

氩缓冲气体对铯原子共振滤光器特性的影响

吕志伟 于俊华 掌远东 赵晓彦 马祖光 王 骥

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 150006)

摘要: 铯原子共振滤光器(Cs-ARF)是目前实现蓝绿激光水下通讯的一种关键元件。本文详细研究了不同气压氩缓冲气体对 Cs-ARF 特性的影响, 明显改善了 Cs-ARF 的响应速率和辐射转换效率。还研究了氮气及不同器件结构对 Cs-ARF 特性的影响。

关键词: 原子共振滤光器, 铯原子

Influence of argon buffer gas on the Cs-ARF

Lü Zhiwei, Yu Junhua, Zhang Yundong, Zhao Xiaoyan, Ma Zuguang, Wang Qi

(Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin)

Abstract: Cesium atomic resonance filter (ARF) is one of the critical devices to realize the communication in ocean with blue-green laser. In this paper, the influence of argon buffer gas on the characteristics of the Cs-ARF is studied, and the response rate and the efficiency of Cs-ARF are obviously improved. The influence of N₂ and the device structure on the Cs-ARF is also studied.

Key words: atomic resonance filter, cesium atom

一、引 言

在开放通道的激光通讯中,如何滤除背景光的影响,改善系统的信噪比对提高灵敏度、扩大使用范围,甚至对整个系统能否实际使用都是至关重要的。通常使用的干涉滤光片,其带宽还难以做得甚窄,且随着带宽的变窄,透过率和接收视角都明显变小。因而对线宽非常窄的激光信号来说,干涉滤光片已经不能胜任。七十年代末期开始研究发展了原子共振滤光器(ARF)^[1],其主要优点是具有极高的 Q 值($10^5 \sim 10^6$),极窄的带宽($\sim 0.001 \text{ nm}$),各向同性全视角接收(接收角接近 180°),内部量子转换效率接近于 1, 以及有比普通干涉滤光片高 3~4 个数量级的信噪比。因此,原子共振滤光器受到人们的高度重视,并在八十年代获得了很大发展,已成为开放通道中激光传输-接收系统中不可缺少的关键元件之一。

目前已发展了多种原子共振滤光器^[2~8],其中铯原子共振滤光器的最大特点是可以工作在蓝绿谱区的海水窗口,并有高功率的 XeCl 准分子激光铅蒸气 Raman 激光器与之相匹配,从而可用于激光水下通讯。图 1 是用于原子共振滤光器的铯原子能级。波长为 459 nm 和

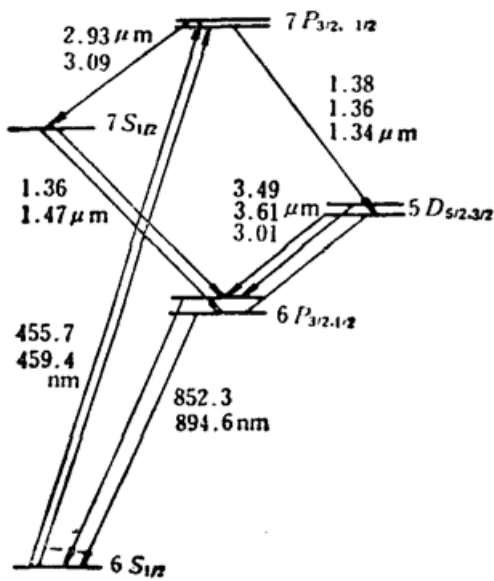


Fig. 1 Energy levels of Cs-ARF

455 nm 的蓝色信号光被铯原子吸收, 转换成 852 nm 和 894 nm 的近红外光输出, 由能级特性决定的转换效率为 60%, 通过增加铯原子蒸气密度再吸收 $7P-6S$ 辐射, 由蓝光向近红外光的转换效率理论上可达 100%。如果不考虑辐射自陷和无辐射跃迁的影响, 从 $7P$ 能级经过 $7S$ 和 $5D$ 能级弛豫到 $6P$ 能级的时间分别为 0.31 μs 和 1.9 μs , 故 $7P \rightarrow 6P$ 总的弛豫时间为 0.27 μs 。 $6P$ 能级到 $6S$ 能级(发射 852 nm 和 894 nm)的弛豫时间仅有 31 ns, 因而总的响应时间为 0.3 μs , 相应的通讯重复速率可达 3.3 MHz。但是, 由于 $6S-6P$ 辐射自陷的影响, 使 $6P$ 能级的视在寿命大大增加, 在铯原子密度较高时, 可达 0.1 ms 数量级。视在寿命的变长带来两方面的危害: 一方面, 降低了响应速率, 从而降低了通讯速率; 另一方面, 使无辐射跃迁的机会增多, 降低了转换效率。

响应速率和转换效率是原子共振滤光器的两个重要特性参量, 理想的原子共振滤光器应具有快的响应速率和高的转换效率。因此, 如何减少辐射自陷的不利影响, 提高响应速率和转换效率, 就成为十分关键的两个问题。本文通过填充适当的氩缓冲气体明显改善了铯原子共振滤光器的响应速率和辐射转换效率。此外, 本文还研究了氮气及不同器件结构对铯原子共振滤光器特性的影响。

二、实验系统

图 2 是实验装置示意图。由 XeCl 准分子激光器 (EMG201MSO) 泵浦的香豆素 47 染料激光器 (FL2002E) 调谐到 459 nm 输出, 激励加热炉中的铯原子蒸气。由单色仪 (Spex 1870) 和光电倍增管 (RCA8852) 接收铯泡中发射的 852 nm 近红外辐射, 经过 Boxcar (M162, M165) 处理, 由记录仪 (K200) 记录。O3101 光触发器为 Boxcar 提供光触发同步信号。泵浦能量由能量计 (ED-200) 和示波器 (Tek466) 监测, 加热炉温度由水银温度计测量。为了保证实验结果的可靠性与可比性, 实验中各项条件严格保持一致。

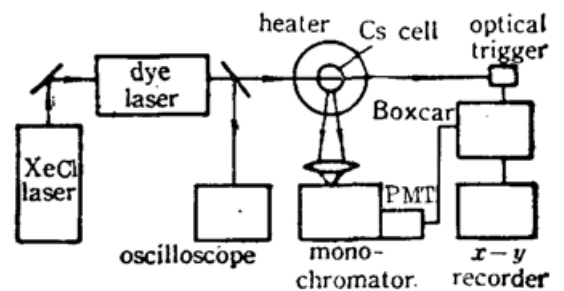


Fig. 2 Scheme of experimental setup

三、实验结果与分析

利用图 2 所示实验装置, 在各种不同氩缓冲气压条件下, 测量 $\text{Cs}6P_{3/2}-6S_{1/2}$ 辐射 (852 nm) 的时间分辨谱随温度的变化关系。图 3 是铯球泡中填充 24 Torr 氩缓冲气体时测得的 $\text{Cs}6P_{3/2}-6S_{1/2}$ 跃迁时间分辨谱的典型结果, 时间分辨率为 10 ns。由于 $6P_{3/2}$ 能级的布居途径有 $7P_{1/2} \rightarrow 7S_{1/2} \rightarrow 6P_{3/2}$ 和 $7P_{1/2} \rightarrow 5D_{5/2, 3/2} \rightarrow 6P_{3/2}$, 因此 $6P_{3/2} \rightarrow 6S_{1/2}$ 辐射脉冲波形不是简单的指数衰减过程, 而是几个指数衰减过程的叠加。

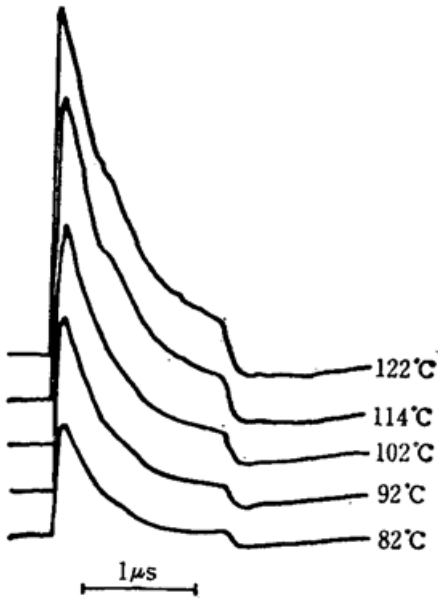


Fig. 3 Time-resolved spectra of Cs $6P_{3/2}$ - $6S_{1/2}$ transition in spherical cell with 24 Torr Ar buffer gas

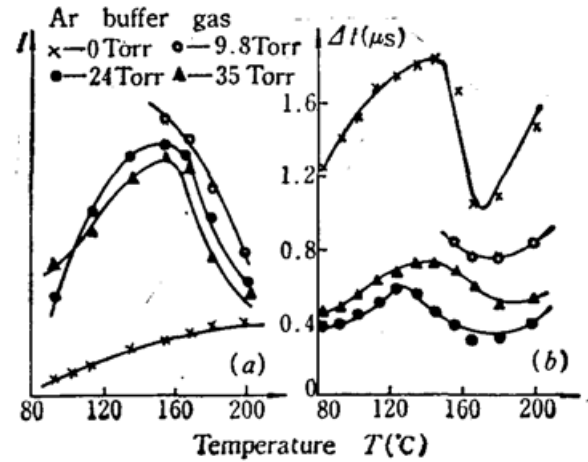


Fig. 4 Dependence of (a) fluorescent intensities and (b) pulse widths of Cs $6P_{3/2}$ - $6S_{1/2}$ transition on the temperature and the argon buffer gas pressure

图4给出了填充各种不同氩缓冲气体气压条件下Cs $6P_{3/2}$ - $6S_{1/2}$ 辐射荧光强度和脉冲宽度随温度的变化关系。由图中可见,不填充缓冲气体时,荧光强度很弱,脉冲宽度则很大,在 156°C 时脉宽为 $1.64\mu\text{s}$ 。这是由于在 $6S_{1/2}$ - $6P_{3/2}$ 能级间存在显著的谐振陷阱效应, $6P_{3/2}$ - $6S_{1/2}$ 辐射被铯蒸气所囚禁,造成输出的荧光强度很弱,而视在寿命则很长,随着填充氩缓冲气体气压的增高,荧光强度显著强加,在 9.8Torr 时达到最大值。进一步增加氩缓冲气体气压,由于碰撞无辐射跃迁等的影响荧光强度逐渐减弱。在 156°C 温度下,填充 9.8Torr 氩气时的辐射强度为不填充氩气时的5倍以上。随着填充氩缓冲气体气压的升高,Cs $6P_{3/2}$ - $6S_{1/2}$ 辐射脉宽很快下降, 24Torr 氩缓冲气体气压时达到最小值,在 156°C 温度下为 $0.36\mu\text{s}$ 。综合考虑氩缓冲气体对Cs $6P_{3/2}$ - $6S_{1/2}$ 辐射荧光强度和脉冲宽度的影响,可以找出最佳工作条件为 24Torr 氩缓冲气体气压和 156°C 温度附近,此条件下,荧光强度和脉冲宽度均改善4.5倍以上,亦即铯原子共振滤光器的转换效率和响应速度均改善4.5倍以上。

图5是铯泡中填充氮气时的实验结果。可以看出填充 1Torr 氮气对Cs $6P_{3/2}$ - $6S_{1/2}$ 荧光辐射强度不太有利,尤其是在 150°C 温度以上,不但没有使荧光强度增加反而使其显著降低。原因之一是温度升高后氮气与铯原子可以生成少量化合物。然而氮气对Cs $6P_{3/2}$ - $6S_{1/2}$ 辐射脉冲宽度的压缩却有明显作用。在 140°C 温度附近,荧光强度仅增加20%,脉冲宽度则降低近6倍。

图6是利用直径 5cm 的球状铯泡和直径 1cm 、长度 5cm 的柱状铯泡所得的实验结果。它表明柱状铯泡在各个温度下总是优于球状铯泡,这是因为柱状铯泡在接收立体角方向上比球状铯泡减小了产生 $6S_{1/2}$ - $6P_{3/2}$ 自陷吸收的体积。在 140°C 附近,柱状铯泡的荧光强度是球状铯泡的2.6倍,脉冲宽度只是球状铯泡的六分之一。

实验结果表明,缓冲气体对铯原子共振滤光器的转换效率和响应速率特性有显著影响。通过填充适当气压的氩缓冲气体,并选取适当的工作温度,可以使铯原子共振滤光器的转换效率和响应速率明显提高。氩缓冲气体比氮气更有利于改善铯原子共振滤光器的特性。此外,

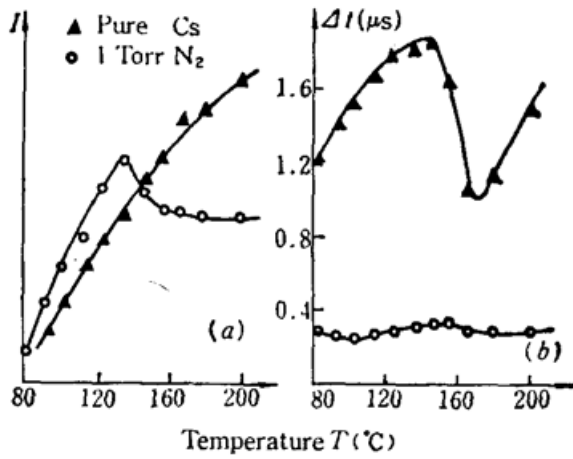


Fig. 5 Influence of N_2 on (a) the fluorescent intensity and (b) the pulse width of Cs $6P_{3/2}$ - $6S_{1/2}$ transition

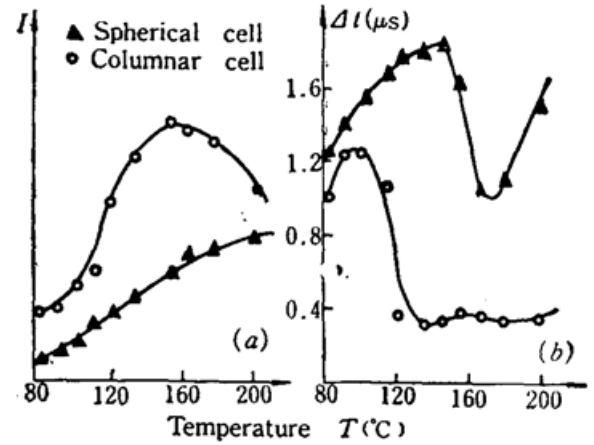


Fig. 6 Difference between the Cs-ARF with columned cell and spherical cell. (a) the fluorescent intensity and (b) the pulse width of Cs $6P_{3/2}$ - $6S_{1/2}$ transition

改进器件结构也同样可以改善铯原子共振滤光器的性能。

感谢北京大学郑乐民教授等提供了铯泡。

参 考 文 献

- 1 J. A. Gelbwachs, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-24**, 1266 (1988)
- 2 J. A. Gelbwachs et al., *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-14**, 77 (1978)
- 3 J. B. Marling et al., *J. Appl. Phys.*, **50**, 610 (1979)
- 4 J. A. Gelbwachs et al., *IEEE Trans. Electron Devices*, **27**, 99 (1980)
- 5 Y. C. Chung et al., *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-24**, 709 (1988)
- 6 C. S. Liu et al., *SPIE Proc.*, **709**, 132 (1986)
- 7 J. A. Gelbwachs, *Laser Spectroscopy VIII*, W. Persson and S. Svanberg, Eds. Berlin, West Germany: Springer-Verlag, 1987, 409
- 8 J. A. Gelbwachs, *Opt. Lett.*, **15**, 236 (1990)