

材料、製程、供電大躍進 感測技術一日千里

■文：任苙萍

隨著物聯網 (IoT) 環境的成熟，可與智慧型手機或電腦連接的微型化感測器亦水漲船高，包括前述用於檢測化學威脅的可攜式設備；最近美國官方甚至資助發展指環式感測產品，由兩部分組成：一個用於檢測化學和生物威脅的電化學感測器帽，以及一個用於處理數據並將數據無線發送至手機或電腦的帽下電路板。它可測量電壓和安培小時 (AH)，用來檢測大面積的氣相或液相化學威脅，例如：爆炸

物或有機磷酸鹽神經毒劑。在各種感測器中，電化學因其高靈敏度、快速反應和使用壽命長而具有特殊優勢，但找到可增強標的物的電極材料是挑戰所在。

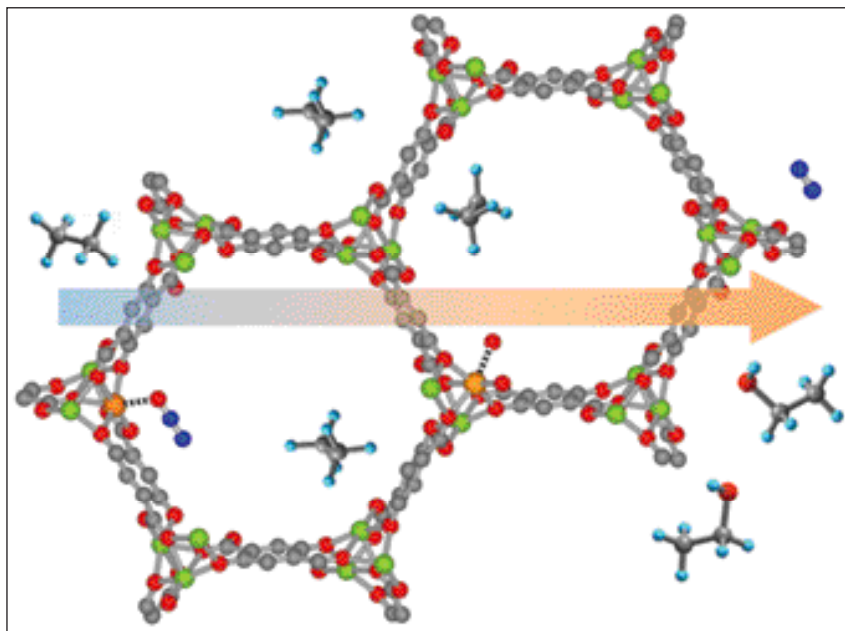
尖端材料能增強感測器對氣體或化學物質的檢測、識別能力，如：奈米粒子、二維 (2D) 材料與金屬有機框架 (MOF) 的應用。這些材料擁有較大的表面積，便於讓許多氣體分子可與其產生交互作用，提高對少量化學物質的敏感

度。其中，2D 材料由於沒有體積、可依需求被訂製成特殊結構，對環境非常敏感，特別適合用來檢測特定化學物質，為新一代電化學器件另闢蹊徑，2004 年被發現的石墨烯 (Graphene) 可為代表；而金屬離子和 MOFs 的碳基連接可形成開放的籠狀結構，可為分子的相互作用提供充足空間，易於感知非常細微的化學物質。

「電子印刷」製程，為微型化&新材料加柴添火

因應微型化需求，感測晶片開始嘗試能兼容多種奈米材料與不同半導體、有機／無機導體的電路，製程亦出現重大演進。相較於傳統矽 (Si) 或氮化鎵 (GaN) 製程，電子印刷更便於製作軟性電路和異質結構，且成本僅需 1/10、乃至 1/100 (參見本刊 2017.10 產業特輯：《3D 列印+奈米氣溶膠噴塗+雷射燒結，軟性電路有解》一文 http://compotechasia.com/a/____//2017/1018/36976.html)。美國東北大學所開發的定向組裝印刷，可將奈米粒子、導電聚合物、聚合物共混物、二維材料和單壁奈

圖 1：鐵基金屬有機框架 (Iron-based MOF) 可將乙烷 (灰色和淺藍色分子) 轉化為純乙醇 (淺藍色、紅色和灰色) 反應



資料來源：美國國家標準與技術研究院：<https://commons.wikimedia.org>

米碳管 (SWNT) 的有序陣列和網路印製成各種非均勻結構，包括多尺度的三維結構。

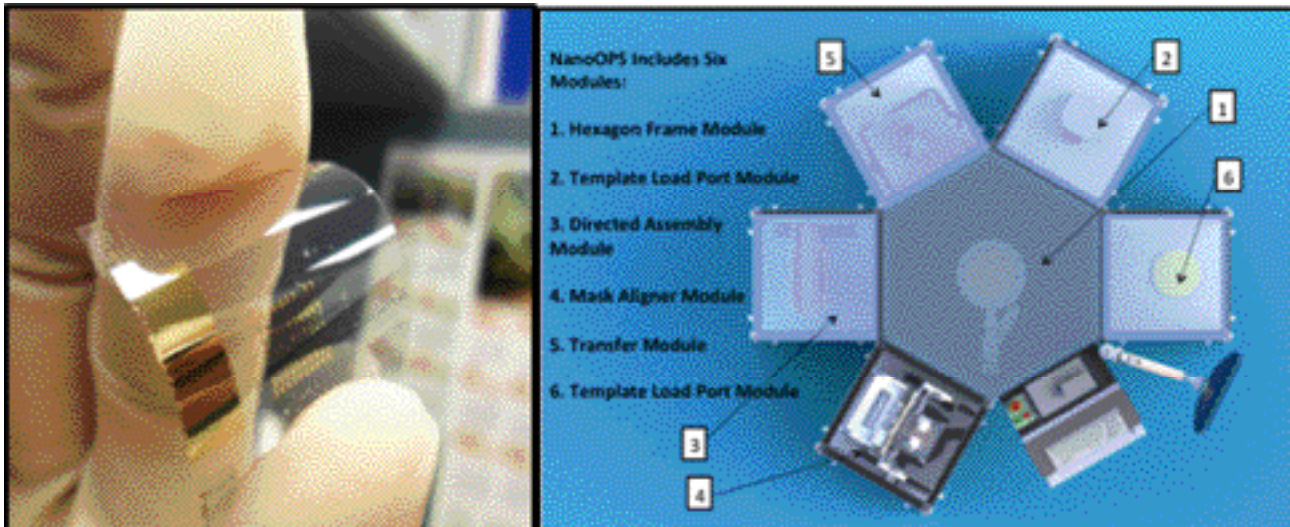
2014 年，中國與波士頓自動化公司 Milara 合作推出全球第一款用於 3D 印刷感測器和電子產品的奈米級全自動膠印系統 (NanoOPS)，速度更快、解析度更高，且可使用多種奈米材料，包括：微粒、碳管或聚合物。任何可懸

浮或溶於液體的材料都可印刷在任何柔性或剛性基材上，已被用於印刷電晶體、二極體和微型 LED，可作為穿戴式環境／生物感測器或電子皮膚；歷經兩代更迭，第三代 NanoOPS 擬於今年夏季發佈。除了化學感測器進展神速，物理層面最受矚目的當屬「飛時」(Time-of-Flight, ToF) 雷射感測了，更適用於 1 公里內的近距感測。

ToF 雷射測距，比紅外線更精確且不易受干擾

蘋果 iPhone X 已為 3D 感測打響名號，但內建紅外線測距和環境光感測器的螢幕「瀏海」設計，卻也因容易遮住應用程式 (APP) 而為人詬病；而藉由光波來回時間與光速推算精確距離的 ToF，可補足紅外線精度低、方向性差，

圖 2：NanoOPS 可印刷多種無線環境感測器，速度比噴墨或 3D 列印快 1,000 倍



資料來源：<http://nano-ops.net/>

圖 3：ST FlightSense ToF 雷射測距工作原理及應用優勢

FlightSense™ Time of Flight Principle

Measured distance = Photon travel time / 2 x Speed of light

Fully Integrated Time of Flight Module
ST #1 World Wide Supplier

True distance measurement
Independent of target size, color & reflectance

Measurement at the speed of light! 1cm round-trip at 67ps

資料來源：ST 提供

有顏色辨識及易受環境光源干擾的缺點；且模組較小，在電路板有限的行動裝置較具優勢。意法半導體 (ST) 的 FlightSense ToF 雷射測距技術，可改善紅外線只能回報反射訊號強度、無法提供詳細距離數值的缺憾；搭載環境光源感測器 (ALS) 可廣泛應用在家電控制、相機快速對焦、倉儲物流掃描、建築物保全，甚至手勢辨識等。

例如：當人體過於靠近電視或工廠機器時，會發出警示或停止運作；光源過暗的情況下，依然可拍出清晰絕美照；工作環境光線不足，可快速隔空掃描貨物編號、不須再辛苦架梯摸索；門禁偵測到訪客接近，啟動相關系統以落實節能及保全需求；甚至可經由掃過截斷訊號，實現非觸控翻頁動作。ST 繼早先推出 VL53L0 整合 ToF 感測器、最大測距可達 2 公尺的雷射測距模組後，日前再推 VL53L1X 產品，將檢測範圍擴大至 4 公尺，可用於無人機、懸崖檢測、防撞、懸停／著陸輔助機器人裝置，以及電子設備自動休眠／喚醒的使用者趨近偵測。

「能源採集」為自體供電，就地取材不浪費

測距感測有時與人身安全密不可分，實現安全、可靠的篡改偵測亦是必要考量，本期系列文章有相關介紹。此外，能源採集 (Energy Harvesting) 搭配充電式電池與超級電容，將太陽能、機械能或射頻能量轉化成電能，已成新

圖 4：ADI 針對能量採集系統推出超低功耗升壓型穩壓器



資料來源：http://www.analog.com/en/about-adi/news-room/press-releases/2014/04_01_14_adi_unveils_ultra-low-power_boost.html

興供電途徑。世界首個符合「超低功耗無線通訊」ISO/IEC 國際標準規範的 EnOcean，可收集自然界的微小能量、借助開關動作將動能轉換為電能，免去邊緣節點 (edge node) 更換電池或充電維護的不便，迄今歐美已約有 40 萬棟建築物建置，亞德諾 (ADI)、羅姆 (Rohm) 與恩智浦 (NXP) 等半導體大廠都有相關解決方案。

中國重慶大學亦善用能源採集原理，新研發出由風力驅動、可監測風速和溫度的無線感測器；麻省理工學院 (MIT) 則藉環境溫度變化開發「熱諧振器」，可從稀薄空氣中採集環境熱能，不須依賴陽光

照射、在陰涼處亦可工作。不過，此類「就地取材」的環境能源並非隨時可得，必須善加珍惜使用；此時，感測器的工作模式及參數設定格外重要，詳見後續設計案例說明。另一個須留意的問題是：即使設有超級電容，但它可能因為過度自放電，而浪費辛苦採集到的能量。如何提高轉換效率、盡可能降低晶片本身功耗、極小化啟動電壓並妥善管理採集進來的能量是關鍵所在 (ADI 能量採集晶片 ADP5090 /5091/5092 對此有不錯表現)。