

钠黄光场电离原子滤光器方案的实验研究

龚顺生 王嘉珉 刘炳模 丁广良 罗才雁

(中国科学院武汉物理研究所, 武汉 430071)

提要 本文报道了在钠原子上利用电场电离探测的一种原子滤光方案的实验结果。采用与本实验相同的方案和不同的碱金属原子,可以制成具有各种不同波长的场电离原子滤光器。

关键词 原子滤光,场电离

Field ionization study of Na atomic line filter

GONG Shunsheng, WANG Jiamin, LIU Binmo, DING Guangliang, LUO Caiyan

(Wuhan Institute of Physics, Academia Sinica, Wuhan 430071)

Abstract An experimental demonstration of Na atomic line filter detected by field ionization is presented. Atomic line filter for different wevelengths can be produced with other alkali elements and the same method.

Key words atomic line filter, field ionization

1 引言

原子滤光器作为一种带宽最窄的滤光器,目前已经得到广泛的重视并开展了大量的研究^[1]。原子滤光器带宽极窄和灵敏度较高的优异性能,使它特别适用于需要从强烈的连续谱背景光中提取微弱窄带信号的各种应用场合。

目前原子滤光器的常用工作方案是通过荧光探测来检测信号光。这种方案的主要缺点是探测灵敏度和响应速度均较低,而利用将原子电离探测相应的离子(或电子)的方案则可以克服上述荧光探测的缺点。在电离探测方案中,又有普通的光电离探测和电场下的 Stark 场电离探测之分。其中场电离是近年来才提出来的一种探测方案^[2,3],与光电离方案相比,由于电离截面增大,因而具有灵敏度更高和双光子背景噪声更小的优点。

2 原理及实验

实验装置如图 1 所示。由钠炉发出的钠原子束在一对电场板的中心与两束相向行进的激光束相交。紫铜电场板尺寸为 $\phi 100$ mm,相距 9.2 mm,其中下板开有 $\phi 20$ mm 圆孔并用不锈钢

丝网铺平。两束激光由同一台 YAG 激光器同时泵浦两台染料激光器产生,其中 λ_1 调准在 589 nm,以激发钠原子 $3^2S_{1/2} \rightarrow 3^2P_{3/2}$ 跃迁,在此原子滤光器方案中,该光称为信号光; λ_2 在 420 nm 附近可调,以进一步将原子激发到 $n = 15 \sim 25$ 的里德堡态,在此方案中,该光称为泵浦光(见图 2)。在大约 2000 V/cm 的电场强度下,这些里德堡态的能量虽然低于零场电离阈,但却具有很大的电离速率(电场电离)^[4]。电场电离所产生的离子被电场加速后通过下电场板的栅网,由置于其下的电子倍增器接收。电子倍增器输出的离子流信号经 Boxcar 积分器处理后,由 x - y 记录仪记录。

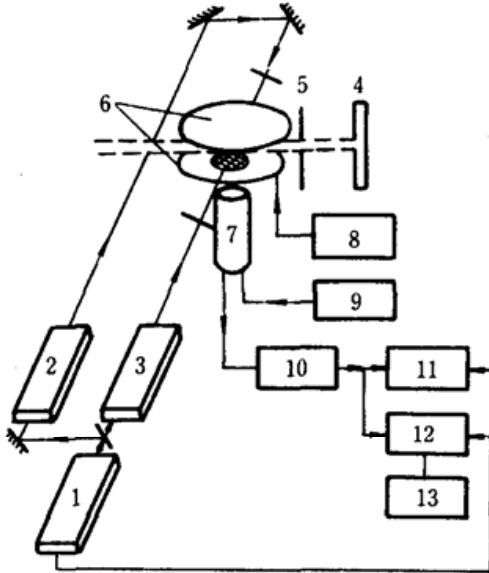


Fig. 1

1—YAG : laser; 2—Dye laser 1; 3—Dye laser 2; 4—Atomic beam oven; 5—Aligner; 6—Electric field plates; 7—P. M. T.; 8—D. C. Supply; 9—H. V. Supply; 10—Preamplifier; 11—Boxcar; 12—Oscilloscope; 13— x - y recorder

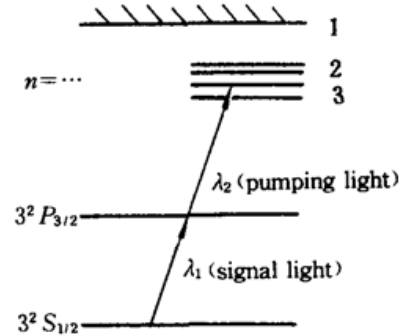


Fig. 2

1—Ionization threshold in zero field; 2—Rydberg states in zero field; 3—Ionization state in the electric field

3 结果与讨论

图 3 为在 2000 V/cm 电场强度下,改变泵浦光 λ_2 的波长所得到的光谱。此图可分两部分: $\lambda_2 > \lambda_r$ 时为光电离光谱; $\lambda_2 < \lambda_r$ 时为场电离光谱。其中 λ_r 为电场强度为 2000 V/cm 时的电离阈值波长。从图中可以看出,当 $\lambda_2 < \lambda_r$ 时,电场电离和能级在电场下的强烈混合导致光谱信号的明显增大。而且,理论计算和实验结果还表明,这种电场电离的截面比原子在零场下的光电离截面要高约一个数量级^[2]。因此,整个光谱信号最强的区域落在 $\lambda_r \sim \lambda_0$ 之间(λ_0 是零场时的电离阈值波长)。这一区域的光谱有很强的 $|m|$ (空间量子数) 依赖性。一般的特征是 $|m|$ 值低的谱线线宽较宽,相应的电离速率较大,因此利用这种谱线的原子滤光器有较快的响应速度,但 $|m|$ 值低的谱线强度较弱,相应于原子滤光器的灵敏度稍低;而 $|m|$ 较高的谱线线宽较窄,谱线强度较高。由于电场的引入,此时 l 不是好量子数,所以虽然是 π, π 激发(即 λ_1 和 λ_2 的偏振方向均与电场方向平行),谱线中包含有 $|m| = 0, 1$ 等两种成份^[5,6]。实验表明, $|m| = 0$ 的谱线宽度在 cm^{-1} 量级, $|m| = 1$ 的谱线宽度在 GHz 量级^[7]。从兼顾灵敏度和响应速度考虑,本实验选用强度较大、线宽在 GHz 量级(相应于 $|m| = 1$) 的谱线波长作为泵浦光波长,即将 λ_2 调节在图 3 中的 λ_r 上,其值约为 414.3 nm。GHz 量级的线宽相应于 ns 量级的响应速度。

场电离信号(即原子滤光器的输出信号)与信号光强度的关系示于图 4(此时泵浦光约为

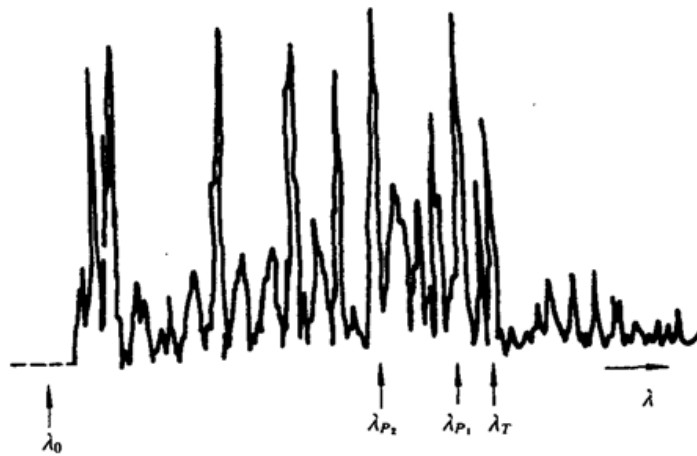


Fig. 3 Photo-ionization and field-ionization spectrum of Na atoms in strong electric-field

数 μJ , 这种强度很容易从普通脉冲激光器得到), 由图可见, 两者的线性关系良好(图中取对数)。曲线显示, 当信号光能量被衰减到仅数 nJ 时, 还有足够强度的可探测信号。提高原子束和泵浦光的强度, 或增加检测电路的增益, 都可以进一步提高探测灵敏度。

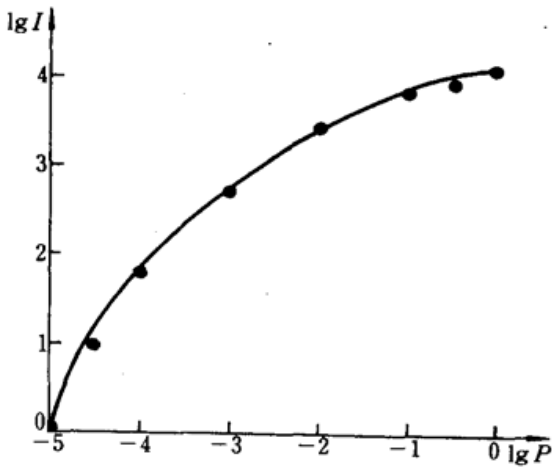


Fig. 4 Ionization signal as a function of signal light power

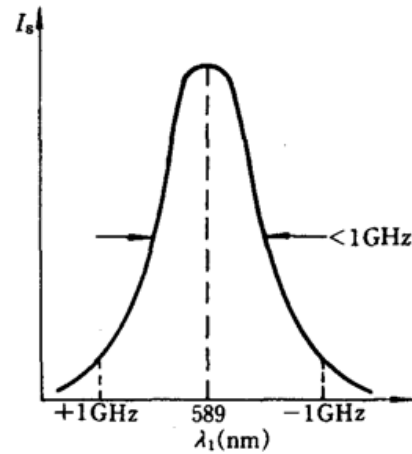


Fig. 5 Ionization signal as a function of signal light wavelength

场电离信号与信号光波长的关系示于图 5, 此图是将 λ_1 换成连续波单模激光并使其在 589 nm 附近作小范围扫描得到的。由图可见, 本原子滤光器的带宽指标小于 0.001 nm 。这虽然是在原子束方案下得到的指标, 但由于使用的束强较高, 所以即使改用泡型方案, 带宽指标也会接近这一水平。而改用泡型方案还有利于进一步提高原子滤光器的灵敏度指标。

利用与本实验相同的方案(但采用不同的碱金属原子), 可以制成各种不同波长的场电离原子滤光器, 如 $\text{Cs}(851.2 \text{ nm})$, $\text{Rb}(780.0 \text{ nm})$, $\text{K}(769.9 \text{ nm})$ 等。此外, 对激发方案稍作变化, 还可用于其它波长, 如 $\text{Cs}(459.8 \text{ nm})$ 即为一种很有应用前景的场电离原子滤光器方案。

参 考 文 献

- 1 J. A. Gelbwachs, *IEEE J. Quant. Electr.*, **24**, 1266(1988)
- 2 S. H. Bloom *et al.*, *Opt. Lett.*, **15**, 294(1990)
- 3 T. Okada *et al.*, *Opt. Lett.*, **14**, 987(1989)
- 4 D. Kleppner *et al.*, in *Rydberg States of Atoms and Molecules*, Cambridge U. Press, Cambridge, 1983, 73
- 5 刘炳模 *et al.*, *中国激光*, 待发表
- 6 D. A. Harmin, *Phys. Rev.*, **A26**, 2656(1982)
- 7 J. Y. Lin *et al.*, in *Atomic Excitation and Recombination in External Fields*, Gordon & Breach, New York, 1985, 283

62 fs 掺钛蓝宝石自锁模激光器

该激光器为“Z”字形四镜折迭光腔。两聚焦球面反射镜的曲率半径为 10 cm, 其间插有长 2 cm 掺钛蓝宝石。两聚焦镜是对 720 nm 至 820 nm 全反射, 对 488 nm 和 514 nm 高透射的双色镜。激光器的一端为透射率为 3.5% 的输出镜, 另一端为全反镜, 中心波长在 780 nm。全反镜与其中一个聚焦镜之间插入双石英棱镜对, 以补偿腔内正色散和自相位调制引起的正啁啾。该激光器无需在光腔内插入小孔光阑, 也无需利用棱镜顶端对光谱成份的限制作用, 即可在 3.5~5 W 全线输出氩离子激光器泵浦下实现稳定自锁模运转。输出脉冲宽度 62 fs, 平均功率 150 mW, 激光波长 750 nm。

调整激光器光腔参数和泵浦镜的位置, 可以改变泵浦光束和掺钛蓝宝石激光束在激活介质中耦合的状态, 在掺钛蓝宝石晶体中形成增益型三维光阑, 它与晶体中自聚焦效应的结合对光脉冲宽度有更高的鉴别率, 使得腔内无需另加硬型小孔光阑即可实现稳定锁模运转。理论和实验表明, 当脉冲宽度小于 100 fs 时, 腔内三阶色散是影响掺钛蓝宝石激光器锁模脉宽的主要因素。该激光器采用双石英棱镜对, 以尽可能减少棱镜对所引入的三阶色散。

(邢岐荣, 李 鹏, 张伟力, 王清月 天津大学精仪系, 天津 300072, 收稿日期: 1993 年 3 月 6 日)