

# 液芯光纤喇曼光谱的研究

里佐威 孙 昕 裴 力 梁慎亮\*

(吉林大学物理系, 长春 130023)

赵永年 李冬妹 崔启良 邹广田

(吉林大学原子分子所, 长春 130023)

## 提 要

本文叙述了利用液芯光纤技术获得最佳自发喇曼光谱的方法和条件。用 16 mW He-Ne 激光为泵光浦源, 获得了较高强度的溴苯自发喇曼光谱。首次用测量喇曼信号强度的方法, 计算出光纤衰减系数  $\alpha$ , 从而获得了最大喇曼光谱所对应的最佳光纤长度。本文以 150 mW Ar 离子 (488 nm) 激光器为光源, 用 Spex 1403 喇曼系统, 得到了丰富的溴苯喇曼光谱, 比用普通方法获得的喇曼光谱强度高两个数量级。实验结果与理论计算基本符合。

关键词: 液芯光纤, 喇曼光谱。

## 一、引 言

自从 1928 年印度科学家喇曼发现喇曼散射现象以来。喇曼光谱技术在化学、物理学、生命科学、信息科学等各领域得到广泛应用。该技术也在应用中不断发展。其中, 激光光纤喇曼光谱技术是一门新兴技术。当激光入射光纤时, 由于光纤可以很长, 泵浦激光与喇曼介质作用体积增加。被激发的喇曼信号被加强。因而, 应用光纤技术, 可以提高自发喇曼光谱强度; 泵浦光对斯托克斯光转换效率可以达到 60~90%<sup>[1]</sup>; 可以降低受激喇曼光谱的阈值功率; 实现光纤喇曼激光器<sup>[2, 3]</sup>。因此, 光纤中的喇曼光谱技术引起了各国科学工作者的极大兴趣, 开展了许多喇曼光谱和喇曼激光器的研究<sup>[2, 3]</sup>。

一些液体的喇曼散射截面比固体 ( $\text{SiO}_2$ ) 高二个数量级<sup>[4]</sup>。早在 70 年代, 美国贝尔电话实验室就开展了液芯光纤喇曼光谱的研究<sup>[5]</sup>。但是, 由于液芯光纤中液体大多是有机溶剂, 光纤封头问题没能得到解决, 有些研究是把光纤放在待测液体的液槽中<sup>[6]</sup>, 操作起来很不方便, 也影响了应用。并使液芯光纤喇曼光谱的研究不能深入下去。本文很好解决了光纤封头问题。使该项研究具有广阔前景。用自制液芯光纤, 进行了自发喇曼光谱的研究。用一米长 He-Ne 激光器作为泵浦源, 当发光功率为 16 mW 时获得了较强的喇曼光谱。通过测量喇曼信号的强度, 测量了光纤衰减系数  $\alpha$ , 计算出为获得最大喇曼光谱所对应的最佳光纤长度。该方法是没见过报道的, 用 Ar 离子激光器为光源, 获得了丰富的喇曼光谱, 比用毛细管方法获得的喇曼光谱强度高二个数量级。

## 二、液芯光纤的最佳长度

用优质石英制成内径 3~4 mm, 外径 9~12 mm 的空心石英管, 再拉制成内径 50~100  $\mu\text{m}$  的空心石英光纤。外涂环氧树脂或硅橡胶为保护层, 使光纤柔软不易折断。在空心石英光纤内充以折射率  $n$  大于石英光纤折射率  $n_0$  的高透明度液体, 构成液芯光纤。为了防止液体流失和保持芯内液体稳定, 以特制封头和一定的制作技术封好光纤两端。(该封头及制作技术另行发表)。该封头不仅含有窗口, 还含有低压气室, 可以防止由于热胀冷缩而损坏光纤。该技术使研制的液芯光纤可以存放几年, 仍可以使用, 这为液芯光纤的应用和研究开拓了广阔前景。

激光入射光纤并在光纤中传播, 当忽略受激效应时, 在长度为  $x$  处  $dx$  长度的喇曼散射光强度  $dI_R$  为

$$dI_R = G_R I dx - \alpha I_R dx, \quad (1)$$

(1) 式中  $G_R$  为喇曼增益系数,  $\alpha$  为光纤对喇曼散射光的衰减系数,  $I$  为光纤长为  $x$  处的激光强度。  $I_R$  为喇曼光强度。若  $I_0$  为光纤长度  $x=0$  时的光强度。光纤对传输光的衰减系数随波长变化很小<sup>[7]</sup>。则

$$I = I_0 \exp(-\alpha x). \quad (2)$$

(2) 式代入 (1) 式

$$dI_R = G_R I_0 x \exp(-\alpha x). \quad (3)$$

(3) 式的解为

$$I_R = G_R I_0 x \exp(-\alpha x). \quad (4)$$

由 (4) 式不难得出, 为获得最大喇曼光谱强度  $I_R$  所对应的最佳光纤长度  $L$ 。只要令

$$(dI_R/dx) = 0,$$

可得出  $\alpha \cdot L = 1$ , 即

$$L = (1/\alpha). \quad (5)$$

## 三、实验和结果

### 1. 实验

喇曼光谱的测量用 HRD-1 型双单色仪, 信号用冷却的  $C_{31024}$  光电倍增管接收。激光光源用 He-Ne 激光器(波长  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ ), 功率为 16 mW。本文用内径 75  $\mu\text{m}$ , 外径 150  $\mu\text{m}$ , 折射率为 1.486 的空心石英光纤, 制成 13~18 m 的溴苯芯(折射率 1.520)的液芯光纤多根, 进行自发喇曼光谱的研究。以 He-Ne 激光光束入射光纤的一端, 用透镜聚焦后射入光纤中。在另一端测量其斯托克斯光强度。为考察重复性, 本实验也使用 Spex 1403 喇曼系统进行了比较测量。激发光采用 Spectra-Physics 的 165-9 型氩离子激光线 488 nm, 功率用 150 mW, 同时与毛细管中样品的喇曼光谱进行比较。

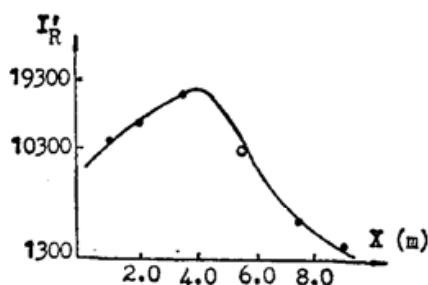
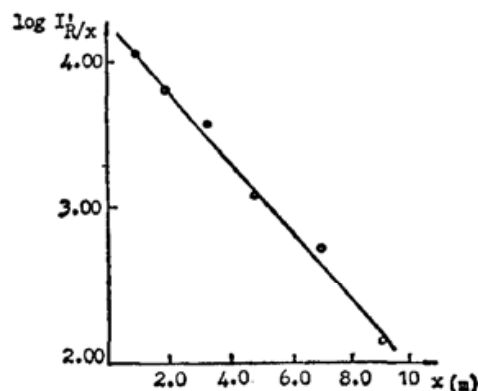
### 2. 结果

为了获得最佳光纤长度  $L$ , 必须首先确定光纤衰减系数  $\alpha$ 。在保证入射端不变情况下,

把光纤截断成 9 m、7 m、5 m、3.5 m、2 m、1 m。截断后,为防止光纤芯内液体流动和保持稳定,仍用有窗口的封头封好输出端。对  $\bar{\nu}=1.485 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$  的斯托克斯线强度多次测量取平均值(见表 1)。根据表 1 数据作光强度  $I'_R$  与光纤长度关系图,如图 1 所示。

Table 1 Experimental results

$x(\text{m})$	9.00	7.00	5.00	3.50	2.00	1.00
$I'_R$	1380	3970	7920	14560	12720	11040
$I'_R/x$	153	567	1584	4160	6360	11040
$\log I'_R/x$	2.185	2.754	3.1897	3.6190	3.8032	4.0433

Fig. 1 The relation between intensity of Stokes line at  $1.485 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$  and optical fiber lengthFig. 2 The linear relation between  $\log(I'_R/x)$  and  $x$ 

根据(4)式,液芯光纤输出的斯托克斯线光强度为

$$C_1 I'_R = C_2 G_R I_0 x \exp(-\alpha x), \quad (6)$$

这里,  $C_1 I'_R = I_{R0}$ 。  $C_1$  为光子能量,  $I'_R$  为探测器接收的光子数。  $C_2$  为液芯光纤封头的透射系数。对(6)式取对数后整理有

$$\log(I'_R/x) = \log C_2 G_R I_0 - \log C_1 - \alpha x. \quad (7)$$

根据(7)式和表 1 数据,用最小二乘法拟合  $\log(I'_R/x) \sim x$  直线,如图 2 所示,并求得斜率  $K = |\alpha| = 2.43 \times 10^{-2} \text{ m}^{-1}$ 。其数值即为光纤对激光的衰减系数  $\alpha$ 。光在液芯光纤中传输不同于在液体中传输。相同几何长度下,光纤中的光程大于液体中光程,光纤的几何结构及空心光纤内表面的光滑程度对光的损耗影响很大。液芯光纤的衰减系数  $\alpha$  要比液体的衰减系数  $\alpha_0$  大。本文采用的测量方法更适合于液芯光纤的实际。根据(5)式,算出为获得最大喇曼光谱所对应的光纤最佳长度  $L = 1/\alpha$ , 为 4.12 m。

本文多次用不同长度的同种溴苯液芯光纤,在 3.80~4.20 m 之间都获得了最佳喇曼光谱。如图 3、图 4 所示。与毛细管方法获得的喇曼光谱比较(在光源、接收探测器、扫描速度都相同的条件下),喇曼光谱强度提高 100~110 倍。获得了多条振动谐波谱线。液芯光纤喇曼光谱的研究,大多选用损耗小的苯芯光纤。而本文采用损耗较大的溴苯芯光纤进行研究。在图 4 中,各斯托克斯线放大倍数有所不同,由于光纤的双折射现象,使传输光各模式的偏振态不同,造成了差异。

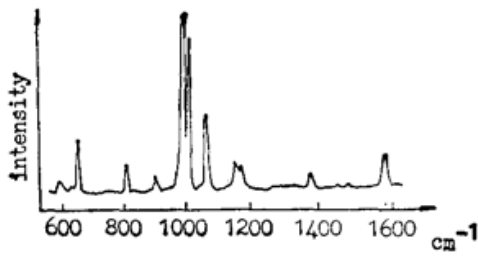


Fig. 3 Raman spectra taken with the 3.95 m optical fiber by using 16 mW He-Ne laser

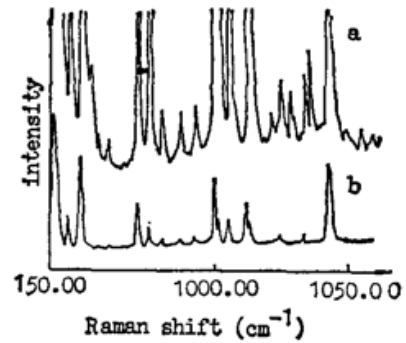


Fig. 4 Using 150 mW Ar laser spectra taken with (a) the 3.95 m optical fiber; (b) the capillary

## 四、结 论

应用光纤技术可以获得高强度自发喇曼光谱。待测液体的折射率要大于空心光纤的折射率。液体充入空心光纤中,构成液芯光纤。采用该技术获得的自发喇曼光谱比毛细管方法获得的喇曼光谱强度高二个数量级。通过测量喇曼信号强度的方法,测出了光纤对传输光的衰减系数 $\alpha$ 。计算出为获得最大喇曼光谱所需的光纤最佳长度。获得了高强度丰富的喇曼光谱。该技术在喇曼光谱及喇曼激光器的研制中具有广泛的应用前景。

## 参 考 文 献

- [1] G. E. Walaten; *Appl. Spectrosc.*, 1972, **26**, No. 6 (Nov), 585.
- [2] H. C. Lefevre; *Electron. Lett.*, 1988, **24**, No. 21 (May), 1333.
- [3] D. C. Hanna; *Electron. Lett.*, 1989, **25**, No. 9 (Jun), 593.
- [4] 郑顺璇;《激光喇曼光谱学》, (上海科学技术出版社, 上海, 1985), 6.
- [5] Chinlon Lin; *A. P. L.*, 1977, **31**, No. 2 (Jul), 97.
- [6] E. P. Ippen; *A. P. L.*, 1970, **16**, No. 8 (Apr), 303.
- [7] J. Stone; *A.P.L.*, 1975, **26**, No. 4 (Feb), 164.

## Raman spectroscopy of liquid-core optical fiber

LI ZOUWEI, ZHAO YONGNIAN, SUN XIN, PEI LI, LI DONGMEI,  
CUI QILIANG AND LIANG SENGLIANG

(Department of Physics, Institute of Atomic and Molecular Physics, Jilin University, 130023)

(Received 19 September 1990; revised 4 December 1990)

## Abstract

The method and condition of obtaining optimal raman spectra by means of liquid-core optical fiber are described. Spectral intensity enhancement by factors of  $10^2$  to conventional sample techniques has been obtained with the liquid-core optical fiber. The loss coefficient in the fiber were calculated by measuring the stokes line intensity.

**Key words:** liquid-core optical fiber raman spectra.