

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0137-03

半导体可饱和吸收镜研究的进展

王勇刚¹, 马晓宇¹, 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研究室, 天津 300072)

摘要 回顾了近年来国际和国内超短脉冲激光技术的发展历程, 概述了各种波长半导体可饱和吸收镜(Semiconductor saturable absorption mirror, SESAM)发展历史, 制作技术及其在固体激光器中的应用。对常见的几种制作工艺以及运用方向进行阐述和分析。利用金属有机气相沉积方法研制了三类 1.06 μm 波长的 SESAM, 在 Nd:YAG 固体激光器上实现了被动锁模, 锁模脉宽为 10 ps, 频率为 150 MHz, 输出功率 100 mW 以上。

关键词 锁模; 皮秒; 半导体可饱和吸收镜

中图分类号 TN248

文献标识码 A

Development about the Research of Semiconductor Saturable Absorption Mirror

WANG Yong-gang¹, MA Xiao-yu¹, ZHANG Zhi-gang²

¹*Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*

²*Ultrafast Laser Laboratory, School of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering,
University of Tianjin, Tianjin 300072, China*

Abstract In this article, the history of development of ultrashort laser technology in China and abroad is introduced as well as the manufacture and the application in solid-state lasers of many kinds of semiconductor saturable absorption mirrors (SESAMs) with different wavelengths. The several general technologies and application methods to make SESAMs are analyzed. The three types of SESAMs at wavelength of 1.06 μm made by metal organic vapor deposition (MOCVD) were studied. The passive mode-locking of Nd:YAG laser with SESAM was realized. The pulse duration is 10 ps; Frequency is 150 MHz; Output power is above 100 mW.

Key words semiconductor laser; modelocking; pico-second; semiconductor saturable absorption mirror

1 引言

1992年, U. Keller^[1]等在腔内引入反共振的法布里-珀罗标准具可饱和吸收体(A-FPSA), 实现了Nd:YLF自启动的被动锁模, 脉宽3.3 ps, 这是A-FPSA或SESAM首次应用于固体激光器锁模, 也是首次实现固体激光器皮秒级锁模。1996年, R. Fluck^[2]等在Nd:YLF和Nd:YVO₄的SESAM被动锁模激光器中, 分别获得了5.7 ps和4.6 ps超短脉冲, 首次实现了1.3 μm 的输出光。1999年, Th. Graf^[3]等用半导体激光棒侧泵Nd:YVO₄, 利用SBR实现被动锁模, 获得了33 ps脉冲输出。2000年, G. J. Spuhler^[4]等利用6个20 W的半导体激光器侧抽运Nd:YAG, 获得21 ps的脉宽输出, 输出功率为27 W。2001年, Y. F. Chen^[5]等利用50 W的半导体

激光器端抽运Nd:YVO₄, 实现了SESAM锁模运转, 获得21.5 ps的脉宽输出, 输出功率为23.5 W。F. Brunner^[6]等在Yb:YAG中获得了0.83~1.57 ps可调谐的SESAM锁模脉宽输出。Max Josef Lederer^[7]等采用不同的SESAM实现了Nd:YVO₄的被动锁模, 脉宽为9~23 ps。

2 SESAM的基本结构和研制方法

图1为半导体可饱和吸收镜(SESAM)的结构示意图。SESAM的基本结构就是把反射镜与吸收体结合在一起。底层一般为半导体反射镜, 其上生长一层半导体可饱和吸收体薄膜, 最上层可能生长一层反射镜或直接利用半导体与空气的界面作为反射镜, 这上下两个反射镜就形成了一个法布里-珀

作者简介: 王勇刚(1973-), 男, 中科院半导体所博士研究生。主要从事固体激光器及光纤激光器锁模和调Q用吸收体(半导体可饱和吸收镜, GaAs等)的研究。E-mail: wygxjwchina@vip.sina.com

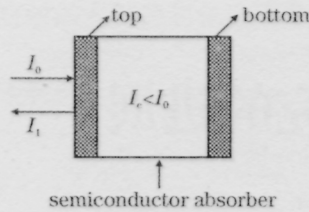


图1 SESAM 结构示意图

Fig.1 Schematic of SESAM

罗腔,改变吸收体的厚度以及两反射镜的反射率,可以调节吸收体的调制深度和反射镜的带宽。

一般来说半导体的吸收有两个特征弛豫时间,带内热平衡(intraband thermalization)弛豫时间和带间跃迁(interband transition)弛豫时间。带内热平衡弛豫时间很短,在 100~200fs 左右,而带间跃迁弛豫时间则相对较长,从几 ps 到几百 ps。带内热平衡时间基本上无法控制,设计可饱和吸收器的时间特性主要是设法缩短带间弛豫时间。这个时间主要取决于半导体生长时衬底的温度,一般来说,生长时的温度越低,带间跃迁弛豫时间越短。但是低温生长会产生缺陷,一般选择 300~500 °C。在 SESAM 锁模过程中,响应时间较长的带间跃迁(如载流子重组)提供了锁模的自启动机制,而响应时间很短的带内热平衡可以有效压缩脉宽、维持锁模。图 2 是布拉格反射镜结构(Bragg mirror)的 SESAM 一般结构生长结构图。布拉格反射镜结构由 20 对以上的 GaAs/AlAs 交错生长而成,反射率可达到 98% 以上。布拉格反射镜结构的上面是量子阱结构,阱区为非线性吸收区,是 SESAM 的核心组成部分。有时,量子阱结构的上面还生长高反或增透介质膜。整个结构的光学长度为使用波长的半奇数倍,构成反谐振腔结构。

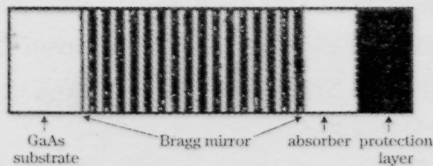


图2 SBR 结构的 SESAM 生长结构

Fig.2 Growth structure of SBR type SESAM

3 在研制 SESAM 方面所取得的进展

制作 SESAM 的关键是形成对激光具有非线性吸收的吸收层,即对强光吸收少,反射率高,对弱光吸收多,反射率低。通常有三种方法:低温分子束外延法(LT MBE),常温金属有机气相淀积(MOCVD)加离子注入,低温金属有机气相淀积(MOCVD)。前两种方法使用比较普遍。限于设备的限制,用后两

种方法制作 SESAM。实践证明,常温金属有机气相淀积(MOCVD)加离子注入方法所制作的 SESAM 使用时性能较不稳定,而低温金属有机气相淀积(MOCVD)方法,由于我们生长的布拉格反射镜质量较好,所制作的 SESAM 性能十分稳定。迄今为止,我们制作了三种使用于 1.06 μm 附近固体激光器被动锁模的 SESAM,分别是低温反射镜式,表面态反射镜式和低温输出镜式,在抽运功率为 5 W 的 Nd:YAG 激光器上实现了较好的锁模结果。

3.1 低温反射镜式

结构如图 3。其中,LT In_{0.25}Ga_{0.75}As 生长温度一般在 400 °C 至 600 °C, DBR 是交错生长的 AlAs/GaAs 超晶格结构,是为了获得高达 99% 以上的反射率。

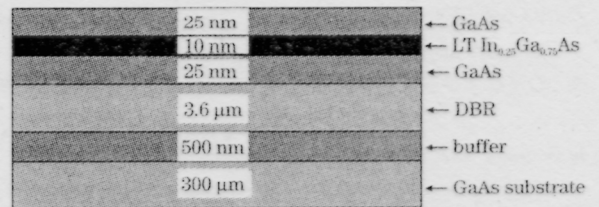


图3 低温生长反射镜式 SESAM

Fig.3 Reflection type of SESAM with low temperature growth

用低温反射镜式 SESAM 在抽运功率为 5 W 的直腔端面抽运 Nd:YAG 激光器上获得了脉宽为 10 ps, 重复频率 150 MHz(见图 5), 输出功率 300 mW 的激光输出。激光光路如图 4。

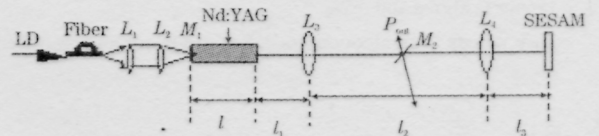


图4 用反射镜式 SESAM 被动锁模的 Nd:YAG 激光器装置图

Fig.4 Experiment set-up of passive modelocking Nd:YAG laser with reflection type SESAM as an absorber

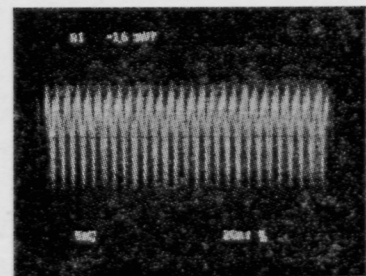


图5 示波器上显示的图象

Fig.5 Diagram generated from oscillator

3.2 低温输出镜式

如图 6,在该结构中,由高反介质取代了 DBR,在 1.06 μm 处透过率为 10%。利用低温输出镜式

SESAM去锁模 Nd:YAG 激光器,我们得到了与低温反射镜式 SESAM 类似的结果,只是输出功率为 50 mW,这是由于 GaAs 衬底的吸收造成的。

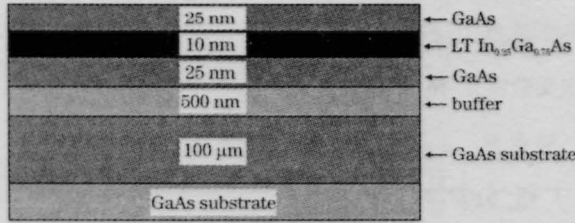


图 6 输出镜式 SESAM 生长结构

Fig.6 Growth structure of SESAM as an output coupler

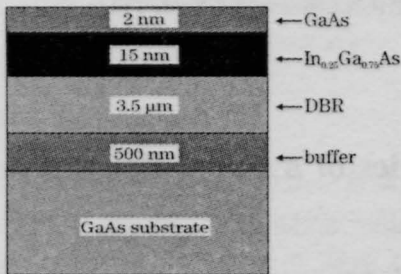


图 7 表面态反射镜式 SESAM 的生长结构

Fig.7 Growth structure of surface state reflective type SESAM

3.3 表面态反射镜式

其结构如图 7。该结构中的吸收区离表面空气很近,利用了 GaAs 材料表面态密度高,且恢复时间

在几到几十 Ps 的特点。吸收区是常温生长的。

所研制的表面态反射式 SESAM,可以得到类似于低温反射式的结果,虽然锁模脉冲抖动大。但是这样做有非饱和损耗小的优点,有利于提高使用寿命。将表面态工艺和低温工艺结合起来,有可能做出脉冲稳定,并且寿命长的 SESAM。

参 考 文 献

- 1 U. Keller, D. A. B. Miller, G. D. Boyd *et al.*. Solid-state low-loss intracavity saturable absorber for Nd: YLF lasers: an A-FPSA[J]. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(7): 505-508
- 2 R. Fluck *et al.*. Diode-pumped passively mode-locked 1.3 μm Nd:YVO₄ and Nd:YLF lasers by use of semiconductor absorbers [J]. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(17): 1378-1380
- 3 Th. Graf *et al.*. Multi-Watt Nd:YVO₄ laser mode locked by a semiconductor saturable absorber mirror and side-pumped by a diode-laser bar[J]. *Opt. Commun.*, 1999, **159**: 84-87
- 4 G. J. Spuhler *et al.*. 27 W passively mode-locked Nd:YAG laser [C]. *IEEE Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, CLEO-Technical Digest*, 2000
- 5 Y. F. Chen *et al.*. Diode-end-pumped passively mode-locked high-power Nd:YVO₄ laser with a relaxed saturable Bragg reflector[J]. *Opt. Lett.*, 2001, **26**(4):199-201
- 6 F. Brunner *et al.*. Widely tunable pulse durations from a passively mode-locked thin-disk Yb:YAG laser[J]. *Opt. Lett.*, 2001, **26**(6): 379-381
- 7 Max Josef Lederer *et al.*. Ion-implanted InGaAs single quantum well semiconductor saturable absorber mirrors for passive mode-locking[J]. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2001, **34**: 2455-2464