

通信

铜蒸气激光器中的放大自发辐射研究

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)

Investigation of amplified spontaneous emission in copper vapor laser

Yin Xianhua, Liang Baogen, Tao Yongxiang, Cui Jianli, Chen Lin
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: An investigation was made of the dependences of amplified spontaneous emission on the optics and electricity parameters of copper vapor laser.

Key words: amplified spontaneous emission

图1是振荡-放大装置的示意图。振荡器和放大器均由平均输出功率为25W的铜蒸气激光器组成。放电管采用 $\phi=35\text{ mm}$, $l=1100\text{ mm}$ 的陶瓷管。振荡器采用非稳腔输出,以保证放大器的注入光具有良好的方向性。用一台主脉冲信号发生器发出的信号同时控制二台或若干台(由激光器台数而定)相同型号的子脉冲信号发生器,后者同时经功率放大后分别触发振荡器和放大器电源的闸流管,调节子脉冲信号发生器的相对延时,可控制振荡器和放大器之间的最佳时间匹配。光阑用来阻挡ASE进入放大器。

当采用非稳腔输出时,可观察到振荡光束的截面是由二个亮度悬殊很大的同心环组成。

内环明亮,方向性好,约 $1\sim 2\text{ mrad}$;外环暗淡,其发散角 $\theta \geq 10\text{ mrad}$,外环的能量约占总输出的 $10\sim 20\%$,并且随光学和电学参数变化影响较大。由外环形成的辐射主要是ASE,内环也包含少量的ASE。为了抑制ASE,有必要了解ASE同其它参数的关系。

图2给出了ASE和受激辐射功率同非稳腔参数 M 的关系。这里 I_0 为ASE光强, I_s 为受激发射光强。从图2看到由外环产生的 I_0 同 M 值成正比;由内环产生的 I_s 同 M 值成反比。放大自发辐射同 M 值成正比这一关系可用腔的 Q 值理论来解释。对于非稳腔,其 Q 值可表示为

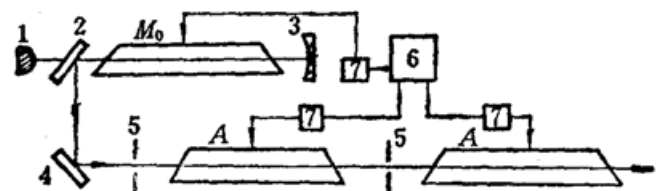


Fig. 1 Schematic diagram of the apparatus
1~3—mirrors of unstable resonator; 4—reflective mirror; 5—apertures of diameter; 6—master pulse generator; 7—sub-pulse generator; M_0 —master oscillator; A—amplifier

$$Q = \frac{4\pi d}{\lambda_0} \frac{1}{1 - \frac{1}{M^2}} \quad (1)$$

随着 M 值的增大, Q 值减小, 对腔内光子的反馈作用就减弱, 相应地 ASE 就增强。另外, 由内环

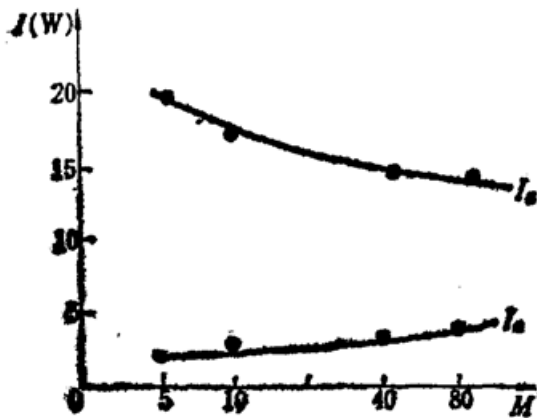


Fig. 2 The ASE as a function of M
 I_s —laser; I_a —ASE, Input power
 4800W, output power 26W with
 stable resonator

产生的 I_s 随 M 值增大而下降, 但内环的信噪比 $I_s / (I_s + I_a)$ 大大提高了, 因为它的发散角随 M 值的增大而减小。这一结论可由表 1 给出的数据而证实。因此, 可通过适当增大 M 值, 略降低振荡器的有效输出功率 I_s 来提高信噪比, 最终达到放大器高功率、高光束质量的目的。这里 I_a 为内环包含的 ASE 分量。

图 3 给出了信号增益同输入放大器电功率的关系。实验中, 把一束功率为 0.6W 的信号光注入放大器, 改变放大器的输入电功率, 观察其增益变化。实验中观察到的放大光束截面也是由二部分组成。外环 I_o 随电源功率增加而加强, 内圆 I_i 随电源功率的增加而呈抛物线的变化。造成增益下降的主要原因是 ASE

抽空了激光上能级粒子。因为在实验过程中, 信号光强不变, 同步延迟基本不变; 随着泵浦功率的上升, 放大器中的 ASE 上升, 当 I_a 达到一定值时, 大部分激活粒子被它耗尽, 增益就下降

Table 1 The signal-to-noise ratio as a function of M

M	θ (mrad)	Signal light I_s (W)	Extraction I_a from one amplifier(W)
5	5~4	8.5	21
10	3~2	8	23.5
40	1.5~2	7.6	27
80	1.5~2	6.5	25

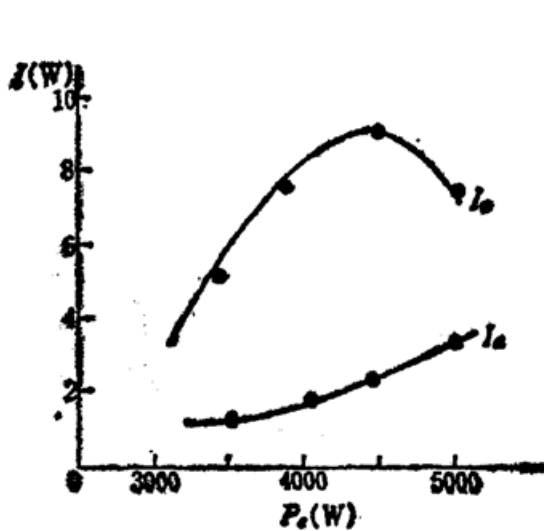


Fig. 3 The gain as a function of input power
 in amplifier injection signal light 0.6 W

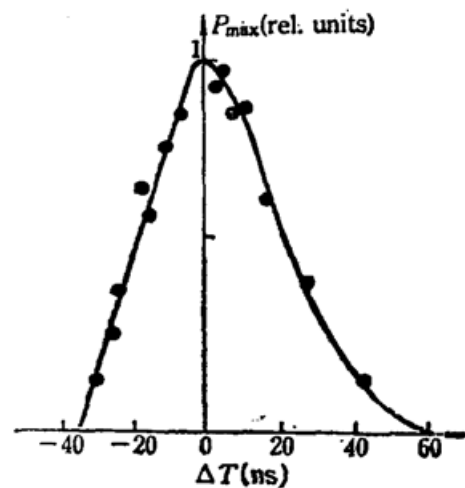


Fig. 4 Dependence of output power on
 timing mismatch of the input signal relative
 to attainment of maximum inversion in
 amplifier

Injection signal light 0.6W; Input power
 400W in amplifier

Table 2 The amplification as a function of injection ASE

M	Injection I_s (W)	Injection I_a (W)	Extraction I_s from on amplifier(W)
40	6	1.2	21.2
40	6	0.7	24
40	6	~0.2	26

了。

ASE 作为一种噪音连同信号光一起注入放大器, 必定会降低放大器的输出功率和光束质量。表 2 是在通过改变光束直径, 让部分 I_a 注入放大器的条件下获得的一些数据。

从表 2 看到 ASE 的注入对放大是不利的。只有在满足一定 I_s 的条件下, 尽可能提高信噪比 $I_s/(I_s+I_a)$ 才能获得大功率输出。为了减少 ASE 对放大器的影响, 我们采取了三个措施: (a) 在放大器的注入口加光阑; (b) 合理提高非稳腔的 M 值; (c) 尽量提高振荡器的有效输出 I_s , 抑制放大器中的 ASE。

在振荡-放大实验中, 由于各种原因引起的同步失调, 造成放大器的注入时间同产生最大反转时间的时差发生变化, 结果使放大器输出功率明显下降, 甚至出现自吸收和透明现象。图 4 给出了触发信号延迟误差与相对输出功率的关系 (“+”和“-”分别对应输入信号的超前或延迟)。同步特性曲线是不对称的, 允许超前的时间范围大于允许迟后的范围原因是: 信号光脉冲的尾巴对放大有作用。

当输入信号超前最大反转时刻, 其功率下降的主要原因是: 当信号光通过放大器时, 放大器内的激活粒子还没达到最大反转状态, 没有足够的反转粒子被信号光放大。本文主要讨论特性曲线的迟后部分。当信号光迟后 15~20 ns 时, 功率下降一半; 当迟后 35 ns 时, 增益几乎消失。由共振俘获原理可知: 在铜蒸气激光器中, 当 $N_0R \approx 10^{15}/\text{cm}^2$ 时, 铜原子的二条共振谱线几乎被完全俘获^[1]。上能级的寿命分别为 615 和 370 ns。这里 N_0 是铜原子密度, R 是放电管半径。在我们的实验条件下, 完全满足 $N_0R \approx 10^{15}/\text{cm}^2$ 。是什么原因造成激光上能级寿命变短, 对此作如下分析:

在无信号光进入放大器时, 放大器内的铜原子上能级速率方程可以表示为

$$\begin{aligned} \frac{dN_0}{dt} = & \left(\sum_i K_{oi} N_i n_e + \sum_{i,i} K_{ioi}^H N_i \cdot N_{ii} \right) - \left(\sum_i K_{io} N_0 n_e + \sum_{i,i} K_{iio}^H N_0 \cdot N_{ii} \right) \\ & - \frac{D}{A^2} N_0 - (AN_0 + B \cdot \rho \cdot N_0) \end{aligned} \quad (2)$$

公式(2)的第一项表示电子激发和原子之间碰撞对上能级粒子的贡献; 第二项表示电子去激发和原子碰撞对上能级粒子损耗; 这二项包括电离、复合等过程。第三项表示上能级粒子向管壁扩散引起损耗; 第四项是上能级向下能级光学跃迁引起的损耗, 如果没有受激辐射, 这项可忽略。在放大实验中, 信号光通过放大器时间一般在放大器放电电流达到峰值附近的范围(即产生最大反转的时间), 这时公式(2)中的第二项和第三项同第四项比较就显得不重要了。尽管没有信号光的注入, 放大器内的自发辐射引起的行波受激放大, 使得上能级粒子寿命变短, 第四项的作用就变得重要了。我们认为造成注入光后延迟范围窄的主要原因是放大器自身形成放大自发辐射光 ρ , 它把已达到反转的粒子猝灭。这一结论可由这事实验证: 在图 4 表示的延迟物性曲线范围内, 不论超前或迟后, I_a 与失调 ΔT 成正比。人们可通过观测放大光束

中的 I_s 强或弱来判断同步状态。在多节放大实验中为了抑制 ASE, 采用了计算机取样跟踪, 使整个系统较稳定地工作在最佳延迟范围内。

参 考 文 献

- 1 L. A. Weaver *et al.*, *IEEEJ. Quant. Electr.*, QE-10(2), 140~149(1974)

(收稿日期: 1990年5月15日; 修改稿收到日期: 1990年6月25日)

Nd:MgO:LiNbO₃ 光波导的制备及其特性*

章昌奕 邱元武

(同济大学 Pohl 研究所, 200092)

苏春丽 许政权

(上海交通大学物理系, 200052)

Fabrication and characterization of Nd:MgO:LiNbO₃ waveguides

Zhang Changyi, Qiu Yuanwu

(Pohl Institute, Tongji University, Shanghai)

Su Chunli, Xu Zhengquan

(Physics Department, Jiaotong University, Shanghai)

Abstract: Nd:MgO:LiNbO₃ waveguides have been fabricated by proton-exchange method. Employing the prism-coupling, we measured the effective refractive indices of the waveguides to obtain effective index profiles and diffusion coefficient. Infrared absorption spectra of the waveguides have been measured. The results indicate that the properties of the waveguides are similar to those of the proton-exchange MgO:LiNbO₃ waveguides.

Key words: optical waveguide, proton-exchange

一、引 言

目前, LiNbO₃ 是集成光学系统中使用较为广泛的衬底材料。自从 Zhong^[1] 等人首次报道了掺 MgO 的 LiNbO₃ 晶体具有抗光损伤效应以来, MgO:LiNbO₃ 晶体在集成光学系统中得到了越来越广泛的应用。而质子交换 MgO:LiNbO₃ 波导具有比纯 LiNbO₃ 质子交换波导高的抗光损伤能力^[2]。把具有较好激光性能的铈离子掺入 LiNbO₃ 中就能制成波导激光器^[3]。

* 国家自然科学基金资助项目。