

低密度泡沫金提升黑腔腔壁再发射率的实验研究

张璐 董云松 景龙飞 林雉伟 谭秀兰 况龙钰 黎航 尚万里 张文海 李志超 詹夏宇 袁光辉 李海 江少恩 杨家敏 丁永坤

Experimental study on improving hohlraum wall reemission ratio by low density gold foam

Zhang Lu Dong Yun-Song Jing Long-Fei Lin Zhi-Wei Tan Xiu-Lan Kuang Long-Yu Li Hang Shang Wan-Li Zhang Wen-Hai Li Zhi-Chao Zhan Xia-Yu Yuan Guang-Hui Li Hai Jiang Shao-En Yang Jia-Min Ding Yong-Kun

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 65, 015202 (2016) DOI: 10.7498/aps.65.015202

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.015202>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2016/V65/I1>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

激光诱导击穿空气等离子体时间分辨特性的光谱研究

[Spectroscopic study on the time evolution behaviors of the laser-induced breakdown air plasma](#)

物理学报.2014, 63(20): 205205 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.205205>

激光诱导等离子体对水 OH 伸缩振动受激拉曼散射的影响

[Influence of laser-induced plasma on stimulated Raman scattering of OH stretching vibrational from water molecules](#)

物理学报.2014, 63(20): 205204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.205204>

基于激光诱导击穿光谱技术定量分析食用明胶中的铬元素

[Quantitative analysis of chromium in edible gelatin by using laser-induced breakdown spectroscopy](#)

物理学报.2014, 63(14): 145202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.145202>

纳秒激光烧蚀冲量耦合数值模拟

[Numerical simulation of nanosecond laser ablation impulse coupling](#)

物理学报.2013, 62(19): 195203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.195203>

水体重金属激光诱导击穿光谱定量分析方法对比研究

[Comparative analysis of quantitative method on heavy metal detection in water with laser-induced breakdown spectroscopy](#)

物理学报.2013, 62(12): 125201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.125201>

低密度泡沫金提升黑腔腔壁再发射率的实验研究*

张璐 董云松 景龙飞 林雉伟 谭秀兰 况龙钰[†] 黎航[‡] 尚万里
 张文海 李志超 詹夏宇 袁光辉 李海 江少恩 杨家敏 丁永坤

(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 绵阳 621900)

(2015年3月30日收到; 2015年10月16日收到修改稿)

提高黑腔辐射温度对高能密度物理研究, 尤其是惯性约束聚变研究至关重要. 提高黑腔腔壁再发射率是增强黑腔辐射温度的一个有效措施. 理论研究发现低密度泡沫材料能够降低腔壁能量损失, 进而提高再发射率. 在神光Ⅲ原型激光装置上开展了泡沫金和固体金再发射能流对比测量实验, 证实了该理论研究. 实验利用透射光栅得到具有空间分辨和谱分辨的X射线发射, 测量结果表明在190 eV的黑腔辐射场作用下, 0.4 g/cc密度的泡沫金可比固体金提升约20%的X射线能流发射, 并且增加的发射以1 keV以下的低能段为主. 自相似解得到的理论结果和MULTI 1D模拟计算的结果均表明泡沫金可提高腔壁再发射能流, 与实验结果定性一致. 研究结果表明, 泡沫金作为黑腔腔壁材料可提高腔壁再发射率, 增强黑腔辐射温度, 具有诱人的应用前景.

关键词: 再发射率, 金泡沫, 黑腔, 辐射烧蚀

PACS: 52.50.Jm, 52.38.Ph, 78.70.-g

DOI: 10.7498/aps.65.015202

1 引言

利用高功率激光和高Z腔壁材料作用产生准黑体发射谱的物体称为黑腔^[1]. 黑腔广泛应用于高能密度物理研究领域^[2-7], 如物态方程、不透明度、辐射烧蚀、流体力学不稳定性、惯性约束聚变等. 产生高温的黑体辐射谱对于一些研究至关重要, 尤其是惯性约束聚变. 激光注入黑腔后产生X光, 其转换效率可达90%左右^[8]; 产生的X光进一步与腔壁多次作用产生准黑体辐射, 即再发射过程, 这一过程约60%的X光能量在腔壁上损耗, 占据能量损耗的绝大部分. 由黑腔能量平衡公式 $F_{\text{reemit}}/(\sigma T^4) = 1 - F_{\text{wall}}/(\sigma T^4)$ 可知, 降低腔壁能量损失可提高再发射率, 有利于增强黑腔辐射温度, 从而降低对激光的能量需求.

黑腔腔壁材料多采用Au, U等高Z材料, 对Au腔壁, $F_{\text{wall}} \sim (\epsilon_0^{0.7}/\kappa_0^{0.4})T^{3.3}t^{0.59}$, 即增加不透

明度 κ 可降低腔壁辐射能损失, 提高X光再发射^[9]. 文献^[10, 11]研究了某些中高Z材料不透明度互补的特点, 通过混合材料提高腔壁不透明度, 如Au, Gd混合^[10], Au, Sm混合^[11]等. 近几年的研究又发现针对点火脉冲, 对相应时间对应的加热腔壁材料进行调整, 如Au, U, Au三明治结构靶也具有提高腔壁再发射率的可能性^[12]. 2005年, Rosen和Hammer^[13]提出低密度泡沫可降低腔壁能量损失, 提高再发射率, 其主要原因是低密度泡沫降低了腔壁边界的稀疏波动能损失^[14]. 文献^[15, 16]的研究亦表明, 高Z低密度泡沫可提高激光X光转换效率. Young等^[17]利用Ta₂O₅泡沫验证了相比于固体, 低密度泡沫可提高辐射流约17%. 泡沫材料在提高黑腔辐射温度方面表现出了诱人的前景. 金作为黑腔的常用材料, 急需开展实验检验泡沫金是否具有提高再发射率的特点.

本文报道了我们在神光Ⅲ原型激光装置上测

* 国家自然科学基金(批准号: 11305158)资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: kuangly0402@sina.com

[‡] 通信作者. E-mail: njlihang@163.com

量金和金泡沫再发射能流的实验. 实验结果表明, 相比固体金, 密度为 0.4 g/cc 的金泡沫可提高再发射能流约 20%, 与模拟结果定性一致. 实验证实了泡沫金具有提高再发射率的特点, 可用于制作黑腔腔壁以提高黑腔辐射温度.

2 实验设计

2.1 理论分析

根据热波理论, 辐射烧蚀低密度泡沫时处于超声速热波阶段, 其单位面积能量损耗 E/A 可由 (1a) 式表示; 而固体金烧蚀时为亚声速热波, E/A 由 (1b) 式描述^[13]:

$$E/A = 0.0029T^{3.55}\tau^{0.5}/\rho^{0.17} + 0.0035\rho^{0.79}T^{2.4}\tau \text{ (MJ/cm}^2\text{)}, \quad (1a)$$

$$E/A = 0.0058T^{3.35}\tau^{0.59} - 0.0002T^{4.7}/\rho^{1.1} \text{ (MJ/cm}^2\text{)}, \quad (1b)$$

其中, T 为辐射温度, 单位为 eV (1 eV = 100 eV); τ 为脉冲时间, 单位为 ns; ρ 为初始密度, 单位为 g/cm³. 本公式推导中采用比内能 $e = fT^\beta\rho^{-\mu}$, Rosseland 平均不透明度 $\kappa^{-1} = gT^\alpha\rho^{-\lambda}$, 在 1—3 eV 范围内, $f = 3.4$ MJ/g, $\beta = 1.6$, $\mu = 0.14$, $g = 1/7200$ g/cm², $\alpha = 1.5$, $\lambda = 0.2$. 由 (1a) 式可得到最低能量损耗对应的密度为 $\rho_{\text{opt}} = 0.17T_{\text{heV}}^{1.2}t_{\text{ns}}^{-0.5}$ g/cc.

黑腔辐射温度越高, 诊断设备测量的再发射能流强度越大, 测量信号受干扰程度相对较小, 因此实验中尽可能选择较高的辐射温度. 基于神光 III 原型激光装置的能量输出以及制靶考虑, 预计辐射温度峰值在 200 eV 左右, 脉冲时间 1.5 ns, 代入得到能量损耗最低的密度约为 0.3 g/cc, 比固体密度能量损耗降低约 17.5%. 目前我们可制备的金泡沫密度为 0.4 g/cc, 理论推算该密度的能量损耗降低约 17%, 与最优密度接近, 实验中采用该泡沫密度制备的靶.

2.2 实验排布

我们在神光 III 原型激光装置上开展了再发射能流强度与金腔壁密度关系的实验, 实验设计如图 1 所示. 黑腔腔长为 2500 μm , 直径为 1200 μm , 激光注入孔直径为 800 μm , 腔壁厚度为 25 μm . 黑腔圆柱侧面中心向下开 300 $\mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$ 的孔 (图 1 (a)), 外侧放置金泡沫覆盖该孔, 泡沫密度约为 0.4 g/cm³, 直径为 800 μm , 厚为 1000 μm , 该靶称为泡沫-固体金靶. 该靶中, 泡沫金样品和金样品相对于黑腔中心上下对称. 正对样品区的另一侧开 800 $\mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$ 的诊断孔, 透射光栅谱仪 (TGS) 由诊断孔测量样品的再发射能流信号. 同时我们设计了全固体金样品的金靶 (图 1 (b)), 作为对比靶衡量样品区的辐射轴对称性.

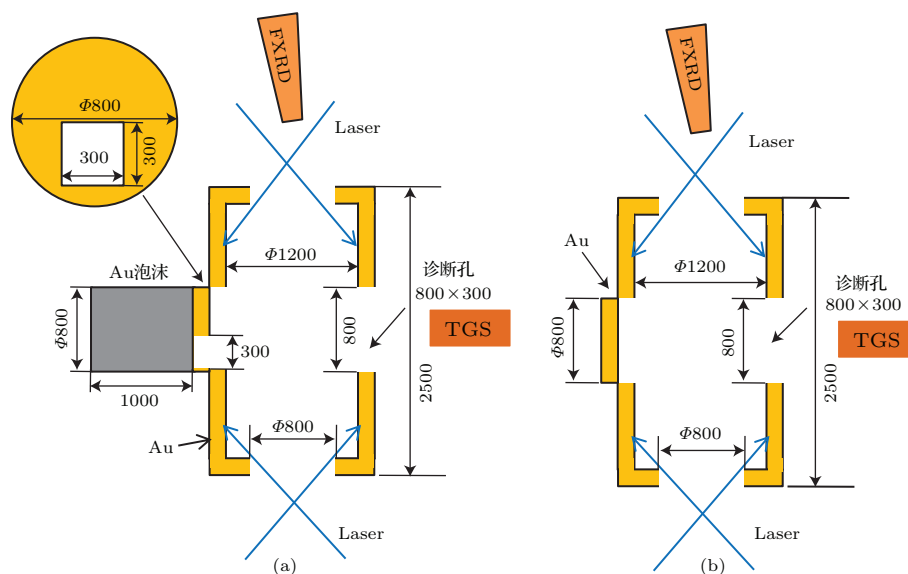


图 1 (网刊彩色) 实验设计示意图 (单位: μm) (a) 泡沫-固体金样品靶; (b) 金靶

Fig. 1. (color online) Design of the experimental targets (in the unit of μm): (a) Au-Au foam target; (b) Au target.

实验中八路激光从两端注入黑腔, 激光为 $2 \times 10^{14} \text{ W/cm}^2$, 1 ns 方波. 激光与黑腔腔壁作用, 形成近黑体辐射的 X 光辐射场. 由平响应 X 射线探测器 (FXRD) [18] 诊断得到的黑腔辐射温度. 该辐射场烧蚀位于腔壁侧面的样品, 泡沫金样品和金样品会再发射出 X 光, 样品表面再发射的 X 光能流通过诊断孔进入透射光栅视场, 得到具有腔轴方向空间分辨和谱分辨的能量信息. 通过能流强度的空间分布, 可对比研究泡沫金样品和金样品的再发射能流.

3 实验结果

实验所用腔靶的照片如图 2(a) 所示. 每束能量 800 J, 1 ns 的八束激光注入该黑腔后, 产生近黑体辐射的辐射场. 由 FXRD 测量的黑腔辐射温度见图 2(b), 峰值辐射温度为 190 eV, 高于 140 eV 的脉冲时间约为 1.5 ns, 与 2.1 节中理论分析预估的辐射源情况接近. 测量结果显示, 实验中泡沫-固体金靶与金靶的辐射温度一致性较好.

透射光栅测量信号见图 3, 图 3(a) 和图 3(b) 分别为泡沫-固体金样品靶和金靶的测量图像, x 方向为空间分辨方向, y 方向为谱分辨方向. 由腔靶的方位可确认图 3(a) 中透射光栅信号左半部分为固体金样品发光 (对应图 1(a) 的样品上半部分), 右半部分为泡沫金样品发光. 对谱分辨 y 方向计数求和平均后, 得到 X 光发射计数的空间分布图像, 见图 3(c). 由金靶的发光计数空间分布可见, 腔轴方向下半部分发光弱于上半部分; 在固体-泡沫金靶

中, 位于下半部分的泡沫发光弥补了该部分偏差, 使得下半部分发光略高于上半部分. 初步说明泡沫金样品提高了再发射能流强度.

利用 IRAD3D 程序 [19] 对腔轴的对称性进行了分析计算, 其结果见图 4. 由于原型激光上下注入时角度错开 45° , 腔侧面的样品上下部分距离激光光斑有差异, 导致上半部分感受的辐射温度高于下半部分 (图 4(b)). 程序分析的结果证实了实验测量的合理性.

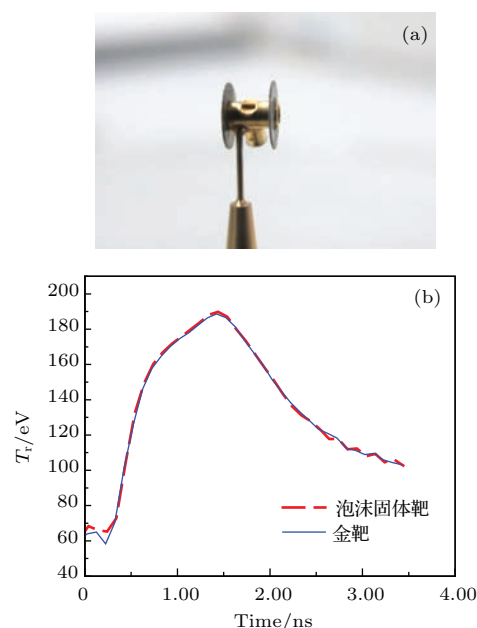


图 2 (网刊彩色) (a) 实验用靶照片; (b) FXRD 测量的黑腔辐射温度

Fig. 2. (color online) (a) The target photo used in experiments; (b) hohlraum radiation temperature varies with time measured by FXRD.

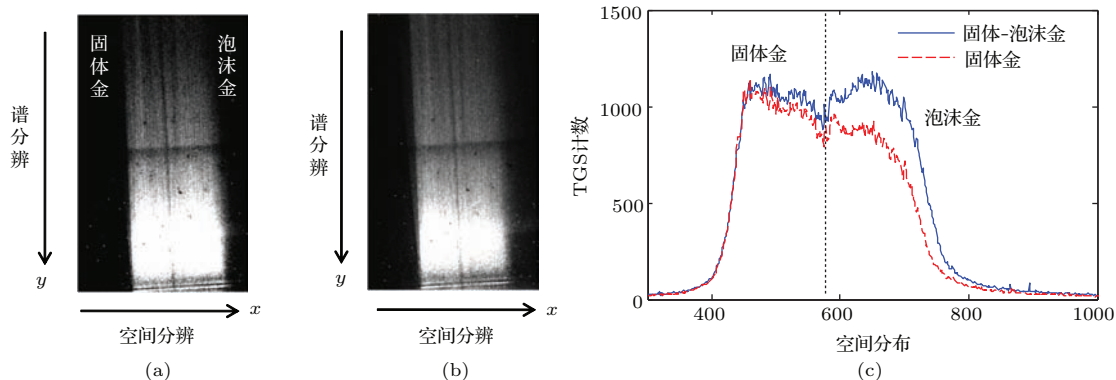


图 3 (网刊彩色) (a) TGS 测量的泡沫-固体金样品的再发射能流图像, 左半部分为固体金, 右半部分为泡沫金; (b) TGS 测量的金样品再发射能流图像; (c) TGS 测量的发光计数在谱分辨方向平均后的空间分布情况

Fig. 3. (color online) (a) A typical space-resolved spectrum image recorded by TGS (the left part is Au, and the right part is Au foam); (b) the spectrum image of Au recorded by TGS; (c) the space-resolved TGS counts summing in spectrum direction.

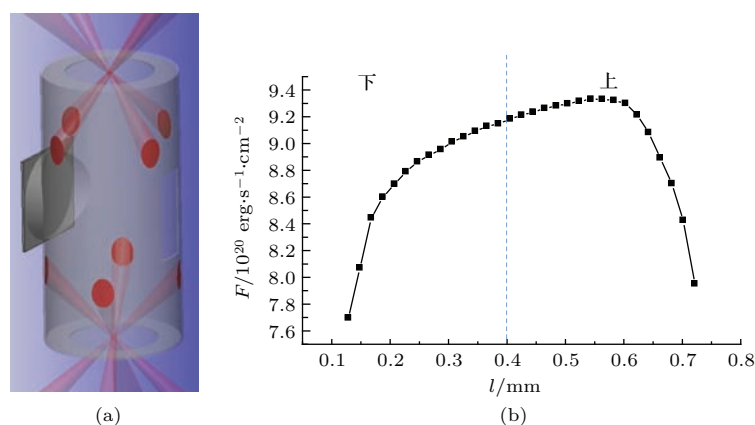


图4 (网刊彩色)(a) 激光光斑在黑腔内的分布; (b) 黑腔轴向辐射温度空间分布

Fig. 4. (color online) (a) Laser spots distribution in hohlraum; (b) the space-resolved hohlraum radiation along axis simulated with IRAD3D.

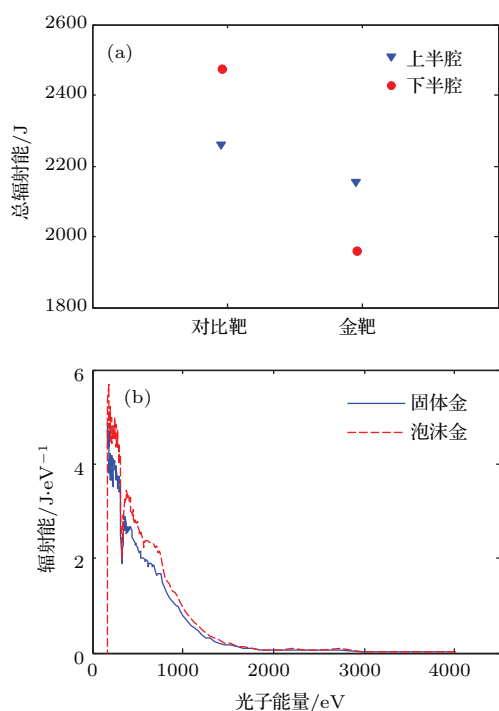


图5 (网刊彩色)(a) 泡沫金-固体金对比靶和金靶的上下半腔辐射能量; (b) 泡沫金、固体金辐射能谱分布

Fig. 5. (color online) (a) Emission from top and bottom of Au-Au foam target and Au target; (b) the typical observed time-integrated X-ray emission spectra for Au and Au foam by TGS after symmetry corrected.

TGS测量的不确定度为14%^[20], 我们对TGS测量信号进行解谱处理. 固体金和泡沫金样品在腔轴方向长为300 μm , 避开样品边界, 分别取样品中心约180 μm 范围的信号进行空间求和, 再进行谱积分, 可得到所选样品范围总的辐射能量, 如图5(a)所示. 同样, 我们可以看到, 对于金靶, 上半腔的辐射能量为2160 J, 下半腔1959 J, 其下半腔与上半腔的能量比约为0.91. 在泡沫-固体

金对比靶中, 泡沫金位于下半腔, 辐射能量上升为2476 J, 该发次固体金对应的上半腔为2263 J, 泡沫金显著提升了下半腔的辐射能量. 根据金靶的结果进行对称性修正, 对比靶的上半腔能量乘以0.91, 可等效为下半腔固体金的辐射能量, 即 $2263 \times 0.91 = 2059$. 泡沫金比固体金的能量提升为 $(2476 - 2059)/2059 \approx 0.2$, 可得到相比固体金, 泡沫金提升了约20%的再发射辐射能量.

固体金和泡沫金再发射能的谱分布见图5(b), 可见泡沫金主要提升了低能区的辐射能, 而高能区两者几乎相等. 这正是我们希望看到的, 增加黑腔内对靶丸烧蚀有利的低能辐射, 避免产生较多会导致预热的高能辐射. 即泡沫金提高的再发射能量对辐射烧蚀靶丸是有效的.

4 模拟计算

利用1D辐射流体程序MULTI^[21], 计算在图2(b)的黑腔辐射下腔壁能量损耗与密度的依赖曲线, 如图6所示. 模拟结果表明, 在该辐射源条件下, 当金泡沫密度为0.3 g/cc时, 腔壁能量损耗最小, 比固体密度降低约11%, 与理论分析得到的最优密度相同, 而能量损耗降低份额略有差异, 这主要是由于模拟和理论分析采用了不同的不透明度参数和状态方程引起的, 理论分析为拟合参数, 模拟时的状态方程采用了SESAME数据库固体金的参数, 不透明度由SNOP计算得到. 对于实验中采用的0.4 g/cc的泡沫密度, 模拟结果显示可降低腔壁能量损耗10%.

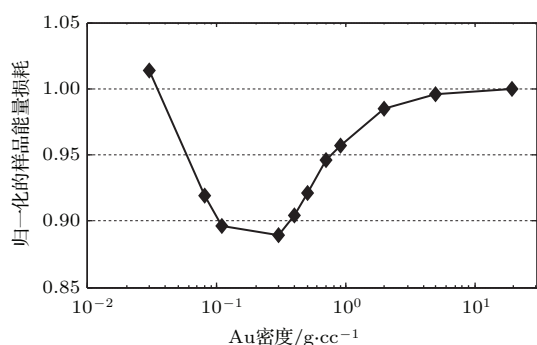


图6 归一化的腔壁能量损耗与金密度的依赖曲线

Fig. 6. Normalized wall energy loss versus the density of Au.

腔壁再发射能流 $F_{\text{emit}} = F_{\text{inc}} - F_{\text{wall}}$, 即入射能流与腔壁吸收能流的差^[18]. 对于不同密度腔壁, 可认为 F_{inc} 相等, 得到 $F_{\text{emit}}^{\text{foam}}/F_{\text{emit}}^{\text{Au}} = 1 + (F_{\text{wall}}^{\text{Au}} - F_{\text{wall}}^{\text{foam}})/F_{\text{emit}}^{\text{Au}}$. 对于 0.4 g/cc 的金泡沫, 模拟表明 $F_{\text{wall}}^{\text{foam}} = 0.9F_{\text{wall}}^{\text{Au}}$, 代入可得到 $F_{\text{emit}}^{\text{foam}}/F_{\text{emit}}^{\text{Au}} = 1 + 0.1F_{\text{wall}}^{\text{Au}}/F_{\text{emit}}^{\text{Au}}$. 该式依赖于反照率 $\alpha = F_{\text{emit}}/F_{\text{inc}}$. 固体金的反照率可近似为 $\alpha_s = 1 - 0.34/T^{0.7} = 0.78$ ^[22,23], 由此得到泡沫金降低腔壁能量损耗引起的再发射能流提升约 2.8%. 同时, 由于泡沫金与固体金的反照率差异, 实验观测到的样品辐射流会因此拉大差距, 需要进行修正. 泡沫金的反照率 $\alpha_f = 1 - 0.9 \times 0.34/T^{0.7} = 0.81$, 修正后的再发射能流 $F_{\text{foam}}/F_{\text{Au}} = 1.028 \times (\alpha_f/\alpha_{\text{Au}}) = 1.068$, 即模拟计算结合反照率经验公式可得到实验观测的再发射能流泡沫金比固体金提高约 6.8%. 将理论分析的 0.4 g/cc 泡沫金降低约 17% 的能量损耗代入, 得观测的再发射能流提升约 10%. 模拟计算、理论模型分析以及实验测量均表明泡沫金可提升再发射能流, 三者定性地相符. 其差异可能由物态参数、实验精度等因素引起.

5 结 论

在神光Ⅲ原型激光装置上开展的泡沫金和固体金再发射能流测量实验表明, 在 190 eV 峰值温度的黑腔辐射场作用下, 0.4 g/cc 的金泡沫能够提升约 20% 的再发射能流, 并且提升能段为 1 keV 以下的低能区域. 理论模型分析、1D MULTI 模拟计算结果与实验结果定性地相符, 证实了泡沫金可提高黑腔腔壁再发射率. 实验和模拟结果存在差异, 在实验精度控制、模拟参数等方面还需要更为细致的

工作, 特别是需要研究适用于泡沫金材料的状态方程及不透明度参数. 提高激光 X 光转换效率和腔壁再发射率有利于增强黑腔辐射温度, 从而降低对激光的能量需求, 泡沫金在该方面展示了诱人的应用前景.

感谢中国工程物理研究院激光聚变中心神光Ⅲ激光装置运行人员以及靶制备人员对该实验的支持和帮助.

参考文献

- [1] Lindl J D, Amendt P, Berger R L, Glendinning S G, Glenzer S H, Haan S W, Kauffman R L, Landen O L, Suter L J 2004 *Phys. Plasmas* **11** 339
- [2] Meyers M A, Gregori F, Kad B K, Schneider M S, Kalantar D H, Remington B A, Ravichandran G, Boehly T, Wark J S 2003 *Acta Mater.* **51** 1211
- [3] Bailey J E, Rochau G A, Mancini R C, Iglesias C A, MacFarlane J J, Golovkin I E, Pain J C, Gilleron F, Blancard C, Cosse P, Faussurier G, Chandler G A, Nash T J, Nielsen D S, Lake P W 2008 *Rev. Sci. Instrum.* **79** 113104
- [4] Li L L, Zhang L, Jiang S E, Guo L, Qing B, Li Z C, Zhang J Y, Yang J M, Ding Y K 2014 *Appl. Phys. Lett.* **104** 054106
- [5] Zhang J Y, Yang J M, Jiang S E, Li Y S, Yang G H, Ding Y N, Huang Y X, Hu X 2010 *Chin. Phys. B* **19** 025201
- [6] Amendt P, Landen O L, Robey H F, Li C K, Petrasso R D 2010 *Phys. Rev. Lett.* **105** 115005
- [7] Li S W, Song T M, Yi R Q, Cui Y L, Jiang X H, Wang Z B, Yang J M, Jiang S E 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 055207 (in Chinese) [李三伟, 宋天明, 易荣清, 崔延莉, 蒋小华, 王哲斌, 杨家敏, 江少恩 2011 物理学报 **60** 055207]
- [8] Atzeni S, Merer-ter-vehn J 2004 *The Physics of Inertial Fusion* (1st Ed.) (New York: Oxford University Press)
- [9] Jones O S, Schein J, Rosen M D, Suter L J, Wallace R J, Dewald E L, Glenzer S H, Campbell K M, Gunther J, Hammel B A, Landen O L, Sorce C M, Olson R E, Rochau G A, Wilkens H L, Kaae J L, Kilkenny J D, Nikroo A, Regan S P 2007 *Phys. Plasmas* **14** 056311
- [10] Suter L, Rothenberg J, Munro D, Wouterghen B V, Haan S 2000 *Phys. Plasmas* **7** 2092
- [11] Chaurasia S, Munda D S, Tripathi S, Kumar M, Gupta N K, Dhareshwar L J, Bajaj P N 2010 *J. Phys.: Conf. Ser.* **208** 012093
- [12] Li X, Lan K, Meng X J, He X T, Lai D X, Feng T G 2010 *Laser Part. Beams* **28** 75
- [13] Rosen M D, Hammer J H 2005 *Phys. Rev. E* **72** 056403
- [14] Zhang L, Ding Y K, Yang J M, Wu S C, Jiang S E 2011 *Phys. Plasmas* **18** 033301
- [15] Shang W L, Yang J M, Dong Y S 2013 *Appl. Phys. Lett.* **102** 094105

- [16] Dong Y S, Zhang L, Yang J M, Shang W L 2013 *Phys. Plasmas* **20** 123102
- [17] Young P E, Rosen M D, Hammer J H, Hsing W S, Glendinning S G, Turner R E, Kirkwood R, Schein J, Sorce C, Satcher J H, Hamza A, Reibold R A, Hibbard R, Landen O, Reighard A 2008 *Phys. Rev. Lett.* **101** 035001
- [18] Li Z C, Jiang X H, Liu S Y, Huang T X, Zheng J, Yang J M, Li S W, Guo L, Zhao X F, Du H B, Song T M, Yi R Q, Liu Y G, Jiang S E, Ding Y K 2010 *Rev. Sci. Instrum.* **81** 073504
- [19] Huang Y B, Jiang S E, Li H Y, Wang Q F, Chen L P 2014 *Comput. Phys. Commun.* **185** 459
- [20] Shang W L, Zhu T, Kuang L Y, Zhang W H, Zhao Y, Xiong G, Yi R Q, Li S W, Yang J M 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 170602 (in Chinese) [尚万里, 朱托, 况龙钰, 张文海, 赵阳, 熊刚, 易荣清, 李三伟, 杨家敏 2013 物理学报 **62** 170602]
- [21] Ramis R, Schmalz R, Meyer-ter-vehn J 1988 *Comput. Phys. Commun.* **49** 475
- [22] Sigel R, Pakula R, Sakabe S, Tsakiris D 1988 *Phys. Rev. A* **38** 5779
- [23] Jones O S, Glenzer S H, Suter L J, Turner R E, Campbell K M, Dewald E L, Hammel B A, Hammer J H, Kauffman R L, Landen O L, Rosen M D, Wallace R J, Weber F A 2004 *Phys. Rev. Lett.* **93** 065002

Experimental study on improving hohlraum wall reemission ratio by low density gold foam^{*}

Zhang Lu Dong Yun-Song Jing Long-Fei Lin Zhi-Wei Tan Xiu-Lan Kuang Long-Yu[†]
 Li Hang[‡] Shang Wan-Li Zhang Wen-Hai Li Zhi-Chao Zhan Xia-Yu Yuan Guang-Hui
 Li Hai Jiang Shao-En Yang Jia-Min Ding Yong-Kun

(Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

(Received 30 March 2015; revised manuscript received 16 October 2015)

Abstract

It is important to improve the hohlraum radiation temperature for the research of high energy density physics, especially for study of inertial confinement fusion. Increasing the wall reemission ratio is an effective way to improve the temperature. It is found in theory that low density foam could reduce hohlraum wall energy loss, and then increase hohlraum temperature. In previous studies, experiments have shown that laser-to-X-ray conversion is enhanced by Au foam. However, improving reemission ratio is more important to increase hohlraum radiation temperature, because most of energy is lost in the wall.

In this paper, we report our experiments carried out on SGIII prototype to compare the X-ray flux reemitted by Au foam and that by Au. For the experimental design, Au solid and Au foam are irradiated symmetrically along the axis by hohlraum radiation source $T_r(t)$, which is assessed by broadband X-ray spectrometer flat-response X-ray diodes. The measured peak temperature is about 190 eV. Reemission flux from sample is measured by transmission grating spectrometer (TGS). The space-resolved image for pure Au sample shows that the hohlraum radiation is asymmetrical along the axis in the experimental conditions, temperature of top is higher than that at the bottom, which is consistent with simulation results obtained by using IRAD3D code. In order to compare the reemission flux from Au solid sample and that from Au foam sample in same conditions, we need to correct the symmetry of hohlraum radiation. By multiplying the ratio of top flux to bottom flux in pure Au target by the bottom flux in Au-Au foam target, where Au foam is on, we make sure that they are ablated by the same radiation source. The calculated results show that X-ray flux is increased by 20% by Au foam of 0.4 g/cc density when the hohlraum temperature is 190 eV. The typical observed time-integrated X-ray reemission spectra for Au solid and Au foam by TGS are also shown. We see that N-band and O-band reemission are clearly enhanced by Au foam, and the O-band reemission is almost the same as M-band reemission. The increased flux concentrates below 1 keV of the soft X-ray emission.

The self-similar solution results and MULTI 1D simulation results show that the wall loss energy fraction is saved by Au foam, whose relation to reemission flux can be described by a simple expression. The theoretical solution shows that the emission flux increases about 10%, and the MULTI simulation indicates that the emission flux increases about 6.8%. They are in qualitative agreement with the experiments results. These results show an alluring prospect for Au foam to be used as hohlraum wall.

Keywords: reemission ratio, Au foam, hohlraum, radiation ablate

PACS: 52.50.Jm, 52.38.Ph, 78.70.-g

DOI: 10.7498/aps.65.015202

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11305158).

[†] Corresponding author. E-mail: kuangly0402@sina.com

[‡] Corresponding author. E-mail: [njlihang@163.com](mailto:njlhang@163.com)