

文章编号 1004-924X(2000)01-0023-03

量子阱二极管泵浦的 Nd:YVO₄/Cr:YAG 高重复率被动调Q激光器

余锦

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 量子阱二极管端面泵浦的 Nd:YVO₄激光器中, 采用 Cr:YAG 作为可饱和吸收体, 获得了 1.06 μ m 的高重复率被动调Q 脉冲激光输出。在吸收泵浦功率 528.3mW 时, 输出脉冲能量 0.19 μ J, 宽度 32ns, 脉冲重复率达 158.7kHz。

关键词: 二极管泵浦; 被动调Q; 高重复率
中图分类号: TN248.34 文献标识码: A

1 引言

利用被动Q开关元件的可饱和吸收特性制成的被动调Q激光器, 以其成本低、结构简单、使用方便而成为实现巨脉冲激光输出的有效方案之一。但传统的被动Q开关元件是由有机染料(如BDN)或色心晶体(如LiF2:F⁻)制成, 它们稳定性较差, 易于分解或褪色, 从而限制了被动调Q激光器在高重复率场合下的运用和发展。90年代研制成功的各种掺四价铬离子(Cr⁴⁺)晶体(如Cr:YAG、Cr:GSGG、Cr:YSGG等), 将钇铝石榴石(YAG)晶体优良的物理性能与Cr⁴⁺离子1.0 μ m附近的可饱和吸收特性很好地结合起来, 为获得连续泵浦下的高重复率被动调Q脉冲激光器指出了一条有效的途径。在许多实际的用途中, 如激光测距、遥感测量、显微医学等, 均对所使用的脉冲激光光源有着特殊的要求: 一是结构要紧凑, 二是要做到全固体化(all-solid-state)。以量子阱半导体激光器(LD)作为泵浦源,

掺四价铬离子晶体作为被动Q开关元件的被动调Q激光器不仅能够满足上述要求, 而且更具有体积小、效率高、输出激光光束质量好等一系列优点, 已成为前途最为光明的实用化脉冲激光器。

目前, 关于这种全固体被动调Q激光器的研究大多是以Nd:YAG作为增益介质的^[1,2], 而以Nd:YVO₄周围增益介质的报道则不多。山西大学的王军民等采用LD直接耦合的方案, 仅获得了宽度大于100ns、峰值功率为300多毫瓦的脉冲激光序列^[3]。本文中报道了我们的初步实验结果, 以国产量子阱LD作为泵浦源, 采用Nd:YVO₄/Cr:YAG结构, 实现了峰值功率数瓦的高重复频率脉冲激光输出。

2 实验

LD泵浦的Nd:YVO₄/Cr:YAG高重复率被动调Q激光器采用端面泵浦、简单的线性平凹腔结构, 如图1所示:

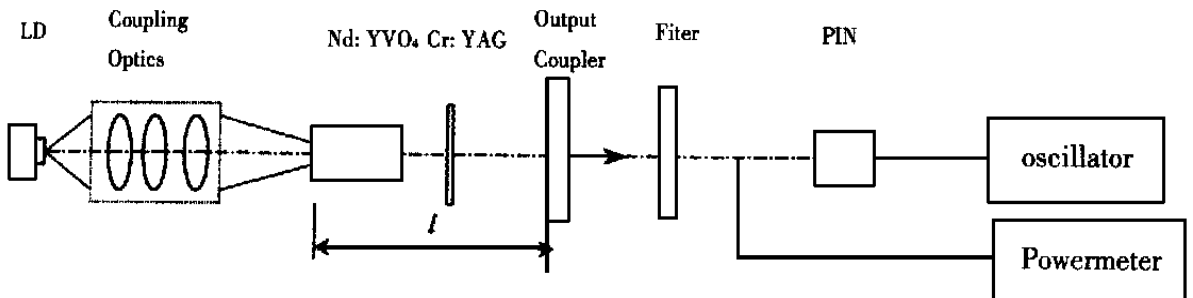


Fig 1 The schematic set-up for the LD end-pumped Nd:YVO₄/Cr:YAG passively Q-switching laser

泵浦源为一只最大输出功率 1W 的国产连续运转激光二极管(中国科学院半导体研究所提供)、发光结尺寸为 $1 \times 100 \mu\text{m}$ 。由于光波导效应,使得在垂直于 PN 结方向的发散角 θ (29.4°) 远大于平行于 PN 结方向的发散角 θ (7.8°),并且通过温度控制将其发射峰的中心波长调节至 809nm、与激光介质 Nd: YVO₄ 的吸收峰相匹配。泵浦能量传输系统采用准直透镜组-整形棱镜对-会聚透镜(collimating lens-anamorphic prism pair-focusing lens)结构,耦合效率约 80%,出射光束在焦点处形成一个束腰半径约 $60 \mu\text{m}$ 的光斑,椭圆度约为 0.85。实验中使用的增益介质 Nd: YVO₄ 晶片截面尺寸为 $3.5 \text{mm} \times 5 \text{mm}$,厚度约 1mm,沿 a-向切割, Nd 离子掺杂浓度约为 1.0at%,为福州晶体技术开发公司提供。由于 Nd: YVO₄ 的吸收谱具有明显的偏振特性,实验中使泵浦光相对于 Nd: YVO₄ 晶片呈 π 偏振,此时, Nd: YVO₄ 在 808.5nm 处的吸收系数约为 30cm^{-1} 。Nd: YVO₄ 晶片靠近泵浦源的一端镀制对 $1.06 \mu\text{m}$ 全反、对泵浦光 809nm 增透的双色薄膜,另一端镀对 $1.06 \mu\text{m}$ 的增透膜。激光谐振腔由 Nd: YVO₄ 晶片的前端面和一个曲率半径 50mm、透过率 11.8% 的输出耦合镜组成,谐振腔长度 l 约为 3.2mm。Cr⁴⁺: YAG 薄片放置于激光晶体和输出镜之间,尺寸为 $6 \text{mm} \times 6 \text{mm} \times 1 \text{mm}$,两面抛光并镀制对 $1.06 \mu\text{m}$ 的增透膜,测得初始透过率约为 80%。

激光器的输出经过一个滤光片滤去残余的 808nm 泵浦激光能量后,用激光功率计(美国 Coherent 公司 LabMaster Ultima P540)测量 $1.06 \mu\text{m}$ 输出激光的功率(或平均功率)、并用 PN 快速硅光电二极管(重庆光电技术研究所生产 GT-106 型)和示波器(日本 Triö-Kenwood 公司制造 CS-2100 型模拟示波器)观测输出激光的时域特性。

3 结果与讨论

在插入 Cr: YAG 可饱和吸收体之前,获得了 Nd: YVO₄ 激光器 $1.06 \mu\text{m}$ 连续激光输出。在不同的注入泵浦电流下,分别测量 $1.06 \mu\text{m}$ 连续激光输出功率;将注入泵浦电流与增益介质所吸收的 809nm 泵浦功率相联系,得到 $1.06 \mu\text{m}$ 输出红外激光功率与吸收泵浦功率的关系,如图 2 所

示。此时,阈值为 $P_{th} = 53.2 \text{mW}$ (指增益介质吸收的泵浦功率),在最大注入泵浦电流 1A、对应于增益介质吸收泵浦功率 $P_{abs} = 528.3 \text{mW}$ 时, Nd: YVO₄ 输出 TEM₀₀ 模激光功率为 208.3mW ,相应于光-光转换效率 39.4%,激光运转斜效率为 43.84%。

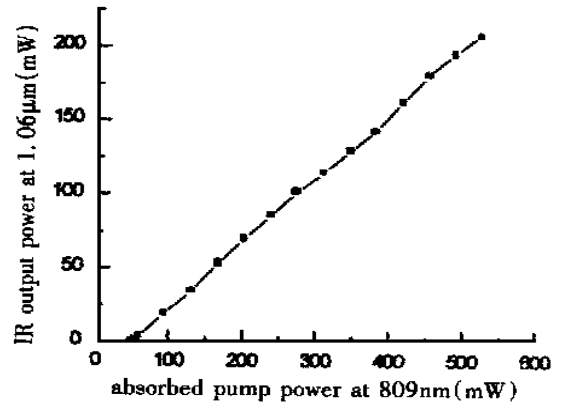


Fig. 2 Output power of cw $1.06 \mu\text{m}$ Nd: YVO₄ laser versus absorbed pump power at 809 nm

在将 Cr: YAG 晶片插入谐振腔后,实现了量子阱激光二极管端面连续泵浦的 Nd: YVO₄/Cr: YAG 高重复率被动调 Q 脉冲激光输出。被动调 Q 运转的吸收泵浦阈值约为 243.3mW 。在增益介质吸收泵浦功率 $P_{abs} = 528.3 \text{mW}$ 时,测得 Nd: YVO₄/Cr: YAG 激光器输出 TEM₀₀ 模激光平均功率为 30.4mW 、Q 开关提取效率为 14.6%。脉冲 FWHM 宽度 32ns、脉冲间距约 $6.2 \mu\text{s}$ (见图 3),这相应于重复频率为 158.7kHz 的脉冲序列,每脉冲能量为 $0.19 \mu\text{J}$ 、脉冲峰值功率达 6W。Q 开关提取效率较低是由于端面泵浦结构下,增益介质反转粒子数分布不均匀,使得被动调 Q 激光脉冲只能在泵浦光轴线附近的中心区域产生而引起的。同时我们还观测到,一旦泵浦功率超过阈值,输出脉冲的能量和宽度基本上不随注入泵浦功率的增加而变化,脉冲重复频率则线性增加,这是与被动调 Q 激光理论相一致的^[4]。

从图 3(b)中可以看出,相继被动调 Q 脉冲之间时间延迟上的抖动高达 5% 左右。作者认为不稳定性是由于两个原因造成的:一是空间烧孔(spatial-hole burning)效应。由于激光器工作于单纵模状态,但是由于空间烧孔效应,使得在脉冲间存在着跳模现象。这种不稳定性正是因为不同的模式有着细微差异的增益而导致了脉冲间振幅和时间延迟上的不一致引起的。在我们的实验中,这种漂移和抖动固定在 2~3 个值上,表明激光器

工作于 2~3 个纵模的状态。二是由于 Nd: YVO₄ 的受激发射截面大(约为 Nd: YAG 的 5 倍)、而激光上能级寿命短(仅为 Nd: YAG 的 1/2~1/3), 使得其作为增益介质时的储能效果不好, 体现

到输出信号上, 则为脉冲能量小、重复频率高且脉冲间距起伏比较大、脉冲稳定性不好等。这说明对于这种高增益介质, 谐振腔内即使是微弱的光量子噪声, 也能触发起激光脉冲的一次发射。

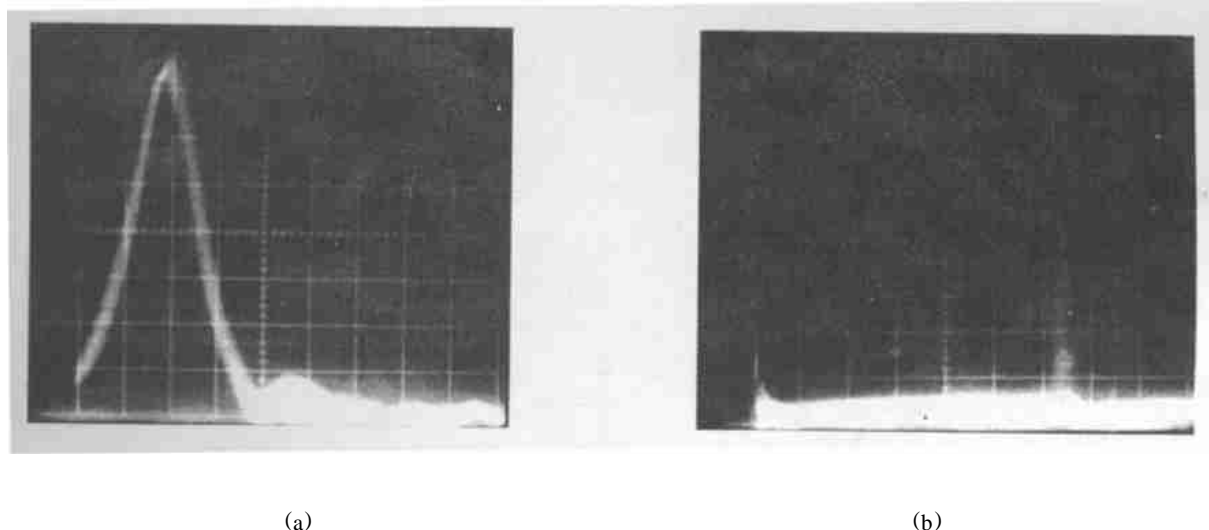


Fig 3 The oscillator trace of the IR pulse of a Nd: YVO₄/Cr: YAG passively Q-switched laser. Figure (a) shows the single laser pulse with the horizontal scale of 20ns/div. and figure (b) shows the laser pulse train with the horizontal scale of 1μs/div.

4 结 论

本文报道了用国产功率为 1W 的 LD 作为泵

参考文献:

- [1] Zayhowski J J, Dill III C. Diode-pumped passively Q-switched picosecond microchip lasers[J]. Opt Lett, 1994, 19(18): 1427~1429.
- [2] Li S, Zhou S, Wang P, et al. Self-Q-switched diode-pumped Cr: Nd: YAG laser with polarized output[J]. Opt Lett, 1993, 18(3): 203~204.
- [3] 王军民, 李瑞宁, 杨炜东, 谢常得, 徐天华. 激光二极管直接耦合泵浦的 Nd: YVO₄ 激光器连续运转和高重复率被动调 Q 运转[J]. 中国激光, 1996, A 23(13): 1057~1060.
- [4] Degnan J J. Optimization of passive Q-switched lasers[J]. IEEE J Quant Elect, 1995, 31(11): 1890~1901.

Highly repetitive passively Q-switched Nd: YVO₄/Cr: YAG laser pumped by quantum well laser diode

YU Jin

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)

Abstract: A Cr: YAG saturable absorber is inserted into a quantum well LD end-pumped Nd: YVO₄ laser and passively Q-switched pulses at the wavelength of 1.06μm is observed. With the absorbed pump power of 528.3mW, output pulse train with repetition rate of 158.7kHz and an energy of 0.19μJ, FWHM width of 32ns is reported.

Key words: laser diode pumping; passively Q-switched laser; high repetition

作者简介: 余锦(1971-)。男, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生。主要研究方向为半导体激光器泵浦的全固态激光器及其非线性光学频率转换。

浦源, 实现了 Nd: YVO₄/Cr: YAG 激光器的高重复率被动调 Q 脉冲激光输出。输出脉冲能量 0.19μJ、脉冲宽度为 32ns, 在注入泵浦电流 1A 时, 脉冲重复率高达 158.7kHz。