

·激光器件与元件·

LD 泵浦的全固态激光器的单频实现方法

郝二娟^{1,2},李 特^{1,2},檀慧明¹,钱龙生¹(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130022)
(2.中国科学院研究生院,北京 100049)

摘要:由于“绿光问题”的存在,使得全固态腔内倍频激光器的应用备受限制。本文详细分析了用单纵模法实现全固态腔内倍频激光器单频输出的各种方法和实验装置。

关键词:全固态腔内倍频激光器;单纵模;单频;
中图分类号:TN248.1 文献标识码:A

文章编号:0253-2743(2006)02-0014-02

Methods of obtaining single-frequency of all-solid-state lasers intracavity frequency doubling in diode-pumped

HAO Er-juan^{1,2}, LI Te^{1,2}, TAN Hui-ming¹, QIAN Long-sheng¹(1. Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Science, Changchun, 130022 China;)
(2. Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: Because of the "Green problem", the applications of all-solid-state lasers is limited. Methods and mechanism of obtaining single-frequency in all-solid-state intracavity frequency doubling lasers by single-longitudinal-mode ways are described in this paper.

Key words: all-solid-state intracavity frequency doubling lasers; single-longitudinal-mode; single-frequency

LD 抽运的全固态激光器由于具有效率高,寿命长,结构紧凑,频率稳定等优点^[1],可应用于信息的存储,水下通信,激光技术,彩色打印等领域中^[2]。但是这种激光器有一个备受人们关注的“绿光噪声”问题^[3],使其应用倍受限制,而目前在相干通信,激光雷达,引力波探测,二次谐波产生等方面要广泛应用单频激光器,所以目前,国内外有很多学者正致力于单频激光器的研究。

1 “绿光噪声”问题的实质

“绿光噪声”表现为输出激光强度随时间发生大幅度无规则波动。其本质是基频光在谐振腔内的振荡通常为多纵模振荡,这些纵模通过倍频晶体的和频作用发生耦合,同时存在纵模间的交叉饱和效应^[4]。和频和交叉饱和效应的共同作用导致了“绿光噪声”问题。

近几年,国内外学者在理论和实验上对全固态腔内倍频激光器进行了大量的研究,提出了许多解决“绿光噪声”问题的方案。其中较为常用的是单纵模法。当激光器工作在单纵模状态时,将不会在倍频晶体中产生和频效果,使绿光问题消除,产生稳定的激光输出。而实现激光器单纵模运转通常采用以下几种方法:双折射率滤光片法,短程吸收法,插入四分之一波片法(扭摆模腔法),插入标准具法,短腔法,行波腔法等。这些方法都可以不同程度的实现单纵模运转。

2 实现绿光单纵模的方法

2.1 双折射率滤光片法

双折射率滤光片法在实现单频中应用比较广泛。通常由一个布氏片和一个双折射晶体(如 KTP 等)组成(图 1)。

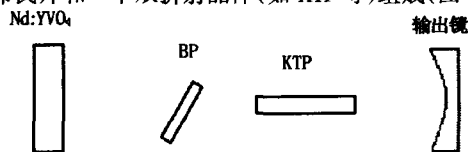


图1 双折射滤光片法选模示意图

Nd:YVO₄ 发出的为线偏振光。当其偏振方向与布氏片 BP 的 p 偏振面重合时,基频光通过布氏片时,只有 p 偏振分量通过,p 偏振分量通过 KTP 双折射晶体时被分成寻常光 o 光和非寻常光 e 光两个分量,当这两个分量两次通过倍频晶体后,二者之间的位相差 $\delta = 4\pi * (n_o - n_e) * L / \lambda$, L 为倍频晶体的几何长度,λ 为不同纵模对应下基频光在真空中的波长,n_o 和 n_e 分别为不同纵模对应下的 o 光和 e 光在倍频晶体中的折射率。只有当 $\delta = m * 2\pi$ (m 为整数)时,基频光两次通过倍频晶体后的偏振状态不会发生变化,仍为 p 偏振

光,这时再通过布氏片,基频光的损耗最小,可以优先起振,从而实现选频和单纵模输出。

此种选模方法常常被应用于中小功率的选模要求,而数百毫瓦乃至瓦级单频绿光激光器则多采用结构复杂,调节难度较大的环形腔获得。但最近有报道^[5]运用双折射滤光片法在 8W 的抽运功率下获得了 1.12W 的绿光单频输出,这种双 KTP/单 BP 结构比单 KTP/单 BP 结构的选频能力更强,所以对实现大功率的绿光单频激光器提供了一个很好的方案(图 2)。

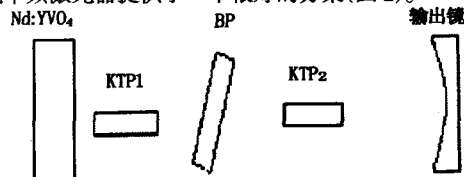


图2 双折射滤光片获得瓦级绿光输出的结构示意图

双折射率滤光片法的缺点是对双折射的能力有限,实现对单频的效果不够理想。

2.2 短程吸收法^[6]

短程吸收法是基于消除空间烧孔效应而采用的实现单频的方法。如果增益介质一端作为腔镜,在增益介质有效增益带宽内,谐振腔内所有可能存在的纵模驻波在泵浦端截面上有一个共同的节点。在离腔镜很近的范围内,所有纵模的驻波图形在空间上是相同的,具有相同的反转粒子数。如果泵浦光在短程内被吸收,则增益最大的纵模优先起振,且粒子的空间转移很迅速,几乎消耗掉全部的反转粒子数,从而抑制其它纵模的起振,也就不会形成多纵模。

但是短程吸收法也存在一些缺陷。首先,短程吸收法要求增益晶体很薄(通常厚度小于 250μm),而对于绝大多数激光晶体来说比较难做到;其次,如果增益介质的吸收系数不是很高,则薄的增益介质对泵浦光吸收不够,降低泵浦效率;第三,为了避免由于反射膜镀膜不完善而出现的标准具效应,需要在增益晶体的一端磨出一个 1°~2°小楔角,这增加了加工的困难。

为了实现稳定的绿光单频输出,可将短程吸收法和双折射率滤光片法结合起来使用^[7],获得单频效果良好的稳定激光输出。

2.3 扭摆模腔法^[8]

扭摆模腔法是基于消除增益介质中的空间烧孔效应的方法(图 3a)。光腔由 M1, M2, 1/4 波片 P1, P2, 增益介质 Nd:YAG 和起偏器 BP 组成。P1, P2 快轴相互垂直,并与起偏器偏振方向成 45 度角。P1 处入射线偏振光通过 P1 后变成圆偏光,圆偏光通过 P2 后变成线偏光,经过 M2 反射后,再次经过 P2,线偏光又变成圆偏光,因此在增益介质内两方向的圆偏光叠加后,增益介质内的光强为 $4E^2 \cos^2(\omega t - KL)$,从而可知在增益介质内光强与 z 方向为无关,能量均匀分布,因而不存在空间烧孔效应,激光器可以单纵模运转。

图 3b 为一种改进型结构^[9],利用对 KTP 的温控,使它对基频光起 1/4 波片的作用。采用 V 型腔结构,提高输出光的功率。

收稿日期:2005-08-05

基金项目:863 课题基金资助项目(2002AA311140)

作者简介:郝二娟(1980-),女,博士生,主要从事二极管泵浦的全固态激光器方面的研究。

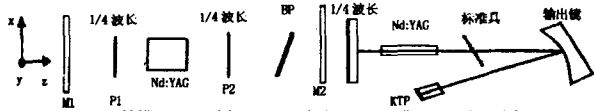


图3a 扭摆膜腔法示意图 图3b 改进了的扭摆膜腔法的结构示意图

扭摆膜腔法适用于各向同性的增益介质。波片的插入损耗,会限制激光的输出功率。

2.4 短腔法

缩短谐振腔长度,增大相邻纵模间隔,以致在荧光谱线有效宽度内,只存在一个纵模,从而实现单纵模振荡^[10]。这就是短腔法选纵模的原理。这个方法比较适用于荧光谱线较窄的激光器。短腔法由于腔长的缩短限制了激光晶体和倍频晶体的厚度,影响了泵浦耦合效率和谐波转换效率。不适用于大功率输出的激光器。

2.5 插入标准具法

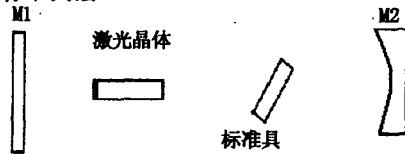


图4 插入标准具的固体激光器的示意图

为了克服短腔法的缺点,而获得较大功率的单纵模激光输出,可用插入标准具的方法实现固体激光器单纵模输出(图4)。由于多光束干涉效应,只有某些特定频率的光能透过标准具在腔内往返传播,具有较小的损耗。其他频率的光因为不能透过标准具而有较大的损耗。所以选择适当的厚度和折射率的标准具,使它的自由光谱范围与激光晶体的增益线宽一致,利用标准具对不同频率光的损耗不同来进行选频。从而实现激光单纵模输出。标准具的平行平板可以调得很薄,对增益线宽比较宽的增益介质也可以实现单纵模振荡。

3.6 行波腔法

激光在环形共振腔内单方向前进,所以不会产生如线形共振腔因驻波所造成的空间烧孔效应,解决了绿光问题,基本原理是利用单向器使正反两个方向的光的损耗不同,使一个方向的损耗因大过一定限度而被抑制掉,从而使光沿另一方向单向运转。例如单块非平面环形腔,单镜环形腔,双镜环形腔,三角形环形腔,四镜环形腔,五镜环形腔等。

1985年T.J.Kane使用单块非平面的环形腔实现了红光的单模输出^[11](图5a)。

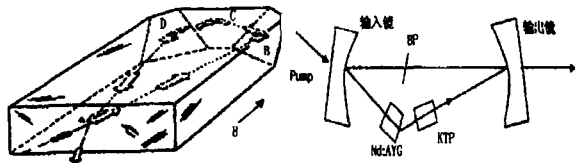


图5a 单块非平面的环形腔 图5b 三角形环形腔

采用一块晶体切割成特殊的多角形,使得光在晶体内B,C,D处全反射,以非平面的环形方式前进。并在晶体外加磁场,形成法拉第效应使光单向行进,产生单纵模输出。

1991年,J.L.Nightingale使用三角形的环形腔输出了单频绿光^[12](图5b)。该腔型由输入耦合镜,输出耦合镜和非线性晶体Nd:YAG和布氏片组成。其中Nd:YAG的远端泵浦端的端面作特殊切割。同时还要给Nd:YAG加磁场,利用它的法拉第效应和布氏片的共同作用使基频光沿逆时针方向单向运转,避免了空间烧孔效应,所以再经过倍频晶体KTP后可以输出单频的532nm的绿光输出。

1996年,K.L.Martin使用有四面镜子组成的“8”字形环形腔输出绿光单频^[13](图6a)。

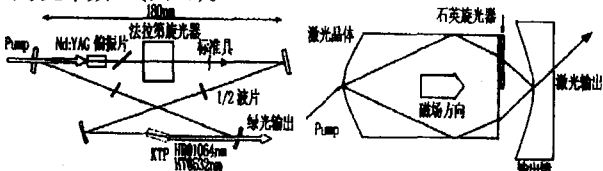


图6a “8”字形环形腔 图6b 单镜环形腔

由两个平面镜,两个凹面镜,增益介质Nd:YAG单向器(由

法拉第旋转器,1/2波片,偏振片组成),倍频晶体KTP组成。利用单向器进行单向控制,输出单频绿光。

2000年,J.R.Park使用单镜环形腔输出单模红光^[14](图6b)。与T.J.Kane的单块非平面的环形腔相似。同样外加磁场,光在晶体内以全反射路径前进。不同之处是用一面输出耦合镜代替将晶体切割成布氏片做单向器,并在一路径中加入石英晶体偏振片,要求增益晶体光轴与谐振腔内的光路一致。

2003年许闹帷等提出了一种全新的双镜立体环形行波激光器结构^[15](图7a)。

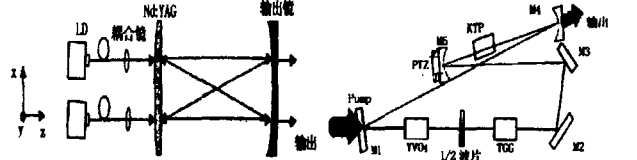


图7a 双镜环形腔结构示意图 图7b 五镜环形腔示意图

谐振腔由两面反射镜组成,其中一面反射镜直接镀在增益介质上,激光束在腔内沿立体环形光路前进,形成闭合谐振腔。在Nd:YAG上施加磁场并配合偏振敏感的反射镜,就可以产生单向的行波激光振荡,得到单纵模运转,解决了腔内激光器的“绿光噪声”问题。

为了减小四镜环形腔的像散问题和调节不便等问题,2003年郑耀辉提出了将四镜环形腔改进为五镜环形腔^[16]结构(图7b)。

M1:输入耦合镜,M2,M3,M5:红外高反镜,M4:输出耦合镜,TGG:法拉第旋转器, $\lambda/2$:半波片

图7b中五镜腔中两凹面镜的夹角可以很小,从而减少了像散。

除以上讨论的几种常见方法外,还有复合腔等。本文介绍了实现全固态腔内倍频激光器单纵模的几种常见方法。利用好这些方法,实现激光器的单频振荡,消除“绿光噪声”问题,全固态激光器将会有更加广阔的应用空间。

参考文献

- [1] 檀慧明,高兰兰,吕彦飞.激光二极管泵浦KTP腔内和频激光器及噪声特性的分析[J].光学精密工程,2004,12(5):459-464.
- [2] 李方欣,朱晓等. LD端面泵浦固体激光器模匹配的研究[J].激光杂志,2003,24(2):17-18.
- [3] T Bear. Large - amplitude fluctuations due to longitudinal mode coupling in diode - pumped Nd: YAG lasers[J]. J. Opt. Soc. Am., 1986, B3:1175 - 1180.
- [4] Michio Oka , Shigeo Kubota. Stable intracavity doubling of orthogonal linearly polarized modes in diode - pumped Nd: YAG lasers[J]. Opt. Lett., 1988, 13(10) :805 - 807.
- [5] 王军营,郑权,薛庆华等.利用双折射滤光片技术获得瓦级单频绿光输出[J].光子学报,2005,34(3):321 - 324.
- [6] J J Zaynowski. The effects of spatial hole burning and energy diffusion on the single - mode operation of standing - wave Lasers[J]. IEEE J. Quantum Electron., 1990,26(12): 2052 - 2057.
- [7] 郑权,檀慧明,赵岭. LD泵浦全固体单频 YVO4/KTP 绿光激光器研究[J].激光与红外,2001,31(4):208 - 209.
- [8] V. Evtuhov and A. E. Siegman. A 'twisted - mode' technique for obtaining axially uniform energy density in a laser cavity[J]. Appl. Opt., 1965, 4(1):142 - 143.
- [9] D W Anthon, D L Sipes, T J Pier, et al. Intracavity doubling of CW diode - pumped Nd: YAG lasers with KTP[J]. IEEE J. Quantum Electron., 1992,28(4): 1148 - 1157.
- [10] 周炳琨.激光原理[M].北京:国防工业出版社,2000,212.
- [11] Thomas J.Kane and Robert L.Byer Monolithic, unidirectional single - mode Nd: YAG ring laser[J]. Opt. Lett., 1985,10(2): 65 - 67.
- [12] J.L.Nightingale. Poynting vector walk - off compensation in type II phasematching, [P]. U.S. Patent 1992, 5,136,597.
- [13] K. I. Martin, W. A. Clarkson, and D. C Hanna. 3W of single - frequency output at 532nm by intracavity frequency doubling of a diode - bar - pumped Nd: YAG ring laser[J]. Opt. Lett., 1996,21(12): 875 - 877.
- [14] Jony Rak Park, Tai Hyun Yoon, Myung Sai Chung, and Hai - Woong Lee. Unidirectional single - mode Nd: YAG laser with a planar semimonolithic ring cavity[J]. Appl. Opt., 1999, 38(21):4566 - 4569.
- [15] 许闹帷. 双镜环形行波激光器[J].中国激光,2004,31(12): 1417 - 1420.
- [16] 郑耀辉. LD端面泵浦的全固化单频蓝光激光器[D].学位论文,2003.