

提高 LD 端泵绿光激光器偏振比的方法

汤晓晖^{1,2}, 陈险峰¹, 胡企铨³, 张峭峰²

(1. 上海交通大学物理系, 上海 200240; 2. 上海高意激光技术有限公司, 上海 200233;

3. 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要:针对 LD 端泵的直腔 Nd:YVO₄/KTP 绿光激光器偏振比差的主要原因, 提出了谐振腔内包括两腔面在内的所有光学件通光面均对 532 nm 增透, 并且将 LD 一侧的绿光以小角度高反的方案, 简单而有效地解决了使用直腔 Nd:YVO₄/KTP 绿光激光器输出偏振比不高的问题。这种方法也可以推广使用于其他直腔腔内倍频激光器上。

关键词:LD 泵浦; 偏振比; 小角度反射

中图分类号:TN243

文献标识码:A

A way to increase polarization ratio of LD pumped green laser

TANG Xiao-hui^{1,2}, CHEN Xian-feng¹, HU Qi-quan³, ZHANG Shao-feng²

(1. Dept. of Physics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. Photop Suwtech, Inc., Shanghai 200233, China;

3. Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, CAS, Shanghai 201800, China)

Abstract: Based on the main reason that affected polarization ratio of a LD pumped Nd:YVO₄/KTP green light laser, a simple and effective solution, which make all the optical surface in the laser cavity (include the both cavity surface) AR for 532 nm wavelength and make one optical surface with a little-angle HR (high-reflection) for 532 nm wavelength, can increase the polarization ratio of a LD pumped Nd:YVO₄/KTP green light laser. This solution can also be used in other laser.

Key words: LD pumped; polarization ratio; little-angle reflection

1 引言

作为一种成熟的产品, LD 端面泵浦的 Nd:YVO₄/KTP 绿光固体激光器现在已经被广泛的使用, 它具有效率高、体积小、使用寿命长和光束质量好等优点。

偏振比是衡量激光光束质量的重要指标, 一般定义为:

$$\eta = P_a / P_b$$

其中, P_a 为激光束经偏振元件的最大功率分量值; P_b 为激光束经偏振元件的最小功率分量值。 P_a 与 P_b 互相垂直。可知 η 越大, 激光光束的偏振特性越好。

图 1 是一种常见的 LD 端泵的 Nd:YVO₄/KTP 绿光固体激光器的凹-平腔结构示意图。

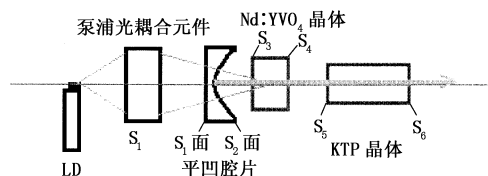


图 1 LD 端泵的 Nd:YVO₄/KTP 绿光固体激光器的结构

在直腔激光器中, 808 nm 的 LD 光经耦合元件聚焦在 Nd:YVO₄ 晶体上, LD 光的偏振方向与 Nd:YVO₄ 晶体的 c 轴方向平行, 由于 Nd³⁺ 离子有很强的偏振性, π 方向的发射截面是 σ 方向发射截面的 4.2 倍, 因此 Nd:YVO₄ 晶体产生的 1064 nm 光为 π 方向上的线偏振光, 具有良好的偏振特性。在经

作者简介:汤晓晖(1977-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事中小功率二极管泵浦固体激光器研究。E-mail: bird_soup@263.net

收稿日期:2009-03-30

过 KTP 晶体后,经过 II 类相位匹配产生 532 nm 光。由角相位倍频原理可知,1064 nm 基频光的线偏程度只对倍频效率有影响,而对绿光偏振状态没有影响。因此,KTP 对绿光偏振态没有直接影响。造成绿光退偏的主要原因,是因为 1064 nm 光在谐振腔内是来回振荡的,因此,KTP 倍频产生了 2 束偏振方向相同,出射方向相反的 532 nm 绿光。其中一束绿光的传播方向与输出方向相反,在图 1 中为向左方向,这束绿光穿过 Nd:YVO₄ 晶体,在靠近 LD 一侧的腔面上被反射后,再次通过 Nd:YVO₄ 晶体,而后再穿过 KTP 晶体,与向右的出射光重合。由于 Nd:YVO₄ 晶体和 KTP 晶体都是各向异性晶体,对于 532 nm 光相当于一个多级波片,因此对从晶体中透过的 532 nm 绿光产生了明显的退偏作用,原本是线偏振的绿光就变成了椭圆偏振光^[1]。

得到较高的偏振比输出的 532 nm 绿光的方法,在之前的文献中,大致有以下几种方法:

(1) 采用如 V 形腔使 532 nm 光不经过 Nd:YVO₄ 晶体,以避免 532 nm 光产生退偏^[1-3];

(2) 在腔内增加反射膜,使 532 nm 光在进入 Nd:YVO₄ 晶体前就被原路反射^[1];

(3) 使用 I 类相位匹配晶体(如 LBO)作为倍频晶体,利用其波片效应小的优点,减小 KTP 等 II 类匹配晶体产生的退偏效应^[2-3]。

本文报道了在不变 LD 端泵直腔 Nd:YVO₄/KTP 绿光激光器的结构,而采用谐振腔内所有与谐振腔轴线垂直的光学通光面对 532 nm 镀 AR(Anti-Reflection)膜,并在腔外设置一个有一定倾斜角度的光学面对 532 nm 光进行全反射,从而使得输出的 532 nm 光达到大于 100:1 的偏振比。在基本不增大激光器尺寸结构和制作工艺的情况下,有效地提高了激光器的出光偏振比。

2 理论分析

在图 1 中,激光器的谐振腔由平凹腔片、Nd:YVO₄ 晶体、KTP 晶体组成,谐振腔的腔壁面分别是平凹腔片的凹面和 KTP 的输出面。

腔片的镀膜指标为:

平面(以下称 S₁ 面)镀 808 nm AR, $R < 0.5\%$;

凹面(以下称 S₂ 面)镀 1064 nm HR $R > 99.8\%$ & 808 nm HT $T > 95\%$ 。有时为了提高 532 nm 的输出功率,还会在凹面上增加 532 nm HR $R > 95\%$ 的要求。

Nd:YVO₄ 晶体尺寸为 3 mm × 3 mm × 1 mm,掺杂浓度 2.0 at%, a 向切割,镀膜为:

双面(以下分别称 S₃ 面和 S₄ 面)都镀 1064 nm AR($R < 0.2\%$) & 808 nm AR($R < 5\%$)。

KTP 晶体的 z 轴垂直于谐振腔轴线且与 Nd:YVO₄ 的 c 轴的夹角为 45°,镀膜为:

左边的通光面(以下称 S₅ 面)镀 1064 nm AR $R < 0.2\%$ & 532 nm AR $R < 0.5\%$;

右边的通光面(以下称 S₆ 面)镀 1064 nm HR $R > 99.8\%$ & 532 nm AR $R < 5\%$ 。

1064 nm 光在谐振腔内来回振荡,KTP 倍频后产生了 2 束偏振方向相同出射方向相反的 532 nm 光。通过 S₅ 面(图 1 中向左)出射的 KTP 光,其中一部分在经过了 Nd:YVO₄ 晶体后在腔片的 S₂ 面上反射,再次透过 Nd:YVO₄ 晶体和 KTP 晶体,而后与图 1 中向右的 532 nm 光重合。由于这部分光经过了 2 次 Nd:YVO₄ 及 1 次 KTP 晶体,因此产生了严重的退偏现象,与出射光重合后,造成出射光的偏振比差^[1-2]。

为了提高 532 nm 输出绿光的偏振比,本文的方案是避免经过 Nd:YVO₄ 的 532 nm 绿光与输出的 532 nm 绿光叠加,从而使输出 532 nm 绿光保持原有的偏振比。

3 实验

根据以上分析,将原有的光学元件调整如图 2 所示。

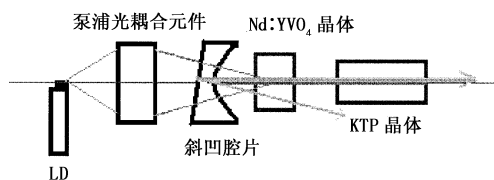


图2 改进的LD端泵的Nd:YVO₄/KTP绿光固体激光器的结构

图中激光器的平凹腔片变更成一种斜凹腔片,倾斜面的法线与谐振腔轴线方向成一个 1°左右的小夹角,同时对各个通光面的镀膜作了如下调整。

腔片镀膜指标为:

S₁ 面(倾斜面)镀 808 nm AR, $R < 0.5\%$ & 532 nm HR, $R > 95\%$;

S₂ 面镀 532 nm AR, $R < 0.5\%$ & 1064 nm HR $R > 99.8\%$ & 808 nm HT $T > 95\%$ 。

Nd:YVO₄ 晶体镀膜指标变更为:

S₃ 面和 S₄ 面都镀 1064 nm AR $R < 0.2\%$ & 808 nm AR $R < 5\%$ & 532 nm AR $R < 0.5\%$ 。

KTP 晶体镀膜指标变更为:

S₅ 面镀 1064 nm AR $R < 0.2\%$ & 532 nm AR $R < 0.5\%$;

S₆ 面镀 1064 nm HR $R > 99.8\%$ & 532 nm AR $R < 5\%$ 。

除镀膜指标外,Nd:YVO₄ 晶体和 KTP 晶体的其他指标参数要求不变。

在这种结构中,向左的 532 nm 光在经过

Nd:YVO₄晶体后,由于S₂,S₃,S₄面镀膜对532 nm均为增透,因此极大的减小了532 nm的光被反射的比例;当光到达S₁面后,被反射的532 nm光便不再沿谐振腔轴线返回,而是形成一个夹角,与向右出射的532 nm光分离开。这样的话,输出的光就只有向右出射的光。由于出射后不经过任何各向异性介质,因此基本不会影响其原有的偏振特性。

S₂,S₃,S₄,S₅面镀532 nm增透膜的目的,是为了最大地消除左向532 nm光沿谐振腔轴线反射后加入输出532 nm光中的比例。

S₁面镀532 nm高反膜的目的,是为了避免腔片左边光学耦合系统以及LD对532 nm的反射,同时也起到了保护LD,避免532 nm光照射到LD上,对LD的性能造成影响的作用。

S₁面采用小角度倾斜目的,是为了减小泵浦光在经过腔片后的发射方向与谐振腔轴线方向出现的夹角,避免泵浦光与谐振腔内基模匹配变差,从而影响到输出功率与光束质量。

表1和表2是两种不同功率的LD按照图2结构生产的不同功率下激光器的测试数值(采用旋转格兰棱镜法测量),在使用SCHOTT公司生产的1 mm厚BG39玻璃遮挡残余的808 nm和1064 nm波长后,使用Newport 1830-C功率计及818-SL功率计探头测量(误差+/-2%)。

表1 20 mW 绿光激光器的偏振比

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_a	18.62	19.08	18.86	18.93	18.80	18.86	18.65	18.77	18.84	18.97
P_b	0.07	0.08	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07
$\eta = P_a/P_b$	266	238.5	314.3	270	235	235.8	233	268	269	271

表2 200 mW 激光器输出时的偏振比

序号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P_a	192.5	203.7	196.3	198.8	193.4	199.0	194.6	206.2	192.2	201.8
P_b	0.13	0.10	0.12	0.09	0.12	0.11	0.09	0.09	0.14	0.11
$\eta = P_a/P_b$	1481	2037	1636	2209	1612	1809	2162	2291	1373	1834

在以上两个表中可以看出,当激光器的532 nm光输出功率从20 mW增加到200 mW时,激光器的偏振比增加了一个数量级。 P_a 值的变化基本与激光器532 nm输出功率成正比, P_b 值随着功率的增加也随着增加,但增加的比例低于总功率的增加比例。这说明谐振腔内除了晶体波片效应以外的其他原因^[1]产生退偏的532 nm绿光的功率,并没有与总输出的532 nm绿光功率成线性等比关系,而是只是缓慢地增加。

在测试的时候,同时发现激光器光束模式在CCD上测试时,光斑的能量分布变得更加光滑,这是因为原有结构出光时,光在叠加时由于相位差,从而造成了轻微的干涉现象,并且此干涉现象会随着功率变化或环境温度的变化而加强或减弱,进一步地影响了功率的稳定性。改进结构由于将反射光与出射光分离开,因此消除了光的干涉现象,同时对激光器的功率稳定性有一定的帮助。

采用去除左向532 nm光的方法来提高光的偏振比的方法的不足之处有以下两点:

一是由于将左向反射光从总输出光中去除,因此造成输出功率一定比例的损失,造成532 nm绿光输出功率降低。采用本文方案的激光器,在同样的条件下,与采用图1方案,无偏振比要求的产品相比,输出功率会偏低一定数值。

在实际生产中,这个问题可以通过优化泵浦光匹配效率,提高温控散热性能等提高转换效率来补偿。根据上海高意激光技术有限公司的实际生产统计数据,采用本文方案的激光器,在良好地调节激光器结构后,使用索尼公司生产的808 nm 500 mW LD为泵浦LD,在泵浦功率约500 mW时,输出532 nm光的平均功率可以达到110 mW,最高输出功率为143 mW,可以满足小功率高偏振比的激光器在输出功率方面的参数需求。

二是这种方案需要对小角度反射后的532 nm绿光进行遮挡处理,否则会导致生产出的激光器主光斑周围的杂散光增加。在实际生产中,这种杂散光可以通过光阑遮挡等方式消除。

4 结 论

使用腔内镀膜使532 nm增透,而后用小角度反射面将左向532 nm光与右向532 nm光完全分离的方法,在保持直腔结构,且几乎不改变激光器制作工艺的情况下,有效地提高了激光器的消光比,并同时提高了激光器的光束质量,是一种简单而有效的提高激光器偏振比的方法,在实际生产制造激光器上有着很高的实用价值。

参考文献:

- [1] 顾文华,霍玉晶,何淑芳. LD 泵浦微型全固态绿光激光器偏振态研究[J]. 激光与红外,2000,30(2):84-87.
- [2] 郑权,赵岭,檀慧明. LD 泵浦的绿激光器偏振特性研究[J]. 激光杂志,2001,22(4):9-10.
- [3] 郑权,赵岭,等. LD 泵浦高效率折叠腔 YAG/LBO 蓝光激光器[J]. 激光与红外,2001,31(3):144-146.