

受激喇曼前向散射位相复共轭特性研究

冯 士 煜

(香港中文大学物理系)

郭斯淦 郑顺旋 梁振斌 马莹莹*

(广州中山大学物理系)

提要: 本文研究了苯的前向受激喇曼散射位相特性。实验表明苯的前向受激喇曼散射与后向散射一样,具有位相复共轭特性。并分析了实验结果。

Study of the forward SRS phase conjugation

Feng Shiyu

(The Chinese University of Hongkong, Hongkong)

Guo Sigan, Zheng Shunxuan, Liang Zhenbin, Ma Yingying

(Department of Physics, Zhongshan University)

Abstract: The forward SRS phase conjugation of benzene has been studied. The experiment shows that the forward SRS phase conjugation is similar to that of the backward SRS and the result is analysed.

一、引 言

相位共轭波具有自动消除散射介质对相干光波传输相位畸变影响的特性,这种特性在激光技术、光学成象与信息处理技术、全息实时显示技术等方面获得一系列的应用。最早发现相位复共轭波是通过后向 SRS 实验获得,以后在后向 SRS、光学回波和非线性光学混频中也发现,并观察到自动消除相位畸变的效果。

后向 SBS、SRS 的位相复共轭特性已为实验证实^[1~3],而前向 SRS 的位相复共轭特性则研究得很少^[4]。我们从实验上研究了苯的前、后向 SRS 位相复共轭特性,均得到泵浦波的复共轭象,证实前向 SRS 也存在位相复共轭特性。

二、实验装置与结果

图 1 是研究前向 SRS 位相复共轭特性

收稿日期:1983 年 12 月 5 日。

* 李月友同志参加了实验工作。

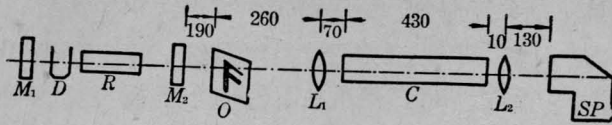


图 1

的实验装置示意图。 M_1 为红宝石激光器的全反射介质膜； D 为调 Q 染料盒，内盛隐花菁乙醇溶液，它对 6943 埃红光的透过率为 36%； R 为红宝石，长 200 毫米，直径为 10 毫米； M_2 为激光器的半透介质膜； O 为景物，是用金属丝造成的“ F ”字母，如图 2 照片所示； L_1 、 L_2 是聚焦透镜， L_1 焦距为 200 毫米，它把激光聚焦于喇曼管 C 的中央， L_2 焦距亦为 200 毫米，它把喇曼光聚焦于摄谱仪狭缝， SP 为摄谱仪。

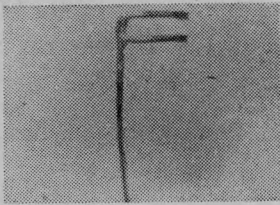


图 2

经染料调 Q 后的红宝石激光能量为 1 焦耳，脉冲宽度 30 毫微秒。红宝石激光照明 F 字母后，由 L_1 聚焦于喇曼管 C (管长 430 毫米) 的中央，产生受激喇曼散射，频移为 992 波数。 L_2 把一阶斯托克斯散射及红宝石剩余光聚焦于狭缝，用天津红快型底片拍摄喇曼谱线及位相复共轭像。

整个光学系统用氦-氖激光来准直。实验前，用手电照明字母 F ，在摄谱仪狭缝平面上可观察到一个清晰的象，这位置是光学系统中与 F 字母共轭的地方。首先用图 1 的实验装置 (除去 F 字母) 拍出苯的前向 SRS 谱线，得出一阶斯托克斯线及激发线。然后装上 F 字母，移去摄谱仪的狭缝，进行位相复共轭实验，得出图 3 的结果。

从照片上可看到，前向 SRS 中 F 的两个像 (激发线和一阶斯托克斯线) 是互为倒立

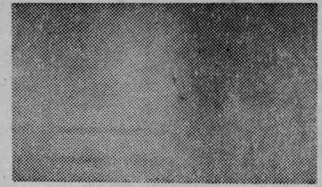


图 3

的，像的大小几乎一样，左边为激发光的象，象的方向与用毛玻璃观察狭缝平面上的象方向相同。右边是前向受激喇曼对字母的再现像，易见其为倒象。从照片上也可看到前向 SRS 的再现像较激发光的再现像模糊。前向 SRS 发散角较大，光斑质量较差。

实验中产生前向 SRS 的再现像条件较后向 SRS 苛刻，能观察到的区间较窄，激发光功率 (能量) 密度区间亦较窄，但只要很好保证实验条件就可以多次重复。我们用苯作介质亦拍了后向 SRS 位相复共轭照片，其质量比前向的要好。

三、分析与讨论

后向受激喇曼散射波的位相复共轭特性已为许多实验所证实，而前向受激喇曼散射的相位复共轭特性实验不多，这大抵由于实验条件比较苛刻，我们在实验上成功地观察到这现象。从照片上可见到激发波与散射波的象是互为倒立的，而且我们反复实验证实激发波像的位置就是激发线位置；散射波像的位置就是一阶斯托克斯线所在的位置，因此说明了散射波具有位相复共轭特性。

前向散射波虽然也具有位相复共轭特性，但因沿介质直进，没有循原路返回，位相得不到补偿，因而前向散射波的光束质量较差，图象也较模糊。

对于前向散射波的位相复共轭特性，可以用失配的简并四波混频模型来解释。前向散射波位相共轭特性通常有三波混频及四波混频两种模型，前者是基于介质的二阶非线性系数 $\chi^{(2)}$ ，后者则是三阶系数 $\chi^{(3)}$ 起作

用。我们认为,我们的实验情况,应属于四波混频模型,其简图如图4^[5],其中 ε_1 、 ε_2 、 ε_p 为入射于介质的光场, ε_c 是散射光场, θ 为匹配角, $\varepsilon_c \propto \varepsilon_p^*$ 亦即 ε_c 与 ε_p 位相复共轭。当 $\omega_1 = \omega_2 = \omega_p = \omega$ 时, ε_c 波的频率亦为 ω ,这时称为简并化前向四波混频,若入射信号较强, K_1 、 K_2 可为同一光束^[6]。

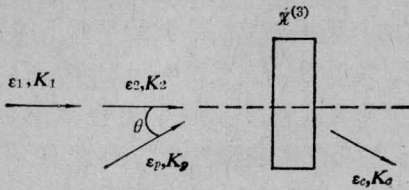


图 4

在前向受激喇曼情形,透过F字母、入射于喇曼池的红宝石激光,是较强的入射光,可称为 K_1 、 K_2 光,其频率为 $\omega_{\text{红宝石}}$ 。经F字母衍射的红宝石激光,可视作 $K_p(\omega_{\text{红宝石}})$ 光,它与 K_1 、 K_2 光有小夹角 θ ,三束光共同入射于喇曼池,产生一阶斯托克斯散射光,一阶斯托克斯散射光是离轴的,这是实验和理论都证实过的^[7],与透射的红宝石光有小夹角,因而,一阶斯托克斯散射光为 K_c ,得 $\varepsilon_c \propto \varepsilon_p^*$ 。 K_1 、 K_2 与 K_p 夹角亦很小,且波长相同,其透射介质后的光经摄谱仪后在底片上处于同一位置,因而在照片上是分不开的。所以在底片上观察到一阶斯托克斯与激发光的位相复

共轭现象。

按照退化四波混频模型,四束光的频率应该相等,但现在苯的一阶斯托克斯频率与激发光频率有频差 992 厘米^{-1} ,所以前向SRS的四波混频应属失配状态,其矢量失配如图5所示, ΔK 是其失配波矢。由于失配,所以散射光斑质量不理想,并且阈值较高,要求严格的实验条件才获得复共轭特性。有关前向散射的失配理论,请参考文献[8]。

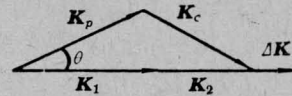


图 5

参 考 文 献

- [1] 范俊颖, 吴存恺, 王志英;《激光》, 1980, 7, No. 3, 14.
- [2] A. I. Sokolovskaya et al.; *Opt. Commun.*, 1978, 24, No. 1, 74.
- [3] G. Rivoire et al.; *Opt. Commun.*, 1982, 42, No. 2, 138.
- [4] R. W. Hellwarth; *Opt. Engineering*, 1982, 21, No. 2, 257.
- [5] D. M. Pepper; *Opt. Engineering*, 1982, 21, No. 2, 156.
- [6] R. L. Lind et al.; *Opt. Engineering*, 1982, 21, No. 2, 190.
- [7] 李荫远等;《非线性光学》, 1974, 79, 科学出版社。
- [8] A. Maruani; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1980, QE-16, No. 5, 558.