

铜蒸气激光器的改进及稳定

尹宪华 梁宝根 陶永祥 崔健力 陈林

(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 通过改变放电管中铜粒的位置、放电管外层保温材料的性质和厚度以及对放电产生的电磁辐射进行屏蔽等措施, 进一步提高了 25 W 铜蒸气激光器的可靠性和稳定性。

关键词: 温度分布, 抖动, 电磁屏蔽

Stabilization and improvement of copper vapor lasers

Yin Xianhua, Liang Baogen, Tao Yongxiang, Cui Jianli, Chen Lin

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: Improvements in output power level and long term stability of copper vapor laser have been achieved by placing the copper source at the position where the temperature is optimum for maximum output power, wrapping thin thermal insulator around the middle part of the laser tube and screening E-M radiation etc.

Key words: temperature distribution, jitter, E-M screening

一、铜粒的轴向分布

铜蒸气密度沿放电管的轴向和径向分布是一个重要参数, 它直接影响器件的输出功率和稳定性。铜原子密度较低, 将使输出功率下降; 铜原子密度过高, 由于自吸收效应和电子温度的下降也会使输出功率下降, 并且导致放电不稳定。过去铜粒的分布是被均匀分段地放置在放电管的各点, 由于放电管中部温度很高 ($>1600^{\circ}\text{C}$), 放电管内的铜蒸气压由放电管中部的管壁温度决定, 时常由于铜原子密度过高引起放电电弧收缩和抖动, 导致激光输出不稳定。而且铜源消耗很大, 一般一次充料时间只有 150~200h。为了改善这种情况, 我们采用 WDL-31 光学高温计对 25 W 铜蒸气激光放电管的管壁工作温度分段进行测量, 以掌握放电管内的轴向温度分布, 然后把铜粒放在适当的位置, 让放电管内的铜蒸气压受该点的管壁温度控制。放电管直径为 35 mm, 长度为 1350 mm, 输入功率 4000 W。温度测量是在放电停止的瞬时进行的, 这就避免放电发光和温度冷却给测量带来的误差。根据所测温度分布, 我们先后在不同轴向位置放铜粒, 然后固定放电参数, 测量其输出功率, 结果如图 1 所示。发现最佳位置处的管壁温度并不是 1450°C , 而是 1520°C 。通常认为管壁温度为 1450°C 所对应的铜原子密度为 $7.5 \times 10^{14}/\text{cm}^3$, 在这一密度条件下放电电子能量分布函数最佳^[1]。这种说法欠妥, 因为它没

考虑到实际放电管内径向温度分布不均匀引起的铜原子密度的不均匀。放电管内径向温度分布和铜原子密度公式分别表示为

$$T_g(r) = \left[T_w^{\beta+1} + \frac{W(\beta+1)}{4\lambda}(R^2 - r^2) \right]^{1/(\beta+1)} \quad (1)$$

$$N_{en} = 1.23 \times 10^7 \exp(0.0124 \times T_w) / \text{cm}^3 \quad (2)$$

T_w 是管壁温度, $\beta=0.5$, W 是输入功率密度, R 是放电管半径, λ 是气体导热系数。由上二式可见, 当放电管内铜蒸气压一定时, 管轴附近铜原子密度至少比管壁附近小 2~3 倍。因此, 把铜粒放在适当温度高一些的位置来弥补管轴附近铜原子密度的下降是合理的。在忽略趋肤效应的情况下, 随着管径增大, 铜粒位置应朝放电管的中部移动, 这一推测已被实验证明。当采用直径为 55mm 的放电管时, 铜粒最佳位置处的管壁温度为 1540°C。由于管壁轴向温度分布基本上是对称的, 所以只要在管子的对称二点放置铜粒。通过上述改进和其它保温措施, 克服了放电弧道收缩和激光输出不稳定的现象, 一次充铜料使用时间可远大于 200h。

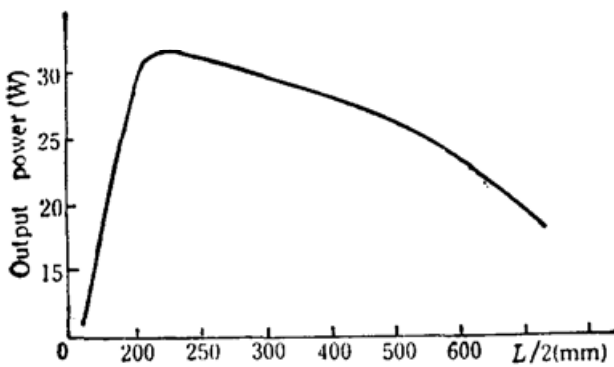


Fig. 1 Output power as a function of Cu source position
(Input power 4200W, $d=16\text{mm}$)

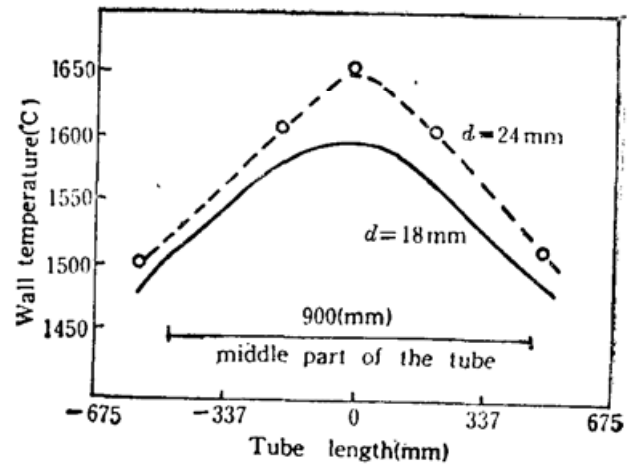


Fig. 2 Axial temperature distribution of the laser tube Input power 4000W

二、轴向温度分布对输出的影响

当输入功率为一定时, 放电管外层保温材料的性能和厚度决定了放电管的轴向温度分布。过去铜蒸气激光器使用的保温材料是氧化铝纤维毡。这种材料在长期高温工作条件下会变成粉末状态, 保温性能下降。根据实验记录, 采用氧化铝毡作保温材料, 激光器工作 150h 后因管壁温度下降而使输出功率下降。改进后的铜蒸气激光器是采用 ALO-AA 型定型陶瓷纤维管作保温材料。图 2 给出了采用二种不同厚度的陶瓷纤维管作保温材料时的管轴温度分布。图 3, 4 给出了二种厚度条件下, 输出绿光(510.6 nm)对输出总功率之比以及输出总功率随时间的变化关系。实验表明, 在放电管的中部(约 0.65L)温度不宜太高。温度过高会使输出黄光(578.2 nm)成份上升, 输出功率不稳定, 而且放电管过早断裂。改进措施是: 在放电管中(约 0.65L)采用厚度 $d=16\text{mm}$ 的薄壁保温管, 在放电管二端(约 0.17L)采用 $d=24\text{mm}$ 的厚壁保温管, 尽量使各点温度相同。采用 ALO-AA 型保温材料后激光器件累积工作寿命已超过 200h, 输出功率一直稳定在 28 W 左右。

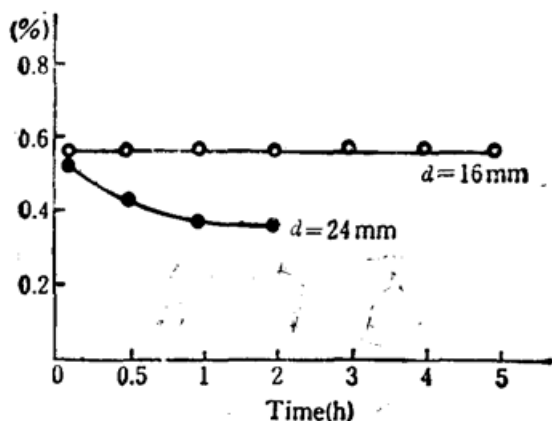


Fig. 3 Ratio of output power to total input power versus time(input power 4200W)

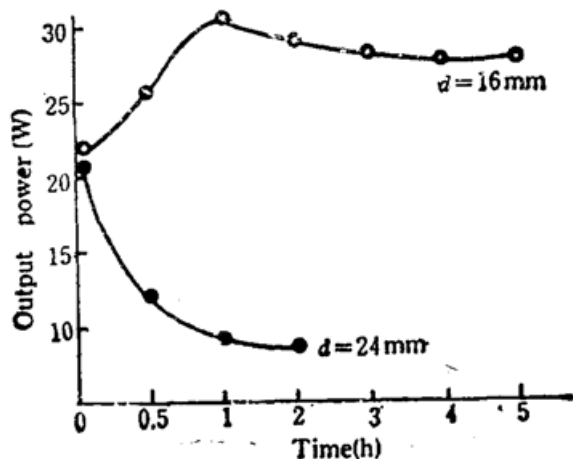


Fig. 4 Output power versus time (input power 4200W)

三、脉冲前沿抖动

铜蒸气激光放电是采用国产 4050 A 型闸流管作为开关元件, 激光放电电流上升时间约有 $\pm 6 \text{ ns}$ 抖动。这给多台器件串联同步运行带来一个问题: 即对于 N 台串联的放大装置, 实际抖动时间为

$$T = \sum_i p_i t_i \quad (3)$$

p_i 是 N 台器件组成的系统第 i 种抖动的几率, t_i 是第 i 种抖动的量。如果 T 大于激光脉宽的半宽度, 约 15 ns , 则几乎就不能进行放大工作。我们对单台铜蒸气激光器引起的抖动原因进行了分析, 并逐级进行测量比较。引起激光放电抖动的元件主要是: (1) 电源最初一级的信号发生装置, 它在同步放大实验中, 起着对外来信号的放大作用。如果晶体管的高频性能差, 它对外来触发信号的响应会产生 $\pm 5 \text{ ns}$ 抖动。如果对组成信号发生装置的晶体管进行严格筛选, 可把抖动降至 $\pm 1 \text{ ns}$; (2) 大闸流管引起的抖动, 抖动的原因是大闸流管着火性能差。为了改善这一现象, 我们在闸流管的预点火极上加了一个 70 V 电压, 使得闸流管在着火前有一个预电离, 能使抖动下降至 $\pm 1 \sim 2 \text{ ns}$ 。图 6(a), (b) 分别给出了两种情况下流过大闸流管电流的抖动情况的照片, 抖动量 $J = \frac{1}{2} \cdot \Delta t$ 。测量过程中采用自制的罗克夫斯基线圈(经上海计量局标定)测量放电电流, 用 2465 B 型 400 MHz 示波器观察波形。测量方法是: 为了观察某一元件对其前一节元件给出信号的响应, 把前一节给出的信号分成二路。一路直接触发被观察元件, 然后把被观察元件的电流信号送入示波器; 另一路作为示波器的外触发信号。这就避免了前几节元件带来的误差, 如图 5 所示。

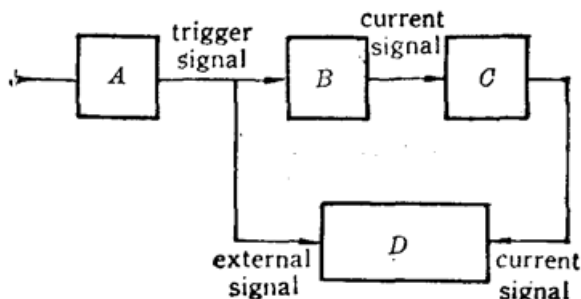


Fig. 5 Scheme of jitter measurement
A—Small thyatron; B—Large thyatron;
C—Current translator; D—Oscilloscope

这就避免了前几节元件带来的误差, 如图 5 所示。

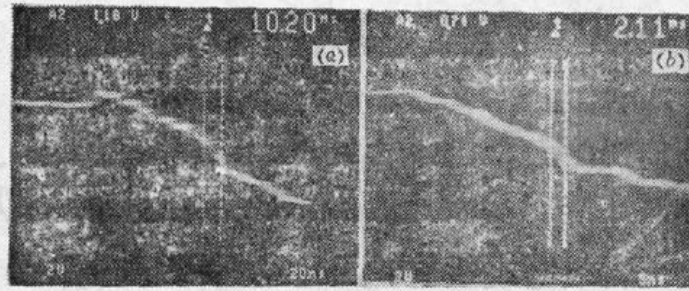


Fig. 6 Oscillogram of the jitter

- (a) No voltage applied to pre-breakdown electrode (jitter= $\Delta t/2=|5\text{ns}|$, 20ns/div);
 (b) Voltage applied to pre-breakdown electrode (jitter= $\Delta t/2=|1\text{ns}|$, 5ns/div)

四、电磁屏蔽

铜蒸气激光器运转时,放电瞬时电流很大($\geq 800\text{A}$),将产生很强的电磁辐射。图7是对激光放电电流作傅里叶变换后,由计算机给出的辐射频谱图。图8是用RR2型干扰场强测量仪距激光器1m处测得的电磁辐射频谱图。这里分贝定义为

$$dB = 20 \lg(E/10^{-6}\text{V/m}) \quad (4)$$

E 是所测场强。两图表明辐射峰值在6MHz附近。测量结果是:频谱分布与放电重复频率无关,辐射强度正比于放电电流和重复频率,空间强度主要集中在闸流管附近和激光管高压端。我们采用双层金属盒对闸流管、电容器等高压元件进行屏蔽,并考虑到元件的散热,采用油循环冷却。屏蔽后测得辐射场 $E < 1\text{V/m}$, 满足了多台器件同步运行的要求。

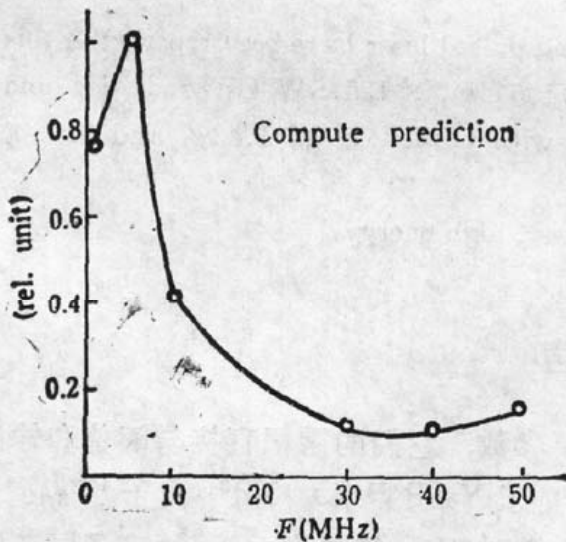


Fig. 7 E-M radiation intensity as a function of spectrum

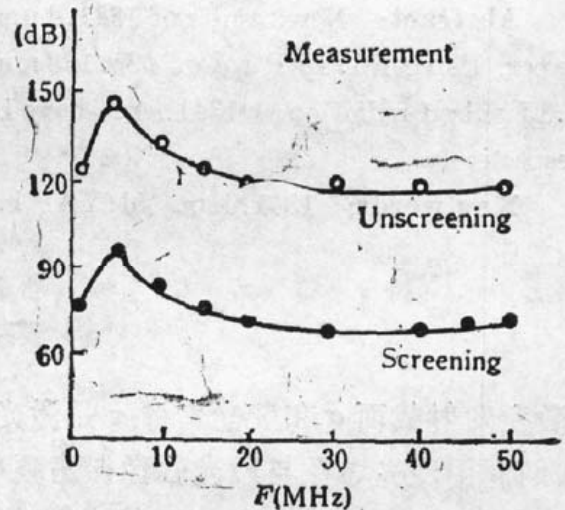


Fig. 8 E-M radiation intensity as a function of spectrum

参 考 文 献

- 1 S. Gabay et al., *Optical and Quantum Electronics*, **23**, S485 (1991)
- 2 M. J. Kunsher, B. E. Warner, *J. Appl. Phys.*, **54** (6), 2970~2982 (1983)
- 3 M. J. Kunsher, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-17** (8), 1555~1565 (1981)