

SIOFM-5FW 软 X 射线底片与 Kodak101-05 和 Ilford-Q 板曝光特性的比较

范品忠 李跃林 E. Fill* 周锦智

(中国科学院上海光机所, 上海 201800;

* Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching 85748)

提要 在相同的曝光和显影条件下,用 D-19 和 Phenisol 两种显影液定性比较了 SIOFM-5FW 底片、Kodak101-05 和 Ilford-Q 板在 100.0 nm 以下的软 X 射线和 XUV 波段范围里的曝光特性。比较实验表明,SIOFM-5FW 底片对波长大于 10.0 nm 的辐射的响应介于 Kodak101-05 和 Ilford-Q 板之间;对于 10.0 nm 以下的短波长区,SIOFM-5FW 比 Kodak101-05 灵敏,而且有较高的饱和光密度值和动态范围,但存在明显的碳 K 吸收边结构。讨论了所用的两种显影液对底片曝光特性的影响。

关键词 软 X 射线底片,透射光栅,显影液

1 引言

虽然一维和二维光电探测器近年来有飞速的发展,如光电两极管阵列(PDA),微通道板(MCP),特别是电荷交换器件(CCD),它们结合计算机已成为非常有力的辐射探测工具,X光底片仍然被广泛用来探测记录软 X 射线和 XUV 光谱。这种古老的 X 射线探测器虽然用起来比较繁复,不能获得实时显示结果,但其优点是接收面积大,能同时记录很宽波长范围里的光谱,空间分辨率高,以及对中小实验室来说更重要的是价格比光电探测器便宜得多。

已有许多底片和干板,如 Eastman Kodak SWR, Ilford-Q 板, Kodak Pathe Dc. 3, Sc5, Sc7, Kodak104, Kodak101, UFSH-O 和 SIOFM-5FW 等广泛用于软 X 射线和 XUV 光谱实验中。这些软 X 射线底片和干板中最引人注目的是 Kodak101 底片(或干板)。这是一种 Eastman Kodak 公司专门为软 X 射线和 XUV 辐射探测而研制的特殊底片(或干板)。这种无明胶保护层,AgBr 颗粒一个挨一个紧密排列于表面的底片不仅灵敏度高,而且噪声小,灰雾低。这种底片已为世界上许多实验室所采用并对其性能作了很多研究^[1~4],但这种底片比较贵而且比较难以获得。因此在我们关于激光等离子体软 X 射线光谱学和软 X 射线激光实验中采用了 SIOFM-5FW 底片。实验表明在我们所感兴趣的波长范围里,这种底片也有很好的响应^[5~7]。

本文给出了在相同实验条件下进行的 SIOFM-5FW, Kodak101-05 和 Ilford-Q 板曝光特性比较实验的结果,同时讨论了所用的两种显影液 D-19 和 Phenisol 对底片曝光特性的影响。

2 曝光特性比较实验

曝光特性比较实验以点聚焦激光产生的等离子体为光源,用狭缝透射光栅谱仪分光,在激光打靶条件和谱仪与靶点相对位置保持不变的情况下,依次对 Kodak101-05, SIOFM-5FW 和 Ilford-Q 板进行曝光,曝过光的底片分别用两种显影液 D-19 和 Phenisol,在同一过程中进行显影和定影处理。

曝光特性比较实验所用的激光等离子体光源由 MPQ 高功率钕玻璃激光器的两倍频输出激光产生(530 nm),输出激光能量约 10 J,脉宽为 3 ns。聚焦透镜($f = 350$ mm, $\phi = 60$ mm)将输出激光束沿靶面法线方向聚焦在钨平面靶上,焦斑直径约为 100 μm ,靶面激光功率密度约为 4×10^{13} W/cm²。在这样的功率密度下钨靶激光等离子体主要发射以 N 和 O 带为特征的连续谱,波长在 10.0 nm 以上的连续谱强度基本上随波长增长而下降^[9]。

狭缝透射光栅谱仪所用的透射光栅刻线密度为 1000 条线/mm^[9]。为获得较大的摄谱范围(0~100.0 nm),实验中设定的谱仪的线色散的倒数约为 4.7 nm/mm。置于透射光栅紧前方的狭缝宽度为 100 μm ,沿长度方向狭缝被分成两段,每段长度均为 1 mm,其中一段加有一块 2 μm 厚的铝滤片。这样每次曝光都能在底片上获得两条光谱:即加滤片的光谱和不加滤片的光谱。

曝光比较实验中采用两种显影液 D-19 和 Phenisol,前者是 Eastman Kodak 公司为 Kodak101 底片推荐的显影液,后者是 Ilford 公司为 Ilford-Q 板推荐的显影液。显影温度和显影时间分别为 20 $^{\circ}\text{C}$ 和 4 min。

为了确保曝光比较实验在相同的条件下进行,在整个实验过程中打靶激光参数(除打靶激光能量稍有变化以外),以及谱仪与靶点相对位置均保持不变。曝过光的三种底片的显影和定影分别在同一处理过程中完成,保证了显影和定影条件(显影温度和时间)的一致性。

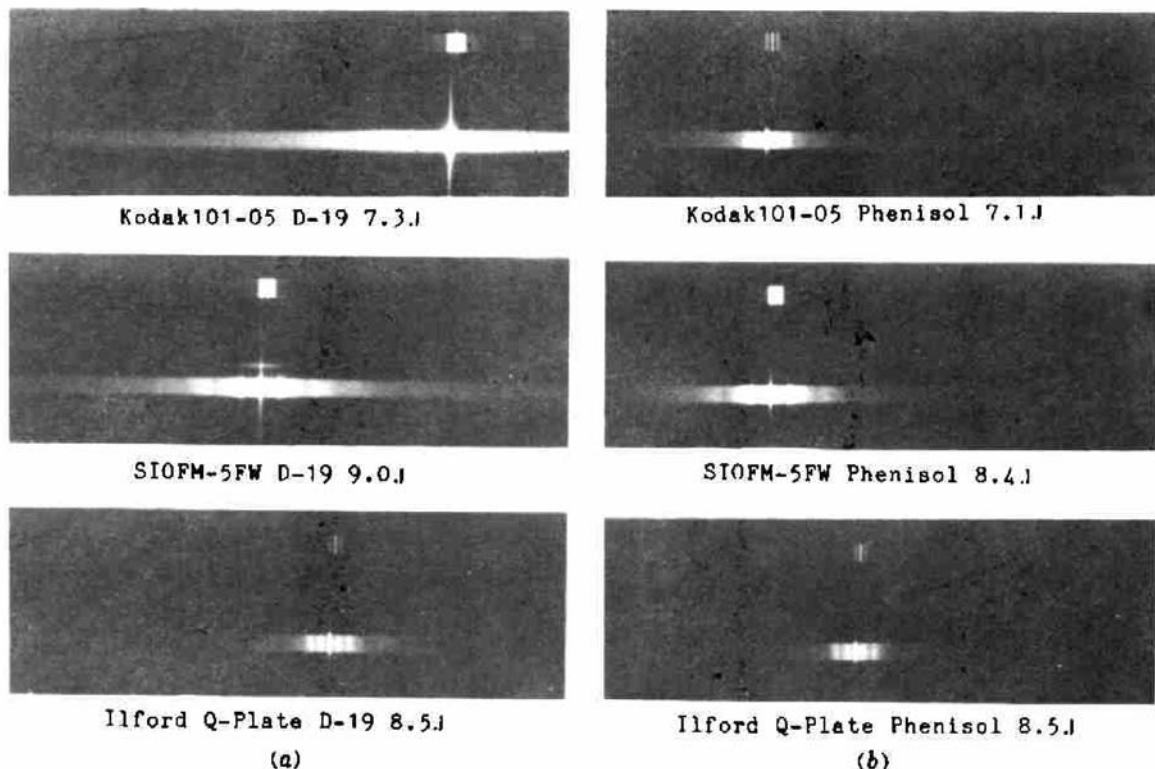


Fig. 1 Spectral photographs of W target laser plasma, taken with Kodak101-05, SIOFM-5FW and Ilford Q-plate (a) with D-19 developer; (b) with Phenisol developer

3 实验结果和讨论

实验获得的 W 靶激光等离子体光谱照片如图 1 所示,其中 (a) 和 (b) 分别是用 D-19 和 Phenisol 显影后获得的结果,每张照片的上部为加有 $2\ \mu\text{m}$ Al 滤片获得的光谱,另外图上还给出了相应的打靶激光能量。图 2 给出了用 Joyce-Loebl 3CS 显微密度计获得的光谱扫描径迹(无 Al 滤片的光谱)。

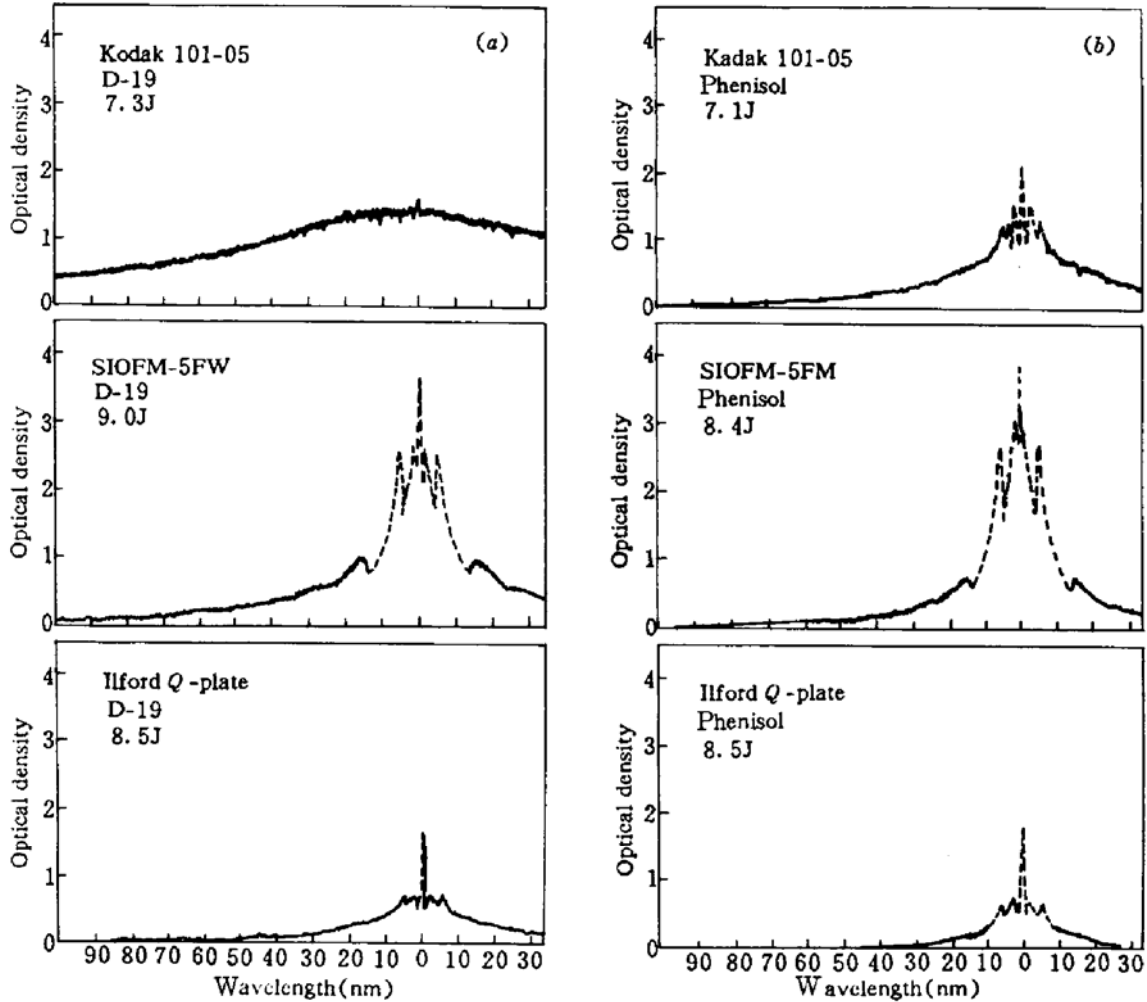


Fig. 2 Microdensitometer traces of the unfiltered spectra from W target laser plasma, taken with Kodak101-05, SIOFM-5FW and Ilford Q-plate
(a) with D-19 developer; (b) with Phenisol developer

从这些光谱可以看出这三种不同的底片用两种不同的显影液获得的 W 靶激光等离子体光谱表现上有很大的差别。Kodak101-05 底片,尤其是用 D-19 显影时,显示很高的灵敏度,特别在长波长区,可响应波长超过 $100.0\ \text{nm}$ 的辐射;但这种底片在 $D = 1.5$ 附近,其黑度值严重饱和,因此动态范围小,反差也小。在使用这种底片时要严格控制曝光量使之工作于非饱和区。该底片的曝光特性是由其底片结构,即紧密排列的单层 AgBr 颗粒层决定的。由于该底片表面只有紧密排列的 AgBr 单层而且没有明胶保护层,因此具有较高的灵敏度并对长波有较高的响应;由于只有单 AgBr 层,感光层很薄($\sim 1\ \mu\text{m}$),这种底片不能得到较高的光密度。这种底片很适合于微弱的长波辐射的探测。

SIOFM-5FW 底片在三种试验的底片中灵敏度居中,但在波长小于 $10.0\ \text{nm}$ 的短波长区,

其灵敏度高于 Kodak101-05。这种底片的反差和动态范围都较大,实验获得的最大光密度超过了 3。然而在这种底片获得的光谱中有较明显的碳 K 吸收边,扰乱了谱仪记录的光谱,尤其是对具有明显高级谱的谱仪,如透射光栅谱仪所获得的光谱。从图 2 可以看出,碳吸收边的干扰不仅发生在 4.4 nm 处的一级谱位置上,而且也明显出现在 13.1 nm 处的三级谱位置上。这种底片的曝光特性也是由其底片结构,即无明胶保护层的厚乳剂层(AgBr 和明胶混合物)决定的。这种底片的乳剂层比较厚(7~8 μm),穿透能力较强的短波辐射能到达乳剂深处,因而能获得很高的光密度值,而且有较高的反差和动态范围;由于乳剂表层中 AgBr 颗粒表面残留一层很薄的明胶层,其厚度虽然比普通底片的明胶保护层薄得多,但对长波辐射仍然有相当大的吸收,并造成在获得的光谱中显示较明显的明胶的主要成份——碳的 K 吸收边结构。这种底片很适用于除碳 K 吸收边以外波长小于 10.0 nm 的短波区,但也能用于 60.0 nm 以下的长波区。

Ilford-Q 板是掠入射谱仪常用底片^[10,11],但在所比较的三种底片中,其灵敏度最低。这可能与此种底片的乳剂层较薄(1 μm)和乳剂层中 AgBr 颗粒密度较低有关。

显影液对曝光特性的影响也很大。用 D-19 显影能使底片具有较高的光密度,能探测离光谱零级较远处的长波辐射,但噪声也较高。在低曝光量时,用 D-19 显影所获得的光密度比用 Phenisol 获得的高,即在低曝光量时就有较高的响应;在高曝光量时,用 D-19 显影所获得的照片反差较小并较早进入饱和区。因此用 D-19 显影液时最小可探测能量比用 Phenisol 显影液时要低,适用于弱曝光底片的显影。反之,用 Phenisol 显影液时获得的饱和光密度较高,噪声较底,适用于强曝光底片的显影。

4 结 论

在几乎完全相同的实验条件下进行了 Kodak101-05 干板, SIOFM-5FW 底片和 Ilford-Q 板的曝光特性比较实验。虽然实验没能给出定量的结果,但从所获得的光谱中可以推出如下定性结论:

(1) 对 10.0~100.0 nm 波长范围里的软 X 射线和 XUV 辐射, SIOFM-5FW 的响应介于 Kodak101-05 和 Ilford-Q 板之间,但更靠近前者。在 60.0 nm 以下的软 X 射线和 XUV 波长区, SIOFM-5FW 是 Kodak101 底片的很好的代用品。

(2) 在小于 10.0 nm 的短波区, SIOFM-5FW 比 Kodak101-05 更灵敏,动态范围也较大,且不易饱和(Kodak101-05 动态范围小,在 $D=1.5$ 左右已达饱和),实验获得的最大光密度在 3 以上。

(3) 由于 SIOFM-5FW 底片表层 AgBr 颗粒表面残留明胶层,获得的光谱中存在明显的碳 K 吸收边,给光谱的分析处理带来一定的难度。

(4) D-19 显影液在低曝光量时获得的光密度较高,但在高曝光量时很快饱和,反差和动态范围均较小,适用于弱辐射的探测;反之, Phenisol 显影液低曝光量时获得的光密度较低,但在高曝光量时饱和较缓慢,反差和动态范围均较大,适用于较强辐射的探测。

致谢 作者衷心感谢 Mr. A. Böswald 在激光装置运行和 Mr. W. Fölsner 在靶的制备方面的帮助和支持。范品忠对 Max-Planck-Gesellschaft 的资助表示感谢。

参 考 文 献

- 1 B. L. Henke, S. L. Kwok, J. Y. Uejio *et al.*. Low-energy X-ray response of photographic films. I, Mathematical models. *J. Opt. Soc. Am.*, 1984, B1(6):818~827
- B. L. Henke, F. G. Fujiwara, M. A. Tester. Low-energy X-ray response of photographic films. II, Experimental characterization. *J. Opt. Soc. Am.*, 1984, B1(6):828~849
- 2 W. Schwanda, K. Eidmann. Calibration of Kodak 101 X-ray film. *Appl. Opt.*, 1992, 31(4):554~559
- 3 T. Kishimoto. Absolute measurement of spectra emitted by laser-produced plasmas. MPQ Report, 1985. MPQ-108
- 4 Yu. M. Alexandrov, K. Eidmann, D. A. Fedin *et al.*. Investigation of sensitometric characteristics of X-ray photoemulsions in the spectral range of 15-80 Å. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.*, 1991, A308(1-2):343~346
- 5 Zhi-zhan Xu, Pin-zhong Fan, Li-huang Lin *et al.*. Short wavelength lithium-like X-ray laser development at Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics (SIOFM). X-ray lasers, 1992, ed., E. Fill, 75~82 (Int. Colloquium on X-ray Lasers, Schliersee, Germany, 1992)
- 6 Pei-xiang Lu, Pin-zhong Fan, Zhi-zhan Xu *et al.*. A simple in situ calibration technique for soft X-ray film. *Rev. Sci. Instrum.*, 1993, 64(10):2879~2882
- 7 Z. Z. Xu, P. Z. Fan, L. H. Lin *et al.*. Short-wavelength soft-X-ray amplification in lithiumlike calcium plasma. *Phys. Rev. A*, 1994, 49(1):485~489
- 8 K. Eidmann, T. Kishimoto. Absolutely measured X-ray spectra from laser plasmas with targets of different elements. *Appl. Phys. Lett.*, 1986, 49(7):377~378
- 9 K. Eidmann, T. Kishimoto, P. Herrmann *et al.*. Absolute soft X-ray measurements with a transmission grating spectrometer. *Laser and Particl Beams*, 1986, 4(3,4):521~536
- 10 M. G. Hobby, N. J. Peacock. Spectrograph calibration at soft X-ray wavelengths I; from grating diffraction efficiency and plate response factors. *J. Phys. E. Sci. Instrum.*, 1973, 6(9):854~857
- 11 W. Maixmer. Kalibrierung von Fotoplatten des Type Ilford Q-plate in weichen Rontgengebiet mit einem Lasererzeugten Plasma als Strahlungsquelle. Diplomarbeit, Fachhochschule Munchen 1992

Qualitative Comparison of Exposure Characteristics of Soft X-ray Film SIOFM-5FW With Kodak 101-05 and Ilford-Q Plates

Fan Pinzhong Li Yuelin E. Fill* Zhou Jinzhi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800;

* Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching 87458)

Abstract Under identical exposure and processing conditions, the exposure characteristics of the soft X-ray film SIOFM-5FW have been compared qualitatively with Kodak101-05 and Ilford-Q plates in the soft X-ray and XUV ranges below 100.0 nm, using D-19 and Phenisol developers. The experimental results have shown that for the radiation above 10.0 nm, the response of SIOFM-5FW lies between Kodak101-05 and Ilford-Q plate, but closely to the former and for the radiation below 10.0 nm SIOFM-5FW is more sensitive than Kodak101-05 plate, with a higher saturation density and dynamic range, and has an obvious K absorption edge structure of carbon. The effects of the two developers on the exposure characteristics are discussed.

Key words soft X-ray films, transmission grating, developers