

用液晶作调制器的相位成像*

蒋建华 肖玲 丁刚 张桂燕 林福成

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

徐克畴

(复旦大学物理系 上海 200433)

提要 利用液晶调制器和 CCD 探头组成的荧光相位成像系统, 实现了不同荧光寿命物体的荧光成像, 时间分辨率达到了亚毫秒量级。并对结果进行了讨论。

关键词 液晶调制器, 荧光相位成像, 激光晶体

1 引 言

荧光相位成像^[1]是 90 年代发展起来的新技术, 它在许多领域中有重要的应用。例如, 利用荧光相位成像可以实时地分析细胞中 Ca^{2+} 的浓度^[2]。这一方法的关键是一个能够进行增益调制的成像装置, 通常使用带开关的像增强器。这种像增强器十分昂贵, 严重制约荧光成像技术的发展。本文利用液晶调制器加 CCD 探头组成的系统, 对不同荧光寿命的物体进行了实验研究, 成功地得到亚毫秒量级的时间分辨率的像。

2 铁电液晶调制器

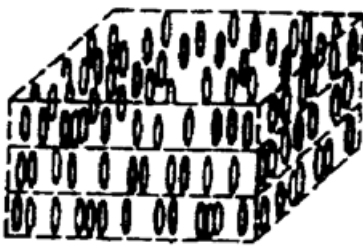


图 1 铁电液晶

Fig. 1 Ferroelectric liquid crystal
的光程差为

铁电液晶是一种层状结构, 每个层中的液晶分子平行排列, 如图 1 所示。每个液晶分子像一个单轴晶体, 所以整个铁电液晶也像单轴晶体。当在液晶表面加上透明玻璃电极时, 若电压为 $+V$, 液晶分子的长轴与 x 轴成 θ 角, 加上 $-V$ 时, 液晶分子的长轴与 x 轴成 $-\theta$ 角, 如图 2 所示。液晶在长短轴上的折射率分别为 n_e 和 n_o , 在 $+\theta$ 角(加上 $+V$ 电压)时入射光的偏振沿长轴方向, 折射率为 n_e , 穿过液晶后偏振面没有改变; 加上 $-V$ 电压后, 入射光的偏振与长轴方向成 2θ 角。若 $2\theta = 45^\circ$, 则沿长短光轴两个偏振分量的

$$\Gamma = 2\pi(n_e - n_o)d/\lambda_0$$

其中 λ_0 为波长, d 为液晶的厚度。选 d 的值使得 $\Gamma = \pi$, 则偏振面转了 90° 。在透明玻璃电极外面加上起偏器和检偏器时, 改变电压引起透过率的改变。

铁电液晶开关的响应时间为 $100 \mu\text{s}$ 的量级, 图 3 为该器件在 127 Hz 方波调制时的波形。

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1997-12-17; 收到修改稿日期: 1998-02-20

由于所加电压较低, 得到 800 μs 的响应。

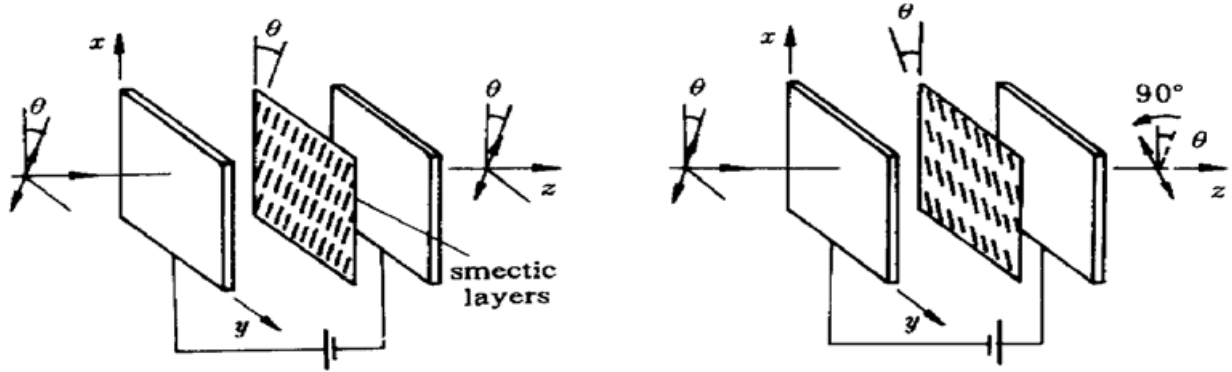


图 2 铁电液晶开关

Fig. 2 Ferroelectric liquid crystal switch

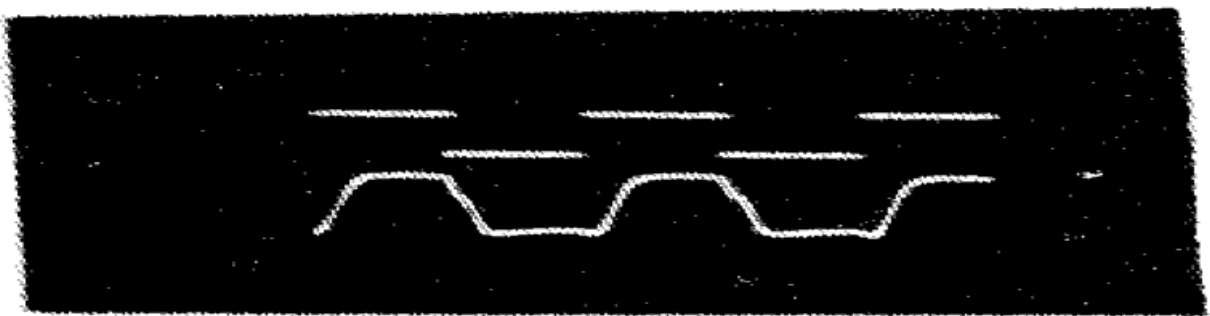


图 3 铁电液晶开关的时间响应

Fig. 3 Temporal response of the ferroelectric liquid crystal switch

3 方波激发的时间波形

受光激发的荧光 n_2/t 满足如下方程^[3]

$$dn_1/dt = - dn_2/dt = k(n_2 - n_1)p(t) + n_2/\tau$$

其中 $p(t)$ 为激发光波形, n_2, n_1 分别为上下能级的粒子数. τ 为荧光寿命, k 为常数, 反映荧光的转换效率。

图 4 为方波激发的荧光波形, 其中假定 $k = 1$ 。可以看出荧光寿命 τ 越短时, 荧光波形越接近激发波形。当荧光寿命和激发波形的持续时间可比拟 ($t \approx 1$) 时, 荧光波形上升得很慢, 有很长的余辉, 荧光的最亮部分相对于激发波形向后移动。如果把方波调制电压同时加在液晶开关上面, 选择不同的相位延迟, 就可以分别对不同的荧光寿命的物体成像。

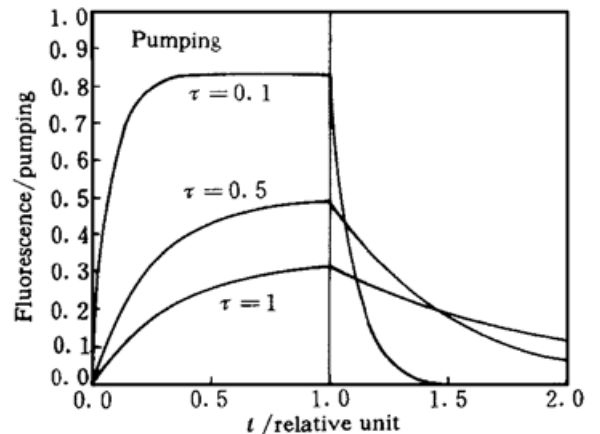


图 4 方波激发的荧光波形

Fig. 4 Fluorescence wave pattern stimulated by a square wave

4 实验结果

实验使用了红宝石和钛宝石两块激光晶体。红宝石的荧光寿命为 4 ms, 钛宝石的荧光寿命为 3 μs, 两者相差三个量级。激发光为 Ar⁺ 激光, 用 127 Hz 的斩波器调制, 斩波器同时输出

一个参考信号, 经过相移和放大之后加在液晶开关上, 用工业电视接收激光晶体的像。图 5 和图 6 分别为相移电路和实验方框图。图 7 的实验照片是在相移 180° 时, 选择不同相移的成像。从图中可以看出选择成像的效果。

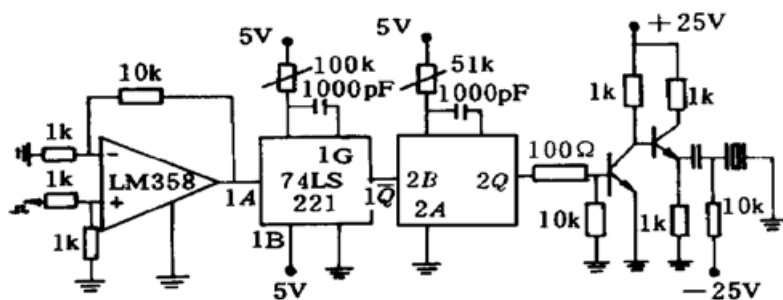


图 5 相移电路
Fig. 5 Phaseshift circuit

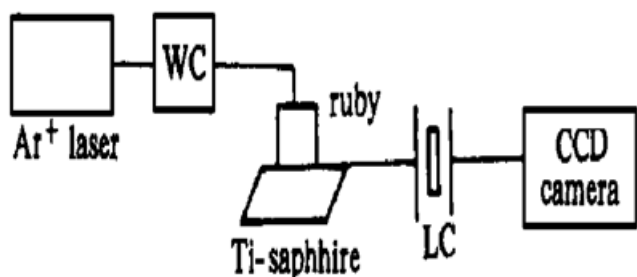


图 6 实验方框图

WC: 斩波器; LC: 液晶调制器

Fig. 6 Schematic diagram of the experiment

WC: wave clipper; LC: liquid crystal modulator

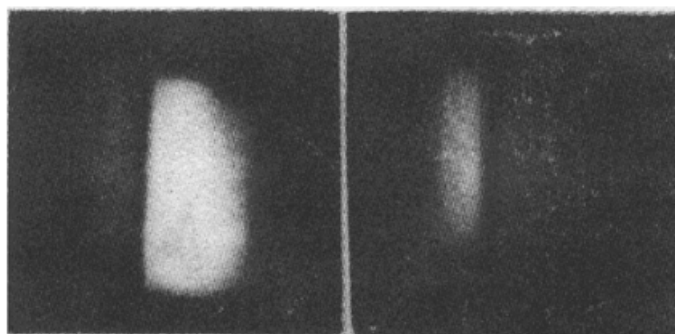


图 7 选择不同相移的成像

Fig. 7 The images in different phases

参 考 文 献

- 1 J. R. Lakowicz, K. W. Berndt. Lifetime-selective fluorescence imaging using an rf phase sensitive camera. *Rev. Sci. Instrum.*, 1991, **62**(7): 1727~ 1734
- 2 J. R. Lakowicz. Fluorescence lifetime sensing generates cell images. *Laser Focus World*, 1992, **28**(5): 60~ 62, 66
- 3 Ding Gang, Jing Chunyang, Xiao Ling *et al.*. Fluorescence phase sensitive imaging with beam scanning. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1999, **19**(4): 567~ 569 (in Chinese)

Phase sensitive Images with a Liquid Crystal Modulator

Jiang Jianhua Xiao Ling Ding Gang Zhang Guiyan Lin Fucheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Xu Kechou

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433)

Abstract Employing a liquid crystal modulator and CCD camera, a phase-sensitive images system has been investigated experimentally for various fluorescence lifetimes. The images have been obtained with the time resolution up to sub-millisecond.

Key words liquid crystal modulator, phase-sensitive images, laser crystal