

## LD 泵浦

## Nd:YAG 热效应研究

张弛 李文博

北京交通大学理学院 100044

## 摘要

对二极管端面泵浦的 Nd:YAG 晶体进行了热焦距分析。由热焦距公式计算热透镜焦距随泵浦功率变化的曲线,并且提出了双侧泵浦补偿热透镜焦距的方法,进行了推导计算。

## 关键词

LD 泵浦;Nd:YAG;热透镜效应

## Abstract

The thermal focal length of laser diode end-pumped Nd:YAG crystal are studied. We calculate the curve of the thermal focal length change by the change of the pump power. Also we bring out a method to compensate the thermal focal length for a double end-pumped crystal and calculation it.

## Key words

LD pumped;Nd:YAG;thermal focal effect

与传统灯泵浦的激光器相比,全固态的激光器具有功率高,小型化,控制准确,应用广泛等优点。其中利用激光二极管(LD)泵浦的激光器成为近些年来研究热点。但是,在激光器运转的同时,由于有相当一部分泵浦光的能量在晶体内部转换成热能,导致晶体内部的温度分布不均匀,应力发生变化,由于温度和应力的改变使折射率发生改变,产生热效应。其中,热透镜效应是激光运转中产生影响最大的。由于LD泵浦的出现,大功率泵浦在激光实验中越来越常见,因此晶体的热效应在大功率激光器中已经成为首先要考虑的因素之一<sup>[1,2]</sup>。

1、LD 端面泵浦 Nd<sup>3+</sup> 激光晶体的热效应

在激光的能量转换中,一部分受激辐射产生了激光,一部分通过自发辐射将能量传递到了周围的原子中,这样就

产生了晶体的热累积。晶体中热量的累积是与激光转换效率密不可分的。

## 1.1 激光晶体的热焦距计算

当振荡光基模光斑半径和抽运光光斑半径达到最佳匹配时,输出功率较大。对于直腔运转的激光器来说,热焦距  $f$  等于腔长时,系统处于稳态,若  $f$  再减小一点,系统将处于非稳态,理论上可以以此来测量晶体热透镜焦距的大小。而事实上当  $f$  大小接近腔长时,振荡光基模光斑半径较大,从而使损耗大为增大,输出功率急剧下降,以致不出光。如果利用此原理测量热焦距,测量值比实际值小。

表征激光介质热透镜效应的主要参数为热透镜焦距  $f$ , 根据 Innocenzi<sup>[3]</sup> 提出的 LD 抽运固体激光器热焦距的公式

$$f_t = \frac{\pi K_c \omega_p^2}{P_m \eta_a \eta_b \eta_c (dN/dT) [1 - \exp(-\alpha_p l)]} \quad (1)$$

式中,  $K_c$  为激光介质的热传导率,  $dN/dT$  为折射率随温度变化率即热光系数,  $\eta_a$  为吸收的能量转化为热量的转化系数,  $\eta_b$  为介质对抽运光的吸收系数,  $\eta_c$  为激光介质吸收系数,  $\omega_p$  为抽运光斑在激光介质中的半径,  $l$  为激光晶体长度。

对于作为激光振荡介质的 Nd:YAG 晶体来说,用波长为 808nm 的半导体激光泵浦,  $K_c = 0.13 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $dN/dT = 8.3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ,  $\eta_a \cdot \eta_b \cdot \eta_c$  在 37%-43% 之间,在计算中我们取中间值 40%,  $\alpha_p = 3.2 \text{ cm}^{-1}$ ,  $l = 8 \text{ mm}$ , 对于高功率泵浦的激光器,  $\omega_p = 100 \mu \text{m}$ 。由以上参数可以求得在各个泵浦功率下的热透镜焦距,如图 1 所示。

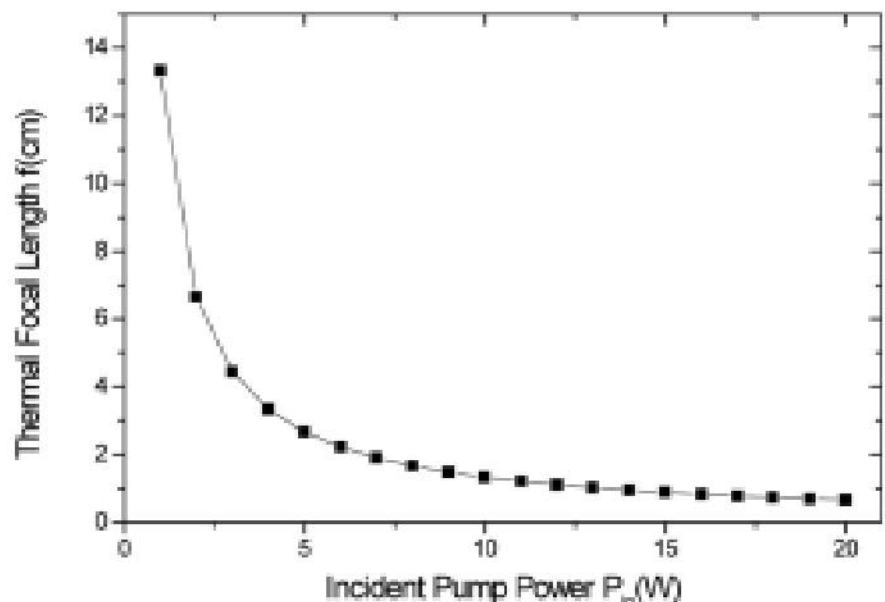


图1 Nd:YAG热焦距随泵浦功率变化

### 1.2热透镜效应补偿方法

由图1可以看出,在20W泵浦的时候,热透镜焦距在6mm左右,热效应很严重。在传统的补偿方法中,除了采用良好的冷却措施外,还可以采用光学补偿的办法,在腔内插入一个焦距相同的凸透镜,将其焦点与热透镜焦点重合。这种方法对于补偿热透镜效应带来的高阶模式振荡和功率损失是有效的,但是激光腔内插入元件必然会造成激光功率的损失,而且仅在激光介质的热焦距保持恒定的情况下才有良好的补偿效果,因此缺陷也是很明显的。

在大功率激光器工作的情况下,我们可以有一种更加完善的解决方法。由于Nd:YAG常用作大功率泵浦的情况,因此激光棒常常会比一般的激光增益介质长。在端泵的情况下,我们可以采用双端泵浦的模式,虽然在实验的实现中双端泵浦激光的泵浦光很难调准,但是在泵浦光对准的情况下它的效率比单面泵浦要高出很多<sup>[4]</sup>。

由此,我们可以进行对双端泵浦的理论计算。首先,假设所进行的双端泵浦实验的激光增益介质Nd:YAG为单棒,泵浦光分别从两端向棒内入射,由于进行双向泵浦,Nd:YAG的长度假设为20mm,计算热透镜焦距的公式仍然为(1)式,Nd:YAG的其他参数与第一次计算的参数一致,由此可以得出双侧泵浦一侧的热透镜焦距如图2所示。

由计算结果可以看出,当泵浦功率增大时,晶体一侧的热透镜焦距是呈递减趋势的,如果单从一侧的数据观察,热透镜效应并没有因此而减弱,而如果从两侧泵浦的数据来综合考虑,情况就大有不同。

根据激光腔稳定的矩阵理论,在腔中晶体的热透镜效应越小,激光在腔内越容易达到稳定状态<sup>[5]</sup>。在双侧泵浦的晶体中,我们可以看出当泵浦功率增大的同时,两侧热透镜的焦点逐渐重合,当两个热透镜的焦点均为10mm时,两侧热透镜的焦点重合,热透镜效应抵消,整个晶体的热透镜焦距等效为0,此时是腔内最理想的情况。由此可见,双侧泵浦激光器在补偿热透镜效应中具有非常大的优势,特别适用于泵浦大功率输出的激光器。

### 2、结论

由公认成熟的热透镜效应方程推导了Nd:YAG晶体的热透镜效应,计算出了在大功率密度下Nd:YAG晶体的热透镜焦距,首次提出了用双侧泵浦的方法补偿热透镜焦距的理论,进行了推导计算,并且由他人的实验间接验证了此理论的正确性<sup>[4]</sup>。由于在分析及推导过程中,抽运光束被假设为高斯光束,而且通过激光介质两个端面的散热被忽略,因此不免产生一些误差。

### 参考文献

- [1]ChenYF.OptimizationinScalingFiber-coupledLaser-diodeEnd-pumpedLasers to HigherPower: InfluenceofThermalEffects[J]. IEEE QE.1997, 33(8): 1424-1429
- [2]AgnesiA.DesignandCharacterizationofa Diode-pumped,SingleLongitudinaland TransverseMode, Intracavity-doubledCMNd: YAGLaser[J].ApplOptics.1997,36(3): 597-601
- [3]InnocenziME,YuraHTandFincherCL 1990ApplPhys.Lett561831
- [4]姚爱云 侯玮 李惠清等. High power red laser at 671nm by intracavity frequency doubling of aNd:YVO4 laser[J]. 中国物理: 英文版.2005, 14(7), 1433 - 1438
- [5]王海林,周卓尤,曹红兵等.双棒串接Nd:YAG激光器的稳定特性研究[J].光电子.激光.2003,2(14),149-152

### 作者简介

张弛,男,硕士。主要研究方向:二极管泵浦激光器及脉冲激光器的制造。

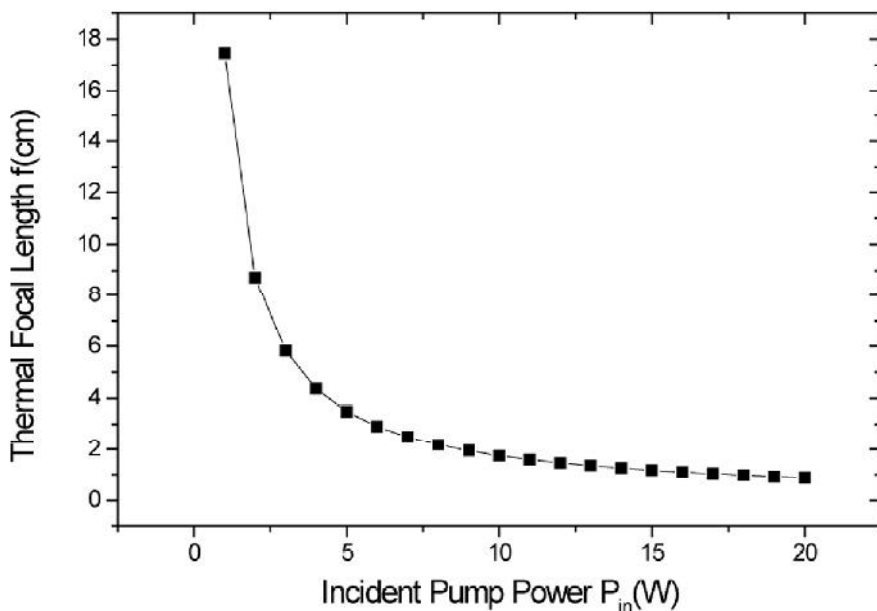


图2 双侧泵浦Nd:YAG单面热透镜焦距