

告別線纜與電池 從比特傳輸到語意感知

編輯部整理

長期以來，通信產業的演進一直被“香農定理 (Shannon's Theorem)”與“摩爾定律”所裹挾，在追求峰值輸送量 (Mbps/Gbps) 的“速度競賽”賽道上疾馳。但隨著大模型向邊緣端 (Edge AI) 的急劇下沉，以及千行百業數位化進入深水區，產業對於無線通訊的核心訴求已發

生根本性反轉。2026 年的今天，極具確定性的微秒 (μs) 級低延遲、釐米 (cm) 級的高精度空間感知、以及邁向“零電池”的環境微能收集，正在取代了單純的頻寬指標，成為主導產業走向新趨勢。

2026 年 3 月於巴賽隆納舉行的世界行動通信大會 (MWC

2026) 明確將通信產業的年度主題從“萬物互聯”全面升級為“IQ Era(智慧賦能時代)”。高通 (Qualcomm) 總裁兼 CEO Cristiano Amon 在大會的主題演講中一針見血地指出：“我們正處於無線通訊與人工智慧深度交織的奇點。未來的連接節點不再是啞終端，無線射頻

表 1：2025-2026 年核心短距離無線連接技術雙軌演進

演進軌道	代表性核心技術	2025-2026 最新核心規格突破	2026 年關鍵技術里程碑與資料表現	核心賦能場景無感
極致性能軌 (高精度 / 低延遲)	藍牙 6.0 / 7.0	引入通道探測 (CS) 實現公分級測距；7.0 突破 7.5Mbps 高吞吐快閃	2026 年上半年，支持防中繼攻擊的傳輸。藍牙 6.0 晶片在高端新能源汽車車鑰匙滲透率突破 45%。	安全車鑰匙、高碼率無損音訊、智能家居精準尋向。
	UWB (超寬頻)	從單純測距走向“UWB 感知雷達”，與近場 AI 深度融合。	恩智浦 (NXP) 等大廠完成單片通感一體化，UWB 節點出貨量年增幅達 38%。	汽車主被動安全 (如生命體征監測)、無線 BMS 系統輔助。
	星閃 (SparkLink)	SLB 與 SLE 雙模融合，極低時延 (0.25ms) 與 8K 輪詢率。	2026 年星閃晶片總出貨量預計歷史性突破 1 億片大關，全面打破生態孤島。	頂級電競外設外設、汽車主動降噪網路、工業機械臂協同。
極致能效軌 (廣覆蓋 / 去電池)	Wi-Fi HaLow	Sub-1GHz 極低功耗頻段，超強穿牆與公里級廣域覆蓋。	成為 2025-2026 年度增長最快的無線標準，年複合增長率 (CAGR) 高達 45%。	大規模電子貨架標籤 (ESL)、現代農業墒情監測網路。
	無源 / 微能無線 (Ambient IoT)	多模態環境能量收集 (光能、壓電、射頻 RF 散射借電)。	結合極低占空比，2026 年全球無源標籤及微能收集晶片市場規模突破 7.4 億美元。	醫療資產零維護追蹤、環保快消品防偽、無限壽命感測器。

(資料來源：綜合 TechInsights《2026 短距離無線連接與邊緣計算展望》、Gartner 2026 年 6 月物聯網趨勢簡報整理)

(RF) 網路必須具備環境認知能力。我們不再僅僅傳輸資料，我們正在傳輸空間的物理語意與智慧意圖。”這一權威定調，精准概括了當前無線技術從“比特傳輸”向“語意通信 (Semantic Communications)”跨越的宏觀大背景。

2026 年我們觀察到，短距離無線連接市場進入了“雙軌並行”的市場格局。一方面是“極致性能軌”：以藍牙 6.0/7.0、UWB (超寬頻) 以及星閃 (SparkLink 2.0) 為代表，這類技術瘋狂向著釐米級的高精度定位與微秒級的確定性延遲突進。它們的核心使命是解決高端智慧汽車的無感防盜解鎖、數位座艙內的生命體征雷達監測，以及無人工廠中機械臂的極低延遲協同。另一方面則是“極致能效”：以 Wi-Fi HaLow (802.11ah)、Matter 協定底層多射頻併發，以及最具顛覆性的無源 / 微能物聯網 (Ambient IoT) 為代表。這類技術正致力於將運行功耗拉低至數百納安 (nA) 級別，甚至徹底除掉“電池”的命，從而在智慧倉儲電子價簽 (ESL)、廣域農業傳感等領域實現“部署即遺忘 (Deploy-and-Forget)”的終極商業模式。

邊緣 AI (Edge AI) 對通信協定底層的“接管”是當前最不可忽視的宏觀變數。在 2026 年的上半年，產業內已經明確看到 AI 演算法不再僅僅是跑

在作業系統上層的應用，而是直接下沉到了無線射頻的基帶 (Baseband) 和媒體接入控制 (MAC) 層。

權威學術機構 IEEE Communications Society 在其 2026 年 4 月的最新會刊中指出，傳統的無線網路是“盲目”的，當遇到電磁干擾時只能被動重傳，造成巨大的能耗浪費。而如今的新一代無線晶片內置了微型神經處理單元 (NPU)，形成了“AI 原生射頻 (Neural RF)”。例如，最新的智能物聯網節點能夠在幾十微秒內，利用本地 AI 預判空間物理遮擋和擁擠頻段，主動切換波束成形方向，或將資料流程在 Wi-Fi 與藍牙通道間進行零感分流。更具革命性的是，憑藉本地語意感知，感測器在發送資料前會先提取“有意義的特徵向量”(如異常的震動曲線規律)，而非傳輸原始的波形流水帳，這使得實際物理頻寬的需求和傳輸能耗被驚人地縮減了 10 至 50 倍。

如今的短距無線技術已徹底剝離了單純的“通信管道”屬性。在藍牙、UWB、Wi-Fi 家族以及新一代無源技術的發展過程中，一個融合了高精度感知、極簡能耗與 AI 原生決策新趨勢正在形成。

短距離高精度與前沿短距無線技術

進入 2026 年，以藍牙和

UWB (超寬頻) 為代表的傳統短距離無線通訊技術，正式跨越了以“互聯互通”為核心的初級階段，全面駛入以“空間感知、高安全性與極致吞吐”為標誌的深水區。這兩項技術在各自的演進軌道上實現了底層突破。

1. 藍牙技術的代際折疊：從“通道探測”到“快閃吞吐”的全面躍升

截至 2026 年年中，全球藍牙市場呈現出多種規格並存，相互彌補不足的局面。根據藍牙技術聯盟 (Bluetooth SIG) 與市場調研機構 ABI Research 於 2026 年 5 月聯合發佈的《2026 藍牙市場趨勢洞察報告》顯示，當前市場不再是新一代技術對老一代的簡單替代，而是基於不同的場景需求形成了高度分化的佔有率版圖。

在這一格局中，藍牙 6.0 引入的“通道探測 (Channel Sounding)”是近五年來最具顛覆性的安全升級。傳統的藍牙測距高度依賴於接收信號強度指示 (RSSI)，這種機制極易被駭客使用廉價的射頻放大器進行“中繼攻擊 (Relay Attack)”——即在車主離車很遠時，截獲並放大藍牙信號，欺騙車輛解鎖。而 2026 年全面普及的藍牙 6.0，從實體層結合了基於相位的測距 (PBR) 和往返時間 (RTT) 雙重校驗機制。藍牙技術聯盟首

席執行官 Mark Powell 在 2026 年初的產業峰會上明確指出：“藍牙 6.0 的通道探測技術，賦予了設備真正的空間意識。它將測距精度從數米級縮小至釐米級，更重要的是，它從數學和物理原理上徹底終結了數字秘鑰的偽造可能。”與此同時，藍牙 7.0 帶來的“能效紅利”正在重塑高頻寬高頻交互市場。其核心的高輸送量 (HDT) 特性不僅將傳輸速率拉升至驚人的 7.5Mbps，更催生了“快閃傳輸 (Burst Transmission)”模式。微型感測器與無線耳機能夠在微秒級的時間內“打包衝刺”發送完海量資料，隨後迅速切斷射頻電路進入深度休眠。在 2026 年的發燒級音訊市場，各大廠商已開始利用藍牙 7.0 徹底拋棄失真壓縮演算法，實現了真正的 24-bit/192kHz 高解析度無損音訊的無線即時串流。

2. UWB 的進化：“精準測距”邁向“近場 AI 雷達感知”

如果說藍牙 6.0 補齊了安全的拼圖，那麼 UWB(超寬頻)技術在過去的幾年種演變成了具備環境認知能力的“近場 AI 雷達”。

UWB 依靠發送奈秒級的極窄射頻脈衝來計算飛行時間 (ToF)。在 2026 年，以恩智浦 (NXP)、高通 (Qualcomm) 為代表的半導體巨頭，成功將微型機器學習 (TinyML) 加速器與

UWB 射頻前端封裝在了同一塊矽片上。這種“通感一體化”架構，使得 UWB 節點能夠在進行加密通信的同時，利用反射回來的微弱電磁波回波 (多普勒頻移)，對周圍空間進行高精度的 3D 輪廓建模與細微震動捕捉。

恩智浦半導體執行副總裁兼首席技術官 Lars Reger 在 2026 年 3 月的 MWC 2026 上展示了新一代 Trimension 系列晶片時評價道：“我們已經賦予了 UWB 第六感。它不再需要雲端的龐大算力，邊緣端的微型 AI 模型就能讓 UWB 晶片精準分辨出靠近的是主人、寵物還是風吹動的樹葉。這是從‘連接’走向‘語意感知’的里程碑。”

根據 TechInsights 於 2026 年 6 月發佈的資料，受益於這種雷達感知化，全球內置 UWB 晶片的終端設備出貨量在 2025 至 2026 年間實現了 38% 的同比暴增，其應用版圖已遠遠超出了傳統的手機追蹤器，大舉切入醫療康養與高級汽車智駕生態。

3. 融合創新：藍牙與 UWB 重構無感車鑰匙與高階主動座艙

技術底層的突破在汽車工業中迎來了交叉與融合。在 2026 年推出的新一代智慧汽車 (如保時捷 Neue Klasse 平臺車型、蔚來及華為鴻蒙智行的高端系列) 中，單一的通信協議已被摒棄，取而代之的是由“藍

牙 6.0 + UWB + 毫米波”共同織就的極度安全的異構網路。

汽車互聯聯盟 (CCC) 在 2025 年底至 2026 年初強制推行了更為嚴苛的 Digital Key 新規範。當車主走向車輛時，系統會進行精密的分工協同：首先，極低功耗的藍牙 (BLE) 在車主距離車輛 50 米外就開始進行低頻廣播，完成身份的握手與喚醒驗證；當車主進入車輛 10 米範圍時，車輛內部的多個 UWB 錨點瞬間啟動，與手機進行每秒數百次的飛行時間 (ToF) 交叉測距；最後，藍牙 6.0 的通道探測 (CS) 作為冗余的安全審計官，與 UWB 資料進行底層比對。即便駭客掌握了極其昂貴的信號中繼設備，只要藍牙相位角與 UWB 飛行時間的資料出現微秒級的不匹配，車輛都會立刻鎖死。這種異構融合讓車外無感解鎖的安全性在某種程度上接近了銀行金庫的安全模式。

UWB 雷達技術的引入，讓 2026 年的智慧座艙演變成了“移動的健康診所”。由於歐盟新車安全評鑒協會 (Euro NCAP) 在 2025-2026 年的新規中明確將“兒童車內遺留檢測 (CPD)”列為獲得五星安全評級的強制加分項，UWB 雷達迎來了爆發。

不同於極易侵犯隱私的車內攝像頭，隱藏在車頂內襯中的 UWB 雷達陣列，能夠穿透

毛毯和衣物，精准捕捉到後排熟睡嬰兒胸腔幾公分的呼吸起伏。更令人矚目的是，結合近場 AI 演算法，座艙系統現在能夠即時提取駕駛員的心率變異率 (HRV) 特徵。一旦演算法判斷駕駛員的微多普勒呼吸波形出現停滯，或心率出現中風、心梗前兆的異常波動，車輛底層神經中樞會立即奪管，觸發最小風險操縱 (MRM)，自動靠邊停車並呼叫救援。

如果說藍牙與 UWB 的演進是傳統通信巨頭在既有版圖上的“自我革命”，那麼在過去幾年以中國主導的星閃技術 (SparkLink) 以及深耕特定物理介質的特種無線技術，則在細分紅海中硬生生撕開了全新的商業切口。它們不再試圖在全方位的消費電子市場與傳統標準正面硬剛，而是憑藉在極限指標上的優勢，成為解決特定產業痛點的“專用方案”。

4. 星閃技術 (SparkLink 2.0)：跨越生態窘境

星閃技術在發佈之初，曾面臨著晶片供應商單一、模組成本高昂以及海外生態隔離的“局域網”窘境。然而，進入 2026 年，這一局面發生了結構性的逆轉。根據市場調研機構 Counterpoint Research 於 2026 年 6 月發佈的《全球短距通信晶片市場追蹤》報告，隨著博通集成、創耀科技、深開

鴻等數十家大陸晶片大廠實現交叉授權與大規模量產，2026 年全球星閃晶片的預估出貨量將歷史性地突破 1.2 億片大關，模組單價已成功下探至高端藍牙晶片的競爭區間。

關鍵的技術拐點發生在了 2025 年底至 2026 年初——星閃 2.0 標準的全面落地。星閃 2.0 補齊了最後一塊戰略短板，在保持雙模架構 (主打高速率的 SLB 與主打低功耗低時延的 SLE) 的基礎上，引入了極致的“通定感一體化”(通信、定位、感知融合)。在 2026 年 6 月舉辦的華為開發者大會上，國際星閃無線短距通信聯盟的高管明確指出：“星閃 2.0 不僅僅是藍牙的升級版或 Wi-Fi 的補充。憑藉極化碼 (Polar Code) 的底層抗干擾能力與微秒級的確定性時延，星閃已經具備了在車規級與工業級場景中全面替代沉重銅線束的底氣，這是一場物理架構的重塑。”

基於上述壓倒性的參數，星閃在 2026 年精準鎖定了三大殺手級新機遇。

首當其衝的是智能汽車與無感座艙。在 2026 款的國產高端新能源汽車 (如鴻蒙智行的尊界、智界系列旗艦車型) 中，星閃 2.0 憑藉分米 / 公分級的高精度測距，開始大規模作為新一代數字車鑰匙，大有“平替 UWB”的趨勢。同時，在座艙內部，星閃高達 12Mbps 的

SLE 頻寬與強悍的抗干擾性，被大量用於替代車內沉重的音訊線束，實現了每個座椅頭枕音響的無損音訊獨立分發，以及極低延遲的車內主動降噪。

其次是高端電競外設與發燒級音訊。在充斥著無數 2.4G 設備與 Wi-Fi 干擾的複雜環境中，星閃滑鼠以 8000Hz 的回報率和 0.25 毫秒的絕對穩定時延，徹底清除了傳統 2.4G 接收器頻發斷連的痛點。

最後是工業智造的柔性神經。在無人工廠中，AGV 小車與協作機械臂需要 1 毫秒以內的控制延遲，以往只能依賴昂貴的工業 5G 或拉網線。如今，基於開鴻 OS 的星閃開道能夠以極低成本提供高確定性的併發控制。

5. 跨越射頻的物理極限：特種短距無線技術的異軍突起

在 Wi-Fi、藍牙、星閃於電磁波頻段激烈廝殺的同時，2025 至 2026 年的短距離連接市場中，還有幾股試圖跨越傳統射頻物理限制的“隱形冠軍”力量正在崛起。它們瞄準了傳統無線電波無法觸及或無法解決的盲區，成為了醫療、軍工與微能物聯網不可或缺的拼圖。

隨著 IEEE 802.11bb 標準在 2024 年底的正式確立，Li-Fi 技術在過去一年半內迎來了真正的商用破局。Li-Fi 利用 LED 燈泡發出的極高頻光脈衝 (人

眼無法察覺)來傳輸資料,其最大特性在於“光無法穿透牆壁”,從而賦予了通信絕對的物理級安全性與徹底的零電磁干擾(EMI)。根據《2026全球特種通信報告》,Li-Fi目前正被強制引入到射頻極度敏感的重症監護室(ICU)中,以確保海量醫療資料的高速傳輸不會干擾維生設備;同時,它也成為了歐美高端政府保密會議室以及下一代商用航空客艙內網的標配替代方案。

長期以來,由於60GHz毫米波在空氣中衰減極大且無法穿牆,WiGig技術一直處於被邊緣化的狀態。但到了2026年,這項技術在“單一房間內的視距通信與雷達感知”上找到了完美歸宿。它不僅能提供10Gbps以上的超大頻寬,支撐高端免線纜VR/AR頭顯的無壓縮圖像傳輸;更重要的是,利用60GHz極強的方向性,它被谷歌、英飛凌等廠商改造為智慧家居中的“非視覺雷達”。在不侵犯用戶隱私(不使用攝像頭)的前提下,隱藏在牆壁內的60GHz晶片能夠精確穿透被褥,監測老人的睡眠呼吸率,並在發生跌倒時瞬間報警。

新一代 NFC:化身無源物聯網的“能量噴泉”

近場通信(NFC)在2026年早已超越了單純的移動支付。NFC論壇(NFC Forum)

在近期強力推行的WLC(無線充電)新規範,使其成為了驅動微型電子設備的“能量發射源”。對於體積過小、無法塞入傳統Qi無線充電線圈的設備(如智慧戒指、高端觸控筆),如今只需與手機背面貼合,即可通過NFC天線反向汲取幾百毫瓦的電量。NFC論壇技術委員會主席在2026年5月的產業通訊中表示:“全球數十億部支持NFC的智慧手機,就是一張巨大的、移動的能量網路。當免電池的環保標籤或醫療探頭靠近手機時,NFC產生的瞬間射頻感應即可為其‘借電’開機,完成邊緣計算與資料回傳。”

專有系統應用:wBMS進展

在新能源汽車加速向區域控制(Zonal Architecture)演進的2025至2026年間,無線電池管理系統(wBMS)成為了連接底盤硬體與上層智駕神經元的核心樞紐。這項技術通過專用的短距高頻無線通訊網路,直接取代了傳統電池包內繁重且極易老化的銅線束。然而,伴隨著技術的突飛猛進,資本市場對wBMS規模的狂熱預期也在這18個月內經歷了一場深刻的“擠水分”與理性回歸。

1. 物理架構的徹底重塑與晶片巨頭的技術升維

長久以來,電動汽車電池

包內的低壓通信線束是整車製造中的“阿喀琉斯之踵”——它們不僅佔據了大量寶貴的物理空間,增加了整車重量,還極大地阻礙了電池包組裝的自動化率。在2025年至2026年上半年,wBMS實現了從“部分高端車型試水”向“主流純電平臺規模化導入”的跨越。剔除線束後,最新的wBMS方案平均能為電池包節省約15%的内部空間並減輕15%的重量,這部分釋放的空間被直接用於增加高密度電芯,從而將整車續航被動提升幾十公里。更重要的是,無源化的電池模組(Module)在出廠前即可獨立完成生命週期資料的無線標定,極大提升了超級工廠的機器人自動組裝良率。

在這一底層物理革命的背後,是全球領導汽車半導體大廠(如ADI、TI、NXP)的技術提升博弈。傳統的wBMS多採用基於2.4GHz頻段的專有射頻(RF)協定(例如德州儀器的CC2662R-Q1系列),但在充斥著金屬遮罩與電磁雜訊的汽車底盤中,2.4GHz頻段極易受到干擾。

進入2026年,產業的轉捩點正式到來。NXP在全球範圍內率先實現了新一代基於UWB(超寬頻)技術的wBMS解決方案的大規模裝車量產(核心無線節點晶片為BMA6060與BMA6061)。UWB極寬的頻

帶和納秒級脈衝特性，使其在金屬密閉空間內的抗多徑衰落能力遠超傳統射頻。NXP 電池管理系統全球產品總監在 2026 年 4 月的慕尼黑汽車電子展上直言：「wBMS 的下半場不再是簡單的「剪掉線束」，而是追求絕對的資料吞吐韌性。我們將 UWB 引入電池包，不僅實現了微秒級的電芯電壓與溫度同步，更為未來電池包內的「聲學熱失控偵測 (Acoustic Thermal Runaway Detection)」提供了足夠且穩定的無線頻寬基建。」

由於車規級安全標準的嚴苛 (如 ASIL-D 級功能安全認證)，主流車企對於底盤通信的無線化依然保持著謹慎的漸進式策略。但隨著 NXP 等巨頭 UWB 方案的規模化下線，以及固態電池時代的日益臨近，wBMS 卸下「泡沫」後的真實爆發期，很可能 2027 年至 2028 年間隨新一代純電平臺集中到來。

無源 / 微能無線：邁向「零碳」的技術基石

當前述的低功耗無線技術 (如 Wi-Fi HaLow 和藍牙 BLE) 將設備的電池壽命極限推向 5 到 10 年時，產業界意識到一個嚴峻的現實：在未來數百億甚至千億級的物聯網節點規模下，即使電池壽命長達 10 年，每天仍會有數以千萬計的廢棄電池需要更換與回收。這不僅是一場運維災難，更直接與全球日

益嚴苛的 ESG (環境、社會和公司治理) 零碳排放法規相衝突。

全球頂尖的半導體實驗室與標準組織將目光鎖定在了一個終極目標上：徹底消滅電池，實現「全域無源化」的 Ambient IoT (環境無源物聯網)。根據權威機構 TechInsights 與 Future Market Insights 於 2026 年 6 月聯合發布的《全球環境能量收集系統市場展望》報告指出，伴隨著晶片功耗的指數級下降，全球無源標籤及微能收集晶片市場規模在 2026 年已成功突破 7.4 億美元大關，並正醞釀著一場百億級距的「去電池化」浪潮。

推動這場浪潮從實驗室走向真實世界的，是兩大底層半導體技術的歷史性交叉：多模態混合能量收集 PMIC (電源管理晶片) 的成熟，以及極致降耗的矽晶圓製程工藝。

1. 多模態混合收集：從「看天吃飯」到「全動態範圍」的微能 PMIC

在過去，無源物聯網最大的技術死穴是「能量不穩定」。傳統的能量收集晶片往往是單一來源且動態範圍極窄：要麼只能收集室內微弱的光線 (微瓦級)，要麼只能收集室外的強烈陽光 (瓦特級)。一旦設備從室內移到室外，晶片就會因為能量瞬間過載而燒毀；反之則會因為閾值電壓不足而直接停

機。這種「看天吃飯」的脆弱性，讓無源物聯網長期停留在概念階段。

但在 2026 年初，這一物理瓶頸被總部位於比利時的微電子巨頭 e-peas 徹底擊碎。e-peas 於近期正式量產推出了震驚業界的 AEM15820 能量收集專用 PMIC。這是全球首款真正意義上跨越全動態範圍的單晶片混合能量管理平臺。它不僅能夠在幾微秒的時間內，動態適應從室內昏暗光線 (微瓦級) 到室外烈日 (瓦特級) 的極端切換，更史無前例地支援了光伏 (PV) 與熱電 (TEG) 的雙源混合輸入。

E-peas 首席執行官 Geoffroy Gosset 在 2026 年 4 月的 Embedded World 2026 上發表主題演講時強調：「我們不再強迫物聯網設備去適應環境，而是讓矽片本身具備了『吞噬』周遭一切微弱能量的本能。AEM15820 的冷啟動電壓低至驚人的 275mV。這意味著，只要環境中存在一絲微弱的光線、機器的輕微震動，甚至是周圍路由器散發出的 Wi-Fi 射頻電波 (RF)，我們的晶片就能像海綿一樣將這些異構能量無縫融合、涓滴歸公，轉化為驅動感測器與無線射頻的純淨直流電。」

2. 極致工藝降耗：瑞薩 SOTB 突破「漏電流」物理極限

如果說 e-peas 的 PMIC 解

表 5：2026 年新一代無源 / 微能 (Ambient IoT) 節點與傳統電池節點物理指標對比

核心物理	傳統低功耗物聯網節點 (依賴鋰鈕扣電池)	新一代 Ambient IoT 無源節點 (2026 年量產規格)	商業與技術價值評估
能量來源與架構	一次性化學電池 (如 CR2032)。	光 / 熱 / 震動 /RF 射頻電波 + e-peas PMIC 混合收集。	徹底消除化學電池，實現「永久在線」。
深度休眠靜態功耗	約 2 μ A ~ 5 μ A	低於 400 nA (基於瑞薩 SOTB 等極致降耗工藝)。	漏電流減少 10 倍以上，確保 微弱能量不被浪費。
冷啟動 (Cold Start) 要求	無需冷啟動 (電池持續供電)。	極低，僅需 275mV 甚至更低的 瞬態電壓即可喚醒。	在極端惡劣環境 (如陰暗角落、 地下室) 仍可運作。
全生命週期運維成本	每 3-5 年需人工尋找、拆卸並 更換電池，人工成本極高。	零人工干預，實現真正的「部署 即遺忘 (Deploy-and-Forget)」。	解決千億級 IoT 設備無法由人 工維護的死結。
環保與 ESG 合規性	產生海量重金屬及化學廢棄物， 面臨歐盟等嚴苛罰款風險。	100% 綠色零碳排，矽片與柔性 天線可安全降解或回收。	完美契合 2030 全球碳中和與 綠色供應鏈強制要求。

(資料來源：TechInsights 2026 年《先進半導體製程與能量收集技術深度解析》)

決了「如何開源 (收集能量)」的問題，那麼通用微控制器 (MCU) 大廠則在「如何節流」上做出了極限壓榨。

在微能環境下，晶片最大的敵人不是工作時的功耗，而是睡眠狀態下的「靜態漏電流」。為了在納安 (nA) 級別的微弱能量下存活，瑞薩電子在 2025-2026 年間大規模普及了其獨家研發的 SOTB (Silicon on Thin Buried Oxide，薄埋氧層矽上絕緣體) 製程工藝。傳統的 CMOS 工藝在降低電壓時會導致漏電流急劇上升，而 SOTB 透過在矽基板下方植入一層極薄的氧化絕緣層，完美阻斷了電子的無效逃逸。

基於 SOTB 工藝量產的最新一代無源無線 SoC，將設備的深度睡眠待機電流殘暴地降至了驚人的 400 納安 (nA) 以內。這是一個什麼概念？這意味著即使在完全沒有外部能量

補充的漆黑環境中，僅靠一顆微型超級電容 (甚至不需要化學電池) 裡儲存的殘餘靜電，就足以支撐晶片度過長達數週的漫長黑夜。而當環境能量恢復的瞬間，這 400nA 的微弱電流足以驅動內建的 ADC (模擬數位轉換器) 進行一次環境採樣，並透過 BLE 或 Wi-Fi HaLow 瞬間將數據廣播出去。

這兩項底層技術 (多模態收集與極致降耗) 的合流，為無源無線技術鋪平了最堅實的硬體基石。當設備不再受制於電池的枷鎖，它們的形態、體積與部署方式將迎來急速增長。

3. 大宗資產追蹤與新一代環保標籤：向「射頻散射」借電

在現代醫療與高端製造業中，資產追蹤一直面臨著一個死結：給成千上萬個血袋、手術器械或物流棧板安裝帶有鋰電池的追蹤器，不僅成本高昂，

且後續的電池更換與化學廢棄物處理幾乎是一場災難。

進入 2026 年，以 Wiliot 為代表的無源物聯網獨角獸企業，成功將基於「射頻環境反向散射 (Ambient RF Backscatter)」技術的微型標籤 (IoT Pixels) 推向了百萬級的大規模商用。這類大小僅如同一張郵票、厚度如紙的柔性標籤，內部完全沒有電池。它們的運作原理極具顛覆性：標籤上的奈米級天線會主動吸收環境中無處不在的 Wi-Fi、藍牙甚至 5G 蜂窩網路的無線電波 (RF)，將這些電磁波轉化為微弱的直流電儲存起來。一旦積攢了足夠的能量 (通常只需幾毫秒)，標籤就會將自身的溫度、位置與身份加密數據，透過改變天線阻抗的方式，將信號「反射 (Backscatter)」回接收開道器。

Wiliot 首席執行官 Tal Tamir 在 2026 年 5 月的供應鏈

創新峰會上直言：「我們正在為每一件出廠的商品植入一個不需要進食的『大腦』。2026 年的供應鏈不再需要被動掃描條碼，這些無源標籤利用空氣中的 Wi-Fi 廢氣作為糧食，主動在雲端宣告它們的狀態。這不僅為企業省下了數十億美元的電池運維費，更讓全球物流產業直接達成了 ESG 的零碳排合規要求。」

4. NFC 能量收集的異軍突起：瞬間「借電」與微型運算

如果說射頻反向散射是依賴環境中微弱的電磁波，那麼新一代 NFC（近場通信）能量收集技術，則是將全球數十億台智慧型手機變成了一個個行動的「高功率微型發電站」。

根據 NFC 論壇 (NFC Forum) 在 2025 年底發佈的最新技術規範，NFC 天線的能量傳輸功率被大幅解鎖。到了 2026 年上半年，半導體廠商已經能夠利用手機靠近 NFC 標籤的那短短一兩秒鐘，透過強烈的電磁感應，為無源標籤瞬間注入高達幾十甚至上百毫瓦 (mW) 的瞬態電能。

這種瞬間的「暴飲暴食」足以引發奇蹟。在 2026 年最新的高價值冷鏈物流（如 mRNA 疫苗運輸）中，貼在藥箱上的無源感測器在整個運輸過程中處於純物理的溫感記錄狀態。當醫護人員在終點用手機「滴」

一下標籤時，手機的 NFC 磁場不僅瞬間喚醒了標籤內休眠的微控制器 (MCU)，更為其提供了足夠的電量去運行一個微型的 AI 加密演算法 (TinyML)，驗證過去 72 小時內的溫度曲線是否合規，並在 0.5 秒內將加密結果回傳至手機螢幕。這種「無電狀態下休眠，靠近瞬間借電運算」的模式，徹底重構了高安全性場景的交互邏輯。

5. Edge AI 賦能：從本地語意感知到聯邦學習的「空中計算」

當無源物聯網與 2026 年極度下沉的端側 AI (Edge AI) 相碰撞時，無線通信的底層物理規則發生了質的飛躍。由於無源節點的能量極度稀缺（甚至每一微焦耳的能量都要精打細算），它們無法像傳統 Wi-Fi 設備那樣無節制地發送龐大的原始數據流。為此，通訊專家們在 2026 年引入了「語意通信 (Semantic Communications)」與「空中計算 (Over-the-Air Computation, AirComp)」兩大革命性機制。

首先是本地語意感知。傳統的工業震動感測器會將採集到的完整聲波或震動波形 (0 和 1 的位元流) 全部發送給閘道器，這會消耗巨大的射頻能量。而在 2026 年的最新架構中，晶片內建了極低功耗的微型神經網路處理單元 (NPU)。這顆

NPU 會在發送前，先用借來的微弱電能對數據進行「本地思考」，只提取出「有意義的特徵向量 (Tokens)」——例如，它不發送一整段波形，而是只發送一條語意指令：「軸承出現高頻異響，預計 3 小時後故障」。這種「只傳達意圖，不傳遞流水帳」的語意通信，將物理帶寬需求和發送能耗殘暴地縮減了 50 倍以上。

其次是面向多節點協同的空中計算。在構建無人工廠的分佈式 AI 模型時，需要成百上千個邊緣節點共同訓練一個大模型。傳統做法是每個節點排隊發送數據，這在無源網路中會導致嚴重的延遲與能量耗盡。IEEE Communications Society 在 2026 年發佈的最新技術白皮書中詳細披露了 AirComp 的商用進展：利用物理電磁波本身在空氣中「疊加干涉」的原理，數百個感測器在同一微秒內、使用同一頻段，同時發射它們的 AI 權重參數。這些電磁波在空中自然疊加混合，基站的天線接收到的直接就是「加權平均後的物理總和值」。這不僅免去了複雜的通道分配，更將海量節點的 AI 同步延遲壓縮到了幾毫秒之內。

從射頻散射的「環境借電」到空中計算的「電磁波疊加」，2026 年的今天，我們不僅能夠製造出不需要電池的智慧節點，更能讓這些節點以一種仿生的

表 6：2026 年傳統 IoT 數據傳輸 vs. Edge AI 語意通信架構對比

技術維度	傳統物聯網通信架構 (Bit-based)	新一代 Edge AI 語意通信架構 (Semantic/Token-based)	系統價值
數據處理邏輯	「先傳輸，後計算」。邊緣節點只做傻瓜式的數據搬運工，將原始數據傳給雲端。	「先計算，後傳輸」。邊緣 NPU 提取核心意圖或故障特徵，丟棄無用冗餘數據。	大幅降低雲端伺服器的存儲與算力負擔，消滅無效帶寬浪費。
射頻功耗開銷	極高。射頻模組 (RF) 需要長時間開啓以傳輸龐大的原始負載。	極低。發送的数据包極小，射頻模組僅需開啓幾微秒即可完成「快閃傳輸」。	是無源物聯網 (Ambient IoT) 能夠在微弱能量下存活的核心前提。
多節點併發機制	依賴複雜的時分多址 (TDMA) 或避讓機制排隊發送，節點越多越卡頓。	引入 空中計算 (AirComp)，利用電磁波物理疊加原理，多節點同時發射。	在高密度工業感測網路中實現「零排隊」，完美支持聯邦學習。
抗干擾策略	被動重傳。遇到干擾時只能重複發送，導致功耗雪崩。	AI 異構路由感知。微秒級預判干擾，自動將數據分流至最穩定的藍牙或 Wi-Fi 物理通道。	確保移動醫療設備或高速 AGV 在複雜電磁環境下的絕對可靠性。

(資料來源：IEEE 2026 年《6G 與無源物聯網空中計算架構》，及 2026 年 7 月產業技術白皮書整理)

方式與這個世界進行對話。

未來趨勢與終局展望

展望 2026 年下半年至 2030 年的產業週期，全球短距通訊生態將徹底跨越物理指標的數字遊戲，全面迎來三大顛覆性的範式轉移。

1. 通訊底層的重構：從「比特傳輸」全面邁向「語意通訊」

自 1948 年香農發表《通訊的數學理論》以來，全球低功耗無線通信的根本目標就是如何一字不差地將 0 和 1 位元流從發射端複製到接收端。然而，在千億級節點永久在線且能量極度稀缺的未來，這種「無差別、流水帳」式的比特傳輸正在觸碰能效與頻譜效率的物理天花板。

國際電信聯盟 (ITU-R) 在其 2026 年 6 月最新修訂的《IMT-2030 (6G) 網絡架構與泛在連接願景推薦標準》中明確指出：未來的低功耗與短距網路必須實現從「比特 (Bit) 傳輸」向「語意 (Semantic) 通訊」的跨越。語意通訊不再關注數據在物理層的字面重現，而是利用端側微型大模型 (TinyML / NanoLLM)，在發射端直接提取並解調數據背後的核心意圖、物理特徵或特徵向量。例如，智能家居中的語音微模組在捕捉到用戶指令後，不再將完整的音頻波形發送給網關，而是由本地矽片內的 NPU 轉換成一個幾位元組的「意圖 Token」進行快閃廣播。這種由 AI 演算法在射頻基帶層面進行的「極限脫水」，正將未來的物理頻寬需求和射頻射能開銷瘋

狂縮減 10 至 50 倍，讓依靠微弱環境能量存活的無源物聯網 (Ambient IoT) 節點真正具備了執行複雜智算交互的可能。

2. 物理層與演算法的交織：AI 原生射頻終結移動死角

傳統的短距無線晶片 (如 2.4GHz 藍牙或 5GHz Wi-Fi) 在面對複雜的金屬遮罩、障礙物反射或人體遮擋時，只能依賴不確定性的通道退避和被動重傳機制，這引發了通訊斷連、長尾延遲以及功耗的雪崩式上升。

在 2026 年的 MWC 2026 上，高通、聯發科與 IEEE 通訊學會的頂尖學者共同展示了「AI 原生射頻 (Neural RF)」與可編程超材料 (RIS) 的硬體直連融合。這項技術意味著天線物理學正式與微型深度學習網路在硬體晶圓層面實現了異構一體化。未

表 7：未來 3-5 年全球短距離無線連接技術演進趨勢

演進	傳統 / 當前比特管道模式	未來智算終局形態 (2025-2026)	核心技術推動力 (2027-2030)	釋放的終極商業與產業價值 (晶片與製程)
通訊調制	比特驅動 (Bit-based)：追求無差別的數據完整複製，面臨頻寬與幹擾死結。	語意驅動 (Semantic Token-based)：只傳輸本地 AI 提取的核心意圖與特徵向量。	端側邊緣 NPU 下沉至微控制器 (MCU) 基帶與 MAC 底層。	物理頻寬需求驟降 10~50 倍，將每位元組傳輸能耗壓制到極限。
硬體射頻	靜態射頻 (Static RF)：依賴固定天線結構與時分排隊機制，易因遮擋引發雪崩重傳。	AI 原生神經射頻 (Neural RF)：具備空間電磁本能，微秒級預判並主動繞開遮擋。	動態可編程超材料 (RIS) 天線與硬體 PT 仲裁器晶片級集成。	徹底消滅各類短距設備移動中的「訊號盲區」，支撐毫秒級智駕控制。
能效與運維	低功耗有源模式：雖然電池壽命長達 5-10 年，但千億節點下仍面臨更換惡夢。	全域無源化生態 (Ambient IoT)：100% 零電池，依靠光 / 熱 / 射頻電波混合吸能永續生存。	e-peas 等跨動態混合吸能 PMIC 與 瑞薩 SOTB 400nA 漏電阻斷工藝。	衍生出「部署即遺忘」的全新低碳商業模式，100% 契合綠色 ESG 監管。

(資料來源：綜合整理自 ITU-R 2026 年 IMT-2030 技術前瞻、TechInsights 《2026-2030 全球先進半導體與通訊架構戰略預測》)

來的無線晶片將具備電磁學「本能」：它能透過接收到的微弱回波多普勒頻移，在微秒級時間內看懂並畫出周圍空間的物理遮擋地圖。當車主拿著星閃 2.0 或藍牙 7.0 手機在車庫盲區快速移動時，晶片內部的神經網路會在幹擾發生前 10 微秒，主動改變波束成形 (Beamforming) 的方向或動態切換調制解調軌跡，從物理層徹底終結短距網絡的移動死角，實現真正意義上的「零感卡頓」。

3. 物聯網商業模式的終極演進：「全域無源化」驅動「部署即遺忘」生態

當低功耗通信向著極限推進，一場由歐盟全面推行的《2026 數字電池護照法案 (Digital Battery Passport)》與全球綠色供應鏈強監管，正將「徹底淘汰化學電池」從技術

情懷硬性推高為企業生存的法律紅線。這迫使整個物聯網生態加速走向 100% 永久在線、零維護成本的「全域無源化 (Battery-less 基建)」。

這一產業趨勢正催生出物聯網史上最深刻的商業模式變革——「部署即遺忘 (Deploy-and-Forget)」與通感一體化資產服務 (SaaS)。未來的工廠、醫院和零售巨頭在部署資產追蹤或環境傳感網路時，不再需要購買昂貴的、帶電池的硬體設備，而是直接向晶片巨頭或運營商批量採購如同「貼紙」一般的無源射頻反向散射標籤。這些標籤利用空氣中無處不在的 Wi-Fi 廢氣或手機 NFC 借電維持無限生命，設備在出廠貼上的那一刻起即完成了全部的物理部署，全生命週期維護成本 (OPEX) 直接歸零。

未來 3 至 5 年 AI 與去電池

化共同主導的短距離無線連接技術趨勢，將從傳統的「管道模式」演進到未來的「智算終局形態」。

4. 矽片背後的產業未來

正如藍牙技術聯盟 (Bluetooth SIG)、國際星閃聯盟以及各大半導體巨頭在 2026 年中交織出的技術軌跡所昭示的那樣，未來的短距離高精度與低功耗無線連接技術，其終極的尊嚴不再來自於傳輸線路的粗細，而是來自於其能夠為邊緣智算提供多麼精準、多麼綠色、多麼具備安全韌性的空間意識與語意觸覺。

借助各種先進的短距離無線技術，數百億個原本沉默的有形世界資產，正在被優雅地編織進一張永不斷電、零碳排、且具備本地思考能力的仿生電磁神經網絡中。 CTA