

文章编号 : 0253-2239(2002)03-0281-04

共线存储实验及理论分析*

魏振乾¹⁾ 杨庆鑫¹⁾ 张娅娜¹⁾ 杨延强¹⁾ 魏志鹏¹⁾ 张文健¹⁾ 孙桂娟¹⁾ 李 峰²⁾

(1), 吉林大学物理系, 长春 130023
(2), 吉林大学化学系, 长春 130023

摘要: 以 Ar⁺ 离子激光器共线输出多波长作为光源, 以有机导电材料作样品, 采用简并四波混频(DFWM)光路装置, 实现了多重多波长共线读出实时和永久存储, 获得了良好的照片记录, 观测并解释了存储间的竞争现象。

关键词: 多波长共线存储; 有机导电材料; 实时和永久存储

中图分类号: TN911.74 文献标识码: A

1 引 言

新世纪将是高度信息化的时代, 信息量将以几何级数增长, 信息的高速度、大容量采集、传输、存储、记录和显示等都将是我们要关心的课题。近年来迅速发展的光信息存储更伴随着光子学的发展和成熟而成为当前的重大科学技术领域的热门内容。尤其是关于存储材料及技术的研究已成为当今各界公认的重大科学技术领域的前沿课题之一。有机光存储材料与早期各类存储材料相比存在着一系列实用上的优点, 近年来倍受研究人员的关注^[1-5]。本文旨在探索有机新材料的同时, 也进行了有效提高存储密度, 充分利用有机材料分子量级高分辨率性能的多波长共线存储技术的实验研究和理论分析, 得到了较好的研究结果。

2 实验样品与实验装置

实验样品为偶氮功能分子 4-硝基-3-偶氮-9-乙基-吡唑(ANECz), 其分子结构、吸收光谱及制作过程见文献[6]。

我们研究中所采用的实验装置主要有两种, 如图 1 和图 2 所示。

图 1 中实验光路是光电记录装置, 可以记录存储信号随时间的变化状态。虚线照像机装置可以摄影记录四波长共线读出存储的实时和永久状态。如果附加扩束装置 L 和以虚线表示的透镜 T, 则可以进行图像存储特性研究。

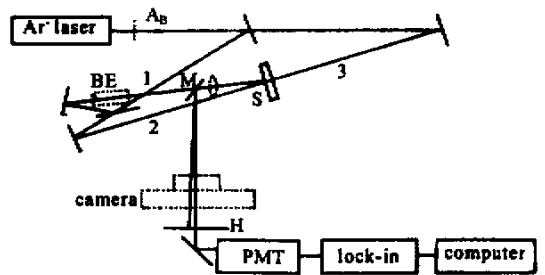


Fig. 1 The DFWM set-up for investigating the multi-storage of multi-wavelength in one beam. A_B: attenuator; BE: beam expander, used to amplify and parallel the diameter of the beam; M: mask; S: sample; H: orifice
图 2 相比图 1 增加了一重简并四波混频光路, 成为可记录双重存储的实验装置, 仅采用了摄影光点记录的方式。相对而言装置比较复杂, 有一定的调整难度。

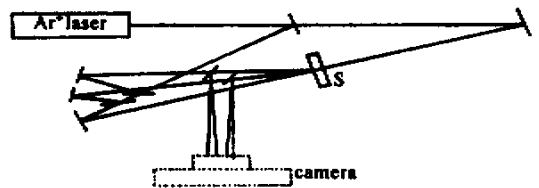


Fig. 2 The two DFWM set-up for investigating the multi-storage of multi-wavelength in one beam. S: sample

3 共线读出的实验结果及分析

我们采用图 1、图 2 的装置可以进行实时存储记录。按简并四波混频理论, 产生的四波混频信号可以以如下的三阶非线性电极化强度描述:

$$P_4^{(3)}(\omega) = \epsilon_0 \chi^{(3)} A_1 A_2 A_3^* \exp[i(\omega t - kz)], (1)$$

* 国家自然科学基金(597900501)资助课题。

收稿日期 2001-01-27; 收到修改稿日期 2001-03-19

式中 A_1 、 A_2 、 A_3 为相向行进的抽运光和探测光的振幅, ϵ_0 为真空中介电常数, $\chi^{(3)}$ 为介质的三阶极化率。只有 A_1 、 A_2 、 A_3 波皆存在才有 P_4 信号, 可见四波混频是一个实时存储系统, 它来源于介质的三阶非线性极化, 一般认为, 在含偶氮基样品体系中, 这主要和光致影响导致的光致双折射能力有关^[6-9]。

在一般全波段 Ar 离子激光器中, 易于进入工作状态的四个波长是 476.5 nm、488.0 nm、496.5 nm、514.5 nm, 在合适的调整下, 能获得四波长共线读出存储信号。改变各波长光强比, 会看到共线读出存储信号强度的变化。结果如图 3 所示。

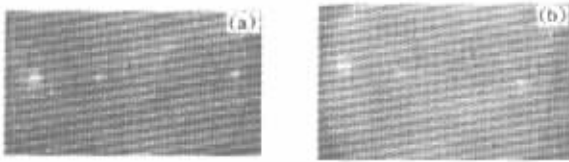


Fig. 3 The diffraction signal of the multiple wavelength in one beam. (a) $I_B : I_A = 5.5 : 1$; (b) $I_B : I_A = 2.7 : 1$

从两图比较可以明显看到, 随着绿光 (514.5 nm) 蓝光 (488.0 nm) 强度比变小时, 蓝绿光存储信号强度差也减小, 在 $I_A/I_B = 1:2.7$ 时(下标 A、B、C 分别表示 514.5 nm、488.0 nm、476.5 nm), 蓝、绿光存储比较之为 1:5.5 时, 快要相等了。从强度比变化导致存储强度的变化, 使我们看到了多波长共线读出存储状态之间的竞争。存储状态相互竞争影响存储信号强度变化。图 3(a) 图 3(b) 中左边为蓝光存储, 右边为绿光存储。实验中, 我们使用的为 362A 型 Ar^+ 激光器。可通过调节工作电流, 使只有一个波长 488.0 nm 出光, 其它波长不出光。加大工作电流, 则可使两个、三个、四个波长都同时出光。通过选取不同的 488.0 nm 衰减片(图 1 中 A_B) 和调节工作电流, 可以改变 I_A/I_B 强度比及各色光强度。为获得图 3 可以在强度比为 1:5.5 时给出 I_B 的测量数据, 以功率密度表示, $I_1 = 145.0 \text{ mW/cm}^2$, $I_2 = 141.5 \text{ mW/cm}^2$, $I_3 = 144.4 \text{ mW/cm}^2$, I_1 、 I_2 夹角为 15° 。 I_1 、 I_2 、 I_3 共平面, 没有倾角。各光束皆保持激光输出时的水平偏振状态。

采用图 2 的装置, 我们获得了良好的照片结果(图 4)。图 4 为两重多波长实时共线读出存储的信号。从每一重中我们都可以看出四个波长读出的存储信号。信息由于摆放的角度、取样位置远近等多方面影响, 使两重各波长读出存储信号之间距不完全相同。当仅有一重存在时, 我们将获得较大的读

出存储信号, 而有双重存储时, 则读出存储信号有所下降, 这表现了多重存储之间的竞争。



Fig. 4 The double collinear multiple wavelength real-time storage photograph

图 3、图 4 皆为实时存储信号。当在简并四波混频光路中, 关闭光束 5 分钟后, 再打开像机记录共线多波长读出存储信号, 则此时读出的只能是已经存储在样品中的永久存储信息, 其结果如图 5 所示。永久存储是为区别实时存储而言的, 实质上是一个较长时间的存储。实验中我们断续观测信号, 这种永久存储可达几个小时, 甚至一整天。永久存储时间长短与室内光源状况、温度、振动等环境条件有关系。这些因素都会造成存储信号的衰减或消失。



Fig. 5 The double collinear multiple wavelength permanent storage photograph

光电记录方法, 当只观测一个波长的存储信号变化时, 有时实验看起来更方便。为此, 我们采用图 1 装置中的实线输出部分, 挡去衍射光束中 488.0 nm 输出光, 衍射输出的 514.5 nm 信号光经斩波器后变成断续调制光, 进入光电倍增管, 经锁相放大器放大后, 送入到配有接口的计算机作画图记录。斩波器放在何处调制光束将影响存储行为, 并将得到不同的测量结果, 实验中我们用连续光存储, 而光电倍增管前加斩波器调制。图 6 为采用图 1 装置记录的 514.5 nm 波长读出存储信号随 I_A/I_B 光强比变化的情况。这样我们可以明显地看到不同波长之间的竞争。图 6 显示出共线多波长的不同波长间读出存储的竞争。100 秒前光强比为 $I_A/I_B = 1:2.7$, 100 秒后为 1:5.5。

共线多波长读出存储的原理在于对已存入材料的信息, 相当于一个记录存储了各波长的全息光栅, 不同波长共读“这些”光栅, 因 $d \sin \theta = m\lambda$ 之故, 不同的波长, 衍射光的方向不同, 所以可得到各波长各

自读出的信号输出。而不同波长,不同重数存储之间的竞争则可从如下的理论分析得到解释:该竞争来自两个因素,一是存储在域内粒子数的竞争,这样一重(或一波长)的存储行为会导致单位体积内可被另一重(或另一波长)利用的粒子数相对减少,造成竞争形成信号减弱;二是两重(或两波长)分别有自己的取向光栅,这种体光栅重叠也会彼此干扰,互相抑制,形成竞争,影响信号输出强度。

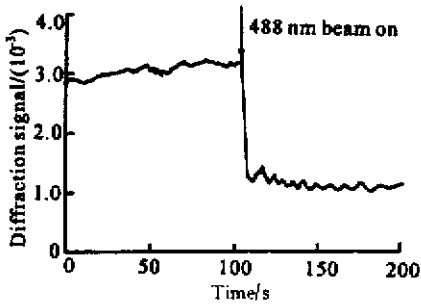


Fig. 6 The competence of different wavelength in a DFWM set-up. Before 100 s, $I_A/I_B = 1:2.7$; After 100 s, $I_A/I_B = 1:5.5$. The diffraction signal here is for 514.5 nm laser

从以上的研究我们可以看到,采用多波长共线读出存储,尤其是多重波长共线读出存储可充分利用存储的信息,尽管存在竞争现象,这种方法仍不失为一种有应用前途的波分和空分复用存储方法。

4 共线存储的理论分析和实验验证

通过进一步的研究分析,我们使用了共线多波长读出存储的提法,这是因为如果四个波长都已实现共线存储,则按照理论讨论,多波长共线读出的存储信号不仅只有4个,而是应有更多。我们分析认为,由于某种原因,有些波长没有形成存储,只起了读出存储的作用。我们细致分析了实验条件,发现原因主要在于 Ar^+ 激光共线输出四波长强度相差悬殊。按强度排列四波长的顺序是:488.0 nm、514.5 nm、496.5 nm和476.5 nm,受激光器工作原理及工作条件的影响,前后两光强度比 I_B/I_C 可达无限大,这即相当于小弧光工作电流时476.5 nm不出光的状态,加大工作电流,四波长都出光,但此时仍然不仅 I_B/I_C 仍非常大,即使 I_B/I_A 值也可近似6或更大。因此在用此强度相差悬殊的共线四波长存储时,由于竞争等一些影响,使得实际上真正形成存储的只有488.0 nm的存储光栅,其它的波长只是和488.0 nm一起共同读出488.0 nm形成的存储,出

现共线四波长读出存储信号,形成图4、5的四个光点,从记录光点大小亮度上也很容易看出它们的强度情况。

要想真正实现共线多波长存储,必须改善多波长强度比,使之近似相等,由于 Ar^+ 激光器四个波长强度相差悬殊,我们只能从强度尚好比较的 I_B 和 I_A 入手进行实验。采用只对 I_B 衰减的方法,我们使 I_B 和 I_A 相等,此时488.0 nm和514.5 nm的简并四波混频光强为 $I_1 = 77.8 \text{ mW/cm}^2$, $I_2 = 70.7 \text{ mW/cm}^2$, $I_3 = 67.2 \text{ mW/cm}^2$,这样则获得了共线两波长存储,实验结果的摄影记录如图7所示。

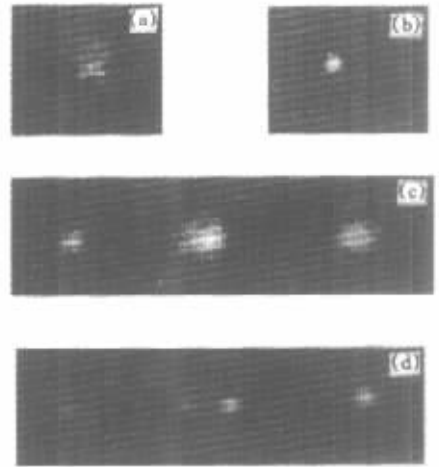


Fig. 7 Storage signal photographs. (a) With only 488.0 nm; (b) With only 514.5 nm; (c) With both 488.0 nm and 514.5 nm; (d) With collinear 488.0 and 514.5 nm

可以从理论上分析我们的实验现象。按简并四波混频的全息理论解释,可认为两波长各自形成记录光栅,其光栅常数,即光栅条纹间距由下式确定

$$\Lambda = \frac{\lambda}{2\sin(\theta/2)}, \quad (2)$$

其中 θ 为图1中光束1和2之间的夹角。由于波长不同,故现在有光栅间距为 Λ_B 和 Λ_A 的两个光栅。按简并四波混频理论,现在可视光束3——第三束光波为全息光栅的读出光束,共线读出角度可标为 θ' 。与通常表示的光栅方程

$$d\sin\theta = m\lambda \quad (3)$$

类比,按简并四波混频理论,此时光束3读出的结果将产生与光束1反方向传播的相位共轭光。不管488.0 nm还是514.5 nm光都共线沿光束1反方向输出信号,此时 $\theta' = \theta$ 。如果只有一个波长488.0 nm的光栅,则一级输出满足

$$\Lambda_B \sin\theta' = m\lambda = 488.0 \text{ nm} (m = 1), \quad (4)$$

或只有 514.5 nm 光,则有

$$\Lambda_A \sin \theta' = m\lambda = 514.5 \text{ nm} (m = 1), \quad (5)$$

都是只有一个输出光点信号,这正如图 7(a)、图 7(b)所示的情形。但如果两波长共线存储,则情况就复杂了,此时 488.0 nm 光除了读出自己的光栅形成的衍射信号外,也读出 514.5 nm 光栅形成的衍射信号,此时读出角为 θ'' ,即此时将有

$$\left. \begin{aligned} \Lambda_B \sin \theta' &= m\lambda = 488.0 \text{ nm} (m = 1), \\ \Lambda_A \sin \theta''_B &= m\lambda = 488.0 \text{ nm} (m = 1). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

因为 $\Lambda_A > \Lambda_B$, 所以 $\theta''_B < \theta'$ 。

同样对 514.5 nm 光,除读出 514.5 nm 光自己光栅形成的衍射信号外,也读出 488.0 nm 光栅形成的衍射信号输出,此时即有

$$\left. \begin{aligned} \Lambda_A \sin \theta' &= m\lambda = 514.5 \text{ nm} (m = 1), \\ \Lambda_B \sin \theta''_A &= m\lambda = 514.5 \text{ nm} (m = 1). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

因为 $\Lambda_A > \Lambda_B$, 所以 $\theta''_A > \theta'$ 。

从上面分析可以看出,两波长共线存储读出将有复色光和单色光两类,中心光点在 θ' 方向为 488.0 nm 和 514.5 nm 两色光的复合光,而在大于 θ' 方向有被 488.0 nm 光栅衍射的 514.5 nm 的绿光。在小于 θ' 角方向有被 514.5 nm 光栅衍射的 488.0 nm 蓝光。实验获得的照片如图 7(c)所示,正因为如此,所以实验与理论预测完全相符。

为了验证中心光点确为双波长复色光,我们让三个输出光都同时入射到一分光三棱镜上,结果中心光点又分两色光出射,形成一个四个光点的实验结果,这正是图 7(d)照片的情况。

结论 从结果可以说,我们不仅实现了共线多波长读出存储,也实现了共线两波长存储。由于有机材料有极好的分辨能力,充分利用这一点实现多波长

存储、多重存储都有利于提高存储密度。从技术类的角度讲,我们的研究实际上是一种材料的波分、空分复用存储技术,这种有机材料共线多波长多重存储有着重要的实用价值和广阔的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Lee G J, Kim D, Lee M. Photophysical properties and photoisomerization processes methyl red embedded in rigid polymer. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(1):138~143
- [2] Fei H, Wei Z, Wu P *et al.*. Biphoton holographic storage in methyl orange and ethyl orange dyes. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(6):411~413
- [3] Wei Zhengqian, Fei Haoshen, Bao Xinxian *et al.*. Storage characteristics of push-pull azobenzene compounds. *Acta Optic Sinica*(光学学报), 1995, **15**(16):1394~1398 (in Chinese)
- [4] Rochon P, Gosselin S, Natansohn A *et al.*. Optically induced and erased birefringence and dichroism in azobenzene polymer. *Appl. Phys. Lett.*, 1992, **60**(1):4~5
- [5] Wang C, Fei H, Xia J *et al.*. Optically controlled image storage in azobenzene liquid-crystalline polymer films. *Appl. Phys. (B)*, 1999, **68**(6):1117~1120
- [6] Yang Qingxin, Wei Zhenqian, Zhang Yana *et al.*. Photo-induced birefringence and bicolor image storage in azo-doped polymer film. *Acta Optic Sinica*(光学学报), 2001, **21**(6):679~682 (in Chinese)
- [7] Wei Zhenqian, Dai Zhenting, Zhu Xinyu *et al.*. Study of multiple storage characters of push-pull organic materials. *Acta Optic Sinica*(光学学报), 1999, **19**(2):186~190 (in Chinese)
- [8] Alan G, Chen S, Darid J *et al.*. Surface-stabilized holography in azo-dye-doped liquid crystal. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(17):1231~1233
- [9] Holme N C R, Ramanujam P S, Hvilsted S. 10000 optical write read and erase cycles in an azobenzene sidechain liquid-crystalline polyester. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(12):902~904

Experiment and Theoretical Analysis of Collinear Storage

Wei Zhenqian¹⁾ Yang Qingxin¹⁾ Zhang Ya'na¹⁾ Yang Yanqiang¹⁾ Wei Zhipeng¹⁾
Zhang Wenjian¹⁾ Sun Guijuan¹⁾ Li Feng²⁾

(1), Department of Physics, Jilin University, Changchun 130023
(2), Department of Chemistry, Jilin University, Changchun 130023)

(Received 27 January 2001; revised 19 March 2001)

Abstract: The collinear multiple wavelength and multiple storage are demonstrated by using DFWM setup with Ar⁺ collinear output laser. The employed sample is a new synthesis organic conductive material. The multiple wavelength collinear real-time readout and permanent storage are performed. The excellent storage photograph are obtained.

Key words: collinear multiple wavelength storage; organic conductive materials; real-time and permanent storage