

MEMS型可调外腔激光器的研究

钱坤^{1,2},傅焰峰²,张玒^{2,3},唐毅²

(1. 光纤通信技术和网络国家重点实验室,湖北 武汉 430074; 2. 武汉光迅科技股份有限公司,湖北 武汉 430074;
3. 华中科技大学 光电子科学与工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要:文章提出了一种以MEMS TOF(微电子机械系统可调光滤波器)和标准具作为波长选择元件,LC(液晶)作为相位补偿元件,平面反射镜提供光反馈的可调外腔半导体激光器结构。实际研制了该结构的激光器样品,实验测得该激光器的输出功率>10 dBm,边模抑制比>50 dB,可调谐范围达到7 nm,线宽约为200 kHz。

关键词:微电子机械系统可调光滤波器;可调外腔半导体激光器;标准具

中图分类号:TN248.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8788(2012)02-0048-03

Research on MEMS-based tunable external-cavity laser

Qian Kun^{1,2}, Fu Yanfeng², Zhang Di^{2,3}, Tang Yi²

(1. SKL of OCTN, Wuhan 430074, China; 2. Accelink Technologies Co., Ltd., Wuhan 430074, China;
3. College of Optoelectronic Science and Engineering, HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract: A novel tunable external-cavity semiconductor laser structure is presented in this paper, in which a MEMS-based Tunable Optical Filter (TOF) and a silicon etalon are used as the wavelength selection components and a Liquid Crystal (LC) cell as the phase compensation element and a planar reflector to provide feedback. A laser sample in this structure is developed. The experimental results show that its output power and side mode suppression ratio are >10 dBm and >50 dB respectively, its tuning range is as high as 7 nm and its linewidth about 200 kHz.

Key words: MEMS TOF; tunable external cavity laser; etalon

0 引言

目前,可调谐激光器已成为高速大容量光通信系统、波分复用和时分复用系统中的关键器件,也是光测试系统和快速波长交换等系统的重要光源^[1]。在众多可调谐半导体激光器的实现形式中,外腔结构具有线宽窄、调谐范围大、输出功率高和边模抑制比高等显著优点^[2]。随着MEMS(微电子机械系统)技术的快速发展,外腔半导体激光器的小型化成为可能,MEMS型平面反射镜被广泛用作微型可调半导体激光器的调谐和光反馈元件^[3-4]。本文提出了一种以MEMS TOF(微电子机械系统可调光滤波器)作为波长选择元件的外腔可调谐半导体激光器结构,与目前已提出的基于MEMS的可调谐外腔激光器相比,具有窄线宽、调谐精度高和无旋转机械部件的优点。

1 原理与结构设计

本文提出的可调外腔激光器的结构如图1所示。它由增益芯片、准直透镜、固定标准具、MEMS TOF、LC(液晶)芯片和平面反射镜组成。增益芯片

的一端镀有部分反射膜(反射率90%),另一端镀增透膜,光在增益芯片部分反射膜端与平面镜之间反馈振荡。MEMS TOF的F-P(法布里-珀罗)腔由两块内表面镀高反膜、外表面镀增透膜的平面玻璃板平行放置构成。在F-P腔一侧的两个电极上加驱动电压,通过静电力改变其F-P腔腔长进而改变透过峰的位置,起到调节输出波长的作用。固定标准具的透过峰为ITU-T(国际电信联盟电信标准化部)波长,这使得波长与ITU-T波长吻合的纵模保持振荡,其他的纵模被抑制。此结构通过波长锁定器实现闭环波长控制,当波长锁定器探测到输出波长与ITU-T波长之间有小范围偏差时,MCU(单片机)会改变加在液晶上的电压,即改变液晶折射率,使输出波长作小范围调整逼近ITU-T波长。

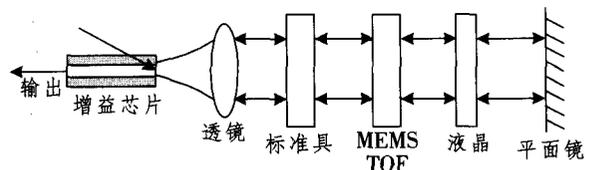


图1 可调外腔激光器结构图

在该结构激光器中,输出波长由其总有效腔长、MEMS TOF及标准具的透过峰共同决定。

收稿日期:2011-10-14

作者简介:钱坤(1987-),女,湖北襄阳人,硕士研究生,主要研究方向为光通信器件。

由总有效腔长决定的波长关系式为

$$p\lambda_c = 2n_{\text{eff}}L, \quad (1)$$

由 MEMS TOF 决定的波长关系式为

$$q\lambda_i = 2n_i d_i \cos\theta_i, \quad (2)$$

由标准具决定的波长关系式为

$$m\lambda_e = 2n_e d_e \cos\theta_e, \quad (3)$$

式中, λ_c 、 λ_i 和 λ_e 分别表示由腔长、MEMS TOF 和标准具决定的中心波长; p 、 q 和 m 为正整数; n_{eff} 为外腔有效折射率; L 为谐振腔长度; $n_{\text{eff}}L$ 为总有效腔长; n_i 为 TOF 折射率; d_i 为 TOF 两平板之间的距离; θ_i 为入射角度; n_e 为标准具的折射率; d_e 为标准具的厚度; θ_e 为光的入射角。由式(1)可知, 通过改变加在液晶上的电压来改变总有效腔长 $n_{\text{eff}}L$, 能起到调谐腔模的作用。由式(2)可知, λ_i 的决定因素为 TOF 折射率 n_i 、TOF 两平板之间的距离 d_i 和入射角度 θ_i 。在本激光器中, TOF 为正入射, θ_i 为常数, TOF F-P 腔内折射率可认为近似不变。通过改变 MEMS 驱动电压改变其 F-P 腔长 d_i , 即可达到波长调谐的目的。在外腔温度变化不大的情况下, 标准具的透过峰波长恒定。设 $\Delta\lambda_i$ 为 MEMS TOF 的 3 dB 带宽, $\Delta\lambda_e$ 为固定标准具的 3 dB 带宽, $\Delta\lambda_{\text{eFSR}}$ 为固定标准具的 FSR(自由光谱范围), $\Delta\lambda_c$ 为激光器的纵模间隔, 只有同时满足 $\Delta\lambda_{\text{eFSR}} > \frac{1}{2}\Delta\lambda_i$, $\Delta\lambda_c > \frac{1}{2}\Delta\lambda_e$, 使得 $\lambda_c \approx \lambda_i \approx \lambda_e$ 时, 才会有单纵模激光输出, 纵模选择过程如图 2 所示。

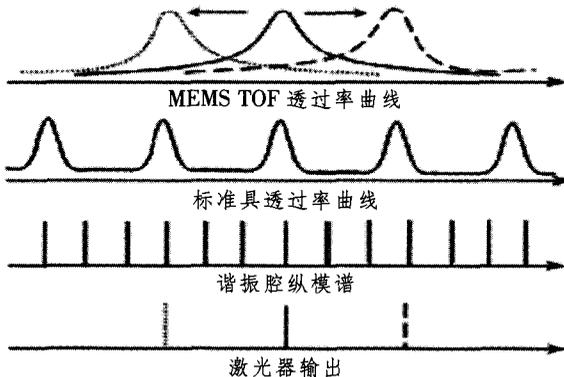


图 2 纵模选择原理图

2 实验与分析

本文研制了图 1 结构的激光器, 其组成部分包括增益芯片组件、准直透镜、硅标准具、MEMS TOF、LC、平面反射镜、控制外腔温度的 TEC(半导体制冷器)、波长锁定器及相关软件硬件。

激光器样品的 P-I(输出功率—注入电流)曲线

如图 3 所示。阈值以前输出功率很低, 阈值后随着泵浦电流的增大, 输出功率逐渐增大, 但增大的速度逐渐减慢, 当注入电流 > 125 mA 时, 输出功率达到 10 dBm, 注入电流达到 150 mA 后, 再增大注入电流, 输出功率基本不变。根据 P-I 曲线算得激光器的阈值电流约为 40 mA。实验中激光器注入电流设为 220 mA。

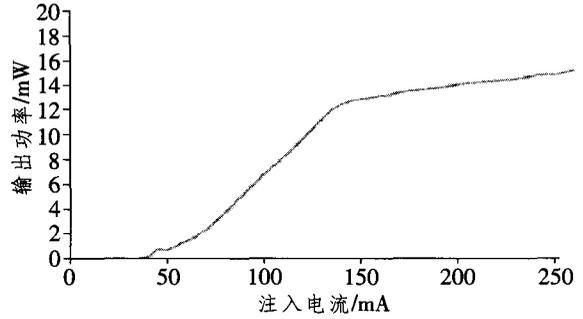
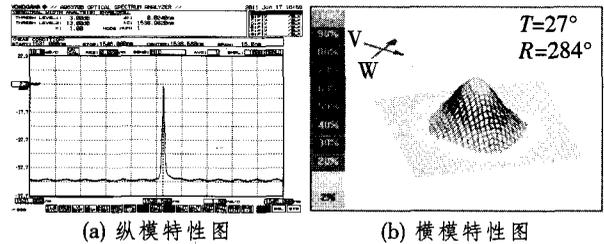


图 3 输出功率与注入电流的关系图

实验所用 MEMS TOF 的 FSR 为 5 000 GHz, FWHM(半高全宽)为 50 GHz, 在 C 波段内只有一个透过峰。固定标准具的中心波长为 ITU-T 波长, FSR 为 50 GHz, FWHM 为 9 GHz。MEMS TOF 透射峰的 3 dB 带宽内只包含一个标准具透射峰。激光器外腔腔长约为 1 cm, 纵模间隔约 10 GHz, 在标准具的 3 dB 带宽内只有一个纵模可以起振, 其光谱图如图 4(a) 所示, 边模抑制比 > 50 dB。用模场分析仪测得其输出为单横模, 如图 4(b) 所示。图像呈椭圆形光斑, 在长轴和短轴方向强度分布近似高斯线形。



(a) 纵模特性图

(b) 横模特性图

图 4 激光器输出特性图

在 ITU-T 波长附近, 通过调节液晶电压, 可在一定波长范围内实现波长精密调谐。以 1 537.79 nm 波长为例, 如图 5 所示, 当输出波长偏离 1 537.79 nm 时, 调节液晶电压可使输出波长靠近 1 537.79 nm。以 0.1 V 为步进电压, 测得最靠近目标频率的 A、B 两点的频率与目标频率的差分别为 1.27 和 -0.76 GHz。通过在不同 ITU-T 波长处的实验发现, 该激光器可达到 ± 1.5 GHz 的调谐精度, 优于 OIF(光互联网论坛)中规定的可调谐

激光器的±2.5 GHz调谐精度。

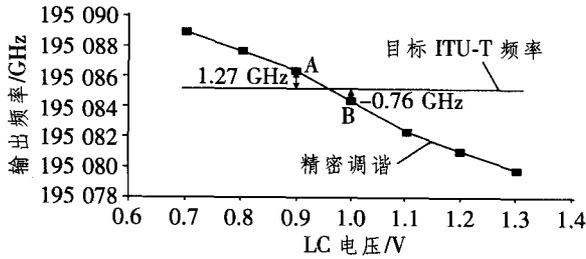


图5 LC精密调谐波长图

MEMS TOF 驱动电压与 C 波段内透过峰中心波长的关系如图 6 所示。实验中调节 MEMS TOF 的电压,使其在 19~21 V 范围内变化,测得激光器的可调谐范围约为 7 nm,如图 7 所示。调谐范围窄是由于 MEMS TOF 在该 7 nm 范围外的插损较大,通过提高制作工艺,可以实现 C 波段的全部覆盖。

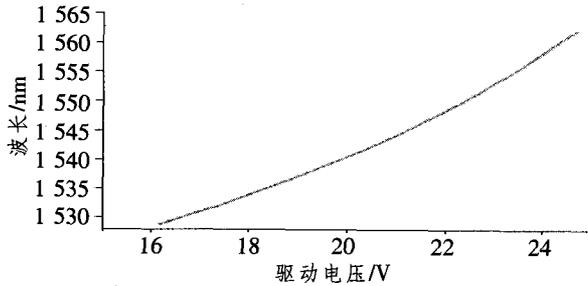


图6 MEMS TOF 驱动电压与其中心波长关系曲线

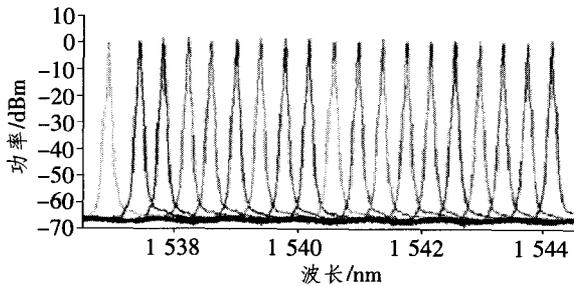


图7 激光器波长调谐图

用自外差法测量了该激光器样品的线宽,测得的光电流功率谱曲线如图 8 所示。由于光电流频谱

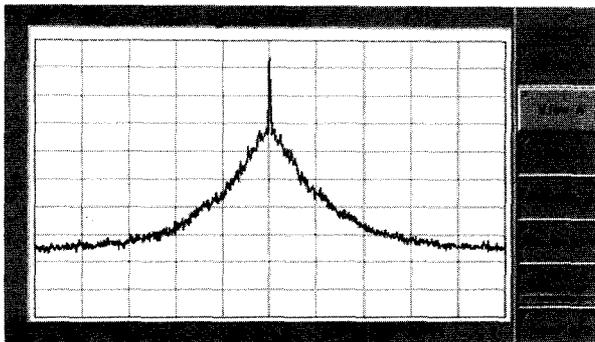


图8 光电流功率谱曲线

拟合洛伦兹线形,激光器的线宽为频谱 20 dB 带宽的 1/20^[5]。在图 8 中 Span(频率范围)为 20 MHz 时,可读出激光器的线宽约为 200 kHz。与传统单片集成式半导体可调激光器相比,线宽性能有很大的提高,满足了高速相干光通信的要求。

3 结束语

本文提出了一种基于 MEMS 的可调外腔激光器结构,并实际研制了该结构的激光器,其输出功率 >10 dBm,边模抑制比 >50 dB,调谐范围为 7 nm,具有较好的单纵模、单横模特性,线宽约为 200 kHz。下一步的工作将着力于增大可调谐范围,研究制作工艺,提高激光器性能,减少不稳定因素,进一步压窄线宽。

参考文献:

- [1] 罗雁横,张瑞君. MEMS 波长可调谐激光器及其进展 [J]. 微纳电子技术,2006,43(5):214-218.
- [2] Berger J D, Zhang Yongwei, Grade J D, et al. Widely tunable external cavity diode laser based on a MEMS electrostatic rotary actuator [J]. Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 2001, 2(2): TuJ2-TuJ2-3.
- [3] Uenishi Y, Honma K, Nagaoka S. Tunable laser diode using a nickel micromachined external mirror [J]. Electronics Letters,1996,32(13):1207-1208.
- [4] Ishimori M, Sasaki M, Hane K. Mirror with two parallel rotation axes for external cavity laser [A]. Optical MEMS and Their Applications Conference. 2005. IEEE/LEOS International Conference [C]. Oulu, Finland :IEEE,2005. 1-4:93-96.
- [5] Chen Xiaopei, Han Ming, Zhu Yizheng, et al. Implementation of a loss-compensated recirculating delayed self-heterodyne interferometer for ultranarrow laser linewidth measurement [J]. Applied Optics, 2006, 45(29):7712-7717.