

脉冲激光辐照液滴锡靶等离子体极紫外辐射的实验研究

陈鸿 兰慧 陈子琪 刘璐宁 吴涛 左都罗 陆培祥 王新兵

Experimental study on laser produced tin droplet plasma extreme ultraviolet light source

Chen Hong Lan Hui Chen Zi-Qi Liu Lu-Ning Wu Tao Zuo Du-Luo Lu Pei-Xiang Wang Xin-Bing

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 075202 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.075202

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.075202>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I7>

---

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

离子通道中的虚阴极辐射

Plasma-based multistage virtual cathode radiation

物理学报.2014, 63(23): 235204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.235204>

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>

# 脉冲激光辐照液滴锡靶等离子体极紫外辐射的实验研究\*

陈鸿<sup>1)2)</sup> 兰慧<sup>1)</sup> 陈子琪<sup>2)</sup> 刘璐宁<sup>2)</sup> 吴涛<sup>3)</sup> 左都罗<sup>2)</sup>  
陆培祥<sup>2)</sup> 王新兵<sup>2)†</sup>

1)(华中科技大学, 光学与电子信息学院, 武汉 430074)

2)(华中科技大学, 武汉光电国家实验室, 武汉 430074)

3)(武汉工程大学, 理学院, 武汉 430073)

(2014年6月10日收到; 2014年10月9日收到修改稿)

采用波长 13.5 nm 的极紫外光作为曝光光源的极紫外光刻技术是最有潜力的下一代光刻技术之一, 它是半导体制造实现 10 nm 及以下节点的关键技术. 获得极紫外辐射的方法中, 激光等离子体光源凭借转换效率高、收集角度大、碎屑产量低等优点而被认为是最有前途的极紫外光源. 本文开展了脉冲 TEA-CO<sub>2</sub> 激光和 Nd:YAG 激光辐照液滴锡靶产生极紫外辐射的实验, 对极紫外辐射的谱线结构以及辐射的时空分布特性进行了研究. 实验发现: 与 TEA-CO<sub>2</sub> 激光相比, 较高功率密度的 Nd:YAG 激光激发的极紫外辐射谱存在明显的蓝移; 并且激光等离子体光源可以认为是点状光源, 其极紫外辐射强度随空间角度变化近似满足 Lambertian 分布.

**关键词:** 极紫外光源, 均匀液滴锡靶, 激光等离子体, 辐射分布

**PACS:** 52.59.-f, 47.60.Kz, 52.50.Jm, 52.25.Os

**DOI:** 10.7498/aps.64.075202

## 1 引言

极紫外光刻 (extreme ultraviolet lithography, EUVL) 是一种利用中心波长为 13.5 nm 的窄带宽 (<2%) 极紫外光 (extreme ultraviolet, EUV) 作为曝光光源的光刻技术<sup>[1]</sup>. 由于 EUVL 采用的曝光光源波长比现行的 193 nm 浸没式光刻技术的短, 根据瑞利公式, EUVL 可以获得更高的刻蚀分辨率. EUVL 已被列为实现 10 nm 及以下节点的关键技术.

迄今为止, 国际各光刻机供应商都针对能够满足商业量产的 EUV 光源, 尤其在基于高重复频率脉冲激光、液滴锡靶的激光等离子体 (laser produced plasma, LPP) 光源方面进行了大量的工作. LPP 光源的主要原理是利用脉冲激光聚焦辐照高

密度金属固体靶、液体靶或气体靶, 使靶材汽化电离产生高温、高密度的等离子体而辐射出 EUV. 高重复频率脉冲激光, 特别是主振荡功率放大 (master oscillator power amplifier, MOPA) 结构 CO<sub>2</sub> 激光的输出功率能够达到万瓦级. 在转换效率一定的情况下, 提升激光功率可以获得更高的 EUV 输出功率. 同时, 液滴锡靶的采用大大的提升了激光能量的利用率, 并在一定程度上减少了等离子体碎屑的产量. 在保证转换效率的前提下, LPP 光源采用的液滴锡靶的直径逐渐减小到约 30 μm. 最近, Cymer 公司报道<sup>[2]</sup>了其 LPP 光源已能够达到 70 W 的 EUV 功率输出. Gigaphoton 公司也已经在 2.4% 的转换效率下实现<sup>[3]</sup>了 43 W 的 EUV 功率输出. 为了获得更高的 EUV 功率输出, 大量的研究机构也陆续开展了 EUV 光源的基础研究: 苏黎

\* 国家自然科学基金青年科学基金 (批准号: 11304235) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: [xbwang@hust.edu.cn](mailto:xbwang@hust.edu.cn)

世联邦理工学院能量转换实验室<sup>[4]</sup>研究了液滴锡靶的稳定控制技术,开展了Nd:YAG激光辐照液滴锡靶的实验研究,并模拟<sup>[5]</sup>了极紫外辐射空间分布情况,但并未对EUV辐射的时间特性进行研究. Masnavi等<sup>[6]</sup>模拟研究了不同靶材EUV辐射转换效率与激光功率密度的关系. 在国内,长春光机所开展了Nd:YAG激光辐照Xe, Kr等稀有气体团簇靶的软X射线光源<sup>[7]</sup>研究,并设计完成了工作波长为13 nm的EUV投影光刻原理装置<sup>[8]</sup>. 上海光机所开展了Nd:YAG激光辐照固体锡靶<sup>[9]</sup>的实验,研究了EUV辐射转换效率与抽运激光光强的关系. 哈工大对Xe介质毛细管放电极紫外光源<sup>[10]</sup>进行了理论和实验研究. 长春理工大学开展了基于钷固体平板靶的双脉冲<sup>[11]</sup>激光等离子体光源中离子碎屑的相关研究. 同济大学就帽层对极紫外多层膜反射特性的影响<sup>[12]</sup>开展了分析研究. 武汉光电国家实验室完成了CO<sub>2</sub>激光辐照固体锡靶产生EUV辐射的实验:利用等离子体在可见光波段的时空分辨光谱<sup>[13]</sup>估算了等离子体的电子温度、电子密度随时间的演化;并根据不同缓冲气体、不同压强下等离子体羽辉的膨胀动力学过程<sup>[14]</sup>研究了不同气体对等离子体碎屑的抑制能力. 但是,在国内的尚未见到基于液滴锡靶的EUV光源相关报道.

本文通过建立均匀锡液滴产生装置,开展了脉冲激光辐照液滴锡靶产生EUV辐射的实验. 分析并比较了TEA-CO<sub>2</sub>激光和Nd:YAG激光辐照液滴锡靶产生的EUV辐射谱线结构以及EUV辐射时空分布的特性.

## 2 实验装置

### 2.1 激光辐照液滴锡靶产生EUV辐射的实验装置

用于脉冲激光辐照液滴锡靶产生EUV辐射的实验装置如图1所示,该装置包括脉冲激光系统、真空靶室系统、EUV辐射光谱及时空分布检测系统. 实验中使用了两种脉冲激光: TEA-CO<sub>2</sub>激光的激光气体配比CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He = 1:1:4,总气压为600 mbar (1 bar = 10<sup>5</sup> Pa),激光重复频率1 Hz,脉冲半高宽90 ns且有一定的拖尾,单脉冲能量923 mJ; Nd:YAG激光 (Innolas SpitLight Compact 200) 基频工作,重复频率1 Hz,激光脉冲宽度为8.4 ns,单脉冲能量233.8 mJ. CO<sub>2</sub>激光穿过ZnSe晶体窗口由焦距为152 mm的聚焦透镜聚焦到液滴锡靶

上,聚焦后焦斑直径约为350 μm,锡靶处激光功率密度约 $1 \times 10^{10}$  W·cm<sup>-2</sup>. Nd:YAG激光经过全透窗口由焦距为100 mm的聚焦透镜聚焦到液滴锡靶上,聚焦焦斑直径约100 μm,锡靶处激光功率密度约 $1 \times 10^{11}$  W·cm<sup>-2</sup>. 软X射线平场光栅光谱仪参考文献<sup>[9]</sup>自行研制. 光谱仪的分辨率为 $1.85 \times 10^{-2}$  nm,其消色散波长10 nm处的光谱分辨能力 $\lambda/\Delta\lambda > 500$ . 光谱仪接收的EUV辐射与激光光束的夹角为45°. 同时,多个EUV光电二极管 (AXUVHS5#) 均匀布置在距离激光等离子体中心205 mm的圆弧上测量EUV辐射的时空分布特性,二极管与激光光束的夹角为 $\theta$ . 二极管的响应时间为700 ps,对13.5 nm波段EUV辐射的响应度为0.26 A/W. 软X射线平场光栅光谱仪和光电二极管都采用厚度500 nm的钼膜<sup>[15]</sup>滤除可见光,钼膜对13.5 nm波段EUV辐射的透过率约为20%.

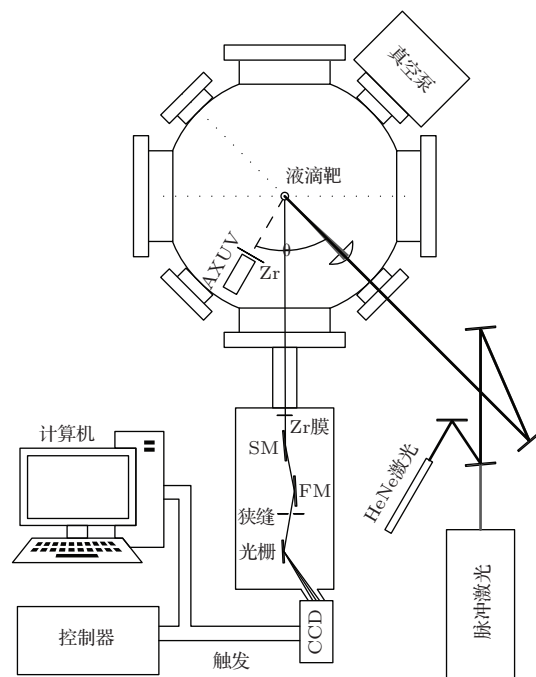


图1 EUV辐射实验装置示意图

### 2.2 均匀液滴锡靶的获得

EUV辐射实验使用的均匀锡液滴由图2所示均匀液滴产生装置提供. 该装置是一套基于瑞利断裂理论<sup>[16]</sup>的连续液滴获得装置,主要包括均匀扰动装置及存储锡的压力容器. 信号发生器用于提供处于压电换能器谐振频率附近的电压信号使换能器均匀伸缩产生扰动. 存储容器放置在可恒温控制的加热装置中,并与提供锡喷射压力的恒压装置相

连. 在压力差的作用下, 锡液体经喷嘴喷射到真空室形成射流, 在射流最不稳定频率<sup>[17]</sup>附近施加的扰动使射流迅速断裂形成均匀液滴.

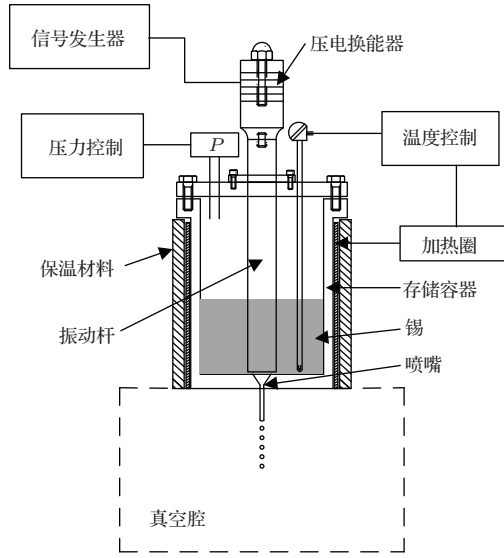


图2 均匀液滴产生装置示意图

喷嘴孔径 100  $\mu\text{m}$  时液滴产生装置获得的锡液滴的图像如图 3 所示. 锡液滴直径为 187.34  $\mu\text{m}$  ( $\pm 10.43 \mu\text{m}$ ). 锡液滴获得的实验条件: 锡加热温度为 265  $^{\circ}\text{C}$ , 背景气压为 7 bar, 真空腔室压强为 0.1 mbar, 均匀扰动频率为 29.390 kHz.

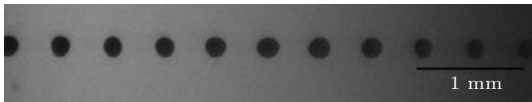


图3 100  $\mu\text{m}$  喷嘴获得的锡液滴

### 3 实验结果与讨论

#### 3.1 EUV 辐射光谱结构

不同激光辐照锡液滴产生的 EUV 辐射谱如图 4 所示. 两种 EUV 辐射谱在 13.5 nm 左右都有一个峰值; 且与  $\text{CO}_2$  激光激发的辐射谱比较, Nd:YAG 激光激发的 EUV 辐射谱有明显的蓝移. 该现象源自实验采用的 Nd:YAG 激光与  $\text{CO}_2$  激光波长以及激光功率密度的不同. 激光脉冲与靶材相互作用时, 靶材先吸收部分激光能量汽化、电离形成等离子体, 等离子体继续通过逆韧致吸收过程吸收剩余的激光能量而进一步电离并产生 EUV 辐射. 而逆韧致吸收系数近似地和激光波长平方成反比<sup>[18]</sup>. 相比于  $\text{CO}_2$  激光, Nd:YAG 激光的波长更

短, 等离子体通过逆韧致吸收过程吸收的激光能量更多, 从而被电离到高电离态的粒子数目更多. 其次, Nd:YAG 激光的光束质量较  $\text{CO}_2$  激光更好, 焦斑处激光功率密度更大, 单位时间、单位体积内的锡液滴靶材被电离的更充分, 粒子的电离态也更高. 文献<sup>[19]</sup>模拟计算并实验验证的不同价态锡离子的辐射谱线数据显示: 高电离态的锡离子辐射跃迁波长更短. 本实验中较短波长、较好光束质量的 Nd:YAG 激光激发的 EUV 辐射谱相对于  $\text{CO}_2$  激光激发的辐射谱存在蓝移与上述结果一致.

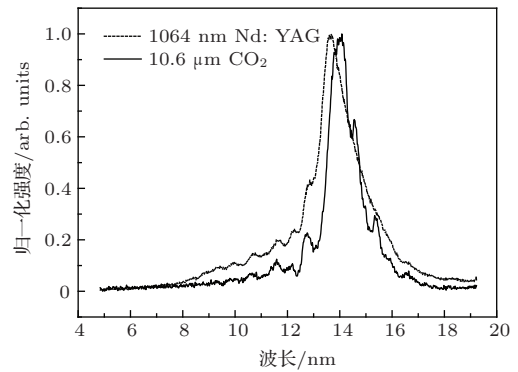


图4 EUV 辐射光谱谱结构

#### 3.2 EUV 辐射时间特性

不同激光辐照锡液滴产生的 EUV 辐射的时间分布如图 5 所示. 图 5 (a) 中实线为 TEA- $\text{CO}_2$  激光典型波形, 多纵模激光的拍频效应造成了信号中较多的毛刺, 且由于激光气体中  $\text{N}_2$  气体的存在, 激光存在较长的拖尾和副峰. 激光主脉冲宽度宽度约 90 ns, 其激发的 EUV 辐射相对于激光脉冲存在约 40 ns 的延时, 辐射持续时间约 60 ns; 图 5 (b) 中, Nd:YAG 激光脉冲宽度为 8.4 ns, 其激发的 EUV 辐射相对于激光脉冲存在约 10 ns 的延时, 辐射持续时间约 20 ns. EUV 辐射相对于激光脉冲的延时主要取决于激光在锡靶上的功率密度, 以及靶材对激光的吸收率. 等离子体对波长较长的  $\text{CO}_2$  激光的逆韧致吸收系数更小以及  $\text{CO}_2$  激光的功率密度更低导致其将锡靶材电离到能够辐射 EUV 的状态需更长的时间, 从而其 EUV 辐射相对于激光的延时更长. 此外,  $\text{CO}_2$  激光的脉冲持续时间更长使其激发的 EUV 辐射持续时间更长. 根据光电二极管响应度曲线与图 5 中电压-时间曲线计算得激光等离子体产生的 EUV 辐射总能量为

$$W = \frac{W_d}{K} \cdot \frac{4\pi}{\Omega} = \frac{1}{K} \int i dt / N \cdot \frac{4\pi}{\Omega}$$

$$= \frac{1}{NK} \int \frac{V}{R} dt \cdot \frac{4\pi}{\Omega},$$

式中  $V$  为示波器记录的电压信号,  $R$  为示波器的输入阻抗,  $N$  为光电二极管对 EUV 辐射的响应度,  $K$  为铯膜对 EUV 辐射的透过率,  $\Omega$  为光电二极管探测面积对光源所张的立体角.  $\text{CO}_2$  激光脉冲激发的 EUV 能量为 2.29 mJ, 转换效率为 0.25%; Nd:YAG 激光脉冲激发的 EUV 能量为 0.53 mJ, 转换效率为 0.23%. 实验中  $\text{CO}_2$  激光的焦斑直径约 350  $\mu\text{m}$ , 而锡液滴靶的直径约 150  $\mu\text{m}$ , 激光能量无法全部聚焦到液滴上导致激光能量的浪费从而其 EUV 转换效率偏低; 尽管 Nd:YAG 激光的光束质量优于  $\text{CO}_2$  激光, 其焦斑直径又小于液滴直径, 激光与锡液滴没有同步控制使得它们相互作用的时间、空间精确度影响着转换效率的提高.

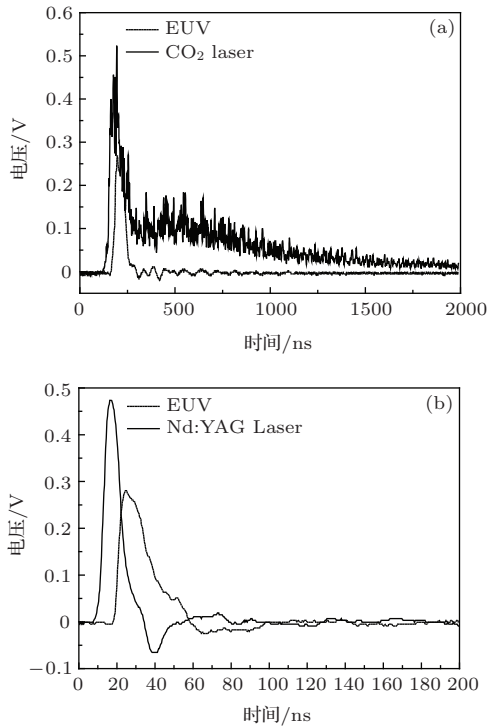


图5 EUV 辐射时间特性 (a)  $\text{CO}_2$  激光 EUV 辐射; (b) Nd:YAG 激光 EUV 辐射

### 3.3 EUV 辐射空间分布

图 6 所示为偏离激光光束不同角度光电二极管探测到的 EUV 辐射空间分布情况. 随着偏离激光光束夹角  $\theta$  的逐渐增大, 二极管接收到的 EUV 辐射能量逐渐降低, 且降低速度逐渐增加. 相比于  $\text{CO}_2$  激光, Nd:YAG 激光作为激发源时 EUV 辐射强度的降低速度更快. 当  $\theta$  取值为  $135^\circ$  时,  $\text{CO}_2$  激光激发的 EUV 辐射能量降至最大值的一半, 而

Nd:YAG 激光激发的 EUV 辐射能量仅剩 30%. 根据实验数据拟合得到 EUV 辐射空间分布近似满足 Lambertian 分布 [9]: 与激光光束夹角  $\theta$  方向上的 EUV 辐射强度为  $I(\theta) = \alpha + \beta \cos^\gamma \theta$ , 其中  $\alpha, \beta, \gamma$  为常数 (如图 6 所示).  $\text{CO}_2$  激光的焦斑大小为锡液滴直径的两倍以上, 液滴在空间上可被激光焦斑完全覆盖而汽化电离得较均匀, 受激发出的 EUV 辐射分布较均匀. 而 Nd:YAG 激光焦斑尺寸比锡液滴要小, 导致液滴在激光的入射侧电离更充分, EUV 辐射更强; 而远离激光入射侧的等离子体电离程度不高, EUV 辐射强度也更弱.

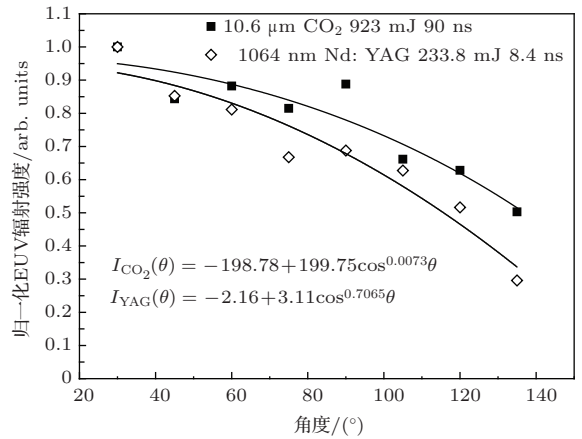


图6 EUV 辐射空间分布

## 4 结 论

本文通过建立均匀液滴产生装置, 分别使用 TEA- $\text{CO}_2$  激光和 Nd:YAG 激光辐照液滴锡靶获得了 EUV 辐射. 结果表明, 本文建立的均匀液滴产生装置基本可以满足 EUV-LPP 光源实验要求. 此外, 对不同激光辐照液滴锡靶产生的 EUV 辐射的光谱结构, 辐射的时间、空间特性的研究表明: 与  $\text{CO}_2$  激光相比, Nd:YAG 激光激发的 EUV 辐射谱存在明显的蓝移.  $\text{CO}_2$  激光和 Nd:YAG 激光激发的 EUV 辐射持续时间分别为 60 ns 和 20 ns, 它们相对激光脉冲分别存在约 40 ns 和 10 ns 的延时. 目前, 提升 EUV 辐射转换效率的主要方法为双脉冲技术. EUV 辐射的持续时间及其相对于激光脉冲的延时将为双脉冲打靶提升 EUV 辐射转换效率的实验中激光脉冲之间的延时调整提供依据. 此外, 极紫外辐射强度空间分布近似满足 Lambertian 分布: 随着偏离激光光束的角度  $\theta$  的增大, EUV 辐射的强度逐渐降低且降低速度逐渐加快.  $\text{CO}_2$  激光激

发的 EUV 辐射分布更均匀. 实验中激光能量的利用率、激光打靶精度使得 CO<sub>2</sub> 激光和 Nd:YAG 激光激发的 EUV 辐射转换效率都不高. 为了获得更高的 EUV 辐射转换效率, 液滴锡靶的大小、液滴锡靶与激光同步控制技术仍是改进的关键.

## 参考文献

- [1] Bakshi V 2009 *EUV lithography* (Bellingham: Spie Press) pp104
- [2] Brandt D C, Fomenkov I V, Farrar N R, Fontaine B L, Myers D W, Brown D J, Ershov A I, Böwering N R, Riggs D J, Rafac R J, Dea S D, Peeters R, Meiling H, Harned N, Smith D, Pirati A, Kazinczi R 2014 *Extreme Ultraviolet (EUV) Lithography V90480C* San Jose, California, United States, February 23–27 2014
- [3] Mizoguchi H, Nakarai H, Abe T, Ohta T, Nowak K M, Kawasuji Y, Tanaka H, Watanabe Y, Hori T, Kodama T, Shiraishi Y, Yanagida T, Yamada T, Yamazaki T, Okazaki S, Saitou T 2014 *Extreme Ultraviolet (EUV) Lithography V 90480D* San Jose, California, United States, February 23–27 2014
- [4] Abhari R S, Rollinger B, Giovannini A Z, Morris O, Henderson I, Ellwi S S 2012 *Journal of MicroNanolithography, MEMS, MOEMS* **11** 021114
- [5] Giovannini A Z, Abhari R S 2013 *Journal of Applied Physics* **114** 033303
- [6] Masnavi M, Szilagyi J, Parchamy H, Richardson M C 2013 *Applied Physics Letters* **102** 164102
- [7] Ni Q L 2003 *Ph. D. Dissertation* (Changchun: University of Chinese Academy of Sciences) (in Chinese) [尼启良 2003 博士学位论文 (长春: 中国科学院研究生院, 长春光学精密机械与物理研究所)]
- [8] Jin C S, Wang Z S, Cao J L 2000 *Optics and Precision Engineering* **8** 66 (in Chinese) [金春水, 王占山, 曹健林 2000 光学精密工程 **8** 66]
- [9] Cai Y, Wang W T, Yang M, Liu H S, Lu P X, Li R X, Xu Z Z 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 5100 (in Chinese) [蔡懿, 王文涛, 杨明, 刘建胜, 陆培祥, 李儒新, 徐至展 2008 物理学报 **57** 5100]
- [10] Zhao Y P, Xu Q, Xiao D L, Ding N, Xie Y, Li Q, Wang Q 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 245204 (in Chinese) [赵永蓬, 徐强, 肖德龙, 丁宁, 谢耀, 李琦, 王骥 2013 物理学报 **62** 245204]
- [11] Dou Y P, Sun C K, Liu C Z, Gao J, Hao Z Q, Lin J Q 2014 *Chin. Phys. B* **23** 075202
- [12] Wang H C, Wang Z S, Li F S, Qin S J, Du Y, Wang L, Zhang Z, Chen L Y 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2368 (in Chinese) [王洪昌, 王占山, 李佛生, 秦树基, 杜芸, 王利, 张众, 陈玲燕 2004 物理学报 **53** 2368]
- [13] Wu T, Wang X B, Wang S Y, Tang J, Lu P X, Lu H 2012 *Journal of Applied Physics* **111** 063304
- [14] Wu T, Wang X B, Tang J, Rao Z M, Wang S Y 2011 *Laser Technology* **35** 800 (in Chinese) [吴涛, 王新兵, 唐建, 饶志明, 王少义 2011 激光技术 **35** 800]
- [15] Wu H Y, Wu Y G, Wang Z H, Lu G, Ling L J, Xia Z H, Chen N B 2011 *Acta Photonica Sinica* **40** 0001 (in Chinese) [伍和云, 吴永刚, 王振华, 吕刚, 凌磊婕, 夏子矣, 陈乃波 2011 光子学报 **40** 0001]
- [16] Bob R, Luna B, Nadia G, Abhari R S 2012 *Extreme Ultraviolet Lithography III 83222P* San Jose, California United States, February 12 2012
- [17] Wang J L, Chen W W, Cai L, Ma Y R, Liu Y S, Lv G S, Shao M J, Jin Y Q, Sang F T 2006 *High Power Laser and Particle Beams* **18** 935 (in Chinese) [王景龙, 陈文武, 蔡龙, 马月仁, 刘宇时, 吕国盛, 邵明君, 金玉奇, 桑凤亭 2006 强激光与粒子束 **18** 935]
- [18] Cui Y Q, Wang W M, Sheng Z M, Li Y T, Zhang J 2013 *Plasma Physics and Controlled Fusion* **55** 085008
- [19] Bakshi V 2006 *EUV Sources for Lithography* (Bellingham, WA: Spie Press) p113

# Experimental study on laser produced tin droplet plasma extreme ultraviolet light source\*

Chen Hong<sup>1)2)</sup> Lan Hui<sup>1)</sup> Chen Zi-Qi<sup>2)</sup> Liu Lu-Ning<sup>2)</sup> Wu Tao<sup>3)</sup> Zuo Du-Luo<sup>2)</sup>  
Lu Pei-Xiang<sup>2)</sup> Wang Xin-Bing<sup>2)†</sup>

1) (School of Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

2) (Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

3) (School of Science, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China)

( Received 10 June 2014; revised manuscript received 9 October 2014 )

## Abstract

Extreme ultraviolet lithography (EUVL), which uses the extreme ultraviolet radiation at a wavelength of 13.5 nm, is the leading candidate of next generation lithography addressing not only the 10 nm half-pitch nodes, but several nodes beyond that. Among all the methods for getting EUV radiation, laser-produced plasma (LPP) light source is the most promising EUV light source because of its high conversion efficiency (CE), large collect angle and low debris output. In this paper, pulsed TEA-CO<sub>2</sub> laser and Nd:YAG laser are used to irradiate tin droplets to obtain plasma EUV emission, and the properties of EUV radiation from the plasma are studied. Results show that the EUV emission spectra induced by Nd:YAG laser have an obvious blueshift as compared with those by CO<sub>2</sub> laser. In addition, the LPP sources are point light sources, so that the angular distribution of EUV emission from LPP can be described by Lambertian distribution.

**Keywords:** uniform droplet tin target, laser-produced plasma, EUV source, radiation distribution

**PACS:** 52.59.-f, 47.60.Kz, 52.50.Jm, 52.25.Os

**DOI:** [10.7498/aps.64.075202](https://doi.org/10.7498/aps.64.075202)

---

\* Project supported by the Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11304235).

† Corresponding author. E-mail: [xbwang@hust.edu.cn](mailto:xbwang@hust.edu.cn)