經濟部

經濟部工業局108年度

能源密集產業
低碳製程典範案例彙編

半導體業
Semiconductor Industry

INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU,
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS
經濟部工業局

目 錄

一 . 前言 —— 02

二 . 公司簡介及低碳製程典範案例 —— 03

2-1 台積公司 F12B 廠：
成立跨組織碳管理平台 推動節能減碳工作 —— 04

2-2 台積公司 F14B 廠：
持續改善能源績效 打造永續科技服務 —— 12

2-3 聯華電子 Fab8E 廠：
積極落實節能減碳 追求企業永續經營 —— 20

2-4 旺宏晶圓五廠：
以實在為初心 穩定實踐減碳計畫 —— 28

2-5 日月光半導體 K7 廠：
低碳製程產業標竿範例 —— 36

2-6 日月光半導體 K11 廠：
結合 AI 從細節中開創節能效益 —— 44

三 . 結語 —— 52

一．前言

產業執行低碳生產除了節能減碳，自 2015 年到 2018 年，台灣半導體協會成員共計投資 44 億台幣，執行超過 3500 項改善方案，並累計達到年節電 17 億度電，約為當年用電量的 8%，達政府節電要求標準兩倍以上。半導體產業過去推動低碳生產不遺餘力，且產生之成果豐碩，尤其半導體產業配合經濟部工業局推動各項溫室氣體減量計畫，是各產業中最積極投入之一，在推動產業溫室氣體自願減量之努力有目共睹，各廠在推動低碳製程改善中有其獨特之改善技術及累積豐富之技術經驗，因此將半導體業各廠推動製程改善中具減量效益大、創新性、推廣效益等之績優案例，透過典範案例報導方式進行編輯，將各廠之低碳減量技術無私分享給其他廠，亦可彰顯半導體業推動節能減碳之努力。

半導體業低碳製程典範案例彙編依據行業代表性包括 IC 晶圓製造、記憶體製造、IC 封裝、IC 測試等領域，依有關節能減碳得獎事蹟共計篩選 6 家工廠，並針對此 6 家工廠進行採訪及報導，績優案例報導編輯方式以專業文字工作者現場採訪方式進行，利用生動之筆觸撰文以貼近社會大眾，較為專業技術部分以穿插文章方式進行，提供工廠或相關領域之技術人員或學生使用，如此可兼顧及滿足廣大閱讀群眾及半導體業專業人士之需求。

編製之半導體產業低碳製程典範案例彙編，將置於「產業節能減碳資訊網」提供各界瀏覽下載，以進一步宣導推廣及分享成功案例之經驗與模式，提供其他企業借鏡學習，進而發揮計畫資源投入之最大效益。

二．公司簡介及低碳製程典範案例

半導體業低碳製程典範案例彙編篩選工廠別 IC 晶圓製造、記憶體製造、IC 封裝、IC 測試等領域；並交錯篩選工廠近年有關節能減碳得獎之績優廠商，包括自願減量績優廠商、節能標竿獎得主等，減碳量大，具優良推廣效益，為典範之楷模。

共計篩選 6 家工廠，績優案例如下表：

小節	優良事蹟	典範節能技術
2-1 台積公司 F12B 廠	✓ 107 年度自願減量績優廠商 ✓ 105 年節能標竿獎 - 金獎	1. 機台內部一般排氣抽氣最佳化 2. 機台製程熱水供應系統適當關閉之節能效益 3. 不斷電系統 UPS (Uninterruptible Power System)- 程控系統的效能提升
2.2 台積公司 F14B 廠	✓ 107 年度自願減量績優廠商 ✓ 106 年節能標竿獎 - 金獎	1. 化學氣相沉積設備—排氣風量減量 2. 蝕刻製程冷卻水減量 3. 電鍍銅機台超純水減量 4. 業界首創人工智慧冰水系統節能
2.3 聯華電子 Fab8E 廠	✓ 107 年度自願減量績優廠商 ✓ 107 年節能標竿獎 - 銀獎	1. 增設廠內變頻空壓機 2. 不斷電系統 (UPS)- 汰舊換新的效能提升 3. PCW 更換 IE4 節能馬達
2.4 旺宏晶圓五廠	✓ 103 及 105 年度節能標竿獎	1. 冰機添加冷媒活化劑 2. 潔淨室 PHOTO 區 FFU 運轉節能 3.OAC 風管修改整合 4. 機台廢熱再循環 5. 冷卻水塔高效扇葉
2.5 日月光半導體 K7 廠	✓ 107 年度自願減量績優廠商	1. 空壓機廢熱回收再利用 2. 吸附式乾燥機節能改善 3. 無塵室 FFU 機組汰換
2-6 日月光半導體 K11 廠	✓ 105 及 106 年度自願減量績優廠商	1. 操作優化管制 2. 鼓風機廢熱回收 3.3190 水洗機熱回收 4. 空調供應智能化

台積公司 F12B 廠

成立跨組織碳管理平台 推動節能減碳工作

一、工廠簡介

創立於 1987 年的台積公司，是全球最大的專業積體電路製造服務商，使命是作為全球積體電路產業中，長期且值得信賴的技術及產能提供者。自 2001 年起連續 19 年入選道瓊永續指數，也是第一間連續三年成為半導體產業群組 (Industry Group) 領導者的企業。在追求企業成長與突破的同時，台積公司也落實綠色力量的執行，將綠色管理與企業經營融合，針對氣候變遷、能源管理、水管理、廢棄物管理及空氣污染防制等領域，持續擬定計畫執行，讓企業得以與環境共生共榮。

台積公司晶圓 12B 廠位於新竹科學工業園區，廠內的製程技術從 16 奈米、10 奈米，持續演進至目前的 5 奈米製程。於 2012 年建廠時即導入環境管理系統，2013 年取得 ISO14001 環境管理系統驗證，積極推動節能、省水、減廢，以及追求能源、水與其他資源的最佳使用效率，廠區內還設置太陽能板發電系統，產生零碳再生能源供廠內使用。2018 年於停車場完成太陽能板裝置設置，可提供發電量 50.3 萬度，減

少排碳量 26.9 萬公斤，相當於 2.2 萬棵樹一年的碳吸收量。F12B 廠區陸續取得美國綠建築 (LEED) 黃金級認證及內政部台灣綠建築 (EEWH) 證書，在管理系統方面也已取得 ISO 50001 能源管理、ISO14067 碳足跡、ISO14046 水足跡、ISO 14064 溫室氣體等系統之查驗證證書。

F12B 廠區之太陽能板圖片

成立跨組織碳管理平台統籌推動

台積公司在 2016 年成立了「跨組織碳管理平台」，藉此來因應全球氣候變遷議題與台灣的「溫室氣體減量及管理法」，以遵循法規、節能減碳與碳資產管理等三大方向來進行運作。同時，企業環安衛處也積極參與國內多項法規諮詢溝通，除了透過「節能減碳委員會」規劃、執行短中長期的節能目標外，從 2017 年開始，財務單位也進一步評估公司的碳資產財務風險，結合節能減碳目標、先期減量碳權、再生能源選擇來擬定相關中長期方案。

以強化環保為企業執行方針之一的台積公司，一直以來持續致力於綠色廠房的推動、綠色製造及綠色供應鏈的維繫運作，除了追求能源與資源的有效運用外，同時在減廢與污染防治上不遺餘力，並且樂於將業內的環保知識與經驗對外界分享交流，透過產官學界的攜手合作，一起激盪出對應氣候變遷這艱難挑戰的最佳良方。

而在節能減碳委員會的規劃下，台積公司 F12B 廠每個月皆會與工程部、廠務部等部門進行會議討論，從中找出廠內節能減碳的機會點與可能性，同時還會設定各部門年度的節能目標，並按月追蹤核定執行進度與結果，如果有遇到瓶頸，才能夠及時提出，一起集思廣益找出解決方案。在廠內搜尋節能機會點上，主要以下列四項為重點方向：

一、清點盤查全廠的耗能機台，找出長期非必要的能源消耗；二、精進與突破製程技術，降低電力使用率；三、最佳化操作設計，以此提高能源使用效率；四、與機台設備商合作開發新款節能機台，在採購新機台時，也以高效率節能設備為首要考量。在節能減碳委員會的管理運作之下，廠內已執行的節能措施共有 154 件，從 2017 年累積至今，已省下 137 百萬度電。

台積晶圓 12B 廠節能減碳委員會主管周大翔經理

年度	節能案件數	節省能源量 電力（百萬度 / 年）	減碳量 (CO_2e- 公噸 / 年)	年節電率
2016	11	20.99	11,125	1.33%
2017	55	72.63	40,236	2.24%
2018	69	38.15	20,336	1.72%

台積公司 F12B 廠 2016～2018 年節能量與件數統計

2018 年自願減量績優廠商頒獎、（中）F12B 廠綠色採購績優獎狀、（右）台積公司 F12B 廠於 2018 年獲得綠色採購及綠色消費推廣績優單位表揚之現場頒獎照。

另外，從 2015 年開始，以 ISO 50001 能源管理系統為標準，由顧問公司協助 F12B 廠進行能源管理系統建置，並透過能源績效的持續改善，獲得了經濟部能源局 2016 年節能標竿金獎，以及經濟部工業局 2018 年度自願減量績優廠商。

二、低碳製程技術應用案例

從細微處調整來創造大效益
機台內部一般排氣抽氣最佳化

當節能減碳的觀念融入工作計畫後，廠內的人員便開始對日常的操作環境更加留意與觀察，並且透過對機台的了解去搜尋可能的節能機會。由於離子植入機內部配置許多電源供應器及控制系統、運算系統、馬達、電腦等，在正常運作狀態下會持續產生熱，因此需要透過大量一般排氣 (General Exhaust, 簡稱 GEX) 來排風將機台內部的熱氣排掉，以避免裝置發生過熱而損壞。

而機台內部 GEX 抽氣最佳化專案的成立，則是希望藉由調整 GEX 風壓來達到節能目的，雖然僅只是細微的調整，卻能夠大幅提升節能效益約 580,960 度電 / 年。

不過，在進行 GEX 風壓調整作業時，需要特別留意何時會觸發機台本身設定的排風壓力保護裝置，因為一旦觸發此裝置，機台會發生真空跳脫、進而造成產品報廢的可能。所以，在不影響機台正常運作的情況下，除了必須事先了解其改善效益外，也需要掌握好 GEX 排風系統的風險與危害管控，確實避免後續機台內部因溫度過高而提升零件損壞率，進而造成機台停擺、產能效益降低的狀況發生。

也因為電源供應器都配備有排熱風扇與過熱感應裝置 (over heater sensor)，所以遇到過熱發生時，便會自動啟動保護裝置，立即停止機台的運作以避免危險發生，所以如果遇到保護裝置被啟動，務必要全面性的檢查過機台，確認正常後才重新上線運作。

GEX 安裝示意圖

計畫實際執行過程

廠內負責此專案之余承軒工程師在執行的過程中，透過調整 GEX 的風壓實驗結果，確認了廠商建議的安全壓力值之後，便將風管調節閥的壓力值從 300Pa 逐漸緩降至 150Pa，搭配風速的檢測，明顯得出風速平均減少約 40% 以上，還大幅降低廠務端排氣壓縮機的負荷量 (GEX Compressor Loading)。再進一步使用公式換算，發現此舉也大幅提升了節能效益，年度節省能源約 580,960 度電。

提及整體節能專案的推動心得，負責的余承軒工程師說：「原來在專心生產之餘，只要願意花費心思去了解，就可以找到節能的機會點，不僅可以省成本也可以為節能減碳盡一份心力。」

	前值(Align 300pa)	減量後(Align 150pa)
Varian GEX (8”)		

管徑	管數	取樣	調整前平均風速(m/s)	調整後平均風速(m/s)	風速差(m/s)	取樣	調整前平均風速(m/s)	調整後平均風速(m/s)	風速差(m/s)	截面積(m^2)	Saving (kwh/year)	轉換係數
89		1	1.47	0.86	0.61	5	1.62	0.53	1.09	0.03243	39689.43	0.0049
		2	1.67	0.56	1.11	6	1.65	0.45	1.2			
		3	1.95	1.03	0.92	7	1.34	0.7	0.64			
		4	1.57	0.69	0.88	8	1.64	0.8	0.84			
						9	1.24	0.61	0.63			

GEX flow 調整前後風速差異

圖左 :GEX flow 調整筏位置
圖右 : 負責此專案之余承軒工程師協助介紹此專案的推動過程。

讓製程需求與能耗成對等

機台製程熱水供應系統適當關閉之節能效益

半導體的製程時常會應用到蝕刻的技術，主要透過黃光製程來定義出想要的圖形，再利用蝕刻來移除不需要的材料，並留下想要的部分，而所謂蝕刻，即是指以酸性、腐蝕性或有研磨效用的物質在晶圓表面創作之技術。在半導體上，蝕刻又分為乾式與濕式蝕刻兩種，會依照所需蝕刻之材料選用其所需製程，其中，如欲增進濕式蝕刻速率有兩種直接方式：濃度和溫度的改變。

此專案便著重於半導體用熱水加熱機之功耗減量。原先由廠務供給半導體製程所用之超純水，會先流經石英加熱管，由熱交換器間接加熱超純水後，再供給製程混合用水，但因供水量需要在短時間內升溫到製程所需的設定溫度，這個過程產生的功耗較大。如果以一台熱水機產生的平均功耗為 31.6kWh 來計算，運轉 1 年約需耗費 277,191 kWh，所以若能降低此功耗量，就能創造較高的能耗減量貢獻。

管路簡圖

熱水機外觀正視圖

乾式 V.S 濕式蝕刻的差異說明

「乾式蝕刻」透過電漿的解離，形成離子與物質表面進行化學反應或是物理轟擊，屬於非等向性的蝕刻。「濕式蝕刻」利用化學的液體與物質進行化學反應。屬於等向性的蝕刻。

圖左：濕蝕刻（等向性）—薄膜遭受每一個方向均等量的蝕刻所致
圖右：乾蝕刻（非等向性）—薄膜遭受固定方向，尤其是垂直方向的蝕刻所造成的結果。

耗能減量數據分析

廠內為了因應製程的複雜度跟需求，原始機台配備兩組同型號的熱超純水供應系統 (Hot De-Ion Water Unit, 簡稱 HDIW)，可按需求兩台會共通應用到，但在經過測試之後，確認實際只需要一台熱水機即可運作，另一台則形同無供應的無謂耗能，因此創造了可能的節能機會點。負責此專案的林桓永工程師與王偉同工程師，便試圖從中找尋能夠同時解決製程需求跟能耗減量 的相關評估，最後在 2016 年評估統計可關閉約 12 台熱水供應系統，總估計能耗約為 3,326 MWh，經由細部計算至 2019 年，總能耗可降至 522.4 MWhr，降低能耗 85%。除此之外，設備商為了因應先進製程的快速演進，也開始改良提供更新版本的熱水機，若以 100% 輸出功率來對照，可比此專案的熱水機功耗再降 27%，目前已在新廠評估中，勢必在未來能夠更加大幅提升能耗的使用效率。

提及執行此專案的評估過程與最後產出效益，林桓永工程師（圖左）與王偉同工程師（圖右）都從專案執行的過程中了解到永續發展的重要性，覺得很有意義。

能源消耗趨勢圖

導入節能模式降低能耗

不斷電系統 UPS- 程控系統的效能提升 (Uninterruptible Power System)

半導體產業自發展以來，製程就持續以摩爾定律在成長，即半導體產業每 18 至 24 個月都會有一次突破性進展，加上近年來產品元件進入奈米等級，對於製造環境的要求日愈趨嚴格，讓相關設備在生產過程中需要耗用更高電力來達到其需求水平。但由於台電的電力供應系統供幅過廣，當有不可預期的事故發生而導致電力中斷或電壓下降時，電力供應品質即受影響。所以為了防範於未然，避免電力系統跳電、突波、高頻干擾、電壓浮動或不預警停電發生，導致資料流失或產品損壞等高額成本損耗，廠內所設置的不斷電系統 (Uninterruptible Power System, 簡稱 UPS) 可以提供一個高品質的穩定用電環境。

不斷電系統一般以在線模式 (On-line mode) 來提供穩定的電力品質，而在線模式則是透過交流壓電 (Rectifier AC) - 直流壓電 (DC) 與 DC 轉 AC 來運作，其間便會造成相當大的能源損耗，當廠內大量使用不斷電系統來維持供電品質時，其能耗可說十分驚人。因此，此專案便是針對 UPS 不斷電系統導入 PS 節能模式 (ESS mode)，當 UPS 在 ESS 節能模式時，與之前相較之在線模式約有 4-10% 效率差異，等於平均有 6% 之節能空間。

UPS 供電示意圖

UPS 各模式效率 vs 負載率曲線圖

F12B 廠區的 UPS 總計有 340 台，在導入 UPS 節能模式之後，經電表實際驗證 UPS 效率與負載率曲線迴歸分析，決定係數 R^2>0.8 以上，可以看到與原廠所提供之數據差異不大，經一整年度負載率與效率的驗證可達 31.8 百萬度電之節能效益。

實際 UPS 各模式效率 vs 負載率曲線圖

導入前置作業與後續觀察

台積公司在正式導入此 UPS 節能模式之前，派了一組廠務團隊至 UPS 美國原廠進行節能模式 116 項驗證作業，確認全部過關、並符合 SEMI-F47 / IEC 61000-4-34 規範後，才逐一針對下游機台的負載重要性，階段性的將 UPS 切換至節能模式。自 2016 年導入至今，即使曾經歷台電降壓的情況，機台仍不受影響正常運作。

節能模式 116 項驗證並合乎
EMI-F47 – IEC 61000-4-34 規範

節能模式 116 項驗證並合乎
SEMI-F47 – IEC 61000-4-34 規範

回顧此專案的執行過程，負責執行的鍾易璋工程師與曾俊傑副理分享道：「廠務節能專案的執行，需要跨部門的通力合作，雖然中間有過爭執與討論，但透過溝通與協調，後來順利克服並完成，最終獲獎的瞬間都化為甜美的果實，很開心可以成為節能專案推動的一員。」

鍾易璋工程師 (左), 曾俊傑副理 (右)

台積公司晶圓 14B 廠廠房外觀

台積公司晶圓 14B 廠

持續改善能源績效 打造永續科技服務

一、工廠簡介

創立 31 年，從數位時代演進至智慧時代，台積公司持續以嶄新的商業模式引領積體電路設計與產品應用創新，讓積體電路遍布於生活各面向中，為人類的生活、工作及娛樂方式帶來前所未有的改變，並與客戶協力合作，驅動科技大幅演進，引領城市、醫療、食衣住行育樂等邁進智慧化發展，秉持著「誠信正直、強化環保、關懷弱勢」三大使命，讓科技服務人類的同時，也全力實踐企業的公民責任，讓環境得以永續，社會得以前進。

坐落於台南科學工業園區的台積公司晶圓 14B 廠，於 2013 年建廠，占地 15.5 萬平方公尺，製程技術由 20 奈米、16 奈米，一路推進至今 12 奈米製程，每月可提供超過 10 萬片 12 吋晶圓產能。廠區陸續取得美國綠建築 (LEED) 黃金級認證及內政部台灣綠建築 (EEWH) 證書，相關管理系統也已取得 ISO 50001 能源管理、ISO14067 碳足跡、ISO14046 水足跡、ISO 14064 溫室氣體、ISO14001 環境管理等系統之查驗證證書。

認購綠電 全國第一

對於台積公司來說，企業的業務擴張也相對會對社會與環境帶來衝擊，因此在實現企業永續的同時，也期許自身得以持續追求「淨正向成長 (Net Positive)」極大化，力求降低負向影響。透過高階主管的支持，以 台積公司核心能力為基礎來擬定相關永續方案，再由中階主管組織推動，實行跨組織、跨單位的合作，並於每一季定期召開企業社會責任委員會會議，透過跨部門的溝通協調來整合資源，同步督導各專案執行進度與成效，確保每一項專案都確實進行中，同時以實際行動響應政府再生能源政策，於 2015 年第一次認購 1 億度綠色電力，約減少碳排放量 5,290 萬公斤，相當於 529 萬棵樹一年的碳吸收量。而從 2015 年到 2017 年為止，台積公司已經累計認購了 4 億度綠色電力，是台灣連續三年認購最多綠電的公司，占總綠電認購量 64.4%。

台積公司晶圓 F14B 廠 2016~2018 年節能量與件數統計

年度	節能案件數	節省能源量 電力（百萬度 / 年）	減碳量 (CO_2e- 公噸 / 年)	年節電率
2016	24	10	5,012	1.25%
2017	109	121	64,008	2.25%
2018	129	194	102,128	1.07%

針對氣候變遷與能源管理上，台積公司於 2018 年達成以下目標

策略	成果
推動低碳製造	● 單位產品溫室氣體排放量減少 17%（以 2010 年為基準年） 目標：15% ● 單位產品含氟溫室氣體排放量減少 60%（以 2010 年為基準年） 目標：55% ● 含氟溫室氣體總排放量減少 10%（以 2010 年為基準年） 目標：10%
使用再生能源	● 購買約 8.8 億度再生能源、憑證及碳權，海外據點全部使用再生能源 ● 台灣廠區簽訂 90MW（百萬瓦）再生能源長期購買合約 目標：持續採購再生能源
提升能源使用效率	● 節能目標 3 億度，累積節能 9 億度 目標：節能目標 2 億度，累積節能 8 億度
強化氣候韌性	● 氣候災害造成生產中斷 0 天　目標：0 天

● 超標 ● 達標　資料來源：台積公司 2018 企業社會責任報告書

台積公司亦積極回應聯合國永續發展目標 (SDGs)，設定了於 2025 年前應達成的永續發展目標，摘列與環保相關的永續發展目標如下：

發展項目	目標
淨水與衛生	● 改善放流水品質 目標：排放廢水優於放流水標準 ● 提高都市再生水使用量 目標：再生水取代自來水達五萬噸 / 天 ● 全氟辛酸 (PFOA) 相關物質取代 目標：100% 符合產品無有害物質相關法規及客戶規範
可負擔能源	● 以更具能源效率的方式生產產品 目標：單位產品用電量 (度 / 八吋晶圓當量—光罩數) 減少 12%(以 2010 年為基準) 註 ● 與供應商合作開發節能設備 目標：新增節能措施累積節電量總量 28 億度 ● 與供應商合作推動節電措施 目標：輔導 30 個供應商廠區執行節電，累積節電量須高於 2018 年用電量的 2% ● 使用再生能源 目標：持續採購再生能源，逐年達 3 奈米新廠能源占比 20%，並依照國內再生能源建置情況，增加再生能源購買量。
氣候行動	● 落實氣候風險調適策略 目標 1：單位產品溫室氣體排放量較 2010 年減少 18%。 目標 2：因氣候災害造成生產中斷 0 天。 ● 提升供應鏈氣候變遷風險韌性 目標：舉辦供應商緊急應變觀摩，累積 200 家供應商參與 (以 2016 年為基準年) ● 環保志工 目標：保育環境相關志工每年至少 1,000 人次
責任消費與生產	● 推動高事業廢棄處產出減量 目標：單位晶圓委外廢棄物處理量≦ 0.30 公斤 ／ 八吋晶圓當量－光罩數 ● 推動廠區循環經濟 目標：與原物料廠商開發電子級物料回台積公司循環使用

註：2020 年目標

台積公司晶圓 14B 廠自廠區成立即導入環境管理系統，於 2014 年取得 ISO14001 環境管理系統證書，於 2016 年成立廠區節能減碳委員會，每月皆會召開會議來設定廠內新的節能減碳機會點與達成目標，並按月檢討追蹤執行進度，在廠長蘇斌嘉的帶領以及廠區節能減碳委員會成員的努力下，已執行超過 200 項節能措施，自 2016 年至今，累計節省 185 百萬度電。

自 2015 年開始，晶圓 14B 廠開始建置能源管理系統，由顧問公司依 ISO 50001：2011 能源管理系統標準進行協助，廠內透過持續改善能源績效，連續五年通過 SGS 驗證，並獲得能源局 2017 年節能標竿金獎，以及工業局 2018 年度自願減量績優廠商，節能成效十分亮麗。

圖左：台積晶圓 14B 廠廠長蘇斌嘉
圖右：廠區節能減碳委員會成員李耕同工程師（左）、賴怡利工程師（右）

二、低碳製程技術應用案例

從遠程來檢視節能機會點
・化學氣相沉積設備—排氣風量減量

半導體業中的化學氣相沉積製程需要加熱晶圓，該設備預熱腔體來自於兩個熱源：一、腔體上方的紫外線燈 (UV lamp)，以熱輻射方式加熱，特性為高耗能但加熱速度快；二、乘載晶圓的加熱器 (Heater)，以熱傳導方式加熱，特性為低耗能，加熱時間稍長。

因為預熱腔體並非製程中的關鍵階段，僅採用加熱時間稍長、但耗能傳熱效率較高的接觸式傳導加熱器，即可達到製程要求，此專案便是以製程精進為目標導向，但又可省去高耗能的紫外線燈光加熱法，連帶降低相關排氣風量。此專案執行後，於 2018 年節省用電量約 0.4 M kWh，約當減碳量 200 公噸 CO_2e。

化學氣相沉積製程的設備模組圖

紫外線燈 (UV lamp) 加熱器 (Heater) 加熱方法對照表

加熱模組	UVLamp	Heater
功率	高（耗能）	低（節能）
加熱方式例圖		
熱傳方式	隔空加熱	接觸導熱
	熱輻射	熱傳導
單位耗能熱傳效率	低	高 勝

由於半導體製程演進快速，技術改良或精簡流程都是創造節能的機會點，負責該專案的工程師便建議，以年度為單位去檢視節能機會點，這樣可以從較高制高點去評估技術與兼顧永續性，達成追求企業經營與環境保護的雙贏結果。

仔細觀察詳細記錄 從差異中優化製程

• 蝕刻製程冷卻水減量

廠內在盤查製程冷卻水 (Process Cooling Water, PCW) 的使用量時，發現蝕刻機台為 PCW 的大宗用戶，由於蝕刻製程機台在運轉的過程中會產生許多熱能，為了要保持製程的溫度，就需要 PCW 來進行熱交換，將多餘的熱能帶走，以此降低熱損耗，確保整體生產安全性與避免縮短機台零件使用年限。

但是，PCW 的流量在到達一定的使用量後，即使提升流量也無法提高熱交換的成效，經由廠內實際驗證後發現，PCW 流量到達一定量以上時，循環回水的溫度就會趨於穩定，而且會保持在恆溫狀態，因此激發了廠內工程師研究出此節能專案。

在此節能專案運作前，工程師先在 PCW 處於全開狀態下記錄循環水溫度，並同步確認主機台與附屬設備的相關參數，確保生產質量與安全性後，便利用機台定期保養的時段，透過反覆實驗來找出機台溫度與 PCW 流量的最佳設定值，同時也符合原廠所建議的安全值，藉此降低 PCW 流量來達到節能的成果。

此節能專案的特點在於無需改變機台的原始構造設計，也不需要另外加裝其他附屬設備，衍生出多餘能耗，而是利用驗證值快速水平展開於同類型機台，每台機台可減少製程冷卻水量約 206LPM，每年的節電量約 1.69 M kWh，相當於減碳量 128 公噸 CO_2e。

不過，提到相關機台最佳設定值的驗證時，負責此專案的工程師解釋道，「PCW 會影響機台散熱及生產過程的安全問題，所以必須反覆驗證流量減少對溫度的相關係數，確保不影響生產品質與安全。另外，在決定 PCW 減量時，還需要考慮水質，因為流量減低可能會遇到增加水垢堆積、離子濃度變化以及酸鹼值等因素所造成的冷卻能力衰減，而水流量與水質監控是保持散熱能力穩定的確保因子，這過程需要與廠務配合進行 PCW 系統水質監控，確保不會隨時間影響散熱功率。」

常見預防水垢之方法，例如：

A. 若散熱系統為開放式水塔，建議改為密閉式水塔。

B. 若散熱系統為板式熱交換器，開放式膨脹水箱是管路系統中有可能與空氣接觸之位置，建議可改為密閉式膨脹水箱。

C. 在管路系統中，新增水雜質過濾器、汽水分離器、及微氣泡處理器。

節能專案之所以能順利推動，是工程師先在檢視過程中發現 PCW 的來源端與管路配置之間，每一台都存在有些微差異，因此在確定蒐集與驗證的過程中，要先仔細的觀察並做好紀錄，才能在最後展開時，讓各機台能夠以最佳的結果標準對齊運作，確保機台之間沒有機差，才能達到最高標生產目的。

PCW flow Reduction 構想示意圖

聰明降低水資源浪費
・電鍍銅機台超純水減量

在電鍍銅的製程中，主要會以硫酸銅 ($CuSO_4$) 為電解液，在晶圓上電鍍銅金屬層，但由於 $CuSO_4$ 管路內容易有結晶生成，需要定期使用超純水 (Ultra-Pure Water, UPW) 來清洗管路，以確保管路清潔。

機台原先為了避免超純水因為長期不流動而有細菌滋生，設定成為持續供水並直接排放的狀態，以此保持超純水持續流動，但這過程等於在無形中浪費了大量的水資源。廠內工程師便開始進行此製程的相關實驗，最後發現只要在使用前讓水預流一小時，就可達到管路清潔的目的，為管路去菌，維持 UPW 的潔淨度。

所以廠內後來將設定改為平時關閉水源閥，只有在需要清潔 $CuSO_4$ 管路前才把水閥打開，此舉既可減少水資源浪費，還可降低製造 UPW 所產生的能源消耗，每年可節電 2.52 M kWh，約當減碳量 1,337 公噸 CO_2e。

詢問此專案推行的注意事項時，工程師說：「當閥件關閉時，管路內會有一段水處於不流動狀態，就會容易造成汙染，建議使用前要先將前端靜置過久的 UPW 排放掉，才能確保水質的潔淨度。」

UPW 管路閥件關閉前後示意圖

結合大數據分析 開發全新控制系統
・業界首創人工智慧冰水系統節能

冰水系統在半導體產業廠房中，屬於非常重要且關鍵的設備，因為廠內需要相當龐大的冰水用量來維持無塵室內的恆溫恆濕需求，還有帶走生產機台所產生的熱量，而冰水系統即是在製造及供應這些冰水。組成此系統之設備主要包括冰水主機

(Chiller)、冰水泵(Chilled Water Pump, CHP)、冷卻水泵(Cooling Water Pump, CWP)以及冷卻水塔(Cooling Tower, CT)，總用電量占全廠區約 20%，耗電量相當高，這也是為什麼半導體產業在尋求節能減碳的機會點時，都會力求從冰水系統的節能控制方面著手，但如何能讓冰水系統裡的各運轉設備以最佳效率點(最省能)運作，目前仍是業界努力的目標。

台積公司應用大數據分析，收集了五十萬筆與外氣、空調、製程冷卻水與散熱排氣相關的運轉數據，再結合冰水主機的莫里爾曲線及冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔的性能曲線，最後以迴歸分析方式開發出業界首創的冰水系統最佳化節能控制程式。

此節能控制程式能夠依照不同的冰水溫度、冷卻水溫差與冷卻水溫度

自動最佳化控制程式示意圖

自動運算總耗電量等，隨著不同的外氣狀況與現場負載的即時變動下，自動反映並立即修正出最佳設定溫度。冰水主機及附屬設備便會依據此溫度，設定運轉在最佳節能控制點上，其節能效益可達 8~17%。若與業界一般控制方式相對照，此節能效率可成功提升 5~12%，而此節能專案的總投資金額約 174 萬元，每年可節能的用電量約 32 M kWh，相當於減碳量 17,888 公噸 CO_2e。

一般控制方式與台積電研發方式節能比較

聯華電子股份有限公司 Fab8E 廠廠區大門

聯華電子 Fab8E 廠

積極落實節能減碳 追求企業永續經營

一、工廠簡介

聯華電子股份有限公司（簡稱聯電）成立於 1980 年，為國際頂尖晶圓專工公司，服務項目包含先進製程、晶圓製造，以及生產各項主要應用產品的 IC 晶片，透過提供完整解決方案，讓晶片設計公司得以運用尖端製程的優勢與特殊製程的技術，協助客戶端的產品在全球市場中脫穎而出，占得先機。

位於新竹科學工業園區三期用地的 Fab8E 廠，於 2000 年正式啟用，以生產 8 吋晶圓為主，優異的製程技術囊括於電子工業的所有應用領域中，包含銅導線技術、低介電質阻絕層、嵌入式記憶體、混合訊號及射頻元件製程。

領先業界頒布聯電氣候變遷政策

在企業的永續發展上，聯電以「創造以人為本、與環境共生、與社會共榮的全球性友善生態新價值」為願景，持續發展綠色創新、致力成為綠色晶圓專工生產，已連續 12 年列名道瓊永續性指數（Dow Jones Sustainability Indexes, DJSI）之「世界指數 (DJSI-World)」，特別是 2019 年在「環境面」表現優異，獲得台灣晶圓專工業最高分，為該國際評比機構中、全球半導體業列名六家之一。

除此之外，聯電也同步協助客戶應對永續發展所帶來的挑戰， 關於近年來全球氣候快速變遷所可能帶來的影響與衝擊，聯電則參考了多方單位的報告數據，建立自己的氣候變遷風險評估工具，並領先業界，於 2010 年即頒布「聯電氣候變遷政策」，同步搭配「聯電低碳承諾」，作為推動減碳計畫的指標與方針。

因此，在推動溫室氣體減量上，聯電總共劃分了三階段來進行：第一階段以含氟溫室氣體（FCs）為減量目標，經由工作小組的成立，統籌規劃改善與相關控制措施。第二階段為擴大專責單位，結合永續委員會的運作，以系統化的手法管理溫室氣體減量的目標與達成績效。第三階段則是按照氣候變遷政策，於眼下全面推行。

聯電面對氣候變遷的挑戰與機會說明，透過參考「政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）」發表的「第五次氣候變遷評估報告（Fifth Assessment Report, AR5）」、政府降尺度模擬報告鑑別氣候變遷導致潛在物理危害項目來蒐集模擬情境，再依照 ISO 14090 、英國 UKCIP 氣候變遷風險評估程序（UK Climate Impact Programme）等來建立評估工具，再結合兩者完成風險評估，進而發展出聯電氣候變遷風險評估工具。

聯電訂立自 2011 年至 2020 年之短中長期目標規劃與達成情形

基準年	實施年份	計畫名稱	達成情形
2010	2011-2012	減碳 333 計畫（已達成）	減少 FCs 氣體單位產品排放量 39% 及減少用電量 3%。
2010	2013-2015	369+ 能資源生產力提升計畫（已達成）	用電量累積降低 5.57%、用水量累積降低 11.31%、廢棄物產生量累積降低 11.59%、含氟溫室氣體單位排放量較基準年 (2010 年）減低 36.9%。
2015	2016-2020	Green 2020 計畫（進行中）	目標：單位產品節水、省電及減廢各 10%，詳註 1。

註 1：Green 2020 減量計畫請參考 http://www.umc.com/chinese/news/2015/20150420.asp

資料提供：聯電 Fab8E 廠

Fab8E 廠已經施行節能減碳政策多年，由於原廠房最初並沒有相關節能系統的設計，因而在近幾年開始持續導入各種改善措施，像是擴充生產系統、以高效能考量來重新設計廠房設施，或是以低能耗來評估廠內架構系統，追求同步在符合經濟效益的情況下，維持高良效的產出，也達到縮減溫室排放氣體的比例。也就是這種認真投入，讓 Fab8E 廠自 2013 年即獲得清潔生產評估系統合格證書（於 2016 年再次通過審查，目前合格證書有效期限至 2019 年 11 月。）2016 ～ 2018 年連三年獲得企業環保獎，並於 2016 年獲得經濟部工業局頒發「產業自願性溫室氣體排放減量績優廠商」與「產業溫室氣體自願減量績優廠商暨減量技術創新獎」。

提到內部的推動，Fab8E 資深廠長陳盈志說：「除了 KPI 績效指標的設定與達標外，我們在廠內都會鼓勵同仁嘗試綠能創新，協助他們從中建立成就感，並且獎勵個人績效。公司也會辦理相關競賽像是綠廠獎、綠創獎等，激勵大家一起努力。除此之外，廠內也會按 ISO14001 的宗旨與架構，每年持續督察各項計畫推動的成效。」

107 年經濟部節約能源表揚大會－由聯電 Fab8E 陳舜政處長領獎

聯電 Fab8E 廠 2016 年～ 2018 年溫室氣體減量實績彙總

年度	節能案件數	節省能源量 (全年) 電力 (kWh/ 年)	CO_2 減量 (Ton CO_2e/ 年)	年節電率
2016	15	6,901,433	3,823	4.4%
2017	17	8,485,536	4,701	5.4%
2018	10	3,542,975	1,963	2.2%

數據提供：聯電 Fab8E 廠

二、低碳製程技術應用案例

透過實際評估 從不足中發現機會
• 增設廠內變頻空壓機

這項專案的啟動，主要是經濟部於 104 年公告實施電子業節約能源及使用能源效率規定，對於負載率小於百分之八十空壓機，需實施變頻控制或其他由能源用戶提出佐證可達成節能效益之措施，聯電在進行評估之後，先於 104 年進行實廠 demo 效益後，陸續以水平展開方式推廣至其他廠。

對此，高級工程師郭品辰介紹到，原先定頻空壓機 (機型 ZR 250) 的流量固定，主要因應目標來調整壓力，但因為機器在卸載時馬達仍舊在運作、會持續消耗 1/3 電力，如果廠內空壓機可以在滿載的情況下運作，就能降低無謂的耗電量；而變頻機 (ZR 250 VSD) 則可依照不同流量 (scmm) 改變馬達轉數 (rpm)，出口壓力穩定，可大幅減少耗電量。

聯電 Fab8E 資深廠長接受訪談，介紹廠內相關減碳成效

高級工程師郭品辰於現場進行此專案之簡報

(左)ZR250 定頻機與 (右)ZR250VSD 變頻機的性能曲線比較圖

由於 Fab8E 廠內原本總共配置有 5 台定頻空壓機，其中 2 台滿載運轉、1 台調控 CDA 系統壓力，因而只針對其中一台改為變頻機，透過變頻機調節 CDA 系統壓力，達到壓差變小的成果，藉此達到節能的效益。提到導入變頻空壓機前需注意的事項，高級工程師郭品辰提到：「這部分需要請專業人員進行評估，依各廠負載需求選擇適當規格的變頻空壓機，才能達到運轉節能的最大效益。」

Fab8E 廠安裝後的變頻空壓機

節能成效與回收年效估算

1. 投資金額：約 370 萬元 / 年
2. 年度節省電費：158 萬 / 年
3. 節省電量：約 686,565kWh/ 年
4. 減碳量：366 公噸 CO_2/ 年
5. 預估回收年限：約 2.3 年
6. CDA 變頻節能 (2018)- 節電率：0.44%

(電力係數 0.533kg-CO_2 e/ kWh) 以經濟部能源局 107 年公告電力排放係數 0.521kg-CO_2 e/ kWh 計)

詳細規劃 講求高效率完成新舊汰換交接

• 不斷電系統 (UPS)- 汰舊換新的效能提升

不斷電系統 (Uninterrupted Power System, UPS) 在工廠廠務中扮演著重要的角色，主要負責供應重要的電力負載，在電網有降電或停電的情況發生時，能快速切換不斷電電源供應 (<4 微秒)，確保生產線運作穩定順暢。

而此專案的成立背景，即是廠內的機組已達汰換年限 (15 年)，因而計畫自 2014 年開始進行汰換作業，導入配備有節能運轉模式的高效能機組，預計至 2022 年完成，施行至今已完成 80%。汰換 UPS 除了提升效率減少耗能外，還能同時降低噪音及廢熱，讓整體作業環境變得更好。因本廠既設 UPS 系統的供電架構在執行系統汰換時，將有 UPS 下游 6~8 小時的無電狀態，對下游設備復機成本高的用電負載會造成很大的衝擊，包括復機人力、Parts、時間、產能等消耗與損失。因而汰換作業評估，必須充分配合工廠產能規劃與產線復機能力，要進行密切的工程協調，如等到年底歲休停產時段才能進行汰換作業，並限時於歲修時段完成汰換任務；或是進行相關負載改接與臨時電作業…等配套工程與前置作業，最終目標使汰換作業對產線的影響降至最低，達到廠務系統如新和設備產能穩定的雙贏目的。UPS 用電負載可能自開始運作到停機汰換的時間中，從來都沒停機過，在此次斷電汰換之後，負載設備相關機組都有可能會有損壞的情況發生，這些都將列入此次專案的成本消耗之中。

負責此專案執行之主任工程師劉欣河詳細講解不斷電系統之相關導入細節。

UPS 新舊機型效能比較表：UPS 汰換節能 (2014~2018)- > 節電率 3.10%

技術指標	Power 9315	Delta NT	Eaton 9395
輸出功因	0.9	0.8	0.9
ECO mode	NA	V	V
ECO mode 切換時間	NA	4 ms	2 ms
效率 on-line	90~91%	93.0~94.0%	94.3~94.4%
效率 ECO	NA	98.5%	99.0%
效率提升	--	7~9%	

節能型 UPS 效益提升

提到此汰換專案的前置細節時，廠務暨擴建工程部主任工程師龍文政說：「因為需要將斷電狀況降到最低，所以要注意與聯繫的細節非常多，在準備期需要仔細的規劃，才能讓汰換作業一次到位。其中像是汰換工程步驟與風險分析等，都是事先要清楚規劃完成的。」

節能成效與回收年效估算

1. 汰換機台總數：25 台
2. 汰換計畫：2014 ~ 2022 (目前達成率 80%，20/25)
3. 投資金額：約 9010 萬元。
4. 年度節電量：約 4737058 kWh (UPS 為全天候運轉)。
5. 年度節能績效：約 1090 萬元。
6. 年度減碳量：2624 公噸 CO_2
7. 預估回收年限：約 8.27 年

(電力係數 0.533kg-CO_2 e/ kWh) 以經濟部能源局 107 年公告電力排放係數 0.521kg-CO_2 e/ kWh 計)

UPS 汰換的工程紀錄

馬達更換前

馬達更換後

提升高耗能設備的節能等級

• PCW 更換 IE4 節能馬達

原先廠內的 PCW 系統 (製程冷卻水) 屬於高耗能設備，因而將廠內舊有的屬 IE1(Standard Efficiency) 能效等級的馬達汰換成為節能效果優異的 IE4(Super Premium Efficiency)，此更換工程分別於兩間廠房內進行，總共安裝於 10 套系統上，將舊有能效從 93% 提升到 95.8%。

提到此專案之導入與執行的注意事項，主任工程師馮志斌提到，由於 2018 年之前並未架設電表，所以建議施工前先將多功能電表架設完成，並同時收取紀錄值，而在更換馬達時，也應逐一更換並同步收取紀錄值。」廠務暨擴建工程處經理謝文珍則在額外補充說：「此更換專案還要注意馬達機座的規格，建議使用國際規格的，之後維修更換都將更為方便。」

負責此專案執行之主任工程師馮志斌介紹馬達工程更換前後的效益變動。

PCW 更換 IE4 節能馬達之節能數據：PCW IE4 馬達節能 (2018)-> 節電率 0.31%

廠別	工程花費 (元)	節省電費 (元 / 年)	減碳量 (kg CO_2/ 年)	ROI(年)
FAB2	1,800,000	662,869	159,665	2.73
FAB2A	1,200,000	435,197	104,826	
總計	3,000,000	1,098,066	264,491	

數據來源：聯電 Fab8E 廠

三、創造正向循環 永續推動經營

談及廠內在推動節能減碳作業時曾遇到的挑戰，資深廠長陳盈志說：「資源配置很重要，其中又包含人力與資金的運用，該如何把效率高的專案與同仁的創新做結合，進而去創造優異的投報率，提前回收資金，讓公司長官願意支持我們去做這些事，從中創造出正向循環，再把成功的案例推動到其他廠。這環環相扣的過程，每一個環節都很重要，也是我們要去克服的地方。」

在 Fab8E 廠，廠內每天都在改善製程，還固定進行雙週會議，針對節能議題與主管報告討論，若有合適可以推動的案件，即會再向上呈報爭取預算；另外也會連結他廠，經由節能委員會來與外界交流新的技術與想法對於未來的展望，資深廠長陳盈志提到，希望政府單位可以針對不同的目標設定管制的合理化標準，如此企業在建立制度時會運作得更為順利；同時也期望能夠促進如仿生節能技術等新技術的發展與分享，讓新技術得以擴展，各家力量得以集結，節能減碳能夠持續推動下去。

旺宏晶圓五廠簡潔的廠房外觀設計

旺宏晶圓五廠

以實在為初心 穩定實踐減碳計畫

一、工廠簡介

1989 年創立於新竹科學園區之旺宏電子，為全球非揮發性記憶體整合元件領導廠商，提供多元規格與容量的 ROM 唯讀記憶體、NOR 型快閃記憶體以及 NAND 型快閃記憶體解決方案，並將其「實在」的經營理念從內部管理一路落實到企業的國際化發展目標，除了不斷提升生產製造能力，與世界級大廠維持穩固且互惠的策略夥伴關係，同時持續進行創新研發作業，跟隨時代的演進，在人工智慧、自駕車、物聯網的發展上提供新科技所需的產品，為台灣唯一具有自有品牌及全球競爭力的專業非揮發性記憶體公司，也是竹科園區內第一間通過企業社會責任管理系統 (SA8000) 驗證的半導體公司。

旺宏晶圓五廠為 12 吋晶圓廠，於 2010 年購入廠房，期間經過一年多的整頓規劃，以落實法規規定與節能效率為主軸來進行設計，並且在製程管控與低碳節能上結合了大數據應用與智能化，為一間高度自動化的工廠。

投入低碳管理超過十餘年

在開始介紹旺宏推動低碳管理相關資訊時，綠色產品整合部專案經理王小姐即先提到集團內一個重要觀念：半導體產業是耗用大量資源的產業，所以要更加重視資源的利用。由於半導體業需要使用大量的原物料，旺宏很早就已經投入與推動低碳的管理，像是從 2001 年即開始呼應台灣半導體協會 (TSIA) 所推動的「全氟碳化物 (PFC) 減量」，2005 年推動溫室氣體 (GHG) 盤查，藉此了解廠內產生溫室效應氣體的總量，2007 年取得 ISO14064-1 查證聲明書，並持續在公司內部推動 GHG 盤查跟外部查證，2018 年更進一步參與經濟部工業局「產業低碳科技應用補助計畫」，將削減晶圓五廠製程使用氟系氣體機台的減排碳量，用以申請抵換專案之減量額度，目前已進入最後確認階段，預計將在 2019 年年底前向環保署申請註冊。

除了配合政府宣導相關減碳政策外，旺宏同時也配合客戶端所提出的需求，完成溫室氣體盤查、管理與減量調查，並且填寫「碳揭露專案 (CDP)」，其中包含供應鏈專案、氣候變化專案等；對於下游供應商也進行定期現場稽核與輔導，要求廠商取得相關國際標準證書，藉此嚴謹管理原料供應的品質。旺宏平時除了推動減碳觀念，各廠區之間也組成節能服務團隊，積極探索節能機會點，並透過廠區間技術與經驗的交流，同步提升各廠的節能實力。

也就是因為如此認真投入低碳管理的施行，當政府於 2011~2014 年開始強制要求企業進行節能減碳相關措施後，旺宏便於 2012 年榮獲環保署頒發節能減碳行動標章績優單位，晶圓五廠則是在 2014 年與 2016 年獲得經濟部節約能源績優獎，2018 年全國節能績優廠商獎，透過這些優異的獲獎紀錄，從中可見到旺宏在各處細節上落實「實在」的企業文化與精神。

綠色產品整合部專案經理王小姐進行旺宏公司溫室氣體管理簡報（左）
旺宏五廠節能團隊（中上）/ 2014 年旺宏晶圓五廠榮獲節約能源績優獎（中下）
2016 年旺宏晶圓五廠榮獲節約能源績優 (優等) 獎（右）

導入 AI 大數據分析技術

自 2018 年起，旺宏導入最新 AI 大數據分析技術，運用在廠內冰機的管控上，透過此技術可以在既有節措施上再提昇 0.36% 的效能，以目前月產能約兩萬片推估，一年可降低碳排放量 385 噸，約當於一座大安森林公園年碳吸附量，成功降低了晶圓五廠的用電量，而且同步完成智慧節能及碳排放減量的目標。

針對廢棄物管理部分，則是從源頭開始減量，將工廠產出的廢棄物優先以對環境衝擊較低的回收再利用方式處理，讓 2018 年的回收再利用率達到 91.9%。源頭減量措施也應用在水資源管理上，透過回收製程用水、管末減量處理及監控用水排放，每月進行檢視、每季進行檢討，讓製程水回收率保持在高於 85% 上，貫徹旺宏友善環境的理念。

2018 年 旺宏節約能源措施

節能項目	節能度數 (度 / 年)	效益金額 (千元)	節能貢獻比 (%)
冷卻水塔汰舊換新及節能最佳化 (4 項)	839,844	2,216	10.5
冰機系統運轉模式調整及能源監控 (2 項)	1,187,697	984	14.2
空調設備改善及變頻控制調降負載 (6 項)	2,817,895	8,454	33.7
使用高效率節能馬達及加裝節能裝置 (3 項)	1,083,960	2,754	13
照明節能 (3 項)	302,763	907	3.62
製程設備運轉調配 (4 項)	2,127,688	5,282	25.5
其他 (2 項)	0.75	499	0.0
總計	8,359,850	21,097	100

附註:
1. 資料來源為能源申報，而各項目之節能類型皆為電力
2. 節能比較基準皆與改善前耗能情形比較
3. 節能貢獻比 = 項目年節能度數 / 總年節能度數

資料來源：旺宏 2018 企業社會責任報告書

旺宏 2016 ~ 2018 年減碳績效彙整

年度	節能案件數	能源節約量電力（千度）	降低 CO_2 排放量（噸 - CO_2e）	節電率 %
2016	7 件	5,110.70	2,698.45	1.08%
2017	10 件	3,461.44	1,831.10	1.84%
2018	8 件	2,038.27	1,129.20	1.70%
合計	25 件	10,610.40	5,658.75	4.61%

資料來源：溫室效應氣體報告書 (GHG Report)

永續經營來自長遠規劃

對於未來的減碳及能源管理規劃，旺宏的中長期發展方向將著眼於維持平均年節電率優於 1%，每季紀錄用電統計與每年評估節電措施的可行性，同時配合國家溫室氣體減量政策，透過 ISO 14064-1 溫室氣體盤查，找尋更多減碳機會，調降內部的能源損耗率，並且同步管控廠內超高用電量、如冰機與風扇這類內部稱之為「用電怪獸」的節約能源規劃，以及如何在管線運輸的過程中降低能耗等措施，再搭配新技術開發與導入，目標朝向永續經營的綠色企業邁進。

另外，由於政府積極推動再生能源相關政策，旺宏也於 2019 年成立專案小組，以目前廠內的可用空間、設備裝設後的未來規劃，以及未來的實際可用量來評估再生能源發電 / 儲能裝置，以及購買再生能源憑證之各種機會，期望結合工廠的實力，同步達到節能減碳的良效。

二、低碳製程技術應用案例

善用節能技術 提升機具能效

• 冰機添加冷媒活化劑

此專案藉由提升冰水主機冷媒的側熱傳導技術來達到節能的功效，在冷媒側添加冷媒活化劑 (Frigaid)，藉此去除積碳、汙染物及長時間累積的油膜，讓冰水主機的運轉效率得以提升。

冰水主機運轉示意圖

FRIGAID 節能技術

利用奈米科技產生 0.5 奈米之極化電磁分子，隨同冷媒添加於系統中，它對金屬比冷凍油更具親和性，可清除原來附著於熱交換器管內壁之油膜，同時增加熱傳導效益。

回收年效估算

1. 投資金額：新台幣 405,000 元 (包含材料、安裝工資與濾網更換)
2. 年度節省電費 : 新台幣 336,121 元 / 年
3. 投資回收時間 : 1.2 年

油濾心更換示意圖

完成冷媒側移除積碳及累積的油膜後，再比對冰水主機的運轉紀錄後發現，添加前的能耗數值 (kW/RT) 為 0.7540，添加後的能耗則為 0.7129，整體下降了 5.45%，換算得出年度節電量為 141,883 kWH，等於每年省下了新台幣 $336,121 的電費 (計算基礎為每度電新台幣 2.369 元，24 小時用電)，CO_2 排放量也壓低至一年 74 公噸。但在進行這項專案導入時，要注意操作流程的正確性，避免操作不當造成無塵室當機。

從運轉效能入手 在原況中開創節能成果
• 潔淨室 PHOTO 區 FFU 運轉節能

原先的 12 吋晶圓廠是針對機台與 FOUP 晶圓載具晶圓盒來做微粒防護，藉由分析潔淨室 FFU 的覆蓋率與高架地板開口率跟微粒控制之間的關係，將高架地板孔板的覆蓋率提高，即可降低風扇過濾組 (FFU) 的運轉台數，結果證明微粒防護仍舊運作良好。

因為當潔淨室內的置換風量改變時，不會對微環境設備的氣流與室內氣懸微粒的濃度造成明顯影響，反而換氣次數的多寡對於室內氣懸微粒濃度的排除效果，高過於增加開口高架地板覆蓋率，所以在相同換氣量與增加開口高架地板覆蓋率的條件下，可以得到較佳的室內氣懸微粒濃度，只是在架地板的配置上，不僅需要考慮開口高架地的覆蓋率，還要考量到配置的位置，才能避免短循環發生。

節能成效

2015 年實驗測試階段 Photo 區 FFU 關閉 105 台。2016 年一月完成關閉該區 33%FFU，將該區的 FFU 覆蓋率由 100% 調降至 67%。

1. 年度節電量：147,168kWH
2. 年度節省電費：新台幣 348,641 元 (以每度電費 2.369 元計算，24 小時用電)
3. 碳排放抑制量：77 公噸 / 年 (0.521 公斤一 CO_2 /kWH)
4. 投資回收時間：立即回收 (此專案屬於運轉調整，且由內部同事完成執行，故無額外資金投入。)

(電力係數以經濟部能源局 103 年公告電力排放係數 0.521kg-CO_2e/ kWh 計)

空調系統效率提升

• OAC 風管修改整合

在介紹廠內如何進行節能規劃時，擴建與廠務技術服務部部經理施先生提到旺宏的節能四部曲：自有經驗 → 引進新技術 → 從系統裕度找空間 → 智能化管理，而其節能範圍則從廠務系統、潔淨室囊括至設備區，其中設備區 (tools) 為最大潛力區，占全廠用電量 52%，可說是節能的藍海區。

這一項 OAC 風管修改整合專案，即是從系統裕度找空間的範例，藉由檢視潔淨室的 OAC 風管供應配置，找到其改善空間後，透過風管連結配置把低使用率的外氣空調箱關閉，再把多餘的 OAC 移至他區使用，以此達到節能效果。

實際進行了六次測試之後，改善了高架地板、風門調整、庫板氣密補強、OAC-103 進風口 PVC 膜密封，整體狀況越趨穩定。

節能成效

1. 年度節電量 : 304,650 kWH
2. 年度節省電費 : 新台幣 721,716 元 (以每度電費 2.369 元計算，24 小時用電)
3. 碳排放抑制量：158 噸 (0.521 公斤 -CO_2 /kWH)
4. 投資金額：新台幣 250,000 元
5. 投資回收時間：0.35 年

(電力係數以經濟部能源局 103 年公告電力排放係數 0.521kg-CO_2e/ kWh 計)

製程排氣系統節能
• 機台廢熱再循環

此專案的發生，主要是在考量送入廠區的空氣是否有回收再利用的可能時，發現原先須排出無塵室的機台廢熱，其實可以直接排入無塵室的環境內進行循環再利用，藉此降低冰水機的能耗量，將瓦斯箱封口，杜絕不必要的浪費。

配管示意圖

潔淨室空氣循環圖

節能成效

1. 無塵室排氣量：每 1CMH 總耗電量為 0.00295 kW，改善後共調降 94,250CMH
2. 年度節電量 : 2,435,609 kWH
3. 年度節省電費：新台幣 5,769,958 元 (以每度電費新台幣 2.369 元計算，24 小時用電)
4. 碳排放抑制量：1,269 噸 (0.521 公斤 -CO_2 /kWH)
5. 投資金額：新台幣 700,000 元
6. 投資回收時間：0.12 年

改良舊有設計 全幅提升效能
• 冷卻水塔高效扇葉

因為扇葉數量、形狀、尺寸、重量及材質鏽蝕程度跟表面摩擦力都是影響風扇能耗與效能的因素，因此將冷卻水塔所使用的扇葉進行改良設計，在結構上採用多層玻纖布與環氧樹脂熱固膠合成形，並且於葉片表面特殊塗佈處理，葉片則為中空結構，經葉片裝設驗證後，其節能效果無論是否有安裝變頻器，都可降低 15~25% 的耗電量，還可在減少噪音的情況下提升風量，連後續的保養作業也十分容易，可以同時降低保養週期、關機時間與保養成本。

（左）傳統鋁合金及 FRP 扇葉，葉面表面為樹脂層或樹脂層混入玻纖絲，葉片則為填充物或中空設計，表面則全無塗佈處理。
（右）高效 FRP 扇葉，葉片結構為多層玻纖布與環氧樹脂熱固膠合成形，葉片表面則採特殊塗佈處理，葉片為中空結構。

節能成效

1. 風量成效對照：更換後風量提升 1.83%
   風量比較：(更換後 - 更換前) / 更換前
   (392,793CMH-385,741CMH)/385,741CMH=1.83%
2. 耗電量對照： 更換後耗電量下降 26.34%
   (更換前 - 更換後)/ 更換前
   (58.16kW-42.84kW)/58.16kW =26.34%
3. 年度節省電費：新台幣 317,927 元 (以每度電費 2.369 元為基準，24 小時用電)
4. 回收年限：單台投資成本 / 每年節省電費 = 約 1.2 年可回收

三、善用 AI 技留後代

提到持續在廠內推動節能減碳規劃可能遇到那些挑戰時，綠色產品整合部專案經理王小姐說：「如何規劃期程以達成政府要求，同時又能有效整合運用所有的資源，包含：預算分配、跨部門溝通、技術提升，更進一步將智慧工廠的概念導入，是我們一直以來努力做到的事。期程規劃是一點，如何在期限之內達到這些成果，但這也與預算有關，如何去整合全部的資源，將智慧工廠的概念導入，是我們接下來要做到的事。」由於旺宏極早就開始推動節能減碳作業，面對政府目前訂立的用電大戶齊頭式年度節能目標，也希望可以參考各廠的節能減碳推行年資與規模實績來訂立合適的標準，讓舊廠壓力減輕、新建的廠商可以追上平均值。

針對廠務執行端所遇到的瓶頸，擴建與廠務技術服務部部經理施先生也說：「廠內許多優秀的人才，他們有很多很棒的知識跟技術需要被有效率的、系統化的傳承來輔助新進工程師的系統學習，進而達到青出於藍更勝於藍，所以我們需要使用 AI 來將經驗傳承，避免技術知識的斷層發生。」

對於未來，旺宏期望持續透過產學合作，進一步達到設備端節能減量的目標，並且投入資源再利用與跟外界合作，持續照顧員工，透過教育基金會提攜後進，實現董事長所期許的理想：打造一間幸福的企業。

日月光高雄廠 K7 廠的明亮外觀

日月光半導體 K7 廠

低碳製程產業標竿範例

一、工廠簡介

日月光半導體製造股份有限公司 (簡稱半導體) 成立於 1984 年，以高雄廠為立基點，逐步將營業據點擴及全球，為全球第一大半導體封裝與測試製造服務公司，主要提供半導體客戶前段測試、晶圓針測以及後段之半導體封裝、基板設計製造、成品測試的一元化服務。

位於高雄楠梓加工出口區的高雄廠，一園區內有 15 座廠區、二園區包括正在興建的廠房則有 6 座廠區，全廠是以綠色園區概念進行廠房及辦公建築的規劃設計，企業職安處處長蘇炳碩補充說明：高雄廠平均一平方公里內有 10 棟綠建築，是全台密度最高的綠建築群。

而位在一園區的日月光 K7 廠在 2001 年啟用，為一座整合型的工廠，在 2014 年取得台灣綠建築鑽石級標章，並在 2017 取得清潔生產認證，成為一座綠色工廠。

經由綠色管理 創造節能低碳亮眼成效

日月光高雄廠於 1998 年通過 ISO 14001 環境管理系統驗證，而後又於 2012 年導入 ISO 50001 能源管理系統及通過驗證，並透過成立「日月光集團高雄廠永續發展委員會」，建立各廠能源基線、改善廠務與生產設備能效、回收利用各項資源，以及於各廠內獎勵推廣節能改善措施，藉此來擴大節能績效。目前，高雄廠的製造廠房已全數取得清潔生產認證，並持續維持其有效性，另外還有 12 棟建築物取得台灣綠建築標章 (EEWH)，5 棟通過美國綠建築認證 (LEED)，7 棟取得綠色工廠標章。

K7 廠即是在 2017 年獲得綠色工廠標章，同年度亦獲頒「楠梓加工出口區節水績優表揚」之金獎，更因為減量績效卓著，在 2018 年獲工業局頒發「107 年度產業溫室氣體自願減量—績優廠商」獎項，並作為產業範例擴大宣傳推廣成功經驗，K7 廠秉持持續改善之精神，積極地在各製程中導入創新綠色研發與友善環境設計。

日月光高雄 K7 廠榮獲 107 年度產業溫室氣體自願減量—績優廠商之獲獎圖片

日月光於 2016 年榮獲經濟部綠電感恩賞—綠電企業遠見獎

全台首件方案型碳抵換專案

日月光高雄廠以電力為主要使用的能源類別，少部分製程使用天然氣與燃料油，為了因應氣候變遷跟未來的缺電風險，2014 年開始推動綠色電力，除向台電認購綠電外，並推動循環經濟與再生能源的使用。「我們是第一間與台電合作認購綠電的企業。」蘇炳碩處長笑著補充說。

而在高雄廠採行階段式汰換 LED 燈具時，K7 廠與 K11 廠於第一階段即率先完成汰換，在 2016 年經第三單位認證後，於 2017 年向環保署提出減量額度申請，目前已通過審議與註冊，成為全台首件方案型碳抵換專案。

企業永續暨職安處處長蘇炳碩說明日月光高雄廠能源管理模式與平台

在以 ISO 50001 管理系統為執行基礎的條件下，高雄廠在能源管理上以「管理優化」、「減量管制」、「效能提升」、「自動監控」等四大範疇來持續強化各廠的減碳績效，並訂立在 2020 年前，每年節電 1.5% 的目標。截至目前，除了 2017 年因新建廠房運轉所需，致使總用電量增加 1.6% 以外，2018 年的總節電率為 2%，節電量約 2,008 萬度，節電量可提供 5,731 戶家庭平均一年的用電量。

數據來源：日月光高雄廠 2018 永續報告書

日月光高雄廠 2016～2018 年用電與節電量統計 (上)
K7 廠自 2016～2018 年度自願減量數據 （下）

年度	節能案件數	節省能源量 電力 (千度 / 年)	減碳量 (公噸 CO_2e/ 年)	年節電率
2016	8	4,915	2,723	1.95%
2017	26	4,861	2,693	2.15%
2018	5	1,881	1,042	1.88%

資料來源：日月光 K7 廠

二、低碳製程技術應用案例

空壓機廢熱回收再利用
・從能源浪費處著手 同步提升效能與節省電費

針對此回收空壓機廢熱再利用專案，周佳榮主任工程師說：「原先 K7 廠內的無塵室，都是由 MAU 空調箱透過送風系統來管控濕度，但因為除濕過程中會造成溫度下降，過冷的空氣又會連帶影響化學濾網失效，以及溫濕度異常的情況發生，所以在原先的作業流程中，會有一段再度利用電加熱的方式來管控送風溫度，也就是這段加熱過程造成了能源的浪費，所以針對這個部分來著手改善，同時也要評估廠內哪裡還有熱源可以使用，後來發現空壓機在壓縮的過程中，會有大量的熱能產生，以往都是透過水冷方式降溫，如果能將空壓系統的熱能拿來給空調系統使用，就可以形成互補的作用，創造 1+1 大於 2 的效果。」

於是，廠內先以 13 樓作為改善示範標的，透過更改線路將空壓機冷卻後所排出的高溫熱水，直接取代原先空調箱所使用的電熱器，不只可以節省可觀的電費支出，同時也減少冷卻水塔散熱所產生的能耗。經過 13 樓的實際改機測試後，目前 K7 廠已有七個樓層使用此熱回收技術，而單以 13 樓的年度效益來看，一年即可減省電熱用電 69.8 萬度，相當於省下電費 188.5 萬元，成效可謂十分可觀。

不過，說到當時決定替換調動兩邊的熱能系統時，周佳榮主任工程師特別提到，在替換前需要進行詳細的熱負荷計算，包含熱回收系統跟空調熱量需求，尤其要注意冬天溫度較低時，應評估空壓機冷卻水的溫度是否需要另外再導入電能加熱，不然溫度不足就有可能造成製程作業的停擺。

透過空壓機冷卻水取代空調系統的加熱器

K7 廠 13 樓單一年度空壓廢熱回收利用的投入金額與節能效益對照表

樓層	13F 空調總用電	13F 電熱外用電	13F 電熱用電
K7-13 樓	4,250,857kWh	3,552,805kWh	698,052 kWh
1 年節省電費 =1 年電熱電量 X 平均電力單價 ($2.7)			$1,884,740
設備投資金額 (NTD)			$1,562,152

資料來源：日月光 K7 廠

吸附式乾燥機節能改善

• 善用機具特點 發掘改良契機

一般來說，乾燥機主要是利用乾燥劑 (如活性氧化鋁) 來吸附水分達到除濕的效果，當它飽和時就無法再繼續吸水，但只要將氧化鋁加熱到某特定溫度 (65°C ~200°C) 就可以將所吸附的水分排除 (脫附)，再次用來進行除濕。

因此，本專案便是利用乾燥劑的吸附及脫附再生特性來進行乾燥機的節能改善。

再生約消耗15%-20%之乾燥空氣　　利用加熱外部空氣進行再生　　利用部分乾燥空氣進行冷卻

(左) 無熱式吸附乾燥機操作示意圖 — 再生時需使用本身之乾燥壓縮空氣將乾燥劑吸附的水分帶出，消耗量約為全量之 15%-20%，故無熱式吸附乾燥機再生過程十分耗能。

(右) 外熱式吸附乾燥機操作示意圖 — 再生時引外部空氣加熱用，僅冷卻使用部分本身之乾燥壓縮空氣，消耗量約為全量之 1%~3%，故再生過程十分節能。

本案所採氣冷式乾燥機的乾燥吸附方向為上進下出，再生之加熱與冷卻方向則遵循熱氣上升之物理原理，即加熱、冷卻同為下進上出。

乾燥劑再生時利用約 200°C的熱氣，一層一層的由下往上進行水份脫附。在乾燥槽上方約 1/4 位置處安裝溫度開關進行控制，便可讓加熱時間提前結束以節省加熱耗能。因冷卻與加熱設計為同向，故未脫附完成之乾燥劑，可利用在冷卻流程中所帶出之廢熱來進行最後的脫附。本專案即是利用廢熱，將加熱時間提前結束，來達成比一般加熱氣冷式乾燥機節能約 20%之目的。

在原先的製程系統中，無熱式乾燥機在吸附飽和之後，需要使用乾燥空氣進行除溼，正如同使用風扇吹出大量乾淨的空氣來吹乾濕氣一樣，過程不只耗電，也耗費許多處理過的乾空氣；現在的方式則是在其脫附再生的流程中安裝一台電熱器，透過引進的外氣將活性氧化鋁加熱到 65°C（脫附溫度）以上，以將吸附的水份完全排除，即是把「無熱式」改機成為「外熱式」，除了節省 12%~19% 的耗氣量外，也將空氣吹淨損失率從 20% 降低到 0.4%，年度預估節電量達 334,152 度電，而且能符合政府相關規定：經濟部 104 年 3 月 4 日經能字第 10404601080 號公告，吸附式乾燥機之吹淨損失率不得超過 15%。K7 經過現場查驗後，最新吹淨損失率低於 2%。

表：無熱式舊機與外熱式新機之總耗能成本對照

	平均耗電 / 實際耗電	平均 / 實際耗氧率	耗電成本	耗氣成本	總耗能成本
舊機耗能 (SAR-1650)	≒ 0.1 kW	≒ 20%	0.1kW*24hrs. =2.4 kWh	(1160*0.9*2)*20% *0.1kWh*24hrs. ≒ 1,002.2kWh	2.4+1,002.2 ≒ 1,005kWh
新機耗能 (ZIN-1650)	≒ 2.8 kW	≒ 0.4%	2.8kW*24hrs. =67kWh	(1160*0.9*2)*0.4% *0.1kWh*24hrs. ≒ 20kWh	67+20 =87 kWh

整體來說，吸附式乾燥機改善的成本投入為新台幣 153 萬元，而每年節電量為 33.4 萬度電，換算成節能效益為 83.5 萬元，減碳量則為 178 公噸 CO_2e，可以說是在流程上多一個環節的設計，就能為整體製程與節能效果帶來全面性的提升。

不過，在改機完成投入製程初期，針對乾燥機的加熱跟冷卻時間及相關參數設定都必須不斷的進行調整，周佳榮主任工程師解釋：「透過乾燥機實際運轉狀況的調整，才能確保好的供氣品質及最大的節能效果。」

無塵室 FFU 機組汰換
• 用大預算換取未來長遠的收益

K7 廠自成立至今約 18 年的時間，許多機組的效能已經不彰，像是近幾年來無塵室的 FFU 機組就常遇到落塵事件發生，導致產品損失或客訴問題，而半導體業又特別重視無塵室的潔淨度，因此在與新廠類似機組效能對照，並且透過廠商所提供的新機數據做初步評估後，便先從 K7 廠的 8 樓開始，將 AC-FFU 系統轉為 DC-FFU 系統，從中檢視更換效益。

空調氣側系統運轉流程

無塵室空調作業系統運轉示意圖

原有 AC 機組的效率約 34%，在 8 樓全樓層的機組汰換之後， DC 新機的效率可達 50% 以上，而且耗電率只有 AC 機組的 1/3。以一個樓層平均 1,000 台機組來計算，光是單一樓層進行機組汰換即可達到年度節省 92.8 萬度電，若以每度電 2.7 元來計算，一年可省下新台幣約 250 萬元。如果全棟樓層皆完成更換，則年度節電量將非常可觀。此外，新機組能夠即時監控運轉狀態，同步提升製程穩定度與客戶滿意度，而新機組內所裝設的 3D 葉片風輪，也超出原先的預期，除了比以往多翼式葉片減少噪音量外，還能創造更高的省電效率，也讓作業環境的舒適度變得更好。

(左) AC 與 DC 馬達的作業效率顯示對照圖
(右) DC 新機的 3D 葉片風輪設計比 AC 多翼式葉片風輪能達到更高的省電率

提到系統更換施作時的注意事項，周佳榮主任工程師說道，因為空調位置處於無塵室的上方，直接對應到生產機台，會在生產中進行更換，所以需要事先與各部門協調，在施工中對無塵室進行全面包覆作業，確保無塵室不被污染，才能進行更換作業。整體施作必須一區一區慢慢做，施作時間會花得較長，單樓層從溝通到完工大約費時半年到九個月，而實際施工則約三個月。

由於 K7 廠所有樓層的無塵室皆已建置 10 年以上，8 樓的 FFU 系統轉換成功之後，便開始推動到其他樓層。目前 10 樓與 13 樓都正在進行更替中，是 K7 廠目前進行中的最大專案，單一樓層編列整修預算約 123.2 萬元，經濟部能源局也提供三百萬元的補助，加上其出色的節能效益，整體來說，不只降低了運作成本，更全面提升運作效率與企業形象，長遠來看是一項非常值得投資的設備更新作業。

三、期許未來 持續推動

為了達成企業的年度節電與減碳目標，在每年找出改善廠內能效的方向定錨上，K7 廠的廠務經理鄭丁嘉補充說：「除了節能節電或是循環經濟的方向外，廠區內能效不佳的設備也是潛在的節能開發之處，只要跟新廠房進行能效評估與比對，就可以進一步做檢查跟汰換。」蘇炳碩處長則提到：「日月光從二十年前就開始推動節能減碳了，一路走來是一年做得比一年艱辛，工程師都要絞盡腦汁去達到公司設定的目標，從這麼多能源消耗的項目中去找到可以改善的空間，無論是在技術面或工程面上都是相當大的挑戰，最後還能創造出如此有效的成果，真是相當不簡單的事情。」因而希望廠內相關延續性的專案，可以持續獲得政府機關的補助，特別是廠房占地廣大，某些特定專案會以階段性方式執行，如果補助方案可以從現行的一年一期調整為三年一期，更能促進整個作業流程以系統式的方案去實施，讓廠房進行全面性的改善；或是提供企業可能的減碳節稅方案等，都可以提高企業持續推動節能減碳的意願，讓政府與企業的大小輪軸能夠相互對應幫助，一起轉向節能減碳的綠色未來。

日月光當日受訪者團體合照

日月光高雄廠 K11 廠簡潔白淨的建築外觀

日月光高雄廠 K11

結合 AI 從細節中開創節能效益

一、工廠簡介

在日月光所提供的設計製造服務中，封裝與測試是極具指標性的兩個服務項目，封裝的產品廣泛應用於通訊、電腦運算、消費電子、工業、汽車等；而測試則包括前段工程測試、晶圓針測、成品測試，以及半導體其他相關測試服務等。位處日月光高雄廠一園區內，於 2004 年正式啟用的 K11 廠，主要負責覆晶封裝等生產作業，目前為園區內第二大產能廠區。

為了鼓勵全廠進行自主檢查跟交叉稽核，日月光高雄廠每半年會進行永續內部稽核，由取得管理系統證照資格的人員負責，稽核內容包含永續管理系統之有效性、環保與安全衛生執行符合性等，藉此確保廠區運作的安全性、環境保護作業能被落實，以及員工皆受到平等對待等。日月光高雄廠所設置的「能源管理委員會」，以 ISO-50001 管理系統為基礎，在年底針對節水、節電、風險管理等問題進行成果總結，同時設定隔年度的節能目標與 KPI，並建立各廠與設備的能源基線來追蹤設備能耗，打造能效管理知識共享平台，讓各廠互相分享激盪，將分散的想法與資源進行整合，從中創造最大效益。

連續兩年獲選自願減量績優廠商

K11 廠於 2012 年取得清潔生產評估系統符合性判定，2014 年獲得台灣綠建築 (EEWH) 最高等級鑽石級標章，並於 2015~2016 年連續兩年獲選自願減量績優廠商，2019 年則代表高雄廠參加年度節能標竿競賽，獲頒「節能標竿獎」銀獎，認真交出了亮眼的節能減碳成績單。

表：K11 廠近三年節能案件數與自願減量相關數據

年度	節能案件數	節省能源量 電力 (千度 / 年)	減碳量 (公噸 CO_2e/ 年)	年節電量
2016	19	16,086	8,493	4.62%
2017	1	4,420	2,338	2.75%
2018	6	3,394	1,809	2.30%

資料來源：日月光 K11 廠

(左) 日月光 K11 廠於 2019 年代表高雄廠獲得節能標竿獎
(右) K11 廠 2015 年總減碳量 2,714 噸，於 2016 獲得自願減量績優廠商之頒獎合影

重點節能計畫與目標

總計 2015 ～ 2019 年，高雄廠累計執行了 31 件專案 (其中 3 件仍在進行中)，平均每年節電量約 3,089 萬度電，五年總共節省新臺幣 7,721 萬元，成效十分驚人。談到面對每一年度新的節能計畫與目標的挑戰時，主任工程師李政峰說：「這些其實是心態的問題，一旦有了上層的支持，內部便願意發想找出新的方案，以電費來說，我們每年都較前一年省下超過 600 萬度電，所以說沒有做不到，只有沒想到。」在進一步對照廠區 2018 年與 2019 年的節能計畫與目標時，不難發現大家持續努力想要達標，甚至是超越既定目標的決心。

重點節能計畫與目標

項目 / 年度	2018	2019
節能	節能專案 13 件 (3 件進行中)	節能專案 8 件 (新增 5 件)
	年度節電 4.31%	預計節電 3.22%
	年節電 662.4 萬度	預估節電 594 萬度
節水	節能專案 10 件 (5 件進行中)	節能專案 6 件 (新增 1 件)
	年度節水 20%	預計節水 13%
	年節水費 859 萬元	預估節費 511 萬元
風險	電力不足限電危機	發電機及市電並聯
	框架區純水管路老化	框架區防護改善

資料來源：日月光 K11 廠

二、低碳製程應用案例

操作優化管制

• 以實際運轉所需作為能源供應數據

主任工程師李政峰說：「在做廠區的節能節電規劃時，首先會進行用電分析，以 K11 為例 ，生產線用電占了近 60%，空壓占 4.5%，空調則占約 27%，因而節電會先從生產線著手，但生產線又會面臨製程技術的問題，需要來回與客戶開會研商參數的變更細節，若是要針對生產線部分進行節能，就應針對浪費的地方去做更動。所以，當產線的用電量為最大宗，但產線又無法改變製程的時候，就需要依靠內部檢視，將實際需求與使用的機台進行比對，依照實際運轉需求作為電力供應的依據。」

本操作優化系列專案，原廠所提供馬達單顆最大供壓為 15 公斤，對應目前製程所需水壓大約落在 2.5 ~ 4.5 公斤，等於一顆馬達就足以提供兩區的噴洗壓力，所以將原先製程中所配備的兩顆馬達，透過調整參數與更改路徑，關閉其中一顆，直接就省下了原先一半的用電量，接著再進一步應用到全廠 25 座機台上，一年就可省下 75 萬度電。

主任工程師李政峰詳細介紹 K11 廠相關卓越節能績效與未來計畫

回顧這項專案的執行過程，主任工程師李政峰說：「我認為心態很重要，願意仔細去檢視，才能夠找到這些細節裡的能源浪費。因為機具的原廠設定並不代表就是最佳操作參數，但又不可能讓廠商依照各廠的需求做更動，所以如果沒有自己去檢視製程，根本就找不到這個部分。」所以說，機具的效能對於產值來說是一個重點加分，但對於節能而言，則需要人的仔細用心，才能在創造高產值的同時，也達到高節能的標準。

（左）節能施作方式將單區的噴洗壓力由第一噴洗馬達改為第二噴洗馬達提供，將第一區啟動馬達訊號關閉。
（右）減少馬達使用率前後的用電數據對照。

鼓風機廢熱回收・以實際運轉所需作為能源供應數據
・透過改管運用原機廢熱透過改管運用原機廢熱

這項能源再利用專案，主要是將鼓風機壓縮空氣後所產生的溫度進行再利用，將壓縮空氣時所產生的溫度上升，轉而取代加熱器功能，搭配管線的重新設計，把鼓風機排出的熱氣做二度壓縮，讓溫度上升到符合使用需求，就可省去另外加熱的電熱費用。不過，在導入廢熱回收的設計前，需要先確認馬達的升溫溫度，才能確保整體改善作業的績效不受影響。

此專案總共應用在 25 座機台上，年度總節電約 99.5 萬度電。

- 節省效益：15(A) * 220 (V) * $\sqrt{3}$ = 5,715(W)
- 每度電 = 千瓦小時，5.7(kW)*3(NTD)*20(HR)= 342 元
- 廠內共有 25 台機台，342 元 *25 台 =8,550 元；8,550 元 * 30 天 = 256,500 元
- 年度節省：256,500 元 * 12 (月) = 3,078,000 元 ($25.6 萬 / 月)

(數據提供：日月光 K11 廠)

左圖為改善前的鼓風機加熱系統，右圖為改善後的鼓風機廢熱回收系統

3190 水洗機熱回收

• 善用廢能做節能管理

原先的水洗機設計為導入 25°C的 DI 水進入機器，經機台加熱至 80°C後供給製程進行產品清洗，最後將廢水集中於廢水場後排出。可是，這些排放水溫度仍有 60°C，且水中留有些許雜質。如果在原先的製程中加裝一個板式熱交換器，就可將廢熱回收再利用，又不須擔心雜質殘留的問題。

因此，在整體作業流程中導入一個加壓馬達與熱交換器，將機台廢水的廢熱透過熱交換器做升溫處理，即可加速原先的加熱作業，降低原先所需的加熱時數，進而節省電費，本專案前後共改善了 6 台設備，年度節電 488 萬度電。

（左）為原先的水洗機製程，25℃ DI 水進入預熱箱，加熱至 80℃後再輸送至機台進行產品清洗作業，最後排放出仍有 60℃高溫的廢水至廢水區。（右）為導入熱交換機的製程運作圖，將原製程回收至廢水槽的高溫廢水，透過加壓馬達增溫，再透過熱交換器回收廢熱轉至預熱器使用，就能提升預熱器的加熱速度，達到節電的效果。

空調供應智能化

• 引用數據分析判斷節能要點

在過往，冰水系統多是透過人為控制，在環環相扣的流程中，難免會遇到系統多開或少開的情形，多開將造成能源浪費，少開則機台會跳脫。又由於水塔會影響冰機的能效，幫浦壓差與流量都會影響到產線，於是自 2015 年開始，K11 廠即投入冰水系統 (水側) 最佳化與風機過濾機組 (Fan Filter Unit，簡稱 FFU) 減量作業，與外部廠商合作開發智能分析系統，將所有機台的能效與相互影響程度進行側錄，再全數鍵入資料庫，由電腦進行整體的計算分析，之後只需要鍵入空間坪數、溫度設定，就能即時換算出最適合各機組運作的數值，而且是經由遠端來遙控所有的設備，能夠大幅降低人為控制所可能引發的誤差。

2015	2016	2017	2018	2019	2020~2023
水側最佳化 FFU減量	冷卻水塔增設FFU減量	溫度提升	抽氣合理化 節能風扇水側配合外氣	氣側智能化 空調智能整併MIS改善	空調智動化

表：K11 廠空調供應智能化演進過程

以無塵室為例，在最初空間剛建好的時候，可能會預先設定許多需要的能源，但在機台進廠後實際應用時，應該檢視相對的合理化能源使用狀態來進行設定，再

參照產線狀態跟使用時間長短來監測能源用量的變化，就得以從無塵室的前端冰水機至後端抽氣系統，調整耗能至合理範圍內。

例如冰水系統的溫度原先設定在 6.5°C，經過智能監測與分析後，便從 2017 年的 8.3°C一路調升到目前的 9.2°C，一年可節省電費約 56 萬元，此舉連帶提升了 FFU 的運作效能，總共關閉了 3,503 台額外運作的機台。而後廠內又調查了 409 台抽氣系統，並在經過精密計算後，得出抽氣量與空調量大約是 1 比 3 的關係，假設抽走 1 CMH 的無塵室空氣，則需要補進 3 CMH 的外部空氣，也就是說減少抽氣量就等於減少補充外部空氣的能源，以此原理調整了其中 145 台的抽氣系統參數。以這一系列的調整作業來說，不僅讓整體作業系統達到能源合理供應的狀態，同時在監測無塵室的運作時，也確保沒有任何品質管控異常發生。

製程系統示意圖：由左至右為冰水系統→空調系統→無塵室→抽氣系統

調整抽氣量對落塵與溫溼度的數據顯示，無塵室的品質管控狀態維持正常。

冰水機供應溫度提升	FFU 調整關閉	抽氣合理化
冰水溫差 ≒ 5 ℃ 流量壓差 ≒ 0.1 kg/cm2 空調溫度 ≒ 24 ≒℃ 空調濕度 ≒ 50 ≒ %	空調溫度 ≒ 24 ≒℃ 空調濕度 ≒ 50 ≒ % 落塵 0.5um ≦ 7000 顆 正壓 ≒ 1.25mmaq	靜壓 ≧ 94mmaq 落塵 0.5um ≦ 7000 顆 正壓 ≒ 1.25mmaq
年度節電 128 萬度 / 年	**年度節電 395 萬度 / 年**	**年度節電 32 萬度 / 年**

冰水機、FFU 系統與抽氣數值調整數據與年度節電量。(K11 廠提供)

從 2015 年開始投入此智能化系統設計與運作的李政峰主任工程師說：「這是一個很有效的工具，但安裝之後，除了平常的維護之外，如果可以進一步去檢視與分析資料庫的數值，就能有效掌握未來能夠調整的空間與方向在哪裡。而且讓電腦去搜尋產線的所有資訊，從冰水機到空調室的恆溫恆濕都轉換成一條龍作業，未來就不再需要人為介入。」而經過長時間的嘗試與調整，從最初的大數據延伸到將 AI 引入廠務系統，目前 K11 廠預計三年內可以完成所有智能化設定。

談到導入相關系統的注意事項時，李政峰主任工程師也說：「要達到這類的系統式導入，不能只顧及單一設備，除了需要具備完整的專業知識外，也需要龐大的數據庫，更重要的是找對合適的廠商，才能借力使力，創造出高效又合適的智能系統。

由於每一個系統都是由多個單元所組成，當考慮機台效能改善時，都必須從系統的角度著手，從前端到後端都需考慮顧及，工程師也需具備空調技師的專業，才能確切掌握整個作業方向。」

三、未來推動重點

無塵室空調智能化

K11 廠未來對於節能減碳的推動計畫，李政峰主任工程師提到：「企業在推動節能時，首先要面對成本的考驗，該如何透過管理的手法來將成本賺回，是關注節能作業時要一併考量進去的，特別是投入的資金越高，回收的效益便需要越高。」因此，所先要推動的項目之一，即是半導體業最重視的「無塵室空調智能化」。

左圖為無塵室感應器及空間規劃現況，容易造成能源供應過度，右圖為未來推動各區獨立控制的空間示意圖。

過往在無塵室內，主要依靠一支感應器來控制室內溫濕度，難以精確掌握室內進氣與排氣的需求量，第一階段將針對抽氣量安裝感應器，先得出樓層所需抽出的總量，再搭配冷風量去做調整，接著進一步控制空調箱，只打進所需要的量就好，就能先解決單支感應器感應整個空間所造成的能源浪費。第二階段則是針對每一區域提供各別所需的進氣量，透過把原先的大區域切割成各自獨立的小區塊，在每一區配備各自的感應器，便能有效進行能源分配，等於是將第一階段的節能省電做更細緻化的提升。

空調整合智能操作

所謂空調整合智能操作，即是將全樓層的空調設定，依最大負荷樓層作為調整溫度的依據 (MAX：95%)，以此提升空調箱的運作效能，即使會因此增加耗電量，但就像是變頻式冷氣，如果原先溫度設定 25°C再搭配中風速運轉，整體室溫感覺舒適；但若將溫度上調到 26°C再搭配高風速，一樣可以營造出相同的舒適度。以總節電量來看，溫度調高一度所減少的耗電量，是高過增加風速所產生的耗電量，因而可達到節能省電的效果。

（左）為現階段全樓層空調系統運作狀況，由於各系統 (冰機 / 空調 / 抽氣) 皆為獨立操作，資訊無法統整，因而空調配給狀態精準度不一。

（右）為未來採用智能平台進行管理後之模擬示意圖，將資訊聯動管制，降低耗能高的冰機用電量，提升耗能低的空調箱運作率，藉此達到節能效果，又精準提供各樓層所需空調用電。

節能節電大聯盟

過去在面對廠內節能節電目標時，大多是各廠自己埋頭努力，但日月光於 2019 年成立「節能節電大聯盟」，希望透過中心統籌，把多元資源整合分享，每當各廠有新的想法出現時，就能集結一起討論各種可能的做法，讓各廠區都可以嘗試，同時也透過活動舉辦，讓廠內各部門同仁們都能多接觸各種相關資訊，從觀念開始改變，就能連帶影響態度，態度便是每一個挑戰達成的基礎。

在此空調智能整合操作系統運作下，每調整 1 度，一年就能節省 47 萬度的電。

三．結語

本半導體業低碳製程典範案例彙編收錄之節能技術及案例，可應用於半導體產業耗能占比較高之系統或設備；我國半導體業已是全球產業鏈中技術創新與製造卓越的佼佼者，已不僅僅是先進科技的領航者，也成為綠色製造的執行者。即便近年來單位產品面積耗電量已是全球標竿，半導體業仍然秉持著對這塊土地永續發展有所貢獻的承諾，利用最先進的科技，攜手上下游廠商持續努力尋找節能可能、投資節能設備。

各耗能系統或設備可應用之節能方式相當廣泛，本彙編針對在節能減碳領域有得獎之廠商做案例之收錄，訪談六家楷模工廠，分享他們之典範節能技術，藉由訪談績優案廠的人員以及其節能技術之案例分享。面對氣候變遷與環境永續的挑戰，讓大眾也能了解國內半導體產業對於節能減碳之貢獻，也期能對於相關產業或技術領域之從業人員有相關參考與應用之價值，並有助於借以典範之工廠，推動落實國內節能減碳之工作，創造優質形象、朝向企業永續之發展。

INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU,
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS
經 濟 部 工 業 局

106臺北市信義路三段41-3號
電話：(02)2754-1255
傳真：(02)2703-0160
網址：http://www.moeaidb.gov.tw

經濟部工業局廣告