

193 nm 深紫外固体激光技术探索

郑俊娟¹, 秘国江^{2,3}, 王 旭^{2,3}, 毛小洁^{2,3}, 钟国舜^{2,3}

(1. 北京服装学院基础部, 北京 100029; 2. 固体激光技术重点实验室, 北京 100015; 3. 华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要:对 193 nm 深紫外激光技术实现途径进行了系统地分析, 提出了一种可获得高重复频率、高光束质量的深紫外固体激光技术途径, 分析了涉及的关键技术, 对实用化深紫外固体激光源的研制具有一定的参考价值。

关键词:193 nm 深紫外激光; 谐波转换; 固体激光技术

中图分类号:TN248.1 **文献标识码:**A

Feasibility research of 193 nm deep ultraviolet solid state laser technology

ZHENG Jun-juan¹, BI Guo-jiang^{2,3}, WANG Xu^{2,3}, MAO Xiao-jie^{2,3}, ZHONG Guo-shun^{2,3}

(1. Beijing University of Fashion Technology, Beijing 100029, China; 2. Solid Laser Technology Key Lab, Beijing 100015, China; 3. North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: In this paper, the way of obtaining 193 nm deep ultraviolet laser is analyzed, and a LD pumped solid state laser system by harmonic generations is reported, which has narrow line width, high repetition rate and high beam quality, and is some valuable to make small size and practical 193nm deep ultraviolet solid-state laser.

Key words: 193 nm deep ultraviolet laser; harmonic generation; solid state laser technology

1 引 言

随着深紫外(波长 < 200 nm)光刻、微纳米精细激光加工、超高分辨率光电子能谱仪和光电子发射显微镜等现代化仪器,以及化学反应动力学等基础研究对深紫外相干光源的迫切要求,发展高光束质量、窄线宽的深紫外激光源是摆在激光科技界面前的一个非常重要的任务^[1]。深紫外固体激光技术已成为当今激光领域的一个研究热点。本文对获取 193 nm 深紫外激光技术进行了分析,提出了一种可获得高重复频率、高光束质量和实用化的深紫外固体激光技术途径。

2 深紫外激光技术途径分析

产生 193 nm 深紫外激光主要有准分子激光器和固体激光器两种技术途径,这两种技术途径各有特点。

2.1 准分子技术途径分析

193 nm 深紫外激光可通过 ArF 准分子激光器

直接实现。ArF 准分子激光谐振腔采用球隙开关技术,为了获得窄的脉冲宽度,要求击穿电压、电流有快的上升时间。球隙电极放电均匀性对激光脉冲能量的稳定性影响很大。

美国 Coherent 公司 Indy Star TM 系列高重复频率准分子激光器是 193 nm 深紫外激光器的典型代表。输出脉冲能量为 8 ~ 200 mJ,工作频率为 200 Hz ~ 1 kHz,脉宽 10 ~ 25 ns,峰值功率为兆瓦量级。

ArF 准分子激光器技术成熟,但光束的单色性不好,线宽较宽,光束质量较差,光学参数达不到超高分辨率光电子能谱仪等精密仪器的要求。且体积庞大,需备有气瓶等辅助设备,气体需定期更换,操作十分不便,很难小型化,使准分子激光器的应用范

作者简介:郑俊娟(1972 -),女,副教授,主要从事固体物理技术方面的研究。E-mail:bi_gj@163.com

收稿日期:2010-06-02;**修订日期:**2010-08-16

围受到限制。

2.2 固体激光技术途径分析

通过非线性晶体的多次谐波转换实现 193 nm 激光输出是发展全固态深紫外激光源 (all solid-state deep ultraviolet laser, ASSL-DUV) 的有效途径。受非线性晶体在深紫外区域透过率和相位匹配条件的限制,20 世纪中后期科学家们把获取 200 nm 以下的深紫外固体光源看作是一道壁垒。随着固体激光技术的不断进步和新型 $\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$ (KBBF), $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 等深紫外激光晶体的不断出现,固体激光器通过多次谐波转换实现深紫外的激光技术成为可能。与准分子激光器相比,LD 泵浦深紫外固体激光器具有重复频率高、光束质量好、相干特性好、寿命长、结构紧凑等优点,成为近来国际上固体激光器领域的一个研究热点。

日本、加拿大等国多家研究机构进行了深紫外固体激光器技术研究,但输出功率一般在毫瓦量级^[2],虽属于起始阶段,但已显现出良好的发展前景。国内中科院理化所研制出 KBBF 晶体,把 193 nm 激光的功率提高到几十毫瓦,在国际上处于领先水平^[3]。目前,深紫外激光源向多波长、高重频、高峰值功率、窄线宽、高光束质量和全固态方向发展。

在深紫外固体激光技术研究中,绝大多数前端激光泵浦源从全球知名激光器生产厂家采购,甚至采用两个不同的激光泵浦源,价格昂贵、体积庞大,仅限于平台上的实验研究,很难实用化。考虑了整体光路布局 and 实用化等要求,提出了一个高重频、实用化的深紫外固体激光器技术途径。

3 实用化 LD 泵浦深紫外固体激光器技术研究

采用谐波转换获得 193 nm 深紫外固体激光的技术途径为:振荡器的工作物质为 Nd:YAG,基频光经腔内二倍频 (SHG) 和腔外四倍频 (FHG) 分别获得 532 nm 和 266 nm 激光,532 nm 激光通过参量振荡 (OPO) 获得 708 nm 激光,最后 266 nm 的紫外激光和 708 nm 的红激光通过冷却的 BBO 晶体合频 (SFM) 产生 193 nm 的深紫外激光,光路如图 1 所示^[4-5]。

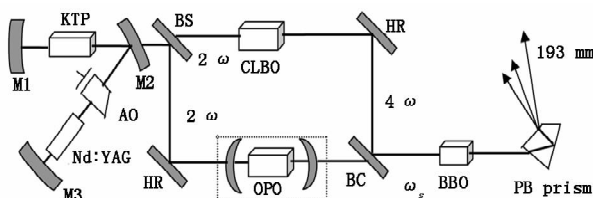


图 1 深紫外固体激光器光路图

采用上述技术途径涉及的关键技术有:

1) 冷却 BBO 晶体合频产生 193 nm 激光技术

室温下,熔析法生长的 BBO 晶体对深紫外激光吸收强烈,光吸收带来晶体严重的热效应,引起相位失配,影响谐波转换效率和稳定性。实验研究发现,BBO 晶体温度降至 230 K 左右时,对深紫外激光的吸收大幅下降,可以作为深紫外谐波转换晶体。研究中采用了 TEC 制冷技术,使 BBO 晶体维持在低温。

2) CLBO 晶体腔外四倍频谐波转换技术

CLBO 晶体的有效非线性系数适中,走离角较小,角度接收带宽较宽,可获得较高的四倍频紫外激光输出,其不足之处易于潮解。故 CLBO 晶体放置在密封的恒温盒内,温度设定为 140 °C,控温精度为 ± 0.1 °C,从而解决了四倍频谐波转换的稳定性和晶体易潮解的问题。

3) 光束质量控制与整体光路设计优化技术

光束质量也是深紫外固体激光器的重要技术指标之一。1064 nm 基频光经腔内二倍频 (SHG)、四倍频 (FHG)、参量振荡 (OPO) 和最后的合频 (SFM) 一系列谐波转换才得到 193 nm 深紫外激光,而每一步均要进行偏振态的改变和光束传输变换控制。因此,要获得好的光束质量和高的谐波转换效率,需对整个光路进行优化设计。

4) 新型深紫外非线性晶体的生长、加工和镀膜技术

国内仅有中科院人工晶体所可以生长 CLBO 非线性晶体。考虑到光学破坏等问题,深紫外晶体端面一般不镀增透膜,但两个端面均有 4% 的损耗。为了减小光学损耗,需对深紫外 BBO、CLBO 光学晶体的镀膜技术进行攻关研究。系统中激光波长覆盖了从近红外、可见光、紫外、深紫外的宽光谱范围,光学晶体和光学器件的镀膜非常复杂,难度很大。

5) 193 nm 激光分离与测量技术

因空气中的氧离子对 193 nm 激光有非常强的吸收,故后端合频光路要密封充氮。通过 Pellin-Broca 棱镜实现 193 nm 波长激光的分离。

上述实验工作正在进行当中,现已取得初步的实验结果。

4 总结

经过多次谐波转换获得的深紫外固体激光具有单色性好、线宽窄、光斑模式好,具有易操作、实用化等优点,有非常广阔的应用前景。本文提出的通过

LD 泵浦、谐波转换获得深紫外固体激光源的技术途径,对小型化、实用化深紫外固体激光源的研制具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] Jan Eric Herr. Non-lethal tetanizing weapon [P]. US5675103,1997.
- [2] Hikaru Kouta, Yasuhiko Kuwano. Attaining 186 nm light generation in cooled-BaB₂O₄ crystal[J]. Optics Letters, 1999,24:1230 – 1232.
- [3] Xin Zhang, Zhimin Wang. Widely tunable and high-average-power fourth-harmonic generation of a Ti:sapphire laser with a KBe₂OF₂ prism-coupled device[J]. Optics Letters, 2009,34:1342 – 1344.
- [4] Hao Er-juan, Li Tem, Tan Huiming, et al. Single frequency laser at 473 nm by twisted mode technique[J]. Laser & Infrared, 2009,39(9):925 – 927. (in Chinese)
郝二娟, 李特, 檀惠明, 等. 单频蓝光激光器的实现[J]. 激光与红外, 2009,39(9):925 – 927.
- [5] Zhang Yufeng, Wang Yunqian, Ma Ying, et al. LD end pumped all solid state UV lasers[J]. Laser & Infrared, 2007,37(12):1262 – 1264. (in Chinese)
张玉峰, 王运谦, 马莹, 等. LD 端泵全固化紫外激光器[J]. 激光与红外, 2007,37(12):1262 – 1264.