

图3 随腔长  $L$  的变化关系

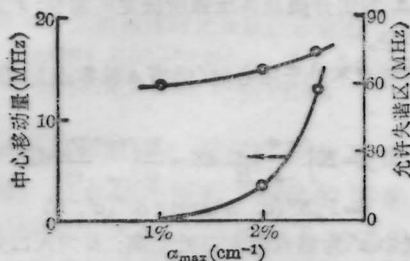


图4 随增益  $\alpha_{max}$  的变化关系

$\nu - \nu_s = 100$  MHz, 结果表明增益反常色散效应对中心移动的影响很小, 小于 0.2 MHz, 同自由电子等离子体效应的影响比起来可以忽略。所以说, 对于连续注入式 TEACO<sub>2</sub> 激光器, 允许失谐频率区中心产生移动主要是自由电子等离子体效应的影响。

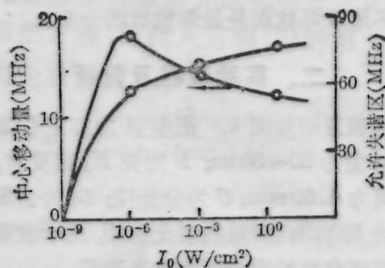


图5 随注入光强  $I_0$  的变化关系

在注入式 TEACO<sub>2</sub> 激光实验中, 很多人观察到允许失谐频率区中心向高频方向移动<sup>[3,4]</sup>。图 2、图 3、图 4 的计算结果同他们的实验测量结果符合得较好。

### 参 考 文 献

- 1 D. V. Willetts *et al.*, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **45**, 51 (1982)
- 2 D. V. Willetts *et al.*, *Appl. Phys. B*, **33**, 91 (1984)
- 3 J. L. Lachambre *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **12**, 756 (1976)
- 4 P. Cassard *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **45**, 197 (1984)
- 5 O. P. Judd, *J. Appl. Phys.*, **45**, 4573 (1974)

(收稿日期: 1989 年 1 月 11 日)

## 受激喇曼散射光环形成的观察

王月珠 王 骥 马祖光

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所)

### Observation of spot pattern of SRS in H<sub>2</sub>

Wang Yueshu, Wang Qi, Ma Zuguang

(Institute of Optoelectronics, Harbin Institute of Technology, Harbin)

**提要:** 观察并分析了 H<sub>2</sub> 中受激喇曼散射光斑图形。光斑的分布形状与焦点处功率密度有关, 并且与总体转换效率有关。

**关键词:** H<sub>2</sub>, 受激喇曼散射, 光环

### 一、引 言

在受激喇曼散射实验研究方面, 报道过很多关于散射能量、效率、脉宽等研究文章, 本实验则注重

观察了受激喇曼散射光斑的图形, 分析光环的形成条件及其规律性。认为环状光斑的形成与焦点处功率密度有关, 并且与散射过程的总体转换效率有关, 即与总增益体积有关。通常受激喇曼散射光斑呈环

状分布,但在某些情况下,如增益体积过小时散射光斑可能不形成环状而是呈弥散状的分布。

## 二、实验过程及分析

实验装置图如图1。图中A为红宝石激光器,调Q后脉宽为20~30 ns; B为充H<sub>2</sub>喇曼管,两窗口间距离为4.60 mm; C为分光仪; L<sub>1</sub>为会聚透镜。用能量计ED-500测量散射光能量,用示波器显示。放置屏幕观察并拍照光斑图及光谱图。

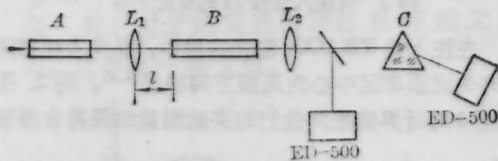


图1 实验装置简图

泵浦光会聚于介质中,功率密度达到阈值便产生受激喇曼散射,各级斯托克斯散射光S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>、S<sub>3</sub>等都为近红外,而反斯托克斯AS<sub>1</sub>、AS<sub>2</sub>、AS<sub>3</sub>为可见光。轴向散射的AS<sub>1</sub>(绿色)与红宝石激光入射光束(红色)同方向,两者在中心处(光轴附近)形成一个圆形光斑,但根据AS<sub>1</sub>与泵浦光能量比率的不同而分别呈现红、黄、橙的混合色光斑<sup>[1]</sup>。由四波混频形成的AS<sub>1</sub>(绿色)、AS<sub>2</sub>(蓝色)与AS<sub>3</sub>(紫外)等则因矢量匹配原理而有一定的散射角,因此在一定长度的前进方向上可以形成锥状散射环形光斑图<sup>[2,3]</sup>。本实验中除上述现象外在一定情况下,喇曼管出口处的光斑不呈现环状而是呈红、绿或红、绿、蓝掺杂分布的圆形光斑。进一步实验观察认为环的形成与否及环的清晰度如何除与焦点处功率密度有关外,还与喇曼散射总体转换效率有关,即与会聚透镜的位置及焦距有关。因为会聚透镜的作用是已使增益介质内沿光束前进方向上各处功率密度不再是相同的,透镜位置(e)及焦距(f)变化会使能量的空间分布及增益体积发生变化。而总体转换效率不仅依赖于入射光强度,还依赖于增益作用体积<sup>[4,5]</sup>,因而转换效率也发生变化。又由于光斑图形与转换效率有关,因而光斑形状也随之变化。

### 1. 透镜位置l引起的图形变化

当氙灯电压为1100 V,相应泵浦光能量1 J,介质H<sub>2</sub>气压为25 atm,透镜焦距f=360 mm时,改变透镜相对于喇曼管前窗距离l,测出散射光能量,得出散射光能量随l变化曲线示于图2a。由曲线可知l=150 mm时,即焦点在喇曼介质中心附近时,散射光能量最强,即散射效率最高。光束包络即介质增益体积可粗略地认为是一旋转双曲面<sup>[6]</sup>(如图3所

示),光束的截面面积在沿光前进的方向上是变化的,因此增益因子g不再用 $g=K \frac{P_a}{H} Z$ 来描述,而是通过积分来计算。当焦点位于喇曼管中心时为:

$$g=K \int_{-a/2}^{a/2} \frac{P_a}{H} dZ = \frac{2K}{\pi} \int_0^{a/2} \frac{P_a}{r^2} dZ \quad (1)$$

$$\text{解得 } g = \frac{4KP_a a}{\pi f \theta \sqrt{h^2 - (f\theta)^2}} \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{h^2 - (f\theta)^2}}{f\theta}$$

其中,θ为光束的束散角;h为窗口入口处光斑直径;H为各断面处光斑面积;a为喇曼管长;P<sub>a</sub>为泵浦光能量;K为由介质及其压强所决定的常量;r为各处光束半径。

当焦点不处于中心时(仍将z轴零点定在焦点上),则

$$g=K \int_{-a'}^{a'} \frac{P_a}{H} dZ = \frac{K}{\pi} \int_{-a'}^{a'} \frac{P_a}{r^2} dZ \\ = P_a K'(a', h) \operatorname{arctg} K''(a', h) \quad (2)$$

其中a'为焦点距入口处距离;h为入口处泵浦光斑直径。K'(a', h), K''(a', h)为与a'、h有关的常数。

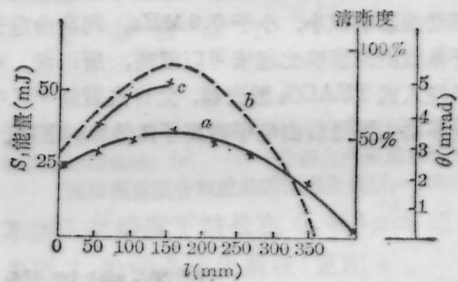


图2 实验曲线

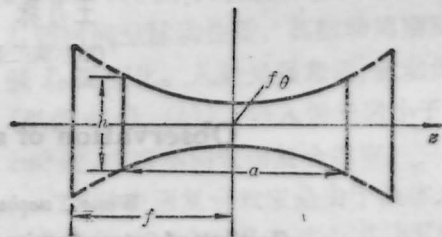


图3 光束模型图

由(2)可以知道,焦点位置不同,增益介质的总增益因子也不同,焦点位于喇曼管中心处时,总增益因子最大,转换效率最高。实验证明此时形成的光环最匀称最清晰。

在各l的情况下,分别对散射光斑进行了拍照,照片示于图4。光斑彩环的清晰程度随l的变化用图2中曲线b表示,l=150 mm光环最清晰,此时光环照片如图4(a)。在彩色照片上可见清晰分明的红

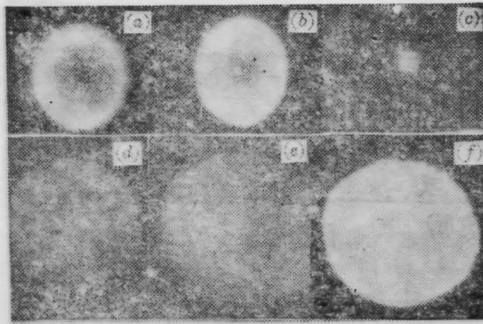


图4 光斑图形及比较

绿、蓝色的光环。(其中除红、绿、蓝之外的颜色均为两色环重叠的混合颜色)。环的形成试做如下解释。当产生受激散射后,从焦点处开始,各级散射光各自沿一定的散射角传播。在传播中在增益作用区内,各处截面径向功率密度不均匀,近光轴处大,远离光轴时减小,因而使靠近轴向传播光的增益作用区最长,放大叠加作用也最强,因此在轴向及近轴向散射光最强,而离轴较远的散射光放大较小,最后在喇曼管出口处形成散射光的不同颜色的彩环时,轴向的是泵浦光最强,外圈的绿环、蓝环依次减弱。

当转换效率较低时,自然是放大叠加作用也较弱,因此环的清晰度变坏。如当  $l$  过大(达 250 mm)和  $l$  过小(50 mm)时,散射光环虽仍出现但模糊不清,如图 4(b)( $l=50$  mm)。

当  $l$  更大为 350 mm 时光斑照片如图 4(e),这时转换效率更小,只有微弱的轴向散射  $AS_1$ ,而没有高级次的散射光。

### 2. 改变透镜焦距 $f$ 时引起的图形变化

改变焦距  $f$ ,但焦点位置基本不变时,则焦点功率密度及总增益体积都在变。观察拍照了对应各  $f$  时的光斑图。仍在  $f=360$  mm,  $l=150$  mm 时光斑最匀称清晰。当  $f$  过大,如在  $f=400$  mm 及  $f=560$  mm 时光环不清晰,且散射微弱。

3. 当  $f$  过小,如在  $f=110$  mm 和  $f=50$  mm 时,此时焦点也将向入口处移动,得到颜色掺杂的散斑。从简单的计算可知,此时还可保证散射光全部从出口处出射,没有碰到喇曼管壁上。图 4(d)为  $f=110$  mm 散射光图形,它呈现出红、绿、蓝三种颜色掺杂的弥散状光斑。当  $f=50$  mm 时图形为图 4(f),只

出现红、绿两种颜色掺杂的散斑。

在  $f=110$  mm 情况下,将散射光经单色仪分光后拍下光谱图如图 5 所示,图中从右至左依次为红外(975.8 nm)、红光(694.3 nm)、绿光(532.9 nm)、蓝光(440.3 nm)、紫外(372.2 nm)。这说明焦点处已达到散射阈值,有各高级次散射光出现,只是空间分布与前述不同,没有形成环状。这是因为  $f$  较小,由  $d \propto f\theta$  可知焦点直径  $d$  也变小,使得焦点处功率密度较大而产生较强的散射,因而出现了高级次的散射光。但由于泵浦光在光传播方向上各断面上随径向尺寸  $r$  增大其功率密度是以  $r^2$  的速率降低,因而使整体增益长度很快变短,增益体积变小,因此总体转换效率变低。正如[6]中讨论的,焦距过长或过短对增益  $g$  都不利,而存在一个最佳值。由于光束在前进方向上依次的横断面积上的功率密度在迅速减小,特别是在光束包络超过喇曼管内壁截面时更为明显,由此散射光在管内传播过程中增益变小甚至起不到放大叠加的作用,造成出口处不能形成环状光斑,而是基本保持焦点处散射光向所有方向散射的光斑形状,即各颜色掺杂型光斑。

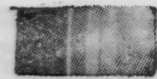


图5 光谱图

实验中,在呈现散斑的情况,保持其他条件不变,只增加输入能量,观察到光斑由弥散型趋于环状,如照片图 4(e)。这是由于电压增加,泵浦光能量增加使增益介质内各处功率密度及增益长度、增益体积都在增加而使放大叠加作用增强所致。进一步说明环状光斑的形成不仅与焦点处功率密度有关,且与有效增益体积即总体转换效率有关。

### 参 考 文 献

- 1 王月珠,王骐,马祖光,哈尔滨工业大学学报增刊,激光与激光技术专辑,1985,48
- 2 郑顺旋,激光喇曼光谱学,上海科学技术出版社,1985
- 3 王月珠,王骐,马祖光,量子电子学,3(4) 338(1986)
- 4 袁一风,楼祺洪 *et al.*,中国激光,13(7),428(1986)
- 5 北岛巖,佐佐木基, $\nu$ - $\nu$ -研究,13(5),443(1985)
- 6 丁海曙 *et al.*,光学学报,4(2),116(1984)

(收稿日期:1987年11月22日)