

光谱烧孔介质中超快光学信号 的光谱全息方法研究*

窦 恺 靳春明 赵家龙 周方策 田明真 黄世华 虞家琪

(中国科学院长春物理研究所, 吉林, 长春, 130021)

摘要 从理论和实验上给出一种新的确定光场自相关和互相关函数方法, 其相关测量可以达到亚 ps 量级的超高时间分辨率, 动力学范围超过 5 个数量级. 利用这种方法在光谱烧孔材料中实现了全息方式写入和场相关方法读出.

关键词 光谱烧孔, 超快光学信号, 场相关测量.

引言

频域光谱烧孔可使存储密度提高 3 个数量级^[1]. 光学信息的存入通常有两种方式: 对于非均匀线型增宽的吸收材料, 用单一波长激光进行烧孔并改变激光波长从而写入多个信息, 这种二进制编码读出时有孔为“1”, 无孔则为“0”; 另一种为全息方式读写, 即在频域内的多个信息一次被写入整个非均匀线宽内, 因此更具实用化价值.

已建立了多种实验方法并用于超快光学信号的瞬态分析^[2~4], 场相关技术是常用方法之一. 本文建立的新的场相关分析方法, 不仅速度快, 而且不需要使用任何非线性介质或干涉腔就可以测量 ps 至亚 ps 光学信号的时间特性. 利用这种方法, 我们首次实现了有机光谱烧孔介质中 ps 量级光学脉冲的全息方法写入和场相关方法的重现研究, 这对光学信息处理具有重要意义.

1 基本方法

信号光场 E_S 与参考光 E_R 的相关特性由他们的场互相关函数 $g(\tau)$ 表示为

$$g(\tau) = \int dt E_S(t) \cdot E_R^*(t - \tau), \quad (1)$$

当 E_S 和 E_R 来自同一信号则式(1)代表自相关函数 $G(\tau)$.

场相关测量装置如图 1 所示, 它由 2 个分束器、2 个 Glan 偏振器、一个 $\lambda/4$ 波片和 3 个

* 国家 863 项目和中国科学院激发态物理开放实验室基金资助项目
本文 1994 年 9 月 5 日收到, 修改稿 1995 年 1 月 16 日收到

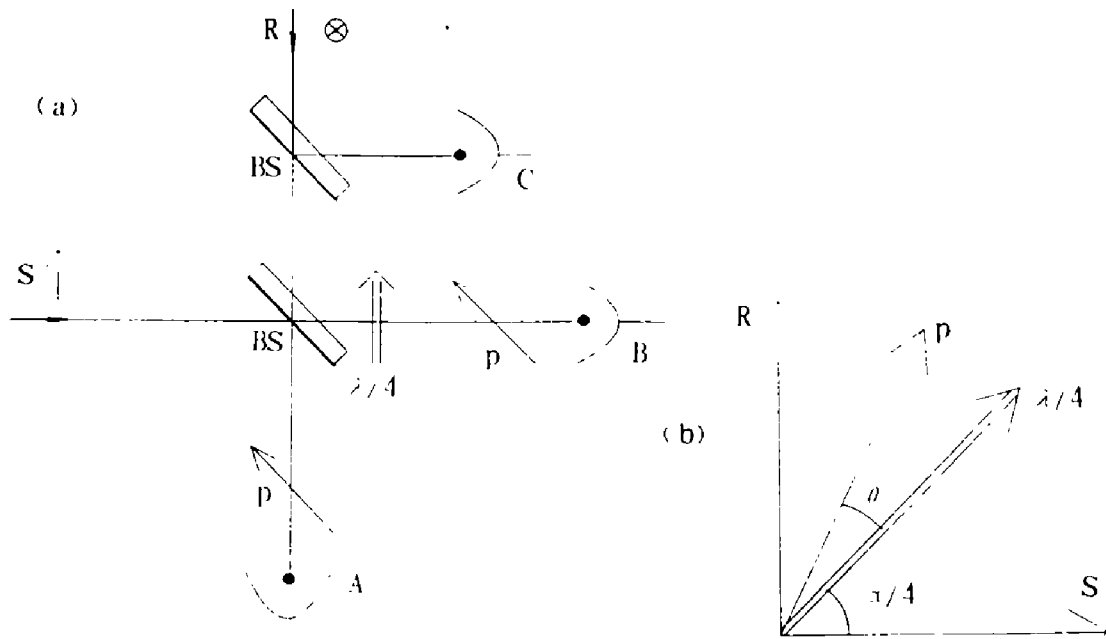


图 1 场相关测量原理框图

Fig. 1 Schematic diagram of the field cross-correlation measurements

光电探测器构成. 图 1(b)中, 偏振器 P 与 $\lambda/4$ 波片光轴夹角为 θ , 参考光场 R 和信号光场 S 相互垂直. 探测器 A 和 B 的信号强度分别为

$$\begin{cases} A_r = |A(\tau)|^2 = \int dt' |t_1 \cdot R(t') + r_1 \cdot S(t')|^2, \\ B_r = |B(\tau)|^2 = \int dt' |[r_2 \cdot R(t') - t_2 \cdot S(t')] \sin\theta \\ \quad + i[r_2 \cdot R(t') + t_2 \cdot S(t')] \cos\theta|^2. \end{cases} \quad (2)$$

其中 $R(t)$ 和 $S(t)$ 分别是参考和信号光场, r_1, r_2, t_1, t_2 代表分束镜对 λ 射光场的反射率和透射率, τ 是 $R(t)$ 相对于 $S(t)$ 的延迟时间. 调整角度 θ 使 $\varphi_2 - \varphi_1 = \theta + \pi/2$, $\varphi_2 - \varphi_1$ 代表光透过分束镜引起的附加位相变化, 则从式(1)和(2)可得

$$g(\tau) = \left[\frac{(A_r - A_0 - A_1)^2}{4A_0 \cdot A_1} + \frac{(B_r - B_0 - B_1)^2}{4B_0 \cdot B_1} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

A_0, A_1, B_0, B_1 来自式(2)与下式(4)的对比,

$$\begin{cases} A_r = A_0 + A_1 + 2\sqrt{A_0 A_1} \cdot g(\tau) \cos\phi(\tau), \\ B_r = B_0 + B_1 + 2\sqrt{B_0 B_1} \cdot g(\tau) \sin\phi(\tau). \end{cases} \quad (4)$$

式中 $\phi(\tau)$ 是 $R(t)$ 与 $S(t)$ 位相差, 式(3)中相关函数 $g(\tau)$ 用实验上可测量的量表示, 因此, 能从实验上确定 $g(\tau)$ 曲线.

2 结果和讨论

2.1 场相关函数测量

图 1 中探测器 A 和 B 测量得到的信号强度即是式(4)中 A 和 B, 探测器 C 用于监测光强起伏, 并输入微机以消除信号 A 和 B 的强度起伏.

测试光是用 ps 锁模脉冲 YAG 激光器的二倍频 532nm 光同步泵浦的染料激光, 其脉冲宽度小于 10ps, 重复频率为 76MHz. 利用图 2 所示的光路测试图 1 所示场相关器的性能, 光路中包括偏振

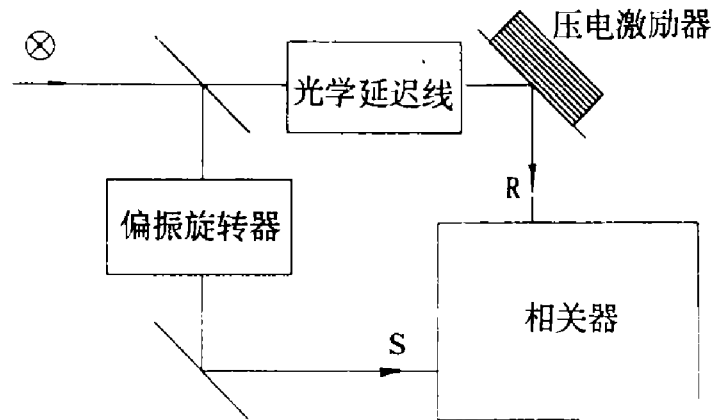


图 2 场相关器性能测量装置框图
Fig. 2 The set-up for testing the ability of the cross-correlator

方向旋转器, 其压电晶体上带有反射镜和光学延迟线, 压电晶体随着电压扫描而产生几个波长的光路变化, 光学延迟线的最小移动距离为 $1\mu\text{m}$, 相当于 6.67fs. 光学延迟线的移动由微机控制, 所测量的信号随延迟时间的变化就是 $g(\tau)-\tau$ 曲线. 测量方式有两种: 单次扫描测量只需几秒钟就可以测得一条 $G(\tau)-\tau$ 或 $g(\tau)-\tau$ 曲线; 另外, 可根据需要进行多次信号累积迭加, 多次累加能有效地提高信噪比. 图 3(a) 是经 3 次迭加而得到的染料激光脉冲的自相关 $G(\tau)-\tau$ 曲线, 利用 Gauss 函数拟合这一实验结果, 求得相干时间 $\tau_c = 6.5 \pm 0.5\text{ps}$ (在傅里叶变换的极限条件下 τ_c 代表光脉冲宽度), 这一测量结果与我们用强度相关方法测得的光脉冲宽度是一致的. 图 3(b) 是改变信号强度测出的场互相关曲线, 由此获得超过 5 个数量级信号强度变化的动力学范围. 大的动力学范围和高的时间分辨能力使这种场相关分析装置在图像分析应用中极有前途.

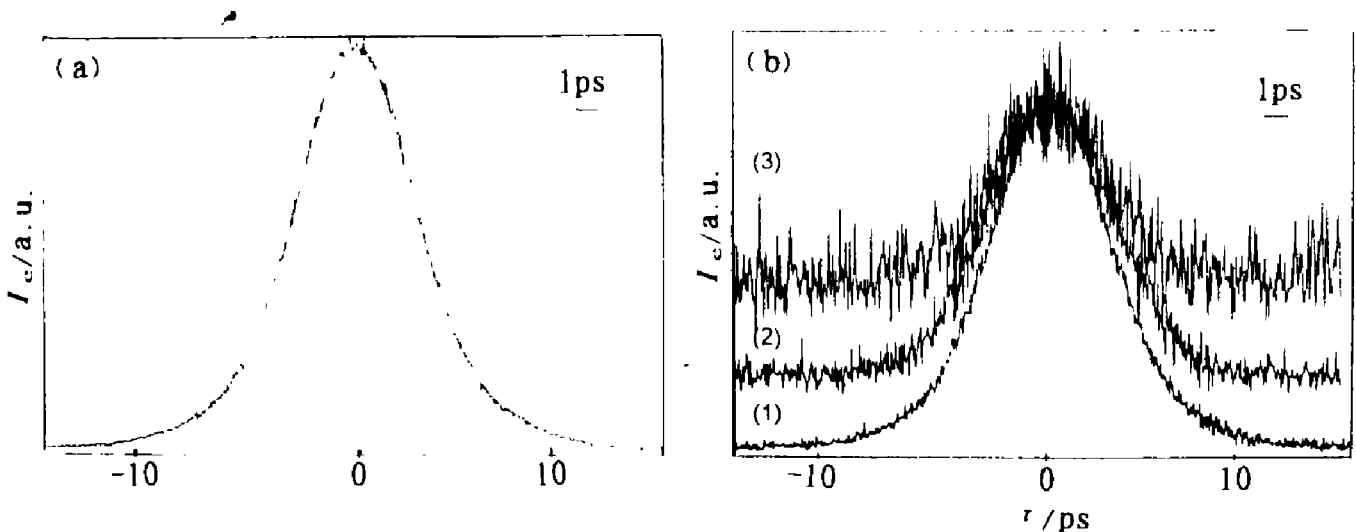


图 3 场相关测量实验结果
Fig. 3 Experimental results of the correlation measurement

2.2 场相关方法信息读出

实验使用的光谱烧孔材料为对四甲基苯基啉掺入聚合物聚甲基丙烯酸甲脂(PMMA),透明薄膜厚度约为 0.5mm. 信息光的波长在 650~580nm 之间可调谐,信息光为脉冲,其自相关曲线如图 4(a)所示. 样品放于低温杜瓦瓶中,温度为 4.2K,烧孔波长为 619nm. 信息光的写入和读出过程如下:信息光与参考光的相干调制光入射到烧孔介质上,持续约 5min 完成信息写入,然后用读出光与另一束参考光的相关测量读出所存入的信息.

主要实验装置包括一对全同衍射光栅作为色散和频率补偿;两个透镜置于两光栅中间,光路中心是透镜焦点;焦点上放普通全息介质. 写入时信息光与参考光平行入射到第一个光栅(色散光栅)上,经第一个透镜会聚后,两光束的相干强度记录在全息介质上;然后由第二个光栅进行频率补偿. 相干的信息光与参考光入射到透明样品上持续约 5min 完成烧孔(写入)过程. 信息的读出过程是先去掉信息光,把读出光(即写入时的参考光)分成两束,用其中较弱光束探测已写入的信息,透射光与另一束光的相关测量则给出存入信息的时域结果,即完成了读出过程,如图 4 所示. 图 4(a)是存入的光脉冲,(b)是重现的光脉冲. 利用这种方法,我们成功的完成了全息方式的时域光学数据脉冲的存入和再现.

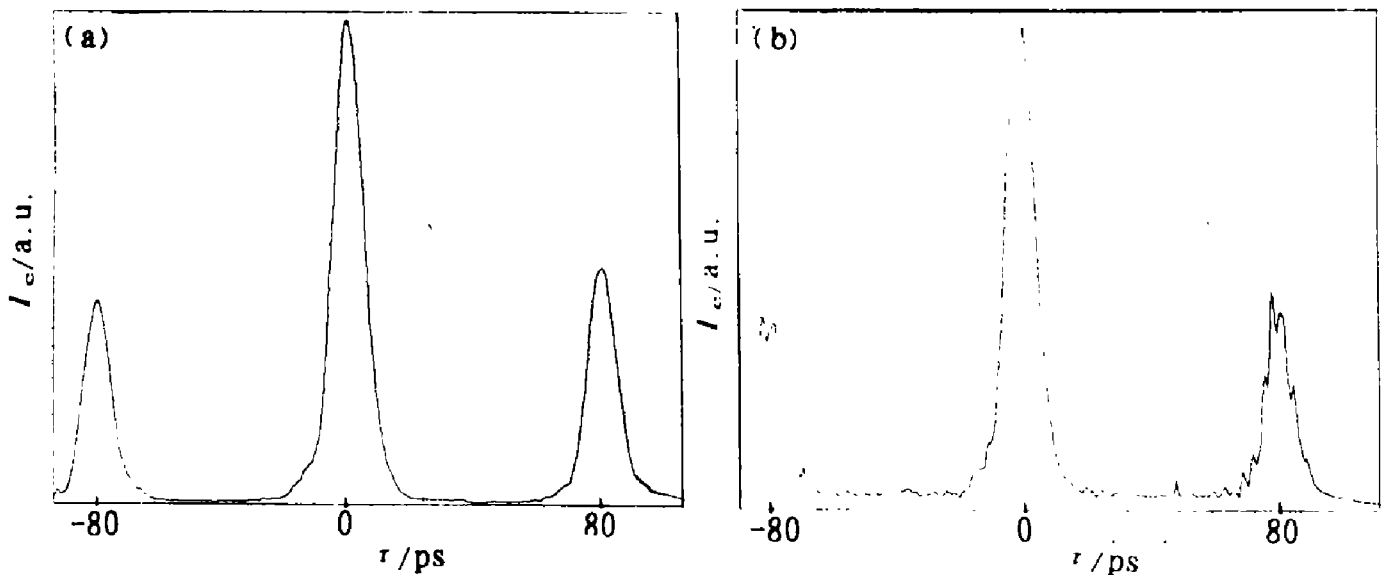


图 4 4.2K 光谱烧孔材料中 3 个光学数据脉冲的写入和读出

Fig. 4 Writing and retrieval of 3 optical data pulses in holeburning material at 4.2K

3 结语

本文提出的场相关测量方法具有较高的时间分辨能力和较宽的动力学范围,有可能用于光学信息存贮研究. 光学数据脉冲的全息存贮能够由场相关方法再现.

参考文献

- 1 Moerner W E. *Persistent Hole-Burning: Science and Applications*, Berlin:Spring-Verlay, 1988
- 2 Ippen E P, Shank C V. "Techniques for Measurement", in *Ultrashort Light Pulses: Picosecond Technique and Applications*, ed. by S. L. Shapiro, Berlin: Spring-Verlay, 1977:83~122
- 3 Rebane A, Aviskoo J, Kuhl J. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **54**:93
- 4 Debarre A, Keller J C, Gouet J Le, et al. *J. Opt. Soc. Am.*, 1991, **B5**:153

SPECTRAL HOLOGRAPHY OF ULTRAFAST OPTICAL DATA IN SPECTRAL HOLE-BURNING MATERIALS*

Dou Kai Jin Chunming Zhao Jialong Zhou Fangce
Tian Mingzhen Huang Shihua Yu jiaqi

(Changchun Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130021, China)

Abstract A new method for determining the correlation function of light field was theoretically proposed and experimentally performed. It exhibited a large dynamical range over 5 orders of magnitude and an ultrahigh time resolution of subpicosecond. The writing and retrieval of the optical data stored holographically in spectral hole burning material were achieved for the first time by the method.

Key words spectral hole burning, ultrafast optical data, field correlation measurement.

*The project supported by the State 863 Program and the Laboratory of Excited State Physics, Chinese Academy of Sciences.