

三硼酸锂晶体的多光子散射

黄旭光 钟 安 李庆行 余振新
(中山大学 激光与光谱学研究所, 广州)

提 要

本文报道三硼酸锂(LBO)晶体的瞬态前向相干多光子散射, 实验表明 LBO 晶体内部同时发生 $\chi^{(2)}$ 和 $\chi^{(3)}$ 非线性相互作用过程, 而未发现光耦合效应, 测量了 LBO 晶体的光栅寿命上限。

关键词: 前向相干多光子散射; LBO 晶体。

一、引 言

三硼酸锂(LiB_3O_5)是一种具有较大非线性系数和极高光损伤阈值的新型非线性晶体, 它的有效倍频系数是 KDP 的 3 倍, 激光损伤阈值高达 24 GW/cm^2 , 并具有非常宽的透光波段(吸收截止波长 160 nm)和较理想的角调谐半宽度。此外, 它还具有不易潮解, 化学性质稳定等特点, 因此对 LBO 晶体的研究有重要的实际意义, 人们已经在晶体生长、晶格常数、折射率、对称性、非线性极化系数等基本性质方面进行了大量的研究, 获得了高效率的倍频输出。本工作对 LBO 晶体进行了瞬态前向相干多光子散射的研究, 观察到多光子散射、入射光的共线和非共线倍频等多种非线性过程同时存在的现象, 测量了 LBO 晶体的光栅寿命, 另外, 实验上未观察到光耦合效应。

二、实 验

实验装置如图 1 所示, 由锁模 YAG 激光器产生的脉冲串经单脉冲选取, 一级放大和 KDP 倍频后, 输出一个脉宽为 90 ps 、基频光($1.06 \mu\text{m}$)约 5 mJ 、倍频光($0.53 \mu\text{m}$)约 1 mJ 的单脉冲, 此光束被对 $1.06 \mu\text{m}$ 高反、 $0.53 \mu\text{m}$ 高透的分束镜 BS1 分为 $0.53 \mu\text{m}$ 和 $1.06 \mu\text{m}$ 两束, 其中 $0.53 \mu\text{m}$ 光束经滤波片、反射镜、棱镜可变延迟器 VD2 等后作为探测光束 3, 而 $1.06 \mu\text{m}$ 光束经分束镜 BS2 分为能量大约相等的两束(束 1 和束 2)作为激励光。其中光束 1 经过另一可变延迟器 VD1。三束光分别由长焦距透镜以小的夹角聚焦在样品同一点上, 时间上的重合, 可以通过调节 VD1 和 VD2 来实现。能量计 D1 监测激励光能量, 信号光强度用快速光电二极管接收, 并在快速采样示波器上显示。移动棱镜 VD, 从而可测量前向散射波光强度随延迟时间变化的规律, 给出有关时间参数, 多级散射图样由照相记录。

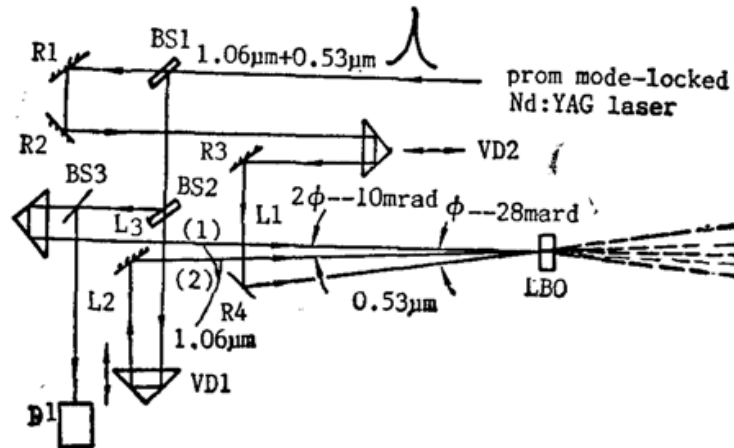


Fig. 1 Experimental setup for Multiphoton Scattering

BS1: $R=1$ at $1.06 \mu\text{m}$, $T=1$ at $0.53 \mu\text{m}$; BS2: $R=0.5$ at $1.06 \mu\text{m}$; F1: $0.53 \mu\text{m}$ cutting filter; F2: $1.06 \mu\text{m}$ cutting filter; R1~R5: reflector; L1: $f=70 \text{ cm}$; L2, L3: $f=100 \text{ cm}$; D: detector

三、结果与讨论

1. 双光束情形

在图 1 装置中, 挡掉 $0.53 \mu\text{m}$ 探测光, 只让两束 $1.06 \mu\text{m}$ 光通过并同时到达 LBO 晶体。结果在观察屏上出现随 LBO 晶体取向和入射光偏振方向变化而变化的多个绿光 ($0.53 \mu\text{m}$) 点: (见图 2 所示)。

(1) 入射光偏振方向相互垂直时, 只出现三个绿光点(即 $0, \pm 1$)。当晶体取向对某束入射光满足倍频最佳角度时, 该光束出射方向的倍频绿光点最亮。

(2) 入射光偏振方向相同时, 出现 $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$ 多级绿光点, 光强分布以 0 级最强, 向外逐级递减, 其相邻绿光点的夹角均等于两 $1.06 \mu\text{m}$ 入射光束夹角之半, 当晶体取向满足倍频匹配条件时, 散射图样最为明亮。

(3) 利用 JR85 滤波片滤掉可见光, 并换上红外上转换片观察 $1.06 \mu\text{m}$ 光的多光子散射, 当入射光偏振相互平行时, 出现与图 2 的 $\pm 1, \pm 3$ 级方向重合的四个 $1.06 \mu\text{m}$ 光点(即 $+1', 0', -1', -2'$ 级), 它们相邻的夹角等于 $1.06 \mu\text{m}$ 入射光的夹角。

分析表明, 两束 $1.06 \mu\text{m}$ 基频入射光在 LBO 晶体内部同时发生了以下多种非线性相互作用过程:

(1) 两基频入射光各自作用所产生的共线倍频过程(从而出现 ± 1 级绿光), 以及两基频光共同作用所产生的非共线倍频过程(从而出现 0 级绿光)。

(2) 基频入射光的二重简并前向相干多光子散射过程, 各级散射光方向满足相位匹配条件:

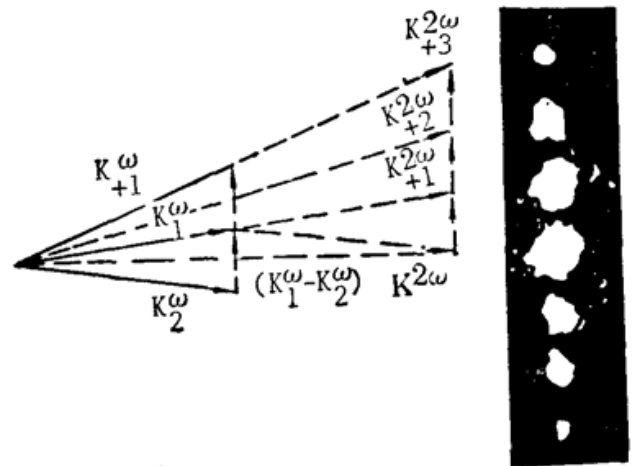


Fig. 2 Coupling diagram of wave-vectors

$$K_{\pm n}^{\omega} = K_1^{\omega} \pm n(K_1^{\omega} - K_2^{\omega}), \quad (1)$$

其中 $n=1', 2', 3', \dots$ 。

因而产生 $\pm 1', \pm 2', \dots$ 级的 $1.06 \mu\text{m}$ 光点, 其相邻散射光束的夹角等于入射光 K_1^{ω} 与 K_2^{ω} 的夹角。

(3) 非共线倍频光被两基频入射光形成的光栅所散射的过程, 各级散射光方向满足相位匹配条件:

$$K_{\pm n}^{2\omega} = K^{2\omega} \pm n(K_1^{\omega} - K_2^{\omega}), \quad (2)$$

其中 $|K^{2\omega}| = 2|K_1^{\omega}| = 2|K_2^{\omega}|, n=1, 2, 3, \dots$ 。

因而产生 $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ 级绿光点。其相邻的夹角为入射光 K_1^{ω} 与 K_2^{ω} 夹角之半。类似地, 还同时存在共线倍频光被两基频入射光形成的光栅所散射的过程。

至于两共线倍频与非共线倍频光的多光子散射过程, 不可能发生, 因为它们的能量要比基频光低一个数量级, 难以产生非线性效应。

可见, 当两束基频泵浦光入射到 LBO 晶体时, 在晶体内部发生了 $\chi^{(2)}$ 和 $\chi^{(3)}$ 等多种非线性效应混合作用的复杂过程, 这一有趣的现象在一般的非线性介质中是很少见到的。

当改变延迟器 VD1, 非共线倍频光强度随着两脉冲重叠部分的减少而降低, 测量倍频光强度随延迟时间的变化规律可以得到无背景的入射光脉冲的二阶相关函数, 从而可求出入射光脉冲的脉宽。图 3 是相应的实验曲线, 据此求出本实验激光的脉宽为 84 ps, 与用条纹相机直接测量的结果 90 ps 相符, 此外还利用该方法确定了两激发脉冲 1、2 的零延迟位置。

2. 三光束情形

在图 1 的装置中, 让三束光同时入射聚焦在样品上, 除了以上观察到的双束光产生的散射图样外, 当满足倍频条件时在探测光束 3 的外侧还出现另一个较弱的绿光点。利用 IR85 和红外上转换片证实在该点及附近不存在 $1.06 \mu\text{m}$ 光点, 这是探测光 ($0.53 \mu\text{m}$) 被两束 $1.06 \mu\text{m}$ 光所建立的光栅散射产生的。

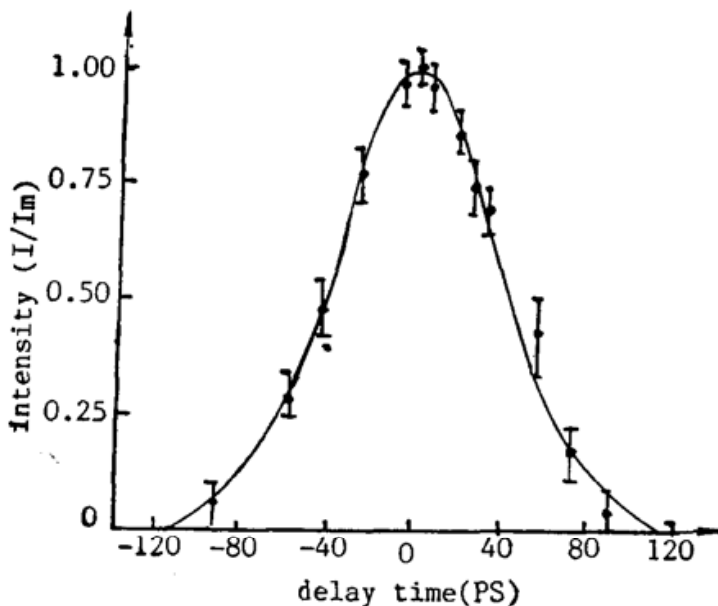


Fig. 3 The background-free double frequency signal vs delay time

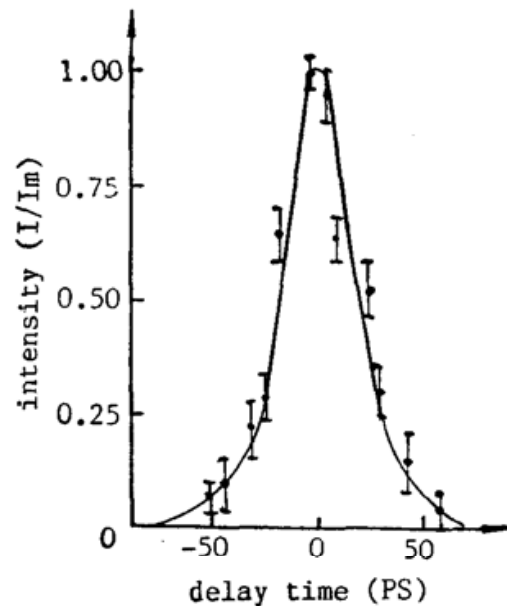


Fig. 4 Experimental curve for the intensity of scattered wave vs delay time

这是一种折射率光栅,是由于两激发光脉冲在晶体内部干涉形成周期性光场,对 LBO 晶体折射率产生了调制建立起来的,光栅振幅随时间不断弛豫,利用第三束光脉冲作为探测光栅散射本领的手段,散射光强度随延迟时间变化的规律即反映光栅的动力学过程。图 4 是相应的实验曲线,由此求出其 FWHM 为 35 ps。

当激光脉冲的相干时间远小于样品的光栅弛豫时间时,散射光强度随时间变化规律仅由光栅弛豫特性所决定^[1],可表为指数衰减函数,由此直接给出光栅寿命,当光脉冲相干时间接近光栅弛豫时间,散射光强变化规律是光栅弛豫函数与入射脉冲光场自相关函数的卷积,它具有不对称的延迟衰减形状,光栅寿命必须通过复杂的解卷积过程来获得,当光脉冲相干时间远大于光栅弛豫时间,散射光强演化规律仅反映有关入射光场的自相关特性,形状对称,其 FWHM 表示的是光脉冲相干时间,但我们仍然可以据此得到样品的光栅寿命上限。图 4 正是对应于这种情形,于是给出了光脉冲的相干时间 $T_c = 35$ ps,而由中度相位调制条件下的激光脉冲相干时间与脉冲宽度的关系^[2]:

$$T_c = (0.3 - 0.5) T_p, \quad (3)$$

估算本激光脉冲的相干时间为 27~45 ps,可见两者相符,因此在本实验系统的时间分辨率极限下,我们获得的是光脉冲相干时间 35 ps,并由此给出了 LBO 晶体的光栅弛豫时间上限为 35 ps,这表明 LBO 晶体的光栅寿命极短,在几个皮秒甚至更短,更精确的结果有待于进一步提高系统的时间分辨本领来达到。

此外,还对 LBO 晶体进行了双光束耦合放大的实验研究。结果表明,无论多大的光强比例,LBO 晶体对 1.06 μm 或 0.53 μm 光均无光耦合效应存在。

感谢朱荣同志在实验中给予技术帮助,感谢福建物质结构研究所提供 LBO 晶体。

参 考 文 献

- [1] A. M. Weinei, S. De. Silvestri *et al.*; *J. O. S. A. (B)*, 1985, 2, No. 4 (Apr), 654.
 [2] M. A. Vasil'eva, J. Viskas *et al.*; *Opt. Comm.*, 1985, 53, No. 6 (Apr), 412.

Transient Coherent multiphoton scattering in new crystal LiB_3O_5

HUANG XUGUANG, ZHONG AN, LI QINGXING AND YU ZHENXIN
(Institute for Laser and Spectroscopy, Zhongshan University, Guangzhou)

(Received 20 November 1989)

Abstract

The transient coherent multiphoton forward scattering in crystal LiB_3O_5 has been studied. The experimental result has shown some nonlinear interaction processes ($\chi^{(2)}$ and $\chi^{(3)}$) in LBO. Moreover, the upper limit value of the grating lifetime of LBO has been measured and Optical Coupling Effect has not been observed.

Key words: the forward coherent multiphoton scattering; crystal LiB_3O_5 .