

文章编号: 1002-2082(2005)06-0074-03

# UV 辐射光谱的光电测量研究

甘 明<sup>1</sup>, 周汇利<sup>1</sup>, 余国才<sup>1</sup>, 路铁牛<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军炮兵学院 研究生系, 安徽 合肥 230031; 2. 西安通信学院, 陕西 西安 710106)

**摘要:** 为了设计出符合要求的紫外产生材料和更好地对紫外光谱进行测量, 提出了以原子材料为基础产生紫外光谱和采用紫外传感器测量紫外光谱的方法。这在对抗紫外制导方面具有十分重要的研究和实用价值。根据相关理论, 重点对原子紫外光谱, 尤其是碱金属原子核外电子的能量跃迁进行了分析和计算, 列出了计算的谱线数据。介绍了目标紫外光谱的测量原理。在选用合适的紫外材料激发后, 采用双光栅单色仪和紫外传感器进行测量。最后, 给出了紫外传感器对紫外辐射的测量实验结果和测量曲线。

**关键词:** 紫外传感器; 紫外光谱; 原子紫外光谱; 紫外辐射

中图分类号: TN23; O433-34

文献标识码: A

## Study on optoelectronic measurement of UV radiation spectrum

GAN Ming<sup>1</sup>, ZHOU Hui-li<sup>1</sup>, YU Guo-cai<sup>1</sup>, LU Tie-niu<sup>2</sup>

(1. The 5th Department of Hefei Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China;

2. Xi'an Communication University, Xi'an 710106, China)

**Abstract:** In order to design the material, which can generate the ultraviolet spectrum and fit a certain requirement, and measure the ultraviolet spectrum better, a method that utilizes some atomic material and appropriate excitation source to generate the needed ultraviolet spectrum and then measures the ultraviolet spectrum with the ultraviolet sensor is proposed. This is very useful for study and application of ultraviolet guided missile countermeasure and jam. According to related theories, the ultraviolet spectrum of atomic materials, especially the electron energy transition around alkali metal nucleus is analyzed and calculated, and the spectral line data is listed in this paper. The measurement principle of target ultraviolet spectrum is also introduced. After the excitation scheme of suitable ultraviolet material is selected, the ultraviolet spectrum is measured with the dual-grating monochromator and ultraviolet sensor. Finally, the experimental result and the curve diagram of measurement for ultraviolet radiation spectrum are given.

**Key words:** UV sensor; UV spectrum; atomic UV spectrum; UV radiation

## 引言

0.3~0.5  $\mu\text{m}$  的紫外波段被认为是“大气紫外窗口”, 目前的紫外制导系统大多工作在这一频段内。

对付紫外制导技术的有效方法是产生 0.3~0.5  $\mu\text{m}$  波段的、强度足够的紫外辐射, 作为诱饵进行欺骗。紫外辐射的产生, 必须在理论指导下进行。根据光谱理论, 要设计出符合需要的紫外产生材料, 最有效的方法是利用原子光谱。而对紫外光谱的测量, 是紫外光谱研究中最重要的一环。本文提出了以原子材料为基础产生紫外光谱, 采用紫外

传感器测量紫外光谱的方法, 这在研究和对抗紫外制导方面具有重要的研究和实用价值<sup>[1-2]</sup>。

## 1 原子紫外光谱的辐射理论

### 1.1 碱金属的可见光和紫外光谱

碱金属的可见光和紫外光谱的辐射, 多是电子跃迁引起的。事实表明, 许多金属原子在紫外区都有丰富的谱线。以碱金属为例, Li, Na, K, Rb, Cs 原子中, 最外层中有一个电子受原子核的束缚较松弛, 它们的化学性能十分活泼。碱金属的化合物 Li,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , KBr 等, 在高温下有一部分会分

离出碱金属原子。当这些原子受到热碰撞和激发时,其价电子向高能级跃迁至激发态。当处于激发态的不稳定的价电子向低能级跃迁时,产生的部分光子辐射便处于我们需要的 $0.3\sim 0.5\ \mu\text{m}$ 范围内。

常将碱金属的原子光谱分为4个线系:主线系、锐线系(或第二辅线系)、漫线系(或第一辅线系)和基本线系(或伯格曼线系)。

为了得到紫外谱,对任一碱金属原子而言,先作如下分析。类似巴耳末(Balmer)公式,谱线的波数可用任意两项之差表示:

$$\bar{\gamma} = T(n_1) - T(n_2)$$

$$T(n) = \frac{R}{(n-\delta)^2} = \frac{R}{n^{*2}}$$

式中, $\bar{\gamma}$ 的单位为 $1/\text{cm}$ ;  $R$ 为里德伯(Rydberg)常数, $R = 109\ 677.581/\text{cm}$ ;  $n^* = n - \delta$ ,为有效量子数, $\delta = \delta(l)$ ;  $n$ 为主量子; $l$ 为角量子数; $\delta$ 为量子亏损,为一正常数,与 $n$ 和 $l$ 有关,可以通过测量得到<sup>[3-4]</sup>。

根据原子模型,电子围绕原子核运动,能量越低的电子靠原子核越近;能量越高,则离核越远。价电子距核的平均距离远大于其他电子距核的距离,而后者又常与原子核形成一个比较稳固的集团(称为原子实)。为求碱金属的紫外光谱分布,实际上就是求解一个电子在原子实的有心引力场中运动的本征能量。本征能量 $E_{n,l}$ 为

$$E_{n,l} = -\frac{Rhc}{n^{*2}} = -\frac{R_{\infty}ch}{(1+m/M)n^{*2}}$$

上式的单位为J。式中, $R = \frac{R_{\infty}}{1+m/M}$ ,即里德伯常数; $R_{\infty} = 109\ 737.317\ 7/\text{cm}$ ;  $h$ 为普朗克常数; $M$ 为原子核质量; $m$ 为电子质量;其他意义同前。

由光辐射公式

$$h\gamma = Rhc\left(\frac{1}{n_1^{*2}} - \frac{1}{n_2^{*2}}\right)$$

可得波数:

$$\bar{\gamma} = \gamma/c = R\left(\frac{1}{n_1^{*2}} - \frac{1}{n_2^{*2}}\right)$$

从碱金属的谱线来看,锐线系的光谱形状较尖锐,漫线系的光谱分布散布的距离较宽,强度最大的是主线系。碱金属Li, Na, K, Rb和Cs原子的主线系分别是激发态能级向2S, 3S, 4S, 5S和6S跃迁的结果,见表1。

## 1.2 其他原子的紫外光谱

很多其他金属原子(如Fe, Pb, Mg, Bi, Sb等)的紫外谱辐射强度也符合要求。这些原子的价电子往往多于2个,跃迁情况趋于复杂化,理论分析很困难。据测定,在 $0.3\sim 0.5\ \mu\text{m}$ 范围内, Hg的强辐射谱线有: $0.303\ \mu\text{m}$ ,  $0.313\ \mu\text{m}$ ,  $0.365\ \mu\text{m}$ ,  $0.404\ \mu\text{m}$ ,  $0.435\ \mu\text{m}$ ; Mg的谱线有 $0.383\ \mu\text{m}$ ; Sb的谱线有 $0.323\ \mu\text{m}$ 和 $0.334\ \mu\text{m}$ ; Bi的谱线有 $0.306\ \mu\text{m}$ 和 $0.34\ \mu\text{m}$ ; Pb的谱线有 $0.364\ \mu\text{m}$ 和 $0.406\ \mu\text{m}$ ; Fe的谱线有 $0.358\ \mu\text{m}$ 和 $0.374\ \mu\text{m}$ <sup>[3]</sup>。

表1 碱金属紫外谱谱线

Table 1 UV spectrum of alkali metal atoms

元素	跃迁能级	波长( $\lambda$ )
Na	3S-3P	5890
	3S-4P	3302
	3S-5P	2852
K	4S-4P	7665
	4S-5P	4044
	4S-6P	3446
	4S-7P	3217
Rb	5S-5P	7800
	5S-6P	4201
	5S-7P	3587
	5S-8P	3348
	5S-9P	3228
	5S-10P	3157
Cs	6S-6P	9521
	6S-7P	4555
	6S-8P	3876
	6S-9P	3611
	6S-10P	3476
	6S-11P	3398
	6S-12P	3347
	6S-13P	3313

## 2 目标紫外光谱的测量原理

实验仪器和传感器采用双单色仪和紫外探测器,分别对紫外光谱和强度进行测试。双单色仪采用光栅分光,接收器为调制盘式点源接收系统,探测器为CdS,它的电阻受紫外线的影响很大。

双单色仪中前一单色器的出射狭缝为后一单色器的入射狭缝。双单色器的作用是既可以消除杂光,也可提高分辨本领。图1为双单色仪组成图<sup>[5]</sup>。如图所示,紫外辐射从左面入射狭缝进入单色仪,从左上角出射狭缝输出单色紫外光。双单色仪一般是由棱镜单色器和光栅单色器组成的,用于精密分

光光度计中。棱镜的作用在于消除衍射中的高级次,也可用2个棱镜,但其质量较差;而用2块光栅,却较昂贵。

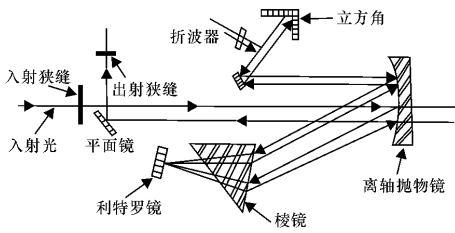


图1 测量紫外光的双单色仪组成图

Fig. 1 The structure of double monochromator for measurement of UV spectrum

### 3 紫外传感器对紫外辐射的测量结果

当紫外辐射较强时,电阻较小,探测器的电流输出较大;反之,电流较小。在紫外探测器光谱灵敏度已知,使紫外探测系统对准点燃后的受激紫外材料,终端显示和记录的就是经光电转换放大后的紫外信号电平,即紫外光谱分布曲线。紫外传感器对紫外辐射的测量如图2所示。

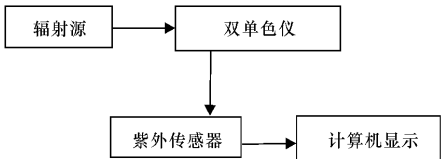


图2 紫外光谱测量框图

Fig. 2 Block diagram of UV spectrum measurement

一般而言,紫外光谱由多条分立的谱线组成,要产生特定形状的光谱,就必须选用多种化合物材料。每种金属原子的辐射强度与其在特定激发源(火药烟火剂)中的浓度成正比。每种原子在满足各自的辐射条件时,独立辐射自己的特征光谱。改变紫外产生材料的含量和配比,就可改变谱分布和辐

射强度,从而研制出所需要的紫外产生材料。

### 4 结束语

实验测得的紫外产生材料(被火药燃烧激发后)的辐射强度远大于任何目标的紫外辐射强度。图3为测量的谱曲线。从曲线分析可以得出结论:在0.3~0.36 μm的紫外辐射主要是由Na原子3S-4P能级, K原子4S-6P能级、4S-7P能级, Rb原子5S-7P能级、5S-8P能级、5S-9P能级、5S-10P能级, Cs原子6S-8P能级、6S-9P能级、6S-10P能级、6S-11P能级、6S-12P能级等电子跃迁产生的。

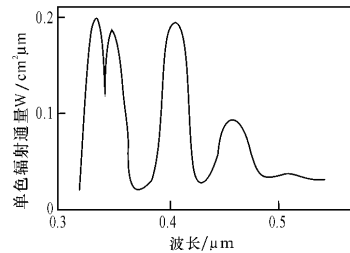


图3 产生的紫外谱曲线

Fig. 3 Curve of the UV spectrum

在0.4 μm以外的紫外辐射主要是由Na原子3S-3P能级, K原子4S-5P能级, Rb原子5S-6P能级, Cs原子6S-7P能级等电子跃迁产生的。这与理论设想非常一致。

#### 参考文献:

- [1] 陈治平. 红外紫外双色干扰研究[D]. 合肥:解放军电子工程学院,1994.
- [2] 林美荣. 原子光谱学导论[M]. 北京:科学出版社,1990.
- [3] 斯坦菲尔德 J I. 分子和辐射[M]. 北京:科学出版社,1989.
- [4] 张保民. 光辐射测量学[M]. 南京:南京理工大学出版社,1984.