

X射线皮秒分幅相机在强X射线情况下的应用研究*

冯 杰 丁永坤 王红斌 刘忠礼

(西南核物理与化学研究所, 成都 610003)

杨勤劳 郭宝平 牛憨笨

(西安光学精密机械研究所, 西安 710000)

摘 要 扫描型变象管X射线皮秒分幅相机在强X射线情况下, 由于空间电荷效应, 像质变坏, 甚至无法工作。本文简述了MgF₂光阴极材料的性能, 首次在X射线皮秒变象管分幅相机上的应用结果: 降低了强X射线源情况下分幅管内空间电荷效应的影响, 并获得了清晰的物理图象。

关键词 皮秒分幅相机, 软X射线, 激光核聚变。

1 引 言

X射线皮秒分幅相机是研究激光与等离子体相互作用过程的关键设备之一, 尤其是在激光惯性约束聚变(ICF)内爆动力学的研究过程中。为了使皮秒分幅相机提供更多的画幅数目、更短的曝光时间、更高的动态空间分辨率和更大的动态范围, 以适应实验现场的诊断要求, 改进了变象管的设计。本皮秒分幅变象管采用静电弱聚焦系统^[1]。脉冲情况, 每幅曝光时间为75 ps的情况下, 阴极发射的瞬态电流密度的设计值 $\leq 15 \text{ mA/cm}^2$ 。随着电流密度的提高, 由于空间电荷效应, 像质将逐渐变坏。

采用几焦耳 $1.05 \mu\text{m}$ 激光照射金平面靶产生的X射线作为分幅相机的性能测试光源, 对分幅相机的性能进行了现场测定。测定结果表明分幅相机的主要指标达到或超过研制初期预定的指标^[2]。

具体参与惯性约束聚变物理课题的诊断过程中, 几焦耳 $1.05 \mu\text{m}$ 激光照射金平面靶, 针孔相机收光的立体角份额约 1×10^{-7} , 相机从与靶面法线接近 90° 方向研究等离子体喷射过程, 获得了清晰的物理图像。在这种情况下, 达到相机光阴极的亚千X射线能量为 $1 \sim 2 \text{ nJ}$ 。考虑到X射线的能谱分布, 有机膜衬底和导电基底金的透过率, Cs I的量子效应等因素, 估算得相应的阴极发射电流密度约为 10 mA/cm^2 , 已接近分幅相机阴极发射的瞬态电流密度的最大值 15 mA/cm^2 。然而, 惯性约束聚变物理实验过程中, 常用的入射激光能量是几百或上

* 本项目为中国工程物理研究院院基金资助项目。

收稿日期: 1994年9月13日

千焦耳，若收光立体角份额仍为 1×10^{-7} ，则到达分幅相机光阴极的 X 射线量将增加几十或几百倍。分幅相机无法正常工作。采取了几种措施，圆满解决了这个问题。其中关键措施之一就是采用 MgF_2 作光阴极材料。

2 MgF_2 光阴极性能

与 Cs I 相比， MgF_2 的量子效率要低 2 个量级，对高能 X 射线几乎不响应，而且在空气中不潮解，性能稳定。正是因为 MgF_2 的量子效率太低，所以皮秒相机上，尚未见到实际采用 MgF_2 作光阴极材料的报道。而作者正好利用这一点，在 X 射线强度大的情况下，用 MgF_2 作为相机的光阴极材料，降低空间电荷效应，以获取清晰的物理图像。图 1 是 MgF_2 的量子效率曲线。为了便于比较，图中也给出了 CsI 和 Au 的量子效率曲线。

图 2 是 MgF_2 光阴极的结构示意图。将镂空的金分划板紧贴在有机膜上，就成为实验现场测定动态空间分辨率的分划板。

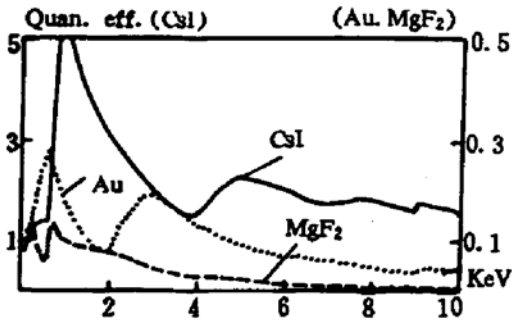


Fig. 1 The quantum efficiency curves of MgF_2 , CsI and Au

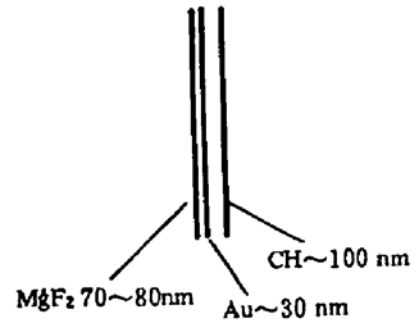


Fig. 2 The schematic of MgF_2 cathode

3 实验和结果

现场实验在上海高功率激光物理联合实验室“神光”装置上进行。图 3 是 931216008 发的测试结果。CsI 分划板，激光从南路入射，靶面能量约 535 J，脉宽约 790 ps。图像明显变形收缩，分划板像完全没有分辨。图 4 是 931228032 发的测试结果。 MgF_2 分划板，入射激光参数基本同图 3。分划板图像条纹清晰。每幅中，上面两个小方块是 5 lp/mm，下面两个小方块是 6 lp/mm。图 5 是腔靶北路激光注入口等离子体会聚过程的照片。X 射线分幅相机位于靶室东北角，变像管轴线与



Fig. 3 The image of spatial resolution measured with the CsI cathode in the extremely strong X-rays



Fig. 4 The image of spatial resolution measured using the MgF_2 cathode in the same condition as Fig. 3

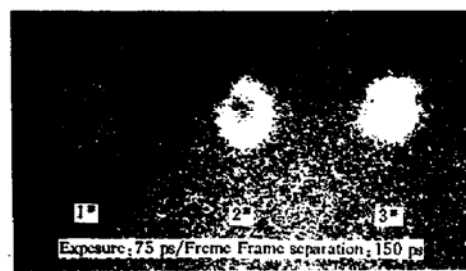


Fig. 5 The plasma convergence image measured at the laser injection hole of a cavity target

北路入射激光夹角约 30° ，光阴极距靶心约 77 cm，针孔相机放大率约 12，针孔直径 $10\ \mu\text{m}$ ，北路入射激光能量 540 J，脉宽 890 ps。从照片上可以明显看到注入口的缩口过程。

结 论 MgF_2 光阴极材料的采用，降低了空间电荷效应影响，解决了皮秒 X 射线分幅相机在强 X 射线源情况下获取清晰图像的问题。利用 CsI、Au 和 MgF_2 量子效率的差别，根据实验现场预估的到达分幅相机光阴极处源的强弱，可以选择不同材料的光阴极：弱时，采用 CsI 或 Au；强时，采用 MgF_2 。这样既扩大了分幅相机的应用范围，也为现场实验多提供一种选择。

致谢 本工作进行过程中，得到多方面的配合和支持。作者对缪文勇、何海恩在针孔相机对光过程中给予的全方位合作，对丁耀南、唐道源、郑志坚的支持和“神光”装置工作人员的协作，深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 牛憨笨, 张焕文, 杨勤劳等, 变象管皮秒分幅和飞秒扫描相机的实验研究. 光子学报, 1992, 21(1): 11~20
- [2] 冯 杰, 丁永坤, 刘忠礼等, 皮秒 X 射线分幅相机性能实验研究. 强激光与粒子束, 1993, 5(3): 325~332

Application of the X-Ray Picosecond Framing Camera in Intense X-Ray Pulse

Feng Jie Ding Yongkun Wang Hongbin Liu Zhongli

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

Yang Qinlao Guo Baoping Niu Hanben

(Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica, Xi'an 710000)

(Received 13 September 1994)

Abstract Image distortion of the electro-optical tube X-ray framing camera becomes serious for intense X-ray pulse operation because of the space charge effect. This paper describes the characteristic of MgF_2 photocathode and its first application in the framing camera. The space charge effect has been reduced and the clear pictures have been obtained for the intense X-rays.

Key words picosecond framing camera, soft X-ray, laser fusion.