

LD 泵浦的全固体绿激光器研究

孟红祥

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130021)

摘要 主要论述了用激光二极管(LD)泵浦、内腔倍频的绿激光器的原理和结构。在激光阈值、斜效率的讨论中指出:当LD的泵浦光束在激光晶体中的尺寸越小,光功率密度越高,激光阈值就越低,转换效率就越高;在放大基波的结构中,激光腔镜对基波的反射度越高,基波的放大倍数就越大,转换效率就越高;重点讨论了内腔倍频激光器中的“绿光问题”,指出造成“绿光问题”是由于模式正交分量之间的和频效应与空间烧孔形成的横向饱和;用Poincare图分析了激光器中出现的混沌行为;对如何克服“绿光问题”,得到稳定激光输出提出了几种方案。针对LD的光形状是一个椭圆光锥,选择了用多组透镜准直、棱镜对扩束的泵浦光传输系统方案;对腔体、激光膜层作了概述,具体提出了用平凹腔结构,并把激光膜层直接做在晶体上,可以减少腔内损耗;对YAG-KTP, YVO₄-KTP组合的绿激光器作了研究。在内腔倍频YAG激光器中观察到的实验现象很好地符合理论结果。在YVO₄-KTP的绿激光器中,比内腔倍频YAG激光器较容易得到YAG-KTP组合绿激光器,最大连续输出功率为14.4mW,阈值15.0mW,光-光斜效率为4.1%。YVO₂-KTP绿激光器:最大连续输出120mW,阈值100mW,光-光斜效率6.3%。

关键词: 内腔倍频; 频率转换; LD泵浦; 绿激光器

1 引 言

进入八十年代后,由于MOCVD(金属有机物汽相沉积)和量子阱技术的长足发展,半导体激光器在常温下的输出功率不断提高。由于它有可以通过调温来达到同激光晶体的吸收峰相匹配的优点,因而它的泵浦效率比通常的灯泵要高,用LD(Laser Diode)作为一种理想的泵浦源将成为今后发展的方向。

本文就是在这样的背景下,对用LD泵浦、内腔倍频的绿激光器作了较为深入的研究。这种激光器在激光打印、光存储等领域有广泛的应用。

主要回顾了LD泵浦的固体激光器的发展历史,并在同灯泵、直接使用LD的比较中指出了LD泵浦的固体激光器所具有的高效、高可靠性、高转换效率、结构简单、光束质量好等优

点;随后对连续内腔倍频的绿激光器、AO-Q 开关绿激光器的发展作了叙述,主要是对当前国内外绿激光器的发展水平作了介绍,指出微型化、高功率、高稳定性乃是当前的三个发展趋势。

2 原 理

首先对 LD 泵浦、内腔倍频的绿激光器的阈值、斜效率作了分析,激光器的阈值功率为:

$$P_{th} = \frac{\pi h \nu_p}{2 \eta_i \eta_p \sigma_e \tau} (\omega_p^2 + \omega_0^2) (\delta_0/2 + \alpha_1 L \alpha_1 L)$$

斜效率

$$\eta_s = \frac{P_{out}}{P_{in} - P_{th}} \approx \eta_p \frac{h \nu}{h \nu_p} \frac{T}{\delta}$$

这里: τ 激光上能级寿命;

η_p 泵浦量子效率: 被吸收的光子转化为基波光子的效率;

η_i 传输效率;

δ_0 由于输出耦合、散射、Fresnel 衍射引起的损耗;

$\sigma_1 L$ 归因于激光介质的吸收体与体内块状散射;

α_1 由于激光介质下能级粒子数分布带来的损耗;

σ_e 有效发射截面;

ω_p 泵浦光束在激光介质内的平均束腰半径;

ω_0 激光腔模在激光介质处的平均束腰半径;

ν 激光频率;

ν_p 泵浦光频率;

δ 全程损耗;

T 透过率(耦合输出)。

从上式可以看出: ①激光阈值与泵浦量子效率、有效发射截面、激光上能级寿命、LD 光的传输效率成反比。因而为了降低激光阈值,要尽可能选择泵浦量子效率和有效发射截面大、激光上能级寿命长的激光介质,并尽可能减少 LD 光束传输过程中的光损失。

②激光阈值与泵浦光的平均束腰半径的平方成正比。如果要降低激光阈值,在其它条件一定的情况下,泵浦光束尺寸越小,激光阈值就越低。为实际设计 LD 的泵浦光路提供了理论依据。

其次对用内谐振腔来放大红外—绿光的转换效率的作用机理作了分析,较为详细地比较了直接放大二次谐波、放大基波、两者同时放大的谐振腔光加强机制:指出用基波放大的办法是比较理想的一种。

基波的放大倍数

$$A = \frac{1-r}{(1-r_m)^2}$$

r 是激光腔镜对基波 $1.064 \mu\text{m}$ 光的反射率, r_m 是匹配反射率, $r_m \approx r$ 。

那么 SHG 的放大倍数为 A^2 , A 在 30—100 之间。可见放大倍数与激光谐振腔镜的反射率

有着直接的关系。腔镜对基波的反射率越高，放大倍数就越大，二次谐波（SHG）输出功率就高。

最后讨论了在内腔倍频 Nd:YAG 激光器中出现的“绿光问题”，详细分析了“绿光问题”的产生机制，指出它的成因是由于模式正交分量之间的和频效应和空间烧孔造成的横向模式耦合。接着从理论上分析了内腔倍频 Nd:YAG 激光器与通常的激光 YAG 激光器的一些差异：当系统有空间烧孔时，激光器存在模式跳跃现象，表现在 SHG 输出功率上有频率在 100kHz 左右的幅度波动；当激光器消除空间烧孔后，还会存在多模振荡。产生上述两种现象的根源在于非线性损耗的存在。另外对内腔倍频 Nd:YAG 激光器中的混沌行为用 Poincare 的方法，对系统从 Hopf 分岔→频率同步→倍周期分岔→混沌过程和出现上述状态的条件作了描述。在本章的结尾，针对“绿光问题”提出了几种克服的方案：在腔内放置起偏器或波片的方法来控制模式的偏振态，以消除内腔倍频 Nd:YAG 激光器中的和频现象；用“纽模”技术或环形腔体消除空间烧孔现象。为实验安排提供了理论指导。

3 绿激光器的设计

绿激光器设计部分首先结合 LD 的发光模式，对如何设计 LD 的光束传输系统作了阐述，给出了一种用多镜片组合准直、用棱镜对扩束的具体方案，光路如图 1 所示；其次对激光谐振腔和激光膜层的设计提出了自己的看法，认为：选用平凹腔，并把激光腔镜直接做在激光晶体或非线性晶体（KTP）上，这样的腔体从腔内损耗、调整精度、结构等方面兼顾考虑是比较优越的。结尾对选择激光晶体的原则作了介绍，同时指出了选择 KTP 晶体作为非线性晶体的原因所在。

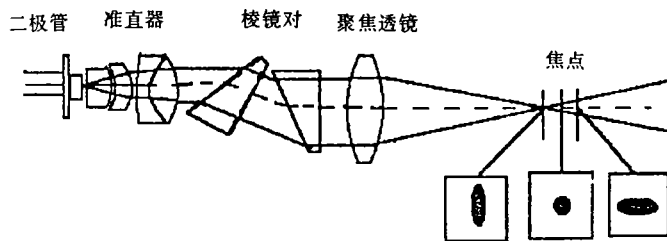


图 1 根据 LD 分布设计的光束传输系统

4 实验结果

实验结果部分主要对 YAG-KTP, YVO₄-KTP 组合的绿激光器作了研究，两种激光器的装置图如下所示：

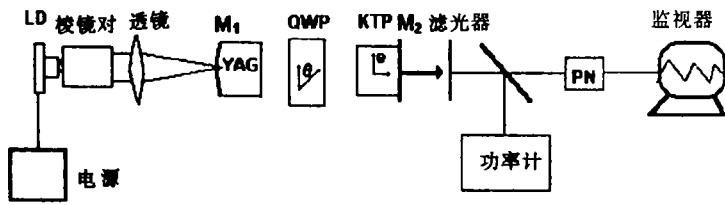


图 2 KTP 晶体的内腔倍频 Nd: YAG 获得 523nm 绿激光输出示意图

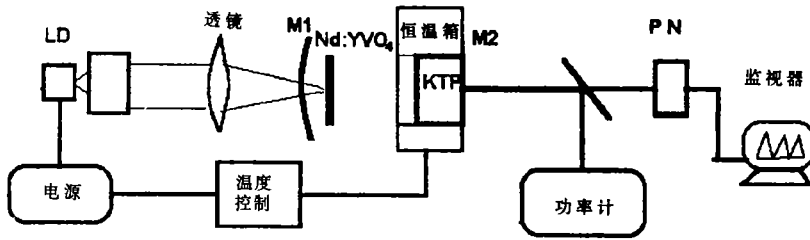


图 3 用 KTP 晶体的内腔倍频 Nd: YVO₄ 示意图

在内腔倍频 Nd: YAG 绿激光器中，观察到的实验现象很好地附合理论预计，在绿光输出 (SHG) 的监视器上，观察到了 200kHz 的幅度波动。也观察到了多模现象。在 YVO₄-KTP 的绿激光器中，比 YAG-KTO 激光器较容易地得到了单横模，而且光束质量也比 YAG-KTP 的绿激光器要好。在此基础上造出了绿激光器样机。最后得到 YAG-KTP 组合的绿激光器，最大连续输出功率为 14.4mW，阈值 15.0mW，光-光斜效率 4.1%。YVO₄-KTP 绿激光器：最大连续输出 120mW，阈值 100mW，光-光斜效率 6.3%。

5 结 束 语

最后对 LD 泵浦的、内腔倍频固体激光器的今后发展作了预测，提出向短波方向是今后的主要方向。利用 KLN、KN、BBO、LBO 等非线性晶体倍频或和频的方法得到蓝光和紫外光将越来越引人注目。因为这两类激光器波长更短，如用 KNbO₃ 晶体对 860nm 的 LD 直接倍频得到 430nm 的蓝光，光点可以聚焦到 0.4μm，这可以大大提高光盘的存储密度。

Study on Diode-Pumped Solid Green Laser

Meng Hongxiang

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun130021)

Abstract

Theory and structure of intracavity doubling, diode-pumped green laser are discussed. the former is theory. First, the laser threshold and slope efficiency are discussed. when beam of laser diode pumped is smaller in laser crystal, optical density is higher, laser threshold is lower and slope efficiency is higher; Second, mechanism with intracavity to enhance IR—Green conversion efficiency is analyzed. In fundamental enhanced mode, the higher mirror reflected to fundamental wave is, the bigger multiplicity of fundamental wave and the higher conversion efficiency are. Third, "Green Problem" in intracavity doubling Nd: YAG laser is analyzed. Intracavity doubling Nd: YAG exhibit amplitude fluctuations driven by a combination of sum frequency between orthogonally polarized modes and nonlinear cross saturation properties because of spatial hole burning. The Poincare map is used to diagrammatized chaos behavior in green laser. Some schemes how to overcome "Green Problem" and to obtain stable green light output are designed finally. The latter is laser designed. First, because emission distribution is a ellipsoid cone, a transmission system of LD beam is designed specially. Second, In order to reduce loss in cavity, a plano-convex cavity on which mirror is deposited directly is determined. YAG-KTP and YVO₄-KTP green laser are studied at last. Single transverse mode is easier to gain in YVO₄-KTP green laser than that of YAG-KTP laser. Specifications: YAG-KTP, threshold: 15.0mW; high output power: 14.4mW; slope efficiency: 4.1%, wavelength: 532nm; YVO₄-KTP, threshold: 100mW, high output power: 120mW, slope efficiency: 6.3%, wavelength: 532nm.

Key Words: Intracavity doubling, Frequency conversion, Laser diode-pumped, Green laser