

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0319-03

大功率激光二极管抽运固体激光器的研究

陈义红¹, 苏 勇²

(¹广州安特激光技术有限公司, 广东 广州 510730)
(²新加坡新特光电技术有限公司, 新加坡 128384)

摘要 大功率激光二极管抽运固体激光器正逐步取代传统的灯抽运固体激光器,已广泛应用于工业领域。介绍了一种激光二极管侧面抽运的 Nd:YAG 激光器。采用二级串联振荡方式,一组五个激光二极管抽运模块沿 Nd:YAG 棒圆周均匀分布,有六组共 30 个激光二极管,棒外面套了一根冷却玻璃管,通过循环水流把棒内的热量带走。采用稳定的平-平激光谐振腔,获得激光功率 360 W,功率稳定度 $\pm 1\%$ 的稳定输出。对该激光器结构和输出特性进行了详细的研究。用户使用表明,该激光器具有转换效率高、使用寿命长、结构紧凑、整机性能可靠等特点。

关键词 激光器; 固体激光器; 激光二极管抽运; 串联振荡; 大功率

中图分类号 TN248.1 文献标识码 A

Study of High-Power Laser Diode-Pumped Solid-State Laser

CHEN Yi-hong¹, SU Yong²

(¹ Guangzhou Ante Laser Co. Ltd., Guangzhou, Guangdong 510730, China)
(² Sintec Optronics Pte. Ltd., Singapore 128384)

Abstract High-power laser diode-pumped solid-state lasers are replacing flashlamp-pumped solid-state lasers and are widely used in industries. A laser diode-side-pumped Nd:YAG laser is reported. Output laser power of 360 W and stability of $\pm 1\%$ are obtained though the series-oscillation resonator using two laser diode pump modules. There are totally 30 diode bars used in each module and 5 diode bars are placed around the Nd:YAG rod. There is a flow tube between the diodes and the Nd:YAG rod, cooling water flows inside the tube and brings out heat. A flat rear mirror and a flat output coupler are used as laser resonator. The structure and output characteristics of the laser are studied in detail. It is shown that the laser is compact and reliable with high conversion efficiency and long life extension.

Key words lasers; solid-state laser, laser diode pumping, series oscillation, high power

1 引 言

第一台连续 YAG 激光器于 1964 年实现运转,40 多年来 YAG 激光器一直与 CO₂ 激光器同受重视,是第二类最重要的工业激光器,目前世界范围内销售的商品固体激光器已超过 500 种,但从 1998 年开始,固体激光器的市场占有率和销售额已超过气体激光器升为第一位。

传统的固体 YAG 激光器,通常由掺钕钇铝石榴石晶体棒、抽运灯、聚光腔、光学谐振腔、电源及致冷系统组成,其电-光转换效率为 2% 到 3%。由于抽运灯发射的光谱只有极小部分被晶体棒所吸收并转换成激光能量,大部分注入电功率转换成热能,其直接害处一方面表现为大量的热能造成激光晶体不可消除的热透镜效应,使激光光束质量变差;另一方

面整个激光器需要庞大的致冷系统,体积很大。抽运灯的寿命约为 300~1000 小时,操作人员需花很多时间频繁地换灯,中断系统工作,使自动化生产线的效率大大降低。有关专家认为,灯抽运固体激光器的发展已到尽头,技术上没有大的发展空间,激光二极管抽运固体激光器将取代灯抽运固体激光器^[1],并广泛应用于工业领域。

大功率激光二极管抽运固体激光器正逐步取代传统的灯抽运固体激光器,已广泛应用于工业领域。随着应用领域的不断扩大,对激光功率的要求也越来越高。使用一级振荡的激光器由于激光增益长度有限,不能获得足够高的激光功率,因此串级振荡或振荡加放大的结构开始得到了应用。本文使用这种串级振荡结构,获得了 360 W 的激光输出。

2 激光器结构

激光二极管抽运固体激光器的抽运方式有两种:端面抽运和侧面抽运。在端面抽运中,由于激光二极管抽运光与谐振腔模匹配很好,增益介质对抽运光的吸收十分充分,因而能量利用率高,激光输出光束质量好,基本上是基模,斜率效率很高,可达50%以上,但端面抽运的注入功率受到很大限制,因此端面抽运只能用在小功率的固体激光器上。要提高激光器的输出功率只有采用侧面抽运方式,如图1所示。为了增加工作介质的体积和面积,获得大功率的激光输出,将大功率激光二极管阵列式地排在激光晶体周围,在侧面将激光二极管能量直接耦合到激光晶体上。

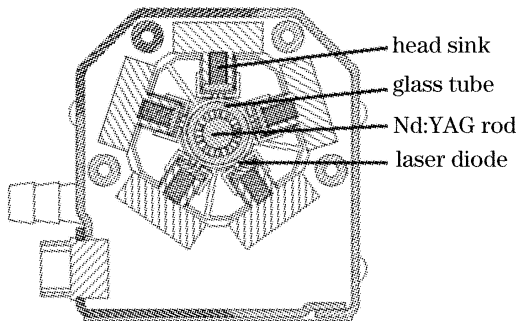


图1 激光二极管抽运腔的基本结构

Fig.1 Structure of laser diode pumping

根据激光二极管抽运的固体激光器加工系统需要较大输出功率的特点,采用侧面抽运的技术方案,一组五个激光二极管沿Nd:YAG棒圆周均匀分布,有六组共30个激光二极管排在Nd:YAG棒周围。在YAG棒和激光二极管之间放上导流管,使水不会与激光二极管接触,同时,导流管使得通水的截面积减少,加快了水的流速,更有效地冷却YAG棒,通过循环水流把棒内的热量带走。Nd:YAG棒直径6.35 mm,长度116 mm,两端面为平行平面,镀有 $1.06 \mu\text{m}$ 增透膜。Nd掺杂质量分数为0.8%。

Nd:YAG棒对808 nm抽运光的吸收系数为 0.4 mm^{-1} ,抽运光通过直径为6.35 mm的Nd:YAG棒,约有90%的抽运光被棒吸收,其余10%从棒的另一侧透射出来。为了提高激光二极管抽运激光器的总体效率,在Nd:YAG棒周围安置了一个镀有808 nm高反膜的反射腔体,把棒内透射出来的抽运光反射回棒内,经多次反射后,大部分的抽运光被Nd:YAG棒所吸收。在抽运模块和Nd:YAG棒之间有冷却玻璃管和反射腔体,激光二极管抽运光通过反射腔体上的窗口照射到Nd:YAG棒上。为了获得高功率,采用二级串联振荡。图2是激光器的内部结

构照片。

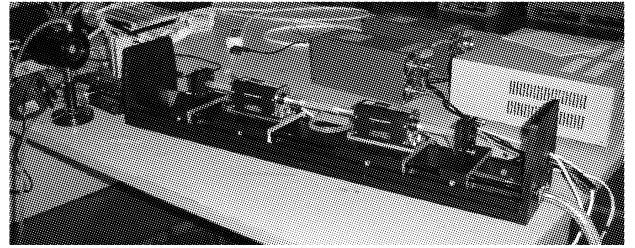


图2 激光器内部结构照片

Fig.2 Photo of inner structure of the laser

激光二极管驱动电源以单片机为核心,由电源模块、控制电路、保护电路、通信模块、状态指示与电流显示电路组成。该系统最高连续输出电流可达50 A,激光二极管直流偏置电压可达200 V。在该激光器中,电流设计为40 A,激光二极管直流偏置电压60 V,是为连续输出150 W激光功率的激光器提供驱动和控制的专用系统。

冷却系统由压缩机、膨胀阀、冷凝器、热交换器、水泵、水箱、流量开关、水流计等组成。根据激光器的冷却要求选择水流量并设定水温。一般情况下,激光二极管的冷却水温设定在 $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。最大致冷量要求应为注入到激光二极管的电功率减去激光功率再加上水泵的发热量。

标准的激光谐振腔由一个全反镜和一个输出耦合镜组成。考虑激光晶体的热透镜效应,将激光晶体等效成一个焦距为 f_0 的透镜。根据文献[2],可以设定 $f_0=300 \text{ mm}$,将激光谐振腔设计成一个稳定腔。为了得到小的发散角,则通过增加谐振腔长度来实现,其代价为激光功率的减少。

3 激光器的输出特性

在我们的激光器中,激光器的谐振腔长为590~620 mm,使用平-平谐振腔,输出透过率为20%到30%,抽运光功率最大可达1500 W,致冷机

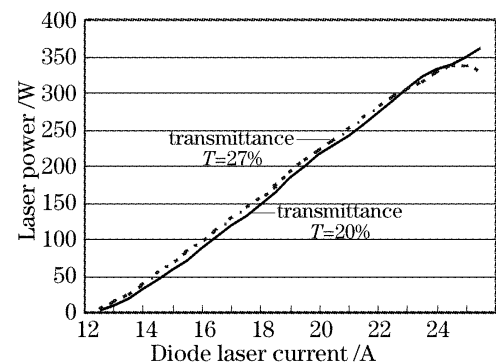


图3 不同透过率的输出激光功率

Fig.3 Output laser power at different transmittance

水温可设定在 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

图 3 给出了输出透过率分别为 20% 和 27% 时的输出激光功率与激光二极管电流的关系,表明透过率 27% 优于透过率 20%。在给定的抽运功率范围内,输出功率与激光二极管电流成线性关系,透过率 27% 时的斜率为 29.2 W/A 。图 4 给出了谐振腔长分别为 591 mm 和 609 mm 时的输出激光功率与激光二极管电流的关系,表明腔长越短,效率越高。图 5 给出了激光二极管注入电功率与激光输出的电-光转换效率与激光二极管电流的关系,在激光二极管电流 25 A 时的电-光转换效率达 14.2%,虽然再增加电流时效率还可以增加,但已趋于最高。经计算,激光二极管与 YAG 激光的光-光转换效率高达 29.6%。

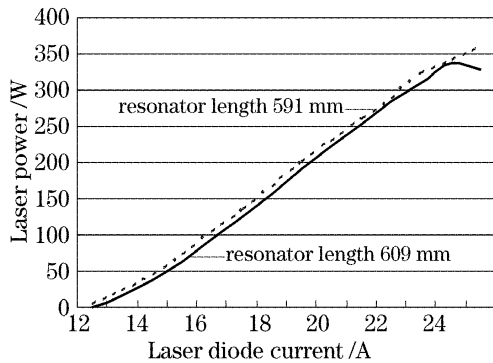


图 4 不同腔长的激光输出功率

Fig. 4 Output laser power at different resonator length

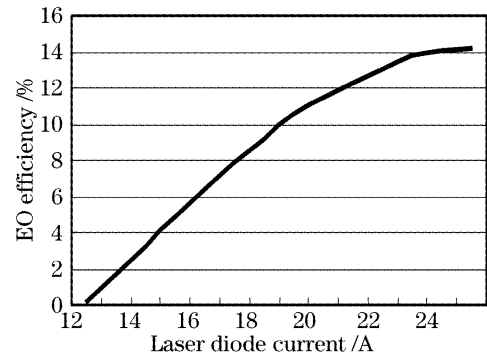


图 5 电-光转换效率与激光二极管电流的关系

Fig. 5 Electric-optical conversion efficiency versus laser diode current

4 结 论

设计并制造了 360 W 激光二极管抽运固体激光器,其电-光转换效率达 14.2%,光-光转换效率达 29.6%,其功率稳定度为 $\pm 1\%$ 。用户使用表明,该激光器转换效率高、使用寿命长,并且结构紧凑、整机性能可靠。

参 考 文 献

- 1 Chen Yihong, Zhao Bin, Zhao Dezheng. Study of high-power all-solid-state laser [J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2001, **12**(12): 1234~1235
陈义红,赵兵,赵德政. 大功率全固化固体激光器的研究[J]. *光电子·激光*, 2001, **12**(12): 1234~1235
- 2 W. Koechner. *Solid-State Laser Engineering* [M]. 3rd edition, Berlin: Springer-Verlag, 1992. 352~362