

的观测。图 3(a)、(b) 分别为二束激光的波形图, 图 3(c) 是两束激光叠加波形图。由图 3(c) 可以粗略地观察到两束激光是不同步的。通过染料调 Q 可精确证明二束激光是不同步的。不同步的主要原因是二根红宝石棒的阈值不同。如果棒 1 的阈值为  $\Delta N'_{th}$ , 棒 2 的阈值为  $\Delta N''_{th}$ , 假定  $\Delta N'_{th} < \Delta N''_{th}$ , 则在  $t_1$  时刻, 棒 1 的能级粒子反转数 ( $n'_2 - n'_1$ ) 先达到  $\Delta N'_{th}$ , 满足振荡条件, 先出光; 而在此同时由于  $\Delta N'_{th}$  相对高些, 对相同的  $f'_L$ , 棒 2 的上能级粒子数仍继续抽运。待到了  $t_2$  时刻, 棒 2 的能级粒子反转数 ( $n''_2 - n''_1$ ) 达到  $\Delta N''_{th}$ , 满足振荡条件。由此可见, 两束激光的静态

输出产生不同步误差  $\Delta t = t_2 - t_1$ , 且  $E'_{输出} > E''_{输出}$ 。

若要使双光束输出同步, 则必须保证工作物质的质量, 采用相同的基质材料, 严格控制激活离子浓度, 使它们的偏振特性一致, 具有相等的阈值, 同时还需合理设计聚光腔, 提高器件的可靠性。

我们进一步设想单灯泵浦两种不同的工作物质, 如红宝石和  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ , 那么在一台器件上就可以获得双波长的二束激光输出—— $0.6943 \mu\text{m}$  激光和  $1.06 \mu\text{m}$  的激光。

(收稿日期: 1986 年 10 月 6 日)

## 实用、低成本金蒸气激光器

蔡柏龄 林祥达 蒋宗清 李 锋

(福建省测试技术研究所)

### A practical low-cost gold vapor laser

Cai Boling, Lin Xiangda, Jiang Zongqing, Li Feng

(Fujian Institute of Testing Technology, Fuzhou)

**Abstract:** The design of a practical, low-cost gold vapor laser with simple structure is described. Maximum average power of 700 mW in 627.8 nm red light has been obtained for a small active volume of  $33 \text{ cm}^3$ . During 450 hours of operation the laser device of such a design worked reliably.

### 一、引言

1968 年 W. Walter 第一次报道了金原子的 627.8 nm 和 312.2 nm 的激光作用<sup>[1]</sup>, 随后, 有关这方面的研究有一些报道<sup>[2~4]</sup>。由于金的熔点高, 在目前的实用器件中工作物质的工作温度为  $1500 \sim 1600 \text{ }^\circ\text{C}$ , 这样高的工作温度给器件设计带来一定的困难, 同时也提高了它的造价。为了使有前途的 PDT 疗法能广泛地在各级医院中得到应用, 我们设计和建造了一台结构简单和低成本、在 627.8 nm 处中功率输出的金蒸气激光器, 现已在医院中进行试用。

### 二、器件设计

激光器的结构示意图如图 1, 由内外两真空部份构成, 两部分之间及两部分和大气之间的密封由不

锈钢法兰盘和丁腈橡胶 O 型垫圈实现。在 O 型垫圈附近通冷却水(自来水), 以保护垫圈。内真空管壁是纯氧化铝陶瓷管, 用类似杜瓦瓶的绝热设计使



图 1 金蒸气激光器结构示意图

1—金粒; 2—紫铜圆筒; 3—电极; 4—He 进气;  
5—内真空抽气; 6—外真空抽气;

得外真空可以由 GG-17 普通耐热玻璃管保持。由于系统在小流量缓冲气体流动下工作, 对真空度的要求不高, 用旋片式机械真空泵就完全可以保证系统正常工作。

为了使在高温下工作的陶瓷管有较长的寿命, 在氧化铝陶瓷管内插入一个陶瓷衬管, 用作激光工

作物质的小金块均匀分布在陶瓷衬管内。

陶瓷衬管和内真空管的隔热由硅酸铝陶瓷纤维毡和卷成圆筒状的多层金属箔来实现。虽然硅酸铝陶瓷纤维的定额使用温度为 1300°C, 但在本设计中它可以用于这种激光器件。在多层金属箔的情况下, 钼片是作为辐射屏蔽的理想材料, 从降低成本考虑, 我们也用不锈钢箔。

当把陶瓷纤维看成均匀介质, 并忽略两端散去的热量时, 隔热层内外表面的温度差可由下式给出<sup>[5]</sup>:

$$\Delta T = \frac{Q}{2\pi Kl} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}$$

式中,  $Q$  为管子从侧面传出的热量,  $l$  为管子长度,  $K$  为陶瓷纤维的导热系数,  $r_1$ 、 $r_2$  分别为隔热层的内、外半径。

对于多层金属箔辐射屏蔽, 令最外一层金属箔为第一层, 向内第  $N$  层金属箔的温度可近似由下式表示<sup>[5]</sup>:

$$T = \left[ \frac{Q}{\sigma \varepsilon} \sum_{i=1}^N \frac{1}{A_i} + T_0^4 \right]^{\frac{1}{4}}$$

式中,  $\sigma$  为斯特藩-玻尔兹曼常数,  $\varepsilon$  为表面发射率,  $A_i$  为第  $i$  层金属箔的面积,  $T_0$  为环境温度。

由以上两式可以确定陶瓷纤维层的厚度和金属箔的层数。

电极由钼片卷成。套在 GG-17 玻璃管外面、长度比放电管略短、固定在阳极法兰盘上的紫铜圆筒作为同轴放电回路。峰化电容连在阴极和圆筒之间。这种以空气为绝缘的设计避免了采用陶瓷金属化等复杂的工艺。

采用外腔结构, 窗口  $K$ , 玻璃片用 O 型垫圈实现密封, 这种可拆卸的结构使得重新添加工作物质和维护非常方便, 整个器件可以在 2 小时内拆装一次。

### 三、工作特性

对这种结构的金蒸气激光器目前进行的第一步实验中, 工作体积为  $\phi 9 \times 520$  mm, 谐振腔由曲率半径为 4 m 的多层介质膜全反射镜和石英平片组成, 两者距离为 2 m。用氦气作为缓冲气体。典型的输出功率和氦气压强的关系示于图 2, 最佳氦气压强在 10 Torr 左右。

激光器工作时氦气的消耗量约为 10 Torr·l/min (0.013 atm·l/min), 实际上它可以在比

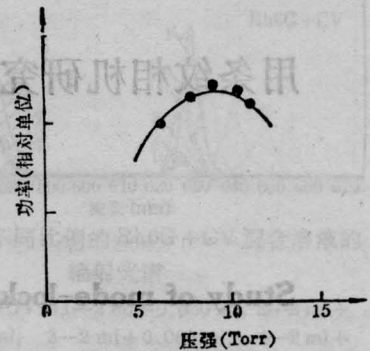


图 2 平均输出功率和氦气压强的关系 (输入功率保持固定)

10 Torr·l/min 小得多的通量下工作。金的消耗量按出光时间计算小于 0.1 g/hr。

在 33 cm<sup>3</sup> 的小工作体积中得到最大光输出功率为 700 mW, 相应的功率密度为 21.5 mW/cm<sup>2</sup>。

这种设计的金蒸气激光器从 1985 年 10 月开始运行以来, 已进行了 450 小时的试验, 工作可靠, 现已在福建省有关医院进行 PDT 治疗癌症的试验<sup>[6]</sup>。

实验表明, 铜、铅激光器也可采用这种设计。根据脉冲金属蒸气激光器的相似性, 这种设计也可以用于钽、锰等激光器。

在实用 PDT 治疗中, 特别是进行内腔治疗时, 常常希望有瓦级功率输出, 我们正在进行同样结构较大工作体积的金蒸气激光器试验, 以期得到更大功率输出。

本工作得到 J. Piper 教授的指导; 沈鸿元研究员、杨德辉副研究员提出了许多有益的建议, 作者在这里仅致以谢意。

### 参 考 文 献

- 1 Walter W T. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1968; QE-4: 355
- 2 Isaev A A et al. *Kratk-Sobshch. Fiz.*, 1972; (3): 3
- 3 Markova S V et al. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1977; 7: 339
- 4 *Laser Focus*, 1986; 22(4): 23
- 5 E R G 埃克特, R M 德雷克, 传热和传质分析, 科学出版社; 北京, 1983
- 6 张其忠 et al. 第二届全国激光医学学术交流会宣读论文, 北京, 1986.11

(收稿日期: 1986 年 11 月 28 日)