

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0047-03

半导体可饱和吸收镜辅助启动克尔透镜锁模的动力学过程*

柴路¹ 王清月¹ 高峰² 赵江山¹ 邢岐荣¹ 张志刚¹

¹ 天津大学精密仪器与光电子工程学院超快激光研究室国家教育部光电子信息技术科学重点实验室, 天津 300072
² 天津大学理学院, 天津 300072

提要 实验研究了带有新型宽带 SESAM 掺钛蓝宝石激光器克尔-透镜锁模的自启动动力学过程; 获得了在阻挡-恢复过程中, SESAM 启动 KLM 较为完整的物理图像, 并对其机理进行了分析和讨论。

关键词 半导体可饱和吸收镜, 自启动动力学, 钛宝石激光器

中图分类号 TN241 文献标识码 A

Dynamics of a Self-Starting Kerr-Lens-Mode-Locking Using a Semiconductor Saturable Absorber Mirror

CHAI Lu¹ WANG Qing-yue¹ GAO Feng² ZHAO Jiang-shan¹
XING Qi-rong¹ ZHANG Zhi-gang¹

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

Abstract The self-starting dynamics of the Kerr-lens mode-locking (KLM) in a Ti:sapphire laser using an intracavity broadband semiconductor saturable absorber mirror (SESAM) was investigated experimentally. The mechanism of the self-starting KLM using a SESAM was investigated and discussed.

Key words semiconductor saturable absorber mirror (SESAM), Self-starting dynamics, Ti:sapphire laser

1 引言

基于啁啾镜(Chirped mirror)色散补偿技术与半导体可饱和吸收镜(semiconductor saturable absorber mirror, SESAM)辅助锁模技术相结合的方法已经成为全固化飞秒激光器的标准化技术^[1,2]。目前 SESAM 的引入主要是为了解决克尔透镜锁模(Kerr-lens mode-locking, KLM)自启动困难的实际问题,而对于该器件自启动 KLM 的机理研究甚少。本文着重实验研究带有新型宽带 SESAM 掺钛蓝宝石激光器自锁模的自启动过程;获得了在阻挡-恢复

过程中, SESAM 启动 KLM 较为完整的物理图像, 并对其机理进行了分析和讨论。

2 实验装置

实验采用钷酸钪倍频激光器抽运的掺钛蓝宝石激光器,其结构为“X”形的五镜腔,如图 1 所示。 M_1 和 M_2 为曲率半径 $R = 75$ mm 的球面反射镜(双色镜);钛宝石晶体长度为 4 mm,布氏角切割的钛宝石晶体放置其间;一对熔石英棱镜(P_1, P_2)用于腔内的色散补偿;腔外的另一对棱镜(P_3, P_4)用于补偿输出镜玻璃对脉冲引入的正啁啾和腔内棱镜对带来的空间啁啾;OC 为 7% 的耦合输出镜; M_3 为一球面反射镜,其作用是增强入射在 SESAM 上的

*教育部高等学校骨干教师资助计划、国家重点基础研究专项经费(G1999075201-2)、天津市自然科学基金(020-413188)资助课题。

功率密度,以使可饱和吸收体饱和。SESAM 采用由镀金膜反射衬底的 InGaAs 和 GaAs 单量子阱构成宽带可饱和吸收镜^[3]。该激光器的稳定运转状态

为:在抽运功率 5W 时,KLM 的平均输出功率为 300 mW,重复率 88 MHz,锁模脉冲宽度为 20 fs~40 fs。

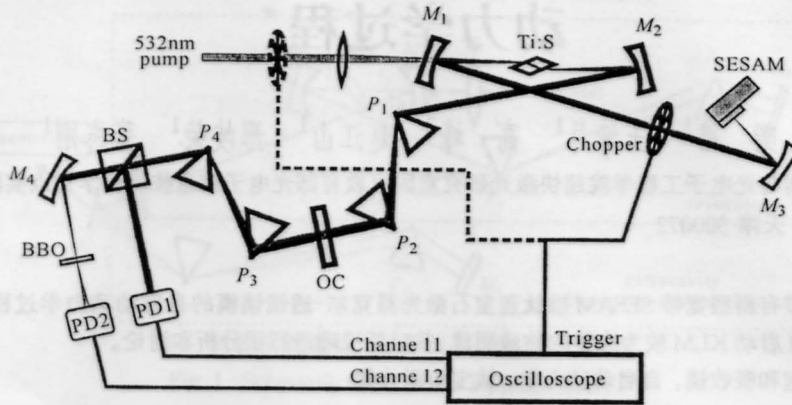


图1 SESAM 辅助自启动 KLM 钛宝石激光器

Fig. 1 A self-starting KLM Ti:sapphire laser using a SESAM

我们在腔内或者在抽运激光束中放置斩波器,实现激光的阻断—开通的周期性变换,用以研究 SESAM 自启动 KLM 的动力学过程。输出的锁模脉冲序列被分成两束:一束直接由快响应光电二极管 (PD₁) 接收,以监视激光器从连续波到自锁模的整个建立过程;另一束则被球面反射镜 M₄ 汇聚到 BBO 晶体上。当 KLM 发生时,在 BBO 晶体中产生二次谐波(SHG)。该信号由另一只快响应光电二极管(PD₂)接收,用以判断 KLM 飞秒脉冲产生时间和建立过程。两路信号同时被输入到一台 400 MHz 的数字存储示波器(Tektronix TDS380)进行监测和记录。

3 实验结果

在 SESAM 辅助锁模的钛宝石激光器内放置斩波器,对 SESAM 启动 KLM 的动力学过程进行实验观测。图 2 表示斩波后,该激光器中 SESAM 启动

KLM 的动力学全过程:图中上面的曲线为基频信号,下面的曲线为 SHG 信号。实验结果表明:SESAM 启动 KLM 的动力学过程可以分为五个阶段:第一阶段为从 cw 状态进入皮秒锁模过程,隐含在图 2 中从 A 点到 B 点的时间内;第二阶段从图 2 中 B 点到 C 点是纯被动锁模皮秒脉冲的压缩过程;第三阶段是被动锁模与 KLM 的竞争过程,见图 2 中的 C 点到 D 点;第四阶段是单一的飞秒 KLM 快速自建立过程;第五阶段为稳定的 KLM 过程;这两个过程可见放大后测量的 SHG 信号(图 3),图中:从 D 点到 E 点的时间为第四阶段,E 点以后为第五阶段。(需要说明的是:该激光器锁模脉冲序列的重复频率为 88 MHz,在图 2,3 中,锁模区域中出现的长周期振幅调制是由于所用 TEX-380 型数字存储示波器的采样间隔远远大于锁模脉冲序列的周期,而带来的显示波形失真,实际上锁模区域应是等幅

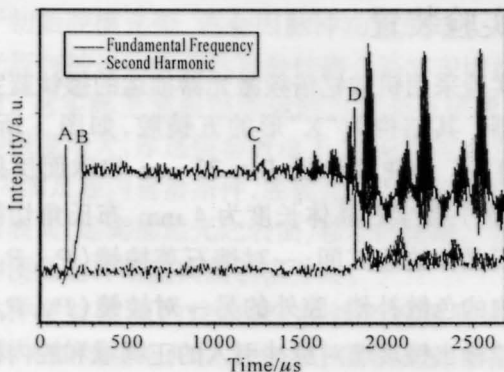


图2 锁模建立的动力学过程

Fig. 2 Dynamics process of mode-locking bildup

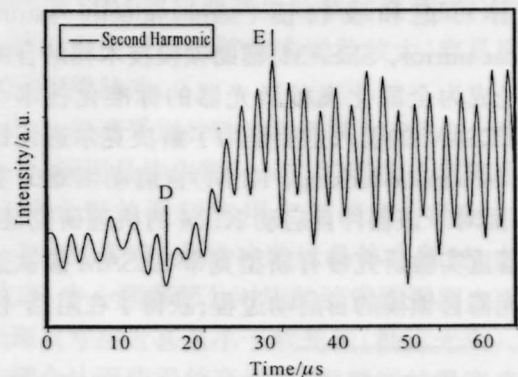


图3 克尔-透镜锁模的建立时间

Fig. 3 Buildup time of the Kerr-lens mode-locking

的亮带。)

实验发现用斩波器阻断—开通抽运激光和阻断—开通腔内激光, SESAM 启动 KLM 的动力学过程是完全相同的。从理论上讲二者仅仅是在恢复时间上有差异, 前者增加了激活介质的建立时间。阻断—开通抽运激光可以等价于开关抽运源, 而这一过程又可用升降抽运功率来等效。因此, 当抽运功率从零逐渐增加时, 激光器呈现出的各种运转状态可以看成是斩波器阻断—开通腔内激光时, SESAM 启动 KLM 的动力学过程的“放慢动作”, 使我们能够定性

地获得整个启动过程的物理图像。当抽运功率从零逐渐增加到 5 W 时, 激光器分别经历了: 连续波、皮秒锁模、皮秒锁模与飞秒自调 Q 自锁模共存(竞争)、飞秒自调 Q 自锁模、飞秒锁模等运转状态, 见图 4 所示。这些状态可以与前面观察的 SESAM 启动 KLM 的动力学过程(图 2、3)对应起来: 图 4(a)能够对应图 2 中的 B-C 段; 图 4(b)、(c)可以对应图 2 中的 C-D 段; 图 4(d)可以表示图 3 中的 D~E 段; 图 4(e)能够表示图 3 中的 E 点以后段。

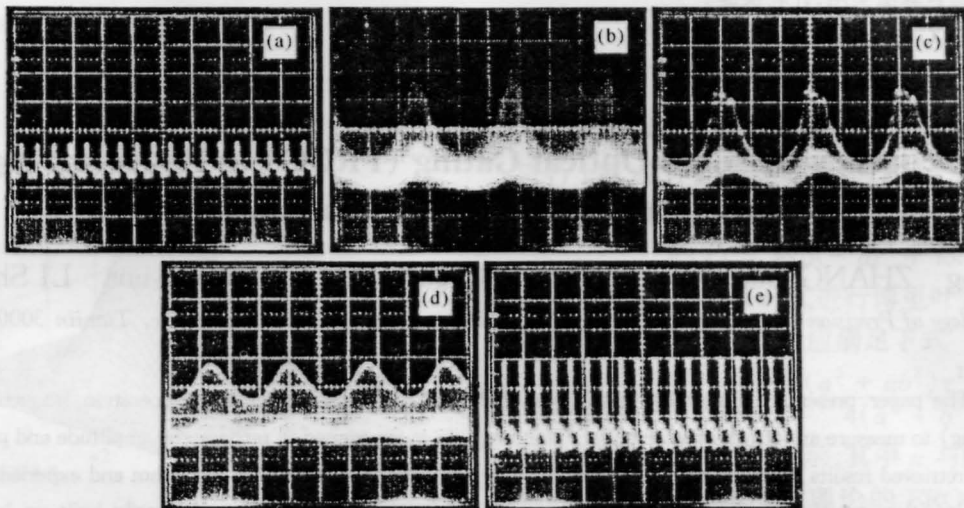


图 4 在抽运功率从 0~5 W 增加时, 激光器经历的运转状态. (a) 皮秒锁模; (b) 皮秒锁模 + 飞秒调 Q; (c) 调制自调 Q 自锁模; (d) 自调 Q 自锁模; (e) 飞秒(KLM)锁模

Fig. 4 Operational states as a function of pump power. (a) ps mode-locking; (b) ps + Q-switch; (c) modulated Q-switch; (d) Q-switch; (e) fs-mode-locking

3 讨 论

我们将 SESAM 启动 KLM 的动力学过程分为五个阶段: 第一个阶段是由于 SESAM 的较低的饱和阈值和相对于皮秒脉冲的快可饱和吸收体的作用, 使得被动锁模在很短时间内建立。第二个阶段是对皮秒脉冲的不断放大和压缩过程, 使之成为启动 KLM 的种子脉冲。这两个阶段主要是由 SESAM 本身的非线性光学效应造成的。后三个阶段: 一个是 KLM(临界时为自调 Q 自锁模)和可饱和吸收体被动锁模同时共存与竞争, 并随着脉冲变窄 KLM 逐渐取得支配地位的过程; 另两个是完全 KLM 过程。这两个阶段主要是增益介质中非线性效应(自聚焦)和腔内的软光阑(抽运光束的包络)形成的等价的快可饱和吸收体对脉冲的压缩过程, 使其由第二阶段提供的种子脉冲很快压缩至飞秒量

级, 并与色散效应和其他非线性效应实现平衡, 达到最窄脉冲宽度。在这一动力学过程中, 主要靠增益介质中的自相位调制和激光腔内色散效应的平衡完成。此时 SESAM 的启动作用已经完成, 而其饱和作用仅对飞秒脉冲有稳定作用。

参 考 文 献

- 1 D. H. Sutter, G. Steinmeyer, L. Gallmann *et al.*. Semiconductor saturable-absorber mirror-assisted Kerr-lens mode-locked Ti:sapphire laser producing pulses in the two-cycle regime. *Opt. Lett.*, 1999, 24(9):631~633
- 2 G. Steinmeyer, D. H. Sutter, L. Gallmann *et al.*. Frontiers in ultrashort pulse generation: pushing the limits in linear and nonlinear optics. *Science*, 1999, 286(11):1507~1512
- 3 Z. Zhang, T. Nakagawa, K. Torizuka *et al.*. Gold-reflector-based semiconductor saturable absorber mirror for femtosecond mode-locked Cr^{3+} :YAG lasers. *Appl. Phys. B*, 2000, 70(Suppl.):S59~S62