

氦、氢、氮空心阴极放电的真空紫外辐射特性*

赵衍盛 姚晓邬 胡谊梅 孙迭麓 李富铭

(复旦大学物理系, 上海 200433)

杜元成 王 海

(复旦大学电子工程系, 上海 200433)

提 要

介绍了一种水冷、陶瓷封接结构的空心阴极放电装置。研究了 He、H₂、N₂ 在 120nm~200nm 范围内该装置的真空紫外辐射特性, 获得了 100~600mA 电流范围内的辐射强度与放电电流的关系, 以及充气气压变化对它的影响。实验表明: 在实验条件下, 主要发射谱线为氮的原子线和氮的离子线; 辐射谱线强度在 0.03~0.72 mW·cm⁻²; 气压改变时, N₂、H₂ 辐射强度有一极大值, 而 He 的离子线辐射强度则出现二个极大; 在 He/H₂ 混合气体放电时, 随着 He 的加入, 氢分子带光谱有明显下降。

关键词: 真空紫外辐射, 电气放电, 空心阴极放电装置

一、引 言

空心阴极放电由于工作在气体放电的负辉区, 电子、离子浓度高, 放电中电子具有较大的平均动能, 因而受到重视。又由于其真空紫外辐射具有很高的光子能量, 对大多数物质具有较大的激发作用和吸收截面, 能以新的低温光化学反应方式处理材料薄膜, 使之结构更臻完善^[1], 并能有效地去除表面沾污^[2], 加之价格低廉、容易维修等特点, 从而使真空紫外辐射成为对半导体材料的表面改性和处理的新手段^[3, 4], 其应用近几年日益广泛。

本文介绍了用陶瓷封接、阴极和阳极同时水冷的空心阴极结构, 研究了 He, H₂, N₂ 及其混合气体在空心阴极放电条件下, 在 120 nm~200 nm 波段内, 其辐射特性及随放电条件变化的关系。

二、实验装置及测试系统

图 1 为空心阴极放电装置结构示意图。环形阴极长 65 mm, 内径 14 mm, 外径 25 mm, 阳极为内径 14 mm 的筒状结构。阴极、阳极材料均为硬铝, 分别通水冷却。其间由陶瓷绝缘并形成圆柱状放电室, 其直径为 70 mm, 长 45 mm, 陶瓷用氩弧焊与阴极、阳极相连, 密封性能好。真空紫外辐射通过 4 mm 厚的 LiF 输出窗输出。整个装置与真空系统相连。工作时电参数由直流高压电源加以调节。

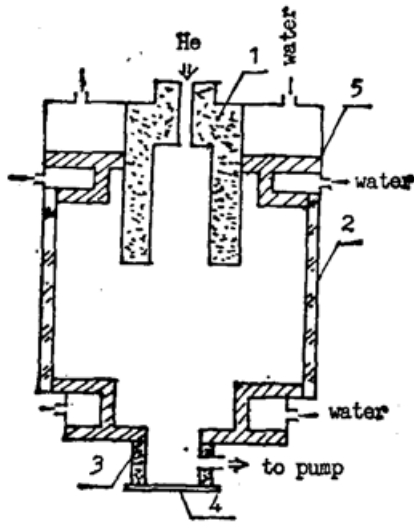


Fig. 1 Schematic diagram of hollow cathode discharge setup

1—Cathode; 2—Ceramics; 3—Anode
4—LiF Window; 5—Water-cooling tube

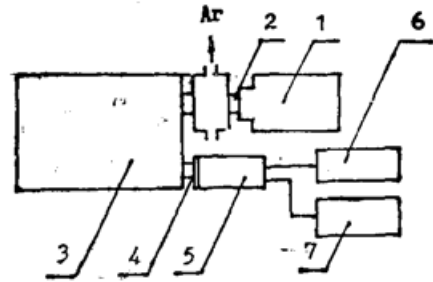


Fig. 2 Block diagram of apparatus for measurement of VUV radiation

1—Hollow cathode radiation source; 2—LiF Window; 3—Acton VM-505 UV mono-chromator; 4—Glass plate coated with sodium salicylate; 5—PMT(GDB-413); 6—Power supply; 7—Recorder

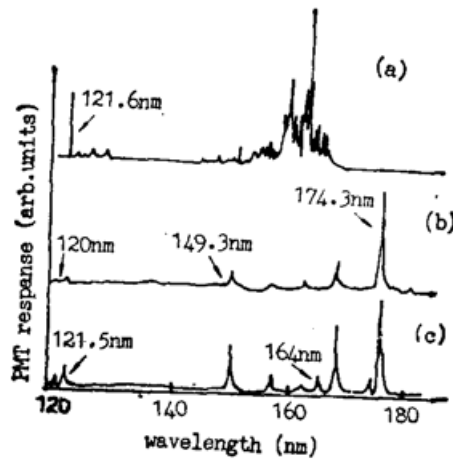


Fig. 3 VUV Emission spectra of hollow cathode discharge setup

(a) H_2 (10.6 Pa, 800 mA); (b) N_2 (39.9 Pa, 600 mA);
(c) He (199.5 Pa, 600 mA) (with trace N_2)

图 2 为 VUV 辐射测试系统示意图。真空紫外辐射通过 LiF 输出窗进入 Acton VM-505 真空紫外单色仪, 经分光后的真空紫外光被水杨酸钠荧光转换材料转换为近紫外和可见光后, 用 GDB-413 光电倍增管检测。

三、实验结果

1. He、 H_2 、 N_2 真空紫外辐射谱

在空心阴极放电装置内充入低气压 (13.3~266 Pa) 的气体, 在 120~200 nm 范围内测量其辐射谱。图 3 为工作气体为 H_2 , N_2 和 He (含微量 N_2) 时, 由光电倍增管测得的光电流

随波长变化的响应谱。由图 3 知,各种气体主要发射谱线分别为: He II 121.5 nm, He II 164 nm, H I 121.6 nm, NI 120 nm, NI 149.3 nm, NI 174.3 nm。经测试系统光谱灵敏度曲线校正^[6]之后,其 He, H₂, N₂ 放电主要谱线强度见表 1。(放电气压为 66.5 Pa, 放电电流为 400 mA)。

Table 1 The intensities of major emission line for He, H₂, N₂

discharge gas	wavelength (nm)	intensity (mW·cm ⁻²)
He	He II 121.5	0.15
	He II 164.0	0.03
H ₂	HI 121.6	0.72
N ₂	NI 149.3	0.36
	NI 174.3	0.24

可以看出,在空心阴极放电条件下,N₂的激发光谱没有通常高频、直流辉光放电下看到的大量分子带光谱,NI线占主要成分。实验表明,这些NI线的产生,主要是氮分子的分解激发形成的。其过程主要是^[6]:在电子作用下,氮分子首先分解为二个基态[⁴s⁰]的氮原子,或者分解为一个基态[⁴s⁰]的氮原子和一个电离的氮原子,然后被分解的氮原子在电子作用下被激发至各激发态,而NI 120 nm, 149 nm, 174.3 nm分别对应于[3s ⁴p→2p³ ⁴s⁰], [3s ⁴p→2p³ ²D⁰], [3s ²p→2p³ ²P⁰]的跃迁。计算表明^[6],为了产生上述谱线,其电子能量至少大于20.1 eV。对氢原子线可作类似的讨论^[7]。因此NI和HI线的产生表明,空心阴极放电中,电子具有足够高的能量,而通常的辉光放电中,电子仅具有几个电子伏特,不足以激发NI线和HI线。He II线的产生,也说明空心阴极放电的这一特点。为了获得氦离子共振线,如He II 121.5 nm [4d²D-2p¹D],电子能量必须高于40.8 eV,通常的辉光放电中,电子能量低,能激发He II线的电子是极少的,而且辉光放电电流密度低,离子浓度很小,离子谱线更难激发。

2. 辐射强度与放电条件的关系

本文分别测量了各主要辐射线随放电电流的变化。实验表明,谱线强度随放电电流的变化近似抛物线增长。图4为He II 121.5 nm、HI 121.6 nm和NI 149.3 nm随放电电流变化的关系。

谱线强度还与工作气压有关。当充气气压低时,电子平均动能大,因而容易产生较强的激发,但由于气压低,被激发的粒子数下降,又不利于激发,因此,各种气体谱线强度随气压的变化都有一个最佳值。实验表明,对HI 121.6 nm,在实验范围内,其最佳值在53.2 Pa附近。对于NI线,其最佳值在26.6 Pa附近。

实验还发现,与原子线不同,对于氦的离子线He II 121.5 nm, He II 164 nm,在测量范围内,强度随气压变化有二个极大值。如图5。相应气压分别在53.2 Pa和239.4 Pa附近。这可能与离子特殊的激发机理有关。

3. He-H₂, He-N₂混合气体辐射特性

作者观察了He-H₂混合气体辐射谱并与纯H₂辐射谱作了比较。实验发现,He的加入使H₂谱中分子带光谱强度下降,且He的比例增大,其下降程度更明显,而氢的原子线变

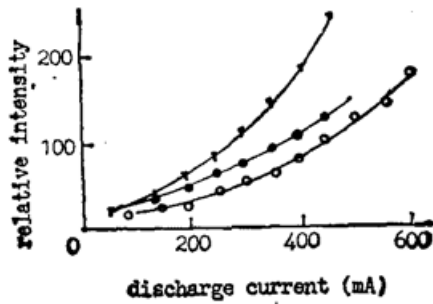


Fig. 4 Intensity of the VUV radiation as a function of discharge current

- ▲ NI 174.3 nm (39.9 Pa)
- HI 121.6 nm (66.5 Pa)
- HeII 121.5 nm (133 Pa)

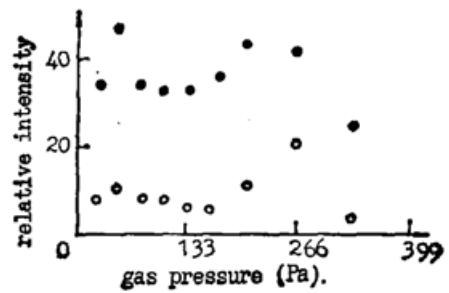


Fig. 5 Intensity of the VUV radiation as a function of filling gas pressure

- He II 121.5 nm (800 mA)
- He II 164.0 nm (600 mA)

化则不大。这可解释为：由于 He 具有较高激发电位和电离电位，He 的加入使具有较高能量的 He 的各亚稳态粒子数增加，它们与 H_2 相互作用，使 H_2 分子解离，从而使 H_2 分子数减少，因而 H_2 分子谱强度相应下降。而基态氢原子的增加，增加了氢的原子线的再吸收，使原子线变化不明显。

对 He- N_2 混合气体，实验发现当气压比例为 $N_2:(He+N_2)=1:4$ ，总气压在 13.3 Pa 附近时， N_2 各谱线输出最大。

作者在实验中得到复旦大学光源与照明工程系李绍龙教授和研究生周伟的热情帮助，特表示感谢。

参 考 文 献

- [1] A. P. Brodford, G. Hass *et al.*; *Appl. Opt.*, 1965, 4, No. 5 (May), 971.
- [2] A. R. Calloway, P. A. Bertrand; *The Aerospace Corp. Tech. Report.*, 1986, No. SD-TR-86-12. (U. S. A).
- [3] H. Zarnani, Z. Q. Yu *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1988, 53, No. 14 (Mar), L314.
- [4] B. Singh, O. R. Mesker, *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1988 52, No. 20 (May), 1658.
- [5] 周 伟;《复旦大学光源所 1990 年硕士论文》, 1990.
- [6] J. M. A. Jello; *J. Chem. Phys.*, 1970, 53, No. 3 (Aug), 1156.
- [7] M. J. Mumma, E. G. Zipe; *J. Chem. Phys.*, 1971, 55, No. 4 (Aug), 1661.
- [8] J. A. R. Samson; *Techniques of Vacuum ultraviolet spectroscopy*, (John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney 1967), 133.

VUV radiation characteristics of a hollow cathode discharge in He, H₂, and N₂ gas

ZHAO YANSHENG, YAO XIAOWU, HU YIMEI, SUN DIECHI AND LI FUMING

(Joint Lab. for Materials Modification by Laser, Ion & Electron Beams (Fudan University Branch))

Dept. of Physics, Fudan University, Shanghai 200433

DU YUANCHENG AND WANG HAI

(Dept. of Electronic Engng., Fudan University, Shanghai 200433)

(Received 7 January 1991; revised 23 April 1991)

Abstract

Using a ceramic-sealed and water cooled hollow cathode D. C. discharge setup, vacuum ultraviolet (VUV) spectral radiations in range of 120~200 nm for the He, H₂ and N₂ gases have been investigated. The relative radiation intensity as a function of the discharge current (100~600 mA) and the influence of the gas pressure on it have been shown. This experiment shows that the VUV line radiation belongs to the helium ion and nitrogen atom. It was found that there is only one maximum value in the hydrogen line radiation with the variation of the H₂ gas pressure, but in the He II line radiation there are two maximum values with the variation of the Helium gas pressure. An obvious decrease of the radiation output for H₂ band spectrum has appeared with an addition of He in H₂ gas.

Key words: VUV radiation, electrical discharge; hollow cathode discharge.