

KNbO₃:Fe 晶体的时间微分 效应及图像追踪*

武原庆 胡革春 许京军 刘思敏 张光寅
(南开大学物理系,天津 300071)

马笑衍 沈德忠
(北京国家建材局人工晶体所,北京)

提 要

本文观察到了KNbO₃:Fe晶体的时间微分效应,并用这个微分效应进行了图像追踪的演示,为KNbO₃:Fe晶体在光折变器件领域的应用进行了有益的探索。
关键词:光折变器件,时间微分效应,图像追踪。

一、引 言

近年来,光折变效应及光折变器件的研究成为非线性光学的一个非常活跃的分支。光折变晶体的微分效应及图像追踪(image tracking)是其中一个非常有实用价值的光折变效应和器件。Mark Cronin-Golomb和Norman Sze-Keung分别用BaTiO₃和Bi₁₂SiO₂₀观察到了时间微分效应,并用它们的时间微分效应进行了图像追踪实验^[1,2]。之后,Cudney等利用BaTiO₃的时间微分效应设计了一个瞬态显微镜^[3],它可以实时显示运动的浮游生物,而将静止的背景(如海藻等)过滤掉,为光折变时间微分效应的实际应用开辟了前景。电子计算机的图像追踪系统被用来监视机场的起飞和降落的飞机,这种系统可将静止的飞机及周围的建筑过滤^[3],其操作是通过将输入图像与内存参考图像相减来实现的,由于此过程采用串行处理方式,其速度受到很大限制。而利用光折变晶体的时间微分效应进行图像追踪是并行处理方式,因此,利用光折变时间微分效应进行图像追踪作为一种光信息处理器件,展示出十分诱人的潜力。目前的大多数光折变器件都处在实验室阶段,主要问题是如何提高这些器件的运行速度和降低图像信息处理中出现的散射噪音,人们在不断尝试和寻找新的光折变材料,以求找到提高光折变器件性能的途径。

二、时间微分效应及图像追踪

1. 时间微分效应

当两束相干光 E_1 , E_2 在光折变晶体中耦合时,两光束之间将发生能量转移^[4]。在稳态能量转移的情况下,能量转移的方向由晶轴 O 的方向和载流子电荷的符号决定。适放当置晶体,选取晶轴 O (沿 $+z$ 或 $-z$ 方向)的方向,使能量由光束 E_2 转向光束 E_1 , 如果 $|E_2| \ll$

收稿日期:1990年10月27日;收到修改稿日期:1991年1月15日

* 国家高技术科学基金资助的项目,天津市21世纪青年科学基金资助的项目。

$|E_1|$, 则光束 E_2 的输出光场强度将正比于其入射光强度对时间的微分。其物理机制如下, 光束 E_1 与 E_2 在晶体中相干, 产生光折变光栅, E_2 光经此光栅衍射到 E_1 方向的能量 E'_1 与 E_1 有相同的方向及位相, 从而 E_1 与 E'_1 相干相长; 而 E_1 经此光栅衍射到 E_2 方向的光 E'_2 与 E_2 有相同的方向但位相相差 π , 从而发生相消相干, 最终使能量从 E_2 转向 E_1 , 如图 1 所示。当 E_2 的输入光强随时间变化时, 由于晶体光折变光栅的衍射有一个响应时间 τ , 从而使从 E_1 衍射到 E_2 方向的能量 E'_2 产生一个时间延迟 τ , 因而有

$$E_2(l, t) = E_2(0, t) - E'_2(0, t - \tau) \doteq E_2(0, t) - E_2(0, t - \tau) = \tau \frac{dE_2(0, t)}{dt}. \quad (1)$$

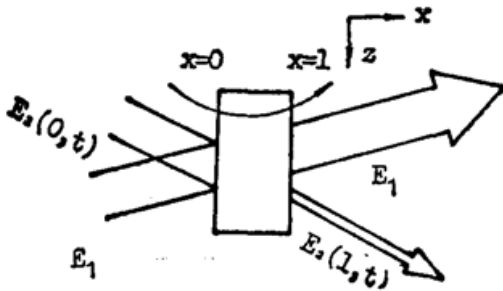
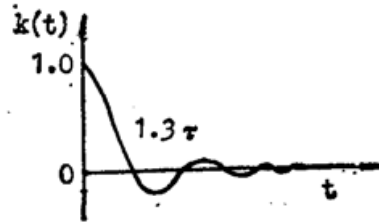


Fig. 1 The two-beam coupling

Fig. 2 The dependence of $K(t)$ on t

时间微分效应可由 Kohonen 给出的 $E_2(l, t)$ 的严格表达式推导出来^[1]

$$\left. \begin{aligned} E_2^*(l, t) &= E_2^*(0, t)K(t) + \int_0^t \left[\frac{E_2^*(0, T)}{\tau} + \frac{dE_2^*(0, T)}{dT} \right] K(t-T)dT, \\ K(t) &= \exp(-t/T)J_0(2\sqrt{-\chi lt/\tau}), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 l 为晶体厚度, τ 为晶体光折变的响应时间, γ 为双光束耦合系数。对于本文所使用的 KNbO₃:Fe 而言, $\gamma l \sim -1$, $\tau \sim 1$ s, 则得到 $K(t)$ 曲线如图 2 所示。在 $t \gg \tau$ 的条件下得

$$\int_0^t K(T)dT \doteq 0.7\tau. \quad (3)$$

如果 $E_2(0, t)$ 随时间变化较大, 而 $[dE_2(0, t)/dt]$ 随时间变化较小时, 即

$$\left. \begin{aligned} E_2(0, t) &\ll \tau [dE_2(0, t)/dt], \\ \frac{d^2 E_2(0, t)}{dt^2} &\ll \frac{dK(t)}{dt}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$[dE_2(0, t)/dt]$ 相对于 $K(t)$ 来说可视为常数, 于是有

$$\begin{aligned} &\int_0^t \left[\frac{E_2^*(0, T)}{\tau} + \frac{dE_2^*(0, T)}{dT} \right] K(t-T)dT \\ &\doteq \int_0^t \frac{dE_2^*(0, T)}{dT} K(t-T)dT \doteq \frac{dE_2^*(0, t)}{dt} \int_0^t K(t-T)dT \\ &= \frac{dE_2^*(0, t)}{dt} \int_0^t K(T)dT \doteq 0.7\tau \frac{dE_2^*(0, t)}{dt}, \end{aligned} \quad (5)$$

在 $t \gg \tau$ 的条件下, $K(t) \rightarrow 0$ 从而由 (2) 式得

$$E_2(l, t) \doteq 0.7\tau \frac{dE_2(0, t)}{dt}. \quad (6)$$

(6) 式与 (1) 式相符。

2. 图像追踪

在上述的双光束耦合中, 如果在光束 E_2 中插入图像透明片, 其振幅透射率分布为

$T(y, z)$ 当图像保持静止, 则光束 E_2 的输出振幅为

$$E_2(l, y, z) = \tau \frac{dE_2(0)T(y, z)}{dt} = 0. \quad (7)$$

如果图像运动, 则光束 E_2 的输出振幅为

$$E_2(l, y, z, t) = \tau \frac{dE_2(0)T(y, z, t)}{dt}. \quad (8)$$

由(7)、(8)式可见, 图像静止, 则输出为零光强; 图像运动, 则输出图像为输入图像对时间的微分。

三、实验结果

图3为双光束耦合时间微分装置图。 M 、 M_1 、 M_2 为反射镜, 激光束经分束器 BS 后分为两束光并在 $\text{KNbO}_3:\text{Fe}$ 晶体中耦合, 光束2的光强可由一个光强调制器 IM 来调节。在本文的实验中, 两光束与晶体表面的法线成相同的夹角。光束2的输入和输出光强分别由两个硅光电池功率计 D_1 、 D_2 监测, 然后接记录仪记录, 结果如图4所示。由图4可知, 当入射光强不变时, 输出光强取极小值; 当入射光强由大变小或由小变大时, 输出光强都出现峰值。

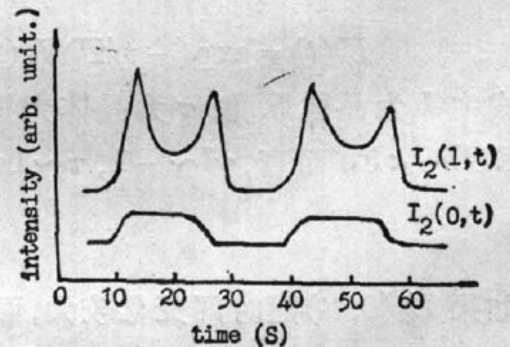
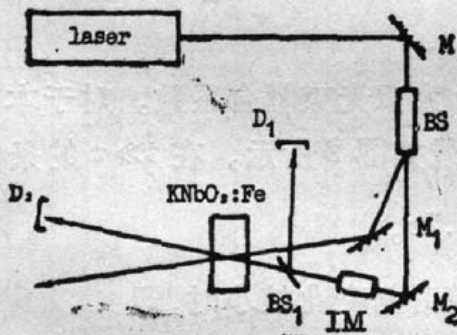


Fig. 3 The experimental set-up of time differentiation effect

Fig. 4 The time differentiation

进行图像追踪实验时, 只需将图3中的光强调制器 IM 用图像透明片代替即可(实验中采用一个印有字母 q 的透明片)。当图像静止时, 由于双光束耦合的能量转移, 光束 E_2 中的能量转移到了 E_1 中, 因此在观察屏上出现的是一个极弱的透射图像 q (称为背景图像), 见图5(a); 当图像运动时, 在观察屏上会出现图像 q 的微分图, 见图5(b)。

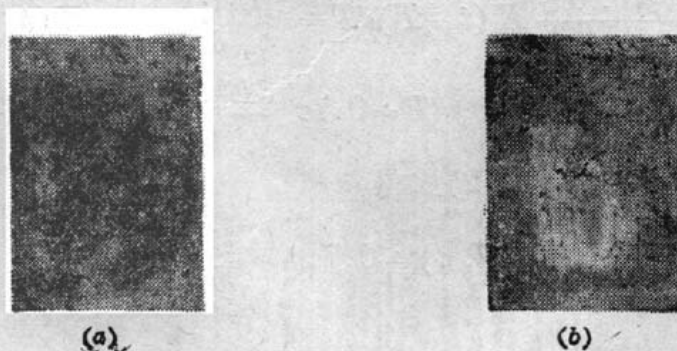


Fig. 5

(a) Background image; (b) Differential image

四、讨 论

由图 5(a) 可以看到, 在实际装置中, 静止的输入图像并非给出完全为零的输出图像。这是由于在双光束耦合中, 光束 E_2 中的能量并不能完全转移到 E_1 中去, 能量转移的大小由双光束耦合系数 γ 决定^[5]。在图像追踪实验中, 耦合系数 γ 越大, E_2 转移到 E_1 中的能量就越多, 背景图像的亮度就越小。耦合系数 γ 与晶体的电光系数、掺杂浓度、几何配置(如晶体的切割方向等), 光强比及温度有很大关系。在 KNbO₃:Fe 晶体的双光束耦合中, 发现光束 E_2 的光强 I_2 并不是随时间单调地衰减, I_2 有一个极小值, 如图 6 所示。在这个极小值对应的时刻, 背景图像的亮度最低, 这种现象是 KNbO₃:Fe 晶体中双光束耦合由光致热效应引起的。众所周知, 两光束在晶体中相交时产生相干场, 相干场中光强大的区域产生光生载流子(电子或空穴)。由于扩散、漂移及光生伏打效应的作用, 这些光生载流子在相干场中运输, 在光强最小的区域被俘获的几率最大, 从而在晶体中形成了载流子的重新分布, 破坏了晶体的电中性, 产生空间电荷场。空间电荷场通过电光效应对晶体折射率产生调制, 形成折射率光栅。当晶体加热时, 被陷阱俘获的载流子就会被重新激发, 在运输过程中与正电(如载流子为空穴则与负电)中心中和, 这样就使晶体趋于中和, 使空间电荷场消失, 从而使折射率光栅消失。而双光束耦合系数与光栅振幅成正比^[5], 因此, 热效应使耦合系数减小, 从而使耦合发生退化。

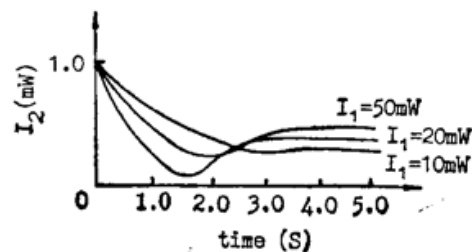


Fig. 6 The retrograde coupling

由于 KNbO₃ 晶体的电光系数^[5]大, 使得 KNbO₃ 晶体可获得较大的耦合系数, 但纯 KNbO₃ 晶体在温度高于 100°C 时才有较明显的光折变效应^[6]。而 KNbO₃:Fe 晶体能在室温下显示出很明显的折变效应, 其耦合系数可达 12 cm⁻¹, 说明 KNbO₃:Fe 是一种很有潜力的光折变晶体。

五、结 论

目前, KNbO₃ 晶体作为光折变器件的研究还处在起步阶段, KNbO₃:Fe 晶体的时间微分效应及图像追踪显示了这种晶体在光折变器件领域具有广阔的应用前景。光折变晶体的热效应引起的耦合退化对耦合系数有很大影响, 这个效应原则上应该用使晶体散热的方法来消除, 具体的方法有待于进一步研究。

作者对崔玉芬老师在实验中给予的帮助表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Mark Cronin-Golomb, Anne Marie Biernacki, Carl Lin and Hongzhi Kong; *Opt. Lett.*, 1987, **12**, No. 12 (Dec), 1029~1031.
- [2] Norman Sze-Keung Kwong, Yasuo Tamita and Amnon Yariv; *J. Opt. Soc. Am(B)*, 1988, **5**, No. 8, (Aug), 1788~1797.
- [3] R. S. Cudney, R. M. Rierce and Jack Feinberg, *Letters To Nature*, 1988, **332** (Mar), 424~426.
- [4] N. Kukhtarev, V. Markov and S. Odulov; *Opt. Comm.*, 1977, **23**, No. 3 (Dec), 338~343.

- [5] P. Gunter; *Physics Reports*, 1982, **93**, No. 4 (Dec), 214,
[6] D. Rytz, Shen De Zhong; *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **54**, No. 26 (Jun), 2625~2627.

Time differentiation effect and image tracking of $\text{KNbO}_3:\text{Fe}$ crystal

WU YUANQING, HU GUOCHUN, XU JENGJUN, LIU SIMIN AND ZHANG GUANGYIN
(*Physics Department, Nankai University, 300071*)

MA XIAOYAN AND SHEN DEZHONG
(*Research Institute of Synthetic Crystals*)

(Received 19 October 1990; revised 15 January 1991)

Abstract

We have observed the time differentiation effect of $\text{KNbO}_3:\text{Fe}$ crystal and demonstrated the image tracking using this effect. This work is a available explortation for the applications of $\text{KNbO}_3:\text{Fe}$ crystal in the field of photoref refractive device.

Key words: photorefractive device, time differentiation effect, image tracking.