

固体激光器能量稳定性的研究

水 金 城

(西北大学)

提要: 本文从固体激光器输入与输出能量的关系, 讨论了如何提高加工装置中固体激光器输出能量稳定度。并以此结论指导研制出两台激光焊接机 (XDJ-1 通用激光焊接机, 激光手表表面焊接机), 通过测试及用户长期使用证明, 我们的激光加工装置性能稳定可靠。

Study of energy stability of solid-state lasers

Shui Jincheng

(University of Northwest China)

Abstract: This paper discusses the approaches of raising output energy stability of a solid-state laser from the view point of the relationship between input and output energy of a solid-state laser, and two laser welders have been developed (XDJ-L universal laser welder and laser welder for watchcase) on the basis of the conclusion. Through measurements and the practical usage for a long time, it is proved that our laser processing equipments are stable and reliable.

对于激光应用来说, 激光器性能稳定可靠是很重要的。特别是一些脉冲固体激光加工装置, 对激光器输出能量稳定性要求很高, 这个问题解决不好, 会影响激光技术的推广应用。本文试从固体激光器输出与输入能量关系, 找出影响激光器输出能量稳定的因素,

并提出相应措施以提高器件的能量稳定度。

从固体激光器多模振荡速率方程得出 (假定: 增益介质的谱线函数 $S(\nu)$ 为理想矩形, 并认为各个模式在腔内的衍射损耗较增益介质与反射镜透射损耗小得多的情况, 后面一点假设在我们的设计中给予保证), 固体

上就有放电现象, 这些放电引起氮分子预电离作用。放入印刷板后在主电极放电之前, 铜皮与电极之间出现的放电较强, 这是铜皮宽度较大引起的, 这种放电削弱了主电极的放电, 所以它的预电离效果最次。从曲线还可以看出, 在高电压下比在低电压下的预电离

效果好, 出现这种现象的原因是在高电压下, 对铜丝放电产生火花, 因而对氮气产生充分预电离的效果, 而且还保证了主电极放电的能量, 所以输出能量相对地大一些, 在较低的电压下几种预电离效果相同。

激光器输出能量与输入能量的关系如下:

对三能级系统:

$$E_0 = \frac{\nu_{21}}{\nu_{13}} \eta_0 \eta_1 \eta_3 E_{it} \left(\frac{E_i}{E_{it}} - 1 \right) \quad (1)$$

四能级系统则为:

$$E_0 = \frac{\nu_{21}}{\nu_{03}} \eta_0 \eta_1 \eta_3 E_{it} \left(\frac{E_i}{E_{it}} - 1 \right) \quad (2)$$

上式中 E_0 、 E_i 及 E_{it} 分别为激光输出能量、输入及阈值输入储能系统的电能; ν_{21}/ν_{13} 及 ν_{21}/ν_{03} 分别为三、四能级系统的斯托克斯因子; η_0 为有效系数, 即

$$\eta_0 = \frac{1-R}{1-R+\beta} = \frac{T}{T+\beta},$$

R 、 T 为输出反射镜的反射率、透过率, β 为包括衍射及散射损耗在内的腔内其它损耗; η_1 为增益介质的量子效率; η_3 为光泵的转换效率。

通常使用的激光器并不是在阈值能量附近或者饱和区域工作, 所以(1)和(2)式可近似为:

$$E_0 = K E_i \quad (3)$$

(3)式中 K 并不是常数, 但是在作一级近似时可以用常数来代替。

从公式(3)可以得出:

$$\Delta E_0 = K \Delta E_i + E_i \Delta K \quad (4)$$

输出能量的最大漂移考虑为:

$$|\Delta E_0| = K |\Delta E_i| + E_i |\Delta K| \quad (5)$$

从(5)式可知, 为了获得高的能量稳定性, 必须做到:

1. 输入能量的稳定度要高, 也就是说电源对储能系统每次充电的电能要稳定。对电容储能系统若 $E_i = \frac{1}{2} n C V^2$, 从这一关系式我们得出:

$$\frac{\Delta E_i}{E_i} = \frac{2 \Delta V}{V} \quad (6)$$

(6)式告诉我们, 储能系统每次充电的相对偏差会导致输入能量相对偏差加倍, 这是一个很重要的问题, 它要求电气工程人员在设计研制充电电源时必须尽可能提高电源的充电精度。关于这方面的研究可参看文献[2]。

2. 从(4)式可以看出, 器件的转换效率不要作得太高, 也就是说以牺牲一点效率来换得激光器较高的稳定性。

3. 由于

$$\frac{\Delta K}{K} = \frac{\Delta \eta_0}{\eta_0} + \frac{\Delta \eta_1}{\eta_1} + \frac{\Delta \eta_3}{\eta_3} \quad (7)$$

所以为了提高转换效率的稳定性, 就必须从下面几点来考虑:

① 减小腔内损耗的变化

反射镜反射率 R 要稳定可靠。这就要求反射镜膜层坚固、耐高温、防潮性能好。尽管我们的器件功率密度与 Q 开关器件相比很低, 我们仍采用电子束轰击溅射的硬膜来满足这一要求。

反射镜的位置一方面要调整方便, 另一方面要机械性能稳定可靠, 我们采用四长螺杆顶的板弹簧套筒来作反射镜框架, 使得抗震性能较其它结构的框架大为改善。

谐振腔腔长(光程长度)要稳定:

由于谐振腔的光程长 S 为:

$$S = L + (n-1)l \quad (8)$$

所以

$$\Delta S = \Delta L + (n-1)\Delta l + l \Delta n \quad (9)$$

从(9)可知, 要使谐振腔光程长稳定, 就必须使 L (反射镜支座)形变小, 稳定可靠。我们在器件中选用沉重的 1.15 米加抗形变筋的 CT40 铸铁支座, 并使反射镜框架与支座刚性连接好。为了减小增益介质的折射率 n 和长度 l 的变化, 选用热膨胀系数较小性能好的铍玻璃, 并对它用 GG-17 玻璃套及 0.5% 重铬酸钾去离子水溶液循环冷却, 铍玻璃棒两端面加工呈“凹”形(低光圈), 以避

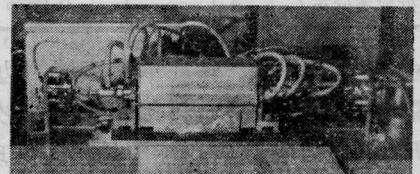


图1 激光器部分实物结构图片

收稿日期: 1981年6月15日。

免热透镜效应。实验证明在工厂震动十分严重的环境下,仍然是稳定不变,无需经常调整,图1所示为我们器件的结构照片。

② 关于增益介质量子效率的问题

为了防止增益介质的劣化甚至破坏,在我们的钽玻璃激光器中,用0.5%重铬酸钾去离子水溶液循环冷却,以防紫外辐射使玻璃着色并减小了光泵辐照过热效应,从而增益介质的量子效率稳定和使用寿命增长。在我们的器件中,玻璃棒被激发振荡工作100万次左右仍不见劣化。

③ 提高光泵转换效率的稳定性

我们采取了氙灯预电离措施,但是预电离电流不宜过大,以免电极过热和溅射。我们使用的S系列 $\phi 18 \times 250$ /毫米脉冲氙灯,预燃电流不大于80~100毫安。

(上接第370页)

N 太大($\alpha_A \gg \omega_A$),则光栅腔会丧失对不同波长谱线的选择性,然而 N 太小也会引起腔内损失太大,从而使激光功率降低。

参 考 文 献

- [1] G. W. Stoke; Proceedings of 3rd Quantum Electronics Conference, 1963.
 [2] G. Toraldo Difrancia; Proceedings of the Symposium on Optical Masers, 1963, p. 157.

(上接第393页)

表4 单模波导的归一化参数

折射率分布	归一化传播常数 (b)	归一化扩散深度 (V)
双曲正割分布	2.771	0.1985
抛物线折射率分布	4.1	0.2675

布所对应的 $V \approx 4.1$,落在单模区域的边缘。这就说明,与抛物线分布相比,双曲正割分布近似所对应的本征值方程能够给出较合理的单模波导参数。

综上所述,我们研究了Ti扩散LiNbO₃单模波导参数的双波长测量,并对波导折

率的高斯分布采用了双曲正割和抛物线分布近似。折射率的这两种近似分布给出了明显有差异的单模波导参数。理论分析表明,采用双曲正割分布能够给出较准确的单模波导参数,而抛物线分布则给出偏离实际的结果。

参 考 文 献

- [1] 固体激光导论编写组;《固体激光导论》,上海人民出版社,1975年。
 [2] 水金城,罗毅;《激光》,1978,5, No. 5~6, 89.
 [3] 赫光生,雷仕溇编;《激光器设计基础》,上海科技出版社,1979年。
 [4] 水金城等;《西北大学学报》(自然科学版),1978 No. 3.
 [3] H. Kogelnik, T. Li; *Appl. Opt.*, 1966, 5, 1550.
 [4] A. G. Fox, T. Li; *Proc. IEEE*, 1963, 51, 80.
 [5] R. L. Sanderson, W. Streifer; *Appl. Opt.*, 1969, 8, No. 11, 2241.
 [6] H. Ogura, Y. Yoshida; *J. Phys. Soc. Japan.*, 1965, 20, No. 4, 598.
 [7] G. K. Born; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1969, QE-5, No. 2, 67.
 [8] H. K. Бергер и др.; *Опн. и спекр.*, 1977, 43, 306.
 [9] T. Li; *BSTJ*, 1965, 44, 917.

参 考 文 献

- [1] 金铎,范俊清;《集成光学》上册,国防工业出版社(1981),p. 34.
 [2] T. Tamir; *Integrated Optics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York(1975), pp. 55~57.
 [3] I. Savatinova et al.; *Appl. Phys.*, 1975, 8, 245.
 [4] 李玉善等;《科学通报》,1980,25, No 15, 685.
 [5] R. Ulrich et al.; *Appl. Opt.*, 1973, 12, 2901.
 [6] Lithium Niobate; AD704556, 4, pp. 91~124.