

激光二极管列阵泵浦的位相共轭板条 YAG 激光放大系统

陈 军

(浙江大学光科系现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘 要 采用新型的微通道冷却半导体激光二极管列阵泵浦 YAG 激光振荡器及板条 YAG 放大器, 文中用 CCl_4 受激布里渊散射(SBS)作位相共轭镜, 使激光在板条放大器中作多通放大, 获得了高重复率(750 Hz)下小于 1.5 倍衍射极限的高质量 $1.06 \mu\text{m}$ 的激光输出。其脉冲宽度为 15 ns, 平均功率为 180 W。

关键词 受激布里渊散射位相共轭, 激光二极管泵浦板条 YAG 放大器。

1 引 言

近年来, 位相共轭技术应用于高重复率高功率固体激光器以消除热透镜效应提高光束质量方面取得了极大的进展。美国里弗莫尔国家实验室应用受激布里渊散射位相共轭技术, 在 Xe 灯泵浦的 Nd:YLF 振荡器-钜玻璃放大器系统获得了很好的结果。得到了低重复率(1~ 3 Hz)下 1.1 倍衍射极限的高质量 $1.053 \mu\text{m}$ 的激光输出。其输出单脉冲能量为 30 J, 其脉冲宽度为 14 ns。将此光束会聚在金属条带上产生的软 X 射线(1.5 nm)可应用于集成电路的光刻作为光源。该系统已提供给厂方使用^[1, 2]。

在此基础上, 应用新型的微通道冷却半导体激光二极管列阵作为 YAG 激光振荡器及板条 YAG 放大器的泵浦光源, 使运行重复频率提高到千赫数量级, 同时应用受激布里渊散射位相共轭技术, 得到了高重复率(750 Hz)下 1.5 倍衍射极限的高质量 $1.06 \mu\text{m}$ 的激光输出。经二倍频及三倍频后的 $0.355 \mu\text{m}$ 紫外激光输出将直接被用于作光刻光源。

2 实验装置及结果

实验光路总体安置如图 1 所示。装置分为振荡器、光束成型、瑞利像传递望远镜、多通板条放大器、受激布里渊散射位相共轭镜、二倍频、三倍频以及实验所必须的各种探测光路。

2.1 振荡器

振荡器由 $\Phi 3 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 的 Nd:YAG 棒及微通道冷却半导体激光二极管列阵包组成。每个包共含 100 个激光二极管(图 2), 共有 40 个包交叉安置构成了泵浦腔。每个列阵包输出

* 作者在美国里弗莫尔国家实验室作访问学者期间的研究成果。

收稿日期: 1995 年 11 月 18 日

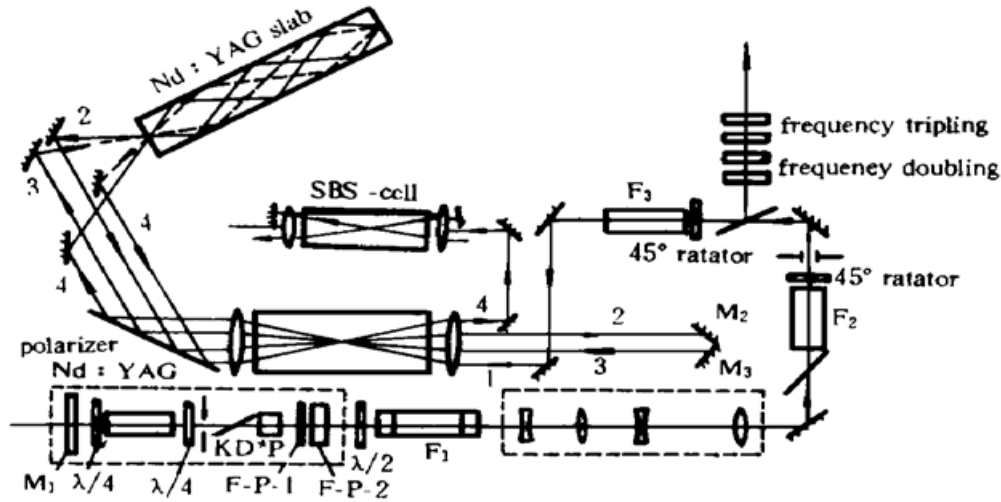


Fig. 1 Experimental setup of phase conjugate MOPA system using the multipass amplifier
 的峰值功率为 60 W，运行重复率为 750 Hz，泵浦激光脉冲宽度为 250 μ s。振荡腔由全反镜及一对相互平行的法布里-珀罗标准具构成，其中标准具的厚度为 3 mm，标准具的厚度为 10 mm，空气间隙为 40 mm。腔内置两块互成 90°的 $\lambda/4$ 波片以消除烧孔效应。并应用小孔光阑以获得 TEM₀₀模。腔内加入普克尔盒，采用自注入式调 Q，即依靠 PIN 管接受的自由振荡信号控制 KD*P 晶体退压，以获得较大的单纵模调 Q 输出。

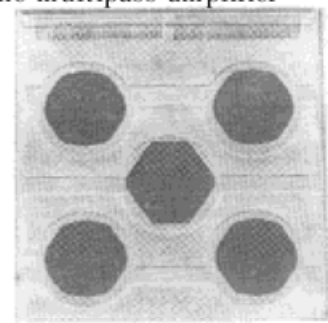


Fig. 2 2-bar microchannel cooling laser diode packages

2.2 光束成型

实验采用了一组球面透镜望远镜系统及柱面透镜望远镜系统把从振荡器输出的光斑扩大并成型为与 YAG 板条截面尺寸相匹配的长方形光斑。

2.3 瑞利像传递望远镜

为了使受激布里渊散射位相共轭镜能完善地补偿光路中的各种相位畸变，特别是 YAG 板条在高重复率下的像差，系统必须把激光脉冲在一个循环中积累起来的所有变形光束的各分量收集、传递并交付给受激布里渊散射位相共轭镜。因此应当使光束入口通过瑞利像传递望远镜成像在 YAG 板条的后表面上，并经后表面反射后再次通过瑞利像传递望远镜成像在受激布里渊散射池内。因此使用了高精度瑞利像传递望远镜系统，它是由两块完全相同的非球面透镜组成。内部抽真空至 1.33×10^{-3} Pa，以防止焦点处产生等离子体。

2.4 多通板条放大器

板条放大器是由 4 mm × 16 mm × 160 mm Nd·YAG 板组成，由两侧的微通道冷却半导体激光二极管列阵包泵浦，每侧共 120 个激光二极管列阵包(图 3)。由振荡器出射的光束经望远镜后由偏振反射镜反射到板条内，以三个菱形的 zig-zag 方式被放大，在板条后表面的高反膜上反射后仍以同样形式返回，再经望远镜，并由反射镜 M₂、M₃ 反射后第二次到达板条，以二个菱形的 zig-zag 方式被放大，在板条后表面的高反上反射后仍以同样形式返回，由 M₄ 输出至受激布里渊散射池。从受激布里渊散射位相共轭镜反射的光重复上述过程，又经过四次放大。因此，激光在板条内共经历了八次放大，使能量抽取率大大提高。板条中由退偏造成的 S 分量将透过偏振反射镜而不被多次放大，从而保证了输出光的偏振特性。

2.5 四波混频受激布里渊散射池

为增加稳定性降低受激布里渊散射阈值，实验采用了环形四波混频受激布里渊散射技术

(图 4)^[3], 这一技术的采用对输出的频率稳定性亦有显著作用。

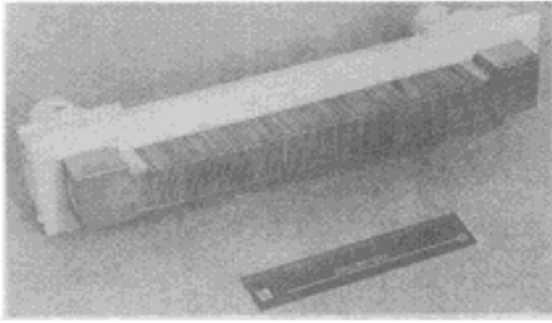


Fig. 3 120 laser diode packages used by each side of the Nd·YAG slab

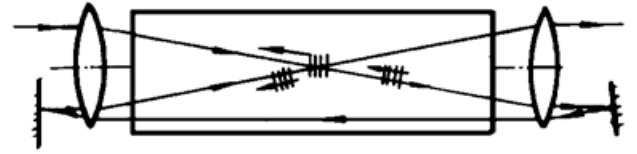


Fig. 4 4-wave mixing enhanced SBS arrangement

2.6 二倍频及三倍频

二倍频及三倍频各采用两块 KD^*P 晶体, 尺寸为 $20\text{ mm} \times 15\text{ mm} \times 6\text{ mm}$, 二倍频采用 eeo 匹配方式, 三倍频则是 $e(1\omega)o(2\omega)e(3\omega)$ 匹配方式, 高重复率运行时四块晶体均用水冷。实验中共采用了三个旋光 45° 法拉第旋光器。第一个法拉第旋光器 F_1 与 $\lambda/2$ 波片组合以隔离由于各种原因漏过的反向传播的 p 光。第三个法拉第旋光器 F_3 与 45° 旋光片组合使反向传播的 s 偏振光透过 F_3 后不改变偏振方向, 从而由偏振反射镜 P_5 输出。 F_3 采用了 TGG 晶体作旋光材料以承受高功率, 但也引入了非线性效应及退偏现象而产生 p 分量。第二个法拉第旋光器 F_2 与 45° 旋光片组合的作用就是将反向传播光中的 p 分量隔离, 由于其口径较大而不易受损。

实验中采用了多处探测及监视, 分别对输出能量、脉冲形状、光斑形状、纵模状态、受激布里渊散射位相共轭镜反射前及反射后的近场及远场光斑、后向反射功率等特性进行测试, 使系统运行在单纵模及 TEM_{00} 模上。并对振荡级及放大级进行了增益测量, 分别为 1.3 NP 及 1.24 NP。

振荡级输出单纵模及 TEM_{00} 模激光, 单脉冲能量为 $3\sim 4\text{ mJ}$, 放大级运行在 75 Hz、150 Hz、375 Hz、750 Hz 时, $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 的输出平均功率分别为 20 W、42 W、150 W 及 180 W。二倍频后的 150 Hz 时 $0.532\text{ }\mu\text{m}$ 输出为 25 W, 三倍频后 $0.355\text{ }\mu\text{m}$ 输出为 4 W。

特别对 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 的输出光束进行了测量。图 5 示出了经过受激布里渊散射池反射的位相共轭镜输出光束的近场及远场光斑。远场光斑是采用了 $f = 1.5\text{ m}$ 的长焦距透镜会聚, 而近场光斑则是采用了 $f = 0.2\text{ m}$ 的短焦距透镜对瑞利像平面成像。可以看到, 近场光斑光强近似呈矩形分布, 理论上按矩形函数的傅里叶变换求得远场发散角(衍射极限), 实验测量值与之的比值即为光束的质量(几倍于衍射极限)。在 75 Hz、150 Hz、375 Hz、750 Hz 时, $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 的输出光束在 X 方向(板条窄边)发散角分别为 1.1、1.1、1.1、1.5 倍衍射极限; 在 Y 方向(板条宽边)发散角分别为 1.2、1.2、1.1、1.2 倍衍射极限。图 5 示出了用 CCD 测得的近场及远场光斑及其 X 和 Y 方向的截面光强分布曲线。而若不采用位相共轭技术, 即在光束进入受激布里渊散射池前测量发散角, 则为十倍以上衍射极限。显然, 受激布里渊散射位相共轭技术在改善光束质量方面起了极其重要的作用。

在完成上述实验的基础上, 把板条改为 $5.5\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 160\text{ mm}$ Nd·YAG, 其后端面改镀增透膜, 并利用四个反射镜与上述类似的 zig-zag 放大形式, 获得了平均功率为 250 W 的 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 激光输出。

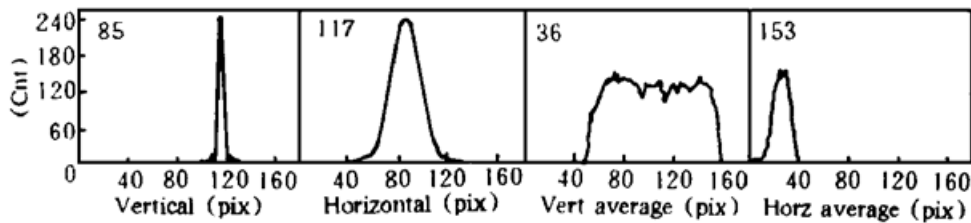


Fig. 5 CCD image of the far field (a) and near field (b) profile, and corresponding intensity distribution in the cross section (repetition rate is 75 Hz)

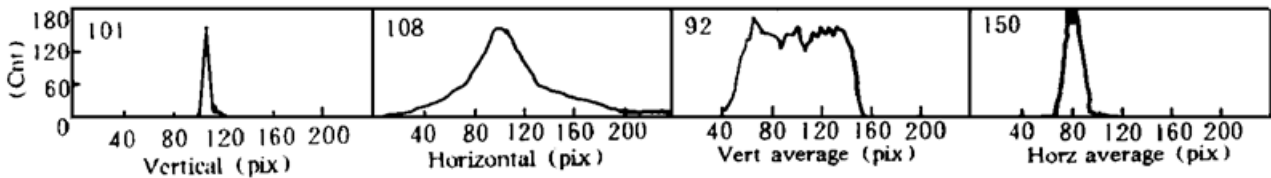


Fig. 6 CCD image of the far field (a) and near field (b) profile, and corresponding intensity distribution in the cross section (repetition rate is 750 Hz)

结 论 本文简要地介绍了用微通道冷却的激光二极管阵列泵浦的 Nd·YAG 振荡-放大系统, 由于系统采用了受激布里渊散射位相共轭技术, 使激光在 750 Hz 高重复率运转时仍具有高光束质量, 其远场发散角小于 1.5 倍衍射极限。同时采用板条放大器多通技术, 使能量抽出效率大大提高。

参 考 文 献

- [1] C. D. Dane *et. al.*, Design and operation of a 150 W near diffraction-limited laser amplifier with SBS wave front correction. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1995, **QE-31**(1): 148~ 163
- [2] L. A. Hackel *et. al.*, Phase conjugated laser applied to X-ray generation. *Inter. J. Nonlinear Opt. Phys.*, 1994, **3**(2): 137~ 167
- [3] M. Gower, D. Proch, *Optical Phase Conjugation*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag

Laser Diode Array-Pumped Phase Conjugated Slab Nd·YAG Laser Amplifier System

Chen Jun

(Department of Optical and Scientific Instrumentation,
The State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Hangzhou 310027)

(Received 18 November 1995)

Abstract The new type of microchannel cooling laser diode arrays are used as the pump source of Nd·YAG oscillator and Nd·YAG slab multipass amplifier, in which the SBS phase conjugation mirror of CCl₄ is used to improve the beam quality. At the repetition frequency of 750 Hz the laser beam with the pulse width of 15 ns and average power of 180 W is obtained. The beam divergence of system is measured to be 1.5× the diffraction limit.

Key words SBS phase conjugation, LDA pumped Nd·YAG slab laser.