

Al₂O₃:Ti³⁺ 晶体的激光 Raman 光谱研究*

汪浩 盛虞琴 赖祖猷 庄志诚

(上海交通大学应用物理系固体光谱研究室)

Study of Raman spectra of Al₂O₃:Ti³⁺ crystals

Wang Hao, Shen Yufen, Lai Zhuqiu, Zhuang Zhichen

(Applied Phys. Depart., Shanghai Jiaotong University, Shanghai)

Abstract: Some new results of Raman spectra of Al₂O₃:Ti³⁺ crystals are reported. It was experimentally found that Al₂O₃ crystals doped with Ti³⁺ ions would increase the intensity of two Raman peaks which correspond to external vibrations of eigenmodes respectively. Based on the model of photon-electron coupling, an explanation to this phenomenon is given.

近年来, Al₂O₃:Ti³⁺ 晶体被发现是一种很好的激光晶体。1984年, Albrecht等^[1]报道了这种晶体的荧光谱和400~900 nm范围的吸收光谱。同年,用这种晶体制成了660~980 nm的宽带调谐激光器。

在 Raman 光谱研究方面,1967年 Porto等^[2]用50 mW的 Ar³⁺ 离子激光,做了五种配置下 Al₂O₃:Ti³⁺ 晶体 Raman 光谱,发现了全部7根 Raman 线。本文报道 Al₂O₃:Ti³⁺ 晶体 Raman 光谱实验研究的新结果。

主要实验设备有: Spex 1403 型激光 Raman 光谱仪,波长范围为10000~30000 cm⁻¹,分辨率为0.15 cm⁻¹。激发光源用 Spectra Physics 2020 型的氙离子激光器。

实验所用样品用 X 射线定向。样品表面磨平抛光,以减少漫反射的影响。三块样品的几何尺寸和掺杂浓度分别为: α-Al₂O₃: 9.0×10.0×11.5 mm; Al₂O₃:Ti³⁺1#: 20.5×9.5×15.5 mm, Ti³⁺ 浓度0.028%; Al₂O₃:Ti³⁺3#: 7.8×8.0×11.5 mm, Ti³⁺ 浓度0.58%。其中 Ti³⁺ 浓度是用质谱仪测定的。样品温度为 20°C±2°C

图1、图2、图3给出了3种配置下共9张 Raman 图谱。积分时间: 2s; 步长: 0.5 cm⁻¹; 重复叠加扫描次数: 2次, 激发光波长: 514.5 nm, 激发光强: 500 mW。

图中,我们采用了 Porto等^[2]的配置记号法: 括号内的两个字母分别表示入射和出射的偏振方向, 括号外两个字母分别表示 X 射和出射光的传播方向。

为了尽量减少各种不稳定因素的影响,我们在所有实验条件都不改变的情况下,对每一种配置,将三块不同掺 Ti³⁺ 浓度的样品连续地进行扫描。

实验发现,某些配置中的模式出现了解禁现象。这与 Porto等^[2]的实验结果相似。Barker^[3]在刚玉的红外反射谱中,也发现几个非红外活性模。他认为这是近表面对称性破损所致,Porto则认为,这是类似于方解石中的双折射导致的退偏效应,主要是由于晶体定向有误差,光束进入晶体后因产生折射,使其传播方向与 c 轴略有偏离,而晶体的双折射效应又使偏振面旋转,从而导致退偏^[2]。

* 上海交通大学科学技术基金资助课题。

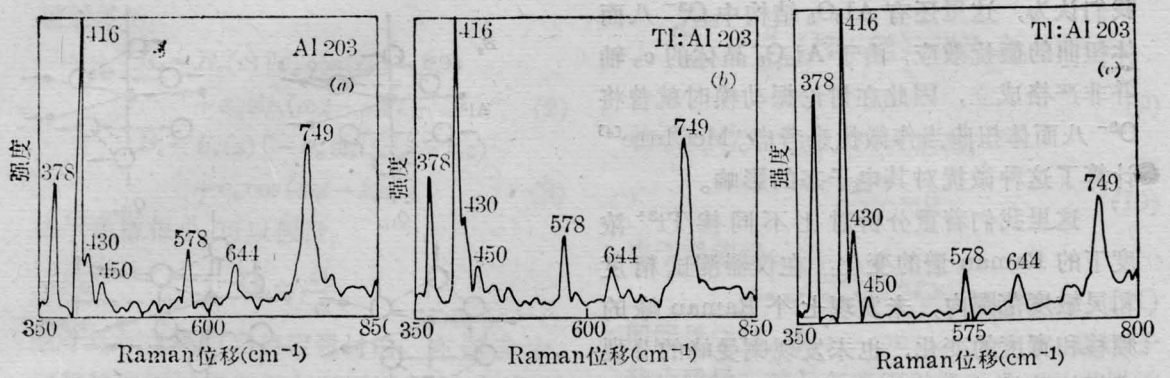


图1 Al_2O_3 和 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ 晶体 Raman 光谱图

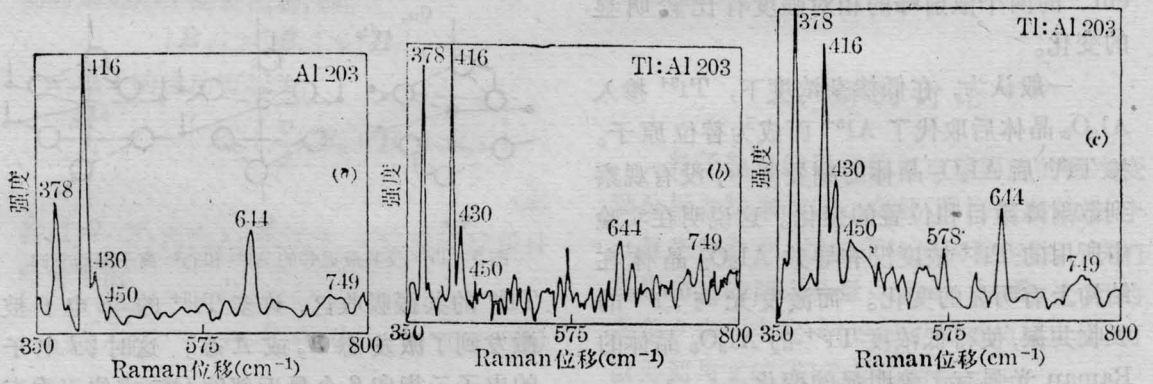


图2 Al_2O_3 和 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ 晶体 Raman 光谱图

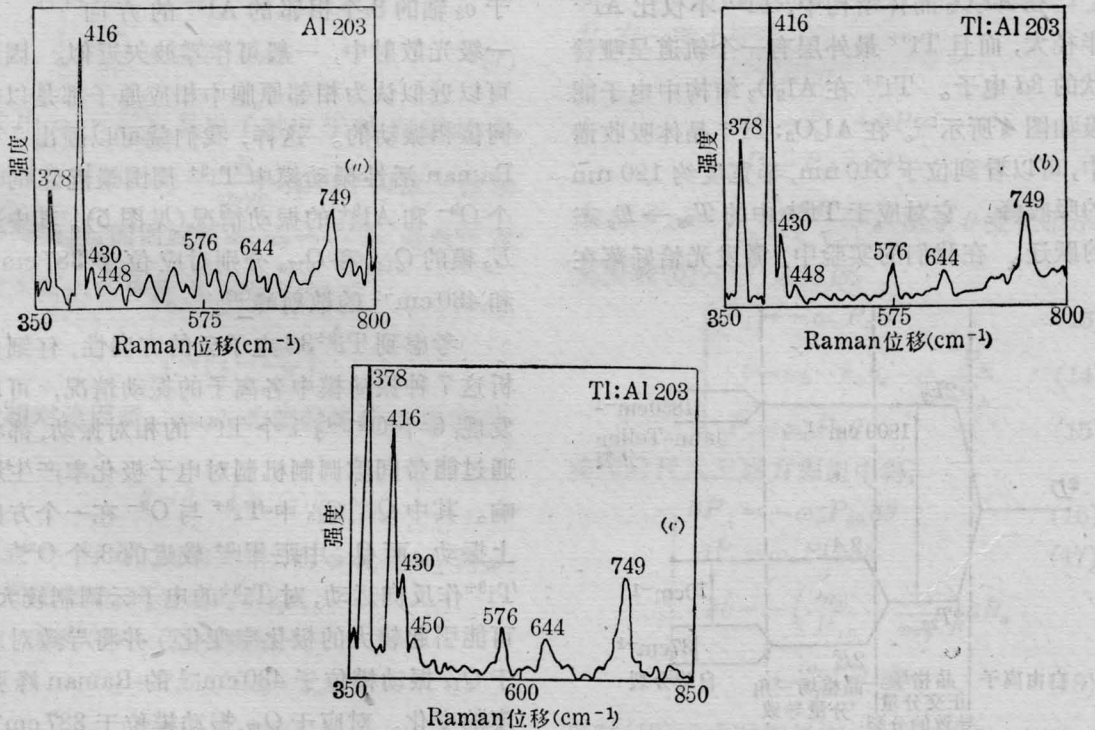


图3 Al_2O_3 和 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ 晶体 Raman 光谱图

我们认为, 这里还有 Al_2O_3 结构中 O^{2-} 八面体扭曲的微扰效应, 由于 Al_2O_3 晶体的 c_3 轴并非严格成立, 因此在讨论振动模时就曾将 O^{2-} 八面体扭曲当作微扰来考虑。McClure^[4] 计算了这种微扰对其电子态的影响。

这里我们着重分析对比不同掺 Ti^{3+} 浓度下的 Raman 谱的变化: 在仪器测试精度和灵敏度范围内, 未发现七个 Raman 峰的频移和宽度的变化, 也未发现喇曼峰的分裂或新的散射峰。只有位于 387 cm^{-1} 和 430 cm^{-1} 的两个散射峰的相对强度有比较明显的变化。

一般认为, 在低掺杂浓度下, Ti^{3+} 掺入 Al_2O_3 晶体后取代了 Al^{3+} 而成为替位原子。掺 Ti^{3+} 后 Al_2O_3 晶体的喇曼谱中, 没有观察到散射峰数目和位置的变化。这说明在实验中所用的 Ti^{3+} 浓度没有导致 Al_2O_3 晶体在结构上有明显的变化。而激发光与 Ti^{3+} 的吸收共振, 使得低浓度 Ti^{3+} 的 Al_2O_3 晶体的 Raman 光强有了较明显的变化。

在 Al_2O_3 晶体结构中, Ti^{3+} 不仅比 Al^{3+} 半径大, 而且 Ti^{3+} 最外层有一个轨道呈哑铃状的 $3d$ 电子。 Ti^{3+} 在 Al_2O_3 结构中电子能级如图 4 所示^[5]。在 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ 晶体吸收谱中, 可以看到位于 510 nm , 半宽度约 120 nm 的吸收峰。它对应于 Ti^{3+} 中的 $T_{2g} \rightarrow E_g$ 态的跃迁。在我们的实验中, 激发光恰好落在

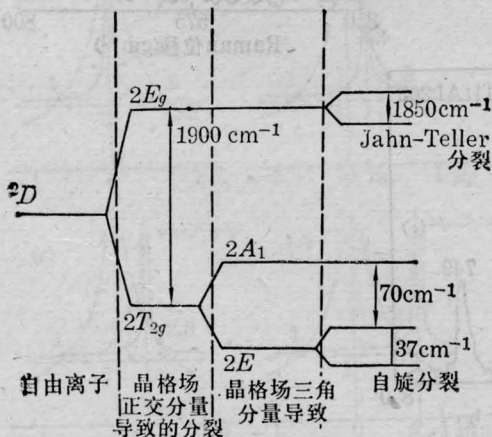


图 4 $\text{Ti}^{3+}3d$ 电子在 Al_2O_3 中的能级图

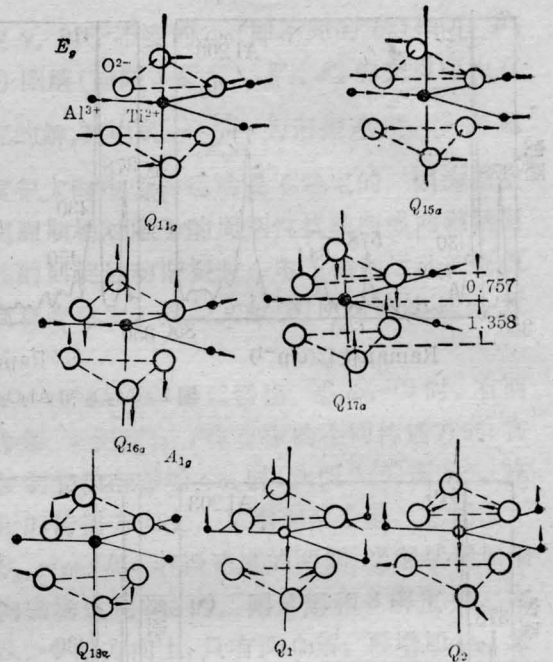


图 5 Ti^{3+} 及其最近邻的 Al^{3+} 和 O^{2-} 离子振动方向

Ti^{3+} 的共振吸收区, 许多 Ti^{3+} 的 $3d$ 电子被激发到了激发态 E_g 或 A 态。这时 $3d$ 电子的电子云指向 6 个最近邻的 O^{2-} 或位于垂直于 c_3 轴的 3 个相邻的 Al^{3+} 的方向^[6,7]。在一级光散射中, 一般可作零波矢近似。因而可以近似认为相邻原胞中相应原子都是以相同位相振动的。这样, 我们就可以画出 7 个 Raman 活性振动模中 Ti^{3+} 周围最近邻的 6 个 O^{2-} 和 Al^{3+} 的振动情况(见图 5)。其中属 E_g 模的 Q_{14a} 和 Q_{17a} 分别对应位于 387 cm^{-1} 和 430 cm^{-1} 的散射峰^[2]。

考虑到 $\text{Ti}^{3+}3d$ 电子云的方向性, 仔细分析这 7 种振动模中各离子的振动情况, 可以发现: 6 个 O^{2-} 与 1 个 Ti^{3+} 的相对振动, 都将通过能带间隙调制机制对电子极化率产生影响。其中 Q_{14} 、 Q_{15} 中 Ti^{3+} 与 O^{2-} 在一个方向上振动。而 Q_{14} 中距 Ti^{3+} 最近的 3 个 O^{2-} 与 Ti^{3+} 作反向运动, 对 Ti^{3+} 的电子云调制较大, 可能引起较大的极化率变化, 并将导致对应于 Q_{14} 振动模位于 430 cm^{-1} 的 Raman 峰强度的变化。对应于 Q_{17} 振动模位于 387 cm^{-1} 的 Raman 强度的增加, 我们认为这是由于在

Q_{17} 中, O^{2-} 在沿 z 轴方向振动时, 恰好将它对 $x-y$ 平面内 $Ti^{3+}-Al^{3+}$ 电子云耦合的屏蔽作用减弱, 使 $Ti^{3+}-Al^{3+}$ 相互作用加强, 从而通过能带间隙调制和波函数重叠机制导致了极化率变化而引起的。

上海交大晶体生长研究室李平、杨洪宁等同志提供了样品; 固体物理教研室浦远同志在实验过程中与我们进行了十分有益的讨论, 在此表示感谢。

参 考 文 献

1 Albrecht Geong F, Eggleston J M *et al.* *Tunable*

Solid Laser, Vol. 10, 68~72, 73~75

- 2 Porto S P S, Krishnan R S. *J. Chem. Phys.*, 1967; **47**(3): 1009
- 3 Barker A S. *Phys. Rev.*, 1963; **132**(4): 1474
- 4 McClure Donald S. *J. Chem. Phys.*, 1962; **36**(10): 2757
- 5 Nelson E D, Wono J Y *et al.* *Phys. Rev.* 1967; **156**(2):198
- 6 Mooradian, Raccach P M. *Phys. Rev. B*, 1971; **3**(12): 4253
- 7 Goodenough John B. *Phys. Rev.*, 1967; **164**: 768

(收稿日期: 1986年11月3日)

激光印刷机扫描光学系统的成像质量分析与研究

陈 海 清

(华中工学院)

Analysis and study on image quality of scanning optical system for laser printers

Chen Haiqin

(Huazhong Institute of Technology, Wuhan)

Abstract: Primary factors affecting image quality of scanning optical system are analyzed, relations between the configuration of the scanning lens composed of five lenses and the aberrations are studied. The scanning lens has the features of small F number, wide field of view, and a linear error of less than 0.2%.

一、引 言

随着计算机的日益普及, 对于印刷输出系统提出了更苛刻的要求: 工作可靠、速度快、印字质量好、噪音小等等。激光印刷机在速度方面提高了十几倍, 可使用普通纸。印字质量在很大程度上取决于扫描光学系统的成像质量, 在采用物镜前扫描方式的系统中, F-Q 透镜和旋转多面体都是关键部件。

在幅面较大、像素较多的扫描系统中, 一般采用旋转多面体扫描。棱柱多面体适用于多线扫描。旋转多面体扫描准确度高, 具有良好的线性。但处于高速工作状态时, 需要一个由机械系统内部高惯性所限制的不易变形的多面体。线性扫描为单向性,

扫描场为矩形。

二、成像特点与成像质量分析

在激光扫描系统中, 实际像高度和理想像高度之差与理想像高度的百分比定义为失真或线性误差:

$$\begin{aligned} \text{线性误差} &= \frac{f \operatorname{tg} \theta - f \theta}{f \theta} \times 100\% \\ &= \left(\frac{\operatorname{tg} \theta}{\theta} - 1 \right) \times 100\% \end{aligned}$$

光束扫描线速度是像高对时间的导数。当扫描光束以恒定角速度旋转时(旋转多面体), 扫描速度失真为: