

铜蒸气激光器的绝热结构对有效增益区的影响

陶永祥 尹宪华 陈 林 汤星里
(中国科学院上海光机所 上海 201800)

提要 讨论了放电口径在 6 cm 以上的 100 W 铜蒸气激光器绝热结构对管壁温度分布的影响, 从而对其有效增益区长度的影响。给出了两种不同绝热结构的理论模拟和实验结果。

关键词 铜蒸气激光器, 绝热结构, 放电管壁温度, 有效增益区

在铜蒸气激光器内, 放电管有效增益区的长度是决定激光器光电转换效率和激光平均输出功率的关键因素之一。特别是象在百瓦级这样高功率的铜蒸气激光器内, 放电管有效增益区的长短就更显得特别重要。我们在研制百瓦级铜蒸气激光器的过程中, 对这一点有很深的体会。铜蒸气激光器的放电管为一高纯陶瓷管, 外面包裹着一层绝热体, 二者同被置于一真空室内, 绝热体的结构是决定放电管有效增益区长度的关键。激光器工作时, 真空室内充以 2~ 4 kPa 的氖气作放电缓冲气体, 放电不仅是铜原子的激励源, 而且还是放电管的加热源。放电管的管壁温度决定铜原子的密度。理论和实验都证实^[1], 最佳的铜原子密度为 $10^{14} \sim 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。为了达到这个密度, 放电管管壁温度必须保持在 1500℃。能保持在这个温度上的放电管才有可能成为激光器的有效增益区。

对于口径 $\phi 6 \text{ cm}$ 以上的大口径铜蒸气激光器而言, 放电转移给放电管的热量, 在激光器工作过程中的损耗, 主要要考虑以下两个过程: (1) 径向绝热体的热传导和辐射损耗; (2) 轴向通过窗口的热辐射损耗, 如图 1 所示。

基于以上二个基本过程, 放电管管壁温度随轴向的分布可用如下二个基本方程(1)和(2)进行模拟估算^[2, 3]:

$$\Delta T = T_1 - T_2 = \frac{\ln \left[\frac{r_0 + h}{r_0} \right]}{2\pi\lambda L} Q \quad (1)$$

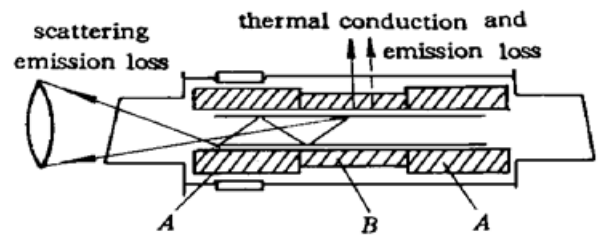


图 1 铜蒸气激光器的绝热结构

A: 二端加厚绝热结构; B: 单一均匀绝热结构

Fig. 1 Thermal insulator structure of the copper vapor laser

A: The more thick thermal insulators at each end;

B: The uniform thermal insulator

$$\frac{dQ}{dX} = \epsilon \delta T^4 \pi R \left[\left| \frac{\left[\frac{X}{R} \right]^2 + 2}{\left[\frac{X}{R} \right]^2 + 4} \right|^{1/2} - \frac{X}{R} \right] + \left[\frac{\left[\frac{L-X}{R} \right]^2 + 2}{\left[\frac{L-X}{R} \right]^2 + 4} \right|^{1/2} - \frac{L-X}{R} \right] \quad (2)$$

其中, ϵ ——陶瓷的热辐射率; r_0 ——放电管外半径;
 λ ——绝热体的热导率; h ——绝热体的厚度;
 L ——放电管长度; Q ——径向的热传导损耗;
 R ——放电管内半径; T_1 ——绝热体内壁(即放电管外壁) 温度;
 δ ——Stefan-Boltzman's 常数; T_2 ——绝热体外壁温度。

图 2 示出了我们研制的放电口径为 $\phi 6.5 \text{ cm}$, 放电极间距离为 220 cm , 主电容 $C_1 = 10.10 \text{ nF}$, 峰化电容 $C_2 = 3.7 \text{ nF}$, 主电容电压 $V_1 = 19 \text{ kV}$, 脉冲重复率 $P.R.F = 5 \text{ kHz}$, 工作在 $80 \sim 110 \text{ W}$ 平均激光输出功率水平的铜蒸气激光器^[4]放电管管壁沿轴向的温度分布。这里必须指出的是, 由(1)式得到的是陶瓷管外壁的温度。在我们的条件下, 同样用此式和陶瓷管在 1300°C 以上时的热导率 $\lambda_{\text{陶瓷管}} \approx 3 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 等数据, 求得的陶瓷管内外壁的温差约为 14°C 。在模拟陶瓷放电管的内壁温度时只需将此温差计及就行了。如图 2 所示, 模拟估算结果与实验结果符合得很好。我们用 ALC-AA 型定型陶瓷纤维管作绝热体。采用二端加厚绝热体结构 A 的放电管的管壁轴向温度分布较仅采用单一均匀绝热体结构 B 的要均匀得多, 有效增益区大约要增长 18%。具有二端加厚绝热体结构的放电管有效增益区约为 190 cm , 而单一均匀绝热体结构的放电管有效增益区约为 160 cm 。

图 3 给出了从采用两种不同热结构的激光器实验中所得到的激光器的激光输出特性曲线。

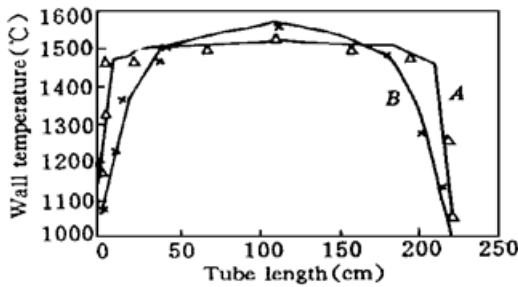


图 2 等离子体管壁温度分布

Fig. 2 The distribution of plasma tube wall temperature $C_1 = 10.1 \text{ nF}$, $C_2 = 3.7 \text{ nF}$, $P.R.F = 5 \text{ kHz}$, $D = 6.5 \text{ cm}$, $L = 220 \text{ cm}$, $V_{C_1} = 19 \text{ kV}$, and $P_{in} = 9.5 \text{ kW}$,

\triangle, \times — experimental results

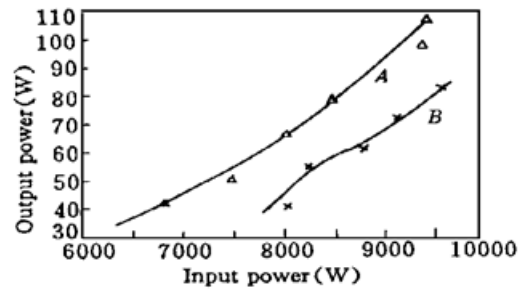


图 3 激光功率与输入功率的关系

Fig. 3 Laser power as a function of the input power $C_1 = 10.1 \text{ nF}$, $C_2 = 3.7 \text{ nF}$, $P.R.F = 5 \text{ kHz}$, $D = 6.5 \text{ cm}$, and $L = 220 \text{ cm}$

结果表明, 具有大口径放电管的高功率铜蒸气激光器的热结构设计是需要特殊考虑的。我们设计的二端加厚绝热体结构显示了较好的性能, 增大了有效增益区, 提高了光电转换效率和平均激光输出功率。在 9.7 kW 输入功率水平下, 二端加厚绝热体结构的铜蒸气激光器最高平均激光输出功率可达 110 W , 效率达 1.1% ; 而均匀绝热体结构的仅为 84 W , 效率 0.86% 。

参 考 文 献

- 1 M. J. Kushner, B. E. Warner. Large-bore copper-vapor laser: kinetics and scaling issues. *J. Appl. Phys.*, 1983, **54**(6) : 2970~ 2982
- 2 杨世铭 编. 传热学(第二版). 北京: 高等教育出版社, 1993, 39
- 3 Shimpey Shirayama, Takefumi Mikatsura, Hiroaki Ueda *et al.*. A laser system for isotope separation. *SPIE*, 1990, **1225** : 279~ 288
- 4 陶永祥, 尹宪华, 陈 林 等. 100 W 铜蒸气激光器. 激光与光电子学进展, 1996, (7) : 189~ 193

The Effect of Thermal Insulator Structure of Copper Vapor Laser on the Length of the Lasing Region

Tao Yongxiang Yi Xianhua Cheng Lin Tang Xingli

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract In this paper, the effect of thermal insulator structure in a 100 W copper vapor laser of large discharge tube diameter (6.5 cm) on the length of the lasing region is discussed. The theoretical simulations and the experimental results of two thermal insulator structures are presented.

Key words copper vapor laser, thermal insulator structure, discharge tube wall temperature, the length of the lasing region