

激光等离子体 X 光编码照相

欧阳斌 余加进 陆海鹤

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文报导应用编码相机拍摄激光等离子体 X 光空间分布的编码象, 并给出再现的结果。

多束激光辐照微球靶的向心爆聚新模型提出后, 人们对了解激光等离子体的空间分布发生了更大的兴趣。为了实现对等离子体空间分布的测量, 作者应用菲涅耳波带板, 研制了 X 光的编码相机, 拍摄了等离子体的 X 光编码象, 然后经光学信息处理, 再现和记录等离子体空间分布图象。它比针孔照相可以得到更多信息和较高的分辨率。

一、原 理

用菲涅耳半径分割圆盘, 制成透明和不透明相间的菲涅耳波带板, 如图 1 所示。当平行光束经过这种波带板作用后, 在光的前进方向某一点 P 成点象^[1]。

如图 1 所示的几何关系有:

$$l^2 + r_n^2 = \left(l + \frac{n}{2} \lambda \right)^2, \quad (1)$$

其中 n 为任意整数, λ 为光的波长。近似地, 第 n 个半径为:

$$r_n \approx \sqrt{n \cdot \lambda l}. \quad (2)$$

当入射光为平行光时, 取一级衍射^[2], 则得菲涅耳波带板的焦距

$$f = l = \frac{r_n^2}{n\lambda}. \quad (3)$$

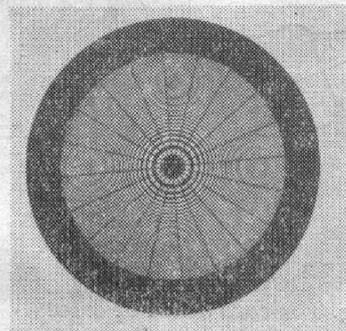
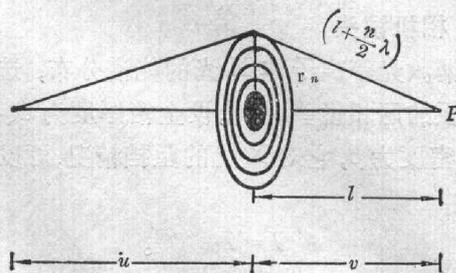


图 1 菲涅耳环带板和成像示意

Fig. 1 A fresnel ring plate and schematic imaging

收稿日期: 1983 年 1 月 22 日; 收到修改稿日期: 1983 年 3 月 19 日

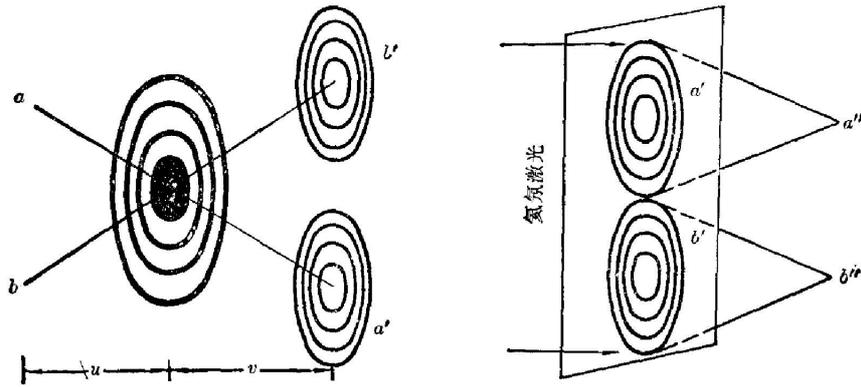


图 2 不同点源成象与再现示意

Fig. 2 Imaging of point sources and schematics of reconstruction

来自不同点的 X 光, 经过环带板(适用于 X 光波段的)编码投影, 在不同位置得到投影象。设相距为 d 的点源 a 、 b 通过环带板投影, 成象于 a' 、 b' , 如图 2 所示。若用平行相干光照射记录有 a' 、 b' 的底片, 可以获得再现点象 a'' 、 b'' , 则分辨率 δ (最小可分辨距离 d_{\min}) 为^[2]

$$\delta = 1.64 \frac{u+v}{v} \cdot \Delta r_{\min} \quad (4)$$

其中 Δr_{\min} 为环带板的最窄环宽。显然, δ 与 r_n 无关, 即编码相机的分辨率与收集面积无关; 由(2)式得: $\Delta r_n = (\sqrt{n} - \sqrt{n-1})\sqrt{l\lambda}$ 。说明当 r_1 给定之后(波带板的 $r_1 = \sqrt{l\lambda}$), 波带板的环数愈多, 最外环的环宽就愈小, 分辨率 δ 也就愈高(其值愈小)。可见, 在保证分辨率情况下, 扩大收集面积, 可以使菲涅耳编码相机有利于对弱光的测量。

二、编码相机

实验结果表明^[3], 激光等离子体 X 光的能谱分布虽然很宽, 但 X 光的光子能量在 $\sim 1 \text{ keV}$, 产额最高, 它所带的信息也极为丰富。作者选择 $8 \sim 15 \text{ \AA}$ 范围的 X 光作为工作媒质, 以诊断激光等离子体的空间分布。编码相机结构示意图如图 3 所示。

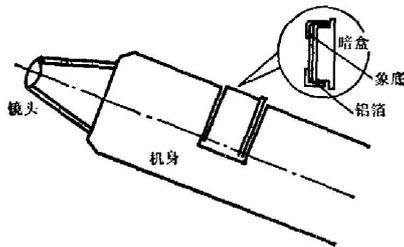


图 3 编码相机结构示意图

Fig. 3 Construction of coded image camera

1. 相机镜头

根据激光等离子体 X 光的能谱分布, 选定金作编码环带板的照相镜头材料。设金箔厚度为 d 、吸收系数为 μ 和密度为 ρ , 它对 X 光的阻挡情况, 可以用下式表示^[3]:

$$I = I_0 e^{-\mu \rho d} \quad (5)$$

由于 μ 与 X 光的波长有关, 不同波长的 X 光被阻挡的程度用透过率 T 来表示:

$$T = I/I_0 = e^{-\mu \rho d} \quad (6)$$

透过率 T 依赖于波长、厚度的变化情况, 可以用表 1 的数值表示。显然, 当厚度 $d > 1 \mu\text{m}$,

8~15 Å 范围的透过率只有万分之一以下,可以认为全被阻挡。用这样厚的金箔,已经可以刻蚀出较为理想的波带板。

被测等离子体的线度,一般在 100~300 μm 范围,选用 $r_1=100 \mu\text{m}$, 74 环,最小的环宽 $\Delta r_{\min}=5.83 \mu\text{m}$, 已经可以得到合适的分辨率。实验中取 $u=10 \text{mm}$, $v=30 \text{mm}$, 用(4)式可算得分辨率为 13 μm。

2. 暗盒

所用的暗盒在迎光方向留的窗口,选择铝箔作封闭材料,以屏蔽可见光,而透过 X 光。它的厚度应根据实验要求作认真考虑,以便获得 8~10 Å 的 X 光有较大的透过。

铝箔的透过率与 X 光波长、厚度关系列于表 2。从表 2 可见,3 μm 的铝箔和 7.4 μm 的铝箔都适合于实验选定的波长。

表 1 金箔透过率(%)与波长、厚度关系

Table 1 The relationship between transmissivity of Au-foil with wavelength and thick

金厚度 \ 波长 Å	4	6	8	10
0.5 μm	12.3	22.9	1.0	0.21
0.8 μm	3.5	9.5	0.06	0.01
1.0 μm	1.5	5.3	0.01	0.005
5.0 μm	0	0	0	0

表 2 铝滤片的透过率表(%)

Table 2 Transmissivity of Al-filter

X 光波长 Å \ 铝厚度	7 (1.77 keV)	8 (1.55 keV)	9 (1.38 keV)	10 (1.24 keV)	15 (0.83 keV)	20 (0.62 keV)
3 μm	8	27	69	60	20	0
7.4 μm	0.3	5.1	39	28	2	0

3. 拍摄编码环象

应用编码相机,在激光等离子体物理实验中,进行了近百次的拍摄,取得了有意义的照片。实验安排示于图 4。

激光以水平方向辐照靶球,编码相机置于与激光束成 45° 的方向。钎玻璃激光器在 100 ps 时间里输出 5 J 左右的能量,功率密度为 $10^{14} \text{W}/\text{cm}^2$ 量级;所用的靶主要有玻璃壳微球,线度在 100 μm 左右,壁厚为 $1 \mu\text{m} \pm 0.1$ (也用平面靶等);底片选用 21 定国产全色片。实验中拍得的等离子体 X 光编码象放大后的照片示于图 5。

4. 图象再现

拍取的编码象反演再现,可以得到激光等离子体的真实分布图象,如图6(a)所示。它是图5照片再现所得到的。图6(b)是图6(a)的黑度分布曲线。

从图6可知,等离子体发射的X光范围约为 $300\mu\text{m}$ 。由于编码相机是时间累积式的,因此,这里所说的发光范围 $300\mu\text{m}$ 是指激光打靶时,每一束脉冲光产生的等离子体存在时间上的累积。从黑度分布曲线明显地看出,X光分布不均匀,对应的等离子体分布也不均匀。这可能是激光能量空间分布不均匀,或是相互作用特殊机理所引起,有待结合其它数据作进一步研究。

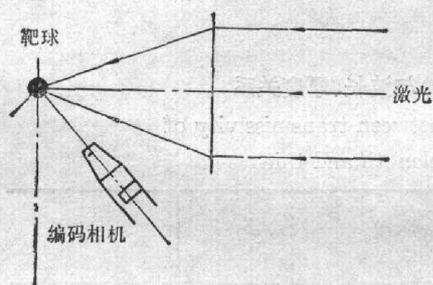


图4 实验排布示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the experimental arrangement

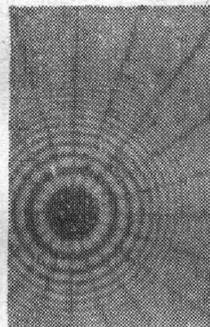
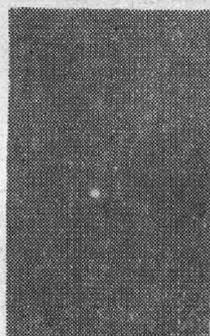
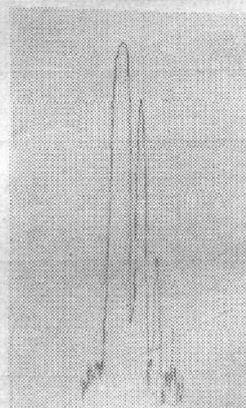


图5 等离子体X光编码象

Fig. 5 Coded imaging of the plasma X-ray



(a)



(b)

图6 反演再现的等离子体空间分布

Fig. 6 Reconstructed image of spacing distribution of plasma

(a) reconstructed image of plasma;

(b) curve of darkness for reconstructed image

5. 小结

就空间分辨率看,实验中设计的编码相机是合适的。环带板的刻蚀是提高编码相机分辨率(从而提高测量等离子体空间分布分辨率)的关键。但重现中选用高级衍射“焦点”,同样也可提高测量等离子体空间分布的分辨率。

本工作在激光等离子体实验室进行,并得到六路运行组的大力支持,谨表谢意!工作中

曾得到邓锡铭教授、徐至展副研究员的支持和帮助;上海电子电器元件厂高才伦同志和上海冶金所詹千宝、傅新定同志为我们研制环带板给予的协作,在此一并致谢!

参 考 资 料

- [1] 母国光等;《光学》, (人民教育出版社, 1979年3月), 267~285.
- [2] H. H. Barrent, F. A. Horrigan; *Appl. Opt.* 1973, **12** No.11 (Nov), 2686.
- [3] 欧阳斌, 余加进;《核电子学探测技术》, 1982, **2**, No.6 (Nov)37.

X-ray coded imaging for laser-plasma diagnostics

OUYANG BIN YU JIAJIN AND LU HAIHE

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 12 January 1983, revised 19 March 1983)

Abstract

The fresnel coded zone plate imaging for diagnostics of the spacing distribution of plasma is reported. A few results of using this technique are given.