

文章编号: 0258-7025(2006)12-1590-03

# 激光二极管抽运 Nd:YVO<sub>4</sub>晶体五倍频 213 nm 深紫外激光器

苏艳丽<sup>1</sup>, 何京良<sup>1,2</sup>, 姜其畅<sup>1</sup>, 范秀伟<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 山东师范大学物理与电子科学学院, 山东 济南 250014; <sup>2</sup> 山东大学晶体材料国家重点实验室, 山东 济南 250100)

**摘要** 报道了一种声光调Q激光二极管抽运 Nd:YVO<sub>4</sub>晶体腔外五倍频213 nm深紫外全固态激光器。实验上分别利用 KTP 和两块 BBO 晶体产生 532 nm 倍频绿光, 266 nm 紫外四倍频以及基波与四倍频的混频, 实现了从 Nd:YVO<sub>4</sub> 近红外激光到 213 nm 深紫外激光的频率变换。在 10.3 W 抽运功率下, 获得平均输出功率 3.1 mW, 脉宽 7.5 ns 的 213 nm 深紫外激光输出。

**关键词** 激光技术; 深紫外激光器; BBO 晶体; 五倍频; 激光二极管抽运

**中图分类号** TN 248.1 **文献标识码** A

## Efficient 213 nm Radiation Fifth Harmonic Generation of a Laser Diode-Pumped Nd:YVO<sub>4</sub> Laser

SU Yan-li<sup>1</sup>, HE Jing-liang<sup>1,2</sup>, JIANG Qi-chang<sup>1</sup>, FAN Xiu-wei<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Physics and Electronics, Shandong Normal University, Ji'nan, Shandong 250014, China)  
(<sup>2</sup> State Key Laboratory of Crystal Materials, Shandong University, Ji'nan, Shandong 250100, China)

**Abstract** A compact and efficient 213 nm deep-ultraviolet all solid state laser based on Q-switched laser diode (LD)-pumped Nd:YVO<sub>4</sub> laser is presented. In the experiment, KTP crystal (KTiOPO<sub>4</sub>) and BBO crystal (beta-BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) are used for the 532 nm second-harmonic generation and the 266 nm fourth-harmonic generation respectively. Subsequent sum-frequency mixing is performed in a second BBO crystal to mix the fourth-harmonic at 266 nm and the residual fundamental at 1064 nm. At 10.3 W of incident pump power, the average power of 3.1 mW at 213 nm with the pulse width of 7.5 ns is obtained.

**Key words** laser technique; deep-ultraviolet laser; BBO crystal; fifth harmonic generation; laser diode pump

### 1 引言

210 nm 波段的深紫外相干光源在半导体光刻、高密度光盘存储、精细材料加工、医疗、高精度光谱分析和科学研究等领域有重要的应用。近几年随着新型深紫外非线性光学晶体的不断出现以及各种倍频技术的日趋成熟, 全固态深紫外激光器已成为激光技术研究领域中的热点之一<sup>[1,2]</sup>。

获得全固态深紫外激光最直接的方法是利用各

种非线性光学晶体的二阶非线性效应, 对钕离子固体激光的近红外基波进行频率转换, 产生四次、五次谐波。目前四倍频紫外激光的输出功率已达到相当高的水平, 国外对于 213 nm 全固态深紫外激光器的研究有一些报道<sup>[3,4]</sup>。本文设计了一台结构紧凑的全固态 Nd:YVO<sub>4</sub> 深紫外激光器, 用 KTP 和 BBO 晶体分别对声光调 Q 的 1064 nm 激光进行腔外二倍频、四倍频, 再用 BBO 晶体对四倍频和剩余基波进行合频产生 213 nm 深紫外激光, 平均功率输出

**收稿日期:** 2006-03-17; **收到修改稿日期:** 2006-06-30

**基金项目:** 国家自然科学基金(60478009)和高等学校博士学科点专项科研基金(20050445001)资助项目。

**作者简介:** 苏艳丽(1979—), 女, 山东师范大学物理与电子科学学院硕士研究生, 主要从事全固态激光技术与器件的研究。

E-mail: syli1979@163.com

**导师简介:** 何京良(1957—), 男, 山东青岛人, 山东大学晶体材料研究所教授, 博士生导师, 目前研究方向为晶体材料的表征与全固态激光技术。E-mail: jlhe@icm.sdu.edu.cn

3.1 mW, 重复频率 20 kHz, 脉宽 7.5 ns。

## 2 实验装置

全固态 213 nm 深紫外激光器的实验装置如图 1 所示。

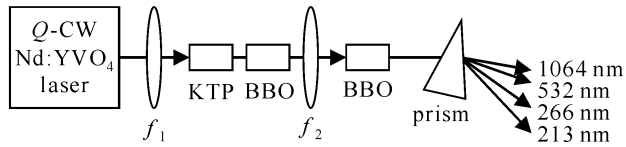


图 1 213 nm 深紫外激光器实验装置

Fig. 1 Experiment setup of 213 nm deep-ultraviolet laser

1064 nm 基波谐振腔采用平-凹直腔结构, 腔长 100 mm。Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体尺寸为 4 mm × 4 mm × 8 mm, 掺杂原子数分数为 0.3%; 声光 Q 开关的调制频率 1~50 kHz 连续可调, 输出耦合镜透射率为 20%。基波光束用焦距  $f_1 = 50$  mm 的透镜聚焦, KTP 晶体和四倍频 BBO 晶体紧靠放在焦点附近。KTP 晶体采用 II 类相位匹配, 尺寸为 4 mm × 4 mm × 8 mm, 按 45° 放置(相对 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体的主轴), 两面镀 1064 nm/532 nm 增透膜。四倍频 BBO 晶体采用 I 类相位匹配, 匹配角为  $\theta = 47.6^\circ$ , 尺寸为 4 mm × 4 mm × 8 mm。BBO 晶体输入面镀 1064 nm, 532 nm 增透膜, 输出面镀 266 nm 增透膜。产生的 266 nm 激光与剩余基波再用焦距  $f_2 = 50$  mm 的石英透镜聚焦, 五倍频 BBO 晶体放在其焦点附近, 尺寸为 4 mm × 4 mm × 8 mm, 采用 I 类相位匹配, 匹配角为  $\theta = 51.1^\circ$ , 其输入面镀 1064 nm, 266 nm 增透膜, 谐波输出面镀 213 nm 增透膜。光路最后用一棱镜分光后用功率计测量深紫外激光的平均输出功率。

## 3 实验结果与分析

为了获得较高的绿光转换效率, 实验中采用声光开关的重复频率为 20 kHz。当抽运功率为 10.3 W 时, 1064 nm 近红外激光输出为 2.9 W, 脉宽为 20 ns, 峰值功率为 7.25 kW; 放入二倍频晶体 KTP 后, 绿光输出功率为 650 mW, 脉宽为 13 ns, 峰值功率为 2.5 kW。在靠近 KTP 之后放置四倍频晶体 BBO, 266 nm 紫外激光最大输出功率为 59 mW, 其脉宽约为 8 ns, 峰值功率为 370 W, 绿光-紫外单次通过功率转换效率约为 9%。

产生的四次谐波经石英透镜聚焦后入射到焦点

附近的五倍频 BBO 晶体上, 和剩余的基波进行和频, 产生 213 nm 深紫外激光。利用石英棱镜进行分光可测得各波段激光的平均输出功率。在抽运功率为 10.3 W, 重复频率为 20 kHz 时, 获得 213 nm 激光平均输出功率为 3.1 mW, 其脉宽约为 7.5 ns, 峰值功率为 20 W, 单脉冲能量为 0.15  $\mu$ J, 1 h 内 213 nm 深紫外激光功率抖动不大于 1.6% (RMS), 稳定度较好。

图 2 描述了五次谐波平均输出功率随抽运功率的变化关系。抽运功率为 10.3 W 时, 深紫外激光输出功率达到最大值 3.1 mW, 之后随着抽运功率的提高不再增加反而下降。其中部分原因是因为腔内增益介质内的基模光束 (280  $\mu$ m) 小于抽运光斑的尺寸 (380  $\mu$ m), 从而导致高功率抽运时基波的高阶模运转, 降低了后面谐波的转换效率。另外, 高功率抽运时, Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体所表现出来的热透镜效应和热致双折射效应也会影响倍频效率。

图 3 给出了 213 nm 深紫外激光的脉冲波形,

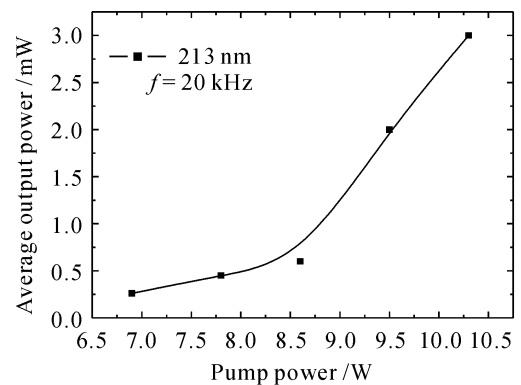


图 2 深紫外激光输出功率与抽运功率的关系

Fig. 2 Relation of the average output power at 213 nm versus the incident pump power

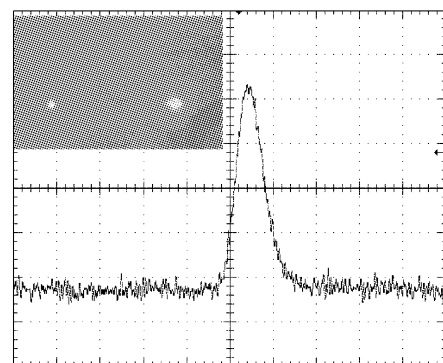


图 3 深紫外 213 nm 激光脉冲波形  
(插图为 120 cm 处拍摄的 213 nm (左),  
266 nm (右) 激光输出模式)

Fig. 3 Pulse shape of deep-ultraviolet laser at 213 nm  
(Inset: the mode of 213 nm (L) and 266 nm (R) taken by the camera at long distance of 120 cm)

脉宽为7.5 ns。图中插入部分给出了在120 cm处用数码相机拍摄的213 nm激光的输出模式,右边大的光斑是266 nm激光。实验中产生四倍频激光的BBO晶体出现潮解现象并且镀膜有所损伤,这是造成213 nm深紫外激光总体转换效率较低的主要原因。

#### 4 结 论

利用BBO晶体五倍频特性,实现了Nd:YVO<sub>4</sub>激光近红外到深紫外的频率变换,获得了全固态213 nm深紫外准连续波激光的输出,其平均功率为3.1 mW,脉冲宽度约为7.5 ns,峰值功率为20 W,单脉冲能量为0.15 μJ。这种高重复频率的全固态毫瓦量级的深紫外准连续波相干光源在生物检测和荧光光谱中有着重要的应用。

#### 参 考 文 献

- 1 Cheng Guanghua, Wang Yishan, Yu Lianjun *et al.*. High efficient second harmonic at 416 nm and fourth harmonic generation at 208nm in compacted all-solid-state Ti:sapphire laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(7):769~772  
程光华,王屹山,于连君等. 高效全固化钛宝石腔内倍频蓝光和四倍频紫外激光器的研究[J]. *中国激光*, 2004, **31**(7):769~772
- 2 Yong Bi, Yan Feng, Huarong Gong *et al.*. High-average power THG of a diode-pumped Nd:YAG laser at 355 nm generated by LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub> crystal [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(2):91~92
- 3 Dahv A. V. Kliner, Fabio Di Teodoro, Jeffrey P. Koplow *et al.*. Efficient second, third, fourth, and fifth harmonic generation of a Yb-doped fiber amplifier [J]. *Opt. Commun.*, 2002, **210**(1-2):393~398
- 4 L. B. Chang, S. C. Wang, A. H. Kung. Efficient compact watt-level deep-ultraviolet laser generated from a multi-kHz Q-switched diode-pumped solid-state laser system [J]. *Opt. Commun.*, 2002, **209**(4-6):397~401



## 中国科学院上海光学精密机械研究所成功举办 第三届光学设计高级讲习班

第三届“中国科学院上海光学精密机械研究所光学设计高级讲习班”于2006年10月23~27日在中国科学院上海光学精密机械研究所开班。来自全国各公司、科研院所及高等院校的52名从事应用光学和光机设计研究与技术开发的学员参加了此次培训。

讲习班的培训内容分为光学系统设计、光学机械系统设计、光学加工与检测技术、光学薄膜等四个方向,分别由上海光机所王之江院士、朱健强研究员、范正修研究员、徐文东研究员主讲。

光学设计和光机设计等课程在国际光学工程界是非常实用的课程,国际重要学术会议如SPIE会议,经常举办类似的讲习班。由于其课程与实际应用非常接近,对光学企业面临的实际问题具有一定的普适性,因此,此类讲习班一直深受学员欢迎。在国内,中国科学院上海光学精密机械研究所拥有着一批高水平的光学工程专家,自2004年以来,该高

级讲习班已连续举办三届,旨在培育光学设计和光机设计高级人才和专家。

本次讲习班的课程在上两届的基础上有所扩充和提高,并安排学员分别参观了凤凰光学(上海)公司、“神光II”高功率激光物理实验装置。同时,讲习班的举办还得到了相关国外软件公司的关注,在培训期间特地做了专题报告。

在讲习班即将结束时,主办方分发了培训课程征求意见表,广泛听取学员意见,以便更好地组织、实施今后的培训活动。学员们纷纷表示接受此次培训之后,对我国目前的光学、光机设计有了整体了解和把握,受益匪浅。不少学员也借此机会向专家们咨询在工作、学习之中遇到的各类的应用难题,并与同行进行了广泛的交流。

本次讲习班是由《光学学报》,《中国激光》,《激光与光电子学进展》和 *Chinese Optics Letters* 联合编辑部具体承办。