

York City (1983).

[3] R. R. Freeman *et al.*; Laser Spectroscopy V (Proceedings of the 5th International Conference), 1981, p. 453.

[4] E. U. Condon, G. H. Shortley; The Theory of

Atom Spectra, Cambridge Univ. Press, New York (1963).

(中国科学院安徽光机所 路轶群

1984年8月15日收稿)

## X 射线扫描相机的标定

**Abstract:** The interaction of laser light with plasma is described which offers X-rays directly or indirectly. The specifications as well as the calibration of the X-ray streak camera are presented. Its physical application in laser produced plasma is indicated.

激光与等离子体相互作用过程都直接或间接参与激光等离子体发射的 X 射线。其标尺长度为几微米到几百个微米，特征时间为几个微微秒到几百个微微秒。因此诊断 X 射线时间分辨过程的仪器装置必须有微微秒到几百个微微秒的时间分辨率。X 射线扫描相机就是专门为此目的设计研制的。

X 射线扫描相机正式使用前，应进行时间分辨率、动态范围、扫描线性、触发抖动和反射镜、滤光片等谱分辨装置结合进行定量强度、线性输出范围的标定。

### 1. 时间分辨率标定

X 射线扫描相机的时间分辨率定义为  $\delta X$  光源输入，相应接收讯号最大值一半处的宽度 (FWHM) 值。具体测量是把一个足够短的 X 光脉冲输入到扫描相机光阴极上，在时间分析器上显示出 X 光脉冲强度随时间的变化，由此可读出 FWHM 值。

如果扫描相机系统的时间分辨率为  $T_{ss}$ ，入射 X 光脉冲宽度为  $T_{ei}$ ，则扫描相机输出的脉冲宽度  $T_o$  为

$$T_o = (T_{ss}^2 + T_{ei}^2)^{1/2} \quad (6)$$

这里假设脉冲讯号为高斯分布。所以如果  $T_{ei}$  已

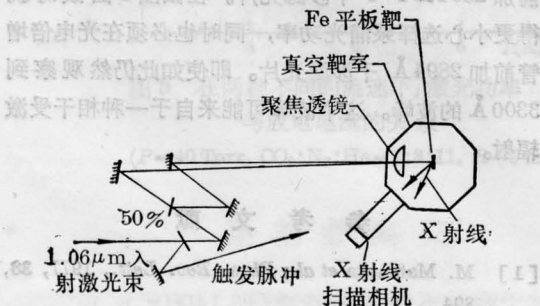


图1 X 射线扫描相机时间分辨特性标定装置

知，就可通过观测  $T_o$  值而得到 X 射线扫描相机的时间分辨率  $T_{ss}$ 。短脉冲 X 光源可由大功率激光辐照金属靶 (如 Fe, Cu, Al 等) 产生，装置见图 1。

### 2. 动态范围标定

扫描相机时间分辨率与强度相关的概念首先是由 W. Friedman 1976 年提出来的。其基本想法是增加具有恒定脉冲宽度的入射光脉冲强度，输出脉宽加宽。动态范围定义为在输入光脉冲宽度 (FWHM 值) 不变的条件下，随着输入脉冲光强增加，输出脉冲宽度增加 20%，输入光脉冲强度相应变化的值定义为 X 射线扫描相机的动态范围，见图 2。若记录输出光脉冲的元件是底片，则动态范围的下限为底片的灰雾度；如用光学多道分析器 (OMA)，动态范围的下限为 OMA 的噪声水平。当扫描相机系统具有足够高的增益，单个光电子输入就足以产生一个比噪声大得多的讯号，这时，上面谈到的定义就失去意义。实用的动态范围，下限可考虑为扫描相机最小可探测量。

扫描相机动态范围标定装置图见图 3。单个微

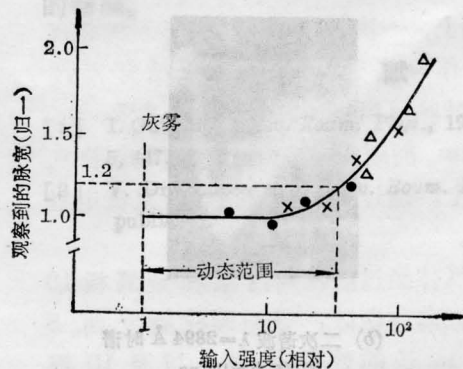


图2 X 射线扫描相机动态范围概念

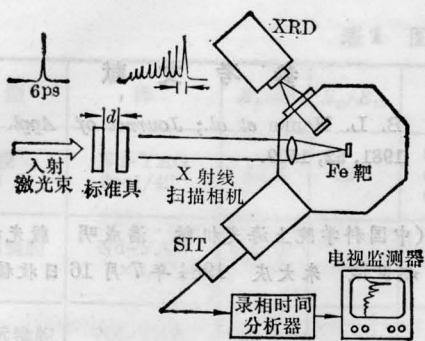


图3 X射线扫描相机动态范围标定装置

微小光脉冲输入到由二块反射镜组成的标准具，转换成具有恒定时间间隔和恒定衰减率的脉冲序列。

如果标准具的两块反射镜的间距为  $d$ ，则相邻的脉冲间隔  $\Delta t$  为：

$$\Delta t = 2d/c \quad (2)$$

用这些光脉冲序列辐照金属靶如 Cu、Al、Fe 等，设转换成 X 光的效率均为  $\varepsilon$ ，则第  $m$  个脉冲产生的 X 光强度为  $I_{mx} = I_1(R_1R_2)^{m-1}\varepsilon$ ，而强度为  $I_1$  的光脉冲转换成 X 光的强度为： $I_{1x} = T_1T_2I_0\varepsilon$ ，这里的  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $T_1$ 、 $T_2$  分别为标准具两块反射镜的反射率和透过率。若不同强度的激光转换成 X 光的效率不同，设分别为  $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 、 $\dots$ 、 $\varepsilon_m$ ，则第  $m$  个激光脉冲产生的 X 光强度可表示成  $I_{mx} = I_1(R_1R_2)^{m-1}\varepsilon_m$ ，强度为  $I_1$  的激光脉冲转换成 X 光的强度为：

$$I_{1x} = T_1 \cdot T_2 \cdot I_0 \cdot \varepsilon_1$$

标定时 X 光强度由 XRD 探测器测量。

动态范围主要由于变相管空间电荷效应而受到限制。

### 3. 定量强度标定

X 射线扫描相机定量强度标定装置见图 4。XRD 探测器与 X 射线扫描相机（包括反射镜、滤光片等谱分辨系统）与激光轴成  $45^\circ$  对称排

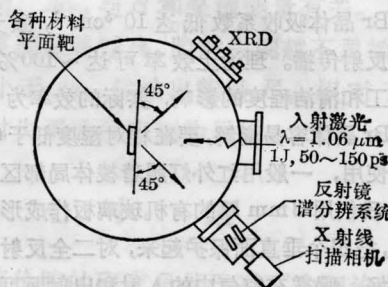


图4 X射线扫描相机强度标定装置图

列。接收系统（底片或 CCD 记录仪）上 X 光强度  $I_a$  为：

$$I_a = \frac{I_i d C_q T C_f \varepsilon}{m_x m_t U_s} \quad (3)$$

式中  $I_i$  为入射 X 光通量， $d$  为入射狭缝宽度， $C_q$  为光阴极转换效率， $T$  为变相管电子透射系数， $C_f$  为电子转化成光的荧光效率， $m_x$  为像在空间上的放大率， $m_t$  为像在时间上的放大率， $U_s$  为输出成像的扫描速率， $\varepsilon$  为探测器（底片或 CCD 记录仪）的效率。式(3)中，只有  $C_q$  与 X 光能量有关，其他参数只与扫描相机本身的结构和物理参数有关。因此可将(3)式写成：

$$I_a = A C_q I_i \quad (4)$$

式中  $A$  是除光阴极外，与扫描相机其他单元相关的常数，所谓定量标定，就是定  $A$  的大小，即

$$A = \frac{I_a}{C_q I_i} \quad (5)$$

$C_q$  由文献[1]方法单独测定； $I_i$  为入射 X 光通量，由 XRD 探测器测定。

X 光扫描相机线性输出范围标定方法同上。改变激光强度，即改变入射 X 光通量  $I_i$  的大小，测出  $A$  值随着  $I_i$  变化的线性范围。

### 4. 扫描的非线性、触发延迟和抖动

扫描速度非线性引起的畸变不仅表现在时间轴，而且影响强度值，这是因为即使输入到系统的脉冲强度恒定，由于扫描的非线性，时间轴压缩的结果，将会使强度值增加。为了标定 X 射线扫描相机扫描非线性，可按图 3 描述的那样，用标准具形成具有恒定时间间隔的激光脉冲序列打靶，激光等离子体发射的 X 光脉冲之间的间隔和激光脉冲序列的间隔一样，由此读出 X 光脉冲信号之间的距离  $\Delta X = m \pm \Delta m$ ，相应的时间间隔为  $\Delta t$ ，则扫描速度  $v = \Delta X / \Delta t$ ，扫描的非线性为  $\Delta m / m$ 。

为了使扫描成像在荧光屏中央，触发讯号必须在入射到扫描相机狭缝上的 X 光讯号之前到达。这可根据扫描速度和要求的相对时间延迟量，由输送触发讯号的光纤或电缆线的长度确定。

扫描相机在作单次测量时，触发器的抖动对测量值无影响。但对小讯号 X 光脉冲，必须多次曝光，重复迭加取平均。由于触发器的时间抖动而引起荧光屏上重复扫描像的跳跃，引起测量偏差。如果触发器的抖动 FWHM 值  $T_r$  服从高斯分布，入射 X 光脉冲的宽度为  $T_w$ ， $T_r$  为扫描相机的时间分辨率， $T$  为对足够多的输入 X 光讯号作积分后的

FWHM 值, 则:

$$T = (T_1^2 + T_2^2 + T_3^2)^{1/2} \quad (6)$$

所以触发器抖动  $T_1$  为:

$$T_1 = (T^2 - T_2^2 - T_3^2)^{1/2} \quad (7)$$

如果 X 射线扫描相机的触发器抖动小于扫描相机的时间分辨率, 则该抖动量可忽略。触发器抖动可用计算机进行补偿。

## 参 考 文 献

- [1] B. L. Henke *et al.*; *Journal of Appl. Phys.*, 1981, **52**, 1509.

(中国科学院上海光机所 潘成明 殷光裕  
赵世诚 朱大庆 1984年7月16日收稿)

# 一种红外激光位相推迟器

**Abstract:** A rhombic phase shifter is designed. It can convert CO<sub>2</sub> polarized laser light into circularly polarized laser light with ZnSe pile-of-plates as polarization analyzer. The results obtained in experiment are in agreement with those of the theory.

This element characterizing of high conversion efficiency in wide wave-length range can be applied to high power laser systems.

## 一、前言

光波位相推迟器也称为波片, 将线偏振光转换为圆偏振光的称四分之一波片。用于紫外、可见波段的波片已有商品, 但是, 适用于中红外波段的相应元件国内至今未见报道过。

P. Rabinowitz 和 A. Kaldor 等人曾报道用硒化锌多晶制作棱镜式中红外波段的 1/4 波片, 用于产生 16 μm 波长的受激氢喇曼激光系统中增加散射截面、提高喇曼增益系数、降低阈值<sup>[1]</sup>。可是, 现在国内还不能生长适合作棱镜的大块优质 ZnSe 材料。近年来, 在现有工业二氧化碳激光器上附加一个 1/4 波片产生圆偏振光束, 用于切割金属, 可以提高切割速度, 改善切缝质量。所以研制中红外光波位相推迟器是非常有实用价值的。

## 二、反射式 1/4 波片原理简介

1/4 波片能将线偏振光转换为圆偏振, 反之亦然。能够用于制造中红外波段透射式波片的材料现在还没有找到, 我们选用 KBr 单晶作成反射式 1/4 波片。根据光的电磁理论, 线偏振光以特定的角度射入晶体产生全内反射时, 在两个正交分量之间会引入相对位相差, 即平行于入射面和垂直于入射面的分量间发生位相推迟, 伴随一次全反射位相推迟 45°, 两次全内反射位相推迟 90°。如果入射光的偏振方向与入射面法线成 45° 角, 两分量振幅相等  $|A_{\parallel}| = |A_{\perp}|$ ;  $|R_{\parallel}| = |R_{\perp}|$ , 则出射光为圆偏振。

棱体的角度由位相差表达式确定<sup>[2]</sup>:

$$\operatorname{tg} \frac{\delta}{2} = \frac{\cos \theta_i \sqrt{\sin^2 \theta_i - n^2}}{\sin^2 \theta_i}$$

式中  $\theta_i$  为入射角。选用 KBr 晶体,  $n=1.5269$ ; 求得两个对应的  $\theta_i$  角:

$$\theta_{i1} = 55^\circ 54'; \theta_{i2} = 46^\circ 56'$$

任选其中之一即可。设计的六面斜方棱体如图 1 所示。

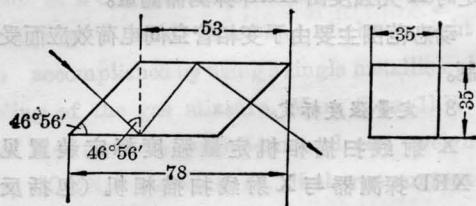


图 1

KBr 晶体吸收系数低达  $10^{-5} \text{cm}^{-1}$ , 激光在棱体内全反射传播。理论上效率可达  $\sim 100\%$ , 由于表面加工和清洁程度的影响, 实际的效率为 90%。

KBr 晶体容易潮解, 要在相对湿度低于 60% 的环境下使用, 一般用红外灯照着棱体局部区域也能防潮。我们用 3mm 厚的有机玻璃板作成形如棱体的盒子, 把四个垂直面保护起来, 对二全反射面防潮效果很好, 曝露在空气中的入射和出射面可镀透红外的氟塑料薄膜防潮。