

CS₂ 飞秒超快非线性特性的实验研究*

杨青^{1,2b}, 林天星^{2a}, 司金海^{2a}, 陈烽^{2a}, 侯洵^{1,2a}

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所 瞬态光学技术国家重点实验室, 西安 710119)

(2 西安交通大学 a. 电子与信息工程学院 电子科学与技术系; b. 机械学院红外与激光研究所, 西安 710049)

摘要:采用中心波长 800 nm、脉宽 30 fs 的超短激光脉冲, 通过飞秒光开关技术对 CS₂ 的飞秒超快非线性特性进行了实验研究. 在探测光强与抽运光强比为 1 : 10 时, 得到了较理想的光克尔时间分辨曲线. 通过实验测定的光克尔信号强度与激发光和探测光偏振方向夹角的依赖关系表明: 30 fs 的超短激光脉冲激发 CS₂ 的克尔信号主要是源于光诱导双折射效应, 而非用 200 fs 的超短激光脉冲时来自瞬态栅的自衍射效应.

关键词:CS₂; 飞秒激光脉冲; 超快非线性

中图分类号: O43

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)12-3130-3

0 引言

目前, 利用飞秒激光脉冲研究材料的非线性光学性质和超快响应过程的技术手段主要有: 四波混频(Four Wave Mixing, FWM), 光克尔效应(optical Kerr effect OKE)、抽运-探测(pump-probe)、Z-扫描(Z-scan)和三倍频(Third Harmonic Generation, THG)等技术^[1]. CS₂ 是 Kerr 效应最具代表性的介质之一, 通常被人们用作测量非线性材料超快特性的标准样品. T. C. Owen 等曾用 80 ns, 10.6 μm 的 CO₂ 激光脉冲对 CS₂ 样品的超快光克尔效应(ultrafast optical Kerr effect)进行了系统的测量, 获得大约 1 ns 的响应时间^[2]. 本文采用中心波长 800 nm、脉宽 30 fs 的超短激光脉冲对 CS₂ 样品的超快 OKE 过程进行了探测, 并且在探测光强与抽运光强比为 1 : 10 时, 得到了较好的时间分辨曲线, 曲线为 1.6 ps 的包括慢响应的衰减时间过程的非对称分布, 这和早期的实验结果一致^[3]. 并通过实验, 分别在 0 fs 延迟和 300 fs 延迟处对 Kerr 信号强度与抽运光偏振面和探测光偏振面夹角的依赖关系进行了测量, 测量结果表明, 使用 30 fs 激光测得的光诱导信号主要来自于光诱导双折射的 Kerr 效应. 而非用 200 fs 的超短激光脉冲研究有机-无机材料超快特性时所表现的瞬态栅的自衍射效应(laser-induced transient grating)^[4-5].

1 实验原理及实验结果

实验中样品 CS₂ 装于一厚度为 2.0 mm 的石英

样品池内. 其实验光路如图 1. 实验采用典型的 OKS 装置, 钛宝石飞秒激光器(Ti : sapphire)输出的脉宽为 30 fs/1 kHz 的激光脉冲经分束器 BS 以 20% : 80% 的分束比分为两束, 其中光强较弱的一束作为探测光, 较强的一束作为抽运光. 延迟线(Delay)用于调节两束光脉冲之间的时间延迟; 可调节衰减片(Attenuator)用于调节抽运光的强度, 抽运光的偏振方向经过二分之一波片(λ/2)后旋转 45°, 抽运光和探测光分别经焦距为 100 mm 的凸透镜聚焦后在焦点附近且重叠于 CS₂ 内部的同一位置, 光斑直径约为 250 μm. 检偏器置于样品后, 使其偏振方向与探测光的偏振方向垂直, 探测光信号由光电二极管采集获得.

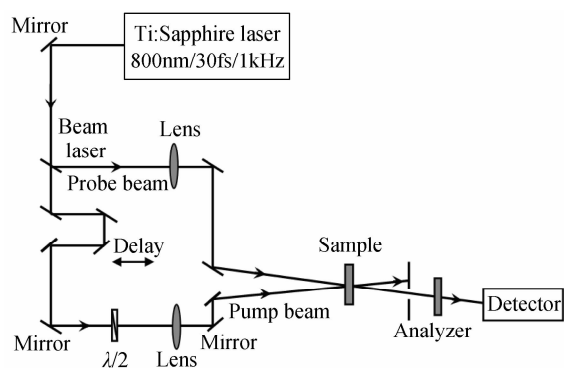


图 1 实验光路

Fig. 1 Experimental setup for OKS using femtosecond laser at 800 nm

检偏器的偏振方向与探测光的偏振方向相互垂直, 所以, 在没有抽运光作用的时候, 探测光经过各向同性的 CS₂ 样品后其偏振方向不发生任何改变, 因而探测器接收不到任何探测光信号; 而当较强的抽运光作用于样品时, CS₂ 分子在强电场的作用下, 分子将重新取向排列, 而呈现出瞬态光致双折射效应, 其瞬态光致双折射效应持续时间依赖于抽运光

* 国家基金项目(10674107、60678011)资助

Tel: 029-82668984 Email: yangqing@mail.xjtu.edu.cn

收稿日期: 2008-10-10

修回日期: 2008-12-30

脉冲的宽度和样品的固有特性.在这种情况下,探测光经过具有瞬态双折射效应的样品后其偏振方向将发生改变,使其部分可以通过检偏器并被探测器检测出光克尔信号的强度.此时探测器所接收的光强度为^[6]

$$I = I_0 \sin^2(2\theta) \sin^2(\Delta\phi/2) \quad (1)$$

式中 θ 为抽运光和探测光偏振面的夹角; $\Delta\phi$ 为由双折射所引起的相位变化; I_0 为保持同一 $\Delta\phi$, θ 取 $\pi/4$ 时测得的 Kerr 信号强度.

由式(1)可知, Kerr 信号 I 强度的大小与抽运光和探测光偏振面的夹角 θ 的依赖关系为一个周期 $\pi/2$ 的正弦函数,并在 θ 为 $\pi/4$ 时出现信号 I 强度的最大值.因此在 CS₂ 的 Kerr 信号强度的时间分辨的测量实验中,始终保持 θ 为 $\pi/4$.

2 实验结果及其分析

实验过程中探测光功率为 0.2 mW 时,通过改变抽运光功率,可以看到飞秒激光诱导的 CS₂ 光 Kerr 效应信号强度随抽运光强度的增强而增大的现象.当抽运光功率低于 1.7 mW 时,则无法观察到明显的光克尔现象.即此时的抽运光强无法使 CS₂ 溶液分子得到充分激发而重新取向.当抽运光功率为 2.0 mW 或更高时变可以观察到明显的光 Kerr 现象,为了防止因泵光强度过大而致使样品遭到破坏,在整个实验过程中将抽运光功率控制在 2.2 mW 左右,此时抽运光功率与探测光功率的比约为 10 : 1. 实验所得的光克尔信号随时间的分辨曲线如图 2.

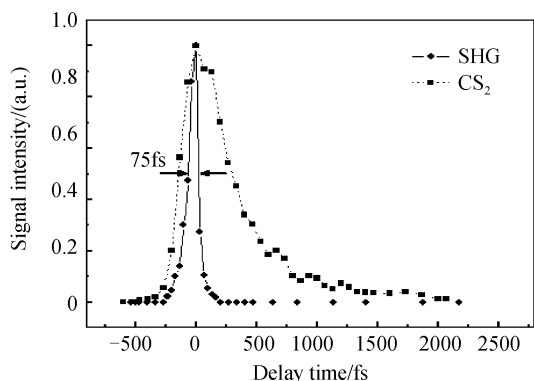


图 2 光克尔信号随时间的分辨曲线

Fig. 2 Time-resolved measurements of the OKE signal intensity in CS₂

图 2 中,实线代表的是倍频(second harmonic generation SHG)信号强度的时间分辨,其半高宽(Full Width at Half Maximum, FWHM)为 75 fs,虚线为 CS₂ 的 Kerr 信号强度随时间的变化.可以看出,CS₂ 的 Kerr 信号响应时间远大于激光脉冲的宽度,并存在约为 1.6 ps 分子取向弛豫的慢变过程的不对称分布.这与以往的研究结果相一致^[3,7].

为了进一步了解 CS₂ 在 30 fs 超短激光脉冲作用下瞬态光学效应的产生机理,我们分别在 0 fs 延迟和 300 fs 延迟处对 Kerr 信号强度与抽运光和探测光偏振面夹角的依赖关系进行了实验研究,结果如图 3.

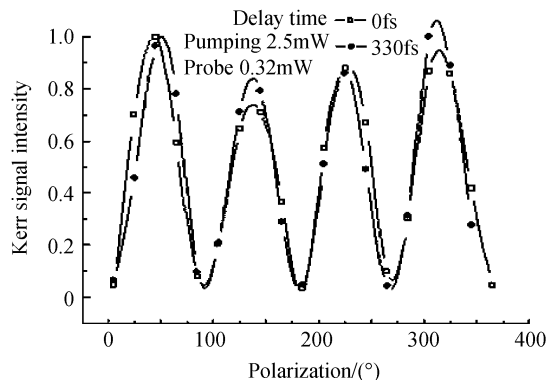


图 3 0 fs 和 300 fs 延迟处对 Kerr 信号强度与抽运光和探测光偏振面夹角的依赖关系

Fig. 3 Dependence of Kerr signal intensity on the polarization angle between the pump and probe beams at when the pump-probe delay time was set at 0 fs and 300 fs

从图 3 可以看出,无论在 0 fs 延迟处还是在 300 fs 延迟处, Kerr 信号强度与抽运光和探测光偏振面夹角之间的关系均为正弦函数,且周期为 $\pi/2$. 这与式(1)所得出的、由光致瞬态双折射效应所产生的 Kerr 信号强度与抽运光和探测光偏振面之间夹角的依赖关系一致.这说明了在强电磁场的作用下, CS₂ 分子会做规则取向,从而使 CS₂ 样品呈现出明显的瞬态各向异性.这一实验结果表明 30 fs 飞秒激光诱导 CS₂ 溶液所产生 Kerr 信号主要源于光致双折射效应,这符合 CS₂ 的光学特性^[8-9]. 这一结果与已报道的 200 fs 脉宽激光诱导 Kerr 效应^[4]时诱导光信号主要来源于瞬态光栅效应有明显的区别.当采用 200 fs 脉宽激光诱导 Kerr 效应时,由于其对应的光谱宽度(约 10 nm)要远较 30 fs 脉冲激光所对应的光谱宽度(约 50 nm)为窄,更容易由抽运光和探测光的相干而产生干涉光场,而在材料内部形成周期分布,导致材料折射率的周期性光栅分布,即在有机分子体系或无机材料内部形成瞬态折射率光栅.所产生的瞬态折射率光栅会对 Kerr 信号强度产生明显的影响.因此,要排除瞬态折射率光栅对测量的影响、准确反映非线性材料的超快特性,选择脉宽更短的飞秒激光脉冲无疑更具有优势.

3 结论

在探测光强与抽运光强比为 1 : 10 时,得到了较理想的光克尔时间分辨曲线.通过实验测定的光克尔信号强度与激发光和探测光偏振方向夹角的依

赖关系表明:30 fs 的超短激光脉冲激发 CS₂ 的克尔信号主要是源于光诱导双折射效应(Photoinduced Birefringence Effect),而非用 200 fs 的超短激光脉冲诱导时来自瞬态栅的自衍射效应(Laser-induced Transient Grating).

参考文献

- [1] SHEN Y R. The principles of nonlinear optics[M]. John Wiley & Sons Inc,1984.
- [2] OWEN T C,COLEMAN L W,BURGESS T J. Ultrafast optical Kerr effect in CS₂ at 10.6 μm[J]. *Appl Phys Lett*,1973,**22**(6):272-273.
- [3] MINOSHIMA K,TAUJI M,KOBAYASHI T. Femtosecond time-resolved interferometry for the determination of complex nonlinear susceptibility[J]. *Opt Lett*,1991,**16**:1683-1685.
- [4] ZHU Xiao-lei,DENNIS LO. Sol-gel glass distributed feedback waveguide laser[J]. *Appl Phys Lett*,2002,**80**:917-919.
- [5] PAVEL CHEBEN,FRANCISCO DEL MONTE,DENNIS J. WORSFOLD, *et al.* A photorefractive organically modified silica glass with high optical gain[J]. *Nature*,2000,**408**:64-67.
- [6] KURIHARA T,OOBA N,KUBODRA K, *et al.* Highly efficient ultrafast optical Kerr shutters with the use of organic nonlinear materials[J]. *J Opt Soc Am B*,1994,**11**:2216
- [7] MINOSHIMA K,TAIJI M,KOBATSHI T. Femtosecond time-resolved interferometry for the determination of complex nonlinear susceptibility[J]. *Opt Lett*,1991,**16**:1683-1685.
- [8] HO P P,LU P Y,ALFANO R R. Time-dependent multiphoton absorption and optical Kerr effect in liquid CS₂ [J]. *J Chem Phys*,1981,**74**(3):1605-1607.
- [9] FALCONIERI M,SALVETTI G. Simultaneous measurement of pure optical and thermooptical nonlinearities induced by high-repetition-rate femtosecond laser pulses: application to CS₂ [J]. *Appl Phys B*,1999,**69**:133-136.

Experimental Study on Femtosecond Optical Kerr Effect in liquid CS₂

YANG Qing^{1,2b}, LIN Tian-xing^{2a}, SI Jin-hai^{2a}, CHEN Feng^{2a}, HOU Xun^{1,2a}

(1 State Key Laboratory of Transient Optics and Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China)

(2 a, Department of Electronic Science and Technique, School of Electronics & Information Engineering;
b. School of Mechanics Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The ultrafast nonlinear optical properties in liquid CS₂ are investigated by the femtosecond optical Kerr shutter technique at wavelength of 800 nm. Measurements for the dependence of Kerr signals on the polarization angle between the pump and probe beams show that the Kerr signals induced by 30 fs pulse laser arise mainly from the photoinduced birefringence effect, but not from a laser-induced transient grating as absorbed when using a 200 fs pulse laser. The OKE signal intensity increases with the increases of the intensity of pump beam.

Key words: CS₂; Ultrafast nonlinear; Optical properties



YANG Qing was born in 1968. She currently works as a lecturer at Xi'an Jiaotong University, and is a Ph. D. degree candidate at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, CAS. Her research interests focus on the transient optics.