

文章编号: 1001-4322(2007)05-0873-04

多晶 LaB₆ 阴极的脉冲热发射特性*

林祖伦, 曹贵川, 祁康成, 王小菊

(电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054)

摘要: 采用多晶 LaB₆ 材料制成平板二极管阴极, 阳极采用钼材料, 阴极采用热传导与热辐射加热, 加热体为石墨。实验研究了不同阴极温度、不同真空度下的脉冲发射特性, 并对热发射稳定性进行了分析。结果表明: 在动态真空系统中, 阴极发射面积为 0.012 1 cm², 工作真空度为 2×10⁻⁴ Pa, 阴极温度分别为 1 600, 1 650 和 1 700 °C, 在脉冲宽度为 40 μs、重复频率为 107 Hz 的条件下, 最大脉冲发射电流密度分别为 34.0, 44.0 和 53.8 A/cm²; 2×10⁻⁴, 5×10⁻⁴ 和 2×10⁻³ Pa 压强下的发射能力没有明显的差异; 脉冲宽度的变化不影响发射电流密度的变化。

关键词: LaB₆ 阴极; 热电子发射; 强流脉冲加速器; 热发射特性; 电流密度

中图分类号: TL503.3; O462.1

文献标识码: A

在各种大型动态强流脉冲加速器和离子源设备中, 需要性能优良的大电流密度阴极。但由于这类系统的真空度一般较低, 并需要经常暴露于大气, 普通的阴极不能胜任这样的工作条件。对于普通的钨阴极, 由于其电子逸出功太高, 工作温度很高, 发射电流密度小和发射度大, 电子束的亮度低, 不适宜用作大电流密度的阴极; 氧化物阴极的电子逸出功小, 脉冲发射电流密度大, 但其耐离子轰击的能力和抗中毒能很差, 对系统的真空条件要求特别高, 阴极激活后不能暴露于大气, 因此不能用作动态真空系统的阴极; 各种浸渍式阴极的脉冲发射电流密度较大, 但其抗中毒能力和耐离子轰击的能力差, 不能反复暴露于大气, 也不适合在这类设备中使用。

在目前的各种热发射阴极中, LaB₆ 阴极具有许多优点: 与普通的钨阴极相比, 其工作温度低(典型工作温度为 1 773~1 973 K), 逸出功低(2.3~3.0 eV), 材料的蒸汽压低, 脉冲和直流发射电流密度大, 发射度小; 与氧化物阴极和各种浸渍式阴极相比, 其抗高能离子轰击和抗中毒能力很强, 寿命长, 可反复和长期暴露于大气。因此, 从综合性能比较, LaB₆ 阴极是用于各种大型动态强流脉冲加速器和离子源的理想电子源^[1-6]。考虑到强流脉冲加速器和离子源使用的阴极发射电流大, 要求阴极的发射面积大, 目前单晶 LaB₆ 材料的最大直径只有 6 mm 左右, 不能制作大发射面阴极。而多晶 LaB₆ 材料可以做得很大, 其发射能力与单晶 LaB₆ 材料相近, 因此, 本文采用多晶 LaB₆ 材料制作阴极, 研究其脉冲工作中的热发射特性。

1 试验方法

本实验采用多晶 LaB₆ 材料制备样品。试验样品做成平板二极管结构, 为了降低阳极工作电压和功耗, 防止阳极高温工作时蒸发, 阳极采用钼材料, 阴极与阳极的距离约 0.5 mm。发射体为 0.11 cm×0.11 cm×0.2 cm 的长方体, 发射面积为 0.012 1 cm²。为了避免非发射面的电子发射带来测量误差, 将 LaB₆ 发射体装入钽杯中, 只暴露出发射表面。阴极采用热传导与热辐射加热的方式, 加热体采用石墨。测试装置原理如图 1 所示, 图中, V_f 是热子加热电压, V_a 是阳极脉冲高压, R_L 是取样电阻(10 Ω)。

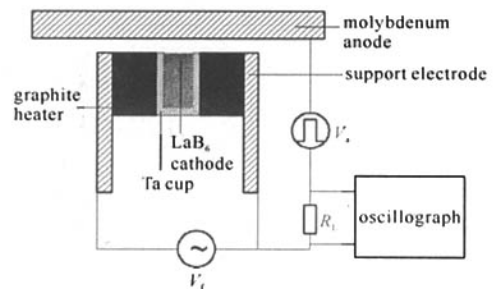


Fig. 1 Principle of testing device

图 1 测试原理图

2 结果与讨论

试验在动态真空系统中进行, 热子用交流电源加热, 系统真空度达到 2×10⁻³ Pa 时开始加热阴极。随着

* 收稿日期: 2007-01-09; 修订日期: 2007-04-10

基金项目: 国防科技基础研究基金资助课题

作者简介: 林祖伦(1950—), 男, 教授, 主要从事新型热阴极、场发射冷阴极电子源和光电技术研究; zllin@uestc.edu.cn.

真空度的上升,逐渐提高阴极温度,当阴极温度达到正常工作温度后,稳定加热 15 min,使阴极温度达到稳定。当真空度达到 2×10^{-4} Pa 时,开始测试发射。由于阳极没有进行强迫冷却,缓慢增加阳极电压,以防止电子轰击阳极时猛烈放电而发生电离。

2.1 不同阴极工作温度下的脉冲发射特性

图 2 分别给出了阴极表面工作温度 T_c 为 1 600,1 650 和 1 700 °C 下的最大脉冲发射电流,系统真空度为 2×10^{-4} Pa,脉冲宽度约为 40 μ s,重复频率为 107 Hz。当阴极表面温度为 1 600 °C 时,脉冲峰值发射电流密度为 34.0 A/cm²,如图 2(a)所示;阴极表面温度为 1 650 °C 时,脉冲峰值发射电流密度为 44.0 A/cm²,如图 2(b)所示;阴极表面温度为 1 700 °C 时,脉冲峰值发射电流密度为 53.8 A/cm²,如图 2(c)所示。试验发现,改变脉冲宽度,脉冲峰值发射电流不变,为 43 A/cm²,说明 LaB₆ 阴极具有金属阴极的发射特性和很好的电流负载能力。图 3 给出了不同脉冲宽度下的发射特性,由图 3 可见,改变脉冲宽度支取大发射电流后,仍然表现出很好的发射重复性,没有出现大负载下的发射衰减,也没有出现因脉冲宽度的变化而引起峰值电流变化的现象。

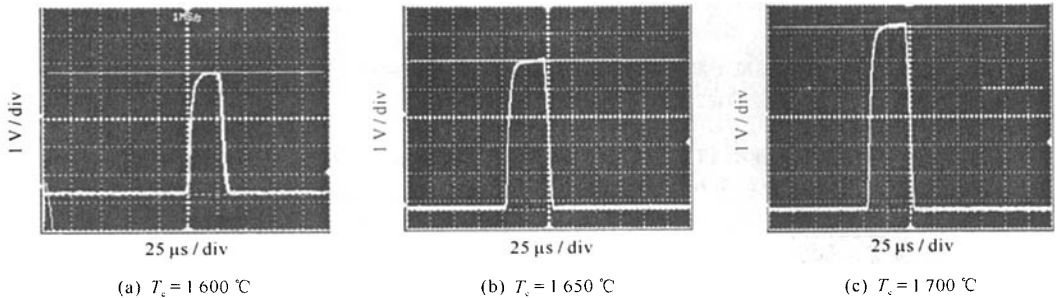


Fig. 2 Pulse emission performance at different temperature

图 2 不同温度下的脉冲发射特性

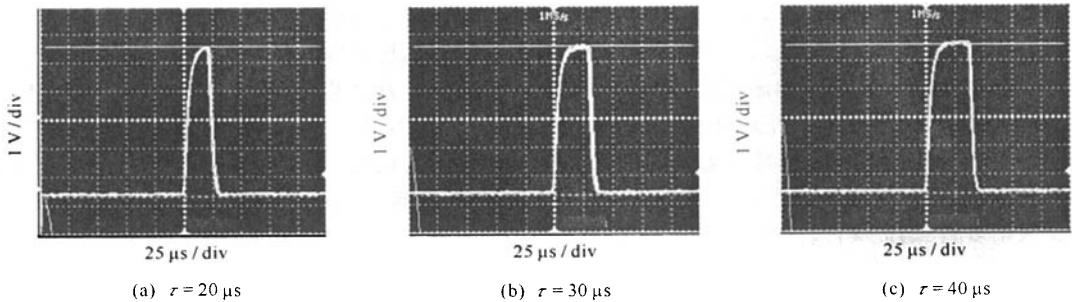


Fig. 3 Emission performance in different pulse width

图 3 不同脉冲宽度下的发射特性

图 4 分别给出了 1 600,1 650 和 1 700 °C 时阳极电压与脉冲发射电流密度的关系。由于试验用脉冲测试设备的输出限制和阳极耗散能力的限制,不能继续增加阳极电压。因此,3 条曲线没有出现明显的发射饱和现象。试验发现,继续增加阳极电压,阴极与阳极之间会产生放电现象。

2.2 不同真空度下的脉冲发射特性

为了模拟一般大型动态真空系统中阴极工作时的真空条件,测试了在不同温度下几种典型工作真空度时 LaB₆ 的脉冲发射特性。图 5(a)给出了 LaB₆ 阴极温度为 1 700 °C 时,真空度分别为 2×10^{-4} , 5×10^{-4} , 和 2×10^{-3} Pa 下的脉冲发射特性。图 5(a)表明,在较高的温度下,真空度的小范围变化对 LaB₆ 阴极的发射能力没有太大的影响,两条曲线基本接近。这说明,在较高的温度下,真空度的小范围变化虽然会使阴极轻微氧化,但高温下氧化层的快速蒸发,使表面始终保持很好的活性,保证了发射基本不变。图 5(b)给出了 LaB₆ 阴极工作

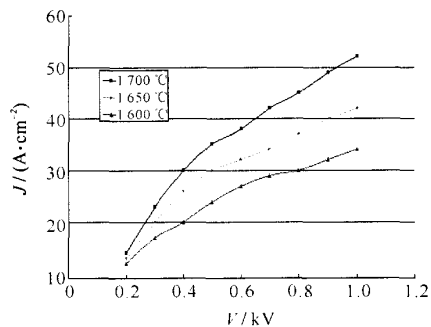


Fig. 4 Current density at different temperature

图 4 不同温度下的发射电流密度

温度为 1 650 ℃时,真空度分别为 2×10^{-4} , 5×10^{-4} 和 2×10^{-3} Pa 时的脉冲发射特性。图 5(b)表明,随着真空度的继续降低,LaB₆ 阴极表面氧化速度加快,氧化物蒸发的速度不足以将形成的氧化物全部蒸发掉,使 LaB₆ 阴极的活性变差,发射能力下降。当真空度下降到 2×10^{-3} Pa 时,发射电流密度下降了 4%左右。由此可见,真空度的大范围变化将导致 LaB₆ 阴极的发射能力产生一定的变化。如果 LaB₆ 阴极的工作真空度较低,要使阴极仍然具有较大的发射电流密度,应该适当提高 LaB₆ 阴极的工作温度。但是必须注意,LaB₆ 阴极工作温度越高,蒸发速度越快,阴极寿命将会缩短。除此之外,被蒸发的氧化物还将影响真空系统的洁净度,破坏高压绝缘性能,影响系统的工作稳定性。

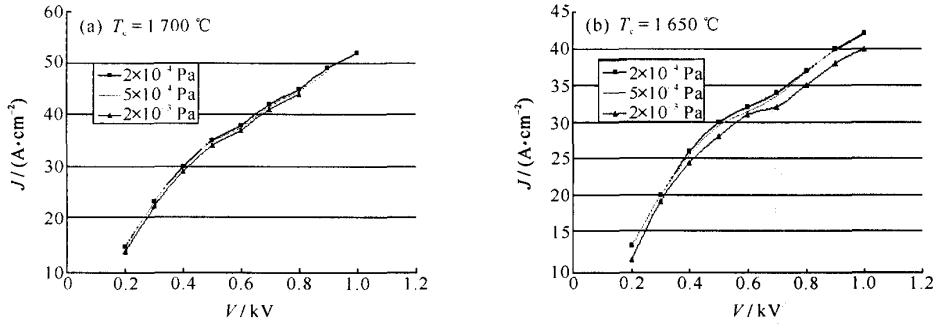


Fig. 5 Pulse current density under different pressure

图 5 不同真空度下的脉冲发射电流密度变化

2.3 发射稳定性

图 6(a)给出了不同真空度下、阴极温度为 1 600 ℃时的脉冲发射电流稳定性。在 180 min 时间内,两种真空度下的发射电流都很稳定,没有出现电流跌落现象。在真空度为 2×10^{-3} Pa 时,发射电流密度约为 29 A/cm²;当真空度变为 2×10^{-4} Pa 后,发射电流密度上升到 30.5 A/cm²。由此说明,真空度的高低将影响 LaB₆ 阴极的发射能力,但对发射稳定性没有太大的影响。图 6(b)给出了不同真空度下、阴极温度为 1 700 ℃的脉冲发射电流稳定性,在 180 min 时间内,阴极发射保持稳定,真空度对阴极发射能力的影响较 1 600 ℃时稍微小一些,这里再次证明了图 5 的结果。

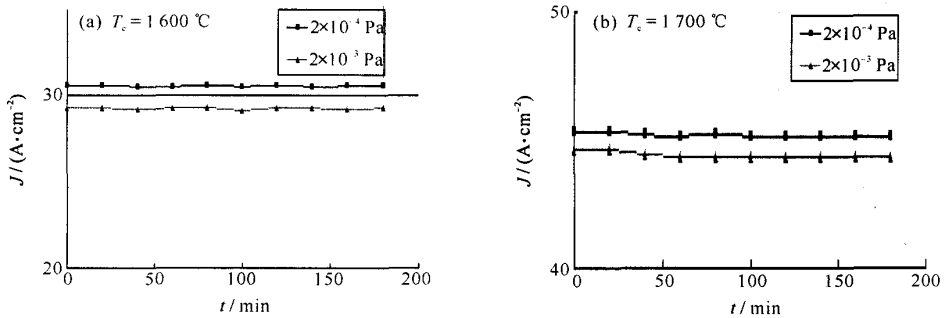


Fig. 6 Pulse current stability under different pressure

图 6 不同真空度下的脉冲发射电流稳定性

3 结 论

多晶 LaB₆ 阴极在动态真空系统中具有良好的脉冲热发射特性。阴极工作温度为 1 600, 1 650 和 1 700 ℃ 时,脉冲发射电流分别为 34.0, 44.0 和 53.8 A/cm²。当系统真空度分别为 2×10^{-4} , 5×10^{-4} 和 2×10^{-3} Pa 时,发射电流密度没有明显的差异。与真空度为 2×10^{-4} Pa 时的工作条件相比, 2×10^{-3} Pa 条件下的电流密度发生了较小的变化,但其发射保持稳定,初步证明了这种阴极可以在较差的真空环境下工作。这种多晶 LaB₆ 阴极适用于强流脉冲加速器中的电子与离子源。

参考文献:

[1] 李正源. 脉冲功率技术[M]. 北京:北京水利电力出版社, 1988. (Li Z Y. Pulse power technology. Beijing: Beijing Hydraulic and Electric

Power Press, 1988)

- [2] 曾正中. 实用脉冲功率技术引论[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2003. (Zeng Z Z. Practical pulse power technology introduction. Xi'an, Shaanxi Science and Technology Press, 2003)
- [3] Hartmann W, Romheld M. High efficiency high voltage pulse generator with fast recovery pseudospark switches[C]//12th IEEE International Pulsed Power Conference. 1999;228-231.
- [4] Frank K, Bickes C, Ernst U. Design criteria for high performance, high power pseudospark[C]//12th IEEE International Pulsed Power Conference. 1999;224-227.
- [5] 林祖伦, 曹贵川, 张义德, 等. 大面积环状 LaB₆ 阴极[J]. 强激光与粒子束, 2006, 18(2), 305-308. (Lin Z L, Cao G C, Zhang Y D, et al. Large area ring-shaped LaB₆ cathode. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, 18(2), 305-308)
- [6] Yutani A, Kobayashi A, Kinbara A. Work functions of thin LaB₆ films[J]. *Appl Surf Sci*, 1993, 70, 737-741.

Pulse thermionic emission performance of multi-crystal LaB₆ cathode

LIN Zu-lun, CAO Gui-chuan, QI Kang-cheng, WANG Xiao-ju
(School of Opto-Electronic Information, University of Electronic Science
and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: A flat-plate diode cathode was produced using multi-crystal lanthanum hexaboride (LaB₆) material. The anode was molybdenum, and the cathode was heated by thermal conduction and radiated with a graphite heater. The pulse emission properties and the emission stabilities were investigated at different cathode temperature and under different vacuum level. When the LaB₆ cathode with an emission area of 0.012 1 cm² was operated at 1 600 °C, 1 650 °C, 1 700 °C, respectively, the corresponding maximum of pulse thermionic emission current densities were 34.0 A/cm², 44.0 A/cm², 53.8 A/cm², under 2×10⁻⁴ Pa, the pulse width of 40 μs, and repetition frequency of 107 Hz. The pulse thermionic emission density of LaB₆ cathode was also measured under 2×10⁻⁴ Pa, 5×10⁻⁴ Pa, 2×10⁻³ Pa, respectively, and it was found that the pressure had little effect on the pulse thermionic emission density. Furthermore, it was found that the emission current density was not affected by the pulse width.

Key words: LaB₆ cathode; Thermionic emission; High current pulse accelerator; Thermionic emission performance; Current density