

拉曼带通滤光器压缩强激光背景的应用

张建平 翁羽翔 徐积仁

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

提要 采用拉曼带通滤光技术,以调 Q YAG 倍频激光器为激发光源(532 nm),在普通单色仪上记录到液相苯的拉曼谱。拉曼带通滤光器(RNF: Raman Notch Filters)可使杂散光降低 10^8 量级。应用拉曼带通滤光器直接对 YAG 倍频输出激光线型进行观察,观察到了与基频相对应的弱跃迁伴线结构。

关键词 拉曼带通滤光器,调 Q YAG 倍频激光器,拉曼散射,受激辐射,弱跃迁

Application of Raman notch filters to suppression of laser background

ZHANG Jianping, WENG Yuxiang, XU Jiren

(Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing 100080)

Abstract Newly developed Raman Notch Filters (RNF) were applied to the following cases: a. Using RNF as a pre-filter of a common monochromator to record Raman spectra of benzene, the exciting wavelength was the second harmonic generation of a Q -switched YAG pulsed laser (532 nm). b. Observing the stimulated emission due to the weak transition near 1.064 μm in a Q -switched frequency-doubled Nd^{3+} : YAG laser with RNF as laser (532 nm) suppression apparatus. RNF can suppress the straylight at the laser wavelength by a factor of 10^8 .

Key words Raman Notch Filters, Q -switched YAG laser, linear Raman scattering, stimulated emission, weak transition

1 引 言

拉曼带通滤光器是一种近年发展起来的、用于拉曼光谱仪的滤光技术。通常由一组相互平行的窄带干涉滤光片构成,滤光片的中心波长为拉曼信号的激发波长,带通(FWHM)约为 5 nm。拉曼带通滤光器可使源自激发线的杂散光降低 10^8 量级,而拉曼信号仍有 80% 以上的输出。拉曼带通滤光器可取代常规线性拉曼光谱仪的单色仪前置滤光器和级联单色仪的一个或两个初级。这种滤光器是由 G. J. Puppels 等人在 1990 年首先报道的^[1]。RNF 不仅适用于拉曼

光谱的常规实验,而且还可与显微拉曼技术相结合,成功地用于单细胞中染色体拉曼信号的探测^[2]。本实验对 G. J. Puppels 的拉曼带通滤光器作了改进,减小了干涉滤光片的面积,有利于介质膜的均匀性,并将原来的一组改成两组,使入射光和出射光方向一致,简化了光路的调整。我们将拉曼带通滤光器作为普通单色仪的前置滤光系统,以调 Q YAG 激光作为激发线,记录了苯的拉曼光谱,在实验过程中发现经 RNF 选择性衰减后的激发光中,存在伴线结构,伴线出现的频率与 Nd³⁺:YAG 晶体由弱跃迁产生的受激辐射相对应。由于斯塔克效应,⁴F_{3/2} 分裂成两个亚能级,⁴I_{11/2} 分裂成 6 个亚能级,⁴F_{3/2} → ⁴I_{11/2} 跃迁给出 8 条谱线^[3],其中 1.064 μm 的跃迁强度最大,其他谱线皆为弱跃迁。激光过程中,由于激光线(1.064 μm)的强度很大,在近红外区缺乏相应的滤光手段以压缩激光线,故在基频中观察激光过程的弱跃迁伴线有一定的难度。本文在倍频光中采用 RNF 观察到了与基频中弱跃迁相符的伴线结构,但其强度尚难确定。

2 RNF 原理

拉曼带通滤光器由四片透过中心在 532 nm 的窄带干涉滤光片组成,两片一组,两两平行地固定在调节台上,如图 1 所示。

窄带干涉滤光片每片尺寸为 50×25 mm²,带宽(FWHM)为 5 nm(180 cm⁻¹),两组间对称布置可使光路出射与入射方向一致。

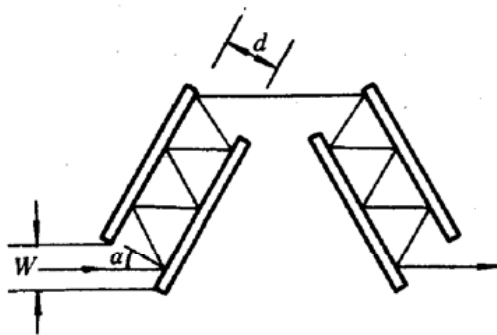


Fig. 1 Schematic diagram for Raman bandpass filter

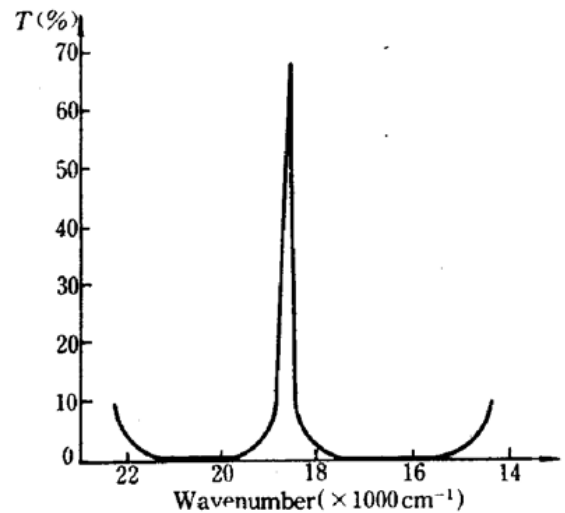


Fig. 2 Transmission curve for a single notching filter

干涉滤光片的入射角选在 10°,此时峰值透过率 $T_{532} = 68.5\%$,而对应的伴线透过率分别为 $T_{531} = 51.2\%$, $T_{528} = 10\%$, $T_{526} = 4\%$ 。图 2 为干涉滤光片的透过率曲线,图 2 表明,在 940 ~ 2900 cm⁻¹ 的范围内,对拉曼散射光的反射率 R_{Raman} 大于 99%,最大可达 99.8%,且在 280 ~ 940 cm⁻¹ 内,拉曼信号也都保持在 90% 以上。

由集光系统收集到的拉曼散射光,含有频率与激发光相同的瑞利散射光以及源自样品池和激光入射照明系统的杂散光,被准直成直径为 W 的准平行入射光,经 RNF 后沿原方向出射,见图 1。单块滤光片的长度为 L ,两平行干涉滤光片的间距为 d ,入射角为 α 。若光在 RNF 的总反射次数为 N ,为使出射光束直径不变,则 L, d 须满足下式:

$$L \geq WN/4\cos\alpha \quad (1)$$

$$d \geq W/2\sin\alpha \quad (2)$$

入射光中波长为 532 nm 的成分经 RNF 后被压缩的倍数为

$$I'_{532}/I_{532} = (1 - T_{532}^N) \quad (3)$$

式中 I_{532} 为处于激光波长的杂散光入射光强, I'_{532} 为相应的出射光强。

干波滤光片对拉曼散射光有很高的反射率, 因而 RNF 对拉曼光能保持较大的透过率。RNF 对拉曼光的透过率为

$$T_{\text{Raman}}^{\text{RNF}} = R_{\text{Raman}}^N \quad (4)$$

取 $N = 16$, $T_{532} = 68.5\%$, 则 $I'_{532}/I_{532} = 9.4 \times 10^{-9}$, 而且, 对于 $940 \sim 2900 \text{ cm}^{-1}$ 的拉曼散射光, 其透过率 $T_{\text{Raman}}^{\text{RNF}} > 80\%$ 。采用级联单色仪和前置滤光器, 虽可将杂散光水平降得很低, 但拉曼信号损失较大, 其拉曼光透过率一般不超过 30% 。RNF 不但对拉曼光有高的透过率, 同时对激光线附近的伴线也有很高的选择性。表 1 为 RNF 对激光及伴线的透过率。从表 1 可以看出, 尽管 RNF 对 531 线也有很强的抑制, 但当 N 取 16 时, RNF 对 531 线的透过率为 532 nm 激光线的 10^3 倍, 而对其他两条伴线约为 10^8 倍。可见 RNF 完全可用于观察 $\text{Nd}^{3+} : \text{YAG}$ 倍频激光中由于弱跃迁所产生的伴线结构, 尤其是波长在干涉滤光片透过率曲线半高宽以外的伴线。

Table 1 Transmittivity of RNF for laser line and its satellites at different values of N

$N \backslash T$	T_{532}	T_{531}	T_{528}	T_{526}
16	9.4×10^{-9}	1.0×10^{-5}	0.37	0.52
20	9.3×10^{-11}	5.9×10^{-7}	0.29	0.44

3 实验综述

实验装置如图 3 所示。当用 RNF 观察 532 nm 激光伴线时, 将拉曼光样品池换成漫反射体。激发光源及观察 532 nm 伴线所采用的激光器为同一台调 Q YAG 倍频激光器, 谐振腔内的调 Q 光电开关为 KDP (KH_2PO_4) 晶体, 全反镜为宽带反射镜, 腔内没有色散元件, 激光器运行模式为单氙灯泵浦带一级放大, 532 nm 输出为 TEM_{00} , 单脉冲能量为 80 mJ, 脉宽 25 ns, 重复频率为 50 Hz, 光束截面直径为 7 mm。图 3 中, I_1 为小孔光阑, 直径为 1 mm, 位于 L_1 焦点。 L_1 为集光透镜, 直径 50 mm, 焦距 90 mm。 L_2, L_3 构成倒置望远镜, 将 L_1 收集和准直的光束压缩到 10 mm 以下, 经光阑 I_2 后入射到 RNF。从 RNF 出射的光不加会聚镜直接入射单色仪狭缝。单色仪系国产 WDG500-1 型^[4], 一级光谱响应范围为 200~600 nm, 距 632.8 nm 处杂散光水平为 10^{-3} 。光电倍增管为 EMI9813B 型, 光谱响应范围为 320~620 nm, 信号处理采用积分平均器 (Boxcar Model 162), 单通道工作。

图 4 是上述装置在室温下记录到的分析纯液态苯的线性拉曼散射谱。位于 992 cm^{-1} 的散射峰是苯的两个拉曼活性全对称振动基频之一, 另一全对称振动基频位于 3064 cm^{-1} , 由于光栅一级光谱范围和倍增管响应范围所限, 仪器记录不到此谱线。在室温下 (300 K), 苯尚有几个振动态有较为可观的布居数, 如基态 (54%), ν_{16} (16%) 等^[5], 因而其拉曼峰也被激发出来。

图 5 为上述装置中, 将样品池换成粗糙表面白纸所记录到的激光伴线谱。当白纸用毛玻

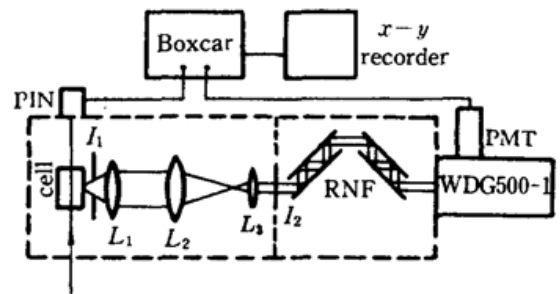


Fig. 3 Experimental set-up for recording Raman spectra

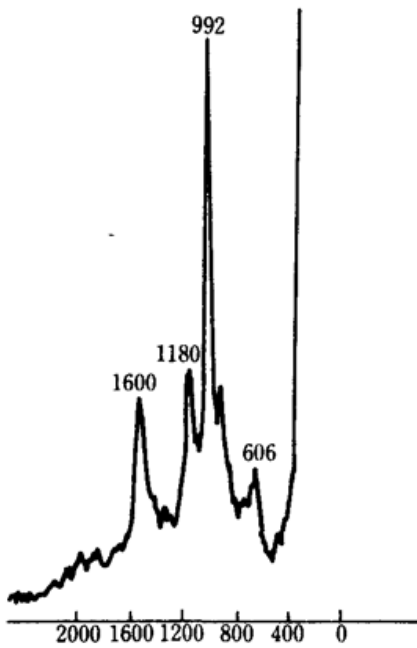


Fig. 4 Recorded Raman spectra of benzene on a common monochromator with RNF

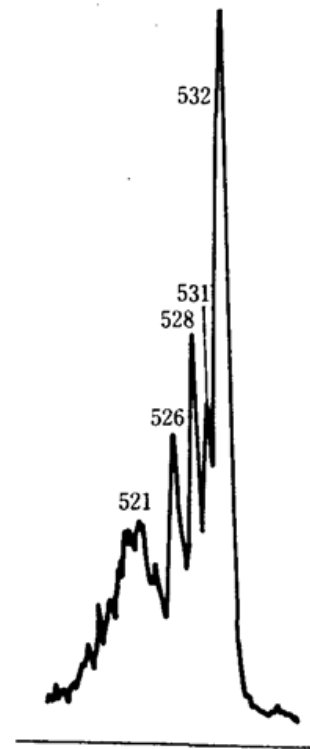


Fig. 5 Recorded spectra of weak transitions in frequency-doubled Nd^{3+} : YAG laser

璃片代替后所得谱形不变。弱跃迁谱线基频波长及其倍频波长列于表 2, 可见图 5 中 531 nm, 528 nm, 526 nm 伴线与表 2 中的倍频伴线相一致。

Table 2 Fundamental frequency of weak transition in Nd^{3+} : YAG laser and its expected frequency-doubled wavelengths

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
ω_0 (μm)	1.07898	1.07492	1.06883	1.06553	1.06484	1.06236	1.05563	1.05252
$2\omega_0$ (nm)	539.49	537.46	534.41	532.77	532.42	531.18	527.82	526.26

依据表 1 所列的 RNF 对不同波长伴线的透过率及图 5 中的相对强度, 我们可以粗略地估计倍频激光中伴线的强度, 532 nm 的激光线比 528 nm, 526 nm 伴线强 10^8 倍, 比 531 nm 线强 10^4 倍, 可见, 如果采用中性滤光片要在激光线中观察强度相差如此悬殊的伴线是难以实现的。由于倍频晶体是按 1.064 μm 线进行切割的, 其倍频效率对偏离 1.064 μm 的线将有所降低, 因而基频中伴线的相对强度应该比倍频光中高一些。V. I. Marin 等曾研究了 Nd^{3+} : YAG 晶体超辐射过程中的弱跃迁^[6], 发现弱跃迁线随泵浦光强变化缓慢, 并达到饱和。在激光过程中, 弱跃迁线的强度正比于 ${}^4F_{3/2}$ 能级粒子的布居数, 1.064 μm 线的振荡以及 ${}^4I_{11/2}$ 的快速热弛豫都将极大地抑制其他线的振荡^[7], 可以预料, 激光线中伴线强度是很低的, 我们在倍频光中的观察结果也说明了这一点。图 5 中 521 nm 处尚有一较宽的峰, 我们认为该峰有可能来源于 Nd^{3+} : YAG 晶体中的杂质。

张有珑同志为本实验提供了干涉滤光片, 并提出了不少有益的建议, 作者在此表示衷心地感谢。

参 考 文 献

- 1 G. J. Puppels, A. Huizinga *et al.*, *Rev. Sci. Instru.*, **61**, 3709(1990)
- 2 G. J. Puppels *et al.*, *Nature*, **347**, 361(1990)
- 3 J. Singh, R. G. Smith *et al.*, *Phys. Rev. B*, **10**, 2566(1974)
- 4 WDG500-1 型光栅单色仪说明书,北京第二光学仪器厂
- 5 H. B. Jensen *et al.*, *J. Raman Spectrosc.*, **8**, 103(1979)
- 6 V. I. Marin, V. I. Nikitin *et al.*, *Sovi. J. Quant. Electr.*, **12**(2), 732(1975)
- 7 R. G. Smith, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-5**(4), 505(1968)

气生伏特效应

中国科学技术大学韩正甫等同志在研究金属/多孔硅/硅(MPS)光敏二极管时,发现了一种新的现象,他们称为“气生伏特效应”。当将这种多孔硅二极管密封入不透明容器内且向容器充入一定量的氨气时,在二极管两端会有电压输出,其大小在几十到几百毫伏之间。当将两极短路时会在回路中形成几十纳安且较稳定的电流。测试结果显示,电流和电压都与气体浓度近似成线性关系。电压或电流随氨气的注入 20 s 即能上升到最大,离开该气氛后此电压则迅速下降。如果将器件保持在氨气氛中,此电压信号可维持数小时到数天不等。这种现象不仅在氨气中会出现,在丙酮、酒精和水蒸气中也同样会出现此现象,但没有氨气明显。这种现象不仅可能帮助进一步理解多孔硅的形成机理和认识多孔硅的结构特性,还有可能作为优秀的气敏元件,也有可能作为化学电池而得到应用。有关这种现象的机理目前还不清楚,有关人员正在进一步研究之中。

(贡 力 中国科技大学合肥国家同步辐射实验室实验区,合肥 230029)