

微·微·秒·光·闸

赵继然 高福源 陈淑琴
江敏华 王文耀 邱佩华

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文介绍了用 20 微微秒超短脉冲做开关脉冲, 硝基苯做克尔介质, 得到开关时间为 60 微微秒的光闸。并讨论了各种因素对光闸透过率和开关时间的影响。提出一种新型的共线光闸方案, 成功地做了实验。

The picosecond optical gate

Zhao Jiran Gao Fuyan Cheng Shuqin
Jiang Minhua Wang Wenyao Qiu Peihua

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: With 20 ps ultrashort pulses as the gating pulses and the nitrobenzene as Kerr medium, an optical gate which stays open for 60 ps has been made. The effects of various factors on transmissivity and switching time of the optical gate are discussed. A new scheme for collinear optical gate is suggested and the experiments have been carried out successfully.

原 理

强的线偏振光脉冲从光学各向同性介质中通过时, 可使介质产生非线性极化, 非线性极化率 $\chi^{(3)}$ 的实部使介质成为瞬时各向异性, 表现出类似于单轴晶体的双折射特性, 光轴方向与光脉冲电场方向一致。这就是光克尔效应^[1~3]。

利用锁模技术, 可以产生持续时间为微微秒量级的强线偏振激光脉冲。从克尔介质中通过, 便可以产生微微秒量级的瞬时感生双折射, 由此做成微微秒量级开关时间的光学快门即微微秒光闸^[4]。

微微秒光闸的基本结构如图 1 所示。光闸由克尔盒、开关光脉冲和探测器组成。光

克尔效应介质放在两个振动平面正交放置的偏振器之间。强的开关脉冲是线偏振的, 它在介质中场的方向与两个偏振器的振动平面分别成 45° 角, 探测器放在检偏器后面。在没有开关脉冲作用时, 克尔介质呈现各向同性。这时信号脉冲通过起偏器成为 Oy' 方向的线偏振光, 通过介质盒只产生一定衰减, 不改变偏振状态, 因二偏振器处于消光状态, 所以通过检偏器的信号为零, 光闸处于“关”状态。当强光脉冲在克尔介质中产生非线性极化时, 通过它的线偏振光信号改变偏振状态, 一般变为椭圆偏振光, 在检偏器振动平面 Ox' 上的分振动不为零, 这时通过检偏器的信号不为零, 光闸处于“开”状态。光闸特性用通过光闸的归一化积分探测信号^[5]表示:

收稿日期: 1980 年 7 月 25 日。

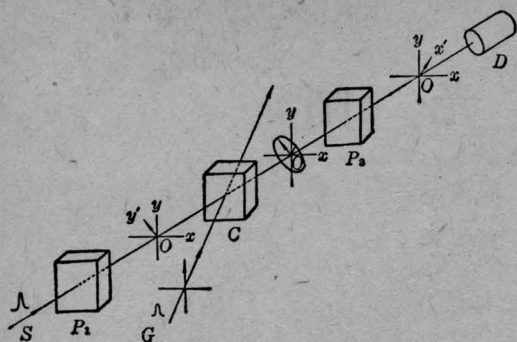


图1 光闸结构示意图

S—信号脉冲；G—开关脉冲； P_1 —起偏器；
C—介质盒； P_2 —检偏器；D—探测器； Oy —开
关脉冲电场方向； Oy' —起偏器振动平面方向；
 Ox' —检偏器振动平面方向

$$S_t(\tau_D) = \frac{1}{S_1} \int_{-\infty}^{\infty} \langle E_{\omega_1}^2(t - \tau_D) \rangle \\ \times \sin \left[\frac{L\omega_1 \delta n(t)}{2C} \right] dt$$

式中 L 表示克尔介质长度； C 表示真空中光速； $\langle E_{\omega_1}^2(t) \rangle$ 表示信号光脉冲光强包迹的时间平均值； τ_D 表示其间的时间延迟； $n(t)$ 表示感生双折射平行和垂直光电场方向的折射系数差，它与开关脉冲光强及介质弛豫时间有关^[5, 8, 9]。

实 验

实验装置如图2所示，开关脉冲由硅酸盐钹玻璃被动锁模激光器产生。脉冲宽度约20微微秒，锁模脉冲序列中相邻两脉冲的时间间隔为10毫微微秒。超短脉冲通过厚为3厘米的KDP倍频晶体后，成为1.06微米和0.53微米两束光。0.53微米的绿光作为信号脉冲经分束器 S_1 进入光延时棱镜 D_1 ，再经全反镜 R_2 进入光闸。1.06微米激光作为开关脉冲透过 S_1 ，经全反镜 R_1 进入光程补偿棱镜 D_2 ，由透镜 L 略加会聚，经起偏器 P_3 起偏，再经直角棱镜 D_3 以 7° 角进入厚为2.8厘米的硝基苯盒 C 。调整起偏器 P_3 ，使开关脉冲在介质盒前电场振动方向与水平面垂直，光闸的起偏器 P_1 和检偏器 P_2 的振动

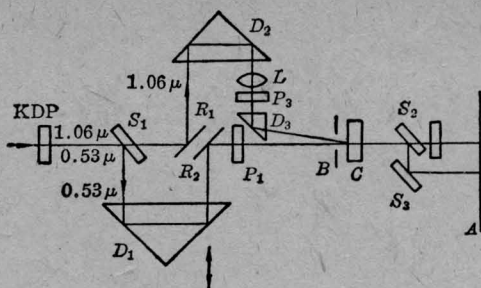


图2 微微秒光闸实验装置

P—偏振器；D—直角棱镜；R—反射镜；S—分束镜；
C—介质盒；B—光闸；A—观测屏

平面分别与其成 45° 角，并互相垂直。在介质盒前放置 $\phi 3$ 毫米的小孔光闸。检偏器后放置观测屏，用分束镜取样对光点强度进行对比，观察光闸开关现象，用照相机予以记录。实验用锁模脉冲序列进行，所得数据是序列各个脉冲作用的平均结果。

光闸的调整要做到以下几点：开关脉冲、信号脉冲偏振方向成一定夹角 (45°)，在克尔介质内两光束的空间位置相重叠，两光束相对时间延迟可调。通过调整KDP晶体失配位置，使绿光信号脉冲光强远小于1.06微米开关脉冲光强，我们的实验中，信号脉冲光强约为开关脉冲光强的3~4%。

用光点强度对比法，观察微微秒光闸开与关时通过光闸的信号强度，示于图3。图中右侧光点是从分束板 S_2 和 S_3 取出的参考光点，左侧为通过光闸的信号光点。图3(a)是开关脉冲和信号脉冲相对时延 $\tau_D = 0$ 时，光闸开通，透过光强最强。图3(b)是挡掉1.06微米开关脉冲时，光闸的漏光信号，这一信号很弱。图3(c)是延时 $\tau_D = 150$ 微微秒时，开关脉冲与信号脉冲在时间上完全不相重叠，所以在信号通过介质瞬间，光闸是关闭的，漏过信号也是很弱的。光闸关闭时漏过的弱信号是偏振器消光性能不够好造成的。

透过光闸的信号强度是介质弛豫时间、开关脉冲、信号脉冲与其间相对时延的函数，当时延 τ_D 改变时，透过光闸的信号强度也相

应变化。在照相底片感光特性曲线的线性区域内,底片所测得的黑度与信号的积分强度成正比,由此测得透过光闸的信号光强随延时 τ_D 变化的特性曲线如图 4 所示。硝基苯的光克尔效应以分子的取向效应为主^[4,6,7,10],具有较长的弛豫时间,使光闸开关特性曲线呈现指数衰减,用硝基苯做成的这个微微秒光闸开关时间为 60 微微秒。

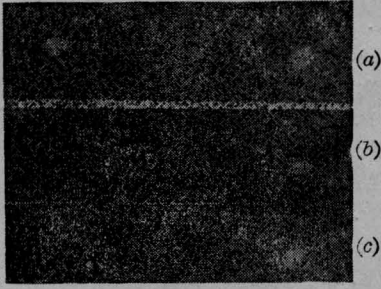


图 3 微微秒光闸开关状态

- (a) $\tau_D=0$, 光闸开通
- (b) $\tau_D=0$, 光闸关闭(挡掉开关脉冲)
- (c) $\tau_D=150$ 微微秒, 光闸关闭

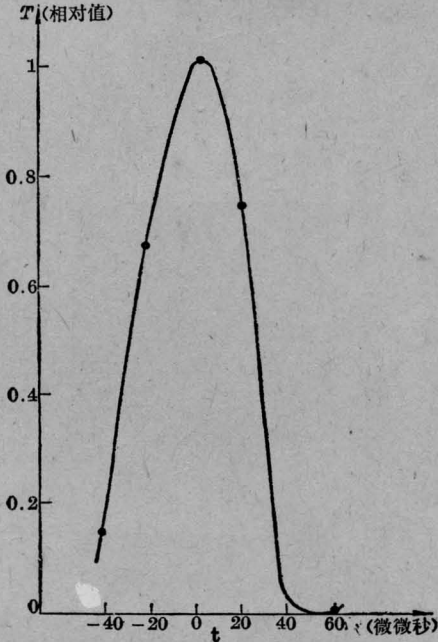


图 4 硝基苯光闸特性曲线

影响光闸特性的几种因素、共线光闸

1. 色散的影响

开关脉冲与信号脉冲波长不同,在克尔介质中群速度不同,造成空间差异,对于盒长

2.8 厘米的硝基苯,绿光比红外光落后 3 微微秒,这种色散使光闸响应时间变长。

2. 克尔介质弛豫时间影响

在光场作用下,介质中分子建立了取向及体系的有序性,外场消失后,这种有序性在热运动影响下消失。由粘滞媒质中小球体热运动模型给出弛豫时间 τ_0 由下式决定

$$\tau_0 = 4\pi\eta\sigma^3 / KT \quad (8)$$

其中 η 是介质粘性系数; σ 是分子尺寸; T 是温度。温度 T 越高,偶极分子越易于外场作用下取向或恢复混乱分布,所以 τ_0 就越小,分子越大,惯性也大,在外场作用下,取向越慢, τ_0 就越大。例如 CS_2 分子的取向弛豫在 $25^\circ C$ 时为 2 微微秒,硝基苯分子较大,在同样温度下,弛豫时间为 32 ± 4 微微秒^[4]。

3. 非共线光闸中,开关脉冲与信号脉冲之间的不共线带来几何因素的影响

设光脉冲为平面波,两光束夹角为 $\alpha=7^\circ$,开关脉冲光束直径 $d=3$ 毫米,由于等相面各点不能同时达到介质盒而使开关时间加长 1.5 微微秒。对于用硝基苯做克尔介质的光闸,这种影响可以忽略不计,但对于用几个微微秒或亚微微秒开关脉冲与 CS_2 介质做成的光闸,这种影响则是可观的了。

为了去除几何因素的影响,可采取共线型光闸。我们提出一种新型共线光闸方案,如图 5 所示。其特点是在光闸的起偏器和介质盒之间加入一块旋光片,利用旋光色散效应,通过选择旋光片厚度,保证实现开关与信号脉冲间偏振方向的匹配。实验中采用石英旋光片,对 1.06 微米光右旋 45° ,对 0.53 微米光右旋 188° 。在起偏器后,开关脉冲与信号脉冲有相同的线偏振方向,通过旋光镜后,两者线偏振方向夹角近于 45° ,旋光片与光线传播方向垂直放置,不影响偏振器的消光。如在前面加上光延时线,则可成为一种理想的共线光闸。这个装置简单,可用来研究光克尔效应。采用两块取样板,可在检偏器后的屏上同时观察经光闸透过的信号和参考光

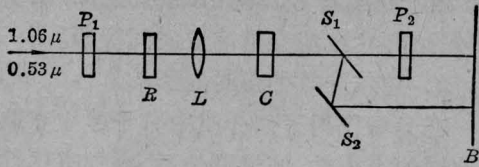


图5 一种新型共线光闸

P_1 —起偏器； R —旋光片； L —透镜； C —介质盒；
 S_1, S_2 —分束板； P_2 —检偏器； B —观测屏

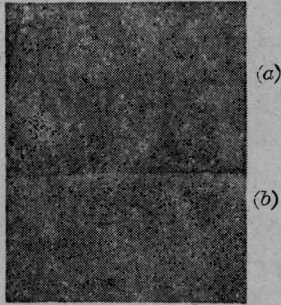


图6 CS_2 介质光闸开关现象

(a) 光闸开；(b) 光闸关

强。亦可用光电接收元件做定量检测。图6给出用这种装置观察 CS_2 介质的光克尔效应开关现象的照片。右侧是参考光点，图6(a)

是 CS_2 光闸开通时的信号照片，图6(b)是光闸关闭时的照片。

参 考 文 献

- [1] A. D. Buckingham; *Proc. Phys. Soc. London*, 1956, **B69**, 344.
- [2] G. Mayer, R. Gires; *C. R. Acad. Sci.*, 1961 **258**, 2039.
- [3] P. D. Mayer *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1964, **12**, 507.
- [4] M. A. Duguay, J. W. Hansen; *Appl. Phys. Lett.*, 1969, **15**, 192.
- [5] P. P. Ho, R. R. Alfano; *Phys. Rev.*, 1979, **A20**, 2170.
- [6] S. Kielich; *Acta Phys. Pol.*, 1966, **30**, 683.
- [7] P. P. Ho, R. R. Alfano; *Phys. Rev.*, 1978, **A17**, 1161.
- [8] G. K. L. Wang, Y. R. Shen; *Phys. Rev.*, 1974, **A10**, 1277.
- [9] K. Sala, M. C. Richardson; *Phys. Rev.*, 1975, **A12**, 1036.
- [10] R. W. Hellwarth *et al.*; *Phys. Rev.*, 1971, **A4**, 2343.