

健康為王！醫療保健感測器市場將邁入「指數級」增長

■文：任苙萍

研調機構 Report Ocean 《2023 年全球半導體醫療保健市場報告》指出，2022 年全球醫療保健市場半導體價值約為 10 億美元，主要應用包括：可攜式和遠程醫療監控、消費類醫療電子產品、醫學成像、臨床、診斷和治療。連接設備不斷增長與高效醫療保健對先進半導體技術的需求帶動，醫療保健市場的半導體正在擴大；借助智能設備集成的各種感測器，提供高效、遠程的患者監測。另一家新興市調公司 Emergen Research 進一步預估，2032 年全球醫療感測器市值將上看 75.4 億美元，預測期內之年複合成長率 (CAGR) 高達 13.4%！

穿戴感測：個性化醫療保健 & 運動監測的貼身守護者

醫療保健感測器旨在測量和傳輸與生命體徵相關數據，例如：心率 (HR)、血壓、體溫、血糖和呼吸頻率等。隨著服務加強以及治療效果的改善，醫療保健感測器市場將呈現「指數級」增長。與此同時，穿戴式感測器正在成為個性化醫療保健和運動監測領域發揮作

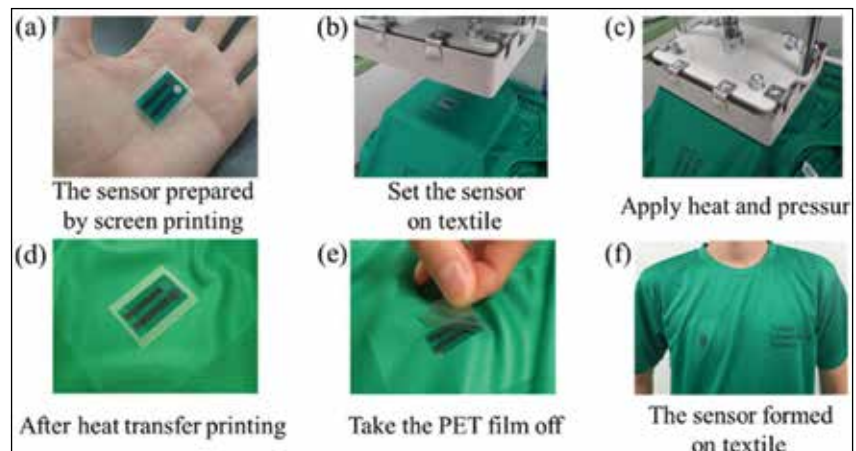
用，如：追蹤健身數據和心率等健康監測，最著名的應用當數智能手錶，其次是智能貼片和智能服裝。例如，藉由穿戴式化學感測器測量汗液中氯離子濃度並利用熱轉印技術，可應用於普通紡織品的表面以防止皮膚刺激和過敏，還可用於中暑和脫水的早期檢測。

之所以採取上述作法的考量是：穿戴式化學感測器與皮膚直接接觸可能會引起刺激和過敏，但若直接製造在紡織品上，其精度會由於表面不規則而降低；於是，日本東京理科大學 (TUS) 提出以「熱轉印」技術將薄型柔性氯離子感測器固定在紡織基材上，可融入 T 恤、腕帶和鞋墊等紡織品中的創新

想法。氯化物是人體汗液中最豐富的電解質，測量其濃度可作為人體電解質平衡的良好指標，也是診斷和預防中暑的有用工具；經由配備無線傳輸、即時監測汗液生物標記 (Biomarker)，有助於促進個性化醫療保健開發和運動員訓練管理。

熱轉印方法有以下好處：一是防止皮膚刺激，二是紡織品的芯吸效應利於將汗水均勻分佈在感測器電極之間以形成穩定的電接觸，三是將感測器印在平坦表面、再將其轉移可避免直接印到紡織品會導致模糊。汗水和血液可透露許多個人健康狀態；除了上述藉由氯化物量測電解質，冀能讀取鹽、糖、尿酸、氨基酸和維生素以及更複雜的

圖 1：測量汗液中氯離子水準的穿戴式感測器，可使用熱轉印技術防止皮膚刺激和過敏



資料來源：https://www.tus.ac.jp/en/mediarelations/archive/20230704_1720.html

分子 (如：C 反應蛋白，C-reactive protein) 的感測設備亦多元發展中。以往，只能依靠穿刺手指取血偵測糖尿，有鑑於汗液中的葡萄糖與血液中的葡萄糖密切相關，現在也可望經由穿戴式設備取代。

配戴不斷電！FPSC 電池續航&照明效果出色

另借助識別個體的皮質醇、激素或各種營養素和藥物的代謝物等物質的基線 (baseline) 偏差，預期將能提供比單次抽血更有效的診斷手段，包括檢測心臟病、囊性纖維化和痛風。由於連續監控須長時間穿戴，裝置的電力來源也是研發重點。為延長電池續航力，柔性鈣鈦礦太陽能電池 (FPSC) 正引發關

注。鈣鈦礦比矽 (Si) 太陽能電池層薄 1,000 倍，且可適應不同光譜，室內照明效果尤佳；最重要的是，鈣鈦礦太陽能電池的功率轉換效率 (PCE) 達 31%，高於矽的 26 ~ 27% (常規使用多落在 18 ~ 22%)。

此外，電源輕量化讓穿戴裝置能有更多空間容納額外探測器，以同時監測更多生物標記物。美國加州理工學院正與奧地利約翰克卜勒林茲大學合作，採用 FPSC 開發新型穿戴式汗液感測器，由四個主要部分組成：

1. 電源管理，用以分配太陽能電池收集的電力；
2. 離子電，借助每三個小時進行一次離子電滲療法，穿戴者無須

進行任何運動或暴露在高溫下即可誘導出汗，確保有足夠汗液來持續監測所觀察的生物標記；

3. 對汗液中的各種物質進行電化學測量；
4. 管理數據處理和無線通訊，允許感測器與手機應用程式交互以顯示持續監控的結果。

考慮到製程不同，該器件以折疊方式封裝，而外表包覆的一次性貼片可使用噴墨列印，實現低成本批量生產及客製化需求。談到製程演進，近期還有一項「基於隧道場效應電晶體」(TFET) 的新型介電調製生物感測器研究值得留意；其原理是利用濕式蝕刻技術在閘極電介質中刻出兩個空腔，當各種生物分子進入空腔時，閘極的靜電完整性會隨之發生變化。受益於雙無摻雜隧道結，這種被稱為「陷阱輔助隧道效應」可顯著調節生物感測器的主要參數，例如：通態電流、亞閾值擺幅和跨導及其相對的靈敏度。

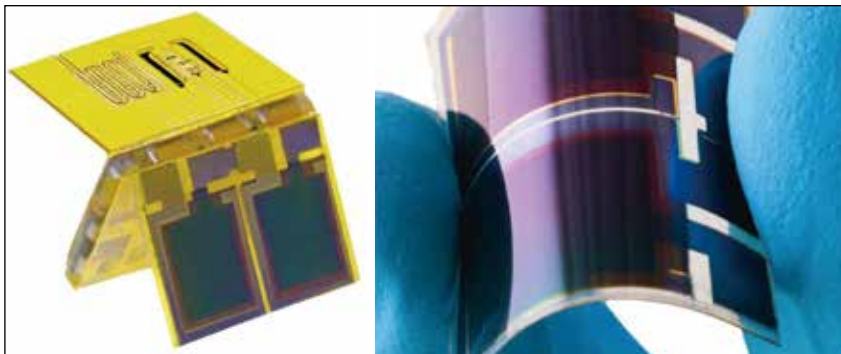
TFET 生物感測器由於響應時間更短、漏電更低，被視為是比基於 MOSFET 的生物感測器更好的選擇，且使用矽和二氧化矽 (SiO₂) 製程，可與 CMOS 技術完全相容。受惠於感測器材料的進步，現在可生產出具有增強功能的小型感測器，此一小型化趨勢推動全球「穿戴式感測器」市場的增長，使其更便宜且適合更廣泛的應用；最大驅動力包括全球健康意識的增強以及物聯網 (IoT) 的普及，具有改進的健康追蹤功能的正受歡迎；其次，慢性病管理是另一個應用趨勢，例

圖 2：穿戴式汗液感測器能由陽光和室內環境光供電，並經由藍牙配對獲得量測結果



資料來源：<https://www.caltech.edu/about/news/solar-powered-sweat-sensor>

圖 3：穿戴式汗液感測器 (黃色器件) 的左側為貼近皮膚層、右側為柔性太陽能電池，中間層包括電子設備和生物標記感測器。圖右為柔性鈣鈦礦太陽能電池特寫



資料來源：<https://www.caltech.edu/about/news/solar-powered-sweat-sensor>

如：用於糖尿病管理的連續血糖監測儀 (CGM)。

智恩浦：人口高齡化&慢性病患者助長個人醫療設備需求



照片人物：恩智浦半導體 (NXP) 副總裁暨個人健康產品線總經理 Mattias Lange

隨著慢性病管理需求不斷增加，未來穿戴式感測器市場可能涵蓋更大的醫療保健和製藥領域，且可能出現用於遠程監控的更先進穿戴式設備；再者，運動和表現追蹤也刺激穿戴式感測器市場。恩智浦半導體 (NXP) 副總裁暨個人健康產品線總經理 Mattias Lange 表

示，由於全球人口高齡化，患有一種或多種慢性疾病的人數大幅增加，加速醫療保健成本的上漲；而個人醫療設備能降低患有慢性病的生活成本、同時提高患者的生活品質，在所有分眾市場皆呈現增長狀況，智慧設備在糖尿病護理領域的大力採用尤其值得留意。

Lange 強調，糖尿病已被世界衛生組織標記為全球流行病，影響全球超過 5 億人；透過導入連續血糖監測設備以及智慧胰島素泵，糖尿病患可有效監測、控制病情，過上健康、充實的生活。醫療設備對品質、安全性和功能性以及低功耗有嚴格的要求，挑戰在於：製造滿足所有要求的產品，要兼顧成本效益、並能在多年內大量供應。恩智浦藉由廣泛的差異化高性能 IP 產品組合滿足這些需求——包括精密的類比前端 (AFE)、低功耗藍牙單晶片 (BLE SoC)、先進安全功能以及對產品的全面品質視圖的長期經驗，幾種常見的感測器類型如下：

● 加速度計：跌倒檢測、活動追蹤、步態分析和其他醫療應用；

- 壓力感測器：氣喘／哮喘治療的智慧吸入器，解決睡眠呼吸暫停的 CPAP (持續性正壓呼吸器) 設備，血壓監測以及呼吸輔助設備；
- 溫度感測器：發燒監測以及月經周期追蹤以及完全整合和可程式設計的 NFC 溫度貼片解決方案；
- 電化學感測器：典型應用之一即是連續血糖監測，恩智浦目前正在開發一款用於電化學感測器的小型化超低功耗 AFE 產品，將於 2024 年提供樣品。

最後談到人工智慧 (AI) 熱潮對醫療保健感測器的影響。Lange 介紹，恩智浦最近推出旗艦 NHS52Sx4 系列超低功耗無線微控制器 (MCU)，其高整合度和多功能電池支援，就是面向電池供電的小型化穿戴式醫療設備而開發，針對醫療物聯網 (IoMT) 產品類別進行優化。由於經濟高效的解決方案封裝在如此小的外形中，因此適用於穿戴式感測器應用，如：智慧皮膚貼片、智慧吸入器和生命體徵監測。恩智浦還擁有非常廣泛的 MCU 和微處理器 (MPU) 產

圖 4：i.MX 95 系列為醫療平台提供設施，為泵、呼吸器和家庭監控系統等關鍵醫療設備提供即時控制、監控和連接



資料來源：<https://www.nxp.com/company/blog/nxp-i-mx-95-family-unleashes-possibilities-for-the-secure-connected-edge:BL-NXPS-IMX-95-FAMILY-CONNECTED-EDGE>

品群組，可提供嵌入式 AI 加速功能，包括：i.MX 95 系列應用處理器 (AP)，非常適合醫療應用。

i.MX 95 系列的視覺處理和 AI 功能可支援多種神經網路 (NN) 模型並安全儲存醫療和患者數據，可供患者護理之用，如：監測糖尿病視網膜病變。有機構預估，2030 年全球糖尿病患者將增至 6.43 億人；現在人們可利用貼片即時監測血糖水準以了解胰島素需求，或是配戴日拋型的胰島素貼片來提供全天所需的胰島素。心血管問題是穿戴式生物感測器 (Bio Sensor) 的另一熱點。現有一種腕戴式感測器可檢測血液中稱為「肌鈣蛋白-I」的特殊蛋白質；當心肌受損時，肌鈣蛋白-I 會進入血液，感測器可透過藍牙設備發送的紅外光立即檢測到它的存在。

「生物感測器」前景靚，助力病毒／癌症篩檢&常規透析治療

順帶一提，拜重大技術突破以及眾多行業廣泛應用所賜，全球生物感測器市場正在迅速擴大，Verified Market Research 預估 2022 ~ 2030 年之 CAGR 達 8.55%，終值上看 542 億美元。由於葡萄糖生物感測器技術的顯著進步，處理微量樣品的準確性和效率的提高，包括即時血糖測試、非侵入性血糖監測設備和連續血糖監測技術的市場需求持續上升；另一方面，生物感測器的改進使得在各種溫度、濃度和干擾條件下測量血糖

成為可能。在風濕病學領域，新型生物感測器手套有助於監測手部運動並檢測患者類風濕關節炎的嚴重程度。

利用手套測量手指上的彎曲感測器以及手腕上的慣性測量單元 (IMU)，從感測器收集的數據根據演算法進行運算，以提供患者狀況的圖片。穿戴設備也正在進軍心理健康監測領域，對於那些患有焦慮或抑鬱的人來說，感測器可追蹤情緒變化並提醒護理人員或心理健康專業人員。先進生物感測器的工作方式是監測發酵系統和生物催化劑、或不同種類的生物材料，例如：酶、全細胞和組織。人類平均壽命的增加，某些疾病的發病率也隨之增加；穿戴式生物感測器的潛力才剛開始展現，可望改變醫療保健，使其更加個性化、更加即時。

生物感測器可在早期階段檢測出多種疾病，近年來各類病毒接二連三入侵，更帶動快速檢測新型病毒的醫療診斷設備需求；受到 COVID-19 啟發，美國國防部高級研究計畫局 (DARPA) 攜手西門子 (SIEMENS)、美國陸軍、佐治亞理工學院和 Paragraf (剛收購 Cardea Bio 公司) 的科學家，透過在單個基於石墨烯 (採用標準半導體製程可大規模生產) 的生物感測器上同時檢測蛋白質和脫氧核糖核酸 (DNA) / 核糖核酸 (RNA) 生物訊號，旨在培育可快速部署檢測新疾病的技術，並為未來任何流行病設想一個靈活的護理站檢測平台，目前僅供研究使用。

然而隨著時間推移，它也將

推及其他類型的疾病，為任何類型的疾病或生物威脅提供更好、更快的診斷。癌症檢測是另一個亟待滿足的市場。在《科學報告》最近一項針對 RNA 癌症生物標記的單分子電檢測研究，可望作為癌症篩查的小型電生物感測器的開發前導。研究發現：序列長度的平衡對於單分子電導應用至關重要，但較短的序列會導致較高的電導 (增加訊噪比)，需要一定長度才能確保特异性；透過在掃描隧道顯微鏡 (STM) 電極之間的奈米間隙中創建單分子連接來測量單個特異分子的電荷傳輸電導值，可實現 RNA 的單分子檢測和識別。

俗稱洗腎的血液透析治療，通常，透析過程中的多次重複血液測試會導致低血壓和頭暈。有鑑於此，近期有學術研究團隊著手開發一種電磁能隙 (EBG) 結構的生物感測器，當血液從患者循環到透析機並返回時，感測器可提供有關過濾率的即時回饋；當血液流經透析管時，生物感測器會使用微波分析血液的介電常數揭示血液的廢物和毒素水準；若感測器在預定的療程結束前檢測到患者的血液毒素水準已經夠低，則可縮短患者的透析療程。然而，血液屬性因人而異將是最大挑戰，必須收集更多樣本、處理測量數據、提供測量模式，並提高所提出方法的性能。CTA