

文章编号: 0253-2239(2002)09-1151-02

用于钛宝石激光器自启动锁模的半导体可饱和吸收镜*

张志刚¹⁾ 柴路¹⁾ 赵江山¹⁾ 孙大睿¹⁾ 刘永军¹⁾²⁾ 王清月¹⁾

(1), 天津大学精仪学院超快激光研究室 教育部光电信息技术科学重点实验室, 天津 300072)
(2), 天津大学理学院应用物理系, 天津 300072)

摘要: 报道国内首次制作的宽带低损耗半导体可饱和吸收镜 (SESAM)。该反射镜已经成功用于钛宝石飞秒脉冲激光器的自启动锁模运转。

关键词: 半导体可饱和吸收反射镜; 自启动; 飞秒激光

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

近 10 年来, 飞秒脉冲固体激光技术已经有了飞速发展。克尔透镜锁模 (KLM) 仍然是目前产生最短飞秒激光脉冲的唯一手段。但是, 此类固体激光器的最大问题是: 克尔透镜锁模一般不能够自启动, 而需要靠外部扰动。半导体可饱和吸收镜 (SESAM) 是将半导体可饱和吸收体与腔镜相结合所构成的器件。它既有可饱和性, 同时又是腔镜。它有响应时间快, 体积小等优点, 是最有前途的锁模启动器件。早期的半导体可饱和吸收镜反射层采用布拉格反射镜, 主要缺点是生长时间长, 带宽窄等。为了克服布拉格反射镜的以上缺点, 国外有人利用金属膜作为宽带反射镜的可饱和吸收镜, 在钛宝石激光器中得到了自启动的 6.5 fs 的激光脉冲^[1]。但是, 其实际反射率只有 92% 至 95%, 这就明显降低了激光器的腔内功率和输出功率, 也大大提高了对于抽运功率的要求。张志刚等^[2]在 1998 年首次提出了低损耗宽带可饱和吸收镜的概念, 其反射率可达 99% 以上, 带宽在 200 nm 以上, 并且已经在钛宝石、掺铬镁橄榄石、掺铬石榴石等激光器中获得了自启动的飞秒脉冲, 脉冲宽度已达到或者接近该激光器的极限脉冲宽度。我实验室早在 1992 年就开始了飞秒脉冲固体激光器的研究, 在多种激光器中获得了稳定的锁模运转。但是, 在自启动器件的研制方面仍然是空白。最近我们发表了有关自启动锁模

的论文^[3], 文中所使用的半导体可饱和吸收镜是作者之一利用国外的实验设备加工制作的^[4]。因此, 立足于国内, 开发出具有我们自主知识产权的半导体可饱和吸收镜是十分必要的。本文报道我们首次在国内开发设计和制作的半导体可饱和吸收镜及其实验结果。

我们研制的半导体可饱和吸收镜具有低损耗和低阈值等特性。首先, 为了提高金属膜作为反射镜的半导体可饱和吸收镜的反射率, 我们沿袭了文献 [3] 介绍的方法, 在半导体膜和金属膜之间增加了一层适当厚度的低折射率介质膜, 而含有半导体可饱和吸收层的半导体膜设计成 $\lambda/4$ 的奇数倍 (例如 $3\lambda/4$)。这样, 半导体膜和介质膜在金膜上面形成高反射膜, 从而增加了整体的反射率。其次, 为了实现半导体可饱和吸收镜的较低饱和阈值, 设计了双可饱和吸收层结构, 如图 1 所示。

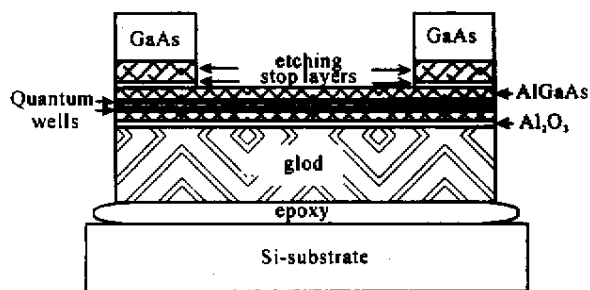


Fig. 1 Structure of a SESAM designed for an operation wave length of 800 nm. This SESAM contains two InGaAs quantum wells

半导体可饱和吸收镜的主要制作过程如下: 首先在 5 cm (2 英寸) 直径的 GaAs 衬底上长两层蚀层, 然后再长 $3\lambda/4$ 厚的 $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{As}$ 半导体支持层, 其中在驻波电场的峰值处生长两个 4.5 nm 厚

* 天津市自然科学基金 (003800611), 国家自然科学基金 (60178007), 国家重点基础研究项目专项基金 (G1999075201-2), 教育部高等学校骨干教师资助计划资助课题。

E-mail: zll@tju.edu.cn

收稿日期: 2002-04-30; 收到修改稿日期: 2002-06-12

的 $\text{In}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{As}$ 量子阱。这个组分的量子阱的吸收边在 860 nm。半导体生长完成后,在生长后的表面上蒸镀一层 0.2λ 厚的 Al_2O_3 膜,然后镀 300 nm 厚的金膜。采用这种设计,计算出的反射率见图 2,显示出宽带低损耗的特点。

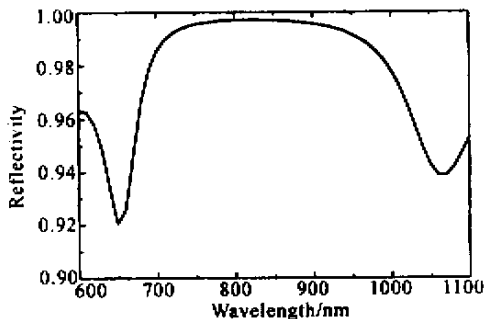


Fig.2 Calculated SESAM reflectivity

与布拉格反射镜的半导体可饱和吸收镜不同的是,生长出的晶片还需要进行切割、研磨和腐蚀等后续处理过程。首先,把 5 cm 直径的芯片上切成 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 的方形晶片,用环氧树脂把金膜面粘接在 0.5 mm 厚的硅衬底上。然后把 GaAs 衬底研磨至 $100\ \mu\text{m}$ 。经过三次腐蚀,露出干净的 AlGaAs 镜面。为了散热,半导体可饱和吸收镜用导热银胶粘接在铜片上。把自行研制的可饱和吸收镜应用于在钛宝石激光器,成功地获得了自启动锁模。在 5 W 抽运功率下,获得了 300 mW、20 fs 的激光脉冲输出。图 3 为示波器上观察到的锁模脉冲序列,图 4 为对应的光谱。

总之,我们已经在国内首次研制出钛宝石激光器用的半导体可饱和吸收镜。今后的工作是把这一器件推广到其他波长域。

感谢中国科学院物理研究所黄琦、王文新和王文冲在生长半导体材料方面给予的大力协助。

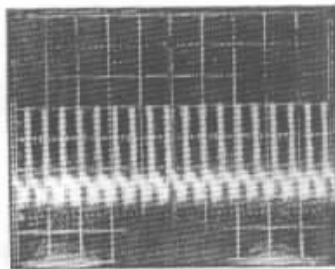


Fig.3 Mode-locked pulse train (20 ns/div)

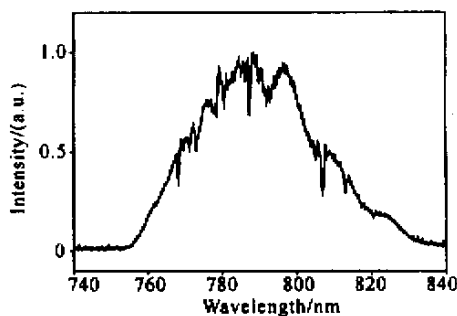


Fig.4 Corresponding spectrum of the stable femtosecond pulses

参 考 文 献

- [1] Sutter D H, Jung I D, Kärtner F X *et al.*. Self-starting 6.5 fs pulse from a Ti:sapphire laser using a semiconductor saturable absorber and double-chirped mirrors. *IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron.*, 1998, **4**(2):169~177
- [2] Zhang Zhigang, Kenji T, Taro I *et al.*. Broadband semiconductor saturable-absorber mirror for a self-starting mode-locked Cr:forsterite laser. *Opt Lett.*, 1998, **23**(18):1465~1467
- [3] Chai Lu, Wang Qingyue, Zhang Zhigang *et al.*. Self-starting mode-locked Ti:sapphire lasers by using semiconductor saturable absorber. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(3):431~432 (in Chinese)
- [4] Zhigang Zhang, Nakagawa T, Takada H *et al.*. Low-loss broadband semiconductor saturable absorber mirror for mode locked Ti:sapphire lasers. *Opt. Commun.*, 2000, **176**(6):171~175

Semiconductor Saturable-Absorber Mirror for Self-Starting Mode-Locked Ti:Sapphire Lasers

Zhang Zhigang¹⁾ Chai Lu¹⁾ Zhao Jiangshan¹⁾ Sun Darui¹⁾ Liu Yongjun¹⁾²⁾ Wang Qingyue¹⁾

(1), Ultrafast Laser Lab, School of Precision Instruments and Optoelectronics Engineering, The Key Laboratory of Optoelectronic Information Technical Science, EMC, Tianjin University, Tianjin 300072
(2), School of Science, Tianjin University, Tianjin 300072

(Received 30 April 2002; revised 12 June 2002)

Abstract: The low-loss broadband semiconductor saturable absorber mirror (SESAM) is firstly designed and manufactured in China. This SESAM has been used in self-starting mode-locked Ti:sapphire lasers.

Key words: semiconductor saturable absorber mirror; self-starting; femtosecond lasers