

文章编号 1004-924X(2011)12-2821-07

用修正双晶技术诊断激光等离子体 X 射线极化度

王洪建^{1,3*}, 肖沙里², 施 军²

(1. 重庆工商大学 重庆市发展信息管理工程技术研究中心, 重庆 400067;

2. 重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400030;

3. 中国工程物理研究院 流体物理研究所 冲击波物理与爆轰物理重点实验室, 四川 绵阳 621900)

摘要:研制了激光等离子体极化光谱仪,用于诊断波长为 0.2~20 nm 的激光等离子体 X 射线的极化度并推断等离子体内部的各向异性状态。设计的谱仪在电子束垂直入射面内正交布置的色散元件均为 PET 晶体,两通道均用成像板接收光谱信号,其有效面积为 30 mm×80 mm,从光源经晶体到成像板的光程分别为 980 mm 和 310 mm。在中国工程物理研究院激光聚变研究中心 20 J 激光器上进行固体靶实验,获得了 Al 离子类氢谱线,经过对类氢共振线和互组合线校正,推算出两谱线的极化度分别为 0.123 3 和 0.148 1。结果表明,激光等离子体内部存在弱各向异性,该谱仪适用于激光等离子体极化光谱的诊断。

关键词:极化光谱仪;光谱测量;X 射线诊断;激光等离子体;极化度

中图分类号:TH744.15;TL653 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20111912.2821

Diagnosis of X-ray polarized spectrum of laser-produced plasma by modified double-crystal method

WANG Hong-jian^{1,3*}, XIAO Sha-li², SHI Jun²

(1. Chongqing Engineering Technology Research Center for Information Management in Development, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;

2. Key Laboratory of Opto-electronic Technology and System, Ministry of

Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 3. National Key Laboratory of Shock Wave and Detonation Physics, Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

* Corresponding author, E-mail: whj_cqu@163.com

Abstract: A polarized spectroscopy was designed and manufactured based on the laser-produced plasma experiments to diagnose the X-ray polarization of a laser-produced plasma in 0.2–20 nm. The experiment was performed at the 20 J laser facility in Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics (CAEP). In the experiment, Poly Ethylene Terephthalate (PET) crystals were used as dispersive elements in the two orthogonal directions and the imaging plates with the effective area of 30 mm×80 mm were taken as detectors. The optical paths of the X-ray beam were about 980 mm and 310 mm from the source to the detectors via the PET crystals, respectively. The X-ray spectrum emitted from the aluminum plasmas was recorded

收稿日期:2011-04-19;修订日期:2011-06-21.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 11075226);重庆市科委自然科学基金资助项目(CSTC, 2010BB4250);重庆工商大学博士科研启动基金资助项目(2011-56-04)

by the image plates. It shows that the polarization of the two Al XIII spectra are about 0.123 3 and 0.148 1 after correcting helium resonance and combination spectrum. The experimental results demonstrate that there is anisotropic phenomenon in the laser-produced plasma, and the proposed method is effective to diagnosis of the polarized spectrum of high-temperature plasma.

Key words: polarized spectrometer; spectral measurement; X-ray diagnosis; laser-produced plasma; polarization

1 引言

激光产生高温等离子体辐射的 X 射线包含着十分丰富的信息,如等离子体温度、密度、离化度、极化度、不透明度以及各种输运波动和不稳定性等参数,其中极化度作为反映等离子体内部各向异性的主要物理参数,可以辅助校验等离子体密度、温度等基本参量,是激光等离子体 X 射线极化光谱诊断的重要研究内容^[1-3]。极化光谱主要研究对象是离子-电子碰撞产生的光谱,极化 X 射线对电子分布及磁场非常敏感,能够提供等离子体各向异性的信息。

美国 Beiersdorfer 等人^[4]利用“双晶技术”测量了极化光谱,其结构是在与入射电子束垂直的面内,正交布置 LiF(220)和 Si(220)球面弯曲晶体。Clothiaux 等人^[5]先利用 SiO₂ 晶体(2d=0.851 nm)和胶片测量了 Al 等离子体类氦谱线,然后将晶体旋转 90°打靶,再测量其谱线,计算出类氦谱线极化度为+0.50。日本 Hitoki Yoneda 等人^[6]利用两片正交的邻苯二甲酸氢钾(KAP)平面晶体在皮秒 KrF 激光器上同时测量 CF₂ 靶,利用电子速度分布函数(Electron Velocity Distribution Function, EVDF)的各向异性测得单色电子束的极化度为+0.25。Tohru Kawamura 等人^[7]在超激光等离子体中对快电子跃迁各向异性导致辐射极化进行了研究,预测了浓度密集区(100 倍于临界密度)呈弱极化,低密区(10 倍于临界密度)呈强极化。德国 F. Walden 等人^[8]利用两片 Johann 型结构的磷酸二氢钾(ADP)晶体(2d=1.064 8 nm)在微箍缩上实验测得 Al 类氦共振线极化度为 0.12。中科院赵孟春^[9]基于国外学者的相关实验从原理上分析了离子与原子碰撞产生极化光谱的机理。

本论文针对两通道光程、立体角不同的特点,提出了修正双晶诊断激光等离子体极化度的方

法,采用两片正交的季戊四醇(PET)晶体和成像板,研制出两通道不等的极化晶体谱仪,在 20 J 激光装置上进行极化光谱物理实验,推算出 Al 离子类氦共振线的极化度为 0.123 3,反映了 Al 激光等离子体内部存在弱极化性,与理论值相吻合。

2 修正双晶光谱诊断方法

与测量角矢量辐射法(Measure Angular Emission)^[10]、旋转分光计法(Rotatable Spectrometer Technique)^[11]相比,双晶技术因可以直接测量光谱分量,或者分解光谱分量而更适合高温等离子体极化光谱诊断。其光路设计简单,几何光路原理如图 1 所示。其中 E_π, E_σ 分别代表极化 X 射线两方向的电场, π 光强度 I_π (正比于 E_π^2)是 X 射线平行于电子运动方向的分量,它起源于原子转换试验, $1s2p^1 P_1 \rightarrow 1s^2^1 S_0 + h\nu, \Delta M=0$ 。 σ 光强度 I_σ (正比于 $E_{\sigma-x}^2, E_{\sigma-y}^2$)是垂直于电子运动的分量^[12], $\Delta M=\pm 1$ 。

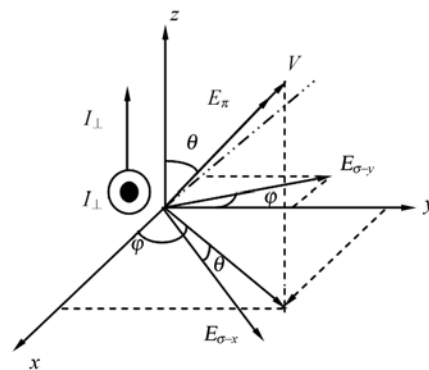


图 1 电子传播轴与观察方向的几何结构关系图

Fig. 1 Geometrical relationship of propagation axes of fast electrons and direction of sight.

当电子速度与给定轴 z 有一个方向角时,离子与电子碰撞激发辐射的极化度是可以实际计算的。假如谱线与 z 轴成夹角 θ ,其极化度 P 定义

为^[6,13-15]:

$$P = \frac{I_{//} - I_{\perp}}{I_{//} + I_{\perp}}, \quad (1)$$

式中, $I_{//}$ 和 I_{\perp} 分别是平行和垂直方向的光谱分量强度:

$$I_{//} = (E_{\pi} \cos \theta - E_{\sigma-x} \sin \theta)^2, \quad (2)$$

$$I_{\perp} = (E_{\pi} \sin \theta \cos \varphi + E_{\sigma-x} \cos \theta \cos \varphi - E_{\sigma-y} \sin \varphi)^2. \quad (3)$$

因为坐标系量化轴平行于快电子运动方向, $I_{//}$ 、 I_{\perp} 具有相似的传播。假设大量电子温度足够低而不能在原子 K 壳跃迁起主要作用, $I_{//}$ 和 I_{\perp} 作为观察结果能用快电子的 EVDF 积分进行近似计算。

将与目标表面相互正交的散射面定义为“H”, 即测量得到 X 射线的垂直分量, 用 I_H 表示; 而与它垂直的散射面为“V”, 即测量得到 X 射线的水平分量, 用 I_V 表示。从图 1 可以看出, $I_{//}$ 和 I_{\perp} , I_H 与 I_V 仅是相对而言。假定 EVDF 为束状, 轴线与目标表面垂直。 $I_{//}$ 和 I_{\perp} 可以用布置在 V 和 H 方向的成像板、胶片等探测器测量:

$$\begin{cases} I_{//} = \frac{I_V - I_H \cos 2\theta}{1 - \cos^2 2\theta} \\ I_{\perp} = \frac{I_H - I_V \cos 2\theta}{1 - \cos^2 2\theta} \end{cases}, \quad (3)$$

式中, θ 为 X 射线发生衍射条件的 Bragg 角。

当 $\theta = 45^\circ$ 时, 即满足布儒斯特定律, 则 $I_{//} = I_V$, $I_{\perp} = I_H$, 可直接根据式(1)计算其极化度, 而且这种情况下的 X 衍射极化度值最大。然而根据 Bragg 条件^[1] (Bragg Law), 很难出现这种特殊角。因为 Bragg 条件:

$$n\lambda = 2d \sin \theta, \quad (4)$$

式中, λ 是入射 X 射线波长; d 是晶面间的距离; θ 是 Bragg 衍射角; n 是反射级次, 为正整数。

n 一般取 1, 当待测特征谱线波长和晶面间距 $2d$ 确定后, X 射线的掠入射 Bragg 角就固定了, 往往不是特殊角 (如 45° , 90° , 135°)^[1], 特别是缺少能够分离水平和垂直光谱分量的儒斯特角, 这样所测量的光谱分量往往包括这两种分量。此外, 由于激光实验装置需真空态, 靶室腔体及法兰接口位置不允许任意安装晶体分析器, “双晶”的两光路光程也往往不等, 导致立体角也不等, 故在实际诊断中需对两测量光谱进行修正。

Robbins 等人^[13]以辐射不受极化影响的谱线

为基础进行归一化处理, 推断出线辐射极化度, 如铝离子类氦共振线按禁戒线 z 的强度进行归一化。因为禁戒线 z 仅受电子层叠跃迁而导致弱极化, 其极化度比其它特征谱线的值低 2~3 个数量级^[14]。类氦共振线 w 和互组合线 y 的光谱强度, 均按禁戒线 z 的光谱强度归一化处理, 如式(5):

$$\mathbf{A} = \mathbf{B} \begin{bmatrix} I_V^z & 0 \\ 0 & I_H^z \end{bmatrix}, \quad (5)$$

式中, \mathbf{A} 为试验所测量光谱分量的强度, 表示为 $[I_V, I_H]$, \mathbf{B} 为其归一化后的强度, 表示为 $[I_V', I_H']$ 。

由于两通道衍射晶体和探测器相同, 所以晶体积分衍射系数、几何因子和探测器的响应效率也相同, 忽略掠入射的不同立体角影响, 将主要类氦特征谱线按弱极化谱线强度进行归一化处理, 根据式(3)可获得相对强度的 $I_{//}'$ 和 I_{\perp}' , 再按式(1)处理获得极化度。

3 实验及结果分析

3.1 实验

实验在中国工程物理研究院激光聚变研究中心 20 J 激光装置上进行, 该装置的单束激光最大能量为 10 J, 靶室内的直径为 800 mm。通过法兰口, 三倍频激光束聚焦于真空靶室内的固体平面靶表面, 产生高温、高密激光等离子体, 形成高剥离态热等离子体光源^[16]。靶的纯度为 99.99%, 焦斑直径为 200 μm , 激光脉宽为 800 ps^[17]。

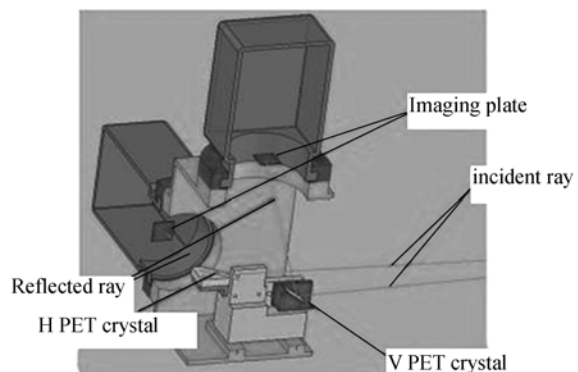


图 2 极化谱仪 3D 设计示意图

Fig. 2 Schematic of 3D polarized spectroscopy

按传统方法单通道或上下对称布置的晶体光谱仪^[16], 仅能测量单一方向的光谱, 不能同时测

量正交方向光谱分量,而利用“双晶技术”原理设计的极化晶体光谱仪,结构新颖、布置灵活,其色散元件为两片正交布置的 PET 平面晶体,如图 2 所示。试验靶材为金属 Al 平面靶,面积为 10 mm×10 mm。入射激光垂直入射靶平面,靶平面与两晶体分析器平面成±45°。Al 类氦共振线 ω 的波长为 0.774 8 nm,PET(002)晶体的晶格常数 $2d$ 为 0.874 2 nm,按 Bragg 条件,X 射线在晶体上的衍射角为 62.6°。在谱仪箱体的水平和垂直方向的端口安装基于磷光剂成像技术的成像板 (Imaging plate, IP)^[18],其有效面积均为 30 mm×80 mm。在 20 J 激光装置上试验,受靶室法兰口数量限制,设计 H 和 V 方向的光程分别为 980 mm 和 310 mm。当分子泵抽空气,使靶室真空度达到 4.0×10^{-2} Pa 时,用单束激光轰击 Al 靶,完成 3 次有效试验,其激光能量分别为 5.75 J,6.39 J 和 6.78 J,在 H 和 V 方向分别获取 Al 离子光谱信号,经过数字图像技术处理,结果如图 3 所示。

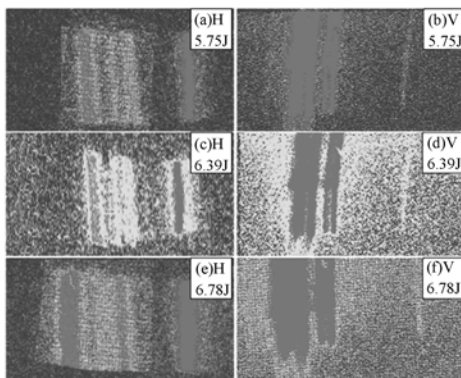


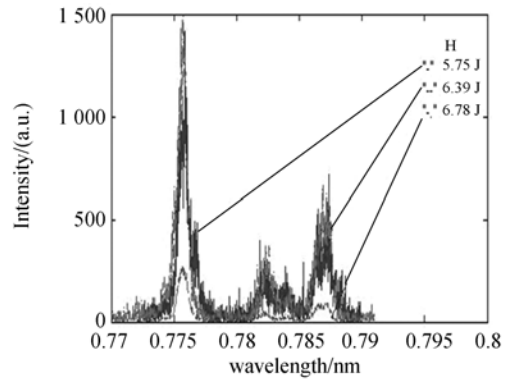
图 3 激光 Al 靶谱线强度分布图(H 方向光程为 980 mm,V 方向光程 310 mm)

Fig. 3 Crystal spectra of Al target in laser-produced plasmas(paths are 980 mm in H direction and 310 mm in V direction)

3.2 实验结果分析

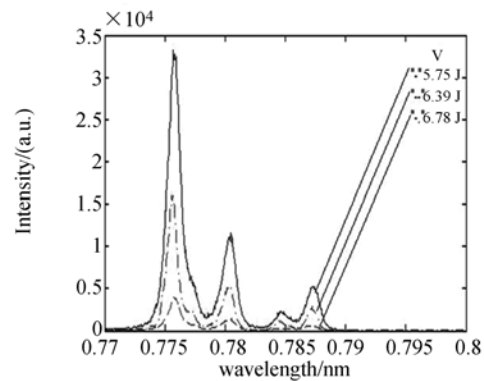
根据类氦共振线 ω 和禁戒线 z 的特征谱线波长,用 WinView32 等软件对图 3 解谱标识来反映光子强度与波长的关系,如图 4。很显然,V 方向测量的光谱强度明显强于 H 方向测量的光谱强度,相差一个数量级。其中类氦共振线 $\omega(1s^2 - 1s2p^1 P_1)$ 在 H 和 V 方向的光谱强度在相同的衍射晶体和探测器条件下,因两通道的光程、立体角不同出现了较大差异,故需对两方向测量的光

谱强度进行校正,以获取光源真实发射谱。按照修正双晶极化诊断法,因禁戒线 $z(1s2s^3 S_1 - 1s^2 - 1S_0)$ 受电子层叠跃迁而弱极化,其它特征谱线按其进行归一化处理,推算出的 Al 类氦共振线和互组合线极化度分别为 0.123 3 和 0.148 1,见表 1。



(a)H 方向的光谱强度

(a)Spectral intensity in H direction



(b)V 方向的光谱强度

(b)Spectral intensity in V direction

图 4 Al 类氦谱线强度分布图

Fig. 4 Typical spectra from the polarization spectrometers

表 1 类氦 ω 和 y 的极化度

Tab. 1 Polarizations of He-like ω and y

polarization	Experiment			Theory	Experimental Average
	5.75 J	6.39 J	6.78 J [Refs:8,12,18]	0.12	
P_ω	0.140 7	0.110 7	0.118 4	0.12	0.123 3
P_y	0.152 3	0.156 3	0.135 8	-0.14	0.148 1

本次试验共振线极化度 P_ω 与文献[17]的结果存在明显差异,因为文献[17]采用两种不同材料、不同结构晶体(PET 平面晶体和 Mica 球面弯

晶),其积分衍射率、传输函数、几何因子等不同,所以在忽略这些因素下推算其极化度存在较大误差。而本试验通过对特征谱线进行校正,反映了激光驱动 X 射线真实发射谱,从而推算出的等离子体极化度更逼近真实值。其中,类氦共振线 ω ($1s^2\ ^1S_0 - 1s2p^1\ P_1$) 的极化度平均值为 $+0.123\ 3$, 低于 Beiersdorfer^[4] 和 Inal M. K.^[19] 等在电子束离子阱 (EBIT) 装置上实验的极化度值,仍在 Yuichi Inubushi^[20] 和 Kieffer^[15] 激光 Al 靶等离子体所测极化度范围内。前者所实验的 EBIT 装置能量可控,被誉为诊断光谱极化度的最佳工具^[4],而后者所用激光装置仅为常规工具。20 J 激光装置与 Kieffer^[15] 激光装置都是单束激光轰击 Al 靶,具有很强的相似性,故所诊断得到的类氦谱线极化度理论上应该与 Kieffer^[15] 结果类似,而实验诊断结果也如此,且与 F. Walden 等人^[8] 在微箍缩上的实验结果 (0.12) 几乎相等。

由于 Al 类氦磁四极 M_2 谱线 x ($1s^2 - 1s2p^3\ P_2$) 和互组合线 y ($1s^2 - 1s2p^3\ P_1$) 波长非常接近,分别是 0.780 4 nm 和 0.780 7 nm,而 PET 晶体空间分辨率低,衍射后很难分辨这两条谱线^[16]。从文献[8, 15]可知,按互组合线 y 校正。类氦互组合线 y ($1s^2\ ^1S_0 - 1s2p^3\ P_1$) 极化度平均值为 $+0.148\ 1$, 与 Inal M. K. 等^[19] 的实验极化度值在数值上非常接近,但符号相反。从文献[15]可知互组合线存在超精细和非超精细结构,超精细结构影响 y 线的极化度,趋于不极化,而非超精细结构的极化度比超精细结构的极化度变化大,这可能与极化度符号相反有关,如图 5 所示。

参考文献:

- [1] 王淦昌、王淦昌全集第 4 卷,惯性约束核聚变[M]. 石家庄:河北教育出版社,2004.
WANG G CH. 4th Wang Ganchang Collection, Inertial confinement fusion[M]. Shijiazhuang: Hebei Education Press, 2004. (in Chinese)
- [2] 孙景文,高温. 离子体 X 射线谱学[M]. 北京:国防

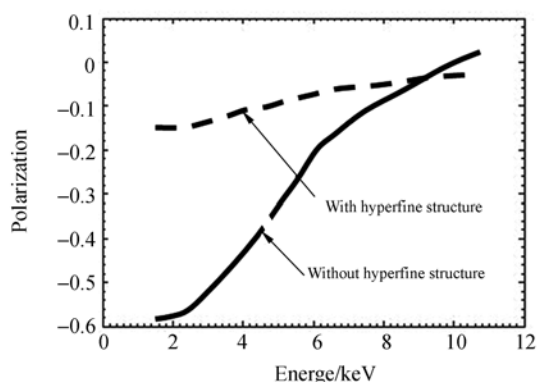


图 5 超精细结构和非超精细结构的铝类氦 y 线极化度值

Fig. 5 Polarization fraction P_0 calculated for the Al y line with and without hyperfine structures

4 结 论

激光等离子体的极化度物理参量能够反映激光等离子体内部各向异性情况,对于间接驱动点火具有非常重要的意义。本文探索了激光等离子体极化光谱诊断的实验方案,提出了修正双晶诊断的方法。根据该方法研制出激光等离子体极化光谱仪,在中国工程物理研究院 20 J 激光器上进行实验,获得了铝离子类氦共振线和互组合线,经修正其辐射强度,推断它们极化度分别为 $P_\omega = +0.123\ 3$ 和 $P_y = +0.148\ 1$, 与激光等离子体 X 射线的极化度理论值吻合。实验结果显示铝激光等离子体内部存在弱各向异性,该极化谱仪适合激光等离子体极化度物理参量的诊断。

5 致 谢

感谢中国工程物理研究院激光聚变研究中心“20 J 激光装置”运行组全体同志的大力支持。

工业出版社,2003.

SUN J W, GAO W. High Temperature Plasma X-ray Spectroscopy[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2003. (in Chinese)

- [3] 江少恩,丁永坤,缪文勇,等. 我国激光惯性约束聚变实验研究进展[J]. 中国科学 G 辑, 2009, 39 (11): 1571-1583.

JIANG SH E, DING Y K, MIAO W Y, et al. Re-

- cent progress of inertial confinement fusion experiments in China [J]. *Science in China (Series G: Physics, Mechanics & Astronomy)*, 2009, 39(11): 1571-1583. (in Chinese)
- [4] BEIERSDORFER P, CRESPO LO'PEZ-URRUTIA J, DECAUX V, *et al.*. Polarization spectroscopy of X-ray transitions from beam-excited highly charged ions[J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 1997, 68 (1): 1073-1077.
- [5] CLOTHIAUX E J, OKS E, WEINHEIMER J, *et al.*. Measurement of the polarization of line profiles in the X-ray region and the diagnostic possibilities [J]. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 1997, 58(4-6): 531-536.
- [6] HITOKI Y, NOBORU H, SHU-ICHI K, *et al.*. Large anisotropy of the electron distribution function in the high-density plasma produced by an ultrashort-pulse UV laser[J]. *Physical Review E*, 1997, 56 (1): 998-991.
- [7] TOHRU K, TAKESHI K, FUMIHIRO K, *et al.*. Polarization of He-radiation due to anisotropy of fast-electron transport in ultraintense-laser-produced plasmas[J]. *Rev. Lett.*, 2007, 99: 115003.
- [8] WALDEN F, KUNZE H J, PETOYAN A, *et al.*. Polarization measurements of the Al III resonance line emitted from micropinch plasmas of a vacuum spark discharge[J]. *Phys. Rev. E*, 1999, 59: 3562.
- [9] 赵孟春. 原子激发辐射光的极化[J]. 光谱实验室, 1997, 14(5): 8-12.
ZHAO M CH. Larization of radiation light from excited atom[J]. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory*, 1997, 14(5): 8-12. (in Chinese)
- [10] TAKAHASHII N, ARAI S, KOUCHI N, *et al.*. Angular intensity distribution of Balmer- α emission excited by electron impact on H_2 [J]. *J. Phys. B: At. Mol. Phys.*, 1983, 16: L547-L552.
- [11] LOFFE A, MANOSHIN B S. Larmor labelling by thin spin flippers with rotating magnetic field: simulations of performance of neutron scattering instruments[J]. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A*, 2004, 529(1-3): 45-49.
- [12] LAMOUREUX M, JACQUET L, PRATT R H. Angular distribution and polarization of the continuum emission in anisotropic plasmas[J]. *Phys. Rev. A.*, 1989, 39(12): 6323-6334.
- [13] ROBBINS D L, FAENOV A Y, PIKUZ T A, *et al.*. Measurement of the polarization of the K-shell resonance line emission of $\text{S}13+$ and $\text{S}14+$ at relativistic electron beam energies [J]. *Phys. Rev. A*, 2004, 70: 022715.
- [14] ZHANG H L, SAMPSON D H, CLARK R E H. Relativistic cross sections for excitation of highly charged ions to specific magnetic sublevels by an electron beam[J]. *Phys. Rev. A*, 1990, 41(1): 198-206.
- [15] KIEFFER J C, MATTE J P, CHAKER M, *et al.*. X-ray-line polarization spectroscopy in laser-produced plasmas[J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 1993, 48 (6): 4648-4658.
- [16] 熊先才, 钟先信, 肖沙里, 等. 用于测量激光等离子体 X 射线的椭圆弯晶谱仪[J]. 光学精密工程, 2006, 14(5): 754-758.
XIONG X C, ZHONG X X, XIAO SH L, *et al.*. Elliptically bent crystal spectrometer for measuring laser-produced plasma X-ray [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(5): 754-758. (in Chinese)
- [17] 王洪建, 肖沙里, 施军, 等. 激光等离子体 X 射线极化光谱研究[J]. 光学精密工程, 2008, 16(15): 822-826.
WANG H J, XIAO SH L, SHI J, *et al.*. X-ray polarization spectroscopy in laser-produced plasmas [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(5): 822-826. (in Chinese)
- [18] 梁文锡, 李玉同, 徐妙华, 等. 成像板在超强激光与等离子体相互作用产生超热电子研究中的应用[J]. 中国科学 G 辑: 物理学 力学 天文学, 2009, 39(1): 37-42.
LIANG W X, LI Y T, XU M H, *et al.*. Imaging plate in the interaction of intense laser-plasma of hot electrons in the application[J]. *Science in China (Series G: Physics, Mechanics & Astronomy)*, 2009, 39(1): 37-42. (in Chinese)
- [19] INAL M K, DUBAU J. Polarization of Fe xxv $1s2-1s2l$ lines: collisional resonances and radiative cascade contributions to $1s2l$ magnetic-sublevel excitation rates[J]. *Phys. Rev. A*, 1993, 47(6): 4794-4806.
- [20] YUICHI I, HIROAKI N, MASAYUKI O, *et al.*. X-ray polarization spectroscopy for measurement of anisotropy of hot electrons generated with ultraintense laser pulse[J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 2004, 75 (10): 3699-3671.

作者简介:



王洪建(1976—),男,重庆合川人,工学博士,助理研究员,2000 年于华北工学院获得学士学位,2004 年、2010 年于重庆大学分别获得硕士、博士学位,2011 年 4 月进入中国工程物理研究院流体物理研究所博士后流动站,主要从事信息获取与处理、光学精密仪器设计等方面的研究。E-mail: whj_cqu@163.com.



施 军(1972—),男,汉族,四川广安人,博士,讲师,2009 年于重庆大学获得博士学位,主要研究方向为光学精密仪器设计、光谱诊断等。E-mail: gysj_01234@163.com

导师简介:



肖沙里(1953—),男,重庆人,工学博士,教授,博士生导师,2004 年于重庆大学获得博士学位,主要研究方向为光学精密仪器、测试及控制等。E-mail: xiaoshali@cqu.edu.cn

● 下期预告

850 nm 垂直腔面发射激光器列阵

史晶晶^{1,2},秦莉¹,宁永强¹,刘云¹,张金龙¹,曹军胜¹,王立军¹

1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 国家激发态物理重点实验室,吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院,北京 100039)

为了解决垂直腔面发射激光器件(VCSELs)中金丝键合困难和电流注入不均匀的问题,提出了一种非闭合型 VCSELs 列阵结构,该结构通过腐蚀非闭合环形凹槽形成器件台面。对 850 nm 非闭合型顶发射 VCSELs 列阵器件进行了测试和分析:分别测试了 2×2 列阵器件、 3×3 列阵器件和 4×4 列阵器件,其室温连续输出功率分别达到 80,140,480 mW,阈值电流分别为 0.15,0.25,0.4 A,平行方向和垂直方向上的远场发散角分别为 9° 和 9.6° , 13.5° 和 14.4° , 15° 和 14.4° ;在脉宽为 50 μ s、重复频率 100 Hz 的脉冲条件下,最大输出功率分别为 90,318,1279 mW,阈值电流分别为 0.2,0.5,0.7 A;分别测试了芯片在封装之前和封装之后的功率曲线,发现芯片在封装之后的热饱和电流要远远高于封装之前,从而说明良好的封装技术可以提高器件的散热效率,降低器件内部发热对器件性能的影响。实验证明这种非闭合的列阵器件结构能够表现出良好的性能。