

# 共线型 CS<sub>2</sub> 微微秒光学快门

陈淑琴 赵继然 高福源  
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

用铍玻璃超短脉冲作为开关脉冲,以 CS<sub>2</sub> 作为光克尔介质,在共线型光路中实现了透过特性曲线宽度为 15 ps 的超高时间分辨光学快门,并测量了超短脉冲的宽度。

文献[1]曾报导用硝基苯作为克尔介质的微微秒光闸,采用非共线型光路,开关时间为 60 ps。本工作以 CS<sub>2</sub> 为光克尔介质,在共线型光路系统中,实现了微微秒光闸。

共线型光闸方案是先把同步开启脉冲与信号脉冲分束,使其偏振方向满足一定的关系,相对时间延迟可调以后,再采用几何光学方法,用光学元件使分开的两束光再次重合达到克尔介质盒,从而实现开启脉冲与信号脉冲的共线。

## 一、CS<sub>2</sub> 超快光学快门的原理

共线型 CS<sub>2</sub> 光闸的原理见示意图 1, 装有 CS<sub>2</sub> 的介质盒置于振动平面正交的两偏振片之间。开启激光脉冲与信号光脉冲同轴地进入 CS<sub>2</sub> 盒。两者电矢量振动方向如图中所示。在没有开启脉冲作用时, 信号光不能从处于消光状态的正交偏振器通过, 光学快门处于“关闭”状态。当开启脉冲作用在 CS<sub>2</sub> 介质上时, 改变了偏振状态的信号光在检偏器振动平面内的分量, 便可从检偏器通过, 光学快门处于“开启”状态。

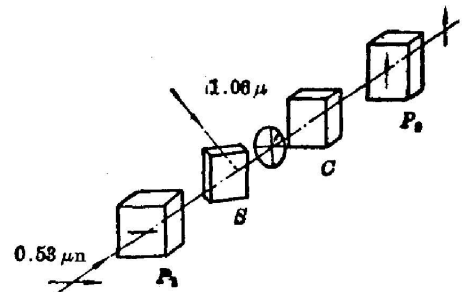


图1 共线型 CS<sub>2</sub> 光闸原理示意图

众所周知, 激光脉冲  $E(t)$  在克尔介质中产生的感应双折射, 在平行和垂直光场的方向上的折射率之差由 Fisher 等<sup>[2]</sup>给出

$$\delta n_{\parallel} - \delta n_{\perp} = \frac{1}{2} \cdot \frac{n_{2B}}{\tau} \int_{-\infty}^t E^2(t') \exp[(t' - t)/\tau] dt', \quad (1)$$

式中,  $n_{2B}$ ——交流克尔效应系数。

在传统的克尔盒中, 信号透过率由下式给出

$$T(t) = K T_1 T_2 \sin^2 [\pi n_{2B} \bar{E}^2(t) L / \lambda], \quad (2)$$

式中,  $T_1$ 、 $T_2$ ——信号光电场振动方向平行于偏振片  $P_1$ 、 $P_2$  振动平面时的透过率;

$K$ ——由入射到起偏器的信号光的偏振状态所决定的常数因子; 对于自然光  $K = 1/2$ ; 本试验中  $K = 1$ 。

开启脉冲通过折射率  $n$  的介质传输时, 激光峰值功率密度  $P(\text{W}/\text{m}^2)$  与光学快门透过率的关系为

$$T(t) = K T_1 T_2 \sin [\pi n_{2B} L P(t) / (\lambda c n \epsilon_0)]. \quad (3)$$

这就是光学快门透过率的近似解析表达式。由此可看出光闸透过率  $T(t)$  与偏振器透过率  $T_1 T_2$  成线性关系; 与介质克尔系数  $n_{2B}$ 、介质盒厚度  $L$ 、开启脉冲功率密度  $P$  成正弦平方的三角函数关系。

## 二、CS<sub>2</sub> 共线型光学快门的实验

用钽玻璃被动锁模激光器产生的超短脉冲作为快门的开启脉冲<sup>[3]</sup>, 以 CS<sub>2</sub> 作为共线型

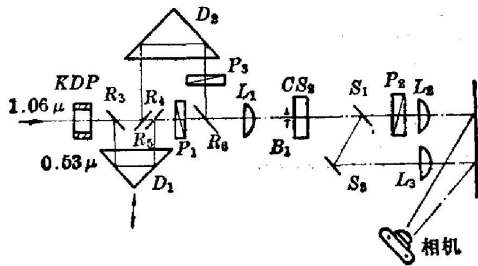


图2 实验装置示意图

光学快门的克尔介质, 实验装置如图 2 所示。克尔介质 CS<sub>2</sub> 置于正交的偏振器  $P_1$  和  $P_2$  之间, 偏振器采用消光比约为 1000 的人造偏振片。快门脉冲是由硅酸盐钽玻璃十一甲川染料被动锁模激光器产生的。脉冲宽度为 12 ps, 每个脉冲序列中有 26 个脉冲, 间隔为 10 毫微秒, 经两级放大后能量为 0.6 焦耳。通过 KDP 晶体后的  $1.06 \mu$  激光脉冲经由全反射镜  $R_6$ , 由透镜  $L_1$  略加会聚后,

再通过口径  $\phi 3 \text{ mm}$  的小孔光阑  $B_1$ , 进入二硫化碳盒。KDP 倍频后的  $0.53 \mu$  绿光信号脉冲经反射镜  $R_3$ 、可变延时棱镜  $D_1$ 、全反射镜  $R_5$  进入快门的起偏器  $P_1$ , 在反射镜  $R_6$  处与开启脉冲共线的进入到 CS<sub>2</sub> 介质盒。调整偏振器  $P_3$ , 使开关脉冲在  $45^\circ$  全反射镜前偏振方向与铅垂方向成  $45^\circ$  角。光闸的起偏器  $P_1$  振动平面与水平面平行, 并与检偏器  $P_2$  正交。当没有开关脉冲作用时, 信号光便不能通过, 在检偏器和 CS<sub>2</sub> 盒之间放置分束板  $S_1$  和  $S_2$  进行取样。会聚透镜旨在提高观测的灵敏度, 放入观察屏, 用以记录或观察快门的开关现象。

快门透过率的检测方法采用黑度对比法。把通过 CS<sub>2</sub> 介质的信号光不经检偏器直接经过透镜  $L_3$  投射到屏上作为参考光束。尽管二硫化碳介质在  $1.06 \mu$  强激光作用下产生的光克尔效应使入射的  $0.53 \mu$  信号脉冲光改变了偏振状态, 但通过 CS<sub>2</sub> 盒的光强度几乎不变。参考光强  $I_{\#}$  与进入光强  $I_{\lambda}$  相差一系数  $I_{\#} = K_1 I_{\lambda}$ ,  $K_1$  的数值由光路中的光学元件对信号的衰减决定。这样, 快门透过率就可用参考光强与从检偏器输出的信号光强  $I_{\#}$  来表示:

$$T = K_1 \frac{I_{\#}}{I_{\#}}. \quad (4)$$

用照相机记录屏上的光点强度, 底片黑度由曝光量所决定。所用感光底片在标准测试加工条件下进行处理, 乳胶层在黑度为  $0.3 \sim 2.6$  范围内是感光特性曲线的线性区(实验可测黑度值均在此范围内), 黑度与曝光量成正比。底片上信号光点的黑度是由信号光和背景光共同作用的结果。底片上信号光点黑度减去周围背景黑度  $S_0$ , 便是除去背景光影响的信号光造成的黑度。以同样的方式处理参考光信号造成的黑度。设  $A$  为底片上信号光点的面积,  $A^*$  为参考光点的面积, 那么快门透过率可写成:

$$T(t) = K \cdot \frac{A}{A^*} \left( \frac{S - S_0}{S^* - S_0^*} \right) \quad (5)$$

利用这种方法测得的 CS<sub>2</sub> 光学快门开关特性曲线如图 3 所示, 开关时间为 15 ps。快门开关状态如图 4 所示, 其中 (a) 表示延时  $t=0$  时, 快门开启; (b) 表示延时  $t=30$  ps 时, 快门关闭, 照片中右侧光点为参考光点。

实验中 CS<sub>2</sub> 共线光学快门峰值透过率随开关光脉冲功率密度的变化由 (4) 式描述。我们取起偏器、检偏器与其振动平面平行的偏振光的透过率  $T_1 T_2 = 23\%$ , CS<sub>2</sub> 克尔介质的克尔系数  $n_{2B} = 2.2 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{V}^2$ ,

CS<sub>2</sub> 克尔介质长度  $L = 1$  厘米, 真空中介电常数  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ 。将瞬时开启脉冲功率密度  $P(t)$  代入 (4) 式, 便可画出共线的 CS<sub>2</sub> 光学快门透过率  $T(t)$  随开启脉冲功率变化的理论曲线, 如图 5 中曲线所示, 图中十字细线是试验所得的结果。用衰减片改变射入快门的  $1.06 \mu$  开启脉冲的功率密度。为便于比较, 采用归一化处理。开启脉冲序列以 26 个脉冲计算。从图中可见, 快门透过率对于开启脉冲功率密度是按正弦平方规律变化的。

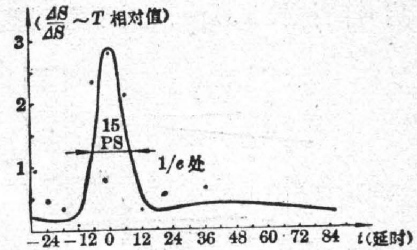


图 3 CS<sub>2</sub> 光学快门透过特性曲线

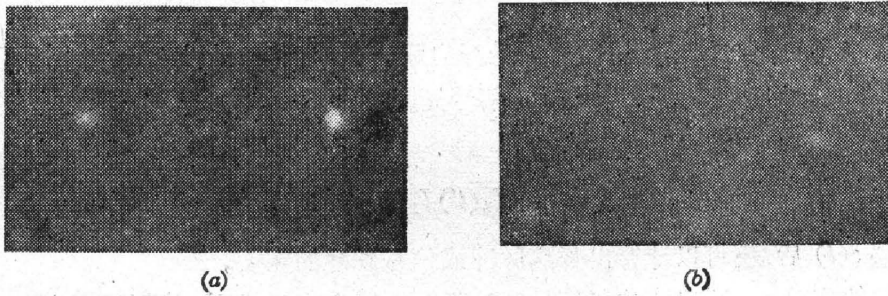


图 4 快门的“开启”、“关闭”状态

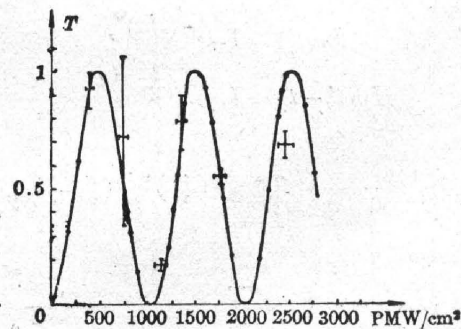


图 5 透过率  $T(t)$  随开启脉冲功率变化的理论曲线

### 三、CS<sub>2</sub> 共线型光学快门的特点

与非共线微微秒光学快门相比, 共线光学快门消除了不共线的几何因素所造成的影响。在非共线光学快门中, 由于信号光束和开关光束之间存在一定角度  $\alpha$ , 使得开关脉冲等相面上各个部分不能同时到达 CS<sub>2</sub> 盒, 而导至开关时间加长, 如图 6 所示。这一时间延长的总量

为

$$d \tan \alpha / c, \quad (6)$$

其中  $d$  是开关光束的口径。当  $d=0.3 \text{ cm}$ ,  $\alpha=0.119$  时,  $d \tan \alpha / c=1.4 \text{ ps}$ , 即相当于快门开启时间拉长  $1.4 \text{ ps}$ 。对于用硝基苯或其它弛豫时间较长的克尔介质而言, 这一因素的影响可忽略不计, 而对于  $\text{CS}_2$  作为克尔介质的光学快门, 这种影响不能忽略。为此, 采用了如上的共线光路方案。

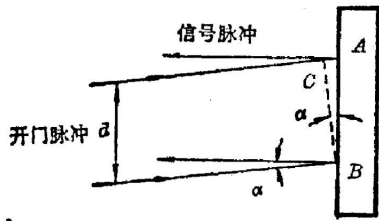


图 6

实验中, 发现在正交的偏振器之间插入光学元件会使消光性能变差。为避免这一现象, 选定起偏器  $P_1$  的振动平面与水平面平行, 使进入起偏器的信号光电场沿水平方向振动; 选定  $P_3$  使  $1.06 \mu$  开启脉冲电场振动方向与水平面成  $45^\circ$ 。实验表明, 这样选取开启脉冲与信号脉冲的偏振方向, 保证了正交放置的两偏振器可以有良好的消光性能, 其原因是不难解释的。

的。

#### 四、用微微秒光学快门测超短脉冲宽度

微微秒光学快门对信号光透过特性是开启脉冲和信号脉冲的相关函数, 也是两者相对时延的函数。若开启脉冲光强为  $I_1(t')$ , 信号光脉冲光强为  $I_2(t'-t)$ , 则光学快门透过特性为

$$s(t) \propto \int_{-\infty}^{\infty} I_1(t') I_2(t'-t) dt'. \quad (7)$$

由实验测得  $s(t)$  后, 便可以计算出开启脉冲或信号脉冲的宽度。

在我们的实验中, 开启脉冲与信号脉冲都可看成是高斯线型, 倍频后宽度变窄, 倍频脉冲与基频脉冲宽度之比为  $b \approx 0.7$  倍。因此,

$$I_1(t') = I_{10} e^{-\left(\frac{t'}{\tau_1}\right)^2}, \quad (8)$$

$$I_2(t'-t) = I_{20} e^{-\left(\frac{t'-t}{b\tau_1}\right)^2}. \quad (9)$$

将(8)、(9)式代入(7)式得

$$s(t) = K I_{10} I_{20} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\left(\frac{t'}{\tau_1}\right)^2} e^{-\left(\frac{t'-t}{b\tau_1}\right)^2} dt'. \quad (10)$$

解得

$$s(t) = K \frac{b\tau\sqrt{\pi}}{\sqrt{b^2+1}} I_{10} I_{20} e^{-\frac{t^2}{(b^2+1)\tau^2}}. \quad (11)$$

由(11)式可知, 对于高斯线型超短脉冲而言, 相关函数  $s(t)$  仍为高斯型, 只是特征参数从  $\tau_1$  变为

$$\tau^* = \sqrt{b^2+1} \tau_1. \quad (12)$$

从实验中我们得到的相关函数特征参数曲线  $\tau^* = 15 \text{ ps}$ ,  $b \approx 0.7$ , 则可求  $1.06 \mu$  开启脉冲宽度  $\tau = 12 \text{ ps}$ ,  $0.53 \mu$  绿光脉冲宽度为  $8.4 \text{ ps}$ , 若考虑到  $\text{CS}_2$  弛豫时间约为  $2 \text{ ps}$ 。实际上, 开启脉冲和信号脉冲宽度比上面的计算值还要小一些。

用微微秒光学快门测量超短脉冲宽度, 比其它的超短脉冲相关测量技术, 有明显的优点。与双光子荧光方法相比<sup>[3]</sup>, 光学快门方法是一种零背景技术, 毋须考虑测量对比度; 与二次谐波法相比, 光学快门方法波长选择性不显著, 对任何波长超短光脉冲, 都可在光克尔介质中产生光克尔效应, 从而用相关探测法可测出脉冲宽度。

参加本工作的还有: 王文耀、江敏华同志。

### 参 考 文 献

- [1] M. A. Duguay, J. W. Hansen; *A. P. L.*, 1969, **15**, No. 6 (15 Sep), 192.
- [2] R. A. Fisher, P. L. Kelley *et al.*; *A. P. L.*, 1969, **14**, No. 4 (15 Feb), 140.
- [3] 邱佩华等;《山东大学学报》1979, No. 2, 101.

## A collinear CS<sub>2</sub> picosecond optical gating

CHEN SHUGUEN ZHAO JIRAN and GAO FUYAN

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

(Received 30 December 1980)

### Abstract

A collinear arrangement of optical shutter with ultrahigh time-resolution is introduced. An ultrashort pulse of Nd:glass laser is used as an ignition pulse and CS<sub>2</sub> liquid as Kerr medium. Correlation time of 15 picoseconds has been measured. We obtain that the full width of half maximum of 1.06  $\mu$  ignition pulse and 5300 Å signal pulse are 12 picoseconds and 8 picoseconds respectively.