

# 连续离子激光器的电子束泵浦\*

郁曾期

(复旦大学物理系)

J. J. Rocca J. D. Meyer G. J. Fetzler G. J. Collins

(美国科罗拉多州立大学电机系, 工程研究中心)

## 提 要

本文描述一种新型的电子束泵浦离子激光器结构以及它所用的辉光放电电子枪。至今, 已经在七条离子谱线上获得连续激光。文中讨论了激光的结果。

## 一、引 言

从1964年起, 惰性气体离子激光器已在可见和紫外波段发展成为一种很重要的连续相干辐射源<sup>[1,2]</sup>。典型的激光输出功率与放电电流之间的关系在图1中给出。激光功率与放电电流几乎成线性关系。这表明通过与电子碰撞, 离子直接从基态被激发到激发上能级的过程在激励机构中占有主导地位。同时可见, 激光的阈值电流密度甚高。我们从电离作用截面的数据知道, 有效地电离所需的电子能量是很高的。例如要有效地产生  $\text{Ar}^{4+}$ , 最佳作用截面对应的电子能量高达600 eV; 在大多数情况下, 即使是电离的阈值, 对应的电子能量也很高。这意味着只有能量足够高的电子才对激励短波长跃迁有贡献。但是, 在通常作为

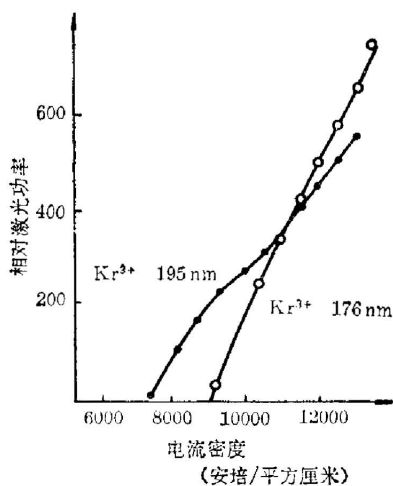


图1  $\text{Kr}^{3+}$  激光功率与放电电流的关系

Fig. 1 Relative laser power of the  $\text{Kr}^{3+}$  laser transitions at 176 and 195 nm as excitation current density is varied between 6000 and 13000  $\text{A}/\text{cm}^2$

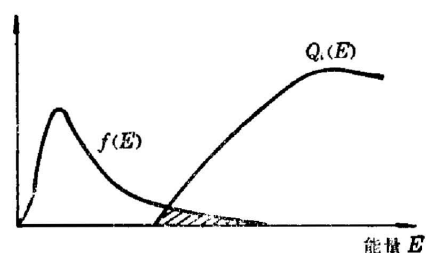


图2 热电子的能量分布以及电离函数

Fig. 2 Ionization cross section and Maxwellian energy distribution

收稿日期: 1983年7月15日; 收到修改稿日期: 1983年8月29日

\* 本文曾在'83国际激光会议(中国, 广州)上宣读。

气体激光激活介质的气体放电正柱区里,电子能量以 Maxwell 分布,  $F(\varepsilon) = e^{-\varepsilon/kT_e} 2 \sqrt{\varepsilon/\pi} \times (kT_e)^{-3/2}$ , 其中, 电子温度  $T_e$  一般只有  $3 \sim 8 \text{ eV}$ 。它在高能量部分的“尾巴”是很小的, 这可以从图 2 看出。我们把电离截面的曲线也画在图 2 上, 作一对比, 可见在这种放电中对惰性气体离子的激励的效率非常低。除此之外, 在通常的金属蒸气激光器中, 金属蒸气作为杂质气体混入惰性气体, 会使放电气体的电子温度大大降低。即使在空心阴极放电条件下, 这种高能部分的所谓“束电子”的含量也不够高, 只有 10% 左右。为了有效地激励紫外和真空紫外跃迁, 希望电子能量分布中高能部分的成份足够大。我们已经找到了一种辉光放电电子枪, 能够有效地提供具有我们所期望的能量分布的电子流。束电子产生效率达 80%。

## 二、电子枪以及电子束泵浦的连续离子激光器

为了有效地激励惰性气体以及金属蒸气短波长激光器, 我们在科罗拉多州立大学的工程研究中心, 用电子束产生的等离子作为一种新型的连续离子激光的增益介质。随着技术的逐步完善, 最近已经先后在氦-汞, 氦-碘, 氦-硒, 氦-镉和氦-砷等惰性气体-金属蒸气激光体系上获得连续的激光输出。

激光器的结构示于图 3。为了便于在实验中更换不同波长的激光反射镜, 采用外腔式激光器的结构。装置图右边部分是一个辉光放电电子枪。电子枪工作于气压为  $0.05 \sim 3 \text{ Torr}$  的氦气气氛中。它所产生的电子能量可以控制在  $1 \sim 5 \text{ keV}$  范围内。一个  $1\frac{1}{2}''$  直径的覆有氧化铝表面的铝质电子枪阴极可以提供  $1 \text{ A}$  的电流。这种电子枪产生的电子束具有良好的会聚性, 很容易注入激光增益区。作为激光增益介质的气体柱直径为  $11 \text{ mm}$ , 长为  $120 \text{ cm}$ 。气体柱的不锈钢管壁上设有加热器, 用温度来控制混合气体中金属蒸气的分压强, 管子左端在接有存贮金属的蒸气源。温度控制精度是  $1^\circ\text{C}$ 。在这个增益介质区外围有磁场线圈, 提供的轴向磁场可以高达  $4.2 \text{ kG}$ 。这个轴向磁场能在这么长的激活介质内聚束电子, 而且绕磁力线回旋运动的电子能够更有效地与气体介质交换能量。惰性气体在激光器内是流动的。调整氦气流速(或压强)以及管壁温度, 可以找到激光输出最强的条件。在电子枪与激光激活介质这两个区段之间设有一个用于隔离金属蒸气的缓冲区。这是保证这个器件长时间正常运转的关键措施之一。它实际上是一段经过仔细设计的水冷管区段, 有效地冷冻金属蒸气, 使它不影响电子枪的辉光放电, 同时又让电子束和激光量子能无阻挡地通过。

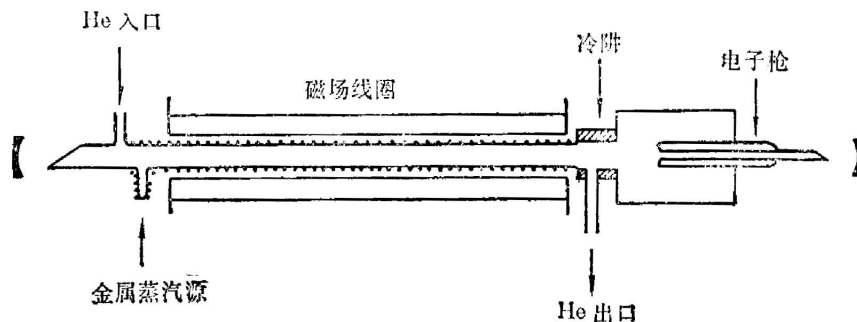


图 3 激光器结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of electron beam excited laser apparatus

用在这个装置中的辉光放电电子枪的锥型结构资料已经发表<sup>[3]</sup>。近年来的改进在于扩大它所适用的气压范围,现在已达到 3 Torr (氦气);提高它的电子发射能力,已达到 1 A 以上。另外还改进了阴极材料,采用金属-氧化物烧结阴极以后,这种电子枪对放电气体成份的要求也降低了许多,不再象铝阴极那样要求一定维持量的氧了。电子枪阴极中央的穿孔孔道是专门为配合激光工作而设计的,它能保证足够大的激光腔内模体积。

我们已经对这种电子枪特性作了仔细的测量<sup>[4,5]</sup>。实验测得,束电子产生率达 80% 左右,也即放电功率中的 80% 是供给激励离子激光所需的束电子的。一组典型的测量数据示于图 4。束电子能量的分布如图 5 所示。它可以通过放电电压来控制,以适合于不同的激励要求。我们也用观察氦原子的  $2s^3S-np^3P$  序列发射光谱谱线强度比例的方法来计算热电子部分的电子平均动能。在激光工作条件下,热电子平均动能为 0.1 eV。实验数据为理论模型分析提供了依据。

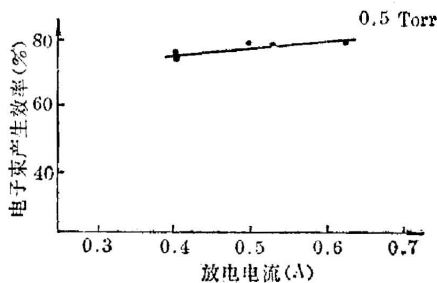


图 4 电子枪效率与放电电流的关系

Fig. 4 Electron-beam generation efficiency as a function of discharge current

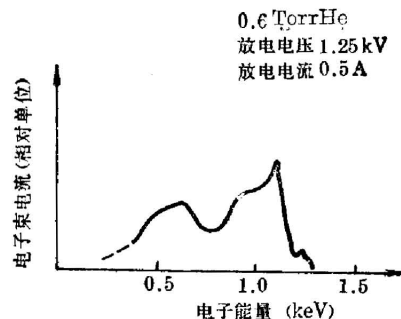


图 5 典型的束电子能量分布

Fig. 5 A typical energy distribution of the beam electrons

在上述这个实验装置上,已经分别获得了汞、锌、碘、镉、硒、砷和氮的离子激光。在一个增益区为  $(1/2)m$  长的相同结构形式的装置上,锌离子线( $4912\text{\AA}$  和  $4924\text{\AA}$ )连续激光输出功率可以达到 1.2 W;汞离子线  $6149.5\text{\AA}$  的连续激光输出功率为 0.25 W, 这比由正柱或空阴极放电所能获得的连续激光输出大一个数量级;效率提高 8 倍。实验中的放电电流上限是由电源的能力决定的。在实验范围内,激光输出功率随放电电流线性地增加,如图 6 所示。

### 三、结 论

在已经得到实验验证的氦-碘激光体系中,碘离子的跃迁线  $5760.7\text{\AA}$  ( $6p^1\ ^3D_2-6s^1\ ^3D_0^o$ ) 和  $6127.5\text{\AA}$  ( $6p^1\ ^3D_1-6s^1\ ^3D_0^o$ ) 的上能级分别比基态高 24.81 eV 和 25.09 eV。基态离子  $\text{He}^+$  和 I 原子之间的热电荷转移作用截面积为  $1.5 \times 10^{-15}\text{ cm}^2$ 。这是离子激发态的主要的激励机构<sup>[6]</sup>:  $B^+ + M \longrightarrow B + M^{++} + \Delta E$ , 其中 B 表示惰性气体元素, M 表示金属元素。

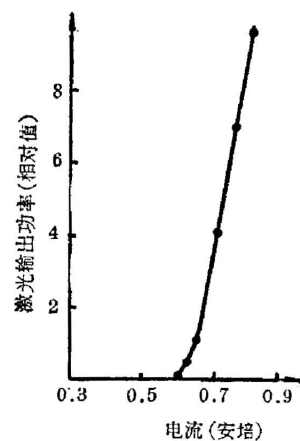


图 6 碘离子激光  $5760.7\text{\AA}$  的强度与放电电流的关系

Fig. 6 Laser output power of the  $5760.7\text{\AA}$  line of singly ionized iodine as a function of the electron beam discharge current

本文所述的这种新型辉光放电电子枪,提供了能量分布合适的电子源,创造了高效率地通过热电转移过程激励离子激光的条件。锌和汞蒸气激光的实验证实了用这种激励办法,可以大大提高金属蒸气激光的效率和输出功率。这种激励源的最富有吸引力的方面是用于来直接激励惰性气体离子,获得高效率连续短波激光的潜力。

### 参 考 文 献

- [1] K. Bano, *et al.*; *Phys. Lett.*, 1968, **27A**, No. 5, 682.
- [2] H. R. Luthi, *et al.*; *A. P. L.*, 1979, **31**, No. 7, 670.
- [3] J. J. Rocca, J. D. Meyer, G. J. Collins; *Phys. Lett.*, 1982, **87A**, No. 2, 237.
- [4] J. J. Rocca, *et al.*; *A. P. L.*, 1982, **41**, No. 9, 811.
- [5] Z. Yu, J. Rocca, G. Collins; *J. Appl. Phys.*, 1983, **54**, No. 1, 131.
- [6] T. Shay, H. Kano, G. Collins; *A. P. L.*, 1976, **29**, No. 2, 221.

## Electron beam pumping of CW ion lasers\*

YU CENGJI

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai)

J. J. Rocca J. D. Meyer G. J. Fetzer and G. J. Collins

(Colorado State University Department of Electrical Engineering Research Center, USA)

(Received 15 July 1983, revised 29 August 1983)

### Abstract

New electron-beam pumped ion laser geometries and associated glow discharge electron guns are described. CW laser action in seven singly ionized species was obtained. Laser results are discussed.

---

\* This paper was presented at '83 ICL (Guangzhou, China).