

双预燃闪光灯泵浦钛宝石激光输出的实验研究

张永梅

(南京航空航天大学理学院, 南京 210016)

余吟山 汪建业

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

摘 要 对强预燃闪光灯泵浦的钛宝石激光器进行了研究。实验采用双直流预燃电路, 研究强预燃对激光输出的影响。研究表明, 强预燃能够提高激光效率, 合适的预燃电流是 1.6 A。在这个条件下, 从 $\phi 8 \times 160$ mm 钛宝石棒获得 600 mJ 的激光输出, 转换效率为 0.16%。

关键词 钛宝石激光, 双预燃, 闪光灯泵浦。

1 引 言

钛宝石激光调谐范围宽, 覆盖了许多分子(如 H_2O 、 SO_2 等)的吸收线, 在非线性光学、激光光谱、大气光学等方面有着广泛的应用。闪光灯泵浦的钛宝石激光器是 80 年代中期出现的一种新型固体可调谐激光器, 它具有高能量、高效率等优点, 而且结构简单、稳定性好, 因此灯泵钛宝石激光器自出现以来就受到人们广泛的重视, 其研究和发展速度很快。到目前为止, 正式报道的最高激光输出已达到 $6.5 \text{ J/pulse}^{[1]}$ 。在重复率器件方面, 美国已达到 40 Hz, 平均功率 $41 \text{ W}^{[2]}$; 德国已达到 110 Hz, 平均功率 220 W。

本文在闪光灯泵浦的钛宝石激光器中采用了双预燃技术, 研究了预燃对激光能量的影响。

2 实 验

2.1 设计思想

脉冲闪光灯用于泵浦固体激光器不久, 人们便发现, 如果对灯内气体进行预电离, 能显著改善闪光灯寿命。预电离的另一个优点是能提高闪光灯的效率^[3]。Hirth、Furumoto 和 Yee 等人的研究表明, 对于大多数工作脉冲在 500~ 1000 μs 范围的闪光灯, 预电离对效率的提高在 10% 以下, 但在短脉冲闪光灯泵浦的染料激光器中, 采用预电离能够使效率提高 100%^[4~ 6]。

钛宝石晶体激发态寿命非常短，室温下仅 $3.2 \mu\text{s}$ 。在激光运转中，要求闪光灯快放电，脉冲宽度在 μs 量级。为了延长闪光灯寿命，提高激光效率，改善激光稳定性，在激光器设计中采用双直流预燃方式进行预电离，如图 1 所示。电路由四部分组成：高压电源、主放电回路、小直流预燃、大直流预燃。主放电电路由火花隙 S、低感储能电容 C 和闪光灯组成。双直流预燃电路由低电流预燃和强流预燃组成。在激光器运转过程中，闪光灯内始终维持一定的预燃电流。球隙击穿时，将高电压加到串联灯组两端，而此时由于灯管已预燃导通，所以能立即形成一次脉冲放电。采用双预燃的目的，一是降低闪光灯的点火电压，实现快速放电；二是减少电源功耗。这也是双预燃比单预燃优越之处。

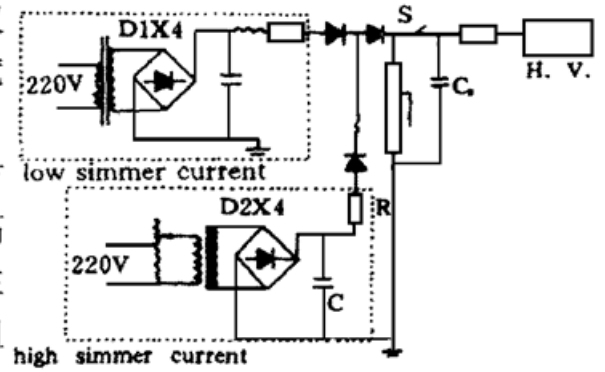


Fig. 1 Setup of double simmer circuit

2.2 实验及结果

实验所用钛宝石棒为 $\phi 8 \times 160 \text{ mm}$ (掺杂的质量分数比为 0.1%，品质因素值约为 200)。根据现有电流情况，实验中维持一定的低电流预燃，选取 65 mA，既打开放电通道，又不至于使电源功耗太大。低电流预燃打开放电通道后，当要进行高压放电时，再加上大预燃电流 (0.5~ 2.0 A 之间可调)，进一步打开放电通道，研究大预燃电流对激光能量和效率的影响。实验结果如图 2、图 3、图 4 所示。

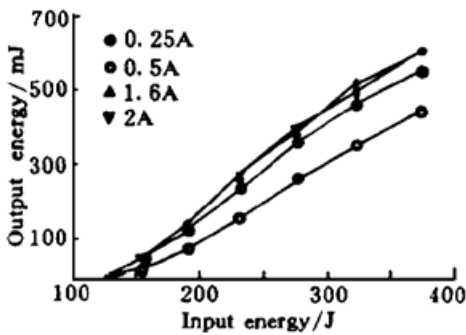


Fig. 2 Output energy vs input energy with different simmer current (storage capacitor $C = 4 \mu\text{F}$)

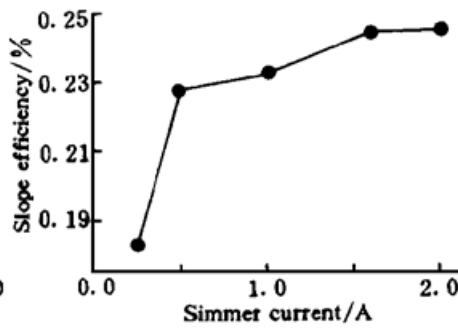


Fig. 3 Slope efficiency with different simmer current

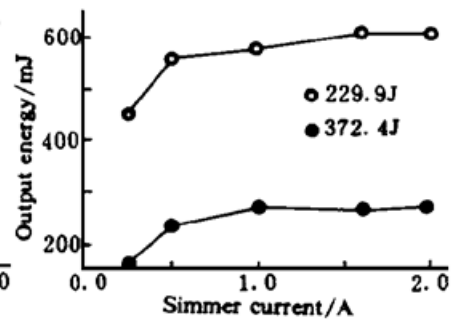


Fig. 4 Laser energy vs simmer current with same pumping energy

对比实验结果发现，预燃电流对激光能量和效率都有很大影响：

- 1) 预燃电流能够提高激光单脉冲能量。在泵浦能量相同时，预燃电流越大，单脉冲能量越大。在预燃电流为 1.6 A、泵浦能量为 372 J 时，获得的输出能量最大。
- 2) 预燃电流对斜率效率有显著影响，随着预燃电流的增强，斜率效率呈上升趋势，并逐渐趋向一个稳定值。这就是说，氙灯强预燃确实能够提高激光效率。预燃电流从 0.25~ 1.6 A，激光效率则提高了 35%。

当预燃电流达到 1.6 A 时，则达到了最高效率。采用更高的预燃电流，在获得高能量、高效率方面并没有更大的优越性。而且预燃电流越大，功耗也越大，给器件的散热带来很多

麻烦。

2.3 讨 论

为了对以上的实验结果有一个合理的解释,实验测出了闪光灯的放电波形,并对闪光灯的阻抗特性进行分析。

图 5 是在泵浦能量相同而预燃电流不同情况下闪光灯的放电波形。预燃电流较小时,放电波形上升时间较慢,泵浦速率低,不利于粒子反转数的积累,因而激光能量和效率都较低。预燃电流增大时,放电波形脉冲前沿上升时间越来越短,满足了钛宝石激光对快放电的要求,反转粒子数迅速建立并积累起来,输出的激光单脉冲能量就较大。所以预燃电流增大,能够提高激光单脉冲能量。

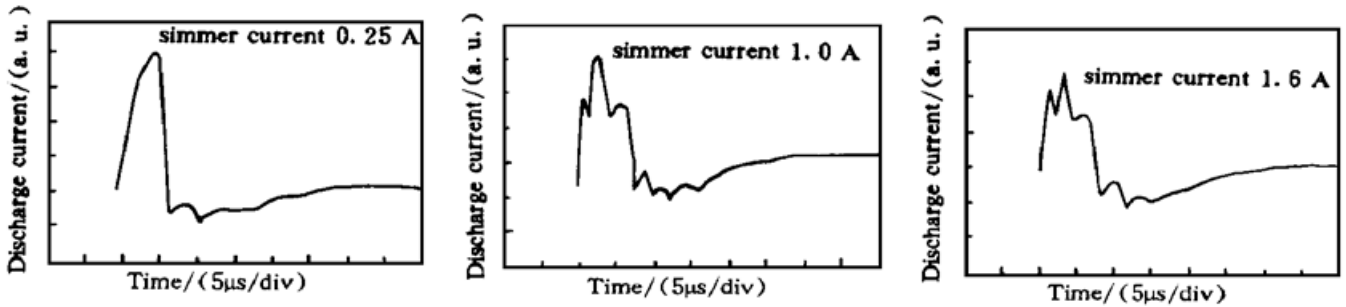


Fig. 5 Flashlamp discharge shape with different simmer current

此外,闪光灯的阻抗特性决定了能量从电容器转移到闪光灯的效率。闪光灯的阻抗主要取决于放电的弧光直径^[7,8],因为弧光直径决定了放电等离子体在灯内扩散的时间。较小的预燃电流,在灯内只能形成一个很细的放电通道,弧光直径较小,闪光灯的自感较大,这样,脉冲大电流放电时,放电等离子体扩散到管壁需要较长的时间;随着预燃电流的增强,弧光直径逐渐增大,自感减小,大电流放电等离子体扩散到管壁所需的时间逐渐缩短。虽然弧光直径增大的量值非常小,只有零点几毫米,但它对激光性能的影响非常明显。也就是说,闪光灯的电光转换效率提高了,使整个系统的效率得到提高。当放电弧光直径达到与闪光灯的內径一致时,闪光灯的阻抗达到一个稳定值,这时预燃电流对激光输出的影响就达到了饱和。

结 论 研究了闪光灯双直流预燃对钛宝石激光输出的影响。实验表明,钛宝石晶体在室温下激光运转良好,闪光灯强预燃确定能够提高激光能量,而且双预燃能延长闪光灯寿命,目前为止闪光灯工作已超过 10 万次。

闪光灯泵浦的钛宝石激光器具有体积小、重量轻、价格便宜和输出能量高等特点,具有广阔的发展前景。

本文的大部分工作是在中国科学院安徽光学精密机械研究所完成的,作者感谢王永红等在实验过程中给予的帮助,感谢殷绍唐老师提供的晶体。

参 考 文 献

- [1] A. J. W. Brown, C. H. Fisher, A 6.5 J flashlamp-pumped Ti³⁺:Al₂O₃ laser. *IEEE J. Quant.*

- Electron.*, 1993, **QE-29**(9) : 2513~ 2518
- [2] E. G. Erickson, Flashlamp-pumped Titanium:sapphire laser, in *Proc. on Tunable Solid State Lasers*, ed. by M. L. Shand, H. P. Jenssen, Vol. 5 (Optical society of American, Washington, DC 1989), 26 ~ 32
- [3] R. L. Stephens, W. F. Hug. Simmering lamps live longer. *Laser Focus*, 1972, **8**(7) : 38~ 40
- [4] A. Hirth, R. Meyer, K. Schetter. On the proper choice of the preionization mode of linear flashlamps. *Opt. Commun.*, 1980, **35**(2) : 255~ 258
- [5] H. Furumot. State of the art high energy and average power flashlamp excited dye-lasers. in *Flashlamp Pumped. Proc. SPIE*, 1986, **609** : 111~ 128
- [6] T. K. Yee, B. Fan, T. K. Gustafson. Simmer enhanced flashlamp pumped dye-laser. *Appl. Opt.*, 1979, **18**(8) : 1131~ 1132
- [7] T. G. Barton, R. Guttenger, H. J. Foth *et al.*. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(12) : 2004~ 2011
- [8] W. Koehner, *Solid-State Engineering*, 3rd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1992 : 285~ 287

Studies on Flashlamp-Pumped Ti·Sapphire Laser with Strong Simmer Current

Zhang Yongmie

(*Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016*)

Yu Yinshan Wang Jianye

(*Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031*)

(Received 15 January 1997; revised 25 June 1997)

Abstract A flashlamp-pumped Ti·Al₂O₃ laser with double simmer currents is studied. A technique of double simmer currents is used and the influence caused by strong simmer current on the laser output energy is discussed. We find that laser efficiency increases when strong simmer current enhanced. The appropriate simmer current is 1.6 A. Laser energy more than 600 mJ and overall efficiency 0.16% are obtained.

Key words Ti·sapphire laser, double simmer current, flashlamp-pump.