

用“Z-scan”方法测钽酸铋的三阶非线性折射率

崔传鹏 张雨东 庄欣欣 唐鼎元 毛宏伟
(中国科学院福建物质结构研究所 福州 350002)

提要 用“Z-scan”方法对沿[100]与沿[001]方向切割的钽酸铋晶体的非线性折射率进行了测量,发现其非线性折射率的大小基本相同,但符号相反。

关键词 非线性折射率, 纵向扫描, 钽酸铋

1 引言

介质的非线性折射率的测量可采用非线性干涉法^[1,2]、简并四波混频法^[3]、椭圆偏振法^[4]以及光束畸变^[5]等方法。前三种方法是利用非线性干涉原理,灵敏度虽然高一些,但是所用仪器比较复杂,不能得到非线性折射率的正负号;后一种方法虽然所需实验条件简单,但必须对光束进行详尽的波动分析,测量的精确度也不如前三种高。本文采用单光束纵向扫描方法^[6]测量非线性折射率,它不仅所需设备简单、理论分析明了、结果处理方便、精确度高,更为重要的是还可以从中得到非线性折射率的正负号。

2 实验及理论分析

如图 1 所示,采用的泵浦光源是法国 Quantal 公司生产的 ps 激光器,输出脉宽为 35 ps,波长为 1064 nm,功率稳定度 $\leq \pm 3\%$,用 χ 类 BBO 晶体将其倍频后,得到 532 nm 的绿光,用阿贝镜(B-P)将这两束光色散开,光阑(slit)将 1064 nm 的光滤去;绿光经直角棱镜(prism)偏折 90°后,穿过一个可调节光强的偏振器(P),然后用一块 532 nm, 45°半透半反分光镜(BS)将绿光分为两束。反射光被硅光电池 D_1 接受,转换为电信号输入(Digital Oscilloscope)示波器作为参考信号;透过的光束经焦距为 25 cm 的正透镜(L)会聚后入射到样品(Sample)上,透过光束经远场处小孔(aperture)后,被硅光电池 D_2 接受,转换为电信号输入同一示波器。在示波器上可同时读到两束光强值。

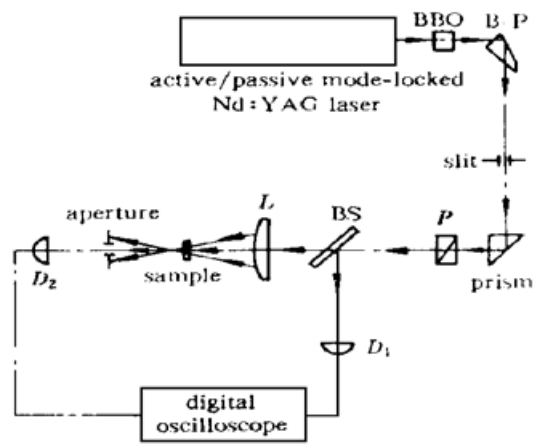


图 1 纵向扫描的实验装置图
Fig. 1 The Z-scan experimental setup

当样品从 $-Z$ 方向向焦点移动时, 由于正透镜的会聚作用, 使得入射到样品表面的光强逐渐增大, 在晶体中引起自作用(自散焦或自聚焦效应); 样品移过焦点后入射到样品表面的光斑逐渐增大而光强逐渐减小, 最终自作用消失。这样, 样品在焦点附近移动时就象一个焦距可变的透镜。假设晶体具有负的非线性折射率(自散焦效应), 它在 $-Z$ 方向与正透镜组成一个类准直系统, 使光束在远场处变细, 小孔后硅光电池 D_2 接受到的光强增大, 其透过率就会出现一个最大值(峰 T_p); 样品移过焦点后其自散焦作用会使光束更加发散, 小孔后硅光电池 D_2 接受到的光强减小, 其透过率就会出现一个最小值(谷 T_v), 透过率曲线为先峰后谷。样品在远离焦点时由于光强相对较低不能引起自作用(自散焦或自聚焦效应), 两个探头得到的信号比大约是一常数。假若样品具有正的非线性折射率(自散焦效应)则在透过率曲线中先出现波谷后出现波峰。

3 结果分析

我们用单脉冲能量为 0.09 mJ, 波长为 532 nm 的光入射到 $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 0.9 \text{ mm}$ [100] 方向的钽酸铋晶体上, 得到归一化透过率^[6]曲线如图 2; 单脉冲能量为 0.085 mJ 的 532 nm 光入射到 $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 0.9 \text{ mm}$ [001] 方向的钽酸铋晶体上得到归一化透过率曲线如图 3, 在图 2, 3 中黑色方块为实验数据点, 黑色小圆点为拟合后的数据点。小孔的透过率^[6] $S = 1 - \exp(-2r_a^2/\omega_s^2) = 0.00778$; r_a 为小孔半径, ω_s 为小孔处的光斑半径, 峰值功率分别为 $1.69 \times 10^{13} \text{ W/m}^2$, $1.59 \times 10^{13} \text{ W/m}^2$ 。非线性折射率可由下列公式推知^[1]

$$\Delta T_{p-v} = 0.406(1 - S)^{0.25} |\Delta \Phi|$$

$$\Delta \Phi_{(t)} = \kappa \cdot \Delta n_0(t) \cdot L_{\text{eff}} = \kappa \cdot \gamma \cdot I_0(t) \cdot L_{\text{eff}}$$

$$n_2(\text{esu}) = (c \cdot n_0 / 40\pi) \cdot \gamma (\text{m}^2/\text{W})$$

其中波矢 $\kappa = 2\pi/\lambda$; γ 为三阶超极化率, λ 为光波波长; 样品有效长度 $L_{\text{eff}} = [1 - \exp(-\alpha L)]/\alpha$, L 为样品厚度; α 为样品的线性吸收系数; $I_0(t)$ 为焦点处的功率密度; n_0 为晶体的线性折射率; 光在真空中的传播速度 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$; $\Delta T_{p-v} = T_p - T_v$ 可由归一化透过率曲线得到, 在 [100] 方向 $\Delta T_{p-v} = 1.08$, 在 [001] 方向 $\Delta T_{p-v} = 1.2$, 其精确度可控制在 5% 以内。这样由

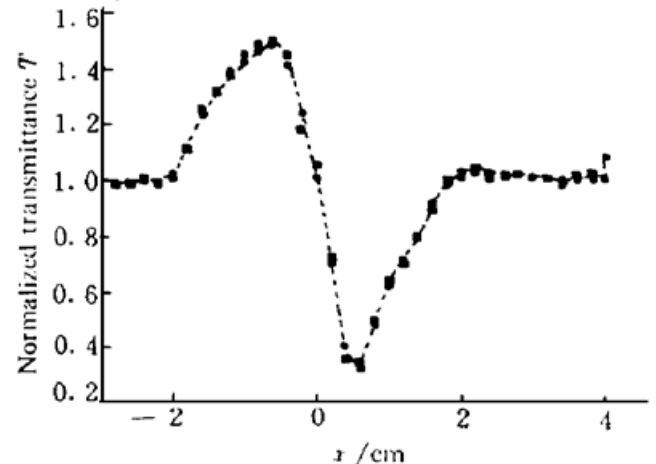
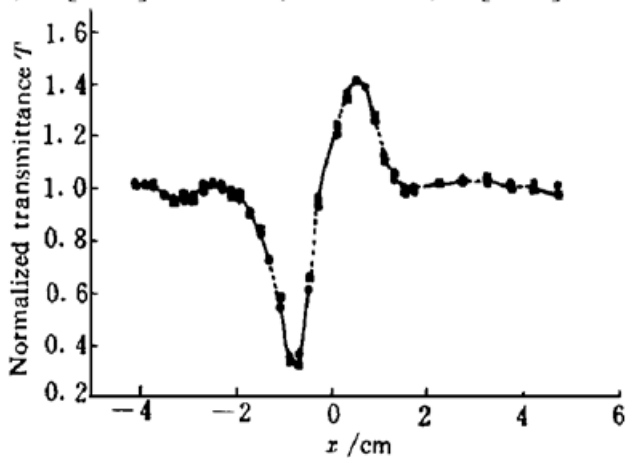


图 2 归一化透过率 (ΔT) 纵坐标与样品(钽酸铋沿 [100] 方向切割) 距焦点位置横坐标的关系曲线。0 点为样品在焦点时的归一化透过率 (ΔT)

图 3 归一化透过率 (ΔT) 纵坐标与样品(钽酸铋沿 [001] 方向切割) 距焦点位置横坐标的关系曲线。0 点为样品在焦点时的归一化透过率 (ΔT)

Fig. 2 Normalized transmittance versus position x of a sample

Fig. 3 Normalized transmittance versus position x of a sample

计算得知, [100] 方向的非线性折射率 $n_2 = 8.7 \times 10^{-10}$ esu; [001] 方向的非线性折射率 $n_2 = -8.953 \times 10^{-10}$ esu。用此方法测三阶非线性折射率, 其精确度由激光器的功率稳定度及 ΔT_{p-v} 决定, 这样非线性折射率的精确度可保持在 10% 以内。

非线性折射率来源于^[1]纯粹电子过程、振动过程、电致伸缩过程、热过程。它们的响应时间分别为 10^{-15} s, 10^{-13} s, 10^{-8} s, $10^{-6} \sim 10^{-1}$ s。测钒酸钇的 n_2 所用脉宽为 35 ps, 所以引起三阶非线性效应的只可能是纯粹电子过程及振动过程。测量钒酸钇的 n_2 时, 光强在 7.5 GW/cm^2 时就引起了三阶非线性效应, 这是由于晶体内的纯粹电子过程及振动过程受强光电场的作用引发的。若是继续增加入射到晶体表面的光强, 过强纯粹电子过程及振动过程将引起晶体结构的破坏, 因此引起晶体产生三阶非线性效应光强, 可以作为由纯粹场致引起晶体损伤阈值的参考值。

致谢 中国科学院福建物构所的蒋捷博士及福晶公司的陈秋华、孙德玲同志对本文的工作给予了很大的支持, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 M. J. Weber, D. Milam, W. L. Smith. Nonlinear refractive index of glasses and crystals. *Opt. Eng.*, 1978, **17**(5): 463~ 469
- 2 M. J. Moran, C. Y. She, R. L. Carman. Interferometric measurements of nonlinear refractive-index coefficient relative to CS₂ in laser-system-related materials. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1975, **QE-11**(6): 259~ 263
- 3 S. R. Friberg, P. W. Smith. Nonlinear optical glasses for ultrafast optical switches. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1987, **QE-23**(12): 2089~ 2094
- 4 A. Owyong. Ellipse rotation studies in laser host materials. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1973, **QE-9**(11): 1064~ 1069
- 5 W. E. William, M. Jsoileau, E. W. Van Strayland. Optical switches and n_2 measurements in CS₂. *Opt. Commun.*, 1984, **50**: 256~ 260
- 6 M. Sheik-Bahae, A. A. Said, Tai-Huei Wei *et al.*. Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1990, **26**(4): 760~ 769

Z-scan Measurement of Nonlinear Refractive Indexes of YVO₄ Crystal

Cui Chuanpeng Zhang Yudong Zhuang Xinxin Tang Dingyuan Mao Hongwei
(Fujian Institute Of Research on the Structure of Matter, The Chinese Academy of Sciences, Fuzhou 350002)

Abstract The pure yttrium orthovanadate crystal has been widely used in polarizing optics such as beam splitters, prism polarizers and optical isolators. The measurement of the nonlinear refractive index is an important method for the study of the nonlinear optical quality and investigation of optical inherent damages in crystal. We have measured the nonlinear refractive indexes of a YVO₄ crystal along the orientations of [100] and [001] by the “Z-scan” method, and found that the nonlinear refractive indexes are generally equal but opposite.

Key words nonlinear refractive index, Z-scan, YVO₄