

LD 泵浦 OF 耦合 NYAB 自倍频激光器的初步研究

霍玉晶 易玺林 陈抗美 周炳琨

陆宝生 潘恒福 薛 旌

(清华大学电子系, 北京 100084)

(山东大学晶体材料所, 济南 250100)

摘要 研制出国内第一台 LD 泵浦 OF 耦合 NYAB 自倍频激光器, 产生 $0.531\ \mu\text{m}$ 的线偏振绿色激光。基横模运转, 阈值泵浦功率为 14 mW, 输出功率达 3.6 mW, 斜效率达 3%, 偏振度大于 99.8%。

关键词 半导体激光器, 泵浦, 光纤耦合, NYAB, 自倍频

A study of NYAB self frequency-doubling laser pumped by laser diode

Huo Yujing, Yi Xilin, Chen Kangmei, Zhou Bingkun

(Tsinghua University, Beijing 100084)

Lu Baosheng, Pan Hengfu, Xue Jing

(Shandong University, Jinan 250100)

Abstract A LD-pumped OF-coupled NYAB self-frequency-doubling laser has been developed, in which the pumping laser beam from LD are focused into the NYAB crystal through a section of optical fiber. For the fundamental trasverse mode operation, the threshold pumping power is 14 mW and the output power of $0.531\ \mu\text{m}$ green laser beam is 3.6 mW with an efficiency of 3% and the degree of polarization larger than 99.8%.

Key words laser diode (LD), pump, optical fiber coupled, NYAB, self-frequency-doubling

1 引言

近来半导体激光器(LD)泵浦的倍频激光器和自倍频激光器的发展十分引人瞩目^[1~3]。我们于1990年9月研制出LD直接耦合端面泵浦的NYAB自倍频激光器和双波长激光器,这种器件只用一块同时具有激光性能和倍频性能的复合功能材料NYAB晶体作为工作物质,以产生基频($1.062\ \mu\text{m}$)激光,并立即把它倍频成绿色($0.531\ \mu\text{m}$)激光。它克服了以往采用的腔外倍频和腔内倍频器件的缺点,具有结构简单、倍频效率高、倍频光谱线窄、成本低、制作和调整容

易等优点。它产生的绿色激光的波长短,能被聚焦成更小的光斑,在水中可传播更长距离,在光盘技术、复印技术、激光打印、彩色投影、光纤通讯、光纤传感、激光技术及水下通讯、测距和制导等国民经济和国防技术中均有重要的应用。为进一步提高器件性能,我们于 1991 年 1 月研制出 LD 泵浦的光纤(OF)耦合的 NYAB 自倍频激光器,并进一步研制出整体器件。和 LD 泵浦直接耦合的 NYAB 自倍频激光器不同,这种器件首先把大功率 LD 发出的光束质量很差的激光耦合到光纤中去,经过一段光纤传输后,从光纤中出射的光束变成发散角较小的、圆对称的、中间部分光强最大的光束。然后用这种光束对 NYAB 激光器进行端面泵浦。由于它和振荡激光在空间上匹配得很好,因此泵浦效率更高。由于光纤的引入使 LD 和 NYAB 激光器可放在相距较远的位置,因而便于使用。另外,LD 和光纤的耦合容易,降低了对器件调整技术的要求;这对于更换 LD 以进行实验及对于我国大功率 LD 寿命还不够长的情况是很有意义的。本文报道我们的实验结果。

2 NYAB 晶体的性质

NYAB 晶体的质量和对其性能的理解对本实验是至关重要的。NYAB 圆晶体属三方晶系,空间群为 R_{32} ,是负单轴晶体。它的位相匹配方向是一个绕光轴方向旋转的圆锥面;有 I 类、II 类两种位相匹配工作方式,它的非线性系数是 KDP 晶体的 3.9 倍。它的 I 类、II 类位相匹配角分别为 $32^{\circ}54'$ 和 $51^{\circ}02'$ 。它的 I 类位相匹配有效非线性系数是 II 类的 2.04 倍。上述各参数随 NYAB 晶体的掺杂的差别及晶体生长质量的差别而略有不同。在研制 NYAB 自倍频器件时,不仅要考虑位相匹配角度问题,还要考虑入射光的方位角。对 I 类匹配,应使它的方位角 $\phi = 0^{\circ}$,以得到最高倍频效率。

NYAB 晶体的吸收光谱如图 1 所示。它在 $0.803 \sim 0.804 \mu\text{m}$ 和 $0.808 \sim 0.809 \mu\text{m}$ 处有很强的吸收峰。LD 的发射光谱可以和这两个吸收峰很好地重合。这是 LD 泵浦 NYAB 自倍频激光器能够工作的基础。NYAB 晶体在 $0.53 \mu\text{m}$ 处还有一较弱的吸收峰,这使所产生的 $0.531 \mu\text{m}$ 的绿色激光的一部分又被吸收掉。因此,对于用 LD 进行端面轴向泵浦器件,NYAB 晶体不能太长,它的长度有一个最佳值。

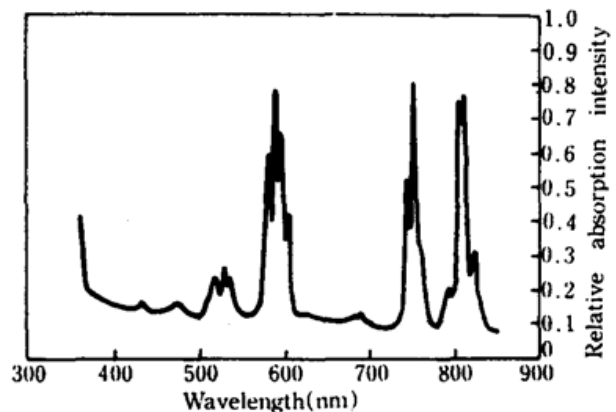


Fig. 1 Absorption spectrum of NYAB crystal

3 实验及结果

LD 端面泵浦的 OF 耦合的 NYAB 自倍频激光器由于采用可以弯曲的光纤进行耦合,允许把 LD 和 NYAB 自倍频激光器分别放在相距较远的位置,使器件的使用更方便,并可以减少 LD 激光较差的光束质量对激光器件性能的影响,且可以得到更低的阈值泵浦功率和更大的输出功率。其工作原理如图 2 所示。它由激光二极管 LD(1)、两个聚焦系统(2)和(4)、耦合光纤(3)、NYAB 自倍频晶体(6)、输入端反射镜(5)和输出端反射镜(8)组成。由 LD(1)发出的泵浦激光束经过聚焦系统(2)聚焦后进入到耦合光纤(3)中;从耦合光纤(3)出射的光经过聚焦系统(4)聚焦到 NYAB 晶体(6)内部。输入端反射镜(5)和输出端反射镜(8)共同组成激光谐振腔。当 NYAB 晶体(6)吸收的泵浦光超过激光器的阈值泵浦功率时,在输出端即可得到 $0.531 \mu\text{m}$

绿色倍频光输出。耦合光纤(3)的长度随具体情况而定,在满足需要的条件下,应当用适当短的光纤进行耦合并在它的两端镀上对波长为 $0.809\ \mu\text{m}$ 光的增透膜以减少泵浦光的损耗。

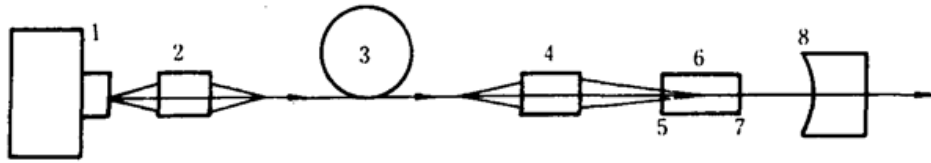


Fig. 2 Scheme of OF coupled NYAB self frequency-doubling laser end-pumped by LD

1—LD; 2,4—Focusing systems; 3—Coupling optical fiber; 5—Input mirror; 6—NYAB self frequency-doubling crystal; 7—Antireflecting film; 8—Coupling mirror

本实验装置的具体元件参数如下：

本实验所用 NYAB 晶体(6)的最大吸收峰在 $0.809\ \mu\text{m}$ 处。晶体通光方向的长度为 $5\ \text{mm}$, 横截面为 $3\times 3\ \text{mm}^2$ 。激光谐振腔的入射端反射镜(5)对 $0.809\ \mu\text{m}$ 激光的透射率为 75% , 对 $1.062\ \mu\text{m}$ 激光的反射率为 99.7% , 此反射镜是直接镀制在 NYAB 晶体(6)的输入端端面上的平面介质膜反射镜。NYAB 晶体(6)的另一端面镀有同时对 $1.062\ \mu\text{m}$ 和 $0.531\ \mu\text{m}$ 光的介质增透膜(7), 反射率小于 0.5% 。激光谐振腔的出射端反射镜(8)对 $1.062\ \mu\text{m}$ 激光的反射率为 99.7% , 对 $0.531\ \mu\text{m}$ 绿色激光的透射率为 80% 。此反射镜是独立的凹球面介质膜反射镜, 曲率半径为 $10\ \text{cm}$ 。它可以进行调节, 以使激光器工作在最佳状态。本实验对各种直径、多种长度的普通石英光纤进行了实验。最后使用直径为 $220\ \mu\text{m}$ 、长 $1.5\ \text{m}$ 的光纤。两个聚焦系统(2)和(4)及耦合光纤(3)的各个端面镀有对 $0.809\ \mu\text{m}$ 光的介质增透膜, 各端面的反射率均小于 0.5% 。受现有条件限制, 所用 LD 的工作波长为 $0.806\ \mu\text{m}$ 。NYAB 晶体在这个波长的吸收系数远小于其在最佳波长的吸收系数。这对器件性能有很大的影响。

器件的调整：

首先调整 LD(1)、聚焦系统(2)和耦合光纤(3)之间的相对位置, 以使 LD(1)的激光尽可能多地耦合到光纤(3)中去。然后依次调整耦合光纤(3)的输出端、聚焦系统(4)、NYAB 晶体(6)和出射端反射镜(8)之间的相对位置, 以使泵浦光被适当聚焦到 NYAB 晶体(6)内部并使泵浦光和 NYAB 激光器谐振腔同轴。

器件参数的测量：

在基本调整好并获得绿色倍频光输出后, 逐渐减小 LD 输出功率, 控制 LD 的温度以使其发出的激光的波长和 NYAB 晶体的吸收峰波长准确重合, 同时微调器件中的各个元件的相对位置并保证有绿光输出。找到能使 LD 泵浦功率降至最小而又有绿光输出的状态, 则激光器系统状态已调至最佳。

从 NYAB 激光器出射的光束中含有波长为 $1.062\ \mu\text{m}$ 的近红外基频激光、 $0.531\ \mu\text{m}$ 的绿色倍频激光及残存的近红外泵浦光。由于 NYAB 对泵浦光有强烈的吸收, 输出端反射镜对 $0.809\ \mu\text{m}$ 光的反射, 以及适当的光路调整, 使得从 NYAB 激光器透射出并到达功率计的泵浦光已经很少, 可以忽略不计。这可以用使 NYAB 激光器的输出反射镜倾斜, 以使 $1.062\ \mu\text{m}$ 的激光不产生振荡(自然也没有 $0.531\ \mu\text{m}$ 的倍频光输出)时测量从输出端反射镜透过的泵浦光功率得到证明。

用常规的色散方法和功率计进行器件的阈值泵浦功率、最大输出功率和斜效率等参数的测量。在 NYAB 激光器和功率计之间加入检偏器, 围绕光束旋转检偏器并测量功率极大值和

极小值,经过简单计算就可以得到器件输出光的偏振度 P 。

测量结果为

中心波长	$\lambda = 0.531 \mu\text{m}$
谱线宽度	$\Delta\lambda = 0.12 \text{ nm}$
阈值泵浦功率	$P_{\text{th}} = 14 \text{ mW}$
最大输出功率	$P_{\text{max}} = 3.6 \text{ mW}$
斜效率	$S = 3\%$
偏振度	$P > 99.8\%$
激光横模	TEM_{00}

参 考 文 献

- 1 L. M. Dorozhkin, I. I. Kuratev *et al.*, *Sov. Tech. Phys. Lett.*, **7**, 555~556(1981)
- 2 S. Amano, S. Yokoyama *et al.*, *Rev. Laser Eng.*, **17**, 895~898(1989)
- 3 S. C. Wang, R. E. Stone *et al.*, "Characteristics of neodymium yttrium aluminum borate (NYAB) as a diode pumped laser material", *Advanced Solid State Lasers Techn. Dig.*, Salt lake City UT, paper TuB4, 1990