

文章编号: 0258-7025(2008)04-0488-03

铷 775.9 nm 激光感生色散光学滤波器

何竹松 掌蕴东 刘双强 张静 袁萍

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所可调谐激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要 为提高自由空间通信、遥感、激光雷达等系统的信噪比,研究了铷 775.9 nm 激光感生色散光学滤波器(LIDOF)。通过 780 nm 线偏振抽运光选择性激发基态原子,使其在激发态子能级间布居不均匀,从而引起激发态的圆二色向性和圆双折射,使与激发态共振的 775.9 nm 探测光偏振态发生旋转,实现滤波传输。获得的峰值透射率为 4%,带宽约为 605 MHz,同时,得到了峰值透射率随池温和抽运功率的变化关系。

关键词 物理光学;光学滤波器;超窄带宽;圆二色向性;圆双折射;铷

中图分类号 O 436.3 **文献标识码** A

A Rubidium Laser Induced Dispersion Optical Filter at 775.9 nm

He Zhusong Zhang Yundong Liu Shuangqiang Zhang Jing Yuan Ping

(State Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Institute of Optoelectronics,
Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150080, China)

Abstract In order to improve the signal-to-noise ratios for free-space communication, remote sensing and lidar systems, a rubidium laser induced dispersion optical filter (LIDOF) at 775.9 nm was experimentally studied. Owing to unbalance of occupancy among in sublevels of the excited state, which is caused by selective excitation of a linearly polarized pump beam at 780 nm, dichroism and birefringence of the excited state are induced. So the polarization direction of 775.9 nm probe beam is rotated and transmitted. The filter has a peak transmission of 4% with a single bandwidth of 605 MHz. The peak transmission versus the cell temperature and pump intensity is also given.

Key words physical optics; optical filter; ultra-narrow bandwidth; dichroism; birefringence; rubidium

1 引言

超窄带光学滤波器在提高自由空间通信^[1]、遥感^[2]、激光雷达^[3~6]等系统的信噪比中发挥了重要作用。早在 20 世纪 70~80 年代初,原子共振滤波器就被用于超高背景抑制能力的光学滤波器,它是基于原子蒸气中共振跃迁的激发、转移、再辐射来实现的。但是,原子共振滤波器(ARF)^[7]较慢的响应时间和低的透射率限制了它在实际通信中的应用。上世纪 90 年代以来,法拉第反常色散光学滤波器(FADOF)由于具有高透射、快响应、大视场角、可成像等优点而被广泛研究^[8~16]。然而,法拉第滤波器需要外加磁场,并且激发态透射率过低。针对这种

情况,1995 年,Gayen 等^[17]提出了工作在 $K 4P_{1/2} \rightarrow 8S_{1/2}$ 跃迁上的新型激光感生色散光学滤波器(LIDOF)。虽然该滤波器也是用探测光的偏振面发生旋转来实现滤波传输的,但是机制不同于法拉第反常色散光学滤波器。法拉第反常色散光学滤波器的探测光偏振面的旋转是由于窄吸收线附近法拉第效应共振增强和高色散造成的,而对于激光感生色散光学滤波器,探测光偏振旋转是由于激光感生圆二色向性和双折射引起的。

本文报道的滤波器工作在铷 $5P_{3/2} \rightarrow 5D_{3/2}$ 跃迁线上,对应的波长为 775.9 nm。滤波器具有 605 MHz 带宽的单峰透射,峰值透射率为 4%。

收稿日期:2007-08-25; 收到修改稿日期:2007-11-01

基金项目:国家自然科学基金(60272075,60478014)资助项目。

作者简介:何竹松(1982—),男,安徽人,博士研究生,主要从事激光感生色散光学滤波器方面的研究。

E-mail:hezhusong2006@163.com

导师简介:掌蕴东(1957—),男,辽宁人,教授,博士生导师,主要从事光速可控等方面的研究。

E-mail: ydzhang@hit.edu.cn

2 实验装置及原理

实验装置图如图 1 所示。激光感生色散光学滤波器由样品池、夹在样品池两端的两个正交格兰-汤姆逊棱镜和抽运光组成。样品池为充有铷蒸气的圆柱形石英泡, 池长为 10 cm, 直径为 2.5 cm。两个格兰-汤姆逊棱镜的消光比为 10^5 。铷池在炉中被加热, 并由欧姆龙温控器控温, 精度为 $0.1\text{ }^\circ\text{C}$ 。抽运和探测激光都是 Toptica 公司生产的 DL100 连续半导体激光器。780 nm 抽运激光用于将铷原子从基态 $5S_{1/2}$ 抽运到激发态 $5P_{3/2}$, 与 $5P_{3/2} \rightarrow 5D_{3/2}$ 跃迁共振的探测激光对其进行探测。两个激光器输出都为线偏振光, 线宽约为 2 MHz。抽运光和信号光的光束直径分别为 2 mm 和 1.6 mm。抽运光和探测光的功率分别为 115 mW 和 5 mW。两个光束在池中是空间叠加的。探测光扫频穿过激光感生色散光学滤波器后被光电倍增管探测并被示波器记录下来。光栅摄谱仪 (Spectro-300) 用于监测荧光。

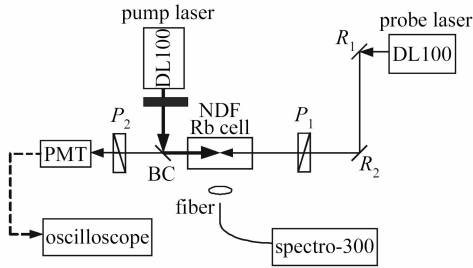


图 1 实验装置图。R: 全反镜; P: 偏振片; BC: 光束耦合镜; PMT: 光电倍增管

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup. R: full-reflection mirror; P: Glan-Thomson prisms; BC: beam combiner; PMT: photomultiplier tube

3 实验结果分析

在样品池温为 408 K 时, 激光感生色散光学滤波器的透射谱如图 2 所示。上面的透射曲线为激光感生色散光学滤波器的透射谱, 抽运光功率密度为 3.66 W/cm^2 。将抽运光的频率调到 780 nm 与跃迁线 $5S_{1/2} \rightarrow 5P_{3/2}$ 共振, 探测光在 $5P_{3/2} \rightarrow 5D_{3/2}$ 跃迁附近扫描, 扫描范围为 5 GHz。抽运光和探测光的波长通过光纤光谱仪 (OCEAN OPTICS HR4000) 监测来粗调到各自的共振线上, 然后再通过激光器的电流和温度精细调节。测得的峰值透射率为 4%, 是所测的最大光电倍增管信号和挡上抽运光且偏振片平行时透射信号之比。图 2 下面的曲线为挡上抽运光时, 激光感生色散光学滤波器的透射谱。当挡上抽运光或者抽运光和信号光远离各自的共振线

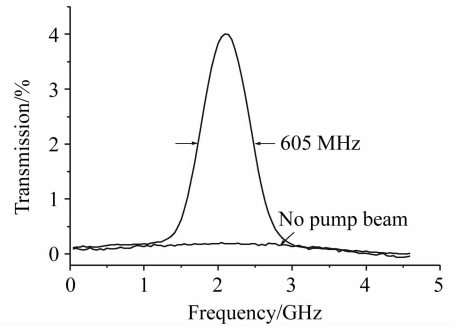


图 2 样品池温度为 408 K, 抽运功率密度为 3.36 W/cm^2 时的透射谱

Fig. 2 Transmission spectra at 775.9 nm when $I_{\text{pump}} = 3.36\text{ W/cm}^2$ and $T = 408\text{ K}$

时, 透射峰消失。

图 2 中, 透射曲线为洛伦兹线型, 它依赖于池温、抽运功率、抽运失谐、池长以及滤波跃迁线的原子强度等。需要说明的是, 4% 的峰值透射率并不是最佳工作参数。通过增加抽运功率, 降低探测光的强度, 理论上可以进一步提高峰值透射率。在实验中, 峰值透射率随抽运光强近似线性增长, 在现有抽运功率下, 并没有观测到饱和现象。滤波带宽仅为 605 MHz, 超窄带宽是由于窄线宽抽运激光引起的速度选择效应造成的。Turner 等获得了 170 MHz 带宽^[18], 其亚多普勒带宽是由于其抽运功率比本文低一个数量级, 而滤波器的带宽与抽运功率的平方根成比例。

峰值透射率随池温的变化如图 3 所示。可以看出, 从 378~398 K, 峰值透射率随样品池温度成比率增长; 在 398~408 K 之间透射率变化比较小并在 408 K 时达到最大值。当温度高于 408 K 时, 原子蒸气对于抽运光强度变为“光厚介质”, 峰值透射率开始下降。相似的变化关系, 在文献^[10]和^[12]中也

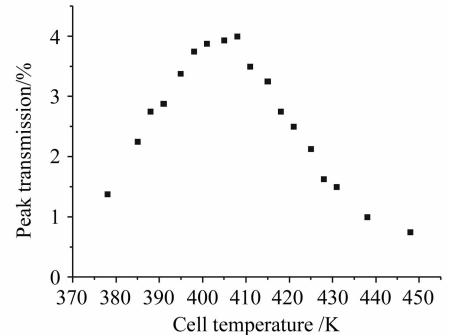


图 3 在抽运功率密度为 3.36 W/cm^2 时峰值透射率随样品池温度的变化

Fig. 3 Peak transmission versus cell temperature at the pump intensity of 3.36 W/cm^2

有报道。这是因为随着温度的升高,蒸气池中原子密度增加,但并不意味着激发态原子也成比例地增加,相反由于一些负面效应如淬灭和能量合并等抑制了抽运过程,使参与滤波的激发态粒子数减少。

能量合并^[19]对这种滤波器的激发态粒子数密度产生一个上限,它将780 nm抽运光通过碰撞能量合并转换为荧光,在实验中探测为噪声。更高的上能级通过 $5P_{3/2} + 5P_{3/2} \rightarrow 5S + (nl = 5D, 7S) - \Delta E$ 碰撞而产生布居。 $5D$ 态有最大的能量合并率系数。虽然激励到 $5D_{3/2}$ 态的大部分原子通过 $5D \rightarrow 6P \rightarrow 5S$ 紫-红外层构辐射衰减,而这些噪声可以通过另外的干涉滤波片来消除,但是,还有少量的原子直接辐射到 $5P_{3/2}$ 态,辐射出775.9 nm荧光。由于能量合并率与 $5P_{3/2}$ 态原子数密度的平方成比例,因此对温度的变化非常敏感。在423 K时,可以清晰看见这个噪声源辐射的紫色荧光。

图4为在三种样品池温度下峰值透射率随抽运功率密度的关系。峰值透射率随抽运功率密度近线性增加,在实验条件所具有的抽运功率密度情况下,没有观察到饱和现象。

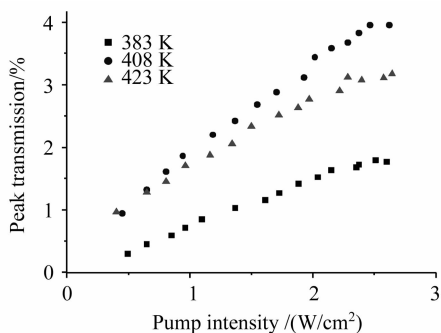


图4 不同温度下峰值透射率随抽运功率密度的关系

Fig. 4 Peak transmission versus pump intensity at three cell temperatures

4 结 论

报道了在线偏振抽运时的铷激光感生色散光学滤波器,获得了峰值透射率随池温变化关系,存在一个最佳温度使峰值透射率最大。滤波带宽仅为605 MHz,小于大部分的法拉第滤波器带宽。同时滤波器还具有传统的原子滤波器所具有的快响应时间、大视场角和可成像等优点。

参 考 文 献

1 Tang Junxiong, Wang Qingji, Li Yimin *et al.*. Experimental study of a model digital space optical communication system

with new quantum devices[J]. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(15): 2619~2622

2 S. H. Bloom, P. A. Searcy, K. Choi *et al.*. Helicopter plume detection by using an ultranarrow-band noncoherent laser Doppler velocimeter[J]. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(3):244~246

3 H. Chen, C. Y. She, Paul Searcy *et al.*. Sodium vapor dispersive Faraday filter[J]. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(12):1019~1021

4 Cord Fricke-Begemann, Matthias Alpers, Josef Höffner. Daylight rejection with a new receiver for potassium resonance temperature lidars[J]. *Opt. Lett.*, 2002, **27**(21):1932~1934

5 Josef Höffner, Cord Fricke-Begemann. Accurate lidar temperature with narrowband filters[J]. *Opt. Lett.*, 2005, **30**(8):890~892

6 Chen Xuewu, Gong Shunsheng, Li Faquan *et al.*. Daytime observation technology of lidar by using atomic optical filter[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(3):406~410

程学武,龚顺生,李发泉等. 采用原子滤光的激光雷达白天探测技术[J]. *中国激光*, 2007, **34**(3):406~410

7 Jerry A. Gelbwachs. Atomic resonance filters[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1988, **QE-24**(7):1266~1277

8 D. J. Dick, T. M. Shay. Ultrahigh-noise rejection optical filter[J]. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(11):867~869

9 Zhilin Hu, Xianping Sun, Xizhi Zeng *et al.*. Rb 780 nm Faraday anomalous dispersion optical filter in a strong magnetic field[J]. *Opt. Commun.*, 1993, **101**(3-4):175~178

10 R. I. Billmers, S. K. Gayen, M. F. Squicciarini *et al.*. Experimental demonstration of an excited state Faraday filter operating at 532 nm[J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(1):106~108

11 Liang Zhang, Junxiong Tang. Experimental study on optimization of the working conditions of excited state Faraday filter[J]. *Opt. Commun.*, 1998, **152**(4-6):275~279

12 Zhilin Hu, Xizhi Zeng. A laser pumped ultra narrow bandwidth optical filter[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, **73**(15):2069~2071

13 Yundong Zhang, Xiaoling Jia, Zuguang Ma *et al.*. Optical filtering characteristic of potassium Faraday optical filter[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 2001, **37**(3):372~375

14 Yundong Zhang, Xiaoling Jia, Yong Bi *et al.*. Filtering performance of Cs Faraday optical filter at 852 nm[J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2002, **19**(6):807~809

15 Jia Xiaoling, Zhang Yundong, Wang Qi *et al.*. The filtering behaviour of potassium Faraday anomalous dispersion optical filter in a strong magnetic field[J]. *Acta Physica Sinica*, 2002, **51**(11):2489~2494

贾晓玲,掌蕴东,王 骐等. 强磁场下钾原子法拉第反常色散光学滤波器的滤波行为[J]. *物理学报*, 2002, **51**(11):2489~2494

16 Wang Qi, Jia Xiaoling, Zhang Yundong *et al.*. A study on the potassium tunable ultra-narrow bandwidth optical filter at 532 nm[J]. *Acta Physica Sinica*, 2003, **52**(5):1151~1156

王 骐,贾晓玲,掌蕴东等. 钾原子532 nm可调谐超窄带光学滤波器的研究[J]. *物理学报*, 2003, **52**(5):1151~1156

17 S. K. Gayen, R. I. Billmers, V. M. Contarino *et al.*. Induced-dichroism-excited atomic line filter at 532 nm[J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(12):1427~1429

18 L. D. Turner, V. Karaganov, P. J. O. Teubner *et al.*. Sub-Doppler bandwidth atomic optical filter[J]. *Opt. Lett.*, 2002, **27**(7):500~502

19 Shen Yifang, Dai Kang, Mu Baoxia *et al.*. Energy-pooling collisions in rubidium: $5P_{3/2} + 5P_{3/2} \rightarrow 5S + (nl = 5D, 7S)$ [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2005, **22**(11):2805~2807