

全光纤激光器中光栅作为腔镜的特点研究*

杜亮,戴特力,梁一平,杨文韬,魏佳菊

(重庆师范大学物理与电子工程学院 重庆市高校光学工程重点实验室,重庆 400047)

摘要 选用介质膜作谐振腔镜,光纤激光器就缺乏有效的选频机制,使得输出激光线宽较宽,纵模频率和输出功率不够稳定;而光纤光栅作为激光器的谐振腔镜,可以得到稳定的窄线宽激光输出。通过对光纤光栅的形成机理和布拉格光栅选频原理分析,得到双布拉格光纤光栅线型谐振腔的理论。光纤光栅谐振腔的长度与光纤光栅中心波长满足

$$S = \frac{(2m-1)\lambda_{\max}}{4n_{\text{eff}}}$$

光纤光栅比介质膜更适合做光纤激光器谐振腔镜。

关键词 光纤激光器; 光纤光栅; 折射率调制深度; 耦合模理论

中图分类号 TN248

文献标志码 A

文章编号 1672-6693(2011)04-0048-05

光纤激光器因为腔内光场驻波以波导传输方式在增益介质内分布,故具有很强的横模鉴别作用,基横模运行占绝对优势;加之泵浦光在内包层内利用全反射不断地穿过纤芯,横模空间与泵浦空间交叠系数很高,激光器的斜效率大,光束质量好。所以,几十瓦、几百瓦、几千瓦的光纤激光器相继出现在国际市场上。

早期的光纤激光器谐振腔主要是传统法布里-珀罗腔,它是将增益光纤放在二向色镜之间构成谐振腔。光纤的两端必须抛光,且其端面必须紧贴着二向色镜,这种腔的调整较为困难,光纤端面或腔镜稍微倾斜,就会使损耗急剧增加。另一种方法是在研磨抛光好的端面上直接镀膜。由于介质膜对光纤端面的缺陷极为敏感,而通常对于10 μm左右光纤纤芯,对端面的研磨、抛光和检验,即使用专门设备也很困难。此外,难以把泵浦光均匀稳定地聚焦到光纤的端面。当功率较高的泵浦光聚焦光纤端面时,就很可能损坏介质膜。加之,这两种谐振腔结构光纤激光器都是由分立元件组合而成,所以动力学特性和稳定性不好,基本不可能实现批量生产。而光纤光栅是通过紫外光产生的非定域干涉条纹的诱导,在光纤纤芯形成折射率周期变化的低损元件^[1-4]。布拉格光纤光栅对特定波长实现窄带反射,具有非常好的频率选择性和较高的损伤阈值。采用两个光纤光栅做激光谐振腔镜,即把光纤光栅尾纤

融接在掺稀土离子的双包层光纤两端,形成结构紧凑且有机稳定性的全光纤激光器。全光纤化的激光器结构,窄化了发射线宽,可以获得单纵模高功率的激光输出,提高了激光器的信噪比和可靠性,进而提高了光束质量。选择不同类型的光纤光栅作为谐振腔的反射镜,可以得到单波长或多波长的激光输出。

1 光纤光栅的形成原理

光纤被紫外光波段内一些特定波长辐射,比如KrF准分子激光器的248 nm激光束照射下,纤芯玻璃成分中锗离子会沿着光强梯度的方向移动,使折射率发生永久性改变。如果激光辐射场是通过某种方式形成的非定域干涉光场,则纤芯的折射率会按紫外光场的强度分布形成周期性分布。

光纤的这种光敏性与光纤的掺杂有关,它主要取决于光纤纤芯材料,不同的掺杂会对不同波段的光具有光敏性。增强光纤光敏性方法有掺杂、载氢和焰刷^[1-2]。在光纤纤芯中掺入锗后纤芯具有光敏性,而纯石英包层则没有。因此通过上述紫外光曝光的方法把入射光的相干场图样写入纤芯时,包层的折射率并没发生变化,即仍保持原有的波导性质,只是在纤芯内折射率沿纤芯轴向周期性变化。折射率周期性变化的幅度称之为调制深度,它与光强成线性关系。这种永久性空间相位光栅,相当于在纤

* 收稿日期 2011-03-08 修回日期 2011-04-11 网络出版时间 2011-07-07 17:44:00

资助项目:重庆市科委科技攻关项目(No. 8180),重庆市教委应用基础基金项目(No. KJ060816)

作者简介:杜亮,男,硕士研究生,研究方向为激光单元器件及应用;通讯作者:戴特力, E-mail: teildai@yahoo.com.cn

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20110707.1744.201104.48_012.html

芯内形成一个窄带滤波器(透射情况)或反射镜(反射情况)。图1为均匀布拉格光纤光栅结构示意图,它的特点是前向传输的模式与后向传输的模式之间发生耦合,属于反射型带通滤波器^[3-5]。

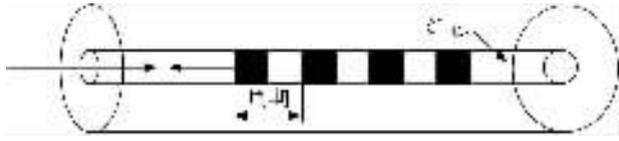


图1 均匀布拉格光纤光栅结构示意图

光纤光栅是一种折射率沿轴向周期变化的光波导,可以看成纤芯折射率沿 z 轴方向的调制。如果折射率调制的幅度足够小,这种调制可当成对光纤导模有效折射率的一种微扰,该微扰在光纤横截面上是均匀的。通常写入光栅后光纤的折射率轴向分布可以表示为^[5-9]

$$n_{\text{eff}}(z) = n_{\text{eff}} + \delta n_{\text{eff}}(z) = n_{\text{eff}} + \overline{\delta n_{\text{eff}}(z)} \{1 + v \cos \left[\frac{2\pi}{\Lambda} z + \phi(z) \right]\} \quad (1)$$

(1)式中 n_{eff} 为曝光前光纤纤芯的有效折射率 $\delta n_{\text{eff}}(z)$ 为曝光后纤芯折射率的微扰 $\overline{\delta n_{\text{eff}}(z)}$ 为直流折射率调制分量,即折射率变化在一个光栅周期内的平均值,在此为常数,表示调制深度。 v 为折射率变化的条纹可见度 Λ 为光栅周期 $\phi(z)$ 为折射率变化的相位,通常用来描述光栅的啁啾量。对于均匀光纤光栅,纤芯折射率的微扰 $\delta n_{\text{eff}}(z)$ 沿 z 轴方向成正弦变化,啁啾 $\phi(z)$ 为零。

根据不同应用的需要,可以刻写不同结构的光纤光栅。按照光纤光栅周期长短分类,光纤光栅分为布拉格光纤光栅和长周期光纤光栅。其中长周期光纤光栅的特点是同向传输的纤芯基模和包层模之间发生耦合,无后向反射,属于透射型带阻滤波器。依据光纤光栅不同的结构和特点,光纤光栅又可分为均匀布拉格光纤光栅、啁啾光纤光栅、相移光纤光栅、超结构光纤光栅、闪耀(倾斜)布拉格光栅、长周期光纤光栅及一些由它们衍生出来的交叉类型,如相移啁啾光纤光栅、相移长周期光纤光栅、啁啾长周期光纤光栅等^[6-7]。

2 双布拉格光纤光栅线型谐振腔的特性

在一段增益光纤,比如掺镱(Yb^{3+})的双包层光纤,两端各熔接一个中心波长相同,反射率分别为99%和10%的布拉格光纤光栅,便构成全光纤激光器的线型谐振腔。两个光纤光栅中一个当做全反射镜(99%),另一个为输出镜(10%)。光纤光栅作为光

纤激光器的谐振腔与传统的法布里-珀罗腔相比具有很大的优势。

2.1 光纤光栅的选频原理

根据耦合模理论及边界条件,均匀单模 Bragg 光纤光栅的振幅反射系数 r 和光强反射率 R ($R = |r|^2$)可以分别表示为^[7-9]

$$r = \frac{-k \sin k(\sqrt{k^2 - \hat{\sigma}^2} L)}{\hat{\sigma} \sin k(\sqrt{k^2 - \hat{\sigma}^2} L) + i \sqrt{k^2 - \hat{\sigma}^2} \cos k(\sqrt{k^2 - \hat{\sigma}^2} L)} \quad (2)$$

$$R = \frac{\sin^2 h^2(\sqrt{k^2 - \hat{\sigma}^2} L)}{\cos^2 h^2(\sqrt{k^2 - \hat{\sigma}^2} L) - \hat{\sigma}^2/k^2} \quad (3)$$

$$\hat{\sigma} = 2\pi n_{\text{eff}} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_B} \right) + \frac{2\pi \overline{\delta n_{\text{eff}}}}{\lambda} \quad (4)$$

$\hat{\sigma}$ 称为自耦合系数, λ 为光波波长, $\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda$ 是理想光栅(即 $\overline{\delta n_{\text{eff}}} = 0$ 时)的中心反射波波长。 k 为互耦合系数($k = k^* = \frac{\pi}{\lambda} v \overline{\delta n_{\text{eff}}}$), v 表示条纹可见度, L 为光纤光栅长度。

通过(3)式可以描述均匀布拉格光栅反射谱的特性,对于一个给定的均匀布拉格光栅,当其自耦合系数 $\hat{\sigma}$ 为零时,光纤 Bragg 光栅的反射率为最大,其值为

$$R_{\text{max}} = \tan^2 h^2(kL) \quad (5)$$

(5)式反映了光纤 Bragg 光栅的峰值反射率与互耦合系数 k 和光栅长度 L 的乘积有关,增加光纤光栅的长度和提高折射率调制深度都可以增加光栅的峰值反射率。同时自耦合系数 $\hat{\sigma}$ 为零时,由(4)式可以求出反射率最高处的波长

$$\lambda_{\text{max}} = \left(1 + \frac{\overline{\delta n_{\text{eff}}}}{n_{\text{eff}}} \right) \lambda_B \quad (6)$$

从(6)式可以看出反射率最高处的波长 λ_{max} 和理想光栅布拉格波长 λ_B 有一点差别,这是由于折射率微扰 $\delta n_{\text{eff}}(z)$ 的平均值 $\overline{\delta n_{\text{eff}}(z)}$ 不为零造成的,即光纤光栅折射率调制深度越大,其最高反射率处的峰值波长也越长。在制作光纤光栅的过程中可以观察到随着曝光量的增加,反射率的峰值波长也逐渐向长波长方向移动,其原因也就是曝光量的增加导致折射率微扰幅度的增加^[7-10]。

光纤 Bragg 光栅反射谱中峰值反射波长两边的第一个零反射波长之间的距离为光纤光栅反射谱带宽 $\Delta\lambda_0$,结合公式(3)及公式(4)推导得

$$\Delta\lambda_0 = \lambda_{\text{max}} \sqrt{\left(\frac{\overline{\delta n_{\text{eff}}}}{n_{\text{eff}}} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_B}{n_{\text{eff}} L} \right)^2} \quad (7)$$

由(7)式可知,折射率调制深度 $\overline{\delta n_{\text{eff}}}$ 不变时,光纤 Bragg 光栅带宽 $\Delta\lambda_0$ 随着光纤光栅的长度增加而相应地减小,与此同时最大反射率几乎可以快速增加到100%。在保持最大反射率不变,即(6)式中乘积 (kL) 不变的条件下,通过增加光纤光栅的长度 L 和减小光纤光栅折射率调制深度(也就是减小 k),可以使反射谱带宽 $\Delta\lambda_0$ 减小。

2.2 布拉格光纤光栅谐振腔结构特点

光纤布拉格光栅只对中心耦合波长附近的窄带宽内的受限模有耦合反射作用,因此这种由一对 FBG 组成的全光纤激光谐振腔的纵模频率受到光纤光栅的反射带宽的限制。这是全光纤激光谐振腔相对于法布里-珀罗光纤谐振腔的区别。作为腔镜的布拉格光栅可以直接写在有源光纤上,也可以把所需要的布拉格光栅熔接在有源光纤的两端。图2是由两个具有相同中心波长光纤布拉格光栅组成的 F-P 腔结构。



图2 光纤布拉格光栅 F-P 腔

其中光纤光栅 L_{g1} 作为光纤激光器腔镜的输入端,它对泵浦光高通,对光纤光栅中心波长则全反。光纤光栅 L_{g2} 为激光器的输出端腔镜,其反射谱带宽要比光纤光栅 L_{g1} 要窄。 L_{g2} 在带宽内对中心波长为部分反射,反射率可以根据需要选择。因此只有波长接近光纤光栅 L_{g2} 中心波长的受限纵模,才能在谐振腔内形成反馈,从而产生稳定的激光振荡和输出。光栅 L_{g2} 比光栅 L_{g1} 的反射谱带宽要窄,能更好地起到选频作用。当工作环境在允许范围内变化时,两个光栅的中心波长可能失谐,但是它们反射带宽之间仍有重合部分。光纤光栅 L_{g1} 带宽较大比两个具有相同窄反射谱带宽情况更有利于带宽的重合。这样重合部分的带宽由光栅 L_{g2} 反射谱带宽决定,且输出的激光波长由光栅 L_{g2} 的中心波长来决定。

设两个光纤光栅的长度均为 L ,谐振腔的长度为 S 。则由两个具有相同中心波长光纤光栅构成的谐振腔的腔长和波长满足相位谐振条件^[9-11]

$$\phi_1 + 2\phi_r = 2m\pi \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (8)$$

其中 ϕ_1 为光波在两光栅之间传播一个往返的相移角

$$\phi_1 = \frac{4\pi n_{\text{eff}} S}{\lambda} \quad (9)$$

而(9)式中的 ϕ_r 是 FBG 在波长 λ 处的反射系数的相位因子,即光波经光纤光栅反射后的相位变化。从(2)式可以推导得出光栅反射系数的相位角 ϕ_r 。令

$$\kappa = \sqrt{k^2 - \hat{\sigma}^2}$$

那么 ϕ_r 可表示为

$$\phi_r = \begin{cases} \pi + \tan^{-1} \left(-\frac{\kappa \cos h(\kappa L)}{\hat{\sigma} \sin h(\kappa L)} \right) & \lambda \leq \lambda_{\text{max}} \\ \tan^{-1} \left(-\frac{\kappa \cos h(\kappa L)}{\hat{\sigma} \sin h(\kappa L)} \right) & \lambda > \lambda_{\text{max}} \end{cases} \quad (10)$$

希望设计的全光纤光栅激光腔在光栅中心波长 λ_{max} 产生谐振,即 $\hat{\sigma}$ 为零时光纤光栅谐振腔在波长 λ_{max} 处存在谐振峰。那么,(10)式中 $\tan^{-1}(\pm\infty) = \pm\pi/2$,于是可得在该波长处的反射系数的相位角 ϕ_r 的值

$$\phi_r = \pi/2 \quad (11)$$

从(8)和(11)式得

$$\frac{4\pi n_{\text{eff}} S}{\lambda_{\text{max}}} = (2m-1)\pi \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (12)$$

(12)式可以写成光纤光栅谐振腔的长度与光纤光栅中心波长的关系式

$$S = \frac{(2m-1)\lambda_{\text{max}}}{4n_{\text{eff}}} \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (13)$$

(13)式说明在光纤光栅中心波长不变时,调节光纤光栅谐振腔的长度,使其有规律的变化,来达到稳定的激光输出。在光纤增益介质长度不变的情况下,由于外界因素,光纤光栅中心波长改变时,通过调节光纤光栅的中心波长使之满足以上关系式,从而使光纤激光器工作稳定。一般说来,光纤光栅的中心波长由制作时设计好的位相掩膜版的周期决定,光纤光栅谐振腔的长度为掺杂双包层光纤上两光纤光栅之间的长度,它是可以改变的,只是多一道熔接工艺。

3 光纤光栅的热效应及补偿

在制作高功率全光纤激光器时,光纤光栅的热效应对整个光纤激光器的工作稳定性影响很大,对光纤光栅制冷及温度补偿显得尤为重要。温度影响布拉格波长是由热光效应和热膨胀效应引起的。对单模光纤光栅,在一定的温度范围内,热光效应引起的光纤光栅有效折射率变化为

$$\Delta n_{\text{eff}} = \zeta n_{\text{eff}} \Delta T \quad (14)$$

其中 ζ 表示热光系数,为折射率随温度的变化率。

假设光栅轴向应力场和均匀压力场恒定,由热膨胀引起的光栅周期变化为

$$\Delta\Lambda = \alpha\Lambda\Delta T \quad (15)$$

式中 α 为光纤的热膨胀系数。光纤光栅的布拉格波长可以表示为 $\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda$,当 n_{eff} 和 Λ 变化时,布拉格波长的变化为^[12-14]

$$\Delta\lambda_B = 2\Lambda\Delta n_{\text{eff}} + 2n_{\text{eff}}\Delta\Lambda \quad (16)$$

将(14)、(15)式代入(16)式得

$$\Delta\lambda_B = 2\Lambda\zeta n_{\text{eff}}\Delta T + 2n_{\text{eff}}\alpha\Lambda\Delta T = 2\Lambda n_{\text{eff}}\Delta T(\zeta + \alpha) = \lambda_B(\zeta + \alpha)\Delta T$$

或 $\Delta\lambda_B/\lambda_B = (\zeta + \alpha)\Delta T \quad (17)$

从(17)式可知,在一定温度范围内,由于 ζ 和 α 为常数,故 $\Delta\lambda_B/\lambda_B$ 与 ΔT 呈现一定的线性关系。腔镜的布拉格光纤光栅的中心波长随着温度的增加向长波方向移动,对光纤激光器的稳定性是很不利的。特别是当两端的腔镜温度不同时,光纤光栅中心波长可能失谐,严重时将导致光纤激光器不能正常工作。为此,有必要对腔镜光纤光栅致冷,或进行温度补偿。制冷的好处是不但可以保护泵浦模块、光纤光栅及光纤激光器其他配件,延长工作寿命,而且能够减小光栅中心波长的漂移量,使光纤激光器工作更稳定。

3.1 致冷原理

全光纤激光器有许多元器件需要致冷,比如泵浦模块、泵浦保护器、双包层光纤、合束器、声光调制器(AOM)等。腔镜光纤光栅和它们一起,放在一个铜质的制冷室中。制冷室采用热电制冷片(TEC)来进行制冷,热电制冷片的一面贴在制冷室外侧的铜板上,另一面贴在散热风扇上,两面接触部分可以涂导热硅脂来增大接触面积以增加热传导。在大功率情况下,需要成对添加多个热电制冷片和风扇^[15]。根据以上分析,实验室设计的掺镱双包层光纤激光器散热装置如下图3所示。



图3 光纤激光器散热装置

光纤激光器散热装置采用了4个热电制冷片,

TEC外形尺寸为40 mm × 40 mm,当热端温度为27℃时,单个TEC最大制冷量功率可达70 W,而泵浦源最大输入功率和激光输出功率分别为60 W和25 W。实验中光纤光栅及光纤之间的熔接点分别贴在铜板上,通过调节TEC的输入功率来控制制冷室温度。由于镱离子在波长975 nm处吸收截面大而吸收谱宽比较窄(约8 nm),则对泵浦源波长的控制要求就比较高了。经过测试,泵浦源温度为30℃时,泵浦波长可以控制在975 nm左右。图3中右上角的方形铜盖合在散热底座上便构成了制冷室,为了加强制冷效果,方形铜盖表面还需贴上绝热材料。该散热装置在光纤激光器实验中已经收到良好成效。

3.2 温度补偿原理

施加在光纤光栅上的轴向应力会造成光纤光栅中心反射波长发生漂移,其波长改变的大小为^[16-17]

$$\Delta\lambda'_B = (1 - P_e)F\lambda_B \quad (18)$$

式中 P_e 为弹光系数, F 为施加在光纤光栅纤心方向的应力。

为达到温度补偿效果,使温度和应力导致的中心波长漂移相互抵消,可令

$$\Delta\lambda_B + \Delta\lambda'_B = 0 \quad (19)$$

联立方程(17)~(19)式可以得

$$F = \frac{(\zeta + \alpha)\Delta T}{1 - P_e} \quad (20)$$

从(20)式可以看出轴向应力和温度变化成正比例关系,符号表示轴向应力和温度变化的方向相反。光纤光栅的温度变化时,通过调节外部施加的轴向应力来进行补偿,从而保持光纤光栅中心波长不变。由于光纤光栅柔软的结构,施加的光纤光栅的轴向应力是通过拉伸来实现。根据所需要的中心波长,先给光纤光栅一个轴向预应变,预应变不宜过大,以防光纤光栅应力疲劳,其目的是使光纤光栅在有效的温度范围内实现温度补偿。比如,随泵浦光强增大,光纤和光纤光栅温度升高,则要减少光栅轴向应力。如果没有预应变,就无法调整。可见,应力补偿温度变化的方法首先要求在预应力下调节正常的初始发射波长。这对应力调节机构的设计提出了细致的要求。

4 总结

与传统的光纤激光器相比,以光纤光栅为腔镜的全光纤激光器具有输出激光线宽窄、结构紧凑、稳定性高、免维护等一系列优点。本文介绍了光纤光

栅的形成原理及折射率分布,对布拉格光纤光栅的选频原理进行了理论分析,描述了光纤光栅折射率调制深度,光栅的周期及长度等参量与布拉格光纤光栅的反射率、反射谱和带宽之间的关系,讨论了布拉格光栅线性腔中光纤光栅谐振腔的长度与光纤光栅中心波长应具有的关系,说明了光纤光栅作为腔镜的特点及优势。由于光纤激光器工作中光纤光栅受热而产生热效应,会使布拉格波长发生漂移。本文提出了制冷和温度补偿两种措施,并对实验室设计的制冷系统做了介绍。考虑到腔镜光纤光栅温度特性,对光纤光栅热效应和补偿措施进行了半定量的讨论。

致谢:研究生倪演海、伍瑜参与了部分实验,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 杨兴,胡建明,戴特力. 光纤光栅传感器的原理及应用研究[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2009,26(4):101-102.
- [2] 李志全,黄丽娟,王莉,等. 不同折射率调制的光纤光栅的特性及其应用[J]. 光学技术,2003,29(01):730-734.
- [3] Hill K O. Bragg gratings fabricated in monomode photosensitive optical fiber by UV exposure through a phase mask [J]. Applied Physics Letter,1993,62(10):1035-1037.
- [4] Lam D K, Garside B K. Characterization of single-mode optical fiber filters[J]. Appl Opt,1981,20(3):440-445.
- [5] Erdogan T. Fiber grating spectrum[J]. IEEE Journal of

Light Wave Technology,1997,15(8):1277-1294.

- [6] 方强,梁猛. 发展中的光纤光栅技术[J]. 西安邮电学院学报,1999,4(1):17-17.
- [7] 饶云江,王一平,朱涛. 光纤光栅原理及应用[M]. 北京:北京科学技术出版社,2006.
- [8] 谢玉彬,霍佳雨. 光纤激光器及其应用[M]. 北京:北京科学技术出版社,2002.
- [9] 吕昌贵,崔一平,王著元,等. 光纤布拉格光栅法布里-珀罗腔纵模特性研究[J]. 物理学报,2004,53(01):145-149.
- [10] 胡贵军,潘玉寨,郭玉彬,等. 基于光纤光栅的高功率光纤激光器[J]. 光子学报,2004,33(4):405-407.
- [11] 王蓟,赵崇光,刘洋,等. 基于双包层光纤光栅的掺铒双包层光纤激光器[J]. 半导体光电,2006,27(5):522-525.
- [12] Xu M G, Archambault J L, Reekje I, et al. Discrimination between strain and temperature effect using dual wavelength fibre grating sensors[J]. Electron Lett,1994,30(13):1085-1087.
- [13] Yoffe G W, King P A, Ouellette F, et al. Passive temperature-ompenating package for optical fibre gratings[J]. Appl Opt,1995,34(30):6859-6861.
- [14] 赵明富,黄德翼,罗彬彬,等. 光纤 Bragg 光栅倏逝波传感器[J]. 重庆理工大学学报:自然科学版,2010,24(10):47-49.
- [15] 戴特力. 半导体激光二极管泵浦全固态激光器[M]. 成都:四川大学出版社,1993.
- [16] 曹彬,欧攀,贾明,等. 一种新型光纤光栅温度补偿装置[J]. 中国激光,2008,35(12):1959-1961.
- [17] 李彬,傅永军,魏淮,等. 高温封装实现光纤光栅的长期稳定[J]. 光电子·激光,2006,17(7):798-802.

Research of the Characteristics of Fiber Bragg Grating as the Cavity Mirror in All-fiber Laser

DU Liang, DAI Te-li, LIANG Yi-ping, YANG Wen-tao, WEI Jia-ju

(Optical Engineering Key Lab of Chongqing City, College of Physics and Electronic Engineering, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: If used dielectric film as cavity mirrors, the output laser linewidth of fiber laser would be wide, moreover the longitudinal mode frequency and output power are not stable enough because of the lack of effective mechanisms for frequency selection. Using fiber grating as laser cavity mirrors, we can acquire stable, narrow linewidth laser output. Through the analysis of optical fiber bragg grating formation mechanism and the frequency selection principle of bragg grating, dual bragg fiber grating linear cavity theory are obtained.

the length of the fiber bragg grating resonator and fiber bragg grating center wavelength meet $S = \frac{(2m-1)\lambda_{\max}}{4n_{\text{eff}}}$, fiber grating is more suitable than dielectric film as cavity mirror.

Key words: fiber laser; fiber bragg grating; refractive index modulation depth; coupled mode theory