

文章编号: 1001-4322(2002)02-0287-04

多程片状放大器用作电光开关检偏器研究*

郑奎兴^{1,2}, 蔡邦维¹, 冯 斌², 郑建刚², 董 云², 彭志涛², 鲁敬平², 景 峰², 魏晓峰²

(1. 四川大学 光电科学系, 四川 成都 610041; 2. 中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 用布儒斯特角放置的多张放大器片作大口径电光开关的检偏器, 不仅有利于光束的传输, 而且可以有效降低装置的工程造价和难度。计算了不同的片放张数、放大器增益和普克尔盒效率与系统隔离效率之间的关系。在多程系统上进行了实验测试, 结果表明在相同输入光强时普克尔盒工作与不工作时输出光束强度相差 8 倍。

关键词: 等离子体电极普克尔盒; 多程系统; 片状放大器; 布儒斯特角; 隔离效率
中图分类号: TN 520 **文献标识码:** A

新一代 ICF 驱动器必须采用大口径的光隔离措施, 典型的方法是利用大口径的等离子体电极普克尔盒与偏振片构成电光开关^[1,2]。我们已经基本掌握了等离子体电极普克尔盒的相关技术^[3,4], 但目前国内大口径偏振片制作还有较大的难度, 而且价格昂贵。因此, 在我国的新一代巨型驱动器总体设计中提出了组合开关方案^[5], 用小口径电光开关隔离寄生振荡, 将大口径等离子体电极普克尔盒放置在腔镜与片放之间隔离反射激光。该方案的特点是利用多程片状放大器自身作检偏器, 二者合而为一, 不需要再作大口径偏振片, 因而降低驱动器研制的技术难度和工程造价。

当光束以布儒斯特角入射时, 钹玻璃一个表面对垂直偏振光的反射率约为入射光强的 16%, 由多张以布儒斯特角放置的放大器片对垂直偏振光将有较高的隔离比。在实际系统中, 靶上产生的反射激光到达放大器时仍然具有较强的增益能力, 与常规 Brewster 角玻璃堆检偏器存在不同, 此时的钹玻璃片对传输通过的垂直偏振光衰减的同时也有放大作用。由普克尔盒与放大器片构成的电光开关系统的开关效率将受片放张数、普克尔盒特性和放大器的增益能力的影响, 本文理论分析了放大器增益和 Pockels 开关效率对系统隔离比的影响, 并在多程系统上实验验证了片状放大器用作检偏器时的隔离效果。

1 理论计算

1.1 以布儒斯特角放置的放大器片对垂直偏振光的隔离效率

两种各向同性媒质间平面对平行偏振光和垂直偏振光具有不同的透射、反射率。当光束以布儒斯特角入射到界面时, 平行偏振光无反射全部通过界面进入第二种媒质中, 而垂直偏振光则将发生较大比例的反射, 其光强的透射比、反射比例遵从下面的公式

$$R_s = \sin^2(\theta - \varphi) / \sin^2(\theta + \varphi) \quad (1)$$

$$T_s = 4 \sin^2 \varphi \sin^2 \theta / \sin^2(\theta + \varphi) \quad (2)$$

式中: θ 为布儒斯特角(入射角), φ 为折射角。布氏角满足 $\tan \theta = n_1/n_0$, 对于放大器片用的 N31 玻璃, 尺寸为 590mm × 320mm × 40mm, 其折射率 $n_1 = 1.528$, 则其布儒斯特角 $\theta = 56.8^\circ$; $\varphi = 33.2^\circ$ 。根据(1), (2)式可得垂直偏振光在空气/钹玻璃界面的透射、反射系数分别为: $T_s = 84\%$, $R_s = 16\%$ 。由于界面发生较大的反射, 因此部分光束在放大器片内将多次反射和折射, 如图 1 所示。从

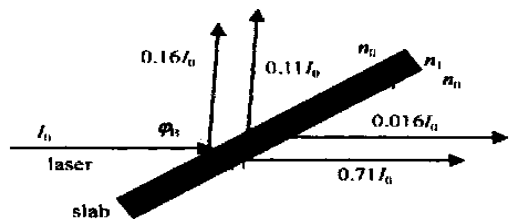


Fig. 1 Transmission and reflection of S-beam by slab with Brewster angle

图 1 垂直偏振光通过对布氏角放置的钹玻璃片时的透射、反射光束

* 收稿日期: 2001-10-16; 修订日期: 2001-11-22
基金项目: 国家 863 惯性约束聚变领域资助课题(863-416-2-14)
作者简介: 郑奎兴(1966-), 男, 副研究员, 主要从事光隔技术研究, 绵阳 919-988 信箱。

计算的结果来看, 光束在玻璃内经过两次反射后, 几乎都被反射或透射出钽玻璃片。对于图 1 所示的钽玻璃片放置, 我们把能够继续向右传输的部分称作透射光, 其余都是损耗, 都归入反射光。从总的效果来看, 一张钽玻璃片对垂直偏振光的透射、反射比例为: T_s 72.6%, R_s 27%, 图 2 给出了隔离效率与钽玻璃片张数的对应关系, 只要达到足够的张数就可以实现对垂直偏振光的有效隔离。对于有 8 张钽玻璃片的多程放大系统, 对垂直偏振光的单程透过率为 $T_s = 7.71%$, 即相当于对垂直偏振光隔离比为 13.1, 所以有较强的隔离作用。

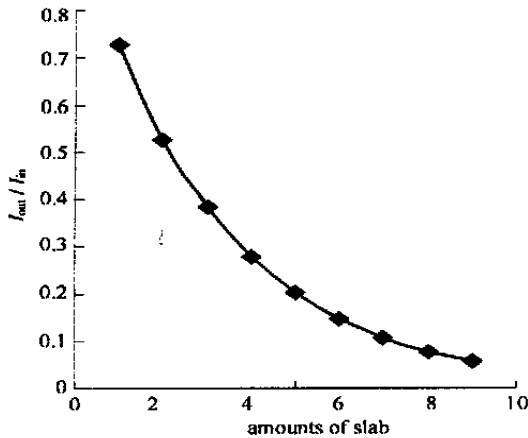


Fig 2 Transmission ratios as a function of amounts of glass-slab numbers

图 2 钽玻璃片张数对隔离效率的效率

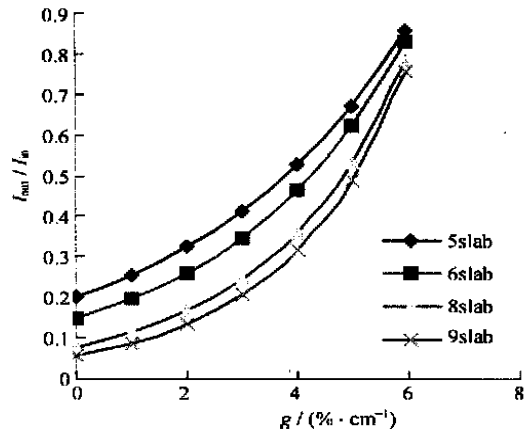


Fig 3 Transmission ratios as a function of small signal gains

图 3 隔离效率随小信号增益的变化

1.2 有增益时片状放大器对垂直偏振光的隔离效率

前面讨论的是没有增益的情况, 当片状放大器有增益时, 垂直偏振光通过放大器片时一方面要因反射产生一定的损耗, 另一方面又会被放大, 因此其总体隔离效率将受片状放大器增益能力的影响, 这里的隔离效率指输入与输出光强的比例。首先考虑 1 张钽玻璃片的情况, 从图 1 可以看出, 能够被放大并继续沿主光路传输的光束可以按两部分来考虑, 有 71% 的光强一次通过片状放大器, 另有 1.6% 的光强则相当于三次通过片状放大器并被放大。则输出光强与输入光强比为

$$I_{out}/I_{in} = 0.71 \times e^{gd/\sin\Phi} + 0.016 \times e^{3gd/\sin\Phi} \quad (3)$$

式中: g 为小信号增益系数; d 为钽玻璃片的厚度。对于 n 张钽玻璃片的情况, 计算公式变为

$$I_{out}/I_{in} = (0.71 \times e^{gd/\sin\Phi} + 0.016 \times e^{3gd/\sin\Phi})^n \quad (4)$$

多程系统片状放大器的厚度为 3.8cm, 入射角 $\Phi = 56.8^\circ$; 因此(4)式变为

$$I_{out}/I_{in} = (0.71 \times e^{4.54g} + 0.016 \times e^{13.62g})^n \quad (5)$$

根据(5)式, 我们分别计算了在不同的片状放大器张数和不同增益情况下的输入与输出光强的对应关系, 结果如图 3 所示。当小信号增益系数达到 0.05 时, 即使 8 张片, 其输出光强也达到了输入光强的 1/2; 当小信号增益系数达到 0.06 时, 输出光强是输入光强的 0.8 倍。总之, 在小信号增益系数小于 0.06 的情况下, 垂直偏振光传输通过片状放大器时总体表现为衰减, 即输入与输出光强之比大于 1, 在同样增益的情况下, 放大器片的张数越多对垂直偏振光的衰减幅度越大。

1.3 普克尔盒效率对隔离系统效率的影响

在实际系统中, 对光束的控制是依靠普克尔盒对光束偏振方向的控制和放大器片的检偏作用来实现的, 普克尔盒不可能将平行偏振光 100% 的转变垂直偏振光, 我们将这一比率称为普克尔盒效率, 目前使用的大口径等离子体电极普克尔盒的效率只有 95% ~ 98%^[5]。对于这种人射光束中有部分平行偏振光分量的情况, 垂直分量依然遵从(5)式的关系, 而平行分量则被无损耗的放大, 则其输入输出的对应关系可以用下式表示

$$I_{out}/I_{in} = (1 - \alpha) \times e^{4.54g} + \alpha(0.71 \times e^{4.54g} + 0.016 \times e^{13.62g})^n \quad (6)$$

式中 α 是普克尔盒效率。我们根据 (6) 式计算了有 8 张钹玻璃片情况下, 不同增益时普克尔盒效率与输出输入光强之比的对应关系。计算结果如图 4 所示, 当普克尔盒效率为 90% 时, 小信号增益系数为 0.05 的输出光强是输入光强的 1.15 倍; 小信号增益系数为 0.06 的输出光强是输入光强的 1.6 倍, 即输出大于输入。当普克尔盒效率为 95% 时, 小信号增益系数为 0.04 的输出光强是输入光强的 0.55 倍; 小信号增益系数为 0.05 的输出光强是输入光强的 0.79 倍; 小信号增益系数为 0.06 的输出光强是输入光强的 1.15 倍。在新一代激光器设计中, 片放的小信号增益系数选择在 0.05 到 0.06 之间, 因此, 从图 4 的结果我们可以看出, 在普克尔盒的开关效率大于 95% 的情况下, 用放大器片和普克尔盒构成的隔离系统能够明显的抑制传输光束的放大。

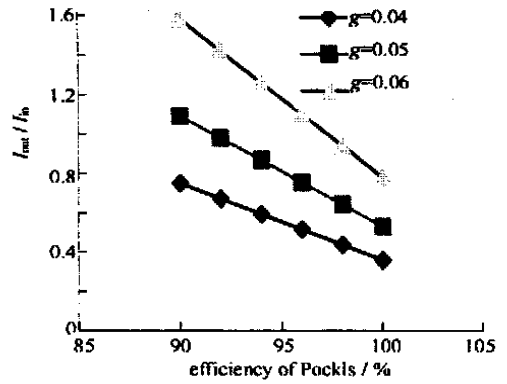


Fig 4 Transmission ratios as a function of the efficiency of pockels

图 4 普克尔盒效率对隔离效果的影响

2 实验研究

实验在多程系统上进行, 主放大器有 8 张片。图 5 给出了大口径电光开关的隔离效率实验的光路图和多程系统主放大级的主要光学排布。等离子体电极普克尔盒的通光口径为 $240\text{mm} \times 240\text{mm}$, 由振荡器产生的 $1.053\mu\text{m}$ 波长的种子光, 经过预放大级放大后从空间滤波器 (L_1 pinhole plate 和 L_2 构成) 焦平面附近注入主放大器, 经过片状放大器和大口径普克尔盒 (PEPC2) 后, 到达腔镜 (CM) 并被反射, 第 2 次通过 PEPC2 后再进入片状放大器, 然后被导入光束反转器。大口径普克尔盒工作时加 $\lambda/4$ 的电压, 光束两次通过后其偏振方向将由平行偏振变为垂直偏振, 大部分将被以布儒斯特角放置的钹玻璃片反射出光路。实验时光束在四程中的口径约为 $\phi 5\text{mm}$, 我们采用了两个微能量卡计分别测量主放大器入口的注入光强和两程之后的输出光强, 能量卡计 1 利用劈板取样, 用于测量注入光强, 其对应修正系数为 24.459。能量卡计 2 口径为 $\phi 40\text{mm}$, 直接放入反转器中, 位于小口径电光开关组件的前面, 用于测量光束两次通过放大器后的强度, 其修正系数为 0.6179。实验中我们测试了四种状态见表 1。

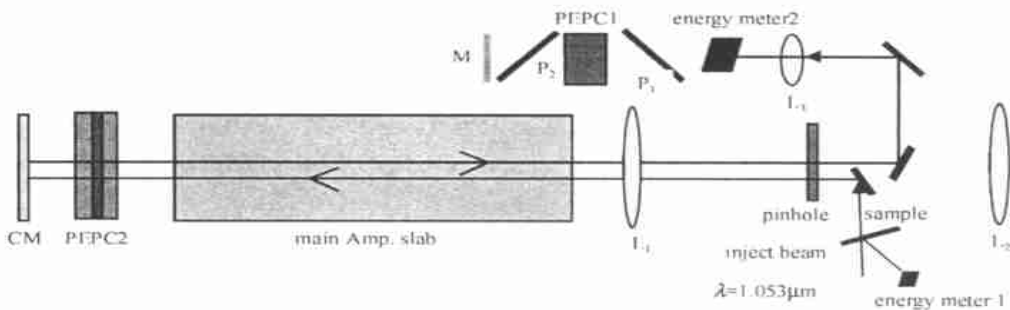


Fig 5 Schematic layout of the experiment

图 5 实验光路排布图

表 1 不同状态下激光束通过主放大器时光强变化的测试结果

Table 1 Test results of laser beam through main amplifier in different cases

main amplifier status	off		on		
	PEPC status	off	on	off	on
energy meter 1/mJ	off	15.04	13.42	41.34	34.24
energy meter 2/mJ	off	5.97	0.67	333.05	32.75
energy meter 2/energy meter 1	off	0.40	0.05	8.06	0.9

测试结果表明:片状放大器处于相同状态时,普克尔盒的状态对输出影响非常明显。片状放大器不工作时,普克尔盒工作时的输出是不工作时输出的 $1/8$;而片状放大器工作时,普克尔盒工作时的输出是不工作时输出的 $1/8$ 3;两者基本相同。这证实由普克尔盒与片状放大器构成的电光开关系统有明显的隔离作用。在片状放大器不工作时,普克尔盒处于加压状态,其输出光强为输入光强的 5%,理论计算结果(7.71%);其原因包含两方面,一是光学元件的吸收和表面反射造成的静态损耗,二是普克尔盒有一定的效率。从普克尔盒不工作时的结果可以看出,系统的静态透过率为 40%,如果没有静态损耗,则输出与输入光强之比应该从 5% 变为 12.5%,比理论值高 4.8%,在普克尔盒的效率范围内,因此理论与实验结果是基本吻合的。在片状放大器工作时,普克尔盒处于加压状态,其输出光强为输入光强的 97%,高于前面的理论计算结果(在小信号增益系数为 4%,普克尔盒效率为 95% 时,8 张片时垂直偏振光的单程透过率为约 45%),主要原因是测试结果为双程放大,而第一程为平行偏振光,第二程才为垂直偏振光,即片状放大器只对第二程的光有衰减作用。这一结果在实际系统中具有实用价值。

3 结 论

理论计算了片状放大器用作检偏器时,放大器钽玻璃片张数、普克尔盒开关效率和放大器增益能力对系统隔离效率的影响,对有 8 张钽玻璃片的 4 程放大系统,理论上对垂直偏振光单程最高隔离比可达 13:1。在多程系统上的实验表明,由口径为 240mm × 240mm 的等离子体电极普克尔盒和放大器片构成的隔离系统,在相同输入光强的情况下,能够使输出光束的强度相差近 8 倍。

参考文献:

- [1] Rhodes M A, Woods B W, DeYoreo J J, et al Plasma electrode Pockels cells for the Beam let and N IF lasers[R]. UCRL-JC-115579, 1994
- [2] Andr m C, Status of the LMJ project[A]. Proc of SPIE[C]. 1997, 3047: 38
- [3] 鲁敬平,吕传信,张雄军,等.等离子体电极电光开关实验研究[J].强激光与粒子束,1997,9(1):72—78 (Lu J P, Lv C X, Zhang X J, et al Experimental study on plasma electrode electro-optical switch. High power laser and particle beams, 1997, 9(1): 271—276)
- [4] 鲁敬平,郑奎兴,张雄军,等.大口径等离子体电极普克尔盒电光开关研究[J].强激光与粒子束,2000,12(S1):137—140 (Lu J P, Zheng K X, Zhang X J, et al Study on large aperture Plasma-electrode pockels cell electro-optical switch. High power laser and particle beams, 2000, 12(S1): 137—140)
- [5] Peng H S, Jin F, Zhang X M, et al Status of the SG-III solid state laser project[A]. Proc of SPIE[C]. 1988, 3492: 25

Research on disk amplifiers as polarizer of electro-optical switch

ZHENG Kui-xing^{1,2}, CA IBang-wei¹, FENG B in², ZHENG Jian-gang²,
DONG Yun², PENG Zhi-tao², LU Jing-ping², JING Feng², WEI Xiao-feng²

(1. Opto-electronics Department, Sichuan University, Chengdu 610064, China;

2. Research Center of Laser Fusion, CAEP, P. O. Box 919-988, Mianyang 621900, China)

Abstract It benefits to decrease the engineering cost and to debase the technical crisis by the polarizer composed of amplifier Nd³⁺: glass slabs located with the Brewster angle in large scale multipasses laser facility. The relationships of the isolation efficiency with the numbers of slab, the growth of the amplifier and the switch efficiency of Pockels cell are calculated theoretically. The experimental results indicated that the output energy ratio of this Pockels cell-amplifier isolation system is 1:8 while Pockels cell is on and off.

Key words plasma electrode Pockels cell; multipass amplifier; disk amplifier; Brewster angle; efficiency of isolation