

589 nm 全固态黄光激光器研究进展

王禹凝¹, 刘伟奇², 陈曦¹, 丁蕴丰¹, 郭家喜³, 姚矣³, 郑权^{2,3}

(1. 长春理工大学 物理系, 吉林 长春 130022;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

3. 长春新产业光电技术有限公司, 吉林 长春 130012)

摘要: LD泵浦的全固态黄光激光器发展迅速, 在激光医疗、空间目标探测和识别、光谱学、激光显示等领域有着广泛的应用前景。高功率、高稳定性、高效率、高光束质量的 589 nm 全固态黄光激光器是当前激光领域内的研究热点。本文综述并分析了 589 nm 全固态黄光激光器的研究现状及进展, 为后续该领域的研究工作提供了有益的参考。

关键词: 激光技术; 全固态; 黄光激光器; 和频

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

DOI: 10.3788/OMEI20112807.0001

Advances in All-solid-state Yellow Lasers at 589 nm

WANG Yu-ning¹, LIU Wei-qi², CHEN Xi¹, DING Yun-feng¹, GUO Jia-xi³,
YAO Yi³, ZHENG Quan^{2,3}

(1. *Department of Physics, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;*

2. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China;*

3. *Changchun New Industries Optoelectronics Technology Co., Ltd, Changchun 130012, China)*

Abstract: All-solid-state yellow lasers pumped by laser diode are developing quickly, and have great applications in laser medical, space target detection and identification, spectrum, laser display and other fields. At present, all-solid-state yellow lasers at 589 nm with high power, high stability, high efficiency and high beam quality are the research interest in laser field. The research status and development of all-solid-state yellow lasers at 589 nm were summarized and analyzed in this paper, which was useful reference for the future research in this field.

Keywords: laser technology; all-solid-state; yellow lasers; sum-frequency

1 引言

589 nm 黄光激光器在激光钠导星、激光雷达、激光医疗、舞台表演、城市观景、国防军事和科学研究等领域有广泛的应用前景,因此,对 589 nm 光源的研究一直是人们关注的热点。获得 589 nm 光源的方式主要有染料激光技术、拉曼光纤激光技术与全固态和频激光技术。染料激光器由于功率低、安全性差、染料退化、能量消耗高、性能不稳定等一系列问题,已经很少被采用。拉曼光纤激光器或放大器具有受激布里渊散射和线宽非线性展宽的特性,因此不适合产生高功率、窄线宽的激光输出。虽然基于某种技术手段可以成功地抑制这些效应,但结构复杂、成本昂贵、稳定性差的缺点,成为限制其发展的主要因素。全固态激光器是指用 LD 代替传统闪光灯泵浦的固体激光器,它具有效率高、体积小、寿命长、可靠性高、结构牢固、光束质量好等优势,已成为新一代的优质相干光源。20 世纪末,伴随着高功率 LD 泵浦源和性能优异的非线性晶体的相继出现,将 DPL 技术和非线性频率变换技术相结合,可以获得深紫外到红外各波长的激光输出,同时具有很高的转换效率,使得 LD 泵浦的固体激光器成为研究热点之一,受到了国内外研究机构的青睐。

2 基本原理

Nd:YAG 以 Nd^{3+} 作为激活粒子,它的主要跃迁能级图和发射截面参量如图 1,表 1 所示。位于激光上能级的 Nd^{3+} 粒子将以 0.6:0.25:0.14 的发射分支比向 ${}^4\text{F}_{9/2}$ 、 ${}^4\text{F}_{11/2}$ 和 ${}^4\text{F}_{13/2}$ 的 3 个终端能级发生辐射跃迁,分别发出 946 nm, 1 064 nm 和 1 319 nm 荧光谱线。其中,1 064 nm 和 1 319 nm 属于四能级系统,阈值较低,常温下容易获得激光输出。

589 nm 黄光激光是通过通过对 1 064 nm 和 1 319 nm 激光进行和频获得的。为了使能量有效地从波长为 1 064 nm 和 1 319 nm 的抽运波转移到波长为 589 nm 的生成波,在和频过程中必须满足能量守恒和动量

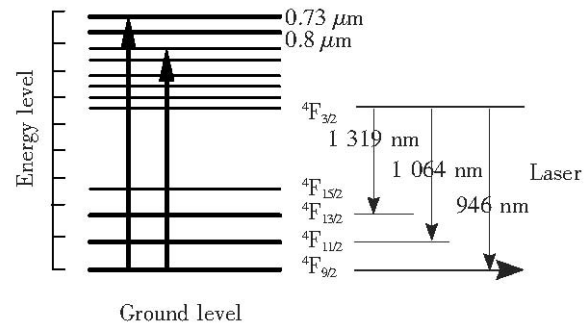


图1 Nd:YAG主要跃迁能级图

表1 Nd:YAG发射截面参量图

Wavelength/nm	Stimulated emission cross section/ m^2
1 319	1.50×10^{-20}
1 335	0.92×10^{-20}
1 338	1.50×10^{-20}
1 061	6.65×10^{-20}
1 073	4.00×10^{-20}
1 356	0.88×10^{-20}
1 064	8.80×10^{-20}
946	1.34×10^{-20}

守恒,其中能量守恒可以表示为:

$$\frac{hc}{1\ 064\ \text{nm}} + \frac{hc}{1\ 394\ \text{nm}} \approx \frac{hc}{589\ \text{nm}} \quad (1)$$

其中, h 为普朗克常数, c 为光速。

为了得到较高的和频效率,两束基频光的功率需要满足一定的配比。在理想状态下,一个 1 064 nm 光子与一个 1 319 nm 光子经过非线性变换,产生一个 589 nm 光子。因此,腔内 1 064 nm 激光和 1 319 nm 激光功率理论上的最佳配比应为:

$$\frac{P_{\text{in}1\ 064\ \text{nm}}}{P_{\text{in}1\ 319\ \text{nm}}} = \frac{\frac{hc}{1\ 064\ \text{nm}}}{\frac{hc}{1\ 319\ \text{nm}}} = 1.24 \quad (2)$$

又已知腔内功率可以由下式计算得出^[1]:

$$P_{\text{in}i} = P_{\text{out}i} \frac{1+R_i}{1-R_i} \quad (3)$$

其中, P_{out} 和 R 分别代表激光输出功率和耦合输出镜的反射率,角标 $i=1\ 064\ \text{nm}$ 或 $1\ 319\ \text{nm}$, 分别对应着 1 064 nm 和 1 319 nm 激光器的参量。通过选择两

束激光合适的 LD 抽运功率配比, 就可以保证腔内两束基频光在非线性晶体上达到最佳的功率配比, 从而提高和频效率。

3 单个增益介质在谐振腔内双波长同时振荡和频获得 589 nm 激光输出

20 世纪 80 年代, KTP 非线性材料的出现和 LD 泵浦技术的应用, 使得非线性频率变换技术得到了发展, 但由于稳定性的原因, 发展仍然相对缓慢。20 世纪 90 年代初, 一些研究者开始对掺 Nd³⁺ 激光增益介质多波长振荡条件和输出特性进行研究, 通过控制谐振腔的参数, 可以实现多波长的同时运转, 并给出了多波长的振荡条件理论模型^[2]。

利用单个增益介质在谐振腔内双波长同时运转并同时利用和频技术来获得黄光光源是一种非常流行的方法, 其中最常用的方法是利用 Nd:YAG 晶体的 $^4F_{3/2}-^4I_{11/2}$ 和 $^4F_{3/2}-^4I_{13/2}$ 跃迁谱线同时振荡和频来获得 589 nm 的黄色激光。1994 年, M. B. Danalov 等人报道了一种产生黄光光源的新方式 (该激光波长与钕 D_{2a} 线可以实现共振), 主要研究了 Nd:YAG 激光器进行腔内和频形成黄光辐射输出的可能性, 该设计的优点在于腔内和频具有较高的功率密度, 并且设计结构紧凑。利用 LN 作为和频晶体, 在 30 J 的泵浦功率下, 可以获得 50~100 mJ 的黄光输出^[3]。2004 年, 长春光机所的贾富强、卜轶坤、郑权等人在理论上分析和计算了 Nd:YAG 激光器双波长同时运转时两基频光所要满足输出镜透过率的关系, 提出在双波长共同运转的前提下, 适当减小对增益较大谱线的透过率, 可以获得更高的腔内和频效率的理论模型, 并从实验上加以证实。实验中利用 2 W 激光二极管端面泵浦 Nd:YAG 的方式, 获得 1 064 nm 和 1 319 nm 双波长连续运转, 在优化输出镜透过率以后, 在腔内加入类临界相位匹配和频晶体 LBO, 得到功率为 20 mW 的 589 nm 黄光激光^[4]。2010 年, 南京大学固体微结构物理国家重点实验室报道了基于多波长振荡的 Nd:YAG 调 Q 激光器与周期极化晶体 LiTaO₃ 进

行和频的黄光激光器。589 nm 最大的输出功率为 506 mW, 相应的转化效率为 5.5%^[5]。普遍采用的单个增益介质在谐振腔内双波长同时振荡的简化模型如图 2 和图 3 所示。

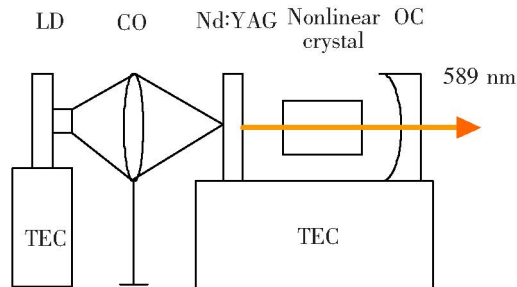


图2 直腔双波长同时振荡黄光激光器结构

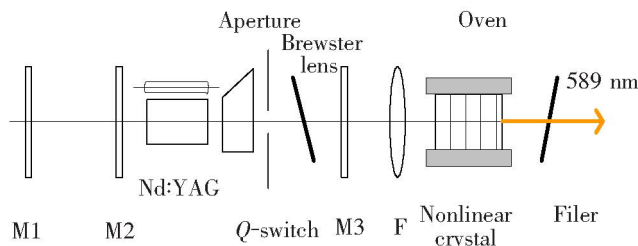


图3 调Q直腔双波长同时振荡黄光激光器结构

这类谐振腔具有结构简单、紧凑的优点, 适合产业化发展, 可以达到几十毫瓦至几百毫瓦的功率输出。但这种装置不仅对镀膜要求极其严格, 同时很难控制基频光功率、脉冲时域的严格匹配, 造成一定的功率浪费, 在输出黄光的同时还会夹杂一定量的未被利用的红外光, 不利于提高转化效率, 很难使黄光激光的平均功率达到 1 W 以上, 所以这种方法很难获得高功率黄光激光输出。

4 多个增益介质在复合腔内获得 589 nm 激光输出

为了获得高功率 589 nm 黄光激光, 提出了利用多个增益介质在复合腔内获得 589 nm 激光输出的新技术, 即利用两个谐振腔分别产生基频光, 通过一种技术手段使得两束基频光进行空间交叠, 在其交叠区放入非线性晶体进行腔内或腔外和频, 获得 589 nm 黄光激光, 并且实现瓦级以上的功率输出。

之后, 589 nm 全固态黄光激光器开始向 4 个主要方向发展: 高平均功率、高转换效率、高稳定性、高光束质量。常用的复合腔简化模型如图 4 和图 5 所示。

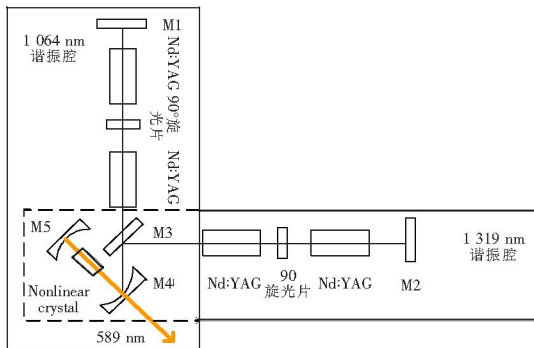


图4 复合腔内和频黄光激光器结构

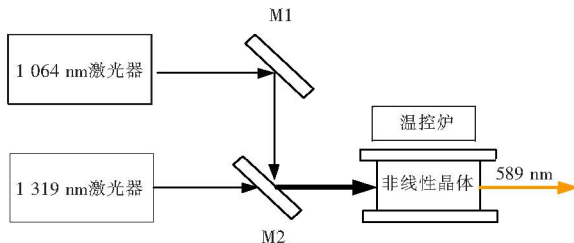


图5 复合腔外和频黄光激光器结构

高平均功率方面

得益于 $1\ \mu\text{m}$ 、 $1.3\ \mu\text{m}$ 波长附近的红外激光器的快速发展和 KTP、LBO、周期极化晶体等高转化效率非线性介质的出现, 高功率、高稳定性、高效率的 589 nm 黄光激光器得到了快速的发展。

2008 年, 洛克希德马丁相干技术公司为 Gemini South 天文台开发了基于 LD 抽运 Nd:YAG, 平均功率为 50 W, 功率长期稳定性 $<5\%$, $M^2 < 10$ 的 589 nm 全固态黄光激光器^[6]。

目前, 国内复合腔和频连续黄光输出也能达到瓦级以上的水平。2006 年, 中国科学院物理研究所的耿爱丛等人报道了双 Nd:YAG 棒串接 V 型折叠腔内和频全固态黄光激光器, 得到了 3 W 连续波 589 nm 黄光输出, 通过优化腔型设计使得两束基频光在腔内达到了最佳的空间重合, 并通过选择适当的 LD 抽运功率使得两束基频在腔内达到了最佳的功率配比, 提高了黄光的输出功率^[7]。中国工程物理研究院应用

电子学研究所高功率 589 nm 全固态黄光激光器方面取得了较好的研究成果。2008 年, 梁兴波等人报道了复合腔 589 nm 脉冲黄光激光器, 获得平均功率 10.5 W 黄激光^[8]。

高转换效率方面

因为基频光到和频光的光-光转化效率不高, 所以和频转换的效率普遍偏低。很多科研工作者开始将提高和频激光器的光-光转化效率作为一个研究重点。

2005 年, Norihito saito 等人首次报道了基于 Nd:YAG 主动锁模激光器产生 1 064 nm 和 1 319 nm 超短脉冲, 两脉冲进行和频产生 589 nm 黄光激光输出。通过同步控制两个脉冲频率间的相位, 获得了最大 260 mW 的 589 nm 的激光输出, 相应的转化效率超过了 13%, 输出稳定性为 $\pm 5\%$, 输出功率是连续情况的 3.8 倍^[9]。2005 年, 该项目组继续进行研究, 报道了准连续腔内和频 1 W 589 nm 相干光的输出。将一块长 5 mm 的周期极化 KTP 作为非线性晶体, 所得到的和频激光功率是相同状态下腔外和频激光功率输出的 10 倍^[10]。2009 年, Allen J. Tracy 等人报道了采用 PPSLT 作为非线性和频晶体, 当注入基频光平均功率为 37.1 W 时, 获得了 16.5 W 589 nm 黄光激光输出, 相应的转化效率为 45%, $M_x^2=1.1$, $M_y^2=1.2$, 是国内外 589 nm 黄光激光器转化效率较高的报道之一^[11]。

2005 年, 华中科技大学激光技术国家重点实验室的吕超等人详细分析了双轴晶体 KTP 和 LBO 对 1 064 nm 与 1 319 nm 激光进行和频产生 589 nm 钠黄光相位匹配特性。推导得出了在和频情况下的非线性极化张量的表达式, 并将其应用于倍频的情况进行了验证, 进行了和频相位匹配的理论分析, 给出了这两种晶体在和频时的最佳相位匹配角和有效和频系数, 为其他科研人员提供了非常有价值的参考资料^[12]。2009 年, 中国工程物理研究所的鲁燕华等人报道了一台重复频率 400 Hz, 平均功率为 1.52 W 的全固态黄光激光器, 利用两路声光调 Q 分别获得

波长为 1 064 nm 和 1 319 nm 基频光, 并采用主从电源模式以及电子学延迟补偿技术实现两个调 Q 脉冲的时间同步, 然后再腔外通过 LBO 晶体和频产生了 589 nm 黄光激光, 和频效率达到 25.1%^[13]。2010 年, 中国工程物理研究所鲁燕华等人报道了一台平均功率 3.09 W, 和频效率 >35% 的 PPSLT 晶体准相位匹配和频钠导星激光器, 中心波长对准至钠 D_{2a} 线 589.159 1 nm^[14]。

从工作方式上看, 锁模技术、调 Q 技术可以产生高峰值功率脉冲, 获得高的转化效率, 实现高平均功率的黄光输出。与其相比, 连续黄光激光器的转化效率较低。从泵浦方式上来看, 端面泵浦方式可以实现较好的模式空间匹配, 可以将高光束质量的基频光进行和频, 通常较容易得到高的转换效率; 但由于 LD 泵浦功率低和热透镜严重, 却不容易获得高功率输出。侧面泵浦方式较容易得到高的输出功率, 但是光束质量因子 M^2 较大, 稳定性差, 通常转化效率较低。

高稳定性方面

实际应用中, 尤其是在长时间连续工作的情况下, 激光输出的稳定性是很重要的。稳定性是衡量激光器能否实用的一个关键因素。

2009 年, Tadashi Nishikawa 等人报道了利用掺 Zn 元素 LN 的周期极化晶体作为和频晶体, 获得了 494 mW 的平均功率, 转化效率为 41%。这种技术方法的特点是结构简单、稳定、转化效率高、功率稳定性仅为 $\pm 0.09\%$ ^[15]。

2010 年, 中国工程物理研究所的鲁燕华等人报道了将总功率为 140 W 的基频光 1 064 nm 与 1 319 nm 脉冲同步后, 作用到非线性晶体 LBO 上。通过第一块 LBO 晶体后获得了 9.2 W 的 589 nm 黄光激光输出, 剩余的基频光通过光束耦合系统后再作用到第二块 LBO 晶体上, 获得 6.3 W 黄光激光输出, 总计获得 589 nm 黄光功率 15.5 W, 和频效率约 11.1%, 重复频率 5 kHz, 脉宽约 110 ns。实验过程中采集了连续 3 028 个功率点, 功率波动位于 8.94~9.30 W 之

间, 不稳定度约为 0.8%。该激光器具有重复频率高、平均功率大的特点, 非常适用于钠信标的分孔径发射接收, 避开共孔径发射接收方式下容易出现的瑞利干扰问题^[16]。

窄线宽高光束质量方面

2006 年, 日本东京大学、国家天文观测研究院等多家单位联合采用双棒串接侧面泵浦、声光锁模技术, 当频率 150 MHz 时, 1 064 nm 和 1 319 nm 脉宽均为 0.8 ns, 最高平均功率分别为 16.5 W 和 5.3 W, 经光束耦合器后被聚焦到 PPMgSLT, 腔外单通和频, 输出 589 nm 黄光 4.6 W, $M^2=1.1$, 激光运转 8 h 不稳定度为 $\pm 1.2\%$ 。

2009 年, 中国科学院物理研究所北京凝聚态物理国家实验室的鲁远甫等人报道了窄线宽、高光束质量、波长可在一定范围内调谐的 589 nm 连续黄光激光器。该系统采用新颖的环形谐振腔结构, 消除了空间烧孔效应, 获得 M^2 因子为 1.29, 连续光平均功率为 0.8 W, 线宽 <1.5 GHz, 波长从 589.112 nm 到 589.181 nm 可调谐的高光束质量 589 nm 黄光激光^[17]。

5 最新研究成果

中国科学院长春光机所下属的长春新产业光电技术有限公司从 2003 年开始进行全固态黄光激光器的研制工作, 基于其在全固态激光领域的发展优势, 近期在 589 nm 黄光波段 (如图 6 所示) 获得了突破性的研究进展: (1) 将镀膜技术和选频技术相结合, 成功抑制掉 1 338 nm 谱线的振荡, 提高了和频转化效率。(2) 将谐振腔腔型设计与激光合成技术相结合, 使 589 nm 连续黄光激光器输出的平均功率已超过 6.5 W^[18], 589 nm 脉冲黄光激光器输出平均功率已超过 23 W, 该功率是国内已见文献报道中的最高水平, 功率稳定性优于 $\pm 2\%$, 脉宽为 140 ns。通过更换大功率的 LD 泵浦模块, 并对谐振腔参数进行优化设计, 可以进一步提高 589 nm 黄光激光的输出功率。研发小组将把平衡高平均功率、高光束质量、高稳定性和激光选频等激光输出特性作为下一步的研究

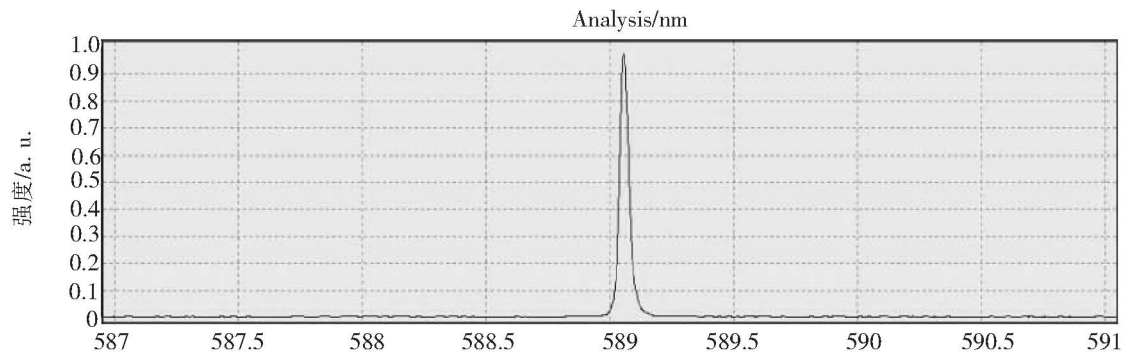


图6 589 nm黄光激光器光谱图

重点。

6 结束语

目前, 单个增益介质双波长同时振荡和频获得 589 nm 激光输出功率在瓦级以下, 但具有结构简单、紧凑的优点, 适合产业化发展。多个增益介质在复

合腔内获得 589 nm 激光输出功率可达到 50 W 以上。全固态和频激光器的研究在国内虽然起步较晚, 但 LD 泵浦的 589 nm 全固态激光器的某些单方面指标已经取得了不错的研究成果。如何采取更好的方法平衡各参数指标、并且提高激光的光束质量和稳定性将是下一步的研究重点。

参考文献

- [1] Koechner W, Bass M. *Solid-State Laser*[M]. New York: Springer-Verlag, 2003.
- [2] Shen H Y, Zeng R R, Zhou Y P, *et al.* Comparison of simultaneous multiple wavelength lasing in varies neodymium host crystals[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, 56(20): 1937-1938.
- [3] Danailov M B, Apai P. 589 nm light generation by intracavity mixing in a Nd:YAG laser[J]. *Appl. Phys.*, 1994, 75(12): 8240-8242.
- [4] 贾富强, 卜乾坤, 郑权, 等. LD 泵浦腔内和频连续 589 nm 黄光激光器[J]. *激光与红外*, 2004, 34(6): 439-441.
- [5] Zhao L N, Su J, Hu X P, *et al.* Single-pass sum-frequency-generation of 589 nm yellow light based on dual-wavelength Nd:YAG laser with periodically-poled LiTaO₃ crystal[J]. *Optics Express*, 2010, 18(13): 13331-13336.
- [6] Lee I, Jalali M, Vanasse N, *et al.* 20 W and 50 W guidestar laser system update for the Keck I and Gemini south telescopes[J]. *SPIE*, 2008, 7015: 1-11.
- [7] 耿爱丛, 薄勇, 毕勇, 等. V 形腔腔内和频产生 3 W 连续波 589 nm 黄光激光器[J]. *物理学报*, 2006, 55(10): 5227-5231.
- [8] 梁兴波, 苑利钢, 姜东升, 等. 10.5 W 准连续波 589 nm 黄光激光器[J]. *激光与红外*, 2008, 38(9): 876-878.
- [9] Saito N, Akagawa K, Hayano Y, *et al.* Synchronization of 1 064 and 1 319 nm pulses emitted from actively mode-locked Nd:YAG lasers and its application to 589 nm sum-frequency generation[J]. *J. Appl. Phys.*, 2005, 44(49): 1484-1487.
- [10] Saito N, Akagawa K, Hayano Y, *et al.* Coherent 589-nm-light generation by quasi-intracavity sum-frequency mixing[J]. *J. Appl. Phys.*, 2005, 44(47): 1420-1422.
- [11] Tracy A J, Lopez C, Hankla A, *et al.* Generation of high-average-power visible light in periodically poled nearly

- stoichiometric lithium tantalite[J]. *Applied Optics*, 2009, 48(5): 964-968.
- [12] 吕超, 袁孝, 朱长虹, 等. 双轴晶体和频产生 589 nm 钠黄光的相位匹配特性[J]. *激光技术*, 2005, 29(5): 459-461.
- [13] 鲁燕华, 刘东, 张雷, 等. 400 Hz 全固态和频钠导星激光器[J]. *光学学报*, 2009, 29(7): 1898-1901.
- [14] 鲁燕华, 张雷, 马毅, 等. 高效率 PPSLT 准相位匹配和频钠导星激光器[J]. *光学学报*, 2010, 30(8): 2306-2310.
- [15] Nishikawa T, Ozawa A, Nishida Y, *et al.* Efficient 494 mW sum-frequency generation of sodium resonance radiation at 589 nm by using a periodically poled Zn:LiNbO₃ ridge waveguide[J]. *Optics Express*, 2009, 17(20): 17792-17800.
- [16] 鲁燕华, 张雷, 刘晟西, 等. 15.5 W 全固态腔外和频 589 nm 黄光激光器[J]. *中国激光*, 2010, 37(9): 2419-2423.
- [17] Lu Y F, Xie S Y, Bo Y, *et al.* Generation of tunable and narrow linewidth continuous-wave yellow laser by sum-frequency mixing of diode-pumped solid-state Nd:YAG ring lasers[J]. *Optics Com.*, 2009, 282: 3573-3576.
- [18] 长春新产业光电技术有限公司[EB/OL]. <http://www.cnilaser.com>

作者简介: 王禹凝(1986-), 男, 吉林四平人, 硕士研究生, 主要从事激光物理与新型激光器等方面的研究。

E-mail: wyn630641948@163.com

《发光学报》 ——EI核心期刊 (物理学类; 无线电电子学、电信技术类)

《发光学报》是中国物理学会发光分会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊, 曾于1992年, 1996年, 2000年和2004年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”, 并于2000年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年; 美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)自2000年; 美国《剑桥科学文摘社网站》自2002年; 日本《科技文献速报》(CBST, JICST)自2003年已定期收录检索该刊论文; 2008年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”确定为源期刊; 2010年被美国“EI”确定为源期刊。2001年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中, 《发光学报》被评为“双效期刊”。2002年获中国科学院2001~2002年度科学出版基金“择重”资助。2004年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。本刊内容丰富、信息量大, 主要反映本学科专业领域的科研和技术成就, 及时报道国内外的学术动态, 开展学术讨论和交流, 为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》自2011年改为月刊, A4开本, 144页, 国内外公开发行。国内定价: 40元, 全年480元, 全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。

地 址: 长春市东南湖大路3888号

电 话: (0431) 86176862, 84613407

E-mail: fgxbt@126.com

国内统一刊号: CN 22-1116/04

国内邮发代号: 12-312

邮 编: 130033

<http://www.fgxb.org>

国际标准刊号: ISSN 1000-7032

国外发行代号: 4863BM