

染料分子微微秒吸收恢复时间的测量

李富铭 刘一先 陈凌冰

(复旦大学物理系)

杨善元

(中国科学院上海植物生理研究所)

提要: 本文介绍了测量染料分子微微秒吸收恢复时间的一种改进型实验装置。利用此装置测量得隐花菁染料分子的吸收恢复时间 τ_a 为 16 ± 3 微微秒。由简化的二能级模型推算得隐花菁分子激发高能级的弛豫时间 τ 为 21 ± 4 微微秒。

Measurement of picosecond absorption recovery time for dye molecules

Li Fuming, Liu Yixian, Chen Lingbing

(Department of Physics, Fudan University)

Yang Shanyuan

(Shanghai Institute of Plant Physiology, Academia Sinica)

Abstract: An improved experimental setup for measuring picosecond absorption recovery time is reported. Absorption recovery time for cryptocyanine in ethanol is measured to be 16 ± 3 ps. Based on simplified two-level model the relaxation time for upper level of the cryptocyanine molecule is estimated to be 21 ± 4 ps.

染料分子的吸收恢复时间是影响锁模激光脉冲特性的主要参量,吸收恢复时间越短可获得时间宽度越窄的锁模光脉冲^[1,2]。研究染料分子的吸收过程还有助于深入了解激光器被动锁模的机理,对研制高质量的锁模激光器件具有一定的意义。

测量染料分子吸收恢复时间或激发态弛豫时间的方法目前有两种,一种是利用光闸

法测量染料分子激发态的荧光寿命;另一种是采用双脉冲探测技术测量染料分子被漂白后吸收率的恢复时间。M. A. Duguay 等人^[3]采用前一种方法以锁模钕玻璃激光及其二次谐波作光源,最先测量了隐花菁和 DDI 染料分子电子激发态的荧光寿命,对隐花菁(甲醇溶液)测量的结果是 22 ± 4 微微秒。这种方

收稿日期: 1982年8月2日。

法的时间分辨率受到克尔液体定向弛豫时间的限制。J. W. Shelton 等人^[4]采用后一种方法,将样品放在激光谐振腔内,既作锁模染料又作待测样品,测得 Eastman 9740 染料分子弛豫时间为 8~25 微微秒。此后 R. I. Scarlet 等人^[5]采用同样方法但样品置于激光谐振腔外,测得 Eastman 9860 染料分子的弛豫时间约为 6 微微秒。这两种装置均存在问题,对可测样品和测量结果带来一定影响。我们改进了上述装置,仍用双脉冲技术测量了隐花菁分子(乙醇溶液)的可饱和吸收恢复时间,与 M. A. Duguay 等人的结果符合。

一、实验装置和结果

我们最初也采用了类似于 R. I. Scarlet 等人的实验装置。我们改进了的实验装置如图 1 所示。实验中所用锁模激光器是叶绿素 *d* 染料被动锁模红宝石激光器,单个脉冲持续时间的平均值用双光子荧光照相法和双光子荧光光电法测定为小于 2 微微秒,单个脉冲的平均能量约为 0.2 毫焦耳。输出光束用分束器 *B* 分裂为强的激励光束和弱的探测光束。激励光束经过光学可变延迟线 *VD*,用 $f=35$ 毫米的透镜 *L* 聚焦到样品池 *K* 中间。焦点处光斑直径小于 0.2 毫米,样品池尺寸为 $10 \times 15 \times 30$ 毫米³。探测光束经衰减并用小孔光阑限制光束宽度至 0.2 毫米后,沿垂直于激励光束的方向入射到样品池中,

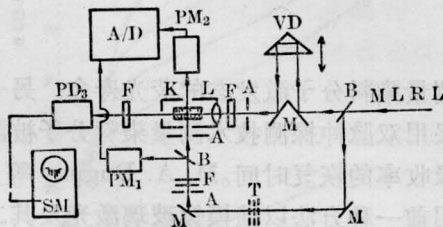


图1 测量染料弛豫时间的实验装置

MLRLL—被动锁模红宝石激光; *B*—分束器; *M*—反射镜; *T*—衰减器; *VD*—可变延迟线; *A*—光阑; *F*—滤光器; *L*—透镜; *K*—样品池; *PD*₃, *PM*₁, *PM*₂—光电探测器; *SM*—示波器

与激励光束在透镜 *L* 的焦点处相交。探测脉冲入射到样品池前后的信号用光电倍增管 *PM*₁、*PM*₂ 分别接收,同时送到前置放大器、模数转换器及数字记录系统记录。锁模激光器的输出波形由光电二极管 *PD*₃ 及示波器 *SM* 组合监视,用步进电机驱动 *VD*,改变两脉冲到达样品池内交叉区域的时间,便可测得样品在漂白前后不同时刻的透射率。

由上述改进后的装置测得隐花菁乙醇溶液的归一化透射率曲线如图 2 所示。从图中曲线求得隐花菁分子的吸收恢复时间 τ_a 为 16 ± 3 微微秒。

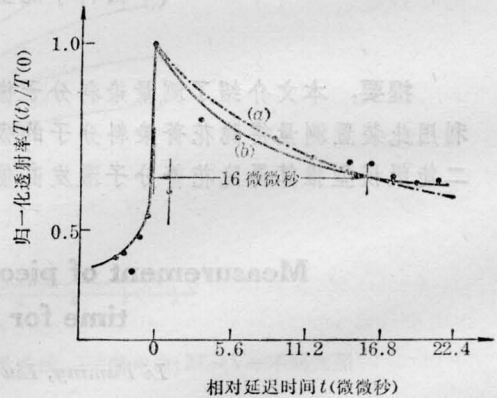


图2 隐花菁乙醇溶液的透射率对探测脉冲与激励脉冲间相对延迟时间的关系
(a) 理论曲线; (b) 实验曲线

二、讨论

由实验曲线测得的 τ_a 为隐花菁染料分子的吸收恢复时间,而不是其高能态的弛豫时间 τ 。隐花菁分子并非简单的二能级系统^[6],但从大的时间尺度上观察曲线的总趋势,我们仍可假定它为二能级系统,由测量值 τ_a 估算 τ 值。可以证明二能级系统激发之后透射率的逐渐衰减满足^[7]:

$$\ln [T(t)/T(0)] = [1 - \exp(-t/\tau)] \ln T(\infty)/T(0) \quad (1)$$

式中 τ 为高能态寿命; t 为双脉冲相对延迟时间; $T(t)$ 为样品激发之后 t 时刻的透射率;

$T(0)$ 为透射率的极大值; $T(\infty)$ 为激发之后经过长时间即弱光时样品的透射率。对图2的实验曲线取 $t = \tau_a = 16$ 微微秒, 有 $T(\tau_a) = 0.65$, $T(\infty) = 0.44$, $T(0) = 1$ 代入(1)式得 $\tau = 21$ 微微秒。公式(1)给出的二能级模型拟合曲线已在图2中以点划线示出, 从中可以看出样品偏离二能级系统的情况。

在实验进行过程中虽然对激光器输出波动进行了监视和挑选, 并且由于锁模激光输出幅度波动造成接收信号的波动, 已用两个光电倍增管 PM_1 、 PM_2 的信号相除以消除, 但激光器不完全锁模(锁模脉冲系列伴有不锁模背景)的情况仍未能完全排除, 以致有时样品并没有彻底漂白。这是造成透射率测量误差的主要原因。由图2透射率曲线中各点的 $T(t)$ 测量误差平均值作为 τ_a 处的 $T(\tau_a)$ 的误差, 并由 $T(\tau_a) - \Delta T(\tau_a)$ 和 $T(\tau_a) + \Delta T(\tau_a)$ 的下降趋势从图中直接求得 τ_a 的测量误差 $\Delta\tau_a \approx \pm 3$ 微微秒, 相应于 τ 的误差 $\Delta\tau \approx \pm 4$ 微微秒。由步进电机带动光学延迟线移动的线位移的测量误差可忽略不计。因

此, 我们得到:

$$\tau_a = 16 \pm 3 \text{ 微微秒,}$$

$$\tau = 21 \pm 4 \text{ 微微秒。}$$

最后还需指出, 我们测得的透射率曲线在极大值后面往往出现一个凹陷, 表现为图2曲线峰值之后有一特别低的实验点, 在实验点取得足够密, 则这一点就为半宽小于2微微秒的凹陷, 产生这种现象的原因还有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] A. Lauberrean, W. Kaiser; *Opto-electronics*, 1974, **6**, 1~24.
- [2] S. Chekalin et al.; *Opto-electronics*, 1974, **6**, 249~261.
- [3] M.A. Duguay, J.W. Hansen; *Opt. Commun.*, 1969, **1**, 254~256.
- [4] J. W. Shelton, J. A. Armstrong; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1967, **QE-3**, 696~697.
- [5] Richard I. Scarlet et al.; *Appl. Phys. Lett.*, 1968, **13**, 71~73.
- [6] C. R. Giuliano, L. D. Hess; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1967, **QE-3**, 358~367.
- [7] D. J. Bradley; *Opto-electronics*, 1974, **6**, 25~42.

简 讯

DW-I 型电缆外径测量控制仪

电子工业部一四二三所和中国科学院上海光机所联合研制成了 DW-I 型电缆外径测量控制仪。该仪器采用激光扫描的原理, 利用激光方向性好的特点, 用激光束对被测物外径进行扫描, 从挡光部份取出外径的测量信息。由于在光学系统中采用了 $F-\theta$ 透镜, 在信号处理时采取了半峰检出电路和二次清零电路等措施, 该仪器具有精度高、抗干扰性能好(在烟雾和电磁场的干扰下仍能正常工作)、快速、非接触等优点。该机经使用证明性能稳定, 达到了使用要求。

技术指标:

1. 测量范围: $\phi 5 \sim 45$
2. 测量精度: $\phi 10 \sim 45$ 误差 $< 0.5\%$
 $\phi 5 \sim 10$ 误差 $< 1\%$
3. 分辨率: 0.01 毫米
4. 显示位数: 十进位数字显示, 并有 8421 编码打印输出
5. 显示方式: 绝对值和误差值两种显示方式; 作误差显示时有回控信号输出。

该仪器不仅可适用于电缆直径测量, 而且适用于其它金属、非金属圆柱形管材和棒料的直径测量。

(中国科学院上海光机所 高瑞昌)