

光纤激光器的偏振开关操作

林金桐

(英国伦敦大学 英皇学院电子和电气工程系)

提 要

本文阐述了采用光子注入法实现光纤激光器的偏振开关操作. 这种新颖的全光开关器件具有极低的阈值($0.1 \mu\text{W}$), 对操作机理、实验实现和器件特性.

关键词 光纤激光器, 偏振开关.

1 引 言

全光调制、全光开关是活跃的研究领域, 将在光信息处理、光纤传感器和光通信等技术中获得广泛应用. 本文提出一种在光纤激光器中采用光子注入法实现光的偏振开关的新概念, 并报告这种光开关器件的首次实现.

光纤激光器具有特殊的偏振特性^[1,2]. 现已证实, 在“单模”光纤激光器法布里-珀罗腔内, 可以有两个正交的、相位独立的偏振本征模激励振荡. 在光信息处理中, 光的偏振态可以被认为是能携带信息的一维附加自由度; 在普通的单模光纤传输系统中, 利用偏振态来携带信息的试图殊难实现. 然而, 在光纤激光器中, 开发这一维附加自由度来获取某种形式的光信息处理已变成一项实际可能的技术.

2 操作机理

对光纤激光器偏振效应的研究表明, 两个正交的偏振模式间的阈值比、输出功率比依赖于泵浦光的偏振取向、泵浦功率以及光纤本身掺杂稀土金属的特性. 在相对较低的泵浦功率下, 仅有一个偏振模受激振荡. 这个振荡模将耗尽反转粒子的绝大多数. 另一方面, 由于光纤的单模波导结构和它相对较大的长度, 提供了一个积累超辐射的理想环境. 当一个偏振模受激振荡具有线性输出特性时, 另一个与其正交的偏振模保持着超辐射的状态而具有指数形的输入/输出特性. 由于两个竞争的偏振模共存在于同一个增益介质中, 当足够数量的、与处于超辐射态的模式的偏振取向相同的光子注入光纤激光器腔内, 就可以使这一偏振模耗去足够的反转粒子, 达到阈值而受激振荡. 同时, 先前振荡的那个偏振模又将由于被竞争对手耗去了反转粒子而被压抑于阈值之下而停止振荡. 因此, 采用光子注入的办法, 可以实现光纤激光器的偏振开关操作.

设原单偏振的模式为 x - 模, 记 x 模和 y 模的有效泵浦功率分别为 P^x 和 P^y ^[2]. 考虑到泵浦光转换成荧光辐射功率, 又考虑到只有与光纤数值孔径对应的立体角内的荧光功率才对超辐射乃至受激振荡有贡献, 可以导出将操作偏振模 x 模转向 y 模的注入光子阈值为

$$P_0 = (P^x - P^y)\eta\zeta\nu_0/\nu_p, \quad (1)$$

$$\zeta = 1 - n_{cl}/n_{co}$$

式中 η 为泵浦效率因子^[3], ν_0 与 ν_p 分别为激光和泵浦光的频率. 参数 ζ 为立体角比率*. n_{cl} 与 n_{co} 分别为光纤包层和光纤芯子的折射率. 由于 $(P^x - P^y)$ 项与泵浦光的偏振取向紧密相关^[2], 将偏振取向设定在相对 x 轴 45° 左右, 可以予测出方程式(1)表达的开关阈值是相当低的.

3 实 验

为演示上述全光开关器件的可行性, 作者建立了一个激光二极管泵浦的铒掺杂的光纤激光器. 将激光波长上的连续波和脉冲式两种形式的光子注入光纤激光器, 对偏振开关进行研究. 实验装置如图 1 所示. 激光腔由一段 2 m 长的有源光纤熔接一个腔内光纤耦合器组成. 光纤耦合器是由非掺杂无源光纤制成, 在激光波长 $1.08 \mu\text{m}$ 上的耦合效率

为 15%. 从光纤耦合器第 4 端(见图 1), 测得光纤激光器的偏振消光比为 15.4 dB, 表明该光纤耦合器足以保持激光波长下的光的偏振态. 实验使用的有源光纤其铒离子掺杂浓度为 300 ppm. 有源与无源两种光纤具有相同的数值孔径(0.21)和相同的截止波长(850 nm). 有源光纤缠绕成 3 cm 直径的线圈型以确定光纤腔的双折射轴. 有源光纤部分与光纤耦合器之间用一个相当于二分之一波长片的光纤偏振控制器来连接, 以保证二者的双折射轴相互重合. 光纤激光器的泵浦源是半导体激光二极管. 泵浦波长为 813 nm. 泵浦光输入端的腔反射镜(M₁)对泵浦光波长为全透射, 而对激光波长成全反射. 腔的输出镜 M₂ 在激光波长上的反射率为 80%. 在激光器输出光路上放置一偏振分光镜, 使得光纤激光器输出的两个垂直分量分别由不同的探测器进行检测.

对应于 ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{11/2}$ 跃迁的激光输出系四能级系统. 测得的该光纤激光器的所吸收泵浦功率阈值为 4 mW. 当调节泵浦光偏振取向相对光纤 x 轴为 40° , 被吸收泵浦光功率为 4.8 mW 时, 光纤激光器以单偏振(x)模振荡, 输出的光纤激光器功率为 $120 \mu\text{W}$. 就是对这样操作条件的该光纤激光器, 进行了光子注入偏振开关的实验观测. 实验包括两种, 即连续波光束注入与脉冲式光束注入.

采用与上述光纤激光器完全相同的铒掺杂光纤的激光二极管泵浦源, 制成另一连续波操

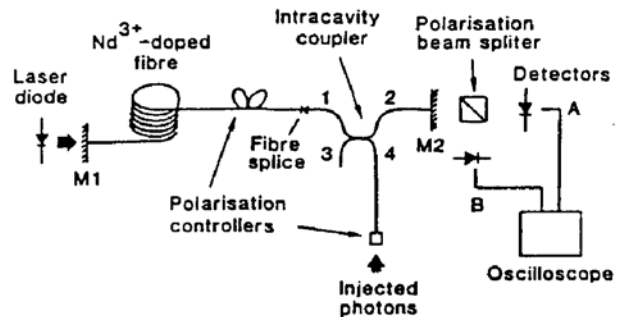


Fig. 1 Experimental set-up of the polarization-switching in fiber laser

* 立体角比率的物理意义是在 4π 立体角辐射的荧光所能被光纤波导“捕获”而在光纤中传输的比率

作的光纤激光器,用来提供一个波长同样为 $1.08 \mu\text{m}$ 的注入光束.注入光束的偏振取向由一个二分之一波长片控制,使得注入光束从光纤耦合器 4 端输入耦合到光纤激光器腔内时与 y 偏振模的取向相同.使用一个机械斩波器来调制注入光束,以利于识别信号并观察停止注入光束后激光器输出的变化.实验结果表明,当 y 偏振光束注入光纤激光腔,原受激振荡的 x 偏振模的输出功率因之减小.当 y 偏振注入光束超过一定阈值,光纤激光器就以 y 偏振模振荡同时使 x 偏振模的振荡熄灭.图 2 是反映这一开关过程的示波器图象.其中上方示踪对应于 x 偏振模;下方示踪对应于 y 偏振模.从图 2 可见,当 y 光束注入,激光器由 x 振荡转为 y 振荡.当 y 光束停止注入,激光器又恢复 x 偏振模的振荡.

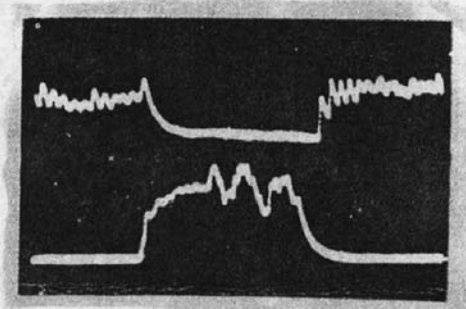


Fig. 2 Polarization-switch in fiber laser of CW operation. up trace- output power of x - polarization mode, down trace- output power of y - polarization mode

使用一个可调频脉冲式染料激光器,产生脉宽为 6 ns 、重复频率为 30 Hz 的光束注入光纤激光器,可以对偏振开关过程的瞬态特性、频谱特性和开关速度等进行观测.当注入光脉冲的偏振与光纤激光器振荡模偏振相同(同为 x)时,光纤激光器对于注入脉冲将起一个放大器-振荡器的作用.图 3 比较了光纤激光器受泵浦与未泵浦两种情况下 x 偏振脉冲的输出状况.示踪 1 是激光腔未泵浦的示波器图形.图中逐渐衰减的第二个、第三个脉冲是由于腔端面镜的存在而产生的反射.当光纤激光器受泵浦时脉冲的输出由示踪 2 表示.图中可见,由于吸收泵浦光而产生的反转粒子,使注入脉冲得以放大并在腔内往返振荡.结果输出一系列的脉冲串.其中脉冲间隔等于光子在谐振腔内往返一次所需时间.脉冲串延续时间达微秒数量级.在这种注入光脉冲与原激光器振荡模偏振取向相同的情况下,无开关效应可言.

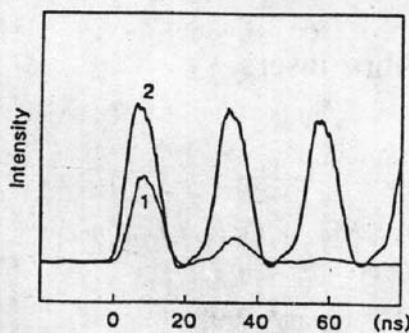


Fig. 3 Amplified pulse-train of inject pulse via fiber laser cavity

trace 1. fiber laser cavity without excitation
trace 2. fiber laser cavity with excitation

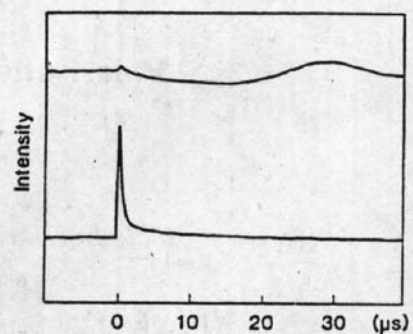


Fig. 4 Extinction of x - oscillation mode induced by amplified y -polarization pulse

up trace: x -polarization mode
down trace: envelop of y -polarization pulse train

当垂直取向的偏振光(y)脉冲注入光纤激光器时,这个光脉冲将消耗反转粒子得到放大.结果会导致原激光器振荡模(x)的输出减弱直至振荡熄灭.这一过程如图 4 所示.其中下方示踪为注入脉冲被放大后的脉冲串包络,宽度约为 $1 \mu\text{s}$.上方示踪即为 x 偏振输出,可以看到输出随 y 脉冲的输入,有个减小的过程,约 $15 \mu\text{s}$ 以后, x 偏振模重新建筑恢复振荡.

4 器件性能

正如理论分析所预计的,这种开关操作的阈值是相当低的.对连续波开关操作所进行的测量表明,只需 $0.1 \mu\text{W}$ 的光功率就可以使本文表述的光纤激光器实现偏振开关操作.

器件的开/关功率比可以比较高.这是因为在“关”的状态下,受激振荡被熄灭,仅留下该偏振模的荧光辐射.本文的实验结果测得,即使以全谱宽功率来计算“关”状态,开/关功率比也可高达 $12:1$.

实验发现,这类开关操作可以容忍较大的波长变化.使用可调染料激光器在 $1.08 \mu\text{m}$ 左右改变注入光束的波长达 10 nm 宽,对开关操作并无明显影响.这主要是因为铈离子在玻璃介质中具有较宽的荧光辐射谱,因此具有较宽的可调频范围的缘故.

器件的开关时间是微秒级,阻止它的主要是光子的谐振腔寿命.尽管注入光子可以消耗反转粒子得到放大并最终在偏振模式竞争中“获胜”,以使原操作模不能得以维持而熄灭.然而注入光子并不能使已经在腔内受激振荡的偏振模改变偏振取向.原振荡模自振荡至熄灭的时间受到的是光子的谐振腔寿命的限止.一个较低的输出镜反射率可以导致稍高的开关速度.但是同时要付出较高的泵浦功率和较高的开关阈值作为代价.

参 考 文 献

- [1] J. T. Lin, P. R. Morkel, L. Reekie *et al.*, Polarisation effects in fibre lasers. *Proceedings of ECOC' 87*, Helsinki, Finland, Vol. I, pp. 109~112, September 1987
- [2] J. T. Lin, W. A. Gambling, Polarisation effects in fibre lasers: phenomena, theory and applications. *invited paper in Proceedings of SPIE' s OE/FIBRE' 90*, San Jose California: 16~21 September 1990: 42~53
- [3] W. Koechner, *Solid-state Laser Engineering*. Springer-Verlag, 1976

Polarisation-switching in fibre lasers

LIN Jingtong

(*Department of Electronic and Electrical Engineering, King' s College London,*
Strand London WC2R 2LS U. K.)

(Received 28 September 1992; revised 2 February 1992)

Abstract

A novel photonic switching device based on polarisation switching by optical injection in fibre lasers is investigated. An all-optical switching device with an extremely low threshold ($0.1 \mu\text{W}$) has been demonstrated. The mechanism of operation, experimental realisation and device characteristics are presented.

Key words fiber laser, polarisation switching.