

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0153-03

紧缩型 80 mm × 80 mm 单脉冲过程电光开关

张雄军, 吴登生, 林东晖, 田晓琳, 郑奎兴

(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

摘要 单脉冲过程驱动电光开关与传统的等离子体电极电光开关不同, 没有独立的大电流等离子体发生单元, 可大幅度降低电光开关工程造价, 提高其可靠性和稳定性。泡克耳斯盒主体采用一体化紧缩型结构, 驱动源由一正一负两台开关脉冲发生器组成, 采用仿真线成形技术。实验结果显示研制的 80 mm × 80 mm 口径单脉冲过程电光开关具有较宽的气压工作范围, 气体击穿延时稳定, 采用脉冲激光器和光电二极管对其进行了开关特性测试, 静态透射率为 92.9%, 静态消光比为 3900, 全口径平均开关效率为 99.7%。

关键词 激光技术; 等离子体电极泡克耳斯盒; 单脉冲过程; 开关效率

中图分类号 TN242 **文献标识码** A

Compact Pockels Cell with 80 mm × 80 mm Aperture Driven by One-Pulse Process

ZHANG Xiong-jun, WU Deng-sheng, LIN Dong-hui, TIAN Xiao-lin, ZHENG Kui-xing

(Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract Being different with the regular plasma electrode Pockels cell, the electro-optical switch is driven only through the positive and negative switching pulse voltage as the one-pulse-process (OPP) without isolated intense current plasma cells. So the reliability and the stability of optical switch are improved and its cost reduced. The Pockels cell with 80 mm × 80 mm aperture is designed compact and the artificial line forming technique is used in the driving source. Experimental result indicates that it has wide range of operating pressure and negligible jitter in breakdown. The performance of the Pockels cell is excellent with static transmission of 92.9%, the static extinction of 3900, the switch efficiency of 99.7%, which are measured with pulsed laser and photodiode.

Key words laser technique; plasma electrode Pockels cell; one-pulse-process; switch efficiency

1 引 言

传统的纵向环电极泡克耳斯盒已广泛用于激光器, 但其通光方向晶体长度必须大于晶体直径, 才能在通光口径上得到满足要求的均匀电场, 这样, 随着口径的增加, 晶体长度势必很大, 将导致严重的光吸收和非线性效应。美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室(LLNL)发明的等离子体电极技术可以通过采用薄晶体将电光开关定标到大口径^[1], 从而克服了纵向环电极泡克耳斯盒开关的不足, 而中等口径的 80 mm × 80 mm 等离子体电极电光开关也已用于多程放大演示系统, 避免其产生自激振荡和光束输出控制^[2], 与传统的环电极泡克耳斯盒开关相比, 也有明显的优点。

用于多程放大演示系统的电光开关采用的是 LLNL 的等离子体电极泡克耳斯盒概念, 电光开关的驱动由两个过程完成: 首先由大电流的气体放电在电光晶体两侧形成高电导率的等离子体, 然后在等离子体上施加开关脉冲完成对通过电光晶体的极化。该驱动模式需要 2 台预电离电源, 2 台主放电电源和 1 台开关脉冲发生器, 共 5 台电源。在 2001 年, 法国原子能委员会的 J. Gardelle 等报道了一种更为简单的等离子体电极电光开关驱动模式, 即单脉冲过程驱动^[3]。单脉冲过程驱动电光开关与传统的等离子体电极电光开关不同, 每个气体放电腔只有一个放电电极, 没有独立的大电流等离子体发生单元, 开关脉冲高压导致气体击穿, 并通过雪崩过程使放电腔气体电

基金项目: 国家高技术惯性约束聚变主题(842130)资助课题。

作者简介: 张雄军(1973—), 男, 副研究员, 主要从事光开关技术的研究。E-mail: stone_zxj@163.com

离子形成充满全口径的等离子体,并通过它将开关脉冲加到 KDP 晶体两侧,从而实现对传输光束偏振方向的控制。

2 80 mm×80 mm 单脉冲过程电光开关

泡克耳斯盒主体采用一体化紧缩型结构,壳体由石英玻璃加工而成,中间的 80 mm×80 mm×10 mm KDP 晶体采用硅胶与壳体固定,两边由 UBK7 光窗密封,这样,在晶体两侧就构成了两个等离子体放电腔,放电腔厚度约为 15 mm。每个放电腔有一环形放电电极,电极上等间距安装有特殊设计的尖针以增强场致击穿强度。图 1 为完成了外围电气连接的紧缩型 80 mm×80 mm 单脉冲过程泡克耳斯盒照片,对外共有 6 个接口,包括驱动脉冲、进气、抽气、状态监测和接地。工作时,先将泡克耳斯盒抽至本底真空度,约为 10^{-2} Pa,然后注入惰性工作气体,通过对真空系统抽速和进气量的控制使泡克耳斯盒内气压维持在希望的范围。

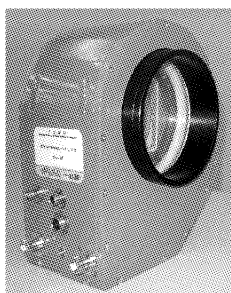


图 1 80 mm×80 mm 单脉冲过程电光开关照片
Fig. 1 A photo of one-pulse process Pockels cell with 80 mm×80 mm aperture

欲将入射的线偏振光的偏振方向旋转 90° ,需在电光晶体两侧施加半波电压,对于纵向使用的 KDP 晶体,入射光波长为 1053 nm,半波电压为 16.4 kV。80 mm×80 mm 单脉冲过程电光开关驱动源由一正一负两台开关脉冲发生器组成,采用仿真线成形技术,由分离的电感、电容组成,阻抗为 50Ω ,输出前沿 30 ns,后沿 50 ns,脉冲顶部为 300 ns 的近矩形脉冲,脉冲幅值 3~12 kV 可调。正负开关脉冲分别由 30 m, 50Ω 同轴传输电缆与 50Ω 终端匹配电阻连接,并分别与两腔放电电极连接,这样,施加于开关晶体两侧电压即为正负开关脉冲(绝对值)之和。

3 实验结果

相对于常规的等离子体电极电光开关,由于没

有大电流等离子体脉冲发生器,单脉冲过程电光开关所关注的焦点在于气体场致击穿的稳定性和全口径开关特性的均匀性。我们采用泰克高压探针监测正负开关脉冲波形,罗果夫斯基线圈监测泡克耳斯盒充电电流,以判断单脉冲过程驱动下,气体击穿延时的稳定性,典型的结果如图 2 所示。Ch2 和 Ch4 分别为正负开关脉冲波形,Ch3 为泡克耳斯盒充电电流波形,从中可以看出 Ch3 是一个典型的电容充放电波形。图 2(a)为气体未被击穿情况下得到的示波图,类似常规环电极泡克耳斯盒,只有很小的充放电电流,开关脉冲顶部较平,没有畸变;图 2(b)为放电腔内气体良好击穿情况下得到的示波图,在正负开关脉冲平顶起始处均有一下凹,这是由于气体击穿后,在终端匹配电阻处相当于并联了一个较大的电容,匹配阻抗减小,从而使开关脉冲波形产生畸变,泡克耳斯盒充放电电流也相应变大。多次气体放电实验显示,该泡克耳斯盒具有较宽的工作气压范围,泡克耳斯盒腔内气体可稳定地在开关脉冲平顶的起始处击穿。

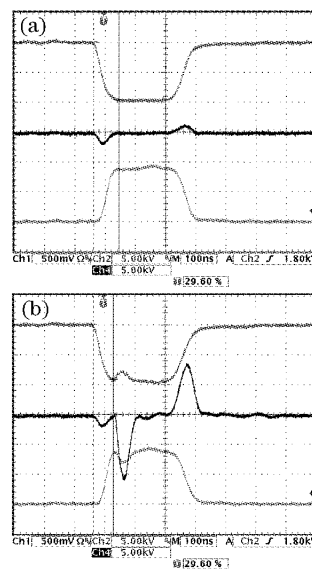


图 2 放电腔气体击穿与未击穿时的电压电流波形图
Fig. 2 Oscillograms of KDP charge current and switching voltage with gas being breakdown or not

另一个关注焦点是泡克耳斯盒开关效率的全口径均匀性,采用图 3 所示光路排布测量泡克耳斯盒全口径平均的开关效率,光源为 YAG 脉冲激光器,脉宽 10 ns,波长 1060 nm,经过两级扩束和方形锯齿光阑得到 $60 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ 光束口径,通过泡克耳斯盒。起偏器为高消光比的格兰棱镜,检偏器为两块相对放置的偏振片,起偏器和检偏器方向一致。

一只光电二极管监测输入激光强度,另一只光电二极管测量通过检偏器的激光强度。为避免强的电磁噪声,采用带尾纤的光电二极管,由大口径准直器将激光输入光纤。激光器出口放置有半波片,它和起偏器配合用于调整激光强度使其在光电二极管的线性响应范围内。泡克耳斯盒的开关效率 $S = 1 - I_{(c)}/I_0$, 其中 I_0 为泡克耳斯盒不加电时归一化后的光强, $I_{(c)}$ 为泡克耳斯盒加电时归一化后的光强,激光脉冲和开关脉冲间的时间关联如图 4 所示,激光脉冲需位于完成泡克耳斯盒充电后的开关脉冲

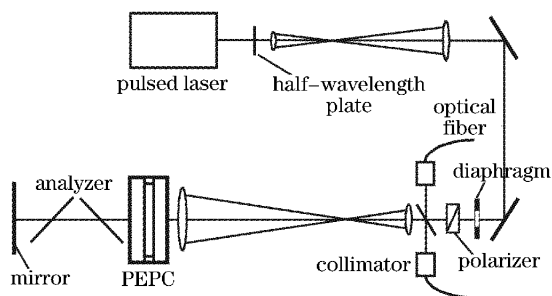


图 3 泡克耳斯盒开关效率测试光路图

Fig. 3 Optical layout to measure switch efficiency of Pockels cell

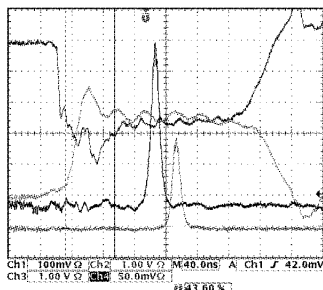


图 4 典型的开关脉冲和激光脉冲关联

Fig. 4 Typical timing relation of laser pulse and switching pulse

的平顶范围内。经过多次测量平均得到泡克耳斯盒全口径平均的开关效率为 99.7%。采用图 3 所示光路对 80 mm×80 mm 单脉冲过程泡克耳斯盒的静态消光比也进行了测试, $E_r = I_0/I_1$, I_0 为检偏器与起偏器方向一致时,通过泡克耳斯盒归一化后的光强, I_1 为检偏器与起偏器方向垂直时,通过泡克耳斯盒归一化后的光强,测试结果为该泡克耳斯盒静态消光比为 3900。

4 结 论

采用紧缩型结构设计了没有大电流的等离子体脉冲发生器,只有正负开关脉冲驱动的单脉冲过程 80 mm×80 mm 电光开关具有优良的开关性能,全口径平均开关效率 99.7%,静态消光比 3900,静态透射率 92.9%。由于优化的泡克耳斯盒和放电电极设计,具有薄的放电腔和强的场致发射强度,泡克耳斯盒放电腔气体击穿延时稳定,具有较宽的工作气压范围,开关特性空间分布均匀。开关外围电路装配紧凑,接口规范,具备状态监测接口,满足大型惯性约束聚变激光驱动器对中等口径电光开关的要求。

参 考 文 献

- 1 Mark A. Rhodes, B. Wood, J. J. DeYoreo *et al.*. Performance of large-aperture optical switches for high energy inertial-confinement fusion laser [J]. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(24): 5312~5325
- 2 Zhang Xiongjun, Zheng Jiangang, Zheng Kuixing *et al.*. PEPC electro-optical switch used in beam reverser of multi-pass amplifier [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2003, **15**(2): 150~154
- 3 张雄军,郑建刚,郑奎兴等. 用于多程放大系统光束反转器的等离子体电极电光开关 [J]. *强激光与粒子束*, 2003, **15**(2): 150~154
- 3 J. Gardelle, E. Pasini, B. Birel. A new regime of plasma-electrode Pockels cell operation for the laser megajoules project [C]. *Proc. IFSA*, 2001. 510~513