

文章编号: 1001-3806(2005)03-0241-03

半导体激光器相对强度噪声的实验研究

朱晓鹏¹, 甘巧强^{1,2}, 任刚^{1,2}, 宋国锋¹, 叶晓军¹, 孙永伟¹, 曹青¹, 陈良惠¹

(1. 中国科学院 半导体研究所, 北京 100083; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100080)

摘要: 建立了一套半导体激光器噪声测量系统用于生产测量和科学研究, 其特点是简易, 且兼容性大。用该系统对相关的半导体激光器(不同腔长, 镀膜与不镀膜等)进行了测量研究, 着重研究了镀膜与不镀膜的条件对激光器噪声特性的影响, 发现镀膜后管芯一致性提高、受反馈影响增大。为实际生产提供了改进建议, 即需要针对实际应用来精心选择端面镀膜的反射率, 前端面镀膜反射率不能太低。

关键词: 半导体激光器; 相对强度噪声; 腔长; 镀膜

中图分类号: TN248.4 文献标识码: A

Experimental research of relative intensity noise of semiconductor lasers

ZHU Xiaopeng¹, GAN Qiaoliang^{1,2}, REN Gang^{1,2}, SONG Guofeng¹, YE Xiaojun¹,
SUN Yongwei¹, CAO Qing¹, CHEN Lianghui¹

(1. Institute of Semiconductors, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China; 2. Graduate School, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract The goal of this article is to present a measuring system, which is appropriate to industry measuring and science research, for relative intensity noise (RIN) of semiconductor lasers. The advantage of the system is simple and flexible. The RINs of some semiconductor lasers (with different cavity length, with or without coating) were measured. Special attention was paid to the effect of coating on the RIN. It is found that the quality stability of the lasers will be improved and the RIN characteristic will be more sensitive to feedback with coating than the lasers without coating. The reflectivity of coating should be chosen carefully according to the real application conditions, and the reflectivity of the front facet coating should not be too small.

Key words semiconductor laser; relative intensity noise (RIN); cavity length; coating

引 言

光电子技术是当代高新技术的重要组成部分, 对国民经济和国防建设都有举足轻重的作用。随着光电子技术的迅速发展, 半导体激光器作为一种重要的光电子器件, 已广泛地应用于光纤通信、信息存储、医疗、光传感等诸多领域。因此, 对半导体激光器各种性能的研究显得越来越重要。在光存储、光通信等领域的应用中, 半导体激光器的噪声特性是决定系统性能的最重要的指标之一^[1,2], 噪声的存在会导致诸如系统信噪比下降、信号接收灵敏度下降等一系列问题。

对半导体激光器噪声的测量工作可以追溯到上世纪 80 年代初。大部分研究工作都集中在光反馈对激光器噪声特性的影响上^[3-5]。理论研究对象大都是单频(单纵模)激光器^[6,7], 通过在速率方程中引入噪声

项, 获得不同光反馈条件下激光器光响应的特点。而对多纵模激光器, 由于理论处理十分复杂, 至今也没有特别完善的解决方法。

对于半导体激光器噪声测量, 虽然目前已经有一些专业测试仪器, 但是价格昂贵, 且不易进行自由的科学研究。作者的工作是建立一套相对简易且兼容性大的半导体激光器噪声测量系统, 并对相关的半导体激光器进行测量研究, 为实际生产提供参考, 实现生产测量与科研相结合的目的。

1 测试原理

半导体激光器的噪声可以分为强度噪声和相位频率噪声, 在一定条件下相位噪声也会转化为强度噪声。强度噪声主要来源于激光器中自发辐射的随机性; 另外, 在低频段还有 $1/f$ 噪声; 对于多纵模激光器, 模式分配噪声也是强度噪声的主要来源之一。

通常, 用相对强度噪声 (RIN) 来描述激光器的强度噪声, 它定义为:

$$Q_{\text{RIN}} = \frac{\delta P^2}{P^2} \quad (1)$$

即噪声功率的均方值与平均功率平方的比。在实际应

基金项目: 国家八六三计划资助项目 (2002AA313060)

作者简介: 朱晓鹏 (1973-), 男, 博士, 主要从事半导体光电子器件的研制。

E-mail: consok1@vip.sina.com

收稿日期: 2004-04-26; 收到修改稿日期: 2004-06-16

用当中,将上式通过 Wiener-Khinchine 关系转换到频谱空间,除以噪声功率相应的带宽并取对数,因此得到的 RIN 单位为 dB/Hz

半导体激光器相对强度噪声是反映激光器内部物理过程的一个综合参数。在设计上通过抑制自发辐射、引入纵模选择机制(例如 DFB/DBR 光栅选频)可以大大降低激光器的强度噪声。不过强度噪声还与激光器的工作状态、工作环境密切相关,例如环境温度的变化、驱动电流大小、外部光反馈的强弱、外加调制频率和调制深度等都会直接加强或抑制强度噪声。

2 实验测试系统

半导体激光器噪声测量的基本实验系统比较简单,包括一个大数值孔径的准直透镜或透镜组、一个可调衰减片、一个反射镜、一个半透半反镜和探测器。相对强度噪声测量工作需要多样本统计分析,鉴于实验条件的限制,本工作主要测量的是 650nm 半导体激光器的噪声,测量系统如图 1 所示。其中包括 Agilent8652EC 频谱仪, Keithley2000 数字多用表, Newport5005 激光器电源, Hamamatsu5972 硅 PN 探测器, Agilent8447D 前置功率放大器。数据采集由计算机统一控制。测量原理是这样:设定激光器驱动电流确定激光器的工作状态,通过大 NA 准直镜将激光准直,激光通过半透半反镜一部分射入光电探测器,形成光电电流信号,另一部分通过可调衰减片和反射镜,经半透半反镜后一路透射光从原路返回激光器端面,另一路反射光可以用来监视反射量。光电探测器的光电流信号直流部分由数字多用表探测,交流部分则经过前置放

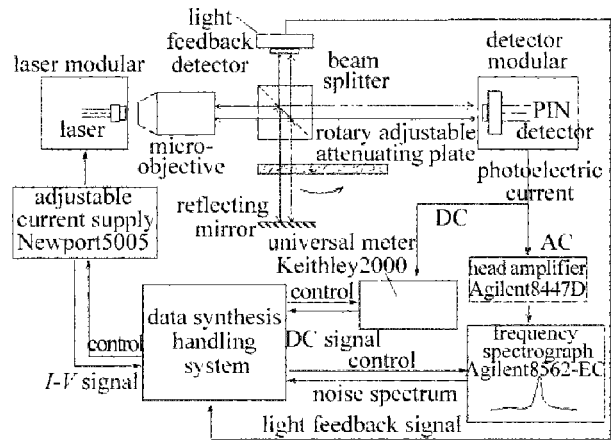


Fig 1 Measuring system for relative intensity noise of semiconductor lasers. The laser light after being amplified enters the spectrometer. All measurement data is transmitted to the computer via serial or GPIB ports using the IEEE-488 protocol for calculation.

3 测量结果

测量了一批激光器 RIN, 管芯采用的片子片号为 HRM59-1, 结构为 3 次外延掩埋脊形波导。管芯形式为: (1)未镀膜的取 $300\mu\text{m}$, $450\mu\text{m}$ 2 种腔长; (2)镀膜的分别取 15% ~ 85% 和 30% ~ 85% 端面反射率, 其中 HRM59-1 的管子腔长 $450\mu\text{m}$ 。测试频率为 10MHz, 反射率从 $0.028 \sim 2.8 \times 10^{-5}$, 管子均大致工作在 6mW, 其中还测量了 HRM59-1 号管子 (腔长 $450\mu\text{m}$ 、镀膜条件为 15% ~ 85% 端面反射率) 在输出功率为 3mW 时的 RIN 特性。准直采用 $40\times$ 显微物镜。测试结果见图 2。图中的横坐标为总反射率, 由图 1 可以计算出总反射率的大小, 即反射到激光器前端面的光与出射光总功率之比见下式:

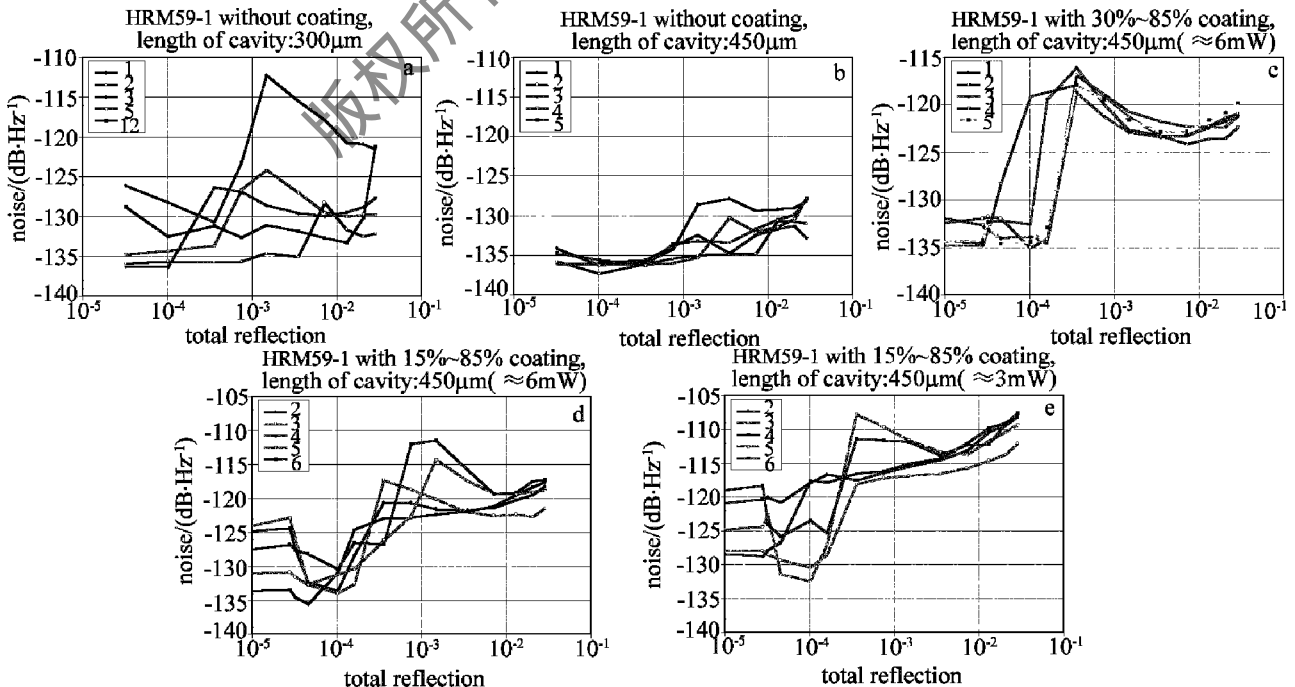


Fig 2 RIN measuring results of semiconductor lasers (HRM59-1)

$$R = t_1 \cdot t_2 \cdot a \cdot r_m \cdot a \cdot t_2' \cdot t_1' = t_1 t_1' t_2^2 a^2 r_m \quad (2)$$

式中, t_1 为激光器出射光经过准直透镜后的透过率, 它包含了光阑对光束的截断损耗和透镜表面反射损耗, 因此, 它与激光器远场光分布是有关的; t_2 为半透半反镜的透过率, 其中也包括了透镜表面的反射损耗; a 为可调衰减片的透过率; r_m 为反射镜的反射率, t_1' 为光反向通过准直镜的透过率, 它基本上是透镜表面的反射损耗。

4 结果讨论

通过对实验结果的观察分析, 讨论如下:

(1) 未镀膜 300 μm 腔长的管子一致性不好。从阈值、效率上都可以看出来。测量尽量挑选了参数比较一致的管子, 但 RN 特性依然表现出比较大的离散性。镀膜之后一致性变好。

(2) 随着反馈量的减小, RN 表现出明显的两段特征。普遍规律是, 在反射率比较大时 RN 比较大, 随着反射率的减小, RN 会变大, 反射率减小到一定程度的时候, RN 达到最大, 然后突然下降, 下降幅度从 5dB/Hz ~ 15dB/Hz 不等, 然后随着反射率的继续降低, RN 没有大的变化。激光器噪声频谱在这 RN 明显一大一小两区域中的表现也不同。在反射率比较高时, 虽然 RN 大, 但是频谱十分稳定, 在 10MHz 为中心, 1MHz 宽的频域噪声谱十分平坦; 当反射率降低 RN 突然减小后, 噪声谱反而变得不稳定, 在 1MHz 宽的频域内噪声谱起伏很大, 起伏量能达到几个 dB; 当反射率接近最低限时, 很大一部分激光器的噪声谱不再有比较大起伏的现象。实验中还观察到, 当反射率比较小时, 激光器电流从 0 加电流到工作电流后, 噪声谱起伏十分剧烈, 甚至可以到达 10dB 以上, 随着时间推移, 激光器达到热平衡, 噪声谱起伏也下降逐渐趋稳。这表明在小反射率的情况下, 噪声谱的起伏与激光器内部的热效应有密切关系。

(3) 端面镀膜的激光器, 由于前端面反射率降低, 在相同反射率的条件下, 反馈的影响要比不镀膜的大。两段式的 RN 曲线向低反射率端移动。不镀膜的管子 RN 两个区域交界处反射率一般大于 10^{-3} , 30% ~

85% 镀膜的管子移到反射率 10^{-3} 以下, 不到 10^{-4} , 而 15% ~ 85% 镀膜的管子则移到反射率 10^{-4} 附近或以下。

(4) 前端面镀膜反射率越低, RN 越大。镀膜之后, 曲线并不仅仅向低反射率方向移动, RN 的值也会变大, 尤其是反射率比较大的那个区域。

(5) 对比 HRM 59-1 的 15% ~ 85% 镀膜 450 μm 腔长的激光器在 3mW 和 6mW 的测量数据, 很明显可以看出, 3mW 的 RN 要比 6mW 的 RN 高 5dB/Hz 以上。所以提高功率可以减小 RN。

从激光器的能量转换角度来看, 在实用中必须对激光器端面镀高反、增透膜, 但是从以上 (3)、(4) 两点结论来看, 这样镀膜对 RN 特性是不利的。如果能保证外反射量足够小, RN 能保证在比较小的区域, 这个问题还不严重; 但是当前端面反射率足够低, 即使在反射率比较低的情况下, 激光器也有可能进入高 RN 区域, 通常都大于 -130dB/Hz 甚至大于 -120dB/Hz 在光盘应用领域这就是不能接受的。所以对于这个片号的结构来讲, 需要针对应用来精心选择端面镀膜的反射率, 前端面镀膜反射率不能太低。同时, 还要提高管芯性能的一致性。

参 考 文 献

- [1] LAU K Y, YARIV A. Ultra high speed semiconductor lasers [J]. IEEE J Q E, 1985, QE21(2): 121~136.
- [2] MILLER C M. Intensity modulation and noise characterization of high-speed semiconductor lasers [J]. IEEE L T S, 1991, 2(5): 44~52.
- [3] ANDREKSON P A, ANDERSSON P, ALPING A. Electrical noise measurement on laser diodes for monitoring of optical feedback and mode hopping [J]. Electron Lett, 1986, 22: 195~196.
- [4] HJELME D R, MICKLSON A R, BEAUSOLEIL R G. Semiconductor laser stabilization by external optical feedback [J]. IEEE J Q E, 1991, QE27(3): 352~372.
- [5] COHEN J S, WITGREFE F, HOGERLAND M D *et al.* Optical spectra of a semiconductor laser with incoherent optical feedback [J]. IEEE J Q E, 1990, QE26(6): 982.
- [6] DANDRIDGE A, TVETEN A B. Phase noise of single mode laser in interferometer systems [J]. A P L, 1981, 39(7): 530~532.
- [7] SCHUNK N, PETERMANN K. Numerical analysis of the feedback regimes for a single mode semiconductor laser with external feedback [J]. IEEE J Q E, 1988, QE24(7): 1242~1247.