

掺Nd离子LNA激光晶体的激光特性研究*

丁磊 景峰 隋展 满永在 张小民 王晓东

(中物院核物理与化学研究所, 成都525信箱, 610003)

徐天华 彭维清

(兵器部西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要 掺钕离子的LNA 因具有宽荧光谱线、高的增益系数、高掺杂浓度和有利于多种泵浦类型的宽的吸收光谱而被应用于超短脉冲领域。利用负反馈控制技术对这种新型的激光材料进行了锁模研究, 获得了近变换限的脉宽5ps, 光谱半宽0.43nm 的稳定激光输出。

关键词 LNA 负反馈 锁模

ABSTRACT Neodymium-doped LNA crystal promises to be used in ultrashort laser pulse because of it having wide spectrum bandwidth, high gain, high doped concentration, and wide absorption bandwidth for multiful pump source type. The new mode lasing material was applied to negative feedback controlled mode locking technique on the facility. As a result, 5ps laser pulse near transform-limited was obtained.

KEY WORDS LNA, negative feedback, mode locking

0 引言

Nd:LNA (Nd:La₃MgAl₁₀O₁₉)激光晶体作为一种新型的激光介质材料, 具有调谐范围宽、增益高、阈值低、可多种源泵浦等优点。与Nd:YAG相比, LNA是一种具有高掺钕离子浓度的激光基质^[1]。荧光谱线半宽3.4nm, 高于Nd:YAG的0.4nm和Nd:YLF的1.2nm。沿C轴切割棒最大增益波长是1.055μm, 与磷酸盐玻璃最大增益波长相匹配。具有相对玻璃基质高的增益系数, 有利于fs-ps激光脉冲的产生和放大, 可为超短脉冲的CPA技术提供良好的种子光。

我们使用这种新型材料作为激光介质, 利用负反馈技术实现了染料锁模, 得到了近变换限脉宽5ps, 光谱半宽0.43nm的稳定激光输出。本文还对Nd:YLF和Nd:磷酸盐玻璃在相同实验条件下进行了对比研究, 以求更深入地了解Nd:LNA晶体的激光特性。目前国外利用该种激光介质材料已获得亚皮秒激光输出^[2], 国内尚无见到此类报道。

1 实验的配置

谐振腔是选用平凹稳定腔型, 凹面反射镜曲率半径3.5m, 等效腔长2.00m, 聚光腔为双灯直管氙灯泵浦双椭圆漫反腔, 氙灯放电波形半宽220μs, 工作物质为LNA晶体, 尺寸φ₁mm × 95mm, 进灯能量0~150J连续可调, 1Hz重复频率工作。染料为4795-U, 在一个微循环泵的作用下循环流动, 以提高锁模稳定性。腔中的限光光阑φ₂mm以获得稳定的基横模输出。光路

* 国家863激光技术领域资助课题。
1996年3月21日收到原稿, 1996年11月27日收到修改稿。
丁磊, 男, 1972年2月出生, 助工。

如图1所示。由P、PC及NFC(Negative Feedback Circuit)构成负反馈环,作用是抑制腔内光强的过快增长,延长锁模时间,使锁模趋于稳态,降低噪声以获得良好的锁模效果,光强调制的深度由NFC控制。P、PC及单脉冲选择器构成腔倒空环,其作用是使振荡器结构简单、工作稳定,并能获得低噪声和相对高的能量输出。

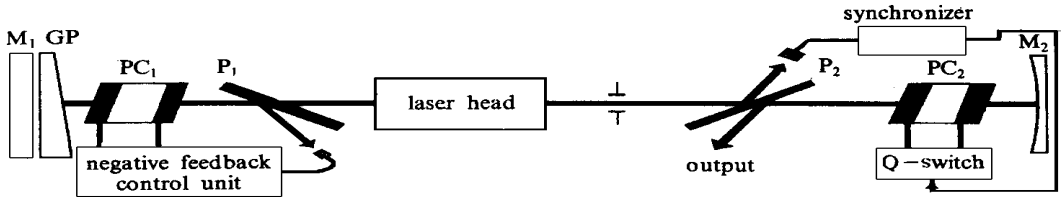


Fig 1 The scheme of the oscillator
图1 振荡器光路示意图

2 实验结果及分析

(1) 锁模的结果

通过上述的实验配置,我们得到了一个完整的锁模序列包络,序列长度 $2\ \mu\text{s}$,峰峰间距 13ns 和较干净的单脉冲。对此单脉冲用红外条纹相机对其脉宽进行测量,分辨率 2ps ,测得脉宽为 5ps ,如图2所示。

光谱宽度的测量,选用的仪器是光栅光谱仪和光学多通道分析仪(OMA 4),分辨率 0.03nm/unit ,测得光谱半宽 0.43nm 。如图3所示。

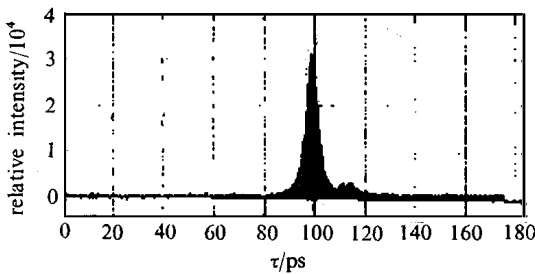


Fig 2 The measured pulse duration of oscillator
图2 脉宽测量结果

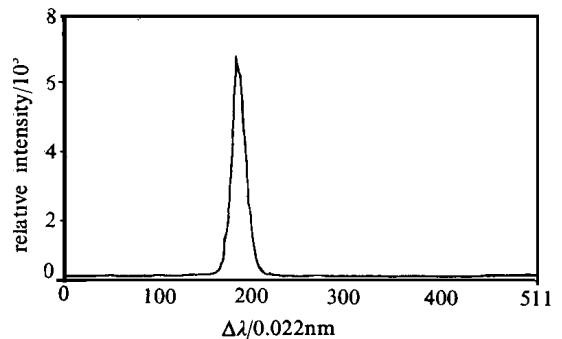


Fig 3 The measured pulse bandwidth of oscillator
图3 谱宽测量结果

同样使用上述的光路配置,分别选用Nd:YLF和Nd:磷酸盐玻璃进行了锁模对比。用Nd:YLF,得到了脉宽 12ps ,光谱半宽 1.1nm 的单脉冲输出。用Nd:磷酸盐玻璃,采用自相关测试方法得到了脉宽 1ps ,光谱半宽 1.5nm 的单脉冲输出。

时间带宽积 $\Delta\nu\Delta\tau$ 是衡量锁模结果好坏的一个重要指标,Nd:LNA的 $\Delta\nu\Delta\tau=0.58$,接近变换极限,说明锁模的结果比较好。对比这三种材料的锁模结果,运用时间带宽积概念,可知结果与理论是相符的,即脉宽Nd:磷酸盐玻璃应锁得最窄而Nd:YLF应锁得最宽。

从无负反馈的锁模包络的长度对比分析,可以判断在 $1.054\ \mu\text{m}$ 的波长下这种掺杂浓度的LNA的上能级寿命短于掺3%wt钽离子的磷酸盐玻璃,当然,不同的掺杂浓度对应不同的上

能级寿命, 国外报道的LNA的上能级寿命长于掺3%wt钕离子的磷酸盐玻璃^[3]。这个分析暗示着掺钕离子的量仍有增加余量。

负反馈深度的调制将影响脉冲是否有足够的时间建立稳态锁模, 单脉冲选择器延时的调整可以保证选出趋于稳态的锁模脉冲。原则上, 负反馈深度以深为好, 选单脉冲应以脉冲列后部加上为好, 从前段关于时间带宽积的分析, 可以看出我们运用上述原则进行的锁模实验是较为成功的。

(2) 阈值的比较

对比上述三种材料, 可以看出脉宽并无明显差距, 但泵浦能量却有较明显差距, 达到1ps、5ps、10ps分别使用了81J、36J和32J的进灯能量。初步的分析是不同的小信号增益系数 σ 是产生这个差异的原因, 定性地看出 σ 的大小关系。

为了得到定量的结果, 我们选择了Nd:YLF作为对比用的工作物质, 重新搭起了一个新的谐振腔。腔长1m, 平-平腔型, 选择的腔镜透过率为49%, 以求好的耦合输出。工作物质的尺寸为LNA: 5mm × 95mm, YLF: 4mm × 70mm。

Nd:LNA腔: 输入38.4J起振; 输入86.4J时, 输出0.283J。

Nd:YLF腔: 输入21.6J起振; 输入86.4J时, 输出0.473J。

考虑到不同尺寸的棒对泵浦能量吸收差异, 我们选择了一种修正方式(即考虑到占空因子的影响, 计算时引入了一个系数), 令通光口径都为2mm, 假定棒对此口径上泵浦光吸收相同, 输入与输出之间的关系如图4。

由图4得到: 1、YLF斜率效率为0.822%与经验数据0.8%吻合很好; 2、LNA斜率效率为0.614%; 3、两者相比 $\alpha_{\text{LNA}}/\alpha_{\text{YLF}}=75\%$; 4、修正后两者相比 $\alpha_{\text{LNA}}/\alpha_{\text{YLF}}=50\%$, $\alpha_{\text{YAG}}/\alpha_{\text{YLF}}=3$, $\alpha_{\text{YAG}}/\alpha_{\text{GLASS}}=29.6$ ^[4], $\alpha_{\text{LNA}}/\alpha_{\text{YAG}}=1/6$, $\alpha_{\text{LNA}}/\alpha_{\text{GLASS}}=4.9$ (α 受激发射截面); 5、测量固有系统误差在选择同一测量仪器后, 几乎可以忽略。实验对象也使用同一工作方式, 如同一聚光腔, 同一泵浦源等, 其误差也可基本忽略。

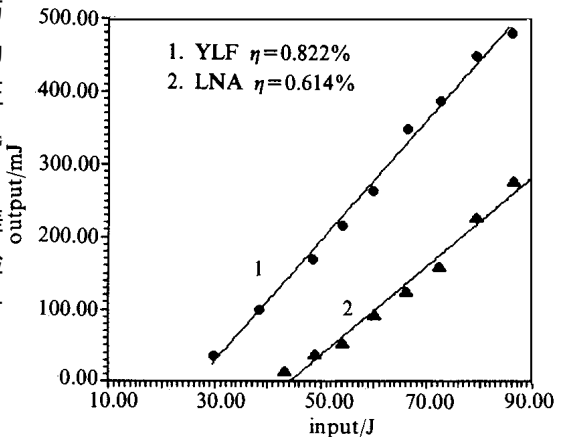


Fig 4 The relation curve of input energy and output energy
图4 输出能量和输入能量的关系曲线

3 偏振性与损耗

Nd:LNA是一种单轴晶体, 对其偏振性我们也作了判断, 在Nd:LNA棒的一个方向上得到了很好的线偏振光输出且阈值最低, 腔内有无偏振元件对阈值无明显影响。

由此可见, 由Nd:LNA作为激光介质可实现腔内无偏振元件的线偏振光输出。

使用行波法, 我们测得Nd:LNA的损耗系数为 $5 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ 略高于Nd:YAG的损耗系数 $2 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ ^[4]。

4 总结

我们使用负反馈染料锁模技术, 对新型激光介质Nd:LNA实现了锁模, 获得了近傅氏变换极限 $\Delta\nu\Delta\tau=0.58$ 的激光输出。其波长与磷酸盐玻璃最大增益波长相匹配, 并取得了与其它激光材料对比的实验数据。

致谢: 感谢兵器部209所提供的LNA 样品。

参考文献

- 1 张秀荣等. 中国激光, 1990, 17(3): 176
- 2 HAM EL Joseph et al *Optics Communication* 1987, 62: 144
- 3 Hwghes D W et al OSA topical Meeting on advanced solid state Laser Paper AM C3, New orlam s, U SA (1993)
- 4 克希奈尔 W. 固体激光工程 北京: 科学出版社, 1983

LASER CHARACTERISTICS OF Nd: LNA CRYSTAL MATERIAL

Ding Lei, Jing Feng, Sui Zhan, Man Yongzai, Zhang Xiaomin,

Wang Xiaodong, Xu Tianhua, and Peng Weiqing*

Institute of Nuclear physics and Chemistry, CA EP, P. O. Box 525, Chengdu 610003

* *Southwest Institute of Technical physics, Ministry of Weaponry, Chengdu 610041*

Nd: LNA ($\text{LaMgAl}_{10}\text{O}_{19}$) crystal are promising to be used in ultrashort laser pulses filed because of it having wide spectrum bandwidth, high gain, high doped concentration and wide absorption bandwidth for multifunctional pump source type. We studied the characteristic of LNA. In this paper we described the experiments of mode locking, threshold, polarization, and lossing, all of which are compared with Nd: glass and Nd: YLF classical lasing materials. Experimental data are given, the results show that LNA has wider bandwidth than Nd: YLF, higher gain than Nd: glass, see Fig. 4. From Fig. 4, in consideration of different absorption for the different rod diameter, we corrected the data in normalization and obtained data about gain as follow: $\bar{\delta}_{\text{LNA}}/\bar{\delta}_{\text{glass}}=4.9$, $\bar{\delta}_{\text{LNA}}/\bar{\delta}_{\text{YLF}}=0.5$. Experimental equipments, data processing and error analyzing ways and means are described. The new mode laser medium was applied to negative feedback controlled mode locking laser. As a result, a near transform-limited several picosecond laser pulse was obtained.