

# 大电流密度放电中钾的 Penning 电离观测

王 骥 赵 利 朱瑞义 马祖光

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨, 150001)

**摘要:** 本文叙述了自制的大电流密度、快脉冲放电电源, 及用该放电装置激励 He/K 混合蒸气, 观测到 He/K 间能量传递产生的钾的 Penning 电离。

**关键词:** 大电流密度 快脉冲放电 He/K 蒸气 Penning 电离

## Penning ionization of K in high-current-density discharge

Wang Qi, Zhao Li, Zhu Ruiyi, Ma Zuguang

(Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology)

**Abstract:** A high-current-density, fast pulse discharge device has been developed. The device is used to excite He/K mixed vapor, and the Penning ionization of K by  $\text{He}^*(6d^3D)$ ,  $\text{HeB}^*(5s^1S)$  and  $\text{He}^*(4p^1P^0)$  is observed in discharge afterflow.

**Key words:** high-current density quick pulsed discharge He/K vapour Penning ionization

### 一、引 言

1987 年, King 首次报导了他们研制的大电流密度、快脉冲放电电源<sup>[1]</sup>。该电源放电电流密度  $\sim 1\text{kA}/\text{cm}^2$ , 激励速率很大, 是一台可用于原子或离子的内壳层激发, 产生 XUV/VUV 波段辐射的有效激励源。

我们研制了类似装置, 并希望利用此电源做的第一步激励, 用光泵为第二步激励, 实现 He/K 系统两步激励, 通过受激共振反斯托克斯喇曼散射 (SRASRS) 过程获得 64.3nm, 59.8nm XUV 输出, 对此方案的详细讨论参见文献[2~4]。本文报导的是利用自制大电流密度、快脉冲放电电源激励 He/K 混合蒸气, 获得了稳定的辉光放电, 并观察到亚稳态  $\text{He}^*$  与基态 K 能量传递产生的 Penning 电离过程。

### 二、大电流密度、快脉冲放电装置

King 和 Caro 于 1987 年提出了用快速电容转移式驱动电路与低电感放电腔相结合可以

版权所有 © 《激光技术》编辑部

410 和自制的 Rogowski 线圈配 Tek 6105 高压探针及 Tek 7834 示波器测到的电压波形。

由测量知,该装置放电电流为 12kA,电流密度约为 1kA/cm<sup>3</sup>,电流脉冲宽度 20ns,上升前沿约 10ns。放电脉宽较文献[1]中介绍的要短,这对介质中激发态粒子数积累是不利的。这是由于我们的装置中,工作电容和储存电容组合还需进一步合理,同时也因为电容与热管式空心阴极放电腔毗邻,环境温度较高时,处于高压下的电容容量要比标称值小很多。这点应进一步改进,以便获得更佳的激励效果。

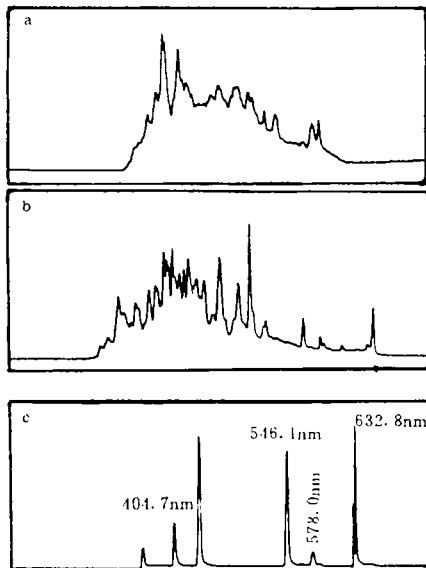


Fig. 5 The emission spectra in different discharge mediums  
a - in He/K mixed vapour b - in He  
c - in calibration spectrum

### 三、He/K 蒸气介质中放电 K 的 Penning 电离观测及过程分析

实验中,采用 OMA-II 观测放电荧光。图 5 是测到的纯 He 放电激励谱(图 5a),及 He/K 混合蒸气(400℃)放电荧光光谱。与跃迁谱图对照,可识别出下面的一些谱线。

#### 属 He 原子(He I)激发谱

谱线(nm)	对应跃迁	激发电位(eV)
388.8	He(3p <sup>3</sup> P <sup>0</sup> )→He(2s <sup>3</sup> S)	23.00
396.4	He(4p <sup>1</sup> P <sup>0</sup> )→He(2s <sup>1</sup> S <sub>0</sub> )	23.73
501.5	He(3p <sup>1</sup> P <sup>0</sup> )→He(2s <sup>1</sup> S <sub>0</sub> )	23.08
587.5	He(3d <sup>3</sup> D)→He(2p <sup>3</sup> P <sup>0</sup> )	23.07

#### 属 K 原子(K I)激发谱

谱线(nm)	对应跃迁	激发电位(eV)
532.3	K(8s <sup>2</sup> S <sub>1/2</sub> )→K(4p <sup>2</sup> P <sub>1/2</sub> )	3.94
534.2	K(6d <sup>2</sup> D)→K(4p <sup>2</sup> P <sub>1/2</sub> )	3.93
580.2	K(7s <sup>2</sup> S <sub>1/2</sub> )→K(4p <sup>2</sup> P <sub>1/2</sub> )	3.76

#### 属 K 离子(K II)激发谱

谱线(nm)	对应跃迁	激发电位(eV)
422.2	K <sup>+</sup> [3p <sup>5</sup> ( <sup>2</sup> P <sub>1/2</sub> <sup>0</sup> )4p(1/2)(0)]-K <sup>+</sup> [3p <sup>5</sup> ( <sup>2</sup> P <sub>1/2</sub> <sup>0</sup> )4s(1/2)(1)]	23.56
413.4	K <sup>+</sup> [3p <sup>5</sup> ( <sup>2</sup> P <sub>3/2</sub> <sup>0</sup> )4p(5/2)(2)]-K <sup>+</sup> [3p <sup>5</sup> ( <sup>2</sup> P <sub>3/2</sub> <sup>0</sup> )4s(3/2)(2)]	23.13
426.3	K <sup>+</sup> [3p <sup>5</sup> ( <sup>2</sup> P <sub>3/2</sub> <sup>0</sup> )4p(5/2)(2)]-K <sup>+</sup> [3p <sup>5</sup> ( <sup>2</sup> P <sub>3/2</sub> <sup>0</sup> )4s(3/2)(2)]	23.13
460.8	K <sup>+</sup> [3p <sup>5</sup> ( <sup>2</sup> P <sub>3/2</sub> <sup>0</sup> )4p(3/2)(2)]-K <sup>+</sup> [3p <sup>5</sup> ( <sup>2</sup> P <sub>1/2</sub> <sup>0</sup> )4s(1/2)(1)]	23.31
418.6	K <sup>+</sup> [3p <sup>5</sup> ( <sup>2</sup> P <sub>3/2</sub> <sup>0</sup> )4p(5/2)(3)]-K <sup>+</sup> [3p <sup>5</sup> ( <sup>2</sup> P <sub>3/2</sub> <sup>0</sup> )4s(3/2)(2)]	23.09

图 6 为一组随温度变化时 He/K 混合蒸气中放电荧光光谱图,从图中可以看出如下现象:

(1)480.8nm, 498.0nm 是两个较宽的谱带。它们的峰值强度随温度降低而减小,且在 He, K, He<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> 跃迁谱图中找不到对应的跃迁能级,应来自钾的双原子分子 K<sub>2</sub>。

(2)位于 501.5nm, 587.5nm, 388.8nm 的谱的特征是均随温度下降反而有增加趋势,443.8nm 谱线是温度降低到一定时才出现,381.9nm 谱线随温度变化不明显,396.4nm 谱线随温度降低开始降低,后又增高。这些谱线都是 He 原子谱线。这种变化特性是因为,当热管温度降低时,加热区中心 K 原子密度降低,而缓冲气体 He 进入放电区的成分增加,因而 He I



版权所有 © 《激光技术》编辑部