

包括振动弛豫的 超短光脉冲染料放大器理论分析*

方学信 陈国夫 许 林 王贤华 侯 洵

(中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室, 710068)

摘 要 本文将染料的振动弛豫速率引入超短光脉冲染料放大器的速率方程, 建立了包括染料振动弛豫的超短光脉冲染料放大模型. 并且将模型分析的结果与振动弛豫的模型进行了比较, 新模型能更好的解释超短光脉冲染料介质中的放大结果. 提出了一种测量染料振动弛豫寿命的可能的方法.

关键词 振动弛豫; 染料; 超短光脉冲放大

0 引 言

超短光脉冲的放大是近几年国际上活跃的领域, 各种超短光脉冲放大器¹先后出现. 以染料作为增益介质的超短光脉冲放大器是其中很重要的一类, 放大的光脉冲脉宽已短至 $\times 10$ fs, 脉冲能量在低重复率已达到 mJ 量级, 高重复频率时单脉冲能量也达到了 10 μ J 量级². 但是对这类超短光脉冲的理论分析仍停留在简单的二能级速率方程上³. 这种方法分析得到的结果与实验结果有一定的差别, 不能正确的反映染料放大过程. 本文通过考虑超短光脉冲的特征, 将振动弛豫引入染料放大器模型, 给出了一个能描述超短光脉冲放大的速率方程模型. 用该模型分析了铜蒸汽激光器 (CVL) 泵浦的超短光脉冲染料放大器, 将结果与不考虑振动弛豫的模型的结果进行了比较. 同时提出了一种通过改变脉宽测量放大数, 从而测量振动弛豫寿命的方法.

1 模 型

有机染料分子的能级图如图1⁴, 有机染料的一些典型参数如下⁴, 荧光寿命: 1~5 ns; 态交叉弛豫寿命: 290 ns; S_1-S_2 寿命: 30~50 ps; 振动弛豫寿命: 190~500 fs; 转动弛豫寿命: 100~500 ps.

对于我们考虑的超短光脉冲放大, 由于脉宽在 50 fs~500 fs 的范围内, 在放大过程中, 荧光寿命, 态交叉弛豫寿命, S_2-S_1 跃迁寿命, 转动弛豫寿

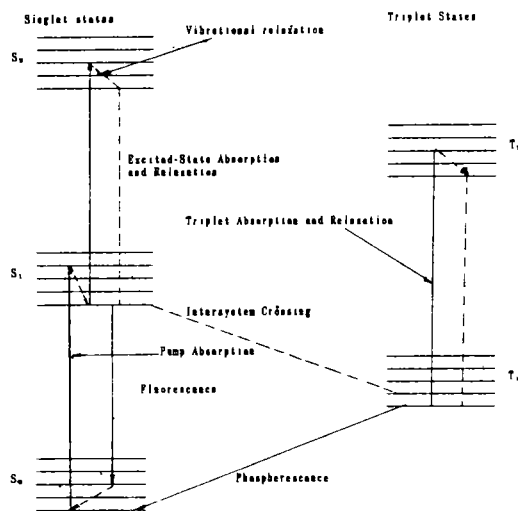


图 1 有机染料分子的能级图,
Fig. 1 The energy level of organic dye molecules.

* 国家自然科学基金资助项目
收稿日期: 1993-08-16

命比脉冲宽度大的多. 这些因素的影响在考虑超短光脉冲的放大中可以忽略. 振动弛豫寿命与光脉冲宽度相比处于同一个量级, 其弛豫寿命与光脉冲宽度相比处于同一个量级, 其弛豫过程将影响光脉冲放大状态, 因此, 有必要将振动弛豫引入光脉冲放大的模型中. 由于泵浦脉冲宽度是ns量级, 因此我们可以将 S_0 的振动高能级态看成一个能级. 使得染料的能级简化为如下的三能级, 如图 2.

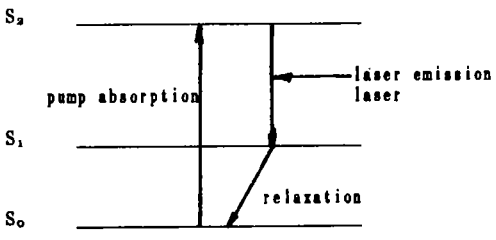


图 2 染料分子简化的三能级图
Fig. 2 Simplified three energy level of dye molecules.

描述三能级速率方程为

$$\begin{aligned} d\Delta n(x, t)/dt &= -2\Delta n(x, t)I(x, t) + n_2(x, t)/t_v \\ dn_1(x, t)/dt &= \Delta n(x, t)I(x, t) - n_1(x, t)/t_v \\ dI(x, t)/dx &= \Delta n(x, t)I(x, t) \end{aligned}$$

其中 $I(x, t)$: 光脉冲强度, $\Delta n(x, t) = n_2(x, t) - n_1(x, t)$, t_v : 振动弛豫寿命. 而旧模型为 $t_v = 0$, 即振动弛豫寿命为无穷小, 激光跃迁下能级 n_1 为零.

从上述方程可知, 当受激速率小时, 即受激辐射寿命比振动弛豫寿命大时, 振动弛豫的寿命影响可以忽略. 而当受激速率达到一定大小时, 即受激辐射寿命比振动弛豫寿命比拟时, 振动弛豫的影响就必须考虑.

2 数值分析

我们对超短光脉冲染料放大器的一种模式进行了数值分析, 这种模式是CVL 泵浦的超短光脉冲放大器. 这种放大器可以产生重复频率5~10 kHz, 能量为 μJ 量级的 $\times 10$ fs的光脉冲. 这种光脉冲可以用于产生连续体, 从而用于时间分辨的光谱实验. 一般CVL 泵浦的超短光脉冲放大器的实验条件如下²: 6级的脉冲放大器, 第5级与第6级之间有一个可饱和吸收体, 其损耗为50%.

我们认为是均匀泵浦, 并假设小信号增益与位置无关, 其具体参数如下:

小信号增益 $G_0 = 11.55$; 脉冲宽度 $t = 100$ fs; 输入脉冲的能量100 pJ. 我们取染料的振动弛豫寿命为 $t_v = 250$ fs.

我们进行了如下的数值分析:

1) 第4次通过, 第5次通过, 第6次通过的放大器的超短光脉冲输出形状如图 3 所示, 从图中可知, 小信号时两个模型分析得到的光脉冲形状差别不大, 而在大信号分析时, 两个模型有明显的差别, 我们认为新模型与实验结果更符合, 这表明考虑振动弛豫的模型是很有必要的.

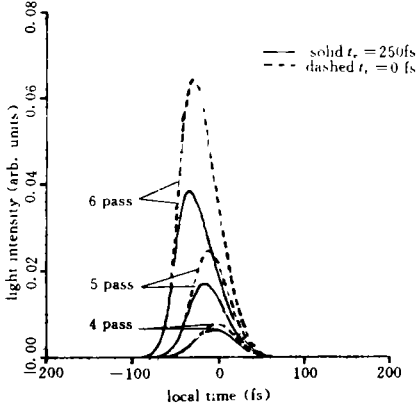


图 3 放大器输出的光脉冲形状
Fig. 3 Output optical pulse shape from amplifier.

2) 各级放大倍数与通过级的关系如图 4 所示, 总放大倍数与通过级的关系如图 5 所示, 从图中可知, 第 5, 6 次通过的增益明显比不考虑弛豫振动时小, 而总增益比原模型小的多. 原模型过高的估计了增益. 我们的结果与 D·Nicke^[2]的实验结果是非常一致的.

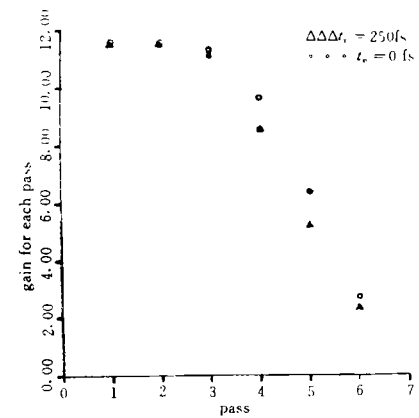


图 4 各级放大倍数与通过级的关系
Fig. 4 The relation of one pass gain with amplified stages

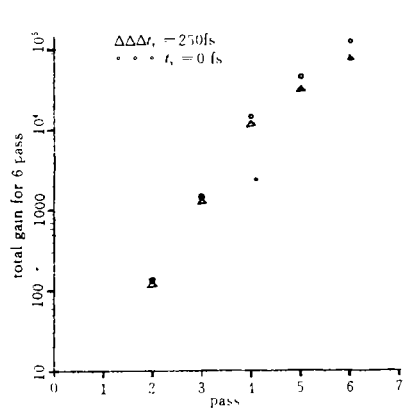


图 5 总放大倍数与通过级的关系
Fig. 5 The relation of total gain with amplified stages.

3) 我们分析了在考虑振动弛豫时放大倍数与脉冲宽度的关系, $t_r = 250$ fs 的结果如图 6 所示, 从图中可知, 新模型的结果是放大器的放大倍数随被放大的脉宽减小而降低, 旧模型的结果是放大倍数与脉冲宽度无关. 图 7 给出了不同振动弛豫寿命的总增益曲线. 从图中可知, 不同的振动弛豫寿命与放大倍数与脉宽的关系是不一样的, 这样就提供了一种方法, 可以通过测量放大倍数与脉冲宽度关系来测量振动弛豫寿命.

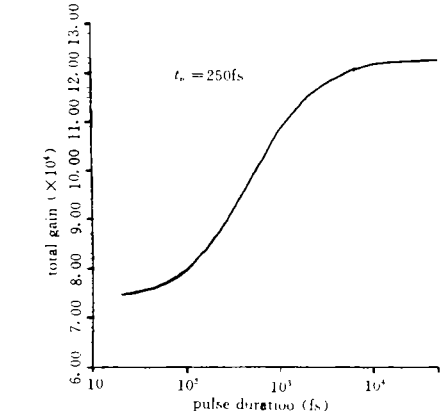


图 6 放大器的放大倍数与脉冲宽度的关系
Fig. 6 The relation of amplifier gain with pulse duration.

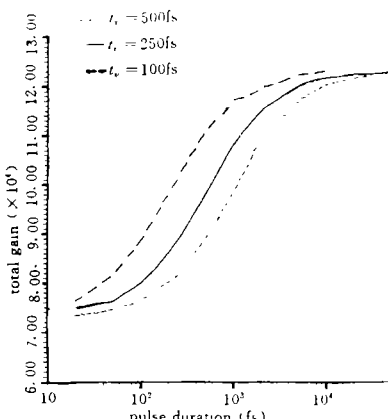


图 7 不同振动弛豫寿命的放大器总增益曲线
Fig. 7 Amplifier total gain of different vibration relaxation lifetime.

3 总 结

我们通过分析超短光脉冲的特征, 建立了包括振动弛豫的三能级模型. 该模型可以

