

中国激光

大能量 177.3 nm 真空紫外激光研究

真空紫外(波长短于 180 nm)全固态激光(VUV-DPL)凭借其光子能量高及可满足精密化和实用化需求等优势在谱仪和光电子显微镜等领域中有广泛应用。此外,大能量 VUV 激光可用于超精细加工,成倍提高加工精度,也可作为大型光刻机的种子激光源。因此,为了扩大 VUV-DPL 的应用范围,我们研究了高脉冲能量 177.3 nm VUV 激光。

$\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$ (KBBF)族晶体是目前唯一可直接倍频(SHG)产生 VUV 的非线性晶体,利用 KBBF 晶体有效产生深紫外激光的唯一技术是 KBBF 棱镜耦合(KBBF-PCD)器件。2014 年,本课题组实现了纳秒 177.3 nm 激光输出,重复频率为 1 kHz,单脉冲能量为 146.5 μJ 。2020 年,实现了大能量 0.375 mJ 的 177.3 nm 输出,重复频率为 10 Hz,脉宽为 3.6 ns。本文利用大能量皮秒(ps)紫外 355 nm 激光器作为基频源,采用 KBBF-PCD 器件,通过腔外倍频获得 177.3 nm 激光,单脉冲能量为 0.61 mJ,这是目前 VUV 波段的最高单脉冲能量。

实验装置如图 1 所示,基频源为皮秒 355 nm 激光器,最大输出单脉冲能量为 300 mJ,重复频率为 5 Hz,脉宽为 ~ 300 ps。由于 VUV 激光在空气中传输会有较大损耗,因此倍频过程在充满 N_2 的密封真空室内完成。基频光光斑被透镜组 L1 和 L2 缩小至 3 mm(直径)后,平行入射到 KBBF-PCD 器件上,KBBF 晶体厚度为 1.6 mm,通过调节基频光

177.3 nm VUV 激光输出,产生的 177.3 nm 激光与剩余 355 nm 基频光经过 CaF_2 棱镜后自动分离,输出脉冲能量如图 2(a)所示。当入射基频光能量增加到 114.6 mJ 时,177.3 nm 激光的最高输出能量为 0.61 mJ,转换效率为 0.53%,低于目前报道的最高效率(2.8%),这可能是由于晶体质量的个体差异及倍频环境中气体组分和压强等因素的影响;峰功率密度为 5.4 GW/cm^2 ,接近器件的损伤阈值。据我们所知,这是目前报道的 VUV 最高单脉冲能量。另外,因缺少测量 VUV 激光时域特性的光电探测器,我们建立皮秒 KBBF-SHG 数值模型对输出脉冲波形进行模拟,假设入射光为高斯光束,考虑线性吸收、群速度失配和双折射走离等影响,模拟结果如图 2(b)所示,倍频光脉宽为 ~ 230 ps,因时间增益窄化效应,该值比基频光脉宽小,约为基频光脉宽的 $\sqrt{2}/2$ 。

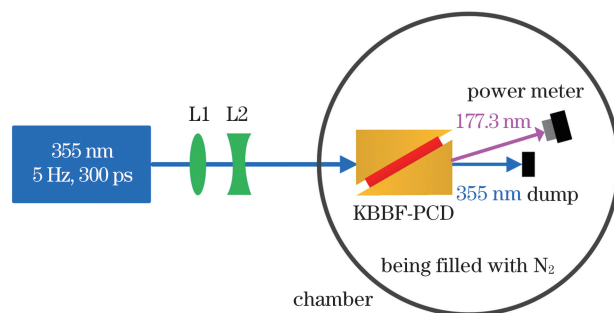


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram

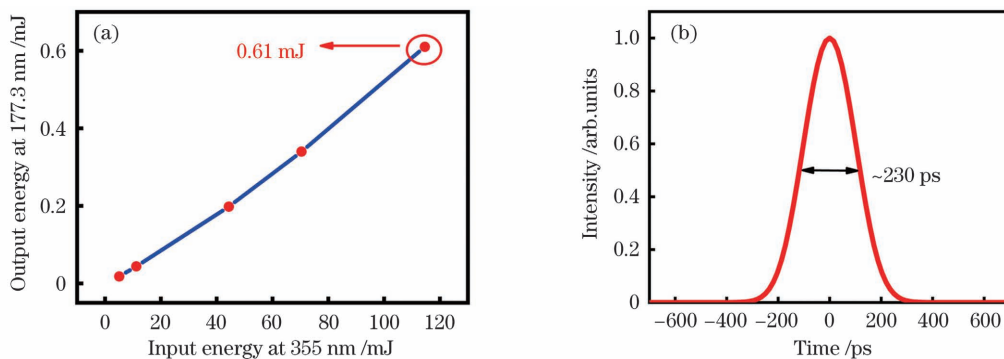


图 2 177.3 nm 激光的输出特性。(a)输出能量;(b)模拟的输出脉冲波形

Fig. 2 Output characteristics of 177.3 nm laser. (a) Output energy; (b) simulated output pulse waveform

温宁^{1,3}, 宗楠^{1,2}, 张申金^{1,2*}, 高宏伟^{1,2**}, 薄勇^{1,2}, 彭钦军^{1,2}, 崔大复^{1,2}, 许祖彦^{1,2},
汪楠⁴, 林学春⁴

¹中国科学院理化技术研究所功能晶体与激光技术重点实验室, 北京 100190;

²中国科学院理化技术研究所固体激光重点实验室, 北京 100190;

³中国科学院大学, 北京 100190;

⁴中国科学院半导体研究所全固态光源实验室, 北京 100083

通信作者: *zhangshenjin@163.com; **gaohongwei@mail.ipc.ac.cn

收稿日期: 2022-03-28; 修回日期: 2022-04-01; 录用日期: 2022-04-11