

文章编号: 0258-7025(2004)01-0013-03

半导体可饱和吸收镜自启动的 Kerr 锁模 Cr⁴⁺:YAG 激光器

裴为华^{1,2}, 宋丽军^{1,2,4}, 宋晏蓉^{1,2,3}, 张志刚³, 周国生^{1,2}

山西大学¹ 电子信息技术系,² 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 山西 太原 030006

(³ 天津大学精密仪器与光电子技术学院, 天津 300072;⁴ 中国科学院半导体研究所光电子中心, 北京 100083)

摘要 采用传统的 X 型像散腔, 利用一块精心设计的半导体可饱和吸收镜 (SESAM) 做启动元件, 实现了自启动的 Kerr 锁模 Cr⁴⁺:YAG 激光器。输出脉冲的最窄脉宽小于 80 fs, 脉冲重复频率为 120 MHz, 脉冲峰值功率可以达到 100 W 以上。

关键词 激光技术; 半导体可饱和吸收镜; Kerr 锁模; Cr⁴⁺:YAG

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

SESAM Started KLM Cr⁴⁺:YAG Laser

PEI Wei-hua^{1,2}, SONG Li-jun^{1,2},

SONG Yan-rong^{1,2,3}, ZHANG Zhi-gang³, ZHOU Guo-sheng^{1,2}

¹Department of Electronic and Information Technology, ²State Key Laboratory of

Quantum Optics and Quantum Optics Devices, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China

³School of Precision Instruments & Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300071, China

⁴Opto-electronics Center, Institute of Semiconductor, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China

Abstract By the use of a common X-cavity, a self-start KLM Cr⁴⁺:YAG laser was obtained while a elaborating designed semiconductor saturate mirror was inserted into the cavity. The shortest pulse width is not longer than 80 fs, the repeat frequency was 120 MHz, and the pulse peak power can exceed 100 W.

Key words laser technique; SESAM; KLM; Cr⁴⁺:YAG

1 引 言

Kerr 锁模的 Cr⁴⁺:YAG 激光器能够产生波长中心位于 1.5 μm 附近、脉冲宽度只有几十个飞秒的超短脉冲序列^[1], 是近红外波段进行非线性光学和光谱学研究的理想光源。更重要的是, 光纤通讯的低色散低损耗窗口波段——1.55 μm 正好处于 Cr⁴⁺:YAG 激光器的发射波长中心。高速大容量的光纤通讯要求在光纤中传送的代表信号的脉冲宽度越来越窄, 利用克尔 (Kerr) 锁模 (KLM) 的 Cr⁴⁺:YAG 激光器产生的飞秒光脉冲进行光纤传输实验对于实现更大容量的光纤传输和提高传输速度有着

非常重要的意义。目前各国对 Kerr 锁模 Cr⁴⁺:YAG 激光器的研究呈方兴未艾之势^[2~4]。由于 Cr⁴⁺:YAG 激光器的增益比较低, 输出功率对腔内损耗比较敏感^[2]。要在这种激光器中实现自启动的 Kerr 锁模, 通常都采用在腔内加入锁模装置的办法, 如内插声光调制器自启动法^[2]、振镜法, 半导体可饱和吸收镜 (SESAM) 法^[3]等。通过引入这些装置对连续光进行调制, 产生出比激光器连续运转时峰值功率高得多的高强度激光脉冲以引起 Kerr 锁模^[5]。和其他几种启动手段相比较, SESAM 作为可饱和吸收元件启动 Kerr 锁模具有插入损耗小、操作简单等优点。其结构示意图及可饱和吸收特性如图 1 所

收稿日期: 2002-10-25; 收到修改稿日期: 2002-12-07

作者简介: 裴为华 (1974. 7—), 男, 山西平陆人, 中国科学院半导体研究所国家光电子工艺中心博士研究生, 主要研究方向为半导体微光器件制作与封装。E-mail: peiwh74@sina.com.cn

示,可饱和吸收体是由一层阱区厚 8 nm,总厚度为 $3\lambda/4$ 的单层 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}-\text{In}_{0.52}\text{Ga}_{0.48}\text{As}$ 量子阱组成^[2],反射镜由镀金膜层及镀在金膜表面的介质膜组成。SESAM 的吸收中心波长在 1500 nm,响应时间约为 200 fs,饱和-不饱和反射率台阶为 0.6%,

非饱和反射率在 1400~1500 nm 范围内大于 98%。实现锁模时,和其他可饱和吸收元件一样,SESAM 可以象全反镜一样插入腔内,对腔内激光进行光强调制,最终引起并维持 Kerr 锁模。

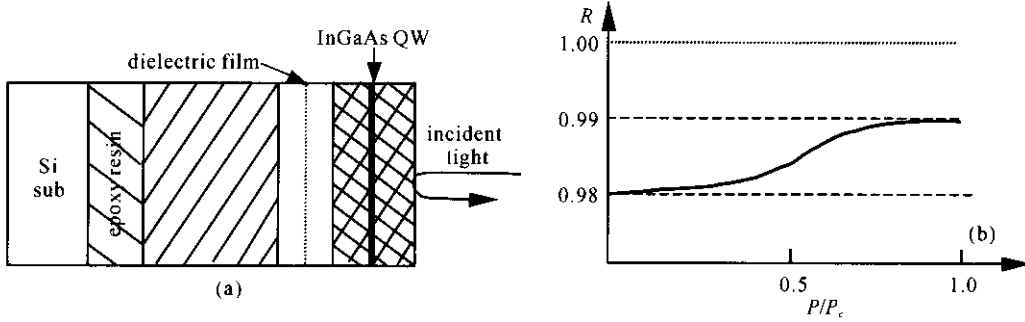


图 1 半导体可饱和吸收镜结构图(a)及其反射率随入射光能量密度的变化曲线(b)
Fig. 1 Structure of SESAM (a) and refractive index vs power intensity incident (b)

2 实验及结果

实验装置如图 2 所示,主要器件参数见文献[6],实验中晶体的温度始终控制在 15℃左右。在连续运转的四镜折叠像散腔的一臂插入一对石英棱镜对来补偿色散,棱镜对间距为 4 cm 左右;激光器的输出由平面镜 M_3 来完成,抽运光是波长为 1064 nm 的线偏振基模高斯光束,抽运功率为 8 W。在锁模开始之前,仔细调节激光器使连续光输出达到最大(详细的调节过程可参考文献[6])。然后,将输出端镜 M_3 用一个曲率半径为 100 mm 的球面全反镜 M_5 和 SESAM 的组合所代替,替代后的臂长不变,即 $d_1 = d_2$,输出改在装有棱镜对色散臂一端(如图 2 所示)。

激光器折叠角 θ 以及由两球面镜 M_1, M_2 形成的小腔长 z ,力求使腔内的 Kerr 透镜灵敏度最大。同时利用激光光谱分析仪监控输出光的谱线成分以判断是否锁模。当激光器运转在连续状态时,谱线很窄,大约只有 0.3 nm 左右,中心波长位于 1460 nm 附近(图 3(a))。实现 Kerr 锁模后,输出光的谱线突然展宽到几十纳米,其输出中心波长也跃迁到 1500 nm 以上(图 3(b))。这是因为当激光器处于自由连续运转时,中心波长位于 1460 nm 附近的模式得到的增益最大,因此在模竞争中处于优势。当激光器运转在锁模状态时,激光器中的损耗机制发生了变化:峰值功率愈高的光脉冲所经受的损耗愈小;峰值功率小的光脉冲所经受的损耗大。在连续光状态下

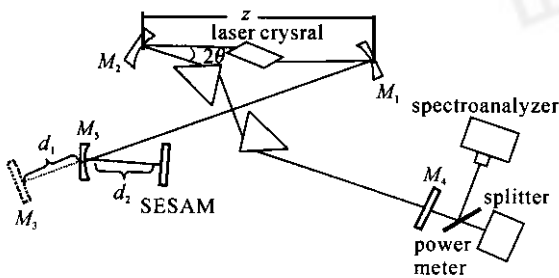


图 2 SESAM 启动的 Kerr 自锁模 $\text{Cr}^{3+}:\text{YAG}$ 激光器腔结构

Fig. 2 Structure of SESAM start KLM $\text{Cr}^{3+}:\text{YAG}$ laser

仔细调节球面镜和 SESAM 之间的距离以调整聚焦在 SESAM 上的光斑大小及功率密度;调节棱镜对的间距及插入光路的进出量以补偿色散;调整

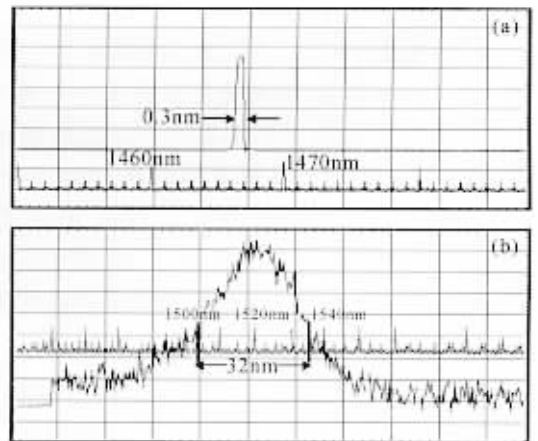


图 3 连续运转时激光光谱(a)和 Kerr 锁模时激光光谱(b)

Fig. 3 CW spectrum (a) and KLM spectrum (b)

对损耗影响并不大的腔内色散这时显得非常重要, 因为色散的存在会导致脉冲展宽和峰值功率下降, 在锁模激光器中, 下降了的峰值功率意味着大的损耗, 因此在锁模激光器中这部分光脉冲在模竞争中处于劣势而最终终止振荡。在经棱镜对补偿了色散的 Cr⁴⁺:YAG 激光器中, 位于 1500 nm 以上的波长范围内色散补偿较好^[7], 腔内二阶净色散在很宽的范围内都在零附近, 而在 1400 nm 和 1500 nm 之间, 色散的起伏量很大。这样, 波长中心位于 1400 nm 和 1500 nm 之间的脉冲与波长中心位于 1500 nm 以上的脉冲相比, 由于经历了较大的色散而无法维持较高的峰值功率, 因此在模竞争中逐渐被淘汰, 最后只有在色散补偿比较好的 1500 nm 以上区域, 形成了稳定的脉冲输出。

从激光光谱分析仪上得到的最大谱线宽度是 32 nm, 假设锁模脉冲形状是 Sech 型, 在变换极限时, 得到时域上的脉冲宽度大约为 75 fs。实现锁模以后, 用手隔断光路或关闭抽运光重新开机后, 无需调节便可实现 Kerr 锁模。由于 SESAM 表面老化影响了反射率, 加之 Cr⁴⁺:YAG 激光器对损耗非常敏感^[2], 目前 Kerr 锁模状态下, 激光器的平均输出功率只有 2 mW 左右, 但由于脉冲宽度只有几十飞秒, 重复频率为 120 MHz 时, 脉冲峰值瞬时功率可

以超过 100 W。相信更换新的 SESAM 以后, 输出平均功率可以超过 50 mW。

致谢 感谢天津大学精密仪器与光电子技术学院的王清月教授对本实验的支持和帮助。

参 考 文 献

- 1 Zhigang Zhang, T. Nakagawa, K. Torizuka *et al.*. Self-starting mode-locked Cr⁴⁺:YAG laser with a low-loss broadband semiconductor saturable-absorber mirror [J]. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(23):1768~1790
- 2 Alphan Sennaroglu, Clifford R. Pollock, Howard Nathel. Continuous-wave self-mode-locked operation of a femtosecond Cr⁴⁺:YAG laser [J]. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(6):390~392
- 3 Yuzo Ishida, Kazunori Naganuma. Characteristics of femtosecond pulses near 1.5 μm in a self-mode-locked Cr⁴⁺:YAG laser [J]. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(23):2003~2006
- 4 Y. P. Tong, J. M. Sutherland, P. M. W. French *et al.*. Self-starting Kerr-lens mode-locked femtosecond Cr⁴⁺:YAG and picosecond Pr³⁺:YLF solid-state lasers [J]. *Opt. Lett.*, 1995, **21**(9):644~646
- 5 P. G. Kryakov, V. S. Lethokov. Fluctuation mechanism of ultrashort pulse generation by laser with saturable absorber [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1972, **QE-8**(10):766~782
- 6 Pei Weihua, Song Lijun, Song Yanrong *et al.*. Study on the Cr⁴⁺:YAG laser [J]. *Laser & Infrared*, 2002, **32**(3):177~179
裴为华, 宋丽君, 宋晏蓉等. Cr⁴⁺:YAG 激光器的实验研究[J]. *激光与红外*, 2002, **32**(3):177~179
- 7 P. J. Conlon, Y. P. Tong, P. M. W. French *et al.*. Passive mode locking and dispersion measurement of a sub-100-fs Cr⁴⁺:YAG laser [J]. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(18):1468~1470