

中皮秒二波耦合及其应用

毛宏伟 李富铭 罗龙根

(复旦大学 物理系)

邓锡铭

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文报道在 InP:Fe 中皮秒二波耦合的实验研究。文中测量了瞬态二波耦合增益随泵浦光与探测光相对延迟时间改变而变化的曲线,分析了瞬态二波耦合中各种过程的特性,最后还利用皮秒二波耦合实现了低开光强、高信噪比,透过率达 17% 的皮秒光开关。

关键词: 光折变效应、二波耦合、开关比、透过率。

一、引 言

近年来出于应用需要,人们致力于寻找在低泵浦强度下,获得快响应具有很强的非线性的材料或机制。在这种趋势下, GaAs 和 InP 等材料作为较理想的具有皮秒时间响应的红外光折变晶体,它们的光折变特性的研究受到了国际上普遍的重视^[1~5]。

本文分为两部分,在第一部分中通过测量瞬态二波耦合增益随延迟时间改变而变化的曲线,在时域上分析了在 InP:Fe 晶体中瞬态光折变效应的时域响应特性,并同时分析了载流子光栅的能量转移机制,载流子吸收以及双光子吸收这些伴生过程的动态特性。在第二部分中,作者利用 InP 中瞬态二波耦合过程,在低泵浦强度下(0.5 mJ/cm²),获得了具有极高的开关信噪比(开关比达 197),而且透过率可达 17% 的皮秒光开关。

二、实 验 装 置

如图 1 所示,由一台主被动锁模的 Nd³⁺:YAG 激光器输出的 1.06 μ m, 35ps 的单脉冲光经分束镜 S 后分成两束:一束经光学延迟线 OD 作为探测光,另一束经反射镜 M₄、M₅ 反射作为泵浦光。调节相应的反射镜使泵浦光与探测光在 InP:Fe 样品中于空间上重叠。利用一块 KDP 晶体,通过测量两束光的二次谐波信号来确定,两束光脉冲在时间上的重叠及其等光程点。两束光之间的延迟时间的改变是通过步进马达驱动光学延迟线 OD 来获得的。为了消除杂散光,可在信号探测器前加上一对孔阑。探测到的信号输至 BOXCAR 进行取样平均,最后平均的结果由 X-Y 记录仪进行记录。实验中所采用的样品为掺铁的高阻磷化铟晶体(InP:Fe),样品经双面抛光,通光面为(110)面,通光方向上厚度为 6 mm。

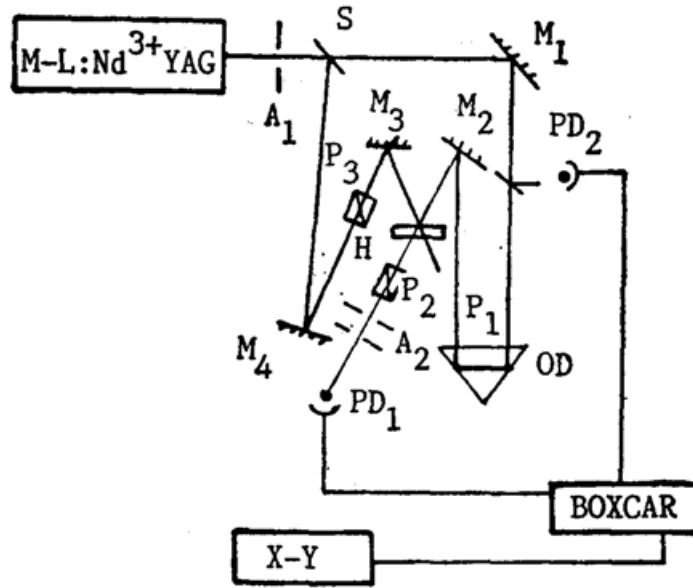


Fig. 1 Experimental setup

S: beam splitter; M: mirror; P: polarizer; A: aperture; H: InP sample OD: optical delay line

三、实验结果及讨论

1. InP 中瞬态二波耦合的时间特性

与以前^[4]一样定义放大比为

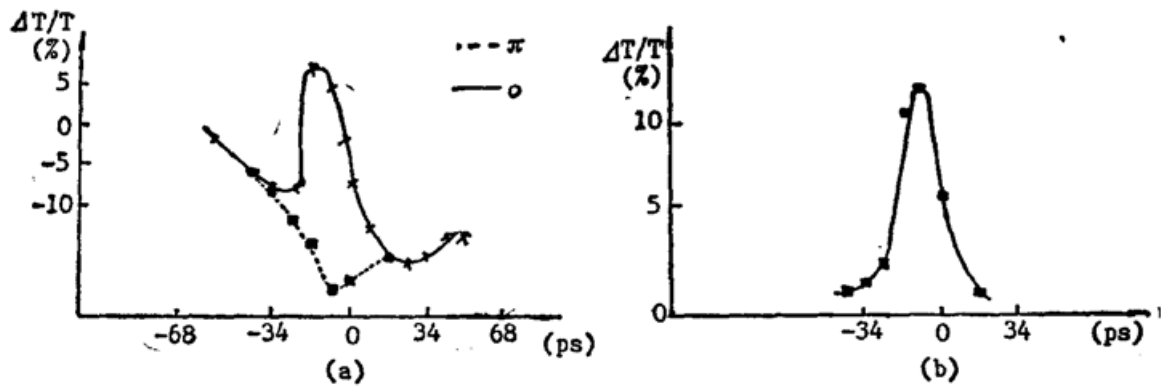
$$\frac{\Delta T}{T} = [T_p - T_{np}] / T_{np}, \quad (1)$$

式中 T 、 T_p 和 T_{np} 分别为探测光、泵浦光和无泵浦光时的透射光强。众所周知, 当两束光照在样品上时, 通过扩散、迁移等过程经一定的时间后, 载流子在空间重新分布, 而被光解离了的光折变心因局域在晶格中, 而保持刚被光解离时的分布, 这样正负电荷在空间的分布就不均衡, 从而导致空间电荷场的建立。此空间电荷场与晶体取向无关, 但瞬时光折变效应是在此空间电荷场作用下, 通过电光效应调制折射率的, 而电光效应则具有张量特性, 因此瞬时光折变效应与晶体取向有着密切的关系。

本文实验测得的 $(\Delta T/T) \sim \tau$ 曲线如图 2(a) 所示。实验测量了在晶体正向与反向两种情况下, 放大比随相对延迟时间 τ 改变而变化的曲线, 它们分别对应着 $(\Delta T/T)_0 \sim \tau$ 及 $(\Delta T/T)_\pi \sim \tau$ 曲线。在这里晶体正向指的是由瞬时光折变效应引起的能量转移是从泵浦光转移至探测光的晶体取向; 而晶体反向指的是晶体绕光轴旋转介角后的取向, 此时由瞬时光折变效应引起的能量转移则是从探测光转移至泵浦光。

从图 2(a) 中可见, $(\Delta T/T)_0 \sim \tau$ 曲线与 $(\Delta T/T)_\pi \sim \tau$ 曲线并不重合, 由此可以得出光折变效应已出现的结论。另外从此两曲线并不是对称地分布, 在 $(\Delta T/T) = 0$ 轴的两侧的现象中, 可以得知, 在皮秒二波耦合过程中, 由于激励光的峰值功率的提高, 除光折变效应外, 还有其它非线性过程发生。这是因为在晶体正向与反向条件下, 由瞬时光折变效应引起的能量转移量相等, 仅是能量转移的六向相反而已。

从 $(\Delta T/T)_0 \sim \tau$ 曲线呈峰谷交错的结构中, 可以推知, 皮秒二波耦合过程中有强烈的吸

Fig. 2 $\Delta T/T$ versus delay time

(a) Complex one; (b) The one due to PR effect only

(All data are for an incident pump fluence of 0.87 mJ/cm, a pump-probe ratio of 24:1)

收过程伴生。光的放大与吸收过程相互竞争使得曲线在时域上呈峰谷交错的结构。从此曲线在 $\tau > 0$ 的一段为低谷中, 可以得知在这一段中, 主要是泵浦光产生的电子-空穴对引起对探测光的吸收。至于曲线在 $\tau = -20$ ps 附近的凹陷, 则是双光子吸收, 光放大以及泵浦光引起瞬时光折变心的漂白, 而导致探测光的单光子吸收减弱效应所共同作用的结果。在图 2(a) 中, 曲线 $(\Delta T/T)_\pi \sim \tau$ 一直呈凹陷状态, 没有凸出的峰出现, 这就说明泵浦强度太弱*, 由瞬态自由载流子光栅所引起的光放大量很小。

由以上分析, 可以知道皮秒二波耦合的信号是一个由多种过程引起的复合信号。根据瞬时光折变效应与晶体取向有关这一特性, 可通过旋转晶体改变晶体的取向将由瞬时光折变效应产生的信号从复合信号中分离出来。通过理论分析得到由瞬时光折变效应引起的光放大比^[4]

$$(\Delta T/T)^* = [(\Delta T/T)_0 - (\Delta T/T)_\pi] / 2, \quad (2)$$

分离出来的光放大比 $(\Delta T/T)^*$ 随 τ 改变而变化的曲线如图 2(b) 给出。由图 2(b) 可见, 在脉宽为 45 ps 的光脉冲激励期间, 能够观察到由瞬时光折变效应引起的明显的光放大, 因此可以推断出在 InP:Fe 晶体中瞬时光折变效应能够具有 ps 的时间响应。

2. 超快 InP 光开关

前一部分的研究结果表明, InP:Fe 晶体中的光折变效应具有 ps 的时间响应, 而且在低泵浦强度下, 效应也很明显。这就可以利用泵浦光经瞬时光折变张量光栅衍射后, 转至探测光方向上来的光, 其偏振面将发生 90° 旋转的特性, 实现光开关。

这一部分的实验光路与二波耦合的光路大致相同, 所不同的是, 在这一部分的入射光路中加入了两个起偏镜, 它们起偏方向之间夹 45° 角。另外, 在探测光的透射光路中放置了一个与探测入射光的偏振正交的检偏镜。实验中所使用的样品与前面的相同, 瞬时光折变光栅沿 (110) 方向形成, 实验中两束光的强度比为 9, 泵浦强度为 0.5 mJ/cm^2 , 两束入射光的夹角为 0.12 rad 。

在这一部分的实验中测量的是开关比。此开关比定义为: 在探测光的起偏镜与检偏正交的情况下, 在开启与遮挡掉泵浦光时, 所测得的探测透射信号的强度比。实验测得的开关

* 实验中的泵浦强度为 0.87 mJ/cm^2 。

比随延迟 τ 改变而变化的曲线如图 3 所示。由图 3 可见, 当探测光稍稍超前大约 4 ps 时, 开关比达到最大, 其值可达 197。随着延迟时间向两边增加时, 由于两束光脉冲重叠部分变小, 开关比变得越来越小直至为零。

在实验中测量了 $\tau=0$ 时的开关透过率, 所测得的开关透过率为 17%。

开关之所以得以实现是基于以下二种原因。一是载流子光栅对泵浦光的衍射使得泵浦光偏振的垂直分量得耦合到探测光方面上来, 另一个原因则是原来与探测入射光的偏振平行的泵浦光的分量经瞬时光

折变光栅衍射后转移至探测光方向上来的光其偏振面发生了 90° 旋转。这一点可以从以下的分析中直接看出。众所周知, InP 晶体属 $43m$ 点群对称, 其瞬时光折变效应引起的折射率为

$$\Delta\tilde{\epsilon} = - \begin{pmatrix} 0 & E_x & E_y \\ E_x & 0 & E_x \\ E_y & E_x & 0 \end{pmatrix} \epsilon_0 n_0^4 \gamma_{41}, \quad (3)$$

式中 $\Delta\tilde{\epsilon}$ 为瞬时光折变效应引起的感应折射率, E_x 、 E_y 和 E_z 分别为空间电荷场的三个分量, n_0 为本征折射率, ϵ_0 为真空介电常数 γ_{41} 为电光系数。呈瞬时光折变光栅沿 (110) 方向形成时, 则

$$\Delta\tilde{\epsilon} \sim \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

对于沿 (001) 方向起偏的入射光, 其经此瞬时光折变光栅衍射后而产生的衍射信号的偏振态则为

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

因此衍射信号相对于入射信号偏振面发生了 90° 旋转。这也就是说从泵浦光转移至探测光方向上来的光, 其偏振面发生了 90° 旋转。

上述结果表明: 在缺乏大电光系数的红外电光晶体的情况下, InP 的瞬态二波耦合是实现红外 ps 光开关的较为可行的方法之一。有待解决的是选取合适的实验条件, 从而提高开关的信噪比以及透过率。

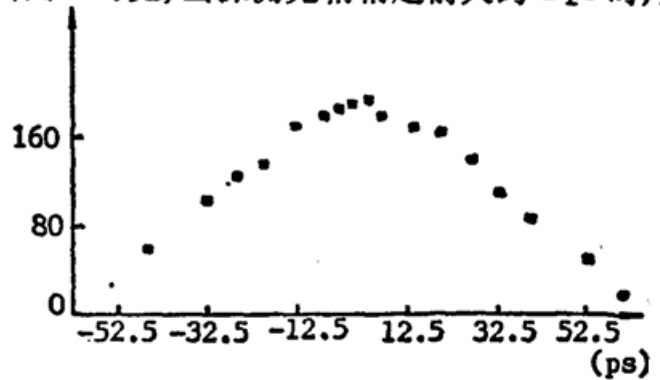


Fig. 3 On-off ratio as a function of delay time for a pump fluence of 0.5 mJ/cm and a pumpprobe ratio of 9:1

参 考 文 献

- [1] G. C. Valley *et al.*; *Opt. Lett.*, 1986, **11**, No. 10 (Oct), 647~650.
[2] A. L. Smirl *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, **QE-24**, No. 2 (Feb), 289~303.
[3] A. L. Smirl *et al.*; *Opt. Lett.*, 1989, **14**, No. 4 (Apr), 242~244.
[4] Mao Hongwei *et al.*; *Opt. Commun.*, 1988, **69**, No. 2 (Dec), 166~168.
[5] M. B. Klein; *Opt. Lett.*, 1984, **9**, No. 8 (Aug), 350~352.

Ps two-wave coupling in InP and its application

MAO HONGWEI, LI FUMING AND LUO LONGGEN
(Department of Physics, Fudan University, Shanghai)

DENG XIMING
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 8 November 1989; revised 12 June 1990)

Abstract

Experimental investigations on ps two-wave coupling in InP:Fe are reported in this paper. Transient two-wave coupling gain versus delay time between pump beam and probe beam has been measured. The properties of various processes in transient two-wave coupling are analyzed. An ps optical switching with high signal-noise ratio and transmissivity of 17% under low pump intensity has been realized.

Key words: PR effect; two-wave coupling on-off ratio transmissivity.