

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0085-02

微片激光器的速率方程研究

黄志云¹, 黄妙良², 罗遵度¹, 龚兴红¹, 黄艺东^{1*}

(¹中国科学院福建物质结构研究所, 福建 福州 350002; ²华侨大学材料科学与工程学院, 福建 泉州 362011)

摘要 在考虑荧光浓度猝灭以及增益介质热效应对粒子数玻尔兹曼分布影响的基础上,建立了准三能级微片激光器的速率方程,并将该方程用于解释 Yb³⁺:YAl₃(BO₃)₄ 微片激光器。比较理论计算结果和他人已发表的实验数据,显示该方程在一定程度上是合理的。在此基础上提出了一定条件下 Yb³⁺:YAl₃(BO₃)₄ 微片激光器的激活离子浓度和介质厚度的优化方案。

关键词 激光物理; 微片激光器; 速率方程; Yb³⁺:YAB 晶体

中图分类号 TN248.1; TN242

文献标识码 A

Study on Rate Equation of Microchip Laser

HUANG Zhi-yun¹, HUANG Miao-liang², LUO Zun-du¹, GONG Xing-hong¹

HUANG Yi-dong¹

(¹ Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, The Chinese Academy of Sciences, Fuzhou, Fujian 350002, China;
² College of Materials Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou, Fujian 362011, China)

Abstract A rate equation of the microchip laser based on a quasi-three level system is proposed, which has taken the fluorescence concentration quenching and the Boltzmann distribution resulted from thermal effect into account. This rate equation is applied to Yb³⁺:YAl₃(BO₃)₄ microchip laser, and the comparison of the calculated and experimental results shows that this equation is valid to a certain extent. Finally, some schemes about the optimization of the Yb³⁺ concentration and the crystal thickness of the Yb³⁺:YAl₃(BO₃)₄ microchip laser are given.

Key words laser physics; microchip laser; rate equation; Yb³⁺:YAB crystal

1 引言

自从1989年微片激光器的概念被提出以来^[1],对它的研究热潮就延续至今^[2,3]。它之所以引起人们这么大的兴趣,主要是由于它具有低抽运阈值、高转换效率、稳定可靠、器件紧凑、使用方便等优点,在信息、电子和科研等领域有着广泛的应用前景。

微片激光器的增益介质长度很短,因此需要较高的掺杂浓度以实现充分的抽运光吸收;但是较高的掺杂浓度将导致显著的荧光浓度猝灭和热效应。在本文所提出的准三能级微片激光速率方程中,同时计入了这两方面对粒子数分布变化的影响,并将计算的结果与他人已发表的实验结果进行了比较,以表明这个方程的合理性。

2 速率方程的建立

在推导该速率方程的过程中,我们计入了增益介

质的温度分布对激光能级的粒子数分布的影响,以及荧光浓度猝灭效应。其他的假定可参考文献[4]。

在文献[4]的基础上,我们进一步考虑了介质的温度分布:

$$T(r) = T_{\text{cool}} + \frac{P_h \eta_a}{4\pi\kappa L} \left[\ln\left(\frac{R^2}{r^2}\right) + EI\left(\frac{2R^2}{w_{p0}^2}\right) - EI\left(\frac{2r^2}{w_{p0}^2}\right) \right] \quad (1)$$

其中, P_h 是总的热负荷, κ 是介质的热传导系数。 P_h 的表达式经我们推导给出为:

$$P_h = P_{p0} \eta_a [\beta + (1-\beta)\eta_{\text{qd}}] + P_c \chi \quad (2)$$

其中, χ 是基波光转化为热的比率。

原则上说,温度的分布应该是三维的,但是考虑到微片激光器的厚度都比较薄,因此我们对纵向的温度分布做了平均。详细的推导过程可以参阅文献[4]。在此,我们仅给出最终结果:

基金项目: 国家自然科学基金(60088004)、福建省重大科技计划(2002H004)、中国科学院资助项目(CXJJ-53)。

作者简介: 黄志云(1977-),男,中国科学院福建物质结构研究所博士研究生,主要从事固体激光器器件研究。

*E-mail: huyd@ms.fjirsm.ac.cn

$$\frac{4\sigma_e}{w_{d0}^2} \int_0^{w_{d0}} \frac{A' \tau_f (N_{dpp}) \exp(-2r^2/w_{d0}^2) \eta_a - N_{dpp} f^{low} L}{1 + B \tau_f (N_{dpp}) P_c \exp(-2r^2/w_{d0}^2)} \exp\left(\frac{-2r^2}{w_{d0}^2}\right) r dr dz = \frac{1}{2} (2\delta L + T_0) \quad (3)$$

其中

$$A' = \begin{cases} \frac{A}{\alpha P_{p0}} = \frac{2f}{\pi w_{d0}^2 h \nu_p} (1-\beta), \\ B = \frac{4\sigma_e f}{\pi w_{d0}^2 h \nu_e}, \\ \eta_a = [1 - \exp(-\alpha L)] [1 + R_p \exp(-\alpha L)] \end{cases} \quad (4)$$

α 是介质对抽运光的总的吸收系数, 包括了激活离子、其他杂质离子以及基质本身的贡献; β 是我们新引入的一个参量, 表示基质和其他杂质离子对抽运光的吸收系数与总的吸收系数 α 的比值。其他参量的意义可以在文献[4]中找到。

3 应用与讨论

将上述结果应用于 $\text{Yb}^{3+}:\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4(\text{Yb}^{3+}:\text{YAB})$ 微片激光器, 其实验数据可在文献[2]中查到。

表 1 比较了理论计算与实验的结果。从表中可以看出, 计算的结果跟实验吻合得比较好, 这说明这个方程在一定程度上是合理的。

表 1 计算结果与实验的比较

Table 1 Comparison of the calculated and experimental results

| | $w_{d0}/\mu\text{m}$ | P_{th}/mW | P_{out}/mW |
|--------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| Experimental | 40 | 147 | 500 |
| | 55 | 220 | 450 |
| | 67 | 251 | 430 |
| Calculated | 40 | 171 | 525 |
| | 55 | 220 | 487 |
| | 67 | 293 | 450 |

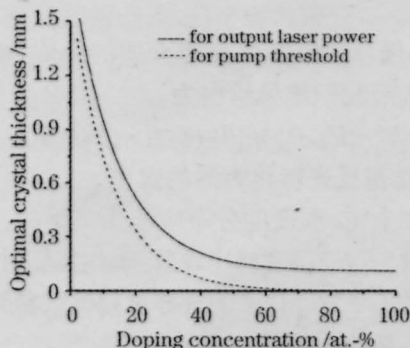


图 1 最大输出功率和最小抽运阈值时, 介质厚度随激活离子浓度变化的曲线

Fig.1 The curves of the optimal crystal thickness as a function of the doping concentration for the output laser power and the pump threshold

作出了基波输出功率和抽运阈值随激活离子浓度以及介质厚度变化的三维图, 类似于文献[4]中图 3 和图 4。这两张图清楚地表明了可以通过选取适当的掺杂浓度和介质厚度, 使得激光工作效果达到最佳。

从上述的两张三维图可以分别得到最大输出功率和最小抽运阈值时的激活离子浓度与介质厚度的关系, 如图 1 所示。从图 1 可以看出, 在同等掺杂浓度的条件下, 实现最大输出功率的介质厚度要大于实现最小抽运阈值的介质厚度, 这和文献[5]的结论是一致的。对于产生这种情况的原因, 给出一个可能的解释: 一般情况下, 关系式

$$P_{out} \propto \Delta N \propto (P_{abs} - P_{th})/h\nu_p$$

成立。在一定的掺杂浓度下, 如果介质厚度已经使抽运阈值达到最小, 在这种情况下, 减小介质厚度, 会使 P_{abs} 变小, P_{th} 增大, 最终导致 P_{out} 变小; 如果增大介质厚度, 则虽然 P_{th} 还是增大, 但是 P_{abs} 也同时变大, 最终结果可能会使 P_{out} 增大, 具体要看 P_{abs} 和 P_{th} 两者变化趋势的强弱而定。

最终得到的热负荷与吸收的抽运光的比值大约是在 0.15 左右, 这个值大于文献[6]中所报道的 0.057。产生这种差异的原因, 主要是文献[6]中只考虑了量子缺损所带来的热效应, 除此之外, 还考虑了基质缺陷的吸收和基波光的自吸收等因素。

参 考 文 献

- 1 J. J. Zayhowski, A. Mooradian. Single-frequency microchip Nd lasers [J]. *Opt. Lett.*, 1989, 14(1): 24~26
- 2 P. Wang, J. M. Dawes, P. Dekker *et al.*. Highly efficient diode-pumped ytterbium-doped yttrium aluminum borate laser [J]. *Opt. Commun.*, 2000, 174(5-6): 467~470
- 3 T. Taira, A. Mukai, Y. Nozawa *et al.*. Single-mode oscillation of laser-diode-pumped Nd:YVO₄ microchip lasers [J]. *Opt. Lett.*, 1991, 16(24): 1955~1957
- 4 Huang Zhiyun, Huang Yidong, Huang Miaoliang *et al.*. Optimizing the doping concentration and the crystal thickness in Yb³⁺-doped microchip lasers [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2003, 20(10): 2061~2067
- 5 C. Lim, Y. Izawa. Modeling of end-pumped cw quasi-three-level lasers [J]. *IEEE. J. Quantum Electron.*, 2002, 38(3): 306~311
- 6 J. L. Blows, P. Dekker, P. Wang *et al.*. Thermal lensing measurements and thermal conductivity of Yb:YAB [J]. *Appl. Phys. B*, 2003, 76(3): 289~292