

低功率染料热光学双稳性

李淳飞 张雷

(哈尔滨工业大学物理系)

M. C. Roshford, H. M. Gibbs

(美国亚利桑那大学光学科学中心)

将若丹明或隐花菁染料置于法布里-珀罗干涉仪中,并以激光入射获得了光学双稳性。不同的溶剂、浓度和腔长具有不同的阈值功率和开关时间,还观察了反射光双稳性、连续功率运转、热漂移现象、不稳定输出效应、交扰效应(crosstalk)和光学多稳态现象。

作者认为此种光学双稳性起因于激光的热效应。激光加热介质和光腔,使折射率和腔长发生变化从而导致相移变化

$$\Delta\phi \simeq \frac{4\pi L}{\lambda} \left(n\alpha + \frac{dn}{dT} \right) \Delta T \quad (1)$$

式中 α 为反射膜层的线膨胀系数。设干涉仪的精细度为 F , 实现双稳运转的相移变化至少为 $\Delta\phi = 2\pi/F$, 则由(1)式可求出相应的温升 ΔT 。而产生此温升的单位面积热能密度为

$$\Delta Q = C\rho L\Delta T \quad (2)$$

式中 C 和 ρ 分别介质的比热与密度。

热双稳器件的开关时间取决于热传导的速度,二者具有同数量级。考虑腔轴方向的热传导方程,可得热能密度的另一表达式

$$\Delta Q = K \left(\frac{\Delta T}{\Delta X} \right) \Delta t \quad (3)$$

式中 K 为热传导系数。我们设 ΔX 为腔长 L , 由(2)与(3)式得热传导时间为

$$\Delta t = \frac{1}{K} C\rho L^2 \quad (4)$$

由(1)至(4)式导出实现双稳运转所需的阈值激光功率密度为

$$\omega = \frac{\lambda k}{2F\eta L^2 \left(n\alpha + \frac{dn}{dT} \right)} \quad (5)$$

η 为激光能量转换成介质吸收热的效率。

对乙二醇为溶剂的若丹明染料,据(5)算得阈值激光功率密度为 $3\text{mW}/\text{mm}^2$ 。据(4)式算得热传导时间当腔长为 $10\mu\text{m}$ 时为 1ms ; 当腔长为 $1\mu\text{m}$ 时为 $10\mu\text{s}$ 。

本实验采用 He-Ne 激光和 Ar^+ 激光光源,染料溶液靠毛细作用置于 $L < 100\mu\text{m}$ 的干涉仪的两反射镜之间,用透镜将激光聚焦于染料上。实验测得维持双稳运转的最低功率为 4mW , 开关时间在 $20\mu\text{s}$ 至 10ms 范围。这说明理论计算与实验结果基本一致。

我们的结论是：染料光学双稳性是一种具有热机制的本征型光学双稳性。它仅需很低的激光功率，但开关时间不太快。要想降低双稳性所需的光功率，由(5)式，应该提高干涉仪的精细度，或者选取折射率随温度变化较大的介质，激光的波长应接近介质的吸收峰。要想加快开关速度，由(4)式，需缩短腔长或选择导热系数大而比热和浓度低的介质。

(清华大学学报)

作者：L. M. Wang

(中国科学院)

摘要：本文研究了染料光学双稳性的热机制。通过理论分析和实验验证，证明了染料光学双稳性是一种具有热机制的本征型光学双稳性。实验结果表明，染料光学双稳性的开关时间受激光功率、干涉仪精细度、介质折射率随温度变化率、激光波长等因素的影响。为了提高开关速度，应缩短腔长或选择导热系数大而比热和浓度低的介质。

(a)
$$((1-N) \cos \alpha - 1) \times 2 = 0$$
 及与介质分子密度对数成正比

(b)
$$(T-1) \times = (1-N) + \frac{1}{\beta}$$
 的实验结果，与理论多普勒展宽相符合。

图1 实验装置示意图。图中显示了激光光源、干涉仪、染料溶液池、探测器等部件。图2 染料光学双稳性的实验结果。图中展示了在不同激光功率下，染料溶液池的透射率随时间的变化曲线。图3 染料光学双稳性的理论计算结果。图中展示了在不同参数下，染料光学双稳性的理论计算结果。