

COLOR COMMUNICATION

量測色彩學

基本概念

色彩構成三要素：光源、被照射物體、可感覺色的眼睛和頭腦（光源、物體、觀測者）。

光源

光源：宇宙間主要光源為太陽，會產生電磁波的振動，向四週傳達光與熱，其中一小段的電磁波為人眼可見，稱為可見光。

被照射物體

1. 透射（Transmission）：透射是入射光經過折射穿過物體的現象，被透射之物體為透明體或是半透明體。若是無色的物體，除了少數光從物體的兩個表面反射外，大多數光是透射過物體。
2. 吸收（Absorption）：當入射光照射在物體上，此物體會吸收部份可見光而顯示出顏色；如果吸收全部的光則會呈現黑色；意即我們能看到物體的顏色是要光源含有該顏色，而被照射的物體反射出該顏色如此人眼才能看見該物體的顏色。
3. 反射：（Reflection）：
 - 鏡面反射（Specular reflection）：發生於平而光滑的表面上，當光以某種角度射在平面上，則以同角度反射其光，物體的光澤是來自鏡面反射。
 - 擴散反射（Diffuse reflection）：一般發生於粗糙表面上，入射光以很多不同的角度被反射，此擴散反射能顯示物體的形狀、大小、顏色和組織構造。
 - 大多數的透明體及不透明體的平滑表面，同時具有鏡面反射和來自表面下散射的擴散反射。
4. 散射（Scattering）：散射是指光被細粒子紊亂轉向的現象，例如天空的青藍色和雲的白色都是散射的結果；當有足夠的散射時，我們可以說光從物質被擴散反射。

可感覺顏色的眼睛與頭腦

1. 眼睛與頭腦：最重要的色彩偵測器是眼睛、神經系統及頭腦。眼睛中最重要的感光部份是網膜；而網膜中有桿狀體（rod）及圓錐體（cones），其中圓錐體對不同波長的光有不同的分光感應曲線，因此要取代眼睛的偵測器也要有分光感應曲線的功能。
2. 刺激值：將色產生的三要素聯合起來就是色的信號或刺激（stimulus）。頭腦能將此刺激值轉變成色的感覺，意即將照明光源光譜能量分佈曲線乘以物體的分光反射率分曲線再乘以偵測器（或眼睛）的分光感應曲線就能得到色的刺激值。
3. 分光資料互換：物體的分光反射率曲線比色彩三屬性（色相、明度、彩度）包含更多的資料；色彩三屬性的資料可以由分光反射率來求得，但是三屬性的資料無法轉換成分光反射曲線。

演色性

演色性：當影響色彩的三要素——光源、物體、觀測者其中之一被改變，會造成色刺激值的不同；例如：物體及觀測者維持不變，光源改變，則可預知因為光源的改變，造成 11 此種由於光源的改變而造成物體色彩不同的情形即稱為演色性（Color rendition）。

色變現象

色變現象：兩個物體在某一個光源下能對色，但是至少在另一個光源下無法對色，此一現象即稱為色變現象（metamerism）。

色彩表示法

色彩表示法有二種：一為顯色系統-依據實際色物體的蒐集給予有系統的排列及描述而得的系統；一為混色系統-基於三原色光來混合出許多色彩所歸納的系統，目前為止最重要的混色系統是以儀器測量色彩的 CIE 系統。

顯色系統

- 顯色系統：大部份顯色系統是依據色彩的三屬性：色相(hue)、明度(Valueh, Lightness, Brightness)、彩度(Chroma, Saturation)。
- 1. 色相(hue)：表示紅、橙、黃、綠、藍、紫等色彩系統的術語。由分光反射率曲線來判斷，則視最高峰的波長色，即為該物體的色相。
- 2. 明度(Valueh, Lightness, Brightness)：若無色彩時，則由白—灰—黑所組成。若由分光反射率曲線來判斷，則視其波峰與波谷的平均大小而定。
- 3. 彩度(Chroma, Saturation)：是色彩的純粹度。指絕對不含白、灰、黑等無彩色成份的顏色。由分光反射率曲線來判斷，則可視其波峰與波谷的差數。彩度高則含黑白量少，彩度低則含黑白量高。

混色系統

- 混色系統：此系統是根據論與實驗認為所有色彩都可以由紅、綠、藍色光三原色混合而成，此三原色稱為光的原刺激值；因此在選定色料時，可用儀器量測出色料的三刺激值，使色彩的刺激與顏色的感覺能以定量的方式表達，此三種原色的刺激量即稱為三刺激值(tristimulus values)；此表色法目前以國際照明委員會 CIE 系統最為普遍。

CIE 標準光源

- CIE 標準光源：CIE於 1931 年推出A、B、C三種標準光源。由於螢光白劑的增加使

用，因此須要包含紫外線區域且相似於自然日光的照明光源，於 1965 年推出另一系列的光源，其中以 D₆₅最常使用。

1. CIE 光源 A：是鎢絲燈光（tungsten-filament lamp），色溫（color temperature）為 2854°K。所謂的色溫，提指黑體與光源之顏色對色時之溫度，且色溫應不恰巧等於此光源的實際溫度；此光源較常用是因其光譜較平滑，數據計算上較方便。
2. CIE 光源 B：是鎢絲燈光（tungsten-filament lamp）經過特殊過濾後的光，色溫（color temperature）為 4800°K，相似於中午的陽光（noon sunlight）。
3. CIE 光源 C：是鎢絲燈光（tungsten-filament lamp）經過特殊過濾後的光，色溫（color temperature）為 6740°K，相似於自北方 45°仰角的天空日光。
4. 氙弧燈光（Xenon arc lamp）：其色溫（color temperature）為 6000°K，相似於自然日光（nature daylight）。
5. Macbeth 7500°K Daylight：是鎢絲燈光（tungsten-filament lamp）經過特殊過濾後的光，色溫（color temperature）為 7500°K，相似於北方天空的日光（north sky daylight）。
6. 冷白色螢光燈光（Cool White Fluorescent Lamp）：其色溫（color temperature）為 4200°K。
7. CIE D₆₅：其色溫（color temperature）為 6500°K，相似於平均自然日光（average nature daylight），由於此光源目前無法由實物製造出來，因此只能稱為照明體；若能製造出來則可稱為標準光源，此光源較常使用的原因是由於一般人是生活在太陽光之下。

CIE 標準觀測者及配色函數

- 1931 年 CIE 推薦的標準觀測者之色感覺是由許多正常視覺的人（約 15 至 20 人）對感覺的平均。
- 實驗的方式如下：
 1. 選用光波長為 700nm 的紅光（r）、546nm 的綠光（g）、436nm 的藍光（b）作為色光的三原色，其單位為 $1R=1\text{cd/m}^2$ 、 $1G=45907\text{cd/m}^2$ 、 $1B=0.0601\text{cd/m}^2$ ，來與任一種測試光對色，調節三原色光的強度，就可調出與測試光相同顏色的混合色光。
 2. 在一實驗室中放置一塊白色的銀幕（打光用），將三原色的光由上往下打在銀幕中心偏上的位置；將測試用的光打在銀幕中下偏下的位置，在白色銀幕的中心以一塊黑色板子將三原色的光及測試用的光上下分隔開來。
 3. 在觀測者及各光源之前再放置一片遮蔽板，並在遮蔽板中心挖一個洞，使觀測者至銀幕之間的可視角度為 2°，且觀測者至銀幕之間的距離為 25cm。
 4. 針對參與實驗的視覺正常之人，在可見光譜波長 380nm ~ 780nm 範圍中，每隔 5nm 調整一次測試光，並計錄每次對色後的 r、g、b 三原色的三刺激值。待所有人都測試完畢之後將所有數值加以平均，可得到 $\bar{r}$ 、 $\bar{g}$ 、 $\bar{b}$ 三個函數值，此

即為 RGB 的配色函數 (color matching functions)。

5. 可是由於這些函數在某些波長會有負值產生，不但運算不方便，儀器更無法實現此一函數，因此利用數學運算方式轉換為全部都是正數的 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ 三個函數，以利計算。

■ 轉換方式如下：

先換成 X,Y,Z 三刺激值

$$X = 2.7689R + 1.7517G + 1.1302B$$

$$Y = 1.0000R + 4.5907G + 0.0601B$$

$$Z = 0.0000R + 0.0565G + 5.5943B$$

■ 此一公式有下列特點

1. 混色時所有 X,Y,Z 系數均為正值。
2. Y 之數值正好代表光亮度。
3. X=Y=Z 時仍然代表等能量白光。

■ XYZ 歸一化，引進色度座標，而使 $x + y + z = 1$ 可得

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

■ 而 x,y,z 稱為色度座標，將其歸一化後得到的配色函數成為

$$\bar{x}(\lambda) = 0.49\bar{r}(\lambda) + 0.31\bar{g}(\lambda) + 0.20\bar{b}(\lambda)$$

$$\bar{y}(\lambda) = 0.17697\bar{r}(\lambda) + 0.81240\bar{g}(\lambda) + 0.01063\bar{b}(\lambda)$$

$$\bar{z}(\lambda) = 0.00\bar{r}(\lambda) + 0.01\bar{g}(\lambda) + 0.99\bar{b}(\lambda)$$

其中 $\bar{y}(\lambda) = V(\lambda)$ 即光效函數 (Luminous Efficiency Function)

■ 光效函數：即可見光各個波長的發光效率函數，此函數是由人眼比較可見光區內各波長單位輻射亮度之明暗度所定出之函數；即人眼對光亮之靈敏度函數。

■ 配色函數中的 $\bar{y}$ 函數恰巧相似於眼睛分光感應分佈曲線，意即在各段波長中顯示出眼睛有多少效率能轉變能量成為明度感覺。

6. 由於視角大於 4° 以上時，視界較大，眼睛含蓋的桿狀體細胞較多，因此分光敏感度在短波長時較大；所以 CIE 在 1964 年增定了 10° 視角的配色函數。如此才能標出正確的色感覺。

CIE 三刺激值 XYZ 的運算

若以 CIE 標準照明體照射在色物體上，並由 CIE 標準觀測者的配色函數測色，則此物體的顏色可由下列數學式獲得。

$$X = K \int_{380}^{780} P_{\lambda} R_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \Delta\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} P_{\lambda} R_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} \Delta\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} P_{\lambda} R_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} \Delta\lambda$$

其中

P_λ 為標準光源的光能量分佈值

R_λ 為色物體的分光反射率分佈值

$\bar{x}_\lambda$ $\bar{y}_\lambda$ $\bar{z}_\lambda$ 為CIE配色函數的三刺激值

Δ_λ 為測定值的波長間隔，一般為 20nm

K為校正因素；其目的是使 X,Y,Z 三值不受 Δ_λ 大小影響，而應由 P_λ 及 R_λ 來決定。並且指定理相無螢光的標準白對所有波長的反射率均為 100%，即標準白的Y值為

$$100, \text{ 因此 } K = \frac{100}{\int_{380}^{780} P_\lambda R_\lambda \bar{y}_\lambda \Delta_\lambda}。$$

- 量測發光體時，計算公式同上，但是反射率的部份不去考慮。
- 量測透明物體時，計算公式同上，只是反射率的部份被穿透率所取代。

CIE 的色度座標及色度圖

- 由之前之敘述可知，物體的顏色可由 CIE 三刺激值 X,Y,Z 值來表示，但是只知道三刺激值要斷定何種顏色卻很困難；因此將 X,Y,Z 三值轉換成色度座標（chromaticity coordinates），分別為 x,y 及 z 值；其公式如下：須注意其文字之大小寫

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

由於 $x + y + z = 1$ 因此只要得知三值中的二個值就可以表示顏色，一般我們使用 x, y 值來表示；以 x 為橫軸，y 為縱軸，即可在繪圖紙上建立一色度座標圖來表示顏色，先將光譜上各單色光的 X,Y,Z 值算出，再計算 x,y 值，然後點在繪圖紙上的色度座標上，再把這些點依序連起來就可以得到一色度曲線，再將兩端以直線相連即成為 CIE 的 x,y 色度圖，此一直線亦稱為紫色線（該線位於最大飽和紅紫色、紫紅、藍紅色區而得名）。

- CIE 標準照明體的色度座標

CIE 標準 照明體	CIE 1931 色度座標		CIE 1964 色度座標	
	x	y	x	y
A	0.4476	0.4074	0.4512	0.4059
B	0.3484	0.3516	0.3498	0.3527
C	0.3101	0.3162	0.3104	0.3191
D ₅₅	0.3324	0.3475	0.3341	0.3487
D ₆₅	0.3127	0.3290	0.3138	0.3310

D ₇₅	0.2990	0.3150	0.2996	0.3173
-----------------	--------	--------	--------	--------

■ 色度圖的重要特性

1. 可以來說明色相 (主波長) 及飽和度 (純度)。例如一色樣在 C 光源的照射下求得一 $x y$ 值，將其標於色度圖上，將色度圖上標準光源 C 的點與色樣的點連接，將此直線延伸至光譜軌跡交點上，即為此色樣之主波長。相對於標準光源的純度為 $a / (a+b)$
2. 如果在色度圖上描繪出兩個點，將此兩點連接，則此兩色的混合色都會落在此一直線上。

CIE 系統的轉換

由於 CIE 的 $x y$ 表色系統對顏色的表示無法同步視覺，但可用於對色。因此後續有發展一些轉換的色座標表示系統。

■ 線性轉換，只涉及單純的數據加減運算

1. 1937 年 Mac Adam 轉換成 $u v$ 色座標系統，於 1960 年為 CIE 採用，其轉換公式：

$$u = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} = \frac{4x}{-2x + 12y + 3}$$

$$v = \frac{6Y}{X + 15Y + 3Z} = \frac{6y}{-2x + 12y + 3}$$

唯此法仍無法完全和視覺同步化。

2. 1973 年時將 1937 年的 $u v$ 公式中的 v 座標再加 50% 而成為 1976 CIE $u' v'$ 色座標系統，其轉換公式如下：

$$u' = u = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} = \frac{4x}{-2x + 12y + 3}$$

$$v' = 1.5v = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} = \frac{9y}{-2x + 12y + 3}$$

應用此公式而將 CIE 1931 的 x, y 色座標系統轉換成為 CIE 1976 的 UCS 色座標系統。

■ 非線性轉換，涉及其他運算，如開平方、開立方或立方根等的運算；且大部份的轉換是包含明度及色度的轉換。

1. 1942 年時由 Adams 轉換出含明度 (L) 值的 Lab 表色系統；而後於 1948 年時 R.S. Hunter 提出的 Lab 表色系統，一般稱為 Hunter Lab 色空間表示法，此法目前較多人採用，轉換公式如下：

$$L = 100 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/2}$$

$$a = 175 \left(\frac{0.0102 X_n}{Y / Y_n} \right)^{1/2} \times \left[\left(\frac{X}{X_n} \right) - \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right]$$

$$b = 70 \left(\frac{0.00847 Z_n}{Y / Y_n} \right)^{1/2} \times \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right) - \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right]$$

其中 X, Y, Z 即表示所測得之色彩三刺激值。

而 X_n, Y_n, Z_n 是表示經由一個非常理想的擴散器所求得之色彩三刺激值。

2. 1973 年時 Mac Adam 建議修改 ANLAB 色空間，簡化其複雜的運算公式；此建議在 1976 年為 CIE 採用而成為 1976 CIE $L^* a^* b^*$ 色空間表示法，簡稱為 CIE LAB。

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right]$$

以及一個常用的色彩判別方法在業界一般程為“總色差 (Color difference)”表示法為 ΔE^*_{ab} ，可以表示比較出兩個顏色之間的誤差值，定義公式如下：

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

另外還定義了下列色彩名詞

- 測量色相角度 (Metric hue angle) 用以判定兩色樣的色相值，接近何座軸顏色

$$h_{ab} = \tan^{-1}(b^* / a^*) \quad h_{uv} = \tan^{-1}(u^* / v^*)$$

- 測量彩度 (Metric chroma) 用以判定兩色樣的色彩明暗度，黑色即無色彩

$$C^*_{ab} = \tan^{-1}(a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad C^*_{uv} = \tan^{-1}(u^{*2} + v^{*2})^{1/2}$$

- 測量飽和度 (Metric saturation)

$$S_{uv} = 13 [(u' - u'_n)^2 + (v' - v'_n)^2]^{1/2} = C^*_{uv} / L^*$$

也因此公式而再推出了三度空間 (即含有明暗度) 的色座標圖。

3. 一度色彩規格

一度色彩是用單一數值來描述一系列有關物體的色彩，例如：明度規格是用來描述物體的明暗度情形。這些物體時常在某一方面不同，例如某一顏色成分含量多寡，物體的顏色會因該含量的不同而改變。

此法在兩物體具有相同的分光反射率時，會顯得非常有用，且判斷值較準確。若兩物體有其一連串的相似部份外，仍有其它方面的不同，例如將紅黃色的試樣及純紅色的試樣比較時，就很難有正確而滿意的結果。

- 黃色規格 (黃度)

由於在幾乎白色或幾乎無色的樣品中常會含有小量的黃色素，因此定出了黃色度的規格。ASTM 用數據導出的公式如下：

黃色指數 (Yellowness index) $Y.I. = [100 \times (R-B)] / G$

轉換成 CIE 座標，照明體 C 和 1931 標準觀測者，即為

$Y.I. (\text{黃度}) = 128X - 106Z/Y$

■ 白色度 (白度)

用來表示物體白到何種程度。在工業應用上很重要；如纖維的漂白或染色、砂糖、藥品的純度等，常以白色度表示其效果如何。由於物體的白度常是與完全白比較而得，然而完全白的定義尚有很多意見；較常見的白度公式如下：

ASTM 的公式： $W = 4B - 3G$

Hunter Lab公式： $W = 100 - [(100 - L)^2 + (a^2 + b^2)]^{1/2}$

1979 年 CIE 推出一個新的白度公式

$W = Y - a(x - x_n) - b(y - y_n)$

W：是白度

Y：是明度要素

x,y：是色樣的色度座標值

x_n, y_n ：是完全反射擴散體的色度座標

a,b：是常數，依色相而定，在中性色相時， $a = 800, b = 1700$ 。

光源之色溫

色溫與黑體輻射

- 光之色溫是由量子力學而來，而一般會說到色溫時都是在多色混合的光源下才會用到色溫表示法，在單色光上是沒有有色溫表示法的。
- 黑體輻射：黑體在一溫度下，均有其光譜能量的分佈，而在對一黑體加熱並將溫度逐漸增加時，其顏色會呈 暗紅→紅→白→紫 逐步變化；此時只須在每一個溫度點逐一記錄該黑體光譜能量分佈中的最大值該點的顏色即可，此即表示該色溫所呈現的顏色。
- 色溫：若有一待測光源的輻射能量分佈與某黑體的輻射能量分佈相同，則此黑體之溫度即為該發光體之色溫。
- 相關色溫：(correlated color temperature) 由於在實際量測時，根本沒有一個黑體輻射能量分佈會與待校光源相同，所以若待校光源之輻射能量分佈與某一溫度下之黑體輻射能量分佈不相同，但在同亮度和觀測條件下有相同的色感覺，則此黑體的溫度即為該光源之相關色溫。

色溫/相關色溫之量測

- 色溫—於色度圖上，待測光源色度恰落於黑體輻射曲線上，則稱該黑體溫度為待測光源之色溫。
- 相關色溫可由 CIE 1960 UCS 色座標圖 (u,v 座標) 得知，待測光源的相關色溫即為最接近黑體輻射曲線的黑體溫度；即在求得待測光源之色度座標之後，由該點對黑體輻射曲線做垂直線，其相交點的黑體溫度即為待測光源的色溫。

MPCD 單位之說明

- 所謂的 MPCD (Minimum Perceptible Color Difference) 意即人眼所能知覺之最小色差值，該值在 CIE UCS 1960 色度座標上之表示為距離 $= 0.00035$ ；公式算法如下 $0.0035 = \sqrt{(\Delta u)^2 + (\Delta v)^2}$ ，或可能有人稱此值為 Δuv 。
- 若要使用相關色溫來表示一個光源的顏色，可直接說出色溫為多少 °K，但為求得更精確的表示法，則需要加上 MPCD 或是 Δuv 的值才能準確的表示出該光源的顏色值。
- MPCD 值用在 CRT 之白場 (即白色) (White Field) 的量測上，可以用來說明白場之色度座位置與黑體輻射曲線之關係或產品規格使用的單位。
- 美國電子工業會曾於 1975 年制訂一份相關文件 JEDEC No.16-C，其中列出 6000~20000°K 之黑體輻射曲線與其相鄰 ± 50 MPCD 之相對位置的圖表和數據值，供 CRT 製造業者參考。

名詞定義

輻射度量學之物理量及其單位、定義與符號

物 理 量	符號	定 義	單 位
輻 射 能 量 (Radiant energy)	Q_e	$\int_{\Delta t} \Phi_e dt$	焦耳 (joule ; J=W.S)
輻 射 通 量 (Radiant flux)	Φ_I	$\int_0^\infty \Phi_{e,\lambda}(\lambda) d\lambda$	瓦特 (watt ; W)
輻 射 強 度 (Radiance intensity)	I_e	$\frac{d\Phi_e}{d\Omega}$	瓦特／球面度 (W/sr)
輻 射 亮 度 (Radiance)	L_e	$\frac{d\Phi_e}{d\Omega dA \cos \theta}$	瓦特／米平方·球面度 (W/m ² · sr)
輻 射 出 射 度 (Radiant exitance)	M_e	$\frac{d\Phi_e}{dA}$	瓦特／米平方 (W/m ²)
輻 射 照 度 (Irradiance)	E_e	$\frac{d\Phi_e}{dA}$	瓦特／米平方 (W/m ²)

上列之單位採用國際標準單位 (Syst'eme International d'Unit'es, SI units)

光度學之物理量及其單位、定義與符號

物 理 量	符號	定 義	單 位
光 能 量 (Luminous energy)	Q_v	$\int_{\Delta t} \Phi_e dt$	流明秒 (lm . sec)
光 通 量 (Luminous flux)	Φ_v	$Km \int_{380nm}^{780nm} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda$	流秒 (lumen ; lm)
光 (強) 度 (Luminous intensity)	I_v	$\frac{d\Phi_v}{d\Omega}$	燭光、流明／球面度 (Candela ; cd ; lm/sr)
輝度、(光)亮度 (Brightness;Luminance)	L_v	$\frac{d\Phi_v}{d\Omega dA \cos \theta}$	尼特、流明/米平方·球面度 (nt ; lm/ m ² · sr)
光 出 射 度 (Luminous exitance)	M_v	$\frac{d\Phi_v}{dA}$	勒克斯、流明／米平方 (lux ; lx ; lm/ m ²)
(光) 照 度 (Illuminance)	E_e	$\frac{d\Phi_v}{dA}$	勒克斯、流明／米平方 (lux ; lx ; lm/ m ²)

$Km=683.002 \text{ lm.W}^{-1} \cong 683 \text{ lm.W}^{-1}$ 此值為一個轉換函數，經由此函數可求得光度及光的功率

照度及亮度

定 義	示 意 圖
$E = \frac{d\Phi}{dA}$ 照 度 輻射照度	Φ (lm)(W)：入射全光通量；意即光線照到一指定單位面積上的強度。 $E = \frac{\delta\Phi}{\delta A}$ (lm/m ²) , (W/ m ²)

$L = \frac{d^2 \Phi}{dA d\omega}$ 亮 度 輻射亮度	Φ (lm)(W)：發光面出射全光通量；意即一發光體在單位面積內的光亮度。 $E = \frac{\delta^2 \Phi}{\delta A \delta \omega}$ (cd/m²), (W/ m² · sr)