

文章编号: 1000-7032(2009)06-0778-04

氡 β 射线驱动的荧光灯

谷德山¹, 丁广泽¹, 刘林茂¹, 马 龙², 谢宜华², 刘行仁²

(1. 东北师范大学 辐射技术研究所, 吉林 长春 130024;

2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 激发态物理重点实验室, 吉林 长春 130033)

摘要: 采用了放射性同位素氡在衰变过程中放射出 β 粒子激活发光材料发光的原理。因 β 粒子平均自由程只有 4.3 mm, 灯型选择直径应在 4~8 mm 之间。通过实验比对, 确定常用的发光材料为: 发红光材料硫氧钇: 铕 ($Y_2O_2S: Eu$); 发绿光的发光材料硫化锌: 铜, 铝 ($ZnS: Cu, Al$); 发蓝光的发光材料硫化锌: 银 ($ZnS: Ag$)。经过测试选择发光材料的最佳平均粒度: 硫氧钇铕 4.6 μm ; 硫化锌铜铝 5.3 μm ; 硫化锌银 5.4 μm 。同时探讨了涂屏方法和充氡排气工艺。对制作的氡灯进行了光亮度测试。最后给出了氡灯的使用与保存方法。

关键词: 发光材料; β 粒子; 氡灯

中图分类号: O571.322; O482.31 **PACS:** 23.40.-s; 78.55.Hx **PACC:** 2550; 7855 **文献标识码:** A

1 引 言

核能的应用是能源开发不可缺少的重要组成部分, β 射线的应用已经比较广泛^[1]。利用放射性同位素氡(气态)在衰变过程中放出的 β 粒子, 激活发光材料发光, 研制的氡灯, 不需要外界提供任何能源既自发光, 其使用寿命可达 10 年以上, 该灯能在恶劣的自然环境中正常发光, 由于属于冷光源, 不至于因长时间使用灯而发热, 导致火灾和爆炸事故, 特别适用于易燃易爆及远离电源的场所指示。氡灯是纯 β 辐射体, 无外照计量问题, 使用安全可靠, 使用过程免维护。研究开发和利用氡灯是核能利用的又一个新领域。也是新光源开发的新途径。同时可促进各种颜色氡激活发光的发光材料研究和生产。

利用放射性同位素氡在衰变过程中连续不断地放出具有一定能量的 β 粒子, β 粒子与发光基质的原子(或分子)发生碰撞, 引起它们的激发或电离, 从原子(或分子)中电离出来自由电子具有一定的能量, 又引起其它原子(或分子)的激发或电离, 当激发态或电离态的原子(或分子)重新回到基态时就引起发光。 β 粒子在与发光基质的原子(或分子)碰撞过程中, 逐渐降低能量, 以至于

经过多次碰撞后, 将全部能量传递给发光基质(荧光粉), 而发光基质又将所吸收的能量转换为光辐射, 这就是 β 粒子激活发光材料发光的基本原理。

以气体状态存在的氡^[2], 其半衰期为 12.33 年, 在正常条件下, 放出 100% 的 β 粒子, β 射线最大能量为 18.598 keV, β 粒子平均自由程长度为 4.3 mm, 电子贯穿深度为 0.1~1 nm。由于贯穿深度小, 发光基质(荧光粉)颗粒的表面状态对 β 粒子激活来说是一个重要的因素。根据 β 粒子激活发光材料发光的原理做了大量的实验, 确定了氡灯研制的关键技术和生产工艺。

2 实 验

2.1 灯型的选择

经实验证明: 灯型的选择和发光强度有直接关系。因为 β 粒子的平均自由程长度只有 4.3 mm, 如果灯的直径太粗, 在灯中间产生的 β 粒子和灯壁垂直运动时, 没有达到灯壁的发光基质就已经损耗掉了全部(或一部分)能量, 对于其它方向运动的 β 粒子, 在运动过程中只有一部分和发光基质碰撞, 其它 β 粒子互相碰撞, 产生能量内耗。为了充分发挥 β 粒子和发光基质的原子(或

收稿日期: 2009-01-19; 修订日期: 2009-09-02

基金项目: 吉林省科技厅科技项目(943536)资助

作者简介: 谷德山(1955-), 男, 吉林长春人, 主要从事核技术及真空技术的研究。

E-mail: guds158@nenu.edu.cn

分子)产生碰撞,提高氚灯的光亮度,我们认为对用氚气做 β 粒子源的管型氚灯内径选择不得大于8 mm,不得小于4 mm。因为内径太小,发光面积自然减少,提高亮度也很困难。对于球形灯可做成双层结构,一是可提高光亮度;二是可节省充氚数量。

2.2 发光材料的选择

β 射线的波长仅有0.067 nm,在 γ 和X射线之间,经实验确定II-VI族化合物和稀土化合物可在 β 粒子激活下发光^[3~8]。常用的发光材料有:发红光材料硫氧钇:铕($Y_2O_2S:Eu$);发绿光的发光材料硫化锌:铜,铝($ZnS:Cu,Al$);发蓝光的发光材料硫化锌:银($ZnS:Ag$)。由于 β 粒子贯穿深度小,所以上材料在烧结前尽可能研磨粒度小些,

通过发光效率实验确定三种材料的最佳粒度,经中国科学院阴极射线发光材料质量检测中心,用英国JOYCE-LOEBI公司生产的圆盘离心粒度仪进行粒度分布状态测试,平均粒度为 $Y_2O_2S:Eu$ 4.6 μm ; $ZnS:Cu,Al$ 5.3 μm ; $ZnS:Ag$ 5.4 μm ;粒度分布曲线如图1所示。

但发光粉的粒度不能再小,如果研磨得过细,会破坏发光材料的晶型结构,甚至在 β 粒子激活下不会发光。

2.3 涂屏

考虑到 β 粒子的能量低,贯穿深度小,选择易挥发的粘接剂和发光粉按比例调和后,在球磨机上研磨5 h,涂在清洗好的灯形玻壳上,涂屏时采用旋转涂屏法,一次成屏。涂屏后的玻璃壳垂直放置,用热风吹干,然后放入烘箱中加温到400 $^{\circ}C$,恒温4 h以上,脱去粘接剂。如果烘烤温度不够或时间太短,会有部分粘接剂残留在屏上,充气后灯壁上有明显的黑斑存在。涂层的厚度越薄越好,最好为发光材料单颗粒层为好,但颗粒和颗粒之间又不能有砂眼存在。这样制成的氚灯,即保证了低能量的 β 粒子充分激活发光材料,又克服了 β 粒子贯穿深度小的缺点,提高了氚灯的发光强度。

2.4 排气充气

将涂屏玻璃壳烘烤后,去除排气口处的涂层,做成密封排气口,接入排气系统上抽气,当真空度达到 8×10^{-4} Pa时,将抽真空设备和充气部分隔离,开始充气,氚灯中充气量的多少,根据氚灯的亮度和体积计算得出。一般情况下,随着充气量的增加,氚灯的亮度也增加,对于一定体积的氚灯,氚充到一定剂量时,充气量再增加,亮度也没有明显的变化。说明氚灯的发光强度和氚灯的体积有直接关系。充气结束封离真空系统,制成氚灯。氚灯还可根据不同用途制成不同长度或形状。

3 结果与讨论

3.1 氚灯光亮度测试

用以上制作工艺做成了红、绿、蓝三种氚灯,并通过国家光学机械质量监督检测中心对三种氚气灯光亮度进行了检测,检验结果为:红色氚灯为0.3 cd/m^2 、绿色氚灯为0.6 cd/m^2 、蓝色氚灯为0.22 cd/m^2 。三种发光材料在365 nm激发下的

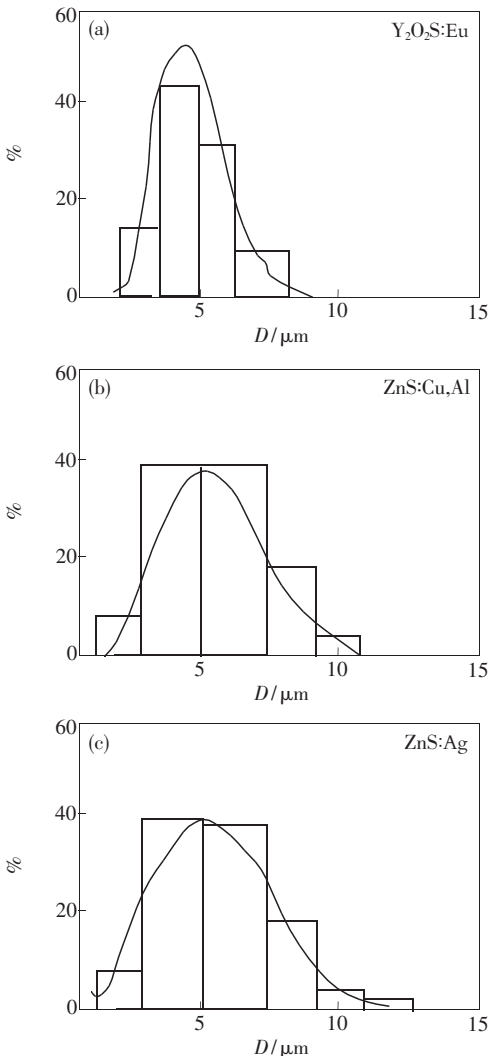


图1 三种荧光粉的粒度分布直方图, (a) $Y_2O_2S:Eu$; (b) $ZnS:Cu,Al$; (c) $ZnS:Ag$

Fig. 1 Size distribution histogram of three phosphors, (a) $Y_2O_2S:Eu$; (b) $ZnS:Cu,Al$; (c) $ZnS:Ag$.

荧光光谱,如图 2 所示。其中绿色氚灯的荧光光谱,带谱峰值在 530 nm,半峰全宽为 80 nm,接近人眼的灵敏度范围。

3.2 氚灯的使用与保管

由于氚灯是冷光源的长明灯,一般使用在无光照或无其它光源的环境中做指示。但由于灯中

充有放射性同位素氚气。所以使用时用安全罩固定或高空固定,野外使用时避免丢失或打破,一旦氚气泄漏也不要紧张,只要做好通风,很快氚气就在空气中稀释。虽然氚本身的物理半衰期为 12.33 年,但人吸入氚后生物半衰期只有 10.08 天。很快就会通过尿液和汗液排除体外^[9,10]。

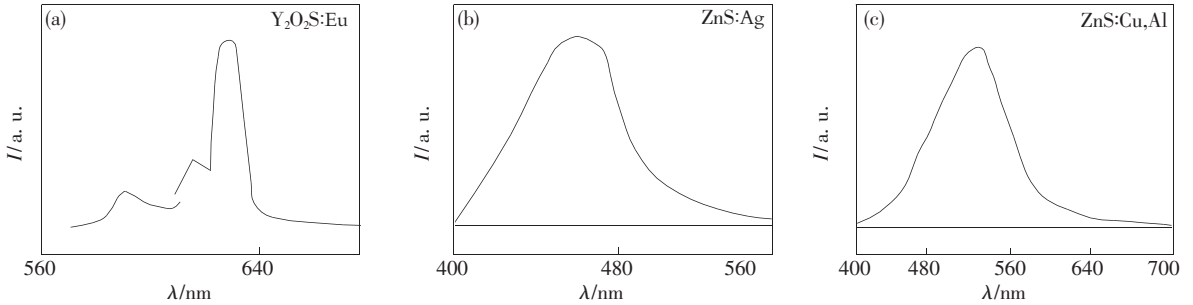


图 2 3 种发光材料在 365 nm 激发下的荧光光谱

Fig. 2 The fluorescence spectra excited by 365 nm for three phosphors

氚灯的包装、运输和其它玻璃器皿相同。存储库房一定安装通风装置,防止氚灯有氚泄漏污染环境。

4 结 论

利用放射性同位素氚在衰变过程中放射出 β 粒子激活发光材料发光的原理。通过实验比对,

确定了常用的发光材料,发红光材料为 $Y_2O_2S:Eu$;发绿光的材料为 $ZnS:Cu,Al$;发蓝光的材料为 $ZnS:Ag$ 。经过发光材料粒度测试, $Y_2O_2S:Eu$ 为 $4.6 \mu m$; $ZnS:Cu,Al$ 为 $5.3 \mu m$; $ZnS:Ag$ 为 $5.4 \mu m$ 。在涂屏方法和充氚排气工艺确定后。研制出红、蓝、绿三种颜色氚灯并进行了光亮度测试。为系列氚灯的进一步研究开发奠定了基础。

参 考 文 献:

- [1] Du Xiaoyun, Cheng Hesen, Cao Gengxin. Measurement of the atomization concentration by β -ray when the big dam sluice [J]. *Nuclear Techniques* (核技术), 1996, **19**(3):182-185 (in Chinese).
- [2] Ding Furong, Ban Yong, Xia Zonghuang. *Radiation Physics* [M]. Beijing: Peking University Press, 2004, **10**:223-224 (in Chinese).
- [3] Pei Yihui, Liu Xingren. Cathodoluminescence and photoluminescence of the superfine $Y_2O_3:Eu$ phosphor [J]. *Nanostruct. Mater.*, 1996, **17**(1):52-57.
- [4] Xie P, Zhang W, Xin M, Lou L, et al. Research on quenching concentration of nanocrystalline $Y_2SiO_5:Eu$ [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 1988, **19**(1):19-23 (in Chinese).
- [5] Sun Yanbin, Qiu Guanming, Chen Yongji, et al. Synthetic methods of rare earth luminescent materials [J]. *Chin. Rare Earth* (稀土), 2003, **24**(1):43-48 (in Chinese).
- [6] Liu Xiaotang, Liu Huanai, Shi Chunshan. Synthesis methods of rare earth luminescent materials [J]. *Chin. J. Synthetic Chem.* (合成化学), 2005, (13):216-218 (in Chinese).
- [7] Zhang Rui, Gu Mu, Liu Xiaolin, et al. Theoretical study of the co-doped ions on the luminescence of rare-earth oxides $Y_2O_3:Eu^{3+}$ and $Gd_2O_3:Eu^{3+}$ [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, **28**(3):383-388 (in Chinese).
- [8] Xia Shangda. Research progress on theory of rare earth luminescence and spectroscopy [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, **28**(4):465-478 (in Chinese).
- [9] Wang Lanxin, Ruan Guanglin, Shi Zhengkun. Measurement of tritium in urine and study on half-time of tritium excretion of men [J]. *Atomic Energy Science and Technology* (原子能科学技术), 2001, (5):563-566 (in Chinese).

- [10] Wang Lanxin, Zhang Taiming, Ruan Guanglin, *et al.* Study on measurement and comparative analysis of tritium water and total tritium in urine [J]. *J. Nuclear and Radiochemistry* (核化学与放射化学), 2003, **23**(4):249-252 (in Chinese).

Fluorescent Lamp Driven by β -ray of Tritium

GU De-shan¹, DING Guang-ze¹, LIU Lin-mao¹, MA Long², XIE Yi-hua², LIU Xing-ren²

(1. Radiation Technology Institute of Northeast Normal University, Changchun 130024, China;

2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China)

Abstract: The principle of activating the phosphors to luminescence by β particle emitted from tritium isotope was introduced. Because the average free path of β -particle is only 4.3 mm, the diameter of the lamp is limited between 4 mm and 8 mm. From experiment, we can come to the conclusions as follows: First, $Y_2O_2S:Eu$ is the familiar phosphors which can emit red ray. Secondly, $ZnS:Cu,Al$ is the familiar phosphors which can emit green ray. Finally, $ZnS:Ag$ is the familiar phosphor which can emit blue ray. From testing, the optimal granularities of $Y_2O_2S:Eu$, $ZnS:Cu,Al$, $ZnS:Ag$ are 4.6, 5.3 and 5.4 μm , respectively. The methods of phosphor coating and the technics of charging the tritium are introduced in detail. The brightness of the tritium lamp was also tested. At last, the methods of using and storage of tritium lamp were explained.

Key words: phosphor; β particle; tritium lamp

CLC number: O571.322; O482.31

PACS: 23.40.-s; 78.55.Hx

PACC: 2550; 7855

Document code: A

Received date: 2009-01-19

重要启示

本刊为方便广大作者的论文进行国际交流,并进一步加快我刊国际化进程,现向广大作者征集相关英语全文写作论文。对专家和编委审查合格的论文,我们将采取优先发表等优惠措施,欢迎广大作者踊跃投寄英语全文写作的学术论文。论文征集范围仍参见《发光学报》征稿简则。

《发光学报》编辑部