

双光束耦合三级相干光放大的理论分析*

吉选芒 张永安

刘劲松 安毓英

(山西运城高等专科学校物理系, 运城, 044000) (西安电子科技大学技术物理学院, 西安, 710071)

摘要: 基于双光束耦合的原理提出了三级相干光放大的方法, 这不仅能使 3 块低质量晶体取得一块高质量晶体所能达到的效果, 而且解决了单级放大难以大幅度提高放大倍数的问题, 理论分析表明所提方法是可行的。

关键词: 双光束耦合 三级光放大 相干光

Theoretical analysis of two-beam coupling three-stage coherent optical amplification

Ji Xuanmang, Zhang Yongan

(Department of Physics, Yuncheng Advanced Training College, Yucheng, 044000)

Liu Jinsong, An Yuying

(Applied Physics College, Xidian University, Xi'an, 710071)

Abstract: Based on the principle of two-beam coupling, the method of three-stage coherent optical amplification is put forward. Which not only makes it possible that three pieces of low quality crystals can yield the result that one piece of high quality crystal can reach, but also solves the problem that the amplification coefficient can not be greatly increased by means of one-stage amplification. The feasibility of the method has proved through theoretical analysis.

Key words: two-beam coupling three-stage coherent optical amplification coherent optical

引 言

光折变晶体的双光束耦合效应已被广泛应用。如相干光放大、振荡器、光通讯网、关联存储等^[1,2]。很明显, 材料的质量越高, 越容易在这些应用中取得满意的效果, 同时材料的成本也越高。对相干光放大而言, 最理想的结果是获取高的放大倍数。但存在着两个问题, 一是当晶体质量不高时, 很难获得较高的放大倍数。二是要想大幅度地提高放大倍数, 即使晶体的质量很高, 采用单级放大也难以实现。这是因为双光束耦合对信号光放大特点是小信号时放大倍数基本上由材料参数确定, 信号光越小, 由泵浦光向信号光转移的能量就越小。大信号时, 放大倍数比小信号而言大为下降, 但能量转移的量值却大幅度地提高。如果所用的晶体质量一般, 小信号时不仅能量转移量值小而且放大倍数也不高。如果降低泵浦光使耦合过程满足大信号效应虽可以提高能量转移的量值但却降低了放大倍数。这种矛盾是用一块晶体无法解决的。针对上述情况, 我们基于双光束耦合, 提出了一种用 3 块晶体进行三级相干光放大的方法, 并对其可行性进行了详细的理论分析。

* 国防科技预研基金资助。

1 基本原理

图1是我们提出的双光束耦合三级相干光放大的原理图。C₁, C₂和C₃是3块光折变晶体, I_i是入射的信号光, 泵浦光 I_p经分束镜 BS₁, BS₂和全反镜 M 后分为 I_{p1}, I_{p2}和 I_{p3}。I_i和 I_{p1}在 C₁中进行双光束耦合, C₁的出射信号光 I₁射入第2块晶体 C₂, 和泵浦光 I_{p2}进行第2次双光束耦合, C₂的出射光 I₂与泵浦光 I_{p3}在 C₃中进行双光束耦合。最后, C₃的出射信号光 I₁就是被三级放大后系统的输出光。适当安排光路, 合理分配各块晶体的泵浦光, 可使系统有最佳的放大效果。

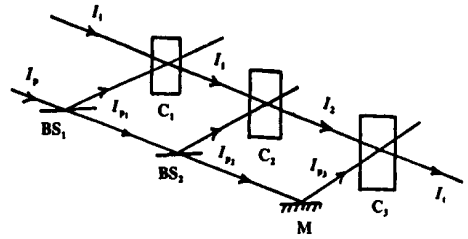


Fig. 1 Sketch map of two-beam coupling three-stage coherent optical amplification configuration

2 理论分析

在晶体 C₁ 中, 入射信号光 I_i 和泵浦光 I_{p1} 进行两波耦合, 考虑热激发影响后, 满足的耦合波方程为^[3, 4]:

$$dI_{p1}/dZ = -\Gamma_{s1}I_{p1}I/(I_{p1} + I_i + I_{s1}) - \alpha_1I_{p1} \quad (1)$$

$$dI_i/dZ = \Gamma_{s1}I_{p1}I/(I_{p1} + I_i + I_{s1}) - \alpha_1I_i \quad (2)$$

式中, I_i 表示信号光, I_{p1} 表示泵浦光, Γ_{s1} 为 C₁ 的饱和双光束耦合系数, α_1 为 C₁ 的吸收系数, $I_{s1} = \beta_1/s_1$ 为晶体 C₁ 的饱和强度, β_1 称热激发速率, s_1 为光电离常数。

求解(1), (2)两式, 可以得出 I₁ 的表达式:

$$I_1 = (I_i + I_{p1})I_i e^{-\gamma_1} \left\{ \left[I_i + I_{p1} \left[\frac{(I_i + I_{p1})e^{-\gamma_1} + I_{s1}}{(I_i + I_{p1} + I_{s1})} \right] \right]^{g_1} \right\} \quad (3)$$

式中, $g_1 = \Gamma_{s1}/\alpha_1$, $\gamma_1 = \alpha_1 d_1$ 。g₁ 可称为晶体 C₁ 的品质因数, d₁ 为 C₁ 中的有效相干长度。

同理, 在晶体 C₂ 和 C₃ 中有类似于(1)式和(2)式的方程, 我们可以求出 I₂ 和 I₁ 的表达式如下:

$$I_2 = (I_1 + I_{p2})I_1 e^{-\gamma_2} \left\{ \left[I_1 + I_{p2} \left[\frac{(I_1 + I_{p2})e^{-\gamma_2} + I_{s2}}{(I_1 + I_{p2} + I_{s2})} \right] \right]^{g_2} \right\} \quad (4)$$

式中, $g_2 = \Gamma_{s2}/\alpha_2$, $\gamma_2 = \alpha_2 d_2$, $I_{s2} = \beta_2/s_2$ 。

$$I_1 = (I_2 + I_{p3})I_2 e^{-\gamma_3} \left\{ \left[I_2 + I_{p3} \left[\frac{(I_2 + I_{p3})e^{-\gamma_3} + I_{s3}}{(I_2 + I_{p3} + I_{s3})} \right] \right]^{g_3} \right\} \quad (5)$$

式中, $g_3 = \Gamma_{s3}/\alpha_3$, $\gamma_3 = \alpha_3 d_3$, $I_{s3} = \beta_3/s_3$ 。g₂, g₃ 分别为 C₂, C₃ 的品质因数, α_2 , α_3 分别为 C₁, C₂ 的吸收系数, I_{s2} 和 I_{s3} 分别为 C₂, C₃ 的饱和强度, d₂, d₃ 分别为 C₂, C₃ 中的有效相干长度。

设两个分束镜的反射率分别为 R₁ 和 R₂, 总的泵浦光强为 I_p, 可以有下面的关系式:

$$I_{p1} = R_1 I_p, \quad I_{p2} = (1 - R_1) R_2 I_p, \quad I_{p3} = (1 - R_1)(1 - R_2) I_p \quad (6)$$

为了理论分析方便, 我们讨论一种最为简单的情况, 取 $g_1 = g_2 = g_3 = g$, $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma$, $I_{s1} = I_{s2} = I_{s3} = I_s$ 。当 g, γ , I_i 和 I_p 给定后, I₁ 为 R₁ 和 R₂ 的函数。通过理论分析我们可以得出 R₁ 和 R₂ 最佳配比。系统的放大倍数定义为:

$$\beta = I_1/I_i \quad (7)$$

图2给出了由(3)式~(7)式计算出的放大倍数 β 随 R₁ 和 R₂ 变化的理论曲线。其中, 图2a以 R₁ 为自变量, R₂ 为参变量。图2b以 R₂ 为自变量, R₁ 为参变量。R₁ 和 R₂ 变化范围都是0到1。由图2a我们可以看出, 在 R₂ 固定为某一个值时, β 关于 R₁ 存在着一个最大

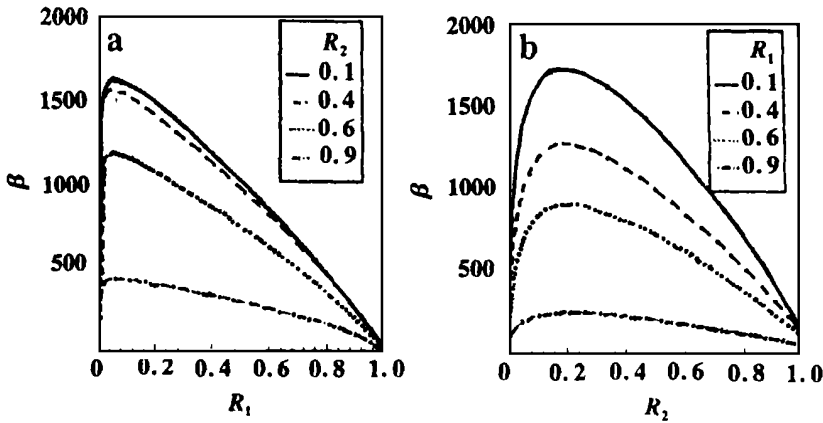


Fig. 2 The amplification coefficient β of two-beam coupling three-stage coherent optical amplification as a function of the pump ratio with $\gamma = 1, g = 4, I_s = 10, I_c = 1, I_p = 10^4$ (a.u)

值 β_m , 即存在着一个最佳的点 R_{1m}, R_{2m} 通常较小。同时我们也可以看到, R_2 愈小, 所获得的 β 也愈大。观察图 2b 也有相同的结果。观察两个图的峰值位置, 可看出 $R_1 < R_2$, 即在配置 BS₁ 和 BS₂ 时,

BS₁ 反射率尽量要小于 BS₂ 的反射率。总体来说, R_1 和 R_2 都较小时, 可以获得较大的 β 值。这说明 $I_{p1} < I_{p2} < I_{p3}$, 使 3 块晶体都满足大信号条件才能使系统获得较高的能量转移效率, 又有较大的放大倍数。这一点从图 3 所给的 I_1 随 R_1 和 R_2 变化的立体图看得更明显。

3 结 论

从上面的理论分析可知, 对于双光束耦合三级相干光放大, 只要合理地调节 BS₁ 和 BS₂ 的方位, 即合理配置 BS₁ 和 BS₂ 的反射率 R_1 和 R_2 , 系统可有一最佳放大倍数。我们提出的方案在理论上是可行的。

光折变非线性光学正处在日新月异的发展之中, 许多新原理、新思想不断提出, 但光折变材料的发展还没能跟上这种形势的需要。我们提出的三级相干光放大的方法, 一方面降低了对材料的要求, 使得用几块较差晶体在合理安排光路后, 可以取得一块质量较好的晶体所能达到的效果, 这是十分经济的; 另外, 这对极弱光信号进行高倍相干光放大也行之有效。

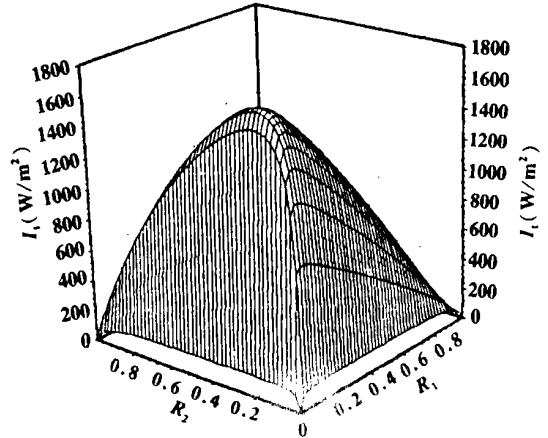


Fig. 3 The output intensity I_1 of two-beam coupling three-stage coherent optical amplification as a function of the R_1 and R_2 with $\gamma = 1, g = 4, I_s = 10, I_c = 1, I_p = 10^4$ (W/m²)

参 考 文 献

- 1 Ja Y H. Opt & Quantum Electron, 1985; 17(4): 291~ 295
- 2 Yeh P C. IEEE J Q E, 1989; QE25(3): 484~ 497
- 3 吉选芒, 王金来, 安毓英 *et al.* 光学学报, 1998; 18(3): 291~ 294
- 4 吉选芒, 安毓英, 刘劲松. 物理学报, 1997; 46(5): 915~ 918

脚型三维曲面测量技术

罗晓晖 居 琰 王 希 陈雍乐

(重庆大学光电工程学院, 重庆, 400044)

摘要: 提出了一种新的三维曲面测量方法, 利用激光片光对脚进行光切, 在脚的某一个截面上形成封闭光带, 用 3 个 CCD 摄像机对截面光带成像, 可一次获得脚的某一个截面的二维轮廓信息, 再沿光切面的垂直方向步进测量, 经 CCD 摄像机像面和光切平面之间的空间映射变换后可得到脚的整个三维曲面信息。

关键词: 脚型测量 光切法 三维重建

3D foot profile measurement through light-section method

Luo Xiaohui, Ju Yan, Wang Xi, Chen Yongle

(Optoelectronic Engineering Institute, Chongqing University, Chongqing, 400044)

Abstract: A new technique of light-section method is proposed to measure 3D profile. A closed light strip in a certain section of foot is formed by laser sheet illumination. Its image can be obtained by 3 CCD cameras, then the real world coordinate of the section of the foot can be worked out through transformation between the coordinate of the section plane and the camera coordinate. Finally, the coordinate of the 3D foot profile can be obtained through measurement along the direction vertical to the light section plane.

Key words: 3D foot profile measurement light-section method 3D reconstruction

引 言

光学的三维曲面测量, 由于其非接触、高精度、易于自动控制等优点, 日益受到人们的重视。现有的方法包括莫尔条法^[1]、傅里叶变换法^[2,3]、相位测量法^[4]、光学三角测量法^[5]、几何光学聚焦法等。就其本质而言, 都是通过分析受到三维物体轮廓曲面调制的空间光场, 从而获得物体三维轮廓曲面的信息。这些方法已广泛地应用于人工视觉、实物仿形、自动测量及加工等领域。

在光学三角测量法中, 需预先制作一个高度映射表, 把探测器接收到的物面上的光点位置信息转换成实际高度信息。通常的光学三角测量法只能逐点测量和逐点转换, 需对被测物进行逐点扫描。因此, 在要求测得被测物的 360° 三维轮廓数据时, 必须实现被测物与测量装置之间的相对旋转。而在测量某些物体如人脚时, 由于空间的限制, 难以实现这种相对旋转。我们提出的光切法, 是利用 3 台激光片光对脚进行光切, 在脚的某一个截面上形成封闭光带, 用 3 个 CCD 摄像机对截面光带成像, 可一次获得脚的某一个截面的二维轮廓信息, 再沿光切的垂直方向步进测量, 就可以得到脚的整个三维曲面信息。

* * *

作者简介: 吉选芒, 男, 1965 年 4 月出生。工学硕士, 副教授。现从事物理教学和光折变非线性光学的研究工作。

收稿日期: 2000-05-22