

红外D₂喇曼激光器的实验研究*

陈时威

摘要: 用高功率TEA CO₂激光TEM₀₀模泵浦低温多程池中的D₂, 利用其受激转动Raman散射 (SRRS), 我们获得了11~14μm光谱范围内可调谐 Raman 激光输出。典型的TEA CO₂ 10R (20)线30MW 输入泵浦可获得大约7.93MW的12.5μm红外激光输出。

一、红外D₂ Raman激光器原理

1, D₂受激转动Raman散射

图1是D₂转动Raman散射频率下转换跃迁能级图。由Raman散射原理可知:

$$\omega_s = \omega_p - \Delta\omega \quad (1)$$

其中 ω_s 为输出Raman光圆频率, ω_p 为入射泵浦光圆频率, $\Delta\omega$ 为D₂上下能级间隔(179cm⁻¹)。因此, 利用可调谐TEA CO₂ 激光器泵浦可获得11~14μm Raman激光输出。

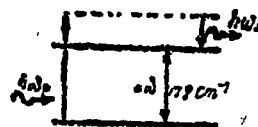


图1 红外D₂喇曼能级态

2, 稳态Raman激光输出

在下列条件下:

(1) 泵浦光和产生的Raman光均认为是近轴光线。(2) 泵浦光和产生的 Raman光均认为是TEM₀₀模且为单纵模, 并要求泵浦光与MPC^[1]很好地匹配。(3) 不考虑第二Stokes线及反Stokes线的出现。(4) 入射泵浦TEA CO₂ 激光为圆偏振光。(5) 忽略光束在MPC中产生的交叉效应。

从MPC中输出的Raman光功率为^[2]:

$$P_{out} = \frac{R^{n-1} \left(\frac{\omega_p}{\omega_s} r + 1 \right) P_n(o) \exp \left[\frac{1-R^n}{1-R} G \right]}{1 + \frac{\omega_p}{\omega_s} r \exp \left[\frac{1-R^n}{1-R} G \right]} \quad (2)$$

其中 $r = P_n(o) / P_p(o)$

$$G = 4\alpha P_p(o) \tan^{-1} \left(\frac{z}{b} \right) / (\lambda_s + \lambda_p)$$

这里 $P_n(o)$ ($\sim 10^{-12}$ W) 为Raman噪声功率, $P_p(o)$ 为入射泵浦功率, R 为MPC端面反射镜的反射率, n 为光束在MPC中传输的次数, b 为共焦参量, α 为平面波单位光强增益系数。

注: 本文作者的导师为金春植, 辅助导师为丁义山,

* 本课题系国家自然科学基金资助项目。

下面我们来分析影响输出功率的因素及应采取的措施。

1) 温度的影响

α 正比于上下能级的粒子数密度差 ΔN 而

$$\Delta N_{(v, J) \rightarrow (v, J')} = N_v \left\{ 1 - \frac{g_J + g_{J'}}{g_{J'} + g_J \exp(\Delta E/KT)} \right\}$$

其中 $g_J = 2J + 1$ 为简并度因子, $\Delta E = E_{(v, J')} - E_{(v, J)}$ 为相同 v 振动能级上第 J 和 J' 转动能级之间隔, 对于 $D_2 (0, 0) \rightarrow (0, 2)$ 之间的 Raman 转动跃迁, 当介质冷却到 100K 时 $\Delta N = 0.63 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 比 300K 时 $\Delta N = 0.176 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 提高了 3.6 倍。由此可见致冷的作用。

2) 压力的选择

压力影响线宽从而影响增益, 故应选择合适的工作压力。

3) 采用圆偏振泵浦源

采用圆偏振泵浦源有利于抑制反 Stokes 线的竞争从而实现向第一 Stokes 线的高效率集中。

4) 提高入射泵浦功率

泵浦功率必须高于转换阈值, 但又必须兼顾介质的击穿和元件的损坏。

5) 选择最佳散射次数^[3], 经计算可知为 25 次。

取下列参数: $\lambda_s = 10.25 \mu\text{m}$, $\lambda_p = 12.5 \mu\text{m}$, $n = 25$ 次, $P_p(0) = 30 \text{MW}$, $R = 0.97$, $\alpha = 5.66 \times 10^{-6} \text{cm/MW}$ 可以算出 $P_{\dots} = 7.2 \text{MW}$ 。

二、实验系统的建立

实验装置由如图 2 所示的三个部分组成: TEA CO_2 泵浦源, 低温多程池, 及检测系统。

TEA CO_2 泵浦源由一台选频混合式 TEA CO_2 主振荡器和三级放大器组成, 低气压 CW CO_2 管和腔内小光阑的作用是提取源单纵模 TEM_{00} 模。NaCl Frenel 棱镜使得线偏振光转换成圆偏振光。经三级放大后便可获得所需的圆偏振泵浦光。

低温多程池为三层杜瓦瓶结构, 最外层保持高真空绝热, 中间一层盛冷却剂液氮, 内层放 D_2 , 两端各置一球面反射镜, 间隔为 3.77m, 曲率半径为 2 m。这样光束在池中往返传播 25 次, 在其满足闭合条件^[4]前一程由输出窗引出。实验中应注意因低温引起的相对位置变化的补偿。

检测系统放在屏蔽室里进行, 光从 MPC 中引出后先经过两片 Ge 滤光片, 这样可使

$10.25 \mu\text{m}$ 的剩余泵浦光衰减 99% 以上, 然后由光子牵引器接收。 CO_2 光耗空波形用光子牵引器接收第一 Ge 片上的反射光用 Tek7633 存储示波器获得。

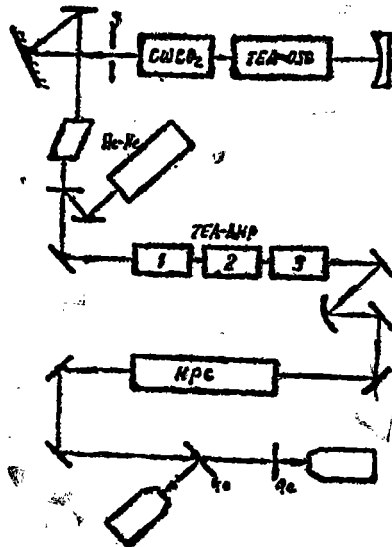


图 2 实验装置

三、结果与讨论

在我们的工作条件下,从主振荡器中可获得可调谐 CO_2 P 支或 R 支的一些强线,典型的 $10R$ (20) 线 ($10.25\mu\text{m}$) 可获得 250mJ 100ns (FWHM) 单模激光输出,经其后放大系统后可获得 $4\text{J}/\text{脉冲}$ 约 30MW 的泵浦光束。图 3 为其波形,总脉冲宽度约为 600ns 基本呈高斯型分布。图 4 为 CO_2 激光耗空波形。对图 3 和图 4 的比较计算可知约 67% 的泵浦光发生了转换。这样输出 Raman 光功率为:

$$30\text{MW} \times \frac{10.25\mu\text{m}}{12.5\mu\text{m}} \times 0.97^{26-1} \times 67\% = 7.93\text{MW}$$

与前面公式计算结果吻合。

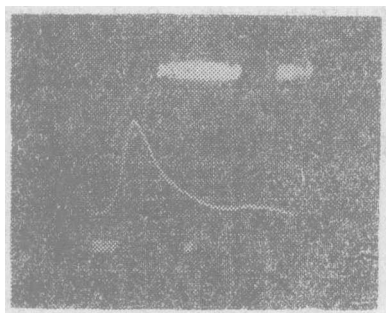


图 3 泵浦脉冲波形

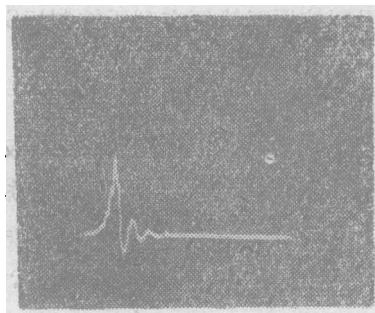


图 4 耗空脉冲波形

值得注意的是从图 4 和图 3 比较看来脉冲前沿约 110ns 范围内没有发生耗空转换,而其尾部就其功率水平来说远低于转换阈值,却看到遍及整个尾部的耗空。这是因为开始时转换阈值较高,一旦在脉冲中部达到转换阈值,产生了 Raman 光,这就会大大降低其后续部分的转换阈值。

四、结束语

我们用 TEA CO_2 激光束作为泵浦源,利用 D_2 的受激转动 Raman 散射,成功地获得了一级 Stokes 光输出,谱线可调,拓宽了红外 Raman 激光器的光谱范围。此类激光器有着广泛的应用前景。目前的主要问题在于工作的重复率及激光器的稳定性。

参考文献

- [1] 金春植等, $16\mu\text{m}$ 仲氢受激喇曼激光器, 长春光机所
- [2] Robert T. V. Kung, IEEE J. Quantum Electronics, Vol. QE-17, P509-513, 1981
- [3] 金春植等, 光学机械, 1985, No. 6 P19-23
- [4] W. R. Trutna, Appl. Opt., 19 301 (1980)

Experimental Study on Infrared D₂ Raman laser

Chen Shiwei

Abstract

TEM₀₀ mode of a high power TEA CO₂ laser was used to pump D₂ which was cooled to 100K in MPC. By using the principle of SRRS, we have obtained Raman laser output that can be tuned in 11~14μm. About 7.93MW of 12.5μm Raman laser could be obtained when a typical 30MW 10R (20) line of TEA CO₂ laser was used.