

软 X 射线条纹相机静态能量响应的绝对标定

易荣清 郑志坚 胡昕

(中国工程物理研究院激光聚变研究中心 绵阳 621900)

崔明启 赵屹东 朱佩平

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 软 X 光扫描相机是对软 X 光时间特性进行研究的主要诊断工具. 利用同步辐射作为光源, 采用美国 NIST 的标准, 对它的静态能谱响应进行了绝对标定, 给出了 X 光条纹相机在 100—1000eV 能区的绝对谱响应, 不确定度小于 23%.

关键词 扫描相机 同步辐射 能谱响应 绝对标定

1 引言

国内外研究证明^[1-10], 在 ICF 和惯性约束聚变的物理过程中, 有关软 X 光方面的研究占据了十分重要的地位. 间接驱动 ICF 需要高温、均匀、干净的辐射场, 软 X 光是其主要驱动源. 在短波长激光 (0.35 μm , 0.26 μm 等) 与高 Z 物质材料相互作用过程中, 波长为 0.1—1.5keV 的软 X 光占其能量的绝大部分. 而位于该软 X 光波段的某些物质的特征线, 更是在 ICF 研究中广泛应用. 在软 X 光的研究中, 时间特性是其重要参数. 而软 X 光扫描相机是对软 X 光时间特性进行研究的主要诊断工具, 其时间分辨率极佳, 可达 15ps. 它的定量标定可以为 ICF 的实验研究提供更多有用的物理信息. 所以, 软 X 光条纹相机的绝对标定是非常有意义的.

2 软 X 光条纹相机的结构和工作原理

软 X 光条纹相机由具有软 X 射线敏感的光阴极, 变象管(加速电场, 聚焦电场, 偏转电场), 像增强器(微通道板)和图像处理系统以及电子学控制线路所组成.

激光打靶产生的软 X 射线脉冲首先经过狭缝

照射到光阴极上, X 光光子与光阴极材料相互作用产生光电子. 光电子在加速电场的作用下被全部聚焦, 注入到偏转电场中, 在偏转板上所加的推挽式斜坡电压使电子按一定的规律偏转并打在微通道板的光阴极上, 产生更多的光电子经微通道板放大以后打到荧光屏上, 在荧光屏上得到随时间变化的条纹图像. 此图像与入射 X 射线脉冲随时间变化的过程相对应, 它最后被图像处理系统 CCD 所接收.

3 软 X 光条纹相机的标定方法和实验安排

根据软 X 光条纹相机的结构和工作原理可知: X 光光子与光阴极材料相互作用产生光电子的过程存在着能量响应问题, 即不同能量的 X 光光子产生的光电子的数目是不相同的. 光电子的产额不仅与入射光子的能量有关, 而且与阴极的材料, 厚度以及衬底的材料和厚度都有密切的关系. 一旦光电子经过强加速电场作用后, 每个光电子获得的能量及最后的动能都完全一致, 每个光子之间都是相互等价的, 在接下来的过程中: 聚焦、偏转、放大和接收, 这些过程都没有能量响应问题, 所以条纹相机的标定只与条纹相机的光阴极有关, 本文采用整体标定方法.

实验安排如图 1 所示,单色光通过一个小的光阑(4.5mm×0.75mm),它的光斑形状和光强发布由 X 光胶片给出,绝对光强由标准探测器给出,通过吉时利 6517 电流计进行记录电流信号,再通过标准探测器的响应给出绝对光强。

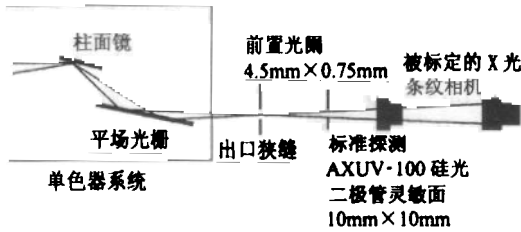


图 1 实验安排

这个探测器是由美国国家标准和技术研究院 (NIST) 给出的二级标准,它的探测器型号为 AXUV-100,探测器灵敏面尺寸为 10mm×10mm,整个光斑都被记录,标定数据如图 2,条纹相机的光阴极尺寸为 0.1mm×20mm,将条纹相机的光阴极与光源的光斑垂直,这样,我们在条纹相机上将获得 0.75mm×0.1mm 的光斑。通过可见光 CCD 采集,在计算机上我们得到相同面积的光斑,将整个光斑的灰度值积分,给出对应于某一光强下的 bits 数。假如光斑在横向的光强分布较均匀的话,我们就可以通过标准探测器测出单位面积的光强,由于条纹相机的接收面积已知,所以,就可以给出条纹相机某一能量的绝对响应。改变不同的光子能量,就可以给出条纹相机的绝对能量响应。

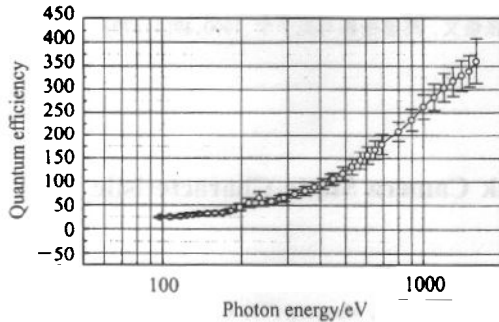


图 2 标准探测器的能量响应曲线

利用电动快门的照相机记下了光源的光斑,如图 3(a)所示,通过黑密度扫描,给出了光斑的光强分布如图 3(c),(d)所示,(c)为纵向光强分布,(d)为横向光强分布,根据光斑的光强分布,得到光斑的尺寸 7.4mm×1.2mm 和面积 9mm²,根据光斑的横向分布,可以看出,光斑的横向分布是比较均匀的,所以,在光斑范围内选用任何一个位置都是等价的,差别不会太大。由于条纹相机光阴极狭缝为 2cm×0.1mm,并与

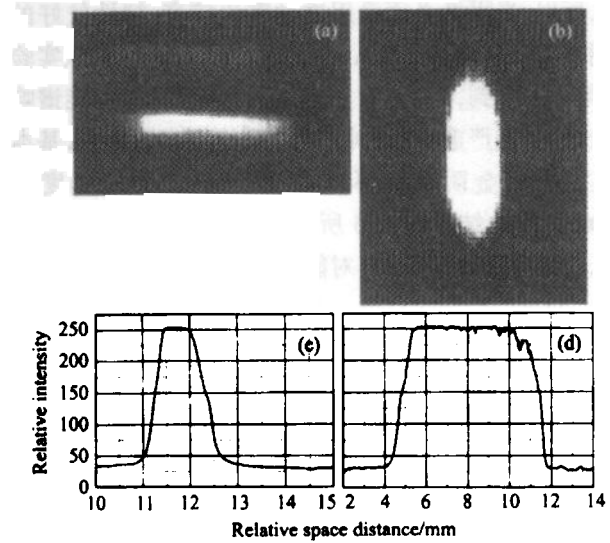


图 3 光斑图像和光强分布

(a) 光源的光斑图像;(b) 条纹相机获得的光斑图像;
(c) 光源的纵向光强分布;(d) 光源的横向光强分布。

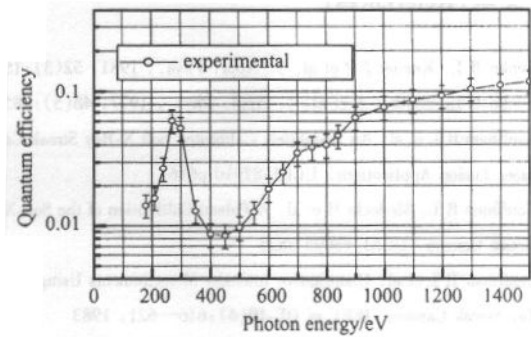


图 4 条纹相机能量响应的绝对标定结果

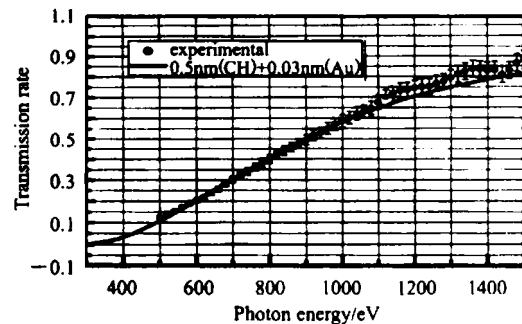


图 5 条纹相机光阴极厚度的实验标定和理论计算结果

光源的光斑垂直,所以,条纹相机光阴极获得的光斑面积为 0.1mm×1.2mm,通过 CCD 系统,可以看到条纹相机给出的光斑如图 3(b)所示。通过数据处理,给出了条纹相机在 100—1200eV 能区范围内的绝对能量响应,如图 4 所示。从实验结果可以看出,条纹相机的能量响应只与光阴极的材料和材料的厚度有关,其他因素只是一个常量,比如偏压,只改变绝对量的大小,不改变响应的形状。另外,由于光阴极太薄,不可能实现自支

撑,所以,光阴极必须采用透过率比较高、韧性较好的轻材料,一般选用几千 Å 的碳氢材料,如 CH 膜,从实验结果可以看到,由于 CH 膜的存在,条纹相机的能谱响应出现了较严重的碳吸收,通过阴极厚度的测量,基本可以确定,金阴极的厚度是 300nm,CH 膜的厚度是 5000nm,实验结果如图 5 所示,所以,条纹相机的谱响应,必须考虑支撑膜 CH 对能量响应的影响。

4 不确定度分析

软 X 射线条纹相机静态能量响应绝对标定的不确定度,是由标准探测器的不确定度和实验中的测量不确定度合成得到。在能区 50—1500eV,标准探测器量子效率由美国国家标准和技术研究院

(NIST)标定,其不确定度为 $Ub1 = 15\%$ 。在我们的实验中,测量不确定度由以下几部分组成:其一是光源面均匀性引起的不确定度,由实验测量得到 $Ub2 = 10\%$;实验所用光斑有一定的发散角,测量时软 X 射线条纹相机的光阴极与标准探测器距光源的距离不同,光阴极位置处光源的照度小于标准探测器处的照度,由于发散角较小,距离较小,所以估计不确定度 $Ub3 = 10\%$;其他测量的不确定度 $Ua = 10\%$ 。则软 X 射线条纹相机静态能量响应绝对标定的合成标准不确定度 $Uc = 23\%$ 。

本工作得到北京正负电子对撞机国家实验室的支持,在此表示衷心的感谢。另外,作者还要感谢西光所的郭宝平、牛憨笨研究员给予的许多帮助。

参考文献 (References)

- 1 Henke B L, Knauer J P et al. *J. Appl. Phys.*, 1981, **52**(3):1509
- 2 Henke B L, Smith J A et al. *J. Appl. Phys.*, 1977, **48**(5):1852
- 3 Kauffman R L et al. *An Absolutely Calibrated Soft X-Ray Streak Camera Laser Fusion Applications*. UCRL-87910 p616
- 4 Kauffman R L, Medecky H et al. *A Pulsed Calibration of the Soft X-Ray Streak Camera*. UCRL-83095 p535
- 5 Kauffman R L et al. *Quantitative Intensity Measurements Using a Soft x-Ray Streak Camera*. *IEEE of QE-19*(4):616—621, 1983
- 6 Gary L Stradling, Attwood D T Kauffman R L et al. *A Soft X-Ray Streak Camera*. *IEEE of QQE-19*(4):604—614, 1983
- 7 GUO Bao-Ping, LIU Han-Ben. *High Speed Photography and Photons*, 1990, **19**(4):11 (in Chinese)
- 8 LUI Zhi-Yan, CHANG Zheng-Hu et al. *High Speed Photography and Photons*, 1989, **18**(3):22 (in Chinese)
(雷志远,常曾虎等. *高速摄影与光子学*, 1989, **18**(3):22)
- 9 GAO Qiu-Shi, LUI Zhi-Yan et al. *High Speed Photography and Photons*, 1989, **18**(1):40 (in Chinese)
(高求是,雷志远等. *高速摄影与光子学*, 1989, **18**(1):40)
- 10 ZHANG Xiao-Qiou, GONG Mei-Xia et al. *High Speed Photography and Photons*, 1989, **18**(2):48 (in Chinese)
(张小秋,龚美霞等. *高速摄影与光子学*, 1989, **18**(2):48)
- 11 ZHANG Huan-Wen. *High Speed Photography and Photons*, 1990, **19**(4):70 (in Chinese)
(张焕文. *高速摄影与光子学*, 1990, **19**(4):70)

Absolute Calibration of the Soft X-Ray Streak Camera Static Characteristic

YI Rong-Qing ZHENG Zhi-Jian HU Xin

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry of CAEP, Laboratory for Laser Fusion, Mianyang 621900, China)

CUI Ming-Qi ZHAO Yi-Dong ZHU Pei-Ping

(Institute of High Energy, Chinese Academy of science, Beijing 100039, China)

Abstract The soft X-ray streak camera is very important detection tool for studying soft X-ray time characteristics. We have calibrated its absolute energy response in terms of X rays provided by synchrotron Radiation Source on the BSRF. The combined uncertainty of quantum efficiency of the streak camera in 100—1000 eV photon energy region is 23%.

Key words streak camera, synchrotron radiation energy response, absolute calibration