

市面上各種光源之燈具探討及解析

台南分局第一課技士 郭啟田

前言

光源乃照明系統效率最關鍵的元件，使用者選用何種光源也會影響照明品質與照明效率。目前常用的光源有**白熾燈**(鎢絲燈泡及鹵素燈)、**低壓氣體放電燈**有**螢光燈**(日光燈及安定器內藏式螢光燈泡「俗稱省電燈泡」)、**低壓鈉燈**、**冷陰極燈管**(簡稱 CCFL)，**HID 燈**(High Intensity Discharge)**高強度氣體放電燈**(高壓水銀燈、高壓鈉燈、及複金屬燈「或稱金屬鹵化燈」Metal halide lamps)，**LED 燈**，**電磁感應燈**(又稱為無電極燈)。

各種光源發光原理及特性

一、白熾燈

白熾燈(鎢絲燈泡及鹵素燈)特性就相當於一般電阻一樣係利用電流流過燈絲產生高熱而發光，但其效率非常差，能量大約只有 10%轉成可見光，其它皆變成熱量散失掉。

1. 鎢絲燈泡是以鎢作為燈絲，然後在一個真空的玻璃球中裝入燈絲在密封起來，為了防止鎢絲受到高溫而氧化，則在其中充入低壓的惰性氣體（氬或氫氣)(圖 1)。



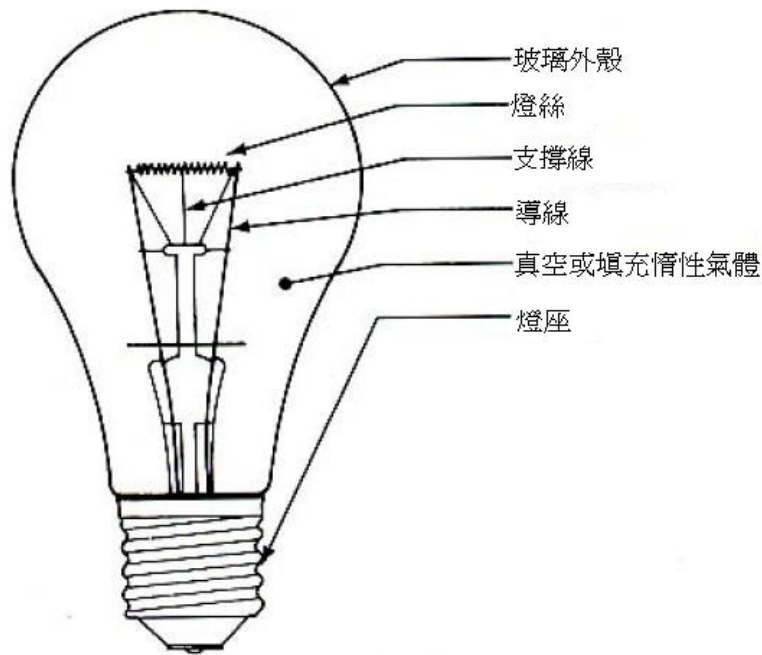


圖 1

2. 鹵素燈原理是在燈泡內注入碘或溴等鹵素氣體；在高溫下，蒸發的鎢絲與鹵素進行化學作用，蒸發的鎢會重新凝固在鎢絲上，形成平衡的循環，避免鎢絲過早斷裂；因此鹵素燈比白熾燈更長壽；此外，鹵素燈泡亦能以比一般白熾燈更高的溫度運作，它們的亮度及效率亦更高。不過在這溫度下，普通玻璃可能會軟化，因此鹵素燈泡需要採用溶點更高的石英玻璃。而由於水晶玻璃不能阻隔紫外線，故此鹵素燈泡通常都而需要另外使用紫外線濾鏡(圖 2)。



圖 2

二、低壓氣體放電燈

螢光燈(日光燈及省電燈泡)係利用電極發出的電子撞擊填充於管內的水銀原子，水銀原子會發出紫外線，並透過管壁的螢光塗料轉換成可見光，因為是利用氣體放電，所以必須有一個限流的元件來限制燈管電流不正常增加，此部份的元件稱為安定器，螢光燈管越長，效率越好(圖 3)。

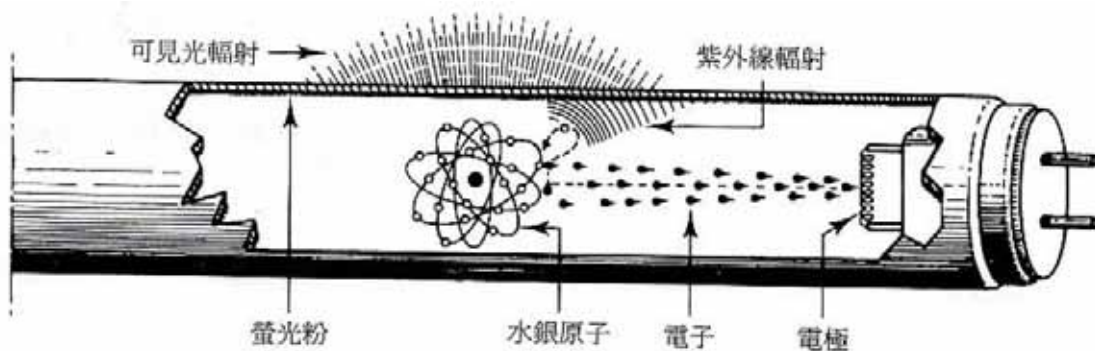


圖 3

1. 日光燈(圖 4)所使用的安定器有傳統安定器與電子安定器(圖 5)，搭配電子式安定器需使用專用的高頻燈管，此類型燈管其充入的氣體及燈絲的設計與一般日光燈不同，因此可承受高頻及高壓的衝擊，不易黑化有助延長燈管壽命。

台灣最常見的日光燈是 T9(管口徑為 9/8 英吋=29mm)日光燈，大多使用傳統的電感式安定器加上小氬氣啟動器點燈和輸出電流供燈管發亮，但越細的燈管效率越高，也就是說相同瓦數發光越多。基本的發光效率，越直越長者，管電流容易通過，效率則越高，燈管越細則所需汞量越少，管電壓高，但是管電流小，有較高的發光效率。實際使用中，細的燈管容易隱蔽，使用場合也靈活，但是，越細的燈管啟動越困難，所以發展到了 T5(管口徑 5/8 英吋=16mm)燈管的時候，必須採用電子式安定器來啟動，且 T5 有明顯的低溫光衰特性，較不適用於低溫環境。



圖 4



圖 5(左為電子式安定器與右為傳統安定器)

[1] 傳統安定器主要構造為矽鋼片鐵心以漆包線纏繞，構成一抗流線圈，利用電磁感應之原理，產生一瞬間高壓加上小氬氣啟動器啟動點

亮燈管。點亮之後燈管電流經線圈，產生一電感抗壓降，以穩定燈管之工作電流。使用市電60Hz之電源，產生每秒120次之點燈頻率，肉眼很容易察覺到閃爍，其鐵損與發光損失大約為燈管額定功率的15~20%左右，功率因數大約在80%~90%之間，一個安定器配合一支燈管，多燈型態之燈具，內部配線較易凌亂，但其壽命幾乎為永久性。

電子式安定器先將商用頻率50 Hz 或60 Hz 之電源，整流為直流電，然後經由交換式震盪回路產生20 kHz~60 kHz 之高頻交流電，再經過點燈回路，產生限流作用，並預熱燈管，且在一秒左右點亮燈管，如果再加上變頻變壓（VVVF）設計，則可成為可調光式電子安定器，如圖6所示。

電子式安定器和傳統安定器比較，功率因數約95%~99%，可省電20%以上，因高頻點燈，輸出光波非常穩定而不易閃爍，電子式安定器對燈管可一對一，一對二，一對三，一對四（不選管），節省成本、空間及重量，但價格高，較傳統貴了約4倍。具過電流保護功能（電源端加裝保險絲），過溫度保護功能（主要發熱源加裝復歸式溫度開關），具燈管異常檢出抑止保護功能，有10年以上的壽命。

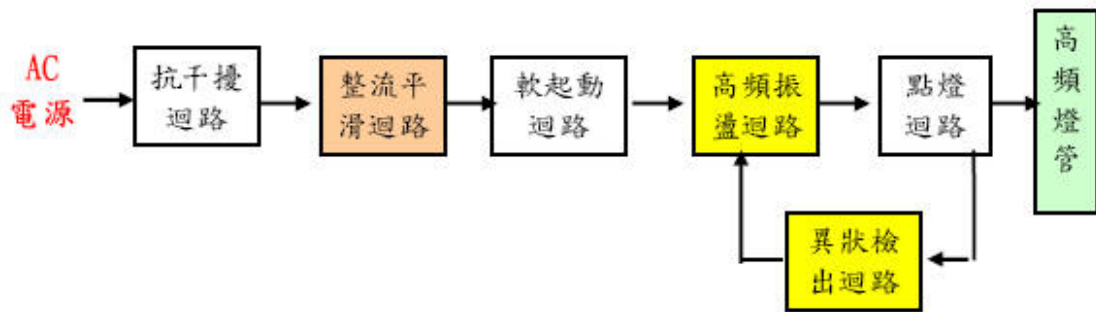


圖6 電子式安定器基本點燈迴路方塊圖

2. 省電燈泡(其省電僅對白熾燈泡而言，故一般市面稱為「省電燈泡」)，省電燈泡的裡面其實就是一支小型的日光燈管配上電子安定器，但是因為可安裝於一般的燈泡座，使用起來更方便。由於具有省電的特性，為與傳統的白熾燈泡作區別，故稱之為省電燈泡。常看到的有螺旋型或長條形或U型管，它是用電力電子的方式來趨動，超作頻率高於 20 kHz，這是驅動部份的分別。而燈管部份其實都一樣是日光燈，只是它點燈上及電器上的一些特性有所不同，但是，它們還是都屬於以氣體放電來點燈，所以，它們都且有負增量電阻之特性，也就是說燈管電壓上升，電流反而下降(圖 7)。

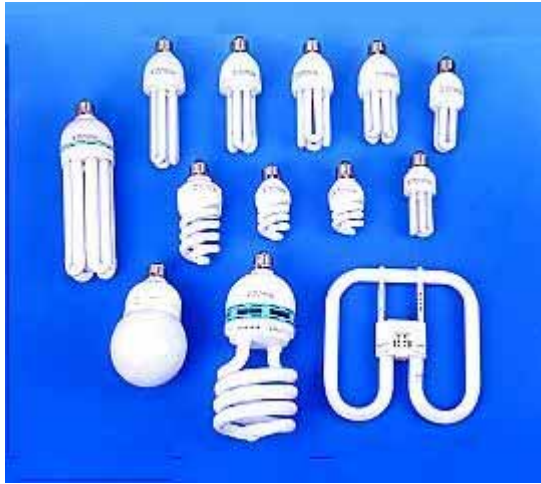


圖 7

3. **低壓鈉燈**是利用低壓鈉蒸氣放電產生可見光，在它的玻璃外殼內塗以紅外線反射膜，是光衰較小和發光效率最高的電光源。低壓鈉燈發出的是單色黃光，用於對光色沒有要求的場所，但它的“透霧性”表現得非常出色，特別適合於高速公路、交通道路、市政道路、公園、庭院照明，能使人清晰地看到色差比較小的物體(圖 8)。

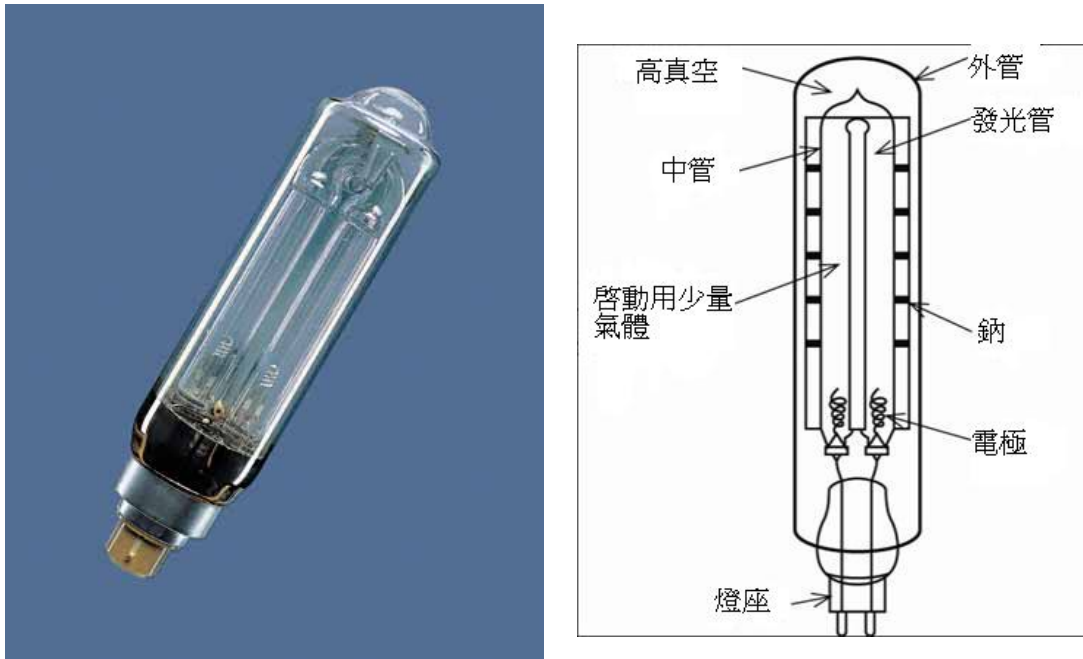


圖 8

4. 冷陰極燈管(Cold Cathode Fluorescent Lamp, 簡稱CCFL)，屬於低壓水銀放電燈，螢光燈內部封入微量的水銀，此水銀原子被電子衝擊而產生253.7 nm 紫外線，經螢光粉層轉變為可見光。由於冷陰極燈管不使用燈絲使用電極，故無燈絲燒斷或摔斷問題，因此有非常可靠的使用壽命。但LCD 背光所使用的冷陰極燈管，因全彩色的要求，均使用稀土類三基色螢光粉。因此冷陰極燈管是液晶LCD 顯示器背光、電腦及圖文掃描等之最佳光源(圖9)[3]。

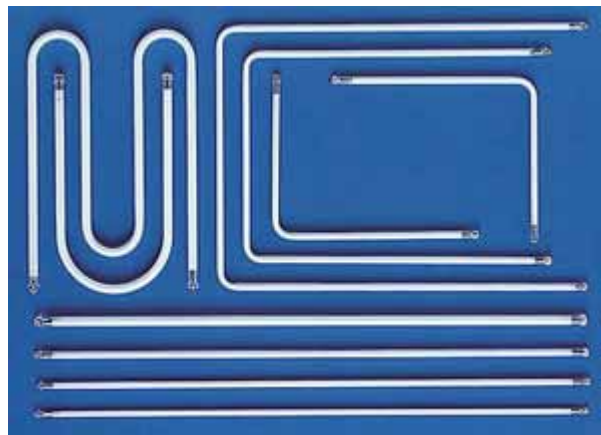
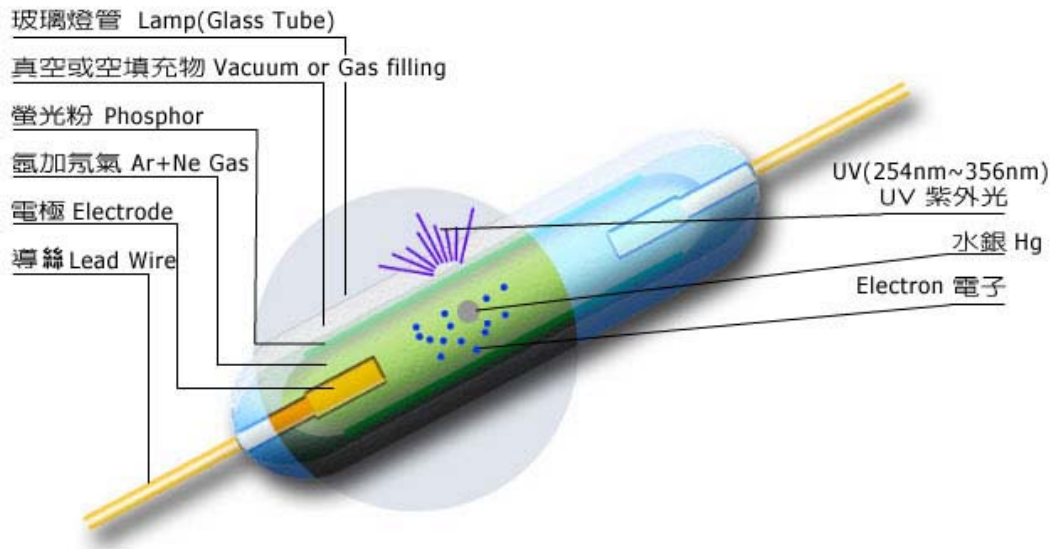


圖 9

三、高壓氣體放電燈

HID 燈(High Intensity Discharge)(圖 10、11)高強度氣體放電燈是依據電弧放電原理，在燈泡的燈管內有一個內部佈塗石英或鋁的發光管，在發光管內管充填高壓氣體及少許稀有金屬，氣體幫助燈泡啟動，並透過兩端鎢電極打出來的加壓電弧，而金屬加熱達到蒸發點，形成電漿態後而發出光線，以下個別介紹三種不同 HID 燈的特性[2]：

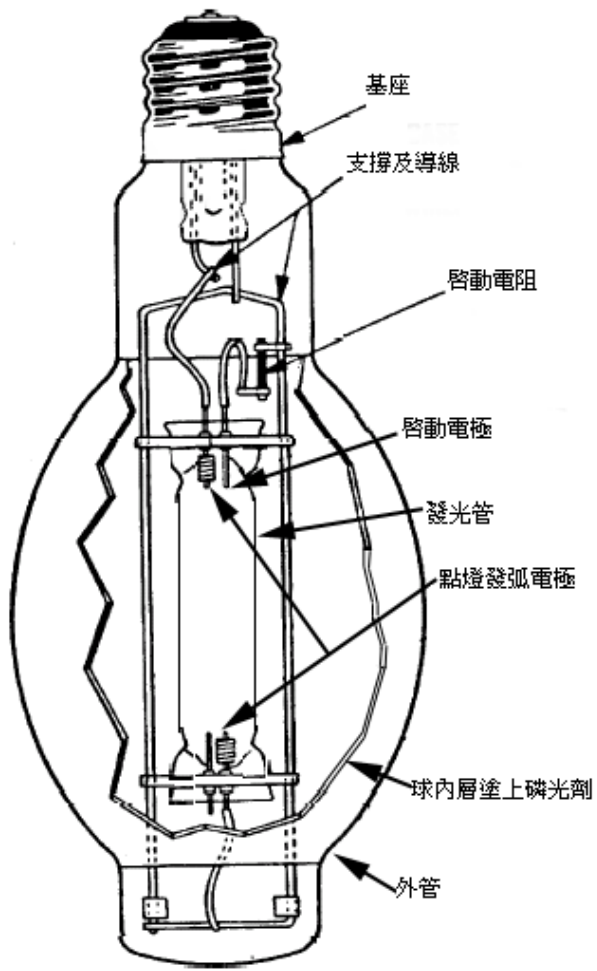


圖 10



圖 11

1. 高壓水銀燈(圖12)在正常點燈狀態下，發光管內水銀蒸氣氣壓高達1~2.5氣壓左右。有內管與外管雙重構造，內管為發光管，在兩端有主電極，上面塗有放電物質，補助電極連接有電阻，管內依照發光的體積充入適當份量的水銀，而且為了幫助啟動也在管內放有少許的氬氣。當電壓加在於兩主電極之時，介於兩電極間之距離很大而無法產生放電，同時相同之電壓也加在補助電極與相鄰之主電極之間，並且在其間產生輝光 (Glow) 放電，放電一開始，水銀蒸氣氣壓還相當低，此時為限制補助電極之放電電流起見，接有電阻 R (約 $25\text{ k}\Omega$)，輝光放電後兩主電極間之電場不斷的擴展，最後達到主電極端，這時

之電流是依靠安定器來加以限制，因電流不斷增加之結果，主電極之溫度漸升而發出電子，終於自輝光放電而移轉為弧光放電，由於惰性氣體之弧光放電，發光管之溫度隨之而上昇，水銀漸漸蒸發，水銀蒸氣壓也漸漸提高，放電的光色慢慢趨近白色到穩定後，全變為水銀蒸氣之穩定放電，而這全部的程序大約需要3~6分鐘才能完成，外管封入氮氣，以防止發光管之熱損失。



圖 12

2. **高壓鈉燈**(圖13)需要用半透明多晶氧化鋁陶瓷發光管，使它能承受超過 1000°C 的有腐蝕性的鈉蒸氣的侵蝕，將鈉汞齊添加入燈泡內再加入少量的氬氣，氬氣它在燈泡中的作用是幫助啟動和降低啟動電壓，當燈泡啟動後電弧管兩端電極之間產生電弧，由於電弧的高溫作用使管內的鈉汞齊受熱蒸發成為汞蒸氣和鈉蒸氣，陰極發射的電在向陽極運動過程中，撞擊放電物質的原子，使其獲得能量產生電離激

發，然後由激發態回復到穩定態；或由電離態變為激發態，再回到穩定態無限循環，多餘的能量以光輻射的形式釋放，便產生了光。高壓鈉燈中放電物質蒸氣壓很高，也即鈉原子密度高，電子與鈉原子之間碰撞次數頻繁，使共振輻射譜線加寬，出現其它可見光譜的輻射，因此高壓鈉燈的光色優於低壓鈉燈。且由於發光管的氣壓比水銀燈低，因此電源中斷之後的再起動時間很短，僅需1 分鐘便能再點亮，3~4分鐘即趨於穩定。



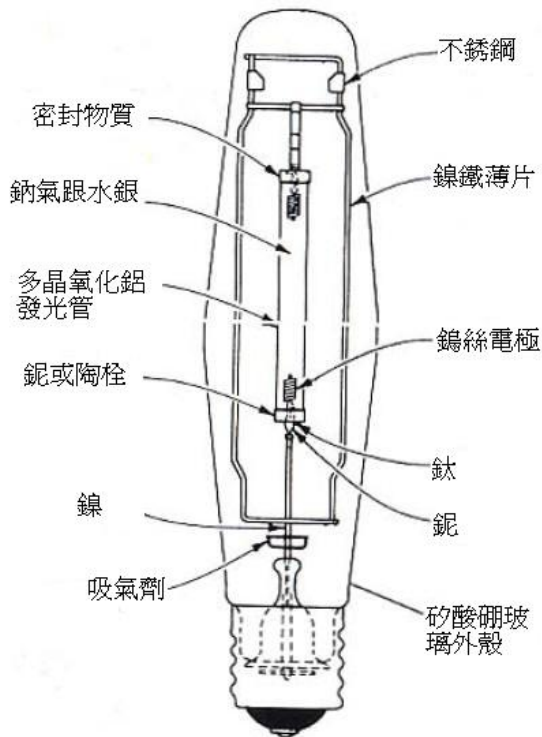


圖 13 [4]

3. 複金屬燈(Metal Halide Lamps)又名金屬鹵化燈，與大多數氣體放電燈一樣，呈現負電阻的電氣特性；構造上與水銀燈相似，是由高壓水銀燈發展而來，由高純度石英管材制造而成，石英管材內充入了含有汞、氫、鎳的碘化物、鐵的碘化物以及一些稀有金屬鹵化物。鎢電極通過鈳帶密封後形成電路，並以金屬燈頭或者帶引線的陶瓷燈頭作為末端，發光管終點亮前電燈管兩極間有極高的電位梯度，所以驅動複金屬的安定器，必須具備限制燈管電流以及高壓點燈的兩個基本功能。碘化鎳在金鹵燈所產生的光譜中有引入 403nm 和 417nm 譜線的功效，這一點顯著的用於二氮化合物的加工。碘化鐵是一種能提供

寬光譜紫外輻射的鹵化物，並且能夠增強燈在 380nm 區域的光譜輸出，添加了碘化鐵的金鹵燈用在光聚合物和日光膠片曝光系統中有非常好的效果(圖 14)。

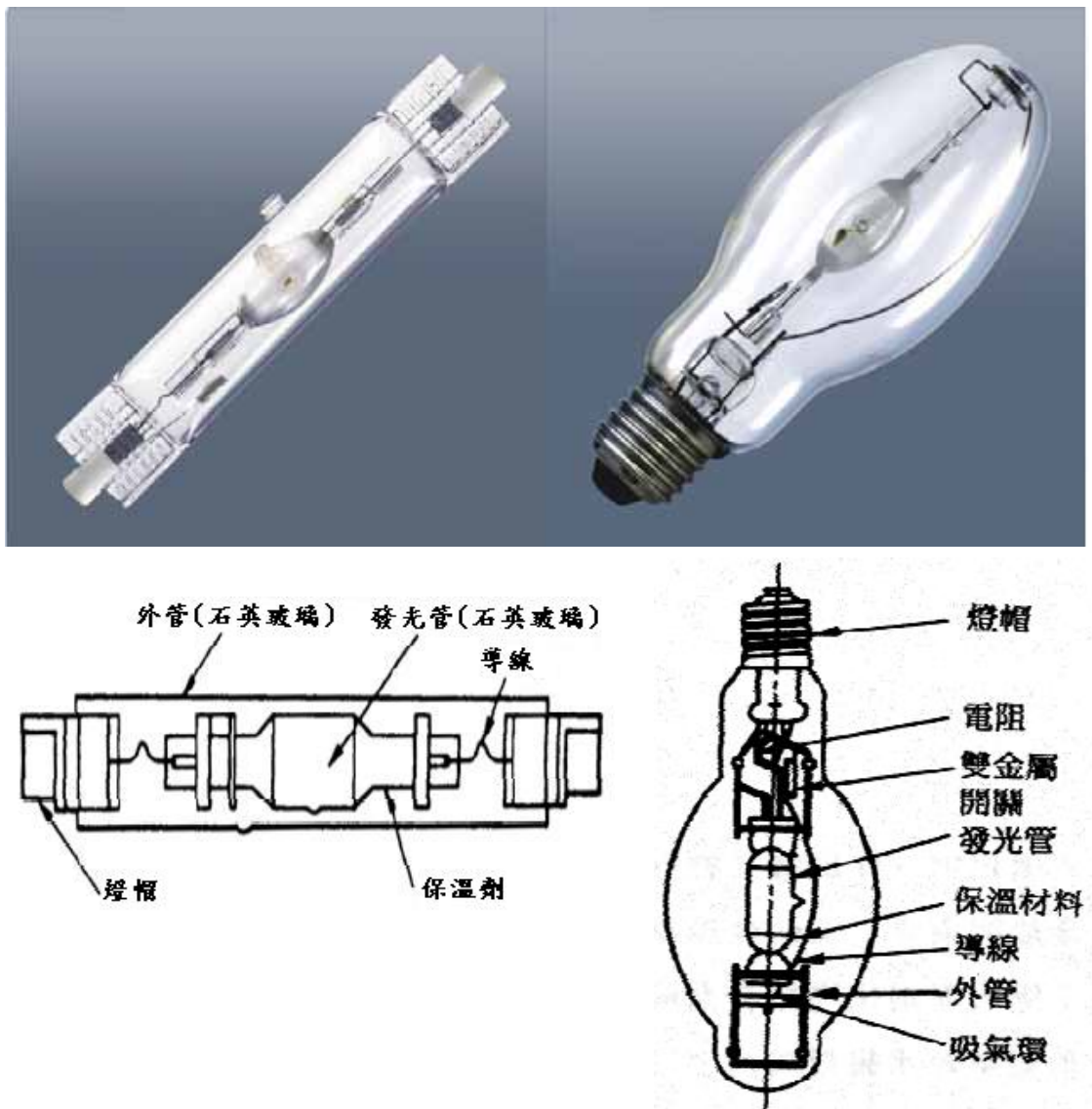


圖 14

陶瓷複金屬燈(Ceramic Metal Halide Lamp, CMH)，結合了複金屬燈與高壓鈉之技術，採用原高壓鈉燈陶瓷材料之內管，能讓燈管在較高熱溫下運作管內的金屬鹵化物劑，減低複金屬內金屬鹵化物因高

溫點燈所產生之化學的變化，提供近似低瓦複金屬之發光效率。不但解決了傳統石英內管複金屬燈(MQI, HQI, MHN)嚴重色差問題，提供低耗能、高效率、絕佳的演色性(圖15)。



圖 15

氣體放電燈的啟動方式有多種，有熱啟動（如日光燈），輔助電極啟動（如高壓汞燈），高壓冷啟動（如高壓鈉燈）等。氣體放電燈具有冷態阻抗大，啟動後阻抗又急劇變小的特點，其特性類似於電弧特性。因此，這類燈具在啟動時都要設法產生一個脈衝高電壓或採用啟動電極，使氣體游離導電。由於啟動後內阻太小，又不得不採用限流措施，即所謂用安定器來限制電流，這就使得燈具的接線較白熾燈麻煩得多。

氣體放電燈由於其非線性的內阻特性，在交流電路中，在限流電感和分佈電容的作用下，燈具兩端會出現高頻振盪現象，嚴重干擾通訊設備和其它電子設備的正常工作。由於採用電感限流，功率因數較

低，諧波含量高，對電力系統造成電力品質下降。另外，在電源過零點時，燈具不發光，成為每秒 120 次(60Hz)的脈衝光源，這對視力是極其有害的。值得注意的是，在工廠車間，如果使用氣體放電燈，當機器轉速達到某一特定值（光源閃爍頻率的整數倍）時，在視覺上機器就和沒有轉動一樣，這種錯覺對安全生產來說是一種隱憂。

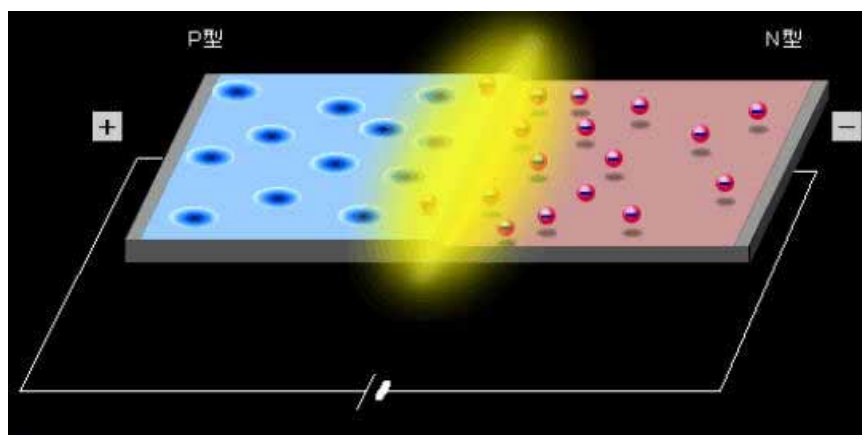
雖然日光燈近來普遍採用電子安定器，也採用了干擾抑制措施，但還是採用電感穩流的方式，只是提高了光源的震盪頻率（38KHz 左右），而且如果燈管接觸不良或損壞，安定器內產生的高壓極易使其電子元件擊穿損壞。

由於以上原因，對電感安定式氣體放電燈的性能改造，提出以下改進措施：起動時仍然採用傳統的電感脈衝高壓起動方式，以克服冷態的高內阻，使燈芯內金屬蒸汽形成游離條件；起動後改為採用低壓直流供電，以適應起動後內阻的降低，並徹底消除干擾、閃爍。

四、LED 燈(Light Emitting Diode)

LED為通電時可發光的電子元件也稱固態照明元件(solid state lighting, SSL)，是半導體材料製成的發光元件，材料使用

III-V族化學元素（如：磷化鎵(GaP)、砷化鎵(GaAs)等）而且依據晶片種類及製程的控制，所發出的光的波長（決定顏色），可以得到各種的單色光(圖16、17)。至於發白光的LED，現時的產品大多是以藍光LED激發黃色螢光粉發出光，兩種光線混合之後就可在視覺上形成白光[5]。發光原理是將電能轉換為光，也就是對化合物半導體施加電流，透過電子與電洞的結合產生能階跳躍，過剩的能量會以光的形式釋出，達成發光的效果，屬於冷性發光，壽命長達十萬小時以上。LED最大的特點在於：無須暖燈時間(idling time)、反應速度很快。



半導體P-N接面通電產生光

圖 16

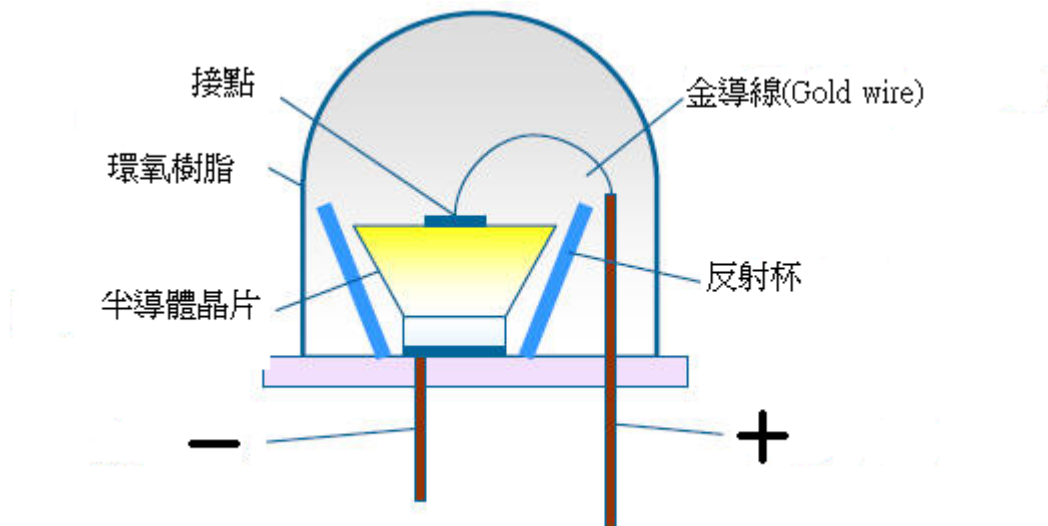


圖 17

LED的最大弱點是散熱問題，LED僅發出部分可見光，其餘可見光及不可見光皆被元件吸收造成溫度上升，使得LED元件劣化封裝變質，LED燈泡壽命降低(圖18)。

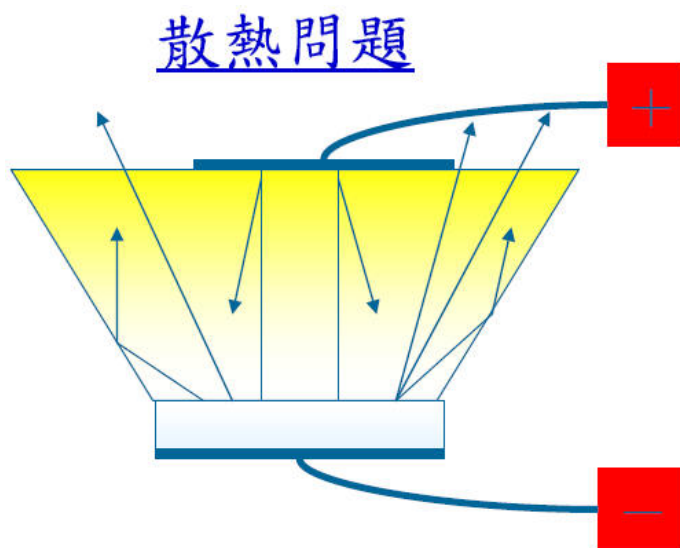


圖 18

五、電磁感應燈

電磁感應燈 High-Frequency Plasma Electrodeless Induction lamp (又稱為無電極燈) 屬於高頻光源，其原理與螢光燈將電能轉換為可見光相同，無電極電磁感應燈是由激勵電源，功率耦合器和燈泡三部分組成。激勵電源產生一個250 kHz ~ 2.65 MHz 頻率範圍(依燈種類而定)的交變電流，當高頻電流通過功率耦合器時，產生一個高頻電磁場。利用套在燈管外面的一對磁芯在燈管內形成感應電流，從而在放電區產生交變磁場，根據法拉第電磁感應定律，變化的磁場即產生一個垂直於磁場變化的電場，使燈泡內部放電空間的電子被電場加速，當能量達到一定值時，與泡殼內的低壓汞和惰性氣體的混合蒸氣分子發生碰撞，使混合氣體電離形成等離子體，等離子體受激原子返回基態時，自發射出253.7 nm 紫外光，它激發燈泡壁上的螢光粉轉化為可見光。感應燈在整個工作過程中，未使用傳統光源中燈絲或電極，因此不會有傳統光源的電極損耗問題，具有壽命長的特點，故非常適合應用於更換困難及維修費用昂貴的場所 (圖19)。[6]

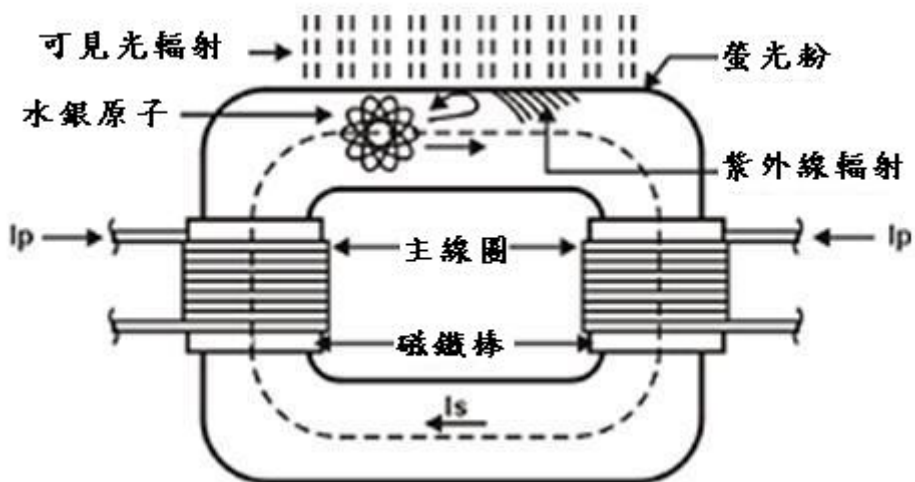
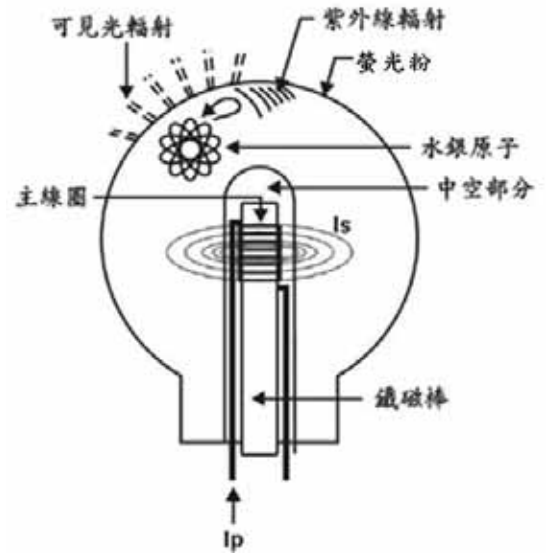


圖 19

[1] 節約能源技術手冊 財團法人台灣綠色生產力基金會

[2] JADEITE 技術資訊

[3] 博士達科技股份有限公司技術資訊

[4] 照明設計 周伯丞教授

[5] LED 發展概況 工業技術研究院

[6] amko光源產品介紹，

<http://www.amko.com.tw/solara/index.html>，2007