

基于 NH_2D 气体斯塔克效应的 光学双稳态*

蒋玉楨 刘兆岩 南京达 孙东松 乔立杰 皮名嘉

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150006)

提 要

报道一种由 NH_2D 气体斯塔克盒和光电反馈控制回路构成的无腔镜光学双稳装置。实验中观测了该装置的光学双稳性, 实验结果与理论分析相一致。

关键词 NH_2D 气体, 斯塔克效应, 光学双稳性。

1 引 言

NH_2D 气体分子在斯塔克场作用下, 可与 CO_2 激光 $P(20)$ 、 $P(14)$ 和 $R(12)$ 等支线产生共振吸收^[1]。利用这一性质, 人们实现了对 CO_2 激光的调制^[2]、激光束空间编码^[3]、激光噪声抑制^[4]和稳频^[5~7]。1979年 Pepper 等人^[8]利用 NH_3 气斯塔克盒构成了一种类似的光学双稳装置, 其工作波段为 CO_2 激光的 $R(18)$ 支线, 该光学双稳装置要求有较高的直流斯塔克偏置电压。本文所报道的这种光学双稳装置直流偏压较低, 给实际应用带来方便, 而且该装置工作于 $P(20)$ 支线, 与 CO_2 激光外差探测、通讯等所普遍采用的 $P(20)$ 支线相一致, 使得该装置在激光相干雷达、通信等领域具有应用前景。

2 原 理

实验系统的基本结构如图 1 所示, 它是由非线性吸收介质(斯塔克盒)和光电反馈控制回路组成的。激光束经斯塔克盒后, 由探测器接收转换为电信号, 再由反相放大器放大作为反馈控制电压送至斯塔克盒, 选择适当的斯塔克偏压及反馈控制回路的增益系数, 就可以实现输出与输入光之间的双稳关系。对于该系统光学双稳产生的过程, Pepper 等人^[8]采用作图法分析; 气体分子是一种二能级系统, 高锦岳等人^[9]从光与二能级物质相互作用的 Maxwell-Bloch 方程出发, 分析了类似系统的光学双稳性。本文采用较为简明的图解法说明该装置产生光学双稳的作用过程。

NH_2D 分子是对称顶分子, 与实验有关的能级如图 2 所示^[1]。能级 $(0, 4_{04})$ 和 $(0, 4_{14})$ 在电场作用下将产生一阶斯塔克位移, 其值为^[10]

收稿日期: 1991年6月12日; 收到修改稿日期: 1991年12月16日

* 国家自然科学基金资助的项目。

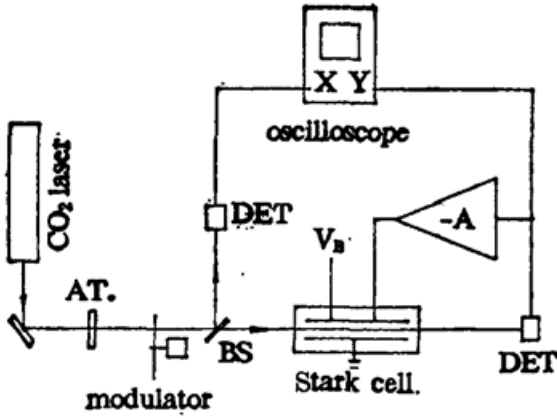


Fig. 1 Experimental arrangement

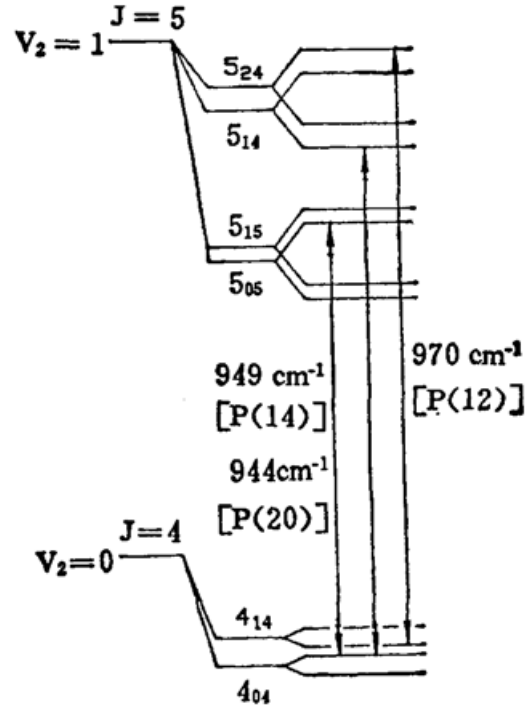


Fig. 2 Energy levels of NH₂D molecule related with Stark effect

$$\Delta\nu(\text{MHz}) = \pm 42.6 E |M|, \tag{1}$$

式中 M 是转动量子数 J 的 z 方向分量, 取 $+4$ 到 -4 的整数值; E 为电场强度, 单位为 esu/cm . 负号适用于 (0_a4_{04}) 能级. 能级 (1_a5_{05}) 、 (1_a5_{14}) 和 (1_a5_{24}) 有二阶斯塔克位移, 其值很小可忽略. 因此, NH_2D 气体分子在外电场作用下将产生线性斯塔克位移. 适当选择外电场, NH_2D 气体分子将与相应的 CO_2 激光谱线产生共振吸收, 形成与外电压有关的吸收曲线. 我们利用 NH_2D 气体分子的 $(0_a4_{04}) \rightarrow (1_a5_{15})$ 能级跃迁对 CO_2 激光 $P(20)$ ($10.6 \mu\text{m}$) 支线的吸收特性, 采用光电反馈控制回路构成光学双稳装置. 斯塔克盒传输函数可表示为

$$T(V) = P_{\text{out}}/P_{\text{in}}, \tag{2}$$

式中 P_{in} 为入射到斯塔克盒中的激光功率, P_{out} 为出射的激光功率; $T(V)$ 为斯塔克盒与电压有关的传输函数, 高充气压下具有洛仑兹线型, 可写成如下形式

$$T(V) = \exp \left\{ \frac{-\alpha_0 L \Delta V^2}{4\pi [(\Delta V^2/4) + (V + V_0)^2]} \right\}, \tag{3}$$

式中 α_0 为小信号吸收系数, ΔV 是以电压为单位的吸收谱线的半宽度, L 为斯塔克盒的作用长度. 如图 1 所示, 斯塔克盒电极所加偏压由两部分组成, 即

$$V = V_B - \beta P_{\text{out}}, \tag{4}$$

式中 V_B 为直流斯塔克偏压, β 为包括探测器响应在内的反馈控制回路的增益. 式中负号表示反馈控制回路是将出射信号反相放大后加于斯塔克盒电极上的. 进一步改写 (4) 式, 得

$$(P_{\text{out}}/P_{\text{in}}) = -[(V - V_B)/\beta P_{\text{in}}]. \tag{5}$$

研究一下 (2)、(3) 及 (5) 式, 可以看到本文的实验装置是一种典型的光学双稳系统. 现对 (3)、(5) 式作图加以描述, 如图 3 所示. 图中曲线 a 是由 (3) 式给出的斯塔克盒与电压呈非线性关系的传输函数; 直线 b 是由 (5) 式给出的反馈线, 其斜率为 $(\beta P_{\text{in}})^{-1}$. 选择不同的

直流偏压 V_B 可以使系统处于双稳 (V_{B1})、开关 (V_{B2}) 及放大 (V_{B3}) 等状态。

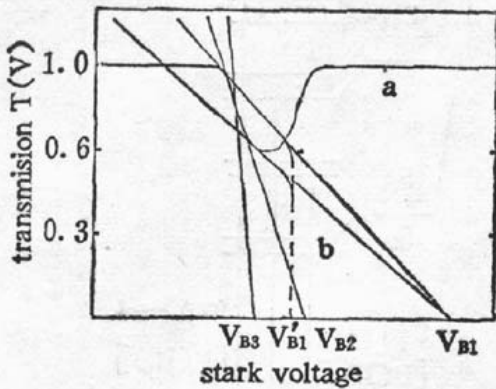


Fig. 3 Graphical solution for a mirrorless Stark effect BOD

由图 3 可以看到, 实验装置处于双稳状态所需的偏置电压较高, 这往往受到斯塔克盒击穿电压的限制, 因此我们设计了一种非线性反馈控制电路, 其反馈特性可近似由下式给出

$$\left. \begin{aligned} V &= V'_B, P_{out} < (V_k/\beta) \\ V &= V'_B - (\beta P_{out} - V_k), P_{out} \geq (V_k/\beta) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中 V_k 为可调整的开关电压, V'_B 为偏置电压。将 (6) 式给出的函数关系绘成曲线, 如图 3 中的虚线所示。由 (6) 式可看到, 当 $P_{out} \geq (V_k/\beta)$ 时, 反馈线等价于 (4) 式描述的反馈线, 等效偏置电压为 $V_B = V'_B + V_k$, 这就

达到了提高偏置电压的目的。实验中可选择偏置电压 V'_B 低于斯塔克盒击穿电压, 以避免其影响, 并适当选择开关电压 V_k 及环路增益 β 以使系统处于不同的工作状态。

3 实验结果

实验装置如图 1 所示。CO₂ 激光器采用光栅选支偏振输出, 支线为 $P(20)(10.6 \mu\text{m})$, 为避免 NH₂D 气体吸收饱和, 输出光束经衰减片(AT)衰减后射入到斯塔克盒中, 作为观察系统双稳性的实验光源。实验中使用的斯塔克盒电极长度为 10 cm, 电极间距 1.5 mm, 对应最大吸收所需偏压 $V_0 = 410 \text{ V}$, 盒内充入 NH₃:ND₃ = 1:1 的混合气体 1.87 kPa。

实验中首先观察了 NH₂D 气体在外电压作用下对激光束的吸收情况, 将反馈环路断开, 将斯塔克偏压由零逐渐增加, 观察到当偏压约为 410 V 时吸收达到最大, 对光束的吸收约为 30%。实验中发现, 在激光长时间作用下, NH₂D 气体对激光束的吸收有所下降, 这对实验不利。当偏压增至约 450 V 时, 气体出现击穿现象, 这是限制斯塔克偏压不能太高的原因。为了观察系统的光学双稳性, 将激光束加以三角波调制, 调制后的激光束的波型如图 4(a) 所示。选择斯塔克偏压 $V'_B = 440 \text{ V}$, 然后将反馈环路闭合, 输入和输出光束分别由 TeO₂Hg 探测器 1 和探测器 2 接收, 并送到示波器, 记录下输入光和输出光的波形, 如图 4 所示。图 4(b) 是输出激光束的波形, 可看到系统工作在双稳状态, 与理论分析一致。进

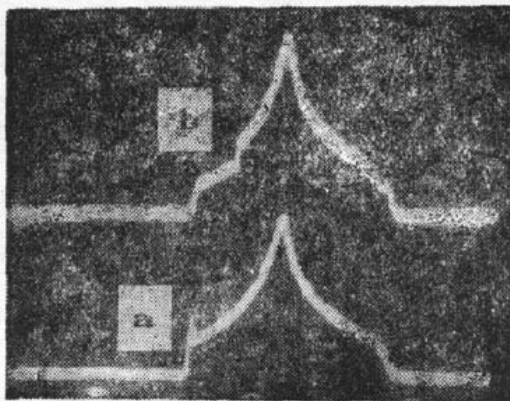


Fig. 4 Experimental wave forms of, a. input laser and, b. output laser



Fig. 5 Experimental bistable curve of $P_{in} - P_{out}$ under $P = 14 \text{ torr}$, $V'_B = 440 \text{ V}$

一步可观察光学双稳回线, 将输入和输出光束分别送入示波器的 X 和 Y 输入端, 可记录下光学双稳回线, 如图 5 所示.

参 考 文 献

- [1] M. J. Kelly, R. E. Francke, M. S. Feld, *J. Chem. Phys.*, 1970, **53**: 2979
- [2] A. R. Johnston, R. D. S. Melville, JR., *Appl. Phys. Lett.*, 1971, **19** (12): 508
- [3] U. S. Patent 4, 215, 324(1980)
- [4] Bindert S. Douma, Thomas R. Geballe, *IEEE J. Quantum Electron.*, 1977, **30**: 96
- [5] T. A. Nussmeier, R. L. Abrams, *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **25**(10): 615
- [6] 朱大勇. 中国激光, 1983, **10**(12): 329
- [7] Mingjia Pi, Yongjiang Dai, Zhaoyan Liu *et al.*, The NH_2D Stark Effect Frequency Stabilization of CO_2 Laser. *Proceeding 4rd Topical Meeting on Coherent Laser Radar: Technology and Application, Aspen Colorado, U. S. A., July 27~30, 1987*
- [8] Pepper David M, Klein M. B., *IEEE. J. Quantum Electronics*, 1979, **QE-15** (12): 1362
- [9] 高锦岳, 那都奇 L. M., 班地等, 量子电子学, 1987, **4**(3): 213
- [10] R. G. Brewer *et al.*, *Phys Rev. Lett.*, 1969, **23**(11): 559

Optical bistability produced from NH_2D gas Stark effect

JIANG YUZHEN LIU ZHAOYAN NAN JINGDA SUN DONGSONG

QIAO LIJIE PI MINGJIA

(Physics Department, Harbin Institute of Technology Harbin 150006, China)

(Received 12 June 1991; revised 16 December 1991)

Abstract

A mirrorless bistable device composed of NH_2D gas stark cell and optical detector/electronic feedback loop is reported in this paper. The bistability of the devices is observed experimentally and the result of the experiment is agreement with the theoretical analysis.

Key words NH_2D gas, Stark effect, optical bistability.