

太阳光直接抽运的 Nd:YAG 激光器*

太阳光直接抽运固体激光器由于能量转换环节最少,有可能获得较高效率,在空间激光器和太阳能利用方面存在重要的应用前景。我们采用菲涅耳透镜汇聚太阳光直接抽运 Nd:YAG 晶体获得了激光振荡。

Nd:YAG 晶体基质硬度高,热导率好,容易产生高增益、低阈值的激光作用,同时在可见光和近红外波段具有较宽的吸收谱线,比较适合用于太阳光抽运的固体激光器。实验采用的 Nd:YAG 晶体为 $\phi 2 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 棒状,一面镀 1064 nm 全反、808 nm 增透膜,另一面镀 1064 nm 增透膜。Nd 离子掺杂原子数分数为 1%。激光输出镜对 1064 nm 波长的透射率为 0.5%,曲率半径 $R=50 \text{ mm}$ 。实验装置如图 1 所示。采用菲涅耳透镜将太阳光聚焦,透镜通光面尺寸为 $374 \text{ mm} \times 374 \text{ mm}$,焦距 $f'=220 \text{ mm}$,焦点处汇聚的最小光斑约 $\phi 3 \text{ mm}$ 。经过 700~860 nm 带通滤波片后照射到激光晶体入射端面上,晶体入射面放置于透镜焦平面最小光斑处,聚焦太阳光斑对激光棒端面抽运。测量未汇聚前太阳光的滤波后的光谱如图 2 所示。谐振腔为近半共心腔以降低振荡

阈值,谐振腔固定在两维可调的机械结构上,调节机械结构实现对太阳的对准聚焦。

试验中天气晴朗,地面上垂直太阳测量功率密度为 0.8 mW/mm^2 ,经过菲涅耳透镜聚焦和带通滤波后测量的太阳光最大功率为 9 W。由于在强烈的太阳光下很难用激光功率计、上转换片等常规方法判断阈值附近的激射现象,试验中通过光纤束将输出光导入微型光谱仪,观察光谱变化情况判断从荧光到激光的变化过程。采用美国 Ocean Optics 公司出品的 S2000 型微型光纤光谱仪测量输出光谱,其主要指标为:入射狭缝 $25 \mu\text{m}$,光栅刻线密度 600 lp/mm,闪耀波长 750 nm,测量波长范围 450~1100 nm,探测器为 2048 像元线阵 CCD,波长分辨率为 1.3 nm。使用前用 He-Ne 激光校准波长,误差小于 1 nm。测量结果在计算机上实时显示。采用中心波长 1064 nm,带宽 10 nm 的窄带滤波片对进入光谱仪前的光信号进行滤波。试验中通过观察光谱变化情况判断从荧光到激光的变化过程。试验测量的典型荧光光谱和激光光谱结果如图 3 所示:其中荧光光谱为双峰结构,通过波长测量,可以判断是 Nd:YAG 对应于 R_1-Y_1 能级跃迁的 1062 nm (准确值 1061.52 nm) 和对应于 R_2-Y_3 能级跃迁的 1064 nm (准确值 1064.14 nm),而对应于 R_1-Y_2 能级跃迁的 1065 nm (准确值 1064.6 nm) 谱线,由于光谱仪分辨率所限,没有与 1064 nm 谱线分开。测量图中窄带谱线的宽度(半峰全宽(FWHM))约为 1 nm,由于光谱仪的波长分辨率也为 1 nm,所以估计实际谱线宽度应该小于 1 nm。试验中观察到光谱宽度从宽到窄的变化过程,并且在得到窄带光谱时谱线强度剧烈

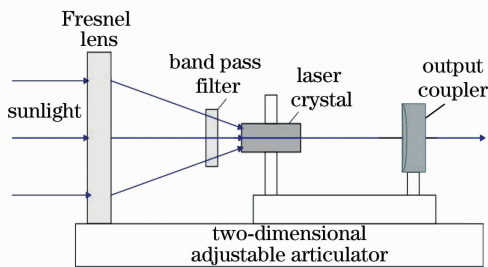


图 1 太阳光抽运的 Nd:YAG 激光器实验装置图
Fig. 1 Schematic of a solar pumped Nd:YAG laser

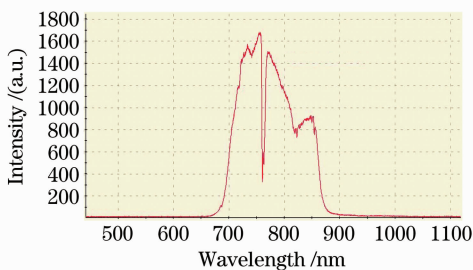


图 2 滤波后太阳光谱

Fig. 2 Solar spectrum by band pass filtered

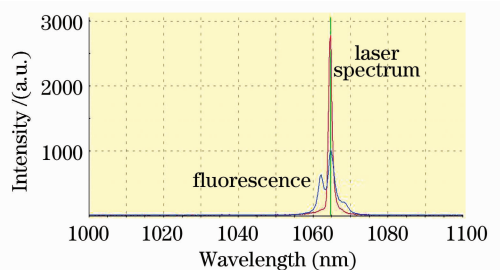


图 3 典型荧光光谱和激光光谱

Fig. 3 Fluorescence and laser spectra

* 国家自然科学基金(60578032)资助项目。

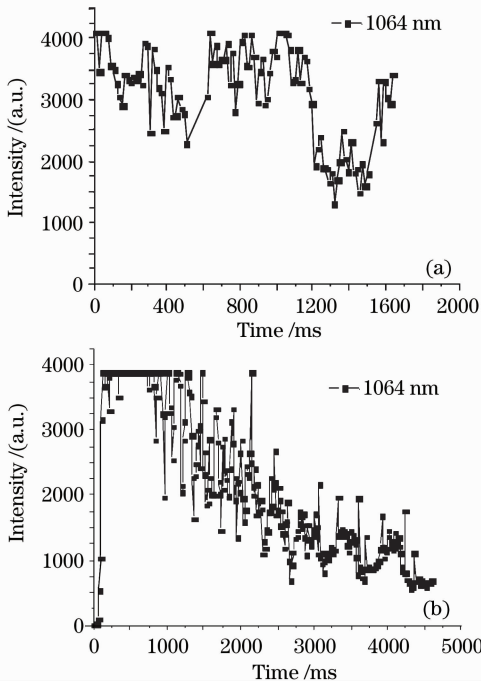


图4 光谱峰值谱线强度随时间变化

关系。(a) 采集次数 100;(b) 采集次数 300

Fig. 4 Intensity of spectra peak value for period of time. (a) 100 scans for 2 s; (b) 300 scans for 5 s

起伏,符合振荡阈值附近激光输出不稳定的特征,我们判断获得了激光输出。

图4为S2000光纤光谱仪快速光谱采集时,窄带光谱峰值谱线强度随时间变化图。通过设置采集次数 n ,光谱仪在间隔约15 ms时间连续自动采集 n 次光谱并保存,由此可观察谱线强度随时间变化情况。其中,图4(a)和(b)分别为采集次数100和300时峰值谱线1064 nm的强度随时间变化情况。

下一步工作将采取措施提高激光的输出功率,可能的措施是采用更大口径的非涅耳透镜对太阳光聚焦,并用多级聚光方案进一步提高聚焦太阳光的功率密度。

¹北京理工大学信息科学技术学院光电工程系,
北京 100081

²Institute for Optics and Atomic Physics
Technical University of Berlin

何建伟¹ 赵长明¹ 杨苏辉¹

Adalbert Ding² 张立伟¹

收稿日期:2008-12-01;

收到修改稿日期:2008-12-05