

产生皮秒光脉冲的 $1.5 \mu\text{m}$ InGaAsP 锁模激光器

谢黄海 张位在 张莲英 方祖捷

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 本文描述了产生皮秒光脉冲的 $1.5 \mu\text{m}$ InGaAsP 锁模激光器的结构与制备, 详细地叙述了该器件在连续和锁模时的一些激光特性。在重复频率为 960 MHz 下, 该激光器可产生脉宽为 18.8 ps 的超短光脉冲。

关键词 超短光脉冲, 半导体激光

A $1.5 \mu\text{m}$ InGaAsP mode-locked laser emitting ps light pulse

Xie Huanghai, Zhang Weizai, Zhang Liangying, Fang Zujie

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract Structure and fabrication of $1.5 \mu\text{m}$ InGaAsP mode-locked laser are described. Emphasis is placed on its characteristics under CW and mode-locking conditions. 18.8 ps ultrashort light pulse are obtained at 960 MHz.

Key words ultrashort light pulse, semiconductor laser

超短光脉冲的半导体激光器的一个主要应用是作为高速光纤通信的光源, 因此引起国内外广泛的重视^[1]。锁模半导体激光器的研究国内也有不少报道^[2,3], 由于光纤在 $1.5 \mu\text{m}$ 波段的光损耗要比 $1.3 \mu\text{m}$ 波段低得多, 因此我们把 $1.3 \mu\text{m}$ InGaAsP 激光器锁模技术直接用到 $1.5 \mu\text{m}$ InGaAsP 激光器上, 得到了 18.8 ps 的超短光脉冲输出。

1 器件结构

$1.5 \mu\text{m}$ 多模光纤外腔的 InGaAsP 锁模激光器结构如图 1 所示。 $1.5 \mu\text{m}$ InGaAsP 激光器为双沟平面埋藏结构单横模双异质结构, 激光器一端镀 ZrO_2 的 $1.5 \mu\text{m}$ 波段的增透膜, 另一端仍然为自然解理面。

多模光纤外腔为一段多模梯度型标准石英通信光纤, 纤芯直径为 $50 \mu\text{m}$, 光纤外径为 125

μm , 数值孔径为 0.2, 光纤长度为 10.4 cm。光纤与激光器的光耦合仍采用半球锥光纤透镜, 它们之间的耦合效率大于 50%。光纤另一端镀金膜, 作为激光器谐振腔的反射镜。

2 器件特性

2.1 静态特性

2.1.1 光功率—电流特性

它的 $L-I$ 特性如图 2 所示, 为了比较, 同时给出了没有光纤外腔时的 $L-I$ 特性。图中, A 为有外腔, B 为原始激光器, C 为蒸镀增透膜。从特性曲线可以看出, 增透膜 ZrO_2 的厚度控制得不够理想, 管芯仍有受激, 其阈值电流为 82 mA。但有了光纤外腔之后, 阈值电流下降, 为 55 mA, 而该原始激光器阈值电流为 60 mA。从曲线斜率可以看出, 有了光纤外腔, 它的微分量子效率提高了 60% 左右。外腔的效果主要依赖于半导体激光器与多模光纤之间光波耦合程度, 耦合得越好, 这个效果越明显。

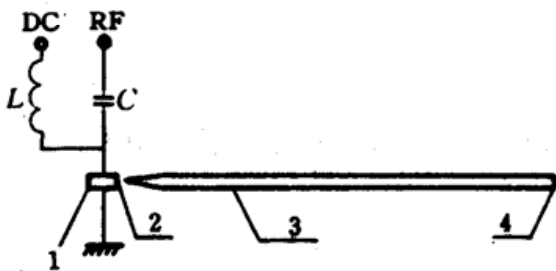


Fig. 1 Mode-locked laser with an external cavity
1— $1.5 \mu\text{m}$ InGaAsP LD; 2— ZrO_2 AR coating;
3—multimode fiber; 4—gold HR coating

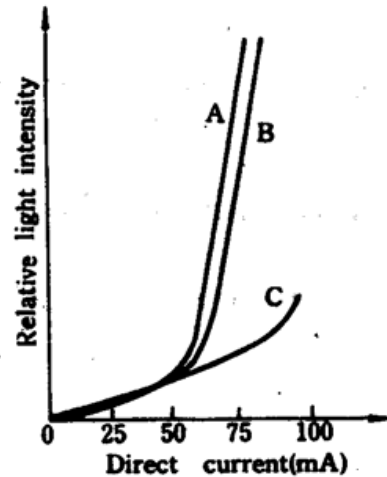


Fig. 2 Output power versus current characteristics

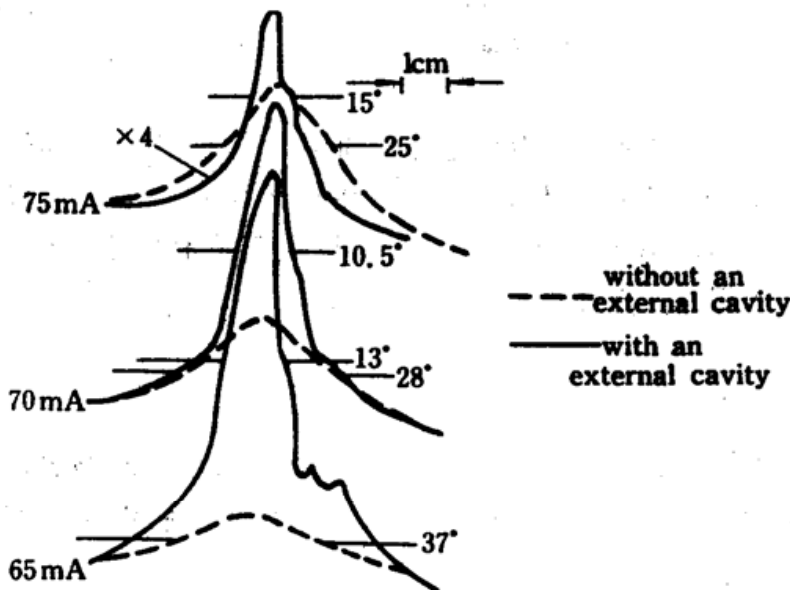


Fig. 3 Far-field pattern perpendicular to the junction plane
— without an external cavity; --- with an external cavity

2.1.2 方向性

半导体激光器的光束发散与结平面方向有关。一般来说, 垂直结平面方向要比平行结平面要大。图 3 示出了有无外腔时, 在不同驱动电流下, 垂直结平面方向的光空间分布。激光器与探测器相距为 6 cm, 探测器为锗光电二极管。在通光口上加一个狭缝为 0.2 mm 的光阑, 探测器由步进马达带动作平移运动。由 $x-y$ 函数记录仪记录, 其半功率点发散角根据几何三角关系可计算得到。无外腔, 驱动电流(直流)为

65,70,75 mA 时,发散角分别为 37°,28°,25°。在同样的驱动电流下,有外腔时,则分别为:13°,10.5°,15°。有了外腔之后,由于谐振腔的长度增加,激光器的方向性得到了明显的改善。

2.1.3 光谱

图 4 示出了有无外腔时,在直流驱动电流 1.1 I_a 下的激光光谱(此处无外腔激光器指端面已镀 ZrO₂ 增透膜)。光谱是用 WDG-30 型单色仪测量(光栅闪耀波长为 2 μm)。从图中两种情况明显地看到,加外腔后,光谱的纵膜数减少,光谱半宽减少。

2.2 锁模特性

结型半导体激光器,由于腔长只有 250~300 μm 左右,根据 $f_0 = 2nL/c_0$ 计算,式中 f_0 为激光器的共振频率, L 为腔长, n 为谐振腔介质的折射率, c_0 为真空中光束。它的共振频率 f_0 可达 150 GHz。目前要实现这样高的调制频率,还有相当大的困难。加大激光器谐振腔的长度,可降低它的固有共振频率。我们采用长 10.4 cm 的多模光纤作为外腔,它的 f_0 大约在 1 GHz 左右。

2.2.1 锁模频率

锁模激光器的一个特点是当外加驱动电流的重复频率等于激光器的固有共振频率时,激光器的输出光功率为最大,此时的重复频率即是多模光纤外腔激光器的锁模频率。

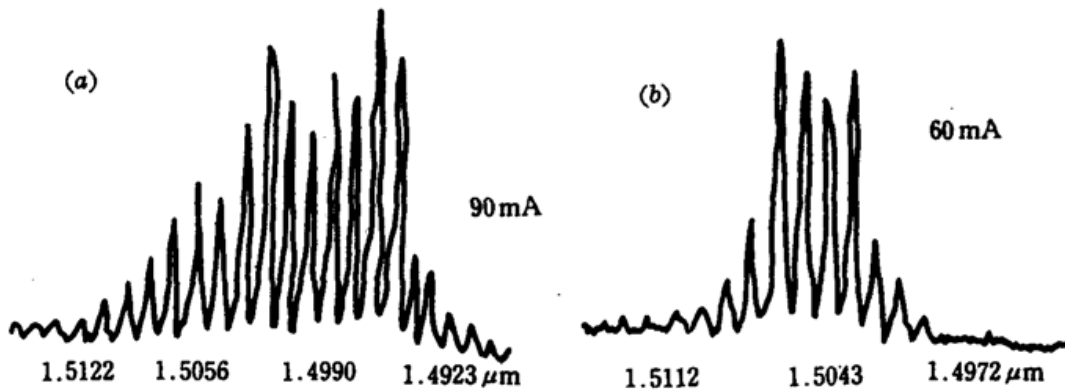


Fig. 4

(a) Optical spectrum of the laser without an external cavity (b) Optical spectrum of the laser with an external cavity

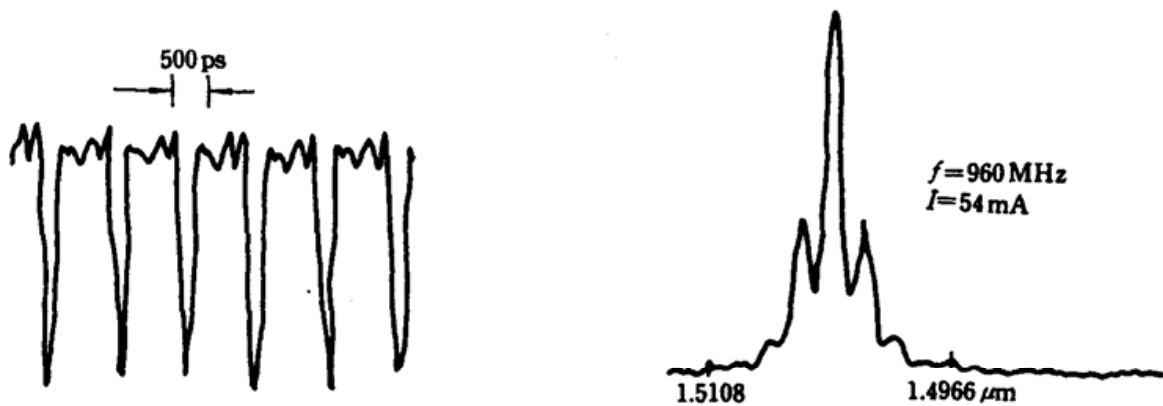


Fig. 5 Mode-locked pulse train at 960 MHz

Fig. 6 Optical spectrum of the mode-locked laser

我们用 XB-10A 型标准信号源,驱动一个国产的梳状波发生器,得到脉宽为 200 ps 的窄系

列电脉冲,信号源的频率范围为 0.9~1.3 GHz,射频信号和偏置电流直接通过一个高频微带电路直接驱动多模光纤外腔半导体激光器,激光器的一端用锗雪崩高速光电二极管接收,光电二极管的上升时间为 150 ps,输出信号直接用 SQ-20 型取样示波器观察,仔细调整信号发生器的频率,调到某一频率时,光波形的信号突然变大变窄,然后再微调频率,使其光波形的信号调到最大最窄,这时我们认为激光器出现了锁模现象,图 5 是该激光器出现锁模时的光波形,锁模频率为 960 MHz。

2.2.2 锁模光谱

图 6 记录了锁模频率为 960 MHz 时的光谱。偏置电流为 54 mA。可以看到锁模时,光谱纵模的数目明显地减少,只有一个主峰,在主峰两边各有一个小峰,是因为增透膜尚有百分之几的剩余反射率所致,尚未达到完全锁模。另外,光谱的线宽有所展宽。

2.2.3 锁模时的光脉冲宽度

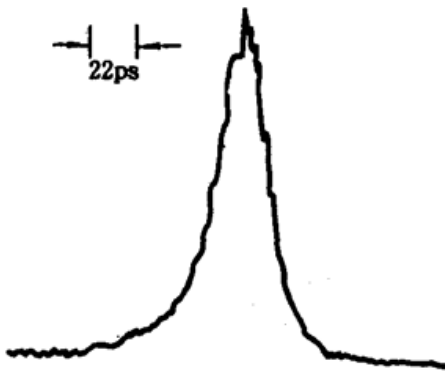


Fig. 7 SHG auto correlation function of a mode-locked pulse at 960 MHz

测量方法与文献[3]一样,是我们自制的二次谐波自相关系统测得的,在直流偏置电流为 54 mA,频率为 960 MHz 下,测得的最窄的光脉冲自相关曲线如图 7 所示,按高斯曲线型计算,用相关函数因子 $\sqrt{2}$ 修正,得到最大值半功率点的宽度为 18.8 ps.

2.2.4 锁模光功率

锁模光功率实际上是脉冲光功率,我们从测定的平均光功率,计算得到锁模光功率。当直流偏置电流为 54 mA,在频率 960 MHz 下,测得光平均功率为 3.3 mW,根据光脉冲宽度和重复频率,则可计算出它的锁模峰值光功率为 167 mW。

参 考 文 献

- 1 G. Eisentein *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-22**, 142(1986)
- 2 余尽 *et al.*, *中国激光*, **17**(11), 650(1990)
- 3 谢黄海 *et al.*, *中国激光*, **19**(1), 11(1991)