

Nd:YAG 激光器退偏率测量实验研究

杨晓冬¹ 侯新华²

¹嘉应学院物理与光信息科技学院, 广东 梅州 514015

²嘉应学院数学学院, 广东 梅州 514015

摘要 固体激光腔内放置薄膜偏振片对 p 偏振光存在 4%~5% 反射, 当激光器输出 p 偏振光时, 退偏损耗光束中包含较强 p 偏振光, 无法测得腔内光束真实退偏率。实验研究 Nd:YAG 固体激光在输出 p 偏振光时, 薄膜偏振片对 p 偏振光反射对腔内光束退偏率测量的影响。结果表明, 当损耗光束中所包含 p 偏振光不被剔除时, 不同透射率所对应退偏率曲线间存在较大差异; 而当剔除这些 p 偏振光时, 不同透射率所对应退偏率测量曲线趋于一致, 测量结果可反映腔内光束的实际退偏率; 在激光器输出 s 偏振光时, 其退偏率测量值与当剔除损耗光束中 p 偏振成分后, 输出 p 偏振光 Nd:YAG 谐振腔内光束退偏率测量值趋于一致。

关键词 激光器; 退偏率; 薄膜偏振片; p 偏振光; s 偏振光

中图分类号 TN248.1

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP52.091409

Experimental Investigation of Depolarization Rate of Nd:YAG Laser

Yang Xiaodong¹ Hou Xinhua²

¹School of Physics and Optical Information Technology, Jiaying College, Meizhou, Guangdong 514015, China

²School of Math, Jiaying College, Meizhou, Guangdong 514015, China

Abstract Thin film polarizer reflects about 4%~5% p-polarized light, when the laser beam is incident on the thin film polarizer at Brewster's angle, which makes the laser beam reflected by intra-cavity thin film polarizer contain depolarized light (s-polarized light) and unignorable p-polarized light. This will result in intra-cavity depolarization rate measurement inaccurate. Intra-cavity depolarization rate measuring inaccuracy caused by intra-cavity thin film polarizer reflecting p-polarized light in an outputting p-polarized Nd:YAG resonator is experimentally investigated. The results show that, for different output mirror transmission in a outputting p-polarized light Nd:YAG resonator, there is obvious difference between the measured depolarization rate plots, when the p-polarized light caused by reflecting effect of thin film polarizer is not filtered from the depolarized light. And that tends to be consistent, if the p-polarized light are filtered from light reflected by the thin film polarizer. The investigation also shows that, for a outputting s-polarized Nd:YAG, the the depolarization rate can be directly measured, because the depolarization light, which is s-polarized light, contains little p-polarized light.

Key words lasers; depolarization rate; thin film polarizer; p-polarized light; s-polarized light

OCIS codes 140.3430; 140.3580; 140.3530; 140.4780

1 引言

热致双折射效应对固体激光输出功率和光束质量有非常重要的影响^[1-6], 退偏率是衡量棒状固体激光介质中热致双折射效应强弱的重要参量。目前测量腔内光束退偏率的方法为^[4-5]将腔内起偏器-薄膜偏振片所反射激光功率 P_{dep} 作为退偏功率, 测量 P_{dep} , 同时测量激光器输出功率 P_{out} , 再结合激光器输出耦合镜透射率, 就可计算出激光谐振腔内光束的退偏率^[4-5]。但上述测量中存在以下问题, 由于薄膜偏振片对 p 偏振光存在 4%~5% 的反射, 所以薄膜偏振片所反射的退偏光(s 偏振光)中往往包含了不可忽略的 p 偏振光, 因此上述方法无法测得腔内光束真实退偏率值。

本文理论分析了在输出 p 偏振光固体激光器中, 薄膜偏振片对 p 偏振光 4%~5% 的反射作用对退偏率测

收稿日期: 2015-01-14; 收到修改稿日期: 2015-03-10; 网络出版日期: 2015-07-20

基金项目: 广东省创新强校项目

作者简介: 杨晓冬(1968—), 男, 博士, 教授, 主要从事固体激光技术方面的研究。E-mail: xjyxd@126.com

量所产生的影响,提出了测量输出 p 偏振光固体激光谐振腔内光束退偏率的方案。在此基础上,实验研究了在输出 p 偏振光 Nd:YAG 激光器中,薄膜偏振片对 p 偏振光反射作用对固体激光谐振腔退偏率测量结果的影响,并测量了剔除薄膜偏振片对 p 偏振光反射作用影响后的退偏率;实验测量了在输出 s 偏振光 Nd:YAG 激光谐振腔内,谐振腔内光束的退偏率。

2 薄膜偏振片对 p 偏振光反射作用对腔内光束退偏率测量影响

目前所采用的测量固体激光谐振腔内光束退偏率实验装置通常如图 1 所示。图中偏振片通常为薄膜偏振片(TFP), P_{in} 为入射到偏振片上激光功率, P_{out} 为激光器输出激光功率,激光器输出光偏振态为 p 偏振光, P_{dep} 为偏振片反射退偏光功率,退偏光偏振态应为 s 偏振光。固体激光谐振腔内退偏率可表示为^[4-5]

$$\eta_{dep} = \frac{P_{dep}}{P_{in}} = \frac{P_{dep}}{P_{out}/T + P_{dep}}, \quad (1)$$

式中 T 为输出耦合镜透射率。实验时测量 P_{dep} 和 P_{out} , 根据(1)式,就可计算出激光谐振腔内光束退偏率。但由于薄膜偏振片对 p 偏振光存在 4%~5%的反射,所以薄膜偏振片反射光束中除包含退偏光(s 偏振)外,还包含大量 p 偏振光,从而造成实验测得的退偏率偏大。另外,由于腔内光强大小与输出镜透射率有关,所以薄膜偏振片反射 p 偏振光功率也与输出镜透射率有关,这会造成在不同透射率输出镜下,实验所测得退偏率不同,这一结果与退偏率取决于激光介质吸收热量的理论不相符。

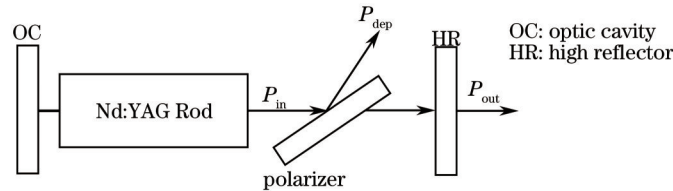


图 1 激光谐振腔退偏率测量装置示意图

Fig.1 Setup schematic of measuring depolarization loss

3 实验装置与结果分析

3.1 输出 p 偏振光激光器退偏率测量

图 2 为测量谐振腔内光束退偏率装置示意图。谐振腔为平平腔,腔长为 45 cm。腔镜 M1 为 1064 nm 全反射镜,M2 为 1064 nm 输出耦合镜。腔内放置两完全相同的 LD 侧面抽运模块,两模块间放置 90°石英旋光片以补偿腔内热致双折射效应。侧面抽运模块采用对称三向抽运,在 LD 最大驱动电流 24 A 下,单个泵浦模块的 808 nm 最大抽运光功率为 60 W。实验中所使用的薄膜偏振片为华北光电研究所生产,其对 p 偏振光的反射率约为 4.6%,对 s 偏振光反射率大于 99.8%。薄膜偏振片 TFP1 为腔内起偏器件。由 LD 侧面抽运模块射向 TFP1 的光束被 TFP1 反射,反射光束中为包含 s 偏振光(退偏光束)及 p 偏振光的混合光束。薄膜偏振片 TFP2 与 TFP1 平行放置,可将 TFP1 所反射的混合光束分为 p 偏振光 P_1 及 s 偏振光 P_2 (退偏光束)。当不考虑薄膜偏振片 TFP1 对 p 光反射作用时,退偏损耗光可认为是 P_1+P_2 , P_{op} 表示输出激光束,其偏振态为 p 偏振光。激光谐振腔内退偏率可表示为

$$\eta_{dep} = \frac{P_{dep}}{P_{in}} = \frac{P_1 + P_2}{\frac{P_{op}}{T} + P_{dep}}, \quad (2)$$

考虑 TFP1 对 p 光反射作用,激光谐振腔内实际退偏率应表示为

$$\eta_{dep} = \frac{P_{dep}}{P_{in}} = \frac{P_1}{\frac{P_{op}}{T} + P_{dep} + P_2}, \quad (3)$$

由(2)~(3)式可以看出,若忽略 TFP1 所反射的 p 偏振光,测量所得退偏率一定大于激光谐振腔内实际退偏率。

图 3 为当输出耦合镜 1064 nm 透射率为 10%、20%及 30%时,利用图 2 所示实验装置测得激光器输出功率。从图中可以看出。在模块驱动电流为 22 A 时,透射率为 20%所对应输出功率最大,为 9.69 W。图 4 为不考虑薄膜偏振片 TFP1 对 p 偏振光反射作用,根据(2)式,测量所得不同透射率所对应的退偏率。由图 4 可以

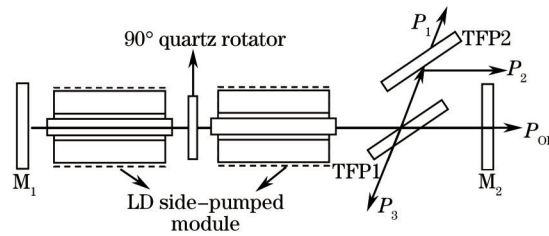


图2 薄膜偏振片对p偏振光反射所引起损耗功率测量装置示意图

Fig.2 Setup of measuring the loss power caused by an intracavity thin film polarizer reflecting p polarized light
直观的看出,不同透射率所对应的退偏率曲线存在较大差异,在驱动电流为22 A时,透射率为10%时,激光器退偏率最大,其值为5%;而当透射率为30%时,激光器退偏率降为3.8%,两者相差值为1.2%,约占测量值的30%。这说明,如过忽略薄膜偏振片对p偏振光反射作用,输出耦合镜透射率对于测量所得退偏率有不可忽视的影响,实验将无法测得谐振腔内光束的真实退偏率。

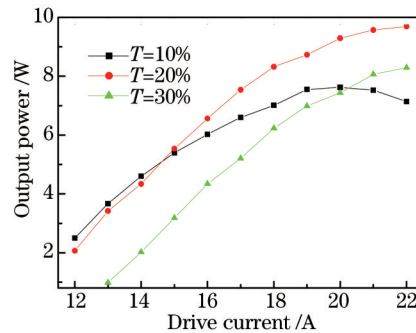


图3 p偏振光输出功率

Fig.3 p polarized light output power

利用图2所示实验装置,根据(3)式,在利用薄膜偏振片 TFP2 剔除退偏损耗功率中所包含的 p 偏振光成分后,测量了激光谐振腔内的退偏率,测量结果显示在图5中。从图5可以看出,当利用 TFP2 剔除退偏损耗功率中所包含的 p 偏振光成分后,不同透射率所对应的退偏率曲线间差别很小。当侧泵模块驱动电流为22 A时,不同透射率所测的退偏率都接近2.2%,这也说明当剔除退偏损耗功率中所包含的 p 偏振光成分后,退偏率将主要由模块中 Nd:YAG 棒所吸收的热量决定,测量所得为腔内光束真实退偏率。

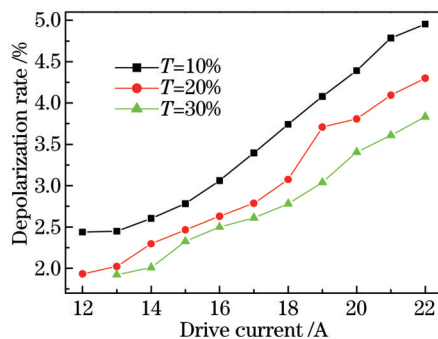


图4 忽略 TFP1 对 p 偏振光反射作用,退偏率测量曲线

Fig.4 Measured plots of depolarization rate, when effect of TFP reflecting p-polarized light ignored

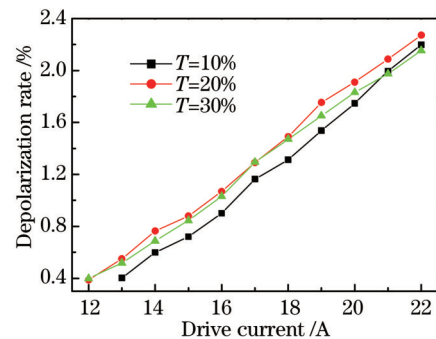


图5 剔除 TFP1 反射 p 偏振光后,退偏率测量曲线

Fig.5 Measured plots of depolarization rate, when p-polarized light reflected by TFP1 filtered

3.2 输出 p 偏振光激光器退偏率测量

薄膜偏振片对 s 偏振光具有大于 99.8% 的反射率,因此输出 s 偏振光的薄膜偏振片固体激光可有效克服薄膜偏振片对 p 偏振光的反射所引起的功率损耗。图6为输出 s 偏振光的薄膜偏振片 Nd:YAG 激光器结构示意图,图中薄膜偏振片 TFP2 与薄膜偏振片 TFP1 平行放置,其作用是为了消除薄膜偏振片 TFP1 对 p 偏振光的反射作用对输出激光偏振度的影响。装置中退偏损耗光束由薄膜偏振片 TFP1 透射,偏振态为 p 偏振光,功率表示为 P_{Ls} ;输出功率表示为 P_{Os} ,输出光束偏振态为 s 偏振态。激光谐振腔内光束退偏率可表示为

$$\eta_{dep} = \frac{P_{LS}}{\frac{P_{OS}}{T} + P_{LS}}, \quad (4)$$

由于薄膜偏振片对s偏振光反射率达到99.8%,所以由TFP1透射的退偏损耗光束中包含s偏振光很少,因此利用图6所示装置及(4)式可较为准确地测量退偏率。

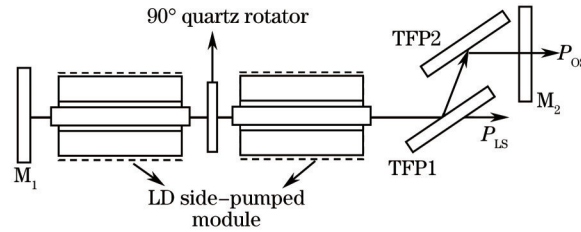


图6 输出s偏振光Nd:YAG激光器结构示意图

Fig.6 Setup schematic of outputting s-polarized light Nd:YAG laser

图7为利用图6所示实验装置测得输出耦合镜透射率分别为10%、20%、30%时,激光器输出s偏振光功率。比较图6和图3可发现,在相同输出率时,s偏振光输出功率大于p偏振光输出功率,这主要是由于当激光器输出p偏振光时,薄膜偏振片TFP1存在4%~5%的反射损耗。在驱动电流为22 A时,透射率T为20%所对应的输出功率最大,为13.4 W。图8为根据(4)式,实验测得输出耦合镜透射率分别为10%、20%、30%时,输出s偏振光激光谐振腔内光束退偏率曲线。从图8可以看出,不同透射率所对应的退偏率曲线趋于重合,在模块驱动为22 A时,三种透射率所对应的腔内光束退偏率都趋于2.1%,且数值与图5所示退偏率曲线趋于一致。这说明,利用输出s偏振光激光谐振腔,测量所得腔内光束退偏率主要由腔内激光棒所吸收热量决定,与输出耦合镜透射率无关,其值真实反映了腔内光束退偏率的真实大小。

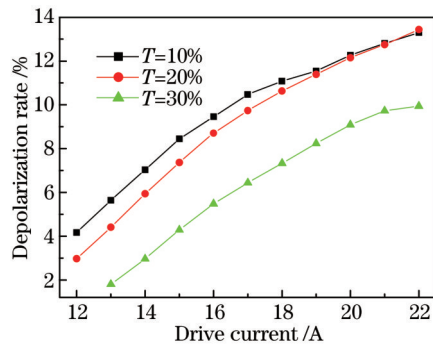


图7 输出s偏振光Nd:YAG激光器输出功率

Fig.7 Output power of outputting s-polarized light Nd:YAG laser

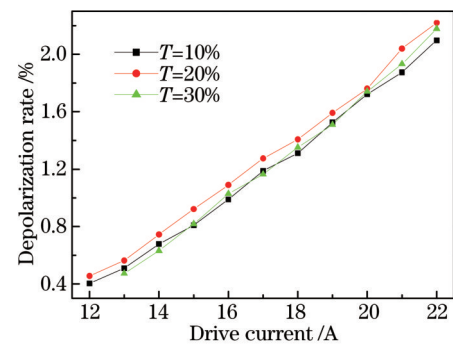


图8 输出s偏振光Nd:YAG激光器退偏率测量曲线

Fig.8 Depolarization rate measured plots of outputting s-polarized light Nd:YAG laser

4 结 论

实验研究表明,当Nd:YAG固体激光器在输出p偏振光时,由于腔内所使用的薄膜偏振片对p偏振光存在4%~5%的反射,损耗光束中会包含p偏振光的成分。如果不剔除损耗光束中所包含的p偏振光,实验所得退偏率会大于实际的退偏率,且当输出镜透射率不同时,所测得退偏率也不同;而当剔除损耗光束中所包含的p成分时,不同透射率所对应的退偏率曲线趋于一致,退偏率将主要由激光棒所吸收热量决定。采用输出s偏振光激光谐振腔结构可有效避免薄膜偏振片对p偏振光反射作用对退偏率测量的影响,同时激光器输出功率也会显著增加。

参 考 文 献

- 1 Xiong Jingping, Li Jiaqiang, An Zhenjie, *et al.*. 310 W all-solid-state quasi-continuous-wave Nd:YAG green laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2013, 33(s1): s114002.
熊景平, 李嘉强, 安振杰, 等. 310 W全固态准连续Nd:YAG绿光激光器[J]. *光学学报*, 2013, 33(s1): s114002.
- 2 Liu Yonggang, Wang Baohua, Hou Wei, *et al.*. Side-pumped Nd:YAG laser of 86 W quasi-fundamental mode diode-

- lasers[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2011, 48(7): 071403.
- 刘永刚, 王宝华, 侯 玮, 等. 86 W 准基模激光二极管侧面抽运 Nd:YAG 激光器[J]. *激光与光电子学进展*, 2011, 48(7): 071403.
- 3 Fu Xihong, Peng Hangyu, Shan Xiaonan, *et al.*. Diode-pumped Nd:YAG/Nd:YVO₄ intracavity sum-frequency mixing laser at 500.9 nm[J]. *Chinese J Lasers*, 2013, 40(6): 0602012.
- 付喜宏, 彭航宇, 单肖楠, 等. LD 抽运 Nd:YAG/Nd:YVO₄ 腔内和频 500.9 nm 激光器[J]. *中国激光*, 2013, 40(6): 0602012.
- 4 Dong Yantao, Zhao Zhigang, Pan Sunqiang, *et al.*. Investigation of the TEM₀₀-mode output character from LD side-pumped two Nd:YAG rods in laser resonator[J]. *Chinese J Lasers*, 2010, 37(10): 2467-2471.
- 董延涛, 赵智刚, 潘孙强, 等. LD 侧面抽运双棒串接 Nd:YAG 激光腔的基模输出特性研究[J]. *中国激光*, 2010, 37(10): 2467-2471.
- 5 Liu Chong, Ge Jianhong, Xiang Zhen, *et al.*. Thermal-induced birefringence-compensated laser system with two Nd:YAG Rods[J]. *Chinese J Lasers*, 2007, 34(11): 1483-1487.
- 刘 崇, 葛剑虹, 项 震, 等. 双棒串接补偿热致双折射效应激光谐振腔[J]. *中国激光*, 2007, 34(11): 1483-1487.
- 6 W Koechner. *Solid State Laser Engineering*[M]. New York: Springer Verlag, 2005: 447-449.

栏目编辑: 何卓铭