

文章编号: 1001- 4322(2000) s1- 0213- 04

# 等离子体电极电光开关特性参数测量\*

张雄军, 鲁敬平, 郑奎兴, 郑建刚, 董云, 冯斌, 张小民

(中国工程物理研究院 高温高密度等离子体物理国家重点实验室, 四川 绵阳 919-988 信箱 621900)

**摘 要:** 建造一套电光开关参数测量系统, 具备时间分辨、空间分辨及全口径平均测量能力。介绍了 240mm × 240mm 等离子体电极普克尔盒电光开关特性参数及测量光路, 并给出了实验测量结果。

**关键词:** 等离子体电极普克尔盒; 开关特性; 参数测量

**中图分类号:** TN 520 **文献标识码:** A

用高电导率等离子体作电极的纵向普克尔盒电光开关是美国利弗莫尔实验室在八十年代初首创的<sup>[1,2]</sup>。我们从 93 年开始这方面的研究, 并于 96 年建成了 80mm × 80mm 口径的等离子体电极普克尔盒<sup>[3]</sup>。从 97 年至今又进行了 240mm × 240mm 等离子体电极普克尔盒和 50mm × 50mm 紧缩型等离子体电极普克尔盒(PEPC)的实验研究。对于开关性能的评估, 在 80mm × 80mm 电光开关实验中, 采用了一种简便的开关效率测量方法(如图 1 所示)。实验时用 He-Ne 连续光源, 普克尔盒两侧分别安放偏振器 P<sub>1</sub> 和 P<sub>2</sub>, 在 P<sub>1</sub> // P<sub>2</sub> 且普克尔盒加上幅值为半波电压  $V_{\pi} = 9.8\text{kV}$  的开关脉冲情况下, 用光电倍增管分别测量一次通过和二次通过普克尔盒及偏振器 P<sub>2</sub> 的激光脉冲强度  $I_1$  和  $I_2$ ; 另外, 在 P<sub>1</sub> // P<sub>2</sub> 和普克尔盒不加开关脉冲的情况下, 用斩波器将连续光变为脉冲光束, 测得一次通过和二次通过的激光脉冲强度  $I_1'$  和  $I_2'$ , 则得到开关效率  $S_{\text{eff}} = (I_2/I_1) / (I_2'/I_1')$ 。该方法不能一次测得开关效率的空间分布, 只能借助逐点测量来判断全口径开关效率的均匀性。这种测量方法虽然简单, 但测量点有限, 对开关空间特性的评估不够全面, 且精度不高, 重复性差。因此, 在 240mm × 240mm 口径及 50mm × 50mm 口径电光开关实验中, 我们完善了开关特性参数测量系统及其测量方法, 将电光开关特性参数测量分为时间特性测量和空间特性测量两大类。时间特性参数采用连续激光器、光电二极管进行测量; 空间特性参数采用脉冲激光器, 空间滤波器和扩束望远镜进行扩束滤波, 由 CCD 相机进行全口径测量, 具备空间分辨, 并由光电二极管给出整个孔径的平均性能。在光路排布中, 普克尔盒按反激光隔离开关的方式运行, 因此所得的结果是具有实际运用价值的。

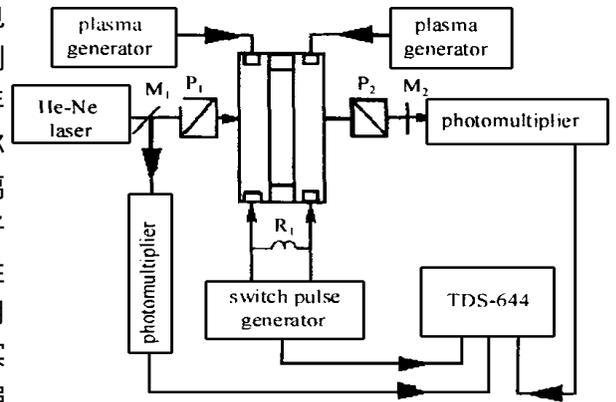


Fig 1 Experiment contrivance of 80mm × 80mm PEPC electron optical switch

图 1 80mm × 80mm 等离子体电极普克尔盒电光开关实验装置示意图

## 1 等离子体电极电光开关特性参数

开关特性参数包括时间特性参数和空间特性参数, 时间特性参数主要指开关上升时间, 为普克尔盒加开关脉冲至完全具有开关作用的时间间隔, 包括晶体充电时间和开关脉冲电压在晶体整个孔径上的平衡时间, 它反映电光开关的响应快慢。空间特性包括普克尔盒的静态透过率、静态消光比和开关效率,

\* 收稿日期: 2000-03-17; 修订日期: 2000-11-14  
基金项目: 国家 863 惯性约束聚变领域资助课题  
作者简介: 张雄军(1973-), 男, 助理研究员。



静态透过率反映普克尔盒吸收和反射损耗大小, 静态消光比反映在不加电情况下普克尔盒晶体及光窗引入的退偏损耗, 大口径等离子体电极普克尔盒作为反激光隔离器, 其开关效率即为偏振光两次通过加电压  $V_{\pi/2}$  的普克尔盒偏振方向旋转 90 部分的百分比, 反映放电等离子体均匀性及开关脉冲与  $V_{\pi/2}$  电压的偏离。

## 2 电光开关参数测量系统

### 2.1 时间特性测量部分

时间特性测量部分主要包括 DPL (半导体泵浦激光器) 连续激光器、偏振棱镜及光电二极管。DPL 连续激光器的波长为  $1.06\mu\text{m}$ , 最大输出功率约为 70mW。由于工作于强电环境, 记录探头选择抗干扰能力较强的 GD3255 型光电二极管, 此光电二极管反偏电压由电池提供, 为 35V, 取样电阻选  $50\Omega$ 。

开关上升时间测量光路如图 2 所示。将连续光分为两束, 变为线偏振光, 分别通过加电压  $V_{\pi/2}$  的普克尔盒的阴极和阳极侧, 经反射镜  $M_3$  原路返回进入光电二极管在示波器上得到时间关联波形, 由阳极侧光脉冲幅值的 5% 至阴极侧光脉冲幅值的 95% 的时间间隔定为开关上升时间。

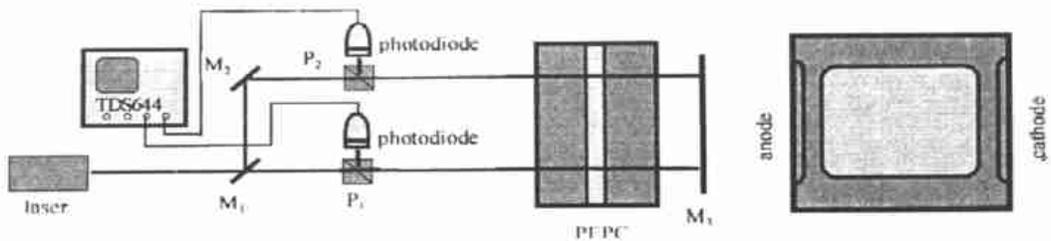


Fig. 2 Optical layout to measure switching rise time

图 2 开关上升时间测量光路示意图

### 2.2 空间特性测量部分

光源为 YAG 主动调 Q 激光器 (脉宽为 7ns), 输出光斑为  $\Phi 5\text{mm}$ , 而普克尔盒  $240\text{mm} \times 240\text{mm}$  有效通光口径为  $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ , 我们在其间插入一级空间滤波器和两级扩束望远镜, 其工作参数如表 1 所示, 为消除激光束横截面上强度分布的高频调制, SF 光阑孔径选为 2.3 倍衍射极限, 为了避免空气击穿, 空间滤波器的小孔光阑放在真空管道中, 内部真空为  $1\text{Pa}$ 。测量系统起偏器和检偏器均为具有高消光比的格兰棱镜, 系统消光比为 1100。

表 1 空间滤波器和扩束望远镜主要工作参数

Table 1 Main working parameters of spatial filter and expanders

serial No.	input beam	lens parameter/mm				expand ratio	hole diameter /mm
		input lens		output lens			
		diameter	focus distance	diameter	focus distance		
SF	$\Phi 5\text{mm}$	20	300	50	1800	6	0.5
EXP1	$10\text{mm} \times 10\text{mm}$	30	400	70	1600	4	/
EXP2	$40\text{mm} \times 40\text{mm}$	100	720	350	3600	5	/

静态透过率测量光路如图 3 所示。光源是脉冲调 Q 激光器 (波长  $1.06\mu\text{m}$ , 输出光斑为  $\Phi 5\text{mm}$ ), 激光卡计监测激光脉冲能量波动用于多次 CCD 测量结果的归一化。激光束经空间滤波器 SF 扩束, 再经过软边光阑  $A_1$  将光束口径限制为  $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ , 然后经第一级扩束望远镜 EXP1 扩束至  $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ , 最后经第二级扩束望远镜 EXP2 扩束至  $200 \times 200\text{mm}$ , 通过普克尔盒两次, 反射回, 经 EXP2, EXP1 缩束, 被  $M_4$  反射进入 CCD 相机; 静态消光比与开关效率测量光路相同, 与图 3 不同之处在于激光器出口处加起偏棱镜  $P_1$ , 在 CCD 前加检偏棱镜  $P_2$ 。

普克尔盒全口径平均测量即将探测器由 CCD 相机换成光电二极管, 光源监测也由能量卡计换成光电二极管, 由示波器获得光脉冲波形。

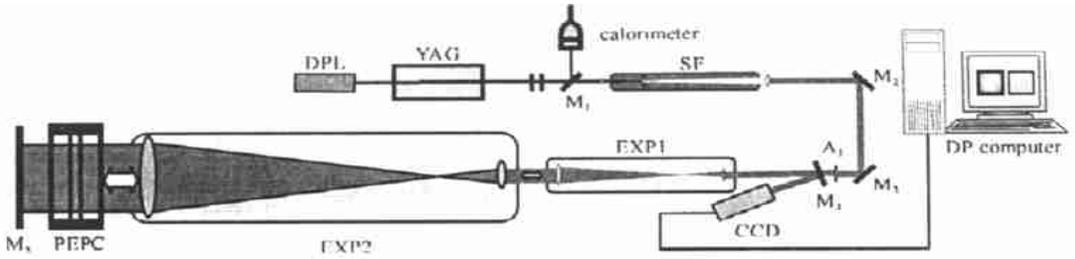


Fig 3 Optical layout for measuring static transmittance of PEPC

图3 普克尔盒静态透过率测量示意图

要获得高分辨、不失真的电光开关空间特性参数要求 CCD 面阵相机具有高精度、高动态范围、低噪声, 数据处理系统具有多种数据处理功能。由于条件所限, 我们采用敏通 1881 面阵 CCD 相机 (512 × 512 点阵), 8 位图像采集卡。CCD 图像处理界面如图 4 所示, 具有三个显示图像窗口, 可同时采集两幅图像。可对采集的图像进行剖面线、等高分布、三维图分析、及伪彩色显示、系数补偿、两幅图像相减、相除等处理。具有对测量和处理结果 (剖面线、等高分布、三维图及伪彩色) 提供存储、打印等输出功能。

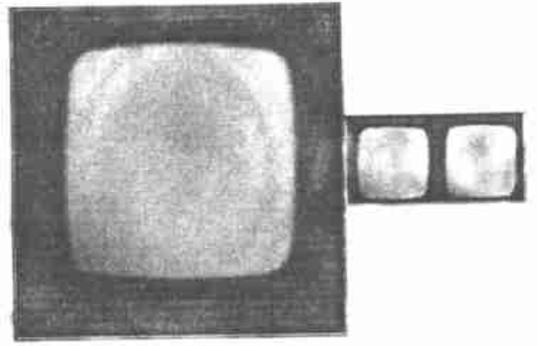


Fig 4 The interface of CCD system

图4 CCD 图像处理界面

开关空间特性测量要求 CCD 图像采集处理系统、YAG 激光器及普克尔盒三者严格同步, 为此, 在动态测量时由电光开关电源系统的同步机提供的同步输出信号触发 CCD 图像采集处理系统, 在静态测量时由 YAG 激光器输出的光脉冲经光电转换去触发 CCD 图像采集处理系统。

动态测量时, YAG 激光器与普克尔盒、CCD 图像采集处理系统的同步关联如图 5 所示。各路输出延时稳定, YAG 调 Q 触发至激光输出时间抖动 20ns。

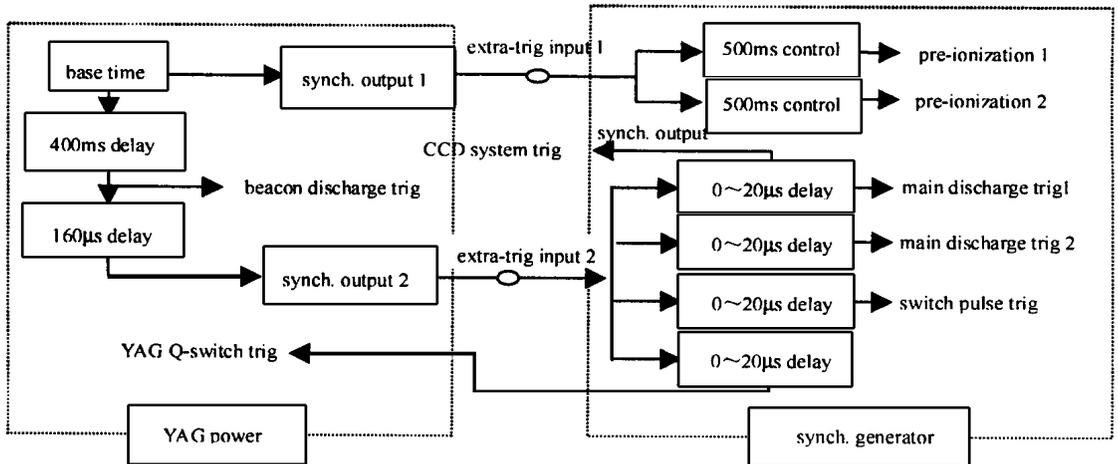


Fig 5 The synchronization relation of YAG laser, PEPC and CCD system

图5 YAG 激光器与普克尔盒、CCD 图像采集处理系统的同步关联示意图

### 3 实验测量结果

对 240mm × 240mm 等离子体电极普克尔盒开关特性参数进行了测量。首先用 CCD 相机测量空间分辨的普克尔盒静态透过率, 发现 KDP 晶体引入空间调制。这种调制来源于金刚石车削的普克尔盒晶体表面<sup>[4]</sup>, 其空间尺度约为 14mm。图 6(a) 测量系统在无普克尔盒情况下 CCD 测得的图像, 图 6(b) 为



Fig 6 Photographs taken by CCD system (a) without PEPC (b) with PEPC

图 6 CCD 相机测得的普克尔盒引入的空间调制及其等高图

普克尔盒晶体引入空间调制的等高图。由此可看出空间调制是很严重的。

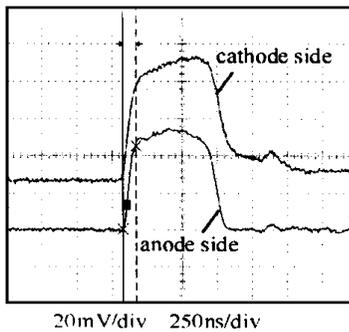


Fig 7 The transmission optical pulse of anodes side and cathode side

图 7 普克尔盒阳极侧与阴极侧透射光脉冲波形

利用光电二极管,采用图 2 所示实验装置对普克尔盒开关上升时间进行了测量,图 7 为普克尔盒阳极侧和阴极侧透射光脉冲波形,由此可得到开关上升时间为 95ns。

普克尔盒平均开关效率测量采用全口径平均性能诊断光路,由两只光电二极管同步探测,一只光电二极管监测光源抖动,另一只光电二极管测量两次通过加  $V_{\pi/2}$  电压普克尔盒的激光脉冲。图 8 为典型的激光脉冲与开关脉冲关联图。经过多次测量得到普克尔盒全口径平均开关效率为 97.6%。采用前面介绍的测量方法,测得普克尔盒静态透过率为 85.8%,普克尔盒全口径平均静态消光比为 132。

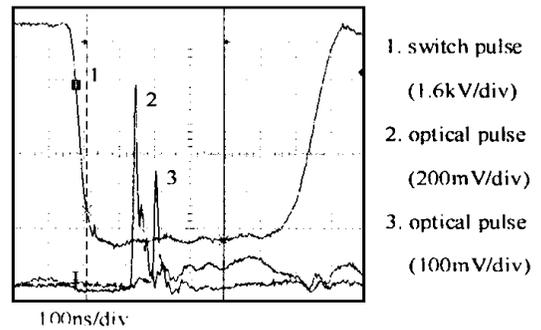


Fig 8 Typical relation of optical pulse and switch pulse

图 8 典型的激光脉冲与开关脉冲关联图

## 参考文献:

- [1] Goldhar J, Hennesian. Large aperture electro-optical switches with plasma electrodes[J]. *IEEE J Quantum Electronics*, 1986, 22: 1137-1147.
- [2] Rhodes M, Woods B, DeYero J J, et al. Performance of large-aperture optical switches for high energy inertial-confinement fusion laser[J]. *Appl Opt*, 1995, 34(24): 5312-5325.
- [3] 鲁敬平, 吕传信, 张雄军, 等. 等离子体电极电光开关研究[J]. *强激光与粒子束*, 1997, 9: (1)72-78.
- [4] Campbell J H, Maney R T, Atherton L J, et al. Large-aperture high damage threshold optical components for Beam let[R]. UCRL-ER-105821-95-1, 1995.

## Performance diagnostics for plasma electrode Pockels cell electron-optical switches

ZHANG Xiong-jun, LU Jing-ping, ZHENG Kuixing, ZHENG Jian-gang, DONG Yun, FENG Bin, ZHANG Xiaomin  
(National Key Laboratory of Laser Fusion, CAEP, P. O. Box 919-988, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** A system for measuring optical performance of plasma electrode Pockels cell (PEPC) electron-optical switches is constructed, which provide with time and space resolution capabilities. The optical layout used to diagnose performance of the 240mm × 240mm PEPC are described. And the results of experiment are given.

**Key words:** Pockels cell; switching performance; parameter measurement

