

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0175-02

## 固体材料中慢光现象的实验观测

掌蕴东, 范保华, 袁萍, 马祖光

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所可调谐激光技术国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要** 在室温下观测到了固体材料中的慢光现象,用氩离子激光(514.5 nm)单光束入射到红宝石晶体中,利用光谱烧孔使介质折射率发生急剧变化,导致光的群速变慢,实验上观测的时延为 2.317 ms,对应的光的群速值为 43.215 m/s。

**关键词** 激光物理; 光速变慢; 正常色散; 时延

**中图分类号** TN12

**文献标识码** A

### Primary Observation of Slow Light Propagation in Solid State Material

ZHANG Yun-dong, FAN Bao-hua, YUAN Ping, MA Zu-guang

(Harbin Institute of Technology, Institute of Opto-Electronics, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

**Abstract** Slow light propagation is initially observed in solid state materials at room temperature. The slowdown of light resulting from dramatic change of refractive index by spectral hole technique in Ruby at 514.5 nm is investigated. Measured delay is about 2.31ms, corresponding to group velocity as low as 43.215 m/s.

**Key words** laser physics; slowdown of light; normal dispersion; delay

近年来,使光脉冲穿过某些材料传播的群速变慢的所谓“慢光”现象已经引起极大的关注。M. M. Kash 等<sup>[1]</sup>在温度为 360K 的铷蒸气中实现了 90 m/s 的“慢光”,2000 年 S. H. Lin 等<sup>[2]</sup>研究了连续激光通过体位相光栅的铌酸锂(LiNbO<sub>3</sub>)光折变晶体后群速减小的实验现象,这是在常温下固体材料中得到的,具有很大的应用意义。2001 年 D. F. Phillips 等<sup>[3]</sup>报道了如何将光减速到零,并约束在 Rb 蒸气中长达 0.5 ms,这为光存储提供了技术可能性。

“慢光”的研究有其科学应用意义,至少目前为非线性光学研究提供了新的研究方向,可能用于光延时、光存储、光开关技术,以及量子信息系统远程相干通讯<sup>[4-6]</sup>等方面。

目前这些研究中,大多数实验利用非线性材料的共振响应,且用电磁感应透明技术来进行的。然而电磁感应透明技术并不是实现“慢光”的必要条件。电磁感应透明过程的主要作用是利用量子相干效应消除光波传播过程中介质的影响,即用外加的“控制或耦合光场”使不透明介质的原子共振线附近变成透明,以特殊频率和偏振的弱信号光场能够没有损耗地以降低了的群速穿过介质,而且电磁感应透明技术用于“慢光”的不足是探测和耦合激光必须

调谐并保持到共振能级的线芯上,对于上能级是宽能带结构的常温下固体材料,调谐到线芯是无意义的,这也是电磁感应透明技术用于常温下固体材料的主要障碍<sup>[7]</sup>,在上述诸多实现慢光的方法中,还存在影响其应用的一些因素,比如技术复杂、双光束、激光需要稳频、EIT 超冷原子需要超低温,设备昂贵,介质大多为气体等。

本项研究是用单束不需稳频的激光(自延迟),用光谱烧孔造成折射率的急剧变化,从而实现“慢光”,方法的优点是用固体材料、常温、单光束(自延时)、激光不需稳频、延时可控、装置简单、可实现高效探测。

### 1 实验研究

实验安排如下,用一个多模 Ar<sup>+</sup>激光器输出 514.5 nm 的激光,经过一个 LiNbO<sub>3</sub> 晶体的电光调制器,输出非正弦波脉冲,调制频率可调,输出的激光分成两束,一束为主光路,通过一个焦距为 40 cm 的透镜,然后射入长 10 cm 的红宝石晶体;另一束为参考光。透射的信号经光电探测器接收送入示波器,这样将输出端测得的信号与参考信号输入计算机作比较,比较时间上两个信号的延时,就可以计算

作者简介: 掌蕴东(1957-),男,哈尔滨工业大学光电子信息科学与技术系教授、博士生导师,主要从事激光光谱,超窄带光学滤波技术;金属有机聚合物和纳米材料的非线性光学响应;量子光学和非线性光学中的若干问题的研究。E-mail: ydzhang@hit.edu.cn

得出经过介质的群速大小。

图1是用示波器采集的波形,时间尺度为每格5ms,(a)和(b)分别是无样品和有样品时从主光路和参考光路测量的光脉冲波形。从图1(b)上可以明显看出,时间上的延迟是明显的。为了得到时间延迟的精确测量,采用数字示波器存储的数据文件来计算延迟并画图,如图2所示。

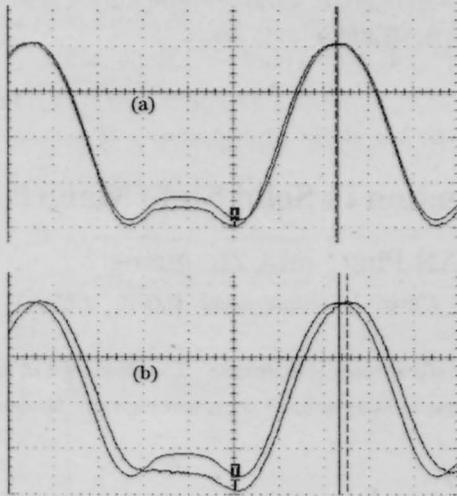


图1 示波器采集的图形。

(a) 无样品时,(b)有样品时,主光路与参考光路信号的波形

Fig.1 Measured the waveforms in an oscilloscope. signal waveforms from main optical path and reference

(a) without sample; (b) with sample

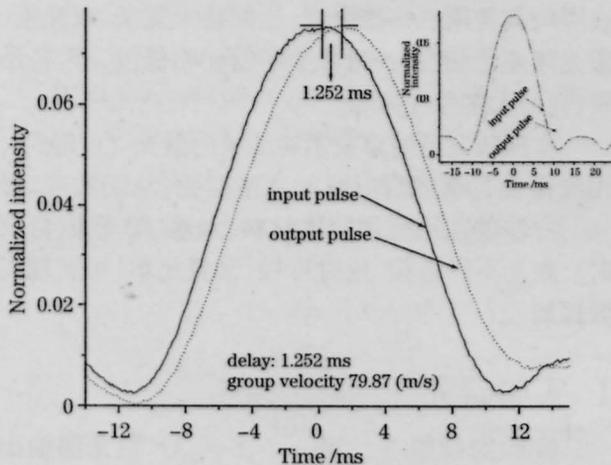


图2 实验结果 调制频率为 30 Hz

Fig.2 Measured result of modulation frequency of 30 Hz

实验上发现输出的慢光信号与入射光功率和拍频有关,在一定功率下,拍频越高,时延越小;在调制频率一定的条件下,输入功率越高,时延越大。如图3所示。

在我们的实验条件下,当输入功率过高时,调制晶体受热影响,输出波形变差,输出降低,而且输出功率不稳定。因此只取 125 mW 输入功率。

实验上观测出光的延迟从 127 ns 到 2.317 ms, 群速从 25.510 km/s 降到 43.215m/s。

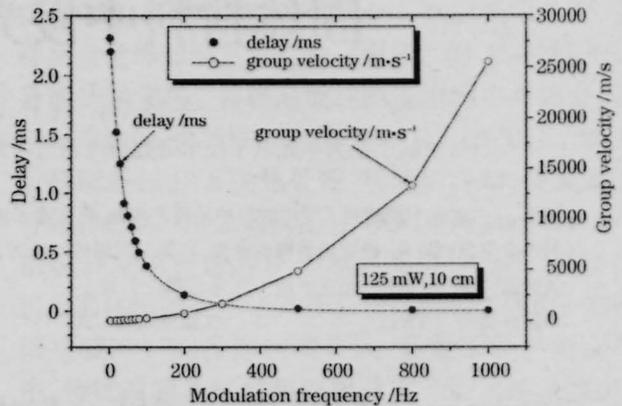


图3 入射功率一定条件下,脉冲时延与调制频率之间的关系

Fig.3 Observed pulse time delay as a function of the modulation frequency with an input power of 0.125 W

实验上还发现晶体距离焦点的不同位置,时延相差很大;而且光场与晶体相互作用的情况直接影响时延,即光速的变慢;相互作用最大,时延也最大,即光速最慢。

### 参考文献

- 1 M. M. Kash, V. A. Sautenkov, A. S. Zibrov *et al.*. Ultralow group velocity and enhanced nonlinear optical effects in a coherent driven hot atomic gas[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1999, **82**: 5229-5232
- 2 S. H. Lin, K. Y. Hsu, P. Yeh. Experimental observation of the slowdown of optical beams by a volume-index grating in a photorefractive LiNbO<sub>3</sub> crystal[J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**:1582-1584
- 3 D. F. Phillips, A. Fleischhauer, A. Mair *et al.*. Storage of light in atomic vapor[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 2001, **29**:783-786
- 4 J. E. Heener, R. W. Boyd. Slow light, induced dispersion, enhanced nonlinearity, and optical solitons in a resonator-array waveguide[J]. *Phys. Rev. E*, 2002, **65**:036619-1-036619-4
- 5 M. Kozuma, D. Akamatsu, L. Deng *et al.*. Steep optical-wave group reduction and "storage" of light without on-resonance electromagnetically induced transparency [J]. *Phys. Rev. A*, 2002, **66**:031801-1-031801-4
- 6 M. S. Bigelow, N. N. Lepeshkin, R. W. Boyd, Observation of ultraslow light propagation in Ruby crystal at room temperature [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 2003, **90**(11):113903-1-113903-4
- 7 L. Zhao, L. Tang, J. Xu *et al.*. Light speed reduction[J]. *Progress in Physics*, 2001, **21**(4):385-391  
赵丽娟,唐莉勤,许京军等.非线性光学效应于光速减慢[J]. *物理学进展*, 2001, **21**(4):385-391
- 8 J. Shen, L. Sun, J. Dai. What is the slowest group velocity of light?—An Introduction to developments of research on ultra-slow group velocity[J]. *Physics*, 2002, **31**(2):88-92  
沈京玲,孙立立,戴建华.光能够走多慢?——极慢光速研究若干进展[J]. *物理*, 2002, **31**(2):88-92