

用网格衰减膜相对标定 SIOFM-5FW 软 X 光底片

刘亚青 李儒新 项惠珠 范品忠

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 点聚焦激光等离子体发出的 X 射线经晶体色散形成均匀的单色 X 射线源, 在此基础上, 用单层网格作为衰减膜, 得到未经衰减和经过衰减的 X 射线谱, 对无保护膜 SIOFM-5FW 软 X 光底片作了试验性的相对标定, 得到了 0.91 nm 波长的特性曲线。

关键词 X 光底片, 晶体谱仪, 相对标定, 网格膜。

1 引 言

以激光等离子体作为 X 光源进行底片标定的工作已有许多报道。如 Kishimoto 等人利用透射光栅谱仪标定了 Kodak 101-01 底片在软 X 光和极紫外区的响应特性^[1], 国内上海光机所和九院利用平场谱仪分别标定了国产无保护膜 SIOFM-5FW 型底片在 5~8 nm 波段的响应特性^[2]和 Kodak SWR 型底片在 19.0~22.0 nm 波段的响应特性^[3]。但对研究惯性约束核聚变(ICF)中的超热电子、激光与物质相互作用中的热传导过程以及激光等离子体参数测量等都需要知道相应元素的 1 nm 以下的类氢和类氦离子共振线的特性, 所以, 有必要对所用底片在这一波段进行仔细标定。

本文用点状铜激光等离子体作光源, 用晶体谱仪分光, 并用网格作为强度衰减, 在 1 nm 附近波长范围进行了 SIOFM-5FW 软 X 光底片的相对标定。这一方法的最大优点在于网格对光强的衰减与波长无关, 即对任何波长其透过率都是一样的。因此, 在谱仪所复盖的波长范围内, 底片标定可以一次完成。这比以前对不同波长需用不同的衰减膜, 其工作量大大减少。文中对这一方法在 X 射线波段作了尝试性的实验, 并标定了底片对 0.91 nm 波长的响应特性。

2 定标原理

底片的曝光特性是指底片的黑度 D 随入射到底片上的曝光量 I 的变化。而 $I = Et$, 其中 E 为落在底片上的辐射照度, t 为曝光时间。一般, 改变曝光时间 t ^[4, 5] 或改变辐射照度 E ^[3] 可以获得一系列不同的曝光量。利用阶梯型的滤片可以获得一系列不同的辐射照度; 利用文献[4]中建议的谱线轮廓法, 也可用单层滤片获得一系列不同的辐射照度。对于相对标定, 只需

要相对曝光量值。

本文的定标实验采用谱线轮廓法。考虑到光源有一定大小,那么利用网格上的小孔能使光源在底片上成一定大小的像,像与像的重叠加上底片的弥散效应,最终获得强度的均匀衰减。另外,在忽略散射影响的前提下,只要膜足够厚且无衍射效应存在,那么任何一种波长的光经过网格后,其衰减的程度是一样的,即不象一般滤片(如铝膜),网格的透过率与波长无关。

根据 Henke 等人的理论^[6],对于厚乳胶底片,其底片黑度和曝光量之间的关系可用下列公式表示:

$$AD = \ln(1 + BI) \quad (1)$$

式中 A 、 B 皆为与底片结构、入射光子能量(波长)以及底片显影液的种类有关的常数。此外, B 还与所取的相对曝光量的单位有关。对某一波长,根据上面所述的方法获得一系列底片黑度和对应的相对曝光量的数据,利用最小二乘法可定出 A 参数,从而获得底片在这一波长处的响应特性。

3 实验与结果

实验在中国科学院上海光学精密机械研究所 115⁺ 高功率激光装置上进行。以铜激光等离子体发出的 X 光作为光源。波长为 $1.06 \mu\text{m}$,脉宽为 200 ps 左右,输出能量为 $4 \sim 7 \text{ J}$ 的驱动激光经 $f/1$ 的非球面透镜聚焦在表面抛光的铜块状靶上产生直径约为 $100 \mu\text{m}$ 的焦斑。实验布置如图 1 所示。整个系统处于 $8 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ 的真空系统中。

实验的第一步是对占空宽度分别为 $9 \mu\text{m}$ 和 $12 \mu\text{m}$ 的网格的强度衰减均匀性进行试验。这种网的透光部份是边长约为 $12 \mu\text{m}$ 的正方形小孔,相邻的正方形之间的间距约为 $9 \mu\text{m}$,厚度约为 $3 \mu\text{m}$ 。

在本文描述的实验中,单色源(例如,波长为 0.81 nm)到网格的距离约为 93.0 mm ,底片到网格的距离约为 6.5 mm ,网格小孔边长为 $12 \mu\text{m}$ 。这样 $100 \mu\text{m}$ 大小的激光等离子体源在底片上的像的大小约为 $20 \mu\text{m}$ 。于是,底片上经无数小孔成的像相互重叠,使被衰减部分基本上均匀化。另外,底片本身有弥散效应,当 X 光透过网格到达底片后能向四周未被光照的部分弥散^[6]。这两种效应的综合结果就是使 X 光被均匀衰减。图 2 是在垂直光谱色散方向上的黑度分布,结果表明,网格成像效应和底片弥散效应使被衰减的那一部分光有很好的均匀性。

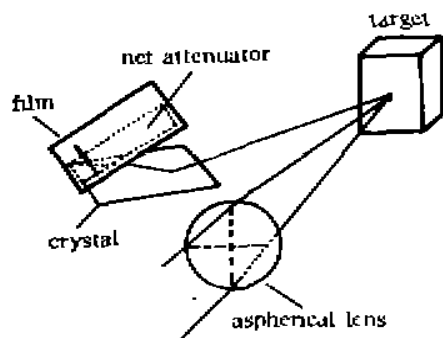


Fig. 1 The scheme of the experimental set-up

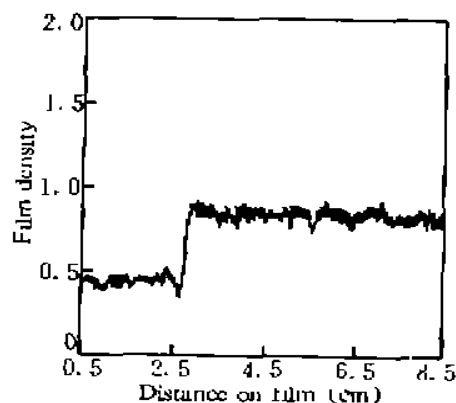


Fig. 2 The density of the spectrum line along the direction perpendicular to the dispersion axis

实验的第二步是用占空宽度分别为 $9\ \mu\text{m}$ 和 $12\ \mu\text{m}$, 厚度为 $3\ \mu\text{m}$ 的网格进行无保护 SIOFM-5FW 底片的相对定标。

来自激光等离子体源未知强度的 X 射线经 TAP 晶体谱仪色散后, 在垂直于色散方向上有一半被网格衰减, 其透过率为 33%, 另一半未被衰减, 最后记录在同一张底片上。经几次打靶累积后, 便得到一张曝光合适的底片。为了减小定量测量误差, 本文采用与物理实验时相同的显 (D76)、定影液, 相同的显、定影时间 ($900\ \text{sec} \pm 1\ \text{sec}$) 和温度 ($20\ ^\circ\text{C} \pm 0.1\ \text{C}$)。最后采用物镜数值孔径为 0.25 的 MP-3 型显微光密度计完成光谱黑度测量。图 3 给出了加网格与不加网格两种情况下典型的 Cu 等离子体光谱的黑度扫描图。根据前面所述的定标原理, 得到了如图 4 所示的 $0.91\ \text{nm}$ 波长的底片黑度随相对曝光量的变化曲线, 也就是底片在 $0.91\ \text{nm}$ 波长下的响应特性曲线, 其响应 A 因子为 1.9。

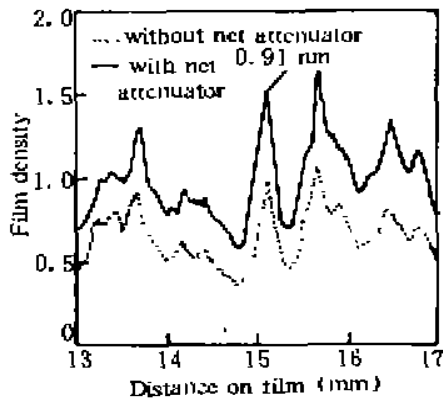


Fig. 3 The net densities of the wavelengths

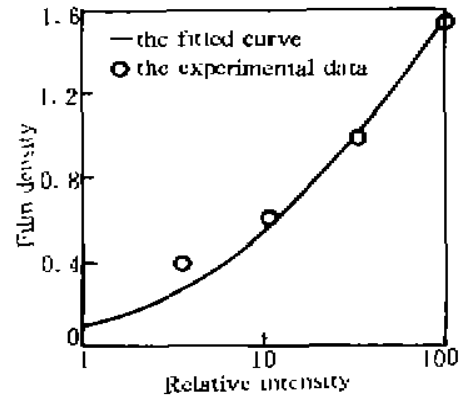


Fig. 4 The net density of SIOFM-5FW film verse the relative exposure intensity at $0.91\ \text{nm}$

4 讨 论

由于 X 光底片的保护膜对短波范围的 X 光几乎是透明的, 所以实验结果可与文献[4]关于有保护膜 5F X 光底片的结果比较。文献[4]中标定的有保护膜 5F 底片在 $1.02\ \text{nm}$ 波长的 A 因子为 1.8, $0.65\ \text{nm}$ 波长的 A 因子为 1.4, 与本文结果有一定差别。分析其原因主要有:

1) 透过率测量误差: 本文用三种不同的方法对膜的透过率进行测量。一是按占空面积之比计算, 在高倍显微镜下观察, 发现透光部分占整个膜, 面积的 $32.7\% \pm 4\%$, 由于膜的透过率不受波长的影响, 因此认为网格膜对 X 射线的透过率就在此范围内; 二是用可见光测网格膜不同位置的透过率, 结果发现平均透过率约为 32%; 并且在膜的不同位置, 其透过率相差不到 2%。三是用被曝光底片的衰减部分和未衰减部分在低黑度时的黑度比测透过率, 其结果为 $34\% \pm 20\%$, 这几种测透过率的方法都有一定的误差, 最后本文取透过率为 $32.7\% \pm 4\%$ 。

2) 从以往的底片响应特性曲线形状看, 在低黑度部分 ($D < 1.5$) 曲线走势比较缓, 在未饱和的高黑度部分 ($1.5 < D < 2.5$) 曲线走势比较陡, 在趋于饱和的部分, 曲线走势又趋于平缓。如果只取用其中的一段数据点, 其结果就会使拟合的 A 因子或高或低, 只有在数据点范围大且多的情况下, 拟合的 A 因子才最趋于真实值。而本实验中数据点的范围不大 (黑度在 $1.5 \sim 0.3$ 范围内) 且数据点不够多, 所以拟合的 A 因子有偏大的误差。

3) 由底片黑度值的测量误差引起的标定误差, 且黑度值越低误差越大。

4) 每一批底片的结构也略有差异, 所以对每一批底片都要作现场标定后才能对所得数

据进行定量分析。

结 论 激光等离子体发出的 X 射线, 经晶体谱仪和网格衰减膜在 SIOFM-5FW 底片上同时获得经过网格衰减的光谱和未经过网格衰减的光谱, 用谱线轮廓法得到一系列相对曝光量以及对应的黑度, 最后用最小二乘法得到相应波长的底片响应因子 A 和响应特性曲线。实验表明, 网格衰减膜是一种行之有效且能提高底片相对定标实验效率的衰减膜, 很适用于在进行物理实验的同时对底片进行现场标定。

参 考 文 献

- [1] K. Eidmann, T. Kishimoto, P. Herrmann *et. al.*, *Laser & Partical Beam*, 1986, 4(34): 521~530
- [2] 李儒新, 陆培祥, 范品忠等, 用平场光栅谱仪现场标定 5FW X 光底片, *光学学报*, 1994, 14(1): 68~72
- [3] 张启仁, 杨上金, 何 安等, 超紫外波段的 X 射线底片相对标定, *强激光与粒子束*, 1992, 4(3): 473~476
- [4] 毛楚生, 范品忠, 顾 援等, 用于激光等离子体实验的 X 光底片的相对标定, *核聚变与等离子体物理*, 1983, 3(2): 102~106
- [5] 范品忠, 毛楚生, 用底能放射性源对 X 光底片作定量标定的方法, *光学学报*, 1984, 4(10): 956~959
- [6] B. L. Henke, S. L. Kwok, J. Y. Uejio *et. al.*, *Low-energy X-ray response of photographic films. II. experimental characterization. J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1984, 1(6): 818~827

A Relative Calibration for SIOFM-5FW X-ray Film Using Net Attenuative Foil

Liu Yaqing Li Ruxin Fan Pinzhong

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 11 August 1995; revised 12 October 1995)

Abstract A relative calibration has been completed for SIOFM-5FW X-ray film by using a TLAP crystal as dispersion element, spot-focused laser-produced Cu plasma as X-ray source and net foil as intensity attenuator for obtaining different exposure.

Key words X-ray film, relative calibration, crystal spectrograph net foil