

# 单模光纤相位光栅外腔主动 锁模半导体激光器\*

张位在 丁 浩 赵 浩 方祖捷

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

**摘 要** 报道用单模光纤光折变相位光栅作外腔的主动锁模半导体激光器, 产生  $1.53 \mu\text{m}$ 、 $1.065 \text{ GHz}$ 、 $15 \text{ ps}$  的近变换限超短光脉冲。

**关键词** 光纤光栅, 锁模。

对光孤子通信关键的光孤子源, 国内外已进行大量的研究工作, 多数采用增益开关的分布反馈半导体激光器, 加上法布里-珀罗滤波器得到变换限高斯脉冲, 并通过在一段光纤中传输演化为双曲正割波形的光孤子。这些光孤子源系统复杂, 使用不便, 稳定性和可靠性不能满足实用要求。另一种方案是锁模半导体激光加上脉冲整形。

随着光时延技术的发展, 四波混频等非线性技术的引入, 锁模激光器在高速通信的作用已显示出来。在半导体激光锁模技术中, 单片集成是人们向往的一种光源, 但是, 在工艺技术上还有难点要克服, 半导体材料的光学性能稳定性和重复性也并不理想。而采用常规光学元件构成的锁模激光器又有结构复杂、稳定性差、成本高等缺点, 因此人们把注意力集中在混合的集成光学系统上, 比如, 半导体管芯与光波导的集成、半导体管芯与光纤的集成等。

自从光纤光栅问世以来, 由于其具有高的窄带反射率, 制备过程性能可控, 重复性好, 可以设计制备啁啾光栅等优异性能, 构成集成系统后稳定可靠。尤其是它直接以光纤方式输出, 容易与光纤系统连接, 因此, 被认为是锁模激光器的一个很好方案<sup>[1]</sup>。本文报道用自行研制的光纤光栅制作的外腔主动锁模半导体激光器的实验研究结果。

利用  $9 \mu\text{m}$  芯径的单模通信光纤, 在室温、高压氢气中处理数周, 使纤芯中的氢溶解度达到饱和, 具有足够的光敏性。然后用工作波长为  $193 \text{ nm}$  的 ArF 准分子激光, 写入长度约  $5 \text{ mm}$  的光栅<sup>[2, 3]</sup>。

图 1(a) 和图 1(b) 分别为本实验用的光纤光栅透射谱和反射谱, 透射谱中出现的第二个峰可能是光纤的辐射模损耗\*\*。本文研制的光栅反射率可大于  $90\%$ , 带宽也可达到  $0.2 \text{ nm}$ , 但是, 为了获得较大的光功率输出, 实验所选择光栅反射率为  $0.7$ , 中心波长为  $1532.4 \text{ nm}$ ,

\* 国家自然科学基金资助项目。

\*\* 其曲线是由香港中文大学协助测量。

收稿日期: 1996 年 6 月 26 日; 收到修改稿日期: 1996 年 9 月 20 日

光谱的半高全宽为 0.6 nm。

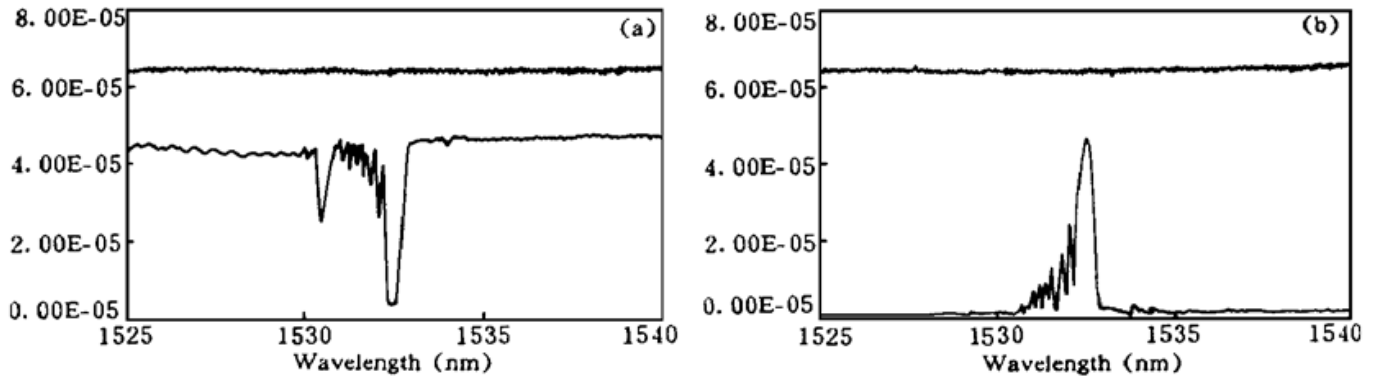


Fig. 1 (a) Transmission spectrum of fiber grating; (b) Reflection spectrum of fiber grating

图 2 为锁模半导体激光器方框图, 由 XB10A 射频信号发生器提供的射频信号和直流偏置通过  $50 \Omega$  微带匹配网络加到涂过增透膜的双沟掩埋平面波导(DCPBH) 结构 InGaAsP 激光器上, 涂层的剩余反射率为  $2.4 \times 10^{-4}$ , 外腔的光纤长度约为 9.5 cm, 复合腔往返一周时间  $T = 2n L_{eff}/c$ ,  $n$  为光纤折射率,  $c$  为光速,  $L_{eff}$  为外腔的有效长度, 相当于基频谐振频率 1.065 GHz。根据激光器的光谱和光栅的响应波长, 仔细地调整信号源的重复频率和控温仪的温度, 当温度为  $23.4^\circ\text{C}$ , 频率为基频及二倍时达到锁模, 这时光功率达到最大, 阈值明显降低。由于光纤光栅本身的温度特性较好, 稍有温度起伏, 对锁模效果影响很小, 温度控制主要是半导体激光器工作状态所必需的。它比采用滤波器和玻璃上刻的光栅选模好得多。

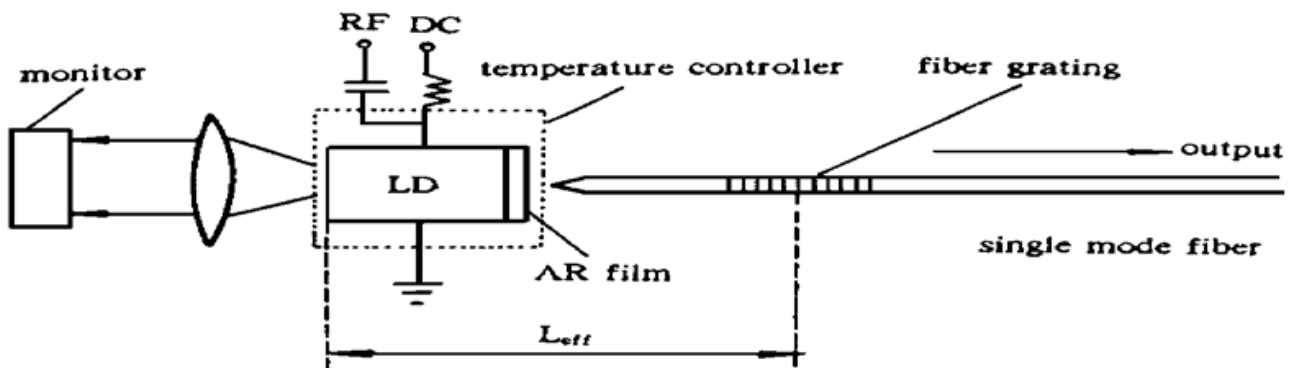


Fig. 2 Schematic diagram of the external cavity semiconductor laser

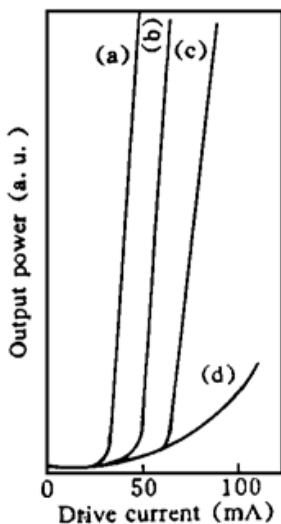


Fig. 3 Output power versus current characteristics

图 3(a) 为原来激光器, (d) 为涂增透膜后激光器, (c) 为复合腔激光器及(b) 为锁模激光器的光功率-电流特性曲线, 锁模时阈值为 53 mA, 静态时为 65 mA, 复合腔激光器的阈值比原来芯片阈值高是由于光纤与激光器耦合效率低、复合腔损耗较大造成的。若能进一步提高光纤与激光器的耦合效率, 复合腔激光器阈值就可以更低<sup>[5]</sup>。

图 4(a) 为原来激光器直流光谱, (b) 为涂增透膜后的荧光谱和 (c) 为基频锁模时光纤输出端的动态平均光谱, 带宽为 0.19 nm, 相当于线宽为  $24.2 \text{ GHz}$ <sup>[4]</sup>。

图 5 为锁模激光器的光脉冲二次谐波(SHG) 自相关强度曲线, 其宽度为 24 ps, 脉冲形状按双曲正割形计算为 15 ps, 时间带宽乘积为 0.36, 接近于变换限脉冲。光纤端平均光功率输出为 0.7 mW。脉冲重复频率为 1.065 GHz。

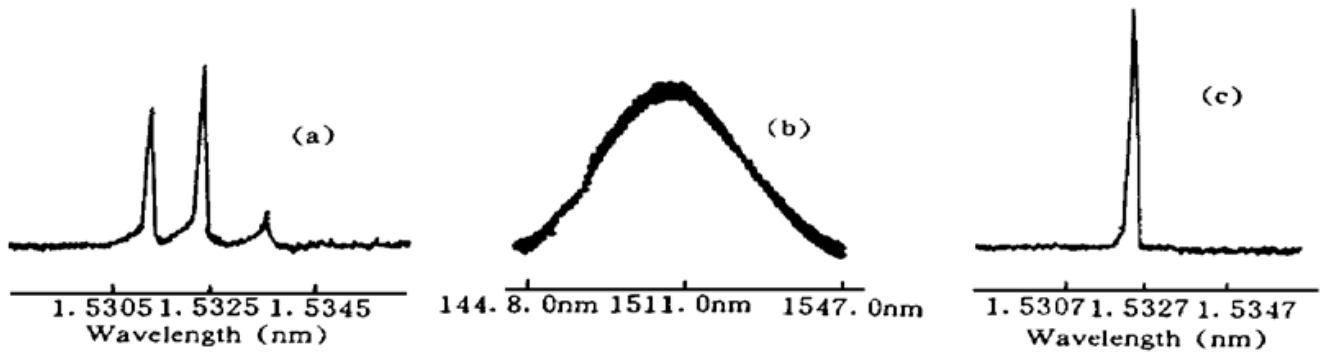


Fig. 4 (a) CW optical spectrum of the original laser chip; (b) Optical spectrum of the AR-coated chip; (c) Average optical spectrum of the mode-locked pulse train

如果进一步缩短光纤长度和减小光栅的带宽, 就可以提高锁模光脉冲频率和器件的调制频率。这样, 它就好比增益开关的分布反馈激光器和反射镜外腔的锁模半导体激光器好。

光纤外腔空间稳定性、频率稳定性和温度稳定性都比较好, 且易于与通信系统的光纤连结。因此, 单模光纤光折变相位光栅外腔锁模激光器是一种很好的光源。本文报道的实验结果是初步的, 关于光纤光栅外腔激光器特性的理论分析和实验研究将另文报道。

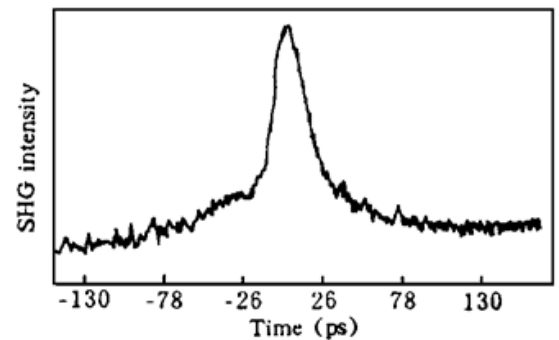


Fig. 5 Autocorrelation trace of a mode-locked pulse for a sinusoidal drive signal at 1.065 GHz

### 参 考 文 献

- [1] P. A. Morton, S. G. Kosinski, L. F. Mollenause *et al.*, Hybrid soliton pulse source with fibre external cavity and Bragg reflector. *Election. Lett.*, 1992, **28**(6): 561~ 562
- [2] K. O. Hill, Y. Fuji, D. C. Johnson *et al.*, Photosensitivity in optical fiber waveguides: application to reflection filter fabrication. *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **32**(10): 647~ 649
- [3] 赵 浩, 丁 浩, 方祖捷等, 载氢光纤光致折变布拉格光栅. *光学学报*, 1996, **16**(4): 575~ 576
- [4] 谢黄海, 张位在, 方祖捷等, 产生皮秒光脉冲的 1.5  $\mu\text{m}$  InGaAsP 锁模激光器. *中国激光*, 1993, **20**(4): 81~ 84
- [5] Gadi Elsenstein, S. Tucker, U. Koren *et al.*, Active mode-locking characteristics of InGaAsP single mode fiber composite cavity lasers. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1986, **QE-22**(1): 142~ 147

## An Active Mode-Locked Semiconductor Laser with a Single-Mode Fiber Phase-Grating External Cavity

Zhang Weizai    Ding Hao    Zhao Hao    Fang Zujie

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 26 June 1996; revised 20 September 1996)

**Abstract** An active mode-locked semiconductor laser with a single-mode fiber photo-induced refractive phase-grating external cavity is described. Near transform-limited ultra-short optical pulses with pulse width of 15 ps, repetition rate of 1.065 GHz, and wavelength of 1.53  $\mu\text{m}$  were obtained.

**Key words** fiber grating, mode-locked laser.