

Ne 原子射频放电光电流效应及其高激发态能级的测量

钟 旭 滨

(华南师范大学物理系, 广州 510631)

刘炳模 鲍琢玉

(波谱与原子分子物理开放研究室, 武汉 430071)

Optogalvanic effect of neon with RF discharge and its application in the measurement of high lying states

Zhong Xubin

(Department of Physics, South China Normal University, Guangzhou)

Liu Bingmo, Bao Zhuoyu

(Laboratory of Magnetic Resonance and Atomic and Molecular Physics, Wuhan)

Abstract: We have made comprehensive investigations over the optogalvanic effect of neon with RF discharge, and revealed the general characters of the polarities and spatial behavior of the signal with the variation of discharge intensity. Qualitative explanations are given. We also measured the high lying states by detecting the optogalvanic signal of two-step excitation of two pulsed dye laser, and recognized states as high as $46d'$ at the lowest discharge intensity. In addition, we observed the signal of two-photon transition of neon at 592.3nm by focusing the single pulsed dye laser beam.

Key words: optogalvanic effect, RF discharge, RF discharge

1. 本文采用射频耦合放电方法, 研究了 Ne 原子光电流信号的极性、径向分布以及它们随放电强度的变化。同时, 利用射频放电放电管内可以激发高电离电位元素到高激发态能级并存在大量准稳态原子的特点, 在弱放电状态下, 用两步脉冲激光激发测量到 Ne 原子主量子数直至 46 的光电流信号, 并用聚焦脉冲激光一步激发, 观察到双光子跃迁的光电流信号。

2. 采用类似文献[1]的射频放电装置。实验表明, 由于在放电电路中, 采用较低阻值的镇流电阻(600 Ω), 用一般可调直流稳压电源(0~300 V), 可获得大范围连续变化的射频放电, 使我们有可能在从弱放电状态到强放电状态的大范围内研究光电流信号的特性, 并保持有足够高的探测灵敏度。

曾有不少工作研究了光电流信号极性与放电强度的关系^[2], 但均限于 Ne 原子 $1s_4$ 态跃迁的谱线, 对准稳态跃迁, 虽有人预言, 在强放电状态下可能出现正效应(负电压变化), 但至今尚未证实; 迄今报道的实验结果, 在弱放电状况下, 光电流信号均为负效应(正电压变化)。我们的实验表明, 在放电强度很强的情况下, 光电流信号确实出现正效应, 且仅在中等放电状态下为负效应, 随着放电强度继续减弱又出现正效应, 其结果如图 1 所示。

此外, 我们还测量了 Ne 原子准稳态跃迁的光电流信号的径向分布及径向分布随放电强度变化的关系。图 2 所示为 $1s_5 \rightarrow 2p_2$ (588.2 nm) 跃迁的实验结果。曲线(a)表明, 在弱放电状态下, 光电流信号在放电管轴线位置上有最大值, 随径向距离增大, 信号强度逐渐减小, 在管壁

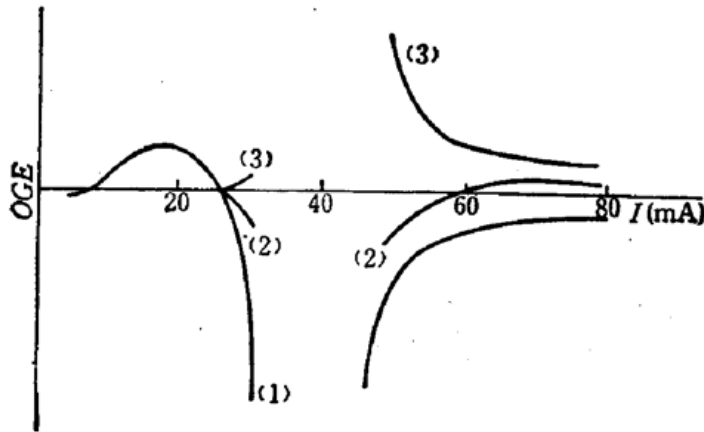


Fig. 1 Variations of optogalvanic signal amplitude with the RF discharge current

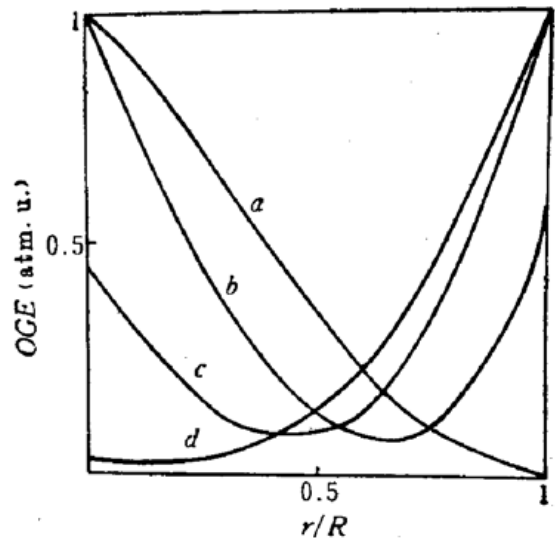


Fig. 2 Spatial distribution curves of optogalvanic signal amplitude at several typical discharge currents

(a) 16 mA; (b) 25 mA; (c) 27 mA; (d) 30 mA

附近近似零值, 整个变化过程全为正效应; 随着放电强度增大, 放电管轴线位置上的光电流信号减弱, 超过某一径向距离则由正效应变为负效应, 如图 2(b) 所示。当放电强度进一步增强时, 光电流效应在放电管整个径向距离内均为负效应, 并且由中间凹形分布逐渐变为中间凸形分布, 如图 2(c) 和 (d) 所示。

3. 采用 YAG 泵浦的两台脉冲染料激光器, 用两步激发测量了 Ne 原子高激发态能级的光电流信号谱。其中一束激光把 Ne 原子由准稳定激发到 $2p$ 态, 另一束激光从 $410 \sim 440 \text{ nm}$ 之间扫描, 使 Ne 原子从 $2p$ 态激发到高激发态, 光电流信号经高频截止频率为 1 MHz 的低通滤波器输入到前置放大器, 放大后由 Boxcar 平均器处理, 由 $x-y$ 记录仪记录。测量装置如图 3 所示。

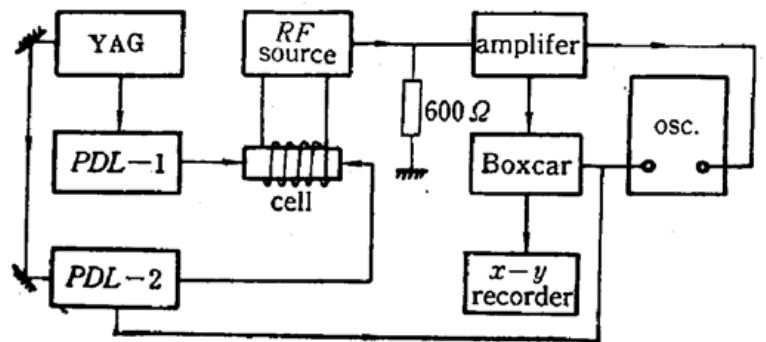


Fig. 3 Diagram of the experimental setup on optogalvanic effect with pulsed laser

由于采取在高压电源输出端另加滤波装置, 并使高压电源正极接地以及射频振荡器振荡管灯丝用直流供电等措施, 进一步减少了 50 Hz 交流声和射频振荡器射频干扰的影响, 大大提高了测量的信号噪声比。在弱放电状态下, 我们测量到了 Ne 原子主量子数直至 46 的光电流信号, 比文献 [3] 报道的主量子数高 10 以上。

4. 用透镜使激光束进一步聚焦, 焦点通过 Ne 原子放电管中央, 当对聚焦激光扫描时, 分别在 592.3 nm 和 597.7 nm 附近探测到较弱的光电流信号, 且前者的信号比后者更强。而非聚焦的激光扫描入射时, 却探测不到它们的光电流信号。显然, 这两条谱线不是单光子跃迁产生的。从 Ne 原子能级推算, 我们认为 592.3 nm 和 599.7 nm 分别属于 $1s_5 - (2p) - 4s$ 和 $1s_4 - (2p) - 4s$ 的双光子跃迁谱线。因 592.3 nm 附近可能的双光子过程有 7 种, 其跃迁波长

(下转第 465 页)

取 $N=5$ 时,有

$$C_1 = (100010101\bar{1})^x (0100\bar{1}01101)_{\text{MSD}}$$

$$C_2 = (1100011\bar{1}00)^x (1110010\bar{1}10)_{\text{MSD}}$$

其编码结果如图 5 所示,图 6 为实验结果,实验中的代换是用分束镜及反射镜完成的,但当通道数较多时,适合用衍射光栅来完成。

上述矩阵相乘所需的时间 T_M 由两部分组成: 每个外积式的计算时间 T_P , 每个部分积阵列移位相加时间 T_A :

$$T_M = 2(T_P + T_A) \approx 2(3T_r \times \log_2 N + T_r) \quad (8)$$

上式中, T_r 表示 BSO-PROM 的响应时间,约等于 5 ms, 忽略了光束在自由空间的传输时间。实验中所用 PROM 器件的有效口径和分辨率分别为 $25 \times 25 \text{ mm}^2$ 和 10 线/mm, 像素尺寸为 $1 \times 0.5 \text{ mm}^2$, 则系统的计算速度为每秒可实现两个 2×2 阶的 $N=32$ 比特的 MSD 矩阵相乘, N 由下式求得:

$$25^2/2 N \times 2 N = T_M = 2T_r(3 \log_2 N + 1) \quad (9)$$

三、结 论

在上述方式中,通过减小像素尺寸和 NOR 门阵列器件的响应时间,可以使计算速度大大提高。此外,MSD 数字表达精度 N 决定了最大操作数大小和计算精度,设整数部分需 N_1 比特表示,则 $N - N_1$ 表示小数部分,当 $N=5$, $N_1=2$ 时,计算精度为 0.125, 当 $N=32$, $N_1=16$ 时,计算精度可达 10^{-5} 。

参 考 文 献

- 1 陈岩松 *et al.*, 物理, **17**(10), 626(1988)
- 2 B. Drake *et al.*, *Opt. Eng.*, **25**(1), 38(1986)
- 3 N. Takagi *et al.*, *IEEE Trans. Comput.*, **C-34**(9), 789 (1985)
- 4 周少敏, 鄢敏贤 *et al.*, 仪器仪表学报, **11**(1), 34(1990)

(上接第 480 页)

为 592.339 nm、592.357 nm 和 592.374 nm, 而其中以 $1s_5 \rightarrow 4s_1''$ 谱线的跃迁几率最大, 所以, 我们认为 592.3 nm 附近观察到的光电流信号应属于 $1s_5 - (2p) - 4s_1''$ 的双光子跃迁的信号。同理, 可以判断 597.7 nm 附近的光电流信号应为 $1s_4 - (2p) - 4s_1''$ 的双光子跃迁信号。因为 $1s_4$ 态的原子布居比 $1s_5$ 态少, 且中间的虚能级偏离大, 因而观察到的双光子跃迁的光电流信号比 592.3 nm 跃迁的更小。

参 考 文 献

- 1 钟旭滨, 刘炳模 *et al.*, 中国激光, **15**(7), 440 (1988)
- 2 K. C. Smyth *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, **55**, 466(1978)
- 3 International Colloquium on Optogalvanic Spectroscopy and its Applications, June 20th-24th, 1983, Aussois (France), 23

(收稿日期: 1989 年 3 月 16 日)