

MCP 选通 X 射线皮秒分幅相机研制进展*

成金秀 温天舒 朱宗元

(中物院核物理与化学研究所, 成都 610003)

常增虎 山 冰 刘进元

(西安光学精密机械研究所, 西安 710000)

摘要 介绍了微带线 MCP(微通道板)选通 X 射线皮秒分幅相机结构、工作原理、选通方式以及近两年研制工作进展。

关键词:微通道板; X 射线相机

1 引言

近几年 X 射线皮秒分幅技术发展十分迅速, 由于扫描型分幅相机技术指标已接近极限(空间分辨 3~5lp/mm), 动态范围 20~30), 最近国际上研究分幅相机的热点已转向微带线行波选通技术上来^[1-6]。美国利弗莫尔实验室(LLNL)已于 1989 年用这种技术首先获得了每幅曝光时间为 100ps 的激光聚变 14 幅内爆 X 光辐射图像。1992 年又研制出带反射镜滤片组的多通道 12 分幅相机, 每幅曝光时间 < 100ps, 空间分辨 10 μ m。罗切斯特大学激光能量实验室 1992 年曾报导, 采用 MCP 选通方式分幅, 得到了曝光时间为 90ps 的 16 幅时空分辨图像。英国 Kentech Instruments Ltd 作为商品出售的 SLIX X-射线分幅相机系统, 其微带条数已达 8 条, 微带宽度 5mm, 最短曝光时间为 150ps。

在国内, 中物院核化所和西安光机所联合从事分幅相机的研制工作, 在继扫描分幅相机进行多次考核和验收之后, 又进行了传输线型微带结构的 MCP 选通 X 射线皮秒分幅相机的研制。采用弯曲微带, 一路选通脉冲选通的 X 射线皮秒分幅相机于 1994 年 2 月通过了中国科学院鉴定。由 4 路选通脉冲分别选通 4 条独立微带的分幅相机的研制工作正在进行, 并已取得实质性进展。

2 相机结构和工作原理

皮秒分幅相机由 12 针孔阵列(根据待测图像的空间尺度, 还可分别选用 8 针孔或 16 针孔阵列), 皮秒高压脉冲发生器、微带型 MCP(微通道板)选通管和接触相机(或 CCD 读出系统)

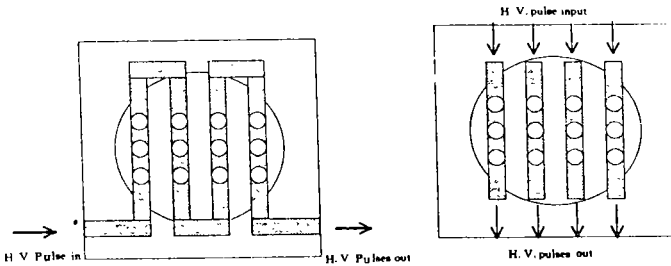
* 国家高技术 863-416 资助项目

收稿日期: 1995 年 5 月 4 日

构成。针孔阵列作为相机的成像体,被固定在一个可拆卸的锥管上,锥管的长度和物距决定相机的放大倍数,各针孔间的间距和相机的放大倍数则决定各幅像之间的时间间隔。该相机以高压电子脉冲为 MCP 快门,MCP 面板上排列的 Au 微带(弯曲型或彼此独立的条状型)为 MCP 电极,同时又作为选通管光阴极。选通脉冲发生器发射一个快速高电压选通脉冲,该脉冲沿微带传输,从而产生增益,并有效地启动微带上的特定区域。12 个针孔将同一 X 射线源成像到微带的不同位置上,在选通脉冲所到之处,图像将被 MCP 放大,并记录到紧贴荧光屏的可见光底片上。一旦选通脉冲通过 MCP 某一特定区域之后,则该区域就不会再得到增益,即处于关闭状态。因此,同一 X 射线源经 12 个针孔所成的 12 幅像,在选通脉冲作用下,将被依次选通,并在不同的时间内记录到可见光底片上。像的空间分辨由针孔直径、被测 X 射线波长、相机系统放大率以及 MCP 像增强器的空间分辨决定,而每幅像的时间分辨则由选通脉冲宽度决定。

3 选通方式

微带型 MCP 选通管由表面蒸镀弯曲型 Au 微带或蒸镀彼此独立的条型 Au 微带的 MCP 和高场强荧光屏组成。采用弯曲型微带,只需一路选通脉冲选通(见图 1a),不存在用多路脉冲选通时,由各路电脉冲的触发抖动引起画幅间时间关系的不确定性。但单条弯曲型微带,其微带长度较长(150~200mm),选通脉冲沿微带传输时的欧姆损耗会使 MCP 增益发生变化,造成像面上的强度失真。但微带太短,相机测量的时间范围将受到限制。若使用 200mm 长度的微带,测量的时间范围通常在 1ns 左右,而待测 X 光辐射时间范围约 2~3ns 甚至更长。因此,在 ICF(惯性约束聚变)实验研究中,用弯曲型微带的分幅相机难以完成对同一发 X 光辐射的整个时间过程进行时空分辨测量。



(a) 用一路脉冲选通的微带分布

(b) 用四路脉冲选通的微带分布

图 1 MCP 面板上的微带分布

采用彼此独立的条形微带需用多路脉冲选通(见图 1b)。由于各微带彼此独立,各微带间的时间间隔可任意调节,测量的时间范围可覆盖整个 X 射线发射期。条形分布且相互平行的微带,有利于加不同厚度的滤片组和针孔透射光栅进行时间、空间、能谱组合型诊断,还能对激光等离子体同一时间内的 X 光辐射特性(时间、空间、能谱特性)进行相对比较测量,给实验带来许多方便。另外,采用条形微带,其微带长度较短,选通脉冲在传输过程中的欧姆损耗造成像面上的强度失真可得到明显控制。根据被测等离子体特征和所需研究的物理内容,我们选择了用 4 路选通脉冲分别选通 4 条独立微带的选通方式。

采用彼此独立的条形微带,在技术上需解决各路选通脉冲幅度和宽度的一致性,还需减少各路选通脉冲间的触发抖动。

4 研制工作阶段结果

该项目自开题以来,主要进行了以下几项工作。

4.1 验证研制方案的可行性

实验在上海“神光”装置上进行。本实验不追求高的单项技术指标,而是考核相机系统在打靶现场的综合技术能力,包括系统的抗电磁干扰能力和抗直穿光能力、触发光最佳时间匹配条件、靶、针孔阵列以及微带间的精确准直方法等。用一路 500ps 的选通脉冲选通一条弯曲型 Au 微带(微带宽度 5mm,长度 200mm),用 12 针孔阵列成像,用高速可见光底片记录的相机系统(见图 2a)已成功地拍摄到了黑体腔靶激光注入孔和诊断孔 X 光辐射的 12 幅时空分辨图像(见图 2b)。“神光”装置上的现场考核结果充分证实了该研制方案的可行性。

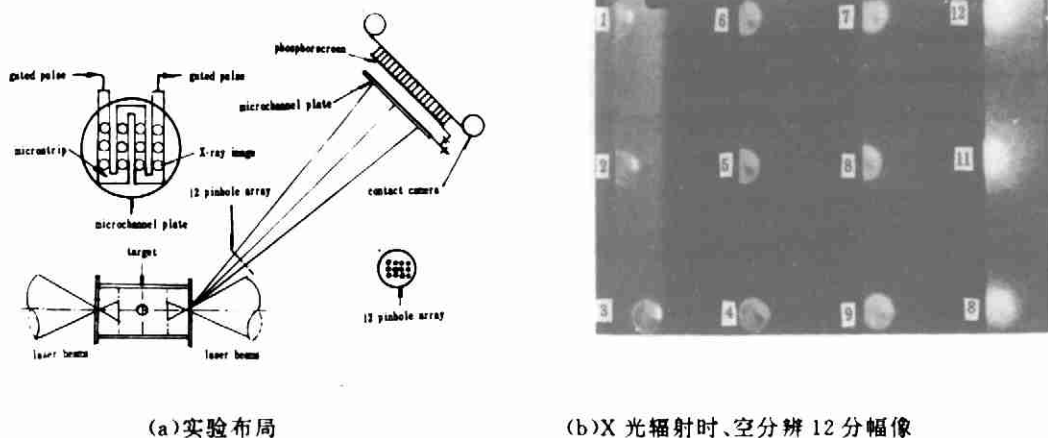


图 2 实验布局和激光注入孔 X 光辐射时空分辨像

4.2 选通脉冲发生器性能改进

根据现场打靶结果和该项目研制的技术指标要求,对 500ps 选通脉冲发生器性能进行了改进。采用特殊设计和制作的晶体管线路,在 50Ω 负载线上产生了前沿上升率为 10keV/ns 的类阶跃脉冲,用陡化二极管进一步减少该脉冲前沿,同时进行脉冲成形,最后在 50Ω 负载线上产生了半宽度为 210ps,幅度为 2000V 的高压电脉冲(见图 3)。使该项目中的曝光时间这一重要技术指标好于 60ps(见图 4)。

4.3 选通脉冲传输特性测试

选通脉冲在微带中的传输特性,与微带的制作工艺、均匀性、微带总电阻率以及选通脉冲的输入、输出与微带间的耦合特性密切相关。由于 MCP 增益与电压呈非线性增长关系^[4],选通电压稍有一点变化,就引起 MCP 增益的急剧变化,造成像面上强度失真。因此在制作微带时减少微带的总电阻,是减少电压沿微带传播时的损耗、控制像面上的强度失真度的关键。利用特殊的制作工艺已将弯曲型微带的总电阻减少到 0.5Ω 。用时域反射法对弯曲型 Au 微带(微带宽度 6mm,长度 200mm)进行了选通脉冲传输特性测试,包括测试脉冲在微带中的传播

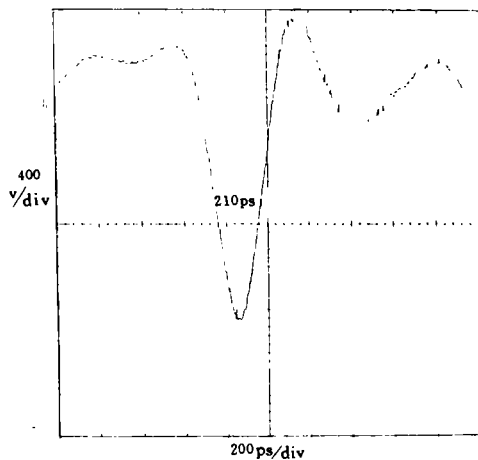


图3 选通脉冲波形

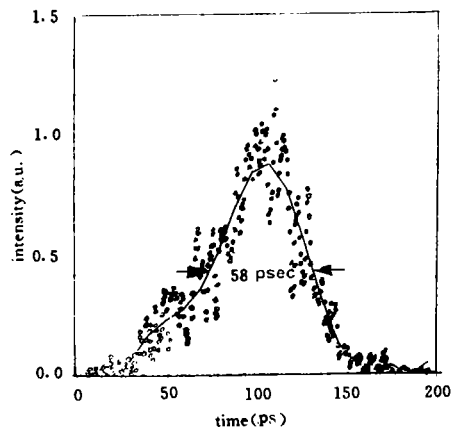


图4 曝光时间波形

速度,增益的衰减特性(定性的)以及选通脉冲在微带中不同位置上的反射现象。图5是微带线时域反射结果,测试结果表明:选通脉冲在微带中传输的反射现象和电阻率随传输时间的变化与国外作的结果相比,还是比较小的。

4.4 MCP 选通管空间分辨率测试

MCP 选通管空间分辨率与通道直径,MCP 板与荧光屏间距离,荧光屏制作工艺以及光纤面板直径有关,一旦以上参数确定之后,其 MCP 选通管的空间分辨率就确定了。用国产标准鉴别板紧贴 MCP 表面,用紫外光照明,用读数显微镜直接观测,得到 MCP 选通管的空间分辨为 20~25lp/mm。考虑相机系统的针孔直径、被测 X 射线波长和相机系统放大率,MCP 选通管的空间分辨已能满足系统要求。

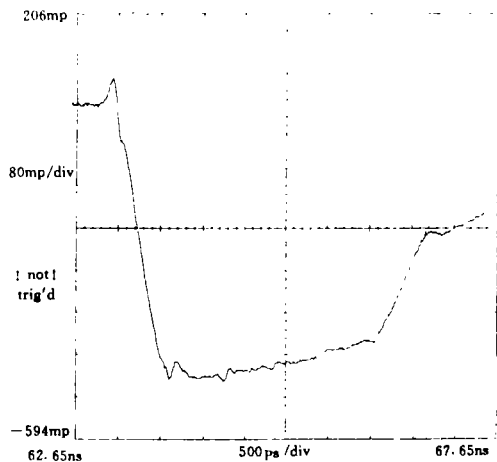


图5 微带线时域反射结果

5 结束语

阶段结果已表明:相机的空间分辨和时间分辨(曝光时间)已能初步满足实验要求(激光等离子体运动速度通常为 $\sim 10^7$ cm/8,要获得清晰的等离子体动态图象,要求测试系统时间分辨 < 100 ps,空间分辨 $< 10\mu\text{m}$)。电控系统和 MCP 选通管抗电磁干扰能力和抗直穿光能力已被实验证实。下一步的主要工作是在确保时间分辨的同时,提高相机系统增益,减少各路选通脉冲之间的触发晃动,提高微带的均匀性(强度)和 4 路选通脉冲幅度和宽度的一致性。

6 致 谢

对温树槐、刘忠礼、郑志坚、唐道源、丁耀南等同志的大力支持深表感谢。
参加本工作的还有刘秀琴、朱文华、高胜琛等同志。

参 考 文 献

- [1] F. Ze, R. L. Kauffman, J. Kilkenny, J. Wielwald, P. Hanks, J. Stewart, D. Dean, J. Bower and R. Wallace, A New Multichannel Soft X-ray Framing Camera for Fusion Experiments. UCRL-UC-11094 DE93 009302
- [2] D. Schirmam, J. L. Borgade, J. P. Lehretion, A. Mens M. Nail, Diagnostics of the Hot Core in Laser Fusion Experiments at CEL-V. Physics of High Power Laser Matter Interactions, Kyoto Japan 9-3 March 1992
- [3] H. Nishimura, H. Shirage, Y. Kato, T. Yamanaka and S. Nakai, Symmetry Observation and Temperature Mapping of Laser-Driven Fusion Plasma with Novel X-Ray Imaging Techniques. IAEA-CN-60/B-P-8 Seville, Spain, 26 September~1 October 1994
- [4] J. D. Kilkenny, High Speed proximity Focused X-Ray Cameras. Laser and particle Beams, 1991, 9(1), 49-69
- [5] P. M. Bell, J. D. Kilkenny, O. L. Landen, R. L. Hanks, J. Wiedwald and D. K. Bradley, Multi-Frame X-Ray Imaging with a Large Area 40ps Camera. UCRL-Jc-111213 JUL 19 1993
- [6] B. H. Failor, D. F. Gorzen, C. J. Armentrout and G. E. Busch, Characterization of Two-gated Microchannel Plate Framing Cameras. Rev. Sci. Instrum, 1991, 62(12); 2862-2870

Developing Progress of Multiframe Gated Microchannel Plate X-Ray Camera

Cheng Jinxiu, Wen Tianshu, Zhu Zongyuan

(*Southwest Institute of Nuclear Physics and Chemistry, Chengdu 610003*)

Cheng Zenghu, Shan Bing, Liu Jinyuan

(*Xi an Institute of Optics and Fine Mechanics, Xi an 710000*)

Abstract

This paper describes the structure and principle of a multiframe gated microchannel-plate (MCP) X-ray camera. Also, the gating model and developing progress of the camera is introduced.

Key words: MCP, X-ray camera