

X射线皮秒变象管分幅相机研究

常增虎 侯 洵 张小秋 龚美霞
牛丽宏 雷志远 杨宏儒 刘秀琴

(中国科学院西安光机所)

摘 要

本文介绍了我们提出的一种新的实现皮秒分幅摄影的技术方案。其优点是对控制线路要求不高。给出了用计算机对此方案进行数值模拟的结果和新设计的用于这种分幅方案的变象管特性。用直流X射线源测出该变象管的静态空间分辨率为20lp/mm。用激光打靶产生的脉冲X射线测量了相机动态特性,已得到了四幅动态像,每幅曝光时间150ps,空间分辨率3lp/mm。

关键词: 变象管相机, X射线皮秒分幅相机

一、引 言

研究高功率激光所产生的高温等离子体对激光核聚变和X射线激光等有重要的意义。激光等离子体的存在时间为几百皮秒至几个纳秒,空间尺度为几百微米,且其光谱辐射主要为0.1~10keV光子能量区的X射线。因此,具有皮秒时间分辨能力,微米及空间分辨能力的X射线高速摄影技术是激光等离子体诊断的有力工具。

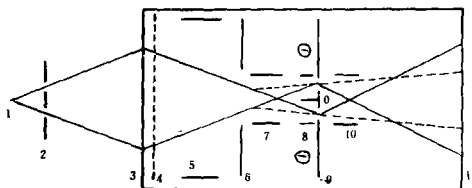
虽然X射线皮秒条纹相机已在激光等离子体诊断中获得了广泛应用。但这种相机只有一维空间分辨能力。而研究等离子体的许多特性,如对称性、不稳定性都需要诊断设备具有两维空间分辨能力及时间分辨能力。为了满足这一需求,必须发展一种新的诊断工具——X射线皮秒分幅相机。

已商品化的分幅相机的极限时间分辨率为~1ns,幅间周期~2ns,空间分辨率~4lp/mm^[1]。这些传统的分幅相机一般都要求控制线路能产生阶梯状和矩形电压波。若想用同样方法实现皮秒分幅,则对变象管和电子线路都提出了较高要求^[2]。因此,在改进管子和线路而把这种传统分幅方法发展到皮秒时间分辨率的同时^[2],人们还在探索新的能较容易实现的皮秒分幅摄影方法。如把二维——一维图象转换与条纹相机相结合^[3,4]。设计使用线性扫描原理的分幅管^[4,5,6,7]以及微带结构行波选通技术^[7,8,9,10,11]等。虽然各种方法都取得了一定结果,但这一技术还远没有成熟,仍处于研究阶段。

二、分幅方案

我们提出的新的皮秒分幅法如图1所示。

在进行皮秒分幅摄影时,被摄等离子体通过两个针孔在光阴极上形成两幅间隔一定距离的像。相应的两束光电子在阴极后交叉,并在双缝光阑处形成两个分离的电子斑。当在快门板上加以斜坡电压时,这两个电子斑便依次通过两个狭缝光阑,在加直流电压的分离板和加斜坡电压的补偿板的作用下,最后在荧光屏上形成四幅图象。每幅图象的曝光时间等于电子斑在快门板作用下扫过狭缝光阑的时间。



1. 等离子体 2. 针孔组 3. 光阴极 4. 加速网
5. 聚焦极 6. 阳极 7. 快门板 8. 分离板
9. 双缝光阑 10. 补偿板 11. 荧光屏

图1 光学分幅/偏转快门法原理图

这种方法预期可达到以下摄影指标:

1. 画幅数目: 4
2. 画幅尺寸: $5 \times 5 \text{ mm}$ (光阴极处)
3. 空间分辨率: 5 lp/mm (光阴极处)
4. 曝光时间: 每幅 100 ps
5. 分幅周期: 100 ps

实现分幅技术的难易在很大程度上取决于对电子线路的要求。这种分幅方案使用了线性扫描原理,故只需控制线路产生斜坡电压,这种线路在条纹相机中已发展得很成熟。

三、分幅变象管

为使所摄得四幅像在时间上不交迭,要求缝光阑处两个光电子斑的直径应小于或等于双缝间距,且两斑间隔要大于或等于双缝间距。

用计算机进行了变象管设计,结果表明,双缝间距取某一特定值时比较合适。此时,要求电子光学系统对阴极面上离轴 $5 \sim 10 \text{ mm}$ 区的物点有较好的成象能力。图2为计算出的双缝光阑处的电子斑密度分布。图3为动态空间传递特性计算结果。

X射线分幅管如图4所示。这种管子为开放式,阴极和栅极为可拆卸式。由于采用了

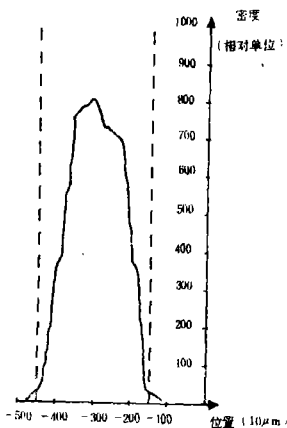


图2 光阑处电子斑密度

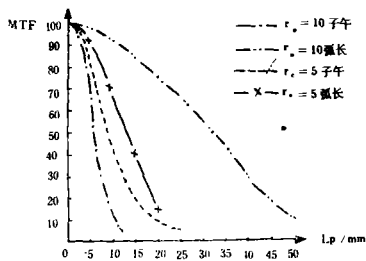


图3 动态空间分辨率



图4 X射线皮秒分幅变象管

超薄有机阴极衬底和高量子效率的CsI光电发射体,使管子对整个软X射线区有灵敏的光谱响应。此外,我们还制成了带有MCP内增强的分幅管。

用直流X射线源测试了这种管子的静态空间分辨率。对于不带内增强的管子,分辨率达20lp/mm,见图5和图6。带内增强时,分辨率为10lp/mm。管子的一些重要特性见表一。

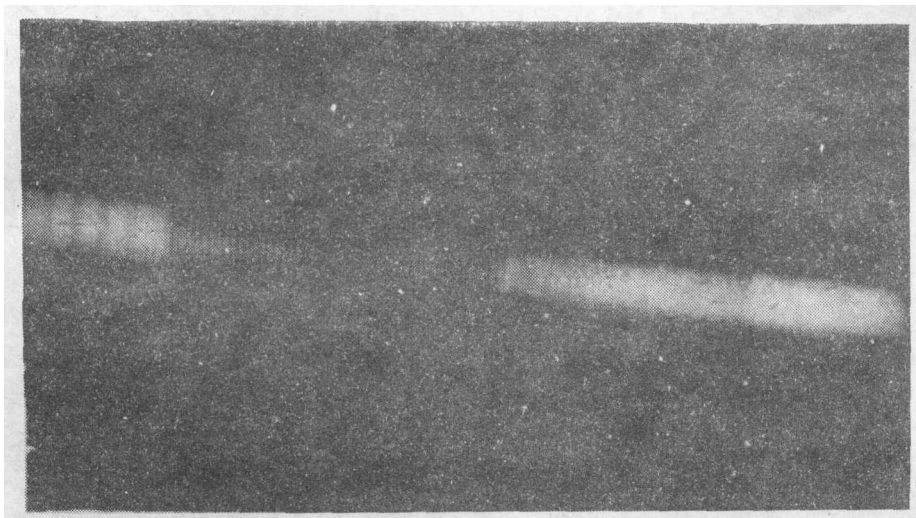


图5 静态空间分辨率 (10lp/mm)

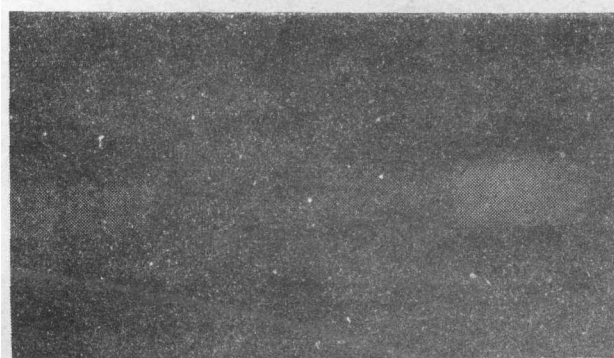


图6 静态空间分辨率 (20lp/mm)

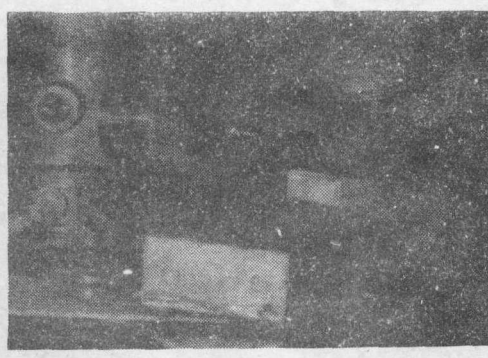


图7 装在靶室上的分幅相机

表1

皮秒分幅变象管特性	
光阴极	2000 Å Formvar + CsI
	光谱响应: 100 eV—10keV 光子能量
各电极电压	阴极: -6 kV
	栅极: -4 kV
	聚焦极: -4.5 kV
	阳极: 0 V
	MCP 输入: 0 V
	MCP 输出: +1 kV
	荧光屏: +5 kV
荧光屏	P 20
放大率	-1.5
静态分辨率	不带 MCP: 20 lp/mm
	带 MCP: 10 lp/mm

四、分幅相机

整机主要由内增强分幅管、扫描线路、高压电源和接触相机构成。装在靶室上的相机见图7。

用激光打靶产生的脉冲X射线作为光源测试了分幅相机的动态特性。测试系统示意图如图8所示。

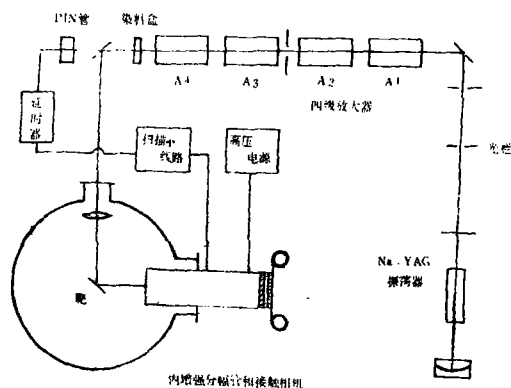


图8 X射线皮秒分幅相机动态测试示意图

产生的光电子经聚焦、偏转部分作用后，再经分幅管内MCP倍增而在荧光屏上输出分幅像，这些像最后被接触相机的高灵敏胶片所记录。我们所使用的胶片灵敏度约为2000ASA。

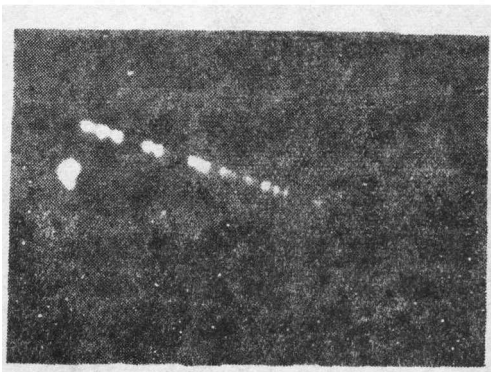


图9 不加斜坡电压的分辨率。

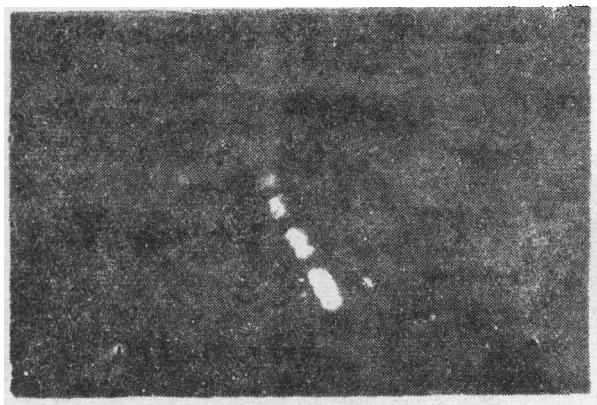


图10 单幅动态像

所得结果如下：

1、快门板和补偿板不加斜坡电压，以测试聚焦系统的动态性能，得到了6 lp/mm 空间分辨率见图9。

2、光阴极为长条状。沿扫描方向长12mm。在分幅管内使用了单缝光阑。这样可得单幅动态像。结果见图10，空间分辨率为3.2 lp/mm。由该图可看出沿时间方向光强的变化。

3、光阴极为单区方形状，尺寸为5 × 5 mm。管内使用了双缝光阑。快门板和补偿板上所加电压为三角波。在电压的正扫和回扫过程中可得4幅动态象。如图11

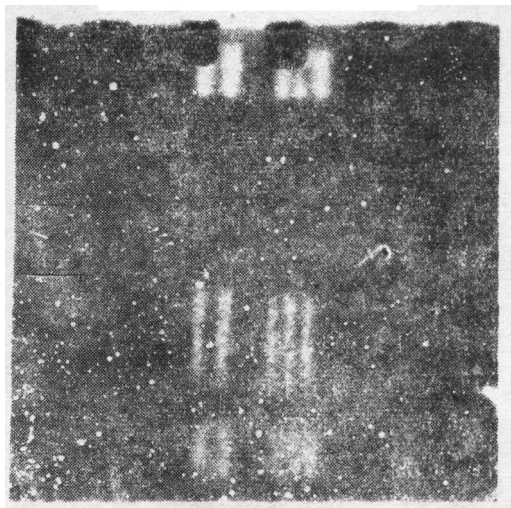


图11 四幅动态像

所示,该图的分划板为2lp/mm。最好的结果已给出了3.2lp/mm的空间分辨率。用补偿板作为偏转板,把光阴极换成狭缝状,使相机工作在条纹相机状态,可测出扫描速度。据此可得每幅曝光时间为~150ps。

下一阶段,我们准备进行双区阴极,斜坡扫描(不用回扫)的分四幅动态测试。这种工作方式对线路要求较低,且易得到好的象质。

五、结 论

1. 我们提出的分幅方案,采用双区阴极,双缝光阑,一对补偿板。控制线路只需输出斜坡电压,且与偏转部分易于耦合。
2. 我们已研制出带MCPI内增强的分幅管,静态空间分辨率10 lp/mm。
3. 测量了相机的动态特性,得到了四幅动态象,空间分辨率3.2 lp/mm,每幅曝光时间150ps。

参 考 文 献

- [1] Imacon 675 Technical Data Sheet, Hadland Photonics Ltd., Bovingdon, Herts.
- [2] N.Finn, T.A.Hau et al.: Appl. Phys. Lett., 1985, 46, No. 8, 731.
- [3] I.C.Cheng, L.G.Multhauf et al.: Proc. of SPIE, Vol. 97, High Speed Photography, 1976, 218.
- [4] H.Niu, T.Chao et al.: Rev. Sci. Instrum., 1981, 52, No. 8, 1190.
- [5] J.Libber and H.D.Surphin: Appl. Opt., 1979, 18, 745.
- [6] R.Kalibjian: Proc. of SPIE, Vol. 97, High Speed Photography, 1978, 269.
- [7] M.R.Boggs, R.T.Eagles et al.: Proc. of SPIE, Vol. 491, High Speed Photography, 1984, 40.
- [8] E.Laviron and C.Delmare: Proc. of 9th ICHSP, 1970, 199.
- [9] D.G.Stearns et al.: Rev. Sci. Instrum., 1986, 57, No. 10, 2455.
- [10] S.Majumdar: Proc. of SPIE, Vol. 491, High Speed Photography, 1984, 913.
- [11] A.K.L.Dymoke-Bradshaw et al.: Advan. E.E.P., Vol. 64B, 1985, 531.

PRIMARY INVESTIGATION OF X-RAY PICOSECOND FRAMING CAMERA

Z.Chang X.Hou X.Zhang M.Gong L.Niu H.Yang Z.Lei X.Liu

Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics

P.O.Box 80, Xi'an, Shaanxi, China

A new method of x-ray picosecond framing photography has been proposed for the studies of laser produced plasma. This method uses a image tube in which there are shutter plate, separating plate, double-slits aperture and compensate plate. Two discrete images of the plasma are formed on the photocathode of the tube by double pin-holes. Two electron beams resulted are deflected by the shutter plate at the back of

the cross over point, two pairs of compensate plates are used to separate the images and eliminate image smear on the phosphor screen. Four frame images can be got by this method.

We have designed a new image convert tube for the method. The tube is 300mm in length and 88mm in diameter. The effective area of the photocathode and the screen are 20mm and 40mm in diameter respectively. The magnification of the tube is $\times 1.5$. Computer simulation showed that for 5×5 mm format image (on photocathode) and 100 picosecond exposure time for each frame image, 10lp/mm dynamic spatial resolution can be obtained. The rate of the ramp voltage applied on the shutter plate and compensate plate should be 4.1 kv/ns which is not difficult to produce.

The image convert tube has been manufactured in the demountable type. CsI was used as the photocathode with Formvar substrate, making the camera sensitive to soft x-ray and the cathode area large enough. The electron images were intensified by the MCP in front of the screen. static resolution of 20lp/mm was measured with a d.c. x-ray source. Four frame quasi-static images on the screen with repetitive exposure showed the reality of the new framing concept. Some preliminary dynamic experiment results have been obtained using laser produced X-ray and a Krytron tube ramp high voltage generator.

Key Words: Image converter tube cameras; X-ray ps framing cameras.