

文章编号: 0258-7025(2006)-Supplement-0000-00

大功率二极管泵浦固体激光器的研究

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 大功率二极管泵浦固体激光器正逐步取代传统的灯泵浦固体激光器, 已广泛应用于工业领域。该文报道了一种二极管侧面泵浦的固体激光器。采用二级串联振荡方式, 每级用五个二极管泵浦模块沿 Nd:YAG 棒圆周均匀分布, 共有 30 个二极管, 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 360W、功率稳定度 $\pm 1\%$ 的稳定输出。该文对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 固体激光器, 二极管泵浦, 串联振荡, 大功率

中图分类号

文献标识码 A

Study of High-power Diode-pumped Solid-state Laser

Chen Yihong¹, Su Yong²

¹Guangzhou Ante Laser Co Ltd, Guangzhou 510730

²Sintec Optronics Pte Ltd, Singapore 128384

Abstract Diode-pumped solid-state lasers are replacing flashlamp-pumped solid-state lasers and are widely used in industries. A side-pumped Nd:YAG laser is reported in this paper. Output laser power of 360W and stability of $\pm 1\%$ are obtained though the series-oscillation resonator using two diode pump modules. There are totally 30 diode laser bars used in each module and 5 diode laser bars are placed around the Nd:YAG rod. 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.

Key words solid-state 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, 泵浦灯、聚光腔、光学谐振腔、电源及制冷系统组成, 其电光转换效率为 2% 到 3%。由

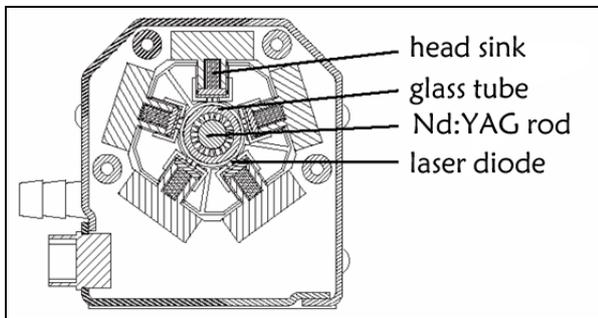
于泵浦灯发射的光谱只有极小部分被晶体棒所吸收并转换成激光能量, 大部分注入电功率转换成热能, 其直接害处一方面表现为大量的热能造成激光晶体不可消除的热透镜效应, 使激光光束质量变差; 另一方面整个激光器需要庞大的制冷系统, 体积很大。泵浦灯的寿命约为 300 到 1000 小时, 操作人员需花很多时间频繁的换灯, 中断系统工作, 使自动化生产线的效率大大降低。有关专家认为, 灯泵浦固体激光器的发展已到尽头, 技术上没有大的发展空间,

二极管泵浦固体激光器将取代灯泵浦固体激光器^[1]。

大功率二极管泵浦固体激光器正逐步取代传统的灯泵浦固体激光器，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。该文就是使用串级振荡的结构，获得 360W 的激光输出。

2 激光器结构

二极管泵浦固体激光器的泵浦方式有两种：端面泵浦和侧面泵浦。在端面泵浦中，由于二极管泵浦光与谐振腔模匹配很好，增益介质对泵浦光的吸收十分充分，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，但端面泵浦的注入功率受到很大限制，因此端面泵浦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泵浦方式，如图一所示。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，在侧面将二极管激光能量直接耦合到激光晶体上。

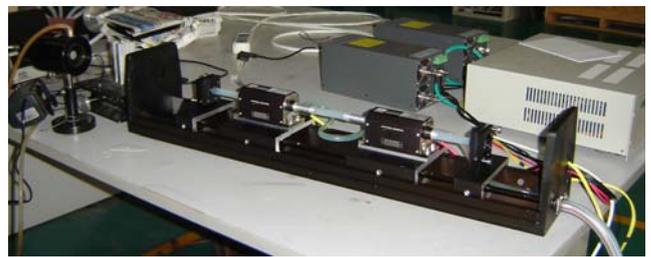


图一 二极管泵浦腔的基本结构
Fig. 1 Structure of Laser Pumping

根据二极管泵浦的固体激光器加工系统需要较大输出功率的特点，采用侧面泵浦的技术方案，一组五个激光二极管沿 Nd:YAG 棒圆周均匀分布，共有六组 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 6.35mm，长度 116mm，两端面为平行平面，镀有

1.06 μm 增透膜。Nd 掺杂浓度为 0.8%。

Nd:YAG 棒对 808nm 的泵浦光的吸收系数为 0.4/mm，泵浦光通过直径为 6.35mm 的 Nd:YAG 棒，约有 90% 的泵浦光被棒吸收，其余 10% 从棒的另一侧透射出来。为了提高二极管泵浦激光器的总体效率，在 Nd:YAG 棒周围安置了一个镀有 808nm 高反膜的反射腔体，把棒内透射出来的泵浦光反射回棒内，经多次反射后，大部分的泵浦光被 Nd:YAG 棒所吸收。在泵浦模块和 Nd:YAG 棒之间有冷却玻璃管和反射腔体，二极管泵浦光通过反射腔体上窗口照射到 Nd:YAG 棒上。为了获得大功率，采用二级串联振荡。图二是激光器的内部结构照片。



图二 激光器内部结构照片
Fig. 2 Photo 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 50A，二极管偏置电压可达 200VDC。在该激光器中，电流设计为 40A，二极管偏置电压 60VDC，是为连续输出 150W 激光功率的激光器提供驱动和控制的专用系统。

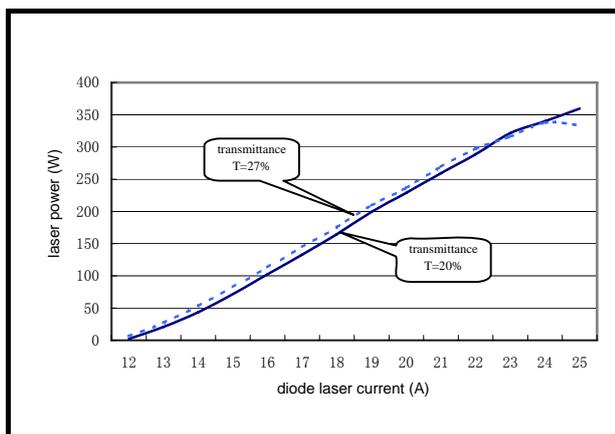
冷却系统由压缩机、膨胀阀、冷凝器、热交换器、水泵、水箱、流量开关、水流计等组成。根据激光器的冷却要求选择水流量并设定水温。一般情况下，激光二极管的冷却水温设定在 25°C 左右。最大制冷量要求应为注入到激光二极管的电功率减去激光功率再加上水泵的发热量。

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^[2]。根据有关文献，我们可以设定 $f_0=300\text{mm}$ ，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

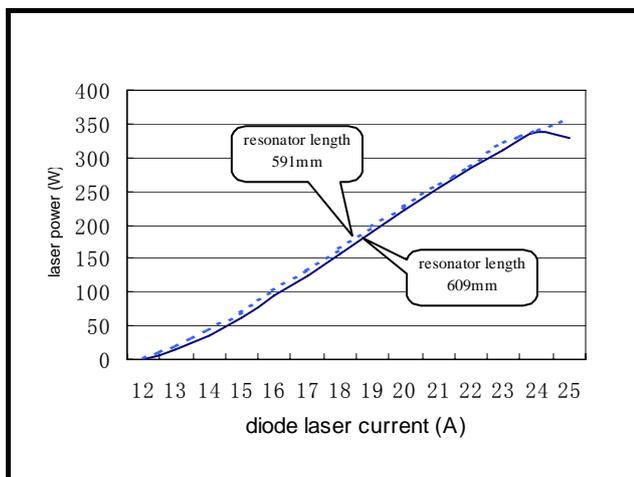
在我们的激光器中，激光器的谐振腔长为 590mm 到 620mm，使用平平谐振腔，输出透过率为 20% 到 30%，泵浦光功率最大可达 1500W，制冷机水温可设定在 20 度到 30 度。

图三给出了输出透过率分别为 20% 和 27% 时的输出激光功率与二极管激光电流的关系，表明透过率 27% 优于透过率 20%。在给定的泵浦功率范围内，输出功率与二极管电流成线性关系，透过率 27% 时的斜率为 29.2W/A。图四给出了谐振腔长分别为 591mm 和 609mm 时的输出激光功率与二极管激光电流的关系，表明腔长越短，效率越高。图五给出了二极管注入电功率与激光输出的电光转换效率与二极管激光电流的关系，在二极管激光电流 25A 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，二极管激光与 YAG 激光的光光转换效率高达 29.6%。



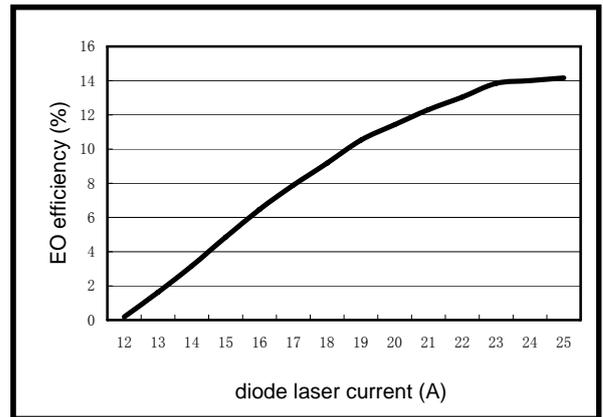
图三 不同透过率的输出激光功率

Fig. 3 laser power at different transmittance



图四 不同腔长的输出激光功率

Fig. 4 laser power at different resonator length



图五 激光电光转换效率与二极管激光电流的关系

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

4 结束语

设计并制造了 300W 二极管泵浦固体激光器，其电光转换效率达 14.2%，光光转换效率达 29.6%，其功率稳定度优于 $\pm 1\%$ 。用户使用表明，该激光器转换效率高、使用寿命长、结构紧凑、整机性能可靠。

参考文献

- 1 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