

UV LED 的無螢光輻射通量測量

介紹

UV LED 技術的發展不斷提高元件的量子效率並改善其封裝設計。這導致輻射通量和可靠性穩步提高，同時降低了成本，從而使 UV LED 在許多應用中替代了傳統的 UV 光源。特別值得一提的是，UV-C LED 現在實現了性能和使用壽命，該產品可用於新的應用領域，包括例如家用產品中的水淨化和空氣淨化系統，以及在光譜儀器（如 HPLC 設備）中替代氙燈。因此，越來越需要精確且可追溯的 UV LED 測量。除了測量光譜輻照度外，光譜輻射通量的測量也非常重要。通常，可以使用積分球或測角儀的系統來測量輻射通量。通常首選積分球測量，尤其是對於產品測試和篩選，因為積分球測量速度更快並且設備通常更具成本吸引力。

測量挑戰

但是，由於包括檢測器靈敏度，校準和螢光在內的許多問題，與類似的可見光測量任務相比，UV 測量面臨更多的挑戰。可用的測量設備通常在紫外光中具有比在可見光區域中低的光譜響應度，這降低了它們在校準和後續測量期間的信噪比，尤其是在 UV-B 和 UV-C 中。

與可見光區域相比，只有少量的校準燈可用。此外，可用的校準源（通常是氙燈）提供較低的信號位準，並且不如最常用於可見光校準的廣泛使用的鹵素燈那樣穩定。還應該提到的是，與可見光譜區域相比，校準光源的老化通常在 UV 中更為明顯。結果，紫外光譜儀的校準非常複雜，需要結合使用氙燈和鹵素燈。

最後，螢光是 UV 量測中的挑戰，在測量可見光時通常不相關或不考慮螢光。如果不能正確理解和正確處理，可能會導致嚴重的 UV 測量錯誤。即使低水平的紫外線照射，許多材料仍會表現出一些紫外線激發的螢光，這可能會歪曲測量結果。常見的積分球塗層材料硫酸鋇和 ODM（合成塗層）就是這種情況。另外，任何材料污染物和表面污染物都會增加積分球材料的螢光。由於積分球的基本原理（多次反射以使球體內的輻照度保持恆定；高反射率導致增益係數），

本文討論了更合適的球體材料及其特性，以便能夠在更長的時間內以最低的測量不確定度執行光譜輻射通量測量。

螢光性

為了確定積分球內任何螢光影響的大小，使用可調諧激光器（例如 **OPO**）來測量由不同激發波長產生的螢光是很方便的（參見圖 1）。使用這種可調諧激光器，可以產生紫外線中的不同激發波長，並將其耦合到正在研究的積分球中。只要測量系統的雜散光足夠大，就可以使用適當的光譜輻射計測量系統來測量包括螢光影響在內的結果信號。

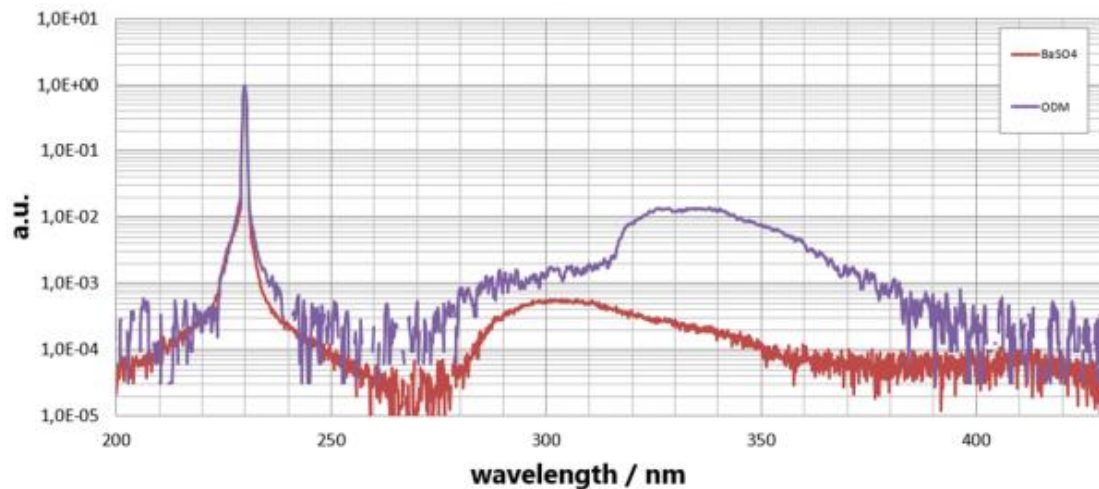


圖 1：

測量具有 230 nm 激發波長的 ODM 和硫酸鋇塗層的積分球。在 280 nm 和 400 nm 之間可見的信號是由積分球中的螢光引起的。

圖 1 中所示的附加信號（介於 280 nm 和 400 nm 之間）是由球體本身的螢光引起的，並且是測量誤差。雜散光水平低於 $1\text{E-}5$ 的雜散光校正光譜儀用於該測量。此外，部分實際測量信號必須在 230 nm 處吸收才能產生這種螢光。所示的 $1\text{E-}2$ 的螢光信號僅來自單個單色激發波長。例如，測量具有給定 FWHM 帶寬的 230 nm LED，將在 LED 的整個光譜範圍內激發螢光，並且螢光貢獻會更大。因此，螢光顯然是此類測量中測量不確定度的重要貢獻，並且很容易達到 20% 左右（取決於光源的光譜分佈和所使用的積分球）。請參見圖 2 中的示例，以測量 230 nm LED 的 ODM（合成材料）球：

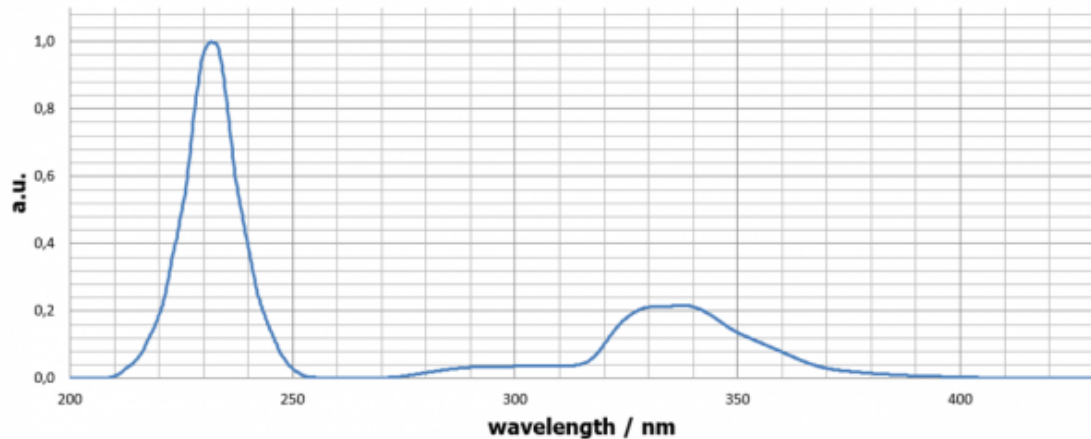


圖 2：

ODM 球體中模擬的 230 nm LED 產生的螢光很容易在 20% 左右。

螢光的主要原因是污染物，例如碳氫化合物和其他有機物質，它們形成在或滲透到球形塗層的表面[3，6]。通常僅在 250 nm 以下的波長激發。因此，對於波長 > 250 nm 的測量，只要在校準過程中也考慮了螢光效應，螢光的影響就不再那麼關鍵。例如，如果用鹵素燈（僅主要信號 > 250 nm）校準了積分球，並且執行了 > 250 nm 的測量，就屬於這種情況。但是，如果使用氙燈或氬氣燈執行校準，則會改變這種情況，因為它們都會產生低於 250 nm 的顯著輸出，這會導致某些螢光影響，從而增加校準不確定性。

硫酸鋇或 ODM ？

圖 1 的測量數據表明，未經處理的 ODM 球的螢光從根本上高於硫酸鋇球的螢光。然而，重要的是在對球體塗層進行特殊處理之後剩餘的螢光強度。測量表明，ODM 的螢光特性可以降低但不能完全消除。這與 LED 專業版（2018 年 10 月，第 63 期鏈接[1]）中的出版物一致，在該出版物中，類似 ODM 的材料螢光在一個激發波長處從 0.9% 降低至僅 0.05%。儘管螢光減少了，但仍不能完全避免。因此，這仍然導致測量誤差。對於前述的 UV LED，這仍然是大約 1% 範圍內的附加測量誤差。PTB 還發表了一篇論文對此進行了確認[4，5]。相比之下，與 ODM 相比，具有特別精心準備的硫酸鋇塗層的積分球的螢光可以進一步降低，請參見圖 3：

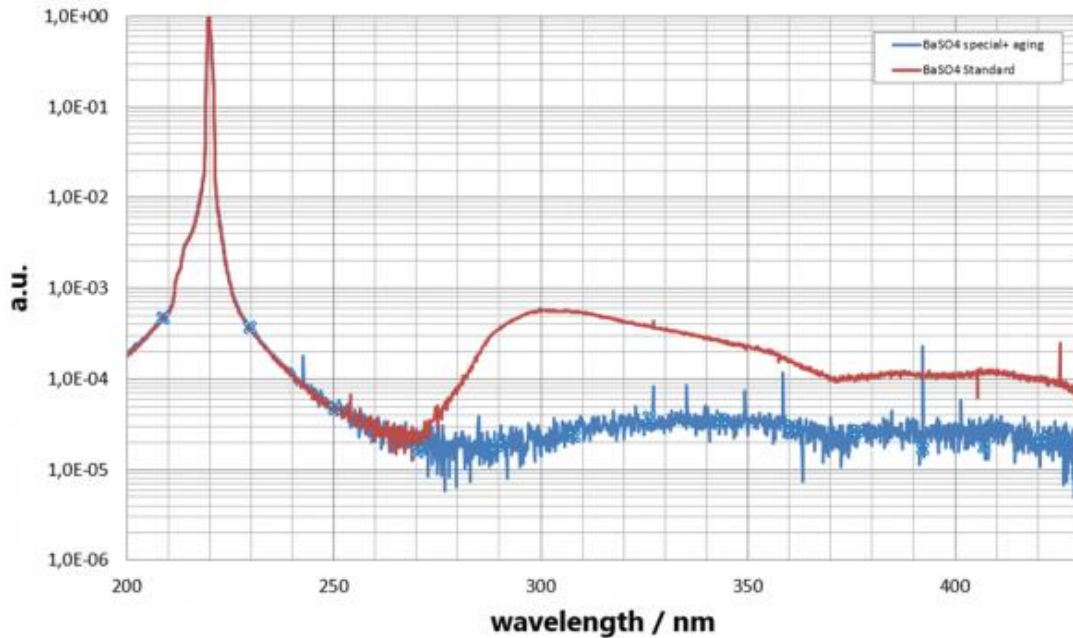


圖 3：

對於純硫酸鋇塗層的球，老化後在 300 nm 處的螢光降低了 28 倍

例如，可以將 300 nm 處的螢光降低 28 倍。對於上述 UV LED 測量，這意味著較小的測量誤差，僅為 0.1%。因此，PTB 再次在紫外線中使用紫外線老化的硫酸鋇塗層球體進行此類測量[2]。

螢光復發？

另一個不確定因素是這些球體的時間穩定性。換句話說，螢光會返回嗎？答案很明確，是的。它返回的速率取決於污染物（例如碳氫化合物和其他氣體）的污染以及濕度對兩種塗層類型（ODM 或硫酸鋇）的影響[3]。因此，螢光影響的返回取決於當前的環境測量和存放條件。但是，在所有情況下，螢光都會在特定時間範圍內返回，例如參見圖 4：

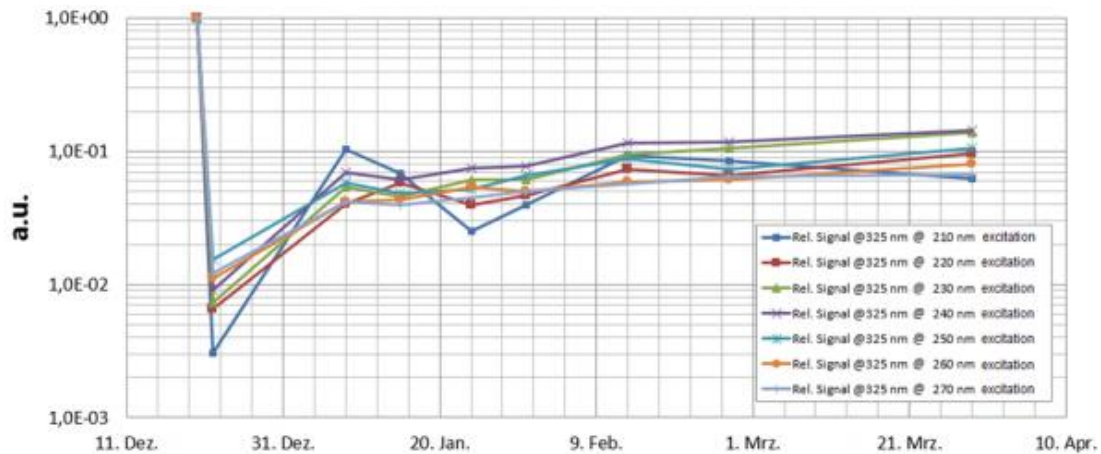


圖 4：

由不同的激發波長在 325 nm 處測得的循環螢光。處理後立即發生最低信號。

因此，對系統進行定期重新老化對於確保無螢光測量至關重要。

計量解決方案

為了能夠實施該測量技術，已經開發了一種紫外光譜通量測量系統，該系統將積分球與經過特殊預處理的硫酸鋇塗層相結合。此外，有效的系統應包括特殊光源以及必要的應用方案，以使用戶保持測量系統無螢光。圖 5 顯示了這樣的測量系統。



圖 5：

Gigahertz-Optik TFUV10 測量系統，用於永久無螢光測量

該測量系統能夠在 1 nm 光學頻寬和 ~ 0.16 nm /像素解析度下進行 200 nm 至 550 nm 的長期螢光測量。此外，測量系統還可以使用不同的 2-Pi 校準燈（氙和鹵素），以校準整個光譜範圍。特別重要的是校準燈的 2-Pi 幾何形狀，這可以實現對 UV LED 測量的低測量不確定性，因為校準期間的測量幾何形狀與後續 LED

測量期間的幾何形狀非常相似。當然，校準源應該由經過認可的實驗室進行校準，並且可以追溯到 NMI（如 PTB 或 NIST）。

結論

當使用積分球測量在小於 250 nm 波長處發射的 UV 源的輻射通量時，螢光對測量不確定度有重大貢獻。當使用常規積分球進行特定的 UV 測量時，螢光很容易將不確定度增加到 20% 的範圍內。由於越來越多的 UV LED 應用以及包含深層 UV LED 的產品範圍，這個問題變得越來越重要。為了永久降低測量不確定度，除了合適的積分球塗層材料和生產工藝外，還需要特殊的處理方法。測量證明，硫酸鋇比 ODM 之類的合成塗層更適合於深紫外線，因為它可以保持較低的螢光性能。儘管 ODM 具有更高的反射特性的優勢，但由於螢光導致的測量不確定性增加，這一優勢被抵消了，特別是對於產生 250 nm 以下輻射的光源而言。對於僅以大於 250 nm 的波長發射的光源，由於 ODM 與硫酸鋇相比具有更高的反射率，因此通常仍然是一個很好的選擇。由於經過特殊預處理後的螢光會隨著時間的流逝緩慢而穩定地增加，因此對於此應用來說，正在進行處理的概念也是必要的。借助所描述的 TFUV10-V01 測量系統，提供了一個完整的計量解決方案，該解決方案考慮了該主題的所有方面（結果螢光小於 0.1%），為用戶提供了長期準確性。

參考資料

[1] LED Professional，2018 年 10 月，第 63 期鏈接

[2] Gesprächsnotiz Peter Sperfeld，PTB

[3] Shitomi H.，Saito I.，白色參考材料的光致發光，用於暴露於短於 400 nm 的輻射時的光譜漫反射，Newrad，2005 年

[4] Pape S.，Sperfeld P.，Barton B.，Stock K.，分析和減少 PTFE 塗覆的積分球上的螢光，https://www.ptb.de/cms/ptb/fachabteilungen/abt4/jahresbericht-aktuelles/nachricht-aus-dem-jahresbericht.html?tx_news_pi1%5Bnews%5D=748&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pis_pis%1%5D%5Bday%1%DB=e2cf784ed439321f83cabe493669f3

[5] Albert E. Stiegman，Carol J. Bruegge，Arthur W. Springsteen，“Spectralon 漫反射材料的紫外線穩定性和污染分析”，選項。◦ 32（4）（1993 年 4 月 1 日）

[6] Shaw PS，Li Z.，Arp U.，Lykke RK，積分球的紫外線表徵，應用光學，2007 年