

放大超短脉冲的板状激光器

何慧娟 李永春 顾圣如 赵隆兴 钱林兴 张影华

(中国科学院上海光机所激光技术开放实验室, 201800)

提要: 本文报道了一台放大超短脉冲的板状激光器。Nd:YAG 板状放大器的增益大于 29 dB, 该激光器输出波长为 $1.064 \mu\text{m}$ 的单脉冲能量大于 200 mJ, 系统运转的重复率为 $1 \sim 10 \text{ Hz}$, 并且有三种谐波输出。

关键词: 板状放大器, 谐波输出

A slab laser for the amplification of ultrashort pulses

He Huijuan, Li Yongchun, Gu Shengru, Zhao Longxing, Qian Linxing, Zhang Yinghua

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

Abstract: A slab laser is reported for the amplification of ultrashort pulses. The gain of the Nd:YAG slab amplifier is greater than 29 dB. The output energy of a single pulse at $1.064 \mu\text{m}$ is more than 200 mJ at $1 \sim 10 \text{ Hz}$. This amplifier has three output harmonic waves.

Key words: slab lasers, harmonic wave

激光束呈“之”字形传输的板状激光器, 由于它的温度梯度呈一维分布, 因此可以很好地消除在泵浦时的热畸变, 使激光束光学质量获得很大的改善^[1~3]。如果用这样的板状激光器做超短脉冲放大器, 进行多通放大, 可以充分有效地利用激光介质。一台多通板状放大器可以代替多级棒状放大器, 既减少了体积重量, 又降低了电源的功率消耗, 适宜做激光人卫测距流动站(车载)中的激光光源。

我们研制了一台如图 1 所示的放大超短脉冲的板状激光器。Nd:YAG 主被动锁模激光振荡器^[4] 输出一列稳定的包络脉冲, 脉冲数目约 9~11 个, 脉冲之间的间隔为 10 ns, 单个脉冲的宽度为 50 ps。该序列脉冲经单脉冲选择器^[5] 选出一个单脉冲后, 送入 Nd:YAG 板状放大器进行放大。由于振荡器输出的光斑直径较小, 因此在板状放大器前放置一个 4 倍的扩束望远镜, 使得输入光束与放大器的入射口径相匹配, 以充分利用板状放大器激光介质。

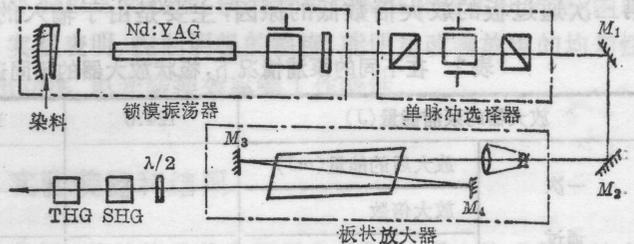


图 1 放大超短脉冲的板状放大器实验装置图

Nd:YAG 板条如图 2 所示。其尺寸为 $6 \times 20 \times 94 \text{ mm}^3$, 为了通光的方便, 采用布儒斯特入射角, 顶角 $S = 28.65^\circ$, 内角 $\alpha = 32.7^\circ$, 激光在板内的全反射点数 $N = 10$ 。为了保证在泵浦

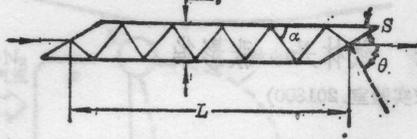


图2 Nd:YAG板的形状

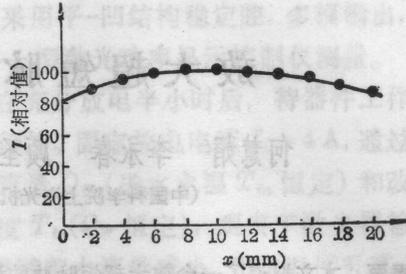


图3 聚光腔光泵均匀性曲线

时, Nd:YAG 板内呈一维的温度场, 板的两侧需保持良好的热绝缘, 同时板的上下两面要保持均匀的灯光照明和均匀的冷却。两根 $\phi 8 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$ 的氙灯分别置于板的上下两面, 精心设计了一个双椭圆聚光腔, 使得 Nd:YAG 板上的灯光照明不均匀性 $\Delta I/I = 9.5\%$, 如图 3 所示。

入射光束通过 M_3 、 M_4 两块平面反射镜三次耦合进入 Nd:YAG 板。

当放大器的输入激光脉冲半宽为 50 ps, 能量为 0.3 mJ 时, 脉冲激光通过 Nd:YAG 板状放大器后, 对应不同的通过次数, 板的放大倍数及各点的脉冲能量列于表 1。从表 1 可以看出, 在相同泵浦能量下(如 140 J 时), 各次通过 Nd:YAG 板的放大倍数不同, 第一次通过的放大倍数为 11.3 倍, 第二次通过板的放大倍数(第一次放大后的脉冲做为第二次放大的输入)是 13.5 倍, 而第三次通过板的放大倍数(第二次放大后的脉冲做为第三次放大的输入)是 5.1 倍。第一次通过板的放大倍数偏低的原因是在实验过程中, 为了使三次通过板的光路互相之间尽量分离, 以便更有效地利用激光介质, 因此在调节第一次通过板的光路时, 尽量将此光路调到板的边缘处入射进板, 偏在 Nd:YAG 板的一侧边缘处传播, 边缘区域的光泵强度, 较板的中心区域光泵强度略低, 尽管我们设计的聚光腔光泵比较均匀, 但在边缘处泵浦光仍有些偏低。同时光斑太靠边缘, 有一小部分光斑被挡掉。因而使第一次通过板的放大倍数偏低。而第二次通过板的激光束恰好在板的中心区, 因而放大倍数也比第一次通过板的放大倍数高些。第三次通过板的放大倍数低的原因, 主要是由于输入的激光信号经前两次放大后, 已达到比较

表 1 在不同的泵浦情况下, 板状放大器的不同通过次数的放大倍数及能量值

放大器的泵浦能量(J)		124.6	140	156	172.5
一次 通过	放大后的能量(mJ)		3.4		4.5
	放大倍数		11.3		15
	分贝数(dB)		10.5		11.8
二次 通过	放大后能量(mJ)	24.5	46	52	50
	放大倍数	82	153	173	167
	分贝数(dB)	19	21.8	22.4	22.2
三次 通过	放大后能量(mJ)	177	236	250	
	放大倍数	590	787	833	
	分贝数(dB)	27.7	29	29.2	

强的幅度(46 mJ),大信号放大引起放大器饱和。对于小信号,放大器的增益当不考虑损耗时为

$$G = e^{L/L_0}$$

其中, L 为放大介质的长度(实际上是光路长度); L_0 为单位长度的增益值。

而对大信号,增益为

$$G = 1 + n_0 N L / 2 I_0 \tau_0$$

其中, $n_0 N$ 为有效反转粒子数; I_0 为入射脉冲的强度; τ_0 为入射脉冲的持续时间。从中看出,对小信号放大,增益 G 与激光在放大介质中走的光路长度呈指数关系;而对大信号放大,这种关系变成线性的关系,因此在第三次放大中的增益仅为 5.1 倍。这一点由下面的实验也可以证实:我们将进入板状放大器的输入脉冲信号衰减 6 倍,即由 0.3 mJ 衰减到 0.05 mJ,则经三次通过板放大后的输出能量为 79.2 mJ,总增益却达 32 dB,说明在板长不变的情况下,输入脉冲信号越小,放大倍数也越高。

图 4 是激光束通过 Nd:YAG 板条的各次净增益与泵浦光能量之间的关系曲线。从图 4 可看出,放大器的增益随泵浦能量的增加而增加,二者呈线性关系,但当泵浦增高到一定程度,增益将不再增加或增加得很少。即呈饱和状态,对不同放大次数,其饱和情况是不同的,三次放大开始出现饱和的泵浦能量是 120 J,二次放大开始出现饱和的泵浦能量是 140 J,而一次放大,由于测量点数少,看不出饱和,实际上它的饱和点更高些。出现这种饱和现象的原因:通常是由于放大器的寄生振荡引起的。开始出现饱和时的泵浦能量,是放大器寄生振荡的阈值,在此阈值之上,泵浦能量再增加,放大器的增益也不会再上升,增益被柑制在某一个一定点上。通过板的放大次数越多,放大器出现饱和的泵浦能量也越低。

同时随着泵浦能量的增加,必然会使板状放大器的自发辐射相应增加,这也是降低放大器增益的重要因素。在我们的实验装置里,平面反射镜 M_3 与 M_4 相对于 Nd:YAG 板的位置至关重要,为了避免引起自激振荡,在保证输入激光束很好地引入板状放大器的前提下,二块反射镜的位置,要尽量偏离板状放大器的中心线,同时二者也不能靠得太近。

我们所研制的三通 Nd:YAG 板状放大器,将输入脉宽为 50 ps,能量为 0.3 mJ 的超短脉冲放大 29 dB,输出波长为 $1.064 \mu\text{m}$ 的脉冲能量最高可达 250 mJ,器件运转的重复频率可为 1~10 Hz。激光束的发散角小于 0.5 mrad 。

在此装置上,我们还做了各种谐波的实验。用一块 II 类相位匹配的 KDP 晶体作为倍频器,将放大后的高峰值功率波长为 $1.064 \mu\text{m}$ 的基波,转换成波长为 $0.532 \mu\text{m}$ 的绿光,其转换效率可达 60%。在倍频器之后,再放置另一块 II 类匹配的 KDP 晶体,做为三倍频器,使 $0.532 \mu\text{m}$ 和 $1.064 \mu\text{m}$ 两束激光进行和频,实验做到由基波 $1.064 \mu\text{m}$ 转换到 $0.355 \mu\text{m}$ 的三倍频总体转换效率大于 19%。如果在二倍频后面改放一块温度控制的 90° 相位匹配的 ADP 晶体,可以使倍频后的绿光再进行一次倍频,即四倍频,为避免光孔径效应,提高四倍频

(下转第 71 页)

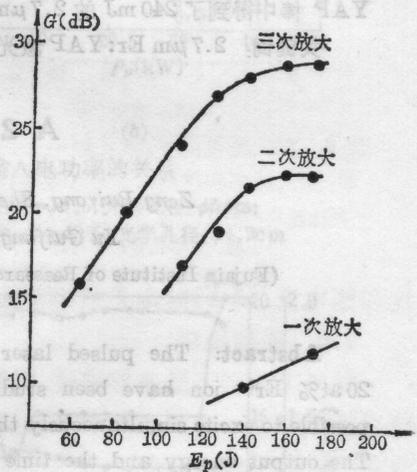


图 4 放大器输入脉冲能量为 0.3 mJ 时的增益与泵浦能量之间的关系曲线

变化情况,其中虚线为直通光路情况。发散角测量结果表明,Z字形光路传播使光束发散角减小了3倍以上,激光器亮度提高了一个数量级。

四、讨 论

钕玻璃板条激光器由于可获得较高的平均功率输出和高的光束质量而受到重视。但玻璃低热导率和低机械强度使其耐热冲击能力差,这是玻璃器件的致命弱点。但由于玻璃的物理性质可随组分变化而在很大范围内进行调整,因而提供了改进玻璃热物理性质的可能性。如 N_{2}O_{3} 钕玻璃的耐热冲击能力为磷酸盐玻璃的3倍。许多玻璃经表面离子交换处理后机械强度可提高几倍,如 N_{2}O_{3} 玻璃经表面处理,其泵浦功率负载已接近YAG板条的一半。因此在这方面进行研究,可望获得进展。

玻璃的另一缺点是受激辐射截面小,必须有较高的泵浦能量密度才能获得较高的激光转换效率,这与玻璃的低泵浦功率负载相矛盾。因而钕玻璃板条器件只适合于低重复率运转。然而,运动板条器件仍可获得高重复率激光输出^[4]。

钕玻璃掺杂浓度的最佳化有助于提高激光效率,高掺杂的钕玻璃仍可获得良好的光学质量。而板条中Z字形光路可消除厚度方向上的增益梯度对输出的影响。

在器件结构上,用气体冷却可避免冷却剂对玻璃表面的侵蚀,避免表面倏逝波对激光的损耗,但冷却效果远比水冷差。采用水冷却时,还必须解决密封问题。玻璃折射率低,难于找到满足内全反射临界角匹配的密封材料,解决方法之一是使 $F < 1$,在表面没有光反射区域进行封接。更好的办法是在玻璃表面涂一层折射率、热性能相匹配的膜,它可简化器件结构,同时又可防止玻璃表面侵蚀和倏逝波损耗等问题。

参 考 文 献

- 1 M. J. Darby, *Laser Magazin*, (3), 54(1988)
- 2 L. Holmes, *Laser Focus*, 22(11), 58(1986)
- 3 *O Plus E*, (106), 123(1988)
- 4 周峰 *et al.*, 物理学报, 38(2), 247(1989)
- 5 S. Basu *et al.*, *Opt. Lett.*, 11, 617(1986)
- 6 张梅珍 *et al.*, 激光与红外, 19(2), 16(1989)
- 7 W. Koechner, *Solid-State Laser Engineering*, Springer-Verlag, 1976
- 8 周峰 *et al.*, 中国激光, 待发表

(上接第59页)

效率,采用 90° 匹配是合适的。实验做到从 $1.064\mu\text{m}$ 的基波转换到 $0.266\mu\text{m}$ 的紫外光的总体转换效率大于11%。

感谢陆雨田同志提供的声光调制器、董景元同志协助对脉宽的测量、乔福堂同志设计的器件样机。

参 考 文 献

- 1 J. M. Eggleston *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, QE-20(3), 289(1984)
- 2 Thomas J. Kane *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, QE-21(8), 1195(1985)
- 3 刘亚纲 *et al.*, 光学学报, 7(7), 577(1987)
- 4 何慧娟 *et al.*, 中国激光, 10(11), 765(1984)
- 5 李永春 *et al.*, 中国激光, 11(3), 170(1984)