

宽带掺钛蓝宝石激光器的理论 及实验的初步研究

缪 新 林

摘要: 本文从理论上阐述了掺钛蓝宝石的激光特性并提出了谐振腔设计的优化方案。在室温条件下, 实现了调Q倍频YAG激光泵浦下直腔式掺钛蓝宝石激光器的脉冲激光运转。波段范围为820nm~920nm。

一、引 言

掺钛蓝宝石激光器是本世纪八十年代初发展起来的一种新型固态可调谐激光器。具有调谐范围宽 (660nm~986nm); 阈值低; 可以用多种方式泵浦等显著优点。由于它的激光波段可以覆盖多种染料激光波长范围, 并且具备染料激光器所不具备的优点, 如稳定性强、维护保养方便等。因而成为在近红外波段替代染料激光器的首选对象。国内外研究者所关注的当前激光技术发展的前沿领域之一。

在本文中, 我们对与掺钛蓝宝石激光器相关的若干问题进行了理论上的探讨。并实现了室温条件下脉冲式掺钛蓝宝石激光器的宽带激光运转。

二、基本原理

掺钛蓝宝石晶体是一种在高温下将TiO₂掺入Al₂O₃ (刚玉) 基质中形成的负单轴晶体。属六方晶系, 基本结构为八面体结构, 并具有三角对称性。

目前, 比较常用的晶体类型是端面Brewster角切割的90°淡掺杂晶体。对晶体质量的评估用FOM值进行标定。(FOM = $\alpha_{5145} / \alpha_{8000}$), 其中 α_{5145} , α_{8000} 分别代表掺钛蓝宝石晶体在波长5145 Å, 8000 Å 处的吸收系数。

掺钛蓝宝石的吸收光谱主要表现为蓝绿吸收带, 覆盖波段为400~600nm。峰值吸收截面~10⁻²⁰cm²。其荧光发射谱的波段在660~1000nm。峰值发射截面~10⁻¹⁹cm²。

在室温下, 掺钛蓝宝石晶体是一种晶格场声子参与作用的激活介质。其特定的能谱结构, 使得掺钛蓝宝石激光器能产生宽带受激振荡, 而且, 其动力学行为可以用激光物理学中的四能级系统模型来描述。如图(1)所示

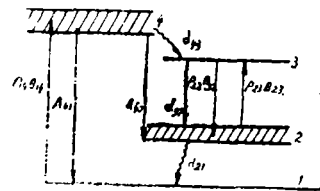


图1 能级跃迁原理图

定量的讨论, 可以通过建立起来的掺钛蓝宝石激光器的速率方程来实现。

速率方程:

$$\frac{d\Delta}{dt} = \eta_1 \rho_{14} B_{14} (N_0 - \Delta) - \frac{\phi \Delta}{\rho \tau_{32}} - \frac{\Delta}{\eta_2 \tau_{32}} \quad (1)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\Delta}{\rho \tau_{32}} + \frac{\phi \Delta}{\rho \tau_{32}} - \phi / \tau \quad (2)$$

从理论上对掺钛蓝宝石激光器振荡阈值进行讨论的结果为:

连续式:

$$P_s(th) = \frac{\pi h \nu_s \omega_L^2 (T + 2\alpha_L l + \eta) (a^2 + 1)}{4\sigma \tau_{32} [1 - \exp(-\alpha_s l)]} \quad (3)$$

脉冲式:

$$E_s(th) = \frac{\tau_s \pi h \nu_s \omega_L^2 (T + 2\alpha_L l + \eta) (a^2 + 1)}{4\sigma \tau_{32} [1 - \exp(-\alpha_s l)] [1 - \exp(-\tau_s / \tau_{32})]} \quad (4)$$

其中, ω_L 为掺钛蓝宝石激光束腰;

ω_s 为泵浦光束腰;

$a = \omega_s / \omega_L$;

σ 为掺钛蓝宝石增益截面;

τ 为掺钛蓝宝石荧光寿命;

T 为输出损耗;

$2\alpha_L l$ 为红外寄生吸收;

τ_s 为泵浦光脉宽。

η 为腔其它损耗。

三、理论设计

我们从实现掺钛蓝宝石激光器小型化, 像散补偿, 提高泵浦效率, 便于调谐几方面入手。提出了Z型折叠腔结构的设计方案。原理图见图2所示

我们首先用矩阵光学的方法讨论了腔内高斯光束的变化情况, 给出了相应的稳定性条件 (不计像散)

$$2f \leq d_2 \leq 2d / (d/f - 1) \quad (1)$$

其中: d_2 为两折叠镜之间的距离;

d 为直臂的长度。(腔调节量为 $\delta d_2 = 2f + \delta$)

然后, 我们在考虑像散的条件下, 讨论了含增益介质的腔结构问题。并通过数值计算的方法提出了腔结构设计的优化方案。并对染料激光器像散补偿腔与掺钛蓝宝石激光器像散补偿腔在结构上的不同之处进行了讨论。

我们给出腔稳定条件:

$$2f \cos \theta + l \cos \phi \leq d_2 \leq \frac{2df \cos \theta}{(d - f \cos \theta)} + l \cos \phi - l/n^2 (\text{子午面}) \quad (2)$$

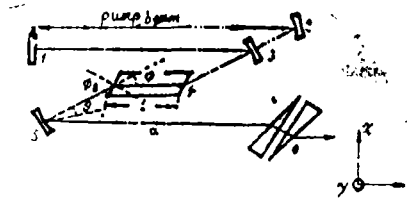


图2

1 为输出镜或腔端镜 ($R_1 = \infty$), 2 为泵浦镜 ($R_2 = 200\text{mm}$), 3, 5 为折叠腔镜 ($R_3 = 100\text{mm}$, $f = 50\text{mm}$); 4 为掺钛蓝宝石棒 ($l = 15\text{mm}$); 6 为波长调谐片 (使腔内光束以 Brewster 角入射到棱镜中镀膜的“棱镜对”构成标准具)。

$$2f \sec \theta + l \cos \phi \leq d_{2i} \leq \frac{2df \sec \theta}{(d - f \sec \theta)} + l \cos \phi - l/n \quad (\text{弧矢面}) \quad (3)$$

像散补偿条件:

$$\begin{aligned} A &= \delta_x - \delta_y = (h_x - h_y) + (k_x - k_y) - 2(f_x - f_y) \\ &= 2f \tan \theta \sin \theta - l(n^2 - 1) \sqrt{n^2 + 1} \sin \phi_s / n^4 - \frac{(\mu^2 - 1)}{\mu^3} \cdot 2l' \end{aligned} \quad (4)$$

$A = 0$ 时腔实现了像散补偿。

传播矩阵矩阵元为:

$$A_i = 1 - d'_{2i}/f_i - 2d/f_i + d \cdot d'_{2i}/f_i^2 \quad (5)$$

$$B_i = 2d + d'_{2i} - 2d^2/f_i - 2d \cdot d'_{2i}/f_i + d^2 \cdot d'_{2i}/f_i^2 \quad (6)$$

$$C_i = -2/f_i + d'_{2i}/f_i^2 \quad (7)$$

$$D_i = 1 - 2d/f_i - d'_{2i}/f_i + d \cdot d'_{2i}/f_i^2 \quad (8)$$

其中,

$$i = x, y$$

$$d'_{2x} = d_2 - l \cos \phi + l/n^3$$

$$d'_{2y} = d_2 - l \cos \phi + l/n$$

$$f_x = f \cos \theta$$

$$f_y = f \sec \theta$$

优化设计的腔结构参数为: $d_2 = 115.4 \text{mm}$, $d = 180 \text{mm}$, $2\theta = 29.374^\circ$ ($f = 50 \text{mm}$, $l = 15 \text{mm}$) 基本上满足了模式匹配的要求。

四、实 验

我们采用调Q倍频YAG激光器为泵浦源,以同轴泵浦的方式实现了直腔式掺钛蓝宝石激光器的宽带激光运转。所采用的腔镜分别为 $R_1 = 100 \text{mm}$, 反射率90% (820nm~920nm), $R_2 = \infty$, 反射率90% (820~920nm)。两镜间距66mm。YAG SHG 光束的半径为3mm。在实验中,我们采用了硅光电池做为接收器用滤光片组挡去 $1.06 \mu\text{m}$, 5320\AA 光。并用 TRIO 100MHz示波器和7633存贮式示波器对掺钛蓝宝石激光波形进行了观察。

参 考 文 献

- [1] P.F.Moulton, J.Opt.Am., B3 No.1, 125~133, (1986)
- [2] P.F.Moulton, IEEE, QE-21, No.10, 1582~1595, (1985)
- [3] B.F.Gächter, J.Chem.Phys., 60, No.5, 2003~2006, (1974)
- [4] C.H.Muller, Opt.Letters, 13, No.5 380~382 (1985)
- [5] S.A.Batishche, Sov.Phys.Dokl., 34(3)231~232 (1989)
- [6] S.K.Gayen, Appl.Phys.Lett., 50(21)1494~1496(1987)
- [7] H.Kogelnik and T.Li, Appl.Opt., 5 No.10 1550~1566(1966)
- [8] H.Kogelnik and T.Li, IEEE, QE-8 No.3 373~379(1972)

The Theory and Preliminary Experimental Researching of Wide Band Ti^{3+} , Sapphire Laser

Miao Xinlin

Abstract

In this paper, the spectrum characteristics of Ti^{3+} , Sapphire crystal are expounded in detail, theoretically, and the conditions for realizing the laser operation of Ti^{3+} , Sapphire laser are studied thoroughly, too. Meanwhile, the numerical value optimum scheme of the cavity structure design of astigmatically compensated, Z-model cavity is put forward.

In addition, the theoretical analyses are done for the mutual relations between the threshold pump power and cavity structure or cavity loss, in which the CW laser operation is realized for Ti^{3+} , Sapphire laser.

By experimental researching, under room temperature condition, the wide band laser operation of Ti^{3+} , Sapphire laser of the two-reflector cavity is achieved, by Q-switch SHG YAG laser longitudinally pumping. The output wavelength is in the near IR scope. Meanwhile, the qualitative studies are done for the phenomenon that the laser operation is influenced by the pulse energy, pulse breadth, beam radius, polarized characteristics of the pump light. Also, the same studies are done for the phenomenon that the reflector film is damaged by the pump light.