

喇曼感应克尔效应光谱学

毛叔其

(兰州大学)

喇曼感应克尔效应光谱学记作 RIKES (是 Raman Induced Kerr-Effect Spectroscopy 的缩写), 是相干喇曼光谱学的一个分支. 喇曼感应克尔效应是 1975 年由 D. Heiman, R. W. Hellwarth 等人首先演示的^[1]. 之后, G. L. Eesley, M. D. Levenson^[2] 和 A. Owyong 等发展了光外差喇曼感应克尔效应光谱学 (Optically heterodyned RIKES, 缩写作 OHD-RIKES), 并很快在液相介质及气相介质的高分辨率喇曼光谱的研究中得到成功的应用.

用两束激光同时照射介质, 我们把其中强的一束偏振光(圆频率为 ω_1) 称为抽运光, 另一束弱的线偏振光(圆频率为 ω_2) 称为探测光. 在抽运光作用下, 介质对 ω_2 光的折射率复各向异性发生改变, 迫使一部分探测光的偏振方向发生变化, 从而可通过一个原来交叉设置的检偏器. 当二束光频率之差 $\omega_1 - \omega_2$ 等于介质的某个喇曼活性频率时, 这种改变与之共振形成峰值. 因此, 让 ω_1 或 ω_2 进行频率扫描, 检测通过检偏器后的探测光信号, 便可得到介质的喇曼光谱. 这种光谱学便称为喇曼感应克尔效应光谱学.

RIKES 过程是一个四光子过程, RIKES 信号强度 $I_x(\omega_2) \propto |\chi_{eff}^{(3)}(-\omega_2, \omega_2, -\omega_1, \omega_1)|^2 \cdot I^2(\omega_1) I_y(\omega_2)$. 式中 $\chi_{eff}^{(3)}$ 为有效三阶非线性极化率, $I(\omega_1)$ 与 $I_y(\omega_2)$ 分别为抽运光强与探测光强, 下标 x, y 表示光的偏振方向. RIKES 信号与探测光 ω_2 有相同的频率和传播方向, 因而收集效率高, 并有利于限制荧光背景的干扰. RIKES 是通过探测光或抽运光的扫描, 相干地得到喇曼光谱. 它的分辨率不再受传统方法中单色仪的限制, 原则上只是由使用的激光源的线宽决定, 因而有极高的光谱分辨率, 理论上可达 10^{-4} cm^{-1} . 这些特点优于自发喇曼光谱技

术. RIKES 过程是自动地位相匹配的, 使用圆偏振抽运光时还可消除非共振背景的干扰, 这些特点优于 CARS (相干反斯托克斯喇曼散射).

RIKES 技术的困难, 主要是由于实验装置所用元件的缺陷及应力双折射会迫使部分探测光的偏振状态发生改变, 它将作为背景与 RIKES 信号强度迭加, 同时被检测器接收. 双折射背景的存在限制了 RIKES 的应用. 此外, RIKES 信号涉及 $\chi_{eff}^{(3)}$ 的实部与虚部的混合, 增加了其光谱分析的复杂性. 这些困难在 OHD-RIKES 里得到了克服.

OHD-RIKES 使用了光外差检测技术. 将检偏器从原交叉位置转过一个小角度, 以漏过一小部分探测光作为本地振荡场. 设其场强为 $E_1(\omega_2)$, E_1 与 RIKES 信号场强 $E_x(\omega_2)$ 迭加, 其交叉项给出了外差信号强度 $I_H \propto \text{Re}\{E_x E_1^*\}$, 这里 Re 代表取实部. 如本地振荡强度远大于 RIKES 信号强度, 则 I_H 将比 RIKES 信号强度大得多. 适当选取本地振荡的位相, 使 I_H 只决定于 $\chi_{eff}^{(3)}$ 的虚部, 则孤立的喇曼模有洛伦兹型, 且对弱喇曼模的测量有潜在的高灵敏度.

在 OHD-RIKES 实验中, 本地振荡强度是最重要的背景源, 所以探测激光源的噪声是本实验最重要的噪声来源. OHD-RIKES 技术的应用有时会受到探测激光源稳定性的限制, OHD-RIKES 技术的另一个缺点在于, 它得到的是介质的感应线性或圆的二向色性, 而不是偏振的或退偏振的光谱, 这会给光谱的解释带来一定的困难.

OHD-RIKES 有连续和准连续两种工作方式. 在连续工作方式中, 抽运光与探测光均用连续波激光器作光源, 这时可采用锁相放大技术

与多通样品池来提高信噪比。在准连续工作方式中,探测光源用连续波激光器而抽运光源用脉冲高功率激光器,这种方式可以提高灵敏度。

RIKES 技术具有的高分辨能力和对荧光背景的抑制能力,使它成为自发喇曼技术的一种重要补充。OHD-RIKES 用来研究液体介质,其灵敏度不亚于自发喇曼与 CARS,用来对气体分子的研究,得到了 H_2 , CH_4 , C_2H_4 等的高

分辨 V_1 带光谱,分辨率达到了多卜勒展宽的极限。OHD-RIKES 技术很有希望成为各种相干喇曼技术中得到最广泛应用的技术之一。

参 考 文 献

- [1] D. Heiman et al., *Phys. Rev. Lett.*, **36**(1976), 189.
- [2] G. L. Easley et al., *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-14** (1978), 45.

下期内容预告

1. 短波长辐射及其应用(聂玉昕等);
2. 光子回波及其应用(陈天杰);
3. 强场中的原子(潘少华);
4. 关于遗传语言熵减进程的研究(胡长安);
5. 锗酸铋 ($Bi_{12}GeO_{10}$) 表面波温度传感器(潘金才等);
6. 液晶热图象温度检测(谢淑云等);
7. 扰动角关联和角分布技术在金属缺陷研究中的应用(朱升云);
8. 集成化的光子计数前置级(赵复垣);
9. 涡流稳定闪光灯抽运染料激光实验(罗正纪等);
10. 近代物理讲座第十四讲 海洋物理学概貌(关定华);
11. 光学信息处理讲座第九讲 傅里叶光学中的算符方法(曹其智等);
12. 用 X 射线粉末衍射法测定晶体结构(梁敬魁)。

(上接第28页)

量级,为此要获得 1Mbar 压强就必须施加 10^7N 的压力。但如用微细加工技术做成微电极,例如 $1\mu m$ 大小,则只要 10N 就可以达到同样的压强。美国康乃尔大学的 A. Ruoff 在金刚石上制造了一对 $3\mu m$ 的电极,测量了金属氙。

总之,微离子束技术在国际上已受到高度重视,正在成为微细加工和微细分析的一种重要手段。

参 考 文 献

- [1] R. L. Seliger and W. P. Fleming, *J. Appl. Phys.*,

45(1974), 1416.

- [2] V. E. Krohn and G. R. Ringo, *Appl. Phys. Lett.*, **27**(1975), 479.
- [3] R. L. Seliger, *Appl. Phys. Lett.*, **34**(1979), 310.
- [4] V. E. Krohn, *Prog. Astronaut. Rocketry*, **6**(1961), 13.
- [5] J. E. Mahoney et al., *J. Appl. Phys.* **40** (1969), 5101.
- [6] R. Levi-Setti and T. R. Fox, *Nucl. Instr. Meth.*, **168** (1980), 139.
- [7] J. Orloff and L. W. Swanson, *J. Appl. Phys.*, **50** (1979), 6026.
- [8] R. J. Culbertson et al., *J. Vac. Sci. Technol.*, **16** (1979), 1868; **17**(1980), 203.
- [9] H. Ohiwa et al., *J. Vac. Sci. Technol.*, **19** (1981), 1074.