

文章编号: 1002-2082(2005)02-0007-03

半导体可饱和吸收镜作为被动调Q吸收体的发展状况

李德刚¹, 王勇刚², 马晓宇², 肖军², 吕卉²

(1. 乌鲁木齐市 69072 部队训练处, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 中国科学院 半导体研究所, 北京 100083)

摘要: 简介了近年来发展起来的若干种新型固体激光器被动调Q用吸收体: 掺Cr⁴⁺系列, Cr, Nd:YAG 自调Q激光晶体, 人眼安全激光器被动调Q用吸收体, GaAs 吸收体, 半导体可饱和吸收镜。着重介绍了固体激光器和光纤激光器调Q用半导体可饱和吸收镜的原理、研制方法及应用状况。

关键词: 半导体可饱和吸收镜; 固体激光器; 调Q用吸收体

中图分类号: TN248.3⁺-1

文献标识码: A

The Development of Semiconductor Saturable Absorption Mirror as Passive Q-switching Absorber

LI De-gang¹, WANG Yong-gang², MA Xiao-yu², XIAO Jun², LV Hui²

(1. Training Department of 69072 Unit, Urumqi 830002 China;

2. Institute of Semiconductors, CAS, Beijing 100083 China)

Abstract: Some types of novel absorbers for solid-state laser passive Q-switching developed in recent years are introduced, such as Cr⁴⁺ doped series, Cr, Nd:YAG self-Q-switching laser crystal, absorbers for passive Q-switching eye-safe lasers, GaAs absorber, semiconductor saturable absorption mirror. The principle, application and exploratory development of semiconductor saturable absorption mirrors for passive Q-switching of solid-state lasers and fiber lasers are emphasized.

Keywords: semiconductor saturable absorption mirror; solid-state laser; Q-switching absorber

1 固体激光器被动调Q现状

脉冲激光伴随着激光的出现而发展起来。现在, 脉冲激光宽度已从纳秒、皮秒拓展到飞秒。经过调Q而产生的重复频率为几到几十千赫兹, 单脉冲宽度为几到几十纳秒的短脉冲激光, 其应用水平一直走在各种脉冲激光的前列。脉冲激光测距是现代战争激光制导中不可缺少的手段, 激光雷达是测量对流层气溶胶和云底高度的最佳设备, 因而研制对人眼安全、小型及无人操作的微脉冲激光雷达已引起国际上的高度重视。因被动调Q使用简单方便且价格低廉, 故而始终是人们追求的目标。长期以来, 染料在调Q激光器中占据着垄断地位。随着使用电

光晶体和声光晶体的主动调Q技术的日益成熟, 作为吸收体的染料由于其容易变质和有毒等缺点, 使用渐少。上个世纪90年代以来, 一系列新型被动调Q吸收体相继出现, 其基本上取代了染料的地位, 并正在努力替代主动调Q技术。

1.1 掺Cr⁴⁺系列与Cr, Nd:YAG自调Q激光晶体
Cr⁴⁺:YAG吸收体的吸收带位于900~1200 nm, 用于Nd:YAG和Yb:YAG等多种激光器的被动调Q。1996年, Robert S. Afzal等人在二极管端面泵浦Nd:YAG激光器上用Cr⁴⁺:YAG实现被动调Q, 单脉冲能量为1.5 mJ, 脉冲宽度为3.9 ns。用Cr⁴⁺:YAG实现被动调Q的同时进行倍频, 获

收稿日期: 2003-08-22; 修回日期: 2004-10-25

作者简介: 李德刚(1967-), 男, 湖北荆门人, 工程师, 主要从事激光加工技术工作。

得了蓝绿光短脉冲。同掺 Cr^{4+} 离子的吸收体一样, Cr, Nd:YAG 的吸收波长范围是 $900\sim 1200\text{ nm}$; 同时, Cr, Nd:YAG 可以作为类似 Nd:YAG 的波长为 $1.064\ \mu\text{m}$ 的激光晶体。这样一来, Cr, Nd:YAG 激光晶体不仅可以进行自调Q, 而且大大简化了调Q光路系统。1993年, Shiqun Li 等人用半导体激光器泵浦 Cr, Nd:YAG 激光晶体, 获得了单脉冲能量为 $3\ \mu\text{J}$, 脉冲宽度为 $30\ \text{ns}$ 的自调Q。P. Wang 等人用 Cr, Nd:YAG 激光晶体实现脉冲宽度为 $290\ \text{ps}$, 单脉冲能量为 $8\ \mu\text{J}$ 的自调Q。

1.2 人眼安全激光器被动调Q用吸收体

由于人眼的前部对于 $0.4\sim 1.4\ \mu\text{m}$ 波段光具有很高的透明度和折射力, 所以这一波段的激光能量到达视网膜并在能量密度达到一定值时会造成人眼暂时甚至永久性损伤。波长大于 $1.4\ \mu\text{m}$ 的光(中红外至远红外)会被人眼的前部(主要是角膜)吸收, 视网膜上光的能量密度极小, 对人眼安全, 其中波长 $1.54\ \mu\text{m}$ 的激光对人眼最为安全。 $1.5\ \mu\text{m}$ 波长有一系列吸收体, 如掺铒系列的晶体 Er^{3+} : phosphate gla-ss, Er^{3+} : borosilicophosphate gla-ss^[8~9], Co^{2+} : YAG, Co^{2+} : $\text{Y}_5\text{Sc}_2\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ 。 SrF_2 和 BaF_2 等吸收体因吸收截面很大, 使用时甚至不需要聚焦。近年来, 出现了 Co:ZnSe 和 Cr:ZnSe 等新吸收体, 吸收带在 $1\ 500\sim 2\ 000\ \text{nm}$, 性能非常好, 并在 Er:glass 上实现了单脉冲能量为 $2.6\ \text{mJ}$ 和脉冲宽度为 $77\ \text{ns}$ 的脉冲序列。

1.3 GaAs 吸收体

GaAs 衬底材料吸收边虽为 $870\ \text{nm}$, 但限于现有的生长技术, 使其内部不可避免地含有 EL_2 缺陷, 易产生双光子吸收, 在 $1\ 100\ \text{nm}$ 波长附近存在非线性吸收, 其吸收带宽不超过 $50\ \text{nm}$ 。上个世纪90年代以来, 国内外相继有人报道用 GaAs 对 Nd:YAG , Yb:YAG ^[12] 和 Nd:YVO_4 等作被动调Q^[1~5]。通常情况下, 由于 GaAs 的吸收带很窄, 因此其线性损耗和非线性损耗无法控制, 且线性损耗很小。 GaAs 被动调Q形成脉冲序列时, 单脉冲宽度常在微秒量级。

2 半导体可饱和吸收镜(SESAM)作为调Q吸收体的发展状况

1992年, U. Keller^[6] 等人在腔内引入反共振

的法布里-珀罗可饱和吸收体(A-FPSA), 又称半导体可饱和吸收镜(SESAM), 实现了脉宽为 $3.3\ \text{ps}$ 的 Nd:YLF 自启动被动锁模, 其泵浦源为钛宝石激光器。早期, SESAM 主要用于固体激光器皮秒量级的被动锁模及固体激光器飞秒量级克尔镜锁模的自启动部件。目前用 SESAM 对固体激光器, 特别是薄片固体激光器进行被动调Q的越来越多。

SESAM 用于固体激光器和光纤激光器被动调Q主要集中在 $1\ 060\ \text{nm}$ 和 $1\ 550\ \text{nm}$ 2个波长, 这是因为这2个波长的固体激光器和光纤激光器比较成熟。此外, 这2个波长也是包括军用测距在内的较为成熟的调Q激光器所采用的波长。根据固体激光器被调Q理论, 调Q脉宽 τ_p 与固体激光器腔长 L , 腔内介质折射率 n , 光速 c 以及被动吸收体的调制深度 ΔR 有关, 其关系如下式所示:

$$\tau_p = \frac{7nL}{c\Delta R}$$

通常 SESAM 的调制深度小于 10% , 如果想要得到脉宽在纳秒附近的调Q脉冲, 就必须使用微片激光晶体及微腔激光器结构。

1998年, R. Fluck^[7] 等人利用 SESAM 对 Er/Yb:glass 微片激光器被动调Q, 实现波长为 $1.535\ \mu\text{m}$, 脉冲宽度 $1.2\ \text{ns}$, 重复频率为 $300\ \text{Hz}\sim 100\ \text{kHz}$, 如图1所示。2001年, R. Haring^[8] 等人利用类似的装置实现了脉冲宽度为 $0.84\ \text{ns}$, 重复频率为 $1\ \text{kHz}$ 的被动调Q。图1为利用 SESAM 进行

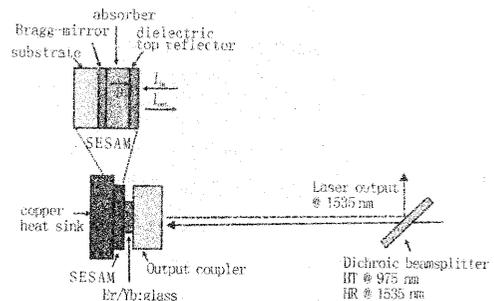


图1 使用 SESAM 的微片 Er/Yb:glass 激光器被动调Q
Fig. 1 Passive Q-switched microchip Er/Yb:glass laser with SESAM

调Q的一种微片 Er/Yb:glass 激光器装置。半导体可饱和吸收镜(SESAM)夹在铜热沉和激光晶体之间。由于 SESAM 的吸收区很薄, 且在它的下面

生长有高反射的布拉格反射区,所以光注入 SESAM 只有几个微米,而微片 Er/Yb:glass 的厚度可以控制在几百微米到几毫米之间。这样一来,腔长便与激光晶体厚度基本相等。图2与图1类似,不同的是激光晶体改变了,同时 SESAM 等元件也需要进行不同波长的相应设计。

在波长 1 060 nm 附近用 SESAM 被动调 Q 进行的工作相对来说较多。图2为用 SESAM 对 Yb:YAG 微片激光器进行被动调 Q 的情况。此外,还有在 1 300 nm^[9]附近的被动调 Q。1997 年,瑞士的 B. braun 和 U. Keller 等人在 Nd:YVO₄ 薄片激光器上用 SESAM 实现被动调 Q,脉冲宽度最短达 56 ps,频率为 27 kHz。1999 年,G. J. Spuhler^[10]等人利用 SESAM 被动调 Q 的 Nd:YVO₄ 薄片激光器获得了迄今为止最短(脉冲宽度为 37 ps)的调 Q 脉冲。

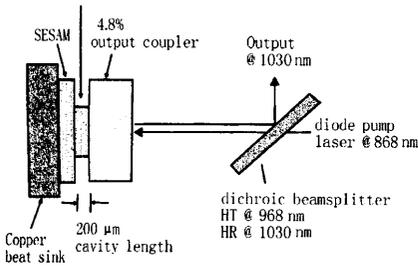


图2 用 SESAM 对 Yb:YAG 微片激光器进行被动调 Q
Fig. 2 Passive Q-switched microchip Yb:YAG laser with SESAM

3 调 Q 用 SESAM 的研制方法

用来调 Q 的 SESAM 结构与用来锁模的 SESAM 类似,不同之处在于采用长腔结构调 Q 光路时,生长调 Q 用长波长 SESAM 的吸收区生长的温度要比锁模用长波长 SESAM 的吸收区生长温度高。调 Q 用长波长 SESAM 的恢复时间一般是几个纳秒,而锁模用 SESAM 的恢复时间一般是几个皮秒。调 Q 用 SESAM 的吸收区厚度一般为几百纳米到几微米,大大超过锁模用 SESAM 的厚度(几十纳米)。图3是反射镜式 SESAM 的生长结构图。

SBR 是交错生长的 AlAs/GaAs 超晶格结构,这种结构便于获得高达 99% 以上的反射率。

SESAM 的非线性损耗、线性损耗、恢复时间和调制深度等参数都可以在生长中得到控制。此外,SESAM 的波长也可以调整,从 500 nm 到几个微米都可以实现,这可以说是未来固体激光器被动调 Q 的希望。

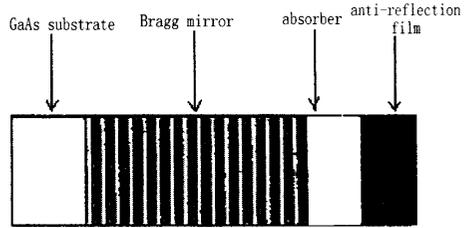


图3 SBR 类型的 SESAM 生长结构

Fig. 3 The growth structure of SBR type of SESAM

4 结论

高性能的纳秒级脉冲激光光源是军用激光的主要发展方向之一。文中简介了近年来固体激光器被动调 Q 吸收体的发展状况,着重介绍了最近出现的调 Q 用半导体可饱和吸收镜的制作方法与应用研究的发展状况。调 Q 用半导体可饱和吸收镜波长可调,恢复时间和调制深度等参数可以在制作过程中加以控制,这是其它吸收体不能比拟的。用这种吸收体实现的调 Q 脉冲宽度最短可达到 37 ps,这是其它吸收体实现被动调 Q 及主动调 Q 从未达到的。

参考文献:

- [1] Shen De yuan, Tang yuan, Kong jian, *et al.* Passively Q-switched Yb:YAG laser with a GaAs output coupler[J]. *Opt Commun*, 2002, 211: 271-273.
- [2] Li ping, Wang qin pu, Gao Da, *et al.* Study of a passively Q-switched Nd:YAG laser with GaAs [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, 22(3): 744-747.
- [3] Gu Jian hui, Zhou Feng, Xie Wenjie, *et al.* Passive Q-switching of a diode-pumped Nd:YAG laser with a GaAs output coupler[J]. *Opt Commun*, 1999, 165: 245-247.
- [4] Kaiava T T, Gaeta Alexander L. Q-Switching of a diode-pumped Nd:YAG laser with ion-implanted GaAs [J]. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2004, 25(2): 148-150.

(下转第 39 页)