

用于钙原子光频标的半导体倍频激光器及荧光谱

庄 伟 陈振辉 陈徐宗 陈景标

(北京大学信息科学技术学院量子电子学研究所, 北京 100871)

摘要 利用 BIBO(BiB_3O_6)晶体的倍频效应,由半导体激光器产生的波长为 846 nm 激光可以获得波长为 423 nm 的蓝光。真空室内的钙炉在加热到 600 °C 时产生钙原子束。将 423 nm 激光垂直照射到钙原子束上,用光电探测器可以获得钙原子束的荧光谱,谱线的半峰全宽(FWHM)为 100 MHz。

关键词 激光器;倍频技术;荧光谱

中图分类号 TN248.4 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS200828s1.0058

Laser Diode with Second Harmonic Generation for Calcium Optical Frequency Standard and Fluorescence Spectrum

Zhuang Wei Chen Zhenhui Chen Xuzong Chen Jingbiao

(Institute of Quantum Electronics, School of Information Science and Technology, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract By use of second harmonic generation effect of BIBO (BiB_3O_6) crystal, laser at 846 nm produced by diode laser is translated into blue light at 423 nm. Calcium atomic beam is emitted from the vacuum Calcium oven when heated up to about 600 °C. By illuminating the 423 nm laser onto the Calcium atomic beam perpendicularly, fluorescence spectrum of the Calcium beam is obtained with photoelectric detector. The full width at half maximum is about 100 MHz.

Key words lasers; second harmonic generation; fluorescence spectrum

1 引 言

基于激光冷却的中性原子的光频标已成为频率计量领域一个重要的发展方向^[1]。其基本原理是利用大功率的激光与原子相互作用,由动量交换产生的力将高速运动的原子减速。中性原子样品一般采用碱土金属元素,如镁、钙、锶等,能够将这些原子减速的激光一般都处于蓝光波段。尽管目前商品化的半导体激光器已经能工作在这个波段的一些确定频率范围,但不是每种原子的跃迁谱可以被覆盖,而且其功率还达不到实验要求。所以,采用倍频技术将红外光倍频成蓝光受到该领域很多研究小组的青睐^[2~5]。

2 倍频激光器

半导体倍频激光器原理框图如图 1 所示。冷却钙原子的激光波长为 423 nm,实验中首先将外腔激

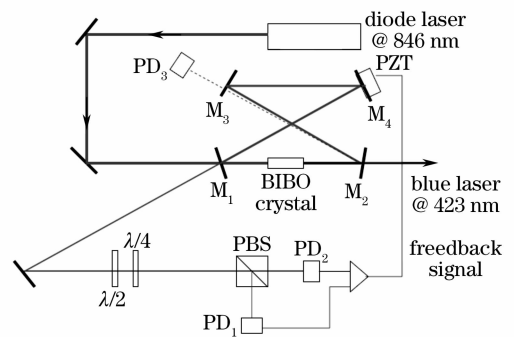


图 1 半导体倍频激光器原理框图

Fig. 1 Scheme for second harmonic generation diode laser 激光器产生的 846 nm 的激光放大,功率可达 500 mW,通过耦合镜 M_1 进入到倍频环形腔中,改变反射镜 M_4 上的压电陶瓷(PZT),以调整腔的长度与红外光共振时,腔中的 BIBO(BiB_3O_6)晶体将红外光倍频成蓝光由反射镜 M_2 输出。利用 Hämsch-Couillaud

基金项目: 国家 973 计划(2005CB724500, 2006CB921400)资助课题。

作者简介: 庄 伟(1983-),男,博士研究生,主要从事中性原子光学频率标准方面的研究。E-mail: wzhuang@pku.edu.cn

导师简介: 陈景标(1969-),男,博士,副教授,主要从事中性原子光学频率标准、激光光谱和原子物理等方面的研究。

E-mail: jbchen@pku.edu.cn(通信联系人)。

的方法^[6]，耦合镜 M_1 部分反射光可以产生腔的长度偏离共振的误差信号，通过反馈电路锁定腔的长度，从而使腔与激光始终保持共振。

图 2 是商品激光器所得到电信号，上方信号为反馈电路产生的误差信号，下方是腔与红外光的共振信号。误差信号的零点对应着共振信号的峰值，即反馈电路的锁定点。我们研制的倍频激光器也得到了信噪比较高的误差信号^[7]。



图 2 锁定电路的误差信号和共振信号

Fig. 2 Error signal and resonant signal of locking circuit

3 钙原子荧光谱

将装有金属钙颗粒并绕有加热丝的钙炉加热到 600 °C 时，真空系统内会有气态的钙从炉口喷射出来。为了增大信号的强度，放开用于准直原子束的光阑，原子束有一定的发散角。将倍频激光器产生的 423 nm 的激光垂直照射到原子束上，可以得到无多普勒增宽的钙原子荧光谱^[8]。但由于实验中原子束存在一定的发散角，原子的横向速度将会使谱线产生多普勒增宽。用大面积光电探测器探测荧光，并将得到的信号显示在数字示波器上，图 3 为钙原子束荧光谱探测的装置图。

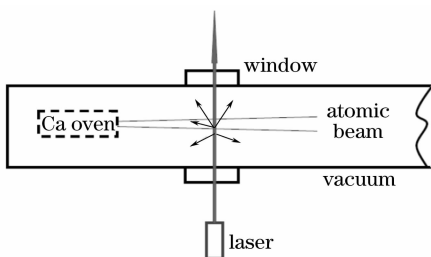


图 3 钙原子束荧光谱探测装置图

Fig. 3 Setup of Calcium atomic beam fluorescence spectrum detection

图 4 是实验得到的荧光谱图形，上方是扫描激光频率的同步信号，下方是得到的钙原子的荧光谱。频率扫描的范围为共振波长 422. 673 nm(空气中)附近 1 GHz, 因此荧光谱的半峰全宽(FWHM)约为 100 MHz, 相比钙原子相应能级 $^1P_1 - ^1S_0$ 的自然线

宽 35 MHz 增加了 65 MHz。

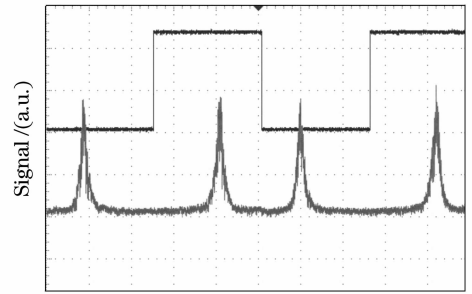


图 4 钙原子束荧光谱

Fig. 4 Calcium atomic beam fluorescence spectrum

4 结 论

本文介绍钙原子光学频标实验中用于激光冷却的波长为 423 nm 的倍频激光器的基本原理，并将之用于探测钙原子束的荧光谱，由于原子束有一定的发散角，荧光谱包含了由于横向速度引起的多普勒增宽。在进一步的实验中，倍频激光将用于冷却钙原子束，并在磁光阱中囚禁钙原子，这是实现冷原子钙光学频标的重要基础^[9]。

参考文献

- 1 Masao Takamoto, Feng-Lei Hong, Ryoichi Higashi *et al.*. An optical lattice clock[J]. *Nature*, 2005, **435**(7040): 321~324
- 2 C. W. Oates, F. Bonde, R. W. Fox *et al.*. A diode-laser optical frequency standard based on laser cooled Ca atoms: Sub-kilohertz spectroscopy by optical shelving detection[J]. *Eur. Phys. J. D*, 1999, **7**: 449
- 3 Fritz Riehle, Harald Schnatz, Burghard Lipphardt *et al.*. The optical calcium frequency standard [J]. *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, 1999, **48**: 613~617
- 4 Dong Jingxing, Lou Qihong, Cheng Xusan *et al.*. 480 nm blue Laser by direct frequency doubling of laser diode[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(4): 567~570
董景星, 楼祺洪, 成序三等. 半导体激光直接倍频的 488 nm 蓝光激光器[J]. *光学学报*, 2006, **26**(4): 567~570
- 5 Jin Jie, Fang Xiaojun, Yao Jianquan *et al.*. A blue-violet laser by direct laser diode frequency doubling[J]. *Chin. J. Lasers*, 1998, **25**(11): 961~964
金杰, 房晓俊, 姚建铨等. 半导体激光直接倍频的蓝紫光激光器[J]. *中国激光*, 1998, **25**(11): 961~964
- 6 T. W. Hämsch, B. Couillaud. Laser frequency stabilization by polarization spectroscopy of a reflecting reference cavity[J]. *Opt. Commun.*, 1980, **35**: 441~444
- 7 Zhenhui Chen, Bo Lu, Zhixue Xu *et al.*. Second harmonic generation 423 nm laser by BIBO crystal for calcium optical frequency standard[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2008, **6**():
- 8 Chen Jingbiao, Wang Fengzhi, Yang Donghai *et al.*. Measurements and analyses of light frequency shift in a small optically pumped cesium beam frequency standard [J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(2): 129~133
陈景标, 王凤芝, 杨东海等. 光抽运小型铯束频标中光频移的测量与分析[J]. *光学学报*, 2001, **21**(2): 129~133
- 9 G. Wilpers, T. Binnewies, C. Degenhardt *et al.*. Optical clock with ultracold neutral atoms[J]. *Phy. Rev. Lett.*, 2002, **89**: 230801