

全固态蓝光激光器的现状^{*}

刘凤勤^①, 周俊芹^②

(第一作者:男,47岁,副教授;①潍坊学院物理系,261061,潍坊市;②鱼台县第二中学,272344,山东省鱼台县)

摘要:介绍了全固态蓝光激光器几种主要的实现方法,应用领域及其发展现状和存在的困难,并对实现高功率全固态蓝光激光器作出展望.

关键词:蓝光激光器; Nd:YVO₄; Nd:YAG; LD泵浦

中图分类号: TN248.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-5337(2004)03-0054-03

上世纪90年代以来,随着半导体激光器制作工艺的提高和完善,大功率半导体泵浦(简称LD泵浦)的全固态激光器(DPSSL)得到迅猛发展.LD泵浦的固体激光器与灯泵固体激光器相比,其重量轻,体积小,寿命长,线宽窄,总体效率高^[1];且可改变半导体材料及各材料的组分以改变LD的波长;再者,LD的输出稳定性好,由它泵浦的固体激光器频率稳定性高,因此LD泵浦的固体激光器取代灯泵固体激光器已成为一种必然的趋势.

目前,LD泵浦的全固态红绿光激光器技术已经基本成熟.但是,全固体蓝光激光器的研制仍处于试验阶段.由于蓝光激光器具有很广阔的潜在应用价值,因此许多科研工作者正致力于研制大功率全固态蓝光激光器.本文对全固态蓝光激光器现有的几种实现方法、应用领域、当今国际国内全固态蓝光激光器已经达到的技术水平及今后蓝光激光器的发展前景等方面进行阐述.

1 全固态蓝光激光器的实现方法

实现全固态蓝色激光器的方法主要有^[2]:LD激光二极管直接产生蓝光激光;用LD抽运,然后用倍频晶体进行倍频得到的蓝色激光;产生的激光进行倍频得到蓝色激光;蓝色波导激光器;用上转换材料为增益介质的蓝光激光器;用LD泵浦,并通过非线性光学手段产生蓝色激光.

由于半导体激光器尺寸小、结构简单、牢固性好、使用方便、电-光转换效率高、成本低等优点,所以蓝光激光器最终的发展趋势应当是半导体激光

器.早在1970年,GaN半导体材料在高频和高温条件下能够激发蓝光的独特性质就吸引了半导体开发人员的极大兴趣.但是GaN的生长技术和制造工艺直到近几年才取得了实质性突破.1992年被誉为GaN产业应用鼻祖的美国Shuji Nakamura教授制造了第一支GaN发光二极管;97年初日本Nichia(日亚)公司研制了InGaN多量子阱结构的408.6 nm蓝光LD,室温寿命为35 h,后来^[10]用侧向外延生长技术将寿命提高到1000 h.1999年日本Nichia公司制造了第一支GaN蓝光激光器,其稳定性能相当于商用红光激光器.从1999年初到2001年底,GaN基半导体材料在薄膜和单晶生长技术、光电器件方面的重大技术突破有40多个.然而由于半导体材料本身的缺陷难以克服,使得其寿命的进一步提高十分困难,距离商品化10000 h的目标还有一段距离.现在,日本的Nichia公司和美国的相干公司均已推出了输出功率为5 mW的产品封装的蓝光LD.虽然,其价格非常昂贵,能推广应用的难度很大,但这毕竟把蓝光半导体激光器的发展向前推进了一步.

目前由于价格等方面的原因蓝光半导体激光器仍难以广泛推广,因此现在人们大多采用LD抽运,用倍频晶体对抽运光进行倍频获得蓝光输出,这种方法是当前应用最多的一种方法.这种方法光-光转化效率比较高,它要求LD不仅能够输出较高的激光功率,而且还必须实现单管、单频运转.1989年,Goldkey L和Chun M K^[4]用KN晶体倍频842 nm的LD输出得到24 mW的连续蓝色激光,Kozlovsky W J和Lenth W^[5]用电学反馈技术钳制856 nm LD的输出,在140 mW入射功率下得到41 mW的428 nm

* 收稿日期:2004-02-16

连续蓝光输出. 1994 年德国人 Hemmerich A 将单块 KN 同时用于环行倍频和 LD 光学频率自锁, 在 90 mW, 856 nm 的入射功率下, 获得了 22 mW, 428 nm 的蓝色激光输出. Trail J A 采用实时闭环反馈, 有效地控制了光束质量、抑制了噪声, 改善了激光器工作稳定性, 得到了 40 mW, 430 nm 激光输出. 1999 年, 德国的 Woll D, Bier B 等人^[6]用此方法产生的蓝光激光达到了瓦级水平. 截止目前, 这是用此种方法获得蓝光的最高报导.

产生蓝色激光的第 3 种方法是蓝色波导激光器. 这种激光器由于在波导中传播的激光功率密度高、与泵浦光耦合充分、阈值低、转换效率高、位相匹配范围宽而倍受关注. 1994 年, G. Gupta 用 LiTO_3 波导对 840 nm 的 LD 倍频而得到 26 μW 的功率输出, 转换效率为 290 %/W $\cdot \text{cm}^2$ 和位相匹配宽度为 0.3 nm. 我国南京大学的陆亚林等人用 LiNbO_3 波导倍频 810 nm 的 GaAsAl 激光, 在入射功率为 250 mW 时, 获得了 0.3 mW 的 405 nm 输出, 光学转换效率 0.14 %. 日本的 Tohru Doumuki 等人用 $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{KTP}$ 薄膜波导对钛宝石激光进行倍频, 波导长度 4.1 mm, 得到了 13 mW 的近 TEM₁₀ 模 413 nm 输出, 转换效率接近 1000 %/W $\cdot \text{cm}^2$.

上转换材料对光子二次吸收后, 向下跃迁产生频率很高的激光辐射. 1989 年美国 Los Alamos 国家重点实验室的 Dinh C. Nguyen 等人用 648.7 nm 的红光与 720.7 nm 的红外光同时泵浦 $\text{Tm}^{3+}:\text{YLF}$ 激光器, 实现了 450.2 nm 的蓝色激光输出, 但光束质量不太好.

为了获得更高的输出功率和更好的光束质量, 通常采用倍频、和频等非线性光学频率转换手段产生蓝光.

2 全固态蓝色激光器的应用

全固化蓝色激光器, 具有波长短、体积小、结构紧凑、效率高、运转可靠等一系列优点, 在民用领域、军事领域、光纤通信、探测器、数据存储、光学阅读、激光高速印刷等领域有广泛应用.

蓝色激光的最主要优点是波长短, 光束发散角小, 若再利用存储介质对短波长激光更加敏感的特点, 采用新的编码技术, 则可以提高存储密度近 1 个量级.

全固体蓝激光器最令人鼓舞的应用是用作数字

视频领域中 CD-ROM、CD 及 DVD 等的光源. 蓝光取代红光是一种必然(现行 DVD 机都是使用红色激光器). 因为蓝光容量大, 能存储 20 多 GB 的数据(红光只能记录 4.7 GB), 能把高质量、高清晰的图像轻而易举地放进去. 据东芝公司多媒体实验室的 Akito Iwamoto 宣称, 预计于 2005 年推出以蓝激光为光源的只读数字视盘(DVD-ROM), 在适当改善光学系统数值孔径和数字处理电路的性能后, 其容量能够到目前以 635 nm 红光 LD 为光源的 CD-ROM 的 7 倍以上.

红绿蓝激光器是彩色显示的三原色光源. 高亮度的蓝色激光器和相对成熟的红绿激光器一起, 作为彩色显示的全固体标准三原色光源. 这种新型激光光源, 光束质量高, 效率高(与荧光光源相比), 而且更加忠实于自然光, 能够消除荧光光源产生的绿影和白炽光源产生的黄影, 实现三原色的平衡.

蓝色激光光源是探测海洋水色的有力武器, 可用于探测海洋渔业资源.

蓝色激光可用于捕获和阻尼铯原子的热振动, 实现激光致冷. 此外, 全固态蓝色激光光源还有望在激光印刷术、激光医学、生化技术、材料科学和光通信等许多领域得到广泛的应用.

3 全固态蓝色激光器的发展前景

由于全固态蓝光激光器具有的诸多优点, 使得它具有非常好的发展前景. 尤其是, 近几年来, 在蓝光半导体激光器领域中, 第三代半导体材料 GaN(氮化镓)越来越显示出它的非常诱人的市场前景. 据预测, 到 2006 年, 其产值将达到 30 亿美元. 同时, 蓝光半导体激光器作为新型光显示、光存储、光照明、光探测器件, 可促进上千万美元的相关设备、系统的新产业形成, 产业市场前景诱人. 近几年, 世界各国政府有关机构、相关企业以及风险投资公司纷纷加大了对 GaN 基半导体材料及蓝光激光器的研发投入和支持. 美国政府、通用、飞利浦、Agilent 等国际公司都已经启动了大规模的商业开发计划. 我国也有好几家科研院所(如清华大学、中科院等)也已投入积极开发研制全固态蓝光激光器的工作中, 并已取得了一定的成绩.

由于蓝光具有更短的波长, 使它在高密度存储、彩色激光显示、激光探测、激光医学等许多方面成为不可或缺的光源. LD 泵浦的全固态蓝色激光以其结

构紧凑、重量轻、寿命长、效率高、成本低等优点成为蓝光激光器的发展方向,而半导体蓝光激光器是发展的最终趋势.目前,蓝光激光器虽未达到与绿光激

光器同等的技术水平,但距离广泛推广阶段已经指日可待.

参考文献:

- [1] Weber H. Diode Pumped Solid State Lasers: from 10 W to 10 kW [J]. SPIE,1999,3862:2.
- [2] 刘伟仁,霍玉晶. 全固体蓝色激光技术综述 [J]. 激光与红外,2002,32(4).
- [3] Lemer E J. Race is on to develop blue - green diode laser [J]. Laser Focus Word,1998,34(4):91~98.
- [4] Goldkey L, Chun M K. Efficient Generation at 421 nm by resonantly enhanced doubling of GaAlAs laser diode array emission [J]. Applied physics letter, 1989,55(3):218~220.
- [5] Kozlovsky W J, Length W, Latta E E, et al. Generation of 41 mW of blue radiation by frequency doubling of a GaAlAs diode laser [J]. Appl Phys Lett, 1990,56(23):2291~2292.
- [6] Woll D, Bier B. 1 W of blue 465 nm radiation Generated by frequency doubling of the out of a high-power diode laser in critically phase-matched LBO [J]. Optics Letters,1999,24(10):691~693.

ALL-SOLID-STATE BLUE LASER TECHNOLOGY

LIU Feng-qin^①, ZHOU Jun-qin^②

(^①Department of Physics, Weifang College, 261061, Weifang; ^②Yutai No.2 Middle School, 272344, Yutai, Shandong, PRC)

Abstract: Means to realize all-solid-state blue lasers and their potential application are discussed. Also the recent progress and the prospect of high power solid-state blue lasers are given.

Key words: all-solid-state blue laser; Nd:YVO₄; Nd:YAG; diode-pumping