

1.06 微米激光束在玻璃中的自感生偏振变化效应

张梅珍 邓 和 李成富

(中国科学院上海光机所)

提要: 我们用一个 TEM_{00} 模的钕玻璃激光系统, 观察到一些光学玻璃和激光钕玻璃中的激光束的自感生偏振变化现象, 实验测量了它们的非线性极化率参量 C_{1221} , 并确定了其非线性折射系数 n_2 。

Self-induced polarization change of 1.06 μm laser beam in glasses

Zhang Meizhen Deng He Li Chengfu

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

Abstract: We report here the observation of self-induced polarization change in some optical glasses and laser glasses with a Nd^{3+} -glass TEM_{00} mode laser beam. The nonlinear optical susceptibilities C_{1221} of these glasses have been measured experimentally and their nonlinear refractive indices n_2 have been determined.

一、引 言

强激光与透明介质的非线性作用, 使材料的光学性质发生变化, 其中最主要的是使材料的折射率产生非线性变化:

$$n = n_0 + n_2 E^2 / 2, \quad (1)$$

其中 n_0 是材料的线性折射率, E 是光波电场矢量, n_2 是非线性折射系数。这种材料的非线性变化反过来又影响光束本身, 导致了多光的自作用现象, 自感生偏振变化(SIPO)就是其中很重要的一个自作用现象^[1, 2]。

1972年, Qwyouny 等人以单模红宝石激光测量了一些玻璃和晶体(YAG)的SIPO^[3, 4], 得到了约10%的精度, 这是目前

关于 n_2 值的最精确的报道。我们在这里介绍的是利用1.06微米单模激光的实验结果。

二、原 理

对于准单色椭圆偏振光, 它可由“正”“负”圆偏振光所组成, 即:

$$\mathbf{E} = A_+ e^{i\varphi} \hat{e}_+ + A_- \hat{e}_- \quad (1)$$

其中 φ 是正、负圆偏振分量之间的初始位相差。它在各向同性介质中的三次非线性极化可以写成:

$$P_+^{(3)} = \{6C_{1122}(A_+^2 + A_-^2) + 6C_{1221}A_-^2\} A_+ e^{i\varphi} \quad (2)$$

收稿日期: 1980年1月14日

$$P_-^{(3)} = \{6C_{1122}(A_+^2 + A_-^2) + 6C_{1221}A_+^2\}A_- \quad (3)$$

它们在介质中产生的非线性折射率的变化为:

$$\delta n_+ = \frac{12\pi}{n_0} [C_{1122}(A_+^2 + A_-^2) + C_{1221}A_+^2] \quad (4)$$

$$\delta n_- = \frac{12\pi}{n_0} [C_{1122}(A_+^2 + A_-^2) + C_{1221}A_+^2] \quad (5)$$

由(4)、(5)两式可以看出在椭圆偏振情况下,正圆偏振光和负圆偏振光所引起的折射率变化是不相等的(因为 $A_+ \neq A_-$),它们之间产生的位相差为:

$$\delta = \frac{\omega}{c} \frac{12\pi}{n_0} C_{1221}(A_-^2 - A_+^2)z \quad (6)$$

其中 z 是光束在介质中传播的距离。因为在光束射出介质时,正、负圆偏振光之间有一位相差 δ ,所以偏振椭圆的主轴在 z 处旋转了一个角度 θ :

$$\theta = \frac{1}{2} \delta = \frac{6\pi\omega}{n_0 c} C_{1221}(A_-^2 - A_+^2)z \quad (7)$$

用光束的平均功率密度来表示,则有:

$$\theta = \frac{48\pi^2\omega}{n_0^2 c^2} C_{1221} P z \cos 2\phi \quad (8)$$

其中 $P = \frac{cn_0}{8\pi} E^2$; $E^2 = A_+^2 + A_-^2$,为光波总电场强度; $\tan \phi = A_+/A_-$ 。(8)式表示了一个椭圆偏振的强激光通过介质后,它的偏振椭圆转动的角度 θ 与光束的功率密度 P ,介质的长度 z ,以及非线性极化率参量 C_{1221} 成正比。我们只要测出偏振椭圆的转动角 θ 与光功率密度的关系,就可以从(8)式得到非线性极化率参量 C_{1221} ,以及纯电子畸变情况下的非线性折射率系数 n_2 :

$$n_2 = \frac{36\pi}{n_0} C_{1221} \quad (9)$$

三、实验装置和方法

我们采用 TEM₀₀ 模的钽玻璃激光系统(一级振荡器和三级放大器)。振荡器的共振

腔为稳定型平面-球面腔,腔长 137 厘米。用 KDP 晶体作 Q 开关。激光脉冲半极值宽度为 100 毫微秒。在腔内加一个 $\phi 2$ 的圆孔选单横模。振荡器输出的激光经过三级钽玻璃放大器放大,总的输出能量可达 6 焦耳以上,光束直径为 $\phi 8$ 左右。实验装置如图 1 所示。由激光系统输出的激光束通过一个长焦距透镜 ($f=3.5$ 米)后进入洛匈棱镜 P_1 ,费涅尔菱体 R_1 使入射的线偏振光变成一个椭圆偏振光(激光在 R_1 中的入射面与偏振方向成 22.5° 角)。样品放在透镜 L 的焦点后面,以得到适当大小的光束直径。第二个费涅尔菱体 R_2 的取向与 R_1 平行,当没有发生偏振椭圆转动时,它使椭圆偏振光变成为线偏振光。调节洛匈棱镜 P_2 的取向,使它输出的 o 光最小, e 光最大。能量检测器 C_1, C_2, C_3 分别测量输入总能量、o 光能量与 e 光能量。在强光束通过样品时,偏振椭圆发生了转动,这就表现为 o 光方向的信号增大。在该方向检测到的光功率 P_0 与进入样品的总光功率 P 之比表示为 F :

$$F = \frac{P_0}{P} = \frac{\epsilon_0}{\epsilon} \quad (10)$$

其中 ϵ_0, ϵ 是测量到的相应的能量。这个比值与偏振椭圆转动角有如下关系:

$$F = (\sin 2\phi \sin \theta)^2 \quad (11)$$

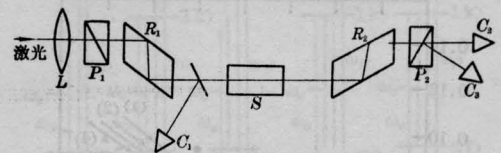


图 1 实验装置图

L —透镜 ($f=3.5$ 米); P_1, P_2 —洛匈棱镜; R_1, R_2 —费涅尔菱体; S —待测样品; C_1, C_2, C_3 —能量检测器

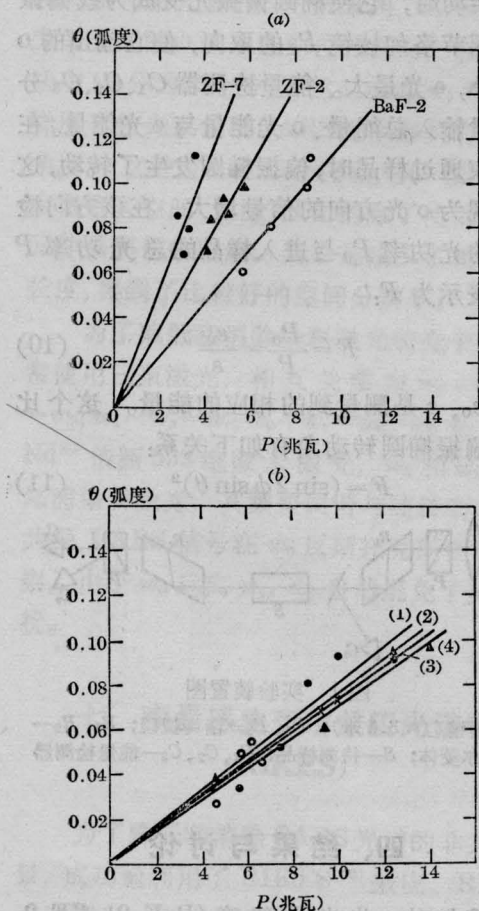
四、结果与讨论

我们对一些光学玻璃 (BaF-2、ZF-2、ZF-7)、硅酸盐钽玻璃 (N_{0312}, N_{1012}) 和磷酸盐钽玻璃 (N_{2120}, N_{2420}) 进行了实验观察,在图 1 所示的装置中,不放置样品时,测得的 F 甚

表 1 各种玻璃的非线性极化率系数和非线性折射系数 n_2

玻璃牌号	$n_{1.06}$	θ (功率为 500 兆瓦/ 厘米 ²)	C_{1221} (10^{-15} esu)	$n_2(10^{-13}$ esu)		
				实 验 值		计 算 值 ^[6]
				SIPC 法 (线偏光)	自聚焦法 ^[5] (自然光)	
BaF-2	1.5567	3°24'	4.12	3.0	4.1±0.4	3.6
ZF-2	1.6510	5°13'	7.26	5.0	2.7±1.1*	5.5
ZF-7	1.7746	7°31'	11.77	7.5	6.4±1.1	9.0
N ₀₃₁₂	1.5115	2°18'	2.62	2.0	1.9±0.4	1.8
N ₁₀₁₂	1.5079	2°10'	2.45	1.8	1.6±0.5	1.9
N ₂₁₋₂₀	1.5744	2°11'	2.72	2.0	1.3±0.3	1.5
N ₂₄₋₂₀	1.530	2°03'	2.44	1.6		1.1

* 当时测量时,材料的光学质量不好,数据偏低



① N₀₃₁₂ ●; ② N₂₁₂₀ ○; ③ N₁₀₁₂ ×; ④ N₂₄₂₀ ▲

图 2 自感生偏转角与激光功率的关系

微,这表明未产生非线性效应时,激光束的偏振椭圆不发生转动。在将 10 厘米长的样品

放入光路时,随着入射激光能量的增加,可以观察到在 o 光方向上的能量逐渐增加(即 F 增大),这表明激光的偏振椭圆随着功率的增加而转动越大。根据(10)、(11)式,我们确定了每一种材料的椭圆转动角 θ 与入射功率的关系,如图 2(a)、(b)所示。根据(8)、(9)式,我们从图 2 直线的斜率确定了各种材料的非线性极化率 C_{1221} 和非线性折射系数 n_2 。实验结果均列于表 1 中。从图 2 中可以看到,激光束偏振椭圆的转动与激光功率成正比。对于不同的材料,直线的斜率不同。在功率密度为 500 兆瓦/厘米²时,各种材料的椭圆转动角分别为: ZF-7: 7°31'; ZF-2: 5°13'; BaF-2: 3°24'; 各种钽玻璃的椭圆转动角约为 2°15'。在表 1 中,还列出了我们以前用自聚焦法测得的非线性折射系数 n_2 值^[5],以及文献[6]中用经验公式计算得到的 n_2 值,可以看出,这些结果是基本一致的。

参 考 文 献

- [1] P. D. Maker *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1964, **12**, 507.
- [2] 邓 和;《激光》,1980, **7**, No. 9, 38.
- [3] A. Owyong *et al.*; *Phys. Rev. B*, 1972, **5**, 628.
- [4] A. Owyong; *IEEE J. Q. E.*, 1973, **QE-9**, 1064.
- [5] 邓 和,张梅珍等;《激光》,1979, **6**, No. 1, 13.
- [6] 干福熹,林凤英;《激光》,1979, **6**, No. 4, 12.