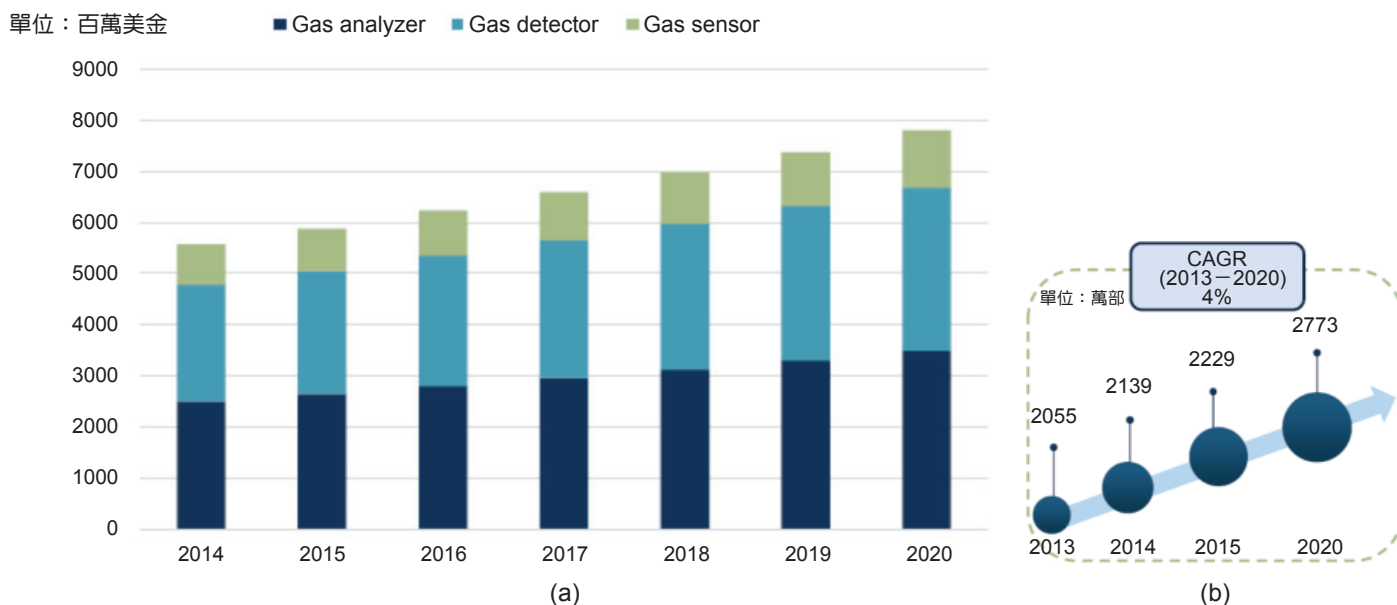


圖 2. (a) 全球氣體偵測設備在 Gas Sensor、Gas Detector、Gas Analyzer 三大領域產值 (資料來源：Markets&Markets、Techsci 與工研院 IEK (2015/11))。 (b) 全球氣體偵測設備需求 (資料來源：Markets&Markets、Techsci 與工研院 IEK (2015/11))。



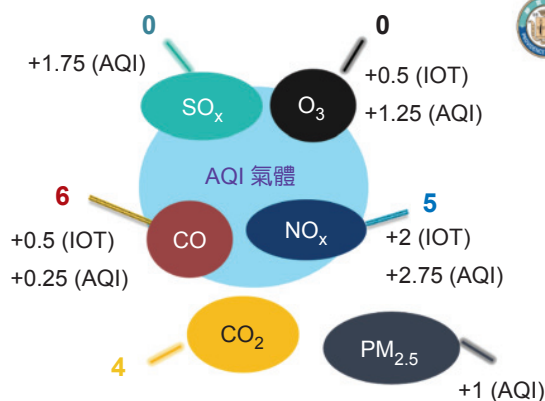


資料來源：各公司型錄，儀科中心彙整

圖 3. 國內外 AQI 氣體感測器製造商盤點 (儀科中心彙整)。

依政府研究資訊系統 (GRB) 盤點 CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 氣體感測器

共計：15 件 (自 82 年起迄今) + 3 件 (物聯網 (IOT) 專案)  
+ 7 件 (AQI 專案)



資料來源：政府 GRB 系統，儀科中心彙整

圖 4. 科技部氣體感測器盤點。



### 三、AQI 氣體感測器服務平台

AQI 氣體感測器服務平台係結合學術研究能量進行氣體感測器元件研發 (如：薄膜製程、微機電系統製程技術與系統電路設計製作)。由國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心 (TIRI) 與台灣半導體研究中心 (TSRI)，提供 AQI 氣體感測器元件製程技術、系統電路與模組化設計服務，協助國內

學術研究群進行感測器元件研發，並進行封裝與模組化整合，藉以大幅縮短與業界技術銜接時程，提高國內自主化 AQI 氣體感測器研發與驗證能量。與國內業者合作進行試量產以提高國際競爭優勢，服務平台將提供學界與業界服務，描述如圖 8 所示，藉以透過法人加值嫁接產業提供感測器自主研發能量以縮短學用落差。

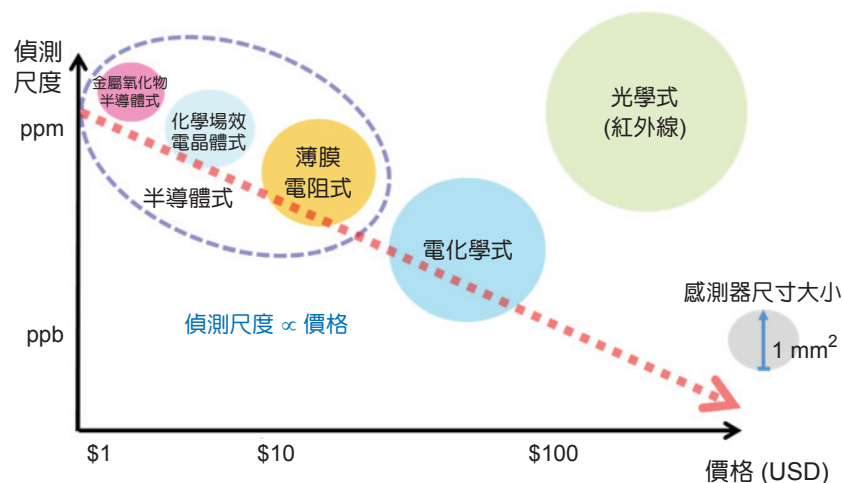
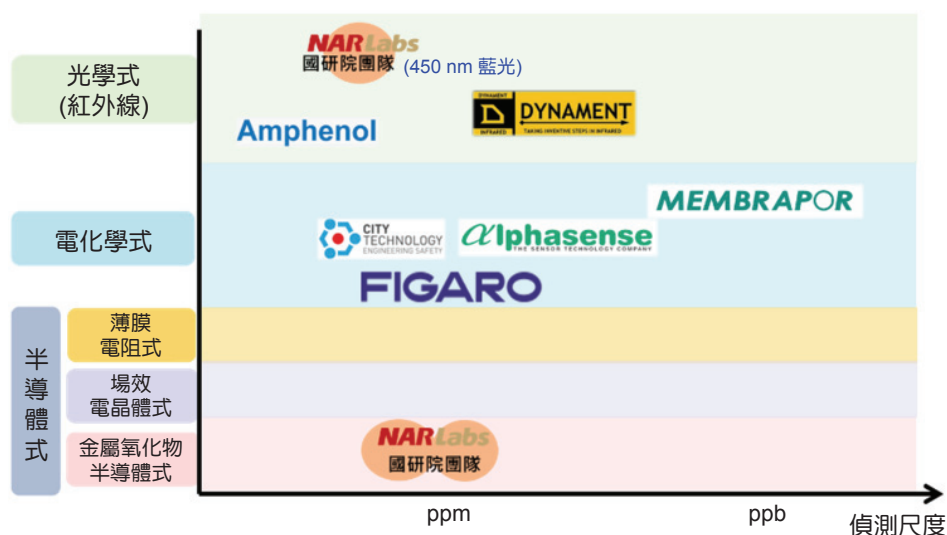


圖 5. AQI 氣體感測器種類 vs. 偵測尺度／價格／尺寸 (儀科中心彙整)。



資料來源：工研院 IEK (2016/11) (儀科中心彙整)

圖 6. 國外大廠與國內學術界感測器種類與偵測尺度 (儀科中心彙整)。

表 3. 國內氣體感測器元件研發 SWOT 分析。

| SWOT 分析                                                                               |                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 優勢 (Strength)                                                                         | 劣勢 (Weakness)                                                                  |
| 1. 研究單位與學界執行感測器材料與元件研發，已累積許多研發成果。<br>2. 具氣體感測器研發產業所需元件自製製程設備與技術。                      | 1. 我國以中小企業為主，且長期依賴國外感測器產品，自主開發產品不易說服終端使用者採納。<br>2. 產業與學術界落差仍大，自主開發感測器元件不易導入量產。 |
| 機會 (Opportunity)                                                                      | 威脅 (Threat)                                                                    |
| 1. 透過實際感測需求建立驗證場域，將感測器從元件、模組進行功能性與可靠度驗證。<br>2. 擁有較高可靠度與精度產品製造能力，可藉由中央級單位協助將產品銷售至其他國家。 | 1. 中國大陸由國家級單位支應龐大資源，提供予氣體感測器產業發展，且產品價格相對低廉。<br>2. 業者仍缺乏完整解決方案，競爭力相對國際大廠落後。     |

AQI 氣體感測器自主研發計畫自 106 年起執行迄今已有部分階段性成果，研究團隊研發包含光學、電化學及半導體式等類型感測器與不同應用情境種類，其技術發展與國外大廠相關展品對比，感測器規格具利基優勢。本次專刊將有助於讀者瞭解台灣在自主研發氣體感測器現況與技術，作為未來可橋接產業相關等應用議題。

### 誌謝

本研究承蒙科技部經費補助 (計畫編號MOST 107-2218-E-492-007)，使本研究得以順利進行，特此致上感謝之意。

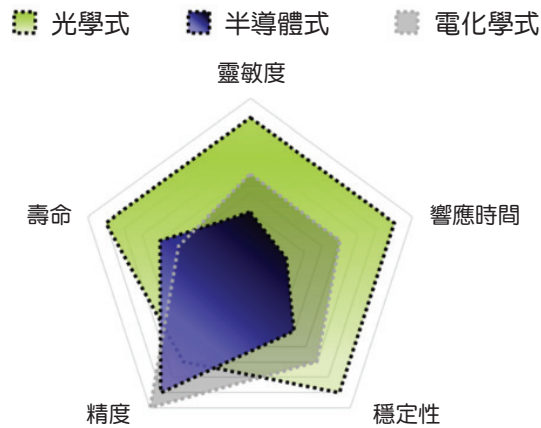


圖 7. 各類 AQI 氣體感測器特色評價 (儀科中心彙整)。

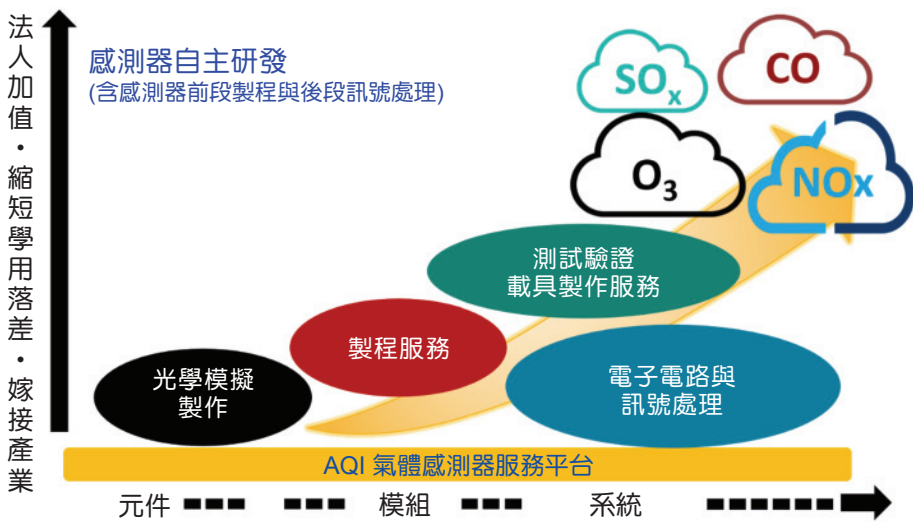


圖 8. AQI 氣體感測器服務平台研發能量 (儀科中心彙整)。

### 參考文獻

1. H. Li et al., *Science of The Total Environment*, **628-629**, 1209 (2018).
2. D. Schweizer et al., *Journal of Environmental Management*, **201**, 345 (2017).
3. N. Li et al., *Science of The Total Environment*, **566**, 919 (2016).
4. C.M. Lin, H.W. Kuo, *Public Health*, **127**, 823 (2013).
5. H.C. Yang et al., *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, **137**, 261 (2016).
6. R.H. Weber, *Computer law & security review*, **26**, 23 (2010).
7. R.H. Weber, *Computer law & security review*, **25**, 522 (2009).
8. L. Atzori, A. Iera, G. Morabito, *Computer Networks*, **54**, 2787 (2010).

9. J. Gubbi et al., *Future Generation Computer Systems*, **29**, 1645 (2013).
10. F. Meunier et al., *Morgan Stanley blue paper*, Apr. **3**, (2014).



黃國政先生為國立台灣大學機械所博士，現為國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心研究員。

Kuo-Cheng Huang received his Ph.D. in Mechanical Engineering from National Taiwan University. He is currently a research fellow at Taiwan Instrument Research Institute, NARLabs.



陳奕璇小姐為東海大學生命科學系學士，現為國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心專案研究助理。

Yi-Hsuan Chen received her B.S. in the Department of Life Science from Tunghai University. She is currently a project research assistant at Taiwan Instrument Research Institute, NARLabs.



楊青青小姐為美國伊利諾理工學院企管所碩士，現為國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心研究員。

Ching-Ching Yang received her MBA. from Illinois Institute of Technology, USA. She is currently a research fellow at Taiwan Instrument Research Institute, NARLabs.



蕭文澤先生為國立彰化師範大學機電工程所博士，現為國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心研究員。

Wen-Tse Hsiao received his Ph.D. in Mechatronics Engineering from National Changhua University of Education. He is currently a research fellow at Taiwan Instrument Research Institute, NARLabs.