

多功能白光發光二極體封裝技術

Multifunctional White Light Emitting Diode Packaging

蘇忠傑

Jung-Chieh Su

本文敘述利用光學鍍膜製作如具有之全方位反射 (omni-directional reflection) 等特性的光學元件，來達成具各種功能之白光發光二極體 (LED)。例如以光學設計出反射特定紫外光 (UV) 發光二極體之波長的全方位反射器 (omni-directional reflector, ODR) 光學鍍膜，可使 UV 光子在螢光粉層間反復多方向反射與穿過螢光粉層，而增加螢光轉換效率與發光均勻度。此外，亦可利用此一光學設計概念，加以解決其它白光發光二極體封裝所遭遇的問題，例如上述之白光發光二極體再結合以紫光與藍光 LED 激發白光的方式，更可達成可調發光顏色的功能。

The thin film optical components with a functionality of omni-directional reflection are used to package the multifunctional white light emitting diodes (LEDs). For example, an omni-directional reflector (ODR) is used in UV-pumped white LEDs to omni-directionally reflect the UV light in certain spectrum range and the UV photons are multiple reflected between the ODR and phosphor resin. This mechanism can enhance the phosphor conversion efficiency and the uniformity of the emitted light pattern. The same concept can be used to manufacture other multifunctional LED packaging, such as color tunable white light LEDs which are packaged by combining ODR, UV, purple and blue pumping LEDs.

一、前言

1. 白光 LED 技術

白光為多顏色的混合光，至少包括二種以上波長之色光所形成，例如藍光加黃光可得到二波長之白光，藍光、綠光、紅光混合後可得到三波長之白光。一般所謂固態照明 (solid state lighting, SSL) 所使用的白光發光二極體，可依照其內部所使用的物質而分為有機發光二極體 (organic LED, OLED) 與發光二極體 (LED)。本文主要介紹目前市場主流

光電半導體元件—白光 LED，其主要有以下三種製作方式：一為以紅、藍、綠三色發光二極體晶粒組成白光發光模組，具有高發光效率、高演色性 (color rendering) 優點，但同時因不同顏色晶粒其磊晶材料特性也不同，造成使用時晶粒溫度上升後，因材料老化程度不一，造成的發光顏色飄移現象。另外，因不同顏色晶粒的電性不同，故控制驅動線路複雜。但其最大缺點為不易混合所發出的色光，在近距離檢視時會產生顏色分開現象。二為日亞化學 (Nichia) 提出以藍光 LED 以激發黃色螢

光粉產生白光發光二極體方式，此方法為目前市場主流方式。其專利生產方式為使用藍光 LED 晶粒 (波長約 460 nm) 搭配黃色 YAG 螢光粉 (峰值約 550 nm)，其發光效率目前已達 100 lm/W 以上。此一方式製作之白光 LED，其基本結構為以一發出激發光之藍色 LED 晶片的外圍塗布一層黃色螢光膠，可藉由藍光激發螢光的作用方式來產生白光。其原理為未被螢光粉吸收的藍光加上被激發出的黃光，以互補色的原理產生白光。此類白光 LED 只能以藍色與黃色兩種光混合成白光，所發射之白光顏色的色性質如色座標 (color coordinates)、色溫 (correlated color temperature, CCT) 與演色性指數 (color rendering index, CRI) 等，皆只能以兩種光的不同比例來控制。兩種光的比例控制則以所使用的螢光膠 (混合螢光粉與透明光學膠) 的厚度與濃度來控制，太濃或太厚皆會造成發光量降低。所以一般來說，其產生的色溫通常偏高，演色性偏低；尤其是發光光譜較缺紅色波長，因此白光 LED 照射皮膚時會呈現不自然顏色，即演色性不佳問題。

雖然目前市場已有上市的改良黃色螢光粉宣稱可達高演色性 (CRI) 效果，但若要用於 LCD 背光源或其他照明應用，所以必須在螢光粉材料上做處理，如添加藍光可激發之紅色螢光粉，以提高 CRI。另外，當 LED 晶粒注入的電流大小改變時，由於藍光晶粒溫度升高造成其發光波長改變；同時此一改變會造成黃色螢光粉發光光譜也會改變，因此混合出的白光顏色也會有變化漂移的現象 (即色差現象)。

但整體來說，藍光晶粒發光效率或是黃色螢光粉轉換效率都相對上較其他方法高。此外，此方式尚有一光量分布不均勻問題 (發射光點呈現中間為白色光點，且具有黃圈現象)。最後方式是以紫光 (purple) (波長 ~400 nm) 或 UV LED (波長 370—390 nm) 激發均勻混有藍、綠、紅三色螢光粉之透明光學膠體，激發後可得到三波長之白光。此一三波長白光發光二極體具有高演色性優點，但卻會有發光效率不足缺點。為解決上述問題，需改善其螢光粉的發光效率。關於使用 UV LED 激發之白光 LED，因紫外線會穿透螢光粉膠層，須將紫外線阻絕防止外逸避免 UV LED 晶片所發出之紫外光對

人眼的傷害；如以吸收方式阻絕 UV 光，則會造成紫外光的耗損，進而降低白光發光二極體的發光效率。

二、主流封裝技術特徵與改良方向

總結上述，白光 LED 能藉由多色 LED 晶粒混光與 LED 激發螢光轉換封裝兩個方式達成，其中以 LED 激發螢光轉換封裝方式因製程簡單、成本低，而廣泛為業界採用。LED 激發螢光轉換封裝方式又可分為單一晶粒激發單色螢光粉或多色螢光粉兩種方式，而多色 LED 混光則以多晶粒封裝方式達成。茲就其發光特性加以探討與提供改良方式，以增加其功能：

1. 發光顏色穩定性

如上所述，由於藍光 LED 的發光波長隨操作溫度上升而增加，因而影響黃光與藍光混合時產生的白光顏色變化。以不同色光 LED 可混合成白光 LED，但因每種色光之 LED 發光效率各有所不同，點亮之後每種 LED 之老化程度也有所差異；其背後的電路設計將是一大挑戰，此即不同色 LED 混光所需克服之難題。另外，使用多色 LED 混合封裝方式的高演色性之白光光源，雖具有即時性顏色可調之功能，但因各色 LED 晶粒的磊晶製作材料不同，容易因發熱導致老化程度不一，造成發光顏色變化。又因 LED 本身發熱提高晶片溫度，導致發射波長有所偏移，而使得本來已混色之白光變成偏向某顏色，因此各色 LED 晶粒所發出各色光如何混出均勻白光為另一需克服問題。

就成本而言，因磊晶材料的差異造成驅動電壓不同，為穩定發光顏色會造成電路複雜化與成本增加。至於以 UV 或紫光 LED 光來激發多色之可見光來混成白光，由於 UV 或紫光對人眼的感度差 (幾乎不可見)，對於因晶粒溫度造成的波長變化產生的顏色差異較小，所以發光顏色較穩定。又因採用多色螢光轉換封裝方式其發射的色光混合較均勻，且演色指數高，但其缺點如上述之為螢光粉轉換可見光效率較差，造成發光亮度不足與紫外光外溢問題。至於螢光粉因 LED 晶粒溫度升高造成的

發光量衰減，則不在本文討論範圍內。此外，如前述原因為增加白光發光二極體之發光顏色穩定性，2010 年筆者曾提出將傳統藍光 LED 激發黃色螢光之封裝結構，結合具特殊穿透光譜之光學濾鏡，製作可在一定驅動電流範圍內維持發光顏色較為穩定的白光 LED^(1,2)。

2. 發光顏色調整

雖然業界廣泛採用之藍光激發黃色螢光轉換封裝方式製程簡單、成本低，然而改變光源發光顏色溫卻不容易。因為藍光 LED 的外圍覆蓋有黃光螢光膠層，此藍光 LED 所發出的部份藍光，配合上黃色螢光混合成白光，在一定發光顏色規格下，需有固定比例，也就是黃色螢光膠的螢光粉的濃度與膠層厚度為最佳值，無法任意改變。所以，無法改變藍光與黃光螢光粉作用的機制，進而改變發光光譜的大部份波長，只能調整藍光的強度，以產生發光色溫或顏色變化。

此一利用藍光 LED 晶片所發出的藍光來激發黃色螢光粉，係利用藍光需穿透黃色螢光粉，並產生黃光與穿透之藍光混合之二波長的白光；由於藍光的強度大於所激發黃光的強度，所以有色溫偏高（藍光太多也較刺眼）、CRI 不高 (≤ 80) 與發光顏色不均勻（上述之黃圈現象）的問題。另一方面使用多色 LED 晶粒來封裝的白光 LED，雖具有即時性顏色可調之功能，但其發光光譜亦無法變化，只能調整其各色長之相對強度。總而言之，對於採用螢光轉換封裝方式的白光 LED，在一定發光顏色規格下，如同藍光 LED 激發的白光 LED，無法任意改變螢光膠層的濃度與膠層厚度。所以目前市售各種封裝方式做出的白光 LED 無法改變發光光譜，以產生發光色溫或顏色變化。

3. 偏極(光)性

目前液晶顯示器 (liquid crystal display, LCD) 之背光源的主要光亮度來源是 LED 或冷陰極 (CCFL) 燈管，而亮度提升為液晶顯示器的重要關鍵技術。含汞 CCFL，藉著施加高壓電場，使燈管內的惰性氣體游離，並使離子與汞互相撞擊產生紫外光，使塗佈在內管壁上的螢光粉吸收後發出可見光。

CCFL 除有含汞的環保問題外，又因為 CCFL 有紫外光外漏現象，所以會傷害面板模組內高分子零組件的問題。因此目前產業界生產 LCD 背光模組，使用白光 LED 搭配彩色濾光片、或使用 RGB (紅、綠、藍) LED 背光模組，可使 LCD 面板色彩飽和度提昇、厚度更輕薄、且較省電。此外，以 LED 作為 LCD 的背光源與傳統 CCFL 背光技術相比，有以下的優勢例如：色域較大、壽命較長、即時亮度調整等優點。就 LED 光源光譜而言，RGB LED 三原色的光譜，光譜波形較窄、顏色較純，所以色彩飽和度高。此外，使用 RGB LED 背光源可接近或高於美國國家電視系統委員會 (NTSC) 定義的 RGB 三色光譜形成的色域 (Gamut)，可超越一般白光 LED 與傳統 CCFL 所呈現出來的顏色變化。

然而上述各種方法卻都面臨著只能產生非偏極白光光源與光源使用效率不佳等問題。因為在目前的 LCD 技術中，其顯示板的架構主要係由一液晶層、一薄膜電晶體基板、一背光板、兩上下吸收型偏光膜片、一彩色濾光片所構成當光束從光源通過液晶層時，可產生空間光調制 (spatial light modulation) 作用，使得液晶顯示器可有效運作。

在 LCD 面板結構中，液晶層上下各具有一片吸收型偏光片，且二片偏光片成 90 度交錯方向。其中兩偏光片主要使液晶層在有電場與無電場時使通過光束呈現明暗的狀態。對於高吸光的偏光片的使用，因其對非偏極光之穿透率約只有 40%，而目前所使用 LED 或 CCFL 光源皆為非偏極光，因此當光源所發出的光束需穿透面板內層狀結構時，直下式 LCD 面板之光線利用效率僅約 $< 10\%$ 的光可以通過 LCD 模組出射顯現出來；而其他的光束會被面板內的各個組件吸收或散射轉化成熱能。對 LCD TV 而言，光量度至少要 500 cd/m^2 ($> 500 \text{ nits}$)，使得解決液晶顯示的亮度不足問題需增強透光或發光效率。

在增加光源模組發光效率、改善 LCD 面板透光率與光回收再利用等三種改良方式中，目前業界廣泛採用 3M 公司發明用增亮膜，使非偏極光經過多層膜反射產生偏極化，以便回收再利用，來增加液晶的出光量。其專利反射式偏光增光片 (BEF)，

為使用多層高分子膜加工產生雙折射性質，來製作能產生偏極化作用的膜層。BEF 是利用多次反射產生偏光原理，將原來會被下偏光片所吸收 50% 的偏極光反射回背光模組中，重複反射回收，使得大部份光束皆能通過下偏光片，並穿透液晶模組。

理論上，可使光源發光完全被運用。實務上，此法無法完全使所有光束轉成偏極光，且無法省去偏光片使用。若能結合增加光源發光效率與使出光回收再利用兩方法，在目前的白光 LED 之封裝技術下，達成偏極化白光之輸出，則可增加液晶出光亮度與減少吸收型偏光片於顯示器中的使用量與背光板之生產成本。此外，就照明應用而言，非偏極光在閱讀時會產生眩光 (glare) 問題，會令使用者感到不適，而無法觀看。如使白光發光二極體偏極化，則具有高消光比 (extinction ratio) 的偏極化白光發光二極體光源可以降低可能產生之眩光問題，其實際應用例子如具抗眩光功能之 3M 58 度博視桌燈。

4. 多功能性封裝

目前已知光觸媒中以具有無毒性、高穩定性與化學安定性之二氧化鈦 TiO_2 具強大催化作用與氧化還原能力而被廣泛應用。當光觸媒表面與空氣中的水分子接觸後，藉由紫外線的激發，可將細菌氧化分解產生殺菌作用。在日常生活中的環境存在著有機汙染物與臭味分子如氨氣、二氧化硫、硫化氫、甲苯與甲醛等氣體分子，在 TiO_2 吸收紫外線後所在表面產生電子與電洞對，經由光觸媒作用，可以使水分解成為氫氧自由基與氧離子，將吸附在光觸媒表面上的有機汙染物與臭味分子等產生氧化還原作用加以分解。此外， TiO_2 表面為超親水性的 (hydrophilic)，在防止油污灰塵附著時，更方便清洗其表面與保持乾淨，因此，二氧化鈦層具防霉殺菌、除臭防污與淨化效果。

由於一般的光觸媒 TiO_2 需要吸收波長 $<400 \text{ nm}$ 的不可見紫外光，此一波段紫外光基本上存在太陽光中，但對於室內照明而言取得較困難，且因為此波段能量只佔太陽光譜能量的 3%–5%，所以效能只有約 5%；因此僅靠太陽光是無法有效地使光觸媒 TiO_2 充分發揮應有的光觸媒效能。因此必

需以人工紫外光源來彌補，或使用可見光激發型的光觸媒，如將 TiO_2 改質，以降低能隙 (energy band gap)，以便利用波長 $400 \text{ nm} - 700 \text{ nm}$ 的可見光。市面上銷售之 HITACHI 奈米光觸媒螢光燈管，其構造基本上為螢光燈管外表塗布上一層奈米光觸媒，螢光燈管內經由高電壓加速的電子游離汞原子產生紫外光，紫外光穿過管壁上的螢光粉層轉換部分紫外光發出白光。當可見白光與部分未轉換成白光的紫外光，經由玻璃管壁射入最外層的奈米光觸媒層時，與管壁上通過的空氣中的臭味分子、有機汙染物、硫化氫等產生光觸媒反應；將含臭味之汙染空氣加以清潔轉換成二氧化碳、氮與水。因此如能結合上述之光觸媒螢光燈與白光 LED 封裝技術，將可結合 LED 照明與空氣清潔除污功能於一體。

三、封裝技術改良方式

1. ODR 封裝白光 LED

筆者提出美國專利第 6,833,565 號利用 ODR 技術結合白光 LED 封裝結構技術，以解決紫外光激發之白光 LED 所遭遇的紫外光外逸問題。該白光 LED 之結構為使用紫外光激發之白光 LED，其螢光膠層上方設置有一 ODR。當 UV LED 所發出特定波長紫外光束穿過螢光粉層時，紫外光會激發螢光粉發出螢光，並混合產生可見光。此一 ODR 的功能係針對某一紫外光波長範圍的光線在 $0 - 90$ 度入射角範圍內，產生極高反射能力。因為螢光粉層位於鍍有全方位反射器之玻璃基板與黏有 LED 的鍍銀導線架之間，所以全方位反射器與導線架表面形成類似雷射共振腔結構。

因 ODR 反射層膜會各角度反射紫外光波長，使紫外光束被拘束在螢光粉層間，反覆多方向反射與穿過螢光粉層，使紫外光被充分吸收與利用於產生二次以上之可見光激發。而螢光粉不能完全的吸收 UV 光，即剩餘的 UV 光不會外洩後會對人眼會造成傷害。因此在不改變原來螢光粉層的濃度與厚度等參數條件下，同時可增加螢光轉換效率、發光亮度與均勻度。同時 ODR 反射膜層並不會反射螢光粉所產生之可見光，使得可見光會充分穿出玻璃

基板。因此由特定組成的螢光粉所發出之可見光在 ODR 膜層的光學設計下可被控制透出基板的顏色，達到控制白光 LED 顏色與亮度的目地。因此具較高的激發螢光轉換效能，且無紫外光外溢。目前已證實可以用來改進白光轉換效率，同時兼具高演色性與低色溫等附加效益⁽³⁾。

2. 可變色白光 LED

傳統上可變色白光 LED 只能藉由多色 LED 達成，而業界廣泛採用之藍光激發黃色螢光轉換封裝方式製程簡單成本低，但無法改變光源顏色。由於白光 LED 目前只有多色 LED (多晶粒) 與螢光轉換 (單晶粒) 封裝兩個方式達成，雖然螢光轉換 (單晶粒) 封裝不易改變光源顏色，因為激發光 LED 的外圍覆蓋有單色或多色螢光層，此螢光層需有固定比例，也就是各色螢光膠的螢光粉之濃度與膠層厚度為固定值無法任意改變。所以無法改變激發光與各色螢光粉作用的機制，進而改變發光光譜的大部份波長，只能調整激發光的強度，以產生發光顏色變化。

另一方面，使用多色 LED 晶粒來封裝的白光 LED，雖具有即時性顏色可調之功能，除上述因各色 LED 晶粒的製作材料不同，產生 LED 老化不一，造成顏色變化與驅動電路複雜外，同時其發光光譜無法變化。如圖 1 所示，筆者提出之可變色白光 LED 結合傳統之兩種方式封裝 (多晶粒 LED 與螢光轉換)⁽⁴⁾。該可變色白光 LED，要原理為採用相似磊晶材料的氮化鎵鎵 (InGaN) 晶粒，所以具有幾乎相同驅動電壓，與多波長 (藍、紫與紫外光) 組合來激發不同種類螢光粉觀念，並使用 ODR 封裝結構，並結合擴散板 (diffuser) 功能。因為藍、

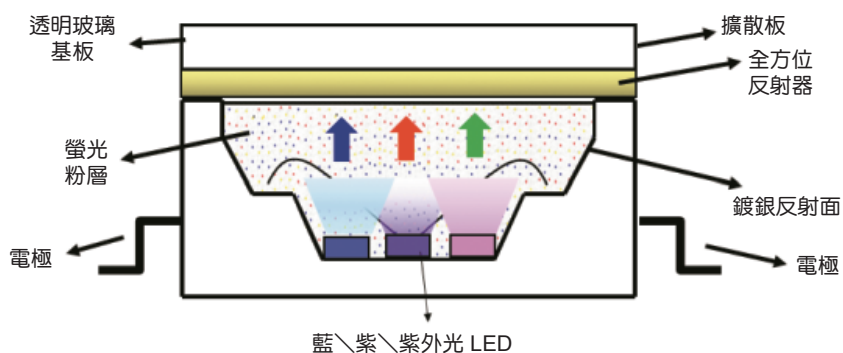
紫與紫外光晶粒採用相似的氮化鎵鎵 (InGaN) 磊晶材料，只在發光層成分有所微差異，所以其電壓電流特性表現頗為相似；降低了驅動電路設計的複雜度。

使用 ODR 封裝可阻止紫外光外逸，而擴散板可強化螢光轉換時發光均勻性。對於有固定比例之螢光層在固定濃度與厚度條件下，可經由不同的波長組合結合其各自的驅動電流大小，可達成變色目的。因此達到該變色白光 LED，雖採用螢光轉換封裝方式，卻具有即時性顏色可調之功能。如附圖 2 所示，目前色溫的可調範圍為 3000 K-8000 K，也就是從暖白色如鈉燈到冷白色如螢光燈皆可達成^(4,5)。

3. 偏極化白光 LED

由於激發 LED 晶粒輸出光束只在某些方向有部份偏極化，再加上激發光經由隨機散射 (random scattering) 來激發螢光粉產生螢光，所以無法產生偏極化白光 LED。在目前的液晶顯示器 (LCD) 技術，如能在目前的白光 LED 封裝技術下達成偏極化白光輸出，將大幅降低偏光片 (膜) 使用比率與背光板成本。利用鍍有奈米光柵偏光器 (nano-wire grid polarizer, NWGP) 的玻璃基板結合白光 LED 封裝製作技術⁽⁶⁾，可形成輸出高消光比 (extinction ratio) 的偏極化白光的白光 LED。反射式偏光片 NWGP 之光學特性起源於其具奈米尺吋之金屬線陣列結構，當入射光波中光束電場偏振方向垂直於金屬線陣列方向 (TM 波) 時可輕易穿透。反之，光束電場偏振方向平行於金屬線陣列方向時 (TE 波) 會被反射；因此具有起偏的光學性質。NWGP 除起偏功能外，其適用波長範圍與入射角度亦較一般偏光器 (片) 大很多，因此極適用於白光 LED 發光

圖 1. 可變色之螢光轉換白光 LED 之封裝結構。



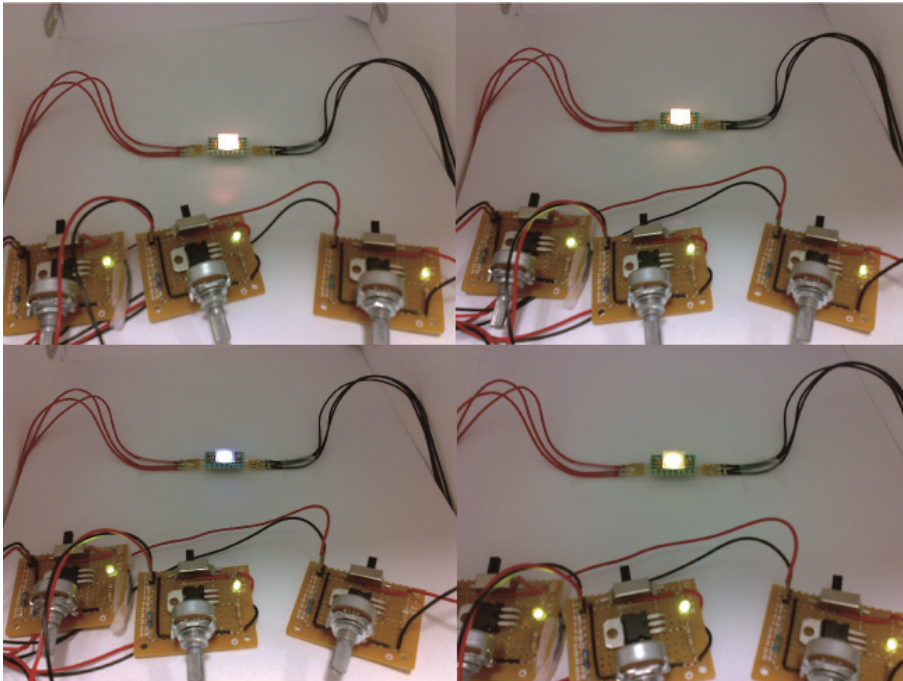


圖 2.
可變色之螢光轉換白光 LED。

特性 (多角度與多波長)。

藉著結合增加光源發光效率與回收再利用兩方法，配合反射型金屬線柵偏光器使用，如圖 3 所示，本偏極化白光 LED 作法為將一 NWGP 倒置於傳統藍光 LED 激發之白光 LED 上方，並留一空隙。此一結構有兩功能，一為提供將被反射的光束回收與反復激發黃光產生光束電場偏振方向的隨機化 (randomization)；以便經過 NWGP 再利用。另一功能為避免 NWGP 的奈米級金屬線陣列被螢光膠層損壞；如此可提供一種具有高消光比與穿透率之偏極化白光發光二極體光源。由於部份具電場偏

振方向無法穿透 NWGP 的藍光被拘束在螢光粉層間，反復多方向反射與穿過螢光粉層，使藍光不斷產生二次以上之黃光激發，因此可降低出光色溫及增加發光強度顏色之均勻性。在應用上偏極化白光可增加液晶出光亮度與減少吸收型偏光片於顯示器中的使用量與背光板之生產成本。以照明應用而言，白光發光二極體發光的偏極化，其高消光比 (extinction ratio) 可以降低可能產生之眩光問題 (參考圖 4 之左圖與右圖的發光比較)。另外，透過螢光粉的調配可控制白光光源之色度座標、色溫及演色性等發光顏色參數。

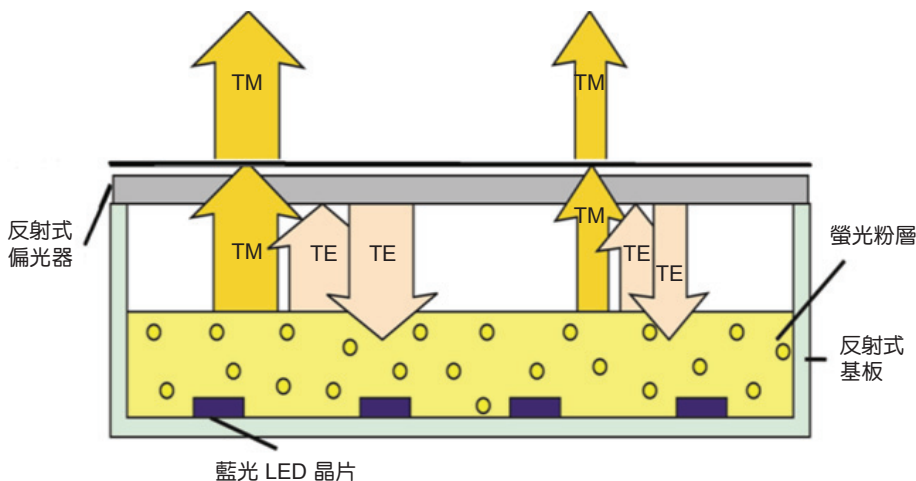
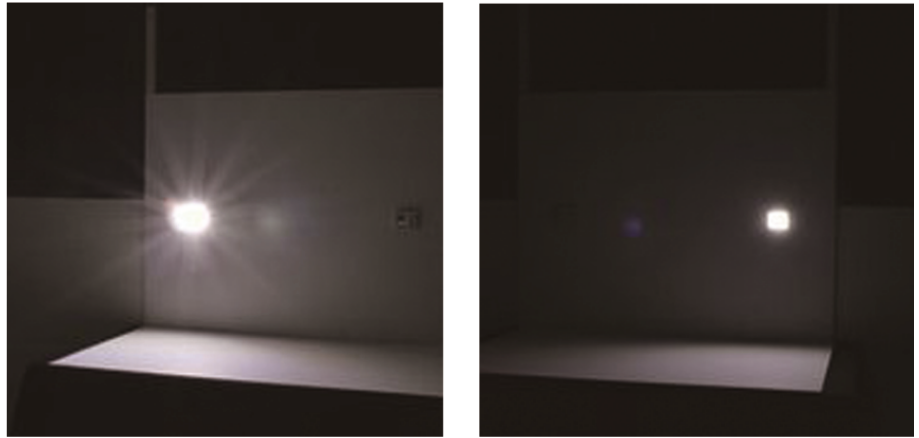


圖 3.
偏極化白光 LED 工作原理。

圖 4.

白光 LED 在黑暗環境下發光比較：圖左為傳統非偏極化白光 LED，圖右為偏極化白光 LED。



4. 多功能白光 LED

為增加白光發光二極體之功能性，筆者提出多晶封裝結構結合改良型全方位反射器 (ODR) 與二氧化鈦光觸媒鍍膜，製作兼具可變顏色和空氣淨化功能的白光 LED。首先，以 ODR 封裝白光 LED 為基礎之可變色白光 LED 配合二氧化鈦光觸媒鍍膜技術，其中改良型全方位反射器是根據先前研究的 ODR 去做改良⁽⁷⁾。因為二氧化鈦光觸媒必須照射紫外光才能發生作用，經過光學設計可以使 UV 光在大的入射角度範圍時 (如 > 40 度)，對於改良型 ODR 其 UV 光之穿透率開始提升，然後將二氧化鈦光觸媒噴塗在改良型 ODR 的背面，以製作成複合元件，使大角度出射的紫外光可激發二氧化鈦光觸媒進行空氣淨化。另一方面，由於具有奈米顆粒的二氧化鈦光觸媒層可兼具發光均勻化等作用；此一多功能白光 LED 同時具有節能、照明、調色與除污等功能，創造了多功能照明應用的新方向。

四、結論

臺灣液晶顯示、LED 與照明產業長期以來一直在世界上扮演重要的角色，其中 LED 是光電產業中基礎而重要的元件，各式各樣的電子產品如手機、LCD 面板、數位相機、平板電腦等都需要裝置發光二極體元件，並已在節能的趨勢下用來取代如燈泡或日光燈的一般照明設備。隨著發光二極體晶粒亮度逐漸的提昇，其應用層面將更深入工業及

家庭，再加上奈米薄膜光學元件配合白光 LED 的封裝、設計與改良，將使得應用白光發光二極體於照明市場上充滿希望。所以，白光發光二極體的效能提升，不但會使產品更加環保、省能，既能繁榮現有市場，進一步殺手級應用還可能帶來全球產業革命性的改變，未來對於國內廠商既可發展奈米科技應用，亦可提升蓬勃發展的光電半導體產業產值與技術落實。

參考文獻

1. J. C. Su, S-F.Song, and S.-H.Chen, *Appl. Opt.*, **50**, 177 (2011).
2. US Pat.No.8,459,814.
3. J. C. Su, C.-L. Lu, and C.-W. Chu, *Appl. Opt.*, **48**, 4942 (2009).
4. US Pat.No.8,008,850.
5. J. C. Su and C.-L. Lu, *Opt. Exp.*, **17**, 21408 (2009).
6. J. C. Su and T. M. Lin, *Opt. Exp.*, **21**, 840 (2013).
7. 彭聖揚, 多功能白光發光二極體, 國立台灣科技大學光電所碩士論文 (2012).

蘇忠傑先生為美國南加州大學物理博士，現任國立台灣科技大學光電所與電子系副教授。

Jung-Chieh Su received his Ph.D. in physics from University of Southern California, USA. He is currently a professor in the Graduate Institute of Electro-optical Engineering at National Taiwan University of Science and Technology.