

文章编号: 0258-7025(2001)02-0113-03

# 用光纤光栅作外反馈的可调谐外腔 半导体激光器

周凯明 葛 璜 安贵仁 汪孝杰 王 圩

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

**提要** 制作了一种以光纤光栅作为外反馈的半导体激光器。光纤光栅用紫外曝光法制作,反射率为 50%。器件在 50 mA 注入电流时,输出功率高于 1 mW,主边模抑制比为 42 dB。使用对光纤光栅施加应变和改变光栅温度的方法实现了输出激光波长的调谐,利用施加应变方法得到了 2 nm 范围的输出波长变化。

**关键词** 光纤光栅,半导体激光器,可调谐外腔结构

中图分类号: TN 248.4; TN 365 文献标识码: A

## Tunable External Cavity Semiconductor Laser with Fiber Bragg Grating as Feedback

ZHOU Kai-ming GE Huang AN Gui-ren WANG Xiao-jie WANG Wei

(Semiconductor Institute, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

**Abstract** An external cavity semiconductor laser configuration, which employs fiber grating as feedback is reported in this paper. The fiber grating is fabricated by UV light exposure, with reflectivity of 50%. At injection current of 50 mA, output is over 1 mW and the MSR is 42 dB. The laser wavelength is tuned by applying strain along the fiber grating and by heating the fiber grating. With the applying-strain method, the tuning range of 2 nm is obtained.

**Key words** fiber grating, semiconductor lasers, external cavity

### 1 引 言

窄线宽、高边模抑制比的半导体激光器是高速、长距离光通信和相干光通信技术中的重要器件。DFB 等结构的激光器用光栅的反馈来进行选模,可以实现单模激射,线宽也可以降低到 MHz 数量级。这些器件已应用到系统中。但是最近发展起来的波分复用、密集波分复用技术要求光源的波长可以精确控制。而制作特定波长的 DFB 激光器很困难,只能从成批的器件中挑选波长合适的激光器。随着紫外光写入光纤光栅技术的成熟,最近发展起来一种用光纤光栅作为反馈来形成混合腔的外腔激光器<sup>[1~4]</sup>。这种器件利用已经成熟的封装技术,将含有光纤光栅的光纤和端面镀有增透膜的 F-P 腔半导体激光器耦合形成,制作工艺简单,性能上却可以和 DFB 激光器相比拟。激光器激射波长由光纤光栅的

布喇格波长决定,因此可以精确控制,并且温度稳定性要高于单半导体器件。基于以上的优点,这种激光器在光通信的某些领域很有可能成为 DFB 结构激光器的替代品。另外,在很多应用中都希望激光器的输出波长在一定范围内可以进行连续调节,DFB 激光器可以利用其温度进行输出波长的调谐。本文中,我们用对光纤光栅施加应变的方法和改变光纤光栅温度的方法,改变其布喇格波长,制作出用光纤光栅作外反馈的可调谐外腔激光器,它有可能在光纤传感、光纤通信中得到应用。

### 2 原 理

用光纤光栅作外反馈的外腔半导体激光器由一个半导体激光器管芯和含光纤光栅的光纤耦合而成,如图 1 所示。LD 的内端面镀有增透膜,以减小其 F-P 模式。整个外腔激光器的光学谐振腔在光栅和 LD 外端面之间,主要由三部分组成:LD 芯片、空

气间隙和光栅前端的光纤部分。光纤光栅用来选模,由于它极窄的滤波特性,激光器工作波长将控制在光栅的布喇格发射峰带宽内。因此通过调谐光纤光栅的布喇格波长就可以得到波长可以控制的激光输出。

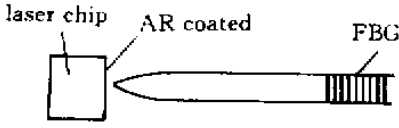


图 1 外腔结构示意图

Fig.1 Cavity structure of the fiber grating external cavity semiconductor laser

当光纤光栅被施加应变时或其环境温度发生变化时,光纤光栅的布喇格波长也随着发生漂移。光纤光栅在应变或应力的作用下,其布喇格波长有所移动。这是由于在应力的作用下,光栅的周期会有所改变,同时由于弹光效应光纤的折射率也会发生变化。光纤光栅的布喇格波长随应变的关系基本上是线性关系,可由下式给出<sup>[5]</sup>

$$\frac{\Delta\lambda_{\text{Bragg}}}{\lambda_{\text{Bragg}}} = \epsilon_1 - (n^2/2) \cdot [p_{11}\epsilon_1 + p_{12}(\epsilon_1 + \epsilon_t)] \quad (1)$$

式中  $\epsilon_1, \epsilon_t$  为沿光纤轴方向和光纤截面的应变,  $p_{11}$  和  $p_{12}$  为 Pockel 系数。如果应变是均匀而且各向同性的,那么式(1)可以简化为如下形式

$$\frac{\Delta\lambda_{\text{Bragg}}}{\lambda_{\text{Bragg}}} = (1 - p_e) \cdot \epsilon_1 \approx 0.78 \cdot \epsilon_1 \quad (2)$$

式中  $p_e = (n^2/2) \cdot [p_{12} - \mu(p_{11} + p_{12})]$ ,  $\mu$  为泊松比。当布喇格波长  $\lambda_{\text{Bragg}} = 1550 \text{ nm}$  时,由(2)式可得布喇格波长漂移为

$$\Delta\lambda_{\text{Bragg}} = 1209 \text{ nm} \cdot \epsilon_1 \quad (3)$$

光纤光栅的布喇格波长随温度的变化主要是热光效应引起的。在 85℃ 以下,它们之间有如下关系<sup>[5]</sup>

$$\frac{\Delta\lambda_{\text{Bragg}}}{\lambda_{\text{Bragg}}} = \alpha + \frac{1}{n} \frac{dn}{dT} \approx 6.7 \times 10^{-6}/\text{℃} \quad (4)$$

在 1550 nm 波长处,每摄氏度引起的布喇格波长移动是 0.01 nm。由于温度引起的布喇格波长移动比较小,100℃ 的温度变化只能引起 1 nm 的布喇格波长漂移。

### 3 实验及结果

器件为双列直插式封装,光纤光栅置于封装外,以便于拉伸。LD 外端面到光栅末端长约 10 cm。光

纤光栅长 1.5 cm,反射率约为 50%。器件阈值为 11.8 mA,图 2 为注入电流为 40 mA 时器件的出纤光谱,可见为单模输出,主边模抑制比为 42 dB,全高半宽为 0.1 nm。

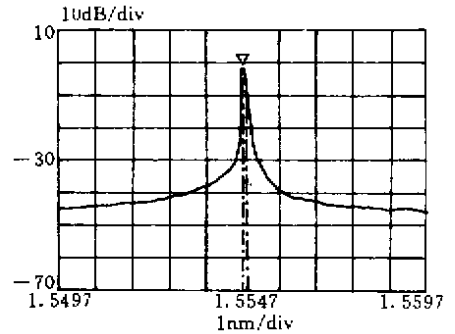


图 2 输出光谱图

中心波长为 1.55478 μm, 40 mA 注入电流时,峰值出纤功率为 -0.29 dBm,全高半宽为 0.1 nm

Fig.2 Output spectrum of the fiber grating external cavity semiconductor laser

The peak wavelength is at 1.55478 μm. At injection current of 40 mA, the power at peak wavelength is -0.29 dBm and the FMHW is 0.1 nm

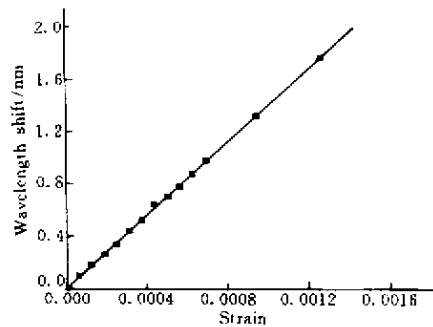


图 3 激光波长与光纤光栅被施加应变之间的关系点是测量结果,直线是线性拟合结果

Fig.3 Relationship between the laser line and the strain applied on the fiber grating

The dots are the measurement result and the line is the fit

#### 3.1 用施加应变方法调谐

通过拉伸光纤的方法给光纤光栅施加应变。将含有光纤光栅的光纤固定在微调架上,两端距离为  $L$ ,通过拉伸光纤来实现输出波长的调谐。如果光纤的拉伸长度为  $\Delta L$ ,则光栅上的轴向应变为:  $\epsilon_1 = \Delta L/L$ 。图 3 为用光谱仪观察到出纤光谱峰值处波长随施加应变之间的变化关系,可以看出激光波长同施加的应变是线性关系,单位应变引起的激光波长移动为 1409 nm,这和(3)式吻合得较好。对光纤光

栅施加应变使激光器的输出波长移动了 2 nm,当光栅应变消失后,激光器输出波长恢复到原来值。试验表明,光栅的布喇格波长漂移最大可达 5 nm,如果继续拉伸,会导致光栅断裂。因此,用这种拉伸方法可以得到最大达 5 nm 的输出波长调节范围。

### 3.2 用改变温度方法调谐

将整个器件置于烘箱内,调节烘箱的温度,用光谱仪观测输出波长的变化。由于烘箱在温度上升的过程中很不均匀,因此先将烘箱温度升高到 60℃,然后让其自然冷却。冷却过程比较慢,因而可以认为烘箱内各处温度比较一致。温度是用插在烘箱中的温度计来测量的。对激射波长随温度的下降进行记录,图 4 为激射波长与温度的关系,在这种情况下,激射波长随温度的升高基本是线性增大,比例系数为 0.014 nm/℃。在测量过程中还发现激光器峰值功率随温度的升高而降低,这可能是由于半导体管芯受温度影响所致。

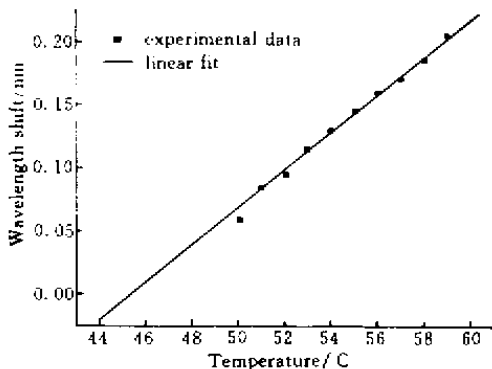


图 4 激射波长与光纤光栅温度之间的关系

Fig.4 Relationship between the laser line and the temperature of the fiber grating

### 3.3 两种调谐方法的对比

利用两种调谐方法都可以得到激光器输出波长的变化,利用拉伸来施加应变只能使输出波长变大,而使用温度调谐则可以通过给光栅加热或冷却进行双向的调谐。对比两种调谐方法可知,对光纤光栅施加应变可以得到较大的布喇格波长漂移,并且更容易达到实用目的。

## 4 结 论

本文描述了一种以光纤光栅为反馈的半导体外腔激光器,通过对光纤光栅施加应变和改变光纤光栅的温度来得到外腔激光器输出波长的调谐。利用施加应变方法,在 2 nm 的范围内得到随应变线性变化的输出波长。这种可调谐光纤光栅外腔半导体激光器可能在 WDM 光通信技术或光纤传感中得到应用。

## 参 考 文 献

- 1 E. Brinkmeyer, W. Brennecke, M. Zum *et al.*. Fiber Bragg reflector for mode selection and line-narrowing of injection lasers. *Electron. Lett.*, 1986, **22**:134 ~ 135
- 2 C. A. Park, C. J. Rowe, J. Buus *et al.*. Single-mode behavior of a multimode 1.55  $\mu\text{m}$  laser with a fiber grating external cavity. *Electron. Lett.*, 1986, **22**(21):1132 ~ 1134
- 3 P. A. Morton, V. Mizrahi, T. Tanbun-Ek *et al.*. Stable single mode hybrid laser with high power and narrow linewidth. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(20):2634 ~ 2636
- 4 R. Kashyap, R. A. Payne, T. J. Whitley *et al.*. Wavelength uncommitted lasers. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(13):1065 ~ 1067
- 5 K. O. Hill, G. Meltz. Fiber Bragg grating technology fundamentals and overview. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8):1263 ~ 1276