

文章编号: 0258-7025(2010)04-0917-06

# 激光二极管端面抽运 YAG-Nd:YAG 复合 晶体棒温度场特性

李 隆<sup>1,2</sup> 聂建萍<sup>1\*</sup> 史 彭<sup>1</sup> 冯小娟<sup>1</sup> 许启明<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 西安建筑科技大学理学院, 陕西 西安 710055  
<sup>2</sup> 西安建筑科技大学材料科学与工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘要** 为解决激光二极管(LD)端面抽运激光介质产生的热效应问题,建立了端面绝热、周边恒温、界面热流连续的YAG-Nd:YAG复合晶体棒热分析模型。利用特征函数法和常数变易法得到了超高斯光束端面抽运YAG-Nd:YAG复合晶体棒温度场的一般解析表达式。同时定量分析了超高斯抽运光光斑尺寸,光束阶次,YAG晶体长度对YAG-Nd:YAG复合晶体棒温度场的影响。研究表明,若LD输出功率为50W,光学耦合器传输效率为82%,4阶超高斯光束端面抽运YAG-Nd:YAG复合晶体棒时,复合晶体棒内最大温升为132.7℃,其中YAG晶体长为1.5mm,Nd:YAG晶体长5mm,钕离子掺杂质量分数为1.0%。研究结果为减小激光晶体热效应、合理设计激光器热稳腔提供了依据。

**关键词** 激光器;YAG-Nd:YAG复合晶体棒;解析分析;热效应;温度场

中图分类号 TN248.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20103704.0917

## Temperature Field Characteristic of YAG-Nd:YAG Composite Crystal Rod End-Pumped by Laser Diode

Li Long<sup>1,2</sup> Nie Jianping<sup>1</sup> Shi Peng<sup>1</sup> Feng Xiaojuan<sup>1</sup> Xu Qiming<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> School of Science, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China  
<sup>2</sup> School of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology,  
Xi'an, Shaanxi 710055, China)

**Abstract** In order to solve thermal effect of laser medium end-pumped by laser diode (LD), a thermal analysis model of YAG-Nd:YAG composite crystal rod with adiabatic end faces, fixed boundary temperature and consecutive heat flow interface was established. A general analytical temperature field expression of YAG-Nd:YAG composite crystal rod end-pumped by super-Gaussian beam was obtained by the methods of eigen-function and constant variation. Meanwhile, some factors, such as the super-Gaussian beam with different spot radius, different orders and the length of YAG crystal, which influenced the temperature distribution of YAG-Nd:YAG composite crystal rod, were quantitatively analyzed. The results showed that when the output power of LD was 50 W, the transmission efficiency of optical focusing coupler was 82%, the maximal temperature rise of the YAG-Nd:YAG composite crystal rod, in which the length of YAG crystal is 1.5 mm, the length of Nd:YAG crystal is 5 mm and the neodymium ion doped concentration in the crystal is 1.0% (mass fraction), end-pumped by the forth super-Gaussian beam was 132.7 °C. The results would provide a theoretical basis for reducing the thermal effect of laser crystal and reasonably designing thermally stabilized cavity of solid-state laser.

**Key words** lasers; YAG-Nd:YAG composite crystal rod; analytical analysis; thermal effect; temperature distribution

收稿日期:2009-06-12;收到修改稿日期:2009-07-08

基金项目:陕西省教育厅专项科研项目(07JK284)和陕西省工业攻关项目(2008K05-15)资助课题。

作者简介:李 隆(1972—),男,博士,副教授,硕士生导师,主要从事全固态激光技术及其应用的研究。

E-mail:lilong7211@126.com

\* 通信联系人。E-mail:njp803066@126.com

## 1 引言

激光二极管(LD)抽运的全固态激光器具有结构紧凑、稳定性好、效率高等特点,在工业、科研、医疗、国防等领域有着广泛的应用<sup>[1-3]</sup>。然而,激光晶体吸收抽运光产生受激辐射的同时,有相当一部分抽运光能量转变为晶体的热能。激光晶体的热效应对激光器谐振腔的稳定性、输出激光功率、输出光束质量等有着直接的影响。降低激光晶体的温度,除对晶体采用循环水冷的方式外,还可采用同时将晶体制成复合晶体结构的方式。复合晶体是一种新型的晶体结构,国外从20世纪90年代开始就有相关报道。

目前,对复合晶体热效应的研究文献大多采用数值求解热传导方程法<sup>[4]</sup>和有限单元法<sup>[5,6]</sup>求晶体内的温度场分布。本课题组也曾用解析方法求出矩形截面复合晶体温度场分布<sup>[7,8]</sup>。本文对LD端面抽运YAG-Nd:YAG复合晶体激光棒的实际工作特点进行了分析,建立了端面绝热、周边恒温、界面热流连续的热分析模型,并使用特征函数法、常数变易法求解热传导方程得到了超高斯光束端面抽运YAG-Nd:YAG复合晶体棒温度场新的一般解析表达式,同时分析了超高斯抽运光光斑尺寸、阶次以及YAG晶体长度对其温度场的影响。

## 2 LD端面抽运YAG-Nd:YAG复合晶体棒内温度分布

### 2.1 LD端面抽运复合晶体棒热模型的建立

#### 2.1.1 复合晶体棒结构模型及其棒内热源分布状态

激光器采用端面抽运方式时抽运光在入射方向的穿透深度很大,增益介质对抽运光吸收充分,所以抽运阈值功率低,斜率效率高。而且,端面抽运激光器还具有结构紧凑、整体效率高、空间模式好等特点<sup>[9,10]</sup>。抽运激光从激光二极管光纤输出,其光强分布用超高斯函数来描述<sup>[9,11]</sup>。基模高斯抽运光填充因子小,提取效率不高,而超高斯分布抽运光兼顾光束质量和提取效率<sup>[12]</sup>。耦合器由两个平凸透镜组合而成,不改变光束能量的分布状态。考虑到激光晶体对抽运光功率密度的充分利用,以及抽运光与激光的模式匹配,抽运光光腰一般在激光晶体表面内侧(对于YAG-Nd:YAG复合晶体在Nd:YAG晶体界面的内侧),此时可认为抽运光半径与腰斑半径相等<sup>[13]</sup>。YAG-Nd:YAG复合晶体棒结构与抽运光强分布如图1所示。其中复合晶体棒的半径为

$R$ ,YAG晶体的长度为 $c$ ,Nd:YAG晶体的长度为 $d$ 。抽运光沿 $z$ 轴入射到抽运端面( $z=-c$ 面),其束腰位置在 $z=0$ 面。

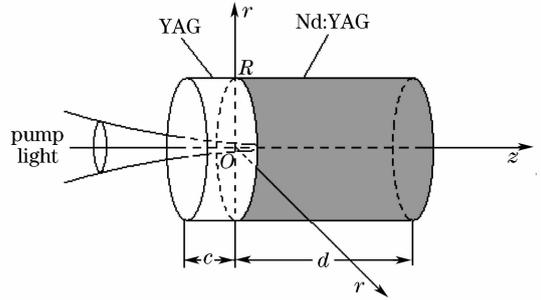


图1 LD端面抽运复合晶体棒结构与抽运光强分布简图

Fig. 1 Conformation and pump light intensity distribution of composite crystal rod end-pumped by LD

设Nd:YAG对抽运光的吸收系数为 $\beta$ 。由于未掺杂的YAG晶体对抽运光不存在吸收,所以此时 $\beta=0$ 。超高斯抽运光光强在Nd:YAG晶体内因吸收而减弱,传播至Nd:YAG晶体任意位置处超高斯抽运光的光强为

$$I_k(r, z) = I_{0k} \exp\left(-2 \frac{r^{2k}}{w^{2k}}\right) \exp(-\beta z), \quad (0 \leq z \leq d) \quad (1)$$

式中 $I_{0k}$ 为Nd:YAG晶体端面中心处超高斯抽运光的光强,可以表示为

$$I_{0k} = \frac{P}{2\pi \int_0^{\infty} \exp\left(-2 \frac{r^{2k}}{w^{2k}}\right) r dr}$$

$P$ 为入射到激光棒端面的光功率; $w$ 为超高斯抽运光的光斑半径; $k$ 为超高斯抽运光的阶次。当阶次 $k$ 为1时,超高斯抽运光的光强分布便为理想的高斯分布;当阶次 $k$ 为4,5,6时,其光强分布呈“Top-hat”形状;而当阶次 $k$ 趋于 $\infty$ 时,其光强分布可视为均匀分布。图2给出了不同阶次的超高斯抽运光光强

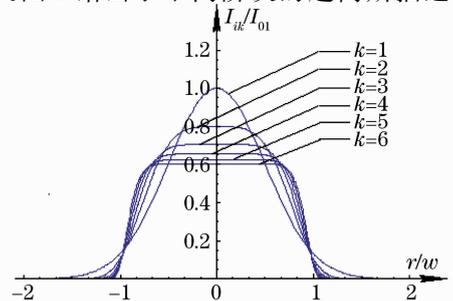


图2 不同阶次超高斯抽运光束光强分布对比图  
Fig. 2 Comparison of intensity distribution of different orders super-Gaussian pump-light

分布对比图,其中  $I_{01}$  表示高斯抽运光( $k=1$  时)中心的强度。

在 Nd:YAG 晶体内部,由于激光晶体量子效应和内损耗吸收抽运光的能量而产生的热量远大于其他原因产生的热量,所以这里仅考虑晶体由于荧光量子效应和内损耗吸收抽运光能量而引起的发热<sup>[7]</sup>。在复合晶体棒内超高斯抽运光产生的热源分布为

$$q_{ik}(r, z) = \beta \eta I_{ik}(r, z) = \begin{cases} 0 & -c \leq z \leq 0 \\ \beta \eta I_{0k} \exp\left(-2 \frac{r^{2k}}{\omega^{2k}}\right) \exp(-\beta z) & 0 \leq z \leq d \end{cases}, \quad (2)$$

式中  $\eta$  为由荧光量子效应和内损耗所决定的热转换系数,  $\eta = 1 - \lambda_p / \lambda_l$ , 其中  $\lambda_p$  为激光二极管抽运光波长 808 nm,  $\lambda_l$  为谐振腔的振荡激光波长 1064 nm。

### 2.1.2 复合晶体棒的定解条件

对于 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒,其内部温度场  $u$  由 YAG 晶体的温度场  $u_1$  和 Nd:YAG 晶体的温度场  $u_2$  组成。此复合晶体的定解条件有边界条件、有界条件和界面连续条件:

1) 边界条件。为了保持激光棒与热沉的良好热接触,在复合晶体圆棒侧面涂抹导热硅脂后,用钢包裹再置于热沉紫铜夹块中,并采用循环水冷却。由于复合晶体圆棒侧面温度保持相对恒定,设为  $u_0$ ,在热模型的数学处理中常将其设为零(相对),待得出温度场  $u$  后,再叠加冷却环境温度  $u_0$ 。复合晶体圆棒的两个通光端面与空气相接触,由于从两端面和空气热交换流出的热量远远小于从侧面通过热传导流出的热量,因此可假设复合晶体圆棒的两端面绝热。这样在不同的区域,温度分布边界条件的数学表达式为:

周边恒温边界条件(设其为零)

$$u_1(r, z) \Big|_{r=R} = u_2(r, z) \Big|_{r=R} = 0, \quad (3)$$

端面绝热边界条件

$$\frac{\partial u_1(r, z)}{\partial z} \Big|_{z=-c} = \frac{\partial u_2(r, z)}{\partial z} \Big|_{z=d} = 0. \quad (4)$$

2) 有界条件。考虑到在坐标原点附近复合晶体圆棒的温升不可能无限大,所以复合晶体在不同的区域温度分布要满足有界条件

$$\begin{aligned} u_1(r, z) \Big|_{r=0} &< +\infty, \\ u_2(r, z) \Big|_{r=0} &< +\infty. \end{aligned} \quad (5)$$

3) 界面连续条件。复合晶体的制作采用热键合技术<sup>[14]</sup>,就是首先将两块精密加工过的晶体经过一系列表面处理紧密地贴在一起,在室温下进行光胶,依靠分子间的吸引力使其形成整体(此过程中可以适当施加压力使其更加牢固),再加热到适当温度同时施加适当的压力使其接触面扩散来加强分子间的连接,之后慢慢冷却,就形成了复合晶体<sup>[15]</sup>。对于 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒,热键合技术使 YAG 晶体和 Nd:YAG 晶体在无需其他粘接剂的情况下实现永久性键合,这时在两种晶体材料的分界面上应该满足温度与热流密度连续的条件

$$\begin{cases} u_1(r, z) \Big|_{z=0} = u_2(r, z) \Big|_{z=0} \\ K \frac{\partial u_1(r, z)}{\partial z} \Big|_{z=0} = K \frac{\partial u_2(r, z)}{\partial z} \Big|_{z=0} \end{cases}, \quad (6)$$

式中  $K$  为激光晶体的导热系数或热导率。忽略温度对晶体物理特性的影响, YAG 晶体与 Nd:YAG 晶体的热传导系数  $K$  均为  $13 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

## 2.2 复合晶体棒内部温度场的解析解

由于 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒、热源分布和定解条件均具有轴对称性,则棒内温度场分布与角度  $\phi$  无关,即  $u(r, \phi, z) = u(r, z)$ 。则超高斯光束抽运的 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒内温度场遵守的热传导方程为

$$\frac{\partial^2 u_k(r, z)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_k(r, z)}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_k(r, z)}{\partial z^2} = -\frac{q_{ik}(r, z)}{K}. \quad (7)$$

通过求解定解条件下的热传导方程(7),可以得到 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒内部温度场分布的解析表达式

$$u_k(r, z) = \sum_{n=1}^{\infty} G_{nk}(z) J_0\left(\frac{\alpha_n r}{R}\right), \quad (8)$$

式中

$$G_{nk}(z) = \begin{cases} G_{1nk} = \zeta_{nk} \cosh\left(\frac{\alpha_n c}{R} + \frac{\alpha_n z}{R}\right), & -c \leq z \leq 0 \\ G_{2nk} = \zeta_{nk} \cosh\left(\frac{\alpha_n c}{R} + \frac{\alpha_n z}{R}\right) + \frac{R}{\alpha_n} \phi_{nk} \int_0^z \sinh\left(\frac{\alpha_n \tau}{R} - \frac{\alpha_n \tau}{R}\right) \exp(-\beta \tau) d\tau, & 0 \leq z \leq d \end{cases}$$

$$\zeta_{nk} = \frac{\phi_{nk} R^3 \left[ \beta \cosh\left(\frac{\alpha_n d}{R}\right) - \beta \exp(-\beta d) - \frac{\alpha_n \sinh\left(\frac{\alpha_n d}{R}\right)}{R} \right]}{\alpha_n (R^2 \beta^2 - \alpha_n^2) \sinh\left(\frac{-\alpha_n c}{R} - \frac{\alpha_n d}{R}\right)},$$

$$\phi_{nk} = \frac{-2I_0 \eta \beta}{KR^2 [J'_0(\alpha_n)]^2} \int_0^R r \exp\left(-2 \frac{r^{2k}}{w^{2k}}\right) J_0\left(\frac{\alpha_n r}{R}\right) dr,$$

$J_0$  为零阶第一类贝塞尔函数,  $\alpha_n$  为零阶第一类贝塞尔函数的第  $n$  个零点。

### 2.3 复合晶体棒内部温度场的分布特点

文献[7]给出掺  $\text{Nd}^{3+}$  质量分数为 1.0% 的 Nd:YAG 晶体对 808 nm 抽运光的吸收系数为  $9.1 \text{ cm}^{-1}$ 。若抽运功率为 50 W, 耦合器传输效率为 82%, 复合晶体尺寸为  $\phi 4 \text{ mm} \times 6.5 \text{ mm}$  (其中 YAG 晶体长度为 1.5 mm), 图 3, 4 分别给出了抽运光光斑为  $300 \mu\text{m}$  的 4 阶超高斯光束端面抽运 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒三维温度场分布和内部等温线分布情况。经计算得 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒内最

大温升为  $132.7 \text{ }^\circ\text{C}$ , 且此最高温升在掺杂部分 Nd:YAG 晶体内并距离分界面中心约 0.33 mm 处。

## 3 影响 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒温度分布的各种因素

### 3.1 抽运光光斑对复合晶体棒温度场的影响

要使 LD 抽运的全固态激光器有较高的光-光转换效率和良好的输出光束质量, 抽运光束与激光介质内基模之间的模式匹配至关重要<sup>[16]</sup>。在与图 3 相同的条件下, 图 5 给出了不同抽运光光斑下复合晶体棒内沿中心轴的温升分布。抽运光光斑半径分别为 200, 300, 400, 500, 600  $\mu\text{m}$  时, YAG-Nd:YAG 复合晶体内最大温升分别为  $163.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $132.7 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $112.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $96.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $85.1 \text{ }^\circ\text{C}$ , 即抽运光光斑越小, 晶体内部局部温升越高。

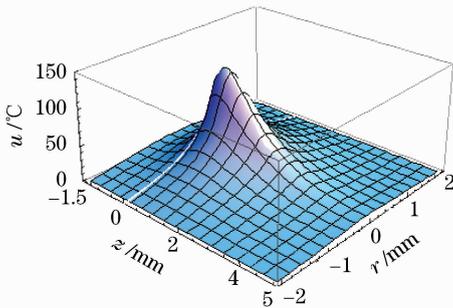


图 3 LD 端面抽运 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒三维温度场分布图

Fig. 3 Three-dimensional temperature field of YAG-Nd:YAG composite crystal rod end-pumped by LD

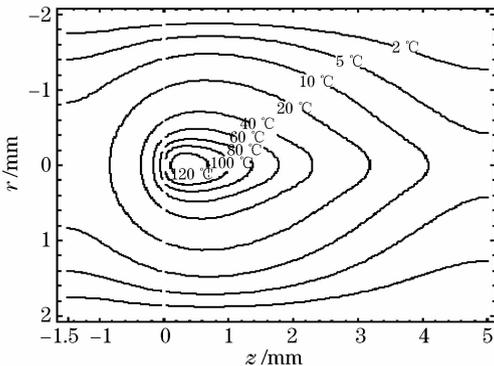


图 4 LD 端面抽运 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒内部等温线分布图

Fig. 4 Isotherm distribution of YAG-Nd:YAG composite crystal rod end-pumped by LD

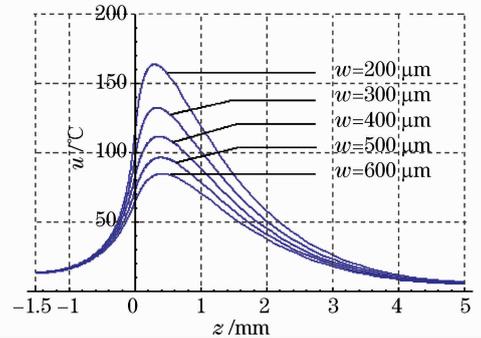


图 5 抽运光光斑尺寸不同时 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒的温度分布图

Fig. 5 Temperature distribution of YAG-Nd:YAG composite crystal rod with different pump spot radius

### 3.2 超高斯光阶次对复合晶体棒温度场的影响

在与图 3 相同的条件下, 若超高斯抽运光阶次分别取 1, 2, 3, 4, 5 时, YAG-Nd:YAG 棒内部沿中心轴的最大温升分别为  $135.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $136.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $134.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $132.7 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $131.4 \text{ }^\circ\text{C}$ , 如图 6 所示。由图 6 可以得出, 不同阶次超高斯光束端面抽运 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒所形成的温度场在最高温升上有所差异, 2 阶超高斯光束产生的温升值最大。这是

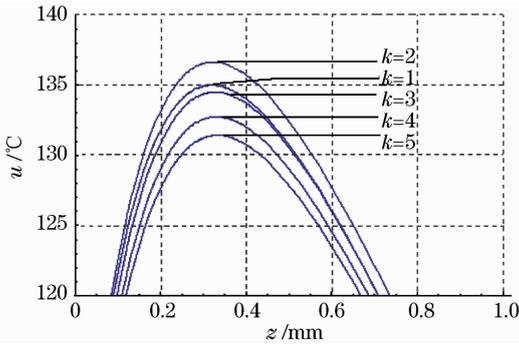


图 6 不同阶次超高斯光束端面抽运 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒时的温度分布图

Fig. 6 Temperature distribution of YAG-Nd:YAG composite crystal rod end-pumped by different orders super-Gaussian beam

由于 2 阶超高斯光束光能量在 Nd:YAG 晶体中的分布要比别的阶次的超高斯光束相对集中的缘故。

### 3.3 YAG 晶体的长度对复合晶体棒温度场的影响

在与图 3 相同的抽运条件下,图 7 给出了 YAG 晶体具有不同长度时 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒内沿中心轴的温升分布图。从图 7 可以看出,随着 YAG 晶体长度的增加,晶体内的温度开始快速下降,所以复合晶体可以有效降低端面抽运时晶体自身的温度;采用 YAG 晶体长度为 1.5 mm 的 YAG-Nd:YAG 复合晶体替代 Nd:YAG 晶体作为激光增益介质,其最高温升可降低 30.4%;当 YAG 晶体长度大于 1 mm 时,晶体内的最高温度基本维持不变,说明前面 YAG 晶体的导热已经达到了最大。

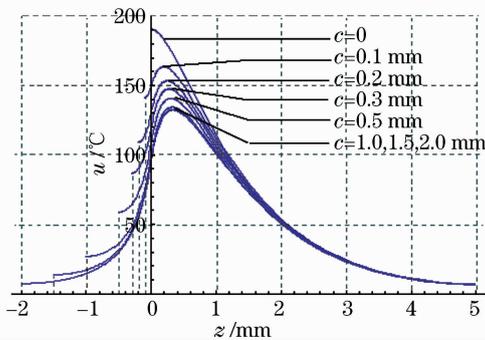


图 7 YAG 晶体长度不同时 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒的温度分布图

Fig. 7 Temperature distribution of YAG-Nd:YAG composite crystal rod with different lengths of YAG crystal

## 4 结 论

通过对 LD 端面抽运 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒实际工作特点的分析,建立了端面绝热、周边恒

温、界面热流连续的激光晶体热模型。利用特征函数法和常数变异法得到了超高斯光束端面抽运 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒温度场的一般解析表达式。同时分析了超高斯抽运光束阶次、光斑尺寸以及 YAG 晶体长度对 YAG-Nd:YAG 复合晶体棒温度场的影响。由分析得出,用 YAG-Nd:YAG 复合晶体替代 Nd:YAG 晶体可以有效地降低激光晶体内的温度。所得结果同样适用于其他热传导各向同性的复合晶体。

## 参 考 文 献

- 1 Cai Zhiqiang, Wang Peng, Wen Wuqi *et al.*. LD end-pumped all-solid-state picoseconds passively mode-locking lasers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(7):901~907  
蔡志强,王 鹏,温午麒等. 端面抽运全固态皮秒被动锁模激光器[J]. *中国激光*, 2007, **34**(7):901~907
- 2 Xiaoping Guo, Meng Chen, Gang Li *et al.*. Diode-pumped 1123-nm Nd:YAG laser [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(7):402~404
- 3 Li Xiaomin, Zhuo Zhuang, Li Tao *et al.*. Laser diode-pumped Nd:YVO<sub>4</sub>/YVO<sub>4</sub> composite crystal laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(1):41~43  
李晓敏,卓 壮,李 涛等. 激光二极管抽运 Nd:YVO<sub>4</sub>/YVO<sub>4</sub> 复合晶体激光器[J]. *中国激光*, 2007, **34**(1):41~43
- 4 Tao Li, Zhuang Zhuo, Xiaomin Li *et al.*. Study on optical characteristics of Nd:YVO<sub>4</sub>/YVO<sub>4</sub> composite crystal laser [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(3):175~177
- 5 Gao Lanlan, Tan Huiming, Wang Hong. The composite Nd:YAG crystal and its application in high power blue laser [J]. *Laser & Infrared*, 2006, **36**(5):341~344  
高兰兰,檀慧明,王 红. 复合 Nd:YAG 晶体及其在大功率蓝光激光器中的应用[J]. *激光与红外*, 2006, **36**(5):341~344
- 6 Li Zhigang, Xiong Zhengjun, Huang Weiling *et al.*. Study of high power laser diode end-pumped composite crystal lasers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(3):297~300  
李志刚,熊政军,黄维玲等. 高功率激光二极管端面抽运复合晶体激光器的研究[J]. *中国激光*, 2005, **32**(3):297~300
- 7 Shi Peng, Li Long, Gan Ansheng *et al.*. Thermal effect of rectangle composite YAG-Nd:YAG laser crystal by LD end-pumped [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2006, **17**(12):1461~1465  
史 彭,李 隆,甘安生等. LD 端面抽运矩形截面 YAG-Nd:YAG 复合晶体热效应[J]. *光电子·激光*, 2006, **17**(12):1461~1465
- 8 Li Long, Shi Peng, Liu Xiaofang *et al.*. Thermal effect of YVO<sub>4</sub>-Nd:YVO<sub>4</sub> composite laser crystals [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2006, **14**(5):786~791  
李 隆,史 彭,刘小芳等. YVO<sub>4</sub>-Nd:YVO<sub>4</sub> 复合晶体热效应研究[J]. *光学精密工程*, 2006, **14**(5):786~791
- 9 Yao Jianquan, Xu Degang. All Solid State Laser and Nonlinear Optical Frequency Conversion Technology [M]. Beijing: Science Press, 2007. 144~150  
姚建铨,徐德刚. 全固态激光及非线性光学频率变换技术[M]. 北京:科学出版社,2007. 144~150
- 10 P. K. Mukhopadhyay, M. B. Alsous, K. Ranganathan *et al.*. Characterization of laser-diode end-pumped intracavity frequency doubled, passively Q-switched and mode-locked Nd:YVO<sub>4</sub> laser [J]. *Opt. & Laser Technol.*, 2005, **37**(2):157~162

- 11 Shi Peng, Li Jinping, Li Long *et al.*. Influence of pump light distribution on thermal effects within Nd:YAG microchip laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(5):643~646  
史 彭, 李金平, 李 隆 等. 抽运光分布对 Nd:YAG 微片激光器热效应的影响[J]. 中国激光, 2008, **35**(5):643~646
- 12 Wang Ning, Lu Yutian, Kong Yong. Analysing the light intensity distribution of super-Gaussian mirror resonator by fast Fourier-transform [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(11):1317~1322  
王 宁, 陆雨田, 孔 勇. 用快速傅里叶变换法分析超高斯反射镜腔的光场分布[J]. 中国激光, 2004, **31**(11):1317~1322
- 13 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
- 14 Sun Dunlu, Zhang Qingli, Wang Zhaobing *et al.*. Study on the transmission spectra of the composite YAG/Nd:YAG crystals [J]. *Journal of Synthetic Crystals*, 2005, **34**(2):229~232  
孙敦陆, 张庆礼, 王召兵 等. 热键合 YAG/Nd:YAG 复合晶体的透过光谱研究[J]. 人工晶体学报, 2005, **34**(2):229~232
- 15 Wang Jingya, Wang Xiaodan, Zhao Zhiwei *et al.*. Making and spectra property of the composite Yb:Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>/Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> crystal [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(2):316~320  
王静雅, 王晓丹, 赵志伟 等. Yb:Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>/Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> 复合晶体的制作和光谱性能[J]. 光学学报, 2008, **28**(2):316~320
- 16 Liu Junhai, Lü Junhua, Lu Jianren *et al.*. Mode matching in high-power laser-diode-array end-pumped Nd:YVO<sub>4</sub> solid-state lasers [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(2):186~189  
刘均海, 吕军华, 卢建仁 等. 高功率端面抽运 Nd:YVO<sub>4</sub> 固体激光器模匹配的研究[J]. 光学学报, 2000, **20**(2):186~189

## 《光学学报》“发光材料”专题 征 稿 启 事

近年来,发光材料以其独特的优越性,已成为我国光学材料研究领域的的主流方向之一,被广泛应用在显示、通信、卫星、生物、光学计算机等高科技领域。发光材料作为一门发展十分迅速的新兴技术科学,所提出的新原理、新方法和新技术已取得多项重大研究成果。《光学学报》计划于2010年7月正刊(EI核心收录)上推出“发光材料”专题栏目,现特向国内外广大专家学者征集“发光材料”方面原创性的研究论文,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:

- 光致发光材料: 灯用材料、长余辉材料、紫外发光材料、红外线发光材料、荧光染料、颜料材料等;
- 电致发光材料: 高场发光材料(直流粉末 DCEL, 交流粉末 ACEL, 薄膜发光, 厚膜发光, 有机发光)、低场发光材料(发光二极管(LED), 有机发光(OEL-OLED), 硅基发光, 半导体激光)等;
- 阴极射线发光材料: 彩色电视发光材料、黑白电视发光材料、像素管材料、低压荧光材料、超短余辉材料等;
- 辐射发光材料:  $\alpha$  射线发光材料、 $\beta$  射线发光材料、 $\gamma$  射线发光材料、 $\beta$  放射发光材料、闪烁晶体材料、X 射线发光材料、X 射线存储发光材料、X 射线增感发光材料、CT 扫描发光材料等;
- 摩擦发光材料: 单晶发光材料、微晶发光材料等;
- 化学发光材料: 有机化合物发光材料(荧光染料)、液体发光材料、有机稀土发光材料等;
- 生物发光材料: 酶发光材料, 有机发光材料等;
- 反射发光(几何光学)材料: 光学镀膜反射材料、玻璃微珠反射材料等;
- 其他

特邀组稿专家: 郭太良 教授 福州大学

截稿日期: 2010年4月20日

投稿方式以及格式: 可通过中国光学期刊网网上投稿系统直接上传稿件(主题标明“发光材料”投稿), 详情请参见 <http://www.opticsjournal.net/gxxb.htm>。本专题投稿文体为中文, 其电子版请使用MS-word格式, 有任何问题请咨询马沂编辑, E-mail: CJL@siom.ac.cn; 电话: 021-69918427。

《光学学报》编辑部