科技部工程司「智慧微塵感測器技術研發專案計畫」
徵求說明

壹、計畫背景說明

1995 年比爾·蓋茲(William Henry Gates III)提出物與物互聯論述，物聯網(Internet of things, IoT)一詞自此打開，在 2005 年國際電信聯盟(International Telecommunication Union, UIT)提出物聯網時代來臨，將物聯網融入生活當中以非難事。隨著技術的演進，近 10 年來物聯網融入人民生活環境當中，並持續發酵與技術精進，包含：個人型穿戴式裝置、醫療/居家照護監控、智慧城市與環境監控、智慧工廠與智慧製造等應用議題都已融入現實生活當中。盤點物聯網及其相關設施需求，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，物聯網搭配巨量資料、雲端運算等技術為全球最熱門且發展最速的技術，其發展週期將達 10 年以上(圖 1)。同時根據 Morgan Stanley 研究指出，全球物聯網設備裝置至 2020 年需求將達 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%(圖 2)，截至 2019 年底，全世界已有 76 億台物聯網設備正被使用中，在 Transforma Insights 發布最新研究指出，至 2030 年，物聯網總數將增長到 241 億，複合年增長率(CAGR)為 11%(圖 3)。隨著 5G 通訊等骨幹網絡普及化，將持續帶動物聯網產業發展。

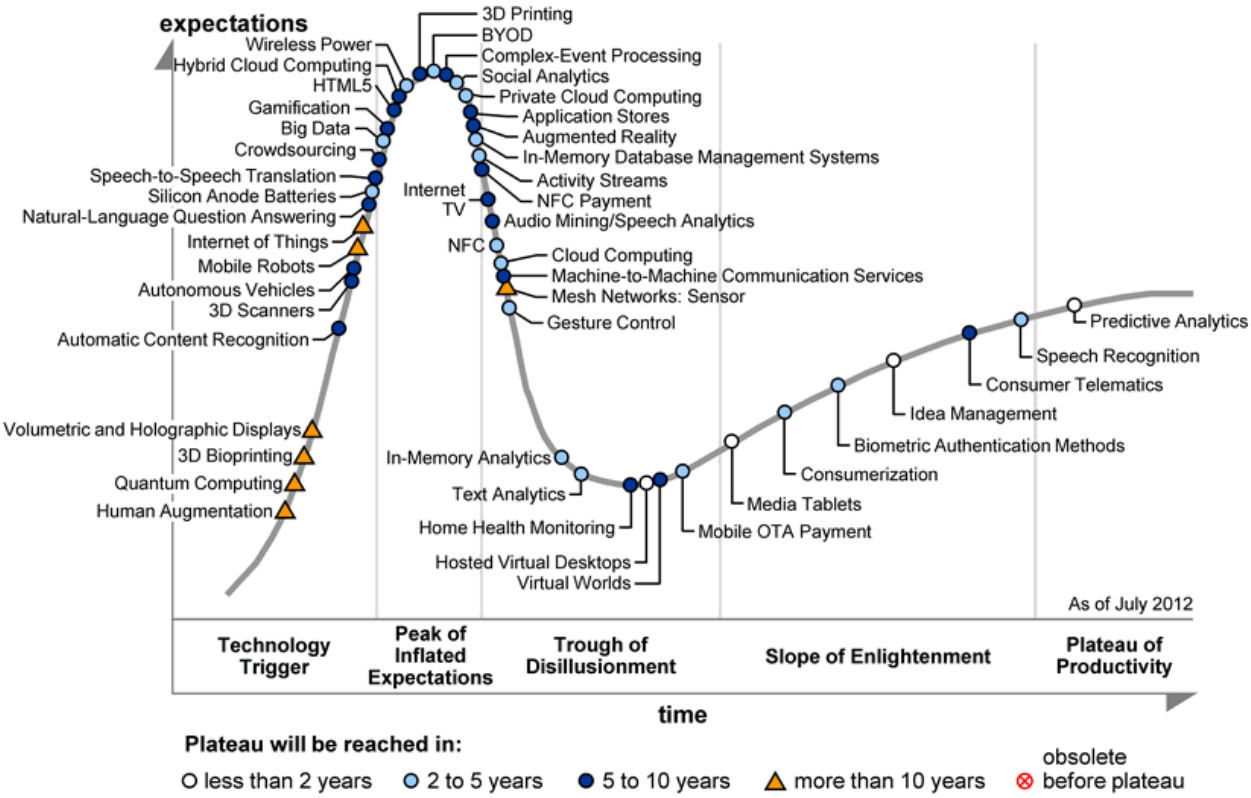

圖 1 Gartner 新興技術發展週期

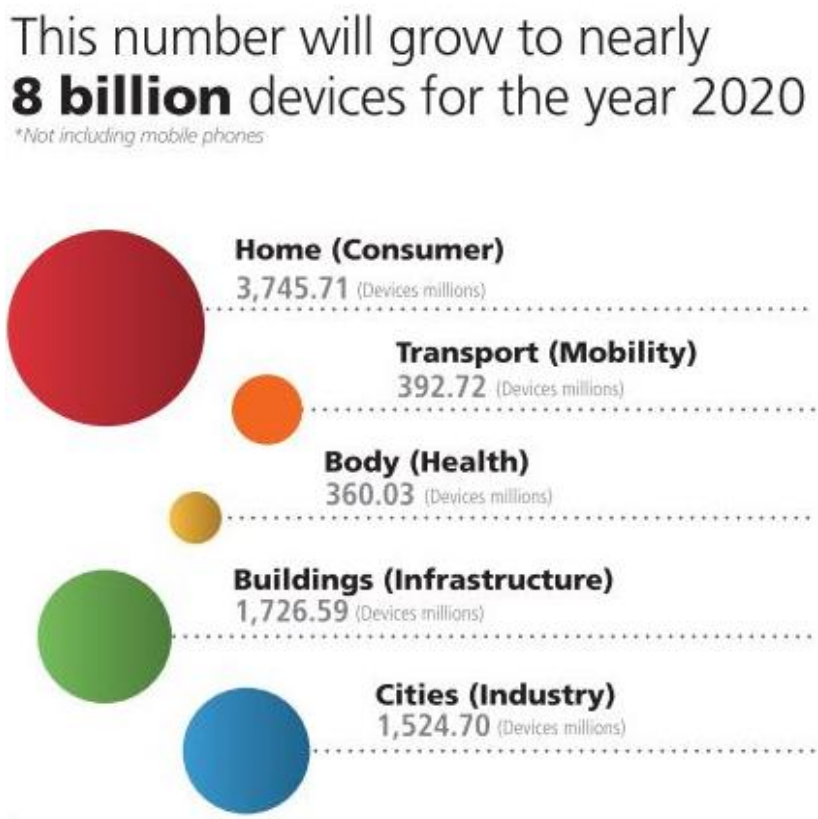

圖 2 全球物聯網設備裝置(資料來源：Gartner, IDC, Morgan Stanley)

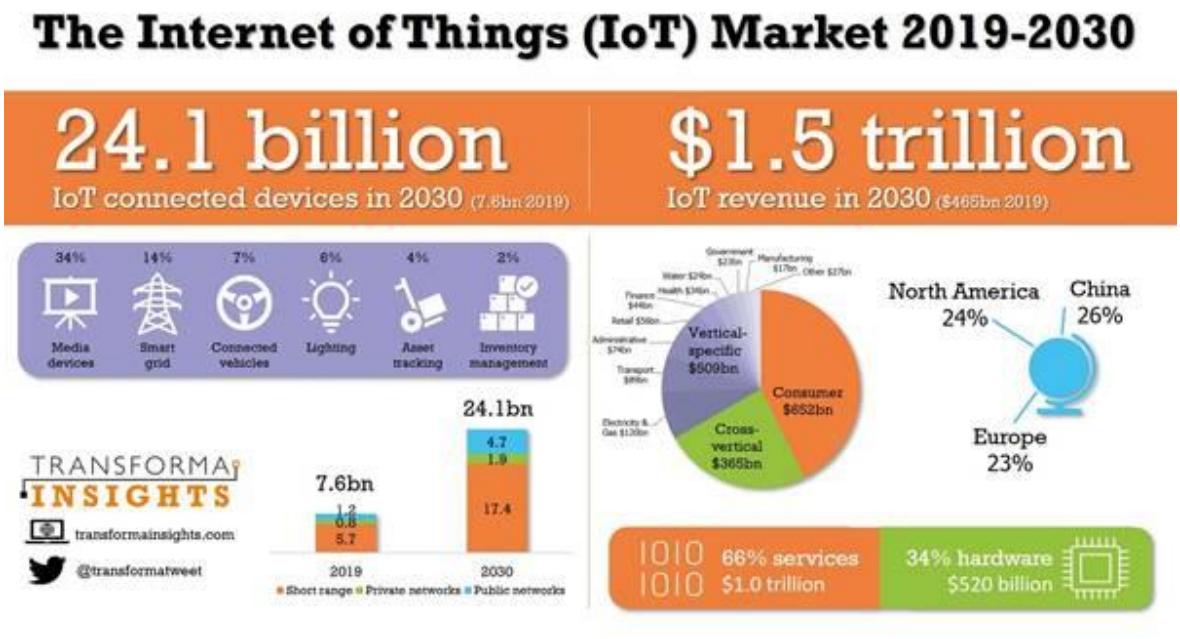

圖 3 2019~2030 物聯網市場預估(資料來源：Transforma Insights)

此外，根據國際市調機構 Yole Développement 在 2021 年 7 月統計指出，金屬氧化物半導體(MOS)氣體感測器市占率將從 2020 年的 9%上升至 2026 年 25%(圖 3.1)。在感測器應用方面，除了室外空氣品質偵測外，在封閉的室內空間(教室、辦公室和公共場所)、工業和供暖、通風和空氣空調市場、車用、行動裝置等應用(圖 3.2)比例也隨之提升。

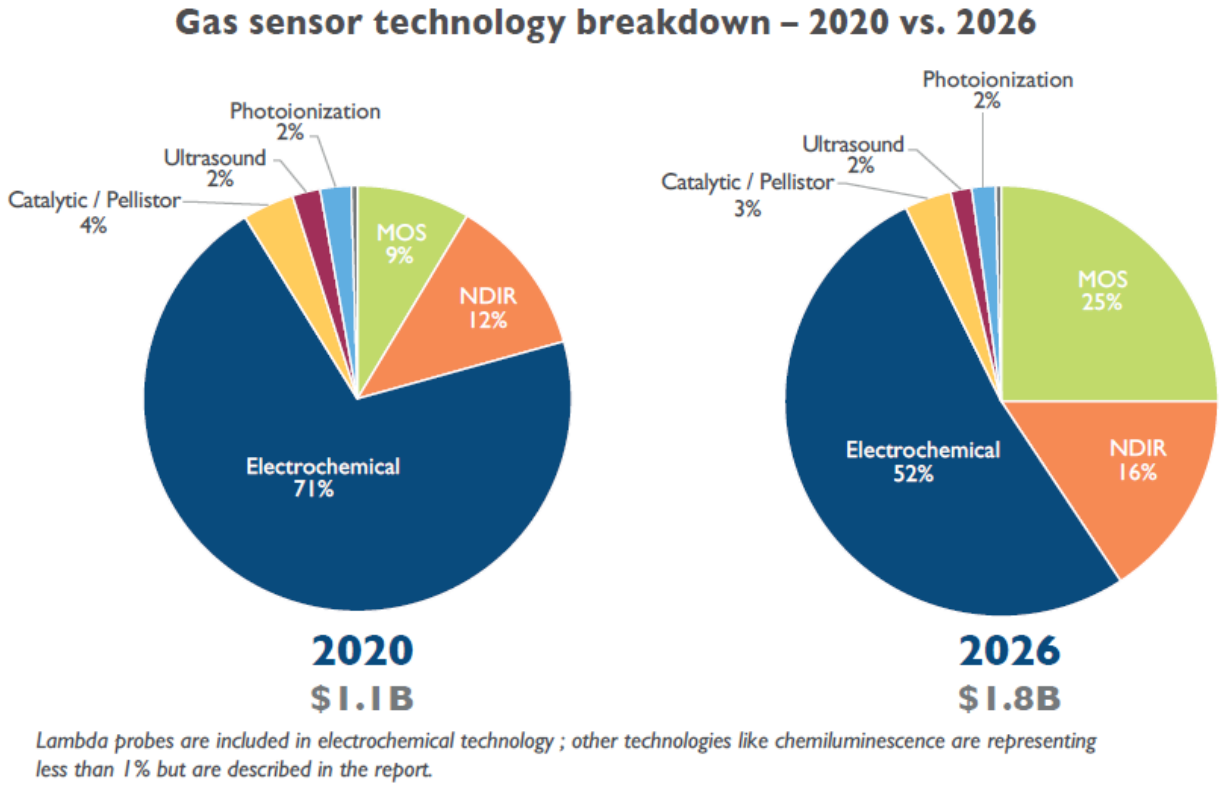

圖 3.1 2020~2026 年各類氣體感測器市場預估(資料來源：Yole Développement)

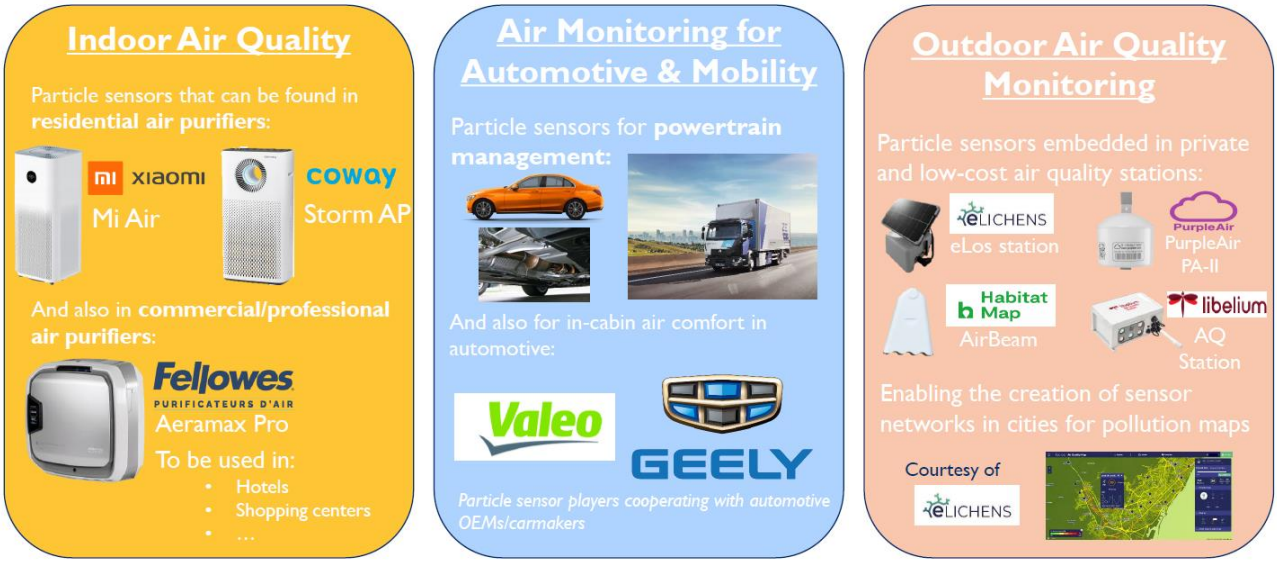

圖 3.2 感測器應用(資料來源：Yole Développement)

感測器元件與模組係為發展物聯網產業的主要核心，尤其與民生、社會議題相關的氣體、水質安全等偵測實為重要。隨著科技的進步帶動了工業及都市發展，當人口密集、車輛、工廠及環境增加的同時，民眾周遭的環境將被所關切。根據世界衛生組織(WHO)統計，NO_2、SO_2、CO、O_3 與揮發物有機氣體(VOC)等對於人體健康影響甚鉅，影響層面涵蓋呼吸系統、腦神經系統、心血管系統等，人們若長時間暴露下將危害身心健康，亦使所在區域活動率下降，進而連帶影響整體區域經濟發展。

然而，空汙的起因源自於工業及都市化發展後的生成物，隨著居住環境高度密集人群、車輛及工廠等因素增加，空氣品質明顯的受到衝擊。為此環保署分析台灣空氣汙染與產生危害物質，經分析統計指出，其中交通工具使用佔 37%，其次是工業排放佔 16.7%(含金屬製品、化學材料塑膠、紡織品與食品製造等)。而空氣汙染包含粒狀汙染物($PM_{2.5}$, PM_{10})、硫氧化物(SO_x)、氮氧化物(NO_x)、與總揮發性有機物(Total Volatile Organic Compounds, TVOC)。其中 SO_x 和 NO_x 為 $PM_{2.5}$ 原生成物之一，依據 $PM_{2.5}$ 的組成形式分為一次組分(直接顆粒型態排放)與二次組分(氣態汙染物)，其與空氣中其他的組分發生化學反應後形成細懸浮微粒。

同時，針對「揮發性有機物空氣汙染管制及排放標準」進行規範。然而，室外 TVOC 產物容易與氧進行反應，進而氧化形成相對應的游離基(Radicals)，此游離基在與其他化學成分在光化反應下形成，如一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO_2)、酸性氣霧、高濃度臭氧(O_3)、二氧化硫及其他過氧化物等氣體，如圖 4 所示。這

些汙染不僅造成空氣品質變差，且造成疾病與災害，如(1)氮氧化物過量易導致呼吸道疾病增加、(2)高濃度硫氧化物帶來酸雨破壞樹木及農作物。

圖 4 台灣地區空氣污染與產生的危害物質分析

此外，空氣汙染隨著人群活動夾帶至室內，致使室內累積汙染增加。然而，室內空汙是長期被忽略的，因其症狀屬長期潛伏，不會立即發現。為此環保署 100 年公告「室內空氣品質管理法」，針對室內空品進行控管，並於 109 年 12 月 12 日預告「應符合室內空氣品質管理法之公告場所」修正草案 ，新增 5 類場所，包括：200 人以上幼兒園、20 床以上產後護理機構、收托 35 人以上托嬰中心、地區型醫院、總樓地板面積達 1,000 平方公尺以上、未滿 2,000 平方公尺的運動健身中心等都需納入室內空氣品質管理法內，約有 2,200 家場所。室內環境中汙染物質包含：懸浮微粒(PM_{10} 和 $PM_{2.5}$)、揮發性及半揮發性有機物質、二氧化碳、一氧化碳、臭氧及氡氣等氣體。另外，與民生社會議題息息相關的為汙水下水道管線的氣體偵測，每年在汙水下水道進行清潔的工人常因不知地底下暗

藏什麼氣體也導致意外事件頻傳，除此之外，水質問題等皆與民眾息息相關。為避免空氣汙染對於人體健康有所危害或是氣爆事件再次發生與水質等問題，針對環境汙染、工業環境安全考量及居家環境照護的引領下，使得氣體感測器(Gas sensor)、水質感測器之應用領域備受重視。

有鑒於國際市場上氣體感測器需求，著手進行國內/外廠商在空氣品質(Air Quality Index, AQI)感測器盤點。經盤點結果發現，國內幾乎沒有廠商針對 AQI 四大氣體(CO, O_3, SO_2, NO_2)偵測的感測器進行研發與量產，僅有少數廠商針對室內用二氧化碳(CO_2)與揮發性有機物質(volatile organic compounds, VOCs)氣體感測器開發與系統整合(System Integration, SI)廠商(圖 5)，在 AQI 氣體感測器研發部分，大多由國外廠商領導，國內並無自有品牌。

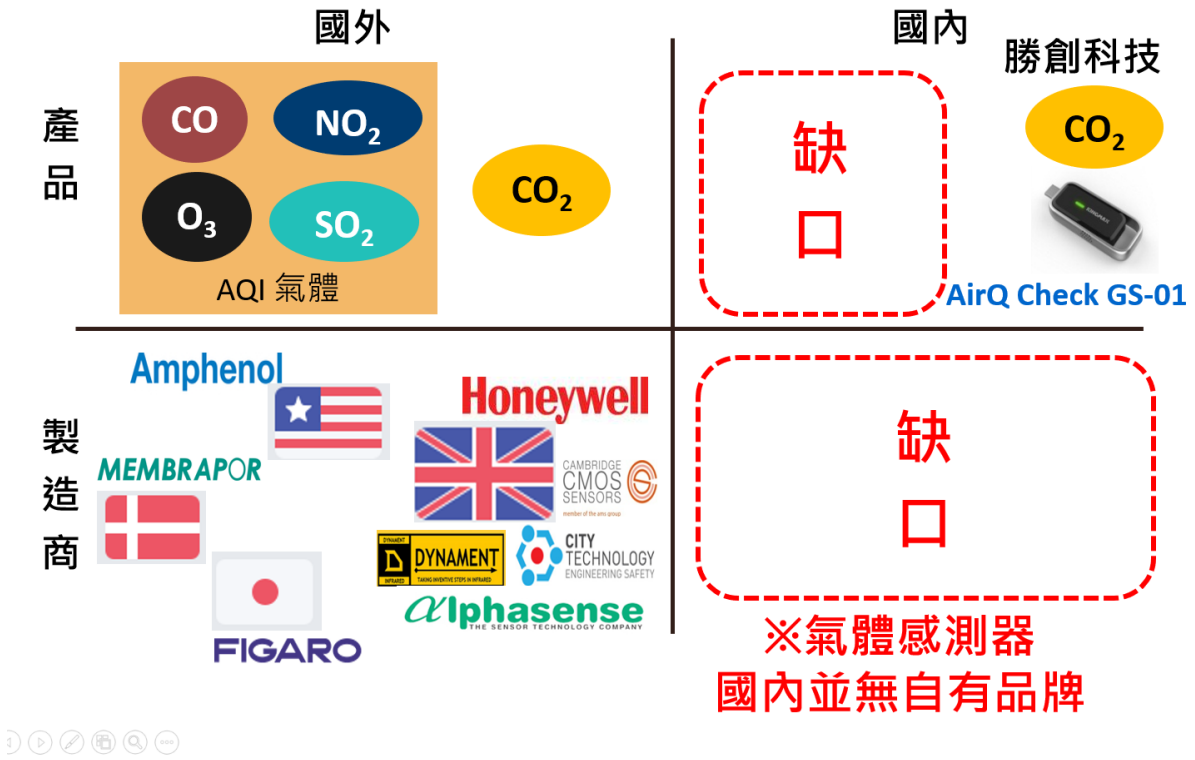

圖5 國內外AQI氣體感測器製造商盤點(國研院儀科中心彙整)

國內學術界與研究機構在氣體感測器已具備研發能量並累積許多成果，以感測器製程為例，學術界與研究機構擁有從材料端、元件端、模組端、系統端能力，在光學式感測器具備響應速度快與壽命長優勢、電化學感測器具備高精度特色、半導體式感測器具備低成本優勢(圖 6)。加上特有的微機電(MEMS)與薄膜製程、IC 設計與電路製作的研發團隊。搭配科技部轄下之財團法人國家實驗研究

院台灣儀器科技研究中心與台灣半導體研究中心在感測器之技術加值，並搭配產業界在元件試量產及封裝測試等專業技術，分工各司其職，憑藉在學術界研發實力與產業的上/中/下游整合，可藉以孕育出台灣具代表性的感測器產業聚落與供應鏈。

圖6 國內學術界感測器技術與市場上競爭者相較之技術優勢

貳、計畫目標

本計畫目的係完成感測元件模組國產化，建立自主感測器技術能量。計畫內容以發展微小化與低功耗特性之智慧微塵感測器，透過實際佈點與物聯網技術串接成區域監控網絡。計畫目標包含：

一、結合學術界研究能量，針對晶片型智慧微塵感測器、以及偵測低濃度氣體之微型光譜儀或光學式氣體感測器進行前瞻工程實踐與整合測試技術研發，藉此可有效提升國內產業界於感測器產品與智慧聯網監控產業之競爭力，建立自主研發能量，形成感測器聚落生態圈。

二、學術界研發團隊，搭配法人單位之感測器製程技術與系統電路設計製作(類

公板技術)，完成感測器元件開發與新穎晶片型感測器研發驗證。

三、衍生在產業、社會民生…等方面之應用，例如：(1)環保署標準測站(AQI 氣體，如:CO、NO_2、SO_2、O_3)、(2)半導體製程場域(辦公區、製程場域、外部環境，如:NH_3、H_2S、CO、CO_2、VOC)、(3)智慧城市應用(社區、公共場所、校園、交通要道、汽車廢氣排放、車內空品、汙水下水道，如：CO、CO_2、VOC、NO_2、SO_2、NH_3、H_2S)等城市治理之社會民生面應用議題、(4)學界研發團隊之合作企業場域。

四、氣體感測器布建後之量測數據，提供財團法人國家實驗研究院高速網路與計算中心建置之平台，進行民生公共物聯網資料應用服務。

參、計畫內容與重點研究項目

一、偵測之氣體包含：(一)AQI 氣體，如：CO、NO_2、SO_2、O_3，(二)半導體製程場域(包含製程場域、辦公區、外部環境)之氣體，如：NH_3、H_2S、CO、CO_2、VOC，(三)智慧城市應用(包含社區、公共場所、校園、交通要道、汙水下水道…等)，如：CO、CO_2、VOC、NO_2、SO_2、NH_3、H_2S。

二、氣體感測器種類

(一)半導體式氣體感測器，具備微小化/低功耗功能，以善用我國半導體產業優勢，並具有業界製程量產之可行性。

(二)針對低濃度環境，採用微型光譜儀或光學式氣體感測器…等技術，以獲得較佳的解析度與誤差範圍。包含光譜檢測晶片設計、製造與電路整合功能，可偵測微小氣體濃度變化(如偵測解析度達<1 ppb)。

(三)須將感測器前端(感測器元件技術)、後端(電子電路訊號處理器、通訊技術)與供電、通訊等整合於同一晶片(多功能整合晶片)上，以便進行布建、聯網，衍生更廣泛的產業與社會民生應用。

(四)為了強化氣體感測器後續產業界鏈結，有關感測器之研發規格，請依下列辦理，並於計畫書中敘明下列事項，俾供審查。

1.計畫團隊所研發之氣體感測器特性需為電阻型變化，有效偵測阻值須在於 1k ~ 5M ohm 變化範圍，且單一感測器尺寸(長/寬/高)需在 10 mm

x 10 mm x 5 mm 之範圍內。感測器元件需具氣體脫附機制以達到重複量測需求，同時於計畫申請時，需提供感測器阻值對應之有效量測氣體濃度變化圖(數據)，另外請提供脫附機制所需加熱/光照之功率評估。

2.計畫團隊如申請研發微型光譜儀或光學式氣體感測器，計畫申請書中請說明感測器有效氣體濃度變化、感測器工作電壓與功率等資訊，並載明偵測資訊回饋機制。

三、計畫時程及預計達成目標

(一)本專案計畫時程為 4 年(110-113 年)，每年度預計達成之目標概述如下。計畫團隊將每年進行考評，考評不通過者將予以退場。

1. Phase I (實驗室階段)

學界研發團隊進行智慧微塵感測元件之研發，包含感測器晶片試製與功能驗證(含元件封裝與小批量試產)。

2. Phase II (場域實測 α-site)

將第一階段完成之感測器晶片於環保署測站或合作企業之場域進行聯網與實測。

3. Phase III (場域實測 β-site)

將第二階段完成之感測器晶片與環保署測站、國際標竿之氣體感測器進行量測數據比對，持續精進技術規格，並通過第三方認證，實際於應用場域進行實測。

4. Phase IV (落實產業與社會民生應用)

將第三階段完成之感測器晶片進行實際場域布建，並進行產業與社會民生應用。氣體感測器布建後之量測數據，將上傳至財團法人國家實驗研究院高速網路與計算中心建置之平台，進行民生公共物聯網資料應用服務。

(二)本專案計畫包含下列三種案源，案源 1 及案源 2 自 110 年起由 Phase III 開始執行，案源 3 自 110 年起由 Phase I 開始執行。

1.案源 1 (前期計畫團隊)：曾執行前一期「研發 AQI 氣體感測器」之計畫團隊，申請案經審查通過後，直接從 Phase III 開始執行，通過第三方認證後，藉由經濟部工業局產業升級創新平台輔導計畫等機制，銜

接至產業應用，或與合作企業場域進行產業應用。

2.案源 2(學界既有研發成果)：由計畫辦公室盤點與遴選學界有關氣體感測器之相關成果，並由計畫辦公室協助其自 110 年起由 Phase III 開始執行，通過第三方認證後，藉由經濟部工業局產業升級創新平台輔導計畫等機制，銜接至產業應用。

3.案源 3(新徵求計畫)：本次新公告徵求之計畫團隊，經審查通過後，自 110 年起由 Phase I 開始執行。

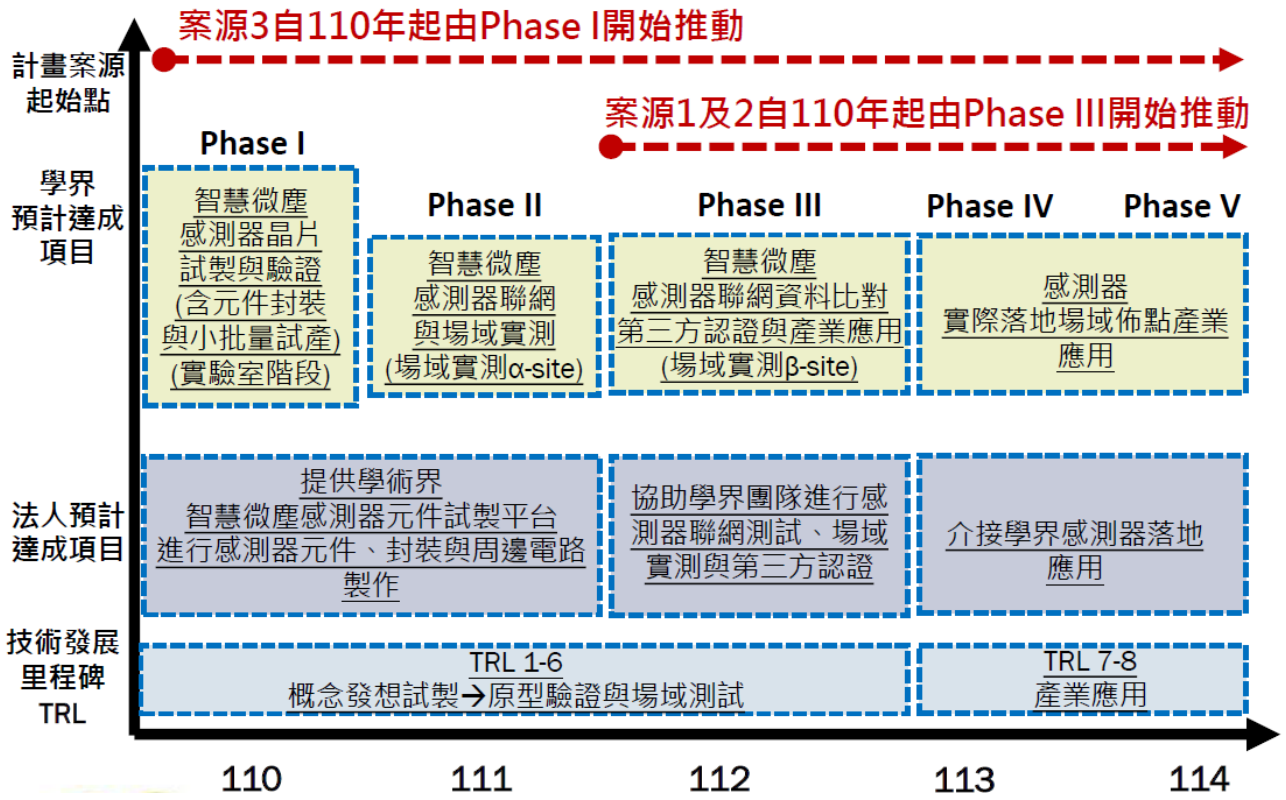

圖7 計畫時程及預計達成目標

肆、計畫申請與審查

一、計畫申請

(一)申請機構及計畫主持人資格須符合「科技部補助專題研究計畫作業要點」規定之資格。

(二)計畫主持人以申請一件本專案計畫為限。

(三)申請案可為單一整合型計畫或個別型計畫。

1.若為單一整合型計畫，請將總計畫及各子計畫(至少 3 項(含)子計畫)之執行內容及經費需求等整合成一份計畫書，並由總計畫主持人之服務

機關提出申請。

2.單一整合型計畫之研究團隊需包含主持人及共同主持人共 3 人(含)以上。

(四)主持人按本部規定列入執行本部專題研究計畫計算件數，共同主持人不列入執行本部專題研究計畫計算件數。

(五)鼓勵跨領域合作，建議由感測器元件製作專長之學者擔任主持人，並由電路設計、通訊、電源管理、量測數據分析與校正/訊號處理等專長之學者擔任共同主持人，組成跨領域研究團隊。

(六)計畫書中須詳述擬研發之目標技術，其國內現況與國際比較，包含下列項目：

1.目標技術之臺灣發展現況、國際發展現況、與國際標竿之比較(需有明確規格與數據，除了必須符合環保署相關規範之外，亦必須與國際標竿技術規格進行比較。氣體感測器之國際標竿例如 Alphasense、Membrapor、City Technology、Amphenol、Figaro…等，微型光譜儀之國際標竿例如 StellarNet…等，詳如附件 1)。

2.藉由本項整合型計畫之投入，目標技術預期可提升程度(分年及 4 年全程)，與國際標竿之比較(需有明確規格與數據)。

(七)計畫書內容應強化在地優勢，例如研發之氣體感測器較適合使用於我國或東南亞國家之高濕度、溫差變化大之環境，規劃之製程可以在國內業界現有製程進行量產。

(八)計畫書須明確說明每季技術里程、查核點及評量指標、最終效益，以做為審查委員查核之依據。

(九)本專案計畫以強化產學合作、落實產業應用為目標，故學界研究團隊須邀請國內業界參與共同執行計畫，並於第一年計畫考評時(約於 111 年 4 月或 5 月間)，提供合作企業參與計畫意願書及合作內容說明(詳如附件 2)，業界參與之方式可以為提供研究設備、提供實測場域、提供研發人力、投入配合款…等。

(十)若計畫相關內容有獲得本部、其他部會、法人、業界經費補助，請於計畫書中敘明本計畫申請案與本部、其他部會、法人、業界經費補助執行

內容間之差異與互補。

(十一)本項專案計畫每年度申請總經費以不超過新臺幣 600 萬元為原則(專案計畫推動辦公室之申請經費不受此限)。基於資源有限，本專案計畫以不補助購置大型硬體設施或軟體為原則，請強化學界現有設施及平台之共用與協調支援，以使有限資源發揮最大效益。此外，鼓勵業界及校方投入資源，與本部共同推動本項專案計畫。

(十二)本專案計畫為分年核定之 4 年期(110-113 年)計畫，每年進行考評，考評通過者始核給下一年度計畫。本部除了淘汰執行成效不佳之計畫團隊外，並得整併計畫團隊與調整計畫成員、調整計畫執行內容。

1.第一年計畫執行期間為 110 年 11 月 1 日至 111 年 5 月 31 日。

2.後續三年(111-113 年)計畫之執行期間為當年度 6 月 1 日至翌年 5 月 31 日。

(十三)申請書表格請採用本部一般專題研究計畫之計畫書格式。線上申請時，請選擇「專題類-隨到隨審計畫」，計畫類別請選擇「一般策略專案計畫」，計畫歸屬請選擇「工程司」。研究型別請選擇「個別型計畫」或「整合型計畫」，學門代碼請選擇「E9836 智慧聯網計畫」。

(十四)有關本專案計畫相關問題，請洽詢科技部工程司杜青駿副研究員，電話：(02)27377527，電子郵件信箱：cctu@most.gov.tw。有關線上申請系統操作問題，請洽本部資訊系統服務專線，電話：(02)27377590、27377591、27377592，電子郵件信箱：misservice@most.gov.tw。

二、計畫審查

(一)審查作業包括初審及複審，如有必要，將安排計畫主持人、共同主持人或合作企業出席審查會議，或由本部至申請機構實地訪查。

(二)除本部「補助專題研究計畫作業要點」所列審查重點，以及工程司「專題研究計畫審查意見表」所列審查項目之外，本專案計畫審查重點包含：

1.對國際發展現況、國內產業發展現況與技術缺口之掌握，擬開發之目標技術是否確為業界所需，技術里程、查核點及評量指標、分年執行內容及階段性里程碑(milestone)、最終效益、落實於產業應用之作法、對國內產業之具體助益等是否明確。

2.國內外標竿技術規格之掌握與比較，研發成果超越標竿技術規格之可行性。

(三)本專案計畫無申覆機制。

三、其餘未盡事宜，應依本部補助專題研究計畫經費處理原則、專題研究計畫補助合約書與執行同意書及其他有關規定辦理。

伍、計畫考核

一、依本部「補助專題研究計畫作業要點」，於期中各年計畫執行期滿前 2 個月至本部網站線上繳交進度報告，全程計畫執行期滿後 3 個月內至本部網站線上繳交研究成果報告及辦理經費結報。

二、每月或不定期(依本部或民生公共物聯網推動小組通知)繳交執行進度、績效指標達成情形、執行成果等資料，供本部檢視執行情形。

三、為加強跨計畫團隊間之互相觀摩，並藉由同儕間之激勵而提升研發成效，將由各計畫團隊輪流主辦成果觀摩會，各計畫團隊均須出席。

四、計畫執行團隊須出席本部或民生公共物聯網推動小組舉辦之成果展、技術媒合會、於測試場域舉辦之實測考評、科普展覽…等，以加速計畫成果推廣至產業應用或科普推廣，並由本部邀請之審查委員檢視各計畫團隊之執行成果。

五、本部邀請審查委員進行書面審查及現場訪視之審查結果，成果展或技術媒合會、實測考評之審查結果，將一併做為是否核給下一年度計畫之參考。此外，本部得依據審查結果，調整計畫內容及經費(含刪除計畫共同主持人、刪減經費等)、提前終止計畫，俾確保所研發之技術可落實於產業或社會民生應用。

附件 1.1、智慧微塵感測器元件技術規格

預計研發之氣體感測器必須符合環保署規範，並與國際標竿技術規格做比較

(1)感測器為單一規格，在設計時應合併考量：放置地點環境溫度/濕度等條件，並與應用情境扣合。

(2)計畫徵求之感測器偵測範圍與解析度，依據 US EPA Guide books 指南、室內空氣品質管理法規定。

氣體感測器種類	偵測濃度範圍	解析度	應用情境與場域
O_3 氣體濃度偵測	10-150 ppb	10 ppb	室內/外空氣品質 校園空汙 移動式汙染源
NO_2氣體濃度偵測	10-50 ppb	10 ppb	
SO_2氣體濃度偵測	10-100 ppb	10 ppb	
CO氣體濃度偵測	0.1-300 ppm	100 ppb	
VOC氣體偵測	0.1-100 ppm	0.1 ppm	室內/外空氣品質
氨氣(NH_3)氣體偵測	1-2000 ppm	1 ppm	汙水下水道 半導體製程場域
硫化氫(H_2S)氣體偵測	1-2000 ppm		

附件 1.2、國際標竿企業之氣體感測器規格

國際標竿企業	偵測氣體/型號	偵測濃度範圍	解析度
英國 / Alphasense	O_3 / OX-A431	0-20 ppm	10 ppb
	NO_2 / NO_2-A43F	0-20 ppm	20 ppb
	SO_2 / SO_2-AF	0-100 ppm	100 ppb
	CO / CO-CF	0-2000 ppm	500 ppb
瑞士/ Membrapor	VOC / M-2000	0-2000 ppm	1 ppm
瑞士/ Membrapor	NH_3 / MR-100	0-100 ppm	0.5 ppm
英國 / Alphasense	H_2S / H_2S-AE	0-2000 ppm	500 ppb

附件 1.3、微型光譜儀感測元件技術規格

預計研發之微型光譜儀感測器元件，必須與國際標竿產品之技術規格做比較。

1.欲偵測氣體吸收光譜 O_3: 200-400 nm, 450-700 nm; NO_2: 300-600 nm ; SO_2: 200-400 nm ; CO: 200-400 nm ; NH_3: 1500-1600 nm ; H_2S: 1500-1600 nm。

2.計畫徵求之感測器偵測範圍與解析度，依據 US EPA Guide books 指南、室內空氣品質管理法規定。

微型光譜儀	規格	國際標竿企業微型光譜儀型號與規格			
		日本 / HAMAMATSU C12666MA	德國 / Spectral engines NIRONE	法國 / NeoSpectra Si-Ware MEMS	美國/ StellarNet Inc RED-Wave-Micro Spectrometer
模組尺寸 (含晶片) (mm)	30 x 30 x 30	20.1 x 12.5 x 10.1	25 x 25 x 17.5	32 × 32 × 22	38.1 x 38.1 x 25.4
光譜範圍 (nm)	300-1100 1300-2300	340-780	1100-2450	1350-2500	1750-2150
光譜解析度 (nm)	1	15 (Max.)	12-28	16	10
類比/數位解析度(bit)	16	16	-	-	16
應用場域		水質監測器(河川有機汙染物) 其他環境測量(硝酸鹽、熒光測量)	辨識假藥、毒品辨識、織品辨識、塑料辨識	智慧農業(土壤作物)、智慧食品(鮮度熟度)、智慧醫療(尿液血液、無機化學)	氣體偵測 (如:乙醇、碳氫化合物、二氧化碳)

附件 2：合作企業參與計畫意願書

合作企業參與計畫意願書

本企業（名稱：_____）參與科技部「智慧微塵感測器技術研發專案計畫」(計畫名稱：_____，主持人_____)，同意並遵守下列合作事項：

一、 ...（提供研究經費及金額、軟硬體設備項目及數量、研究人力如工程師人數及參與方式等等）

二、 ...（提供實務場域供測試驗證等等）

三、 ...（技術移轉費用等等）

四、 ...（配合舉辦公開成果發表會等技術推廣活動等等）

五、 ...（啟動後續產學合作經費與時程等等）

本企業所提供之本計畫申請書內容及各項資料，皆與本企業現況與事實相符。本企業於本計畫所提出之內容未曾向其他政府機關（構）申請補助，且絕無侵害他人專利權、著作權、商標權或營業秘密等相關智慧財產權，如有不實情事，本企業願負一切責任。特此申明，以茲為憑。

此致

科技部

合作企業負責人：_____（簽章）

合作企業印鑑：

中華民國　　年　　月　　日