

多程喇曼增益室及其腔镜反射率的测定

蔡邦维 匡一中
(四川大学物理系)

提 要

本文介绍了多程喇曼增益室原理、测定腔镜红外高反射率的简便方法及实验结果、确定了增益室有效反射程数为20。

用 TEA CO₂ 激光泵浦仲氢气体产生受激喇曼散射从而得到 16 μm 激光, 由于它可用作分离铀同位素而受到重视。多程喇曼增益室是这类输出 16 μm 激光器的核心、它的设计第一步根据阈值条件和腔镜反射率来确定泵浦光的有效反射次数。

我们的腔镜直径达 140 mm, 曲率半径 2 m, 表面用离子法镀金, 由于如此之大的样品没有现成的仪器能够直接测量在 10.6 μm 波段的反射率。本文报道利用腔镜自身测出镀金腔镜反射率高达 98.1%, 并根据受激喇曼散射阈值条件确定泵浦光在充有仲氢气体 ($T = 77\text{ K}$) 的增益室中有效反射程数为 20。

一、多程喇曼增益室原理

两个曲率半径 R 相同的反射镜, 保持一定的间距 D , 并满足 $0 < g^2 < 1$ [g 为腔参数 $1 - (D/R)$] 条件, 就构成了一个稳定的增益室。当泵浦光离轴入射到增益室中, 光束在二反射镜间来回反射, 并周期性地多次密集会聚, 每反射一次, 光束旋转一固定的 θ_i 角, 从而使所有的反射光线约束在二反射镜间的空间范围内。

设光束以一定的斜率入射、并精确调节二镜共轴, 则镜面光点分布应该是一个圆。其光点的位置坐标为^[1]

$$x_n = A \cos(n\theta_i + \beta), \quad y_m = A \sin(n\theta_i + \beta), \quad (1)$$

式中 $\theta_i = \cos^{-1}[1 - (D/R)]$, $\beta = \text{tg}^{-1}[\sin\theta/(1 - \cos\theta)]$, n 为反射次数, A 为光点图形圆的半径。将二反射镜密封在充氢气的不锈钢管内, 泵浦光通过窗口射入增益室中, 来回反射, 增长了泵浦光与介质作用的长度。由受激喇曼散射理论, 如果没有损耗则喇曼光强为^[2]

$$\left. \begin{aligned} P_s &= P_0 \exp g_s L = P_0 \exp \alpha, \\ \alpha &= [4P_p G / (\lambda_s + \lambda_p)] \text{tg}^{-1}(L/b), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 P_0 为喇曼室入口处的自发噪声, 可近似作为常量, g_s 为增益系数, L 为泵浦光与介质相互作用长度, α 为单程净增益, $G = (g_s/I)$, P_p 为泵浦功率, 腔的共焦参数 $b = R \sin\theta$ 。由此可见, 选用增益室可提高受激喇曼散射增益, 从而降低喇曼阈值, 多程喇曼增益室就是由

此而得名的。

如果泵浦光在增益室中无损耗, 经 n 次反射后, 净增益 $\alpha_n = n\alpha$ 。实际上, 二反射镜的反射率总是 $\alpha < 1$, 泵浦光经 n 次反射后, 净增益由下式确定:

$$\left. \begin{aligned} (P_s/P_0) &= \gamma^n \exp[\alpha(1 + \gamma + \gamma^2 + \cdots + \gamma^n)] = \exp \alpha^n, \\ \alpha_n &= \alpha[(1 - \gamma^n)/(1 - \gamma)] + n \ln \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

由于腔镜反射损耗, 并非反射程数 n 越多 L 越长越好, 每反射一次净增益就要减少, 所以泵浦光的最佳反射次数受腔镜反射率 γ 的约束。 γ 的测定对于确定受激喇曼散射阈值泵浦功率、设计增益室程数是非常必要的。

二、腔镜反射率的测定

参考文献[3], 我们的实验装置布局如图 1 所示, 利用腔镜自身对其反射率进行直接测定。

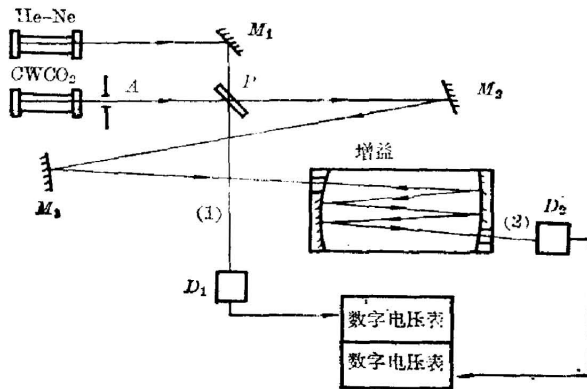


图 1 反射率测定装置

Fig. 1 Schematic diagram of reflectivity measuring system

定。

增益室腔镜镀金膜, 在红外有很高的反射率, 一次反射的损耗很小, 而连续波 CO_2 激光输出功率起伏约为 $1 \sim 4\%$, 一次反射损失的能量被光源的功率起伏湮没。用所设计制作的增益室腔镜自身让光束在表面多次反射提高信噪比, 使反射损失的总和大于激光源的起伏, 从而提高测量精度。对于被测高反射面, 设反射镜反射率 $\gamma(\lambda) = 98\%$ 、光源的功率起伏 $\Delta P = 4\%$, 测定所需的反射次数由 $1 - \gamma^n \geq \Delta P$, 确定为 $n \geq 2$ 。

为了进一步消除 CO_2 激光功率起伏造成的测量误差, 以测量光束强度进行规一化。即从主光路中分出一束参考光束(1), 同时测量参考光束(1)与经增益室多次反射后的出射光束(2)的光强, 由于参考光强 I_{D_1} 和出射光强 I_{D_2} 都是同时测定记录, 消除了光强随时间起伏的影响。设二反射镜具有相同的反射率即 $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$, 当反射次数为 N_1 时, $K_1 = (I_{D_1}/I_{D_1})$; 反射次数为 N_2 时, $K_2 = (I'_{D_1}/I'_{D_1})$, 反射率由下式计算:

$$\gamma = (K_2/K_1)^{\frac{1}{N_2 - N_1}} \quad (4)$$

变化二反射镜的间距 D 使反射次数 n 改变。图 2(a)、(b) 分别是镜距 D 为 505 mm 和 540 mm 时, 由计算机绘出的光路和反射光点图, 图 2(b)、(d) 是实验结果照片, 两者是完全一致的。

选取反射次数 $N = 3, 22, 38$, 用两只数字电压表同时取样显示 $I_{D_1}, I_{D_2}; I'_{D_1}, I'_{D_2}; I''_{D_1}, I''_{D_2}$, 取其比值由(4)式计算出反射率。这样, 便大大降低了光强起伏给测量带来的影响。测量精度随反射次数 N 的增加而提高, 并由下式确定:

$$\frac{\Delta \gamma}{\gamma} = \frac{1}{N_1 - 3} \frac{\Delta K}{K} \quad (5)$$

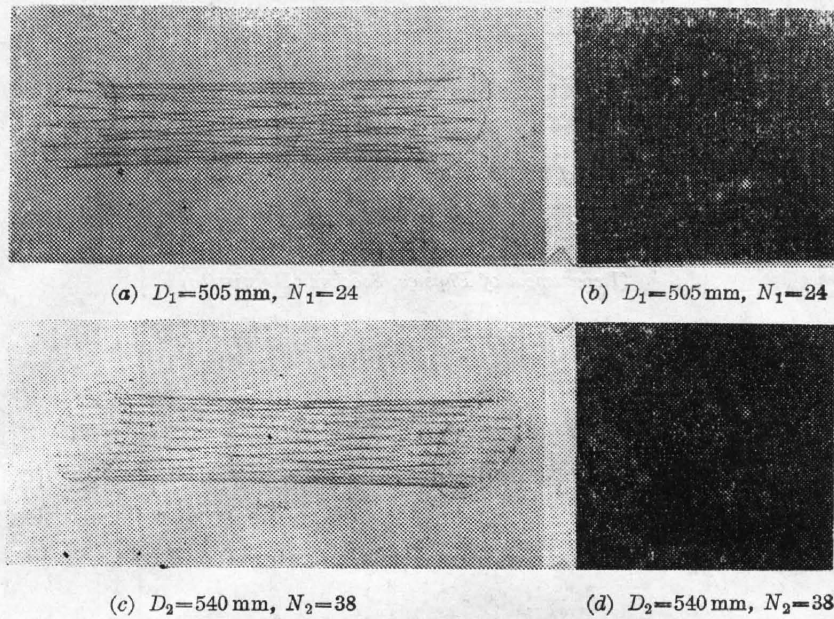


图 2 计算机绘出的光路和反射光点图及实验拍摄到的光点照片
(腔镜间距 $D_1=505$ mm, 反射次数 $N_1=24$; $D_2=540$ mm, $N_2=38$)

Fig. 2 Optical path and reflected light spot patterns plotted on computer and photos of light spot
CO₂ 激光功率起伏引起的相对误差 $(\Delta K/K) \sim 4\%$, 若 $N=38$, 反射率 γ 的测量精度为 0.1%。经多次测量取平均值腔镜的 $\gamma=98.1\%$ ($\lambda=10.6 \mu\text{m}$)。

要达到受激喇曼散射应要求 $g_s \sim 41$ 。我们的 TEA CO₂ 激光输出能量 2.4 J、脉冲宽度 70 ns, 输出功率 $P_p=34.3$ MW 泵浦充有 77K、1 atm 的仲氢气体的增益室, 使其产生受激喇曼散射, 需要 $G=4 \times 10^{-5} \sim 8 \times 10^{-5} \text{ cm/MW}^{[2]}$, 根据我们设计的喇曼室结构, 由 (2), (3) 式可求得要达到受激喇曼散射, 泵浦光在增益室中的有效反射次数不能低于 20。

最后, 感谢吕百达同志对本文所提的宝贵意见和有益的讨论。

参 考 文 献

- [1] D. Herriott *et al.*; *Appl. Opt.*, 1964, **3**, No. 4 (Apr), 523.
- [2] W. E. Trutna, R. L. Byer; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, No. 2 (15 Jan), 301.
- [3] 黄永楷等; 《计量学报》, 1981, **2**, No. 1 (Jan), 18.

**Multiple-pass Raman gain cell and reflectivity
measurement of resonator mirrors**

CAI BANGWEI AND KUANG YIZHONG

(Department of Physics, Szechuan University)

(Received 29 January 1985; revised 26 March 1985)

Abstract

A brief account of the principle of multiple-pass Raman gain cells (MPO) is presented. A simplified method has been adopted to measure reflectivities of mirrors of the resonator. The optimum transit number was determined to be 20.