

荧光灯制造基础

吳祖堽 編著

上海科学技术出版社

荧光燈制造基础

(第二版)

吳祖堽 編著

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书先叙述荧光粉制造法,再说明各式荧光灯管的制造,主要是详述预热式热阴极荧光灯管的制造,对其他各式荧光灯亦有简单说明。本书对荧光灯管的颜色如何符合国际标准,及荧光灯管在使用与制造上如何使之寿命耐久、发光效率高、流明衰退迟缓等皆有详细分析。最后还提出了有关改进荧光灯质量的问题和一些技术措施。

本书可供灯泡厂技术人员,化工学院、中等电气技术学校师生,使用荧光灯的用户参考。

荧 光 灯 制 造 基 础

(第 二 版)

吳 祖 璣 編 著

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业许可証出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店经售

大东集成联合印刷厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 4 30/32 字数 129,000

1958年10月第1版印3次共印5,000册

1962年6月第2版 1962年6月第1次印刷

印数 1—3,000

统一书号: 15119 · 868

定 价: (十二) 0.70 元

二 版 序

“荧光灯制造基础”出版以来已将三年了。在这三年中，荧光灯不论在品种上及质量上都有了很大的发展，尤其在质量上的改进，是值得特别重视的。

在品种上，主要是低气压、高功率荧光灯的发展，如单槽形、双槽形高功率荧光灯，倍光“TL”式以及在第五章中所提到的“VHO”式荧光灯，其构造虽不同，但控制水银压力的原理是一致的。因此在这次重版的时候就不多提了。

至于荧光灯质量的改进，如发光效率的提高、色调的改进、流明衰退的改善以及启点等均系有关提高质量上的关键性问题，而从理论的角度来说，又具有新的物理的概念。因此，在二版的时候，我增加“荧光灯的质量问题”一章。

最后，我希望增编的一章，以及全书有关荧光灯质量的章节，对我国荧光灯制造者能起着一些有益的作用。

吳 祖 堉 一九六一年八月于成都

序

关于荧光灯制造的书籍在国内可以說是很 少 或者 是 沒 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間接的工作先后有一个較长的时期，因此我想将我在国内外所見到的荧光灯及发光物质制造及測試的情况，以及在文献上所获得的有关資料，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。

由于時間的关系，我不能非常詳尽地将所有的問題加以叙述，而对主要的問題写得多一些，总的來說是比較簡單扼要的。全书共分九章，其中第二章固体发光物质的制造是由南京灯泡厂工程师鮑友恭同志所写的。本书第一章介绍了固体发光物质的种类、特性以及特性的測量，主要是介绍一些基本的原理。第二章說明发光物质的制造，是比較具体的。第三章和第四章介绍了預热式荧光灯的构造、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、高功率低气压荧光灯和高功率高气压荧光灯。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质量是非常重要的。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质量亦是很重要的。所有书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，但遺漏的地方还有不少，希望讀者能提出意見，以便在适当和可能的时候，把这本书再予以修正和补充。

吳 祖 墾 一九五八年五月二十二日于上海

目 录

第一章 光致固体发光物质

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1. 冷光和热光..... 1 | 5. 磷光衰落及其测量法..... 7 |
| 2. 光致发光的机理..... 3 | 6. 发光效率及其测量法..... 9 |
| 3. 常用的几种光致发光物质..... 4 | 7. 发射光谱及其测量法..... 11 |
| 4. 发光物质的特性..... 6 | |

第二章 常用固体发光物质的制造

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1. 制造固体发光物质的基本过程14 | 2. 制造发光物质实例..... 19 |
|--------------------|---------------------|

第三章 预热式荧光灯

- | | |
|------------------------|----------------------------|
| 1. 气体放电和荧光灯..... 31 | 7. 荧光灯内能量的转变及其发光效率..... 40 |
| 2. 阴极的构造及其作用..... 33 | 8. 荧光灯的附件之一——镇流器41 |
| 3. 阳极的作用..... 34 | 9. 荧光灯的附件之二——自动开关..... 43 |
| 4. 惰性气体的作用..... 35 | 10. 荧光灯的优点及其标准..... 44 |
| 5. 紫外线2537Å的发生..... 36 | |
| 6. 荧光灯内常用的发光物质..... 38 | |

第四章 荧光灯的制造

- | | |
|---------------------|------------------|
| 1. 荧光灯制造的过程..... 49 | 5. 排气..... 58 |
| 2. 灯丝绕制..... 51 | 6. 排气自动化..... 62 |
| 3. 灯丝涂粉..... 54 | 7. 老炼..... 65 |
| 4. 涂管..... 55 | |

第五章 其他类型的荧光灯

- | | |
|-----------------------------|------------------------|
| 1. 冷阴极荧光灯..... 68 | 4. 瞬息启点的荧光灯..... 72 |
| 2. 冷阴极荧光灯的特征及其工作参数表..... 70 | 5. 黑光荧光灯或黑光灯..... 74 |
| 3. 冷阴极荧光灯的线路..... 71 | 6. 高功率高气压水银荧光灯..... 76 |
| | 7. 高功率低气压水银荧光灯..... 78 |

第六章 荧光灯的启点

1. 引言.....	81	5. 附件对启点的影响.....	84
2. 灯管尺寸对于启点的影响.....	81	6. 温度对启点的影响.....	85
3. 气体的压力、成分和杂质的影响.....	82	7. 湿度的影响.....	86
4. 阴极的状况.....	83	8. 荧光灯启点的檢驗方法.....	87

第七章 荧光灯的寿命

1. 引言.....	88	的寿命.....	91
2. 阴极对寿命的影响.....	89	5. 使用中影响寿命的因素.....	92
3. 充气压力及其成分的影响.....	90	6. 荧光灯寿命的维护.....	94
4. 怎样在制造过程中控制荧光灯		7. 荧光灯的寿命試驗.....	95

第八章 荧光灯的发光效率及其衰退

1. 荧光灯的发光效率.....	98	6. 温度对发光效率的关系.....	104
2. 发光物质及涂粉过程对发光效率的影响.....	99	7. 荧光灯的流明衰退.....	105
3. 灯管的大小对发光效率的影响.....	100	8. 气体的杂质对流明衰退的影响.....	107
4. 充气的种类和压力对发光效率的影响.....	101	9. 发光物质对流明衰退的影响.....	110
5. 电流对发光效率的影响.....	102	10. 荧光灯的发光效率及流明衰退的測量法.....	112

第九章 荧光灯发光颜色的測量法

1. 发光的色表和色调.....	114	法.....	120
2. I. C. I. 座标系统的原理.....	115	5. 色較温度与黑体辐射.....	122
3. 三色视觉值及颜色图.....	117	6. 自动分光光度計及色色仪.....	125
4. 光源色表的三色系数的計算.....		7. 色表和色调的国际标准.....	126

第十章 荧光灯的质量問題

1. 荧光灯质量的重要性.....	129	5. 荧光粉的质量对荧光灯发光效率及流明衰退的影响.....	137
2. 如何控制荧光灯的质量.....	130	6. 荧光灯的色调及其控制.....	140
3. 荧光粉制造所需的主要原料的要求和标准.....	132	7. 关于荧光灯的启点問題.....	145
4. 荧光灯的发黑及其寿命.....	134	8. 荧光灯的质量标准.....	146

主要参考文献

I. 书籍.....	149	II. 杂志及其他.....	149
------------	-----	----------------	-----

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。它能輻射出各种波长的能量,自近紫外綫 $3000\text{\AA}$ 到紅外綫 $28000\text{\AA}$ 以上。可是我們感覺到的可見光波长的范围是极小的,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覺。这样在白熾灯所輻射的能量中,能使我們感覺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_2 表示感觉为光的能量。可見 A_2 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

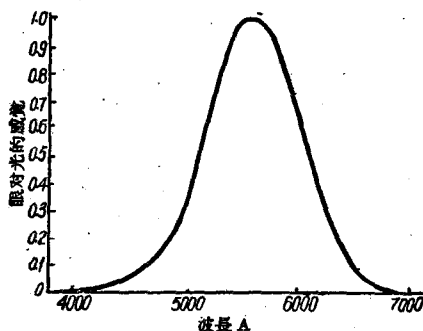


图 1-1 眼睛的灵敏度曲綫

发光效率为 220 流明/瓦；而一般白炽灯的发光效率为 10~15 流明/瓦。要提高白炽灯的发光效率，可以增加白炽体的温度，但是增加到近钨丝的熔点 (3655°K) 时，灯丝就烧断了。在这个温度，理论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。假使我们能得到比钨丝更耐熔的白炽体，我们可提高发光效率；可是灯丝的温度到 6500°K 后，在可见光区域内的辐射的能量就要相对地减少，再加眼睛灵敏度的关系，发光效率将趋减少。因此白炽体的发光效率在理论上是有一个极限的。这个最佳的温度是 6500°K ，其相应的发光效率为 85 流明/瓦。

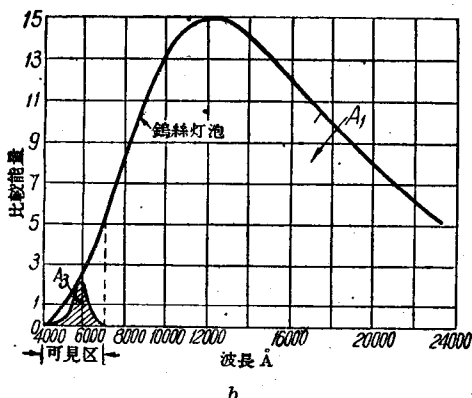
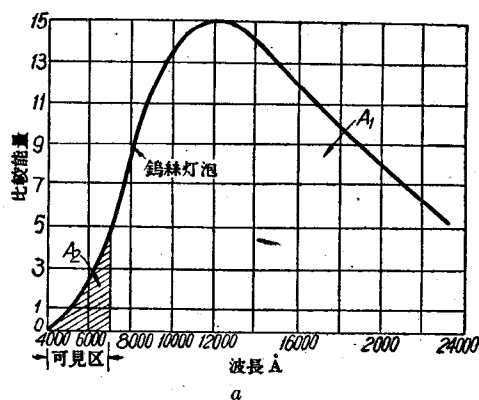


图 1-2 钨丝灯能量分布曲线

“冷光”亦称“发光”，是与白热光相对立的两个名词。严格地说冷光是指一种辐射能，它的能量仅分布在可见光的区域内，没有分布在红外綫或紫外綫区域内的。实际上冷光或多或少含有一些红外綫或紫外綫。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 α 质点去激发发光物质而发光。

(4) 场致发光：这是指交变电场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、场致发光和离子发光。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，它是由基质和激活剂組成的。它的主要成分叫基质，少量掺入的杂质叫激活剂。譬如硅酸鋅 $Zn_2SiO_4:Mn$ 中 Zn_2SiO_4 为基质，錳 Mn 为激活剂。固体发光比气体和有机物的发光要复杂得多。要說明它发光的机理，一般常用能带的图形。在图 1-3 中，我們見到滿带和导带。在正常状态下，滿带內連續的能級是被发光体内价电子所完全占据的，因此叫做滿带；导带內的能級是空着的，因此亦称空带。在滿带与导带間有一个能量的距离，約为五个电子伏。这是在正常状态下价电子所不能具有的能量，因此这个距离被称为禁区。在禁区内还有杂带和局部的能級。杂带是由于激活剂的存在而产生的；

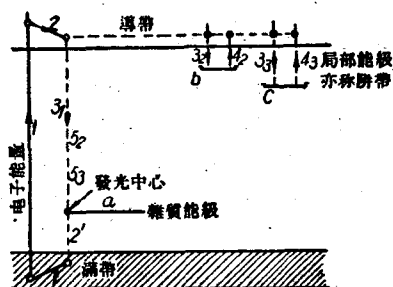


图 1-3 发光的能带图形

緣如(2)所示。同时滿帶中由于电子离开而产生的孔穴上升到滿帶的上緣,如(1')所示。这个孔穴并被发光中心所捕获如(2')所示。所謂发光中心是指激活剂离子和其附近构成发射中心的一个复杂的东西。发光中心捕获了孔穴就游离了。在导带下緣的电子有下列可能的行动:

(1) 立刻和游离的发光中心复合,如(3₁)所示,这就是通常所謂熒光的現象。

(2) 落入較深的能級 b 如(3₂)所示, 这个电子在那里停留了一个時間。由于热震动的关系, 电子可以重行被釋出。如果那个电子不再落入局部能級 b , 就可以和发光中心复合而发光。这就是磷光的現象, 如(4₂)所示。

(3) 落入較深的能級 c 如(3₃)所示。要使电子从这样深的能級中釋出, 必須从外界取得能量。我們用紅內綫照射发光物质就可得到这样的結果。电子在釋出以后, 如与发光中心复合則发出光来, 如(5₂, 5₃)所示。

用了这样很简单的能带的理論, 可以帮助我們解釋熒光、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, 俗称为熒光粉, 种类多至 3000 种以上; 但在熒光灯所常用的不过十多种。在低气压水銀熒光灯中主

局部能級是由于晶体缺陷和其他的原因而产生的。在图中 a 是杂质的能級; b 及 c 是局部能級, 亦称阱带。当光子激发时, 滿帶中的电子吸收了光的能量而有可能跃迁到导带如(1)所示。电子到了导带以后, 立刻下降到导带的下

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。最近发展的高气压水銀荧光灯內用 $3650\text{\AA}$ 的紫外綫去激发荧光粉而发出紅色光,这种紅色光和水銀灯本身的黃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鍍酸盐、砷酸盐等。現在将这些常用的荧光粉簡略地介紹如下:

(1) 低气压水銀荧光灯內用的荧光粉:

(甲) 钨酸盐 属于这一类的有钨酸鈣和钨酸鎂。钨酸鈣的分子式为 $\text{CaWO}_4 \cdot [\text{W}]$, 它的基质是 CaWO_4 。虽然在制造时沒有掺入其他激活剂,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。钨酸鈣在 $2537\text{\AA}$ 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鉍。正硅酸鋅 $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{Mn}$ 以鋅为激活剂, 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。正硅酸鋅鉍的分子式为 $[\alpha(\text{Be}) \cdot \gamma(\text{Zn})]_2\text{SiO}_4 \cdot \text{Mn}$, 式中鉍(Be)及鋅(Zn)的原子总量是2, 式中可变系数 $x+y=2$, x 和 y 的比值可以在很大的範圍內加以变化。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, 发光顏色由藍綠而黃而橙紅色。此外, 增加鋅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內。

(丙) 硼酸盐 这一类的荧光粉有硼酸鎘 $(2\text{CdO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{Mn})$ 。过去这种荧光粉常用来制造淡紅色彩色荧光灯, 或和钨酸鎂及硅酸鋅鉍相配合而制成日光色或白色的荧光灯。

現在荧光灯用得最广泛的磷酸盐是卤磷酸鈣。它的基质以 $8\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaX}$ 表示, 式中 X 为卤属元素 Cl 或 F ; 它的激活剂是銻 Sb 和鋅 Mn 。当銻单独使用时, 发射光譜强度的最大值約在 $4800\text{\AA}$; 引入鋅的激活剂后, 藍色光帶就被抑制而产生另一最大值約在 $5850\text{\AA}$ 的光帶。如我們改变銻和鋅的激活剂相对的含量或改

变基质内氯和氟的相对的含量，在 $2537\text{\AA}$ 紫外线激发下，就可以发射出一系列的色调不同的光来。

(2) 高气压水银灯内常用的荧光粉：

(甲) 氟锆酸镁 分子式为 $3.5\text{MgO} \cdot 0.5\text{MgF}_2 \cdot \text{GeO}_2 \cdot \text{Mn}$ 。这种荧光粉在 $3650\text{\AA}$ 紫外线激发下能发出红色光。它的稳定性很高。不过这种荧光粉要用到锆，价格较高。

(乙) 砷酸镁 它的分子式为 $6\text{MgO} \cdot \text{As}_2\text{O}_5 \cdot \text{Mn}$ 。它在 $3650\text{\AA}$ 紫外线激发下亦能发射出红色光，适用于高气压水银荧光灯。它能耐温，稳定性高，价格亦便宜，但有毒性。

(丙) 磷酸铈 它的分子式为 $(\text{ZnSr})_2(\text{PO}_4)_3 \cdot \text{Sn}$ 。它的基质是磷酸铈，铈的含量是较少的，激活剂是二价的锡。它在 $3130 \sim 3650\text{\AA}$ 紫外线激发下能发射橙红色光，亦适于高气压水银荧光原四色调之用。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荧光粉。

4. 发光物质的特性

作为良好的发光物质必须具有一定的物理和化学特性。就物理的特性来说，主要有三方面：即发光效率、颜色及磷光的衰落，发光效率有几种意义，这将在下节加以解释，在荧光灯制造工业中常以流明/瓦来衡量。颜色又分色表和色调，这两者不是完全相同的。荧光灯色表虽相似，但色调可相异；有时色调虽相似，色表则又不同。发光色表一般以国际照明协会的坐标系统来表示。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°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，因而降低它的发光效率。

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，那就是以时间为横座标，以磷光的亮度为纵座标。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 1 是指数式的衰落，它可以下式来表示：

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

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

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

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

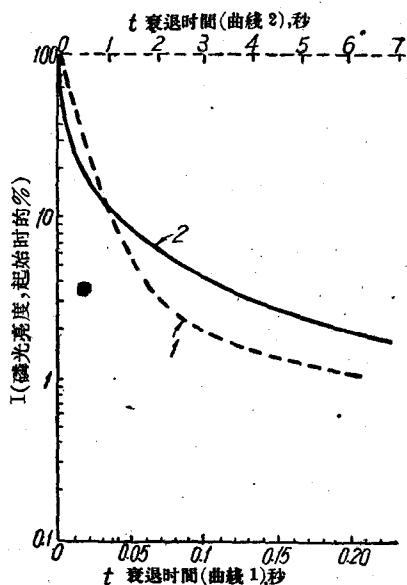


图 1-4 荧光粉磷光衰落曲线

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，我們往往注意到磷光衰落时间的快慢，亦就是余辉的时间。它是指从磷光开始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极光电倍增管等。图 1-5 是测量系统的示意图。

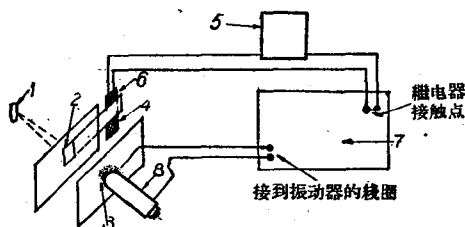


图 1-5 测量系统示意图

- | | | |
|---------|-----------|-----------|
| 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—多极光电倍增管 | |

紫外线光源 1 经狭缝 2 而激发发光物质 3。狭缝的启闭是由一电磁的开关 4 来完成的。脉冲发生器 5 的脉冲电流经过线圈 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 МП0-2。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。磷光的亮度是用多极光电倍增管 $\Phi\Delta Y-19$ 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荡器，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。

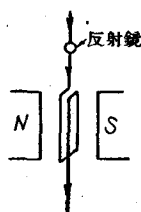


图 1-6 振荡器的原理

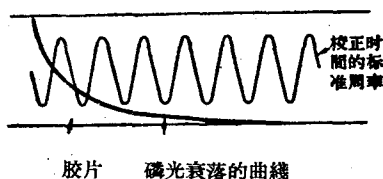


图 1-7 磷光衰落的曲线的胶片

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。不问哪一部分能量被发光物质所吸收，或被透射、反射或经过其他方式而损失了。激发能往往以瓦特或者以尔格/秒来计算，而光的输出往往以流明为单位。

(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 ，则能量效率

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

式中 E_h 指发射的热能。 E_e 和 E_a 都以瓦特或尔格/秒为单位，因此能量效率是以百分率来表示。流明效率不同于能量效率，就在于后者的输出是以光的流明数为单位的。

(3) 量子效率 这是指发射的量子数和吸收的量子数之比，经常以 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 Φ 有着一定的关系。为了简化而易于了解起见, 假定激发能是单色光源, 每个激发的量子能量为 $\overline{E}_a$, 而每个发射的量子数的平均能量为 $\overline{E}_e$, 各相应的波长为 λ_a 及 λ_e , 则

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

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测量荧光灯的发光效率的单位。各种发光物质的发光效率是很悬殊的, 主要是由其成分和其装备的过程来决定。例如用 2537 Å 紫外线去激发硅酸锌其发光效率可达 70 流明/瓦, 在同一条件用 2537 Å 去激发硼酸镉, 仅得 25 流明/瓦。发光效率和杂质的关系很大, 如在卤磷酸钙中, 铜的杂质达 0.1% 时, 其发光效率就要降低 30% 以上。发光效率和发光物质煅烧结晶的温度有关, 譬如卤磷酸钙煅烧的温度为 1200°C, 其发光效率比 1100°C 煅烧时提高近 10%。发光物质工作的温度和发光效率亦是有关的, 譬如硅酸锌 $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{Mn}(0.3)$ 在 100°C 时的发光效率值为 25°C 时的 60%。其他如煅烧的时间、粉粒的粗细对发光效率亦有很大的影响。

流明效率的测量法是很简单的。在试验室中一般仅测量发光物质的相对亮度。我们用固定的紫外线光源去激发发光物质, 再用硒光电池去测量其亮度。硒光电池必须配有特殊的滤光器, 使光谱灵敏的特性恰巧和人眼的灵敏度曲线一样。硒光电池再串联

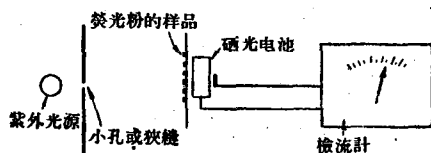


图 1-8 发光物质相对的发光效率或亮度的测定