

文章编号:1001-5078(2003)01-0040-03

全固态绿光激光器的噪声特性研究

郑 权¹,张秋松²,刘天虹¹,薛庆华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. 中海油田服务公司测井事业部,北京 101149)

摘 要:观察了用 LD 泵浦 NdYVO₄ 晶体,用 Ⅱ类临界位相匹配 KTP 晶体腔内倍频的全固态绿光激光器的噪声特性,指出绿光噪声主要来自于倍频晶体内不同纵模的相互耦合。分别采用谐振腔内插入布氏片和采用 Ⅱ类位相匹配 BBO 晶体腔内倍频,均实现了连续绿光的低噪声稳定输出。

关键词:LD 泵浦;绿光激光器;噪声

中图分类号:TN248.1 **文献标识码:**A

Study on the Noise Characteristics of All-solid-state Green Laser

ZHENG Quan¹, ZHANG Qiur-song², LIU Tian-hong¹, XUE Qing-hua¹, QIAN Long-sheng¹

(1. Changchun institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS, Changchun 130022, China;

2. Well-measuring Department, Zhonghai oil service company, Beijing 101149, China)

Abstract: The noise characteristics of LD-pumped NdYVO₄/KTP(Ⅱ-typed) green lasers were observed in this paper. It shows the noise has arisen from the coupling of different longitude modes in the frequency doubler—KTP. At last, two effective methods to eliminate green noise, including inserting a Brewster plate in the resonator of a NdYVO₄/KTP laser, and using type-Ⅱ phase matching BBO as the frequency doubler, were introduced, respectively.

Key words: LD-pumped; green laser; noise

1 引 言

激光器的噪声特性是衡量激光器性能的重要指标之一。激光器的噪声低,意味着激光器输出功率稳定性好,这在激光加工、彩色印刷、分析仪器以及科学实验等很多实际应用中都有严格的要求。同时,对激光器自身来说,噪声低意味着激光输出光强没有瞬间的尖峰出现,不会对腔内光学元件(如激光晶体、倍频晶体、介质膜系、调制元件等)造成损伤,从而延长激光器的工作寿命。

对常见的 NdYVO₄/KTP(或 NdYAG/KTP)结构的全固态绿光激光器,在 KTP 晶体实现基波倍频的过程中,腔内各振荡纵模相互耦合,加之激光晶体的空间烧孔效应引起的各纵模交叉饱和现象,共同

导致激光能量在各个纵模间不断地转换,产生绿光输出功率的波动,出现噪声,即人们常说的所谓“绿光问题(green problem)”^[1]。

已经有大量文献指出,消除或减少激光器输出噪声的直接方法就是迫使激光器单纵模运转^[2]。但迫使激光器单纵模运转需要较好的选频技术,并且常常是以牺牲激光器效率为代价的。我们通过大量的实验观察和研究发现,非单纵模运转的全固态

基金项目:国家高技术发展计划资助项目(863-302-13-02)

作者简介:郑权(1973-),男,理学博士,现在中国科学院长春光机所应用光学国家重点实验室从事博士后研究,主要研究方向为高性能及大功率全固态蓝绿光激光器,迄今已经在国内外发表学术论文 50 余篇。

收稿日期:2002-04-22

绿光激光器在一定条件下也可以处于稳定的低噪声状态。

本文的研究旨在通过观察全固态绿光激光器运转的噪声特性和规律,找到几种简单有效的方案,以实现中低功率全固态绿光激光器的高效率低噪声输出。

2 绿光噪声的观察

用图 1 所示的装置来观察绿光激光器的噪声产生过程及所对应的纵模变化。一台绿光激光器发出的光经分光板分成功率相等的两路(两种光程相同)。一路用功率计接收,功率计上的光电池将接收到的光信号转换为电信号,并输入到示波器 1 中,通过示波器 1 直接观察激光噪声的相对大小,也可以计算出噪声信号的频率;另一路光输入到 F-P 扫描干涉仪中,然后用快速响应光电二极管 PIN 接收,PIN 也将接收到的光信号转换为电信号,输入到示波器 2 中,示波器 2 上显示纵模的个数及各纵模的能量分布。

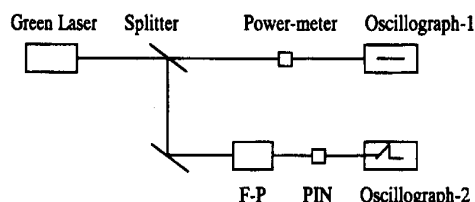


图 1 分析噪声产生原因的实验装置

通过对两路光在示波图 1 和 2 上形成的图像进行观察,可以知道激光器不同噪声特性下对应的腔内纵模变化及耦合情况。图 2 给出了由两个示波器观察到的有代表性的三组图像。其中,a 和 b 是激光器低噪声运转情形,可以看出单个纵模时,激光器处于极低的噪声状态(理论上,仍然存在量子噪声和热噪声等);当有多个纵模同时存在时,只要各纵模能量和频率保持相对稳定,激光器噪声就很低;c 是激光器噪声很大的情况。

由示波器观察,产生噪声时激光器的纵模变化主要有三种情况:一是当某些纵模时而出,时而消失时,激光输出有噪声;二是当各纵模振幅不断起伏,出现能量相互转移时,激光输出有噪声;三是当各纵模相互耦合,出现不同纵模的振幅随机叠加时,激光器输出功率有瞬间尖峰,噪声更大。前两种情况主要是由空间烧孔效应、激光器机械或热不稳定

性造成的;而最后一种则是由于多纵模在倍频晶体中相互耦合而形成的。在未采取选频措施的绿光激光器中,纵模数量较多,耦合现象相当显著。

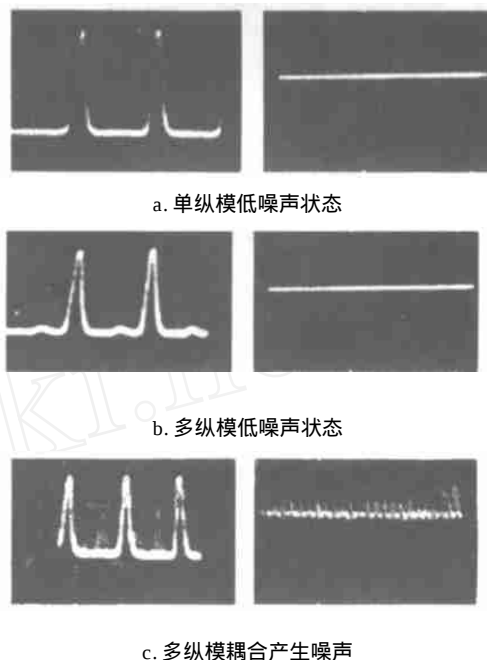


图 2 激光器纵模形态与噪声特性

3 绿光噪声的消除

根据上面的观察和分析,我们知道,要想实现全固态绿光激光器的低噪声输出,并非一定要求激光器单纵模振荡,还有更加简单易行的手段:一种是减少纵模数量,如激光器只有 2~3 个纵模时,通过调节腔长、控制频率等手段,使激光器的纵模数量、振幅、频率保持相对稳定,获得几个纵模状态下激光器的低噪声运转;另一种是减少纵模耦合,通过选用合适的倍频晶体和匹配类型来减少纵模之间的耦合,也可以获得绿光的低噪声输出。

3.1 减少纵模数量

在较大功率的激光器中,纵模数量大,相互间耦合相当复杂,这时可以利用纵模选择的方法,抑制掉除中心频率外尽可能多的纵模,同时通过调节腔长、控制频率等手段,使激光器的纵模数量、振幅、频率保持相对稳定,从而获得激光器的低噪声运转。

作者所在课题组曾报道了在 LD 泵浦 NdYVO₄/KTP 结构绿光激光器谐振腔内插入布氏片实现选频的方法^[3]。由于充分利用了 NdYVO₄ 晶体的偏振发射和 KTP 晶体的双折射性质,该方法在腔内引入的损耗很小,是实现中低功率全固态倍频

激光器单频运转的优选方案。进一步的研究表明,虽然布氏片的选频能力有限,但在较高泵浦和输出功率下 Nd:YVO₄/KTP 绿光激光器仍可以保持低噪声运转。

含布氏片的谐振腔如图 3 所示,腔内插入布氏片有两个作用:一是对不同频率纵模布氏角略有不同,当对某一纵模为布氏角时,对其它纵模的 p 分量则有一定的反射损耗;二是不同频率纵模往返经过 KTP 时偏振方向会发生偏转,布氏片对存在 s 分量的纵模也会引起一定的反射损耗。在激光器中,有时百分之几的损耗就可以完全抑制某些纵模形成了,布氏片恰通过对各纵模的选择性损耗减少了激光器的纵模数目。

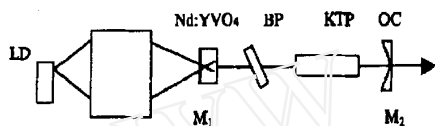


图 3 含布氏片的绿光激光器

用 2W 的 LD 泵浦,通过腔内插入布氏片,我们获得了 200mW 以上的低噪声绿光输出,此时纵模数目为 3 个,相对稳定,不发生耦合现象。图 2b 即是激光器输出 150mW,有 2 个纵模的情形。

3.2 减少纵模耦合

前面已经提到,噪声主要来自不同纵模间的相互耦合。根据耦合波理论^[4],可以得出两条有价值的结论:一是两纵模的间隔越小,发生耦合的可能性越大;二是垂直两纵模的耦合几率大于两相互平行纵模。下面我们分析图 4 的情形。

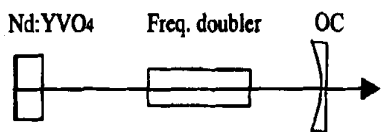


图 4 绿光激光器的谐振腔

在图 4 中,根据驻波腔理论,光腔内第 q 个纵模的频率 ν_q 可以表示为^[5]:

$$\nu_q = qc / 2(\sum nL) \quad (1)$$

其中, n 和 L 分别为腔内各光学元件的折射率和几何长度。

当倍频器为 类 KTP 时,其三波作用过程为:

$$o(1064) + e(1064) \longrightarrow e(532) \quad (2)$$

KTP 是双轴晶体,即属于双折射晶体,因此基频 $o(1064)$ 光和 $e(1064)$ 光分别对应着不同的折射率 n_o 和 n_e ,由(1)式知 o 光和 e 光对应的纵模频率会有一定差异,这就增加了腔内纵模的数量,并且 o 光和 e 光相互垂直,进一步增加了倍频耦合的可能。

鉴于此,我们可以通过选用 类匹配的倍频晶体代替 类 KTP 实现绿光激光器的低噪声输出。

类匹配三波作用过程有两种情形:

$$o(1064) + o(1064) \longrightarrow e(532) \quad (3)$$

$$\text{或 } e(1064) + e(1064) \longrightarrow o(532) \quad (4)$$

基频光在通过倍频元件过程中只有 n_o 或 n_e 一个折射率,因此 类匹配比 类匹配过程腔内存在的纵模数目少,并且两基频光子振动方向一致,进一步减少了光波耦合可能。我们使用 类 BBO 晶体进行了腔内倍频实验,用 4W 的 LD 泵浦,在输出绿光为 460mW 时,激光器仍处于低噪声运转状态。

4 结 论

通过对 LD 泵浦 Nd:YVO₄ 晶体,用 类临界位相匹配 KTP 晶体腔内倍频的绿光激光器噪声特性的大量观察,指出绿光噪声主要来自于不同纵模的相互耦合,从而指出了实现低噪声输出的有效途径。分别采用谐振腔内插入布氏片和采用 类位相匹配晶体腔内倍频,实现了连续绿光的低噪声输出。

参考文献:

- [1] T Baer. Large-amplitude fluctuations due to longitudinal mode coupling in diode-pumped intracavity-doubled Nd:YAG lasers[J]. J. Opt. Soc. Am. B, 1986, 3(9): 1175 - 1180.
- [2] Sten Helmfrid, Kimio Tatsuno. Stable single-mode operation of intracavity-doubled diode-pumped Nd:YVO₄ lasers: theoretical study[J]. J. Opt. Soc. Am. 1994, B11(3): 436 - 445.
- [3] 郑权,檀慧明. LD 泵浦全固体单频 Nd:YVO₄/KTP 绿光激光器研究[J]. 激光与红外, 2001, 31(4): 208 - 209.
- [4] 蓝信钜. 激光技术[M]. 北京:科学出版社, 2000:224.
- [5] 周炳琨,高以智. 激光原理[M]. 北京:国防工业出版社, 2000:27.