

LED 照明系統

利用光譜感測器提高 垂直農法和溫室的作物產量

■作者：Markus Busz / 艾邁斯半導體 (ams AG)

在首波家庭和商業建築應用爆發後，拜新型 LED 發展所賜，LED 開始滲透其他市場區隔。其中之一是溫室和垂直農場，這些場域過去習慣使用高壓鈉燈 (HPS) 做為人造光源。然而，隨著時移勢易，LED 製造商已開發出新一代的 LED，其具有更好和更豐富的光譜特性，並且較早期的 LED 更高效、更具成本效益。

在園藝應用方面，最新的 LED 優於傳統的 HPS 燈，因為前者的功耗低、散熱少，並且使用壽命長。這些特性開啓了園藝市場的新可能性。農民現在可以將燈具放置在更接近植物的地方，並控制其強度和光譜發射率，以優化植物的生長。這有兩個好處：它讓種植者能透過植物的緊密垂直堆疊，來增加溫室中的植物密度，這種技術被稱為垂直農法。這也意味著種植者可以優化生長周期，進而最佳化溫室的利用時間。基於這些理由，LED 正成為園藝照明設備的照明源首選。

然而，LED 仍存在一些限制，需要審慎處理，以實現穩定的照明並最佳化植物的生長。使用光譜感測器驅動的閉路控制架構可以突破這些限制。

種植燈的價值

許多植物僅在地球上的特定區域和一年中的特定時間生長，這和植物所需的溫度和濕度條件有關。然而，另一個重要因素是植物所接受的光源：這對光合作用有直接影響，因此也會影響植物產生生長所需能量的能力。

一些研究人員已有所發現，例如波長為 680nm 的光源照射強度，對於發芽期番茄植株的生長速度有重要影響，但植株發芽後的影響就不大了。在營養期，650nm 的光照射可以優化生長及葉綠素 a 的濃度。他們的研究得出結論，生長期的每個階段 – 萌芽期、營養期和結果期 – 需要不同波長的照射。

在北半球全年種植番茄需要溫室，這些溫室可以保護植物免受惡劣的冬季天氣影響，配備照明系統則能補足冬季缺乏的自然光線，並為番茄生長提供最佳的光譜特性。如果照明系統也能對應太陽光譜在一天內的變化，與植物的晝夜週期保持一致，則人工照明解決方案將能達到最佳化。

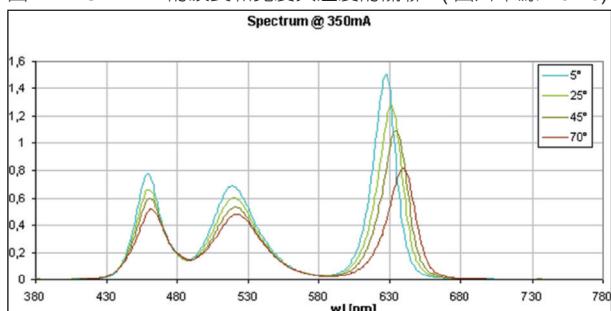
就像番茄一樣，其他植物需要適合自己的特定光譜，才能生長並觸發光合作用。這個組合包括光譜波長範圍和晝夜節律。適用於園藝的光譜大部分是可見光光譜，波長為 400nm 至 700nm。峰值落在紅光和藍光範圍內。然而，每種植物都需要全光譜才能長得最好。晝夜節律取決於每種植物發源地的光照條件。

由於相同種類的植物之間甚至也存在著差異，因此，對於特定植物的生產力、生長和發育而言，光的品質有著極大影響。監測光源的強度、光譜和晝夜節律，有助於確保提供最佳的生長光照條件。

LED 光譜發射率的溫度依賴性

圖 1 顯示了使用紅光、綠光和藍光 LED 混合的光源，其光譜發射率如何隨溫度變化。橫軸表示

圖 1：RGB-LED 的波長和亮度與溫度的關聯 (圖片來源：ams)



波長，縱軸表示亮度。

曲線清楚地顯示，相較於藍光 LED 的發射率 (Spectral emissivity)，紅光 LED 的發射率更容易受到溫度變化的影響。在 5°C (41°F) 至 70°C (158°F) 的溫度範圍內，紅光 LED 亮度降低了近 40%。

這會改變燈具光輸出的顏色 — 對於園藝照明系統的製造商而言，這樣的影響很令人擔憂，因為用於園藝的照明系統必須以精確指定的波長發光。圖 2 顯示一個例子：在環境溫度下，燈具的特性可能非常接近理想的黑體曲線或普朗克軌跡，但是當環境溫度升高到 80°C 時，其發射率與目標相差很大。

正如我們已經討論過的，針對植物生長提供最佳條件，人眼所感知的光顏色並不重要，重要的是光輸出的實際光譜分佈。因此，若要控制燈具的光譜發射率隨著溫度發生的變化，我們需要了解發射

光的光譜分佈。

LED 老化效應

LED 的壽命通常被定義為，當它為全新時的亮度，降至僅餘 70% 亮度所需的時間。

圖 3 顯示了高功率 RGB LED 的亮度特性在前 10,000 小時工作期間內的變化。這些特性會因為製造商而有所不同。一般而言，前 5000 小時內的亮度損失約在 5% 和 15% 之間。有趣的是，圖 3 也顯示所有 LED 的亮度變化並不相同，且藍光 LED 的亮度衰減大於綠光和紅光 LED 的亮度衰減。

亮度隨著時間下降，這就需要定期更換照明系統中的 LED — 此一維修任務困難且昂貴，增加了

圖 3：LED 生命週期期間的老化。

(圖片來源：ams)

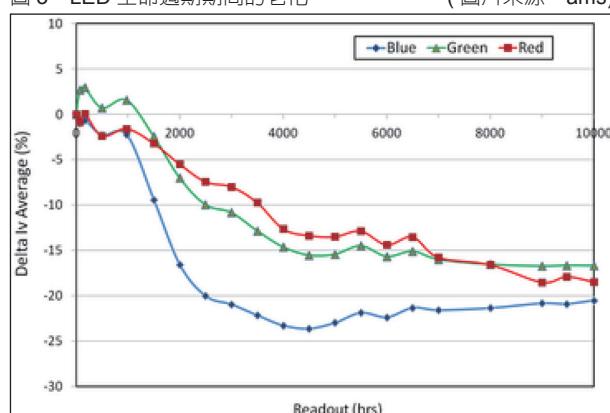
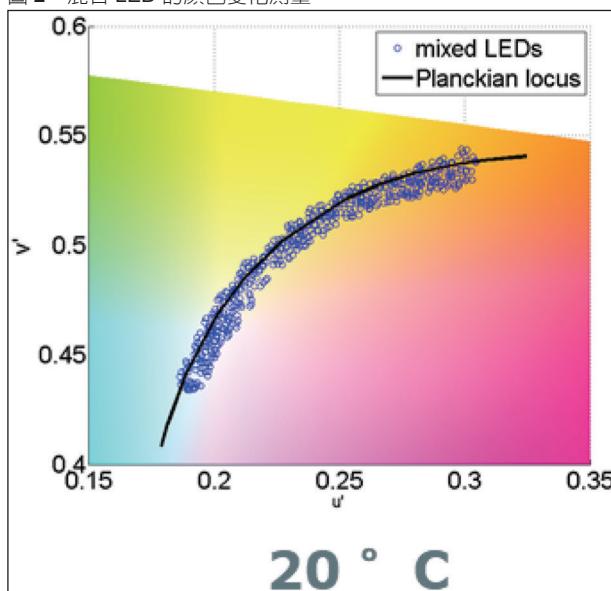
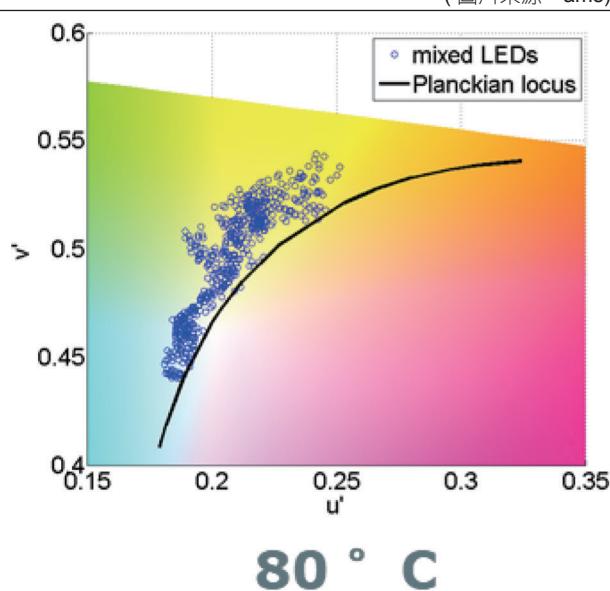


圖 2：混合 LED 的顏色變化測量。



(圖片來源：ams)



擁有成本。

光學回饋系統的概念

因此，園藝照明系統若要運作良好，必須能夠隨著時間和溫度變化調節輸出，以維持指定的色度和強度。

實現這個目標的技術之一是穩定 LED 的電流和電壓。另一種方法是測量 LED 的溫度，並將這些數值報告給 LED 驅動器以實現溫度控制迴路。這些解決方案執行間接調節，並依賴 LED 內的磷材料老化預測模型。此外，針對這些方案，用於燈具製造的 LED 需要嚴格分類。

更好的是以下所述的閉路調節方法。如圖 4 所示，這個解決方案與未經調節的控制解決方案的不同之處，在於它使用光譜感測器即時測量光的實際光譜分佈，並直接控制 LED 驅動器或控制器，以調整輸出直至匹配色度和強度的指定目標數值。

圖 4 說明混合 LED 系統。該原理適用於任何 LED 光源，例如 RGB + 白光、RGB 白光 + 琥珀光，或具有 4 個或更多光譜 LED 的光譜生長照明系統。

感測器可以透過許多方式收集光線。一種是在燈具中設計光導，收集來自多個 LED 的光並將此混合光引導至感測器。另一種方法是設計光譜感測單

元，這個單元可以放置在燈具外部，直接和植物位在同一平面上，並能建置驅動器的通訊介面。在這種情況下，感測單元還能偵測日光並對日光做出反應。

AS7265x 感測器晶片組

上述的閉路控制結構需要一種小型感測器裝置，針對從燈具的多個 LED 發出的光，該裝置能夠以高解析度測量光譜分佈。

ams 推出的產品提供了所需的功能：AS7265x 是一款晶片組，由三個高度整合的 6 通道光譜感測器元件組成，每個元件僅 $4.5\text{mm} \times 4.4\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ ，採用平面網格陣列封裝 (Land grid array, LGA) 封裝，具有整合型光孔，可控制光線進入感測器陣列。此元件系列藉由奈米光學沉積干涉濾光器技術，將高斯濾波器整合至標準 CMOS 晶片中。

由於採用主 - 從 - 從 (master-slave-slave) 架構，這 3 個感測器 IC 被主機視為單一邏輯元件，如此能簡化系統整合並縮短開發時間。整合於 AS7265x 中的智能機制，能將原始光測量轉換為校準數字輸出，並透過 I²C 或 UART 介面管理與主機微處理器的介面。

AS7265x 的 18 個通道以 20nm 的間隔跨越可見光和近紅外 (NIR) 光譜波長，波長中心點分別為

410nm、435nm、460nm、
485nm、510nm、535nm、
560nm、585nm、610nm、
645nm、680nm、705nm，
730nm、760nm、810nm、
860nm、900nm 和 940nm。

AS7265x 濾光器的特性可以確實涵蓋最佳生長光照射所需的波長範圍，這種光譜分佈被稱為 McCree 曲線。

AS7265x 的干涉濾光片具有極其精確和可重複的特性，可在時間和溫度變化下保持穩定。相較於高通道數光譜分析

圖 4：閉路光學回饋系統。

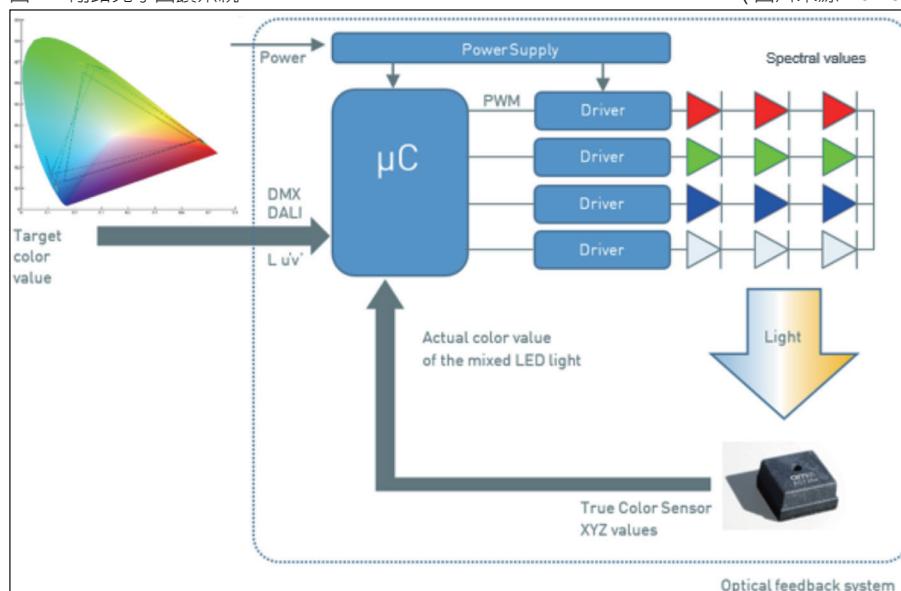
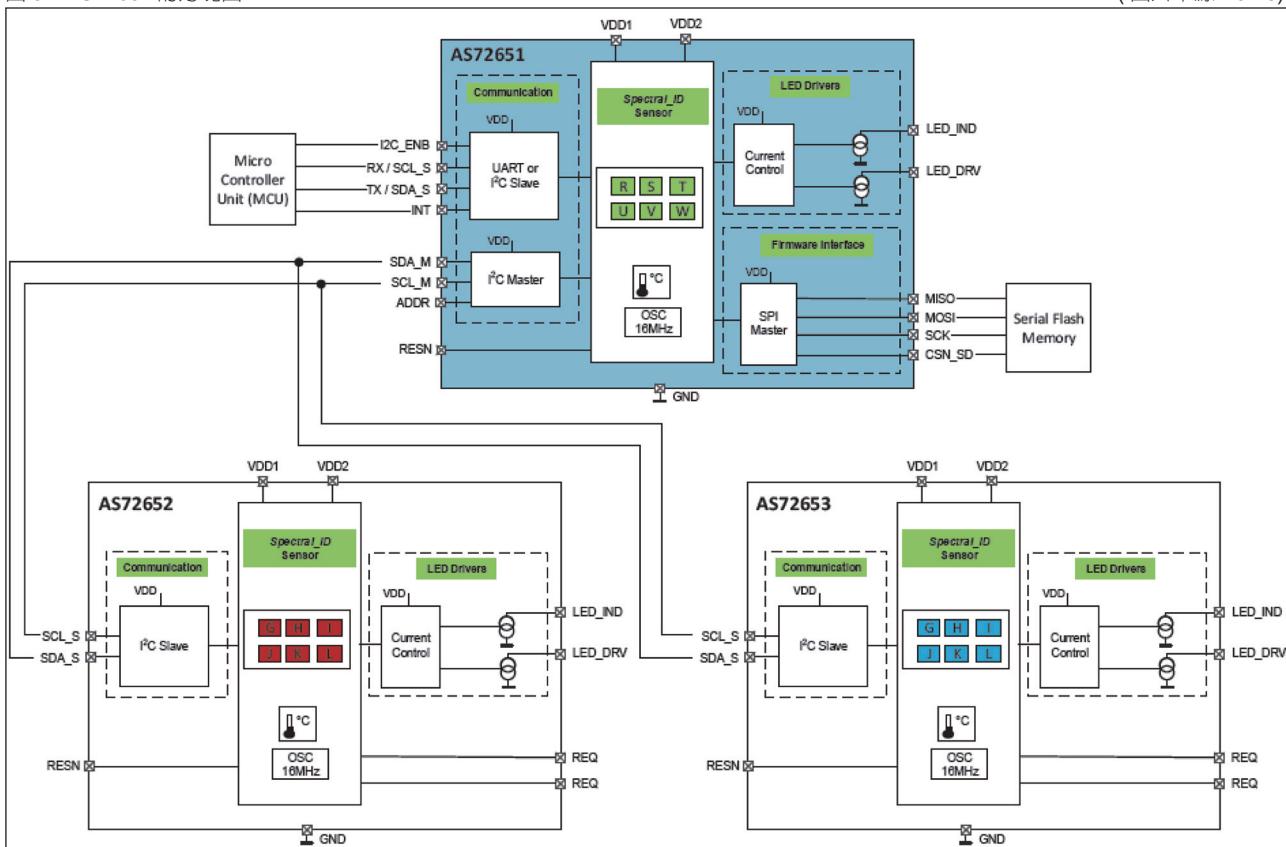


圖 5：AS7265x 的方塊圖。

(圖片來源：ams)



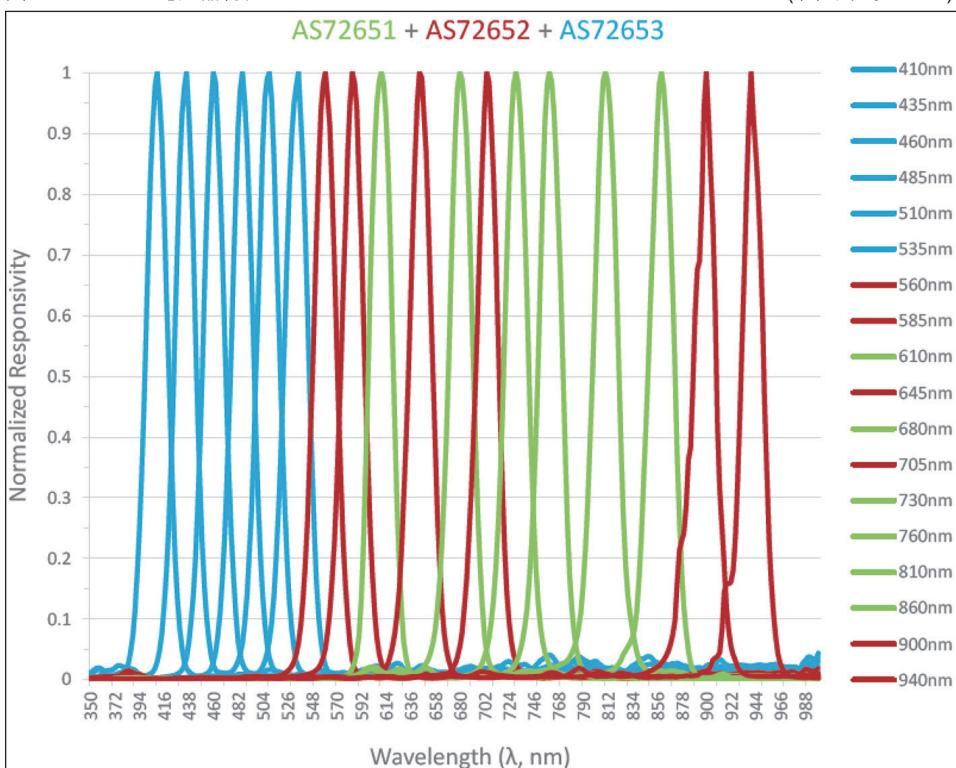
儀器所需的一般元件解決方案，ams 能利用這個濾光片產出更小、更具成本效益的光譜感測器 IC。

AS72651/652/653 晶片組在出廠時已經過校準，能在整個感測光譜範圍內提供標準化的 35 counts/ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，簡化了演算法開發。由於濾光片在時間和溫度變化下仍能維持高度穩定性，這使得「生命週期校準 (calibrated-for-life)」設計成為可行，可降低元件和製造成本，並且實現新的應用，例如園藝照明 (參見圖 5)。

新型 AS7265x 晶片組

圖 6：AS7265x 濾光器特性

(圖片來源：ams)



AS72651 + AS72652 + AS72653

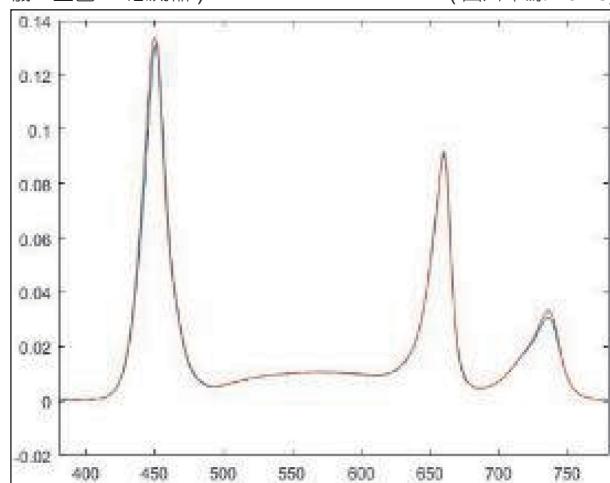
結合小尺寸和低功耗特性，使照明製造商能夠利用這些獨特屬性開發全新園藝照明系統。

針對燈具內或直接作用在植物的植物照明系統，此系統能夠監測光譜發射分佈和亮度。拜光譜濾波器特性所賜，AS7265x 感測器能夠監測 $\sim 400\text{nm}$ 和 $\sim 700\text{nm}$ 之間的光合有效輻射 (Photosynthetically Active Radiation, PAR) 參數，這是植物進行光合作用的光譜範圍 (見圖 6)。此外，感測器的光譜數據可用於監測 LED 的光電轉換效率、電功率輸入比和光功率輸出。

ams 的初始內部測試證實，AS7265x 的精確度可以接近於實驗室等級光譜儀的準確度，此實驗室具有適當校準照明系統。

圖 7 顯示光譜儀 (紅色) 和 AS7265x 感測器 (藍色) 的測量值之間的差異。在這種情況下，ams 測量絕對值，完成 AS7265x 愄測器與光譜儀的基準測試。如果閉路控制方案僅測量標準曲線的漂移，則

圖 7：校準後光譜儀數值與感測器數值的光譜比較 (紅色 – 光譜儀，藍色 – 愄測器)。 (圖片來源：ams)



工廠校準足以測量相對值。

除了監測光譜 LED 中的老化效應和溫度漂移外，AS7265x 愄測器還可以偵測日光影響。針對暴露在日光下的光譜 LED，這類資訊可用於調降這些 LED 所發射出的波長強度。

這提供了額外的能源和成本節省效益，同時保持植物的最佳照明。整體而言，由光譜 18 通道 AS7265x 愄測器晶片組實現的閉路控制方法，讓園藝照明製造商能夠開發具有以下功能的全自動照明系統：

- o 自動補償日光的影響
- o 自動調整晝夜節律
- o 在整個生命週期和溫度範圍內自動平衡 LED 漂移

結論

在未來，LED 將成為大部分園藝照明系統的光源，用來取代傳統的 HPS 燈具。之所以出現這種變化，是因為 LED 光源的擁有成本較低，且提供了更好的功率效率、更低的輻射熱量和更長的使用壽命。採用 LED 的新型照明系統將更加智慧、連結性更佳，且能使用更多種感測器，這將為溫室帶來更好的控制和自動化功能。光譜感測器用於監測植物的光照和光合作用，這些數值將用於自動優化生長光。

使用光譜感測器 (如 AS7265x 晶片組)，園藝照明系統能夠長期提供更高的效率、更佳的穩定性。感測器開啓了新的功能，如自動燈光平衡和生長監測。這減少了種植作物所需的工作量，節省了能源成本並有助於優化作物產量和品質。 

COMPOTECHAsia 檢書

每週一、三、五與您分享精彩內容

<https://www.facebook.com/lookcompotech>