

多模光纤复合腔 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP 激光器 产生 ps 超短光脉冲

谢黄海 张位在 张连英 方祖捷
(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 本文报道采用多模光纤外腔形式, 从 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP 激光器中产生重复频率为 1GHz 的 1.81ps 超短光脉冲的实验结果, 并对实验结果进行了讨论。

关键词: 超短光脉冲, 半导体激光

Picosecond optical pulse generation from a $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP laser with a multimode fiber extended resonator

Xie Huanghai, Zhang Weizai, Zhang Lianying, Fang Zujie
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: 18.1ps optical pulses were obtained from a $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP laser at 1 GHz repetition rate by a multimode fiber extended resonator and the experimental results are discussed.

Key words: ultrashort optical pulse, semiconductor laser

从半导体激光器中获得 ps 超短光脉冲, 已有许多方法, 主动锁模是其中的一种。半导体激光器主动锁模技术就是当调制重复频率与半导体激光器的谐振腔共振频率相一致时, 它就会发射出重复频率相同而位相锁定的等幅光脉冲。由于半导体激光器腔长一般为 $250\mu\text{m}$ 左右, 它的共振频率为 150GHz, 但一般用来驱动激光器的信号源的频率只有几 GHz, 为了使半导体激光器的共振频率与驱动信号的重复频率一致, 半导体激光器的谐振腔长度必须增加, 一般采用复合腔形式, 其中有球形反射镜外腔^[1]、透镜加平面反射镜外腔^[2]、自聚焦透镜外腔^[3]及光纤外腔等。本文主要报道采用多模梯度型光纤复合腔形式, 从 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP 激光器中产生重复频率为 1GHz 的 18.1ps 超短光脉冲的实验结果。

一、器件结构

图 1 为多模梯度型光纤复合腔半导体激光器的结构示意图。半导体增益介质是我们自制的

1.3 μm InGaAsP 双沟平面埋藏双异质结激光器的芯片,它具有宽的调制带宽,激光器芯片一端面镀有 ZrO_2 的 1.3 μm 增透膜,另一端面不镀任何介质层,为自然解理面。

谐振腔为一段多模梯度型石英光纤,纤芯为 50 μm ,外径为 125 μm ,数值孔径 N_A 为 0.2。在 1.3 μm 波长处材料色散为零,光纤长度为 10.2cm,为了使光纤和增益介质之间有一个高的光耦合效率,我们采用光纤拉锥、腐蚀和电弧熔融技术,形成一个半球锥形光纤透镜,它们之间的耦合效率大于 50%。光纤另一端为普通光纤连接器的一个插头,插头端面蒸镀一层金膜,以提供近 100% 的高反射率膜。

1.3 μm InGaAsP 激光器芯片装在一个特殊的热沉上,其中一端面尽可能靠近热沉的边缘,在这一端面蒸镀一层 ZrO_2 的增透膜,然后将其固定在一个高频微带板上。光耦合是激光器镀有增透膜的一端和光纤之间进行。激光器另一端用 Ge 探测器监视,调整光纤和激光器之间相对位置,当调整到复合腔激光器的阈值电流为最低时,固定它们的位置,然后将它们装配成一个完整的多模光纤复合腔半导体激光器,这种形式的复合腔激光器具有结构紧凑,使用方便的特点。

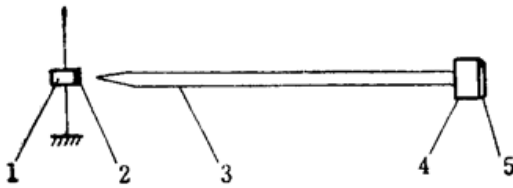


Fig. 1 Schematic diagram of the multimode fiber extended cavity laser

1—1.3 μm InGaAsP laser; 2— ZrO_2 AR coating;
3—multimode fiber; 4—output connector; 5—gold coating

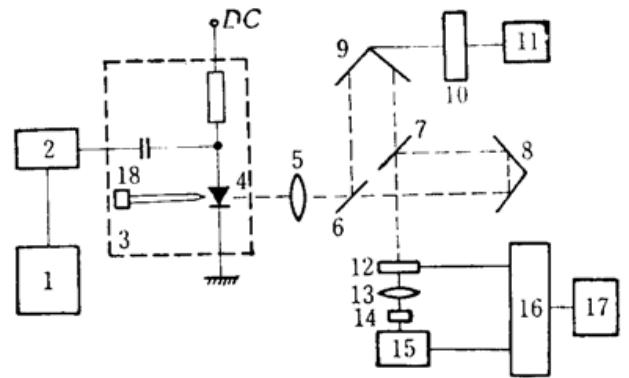


Fig. 2 Experimental arrangement

1—rf signal source; 2—comb generator;
3—microstrip line; 4—1.3 μm InGaAsP laser; 5—collimating lens; 6, 7—beam splitters; 8, 9—corner reflectors; 10—translator; 11—step motor; 12—chopper; 13—focusing lens; 14— LiIO_3 crystal; 15—photomultiplier; 16—lock-in amplifier; 17—recorder; 18—multimode fiber extended cavity

二、实验系统

本文采用的实验装置和文献[4]相同,图2是它的结构示意图。用 XB-10A 型标准信号源,驱动一个国产的梳状波发生器,获得脉宽为 200 ps 的窄脉冲,其重复频率调整范围为 0.9~1.3GHz。在 50 Ω 负载上,输出电压为 8V,射频信号电流和直流偏置电流通过一个高频微

带直接驱动多模光纤复合腔半导体激光器。

多模光纤复合腔半导体激光器的光输出,通过我们自制对光系统调整,将它直接聚焦到一个由中国科学院北京半导所研制的 Ge-APD 高速光电二极管,该探测器的上升时间为 150ps 。输出信号直接用上海无线电二十一厂生产的 SQ-20 型取样示波器观察,仔细调整信号发生器的频率,可以发现调到某一频率时,光波形突然变窄,信号增强,这时我们认为出现锁模现象,这一频率就是半导体激光器复合谐振腔的共振频率 $f_r = 2nL/c$, 其中 L 是复合腔激光器的腔长, c 是真空中光速, n 为光纤折射率。然后用图 2 所示的二次谐波自相关系统测量,激光输出经一个准直透镜 ($\times 40$, $N_A = 0.65$), 使激光束成为平行光束,送入自相关测量系统,自相关系统的输出由 GDB-423 型光电倍增管接收,再经锁相放大器放大,然后用 XY 函数记录仪记录。

三、实验结果

图 3 为多模光纤复合腔半导体激光器的光功率-电流曲线,给出了原始激光器、镀增透膜后及多模光纤复合腔的三条曲线。从中可看出器件的增透膜的厚度还不是最佳厚度,估计大约还有 3% 的剩余反射率,因此镀了增透膜之后,器件仍然受激。但它的阈值电流明显增加,从原来的 65mA 上升到 85mA 。也可以看出,有多模光纤外腔之后,它的阈值电流减少到 52mA ,说明光纤复合腔的作用是明显的,增益介质与光纤之间的光耦合情况也是良好的。

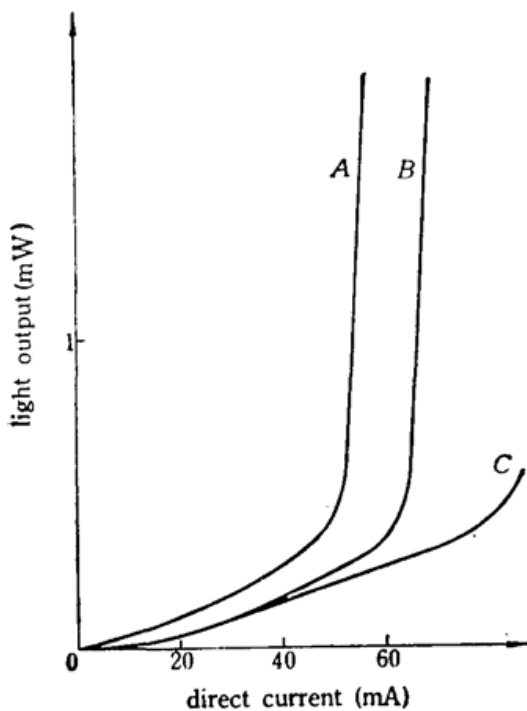


Fig. 3 $L-I$ curve for the multimode fiber extended cavity laser

A—multimode fiber extended cavity; B—original laser;
C—after AR coating

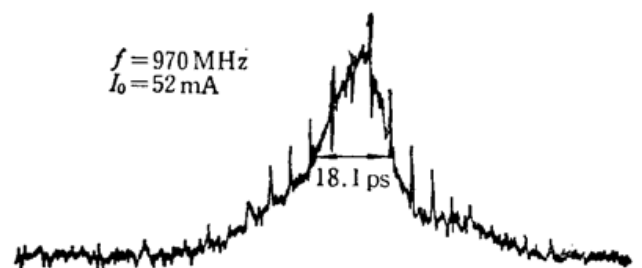


Fig. 4 Second harmonic autocorrelation trace of the multimode fiber extended cavity laser at $f_0 = 970\text{ MHz}$, $I_{th} = 52\text{ mA}$

图 4 为多模光纤复合腔半导体激光器, 偏置电流为 52 mA, 脉冲电流约为 130 mA, 在共振频率 970 MHz 时, 测得最窄的光脉冲的自相关曲线, 按高斯曲线型计算, 相关函数因子 $\sqrt{2}$ 修正, 得到最大值半功率点的宽度为 18.1 ps, 从自相关曲线中可以看到有明显的亚结构, 其间隔为 6.4 ps, 这是该器件增透膜不是最理想, 尚有剩余反射率所引起的; 也可看到光的自相关曲线形状稍有点不对称, 这是由于锁模尚不稳定所引起的, 这些都需今后进一步研究。

为了比较, 在实验前也记录了没有镀增透膜, 也不加外腔的原始的激光器在 970 MHz 频率下的自相关曲线, 如图 5 所示。图中曲线的激光器偏置电流为 65 mA (是原始半导体激光器的阈值电流值), 它的光脉冲宽度为 42.3 ps。这表明, 加了外腔之后, 实现了锁模, 光脉冲的宽度可以压缩一半左右。

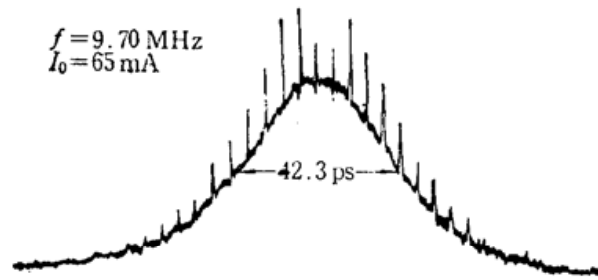


Fig. 5 Second harmonic autocorrelation trace of the original laser at $f_0 = 970 \text{ MHz}$, $I_0 = 65 \text{ mA}$

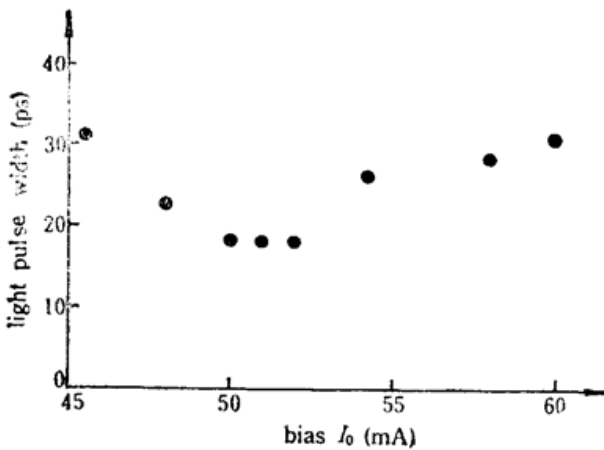


Fig. 6 Pulse widths VS bias of the multimode fiber extended cavity laser at $f_0 = 970 \text{ MHz}$

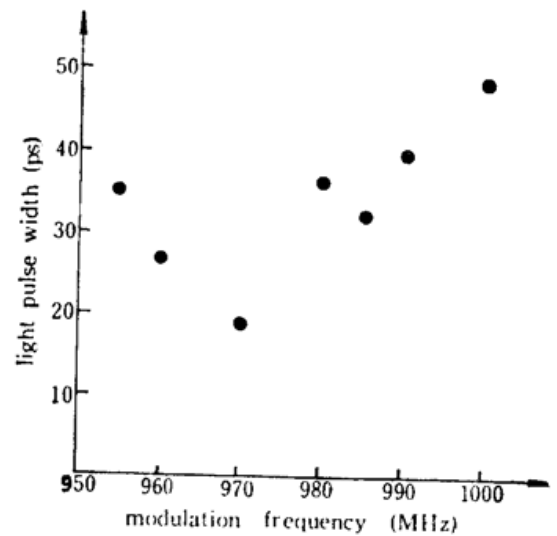


Fig. 7 Pulse width VS modulation frequency of the multimode fiber extended cavity laser at $I_{th} = 52 \text{ mA}$

我们还测定了在共振频率下该器件的光脉冲宽度随信号峰值电流大小的变化, 实验发现, 光脉冲宽度随信号峰值电流大小变化很小。还测定了该器件的光脉冲宽度与器件的直流偏置电流的关系。其实验结果如图 6 所示。从中可看出, 当偏置电流稍低于阈值电流时, 光脉冲宽度为最短。

测定的光脉冲宽度随信号重复频率变化曲线示于图 7。发现光脉冲宽度对频率变化非常

灵敏。不但光脉宽发生变化,而且光脉冲幅度也有很大变化,同时,实验还发现,在共振频率时,激光器的阈值下降 1~2 mA 左右。

四、讨 论

根据半导体激光器外腔主动锁模的理论^[5],一个单光脉冲在腔内循环运行,每通过一次增益介质,此光脉冲就被增益介质放大一次,整形一次。这个光脉冲的宽度压缩的程度依赖于增益介质增益的瞬态过程和谐振腔内的色散程度。而光的放大程度也依赖于增益介质的增益和整个系统的光损耗。

一般来说,增益介质的增益随时间变化与驱动电流的波动相同,即与调制信号的电脉冲相同。实验中采用了一个国产的梳状波发生器,把原来的高频正弦信号压缩为窄的尖脉冲,有一个足够陡的时间上沿和后沿。从而使增益-时间曲线变陡,有利于光脉冲在腔内运行时整形,使得光脉冲被压缩。

谐振腔内的色散是影响光脉冲宽度压缩的一个主要因素。而腔内的色散主要来自增益介质的色散和多模光纤的模间色散。减少增益介质的长度,即采用短腔半导体激光器作为增益介质,有利于光脉冲宽度压缩。但增益介质也不能太短,太短了,系统的总增益要下降,使激光器阈值上升。采用单模光纤替代多模光纤作为导波介质,也有利于光脉冲宽度的压缩。

如果在复合腔内只有一个波长的光在运行,这样色散就不存在。所以要减少色散的影响,另一个途径是复合腔激光器要在单纵模下运行,实际上要求动态单纵模运行。而半导体激光器动态单纵模工作是目前一个重要课题,正在研究之中,一时尚不能完全解决。另一个简单有效方法是在腔内放置一个标准具或窄带的滤光片,它起着选模作用,限制在腔内只有 1~2 个纵模运行。采用这种方法收到了明显的效果^[2],它可以使光脉冲宽度从 22 ps 压缩到 7 ps。

挑选量子效率高的原始激光器作为增益介质,在介质另一端镀上高反射膜,提高光纤和增益介质之间的耦合效率,这些措施都是有利于缩短增益介质,对压缩光脉冲宽度都是有利的。

本文报道的多模光纤复合腔激光器产生的 ps 超短光脉冲,已经用于武汉电信器件公司研制的 InGaAs *p-i-n* 光电二极管的响应时间测量。

作者感谢上海光机所李庆国同志为本文器件蒸镀 ZrO_2 增透膜。

参 考 文 献

- 1 L.A. Glasser, *Electr. Lett.*, **14**, 725(1978)
- 2 L. Figueroa, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-17**, 1074~1085(1981)
- 3 T. F. Dimmick, P. T. Ho, *Electr. Lett.*, **20**, 831~833(1984)
- 4 张位在 *et al.*, 中国激光增刊-激光器件专集, **17**, 80(1990)
- 5 G. Eisentein, R.S. Tucker *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*; **QE-22**, 142~148(1986)
- 6 M.Serenyi, J. Kuhl *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **50**, 1213~1215(1987)