

光波位相耦合色散效应与固态介质中 室温下的光速调控

张国权^{1,2,†} 薄方¹ 董嵘¹ 涂燕飞¹ 许京军^{1,2}

(1 南开大学物理科学学院光子学中心 天津 300071)

(2 南开大学泰达应用物理学院 天津 300457)

摘要 文章介绍了作者利用光波位相耦合的色散效应调控光速的新机制,并利用光折变位相耦合的色散效应在室温下在 $\text{Bi}_{12}\text{SO}_{20}$ 晶体中实现极慢光速和超光速现象.进一步的研究表明,在 $\text{Bi}_{12}\text{SO}_{20}$ 晶体中传播的、由位相耦合色散效应引起的慢光和快光由于光折变光强耦合效应而得到了相干放大.

关键词 位相耦合,色散,光速,光折变

Dispersive effect of light phase coupling and group velocity control in solids at room temperature

ZHANG Guo-Quan^{1,2,†} BO Fang¹ DONG Rong¹ TU Yan-Fei¹ XU Jing-Jun^{1,2}

(1 Photonics Center, College of Physics Science, Nankai University, Tianjin 300071, China)

(2 TEDA Applied Physics School, Nankai University, Tianjin 300457, China)

Abstract A new mechanism to control the group velocity of light based on the dispersive effect of phase coupling has been developed, by means of which we have realized ultraslow and superluminal light propagation in photorefractive $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ crystal at room temperature through the photorefractive phase coupling effect. The ultraslow and superluminal light were shown to be amplified due to photorefractive intensity coupling in the crystal.

Keywords phase coupling, dispersion, group velocity, photorefraction

1 引言

光在真空中的传播速度约为 $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$,是物理学基本常数之一.光速的精确测定对于物理学有重要的意义,因此,人们在很早就开始了光速的测量工作.光的传播速度实际上有相速和群速之分:简而言之,相速是指单一频率的光波波前的传播速度,而群速则是指由许多频率成分组成的光波波包的传播速度.光的相速和群速在介质中传播时都将发生变化,甚至于可以通过某种技术进行调控.在本文中如无特殊说明,所讨论的光速均指光波波包传播的

群速.

对光的群速进行调控可分为光速加快^[1]和光速减慢^[2-9]两个方面,即所谓的超光速和慢光现象.光速调控技术取得突破性进展是在1999年,由哈佛大学 Hau 领导的小组报道^[2]了在超冷钠原子气体中利用电磁感应透明(EIT)效应^[3]产生了 17 m/s

* 国家自然科学基金(批准号:60308005,10334010)资助项目;教育部科学技术重点项目(批准号:164054);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(批准号:NCET-04-0234);教育部科技创新工程重大项目培育资金资助项目(批准号:704012);教育部重点实验室基金资助项目

2005-05-08 收到

† 通讯联系人 zhanggq@nankai.edu.cn

的慢光 随后在 2000 年 ,Wang 等人在铯原子气中实现了超光速现象^[11] ,由此引发了光速调控技术的研究热潮. 在以后的几年时间内 ,人们分别在常温原子气体中^[4,5] 和在超低温固态介质($\text{Pr}^{3+}:\text{YSO}$ 晶体)^[6] 中分别利用 EIT 效应实现了光速调控甚至于光脉冲的存储和再现. 最近 ,Bigelow 等^[7,8] 利用 $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ 和红宝石晶体中的量子相干布居振荡效应(quantum coherent population oscillations effects)在常温下实现了慢光和快光. 但是无论是慢光或者是快光 ,上述实验中信号光都会由于晶体的吸收而大大减弱甚至于变形. Podivilov 等^[9] 利用简并光折变两波耦合配置下 BaTiO_3 等晶体中的光脉冲放大延迟效应实现了 0.025 cm/s 的极慢光 ,然而在一般情况下 ,光脉冲经过晶体之后将严重变形. 光速调控技术及光速的精确测量不仅引起了人们对物理学基本理论的深入探讨 ,而且在光脉冲延迟、光信息存储、光局域技术、光信息处理等方面有着广泛的应用前景. 在本文中我们将介绍一种简单而有效的、利用光波非线性耦合过程中位相耦合过程的色散效应调控光速的新机制 ,并以具有强色散特性的光折变位相耦合效应为例 ,在室温下 ,在固态介质中 ,分别实现了极慢光速和超光速现象^[10-15] .

2 光折变光波位相耦合及其色散特性

自 1966 年贝尔实验室发现光折变效应以来 ,人们对各种电光材料的光折变效应进行了卓有成效的研究. 光折变效应是光致折射率变化效应的简称. 当光强空间分布不均匀的光幅照电光材料时 ,光将激发材料的缺陷或者杂质能级上的电子或者空穴至导带或者价带 ,这些光激发载流子在导带或者价带上由于浓度梯度而扩散 ,或者由于电场作用而漂移 ,或者由于光生伏特效应而运动迁移至其他地方 ,然后被那里的杂质或者缺陷俘获. 这种载流子的光激发、迁移和俘获过程不断重复进行 ,导致电荷的空间分离 ,最后达到一种动态平衡 ,形成与光强空间分布相对应的空间电荷密度的不均匀分布 ,从而形成了空间电荷场. 空间电荷场通过电光效应调制介质的折射率 ,在电光材料中形成折射率位相栅.

当空间不均匀的光强分布是两束相干光(一束抽运光 ,一束信号光)的干涉条纹时 ,将形成折射率正弦调制的光折变位相栅. 这种光折变位相栅将同时影响两束相干光在电光材料中传播时的位相和光

强变化 ,其效果可由耦合波方程描述^[10,11] :

$$\frac{\partial I_s}{\partial r} = \Gamma_{in} \frac{I_s I_p}{I_s + I_p} - \alpha I_s , \quad (1)$$

$$\frac{\partial \Phi_s}{\partial r} = \Gamma_{ph} \frac{I_p}{I_s + I_p} , \quad (2)$$

其中 I_s 和 Φ_s 分别为信号光的光强和位相 , I_p 为抽运光的光强 , Γ_{in} 和 Γ_{ph} 分别是光强耦合系数和位相耦合系数(与光致空间电荷场有关) , α 为晶体在工作波长处的吸收系数 , r 为光在电光材料中的传播距离. (1)式和(2)式分别称为信号光的光强耦合方程和位相耦合方程 ,其耦合强度分别由光强耦合系数 Γ_{in} 和位相耦合系数 Γ_{ph} 来表征. 在抽运非耗尽近似下 ,上述方程的解可简单表示成 :

$$I_s(r) = I_s(0) \exp((\Gamma_{in} - \alpha)r) , \quad (3)$$

$$\Phi_s(r) = \Gamma_{ph} r + \Phi_s(0) , \quad (4)$$

其中 $I_s(0)$ 和 $\Phi_s(0)$ 分别是在入射面处信号光的光强与位相. (4)式表示的是信号光由于位相耦合效应而引起的位相变化. 信号光波在介质中传播时总的位相变化可表示成 :

$$\Phi_s(r) = \Gamma_{ph} r + k_s r - \omega_s t + \Phi_s(0) , \quad (5)$$

其中 k_s (k_p) 为信号光(抽运光)的波矢 , ω_s (ω_p) 为信号光(抽运光)的角频率.

由于光折变效应涉及到光激发载流子的输运和重新分布 ,所以光折变过程是一个慢响应过程. 然而正是由于光折变效应的慢响应特性 ,使得光折变两波耦合具有很高的色散特性 ,即耦合系数 Γ_{in} 和 Γ_{ph} 强烈依赖于两耦合波之间的频率差 $\Omega = \omega_s - \omega_p$. 这是因为当两耦合光波之间存在频率差 Ω 时 ,所形成的干涉条纹是运动条纹. 如果干涉条纹运动太快 ,材料对光强空间分布的响应将跟不上光强的变化 ,从而使耦合强度大大降低. 对于两耦合波之间的光强耦合过程的色散效应在过去已经研究得很多了 :比如利用光强耦合过程的色散效应和运动光栅技术 ,可以在 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) 、 $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ 等晶体中实现弱光的相干放大^[16-18] . 然而对于位相耦合过程的色散特性则几乎没有任何报道. 我们发现 ,光折变位相耦合过程也具有很高的色散特性. 图 1 是信号光和抽运光在 BSO 晶体中进行两波耦合时 ,在抽运非耗尽近似下 ,位相耦合系数 Γ_{ph} 的理论计算色散曲线. 计算中用到的有关 BSO 晶体的参数和实验参数见表 1. 可以看到 , Γ_{ph} 随两耦合波之间的频率差 Ω 变化非常剧烈 ,在曲线的中间区域 , Γ_{ph} 具有非常陡的正色

散斜率,而在曲线的两端则具有负色散斜率.利用光折变位相耦合过程中位相耦合系数 Γ_{ph} 的这种强色散特性,我们可以在 BSO 晶体中分别实现极慢光速和超光速现象.

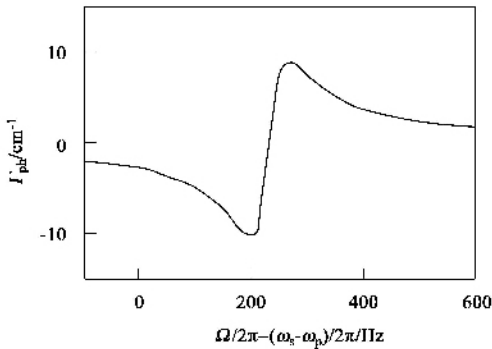


图1 BSO 晶体中进行两波耦合时位相耦合系数 Γ_{ph} 的典型色散曲线

计算中所用到的 BSO 晶体的参数和实验条件见表 1. 表 1 为典型的 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) 晶体参数和实验条件参数. 其中 N_D 为杂质数密度, N_A 为补偿电荷的数密度, ϵ 为相对介电常数, n_b 为背底折射率, r_{eff} 为有效电光系数, μ 为光激发载流子的迁移率, s 为杂质光离化截面, γ 为光激发载流子与杂质陷阱的复合率, λ 为工作波长, Λ 为光栅间隔, I_0 为总入射光强, E 为外加直流电场.

表 1 典型的 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) 晶体参数和实验条件参数

| N_A/m^{-3} | N_D/m^{-3} | ϵ | n_b | $r_{\text{eff}}/\text{pmV}^{-1}$ | $\mu/\text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|--|
| 10^{22} | 10^{25} | 56 | 2.62 | 3.4 | 10^{-5} |
| $s/\text{m}^2\text{J}^{-1}$ | $\gamma/\text{m}^3\text{s}^{-1}$ | λ/nm | $\Lambda/\mu\text{m}$ | $I_0/(\text{W}/\text{m}^2)$ | $E/(\text{KV}/\text{cm})$ |
| 1.06×10^{-5} | 1.65×10^{-17} | 532 | 21.3 | 10^4 | 8 |

3 光速变化及其调控

我们知道,当一束光在介质中传播时,如果没有位相耦合效应,其相对位相的变化可以用下式表示:

$$\Phi_s(\omega_s, r, t) = k_s r - \omega_s t. \quad (6)$$

因此,光在介质中传播的群速 v_g 可表示为

$$v_g = \frac{d\omega_s}{dk_s} = \frac{c}{n + \omega_s \frac{dn}{d\omega_s}}, \quad (7)$$

其中 c 为光在真空中的传播速度, n 为介质在工作波长处的折射率. 另一方面,在有位相耦合效应存在的情况下,在光折变介质中,传播的光波的相对位相变化可由 (5) 式给出. 依据同样的原理,此时光在介

质中的传播群速 v_g 可表示为:

$$v_g = \frac{c}{n + \omega_s \frac{dn}{d\omega_s} + c \frac{d\Gamma_{ph}}{d\omega_s}}, \quad (8)$$

即光在介质中传播的群速不仅与介质的折射率色散特性有关,而且还与位相耦合系数的色散特性有关. 对于一般的光折变材料来说,介质的折射率色散在可见光波段可以忽略不计,而我们在图 1 中已经看到,位相耦合系数 Γ_{ph} 具有很强色散,因此 (8) 式可以进一步简化为

$$v_g \approx \left(\frac{d\Gamma_{ph}}{d\omega_s} \right)^{-1}. \quad (9)$$

(9) 式告诉我们,当存在具有强色散特性的位相耦合效应时,信号光在介质中的传播群速主要由位相耦合系数的色散斜率的倒数所决定. 如果位相耦合系数具有正的色散斜率,则可以实现慢光;如果位相耦合系数具有负的色散斜率,则可以观察到超光速现象. 图 2 给出了在位相耦合系数 Γ_{ph} 具有正色散斜率情况下信号光在 BSO 晶体中的传播群速. 理论计算中所用到的参数见表 1. 可以看到,利用 BSO 晶体的光折变位相耦合色散效应,理论上可以实现以 cm/s 速度传播的慢光.

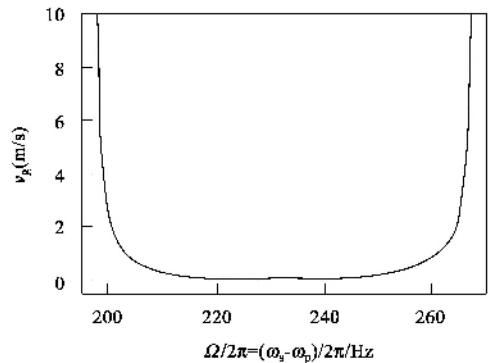


图2 在位相耦合系数具有正色散斜率情况下,信号光在 BSO 晶体中传播群速随耦合光波之间频率差的变化关系(理论计算中所用到的晶体参数和实验条件见表 1)

3.1 光速的测量

我们利用光强调制技术测量了在有强色散位相耦合效应时,在 BSO 晶体 ($5.7\text{mm} \times 5.2\text{mm} \times 5.7\text{mm}$) 中传播的光波群速. 实验装置见图 3. 实验中所用的激光来自于一个常规固体激光器,工作波长为 532nm . 这一光束被一分光棱镜分为两束,其中光强较强一束为抽运光,光强较弱一束为信号光. 我们用一个以锯齿波电压驱动的压电陶瓷镜 PZ1 将抽运光的角频率移动 Ω , 然后使之入射到晶体上,并近

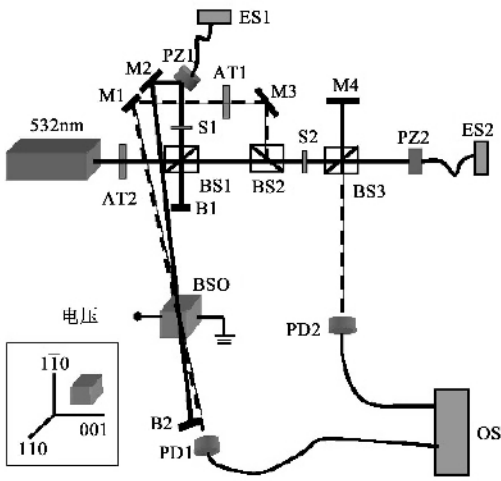


图3 利用光强调制技术测量光速的实验装置示意图. 其中 AT1 为中性密度衰减片, BS1 为分光棱镜, ES1 为锯齿波驱动电源, PZ1 为压电陶瓷镜, M1 为平面反射镜, B1 为挡光板, S1 为快门, PD1 为光电探头, OS 为存储示波器. 插图显示了 BSO 晶体在波耦合实验中的相对取向

似沿晶体的 $1\bar{1}0$ 方向传播. 信号光为一束光强正弦调制的弱光, 它由一个迈克尔孙干涉仪产生. 我们将迈克尔孙干涉仪的一个干涉臂的平面反射镜, 用另一个以锯齿波电压驱动的压电陶瓷镜 PZ2 来代替, 这样, 我们就可以稍微移动一下该干涉臂上的光的角频率 $\delta\omega_s$. 迈克尔孙干涉仪两干涉臂上的光强近似相等. 由于迈克尔孙干涉仪两干涉臂上的光具有角频率差 $\delta\omega_s$, 在分光棱镜 BS3 的两个输出端口就会形成光强正弦调制的调制光. 其中沿迈克尔孙干涉仪的入射端口反方向传输的调制光作为信号光, 它经分光棱镜 BS2、平面镜 M3 和 M1 反射后与抽运光在 BSO 晶体中进行非线性耦合. 为了使 BSO 晶体具有强的耦合效应, 我们沿晶体的方向加上了一直流电场 E . 信号光也近似沿 $1\bar{1}0$ 方向传播(小角度耦合), 经过晶体后, 透射的信号光由光电探头 PD1 接收后将信号送入存储示波器 OS, 以便实时记录透射信号光的时间演化曲线. 迈克尔孙干涉仪的另一输出端口输出的光也是光强正弦调制的, 我们以这一端口的输出光为参考光, 其光强时间演化过程由光电探头 PD2 探测, 并将信号送入同一存储示波器. 这样, 我们在存储示波器上就可以通过参考比较法直接测量信号光通过 BSO 晶体后的时间延迟 δt .

我们知道, 如果没有抽运光, 信号光在 BSO 晶体中传播时不会经历位相耦合效应, 因此其群速由 (7) 式决定, 约为 c/n . 当将抽运光打开后, 在 BSO 晶

体中, 抽运光和信号光之间具有强色散位相耦合效应, 此时信号光在晶体中的传播群速将由 (9) 式描述. 假设信号光在晶体中与抽运光之间的相互作用长度为 L , 则利用 (5) 式可将 (9) 式进一步写为

$$v_g \approx \left(\frac{\partial \Gamma_{ph}}{\partial \omega_s} \right)^{-1} = \frac{L}{\delta t}, \quad (10)$$

因此, 我们只要测量信号光在通过晶体后的时间延迟 δt , 就可以测得信号光在晶体中的传播群速.

图 4 是参考光和透射信号光在无抽运光 (a) 和有抽运光 (b) 这两种情况下的归一化时间演化曲线. 其中虚线对应于参考光的时间演化过程, 实线对应于透射信号光的时间演化过程. 具体实验参数如下: 入射抽运光光强 $I_p = 106 \text{ mW/cm}^2$, 抽运与信号平均光强比 $\beta = 1500$, 外加直流电场 $E = 8 \text{ kV/cm}$, 光栅间隔 $\Lambda = 21.3 \mu\text{m}$, 信号光光强调制周期 $T = 2\pi/\delta\omega_s = 250 \text{ ms}$, 抽运光频移 $\Omega/2\pi = 50 \text{ Hz}$. 在此条件下, 我们测得信号光在经过晶体之后延迟 110 ms , 相当于信号光以 0.05 m/s 的群速在晶体中传播.

3.2 光速的调控

从上面的叙述可以看到, 光折变位相耦合的色散特性与光折变两波耦合的响应速度和耦合强度有关. 响应速度越慢, 耦合强度越强, 则位相耦合色散效应越强烈. 因此, 由位相耦合过程的色散效应引起的光速调控效应也与两波耦合的响应速度和耦合强度有关, 即我们可以通过改变实验参数和条件来调控光在介质中的传播群速.

图 5 是我们在不同抽运光光强的条件下测得的信号光在 BSO 晶体中的传播群速. 实验中所用的抽运光光强 I_p 分别为 $220, 106$ 和 22 mW/cm^2 . 其他实验条件对于图中的曲线均相同, 分别为: $E = 8 \text{ kV/cm}$, $\Lambda = 21.3 \mu\text{m}$, $\beta = 1500$ 和 $T = 250 \text{ ms}$. 从图中可以看到, 入射光强越低, 信号光在介质中传播的最低群速就越小. 这是由于入射光强小, 两波耦合的响应速度就慢; 另一方面, 光折变位相耦合的强度几乎不随入射光强的变化而变化, 因此, 光折变两波位相耦合系数的色散斜率在低光强下就陡, 从而群速就越小. 光折变两波位相耦合的上述特性还使得观测慢光现象的频率窗口 $\Delta\Omega$ (定义为图 5 中群速小于等于 1 m/s 的 Ω 频率窗口) 随着入射光强的降低而变窄. 在 $I_p = 223, 106$ 和 22 mW/cm^2 时, $\Delta\Omega$ 分别测得为 $230, 100$ 和 22 Hz , 如图 5 所示. 频率窗口 $\Delta\Omega$ 基本上与入射光强 I_p 成正比关系, 这是因为两波耦合的响应速度和入射光强 I_p 成正比关系之故.

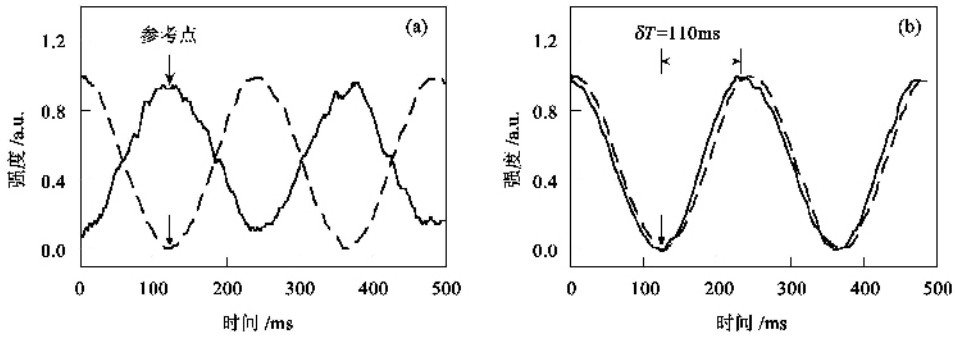


图4 参考光和透射信号光在无位相耦合效应(a)和有位相耦合效应(b)情况下的归一化时间演化曲线(其中虚线对应于参考光的时间演化曲线,实线对应于信号光的时间演化曲线.)

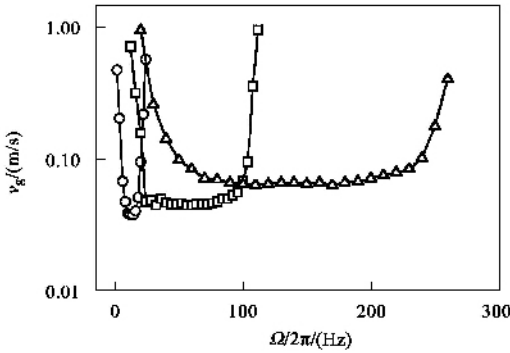


图5 不同抽运光强条件下测得的信号光在BSO晶体中的传播群速(其中圆圈、方块和三角形分别对应于 I_p 为22,106和220 mW/cm^2 时的值.其他实验条件为 $E = 8kV/cm$, $A = 21.3 \mu m$, $\beta = 1500$ 和 $T = 250ms$)

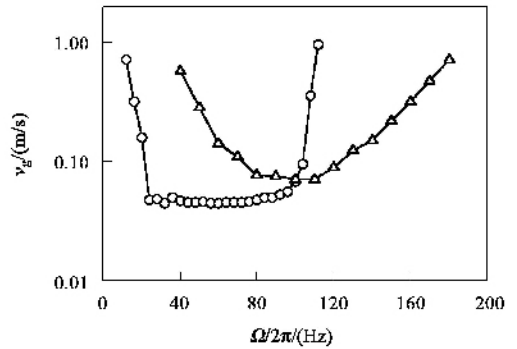


图6 在不同外加直流电场条件下测得的信号光在BSO晶体中的传播群速(其中圆圈和三角形分别对应于 E 为8 kV/cm 和4 kV/cm 时的值,其他实验参数为 $I_p = 106mW/cm^2$, $A = 21.3 \mu m$, $\beta = 1500$ 和 $T = 250ms$)

图6是在不同直流电场条件下所测得的信号光在BSO晶体中的传播群速.在此实验中,我们所用到的直流电场 E 分别为8 kV/cm 和4 kV/cm .其他实验条件均为 $I_p = 106mW/cm^2$, $A = 21.3 \mu m$, $\beta = 1500$ 和 $T = 250ms$.我们可以看到,在强电场条件下,能够将光速降得更低.这是因为在强电场条件下,光激发载流子在晶体中的漂移长度变长,从而使得光折变两波耦合的响应速度变慢;另一方面,位相耦合强度也随外加直流电场的增加而变强,这两方面的因素,均使得信号光在BSO晶体中的传播群速随外加直流电场 E 的增加而降低.我们注意到,外加电场虽然可以通过电光效应直接改变晶体的折射率,但是这种改变并不影响折射率的色散性质.

3.3 超光速现象、快光与慢光之间的转换^[14,15]

从图1中位相耦合系数 Γ_{ph} 的色散曲线我们知道,利用位相耦合过程的色散效应也可以实现超光速现象.我们在BSO晶体中观察到了传播群速为

-5.7 m/s 的超光速现象,如图7所示.由于利用同样的机制在不同实验条件下可以实现极慢光速与超光速现象,所以我们可以调节实验条件很方便地实现慢光与快光之间的转换.比如,从图1我们可以看到,扫描两耦合光波之间的频率差 Ω ,位相耦合系数 Γ_{ph} 的色散斜率可实现由负值—正值—负值的转变,从而引起信号光的传播群速,完成从快光—慢光—快光的转换,实验测量的结果见图8.慢光和快光之间的转换也可以通过调节抽运光光强 I_p 或者外加电场强度 E 实现^[14].

3.4 慢光和快光的相干放大

利用非线性光波位相耦合过程的色散效应调控光速的另一特点是慢光和快光的相干放大效应.我们知道,光折变两波耦合过程中同时存在光强耦合效应和位相耦合效应,其中光强耦合效应将引起光能在两耦合波之间的单向转移^[19],如(3)式所示.因此,当光强耦合系数 Γ_{in} 大于晶体在工作波长处的吸

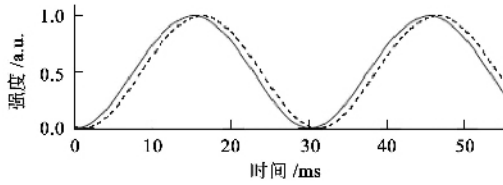


图7 超光速情况下信号光(实线)和参考光(虚线)的归一时间演化曲线(实验条件: $\Delta\Omega/2\pi = -8\text{Hz}$, $I_p = 19.5\text{mW/cm}^2$, $I_s = 0.1\text{mW/cm}^2$, $E = 8\text{kV/cm}$, $\lambda = 21.3\mu\text{m}$ 和 $T = 30\text{ms}$)

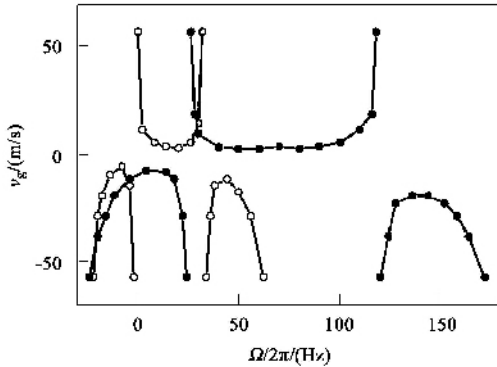


图8 通过扫描两耦合光波之间的角频率差 Ω 实现慢光与快光之间的转换(实心圆圈和空心圆圈所对应的分别为 $I_p = 83.0\text{mW/cm}^2$ 和 $I_p = 19.5\text{mW/cm}^2$ 的情况,其他实验条件均为 $I_s = 0.1\text{mW/cm}^2$, $E = 8\text{kV/cm}$, $\lambda = 21.3\mu\text{m}$ 和 $T = 30\text{ms}$)

收系数 α 时,由(3)式可知,信号光光强将随传播距离指数增强.图9是我们测得的光强耦合系数 Γ_{in} 随 Ω 的变化关系.实验中 Γ_{in} 是通过测量抽运光开启时的透射信号光光强 $I_{s,on}$ 和抽运光关闭时的透射信号光光强 $I_{s,off}$,然后通过关系式 $\Gamma_{in} = \ln(I_{s,on}/I_{s,off})/L$ 计算得到.具体实验参数如下: $I_p = 106\text{mW/cm}^2$, $E = 8\text{kV/cm}$, $\lambda = 21.3\mu\text{m}$ 和 $\beta = 3000$.在图9中,我们还同时给出了在相同条件下测得的信号光群速随 Ω 的变化关系(其中 β 设为 1500,因为在光强正弦调制情况下,信号光中包含光强相等而角频率相差为 $\delta\omega_s$ 的两束光),以及我们所用的 BSO 晶体在 532 nm 处的吸收系数 ($\alpha \approx 0.58\text{cm}^{-1}$,如图9中的水平虚线所示).可以看到,在慢光传播的频率窗口之内,光强耦合系数 Γ_{in} 基本上均大于晶体的吸收系数 α ,表明慢光能够得到相干放大.我们的实验结果表明,快光在 BSO 晶体中传播时也得到了相干放大^[14,15],但是效果不如慢光情况下显著.

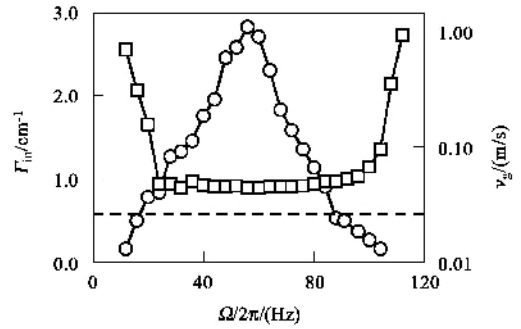


图9 光强耦合系数 Γ_{in} 和 v_g 随 Ω 的变化关系(实验条件为 $I_p = 106\text{mW/cm}^2$, $E = 8\text{kV/cm}$, $\lambda = 21.3\mu\text{m}$ 和 $\beta = 3000$ (在测量 v_g 时 $\beta = 1500$)).图中的水平虚线表示 BSO 晶体在 532 nm 处的吸收系数 α

4 结论

我们提出了利用光波非线性位相耦合过程的色散效应调控光速的新机制,并以光折变位相耦合过程的色散效应为例,在 BSO 晶体中,在室温下实现极慢光速和超光速现象.和其他光速调控技术相比较,利用光波非线性位相耦合过程的色散效应实现对光速的调控具有以下几方面的优点(1)通过控制位相耦合过程的色散斜率,可以很方便地在固体中在室温下实现对光速的较大范围的控制,同时实现慢光和快光之间的转换(2)通过非线性光波耦合过程中的能量转移,可以实现慢光和快光的相干放大(3)实现光速调控的实验条件较为宽松,可以使用常规激光器(即可以使用非单频激光器),而且工作光谱范围较宽.其不足之处是光折变过程响应较慢,从而快光和慢光的工作频率窗口较窄,当光脉冲较短时,容易引起光脉冲的畸变.值得指出的是,该机制适用于其他非线性光波耦合过程,只要该光波耦合过程具有强色散特性的位相耦合效应.因此,利用其他具有快响应速度、强位相耦合色散效应的非线性光波耦合过程,可以克服上述不足.光速调控技术和现象的研究不仅对光物理基本理论有重要的意义,而且在光脉冲时间延迟器、光子存储器、光子局域技术以及新型声光耦合器件等方面也具有重要的应用.

致谢 感谢南开大学物理科学学院光电信息科学系盛秋琴教授提供了实验中所用的 BSO 晶体样品,感谢南开大学物理科学学院光电材料研发中心的陈绍林老师为我们加工晶体样品.

参 考 文 献

[1] Wang L J , Kuzmich A , Dogariu A. *Nature* ,2000 ,406 277
 [2] Hau L V , Harris S E , Dutton Z *et al.* *Nature* ,1999 ,397 594
 [3] Harris S E. *Phys. Today* ,1997 ,50(7) 36
 [4] Kash M M , Sautenkov V A , Zibrov A S *et al.* *Phys. Rev. Lett.* ,1999 ,82 5229
 [5] Phillips D F , Fleischhauer A , Mair A *et al.* *Phys. Rev. Lett.* ,2001 ,86 783
 [6] Turukhin A V , Sudarshanam V S , Shahriar M S *et al.* *Phys. Rev. Lett.* ,2002 ,88 023602
 [7] Bigelow M S , Lepeshkin N N , Boyd R W. *Phys. Rev. Lett.* , 2003 ,90 113903
 [8] Bigelow M S , Lepeshkin N N , Boyd R W. *Science* ,2003 , 301 200
 [9] Podivilov E , Sturman B , Shumelyuk A *et al.* *Phys. Rev. Lett.* ,2003 ,91 083902.
 [10] Zhang G Q , Dong R , Xu J J. *Chin. Phys. Lett.* ,2003 ,20 (10) :1725
 [11] Zhang G Q , Dong R , Fang B *et al.* *Appl. Opt.* ,2004 ,43 : 1167
 [12] Zhang G Q , Fang B , Dong R *et al.* *Phys. Rev. Lett.* ,2004 , 93(13) :133903
 [13] Fang B , Zhang G Q , Xu J J. *Opt. Commun.* ,2006 ,261 349
 [14] Fang B , Zhang G Q , Xu J J. *Opt. Express* ,2005 ,13(20) : 8198
 [15] Fang B , Zhang G Q , Xu J J. *Trends in Optics and Photonics Series (TOPS)* ,2005 ,99 386
 [16] Valley G C. *J. Opt. Soc. Am. B* ,1984 ,1 868
 [17] Refregier Ph , Solymar L , Rajbenbach H *et al.* *J. Appl. Phys.* ,1985 ,58 45.
 [18] Balasubramanian S , Lahiri I , Ding Y *et al.* *Appl. Phys. B* , 1999 ,68 863
 [19] 刘思敏 郭儒 许京军. 光折变非线性光学及其应用. 北京 : 科学出版社 2004 45—53[Liu S M , Guo R , Xu J J. *Photorefractive Nonlinear Optics and Its Applications*. Beijing : Scientific Publishing House ,2004. 45—53 (in Chinese)].

封面说明

纳米粒子的尺寸与形状控制以及图案化是近年来国际上纳米科技领域的一个研究热点. 最近发现了通过利用光的波长以及偏振方向可以控制溶液中形成的纳米粒子的尺寸和形状. 我们利用超快激光实现了透明介质内部有空间选择性的纳米粒子的析出和控制. 可以在一块无色透明的介质中通过激光照射和热处理, 在透明介质中任何位置析出一定尺寸的纳米粒子, 并且可以通过激光的二次照射将纳米粒子擦除. 论文发表在 *Angew. Chem. Int. Ed.* (2004 43 2230) 上. *Nature* 的 *Science Update* , *Chem. Eng. News* 等作了介绍. 这项技术有望应用于光电器件的 3 维集成. 如由于纳米粒子掺杂的材料具有大的三阶光学非线性和超快响应, 可应用于构筑全光开关. 我们进一步开拓了利用纳秒激光实现空间选择性纳米粒子操控的技术. 图片中的红色和黄色图案为激光聚焦照射及热处理后在无色透明的玻璃中析出的金(红) 和银(黄) 纳米粒子的着色.

(浙江大学材料系 邱建荣)



北京欧普特科技有限公司

光学元件库—欧普特科技

欢迎访问:

www.goldway.com.cn

北京欧普特科技有限公司严格参照国际通常规格及技术指标, 备有完整系列的精密光学零部件(备有产品样本供参考) 供国内各大专院校、科研机构、实验室随时选用, 我公司同时可为您的应用提供技术咨询. 我公司可以提供美国及欧洲产的优质红外光学材料, 如硒化锌、硫化锌、多光谱硫化锌等.



- 光学透镜 : 平凸、双凸、平凹、双凹、消色差胶合透镜等.
- 光学棱镜 : 各种规格直角棱镜及其他常用棱镜.
- 光学反射镜 : 各种尺寸规格的镀铝、镀银、镀金及介质反射镜, 直径 5mm—200mm.
- 光学窗口 : 各种尺寸规格、材料的光学平面窗口, 平晶, 直径 5mm—200mm.
- 各种有色玻璃滤光片 : 规格为直径 5mm—200mm (紫外、可见、红外) 及窄带干涉滤片.
- 紫外石英光纤 : 进口紫外石英光纤, SMA 接口光纤探头, 紫外石英聚焦探头.

地址 : 北京市海淀区知春路 49 号希格玛大厦 B 座 306 室

电话 010 - 88096218/88096217 传真 010 - 88096216 网址 www.goldway.com.cn

联系人 : 徐勇小姐 陈锵先生 施楠小姐

Email xuyong@goldway.com.cn kevinchen@goldway.com.cn shinan@goldway.com.cn