

# 场致发射液体镓离子源的研制

马祥彬 王 纯 陈春华 张立宝

李金荣 凌仲珪

(中国科学院半导体研究所)

1983年3月24日收到

## 提 要

描述了研制的液体镓离子源的结构工艺，并对该离子源的电流与引出电压的关系，电流与温度的关系，亮度等进行了测试和讨论。该离子源的性能现已达到：亮度 $\pm 1.3 \times 10^{12} \text{mA/cm}^2 \cdot \text{rad}^2$ （在 $\alpha = 8^\circ 30'$ 张角内测量）；阈值电压5kV左右；寿命>50小时。

1979年R. L. Seliger等人<sup>[1]</sup>，在聚焦离子束技术方面，用一种新型场致发射液体镓离子源后，亚微米离子束技术有了新的突破。由于镓离子源具有高亮度、高电流密度、聚焦容易、结构简单等优点引起了人们广泛的兴趣。许多文章从不同角度对这种离子源的原理、特性进行了叙述。我们为了开展离子成象技术和亚微米扫描离子束的研究，研制了一台液体镓离子源，从性能上看，目前已达到可应用的水平。

## 离子源的结构

本文所描述的离子源，主要由钨针发射体、镓熔池、加热器、引出吸极等组成，其结构如图1。

钨针<sup>[2,3]</sup>是用 $\phi 0.5\text{mm}$ 的钨丝，在NaOH溶液中用直流电腐蚀抛光，形成尖的锥体，然后用交流电解腐蚀而成；这样在钨针头部的表面，顺着轴向形成细密的沟槽，已制成的钨针尖端半径为 $2.5\mu\text{m}$ 。为了使钨针对镓有良好的浸润性，除了对钨针采取上述的工艺手段处理外，还要将钨针在真空中进行高温处理，并在 $60^\circ\text{C}$ 左右时，在钨针上挂镓膜。

熔池用石英烧制成漏斗形，上口直径3mm，下口直径1mm左右。

钨针发射体调节器由测微螺杆改装后制成，它能做上下运动，调节针尖的位置，从而得到良好的发射状态。

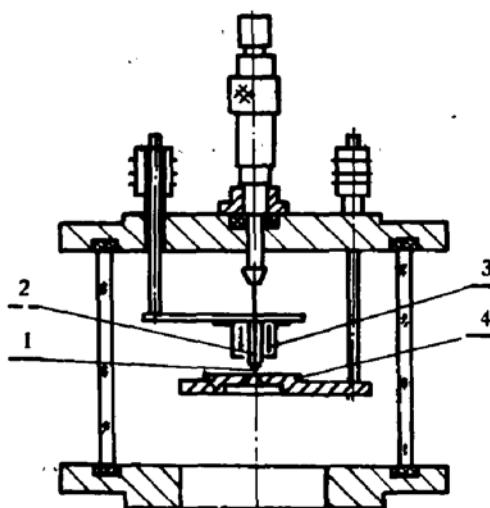


图1 离子源的结构

1) 钨针发射体 2) 镓熔池 3) 加热器 4) 引出吸极

## 实验结果及参数测量

镓在常温下呈固体状态，温度稍高，便成为液体。在真空中，镓一旦液化，加上适当的电压便能引出束流。试验是在 $3 \times 10^{-6}$  托真空下进行的。为了使发射正常，必须适当控制温度。熔池和钨针在安装时必须严格进行清洁处理，否则影响束流发射。在实验中也观察到了发光现象，在针尖的顶端有一个微小的亮斑，与文献报道一致。

当引出电压超过阈值电压后，离子流随电压增加而增加，如图 2 所示。

当引出电压固定在 8kV 时的束流强度与温度的关系见图 3。

图 3 曲线平坦部分，表示这个温度区域对发射状态影响不大，所以束流几乎不变；当温度超过某一定值后，束流随温度增加而增加，这是由于液体镓流动性增强，发射体尖端的镓得到充分供应的结果；当温度继续增加，束流反而迅速下降，这可能是在这样的温度和真空压力下，镓已开始大量蒸发，所以镓离子流迅速下降。

亮度是表征离子源性能的一个重要参数。由于该源的离子发射是发散的，用一般的探针法测量，存在一定的困难。我们用照像法进行了测试。采用的光栅线宽为 $26.5\mu\text{m}$ ，

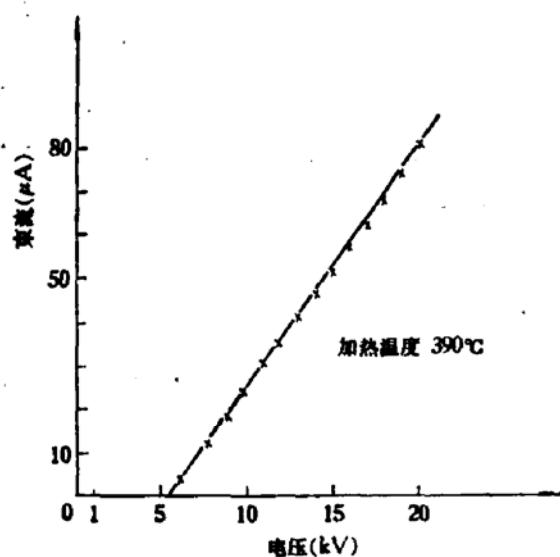


图 2 电压和束流的关系

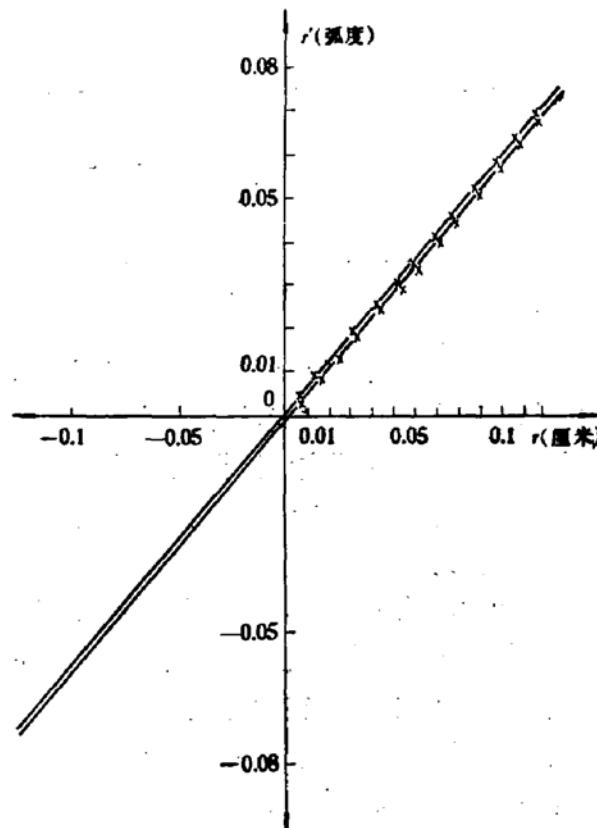


图 4 液体镓离子源的相空间图

$$I = 0.003\text{mA} \quad E_s = 2.15 \times 10^{-8}\text{cm} \cdot \text{rad} \\ B_s = 1.3 \times 10^{12}\text{mA/cm}^2 \cdot \text{rad}^2$$

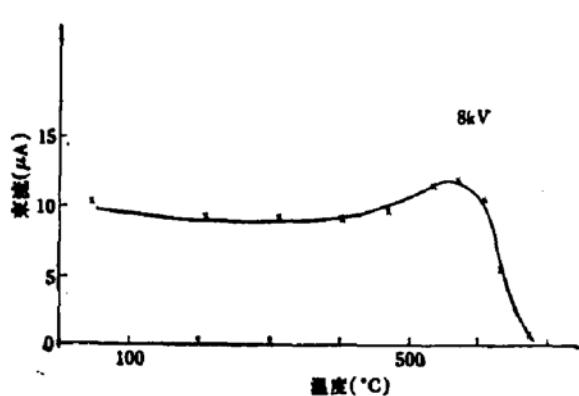


图 3 束流和温度的关系

间距为  $66.4\mu\text{m}$ , 感光胶用 PMMA。在光栅处的相空间图, 如图 4 所示。测得的亮度为  $1.3 \times 10^{12} \text{mA/cm}^2 \cdot \text{rad}^2$ 。图中  $E_n$  为归一化发射度,  $B_n$  为归一化亮度。

当引出电压在 6kV 的情况下, 对该离子源进行了寿命试验, 工作 50 小时, 束流一直稳定在  $20\mu\text{A}$  左右, 镓的消耗量不到一半。

作为点光源的场致发射液体源具有束流均匀、束流密度大、亮度高、稳定性好、结构简单、寿命长、功耗低等优点。因此这种离子源势必成为今后亚微米离子束加工的比较理想的离子源。

本工作得到马俊如同志的关心和支持; 在测量亮度等过程中得到七〇〇厂遇衍澄等同志的支持和帮助, 特此感谢。

### 参 考 文 献

- [1] R. L. Seliger, J. W. Ward, V. Wang and R. L. Kubena, *Appl. Phys. Lett.*, 34, 310 (1979).
- [2] A. Wagner, T. M. Hall, *J. Vac. Sci. Technol.*, 16, 1871 (1979).
- [3] T. Sakurai, R. J. Culbertson and G. H. Robertson, *Appl. Phys. Lett.*, 34, 11 (1979).

## Investigation of the Field-Emitted Liquid Gallium Ion Source

Ma Xiangbin, Wang Chun, Chen Chunhua

Zhang Libao, Li Jinrong and Ling Zhonggui

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

### Abstract

The construction and technology of liquid gallium ion source are developed. The current vs. extraction voltage and the current vs. temperature as well as the brightness of the source are measured and discussed. The present performances of ion source are as follows: the brightness equals to  $1.3 \times 10^{12} \text{mA/cm}^2 \cdot \text{rad}^2$  (at beam angle  $\alpha = 8^\circ 30'$ ), the threshold voltage is about 5 kV, the life time is over 50 h.