

光克尔快门中强绿光的自开门现象

高福源 王文耀 赵继然 陈淑琴 江敏华 邱佩华

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文报导了在光克尔快门中强绿光自开门现象, 初步分析了自感应退偏振的成因。

Self-gating by intense green light in optical Kerr shutter

Gao Fuyuan, Wang Wenyao, Zao Jiran, Chen Shuqin, Jiang Minhua, Qiu Peihua

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

Abstract: This paper reports the self-gating by intense green light in optical Kerr shutter. The causes for the self-induced degeneration of the polarization are analysed preliminarily.

光克尔快门实验^[1]中, 通常用 CS_2 做克尔介质, 用波长 1.06 微米的激光脉冲作为开门脉冲, 用波长为 0.53 微米的激光脉冲作为探测信号脉冲。没有开门脉冲时, 光克尔快门是关闭的。在实验中我们意外地发现, 当信号光脉冲很强时, 没有开门光脉冲, 光克尔快门也能打开。由于信号光是绿颜色的, 所以就称这种现象为绿光自开门现象。

一、实验

实验装置如图 1 所示。其中 c_1 和 c_2 是全反射镜。K 是 KDP 倍频晶体。平面镜 D_1 和 D_2 对于波长 0.53 微米的光全反射, 对于波长 1.06 微米的光透过。平面镜 E_1 和 E_2 对于波长为 1.06 微米的光全反, 对于波长为

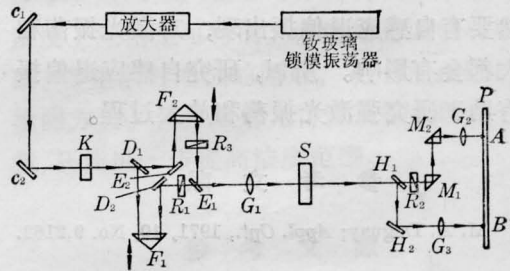


图 1 实验装置图

0.53 微米的光透过。 F_1 和 F_2 是直角棱镜, F_1 、 D_1 和 D_2 组成一个光延迟线。 F_2 、 E_1 和 E_2 也组成一个光延迟线。 G_1 、 G_2 和 G_3 是凸透镜, H_1 和 H_2 为玻璃平板分束器。 R_1 、 R_2 和 R_3 是偏振器。 M_1 和 M_2 是直角棱镜。 S 是 CS_2 盒, CS_2 液体厚 1 厘米, 装在 K_0 玻璃

收稿日期: 1983 年 1 月 24 日。

盒中, 盒的壁厚 2 毫米。P 是接光屏, 点 A 和 B 表示绿光光点。

由钹玻璃锁模振荡器产生超短光脉冲串, 脉冲宽度约为 20 微微秒, 脉冲串中相邻脉冲距离是 10 毫微秒。光脉冲串经两级钹玻璃激光放大器进行放大, 然后穿过 KDP 倍频晶体。约有百分之几的能量转换成绿光 ($\lambda=0.53$ 微米)。绿光经光延迟线 $D_1F_1D_2$ 进入光克尔快门 R_1SR_2 , 它由两个正交偏振器 R_1 和 R_2 组成, 其间放有克尔液体 (CS_2) 盒。实验中绿光为探测信号光。平时光克尔快门对于绿光是关着的。波长为 1.06 微米的光穿过 KDP 晶体, 经过光延迟线 $E_2F_2E_1$ 和凸透镜 G_1 射在 CS_2 盒上, 作为开门光束。偏振器 R_3 的作用是使 1.06 微米光的偏振面和绿光的偏振面在 CS_2 盒上成 45° 交角, 使得开关作用最有效。 G_1 的作用是调节射在 CS_2 盒上的光强, 使得开关作用尽可能大。分束器 H_1 和 H_2 分出不到百分之一的绿光, 形成光斑 B, 用来和光斑 A 比较。当没有开关脉冲时, 光克尔快门对探测信号光(绿光)是关闭的。此时光斑 A 很弱, 而光斑 B 不受检偏器 R_2 的影响, 结果它明显比光斑 A 强。当开关脉冲和探测绿光同时照射到 CS_2 盒时, 光克尔快门被打开, 光斑 A 的强度明显大于 B。反过来, 当我们在实验中看到光斑 A 的强度明显大于 B 时, 也就说明光克尔快门开了。

二、自开门现象

在实验过程中我们曾把反射镜 E_1 拆除, 并在偏振器 R_3 处放一个屏以遮掉波长 1.06 微米的开门激光脉冲。实验中我们发现, 当绿光较强时, 光斑 A 的强度明显地大于光斑 B, 见图 2(b)。这说明强的绿光本身可以打开克尔快门。图 2 中左边光斑是光斑 B, 右边光斑是光斑 A。图 2(a) 是 CS_2 盒离开透镜 G_1 的焦点较远时拍的, 明显地 B 比 A

强, 说明快门是关的。图 2(b) 是 CS_2 盒较接近 G_1 的焦点时拍的, 明显地 A 比 B 强, 说明已经自开门了。

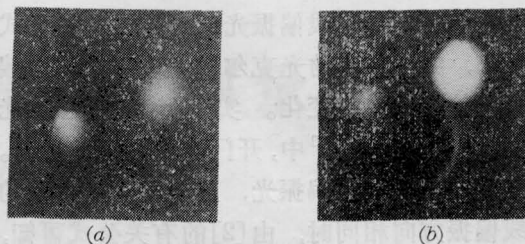


图 2

三、自开门的原因

在图 1 所示的光路中, 去掉了反射镜 E_1 。除了 CS_2 盒外, 在其它元件处激光强度不大, 所以其它元件都是线性元件。这样, 自开门显然是强绿光照射 CS_2 盒造成的。为慎重起见, 实验中我们拿掉 CS_2 盒, 这样, 不管绿光是强还是弱, 光斑 B 的强度总是大于光斑 A, 即快门总是处于关闭状态。这说明, 强绿光自开门这一现象是由它照射到 CS_2 盒上造成的。

引起强绿光自开门现象的这一非线性光学效应, 显然不是普通的光克尔效应。在光克尔快门实验中, 由 [1] 可知, 虽然开门光束使克尔介质产生了双折射特性, 即: $\delta_{n//} \neq \delta_{n\perp}$ ($\delta_{n//}$ 是介质对于其偏振方向平行于开门光束偏振方向的折射率改变量; $\delta_{n\perp}$ 是介质对偏振方向垂直于开门光束偏振方向的折射率改变量)。但是, 如果探测信号光和开门光的线偏振方向完全相同时, $\delta_{n\perp}$ 不起作用, 因此, 光克尔效应不会使一束线偏振光自己打开光克尔快门。

文章 [2] 提到在单色光束中自感应偏振变化, 实际上是光克尔效应, 即椭圆偏振光通过克尔介质后, 椭圆轴会旋转^[3]; 但当入射光是线偏振光时, 偏振方向就不变化了。因此, 它不是自开门的成因。总之, 自开门不是由光克尔效应引起的。那么, 是不是喇曼感生的

光克尔效应^[2,4]引起的? 很强的激光照射 CS₂ 介质, 显然会有受激喇曼散射^[5]。但是, 一束线偏振光照射介质, 受激喇曼散射光也基本上是一样的线偏振光, 由[2]的有关公式可知, 喇曼感生的光克尔效应也不会使线偏振光的偏振方向变化。实际上, 喇曼感生光克尔效应的实验^[4]中, 开门光束用圆偏振光。当开门光束是线偏振光, 且和探测信号光的线偏振方向相同时, 由[2]的有关公式可知, 是看不到喇曼感生的光克尔效应的。我们曾把光谱仪的入射狭缝对准光斑 A, 看是否出现强度可和 0.53 μm 谱线相比的喇曼谱线, 结果未看到。这表明自开门现象与喇曼散射无关。

四、自感应退偏振

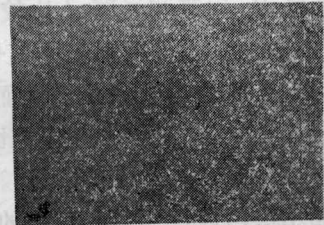
在 S 处改放一个长 9 厘米的 CS₂ 盒, 装满 CS₂ 液体。实验时, 使透镜 G₁ 的焦点落在 CS₂ 盒的中间。这样, 在盒的玻璃窗口处, 由于离焦点较远, 光强将较弱, 窗口玻璃不会对产生自开门现象有贡献。实验结果表明, 即使激光强到把 CS₂ 介质击穿, 仍看不到自开门现象。这意味着, CS₂ 介质对自开门无贡献。

在图 1 的 S 处只放一片 3 毫米厚的 K₉ 玻璃板做实验, 结果照样有明显的自开门现象。自开门的必要条件是照到玻璃板上的光要很强, 数据见表 1。透镜 G₁ 的焦距为 30 厘米。令透镜到 K₉ 玻璃板后端面的距离为

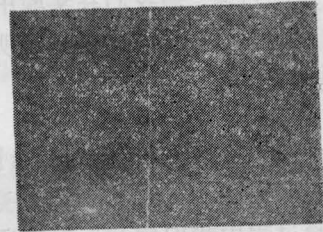
表 1

样品到透镜的距离 l (厘米)	光强 (瓦/厘米 ²)	现象
29	0.58×10^{10}	未破坏, 无自感应退偏振现象
29.3	1.14×10^{10}	未破坏, 有明显的自感应退偏振现象
29.5	2.12×10^{10}	破坏了, 打出了气泡串, 有明显的自感应退偏振现象

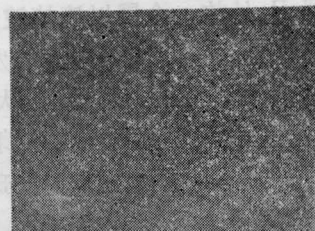
l 。表 1 所示的实验结果表明: 当 $l \leq 29$ 厘米时, 无自开门现象, 如图 3(a) 所示。当 $l = 29.3$ 厘米时, 有明显自开门现象, 如图 3(b) 所示。 $l = 29.5$ 厘米时, 也有明显的自开门现象, 如图 3(c) 所示。图 3 中各照片的右上角四个小光斑是光斑 B, 左下角的光斑是光斑 A。光斑 B 不是一个光斑, 四个小光斑是由平板 H_1 和 H_2 的各个面反射造成的。图 3 的光斑比图 2 的光斑小是由于屏 P 放的位置不同。从图 3 的照片看, 似乎光能量比图 2 小, 实际上不是这样, 得到图 3 的照像条件和图 2 不同。实际上从图 3 能更清楚地看出自开门时光斑 A 增强了许多倍。在图 3(a)、(b)、(c) 中, 光斑 B 的强度差不多, 说明得到此三张照片的三次实验中, 入射到光克尔快门中的绿光能量是近似相等的。而对于光斑 A 不开门时 (见图 3(a)), 几乎看不见。开门时 (见图 3(b) 和 (c)) 光斑 A 很强。可看出自开门是十分明显的。



(a)



(b)



(c)

图 3

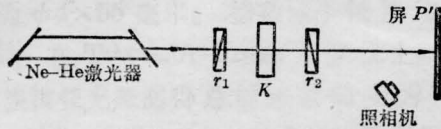


图 4

$l=29.3$ 厘米和 $l=29.5$ 厘米时情况不同。 $l=29.5$ 厘米时, 玻璃板破坏了, 被光打出一串小气泡, 气泡直径 $0.1\sim 0.2$ 毫米。这时, 用氦-氖激光器的波长 6328 \AA 的弱激光代替波长 0.53 微米的强激光, 快门照样是开的。显然, 这是由于玻璃板被强激光烧成小气泡串后, 在气泡串周围形成了应力, 出现了应力双折射现象。我们用图 4 所示的装置看了几个气泡串的应力干涉图。图 4 中 r_1 是起偏器, r_2 是检偏器, r_1 的偏振方向和 r_2 正交。 K 是激光烧成气泡的玻璃板。拍得的几个应力干涉图示于图 5, (a)、(b)、(c) 是对不同的气泡串拍的。另一种情况是 $l=29.3$ 厘米时, 也是明显的自开门, 但看不到玻璃板有破坏的痕迹。用 6328 \AA 弱激光代替强绿光时, 门是不开的, 明显的是光斑 B 比 A 强, 和未打过强绿光时一样。这表明 $l=29.3$ 厘米时, 自开门出现了, 但玻璃板既未被破坏, 也未留下永久性的应力。我们推测, 这时虽未使玻璃板破坏, 但雪崩过程已经开始^[6], 所以出现了 对激光的强吸收, 造成了瞬时热应力,

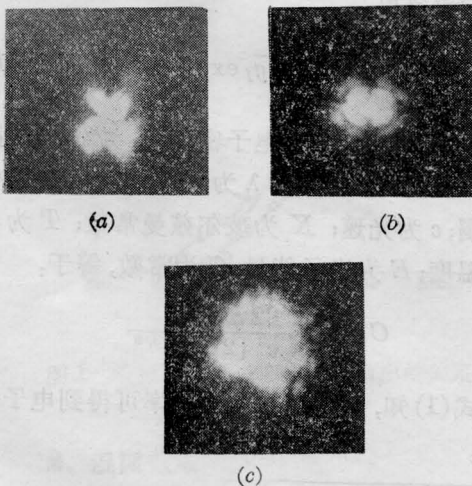


图 5

因而出现了瞬时应力双折射现象, 造成了绿光自开门。关于这种看法, 还需进一步研究和判断。

在图 1 的 S 处改放一块厚 85 毫米的 K_9 玻璃块, 使透镜 G_1 的焦点在此玻璃块的中间。这样, 在此玻璃块的两端面上, 光强是较弱的, 不会对自开门有贡献。实验结果表明, 和用 3 毫米厚玻璃板同样有明显的自开门现象, 而玻璃未破坏。多次实验结果重复。这说明, 自开门不是玻璃表面造成的, 而是强激光在玻璃内部传输时激光自感应退偏振的结果。至于这种自感应退偏振的物理机制应进一步研究。可能是瞬时热应力, 也可能是电致伸缩等机制引起的。尚待进一步研究。

五、讨 论

由上面讨论可见, 在光克尔快门中强绿光自开门现象是照射到玻璃上的光强达到接近破坏强度时产生的, 是强激光在玻璃中传输时出现的一种自感应退偏振现象。这种自感应退偏振是那一种物理机制起主导作用有待进一步研究。

微微秒光克尔快门在光学实验室中得到了越来越广泛的应用, 如果不避开绿光自开门现象出现的条件(由于有时光斑很不均匀, 局部光特强, 易出现此条件), 就无法使用光克尔快门。因此, 本文的讨论给光克尔快门的使用提供了重要经验。另外, 这种自感应退偏振是在光强很接近介质的破坏强度时出现的现象, 此现象应和激光对固体材料的破坏有密切联系, 与自聚焦有密切的联系。因此, 强激光自感应退偏振可成为深入研究材料破坏和自聚焦的测量手段。

这种自感应退偏振很容易观察和测量, 可通过测这种自感应退偏振, 不破坏介质而得到激光破坏介质的阈值。比如, 可通过测量自感应退偏振, 不破坏激光玻璃而得到自聚焦丝出现的阈值。

(下转第 15 页)

信号,高振动态出现正的信号,表明前者没有增益,后者有增益。在气压更低时(图4(c))吸收往高振动态移动,信号明显减弱。

图5是池壁温度为60°C时光电流谱的分布。从图可以看到,温度升高,低振动态出现负的光电流信号。这反映了温度升高,谱线的最佳增益量子数(V 、 J)往高处移动,这种现象与通常CO激光器中谱线随温度变化而移动的结果是一致的。

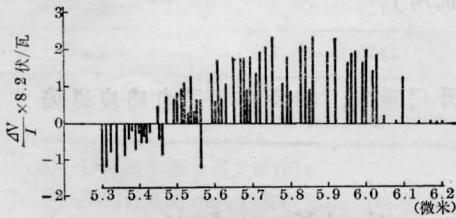


图5 $T_w=60^\circ\text{C}$ 时 CO 光电流光谱
CO:Xe:He=1:1.5:15; $P=41$ 托; $i=5$ 毫安

实验还改变 Xe 的比分,观测它对光电流谱分布的影响。在无 Xe 的情况下,CO:

He=1:15, $P=41$ 托,在 $P_{8\sim7}(20) - P_{12\sim11}$ (13) 的振转跃迁中仅观察到 11 条光电流谱线,而且都是比较弱的吸收线。加 Xe 后,在 CO:Xe:He=1:3:15 时,光电流谱分布基本与图4(b)相近。

另外还值得提出的是,从图4(c)中可以看到,在整个光电流谱分布中,光电流方向几乎是正负方向交替,这主要与谱线所处的振转支有关,它们在光栅腔中往往是两条谱线同时振荡^[2]。在本实验中,例如介质对 $P_{11\sim10}(J)$ 是处于吸收状态,而对 $P_{12\sim11}(J)$ 是处于增益状态。如果我们利用介质的这一特性,只要在一定的实验条件下,有可能获得单谱线振荡。

参 考 文 献

[1] 王裕民等;《光学学报》,1983, 3, No. 9。
[2] V. I. Masychev et al.; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1981, **QE-11**, No. 7, 928.

(上接第 19 页)

此外,现在常用的钹玻璃激光振荡器和放大器,常常在接近破坏阈值的光强下使用,显然要有自感应退偏振出现,对激光振荡和放大都会有影响。所以,研究自感应退偏振也有助于研究强激光振荡和放大过程。

参 考 文 献

[1] M. A. Duguay; *Appl. Opt.*, 1971, **10**, No. 9, 2162.

[2] R. W. Hellwarth; *Prog. Quant. Electr.*, 1977, **5**, No. 1, 68.
[3] P. D. Maker et al.; *Phys. Rev. Lett.*, 1964, **12**, 507.
[4] D. Heiman et al.; *Phys. Rev. Lett.*, 1976, **36**, No. 4, 189.
[5] M. Macer et al.; *Phys. Rev. Lett.*, 1966, **17**, No. 26, 1275.
[6] E. Yablonovich, N. Bloembergen; *Phys. Rev. Lett.*, 1972, **29**, 907.