

## 一种计算激光材料的光学机械性能系数的方法

周玉平 沈鸿元 曾瑞荣 于桂芳 黄呈辉 曾政东

(中国科学院福建物质结构研究所, 350002)

**提要:** 通过作  $\ln(1/f) \sim \ln P_{in}$  曲线图, 可算出各种激光材料的光学机械性能系数 ( $K_f$ ), 得到 Nd:YAP 晶体的  $K_f$  为  $4.29 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1} \text{ kW}^{-1}$ 。

**关键词:** 光学机械性能系数

## A method for calculating optomechanical coefficient of laser materials

Zhou Yuping, Shen Hongyuan, Zeng Ruirong, Yu Guifang, Huang Chenghui, Zeng Zhengdong

(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Academia Sinica, Fuzhou)

**Abstract:** The optomechanical coefficient ( $K_f$ ) of laser materials can be calculated by making  $\ln(1/f) - \ln(P_{in})$  diagrams and  $K_f = 4.29 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1} \text{ kW}^{-1}$  have been obtained in Nd:YAP crystals.

**Key words:** optomechanical coefficient

各种激光材料在光泵时热透镜效应是不同的。为了提高连续和高重复率固态激光器的输出稳定性和效率, 必须对激光材料有所选择, 而光学机械性能系数  $K_f$  则是优选激光材料的一个重要参数。

一、光学机械性能系数  $K_f$  的计算

激光棒热焦距由下式表示<sup>[1]</sup>:

$$\frac{1}{f} = \frac{\eta_a K_f}{\sigma r^2} P_{in}^\alpha \quad (1)$$

$$\eta_a = \eta_p (1 - \eta_{sp}) / \eta_{sp} \quad (2)$$

式中  $f$ : 热焦距;  $\eta_a$ : 电热转换效率,  $\eta_p$ : 光泵效率;  $\eta_{sp}$ : 功率量子效率;  $r$ : 棒半径;  $P_{in}$ : 输入电功率;  $\alpha$  为由测试值确定的常数;  $K_f$  被称为激光材料的光学机械性能系数。

以 Nd:YAG 晶体为例, 由文献[2]得到

$$\bar{f} = \frac{1}{2} (f_{切向} + f_{径向}) = \frac{2\sigma r^2 K}{\eta_a P_{in}} \left[ \frac{\delta n}{\delta T} - \frac{n_0^3 \alpha_1 (C_x'' + C_y'')}{96(1-\nu)} + \frac{2(n_0 - 1)\alpha_1 l_0}{L} \right]^{-1} \quad (3)$$

式中,  $K$ 、 $n_0$ 、 $\nu$  和  $\alpha_1$  分别是 YAG 晶体的热导率、折射率、泊松比和线胀系数,  $L$  为晶体长度。当  $\alpha \approx 1$  时, 由(1)式得到

收稿日期: 1989年5月8日。

$$K_f = \frac{1}{2K} \left[ \frac{\delta n}{\delta T} - \frac{n_0^3 \alpha_1 (C_x'' + C_y'')}{96(1-\nu)} + \frac{2(n_0 - 1)\alpha_1 l_0}{L} \right] \quad (4)$$

代入 YAG 材料的性能参数, 忽略因端面曲率引起的热透镜效应, 得  $K_f = 3.8 \times 10^{-4} \text{m}^{-1} \text{kW}^{-1}$ 。

(4) 式表明  $K_f$  是个只和材料的光学机械性能有关的常数, 它表征着激光材料的热透镜效应。S. De. Silvestri 等人还证实<sup>[1, 3]</sup>, 泵浦腔固定后, 对激光性能影响极大的泵浦功率稳定区域上  $\Delta P_{in}$  的大小主要取决于  $K_f$  值, 且有

$$\Delta P_{in} = (r/w_0)^2 \frac{2\lambda}{\eta_a K_f} \quad (5)$$

其中  $\lambda$  为激光波长,  $w_0$  为棒内 TEM<sub>00</sub> 模斑半径。因此,  $K_f$  值已成为优选连续和高重复率固态器件所用激光材料的一个新的参数。

## 二、作图法计算 $K_f$ 值及对 Nd:YAP 晶体的评价

原则上有了  $K_f$  的解析式, 代入材料的性能参数就可算出该材料的  $K_f$  值。然而很多材料, 尤其是新的激光材料, 其性能参数并没有全部测出。象 YAP 晶体, 由文献[4]可以得到  $K_f$  解析式:

$$f_{\omega=0}(z) = \frac{2\pi r^2 K_{33}}{\eta_a P_{in}} \left\{ \frac{\partial n_3}{\partial T} + \frac{n_3^3}{2} \left[ P_{31} \left( \frac{AM - RN}{AD - RS} + \alpha_1 \right) + P_{32} \alpha_2 + P_{33} \left( \frac{DN - SM}{AD - RS} + \alpha_3 \right) \right] + \frac{n_3^3 LC_1}{AD - RS} (AP_{31} - SP_{33}) \right\}^{-1} \quad (6)$$

$$K_f = \frac{1}{2K_{33}} \left\{ \frac{\partial n_3}{\partial T} + \frac{n_3^3}{2} \left[ P_{31} \left( \frac{AM - RN}{AD - RS} + \alpha_1 \right) + P_{32} \alpha_2 + P_{33} \left( \frac{DN - SM}{AD - RS} + \alpha_3 \right) \right] + \frac{n_3^3 LC_1}{AD - RS} (AP_{31} - SP_{33}) \right\} \quad (7)$$

(6) 式中  $K_{33}$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ 、 $n_3$ 、 $P_{31}$  分别为 YAG 晶体各轴向上的热导率、折射率、光弹性系数,  $A$ 、 $B$ 、 $D$  为与 YAP 的杨氏模量、泊松比有关的函数。但因缺热导等数据仍算不出  $K_f$  值, 也就无法通过  $K_f$  值的比较来判断 YAP 是否适用于连续和高重复率器件。

其实, 我们采用文献[4]的测试方法, 通过实验测出  $f \sim P_{in}$  的关系后, 就可以借助作图, 算

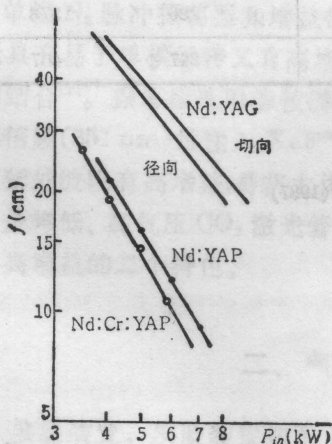


图1 激光棒热焦距与灯输入功率的关系

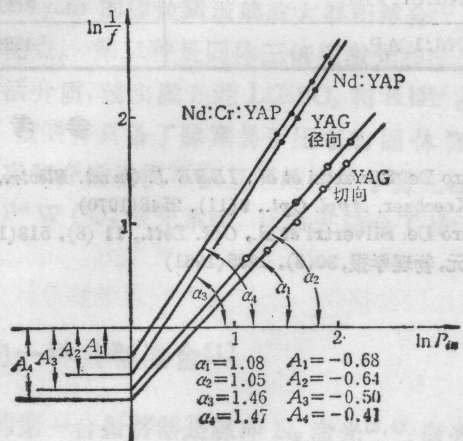


图2  $\ln(1/f) \sim \ln P_{in}$  曲线图

出各种激光材料的  $K_f$  值。图 1 示出 YAP 的  $f_{\omega=0}(z)$  和 YAG 的  $f_{\omega}$ 、 $f_{\omega}$  与灯输入功率的关系。

对(1)式取对数:

$$\ln \frac{1}{f} = \ln \frac{\eta_a K_f}{\pi r^2} + \alpha \ln P_{in} \quad (8)$$

作  $\ln(1/f) \sim \ln P_{in}$  曲线图(见图 2), 由斜率得到  $\alpha$  值, 由截距  $A$  算出  $K_f$  值:

$$K_f = \frac{\ln^{-1} A \cdot \pi r^2}{\eta_a} \quad (9)$$

根据我们的实验系统,  $\eta_a \approx 4\%$ ,  $r = 3\text{mm}$ , 基于图 1 的数据, 对 Nd:YAG 晶体算出  $\alpha = \frac{1}{2} (\alpha_1 + \alpha_2) = 1.07$ ,  $K_f = 3.7 \times 10^{-4} \text{m}^{-1} \text{kW}^{-1}$ , 和前面计算值相比,  $K_f$  和  $\alpha$  值都十分相符, 这说明此作图法是可行的, 计算结果是可信的。

对 YAP 晶体我们算出 Nd:Cr:YAP:  $\alpha = 1.47$ ,  $K_f = 4.69 \times 10^{-4} \text{m}^{-1} \text{kW}^{-1}$ 。Nd:YAP:  $\alpha = 1.46$ ,  $K_f = 4.29 \times 10^{-4} \text{m}^{-1} \text{kW}^{-1}$ 。将算出的 YAP 的  $K_f$  值及相应的稳定工作泵浦功率区域与文献[1]列出的现有激光材料的数据相比较(见表 1), 可看出 YAP 和 YAG 性能相当, 是适用于连续和高重复率器件的一种较好的激光材料。

本工作所用 YAP 棒由李敢生组提供, 在此表示感谢。

表 1 现有激光材料的  $K_f$  值和泵浦功率稳定区域  $\Delta P_{in}$

激光材料	$K_f(\text{m}^{-1} \text{kW}^{-1})$	$\Delta P_{in}(\text{W})$	
		$r/w_0 = 1.4$	$r/w_0 = 1.8$
Nd:Cr:GSGG	$22.5 \times 10^{-4}$	46	76
Nd:glass-shott LG 706	$17.0 \times 10^{-4}$	61	101
Nd:Kigre Q-98	$8.9 \times 10^{-4}$	117	193
Nd:glass-HoyaLHG8	$7.8 \times 10^{-4}$	134	222
Nd:YAG	$3.8 \times 10^{-4}$	273	452
Alexandrite[400J]	$2.3 \times 10^{-4}$	325	538
Nd:Cr:YAP	$4.69 \times 10^{-4}$	226	373
Nd:I/AP	$4.29 \times 10^{-4}$	247	407

### 参 考 文 献

- 1 Sandro De. Silvertri et al., *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-23** (1), 1999(1987)
- 2 W. Koechaer, *Appl. Opt.*, **9**(11), 2548(1970)
- 3 Sandro De. Silvertri et al., *Opt. Lett.*, **11** (8), 513(1986)
- 4 沈鸿元, *物理学报*, **30**(8), 1985(1981)