

用表面态型半导体可饱和吸收镜实现 Yb:YAG 激光器被动调 Q 锁模

王勇刚¹ 马骁宇¹ 居桂方² 张志刚²

(1 中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

(2 天津大学精密仪器与光电子工程学院超快激光实验室, 天津 300072)

摘 要 制作了一种新型的半导体可饱和吸收镜——表面态型半导体可饱和吸收镜. 用表面态型半导体可饱和吸收镜作为被动锁模吸收体实现了半导体端面泵浦 Yb:YAG 激光器被动调 Q 锁模. 在泵浦功率仅有 1.4 W 的情况下, 获得了调 Q 锁模脉冲序列, 锁模平均输出功率 1 mW, 锁模脉冲重复频率 200 MHz.

关键词 半导体可饱和吸收镜; 表面态; 调 Q 锁模; Yb:YAG 激光器

中图分类号 TN248.3+5 **文献标识码** A

0 引言

1992 年, U. Keller^[1] 等在腔内引入反共振的布里-帕罗标准具可饱和吸收体 (antiresonant Fabry-Perot Saturable Absorber, A-FPSA), 实现了 Nd:YLF 自启动的被动锁模, 脉宽 3.3 ps, 但泵浦源为钛宝石激光器. 现在, 几乎所有主要的固体激光器和光纤激光器都实现了用半导体可饱和吸收镜进行被动锁模或调 Q^[2-7].

本文中, 我们用自己研制的表面态型半导体可饱和吸收镜实现了 Yb:YAG 激光器被动调 Q 锁模, 得到了调 Q 锁模脉冲序列, 锁模平均输出功率 1 mW, 脉冲重复频率 200 MHz. 由于我们的泵浦功率已经下降到 1.4 W, 导致入射在半导体可饱和吸收镜上的功率密度太小, 因而没有实现连续锁模. 采用表面态型半导体可饱和吸收镜大大降低了非饱和损耗, 这样虽然 Yb:YAG 的激光阈值很高, 我们仍然能够在很小的泵浦功率下就观察到了锁模现象, 进一步的研究还在进行中.

1 表面态型半导体可饱和吸收镜基本原理

通常用于 1060 nm 波长附近的半导体可饱和吸收镜采用 GaAs 为衬底, 其上生长由 GaAs 和 AlAs 交替生长构成的半导体布喇格反射镜 (distributed bragg reflector, DBR), 反射率可高达 99% 以上. 布喇格反射镜的上面是 In_{0.25}Ga_{0.75}As/GaAs 量子阱, 其中 In_{0.25}Ga_{0.75}As 层是采用低温生长或离子注入制备, 目的是产生 AsGa 和 VGa 作为载流子的快速驰

豫的陷阱, 驰豫时间在几皮秒到几十皮秒, 以此来实现被动锁模. In_{0.25}Ga_{0.75}As 层的另外一个作用是对入射光起非线性吸收作用, 产生光生载流子. 但是, 低温生长或离子注入会带来很大的非饱和损耗, 因而会降低脉冲激光输出功率和使用寿命.

基于上述原因, 我们制作了表面态型半导体可饱和吸收镜. 与低温型半导体可饱和吸收镜不同之处在于整个材料都采用正常温度生长. 晶体质量很好, 大大减少了非饱和损耗. 将吸收区 In_{0.25}Ga_{0.75}As 紧紧靠在空气表面, 两者之间只有 2 nm 厚的 GaAs 相隔, 使得表面态和体态有相当的重叠, 以保证光入射后吸收区 In_{0.25}Ga_{0.75}As 产生的载流子能够很快地通过表面向空气中放电而驰豫.

2 表面态型半导体可饱和吸收镜制作方法

采用金属有机化学气相淀积 (metal organic chemical vapor deposition, MOCVD) 方法生长表面态型半导体可饱和吸收镜, 如图 1 所示. 生长温度为 700 °C, 对用 MOCVD 生长 GaAs 系材料来说为正常温度. DBR 即为布喇格反射镜, 是由 22 对 GaAs/AlAs 组成的, 反射率高达 99% 以上.

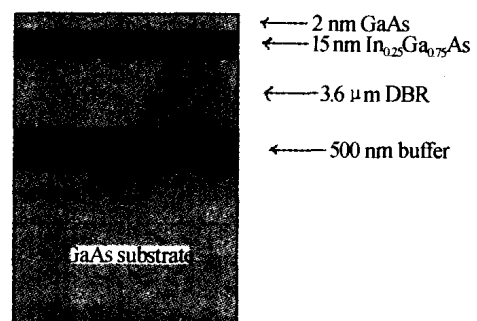


图 1 表面态型半导体可饱和吸收镜生长结构图
Fig. 1 Growth structure of surface type of SESAM

图 2 为吸收体的光反射谱,垂直轴以相对值表示.可以看到,其带宽约 100 nm,高反带从 1000 nm 到 1100 nm. 对于皮秒级锁模,反射谱通常只有几个 nm 就足够了.

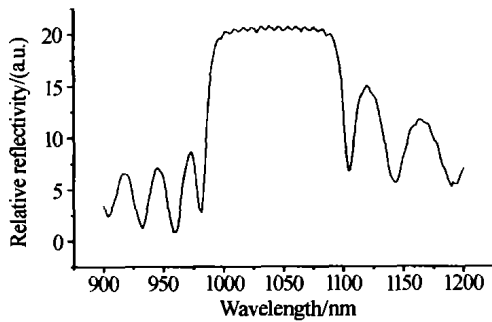


图 2 半导体可饱和吸收镜的反射谱
Fig. 2 The reflection spectrum of the SESAM

3 表面态型半导体可饱和吸收镜实现 Yb:YAG 激光器被动调 Q 锁模实验

本实验采用了 X 型腔,目的是产生单束脉冲激光输出的同时利用两个泵浦源同时进行泵浦. 每只二极管的额定输出功率为 1 W(现已分别降至 720 mW 和 680 mW),发射中心波长为 942 nm,发射截面为 100 μm × 1 μm,光束发散角为 6° × 36°. 我们获得了 1 mW 的调 Q 锁模脉冲激光输出.

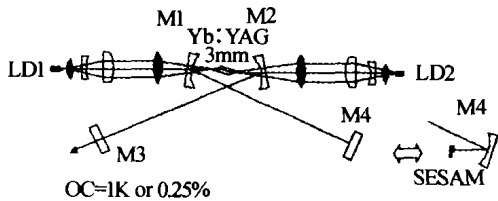


图 3 用半导体可饱和吸收镜来实现 Yb:YAG 激光器被动调 Q 锁模实验装置
Fig. 3 Experiment setup of modelocking Yb:YAG laser with SESAM

图 4 为实现的被动调 Q 锁模调 Q 包络图,调 Q 包络的宽度约为 8 μs. 图 5 为调 Q 包络内部选出的部分锁模脉冲,它们的间隔为 5 ns,频率为 200 MHz. 图 6 为调 Q 包络的序列图,间隔为 180 μs. 频率为 5.6 KHz.

我们认为,在提高泵浦功率后,一定能够得到连续锁模的脉冲序列.

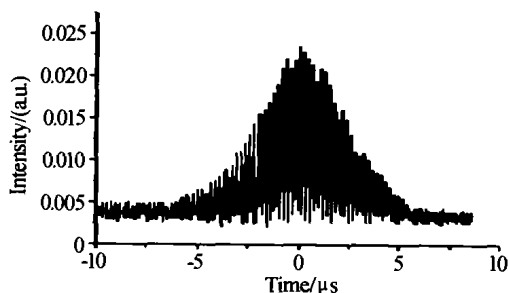


图 4 被动调 Q 锁模调 Q 包络
Fig. 4 Q-switching envelope of passive Q-switching modelock

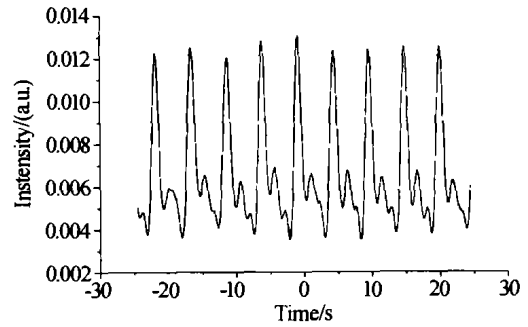


图 5 锁模脉冲序列
Fig. 5 Oscilloscope trace of continuous wave modelocking pulse train

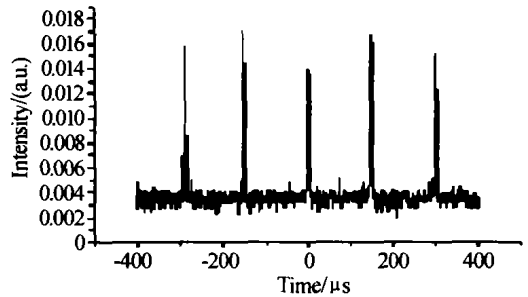


图 6 调 Q 包络序列
Fig. 6 The series of Q-switching envelope

4 结论

用 MOCVD 设备生长了一种表面态类型的新型半导体可饱和吸收镜,它具有优越于国外常见的半导体可饱和吸收镜的性质:非饱和损耗小. 用自己研制的表面态型半导体可饱和吸收镜实现了 1.4 W 端面泵浦 Yb:YAG 激光器被动调 Q 锁模,得到了调 Q 锁模脉冲序列,锁模平均输出功率 1 mW,脉冲重复频率 200 MHz. 我们将提高泵浦功率,做进一步的研究.

参考文献

- Tomaru T, Petek H. Femtosecond Cr⁴⁺:YAG laser with an L-fold cavity operating at a 1.2 GHz repetition rate. *Opt Lett*, 2000, **25**(8): 584 ~ 587
- Keller U, Miller D A B, Boyd G D, et al. Solid-state low-loss intracavity saturable absorber for Nd:YLF lasers: an A-FPSA. *Opt Lett*, 1992, **17**(7): 505 ~ 508
- Krainer L, Paschotta R, Spühler G J, et al. 29 GHz modelocked miniature Nd:YVO₄ laser. *Electron Lett*, 1999, **35**(14): 1160 ~ 1163
- Krainer L, Paschotta R, Moser M, et al. 77 GHz soliton modelocked Nd:YVO₄ laser. *Electron Lett*, 2000, **36**(22): 1846 ~ 1849
- 于连君,程光华,王屹山,等. 无展宽器的高重复率钛宝石啁啾飞秒脉冲再生放大器的研究. *光子学报*, 2004, **33**(1): 1 ~ 3
Yu L J, Cheng G H, Wang Y S, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1): 1 ~ 3

- 6 刘畅. 自缩短效应对 Kerr 被动锁模激光器稳定区的影响. 光子学报, 2004, 33(5): 525 ~ 527
Liu C. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(5): 525 ~ 527
- 7 杜晨林, 阮双琛, 于永芹, 等. LD 泵浦 Nd:GdVO₄/GaAs 被动调 Q 激光器研究. 光子学报, 2004, 33(7): 774 ~ 776
Du C L, Ruan S C, Yu Y Q, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(7): 774 ~ 776

Passive Q-switched Modelocking Diode-end-pumped Yb:YAG with Surface-state Type of Semiconductor Saturable Absorption Mirror

Wang Yonggang¹, Ma Xiaoyu¹, Ju guifang², Zhang Zhigang²

¹ Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083

² Ultrafast Laser Laboratory, School of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, University of TianJin, TianJin 300072

Received date: 2003-11-04

Abstract A new type of surface-state semiconductor saturable absorption mirror was introduced, with which passive Q-switched modelocking of diode-end-pumped Yb:YAG laser was realized. At the 1.4 W of pumping power, Q-switched modelocking seires was obtained, which has 1 mW average output and 200 MHz frequency.

Keywords Semiconductor saturable absorption mirror; Surface state; Q-switched modelocking; Yb:YAG laser

Wang Yonggang was born in 1973. He works in the institute of Semiconductors, the Chinese Academy of Sciences. He majors in absorbers (semiconductor saturable absorption mirrors and GaAs) for the modelocking and Q-switching of solid-state lasers.

