

# 高温材料自发射观察

丁耀南 杨家敏 郑志坚 王耀梅 于燕宁

(西南核物理与化学研究所, 成都525信箱77分箱, 610003)

**摘 要** 为研究高温材料特性, 设计并进行了特种靶激光打靶实验, 观察到了 $C_8H_8$ 碳氢有机膜样品的自发射, 初步给出了用透射光栅谱仪测得的高温样品材料的自发射能谱。

**关键词**  $C_8H_8$ 有机膜 自发射能谱 透射光栅谱仪

高温物态系统存在于自然界星体和惯性约束聚变等过程中。对于高温材料特性的研究既具有物理学的基础意义又具有重要的应用需求背景。例如, 高温稠密等离子体的不透明度, 作为基础, 它表征高温材料对于辐射的吸收、衰减特性, 是重要的物态参数; 作为应用需求, 它将确定高温物态系统的辐射能量输运和能量分配(例如间接驱动中靶丸和腔壁的能量分配)。长期以来, 由于缺乏实验室研究手段, 人们难以对高温物态特性进行实验研究。随着强激光技术和激光等离子体物理研究的发展, 实验和理论很快就证实, 强激光束靶相互作用将产生强的X光辐射场并可把介质材料加热到高温。这就为实验室研究高温物态特性提供了一种可能途径。自八十年代中以来, 美、英、日、德等国都根据自己的条件积极开展了高温材料特性、高能密度物理领域的研究, 尤其是重要高温物态参数及其相关高温物态自发射的研究<sup>[1-4]</sup>, 我们也在该领域开展过辐射热波的研究<sup>[5]</sup>。

自发射是高温物态的一种基本属性, 它也往往是实验研究辐射不透明度等遇到的重要而困难的问题之一。热动平衡系统的辐射能谱呈普朗克分布, 我们可以用辐射温度这个特征物理量唯一地确定其辐射特性。实际上, 实验室利用强激光创造的高温物态系统往往并非理想的热动平衡系统, 其辐射能谱将偏离普朗克谱且与材料特征有关, 对于不同材料的自发射, 需要进行研究。我们设计特定的激光打靶实验, 对碳氢有机膜样品( $C_8H_8$ )的自发射进行了观察, 首次获得了样品自发射能谱。本文介绍我们观察自发射的实验设计与实验结果。

## 1 实验设计与束靶探测器安排

实验采用特种腔靶结构, 设计思想如图1所示。特种腔靶为 $\Phi 300\mu m$ 的金全筒接 $\Phi 300\mu m$ 的金半筒(瓦状)。金半筒一侧开诊断孔, 在诊断孔上贴以样品( $C_8H_8$ 碳氢有机膜)。为对照比较研究自发射, 还安排有诊断孔不贴样品的靶。强激光由金全筒前端斜入射注入特种腔靶, 在金全筒腔内壁产生X光辐射, 经腔效应约束增强后, 以腔X光辐射加热置于靶腔侧壁诊断孔的样品材料, 使其达到高温。如图1所示, 选择特定的观察方向AB, 避开激光入射区产生的初始X光辐照源, 即可观察高温样品的自发射。特种靶全筒、半筒长度及样品位置由所用靶室的结构, 探测器、束、靶几何确定。束、靶、探测器安排如图2所示。激光束以 $63^\circ$ 角入射于靶内壁, 产

国家863惯性约束聚变领域资助项目。

1997年3月17日收到原稿, 1997年10月10日收到修改稿。

丁耀南, 男, 1941年11月出生, 研究员。

生的 X 光加热样品材料。实验采用透射光栅谱仪测量自发射能谱, 用 X 光针孔相机同时监测激光注入口与样品的自发射信号。 $D_1$  为透射光栅谱仪, 位于与激光束成  $45^\circ$  的方向。所用光栅为 1050 线/毫米的金材无衬底光栅。由光栅参数和谱仪几何确定, 对于样品能谱测量的谱分辨率为  $0.5\text{nm}$ 。 $D_2$  为 X 光针孔相机, 位于靶前端与靶腔轴向约成  $18^\circ$  角, 由成像几何确定, 空间分辨率约  $12\mu\text{m}$ 。

实验是在星光 II 高功率钕玻璃三倍频激光装置上进行的。激光束波长  $0.35\mu\text{m}$ , 实验期间激光器件实际运行能量  $4.6\text{J}$  至  $16.8\text{J}$ , 脉宽  $725\text{ps}$  至  $520\text{ps}$ 。

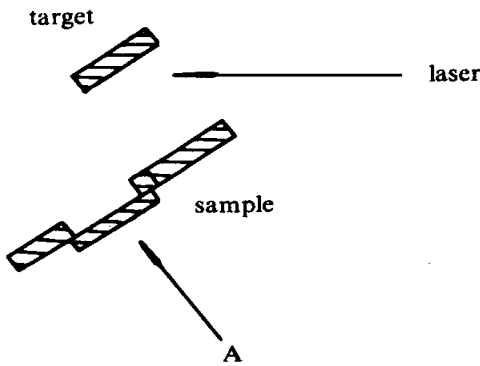


Fig 1 Design of experimental principle and special target

图1 实验设计与特种腔靶示意图

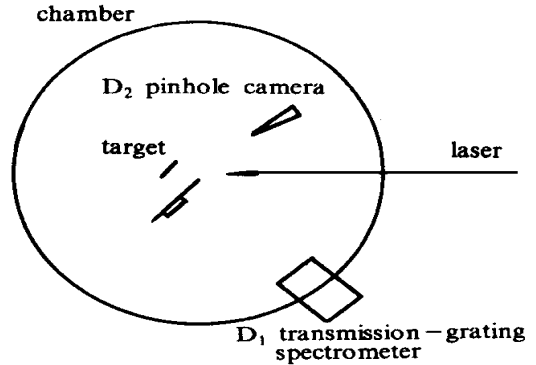


Fig 2 Schematic representation of the experimental arrangement

图2 束靶探测器布置示意图

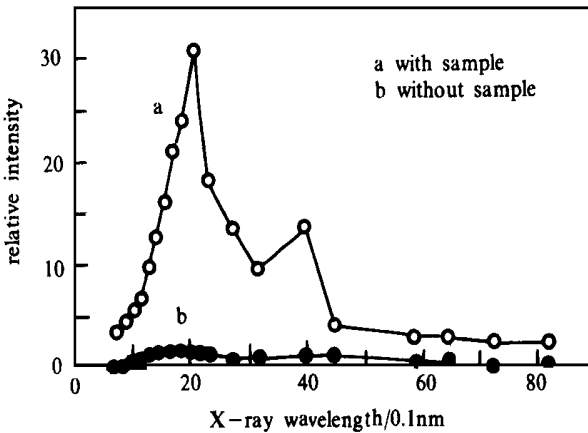


Fig 3 The spectra obtained from diagnostic hole with and without sample

图3 诊断孔有、无样品条件下得到的辐射谱

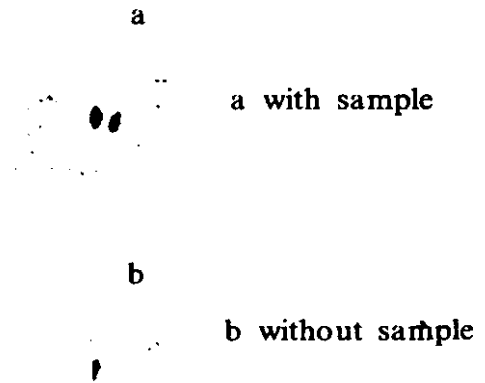


Fig 4 The images of emission obtained by means of pinhole camera

图4 针孔相机测得的辐射图象

## 2 实验结果与分析

在注入特种腔靶的激光能量为  $4.6\text{J}$ 、脉宽为  $725\text{ps}$  的条件下, 用透射光栅谱仪测得厚度为  $1\mu\text{m}$  的碳氢有机膜样品的能谱如图3中谱线 a 所示。同一发打靶, 侧向 X 光针孔相机观测到的相应图象如图4(a)所示。可以看到, 图4(a)所示的图象有两个发光点。为了分析和确认测得的

能谱和图象, 我们又采用诊断孔不贴样品的特种腔靶进行打靶试验。在激光注入能量为40.4J、脉宽为645ps的条件下, 透射光栅测得来自无样品诊断孔的辐射能谱如图3中谱线b所示。可以看到, 与谱线a相比, 谱线b明显减弱。同一发打靶, X光针孔相机测得的图象如图4(b)所示, 可以看到, 此条件下只有一个发光点。实验结果具有重复性。

由于我们给出的有、无样品的实验结果获自相近的入射激光条件, 故我们可以进行对照比较确认自发射信号。与有样品情况相比, 透射光栅测得无样品情况的辐射强度大大减弱, 表明透射光栅视角确实避开了辐射源区, 实现了实验设计的物理思想, 测得的辐射来自诊断孔样品。针孔相机测得有样品情况的两个发光点正好与激光入射口与诊断孔样品的辐射相对应。对于无样品情况, 透射光栅测得弱的辐射信号, 针孔相机未测到, 这个现象, 可以认为弱的辐射信号主要来自于靶内腔效应等离子体会聚碰撞区, 它能进入透射光栅的视角而被记录, 然而在针孔相机的视角内, 辐射被厚腔壁阻挡, 因而针孔相机探测不到。图4(b)的发光点为激光入射口辐射信号。由图3可见, 有样品比无样品条件下的辐射强度大得多, 作为样品自发射研究, 我们可以把无样品条件下测得的辐射谱信号当作本底或噪声。扣除本底、噪声, 我们得到的自发射谱如图5所示。

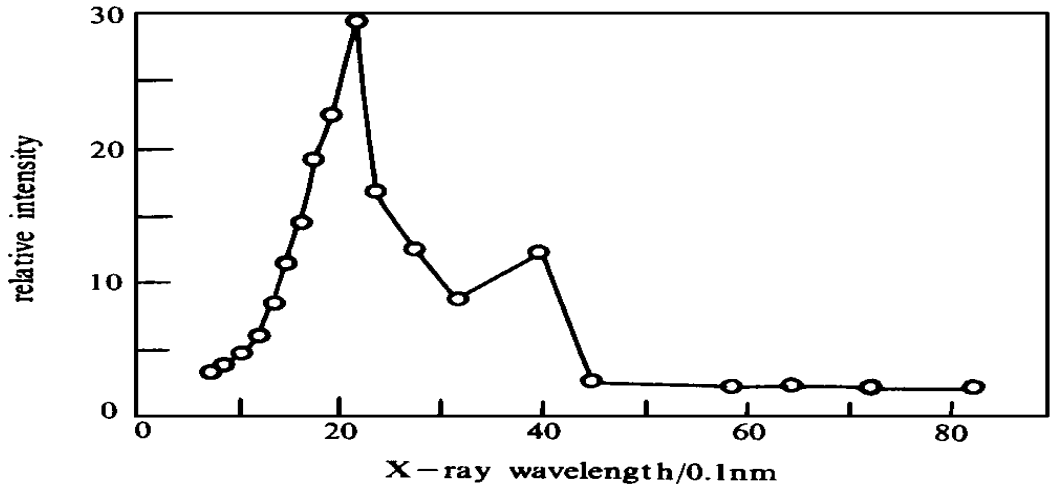


Fig. 5 Self-emission spectrum for  $C_8H_8$  sample

图5  $C_8H_8$ 样品自发射能谱

### 3 结论

我们把强激光注入特种腔靶, 以腔靶软X光辐射烧蚀、加热置于腔侧壁诊断孔上的 $C_8H_8$ 碳氢有机膜样品, 首次观测到了样品的自发射信号, 得到了高温样品材料的自发射能谱。它对于高温材料特性、辐射不透明度等的研究具有积极意义。得到的自发射谱与普朗克谱有偏离, 表明在本实验条件下样品并非处于理想的热动平衡状态, 其自发射并非是与材料无关的温度辐射。进一步的研究需待进行更多的实验并配合理论研究。对不同样品及其温度、密度等进行相关研究。

致谢 感谢星光II高功率激光装置上为我们的实验付出辛勤劳动、作出智慧贡献的科技工作者; 感谢核物理与化学研究所靶工艺研究室为我们精心研制了实验用靶, 感谢我科研所、室领导和广大科技工作者的支持、安排和帮助。

### 参考文献

- 1 Fo L B. Ides *et al Phys Rev E*, 1994, **50**: R690
- 2 W inhart G *et al Phys Rev E*, 1996, **53**: R1332
- 3 Libby S B. E&TR, 1994, Dec : 23
- 4 Sigel R *et al Phys Rev A*, 1992, **45**: 3987
- 5 丁耀南等 强激光与粒子束, 1996, **8**(1): 83

## EXPERIMENTAL OBSERVATION OF SELF-EMISSION FROM MATERIAL IN HOT DENSE

Ding Yaonan, Yang Jiamin, Zheng Zhijian, Wang Yaomei, and Yu Yanning

*Southwest Institute of Nuclear Physics and Chemistry, P. O. Box 525, Chengdu, 610003*

**ABSTRACT** Some experiments were designed and performed to investigate the self-emission which is a basic nature for a material in hot dense and important in ICF and high-energy-density physics. The idea of novel design for targets and diagnostics arrangement and the experiments performed on Xing Guang laser facility are presented briefly. As a result, the self-emission of C<sub>8</sub>H<sub>8</sub> sample has been observed and the self-emission spectrum of C<sub>8</sub>H<sub>8</sub> sample is given.

**KEY WORDS** C<sub>8</sub>H<sub>8</sub> film, self-emission spectrum