

# 对 Kodak-SWR 底片在软 X 光波段的绝对标定

傅思祖 周关林 毛楚生

(中国工程物理研究院上海激光等离子体研究所, 上海 201800)

## 提 要

运用透射光栅光谱仪,对线聚焦高功率激光辐照到锗靶上产生的软 X 光激光进行光谱记录,利用衍射谱的对称性和已经绝对标定过的 Kodak-101 底片来完成对 Kodak-SWR 底片的绝对标定.

关键词 软 X 光激光, 绝对标定.

## 1 引 言

在实验室 X 光激光研究中,利用 X 光底片对线聚焦高功率激光辐照靶后产生的 X 光激光进行分光后的光谱记录是必不可少的,这就需要对记录底片进行相应波段内的绝对标定.目前阶段,实验室高功率激光线聚焦打靶产生的 X 光激光主要是在软 X 光波段,对该波段的光谱记录,可供选用的底片种类是较多的,但进行过绝对标定的却很少,据已公开发表的文章,只有西德马克斯·普朗克光电所绝对标定过 Kodak-101 系列的二种底片<sup>[1]</sup>.

本文提出一种新的标定方法,它是利用透射光栅谱仪记录的衍射光谱相对于零级的对称性和已经绝对标定过的底片,来完成对其它底片的绝对标定,旨在能用其它底片取代 Kodak-101 底片.并用此法标定了 Kodak-SWR 底片并给出了结果.实验是以输出的软 X 光激光作为标定源来进行现场标定的.

## 2 实 验

本实验是在 12# 神光高功率激光装置上进行的,在多靶串接类氦 Ge 电子碰撞机制软 X

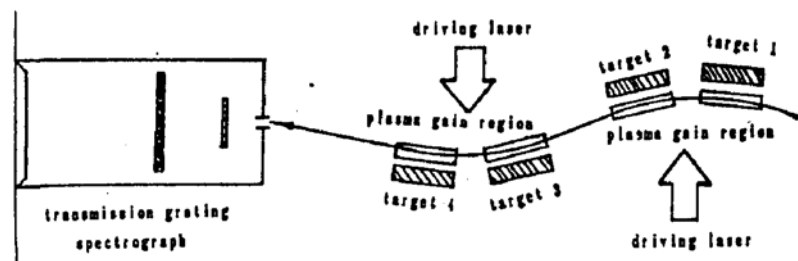


Fig. 1 Experimental set-up

光激光实验中<sup>[2]</sup>,利用出射的软 X 光激光作为标定源来完成的.实验排布如图 1 所示:

### 2.1 透射光栅谱仪的设计

作为标定实验主要诊断设备的透射光栅谱仪,其结构如图 2 所示,它是由狭缝,光栅,快门,底片等组成的.

由于作为标定光源的软 X 光激光具有一定的发散角,因此,谱仪的谱分辨率不仅取决于光束辐照在光栅上的面积大小(亦即覆盖的光栅刻线数目多少)决定的  $\Delta\lambda_1$ ,而且也受光束发散引起入射角的变化形成的  $\Delta\lambda_2$  影响.

设狭缝宽度为  $D$ ,狭缝对源所张的角度为  $2\theta_0$ ,光栅栅距为  $d$ ,衍射角为  $\varphi$  由光栅方程:

$$d(\sin \theta + \sin \varphi) = k\lambda \quad \text{或} \\ \varphi = \arcsin(k\lambda/d - \sin \theta) \quad (1)$$

显然,入射角的变化为  $0 \sim \theta_0$ (即  $\Delta\theta = \theta_0$ ) 相应的衍射角  $\varphi$  为:  $\varphi_1 = \arcsin(k\lambda/d)$ ,  $\varphi_2 = \arcsin(k\lambda/d - \sin \theta_0)$ ,从而得到

$$\Delta\varphi = |\arcsin(k\lambda/d) - \arcsin(k\lambda/d - \sin \theta_0)|, \quad (2)$$

又由(1)式得:

$$\Delta\lambda_2 = (d/k)(\Delta\theta \cos \theta + \Delta\varphi \cos \varphi) \quad (3)$$

由于狭缝非常窄,故其对源所张的角  $2\theta_0$  非常小,通常可作近似:  $\sin \theta_0 \approx \theta_0$ ,  $\cos \varphi \approx \cos \varphi_1 \approx \cos \varphi_2 \approx 1$ . 于是由(2)式和(3)式得:

$$\Delta\lambda_2 = (d/k)[\theta_0 + \arcsin(k\lambda/d) - \arcsin(k\lambda/d - \theta_0)] \quad (4)$$

利用  $\arcsin(x)$  的级数展开式,考虑到  $(k\lambda/d)$  及  $(k\lambda/d - \sin \theta_0)$  均为小量,可略去级数中  $n \geq 1$  的项,得:

$$\Delta\lambda_2 = (d/k)[\theta_0 + k\lambda/d - (k\lambda/d - \theta_0)] \approx 2d\theta_0/k \quad (5)$$

由图 2,显然有:

$$\theta_0 = D/2a = Y/2(a+b) \quad (6)$$

式中  $Y$  为光栅上光束在垂直于刻线方向覆盖的线度,得:

$$\Delta\lambda_2 = Dd/ak \quad (7)$$

对  $\Delta\lambda_1$ , 有

$$\Delta\lambda_1 = \lambda/kN, \quad [3] \quad (8)$$

式中  $N$  为光束覆盖的光栅刻线数,显然  $N = Y/d$ , 由(6)式得  $Y = D(a+b)/a$ , 得:

$$\Delta\lambda_1 = \lambda ad/kD(a+b) \quad (9)$$

这样谱仪的总分辨率  $\Delta\lambda = (\Delta\lambda_1^2 + \Delta\lambda_2^2)^{1/2}$ , 代入(7)式和(9)式后得:

$$\Delta\lambda = (d/k) \{ (D/a)^2 + (1/D)^2 [(\lambda a/(a+b))]^2 \}^{1/2} \quad (10)$$

选择适当的  $D, a, b$  参数关系,可使  $\Delta\lambda$  最小,令  $\delta(\Delta\lambda)/\delta D = 0$ , 得  $D = a [\lambda/(a+b)]^{1/2}$ , 于是:

$$\Delta\lambda = (d/k) [2\lambda/(a+b)]^{1/2} \quad (11)$$

实验中,根据 12# 神光高功率激光装置靶室的具体情况,选  $a = 150 \text{ mm}$ ,  $b = 100 \text{ mm}$ ,  $d = (1/1750) \text{ mm}$ ; 对类氪 X 光激光实验,记录其波长  $\lambda = 23.6 \text{ nm}$  的出射软 X 光激光光谱;得  $D = 46 \mu\text{m}$ ,  $\Delta\lambda = 0.25 \text{ nm}$ .

### 2.2 对 Kodak-SWR 底片的绝对标定

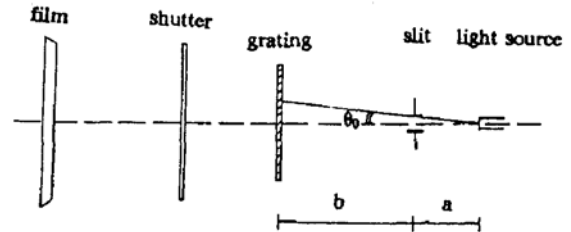


Fig. 2 Scheme of transmission grating spectrograph

按图 1 所示的实验排布,在光谱仪的接收面上测量到的光谱是相对零级对称的,图 3 给出了利用 Kodak-101 底片记录到的软 X 光激光谱线.

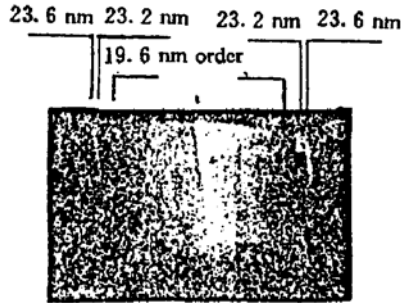


Fig. 3 Spectrum photo with Kodak-101 film

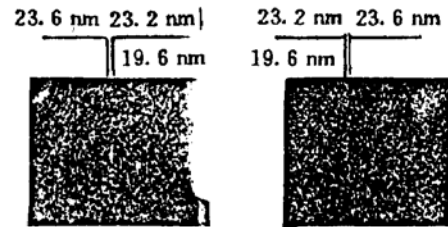


Fig. 4 Spectrum photo with Kodak-101 film and Kodak-SWR film

实际标定的时候,在底片接收面处,在零级的一边放上 Kodak-101 底片,另一边放置待标定的 Kodak-SWR 底片.图 4 是利用二种底片分别记录到的谱线照片,其冲洗条件(包括显影配方,洗相温度及时间等)是严格按照产品说明书进行的.为了防止底片饱和以及考虑到二种底片不同的灵敏度,尤其为了使作为标准的 Kodak-101 底片具有更好的可靠性,必须使曝光强度落在其特性曲线的线性部分,所以,在二种底片前各放置了一张针对波长为 23.6 nm 的激光透过率分别为  $T_{101} = 5.06 \times 10^{-3}$ 、 $T_{SWR} = 8.18 \times 10^{-2}$  的 Al 膜.

实验是利用 12# 神光高功率激光装置的南、北二路激光线聚焦辐照在四块串接的 Ge 平面靶上进行的,其能量和脉宽分别为 472.7 J、382.3 J 和 1.27 ns、0.8 ns.

### 3 实验结果

利用透射光栅一级衍射谱的对称性,在二张底片记录的谱线的对称点上分别对其黑度进行读数,图 5 给出了在二种底片上对应于谱线峰值处的黑度扫描曲线.

对 Kodak-101 底片,相应于黑度  $D_{101}$ ,可利用其已有的绝对定标关系式  $I_{101} = 0.058[\exp(1.5D_{101}) - 1]/[1 - 0.036 \exp(1.5D_{101})]$  (erg/cm<sup>2</sup>)<sup>[1,4]</sup> 给出该接受点处的光强  $I_{101}$ ;对 Kodak-SWR 底片,利用其黑度扫描曲线可读出相应点处的黑度  $D_{SWR}$ ,根据一级衍射谱强度的对称性,考虑到 Al 膜的衰减效应后,可得相应接受点处的光强  $I_{SWR} = I_{101}T_{SWR}/T_{101}$ ;这样,选取一组实验数据点后,即可得出 Kodak-SWR 底片的绝对标定曲线  $I_{SWR} \sim D_{SWR}$ .

图 6 所示的即为最终给出的 Kodak-SWR 底片的绝对定标曲线:图中,将横坐标中的曝光强度按  $\lambda = 23.6$  nm 的光子能量换成了光子数,纵坐标给出的黑度是扣除了底片灰雾后的结果;按实验测量的结果,Kodak-SWR 底片的灰雾为 0.16,并测量了在完全曝光情况下 Kodak-SWR 底片的黑度,得到其饱和黑度为 1.0 左右.

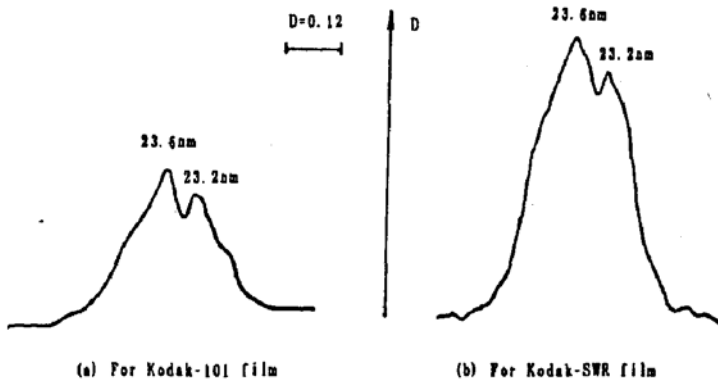


Fig. 5 (a) for kodak-film (b) for kodak-SWR film  
Debsitometric trace at the peak point of the spectrum  
corresponding to the photos shown in Fig. 4

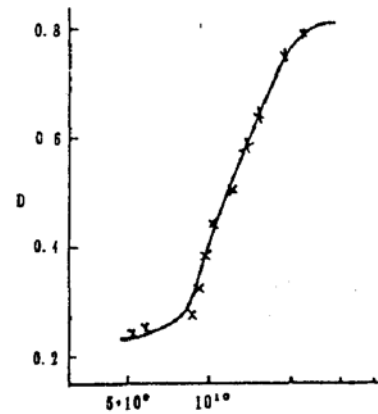


Fig. 6 Absolute calibrated curve of the Kodak—  
SWR film

### 参 考 文 献

- [1] K. Eidmann, T. Kishimoto, P. Herrmann *et al.*, Absolute soft x-ray measurements with a transmission grating spectrometer. *Laser and Particle Beams*, 1986, 4 : 521~530
- [2] 王世绩, 顾援, 周关林等 多靶串接饱和增益软 X 光激光实验研究. *强激光与粒子束*, 1992, 4(2) : 165~174
- [3] 母国光等著, 光学, 第 1 版, 北京高等教育出版社, 1978 : 340
- [4] Y. Kato, E. Miura, T. Tachi *et al.*, Observation of gain at 5.42 nm on Balmer-Alpha transition of hydrogenic sodium. *Appl. Phys. (B)*, 1990, 50 (3) : 247~256

## Absolute calibration of Kodak-SWR film in region of soft X-ray wavelength

FU Sizu      ZHOU Guanlin      MAO Chusheng

(Shanghai Institute of Laser Plasma, China Academy of Engineering Physics, Shanghai 201800)

(Received 2 December 1992; revised 12 January 1993)

### Abstract

Using the transmission grating spectrograph to record the X-ray laser spectrum produced by high power laser of line focus irradiating the target, and with the aid of the symmetrization of recorded spectrum and absolutely calibrated Kodak-101 film, we have completed the absolute calibration of Kodak-SWR film.

**Key words** soft X-ray laser, absolute calibration.