

文章编号: 0258-7025(2009)01-0059-07

端面抽运固体激光器中抽运端面的直接散热

李兵斌 过 振 宋小鹿 蔡德芳 文建国 王石语

(西安电子科技大学技术物理学院, 陕西 西安 710071)

摘要 提出了一种用于激光二极管端面抽运固体激光器(DPSSL)中晶体端面直接散热的新方案——在传统的侧壁散热基础上采用金刚石薄片对晶体的抽运面进行散热。使用有限元方法(FEM)分析了该方案的散热效果,并与传统侧壁散热方案的散热效果作了比较,结果表明,使用晶体端面直接散热方案可以将集中于晶体端面的热量更为有效地抽出,大幅度降低晶体抽运端面内的温差,晶体温度最高点出现在晶体内部,降低了晶体抽运端面热损伤概率,显著减弱了晶体热效应;在相同注入功率条件下实验测量了两种散热方式下的输出功率,结果表明,晶体端面直接散热方案可以有效抑制晶体热效应对输出功率的不良影响,该方案特别适用于解决大功率端面抽运固体激光器的散热问题。

关键词 激光器;端面抽运固体激光器;散热;有限元方法;热效应

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093601.0059

Direct Heat Dissipation from Pumped End in Laser Diode End-Pumped Solid-State Lasers

Li Bingbin Guo Zhen Song Xiaolu Cai Defang Wen Jianguo Wang Shiyu

(School of Technical Physics, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract A new method of heat dissipation in a laser diode end-pumped solid-state laser is proposed, and the heat is dissipated from the pumped end with a piece of diamond disk clinging to the pumped end and from the side surface of the crystal rod. The finite element method (FEM) is used to analyze the effect of heat dissipation, and a comparison is made of the cooling effect of the new method with that of traditional method dissipating heat through the side surface of crystal rod. The results indicate that the heat concentrated in the pumped end of the crystal rod can be efficiently removed by the new method, which greatly decreases the temperature difference in the pumped end, and that the highest temperature point appears inside the gain medium, which lowers probability of break in the pumped end, and obviously reduces the thermal effects of the crystal rod. With the same power injected into the crystal rod, experiments are done to compare the output power of a laser diode end-pumped solid-state laser with the two different heat dissipation methods. The results show that the method of direct heat dissipation from the pumped end can sufficiently weaken the influence of thermal effect on the power output and this method is particularly suitable for solving the problem of heat dissipation in a high-power end-pumped solid-state laser.

Key words lasers; end-pumped solid-state lasers; heat dissipation; finite element method; thermal effect

1 引言

激光二极管抽运全固态激光器(DPSSL)具有效率高、结构紧凑、寿命长、稳定性好等优点,成为近年来人们研究的热点^[1~3]。虽然 DPSSL 的抽运方式有很多种,端面抽运方式却被证明是最高效的一

种,因为它能够实现抽运光束与谐振腔内振荡光束的模式匹配,若将抽运光束聚焦成略小于振荡激光的光斑,端面抽运还可以限制谐振腔内的模式数目^[4],提高输出光束质量。然而,激光晶体吸收抽运光能量会产生热效应问题^[5],端面抽运方式会在距

收稿日期:2008-04-14;收到修改稿日期:2008-06-11

作者简介:李兵斌(1978—),男,博士研究生,主要从事固体激光器声光调 Q 及热效应的研究。

E-mail:bingbli@xidian.edu.cn

导师简介:过 振(1946—),男,教授,博士生导师,主要从事固体激光器件与激光技术的研究。

E-mail:zhguo@xidian.edu.cn

离晶体抽运端面几毫米的范围内产生极高的热密度,引发强烈的热效应,成为限制激光器输出功率的主要因素^[6],同时,热透镜的波动也是引起光场不稳定的重要原因^[7]。因此,如何在端面抽运方式下减弱晶体热效应是需要着重考虑的问题。

端面抽运方式下热分布具有密度高、范围集中的特点,所以面临的主要困难是解决小范围内高密度热量的传导问题,从抽运端面直接散热是解决这一难题的有效手段。受端面抽运结构所限,很难直接从晶体的抽运端面散热,目前常见的一种解决方法是使用复合晶体,即在 Nd:YAG 晶体棒的抽运端键合一层等直径的无掺杂 YAG 晶体,由于复合晶体中抽运光的吸收起始于晶体内部,因此有效地减弱了端面形变效应,但是散热效果的提高甚微^[4]。

本文提出了一种全新的晶体端面直接散热方案,使用有限元分析软件 ANSYS 对其散热效果进行了分析,与传统的侧壁冷却方式下普通晶体和复合晶体的散热效果相比较,证明了该方案能够解决端面抽运固体激光器中晶体的端面散热难题,并设计实验进行了验证。

2 晶体端面直接散热方案

传统的晶体侧壁散热方式热沉如图 1 所示。热能由晶体中心向侧壁传导,再经过金属热沉耗散至外界环境,受材料热传导系数所限,在晶体端面附近将会驻留大量废热,引发强烈的热效应,降低 DPSSL 的输出光束质量和稳定性,更为严重的后果是烧毁端面膜层,甚至引起端面炸裂。以尺寸为 $\phi 3 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 的 Nd:YAG 晶体棒为例,当 Nd^{3+} 掺杂原子数分数为 1.0% 时,晶体的吸收长度约为 2 mm,此时,热源主要集中在晶体端面处 2 mm 范围内,在此范围内热量尤为集中,考虑到金属热沉和晶

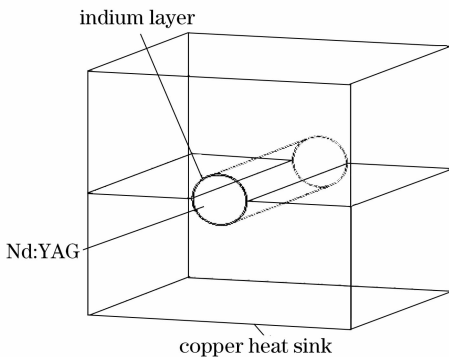


图 1 传统晶体热沉结构示意图

Fig. 1 Draft of the traditional heat sink structure

体均存在一定的热阻,显然该种散热方式的效率很低,难以有效散热。因此重新考虑晶体散热方案,最大程度地提高晶体抽运端面的散热能力,是减弱热效应的最佳选择。

针对端面抽运方式下热源密度高、分布集中的特点,提出了一种抽运端面直接散热的新方案:在传统的晶体棒侧壁散热结构的基础上,使用一种对抽运光透明的高导热率材料紧贴晶体热端,将集中于晶体端面附近的高密度热量通过该材料直接传导出去,结构如图 2 所示。选用金刚石材料作为高导热率材料,金刚石材料对于 808 nm 的抽运光有较高的透射率,且热导率为 $1900 \sim 2200 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,约为无氧铜的五倍。图 3 为 Element Six 公司生产的厚度 1 mm 的未镀膜金刚石薄片 (Diafilm OP) 的透射率与波长的关系,从图中可以看出 808 nm 附近的透射率大于 70%。

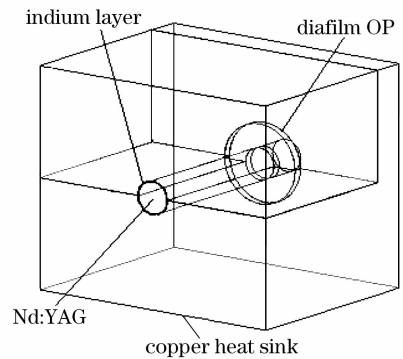


图 2 端面直接散热结构示意图

Fig. 2 Draft of the direct end heat dissipation structure

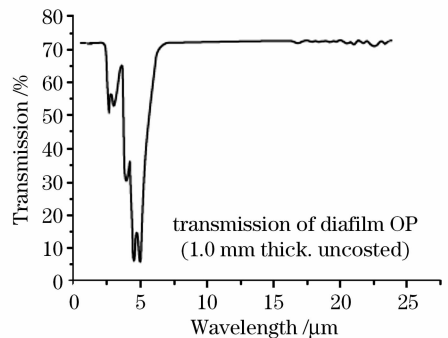


图 3 金刚石薄片的透射率随波长关系

Fig. 3 Variation of transmission of diafilm OP versus the wavelength

3 物理模型的描述

3.1 模型建立

使用有限元分析软件 ANSYS 建立计算模型。

激光介质选用 Nd:YAG 晶体, 尺寸为 $\phi 2 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$, Nd³⁺ 掺杂原子数分数为 1.0%, 吸收系数为 5 cm^{-1} , 金刚石薄片尺寸为 $\phi 5 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$, 它们的部分热力学物性参数如表 1 所示。

表 1 Nd:YAG 与金刚石薄片的部分热力学物性参数

Table 1 Some thermodynamic material parameters of Nd:YAG and diafilm OP

Parameters	Nd:YAG	Diafilm OP
Density / (kg/m ³)	4560	3214
Specific heat capacity / (J/(kg · K))	590@300 K	670
Heat conductivity / (W/(m · K))	14@300 K	1900@300 K
Temperature dependence of refractive index / K ⁻¹	7.3×10^{-6}	9.6×10^{-6}
Poisson ration	0.24	0.16
Young's modulus / GPa	280	455

在抽运光分布、边界均具有轴对称结构的条件下, 选取 Nd:YAG 晶体棒与金刚石薄片的 1/4 建立的计算模型, 可以有效地减少运算量, 如图 4 所示。

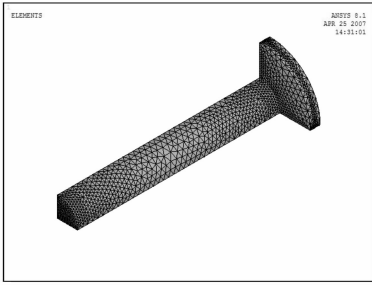


图 4 有限元分析模型

Fig. 4 Finite element analysis model

3.2 热传导方程

对于连续输出激光器, 不考虑温度场的瞬态变化, 同时忽略温度对于热导率的影响, 则三维稳态热传导方程可以表示为^[6]

$$\nabla^2 T(x, y, z) + \frac{q(x, y, z)}{k} = 0, \quad (1)$$

式中 $T(x, y, z)$ 表示空间坐标 (x, y, z) 点的温度, k 为热导率, $q(x, y, z)$ 为空间坐标 (x, y, z) 处的热源密度函数。

3.3 边界条件

设定 Nd:YAG 晶体与金刚石薄片的初始温度以及环境温度均为 20 °C, Nd:YAG 晶体和金刚石薄片通过边界向金属热沉和周围空气对流散热, 属于第三类边界, 可以表示为^[8]

$$k \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_s = h(T_c - T|_s), \quad (2)$$

式中 T 为温度, S 为散热边界, n 代表法线方向, h 为热对流系数, T_c 为环境温度。

为了简化计算, 忽略热沉上的温差, 晶体侧面和金刚石薄片与热沉相接触的部分选取相同的热对流系数, 取为 $5000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 晶体后端面及金刚石的通光面与周围空气的热对流系数均取为

$27.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

3.4 热源函数

该模型的热源包括两部分: 其一, 由于金刚石薄片的透过率小于 1, 金刚石薄片内部存在吸收生热; 其二, 注入 Nd:YAG 晶体的抽运能量由于量子差损、杂质吸收等产生热量。假定抽运光功率为 P_0 , 忽略金刚石材料表面的反射损耗, 则通过金刚石薄片抽运 Nd:YAG 晶体的功率 P 可以表示为

$$P = P_0 \exp(-\alpha' l'), \quad (3)$$

式中 α' 为金刚石薄片的吸收系数, l' 为金刚石薄片通光方向长度。因此, 金刚石吸收生热的功率为 $P_0 [1 - \exp(-\alpha' l')]$ 。

由图 2 可知, 无镀膜 1 mm 厚的金刚石薄片对于中心波长为 808 nm 的抽运光透射率约为 72%, 忽略金刚石表面的反射损耗, 根据 (3) 式可以求出其吸收系数为 3.285 cm^{-1} 。

考虑到抽运光空间分布不均匀, 增益介质内部的归一化抽运光分布函数可以表示为^[9]

$$g_c(x, y, z) = K_c \exp \left[-2 \left(\frac{x^2 + y^2}{\bar{w}_p^2} \right) - \alpha z \right], \quad (4)$$

式中 $K_c = 2\alpha / \{ \pi \bar{w}_p^2 [1 - \exp(-\alpha l)] \}$, \bar{w}_p 为增益介质内部抽运光束半径的平均值, α 为增益介质对抽运光的吸收系数, l 为增益介质沿抽运方向的长度。

由于在各向同性增益介质中, 热源大小与归一化抽运光分布函数成正比^[7], 因此, 金刚石薄片内部与介质内部的热源函数可以分别表示为

$$g_1(x, y, z) = P_0 [1 - \exp(-\alpha' l')] g'_c(x, y, z), \quad 0 \leq z \leq l' \quad (5)$$

$$g_2(x, y, z) = \eta_H P_0 \exp(-\alpha' l') [1 - \exp(-\alpha l)] \times g_c(x, y, z), \quad l' \leq z \leq l + l' \quad (6)$$

式中 $g'_c(x, y, z)$ 为金刚石内部的抽运光分布函数, 形式同 (4) 式, 只需用 l' 代替 l , 用金刚石薄片内抽运光的平均值 \bar{w}_p' 代替 \bar{w}_p 即可, η_H 为增益介质的生热效率, 在激光发射条件下, 生热效率可取为 0.32^[5]。

4 计算结果与分析

4.1 温度分布

设定抽运功率为 20 W, 金刚石薄片抽运光平均半径为 0.8 mm, Nd:YAG 晶体中抽运光平均半径为 1 mm。有限元计算结果如图 5 所示。

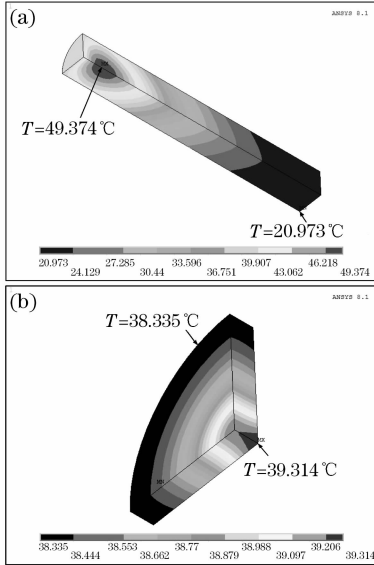


图 5 使用端面直接散热方案的稳态温度分布图

Fig. 5 Stable-state temperature distribution using direct heat dissipation from the pumped end

(a) Nd:YAG; (b) diafilm OP

为了证明抽运端面直接散热方式的优越性, 在相同条件下分别计算得到使用传统热沉侧壁散热方式的普通晶体温度分布和复合晶体温度分布, 如图 6 所示, 其中, 复合晶体中无掺杂 YAG 尺寸 $\phi 2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$, 吸收系数取为 0.5 cm^{-1} 。

比较图 5(a), 图 6(a) 和图 6(b) 可知, 传统侧壁散热方式下, Nd:YAG 晶体棒中最高温度为 $89.81 \text{ }^\circ\text{C}$, 出现在抽运端面中心位置, Nd:YAG/YAG 复合晶体棒中最高温度为 $60.589 \text{ }^\circ\text{C}$, 出现在掺杂介质内距离键合面约 0.9 mm 处, 同等条件下, 采用晶体端面直接散热方案后, 晶体最高温度降为 $49.374 \text{ }^\circ\text{C}$, 最高温度点出现在晶体内部距离抽运端约 1.1 mm 处。为了便于比较, 绘制了抽运端面内的径向温度分布图和晶体中心轴向上的温度分布图, 如图 7, 8 所示。

可见, 采用端面直接冷却方案后, 明显降低了抽运端面附近的热沉积, 抽运端面内温度分布基本保持在 $38 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 晶体中心纵向温度分布也明显降低, 效果优于复合晶体。

4.2 端面形变

在稳态热分析的基础上, 选用间接方法分别求

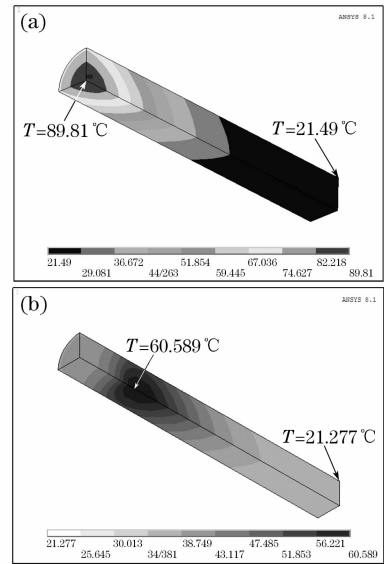


图 6 使用传统热沉结构的晶体稳态温度分布图

Fig. 6 Stable-state temperature distribution of crystal rod with edge-cooling. (a) Nd:YAG; (b) Nd:YAG/YAG

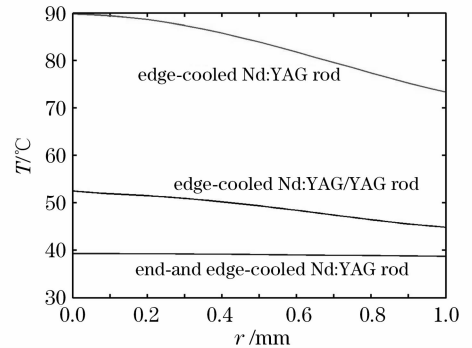


图 7 抽运端面内的径向温度分布

Fig. 7 Variation of temperature in the end surface versus r

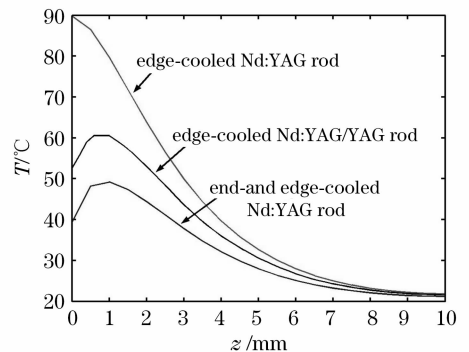


图 8 晶体中心轴向温度分布

Fig. 8 Variation of temperature on the rod axis versus z
解 Nd:YAG 晶体棒在侧壁散热和端面-侧壁散热方式下的热-应力耦合问题。根据文献[10]可知, 激光晶体的端面热形变可以分为端面伸长形变和鼓出形变, 其中端面伸长形变对于光程差(OPD)没有贡

献。使用 ANSYS 强大的后处理功能,可求得端面直接散热方式和传统侧壁散热方式下晶体的端面伸长形变分别为 $1.6505\ \mu\text{m}$ 和 $4.6571\ \mu\text{m}$,晶体棒中心处端面鼓出形变分别为 $0.0096\ \mu\text{m}$ 和 $0.0679\ \mu\text{m}$,端面鼓出形变的径向分布如图 9 所示。可见,端面直接散热方式可以显著降低晶体端面形变,特别是鼓出形变,降幅达到 85.9% ,从而有效降低了晶体端面膜层损坏的概率,更适用于大功率抽运情况。

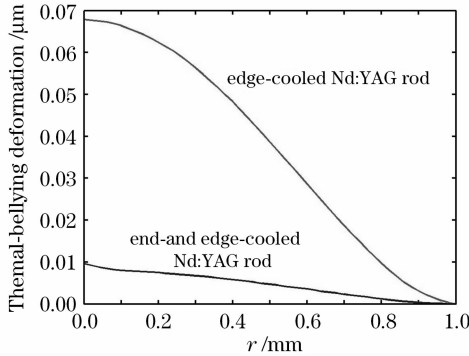


图 9 端面鼓出形变

Fig. 9 Thermal-bellying deformation of end surfaces

4.3 热透镜焦距

为了便于分析,可将热透镜等效为理想的薄透镜,其焦距为

$$f_{\text{th}} = \frac{r^2}{2\Delta\text{OPD}}, \quad (7)$$

式中 ΔOPD 为晶体棒中心与边缘沿轴向的光程差。忽略热应力双折射效应的贡献,OPD 可以表示为

$$\Delta\text{OPD} = \int_0^l \frac{dn}{dT} \Delta T dz + n_0 \Delta u, \quad (8)$$

式中等式右边第一项和第二项分别表示折射率梯度和端面形变对于光程差的贡献,其中, dn/dT 为折射率对温度的变化率, ΔT 为 z 处晶体棒中心温度与边缘温度之差, n_0 为室温下晶体的折射率, Δu 为晶体棒中心与边缘的端面形变之差。

通过简单计算可以得到 ΔT 沿轴向的变化曲线,如图 10 所示。从图 10 可以看出,端面散热方式可以有效地降低晶体棒中心与边缘的径向温差,最大温差值从 $16.2\ ^\circ\text{C}$ 降为 $7\ ^\circ\text{C}$,最大温差位置从抽运端面中心沿着晶体棒中心轴线向晶体内部移动约 $1\ \text{mm}$ 。通过(8)式可以计算出端面直接散热方式和传统散热方式下由于折射率梯度引起的晶体棒中心与边缘沿轴向的 OPD 分别为 $0.175\ \mu\text{m}$ 和 $0.341\ \mu\text{m}$,由于端面形变引起的光程差分别为 $0.0176\ \mu\text{m}$ 和 $0.1242\ \mu\text{m}$,代入(7)式可以求出热透镜焦距分别为 $2.596\ \text{m}$ 和 $1.075\ \text{m}$,端面形变对于热

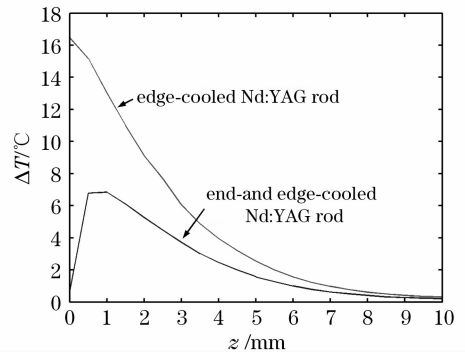


图 10 晶体棒中心与边缘温差 (ΔT) 沿轴向的分布曲线

Fig. 10 Variation of ΔT with z

透镜的贡献分别占 10.1% 和 36.4% 。计算结果表明,端面直接散热方式下热透镜焦距增大了一倍多,证明使用该方案可以降低端面形变对于热透镜的贡献,有效削弱热透镜效应,从而为端面抽运固体激光器的优化设计提供了参考。

5 实验装置与结果

实验装置如图 11 所示。其中,抽运源为凌云 20 W 光纤耦合激光器;激光晶体选用华北光电技术研究所生产的 $\phi 2\ \text{mm} \times 10\ \text{mm}$ Nd:YAG 晶体棒,Nd³⁺ 的掺杂原子数分数为 0.3% ,晶体抽运端面镀有 HR@1064 nm, AR@808 nm 双层膜,作为谐振腔全反镜,另一端镀有 AR@1064 nm 膜,用来降低腔内损耗;散热金刚石薄片采用 Element Six 公司生产的厚度 $1\ \text{mm}$ 的未镀膜金刚石薄片。通过机械结构将金刚石薄片紧压到 Nd:YAG 晶体抽运端面上,并且保证金刚石薄片中心 $1.1\ \text{mm}$ 范围以外的区域与热沉紧密接触,抽运光经过耦合透镜汇聚后透过金刚石薄片注入 Nd:YAG 晶体,产生粒子数反转。Nd:YAG 晶体棒产生的热量的散热途径有两个:其一,热量通过与晶体侧面紧密包裹的铜皮传导至金属热沉中,其二,热量由晶体抽运端面传导至与抽运端面紧密接触的金刚石薄片,再通过金刚石薄片周围与热沉紧密接触的区域传导至金属热沉中。金属热沉中的热量最终通过半导体致冷器(TEC)或

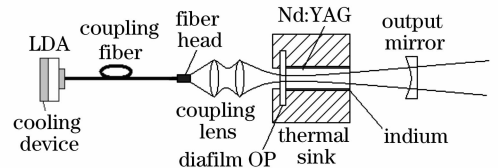


图 11 采用晶体端面直接散热的 DPSSL 示意图

Fig. 11 Schematic diagram of DPSSL with direct heat dissipation from the pumped end

水冷方式释放到环境中。

采用 20 W 光纤耦合激光器为入射光源(中心波长 808 nm),测试了金刚石薄片的功率透射曲线,如图 12 所示。由图 11 结果计算出 Diafilm OP 对于中心波长为 808 nm 的抽运光的平均透射率为 71.8%。

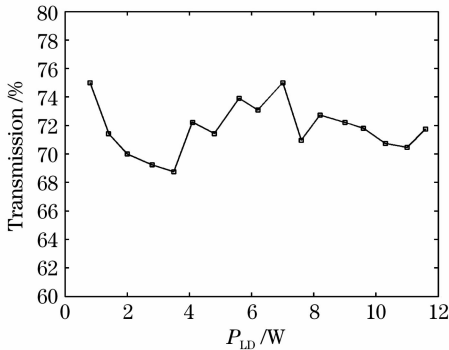


图 12 金刚石薄片的功率透射曲线

Fig. 12 Power transmission curve of diafilm OP versus input LD power P_{LD}

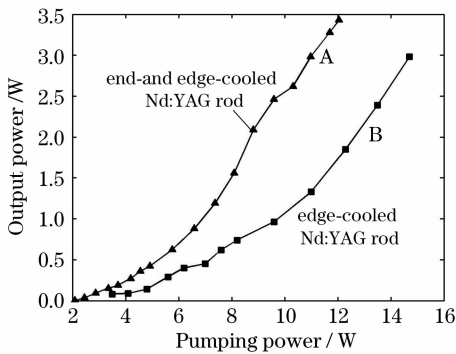


图 13 两种散热方案的输出功率随抽运功率的变化曲线

Fig. 13 Curves of power output versus pumping power with two different cooling schemes

本文在相同实验条件下获得了两种散热方案的实验结果,其一,金刚石薄片-晶体端面及热沉-晶体侧壁散热方案,金刚石薄片直接接触晶体端面,而金刚石薄片及晶体侧面均接触金属热沉,金属热沉通过水循环散热,抽运功率与输出功率的实验测量曲线如图 13 曲线 A 所示,此结果中已经刨除了金刚石薄片对于抽运光的反射和吸收的影响;其二,热沉-晶体侧壁散热方案,晶体侧面接触金属热沉,金属热沉通过水循环散热,晶体热沉体积和水循环条件同方案一,抽运功率与输出功率的实验测量曲线如图 13 曲线 B 所示。

图 13 实验结果表明,在相同抽运功率、相同晶体、相同体积的热沉、相同热沉水循环散热条件下,

金刚石薄片-晶体端面及热沉-晶体侧壁散热方案的输出功率大于热沉-晶体侧壁散热方案,且随着抽运功率的增大,前者优越性变得更加明显。可以认为,由于使用了金刚石薄片端面散热,能够及时有效地将集中于晶体端面附近的高密度热量耗散至环境,有效抑制包括端面形变效应在内的晶体热效应对于输出功率的影响,且随着抽运功率的增大,效果更加明显。因此,端面直接散热方式特别适用于大功率端面抽运固体激光器。

6 结 论

提出了一种新的晶体端面直接散热方案,即在传统的晶体侧壁散热基础上,采用金刚石薄片对晶体的抽运面进行散热,使用有限元分析软件 ANSYS 建立了分析模型,计算了端面抽运功率为 20 W 时晶体内部的温度分布。同时,为了评价端面直接散热方案的效果,计算了同等条件下传统晶体热沉散热方式下晶体的温度分布,并计算了两种散热条件下的端面形变和热透镜焦距。结果表明:

1) 端面直接散热方案可以明显降低抽运端面附近的热沉积,抽运端面内温度分布基本保持在 38 °C 左右,最高温差点出现在晶体内部,有效减小端面伸长形变和鼓出形变,降低晶体抽运端面炸裂或膜层损伤的概率,更适用于大功率抽运情况。

2) 端面直接散热方式下热透镜焦距几乎增大两倍多,从而证明使用该方案可以有效地削弱热透镜效应,从而为端面抽运固体激光器的优化设计提供有益参考。

实验研究表明,端面直接散热方案能够有效抑制包括端面形变效应在内的晶体热效应对于输出功率的不利影响,且随着抽运功率的增大,效果更加明显。因此,端面直接散热方式特别适用于大功率端面抽运固体激光器。

参 考 文 献

- Cheng Xiaojin, Niu Jinfu, Xu Jianqiu. Thermal effect in partially laser-diode-pumped slab lasers [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(6):854~858
程小劲,牛金富,徐剑秋. 部分抽运的板条激光器的热效应分析 [J]. *光学学报*, 2006, **26**(6):854~858
- Zhang Shuaiyi, Huang Chunxia, Yu Guolei *et al.*. Thermal effect of laser crystal by laser diode end-pumped [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(3):333~337
张帅一,黄春霞,于果蕾等. 激光二极管端面抽运激光晶体的热效应 [J]. *中国激光*, 2008, **35**(3):333~337
- Tao Li, Zhuang Zhuo, Xiaomin Li *et al.*. Study on optical characteristics of Nd:YVO₄/YVO₄ composite crystal laser [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(3):175~177

4 M. P. MacDonald, Th. Graf, J. E. Balmer *et al.*. Reducing thermal lensing in diode-pumped laser rods [J]. *Opt. Commun.*, 2000, **178**(4-6):383~393

5 T. Y. Fan. Heat generation in Nd:YAG and Nb:YAG [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1993, **29**(6):1457~1459

6 R. Weber, B. Neuenschwander, H. P. Weber. Thermal effects in solid-state laser materials [J]. *Opt. Materials*, 1999, **11**(2-3):245~254

7 Wang Shiyu, Guo Zhen, Fu Junmei *et al.*. Heat induced undulation in the distribution of diode-pumped solid-state laser [J]. *Acta Physica Sinica*, 2003, **52**(2):355~361
王石语, 过 振, 傅君眉 等. 激光二极管抽运固体激光器场分布的热不稳定性研究[J]. *物理学报*, 2003, **52**(2):355~361

8 R. Weber, B. Neuenschwander, M. Mac Donald *et al.*. Cooling schemes for longitudinally diode laser-pumped Nd:YAG rods [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1998, **34**(6):1046~1053

9 Paolo Laporta, Merello Brussard. Design criteria for mode size optimization in diode pumped solid-state lasers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1991, **27**(10):2319~2326

10 Zhang Xiaolong, Shen Jinhua, Cai Defang *et al.*. Study of temperature distribution and deformation of the end-face in end-pumped DPL [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(2):197~200
张小龙, 沈金华, 蔡德芳 等. 端面抽运激光晶体热形变及温度场分布研究[J]. *光子学报*, 2007, **36**(2):197~200



《中国激光》“全固态激光技术”专题征稿启事

全固态激光技术是目前我国在国际上为数不多的从材料源头到激光系统集成拥有整体优势的高技术领域之一,随着全固态激光器件与材料研究的迅速发展,对激光先进制造技术、激光显示技术和激光医疗等领域的发展产生了巨大的推动作用,已取得大量研究成果。《中国激光》计划于2009年6月正刊上推出“全固态激光技术”专题栏目,现特向国内外广大读者以及作者征集“全固态激光技术”方面原创性的研究论文和综述,旨在集中反映该方面最新的研究成果及研究进展。

征稿范围包括:

- 激光二极管抽运固体激光器
- 光纤激光器
- 半导体激光器及相关技术
- 晶体材料及相关技术
- 光学薄膜技术
- 其他

截稿日期:2009年3月31日

投稿方式以及格式:通过网上投稿系统(<http://www.opticsjournal.net/zgjg.htm>)直接上传稿件(主题标明“全固态激光技术”投稿),也可直接将稿件电子版发至邮箱:zhgjg@mail.shcnc.ac.cn(主题标明“全固态激光技术”投稿),详情请参见中国光学期刊网:www.opticsjournal.net。本专题投稿文体不限,中英文皆可,其电子版请使用MS-word格式,有任何问题请发邮件至zhgjg@mail.shcnc.ac.cn询问。

《中国激光》编辑部