

文章编号:1001-5078(2008)02-0115-03

· 激光技术与应用 ·

光栅光阀实现外腔半导体激光器波长调谐研究

周南权,陶纯匡,崔胜利
(重庆大学数理学院,重庆 400030)

摘要:根据光栅光阀(GLV)的技术原理,设计了一种实现外腔半导体激光器波长调谐的实验装置,能有效地实现激光输出波束的精密调谐,同时也降低了调谐的机械难度,本文提供的各项性能参数为实现加工提供了一定的参考。

关键词:光栅光阀;外腔半导体激光器;调谐;MEMS;闪耀光栅

中图分类号:TN248.4;TN929.1 **文献标识码:**A

Study on Achieving Wavelength Tuning of External-cavity Semiconductor Laser through Grating Light Valve

ZHOU Nan-quan, TAO Chun-kuang, CUI Sheng-li
(College of Mathematics and Physics, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: According to the technology and theory of grating light valve, an experimental facility structure that can achieve wavelength tuning of external-cavity semiconductor laser has been designed. This kind of structure can achieve minutely tuning of output wave-packet and reduce mechanical tuning difficulty, and many performance parameters of the structure, which are provided in this paper, have a certain theoretical instruction for manufacture in practice.

Key words: grating light valve (GLV); external-cavity semiconductor laser; tuning; micro electromechanical system (MEMS); blazed grating

1 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、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。波长可调谐激光器可任意控制信道波长,便于准确地控制频道间隔。可调谐激光器主要由三个基本部分组成:具有有源增益区和谐振腔的半导体二极管激光器,改变和选择波长的调谐装置(如光栅、反射镜),稳定输出波长的装置(如波长锁定器或标准具)。二极管激光器一般采用各种法布里-珀罗(F-P)谐振腔,腔长、温度、能隙、增益、载流子浓度、折射率等均可影响其发射波长。可调谐激光器可采用电流调谐、温度调谐、机械调谐技术,一般采用其中的一种或两种技术。采用机械调谐方法的外腔式激光器可以实现大范围的波长调谐(大于100nm^[1]),但是稳定性比较差,不便于集成,且调谐和转换的速度较慢,从而限制了它的应用范围^[2]。在机械调谐中, MEMS(微机电系统)结构是最有希

望的一种技术,可获得大范围调谐的激光器,近几年已成为开发热点^[3-4]。目前已开发出基于 MEMS 反射镜和闪耀光栅的 MEMS 可调谐激光器、MEMS 可调谐 DFB 激光器阵列、VCSEL 基 MEMS 可调谐激光器等。基于 MEMS 控制波长选择的激光器是通过控制 MEMS 倾斜的反射镜旋转角度选择波长,具有较大的可调带宽、较高输出功率,但调谐速度一般需要几秒的调谐稳定时间。图 1 是基于 MEMS 静电旋转调谐的外腔激光器,这种激光器的调谐范围可达 40nm,但其调谐和转换的速度仍然较慢(约为 15ms)^[5]。另一方面,按照 ITU-T 的规范,用于 DWDM(密集波分复用)的光信号载波波长有严格规定。各波长间隔很小,目前实用的波长间隔为 0.8nm,还将进一步缩小到 0.4nm 或更小至 0.2nm,因此要求激光源(主要是半导体激光器)的波长不

作者简介:周南权(1974-),男,光学工程专业硕士研究生,主要从事红外光源以及激光技术研究。E-mail:znq55555@163.com
收稿日期:2007-08-15; **修订日期:**2007-09-27

但要符合 ITU - T 的规范,而且要求波长很稳定。基于上面的分析,我们提出了一种利用新型 MEMS 器件 GLV 实现外腔半导体激光器的波长调谐的实验装置方案。

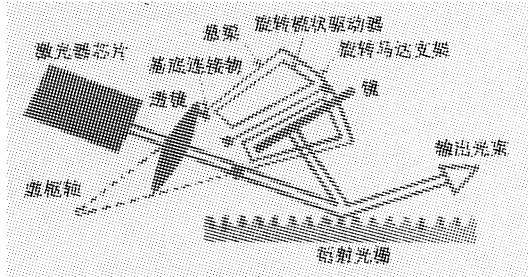


图 1 基于 MEMS 静电旋转调谐的外腔激光器
Fig.1 external-cavity semiconductor laser based on MEMS electrostatic rotary tuning

2 利用新型 MEMS 器件——光栅光阀 (GLV) 的设计技术方案及其调谐原理

2.1 GLV 技术原理^[6-7]

光栅光阀 (grating light valve, GLV) 是基于 MEMS 技术,利用传统 CMOS 材料和设备加工成型的微型反射式相位光栅新器件。1998 年基于 VLSI (Very Large Scale Integration) 技术的 GLV 被正式提为专利^[8]。在这项专利中,基底材料为硅,可活动的辐条 (ribbon) 材料为 SiN₂,在辐条和基底之间再镀上反射材料,如铝膜,相邻的辐条和基底之间在镀上铝膜之后高度差为入射波长的 1/2,辐条的厚度为入射波长的 1/4。通过静电引力或斥力使辐条运动,基本的 GLV 结构如图 2 所示。当在可动条和衬底间施加电压时,静电吸引力使三个交替相间的可动条向下移动,单元表面成为一个相位光栅,如图 3 所示,此时 GLV 器件单元处于衍射状态。在衍射状态下,固定条和可动条反射出来的光波前之间产生相位差,光栅在 θ 角度产生衍射峰:

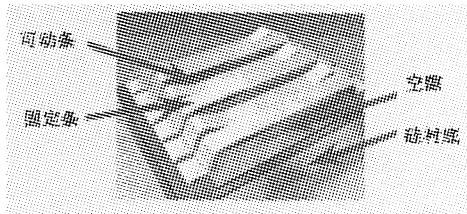


图 2 基本的 GLV 结构
Fig.2 basic GLV structure

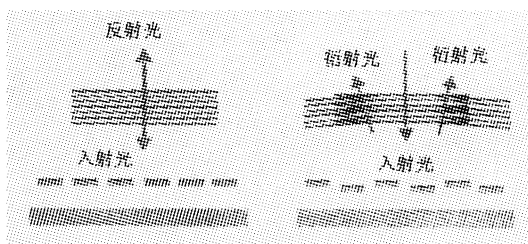


图 3 GLV 的反射和衍射状态
Fig.3 reflective and diffractive GLV states

$$\theta_m = \arcsin\left(\frac{m\lambda}{\Lambda}\right) \quad (1)$$

其中, Λ 为可动条之间的间隔; m 为衍射级; λ 为波长。当可动条向下移动的深度 δ 为人射光波长的 1/4 时,即 $\delta = \frac{1}{4}\lambda$ 时,衍射光的光强达到最大。一级衍射光强与光栅深度 δ 的关系为:

$$I_1 = I_m \sin^2\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right) \quad (2)$$

由此 GLV 单元可工作在两种模式,第一种是数字模式,即可动条要么不动,要么精确地下移 $\lambda/4$ 距离。当可动条未下移时,表面形成平面镜面,可将入射光直接反射回,如图 3 所示。此时为没有衍射光的暗状态;当对特定单元的可动条施加一定电压时,可动条下移形成衍射光栅,此时为亮状态。第二种是连续可变的模拟调制模式,可动条可精确下移 0 至 $\lambda/4$ 的距离。通过改变所施加的驱动电压,可以精确控制可动条下移的距离,从而控光反射或衍射的比例进行模拟调制。在阻挡掉反射光的情况下,衍射光的对比度可高达 1000:1 ~ 3000:1。

静电吸引力以及可动条材料本身提供的张力为垂直位移提供了平衡。由于空气间隔很小,而静电吸引力与间隔的平方成反比,因此静电吸引力非常强。又因为可动条的质量小,因此其动作速度非常快(约为 20ns)^[9]。由于辐条的移动距离相对波长比拟,因此这种 MEMS 器件的响应时间远远小于传统使用梳状电极或者转动微镜的响应时间,达到微秒量级。

2.2 基于 GLV 的实验装置

基于新型 MEMS 器件 GLV 的可调谐外腔半导体激光器的结构如图 4 所示,它是基于 Littman 光栅外腔调谐结构^[10]为基础进行的改进,利用光栅光阀 GLV 阵列代替反射镜转动结构应用到可调谐激光器技术来,闪耀光栅、会聚透镜和 GLV 阵列构成了一个典型的共焦结构。

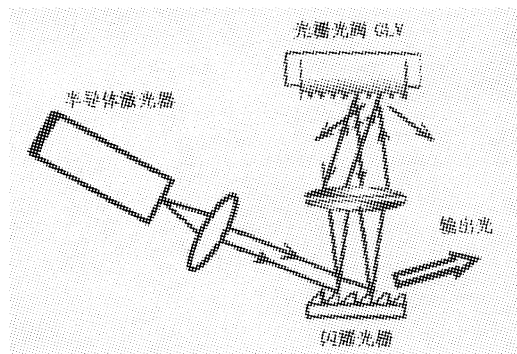


图 4 基于 GLV 的光栅外腔 LD 结构示意图
Fig.4 structure sketch map of grating external cavity LD based on GLV

2.3 实验装置的波长调谐原理

半导体激光器输出的光束经过凸透镜扩束准直之后入射到闪耀光栅表面,闪耀光栅是色散元件,使入射光按照不同的角度出射;被闪耀光栅色散的不同波长经过透镜聚焦在 GLV 表面,不同的中心波长的光束入射在不同的 GLV 的工作单元上。因为 GLV 每个工作单元可以单独地控制,所以可以很方便地对每种波束进行控制。如果相应的 GLV 单元处于未通电状态,则此单元是平面镜,这个波长的光就会被反射回来,按照原光路在这个外腔中振荡放大输出;如果所对应的 GLV 单元被施加了一定的电压信号,则此时的 GLV 是衍射光栅状态,对应的波束不能回到原光路形成振荡,这部分能量被损耗掉。

在这个结构中的共焦结构,是保证激光器中对波束进行选择时这个波束可以原路返回的关键。闪耀光栅位于透镜的前焦面上, GLV 阵列位于透镜的后焦面上,这样入射光经过闪耀光栅色散后不同波长的光以不同角度的平行光出射,然后聚焦在 GLV 表面上,因为会聚光的光轴垂直于 GLV,所以当对应波束的 GLV 单元是平面状态时,光束经反射后原路返回,这就是被选择的光,相反,如果对应波长的 GLV 单元是衍射光栅状态时,入射光就会发生衍射使光束无法原路返回,从而被过滤掉。因为 GLV 阵列中的每个工作单元可以单独控制,这种方法可以任意控制要输出的或者被过滤掉的波束的数量。

2.4 实验装置的系统参数

通过闪耀光栅的参数计算、色散分析以及在 GLV 表面聚焦的光斑尺寸计算,可计算出激光的输出线宽和波长的调谐范围,下面提供的这种基于 GLV 的激光器装置各个元件的结构参数(如表 1 所示)以及它能达到的性能参数的理论值(如表 2 所示),为实际加工起到了一定的理论指导。

表 1 基于 GLV 的激光器各个元件的结构参数
Tab.1 structure parameter of each component in the external-cavity semiconductor laser based on GLV

结构参数	数值
LD 内腔光程长 nl/mm	0.5
LD 有源区光强损耗系数 γ/cm^{-1}	30
LD 增益曲线半极大值全宽 $\Delta\lambda_{gain}/nm$	100
LD 有源区边界 AR 膜反射率	6×10^{-6}
闪耀光栅常数 $d/\mu m$	1.85
闪耀光栅宽度/mm	30
闪耀光栅闪耀角/ $^\circ$	30
聚焦透镜焦距/cm	4
GLV 条带宽度/ μm	0.65
GLV 表面反射率/%	91

根据表 1 中各个元件的结构参数设计的基于新

型 MEMS 器件 GLV 的半导体激光器可得到的理论性能参数如表 2 所示。

表 2 基于 GLV 的半导体激光器的性能参数
Tab.2 performance parameters of the external-cavity semiconductor laser based on GLV

性能参数	数值
输出线宽/MHz	0.75
调谐范围/nm	1480 ~ 1600
输出功率/mW	37
调谐频率间隔/GHz	100

3 结论

本文提出了一种利用新型 MEM 器件 GLV 来实现光栅外腔半导体激光器的波长精密调谐的实验装置方案。把 GLV 作为波长选择器件,使外腔半导体激光器的结构中 GLV 与闪耀光栅形成共焦结构,便于使被选择的波束原路返回,经过在谐振腔中振荡,最后输出,可以得到较窄的线宽,同时因为 GLV 的结构简单,它的生产和安装成本都较低,而且 GLV 有很好的易扩展性,可达到很宽的调谐范围,更重要的是它具有纳秒级的调谐速度。理论研究证明,利用 MEMS 器件 GLV 的这种外腔半导体激光器能有效地提高激光输出波束的调谐精度,同时可以降低调谐的机械难度,本文提供的各项性能参数为实际加工起到了一定的理论指导。

参考文献:

- [1] Zorabedian P, Trutna W R, Jr. Interference-filter-tuned, alignment-stabilized, semiconductor external cavity laser [J]. Opt. Lett., 1988, 13(10): 826 - 828.
- [2] 齐丽云, 石家纬, 高鼎三, 等. 波长(频率)可调谐半导体激光器[J]. 半导体激光, 1999, 20(5): 320 - 325.
- [3] Pezshki B, Parhar G, Badr N. Tunable lasers [J]. IEEE Circuits & Devices Magazine, 2003, 12(9): 36 - 40.
- [4] Liu A Q, Zhang X M, Tang D Y. MEMS widely tunable lasers for WDM system applications [J]. Proceedings of SPIE, 2002, 4907: 186 - 194.
- [5] 高劭宏, 黄德修, 高彦锟, 等. 用于光通信系统的可调谐半导体激光器[J]. 半导体光电, 2005, 26(1): 1 - 9.
- [6] 张洁, 黄尚廉, 付红桥, 等. 光栅光阀的光学特性分析及仿真[J]. 光学学报, 2005, 11, 25(11): 1452 - 1456.
- [7] 李俊, 陈海清, 余洪斌, 等. 光栅光阀的应用、模拟技术和发展趋势[J]. 半导体技术, 2005, 7 30(7): 11 - 15.
- [8] Dzierzynski, Paul M. Flat diffraction grating light valve [P]. United States Patent: 5841579, 1998: 11 - 24.
- [9] Amm Dt, Corrigan Rw. GLV technology: update and novel applications [EB/OL]. <http://www.siliconlight.com/webpdfsid98.pdf>, 1998.
- [10] 徐斌, 邱怡申, 徐惠真. 光杠杆实现外腔半导体激光器波长调谐的理论研究[J]. 光通信技术, 2006, (7): 13 - 14.