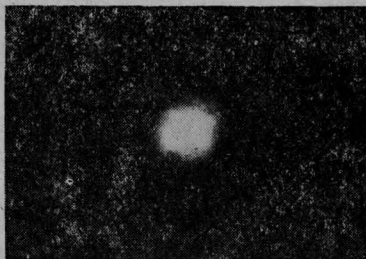
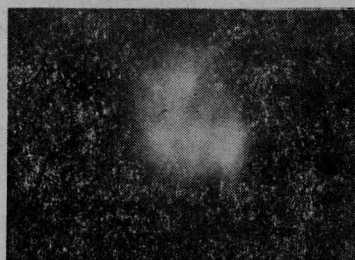


射波远场图, 当有畸变板  $P$  并用平面镜取代布里渊“镜”反射时, 其远场图严重畸变(如图 3(b)所示), 然而, 经布里渊“镜”反射两次通过  $P$  板时的远场图(图 3(c))与图 3(a)相似, 即位相畸变得得到补偿。

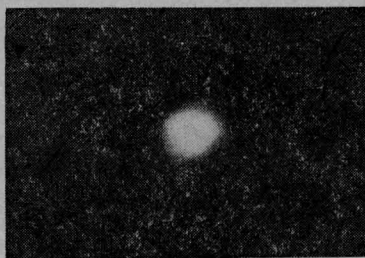
后向 SBS 的位相复共轭特性有重要的实用价值。在研制高功率激光器时, 可用于补偿放大器介质



(a) 无畸变 SBS 反射波



(b) 有畸变平面镜反射波



(c) 有畸变 SBS 反射波

图 3 无畸变和有畸变的远场图

引起的位相畸变, 以获得好的光束质量, 在强激光的传输过程中, 可用于补偿大气扰动或光学元件引起的位相畸变。

本工作得到邹海兴、陈兰英、刘凤琴等同志的热情帮助, 在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] B. Ya. Zeldovich *et al.*; *JETP Lett.*, 1972, 15, 109.

(中国科学院上海光机所 徐捷 陈钰明

何国珍 张宝富 1980 年

6 月 27 日收稿)

## 基于受激电子喇曼散射效应的红外 可调谐激光系统的研究

**Abstract:** Tunable coherent radiation in the infrared region of 2.78 to 3.25  $\mu\text{m}$  has been obtained in Cs vapor by 6S~7S stimulated electronic Raman scattering (SERS) effect. The tunable infrared laser system developed is described, and the performances of the radiation are presented.

发展红外区的连续可调谐激光器是当前激光技术及其应用的一个重要研究课题。近几年来发展了一种由金属原子蒸气中的受激电子喇曼散射效应产生可调谐相干红外辐射的方法<sup>[1~3]</sup>。这种方法可将脉冲染料激光所输出的调谐的可见辐射直接转换为调谐相干红外辐射。

图 1 为铯原子产生 6S~7S 喇曼跃迁的有关能级图。 $\omega_L$  为泵浦光频率;  $7P$  为喇曼跃迁的近共振中间态, 则斯托克斯辐射频率为:

$$\omega_s = \omega_L - \Omega \quad (1)$$

式中  $\Omega = 18536$  厘米<sup>-1</sup> 为喇曼位移。由于喇曼位移  $\Omega$  是固定的, 因而当调谐泵浦频率  $\omega_L$  时就可以得到调谐的红外斯托克斯辐射。

受激电子喇曼散射过程亦看作四波混频过程, 因而用三阶极化率来描述它。在忽略所有非共振项对极化率的贡献后, 三阶极化率可表示为:

$$\chi^{(3)}(\omega_s) = -\frac{iNe^4}{24\Gamma_{fg}\hbar^3} \left| \sum_n \frac{r_{gn}r_{nf}}{\omega_L - \omega_{ng}} \right|^2 \quad (2)$$

式中  $r$  为电偶极跃迁矩阵元;  $\Gamma$  为相应能级间的衰减常数;  $N$  为基态  $g$  的原子浓度;  $\hbar$  为普朗克常数。

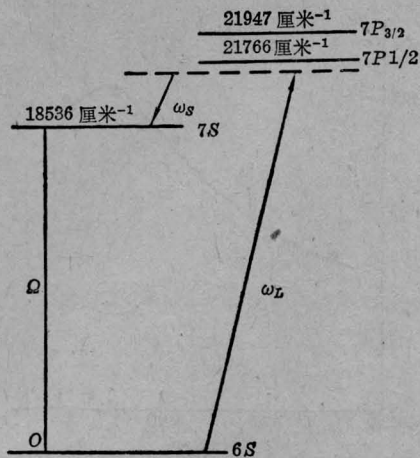


图1 铯(Cs)的部分能级图

我们注意到  $\chi^{(3)}(\omega_s)$  是一个负的虚数, 与系统增益相对应。而在铯的 6S~7S 的喇曼跃迁中,  $g$  为 6S 态,  $f$  为 7S 态, 而求和中  $n$  可取近共振中间态  $7P_{1/2}$  和  $7P_{3/2}$ , 于是斯托克斯增益系数

$$g_s \propto \omega_s \chi^{(3)}(\omega_s) I(\omega_L) \quad (3)$$

从上式可清楚地看到  $g_s$  与原子浓度、矩阵元乘积之和的平方成正比; 而与  $\Gamma_{fg}$ 、泵浦光  $\omega_L$  失谐之和的平方成反比; 还与泵浦激光光强成正比。随着泵浦功率和原子浓度的不断增高, 相干斯托克斯的输出呈现饱和现象, Cotter 和 Hanna 对此作了较为仔细的分析<sup>[4]</sup>。

我们研制的可调谐红外激光系统包含四个主要部分: N<sub>2</sub> 激光器、染料激光器、铯蒸气热管炉、探测和信息处理装置。图 2 是整个系统示意图。

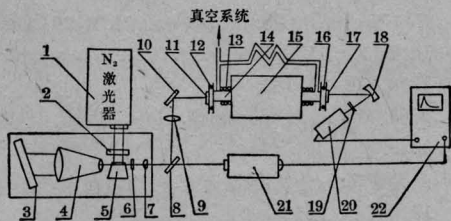


图2 SERS系统示意图

- 1—N<sub>2</sub> 激光器; 2—柱面透镜; 3—光栅; 4—望远镜; 5—染料池; 6—平面镜; 7、9—光束变换镜; 8、10—导向平面反射镜; 11—石英窗; 12、16—“O”型环; 13—水冷套; 14—热管; 15—电炉; 17—氟化钡窗; 18—会聚反射镜; 19—锗平镜; 20—热电探测器; 21—光电探测器; 22—示波器

N<sub>2</sub> 激光泵浦的染料激光器系一种典型结构, 染料为四甲基伞型酮(4MU)的甲醇溶液, 染料激光腔

由一块 1221 线/毫米、闪耀波长为 7500 Å 的反射光栅、望远镜扩孔系统及未镀膜的玻璃平镜所组成。激光脉宽约为 6 毫微秒, 重复频率可在 1~20 赫间选择运转。由 ND-09 可逆电机驱动扫描机构, 激光频率可自动地在工作区间调谐。在未加标准具情况下输出线宽约为 0.09 Å<sup>[6]</sup>。

金属蒸气热管炉系由直径 25 毫米、长 450 毫米的不锈钢管制成。输入窗为熔融石英, 输出窗为氟化钡晶体, 用“O”型环密封。管子中段有一长为 150 毫米的圆筒型电炉加热, 温度可自动控制; 两端用水冷套冷却。热管炉芯由几圈精细不锈钢丝网围成, 紧贴在管的内壁上。管内装有 10 克金属铯, 并充入 10 托氩(Ar)气作缓冲气, 有关热管的详细工作原理可参阅文献<sup>[5]</sup>。

相干红外辐射是和剩余的染料激光从热管里共线出射的。故在热电探测器前插入干涉滤光片或锗平镜以滤去短于 1.8 微米的固定辐射和剩余泵浦光。热电探测器探测到的讯号经放大送至示波器同步观测或用自动记录仪记录扫描光谱。光电探测器提供示波器外触发讯号, 以便示波器同步观测。

当泵浦激光的频率在一定范围内调谐时, 获得了可调谐的相干红外辐射。图 3 为可调谐相干红外辐射输出的实验曲线, 这是在铯蒸气温度 450°C, 氩气压 10 托下测得的。

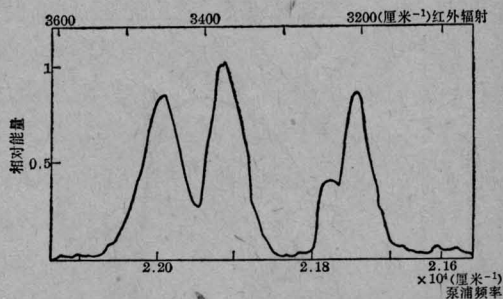


图3 相干红外输出能量随泵浦频率变化实验曲线

从图 3 可以看出, 当染料激光频率在 22133~21612 厘米<sup>-1</sup> 范围内调谐时, 所产生的相干红外辐射的调谐范围是 2.78~3.25 微米, 其宽度为 521 厘米<sup>-1</sup>。在相干红外辐射输出的曲线中有三个凹陷, 中间凹陷是当泵浦激光频率调谐到  $7P_{1/2}$  和  $7P_{3/2}$  两个子能级间隔的中央时, 由(2)式可知, 这时这两个子能级对  $\chi^{(3)}(\omega_s)$  的贡献相抵消, 相干斯托克斯的输出出现一个极小值。而当泵浦激光分别调到 21766 厘米<sup>-1</sup> 和 21947 厘米<sup>-1</sup>, 也就是与喇曼跃迁中间能级

$7P_{1/2}$  和  $7P_{3/2}$  精确共振时, 单光子共振吸收这两频率的泵浦光, 这就使得红外输出曲线中出现两个凹陷, 即两边的凹陷。在我们的装置中, 泵浦功率密度还不够高, 如能进一步提高泵浦功率密度, 则相干红外输出的可调谐范围可望得到扩大, 中间凹陷宽度也将缩小。

由于加了锗片滤光, 探测器所接收到的辐射是滤去了短于 1.8 微米的固定频率的红外辐射。如: 1.76 微米 ( $7P_{3/2}-5d_{5/2}$ ); 1.38 微米 ( $7P_{1/2}-5d_{3/2}$ ); 1.36 微米 ( $7S_{1/2}-6P_{1/2}$ ) 和 1.47 微米 ( $7S_{1/2}-6P_{3/2}$ )。在整个可调谐红外辐射范围中, 极大值处输出能量较为稳定, 起伏不大于 10%, 它依赖于染料激光输出的稳定性。而调谐范围边缘部分, 稳定性较差, 起伏可达 80%。这是由于该处失谐较大, 处于产生相干红外辐射阈值附近。

我们做过许多不同气压下的相干红外输出性能的实验, 发现气压愈高调谐范围愈宽, 但输出能量要降低, 而气压 10 托左右则是兼顾到二者的最佳条件。

图 4 和图 5 是相干红外与铯蒸气温度关系的实验曲线, 可看出红外输出峰值能量在低温时随温度增加很快, 到了 270°C 以上就不再明显增加, 呈现出饱和状态, 而到 500°C 以上反而急剧减少。这是由于原子浓度随温度增高而增加, 受激励曼增益也随之增大。当原子浓度足够高时就出现饱和<sup>[4]</sup>。而到

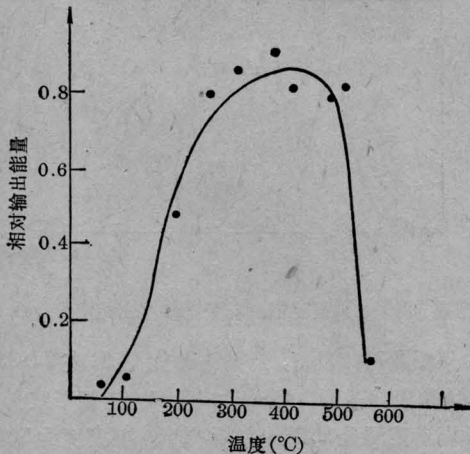


图 4 相干红外输出能量随温度变化曲线

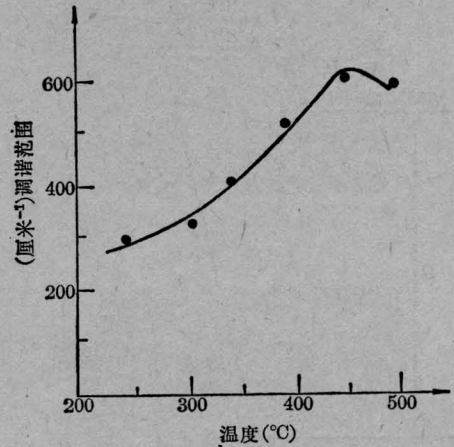


图 5 相干红外输出调谐范围随温度变化实验曲线

了 500°C 以上, 原子浓度过高, 蒸气对泵浦光的吸收急剧增加, 从而红外输出减少。曾测量过染料激光透过不同温度的铯蒸气柱时的能量, 发现在 500°C 以下无明显变化, 而当温度上升到 500°C 时, 透过热管的染料激光能量开始明显地减弱, 从而证明温度过高时, 蒸气对泵浦激光吸收急剧增加。

图 5 中可看出, 相干红外输出的调谐范围随蒸气温度的变化也有一个最佳值, 即在 450°C 左右相干红外输出的调谐范围最宽, 而在其他温度下调谐范围均比 450°C 时要小。

## 参 考 文 献

- [1] D. Cotter *et al.*; *Opt. Commun.*, 1975, **15**, 143.
- [2] D. Cotter, D. C. Hanna; *Opt. and Quant. Electr.*, 1979, **9**, 509.
- [3] P. Niay *et al.*; *Opt. Commun.*, 1979, **29**, 369.
- [4] D. Cotter, D. C. Hanna; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1978, **QE-14**, 184.
- [5] C. R. Vidal, J. Cooper; *J. Appl. Phys.*, 1969, **40**, 3370.
- [6] 严光耀等; 《上海师范大学学报》(自然科学版), 1980, No. 1, 55~60.

(上海华东师范大学物理系 林远齐  
秦莉娟 王祖康 1980  
年 8 月 29 日收稿)