



設計超低功耗 穿戴式裝置的 7 種策略

■作者：Philip Ling/ 安富利資深科技作者

穿戴式裝置的設計需求在嵌入式系統當中可說是獨一無二的，設計工程師沒辦法用體積換取重量，也沒辦法用效能換取功耗，因為對穿戴式裝置而言，對於「小」的追求並不只是要錦上添花，而是勢在必行。

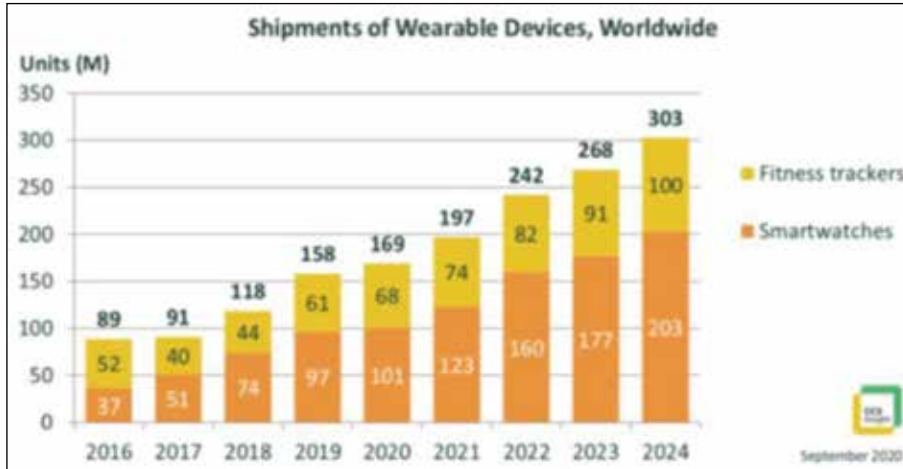
隨著半導體製程技術的發展，而提供具備更低功耗且體積更小的整合式裝置。這些正是拓展穿戴式裝置技術潛在應用範圍的重大功臣，工程師現在有更好的設計自由度，並能使用功能更為強大的整合式裝置。

今日絕大多數的穿戴式產品都是戴在手腕上，相較於功能琳瑯滿目的智慧型手錶，用以追蹤活動

的健身手環也越來越受歡迎。健康體態與醫療保健息息相關，而手腕在這情境下恰恰好提供了一個易於監測運動與脈搏的好位置。手腕甚至可以作為量測心電圖的接觸點，用以測量心臟的健康情況。

轉換器成為實體和數位領域間的接口，其中或許又以電子 (MEMS 慣性測量) 和機械 (壓電式) 感測器最為著名。當然也有其他類型的感測器存在並且正在開發，特別是用於穿戴式醫療設備，像是光學感測器使用不同的波長穿透皮膚一定深度，並通過分析其反射以深入了解穿戴者的健康狀況。同樣，近場射頻感測器可以檢測呼吸情況和肺活量；微流體生物感測器可用在穿戴式醫療設備，以檢測人體

圖說：穿戴式裝置的驚人成長



汗水中的特定物質。

未來的穿戴式技術將更貼近你我的真實感官感受，智慧型耳戴式和眼鏡裝置只要利用 AR (擴增實境) 和 VR (虛擬實境) 便可應用各種垂直市場，而連同四肢的智慧服飾能夠更精準監測穿戴者的一舉一動，以提供更佳個人化的體驗。

穿戴式裝置的應用五花八門，但商業範疇的需求卻是類似的，穿戴式裝置需要盡可能不起眼，因此其設計便會以體積和重量為重點。小型整合式裝置的實際可用性可以是解決方案的一部分，但裝置的供電則會是基本要件。雖說以自供電可穿戴式感測器為中心的研究正如火如荼進行中，但其大多數仍需電池。

穿戴式裝置的新電池技術

電池蓄電量同樣受到體積的限制，目前常見的 CR2032 鈕扣電池直徑為 20 公釐、高度為 3.2 公釐。電壓 3 伏特 (V) 時可提供 220 毫安培 (mAh) 的功率，要使用容量為 220 mAh 的電池，並且讓穿戴式裝置能夠使用一個星期，平均會消耗約 130 uA。

以電動汽車為比較範例，單位功率為每千瓦小時 (kWh) 的電動車續航力大約可跑 5 英里。電動車電池的能量密度據報導大約是每公斤 250 瓦小時 (Wh)，因此續航里程達 500 英里的電池重量約為 400 公斤，而續航里程為 200 英里的電池重量約為

160 公斤，這數據適用於任何電池供電的裝置，包括穿戴式裝置。當電池體積越大，電池充電或反覆充電的可用壽命越長，但同樣的裝置也會更大、更重，並且可能更昂貴。

電動汽車市場正在採用固態鋰電池技術，報告指出固態鋰電池採用固體電解質，因此比鋰離子技術更為安全。這種固有的安全性意味著電池外殼可以更薄，從而減輕整體重量

並提高能量密度，而採固態微電池型式的穿戴式裝置也是如此。該領域的領導品牌報告也指出固態微電池的能量密度將可達到傳統鋰離子鈕扣電池的兩倍。

隨著行業重心轉往穿戴式裝置，電池的外型也越來越靈活。能夠被製造並存放於柔軟材質的容器中，可充電的鋰離子電池便是如此，這種型式能滿足功率密度對較輕且體積較大的電池。舉例來說，透過將其結合到衣物織料中並用於智慧型服飾。

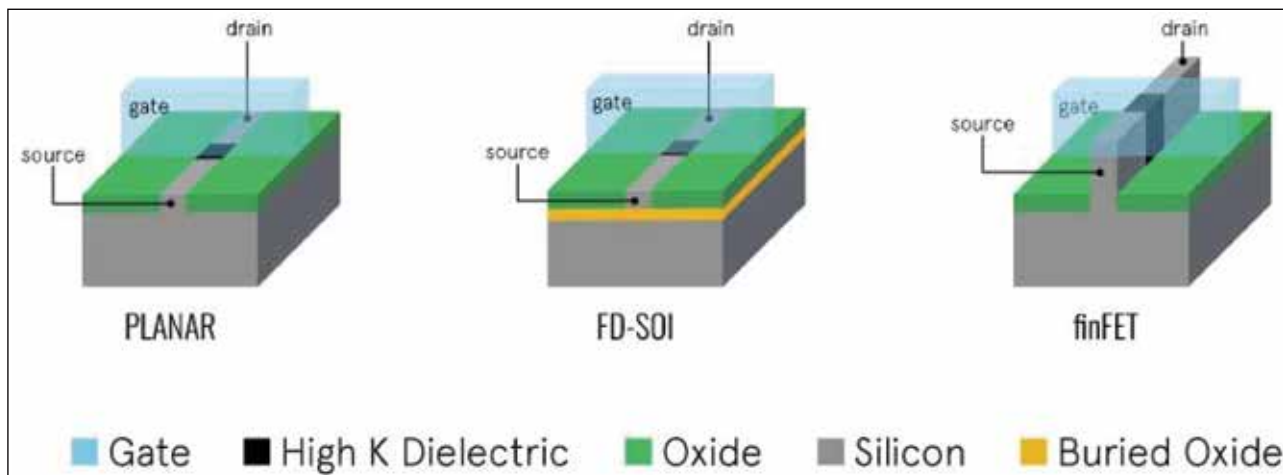
超低功耗製程技術

半導體業界對功率功號相當敏銳，這不僅與裝置需耗費多少功率有關，隨著晶體密度增加的過程，這更是會影響裝置的散熱表現。製程間晶體的間隔和能量密度是有關的，因此開發低功耗製程對於半導體整合的未來至關重要。

隨著時間演進，許多不同的製程技術問世，包括全耗盡型絕緣上覆矽 (FD-SOI)，它在矽基板上增加了一個絕緣體以減少體電容，提高速度並降低雜訊，可以用來降低工作電壓，進而降低功耗，其較低雜訊也使得某些製造商將其用於模擬 IC。

另一項創新技術，牽涉到在低於傳統閾值電壓環境下操作電晶體。由於相同原理，這種所謂的數位 IC 亞閾值方法可節省功率；工作電壓較低也就意味著功率較低。

圖說：三種半導體製程技術



科技發展過程中有許多時候，高效能與低功耗並不都有辦法兼顧，為了追求效能，半導體業先前將重心轉往 FinFET 電晶體，而該技術近期才被用在超低功耗應用上。多數低功耗技術仍仰賴平面電晶體製程，但 FinFET 可能是穿戴式技術中的下一個關鍵。

製程技術持續發展進步，而超低功耗成為設計目標之一。

目前處於量產階段的三種半導體製程技術，包括體矽晶圓 CMOS 製程、低雜訊且操作迅速的全耗盡絕緣體上矽 (FD-SOI)，以及高效能的 finFET。

節能電路的特點

節能技術超越了製程技術，且專門用於降低有功功率的技術仍不斷出現。儘管 Domino 邏輯非是新的技術，研究人員仍持續探索其低功耗的發展潛力，特別是處於亞閾值過程。Domino 邏輯與使用時脈進行邏輯組合的動態邏輯相關，與不使用時脈的靜態邏輯形成對比。

非同步邏輯則擴展時脈電路的概念，這種方法使用功能塊之間的協議來指定特定元件的結果何時對下一個塊有效，而不是將所有內容同步到時脈緣。當功率密度成為一個問題時，非同步邏輯的優勢得到了利用。移除時鐘避免了當所有功能塊及時切換到公共時脈時可能發生的電源電流瞬時浪湧。正在研究非同步邏輯如何支持較低的電源軌電壓。

處理器製造商開發的其他技術包括電壓和時脈調整，會在處理器需求較低的時候調降兩者，但這主要仍是為了解決有效功耗問題，而待機、睡眠和深度睡眠模式則側重於靜態功耗。減少靜態功耗的技術包括時脈和電壓門控，當電路塊不使用時，它們會從電路塊中移除時脈和／或電源軌。在沒有電源或因訊號而觸發轉換的情況下，區域中的 CMOS 電晶體不會有任何功耗。

ULP 電源管理

用於電源管理的 IC 或 PMICs，在單一裝置中提供電壓調節、轉換和電源保護。這對於大多數產品而言都是很重要的加分項，但對於力求超低功耗的電池供電裝置來說卻極為關鍵。

高度整合的 PMIC 所具備的特點包括：電源管理裝置的標準防護，例如：過電壓／低電壓／電流保護，以及短路防護。針對可充電裝置的 PMIC 還會包括電池充電管理、電池防護（熱、深層放電），以及和工作期間的電池電壓監測。

專為穿戴式裝置等超低功耗裝置而設計的功能還包括待機模式，PMIC 本身會處於超低功耗模式，在不使用穿戴式裝置時便可降低靜態電流。

啟動模式時，高度整合的超低功耗 PMIC 可能包括可編碼變壓器，以及低壓線性穩壓器 (LDO)，為產品所有 IC 供電，即使它們所需的電壓不同。監控功能可能包括一個帶電源循環的看門狗電路，以

及一個用於與主機微控制器通訊的數位接口。PMIC 扮演著超低功耗設計策略中的重點部分，這是因為 PMIC 往往可充分利用電池中的能量並扮演把控電壓的角色。

低功耗顯示技術

隨著發光二極體技術的不斷演進，越來越高的解析度以及越來越低的功率。主動式有機發光二極管 (AMOLED) 技術也受到智慧型手機製造商的青睞，並有望主導折疊式螢幕。它在穿戴式裝置中的使用情況也有所增加，許多智慧型手錶都使用 AMOLED 顯示螢幕。

近年來前景最看好的莫過於微型發光二極體 (Micro LED) 陣列，Micro LED 的光輸出強度以尼特 (Nits：燭光／每平方公尺) 為單位，可以比 OLED 技術高出好幾個量級。意味著需要更少的功率來提供與其他顯示器相同的強度。

Micro LED 的顯示原理，如同其他顯示技術，是將紅色、綠色、藍色三色的極小 LED 排列而成的陣列，其製造可以使用取用法 (pick-and-place) 將 Micro LED 固定在基板上，或是無須取用的單片製程。與取用法相比，單晶 Micro LED 的技術能允許間距更小，因此更適合用在小型穿戴式顯示器上，特別是眼鏡類的商品。

其他低功率顯示技術包括電子紙，其主要優點在於無須電源。透過將顏料懸浮在電解質中以電子顯示該像素。偏極化時，顏料方向產生變化，而入射光只可能被或穿過像素，由於該技術並無法發光，加上通常顯示器並不內建背光，因此需要光源來閱讀其顯示。然而由於即便在陽光直射下仍可以閱讀，這也使其成為電子閱讀器的熱門選擇。

電子紙的主要優點是它是雙穩態的，這意味著無需電源即可將影像留在螢幕上，也因此對超低功耗應用莫名具有吸引力。隨著科技發展，靈活彈性的解決方案可以應用在智慧服飾，或應用在會與皮膚直接接觸的穿戴式裝置上。

超低功耗無線通訊

無線連接並非穿戴式技術的必要條件，有許多應用程式可以趁著有線連接時進行同步，例如擴充底座也能夠替電池充電。然而，消費者的期望早已被當年與現在那些可以提供即時喚醒、隨點即用體驗的穿戴式裝置體驗給定型。無線通訊對於穿戴式技術的未來，幾乎可說是不可或缺的。

藍牙至今仍是點對點應用場景中的首選無線技術，雖然穿戴式裝置可能是採用網狀網路模型，然而由於穿戴式技術中的個人資訊，推測點對點還是會較受青睞。

近期對藍牙相關規範的修訂，自 5.0 版本開始主要集中在將藍牙的適用性拓展到智慧應用程式，但這並沒辦法直接解決功耗問題，但藍牙低功耗或 BLE (版本 4.0 時出現) 仍設法在超低功耗應用中提供出色的表現。

倘若定位追蹤是穿戴式裝置的一項重要功能，那麼藍牙 5.1 之後的版本將成為極具吸引力的選擇。透過為 RF 訊號提供到達角和接收角以支援定位與位置追蹤。當與位置已知的信標一起使用時，便可用於確認位置所在。

某些穿戴式裝置可能得透過網路直接找尋位址，在這種情境下，以 IP 網狀網路為基礎的網路協議可能更適合，例如 6LowPAN、Thread，以及 Wi-Fi。現今有幾個系統單晶片的範例，與微控制器內核心整合在一起的多協議無線電，以滿足穿戴式裝置市場的這部分。

近場通訊 (NFC)，或稱近距離無線通訊，是另一種打入穿戴式裝置領域的無線技術。NFC 可以為穿戴式感測器提供電力和數據，為小型電池充電並交換數據。對於無須保持連線但可能需要時時待機的穿戴式裝置來說，將是另一個可行的選擇。

穿戴式裝置的實驗室晶片

將數位處理與模擬前端整合用於生物醫學傳感領域的念頭已經存在好一段時間，該領域的發展仍舊持續著且更著重於製造穿戴式醫療裝置。這些高

度整合的裝置將超低功耗處理運算與專用感測器相結合，雖然會造成其並不如多數 IC 通用，但這也意味著這市場正在趨於成熟。

光學感測器在這裡運作很良好，因為它們提供了一種可以用來監測生命統計數據的非侵入性方式，並且可以擺在身體周遭。製造商現在正在將光子元件與邏輯進行整合，以打造晶片實驗室解決方案，手腕也同樣逐漸成為這些 IC 所支援的穿戴式裝置最喜歡的位置。

穿戴式電子產品的未來

穿戴式技術前景一片看好，接下來穿戴式技術最有發展潛力的部分仍會鎖定在家庭健康與醫療應用上。整合式裝置則是推動市場增長的關鍵，一般而言，IC 製造商總希望能夠在投入過多的時間、金錢與人力開發所需解決方案前，能夠看到真正的市場潛力。

對於那些希望憑著新應用抓住終端消費者的心的創新人士與新創企業而言，雖說穿戴式領域有很多諸如此類的應用存在，但瞬息萬變的半導體市場卻可能讓他們碰得一鼻子灰而感到沮喪。因為即使企業作出決策，但距離解決方案實際問世仍然需要好一段時間。

不過這些解決方案至少目前證據顯示是可用的，智慧型手錶和健身監測是目前穿戴式技術的主要應用範例，至少在消費市場是如此，並且銷量仍持續增長。製造商對於醫療裝置十分感興趣，但市場態勢卻不盡相同，擴增現實 (AR) 看來已經準備好要徹底改變工業垂直領域。

目前穿戴式技術可能面臨的最大挑戰，或許是太過分散的終端應用，其分散程度是其他領域鮮少面臨到的。然而從根本上來說，賦能技術絕大部分是相同的，OEM 廠商需要利用這些技術來創造真正解決問題，或可以改善特定應用領域狀況的新產品。

安富利的業務範圍遍及各個垂直領域與各市場，安富利工程師與客戶合作以探究新解決方案，並能協助原始設備製造商找出適合其應用的技術。

CTA

是德科技與聯發科技攜手合作，共同實現基於 3GPP 第 17 版標準和 RedCap 技術的 5G 連接

是德科技 (Keysight Technologies) 宣布聯發科技 (MediaTek) 選用該公司 5G 網路模擬器解決方案，成功建立符合 3GPP 5G 第 17 版 (Rel-17) 標準和 5G RedCap(reduced capability) 規格的 5G 晶片連接，加速推動最新 5G 技術的部署。

是德科技是聯發科技長期合作的夥伴，雙方透過協同創新，近期在天璣系列 (Dimensity) 5G 晶片中，成功建立了符合 5G Rel-17 標準的數據呼叫 (data call) 連接。這項最新成果可加快聯發科技部署最新的 5G Rel-17 特性，包括更低的耗電量，以及增強的多輸入多輸出 (MIMO) 功能，為行動通訊業者開創先進 5G 服務帶來更多的可能性。

此外，聯發科技使用是德科技網路模擬平台，全面驗證其 5G 晶片的 RedCap 連接性。5G RedCap 規格的問世，使得業者得以推出較簡化的 5G 輕量級功能的無線裝置。這些裝置具有在複雜度、成本和功耗等方面的優勢，可有效支援工業感測器和穿戴式裝置等各種創新的使用案例。

是德科技無線測試事業群副總裁暨總經理曹鵬表示：「我們很高興能與聯發科技持續合作，共同推動 3GPP 第 17 版和 RedCap 標準的演進。RedCap 是最新的 5G NR 標準，旨在協助業者針對比傳統智慧型手機市場更大的物聯網和穿戴式裝置市場，推出各種新的使用案例。」

聯發科技無線通訊系統發展本部總經理黃合淇博士表示：「使用是德科技支援最新 Rel-15/16/17 標準的 5G 測試平台，可提升聯發科技眾多 5G 產品的技術優勢。聯發科技與是德科技合作，率先開發了領先業界的 5G 數據機平台，將可進一步推動 5G 裝置創新者生態系統的成長商機。」