

电离检测的铯原子滤光器

汪盛烈

(华中理工大学激光加工国家工程研究中心,武汉,430074)

孙献平 曾锡之

(中国科学院武汉物理与数学研究所波谱与原子分子物理国家开放实验室,武汉,430071)

摘要: 报道了一种新型电离检测的原子滤光器。它是在封装的电子倍增器中配上一阴极电场极板,并充入适量铯金属制作而成。初步实验测得:最小可探测光强为 10nJ,脉冲响应宽度小于 50ns。

关键词: 原子滤光器 光电离 场电离

Cs atomic resonance filter of ionization detection

Wang Shenglie

(National Engineering Research Center for Laser Processing, HUST, Wuhan, 430074)

Sun Xianping, Zeng Xizhi

(National Key Laboratory of Magnetics and Atom and Molecule Physics, Wuhan Institute of Phys. & Math. Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430071)

Abstract: This paper reported a new type Cs atomic resonance filter detected by ionization. The filter was fabricated by injecting an electrode and filling cesium in an electron amplifier. The previous experiment show that the lowest detectable energy is 10nJ, the time response is 50ns.

Key words: atomic resonance filter photoionization field ionization

引 言

原子滤光器以其超窄线宽、高转换效率在光通信和光检测应用上得到广泛重视。目前有荧光型^[1]、FADOF型^[2]和电离检测型^[3]三种原子滤光器,荧光型和 FADOF型先后已被制成基本实用的器件,而电离检测型只停留在实验阶段。由于电离检测型原子滤光器具有更高的量子转换效率,较大的接收角,对入射信号光的方向和偏振等的要求不高,具有更重要的应用价值。

1 工作原理

本原子滤光器以铯原子蒸气为工作物质,分别采用三种方案,即光电离、直流场电离和脉冲场电离。(1)光电离(图 1a):455nm(或 459nm)激光照

射铯原子,产生 $6^2S_{1/2}$ - $7^2P_{3/2}$ (或 $7^2P_{1/2}$)跃迁,另一束 532nm 激光使 7^2P 态电离。(2)直流场电

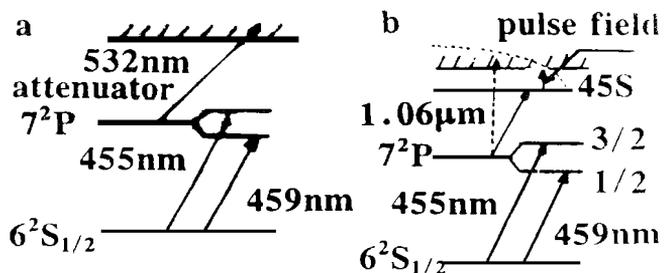


Fig. 1 Cs ARF energy levels

离(图 1b 虚线):置于电场强度为 120V/cm(或 2200V/cm)的电场中的铯原子吸收波长 455nm(或 459nm)光,发生 $6^2S_{1/2}-7^2P_{3/2}$ (或 $7^2P_{1/2}$) 跃迁,然后经 1.06 μm 激光激发到高 Stark 态电离,产生电子或离子。(3)脉冲场电离(图 1b 实线):铯原子吸收波长 455nm(或 459nm)光,发生 $6^2S_{1/2}-7^2P_{3/2}$ (或 $7^2P_{1/2}$) 跃迁,然后经 1.06 μm 激光激发到 45S 态,再由一脉冲电场电离。以上所产生的电子或离子由电子倍增器接收放大产生电信号。

2 理论分析

2.1 线宽

在铯原子蒸气中,主要是 Doppler 增宽(Gaussian 线型),Doppler 半宽度 $\nu_{1/2} = (\ln 2)^{1/2} = 7.16 \times 10^{-7} \nu_0 (T/A)^{1/2}$,对 Cs, $A = 133$,当 $T = 353\text{K}$ 时,455nm(或 459nm)的 Doppler 半宽度 $\nu_{1/2} = 0.2\text{GHz}$ 。而其自然线宽 $\nu_N = 16\text{MHz}$ 。故总线宽为 0.2GHz。

2.2 响应时间

响应时间是指信号响应分辨的半宽度,应小于 7^2P 态粒子的寿命 113ns 和激光脉宽 30ns。在激光强较弱时,电离时间响应分辨半宽度应与激光脉宽相当,即 $\sim 30\text{ns}$;激光较强时,电离时间响应分辨半宽度为电离时间常数 ($< 30\text{ns}$)。根据爱因斯坦系数关系: $B = (c^3/8 h^3) A$; 及光的激发速率: $W = B (\rho)$ 和式

$$= (A/8 c) (\rho_{AC})^3 (\nu/h) \tag{1}$$

得 $W_p = [c (\rho) \nu] / h = W / h$

即 $1/\tau = W_p = W / h \tag{2}$

式中, W 为激光功率密度, (ρ) 为单位体积单位频率间隔的光子能量, ν 为激光频率, σ 为光激发截面, ν 为线宽。对应 455nm 或 459nm 的光(每脉冲能量 0.2 μJ ,脉宽 14 ns,光束截面 0.02 cm^2),由(1)式得光激发截面 $\sigma_{6S \rightarrow 7P} = 3 \times 10^{-11}\text{cm}^2$,相应的 $\tau_{6S \rightarrow 7P} < 1\text{ns}$;对应 1.06 μm 的光(每脉冲能量 3mJ,脉宽 30ns,光束截面 0.02 cm^2),其电离截面 10^{-16}cm^2 ,相应的 $\tau_{7P \text{ 电离}} = 1\text{ns}$;对应 532nm 的光(每脉冲能量 1mJ,脉宽 30ns,光束截面 0.02 cm^2), $\tau_{7P \text{ 电离}} = 10\text{ns}$,故总的响应时间 $\tau \sim 10\text{ns}$ 。

2.3 原子内部转换效率

内部转换效率定义为: $\eta = N_{out}/N_{in}$ (N_{in} 为进入滤光器中的信号光子数, N_{out} 为出射电子或离子数)。在 455nm 或 459nm 光强吸收时(即每个信号光子产生一个 7^2P 态粒子),滤波器的内部转换效率取决于 7^2P 态粒子的电离效率 η_D ,由速率方程得:

$$\eta_D = (1/\tau) / (1/\tau + A + A) \{1 - \exp[-(1/\tau + A + A) T_p]\} \tag{3}$$

式中, τ 为 7^2P 态的电离时间常数,由(2)式决定; $A = 3.54 \times 10^6\text{s}^{-1}$ 为 $7^2P \rightarrow 6^2S_{1/2}$ 的爱因斯坦系数, $A = 5.31 \times 10^6\text{s}^{-1}$ [4] 为其它导致 7^2P 粒子数减少的速率, T_p 为 532nm 或 1.06 μm 激光脉宽。当 $\tau = 1\text{ns}$ 时,计算得 $\eta_D = 99\%$,当 $\tau = 10\text{ns}$ 时,计算得 $\eta_D = 79\%$ 。

3 器件制作与实验测试

在原子束型铯原子滤光方案[3]的基础上,设计制作了一使用方便的小型化器件。该器件是在南京华东电子管厂生产的 DB-406 型电子倍增器玻璃管内封入一电极板,将电子倍增器的阴极(电子入射窗网)作为电场的阴极,两极板平行,同时在电子倍增器玻璃壳内充入适量

铯金属,加上恒温炉及金属铝外壳便成了完整的器件,如图2所示。其中,1为电极引线,2为电场极板,3为电子倍增器入射窗,4为光窗,5为电子倍增器部分,6为外壳,7为加热炉,8为玻璃片,9为电引线座,10为隔热层,11为信号及电源线插座,12为衰减片,13为全反镜,14为示波器,15为高/低压电源,16为Nd YAG染料激光器。

采用图2所示方案,Quantum Ray-2型Nd YAG泵浦染料激光器可同时输出 $1.06\mu\text{m}$ (或 532nm)和 455nm (或 459nm)两束激光,其中, 455nm (或 459nm)激光射入两电场板间抽运铯原子至 7^2P 态,激光光强通过衰减片调节, 7^2P 态粒子再分别由 532nm 激光或 $1.06\mu\text{m}$ 激光及电场电离,电子倍增器产生的电信号由7834存储示波器监视。初步测试表明:采用电离检测时,该器件最小可探测光强 10nJ ,时间响应半宽度 50ns ;直流场电离时,最小可探测光强 20nJ ,时间响应半宽度 50ns 。由于我们的激光线宽较大^[3],无法测量该器件的线宽。

4 问题及设想

由于电子倍增器内充有铯金属,若器件内温度场不当,则铯金属极易附着在电子倍增器的相关元件上,产生短路或放电;同时,若铯原子密度不当,在高压电场作用下,容易产生放电,影响后面的电子信号处理器件或产生错误电信号。因此,控制铯金属的充入量、恒温炉的温度及温度场分布,是保证器件正常工作的关键。铯金属充入量多,会导致放电或短路;充入量少,会降低器件寿命。温度过高,铯原子蒸气密度太大,会导致高压放电;温度低,铯原子密度不足,而影响对信号光的充分吸收。为了保证铯原子不附着在电子倍增器的相关元件上,就要求电子倍增器元件部分的温度要高出其它部位,这有待下一步实验详细研究。

参 考 文 献

- 1 Gelbwachs J A. IEEE J Q E, 1988;24(7):1266
- 2 Hu Z, Sun X P, Zeng X Zh *et al.* Opt Commun, 1993;101(1):175
- 3 汪盛烈,孙献平,曾锡之 *et al.* 中国激光, 1994;21(4):257
- 4 Lindgard A, Nielsen S E. Atomic data and nuclear data tables, 1977;19(6):612

作者简介:汪盛烈,男,1965年5月出生。硕士,助理研究员。现主要从事激光技术与应用研究工作。

收稿日期:1998-03-17 收到修改稿日期:1998-07-22

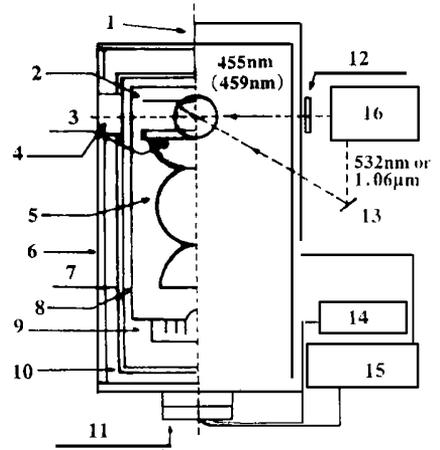


Fig. 2 Experimental arrangement for Cs-ARF