

# 1.3 $\mu\text{m}$ 注入锁定半导体激光器及其远场特性

徐建华 张位在 丁浩 干福熹

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

**摘 要** 报道了利用 1.3  $\mu\text{m}$  分布反馈(DFB)半导体激光器注入锁定普通半导体激光器后的模式及其远场分布特性实验。在不加隔离器和主被动激光器偏振方向相互垂直的情况下, 获得了静态和动态单纵模运转, 并观察和测量了普通半导体激光器注入锁定前后输出光的远场分布, 最后对实验结果进行了讨论。

**关键词** 注入锁定, 动态单纵模, 远场分布。

## 1 引 言

当普通半导体激光器加直流偏置电流并被脉冲信号调制产生超短脉冲时, 一般会出现许多纵向模式同时振荡<sup>[1]</sup>。如果在具有色散的单模光纤通信系统中使用这样的激光器则会产生极为有害的影响。在长距离光纤通信和超长距离的光孤子通信中, 必须使用纵向模式稳定的半导体激光器。而获得稳定的单纵模振荡的方法一般来说有四种途径: 1) 短谐振腔半导体激光器; 由于在谐振腔很短时, 纵模间距很大, 因而不易发生模式跳变和多纵模振荡; 但即使是腔长为 40~60  $\mu\text{m}$  的激光器中, 在脉冲调制下也会出现多纵模振荡<sup>[2]</sup>, 所以, 为了实现完全的单纵模, 还必须把谐振腔进一步缩短; 2) 多反射面激光器; 在激光器的端面附近放置一个外部反射镜(或光栅、标准具等选模元件), 这样的外部反射面和半导体激光器组合, 甚至在脉冲调制下, 也观测到了单纵模振荡<sup>[3]</sup>; 3) 具有光栅反馈的激光器, 例如, 分布、布拉格反射半导体激光器; 在激光器内部形成一个波长选择光栅, 实现了半导体激光器的静态和动态单纵模工作; 然而, 这种激光器振荡模式的线宽在调制频率接近于共振频率时变为最大(即啾啾噪声), 脉冲功率较小<sup>[4]</sup>; 4) 外部光注入锁定; 当两个激光器互相耦合并实现波长调谐时, 这个波长的模式就稳定下来了, 甚至在高速调制下, 也实现了单纵模工作<sup>[5]</sup>; 同时, 由于窄谱激光注入锁定, 振荡模式的线宽也可以变窄<sup>[6]</sup>, 而且脉冲功率也可以得到提高。

不同与以往的注入锁模实验<sup>[7~11]</sup>, 本文利用本所自行研制的 1.3  $\mu\text{m}$  双沟道平面掩埋异质结结构的分布反馈半导体激光器作主动激光器, 实现了普通半导体激光器 1.3  $\mu\text{m}$  波段的静态和动态单纵模注入锁定, 同时测量和比较了注入锁定前后的远场分布特性。

### 2 注入锁定实验及远场分布

注入锁定实验装置示意图如图 1 所示,主激光器为 1.3 μm 双沟道平面掩埋异质结结构的 InGaAsP 分布反馈半导体激光器\*, 阈值电流为 42 mA, 被动激光器为 1.3 μm 波段的双沟道平面掩埋异质结结构的 InGaAsP 普通半导体激光器, 阈值电流为 58 mA; 两激光器之间没有光隔离器, 仅通过两个 40 倍的显微物镜进行耦合, 波

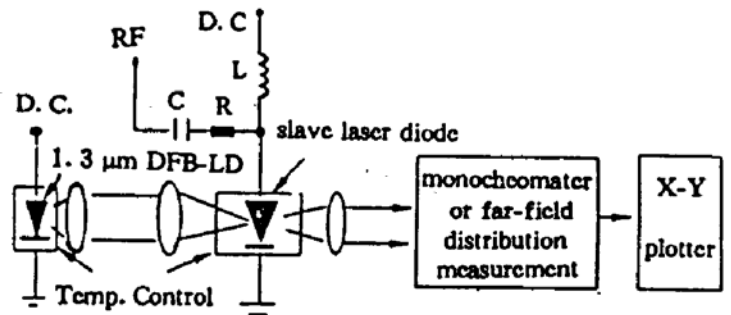


Fig. 1 The experimental setup

长调节由各自的温控系统进行控制, 这样的装置简单紧凑, 更接近实用化; 高频调制信号由 XB-10A 标准信号发生器产生并通过 50 Ω 阻抗的微带匹配线注入到被动激光器中。通过调节主被动激光器的电流和温度, 来进行波长调谐, 达到波长匹配目的; 输出光谱由单色仪测量, 红外摄像仪和取样示波器测定输出光锁定前后的远场分布。

图 2 给出了被动激光器的典型自由振荡光谱, 其偏置电流为 60 mA。显然, 阈值以上其输出模式一般是四个纵模, 纵模间距约为 0.7 nm, 其中的一个较强的纵模波长为 1300.4 nm; 主动激光器在偏置电流达到 70 mA 时仍可保持单纵模运转, 调节主动分布反馈激光器的电流为 60 mA, 此时输出功率达 3.8 mW, 调节温控仪使温度控制在 20±0.1 °C, 此时分布反馈主动半导体激光器的中心波长测定为 1300.4 nm。调节光路, 将主动激光器的单纵模光束注入被动激光器内, 此时被动激光器的环境温度控制为 28 °C; 图 3 为注入锁定前后的被动激光器的输出光功率-电流特性曲线比较, 由于经显微物镜聚焦后的主动激光器的注入

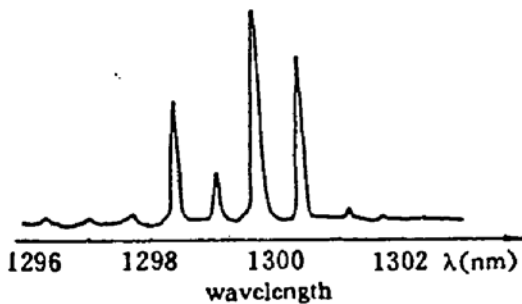


Fig. 2 A typical spectrum of the free-running semiconductor laser

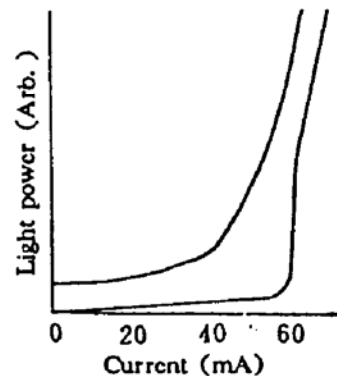


Fig. 3 The typical L-I curves of the unlocked and injection locked semiconductor laser

光束面积仍比被动激光器的有源区大, 未能全部注入被动激光器中, 因而有部分泄露, 导致注入锁定后的 L-I 曲线零点升高, 此时的阈值电流有明显降低, 但量子效率基本不变; 图 4 为被动激光器锁定前后的远场分布比较。在实验条件相同的情况下, 图中远场分布的角度和强度的确切值的测定并不影响锁定前后的远场分布的对比, 此时被动激光器的偏置电流是 59 mA, 从图中可以看出, 锁定后的输出光束的方向性较之锁定前有了较大改善<sup>[12]</sup>, 即空间

\* 中国科学院上海光学精密机械研究所光电子室自行研制

相干性得到了改善;图 5(a)、图 5(b)分别是注入锁定后的被动半导体激光器的静态和动态光谱。其中,在静态情况下,测定了不同直流偏置下的光谱,电流值如图中所示;在动态情况下,被动激光器的交流脉冲调制信号频率为 1 GHz,直流偏置为 55 mA,即在被动激光器原来的阈值附近;从图中可以看出,无论是静态还是加高频脉冲调制信号,被动激光器的输出均能维持单纵模振荡,而且在静态情况下,被动激光器的偏置电流在 48 mA~60 mA 之间变化时,单纵模输出保持不变。

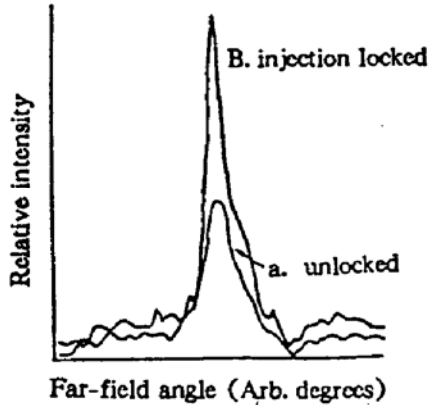


Fig. 4 The far-field distribution of the output light

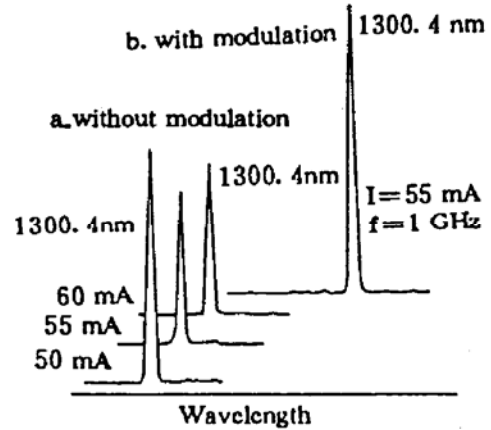


Fig. 5 The typical spectra of the injection-locked laser diode (a). different bias (b). with modulation

### 3 讨 论

当主动激光器与被动激光器之间由于温度、电流等的影响,波长不匹配,即模式未锁定时,将引起多纵模振荡,如图 6 所示。此时被动激光器的偏置电流为 59 mA,纵模数增多,但被动激光器自由振荡时的四个较强纵模依旧保持不变。值得强调的是,在整个注入锁模实验中,主动激光器与被动激光器之间不仅没有隔离器,而且它们的结平面是接近互相垂直的,也就是说,其各自的输出光偏振方向互相垂直。通过尼科耳棱镜证实了这一点。与以前的注入锁定实验和理论相比较,以上的注入锁定机制还有待进一步深入讨论。作者初步认为,

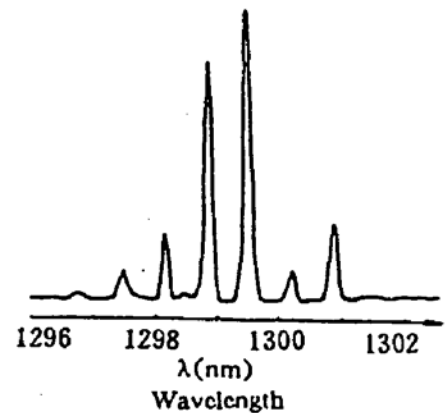


Fig. 6 A typical spectrum of the unlocked laser diode

正是由于主被动激光器之间的偏振方向互相垂直,对主动激光器来说,偏振方向与其垂直的光的反射对它的模式振荡不会产生影响,因此仍旧保持单纵模输出;对于被动激光器而言,情况就较为复杂。由于被动激光器本身未镀增透膜,因而就是一个激光谐振腔,当外界一个与其能够产生振荡的某个激光频率相同的光注入时,其作用类似光泵浦,将提高被动激光器中这个激光频率的光增益,抑制其他频率的光振荡,从而产生单纵模输出,而这个激光的偏振方向是由被动激光器的波导结构决定的,即平行与被动激光器本身的结平面。

总之,本文利用本所自行研制的 1.3  $\mu\text{m}$  分布反馈半导体激光器作主动激光器,不加隔离器以及主被动激光器偏振方向相互垂直的情况下,实现了普通被动激光器 1.3  $\mu\text{m}$  波段的静态和动态单纵模运转,测量和比较了注入锁定前后的远场分布特性。

作者对方祖捷研究员、刘枝伍高级工程师在实验中提供的帮助和有益的讨论深表谢意!

### 参 考 文 献

- [1] Dietrich Marcuse, Tien-Pei Lee, On approximate analytical solutions for studying transient spectra of injection lasers. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1983, QE-19(9): 1397~1406
- [2] B. F. Levine, J. P. van der Ziel, R. A. Logan *et al.*, High-quantum-efficiency low threshold microcleaved AlGaAs lasers. *Electron. Lett.*, 1982, 18(16): 690~691
- [3] J. P. van der Ziel, Active mode locking of double heterostructure lasers in an external cavity. *J. Appl. Phys.*, 1981, 52(9): 4435~4446
- [4] F. Koyama, A. Arai, Y. Suematsu *et al.*, Dynamic spectral width of rapidly modulated 1.58  $\mu\text{m}$  GaInAsP/InP buried-heterostructure distributed-bragg-reflector integrated twin guide lasers. *Electron. Lett.*, 1981, 17(25): 938~940
- [5] S. Kobayashi, J. Yamada, S. Machida *et al.*, Single mode operation of 500 Mbit/s modulated AlGaAs semiconductor laser by injection locking. *Electron. Lett.*, 1980, 16(19): 746~748
- [6] R. Wyatt, D. M. Smith, K. H. Cameron, Megahertz linewidth from a 1.5  $\mu\text{m}$  semiconductor laser with HeNe laser injection. *Electron. Lett.*, 1982, 18(7): 292~293
- [7] Soichi Kobayashi, Tatsuya Kimura, Injection locking in AlGaAs semiconductor laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1981, QE-17(5): 681~689
- [8] Isabelle Petitbon, Philippe Gallion, Guy Debarge *et al.*, Locking bandwidth and relaxation oscillations of an injection-locked semiconductor laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, QE-24(2): 148~154
- [9] Gregory L. Abbas, S. Yang, Vincent W. S. Chan *et al.*, Injection behavior and modeling of 100mW broad area diode lasers. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, QE-24(4): 609~617
- [10] L. Goldberg, M. K. Chun, Injection locking characteristics of a 1W broad stripe laser diode. *Appl. Phys. Lett.*, 1988, 53(20): 1900-1902
- [11] M. Jansen, J. J. Yang, L. Heflinger *et al.*, Coherent operation of injection-locked monolithic surface-emitting diode laser arrays. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, 54(26): 2634~2636
- [12] L. Goldberg, H. F. Taylor, J. F. Weller *et al.*, Injection locking of coupled-stripe diode laser arrays. *Appl. Phys. Lett.*, 1985, 46(3): 236~238

## Injection Locking and Far-Field Distribution of 1.3 $\mu\text{m}$ Semiconductor Lasers

Xu Jianhua    Zhang Weizai    Ding Hao    Gan Fuxi

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

(Received 20 September 1994; revised 15 November 1994)

**Abstract** The injection-locking experiments of a slave semiconductor laser by a 1.3  $\mu\text{m}$  DFB master laser diode and its far-field distribution measurement are reported for the first time. The static and dynamic single-mode operation have been obtained when a isolator is not used and specially the polarization of the master and slave laser is perpendicular, at last the results are discussed.

**Key words** injection locking, dynamic single mode, far-field distribution.