

NH₂D 斯塔克效应调制 CO₂ 激光器

朱大勇 中廉基

(成都电讯工程学院)

提要: 在 CO₂ 激光器外部一个 20 厘米长的气体盒上, 加上 400 赫、20 伏有效值正弦波调制信号和 440 伏直流偏压, 当气压为 5 托时, 得到了 41% 的调制度。计算了气体盒的最大调制度, 其值为 42%, 与实验所得到的最大调制度很好地符合。当正弦波调制信号为 2 兆赫、20 伏有效值时, 达到 12% 的调制度。NH₂D 由 ND₃ 和 NH₃ 混合而制备, ND₃ 由作者自制。

Stark-effect modulation of CO₂ lasers with NH₂D

Zhu Dayong Zhong Lianji

(Chengdu Institute of Radio Engineering)

Abstract: Molecular Stark effect in NH₂D is used to modulate strong P (20) line at 10.6 μm of a CO₂ laser. A modulation depth of 41% is obtained from a 400 Hz 20 V rms sinusoidal modulation signal and a 440 V DC bias applied to a 20 cm gas cell outside the laser at a gas pressure of 5 torr. The maximum modulation depth of the gas cell is calculated as 42%, which is in good agreement with the experimental result. When sinusoidal modulation signal is 2 MHz 20 V rms, a modulation depth of 12% is achieved. NH₂D was prepared by mixing ND₃ and NH₃ and ND₃ was prepared by the present authors.

一、原 理

用于斯塔克效应调制的气体分子应选择对称顶分子, 它们在外电场作用下, 转动能级有线性斯塔克位移。用来调制 CO₂ 激光器, NH₂D 是一种比较理想的气体分子, 它不但在电场作用下有线性位移, 而且有较强的偶极矩。NH₂D 有关能级由图 1 示出^[1], 下面就它的斯塔克调谐吸收光谱特性作一简单介绍。

从图 1 可以看到 NH₂D 分子的 ν₂ 能带

有三个振转跃迁经斯塔克调谐后, 可以分别进入 CO₂ 激光器 P (20)、P (14) 和 R (12) 等支线的谐振内, 它们的基态是 (Oa₄_{0₄}) 和 (Os₄_{1₄}), 这两个几乎简并的反态振转能级的能量间隔仅差 644 兆赫, 有电场时, 两能级混合在一起, 并提供一阶斯塔克位移, 其值为

$$\Delta\nu(\text{MHz}) = \pm 42.6 E |M|^{(2)} \quad (1)$$

式中 M 是 J 的 Z 方向分量, 可取 +4 到 -4 的整数; E 为电场强度, 单位为静电单位/厘米。式中负号适用于 (Oa₄_{0₄}) 能级,

收稿日期: 1980 年 12 月 9 日。

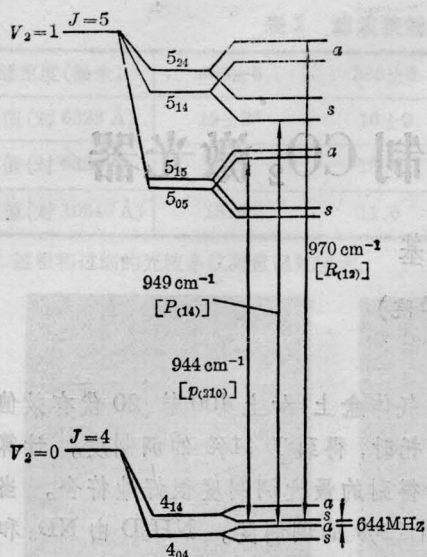


图1 NH₂D 显示跃迁的有关能级图
(括号内是相符合的激光线)

而正号适用于 (Os4₁₄) 能级。激光态对 P(20)、P(14) 和 R(12) 激光支线分别为 (la5₀₅)、(ls5₁₄) 和 (la5₂₄)。在这些能级上, 外电场作用下也观察到一个很小但可忽略的二阶斯塔克位移。因此在外电场作用下, 主要由 (Oa4₀₄) 和 (Os4₁₄) 两个能级混合提供一个与外电场成线性关系的斯塔克位移。表 1 列出了 NH₂D 跃迁的识别。表中“零场分裂”是指无电场时, NH₂D 基态和激光态之间的能量间隔。δ₀ 表示各个跃迁进入相应激光支线内所需的斯塔克位移。

表 1 NH₂D 跃迁识别^[1]

激光谱线	基态	激发态	斯塔克位移 δ ₀ (兆赫)	激光谱线 (厘米 ⁻¹)	零场分裂 (厘米 ⁻¹)
P(14)	Oa4 ₀₄	ls5 ₁₄	-2300±60	949.48	949.40
P(20)	Oa4 ₀₄	la5 ₀₅	-1720±60	944.19	944.14
R(12)	Os4 ₁₄	la5 ₂₄	+2800±100	970.55	970.64

如果在气体盒上加上一一定的直流偏置电场, NH₂D 气体分子 J=4 的斯塔克分量就与激光谱线部分重叠, 于是吸收分量就进入到激光谐振内。如果在偏置电场上再叠加一个交流调制场, 交流场就会在吸收谱线和激

光谱线重叠部分之间变化, NH₂D 气体的吸收分量就会随交流场的变化而线性变化, 于是通过气体盒后的激光束的强度被调制。

二、实验装置

研究 NH₂D 斯塔克效应调制 CO₂ 激光器 10.6 微米 P(20) 支线的实验装置如图 2 所示。斯塔克盒是在一个玻璃圆柱体内安装一对长 20 厘米、宽 2.2 厘米经过精细抛光的铝电极, 而两电极间用红外反射材料——石英垫片分隔开, 其间距为 1.15 毫米, 于是构成一带线电磁波导。在波导出口一角接有终端负载, 盒的两端用 KCl 柱面透镜密封, 柱面透镜将入射来的激光束压缩为窄带, 然后注入到波导孔内, 而尾部的柱面透镜把从波导孔出来的激光窄带束又重新恢复成一圆形光斑。斯塔克盒的结构如图 3 所示。在盒内充入 ND₃ 和 NH₃ 两种气体, 经化学反应后很快就形成了 NH₂D 和氨的其它混合同位素, 在 ND₃ 和 NH₃ 的比例为 1:1 时, 得到的 NH₂D 浓度最大。我们设计了一套化学工艺流程, 制备了 ND₃ 气体。

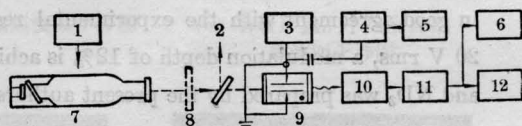


图 2 实验装置简图

1—被动稳频; 2—光谱仪; 3—直流偏压; 4、11—放大器; 5—调制信号; 6—数字电压表; 7—CO₂ 激光器; 8—斩波器; 9—NH₂D 斯塔克盒; 10—探测器; 12—示波器

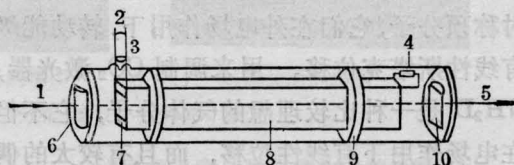


图 3 斯塔克盒结构

1—输入激光束; 2—调制信号和偏压; 3—电缆; 4—终端匹配负载; 5—输出激光束; 6—前柱面透镜; 7—石英垫片; 8—电极; 9—聚四氟乙烯; 10—后柱面透镜

实验所用的 CO_2 激光器是一支半外腔石英结构的单频、单模、线偏振激光器，输出功率约 5 瓦。调节激光器内压电陶瓷的长度，可以选择振荡支数。

作低频调制实验时，使用的是 TGS (硫酸三甘钛) 热释电探测器，而进行高频调制实验时，换用 HgCdTe 探测器 (液氮 77 K 致冷)。

激光器和气体盒之间装有机机械斩波器，以便比较测定 NH_2D 斯塔克盒的调制度。

三、实验结果

CO_2 激光器 P(20) 支线的激光束，通过气体盒后到达探测器上。若气体盒先不加电压，接通调制频率为 400 赫的斩波器电源调制激光束，示波器上就显示出被斩波器调制的波形，如图 4(a) 所示，其调制度为百分之百。移走斩波器，在气体盒上加上 440 伏直流偏压和 400 赫、20 伏有效值正弦波电压，盒内所充的气压为 5 托，这时激光束通过气体盒后被调制，由示波器和数字电压表分别显示出其调制波形 (图 4(b)) 和已调激光强度的大小。比较数字电压表上测出的两次已调激光强度的数值，即可算出 NH_2D 斯塔克效应调制的调制度，其值为 41%。下面将介绍在该气压和偏压条件下，所测出的调制度是最大调制度。

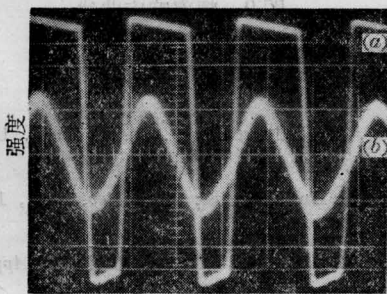


图 4 强度调制的照片
时间(0.5 毫秒/厘米)

(a) 斩波器 100% 调制; (b) NH_2D 斯塔克效应调制 (5 托, 20 伏有效值, 20 厘米长)

激光在气体盒中的传输可用如下形式来表示

$$I = I_0 e^{-rL} \quad (2)$$

式中 I 表示有共振吸收时气体盒的输出光强; I_0 表示无共振吸收时气体盒的输出光强; r 表示气体的吸收系数; L 为气体盒的长度。由方程 (2) 变换可得

$$\frac{dI}{I_0} = e^{-rL} - 1 \quad (3)$$

式中 dI/I_0 表示调制度。当气体盒不加偏压时，气体盒不吸收激光能量，这时可由探测器测出激光光强 I_0 值。当气体盒加上一定偏压后，气体盒对激光有共振吸收，这时由探测器可测出激光光强 I 值。在测定了 I_0 值和不同偏压时 I 的值后，可由方程 (2) 算出不同偏压时的吸收系数 r 值，其关系曲线如图 5 所示。从图 5 中可找到偏压为 480 伏时，气体盒有最大吸收系数，其值为 $r_{\max} = 0.027 \text{ 厘米}^{-1}$ 。将 r_{\max} 值和气体盒长度 L 值代入方程 (3) 中，则可算出在 20 厘米长的气体盒上加于 20 伏有效值正弦波调制电压，气压为 5 托时，可以得到的最大调制度，其值为

$$dI/I_0 = 42\%$$

这与实验中测得的最大调制度 41% 基本一致^[3]。

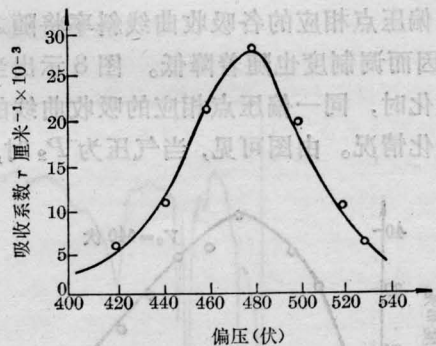


图 5 吸收系数与偏压的关系曲线

我们还测量了当气压维持不变时调制度与偏压的关系曲线 (图 6 所示)。由于到达探测器已调激光的强度是比例于偏压点吸收曲线的斜率，因此选择恰当的直流偏压值可得

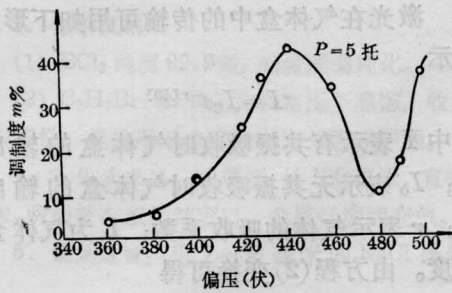


图6 调制度与偏压的关系曲线

到最大调制度。当偏压较低时，随着偏压的上升，偏压点吸收曲线的斜率逐渐增大，调制度也随之增大。当偏压为440伏时，吸收曲线的斜率最大，这时调制度达到最大值。随着偏压的继续增加，调制度便随着吸收曲线的斜率降低而下降。当偏压增加到480伏时，此时吸收曲线斜率为零，调制度将下降到最小值，并且在示波器上观察到已调激光的频率加倍。如果再继续增加偏压，调制度又将随吸收曲线的斜率增加而增大。

图7示出了当偏压保持不变时测量的调制度与气压的关系曲线。当气压较低时，随着气压的增高，在同一偏压点相应的各条吸收曲线的斜率将随之增加，因而调制度也随着增大。当气压上升到5托左右时，在同一偏压点相应的吸收曲线的斜率最大，此时调制度达到最大值。随着气压的继续升高，在同一偏压点相应的各吸收曲线斜率将随之下降，因而调制度也随着降低。图8示出当气压变化时，同一偏压点相应的吸收曲线的斜率变化情况。由图可见，当气压为 P_2 时，同

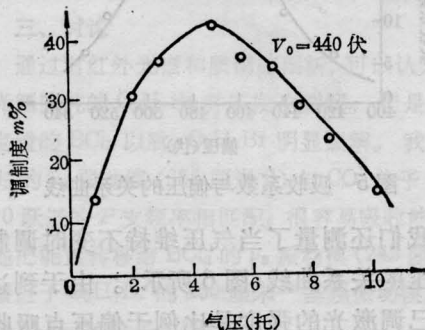


图7 调制度与气压的关系曲线

一偏压点相应的吸收曲线的斜率最大，气压低于或高于 P_2 时，同一偏压点相应的吸收曲线的斜率都将下降。

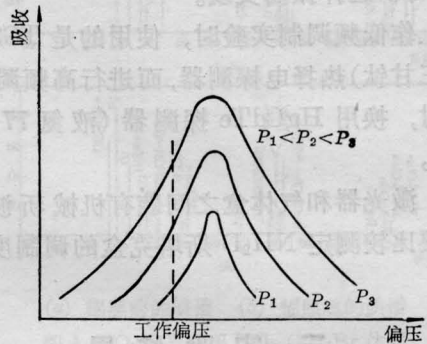


图8 不同气压下偏压与气体分子的吸收曲线

此外我们还做了高频斯塔克效应调制实验。高频调制信号由同轴电缆送到波导入口，而在波导出口的一端接入一个50欧姆匹配电阻。换用HgCdTe探测器，当正弦波调制信号频率为2兆赫，20伏有效值，气体盒的气压5托，偏压为440伏时，得到了12%的调制度。最后还测量了调制度与调制频率的响应曲线(图9所示)。

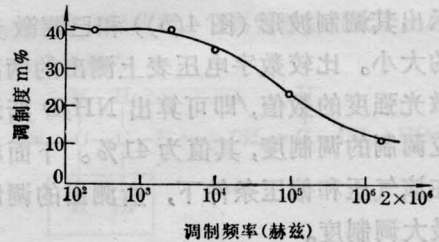


图9 频率响应曲线

参考文献

- [1] M. J. Kelly et al.; *J. Chem. Phys.*, 1970, **53**, 2979~2980.
- [2] R. G. Brewer et al.; *Phys. Rev. Lett.*, 1969, **23**, No. 11, 559.
- [3] A. R. Johnston, R. D. S. Melville; *Appl. Phys. Lett.*, 1971, **19**, No. 12, 503~506.
- [4] J. H. Mellroy et al.; *Proc. IEEE*, 1977, **65**, No. 2, 238~239.
- [5] T. A. Nussmeier, R. L. Abrams; *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **25**, No. 10, 615~617.