



# 用半导体激光器研究铷原子的消多普勒谱\*

李英东 王庆吉 郑乐民

(北京大学无线电电子学系, 100871)

## Study on Doppler-free spectra of Rb $D_2$ hfs lines by laser diode

Li Yingdong, Wang Qingjie, Zheng Lemin

(Dept. of Radio-electronics, Peking University, Beijing)

**Abstract:** Hyperfine structure spectra of Rb  $D_2$  lines are recorded by means of laser diode as light source and the comparison with the calculated results is made

**Key words:** rubidium, laser diode spectra, Doppler-free spectra

近红外半导体激光器(LD)用于高分辨谱研究的工作还不多。1982年, H. Tsuchida 首次用  $0.78 \mu\text{m}$  的近红外半导体激光器(LD)观察到 Rb 原子  $D_2$  线的饱和吸收谱<sup>[1]</sup>。之后, 分辨率逐步提高<sup>[2~4]</sup>。也曾进行过理论线形的计算<sup>[5]</sup>。本文报道我们的实验结果, 并与理论结果进行了比较。

实验用熟知的强光抽运, 反向弱光检测方案。所用 LD 为 Sharp TLO21MDO, 阈值电流 ( $I_{th}$ )  $\sim 47.5 \text{ mA}$  ( $T \sim 27^\circ\text{C}$ 时, 单纵模, 线宽  $\sim 20 \text{ MHz}$ )。LD 的电流由稳流源供给, 温度控制到  $\pm 0.5\%$ 。用慢扫频及 lock-in 记录消多普勒谱。实验条件为: 抽运光强 ( $I_p$ )  $\sim 20 \mu\text{W}/\text{mm}^2$ , 检测光强 ( $I_d$ )  $\sim 2 \mu\text{W}/\text{mm}^2$ , 吸收泡长  $100 \text{ mm}$ , 温度  $50^\circ\text{C}$ 。多普勒增宽  $\sim 540 \text{ MHz}$ 。

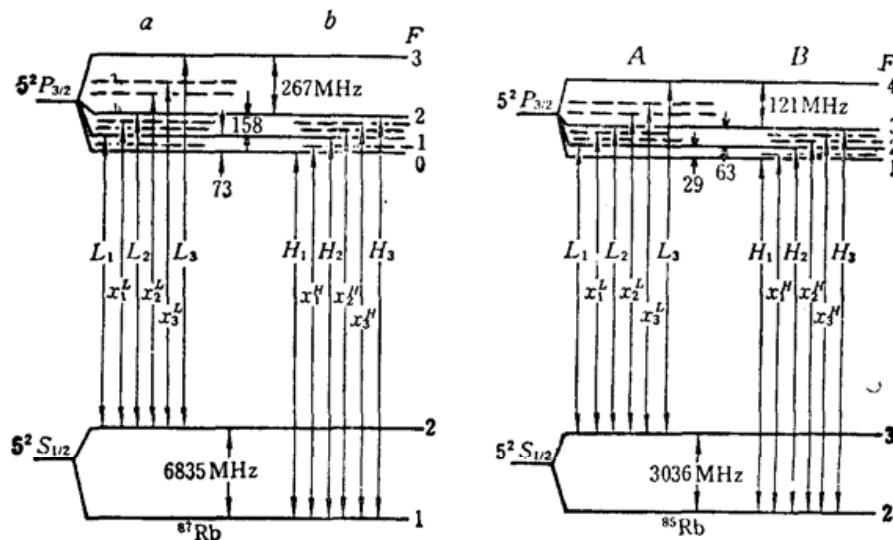


Fig. 1 Transitions in saturated absorption spectra of Rb  $D_2$  lines

\* 本工作得到国家自然科学基金的资助。

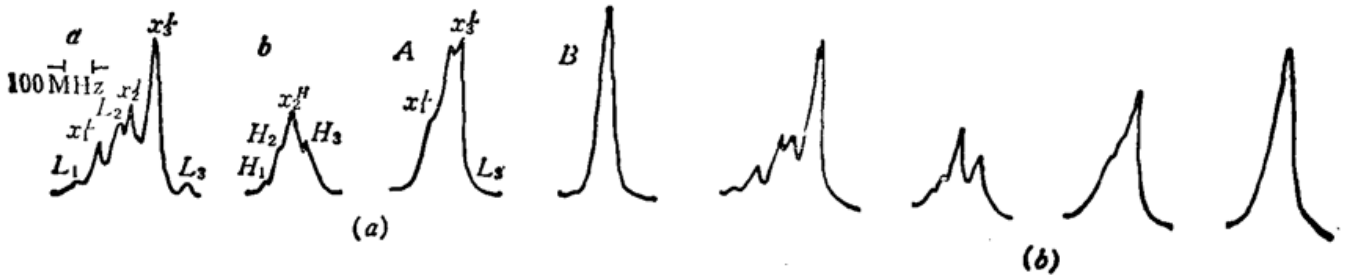


Fig. 2 Doppler-free spectra of Rb  $D_2$  lines

(a) Experimental line shape (Ordinate: arb. unit modulation frequency: 310 Hz Lock-in time: 0.1s);  
 (b) Theoretical line shape ( $\Delta\nu=20$  MHz)

天然铷含  $^{87}\text{Rb}$ 、 $^{85}\text{Rb}$  两种同位素,  $D_2$  线共有四个分支, 按频率增大的次序顺次为  $a$ 、 $A$ 、 $B$ 、 $b$ 。各分支及其中包含的谱线见图 1。Rb $D_2$  线消多普勒谱的实验结果见图 2(a), 理论计算结果见图 2(b)。

理论与实验结果基本一致, 但也有不大一致的地方, 这主要是由理论<sup>[6]</sup>中所作的近似造成的。首先, 此方法完全忽视了饱和效应; 其次, 对于只涉及两个能级的消多普勒谱线, 如按更严格的方法<sup>[6]</sup>推算, 相对强度为

$$I \propto W_{eg}^2 [\gamma_g/\gamma_e + (1 - B.R.)], \quad (1)$$

式中  $W_{eg}$  是两能级间受激跃迁几率,  $\gamma_e$  及  $\gamma_g$  分别是上、下能级的弛豫率,  $B.R.$  是由上能级向下能级自发跃迁的分支比。由于  $\gamma_g/\gamma_e \ll 1$ , 忽略了(1)式中的  $\gamma_g/\gamma_e$  项。这两项近似, 对于由“循环跃迁”所产生的  $L_3$  等谱线(参见图 1), 影响明显。因为这时  $B.R.=1$ , 即不存在选束光抽运过程, 近似理论的消多普勒谱强度为零。实际上, 观察到了弱线。我们对此作一估算。按[6]文中公式并取近似, 饱和因子  $S = \frac{|\mu_{eg}|^2 E^2}{2\hbar^2 \gamma_e^2}$ 。  $\gamma_e$  可由上能级自发跃迁几率得知, 为  $37 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ 。由此求出实验中  $S=0.03$ 。对可以在多普勒吸收背景上造成相对深度为  $10^{-2}$  的凹陷, 导致弱的消多普勒线的产生。又基态  $\gamma_g$  主要由原子通过光束的渡越时间决定。实验中原子平均速率  $\bar{v}=250 \text{ m/s}$ , 光束直径  $\sim 3 \text{ mm}$ , 故  $\gamma_g=0.08 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ 。于是  $\gamma_g/\gamma_e=2 \times 10^{-3}$ , 它比  $(1 - B.R.)$  小 2~3 量级 ( $B.R. \neq 1$  时), 也导致弱线的出现。在本实验中, 两种因素影响的量级相近, 基本上可以解释  $L_3$  线的来源。

感谢陈怀林同志对本工作的协助。

### 参 考 文 献

- 1 H. Tsuchida *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **20**, L561(1982)
- 2 T. Sato *et al.*, *Electr. Lett.*, **24**, 429(1988)
- 3 G. P. Barwood, *Electr. Lett.*, **24**, 769(1988)
- 4 M. Tetu *et al.*, Proc. 4th Symp. on Frequency and Metrology (1988)
- 5 S. Nakayama, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **50**, 609(1981)
- 6 S. Nakayama, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **23**, 879(1984)

(收稿日期: 1989 年 12 月 26 日)