

1.52 μm , 60 kHz 线宽光纤布拉格 反射镜外腔半导体激光器

陈新之 丁浩 顾晓华 刘嘉清

(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 本文报道 1.52 μm 光纤布拉格反射镜外腔窄线宽半导体激光器的制作和实验结果, 已实现光谱线宽 60 kHz, 边模抑制比优于 30 dB, 输出功率 > -5 dBm, 频率稳定度为 50 MHz。

关键词: 布拉格反射镜, 光纤外腔, 半导体激光器

1.52 μm , 60 kHz linewidth fiber Bragg reflector external cavity semiconductor laser

Chen Xinshi, Ding Hao, Gu Xiaohua, Liu Jiaqing

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

Abstract: This paper reports the fabrication process and experimental results of a 1.52 μm fiber Bragg reflector external cavity, and narrow linewidth semiconductor laser. Linewidth of 60 kHz, sidemode suppression ratio better than 30 dB, output power of -5 dBm and a stability of 50 MHz have been achieved.

Key words: Bragg reflector, fiber external cavity, semiconductor laser

一、引言

外腔技术作为一种行之有效的办法,近年来已被广泛地用来压缩半导体激光器(LD)的线宽,使之能适应相干通信和相干光测量等系统对光源的要求。1985年起国际上出现了采用光纤布拉格反射镜(FBR, Fiber Bragg Reflector)作外腔的报道,并在 1.3 μm 波段将 LD 的线宽压窄到 60 kHz,此后随着 FBR 制作工艺的改进,又进一步在 1.5 μm 波段将 LD 的线宽压缩至 10 kHz。采用这种结构,我们成功地在 1.52 μm 波段将商用多纵模 LD 原来大于 30 MHz 的线宽压缩到了 60 kHz,并实现了单模运转。

FBR 外腔半导体激光器在国内尚属首次尝试,本文报道这种器件的制作过程和实验结果。FBR 外腔与其它类型的外腔(如平面镜外腔、体光栅外腔)结构相比较,除了具有良好的机械稳定性、体积小等优点外,还由于 FBR 既作为反射镜又作为输出光纤,具有可直接与使用系统相连接的优点。

二、FBR 外腔激光器的制作

图 1 是 FBR 外腔 LD 的结构示意图, 它由一般的多纵模 F-P 型 LD 与 FBR 直接耦合组成, 由于它具有色散外腔的选频反馈作用, 使之能通过内腔模, 外腔模的双重选模, 并通过模式竞争来实现激光光谱线宽的压缩和边模的抑制。

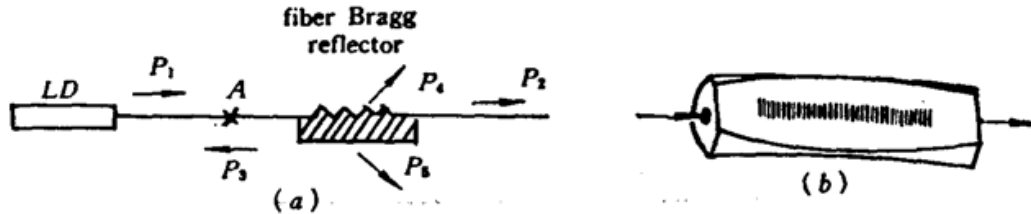


Fig. 1 (a) Structure of fiber Bragg reflector external cavity semiconductor laser; (b) close-up view of the fiber Bragg reflector

FBR 外腔实际上是一根局部侧面抛光并刻上光栅的单模光纤, 由于光栅与光纤中光场的耦合, 当入射光的波长满足布拉格条件时, 将有部分的光沿原路返回, 并反馈到原始激光器中。为使加工方便, 先将单模光纤埋入一开有圆弧槽的石英块底座里, 用胶固定后, 再进行侧面的磨抛, 直到抛到光纤芯为止。为使工艺有一定的重复性, 磨抛过程采用透光检测。随着被抛光的表面接近纤芯, 传输的光功率将出现下降。通过对光功率衰减程度检测可控制去层的深度。然后在抛光好的表面上涂上一层 Shiplay-1450 胶, 用全息曝光方法形成全息光栅。

光纤在圆弧槽中的曲率半径 $R=200\text{ mm}$, 其反射光谱通带宽为 60 GHz, 这比原始激光器的纵模间隔 1.8 nm (240 GHz) 小许多, 因此它能从多个纵模中选择出符合布拉格条件的某一纵模, 而其它边模得到抑制。实际上为得到最好的选模效果, 作为外腔元件的 FBR, 其布拉格波长必须与原先激光器的主纵模相匹配, 并具有合适的反射率。为此我们先测量与之相连接的激光器的光谱, 然后在制作 FBR 时, 根据主纵模的波长值精确地调整全息光路中的两束光的夹角, 再用衍射法对形成的光栅进行实际光栅常数的测量来进行修正, 目前已能重复地将光栅的布拉格波长控制在 $\pm 0.6\text{ nm}$ 范围内 (对 1.52 μm 波段的一级光栅来讲为 ± 1 条/mm)。FBR 的反射率与光刻胶的厚度、光栅深度及光栅下的剩余光纤包层厚度有关。在我们的实验中, 光刻胶的厚度一般为 200 nm, 光栅深度为 $\sim 100\text{ nm}$, 从最后的线宽压缩比估算出其反射率约为 1~3%, 总的外腔反馈量还应包括激光器与 FBR 的光纤耦合效率, 对现在情况, 外腔光反馈量 $< 10^{-4}$, 属于弱反馈条件, 按 A. Olsson (*IEEE J. QE*, **QE-16**, 1320 (1984)) 的分析可知, 在弱反馈条件下只有在原腔模波长附近的外腔模才能符合激射的相位条件, 而其它外腔模受到抑制, 实验证明只要外腔有万分之一的功率反馈量就足以使外腔边模有大于 30 dB 的抑制比而实现单模运转。

三、实验结果

我们将 FBR 与 LD 相连接时, 同时将其输出端与测量系统相连接以便进行实时测量, 并观察外腔引入后光谱特性的变化。用来进行实验测量的系统如图 2 所示。由 FBR 外腔 LD 输出的光信号经一只 3 dB 方向耦合器分为二半, 一路进入环形光纤延迟零差光谱仪观察频谱并测量线宽, 另一路通过单色仪观察总谱特性。二路信号可同时通过记录仪记录。

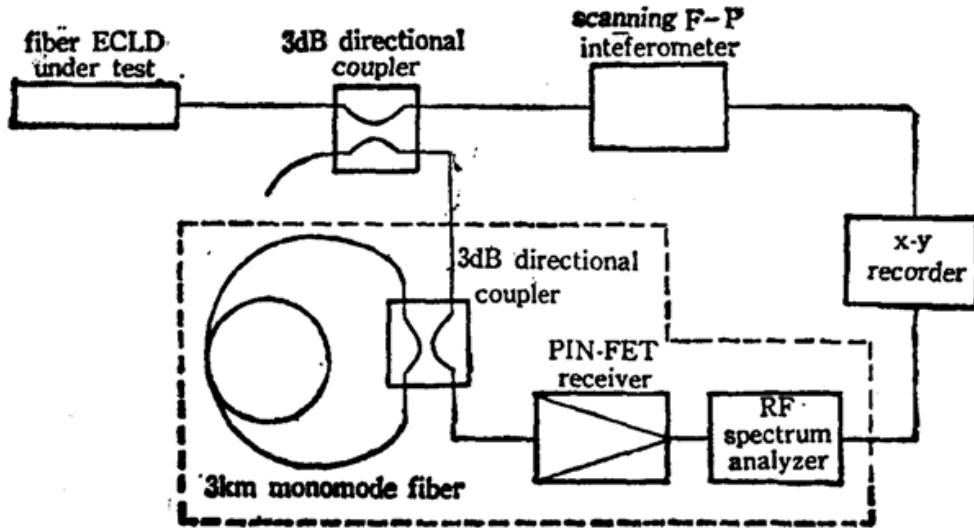


Fig. 2 Schematic diagram of the measurement system

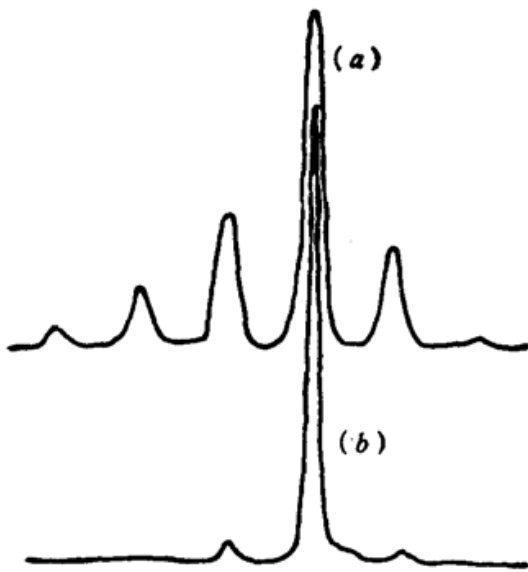


Fig. 3 Spectra of the semiconductor laser with (a) and without (b) FBR external cavity

为了获得最佳结果, 必须使波长达到精细匹配, 这是通过调节温度来实现的。当温度控制器由低端逐渐升温时, LD 的光谱不断地由短波长移向长波长, 其主纵模波长最终将与 FBR 的中心波长完全吻合。将温度稳定在这一最佳值, 便可得到单模窄线宽输出。实验中, 整个组件(FBR 外腔和 LD)均放置在一个恒温盒内。温度控制器的恒温精度为 0.01 度, 电流驱动器的恒流精度为 $1\mu\text{A}$ 。组件在整个测试过程中光谱特性保持稳定, 没有发生跳模现象。

图 3 是我们测量得到的 FBR 外腔作用前后激光器的总谱特性, 可见外腔作用后的光谱纯度有了很大的改善。图 4 是由延迟零差法测得的光谱特性。(a) 表明 3dB(FWHM) 的线宽为 60 kHz; (b) 显示了外腔边模的抑制特性, 外腔模间隔为 50 MHz,

与我们所使用的 2m 长的光纤外腔相吻合。由于我们所使用的光接收器的 3dB 带宽为 25 MHz, 在 50 MHz 处为 -10 dB, 考虑进这一因素, 外腔边模抑制比为 30 dB。

我们所采用的带尾纤的 LD 的输出功率为 -4 dBm, 组件的输出功率为 -5.2 dBm。频率稳定度约为 50 MHz。

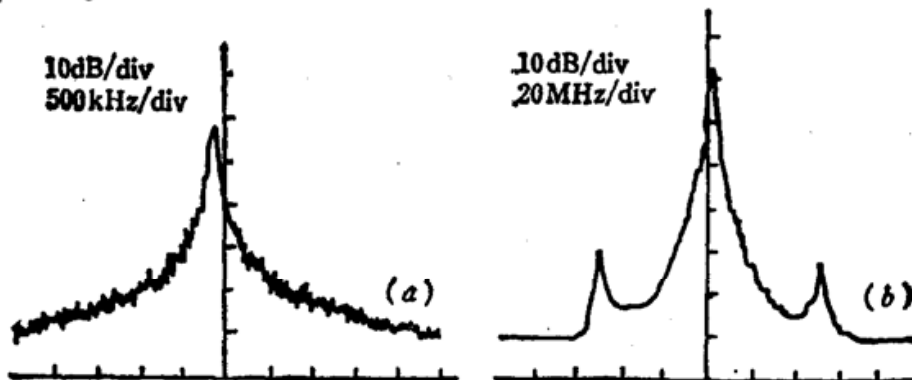


Fig. 4 (a) 3dB (FWHM) linewidth; (b) side mode rejection ratio measured by time-delayed homodyne method