

# 熒光灯制造基础

吳祖堦編著

科技卫生出版社

# 熒光灯制造基础

吳祖堽編著

科技卫生出版社

## 內 容 提 要

本書先敘述熒光粉製造法，再說明各式熒光燈管的製造，主要是詳述熱式熱陰極熒光燈管的製造，對其他各式熒光燈亦有簡單說明。本書對熒光燈管的顏色，如何符合國際標準及熒光燈管在使用與製造上如何使之壽命耐久、發光效率高、流明衰退遲緩，皆有詳細分析。

本書可供燈泡廠技術人員，化工學院、中等電氣技術學校師生，使用熒光燈的用戶參考。

## 熒 光 燈 制 造 基 礎

編 著 者 吳 祖 壇

\*

科 技 衛 生 出 版 社 出 版

(上海南京西路 2004 號)

上海市書刊出版業營業許可證出 093 號

科學出版社上海印刷廠 新華書店上海發行所總經售

\*

統一書號：15 · 868

開本 850×1168 1/32 · 印張 4 11/16 · 字數 108,000

1958 年 10 月第 1 版

1958 年 10 月第 1 次印刷 · 印數 1—1,800

定價：(9) 0.60 元

## 序

关于荧光灯制造的书籍在国内外可以说是很少或者是没有的，一般都仅涉及荧光灯照明的問題。我从事于荧光灯直接或间接的工作先后有一个較長的时期，因此我想將我在国内外所見到的荧光灯及发光物質制造及測試的情况，以及在文献上所获得的有关的資料，結合我过去的工作經驗，作一个比較有系統的介绍，对荧光灯制造工厂的工程技术人员來說可能有一些帮助。

由于时间的关系，我不能非常詳尽地將所有的問題加于叙述，而对主要的問題写得多一些，总的來說是比較簡單扼要的。全書共分九章，其中第二章固体发光物質的制造是由南京灯泡厂工程师鮑友恭同志所写的。本書第一章介绍了固体发光物質的种类、特性以及特性的測量，主要是介绍一些基本的原理。第二章說明发光物質的制造，是比較具体的。第三章和第四章介绍了預热式荧光灯的構造、工作原理及其制造的工艺。第五章叙述了各种特种荧光灯，包括冷阴极式荧光灯、瞬息启点式荧光灯、黑光灯、高功率低汽压荧光灯和高功率高汽压荧光灯。从第六章到第八章介绍了荧光灯的工作特性与制造工艺的一些关系，对于如何提高荧光灯的質量是非常重要的。在第九章里介绍了荧光灯发光顏色的測量法，这对于控制和提高荧光灯的質量亦是很重要的。所有書內的資料除了我个人在工作中的一些体会以外，主要是从国外一些定期的刊物，如苏联的照明技术、美国和英国的照明工程等杂志取得的詳見参考文献。

由于荧光灯的发展和变化很迅速，所以早期的数据和資料已

失时效,虽然我取材最近的是1957年12月,但遗漏的地方还有不少,希望读者能提出意见,以便在适当和可能的时候,把这本书再予修正和补充。

吴祖堉 1958年5月22日于上海

# 目 录

<b>第一章 光致固体发光物质</b> .....	1
1. 冷光和热光 .....	1
2. 光致发光的机理 .....	3
3. 常用的几种光致发光物质 .....	5
4. 发光物质的特性 .....	6
5. 荧光衰落及其测量法 .....	7
6. 发光效率及其测量法 .....	9
7. 发射光谱及其测定 .....	11
<b>第二章 常用固体发光物质的制造</b> .....	15
1. 制造固体发光物质的基本过程   2. 制造发光物质实例 .....	20
<b>第三章 预热式荧光灯</b> .....	33
1. 气体放电和荧光灯 .....	33
2. 阴极的构造及其作用 .....	35
3. 阳极的作用 .....	37
4. 惰性气体的作用 .....	37
5. 紫外线 $2537\text{\AA}$ 的发生 .....	38
6. 荧光灯内常用的发光物质 .....	40
7. 荧光灯内能量的转变及其发光效率 .....	42
8. 荧光灯的附件之一——镇流器 .....	44
9. 荧光灯的附件之二——自动开关 .....	46
10. 荧光灯的优点及其标准 .....	47
<b>第四章 荧光灯的制造</b> .....	53
1. 荧光灯制造的过程 .....	53
2. 灯丝绕制 .....	55
3. 灯丝涂粉 .....	58
4. 涂管 .....	60
5. 排气 .....	63
6. 排气自动化 .....	66
7. 老炼 .....	70
<b>第五章 其他类型的荧光灯</b> .....	73
1. 冷阴极荧光灯 .....	73
2. 冷阴极荧光灯的特征及其工作参数表 .....	75
3. 冷阴极荧光灯的线路 .....	76
4. 瞬息启点的荧光灯 .....	78
5. 黑光荧光灯或黑光灯 .....	80
6. 高功率高压水银荧光灯 .....	82
7. 高功率低压水银荧光灯 .....	84

## 第六章 熒光燈的啟點 .....86

- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| 1. 引言.....86          | 5. 附件對啟點的影響.....89   |
| 2. 燈管尺寸對於啟點的影響.....86 | 6. 溫度對啟點的影響.....91   |
| 3. 氣體的壓力成分和雜質的影響87    | 7. 濕度的影響.....92      |
| 4. 陰極的狀況.....89       | 8. 熒光燈啟點的檢驗方法.....92 |

## 第七章 熒光燈的壽命 .....94

- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| 1. 引言.....94          | 的壽命.....97           |
| 2. 陰極對壽命的影響.....95    | 5. 使用中影響壽命的因素.....99 |
| 3. 充氣壓力及其成分的影響.....96 | 6. 熒光燈壽命的維護..... 101 |
| 4. 怎樣在製造過程中控制熒光燈      | 7. 熒光燈的壽命試驗..... 102 |

## 第八章 熒光燈的發光效率及其衰退 ..... 105

- |                               |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1. 熒光燈的發光效率..... 105          | 5. 電流對發光效率的影響..... 110         |
| 2. 發光物質及塗粉過程對發光效率的影響..... 106 | 6. 溫度對發光效率的關係..... 111         |
| 3. 燈管的大小對發光效率的影響..... 107     | 7. 熒光燈的流明衰退..... 112           |
| 4. 充氣的種類和壓力對發光效率的影響..... 108  | 8. 氣體的雜質對流明衰退的影響 114           |
|                               | 9. 發光物質對流明衰退的影響... 117         |
|                               | 10. 熒光燈的發光效率及流明衰退的測量法..... 119 |

## 第九章 熒光燈發光顏色的測量法 ..... 122

- |                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| 1. 發光的色表和色調..... 122       | 法..... 129             |
| 2. I. C. I. 坐標系統的原理... 123 | 5. 色較溫度與黑體輻射..... 131  |
| 3. 三色視覺值及顏色圖..... 125      | 6. 自動分光度計及光色儀..... 134 |
| 4. 光源色表的三色系數的計算            | 7. 色表和色調的國際標準..... 136 |

## 主要參考文獻 ..... 139

- |                |                    |
|----------------|--------------------|
| I. 書籍..... 139 | II. 雜誌及其他..... 140 |
|----------------|--------------------|

# 第一章 光致固体发光物质

## 1. 冷光和热光

我們知道白熾灯是由于电流通过鎢絲的白熾体使温度增高而发光的。它能輻射出各种波長的能量，自近紫外綫  $3000\text{\AA}$  到紅外綫  $28000\text{\AA}$  以上。可是我們感觉到的可見光波長的范围是极小的，仅为  $3800\sim 7600\text{\AA}$ ，因此在白熾灯輻射能量內属于可見光是全部能量的一小部分。人的眼睛对各种可見光的灵敏度是不同的。图 1-1 是人眼的灵敏度曲綫，它对黄綠色光 ( $5540\text{\AA}$ ) 最为灵敏，对紫外綫和紅外綫就沒有光的感觉。这样在白熾灯所輻射的能量中，能使我们感觉为光的百分率就更少了。也就是說，白熾灯发光的效率是很低的。从下面的鎢絲灯泡能量分布曲綫，就可以說明这个问题。在图 1-2a 中， $A_2$  表示可見光范围内的輻射能量， $A_1$  是鎢絲輻射的全部能量；在图 1-2b 中， $A_3$  表示感觉为光的能量。可見  $A_3$

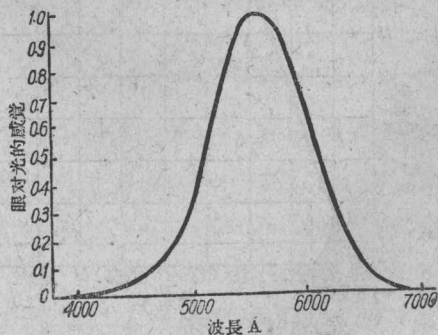


图 1-1 眼睛的灵敏度曲綫



是 $A_1$ 的很小一部分。在理論上每瓦的电能,如果可全部变为 $5540\text{\AA}$ 的光能,其发光效率为 685 流明/瓦;如全部变为純粹的白光,其发光效率为 220 流明/瓦;而一般白熾灯的发光效率为 10~15 流明/瓦。要提高白熾灯的发光效率,可以增加白熾体的温度,但是增加到近鎢絲的熔点 ( $3655^\circ\text{K}$ ) 时,灯絲就燒断了。在这个温度,理論上最高的发光效率为 51 流明/瓦;实际上这种灯泡是不可能达到的。假使我們能得到比鎢絲更耐熔的白熾体,我們可提高发光效率;可是灯絲的温度到  $6500^\circ\text{K}$  后,在可見光区域内的輻射的能量就要相对地减少,再加眼睛灵敏度的关系,发光效率將趋减

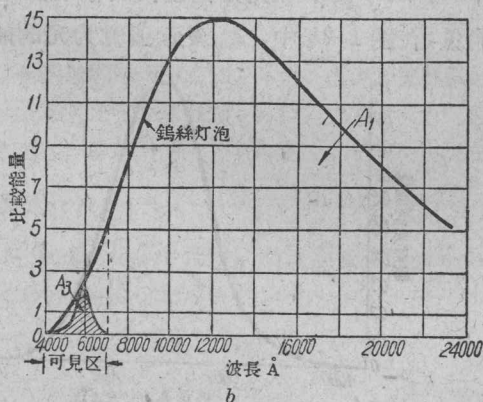
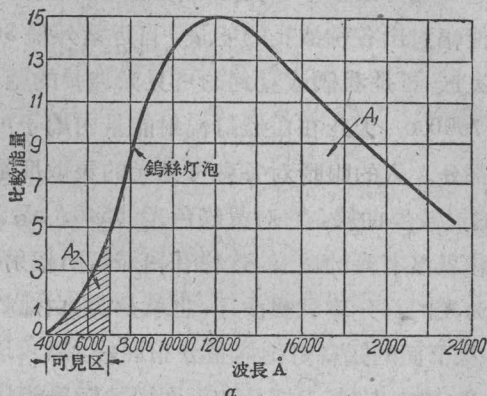


图 1-2 鎢絲灯能量分布曲线

少。因此白炽体的发光效率在理論上是有个极限的。这个最佳的温度是  $6500^{\circ}\text{K}$ ，其相应的发光效率为 85 流明/瓦。

“冷光”亦称“发光”，是与白热光相对立的两个名詞。严格地说冷光是指一种辐射能，它的能量仅分布在可見光的区域内，沒有分布在紅外線或紫外綫区域内的。实际上冷光或多或少含有一些紅外線或紫外綫。它不是由于一个物体温度的增高而发光的，而是由于其他的原因发光的。“冷光”或“发光”有下列几类：

(1) 光致发光：这是指光子去激发了发光物质而发光的。荧光灯的发光就是其中的一例。

(2) 阴极綫发光：这是指高速度的电子束去激发了发光物质而发光的。常见的例子是各种阴极射綫管荧光屏的发光。

(3) 离子发光：这是指高能量的离子撞击了发光物质而发出光；如常用的夜光仪表是由于放射性物质分裂出  $\alpha$  质点去激发发光物质而发光。

(4) 場致发光：这是指交变电場直接作用于发光物质而发光的現象。最新的光源电容器灯泡的发光即是一例。

其他尚有化学发光、生物发光、摩擦发光等。在科学和技术中常用的就是光致发光、阴极綫发光、場致发光和离子发光。本书内要討論的是局限于固体的光致发光的現象，因为荧光灯内的发光是由紫外綫的光子去激发了固体发光物质而发光的。

## 2. 光致发光的机理

固体光致发光物质是結晶的无机化合物，常称发光体，它是由基質和激活剂組成的。它的主要成分叫基質，少量掺入的杂质叫激活剂。譬如硅酸鋅  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 : \text{Mn}$  中  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$  为基質，錳  $\text{Mn}$  为激活剂。固体发光比气体和有基物的发光要复杂得多。要說明它发光的机理，一般常用能帶的图形。在图中，我們見到滿帶和导帶。在正常状态下，滿帶内連續的能級是被发光体内价电子所完全占据

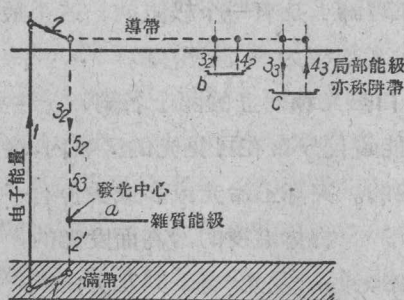


圖 1-3 發光的能帶圖形

的,因此叫做滿帶;導帶內的能級是空着的,因此亦稱空帶。在滿帶與導帶間有一個能量的距離,約為五個電子伏。這是在正常狀態下價電子所不能具有的能量,因此這個距離被稱為禁區。在禁區內還有雜帶和局部的能

級。雜帶是由于激活劑的存在而產生的;局部能級是由于晶體缺陷和其他的原因而產生的。在圖中  $a$  是雜質的能級;  $b$  及  $c$  是局部能級,亦稱陷阱。當光子激發時,滿帶中的電子吸收了光的能量而有可能躍遷到導帶如(1)所示。電子到了導帶以後,立刻下降到導帶的下緣如(2)所示。同時滿帶中由于電子離開而產生的孔穴上升到滿帶的上緣,如(1')所示。這個孔穴并被發光中心所捕獲如(2')所示。所謂發光中心是指激活劑離子和其附近構成發射中心的一個複雜的東西。發光中心捕獲了孔穴就游離了。在導帶下緣的電子有下列可能的行動:

(1)立刻和游離的發光中心復合,如(3<sub>1</sub>)所示,這就是通常所謂熒光的現象;

(2)落入較深的能級  $b$  如(3<sub>2</sub>)所示,這個電子在那里停留了一個時間。由于熱震動的關係,電子可以重行被釋出。如果那個電子不再落入局部能級  $b$ ,就可以和發光中心復合而發光。這就是磷光的現象,如(4<sub>2</sub>)所示。

(3)落入較深的能級  $c$  如(3<sub>3</sub>)所示。要使電子從這樣深的能級中釋出,必須從外界取得能量。我們用紅內綫照射發光物質就可得到這樣的結果。電子在釋出以後,如與發光中心復合則發出光來,如(5<sub>2</sub>, 5<sub>3</sub>)所示。

用了這樣很簡單的能帶的理論,可以幫助我們解釋熒光、磷光

和紅內綫照射的現象。

### 3. 常用的几种光致发光物质

人造的无机的发光物质，俗称为荧光粉，种类多至 3000 种以上；但在荧光灯所常用的不过十多种。在低汽压水银荧光灯中主要的激发源是  $2537\text{\AA}$  紫外綫的光子。荧光粉能为  $2537\text{\AA}$  所有效地激发的有钨酸盐、硅酸盐、硼酸盐和磷酸盐。最近发展的高汽压水银荧光灯内用  $3650\text{\AA}$  的紫外綫去激发荧光粉而发出紅色光，这种紅色光和水银灯本身的黄綠色光合成为白色光。这些能被  $3650\text{\AA}$  所激发而发出紅色光的荧光粉有锶酸盐、砷酸盐等。现在将这些常用的荧光粉簡略地介紹如下：

#### (1) 低汽压水银荧光灯内用的荧光粉：

甲、钨酸盐 属于这一类的有钨酸钙和钨酸鎂。钨酸钙的分子式为  $\text{CaWO}_4 \cdot [\text{W}]$ ，它的基質是  $\text{CaWO}_4$ 。虽然在制造时沒有掺入其它激活剂，但可能有钨存在自然地成了激活剂，因此在分子中以  $[\text{W}]$  代表钨的激活剂。钨酸钙在  $2537\text{\AA}$  紫外綫激发下能发出藍色光。钨酸鎂的分子式为  $\text{MgWO}_4 \cdot [\text{W}]$ ，在  $2537\text{\AA}$  紫外綫激发下能发出青白色的光。这二种荧光粉主要用于彩色荧光灯。

乙、硅酸盐 常用的硅酸盐有正硅酸鋅和正硅酸鋅铍。正硅酸鋅  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 : \text{Mn}$  以錳为激活剂，在  $2537\text{\AA}$  紫外綫激发下能发出强烈的綠色光，这用于彩色荧光灯。正硅酸鋅铍的分子式为  $[x(\text{Be}) \cdot y(\text{Zn})]_2\text{SiO}_4 : \text{Mn}$ ，式中铍 (Be) 及鋅 (Zn) 的原子总量是 2，式中可変系数  $x+y=2$ ， $x$  和  $y$  的比值可以在很大的范围内加以变化。它在紫外綫激发下，产生不同顏色的荧光。如  $x < y$  时，它发射藍綠色的光；当  $x$  逐漸增加， $y$  相应地减少时，发光顏色由藍綠而黄而橙紅色。此外，增加錳的含量也能增加紅色的輻射。这种荧光粉过去主要用于日光色或白色荧光灯内。

丙、硼酸盐 常用的属于这一类的荧光粉有硼酸镉 ( $2\text{CdO} \cdot$

$B_2O_5 : Mn$ )。过去这种熒光粉常用来制造淡紅色彩色熒光灯或和鎢酸鎂及硅酸鋅鋁相配合而制成日光色盛白色的熒光灯。

現在熒光灯用得最广泛的磷酸鹽是鹵磷酸鈣。它的基質以  $Ca_3(PO_4)_2CaX_2$  表示, 式中 X 为鹵屬元素 Cl 或 F; 它的激活剂是銻 Sb 和錳 Mn。当銻单独使用时, 发射光譜强度的最大值約在  $4800\text{\AA}$ ; 引入錳的激活剂后, 藍色光帶就被抑制而产生另一最大值約在  $5850\text{\AA}$  的光帶。如我們改变銻和錳的激活剂相对的含量或改变基質內氯和氟的相对的含量, 在  $2537\text{\AA}$  紫外綫激发下, 就可以发射出一系列的色調不同的光来。

#### (2) 高汽压水銀灯內常用的熒光粉:

甲、氟鎘酸鎂 它的分子式为  $Mg_4GeO_5 \cdot MgF_2 \cdot Mn$ 。这种熒光粉在  $3650\text{\AA}$  紫外綫激发下能发出紅色光。它的稳定性很高。不过这种熒光粉要用到鎘, 价格較高。

乙、砷酸鎂 它的分子式为  $6MgO \cdot As_2O_5 : Mn$ 。它在  $3650\text{\AA}$  紫外綫激发下亦能发射出紅色光, 适用于高汽压水銀熒光灯。它能耐温, 稳定性高, 价格亦便宜, 但有毒性。

丙、磷酸鋅鋇 它的分子式为  $(ZnSr)_3(PO_4)_2 : Sn$ 。它的基質是磷酸鋅鋇, 鋅的含量是較少的, 激活剂是二价的錫。它在  $3130 \sim 3650\text{\AA}$  紫外綫激发下能发射橙紅色光, 亦适于高汽压水銀熒光原色調之用。它的价格低廉, 无毒性, 而且化学的稳定性很高。这是最近发展的一种熒光粉。

### 4. 发光物質的特性

作为良好的发光物質必須具有一定的物理和化学特性。就物理的特性来說, 主要有三方面: 即发光效率、顏色及磷光的衰落, 发光效率有几种意义, 这将在下节加以解釋, 在熒光灯制造工业中常以流明1瓦来衡量。顏色又分色表和色調, 这两者不是完全相同的。熒光灯色表虽相似, 但色調可相异; 有时色調虽相似, 色表則又不

同。发光色表一般以国际照明协会的坐标系来表示。譬如日光色荧光灯的发光色表可以  $x=0.31$ 、 $y=0.32$  表示。色调是指荧光粉的发射光谱。我们从发射光谱就可计算出坐标  $(x, y)$ ，因此发光物质的发射光谱是一个更基本的特性。磷光衰落亦称余辉。它是指激发能量终止以后荧光粉发光亮度随时间而衰落的现象。它衰落的快慢影响到荧光灯闪光的特性。至于荧光粉的稳定性在实际应用上亦是一个重要的问题。稳定性是多方面的。一是指物理化学的变化，如荧光粉长时期受离子的冲击或紫外线的作用，它的发光效率就要衰退，发光颜色也要起变化。用这种稳定性不高的荧光粉制成的荧光灯质量是很低的。尤其重要的是它耐温的稳定性，因为在荧光灯制造的过程中，往往要经过几次的  $500^{\circ}\text{C}$  以上温度的处理。假如荧光粉耐温的稳定性差，那末制成的荧光灯的质量就要受到影响。此外荧光粉粉粒的大小虽然不是一个基本的特性，但往往会影响到它的基本特性。如荧光粉粉粒较细，制造的荧光灯的发光效率会高些。在荧光灯制造工业中，往往要把荧光粉加工得很细，然后再来涂管。假使荧光粉原来很粗，球磨加工的时间势将延长，这样就会破坏它原来结晶的形状，因而降低它的发光率。

## 5. 磷光衰落及其测量法

磷光衰落在发光理论研究上有重大的意义。磷光衰落有两种表示方法。一种是用曲线来表示的，那就是以时间为横坐标，以磷光的亮度为纵坐标。在激发能量刚终止的时间为零，其亮度是最大的。图 1-4 是两种不同的荧光粉的磷光衰落曲线。另一种方法是用公式来表示，例如曲线  $I$  是指数式的衰落，它可以下式来表示：

$$I = I_0 e^{-at}, \quad (1-1)$$

式中  $I$  是激发能量停止以后时间  $t$  的磷光的亮度； $I_0$  是  $t=0$  时的

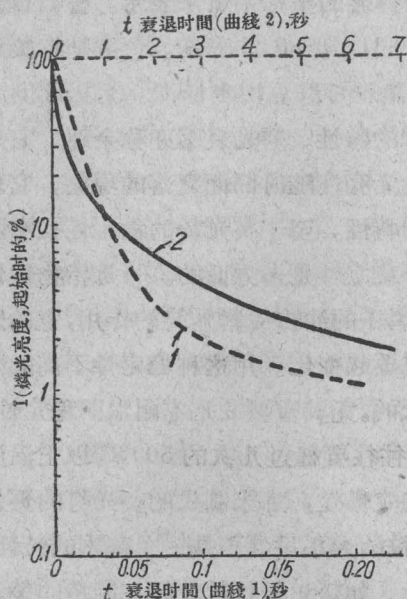


图 1-4 荧光粉磷光衰落曲线

磷光的亮度； $\alpha$  是一常数，又如曲线 2 是双曲线式的衰落，用公式来表示则为：

$$I = I_0 \frac{1}{(a + bt)^\alpha},$$

$$\alpha < 2. \quad (1-2)$$

这种曲线和公式在理论研究上有极其重要的意义。在实际应用上，我们往往注意到磷光衰落时间的快慢，亦就是余辉的时间。它是指从磷光开明衰落到它的亮度降到起始亮度 1% 的时间。一般地说少于 0.0001 秒的时间，称为短余辉；从 0.0001 秒到

0.1 秒的，为中等余辉；长于 0.1 秒的，为长余辉。

磷光衰落曲线一般是用光学示波器来记录的。这个测量的整个系统包括光学示波器、脉冲发生器、紫外线激发源和用脉冲电流来控制的狭缝及多级光电倍增管等。图 1-5 是测量系统的示意图。紫外光源 1 经狭缝 2 而激发发光物质 3。狭缝的启闭是由一电

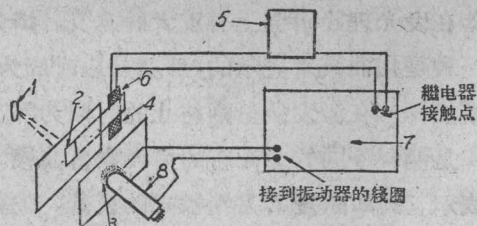


图 1-5 测量系统示意图

- 1—紫外线光源； 2—小孔或狭缝； 3—荧光粉的样品；  
4—电磁开关； 5—脉冲发生器； 6—电磁开关的线圈；  
7—光学示波器； 8—多级光电倍增管

磁的开关 4 来完成的。脉冲发生器 5 的脉冲电流经过线图 6 时，狭缝就开启，脉冲电流过后，狭缝即关闭。常用的光学示波器如苏联的型号为 M110-2。它的主要部分有三：即光学部分、振动器部分和旋转的机械部分。此三部分是密切联系的。光学部分把光源聚焦射到振动器的反射镜上。所谓振动器就是一个直流的检流计，如图 1-6 所示。检流计上的小反光镜把光反射到胶片上。胶片的旋转和速度是用旋转的机械来控制的。磷光的亮度是用多级光电倍增管  $\Phi\Theta Y-19$  来测量的。光电流就送到振动器内。磷光亮度愈强，光电流亦愈大，反射镜的振幅亦愈大。当测量余辉曲线时，将示波器上按钮一按。脉冲发生器的电流就经示波器的继电器接触点而进入磁铁开关的线圈。狭缝开启时发光物质被激发，关闭时磷光即开始衰落。磷光强度随时间的变化被摄在胶片上，放出胶片冲洗就可以看到磷光衰落的曲线。磷光的相对亮度是直接可以在胶片上测量的。因为亮度是正比于纵坐标的高低，时间的测量是用示波器另一个振动器，它的周期是固定的，这种周期性的振动亦被摄在胶片上。这样我们就可以测量磷光光度和时间的准确的变化了。

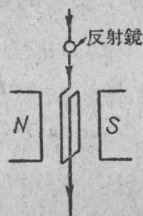


图 1-6 振动器的原理

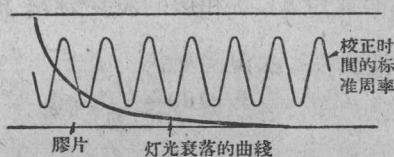


图 1-7 磷光衰落的曲线的胶片

## 6. 发光效率及其测量法

发光效率有三种意义，即流明效率、能量效率和量子效率。从技术的角度来看，流明效率是最重要的。从理论的角度来看，量子效率是最重要的。现在把这三种效率的意义分述如下：

(1) 流明效率 这是指总的光的输出和总的能的输入之比。不



問那一部分能量被发光物質所吸收,或被透射、反射或經過其他的方式而損失了。激发能往往以瓦特或者以尔格/秒來計算,而光的輸出往往以流明為單位。

(2) 能量效率 这是指总的发射的光能量和吸收的能量之比。如发射的光能量为  $E_e$ , 吸收的能量为  $E_a$ , 則能量效率

$$\Phi = 100 \frac{E_e}{E_a} = 100 \frac{E_e}{E_e + E_h}, \quad (1-3)$$

式中  $E_h$  指发射的热能。  $E_a$  和  $E_e$  都以瓦特或尔格/秒為單位, 因此能量效率是以百分率來表示。流明效率不同于能量效率, 就在于后者的輸出是以光的流明数为單位的。

(3) 量子效率 这是指发射的量子数和吸收的量子数之比, 經常以  $Q$  表示。量子效率

$$Q = 100 \frac{N_e}{N_a}, \quad (1-4)$$

式中  $N_e$  是发射的量子数,  $N_a$  是吸收的量子数。量子效率  $Q$  和能量效率  $\Phi$  有着一定的关系。为了簡化而易于了解起見, 假定激发能是單色光源, 每个激发的量子能量为  $\overline{E}_a$ , 而每个发射的量子平均能量为  $\overline{E}_e$ , 各相应的波長为  $\lambda_a$  及  $\lambda_e$ , 則

$$\Phi = 100 \frac{N_e \overline{E}_e}{N_a \overline{E}_a} = Q \frac{\frac{h\nu_e}{\lambda_e}}{\frac{h\nu_a}{\lambda_a}} = Q \frac{\lambda_a}{\lambda_e}. \quad (1-5)$$

这三种效率中, 常用的是流明效率。在荧光灯制造工业中亦以此为測量荧光灯的发光效率的單位。各种发光物質的发光效率是很悬殊的, 主要是由其成分和其装备的过程來决定。例如用  $2537\text{\AA}$  紫外綫去激发硅酸鋅其发光效率可达 70 流明/瓦, 在同一条件用  $2537\text{\AA}$  去激发硼酸鋇, 仅得 25 流明/瓦。发光效率和杂質的关系很大, 如在鹵磷酸鈣中, 銅的杂質达 0.1% 时, 其发光效率就要降低 30% 以上。发光效率和发光物質煨燒結晶的温度有关,