

光反馈对 CO_2 激光器不稳定性的影响*

张立根¹⁾ 陈楠鹏 巴恩旭

南开大学现代光学研究所, 天津, 300071

1989 年 2 月 11 日收到

利用光反馈研究了光场横向分布对 CO_2 激光器不稳定性的影响. 实验上观测到光反馈引起激光脉动频率漂移和混沌运转等现象. 讨论了光场横向分布产生激光非稳性的机制.

PACC: 4255D; 0545; 4255

一、引 言

近年来,激光不稳定性和混沌发射的研究十分活跃,观察到激光输出自脉动、周期和准周期振荡以至混沌运转的实验已扩展到各种各样的激光系统^[1-10]. 但在实验过程中,基本上没有考虑光场和原子变量的横向分布对激光输出不稳定性的影响. 相应地,处理激光非稳性的理论模型,也大都采用了平面波近似. 平面波 Maxwell-Bloch 理论虽然描述了激光非稳性的存在,给出的某些理论结果与实验基本一致,但随着激光非稳性研究的深入,发现实际激光系统失稳以及出现混沌运转的阈值远低于理论给出的出现非稳性的第二阈值. 其它与理论预言不符的实验结果也有报道^[11]. 这表明平面波 Maxwell-Bloch 理论仅是描述激光动力学行为的近似理论,其中必有某些重要部分被忽略. 不久前, Lippi 和 Abraham^[11] 考虑腔膜横向结构,对基模高斯型分布产生的影响进行了探讨,高锦岳和 Narducci 等人²⁾对场的横向分布仅沿径向变化的轴对称系统进行了理论计算. 最近,我们做了一系列实验,通过光反馈改变腔内光场横向分布,观察到光反馈引起激光脉动频率漂移以及混沌运转等现象,证明光场和反转粒子数布居(以下简称反转布居)的横向分布是产生激光不稳定性的主要根源.

二、实 验 装 置

实验装置如图 1 所示. 用于实验的激光器是具有均匀展宽的连续输出 CO_2 激光器. 腔长 1 米,平凹腔结构. 曲率半径 1.7 米的金镜安装在带有压电陶瓷的精密调整架上. 激光管内总气压 20 托,压力展宽约 130 兆,纵模间隔约 150 兆,可以保证激光单纵模运转. 调整插入腔内的光栏 3,可使激光器处于基横模或高次横模状态. 石英制的激光管安装

* 国家自然科学基金资助的课题.

1) 工作单位: 河北轻化工学院.

2) 高锦岳, L. M. Narducci 等,量子电子学,4(2)(1987),93.

在大理石基座上,整个系统放置在减振台上,保证系统有良好的热稳定性和机械稳定性.激光器由高稳定的高压直流电源放电激励.平凸锗透镜4和平面全反镜5构成光反馈系统.改变镜5的倾角和反馈光栏6的位置,可以改变反馈光的强度和进入光腔的光斑面积.碲铬汞高频红外探测器接收到的光强信号,经放大输入TF2370频谱仪和SBM-14高频示波器,分别得到激光输出的功率谱及随时间变化的波形图.

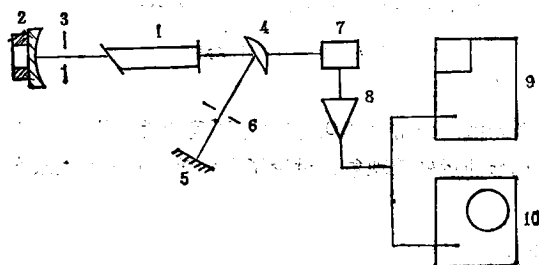


图1 实验装置

1.为CO₂激光管;2.为凹面金镜;3.为腔内光栏;4.为平凸锗透镜;5.为平面金镜;6.为反馈光栏;7.为探测器;8.为前置放大器;9.为TF2370频谱仪;10.为SBM-14高频示波器

三、实验结果

所有实验观察都是在激光器经过长时间运转达到稳定后进行的.可以认为,暂态过程和外界的影响基本上消除.实验中得到主要结果概括如下:

1. 光反馈诱发激光脉动输出.在无光反馈情况下,适当调整凹镜的倾角和腔长,当腔内光栏孔径为某一值时,得到具有一定横模结构的稳定激光输出.图2是相应的光斑花样.加上光反馈,调整镜5的倾角,改变反馈光束进入激光增益介质的光斑面积,当镜5倾角为某一位置时,激光输出呈现一定频率的脉动.挡掉反馈光束,脉动消失.随着反馈光的有无,脉动与稳定输出交替出现.图3给出观测结果.实验中发现,平移镜5对激光脉动输出无明显影响,而改变其倾角则显著影响激光的输出特性.这意味着,反馈光的强度和横向分布对产生激光脉动起决定作用.



图2 光斑花样

2. 反馈光也可抑制激光脉动输出.改变激光振荡的横模结构,实现无光反馈下的脉动输出.当加适当光反馈时,脉动消失.若再挡掉反馈光,脉动又重新出现.

3. 反馈光可改变激光的脉动频率.在无光反馈时,激光输出为频率 f_1 的脉动,加上光反馈,频率 f_1 的脉动消失,同时出现频率 f_2 的脉动输出,在不同横模结构下, $f_1 > f_2$ 或 $f_1 < f_2$ 两种情况都观察到,图4给出 $f_1 < f_2$ 的情况.

4. 光反馈改变激光脉动尖峰信号的强度.无光反馈时,一定横模结构的激光输出,显

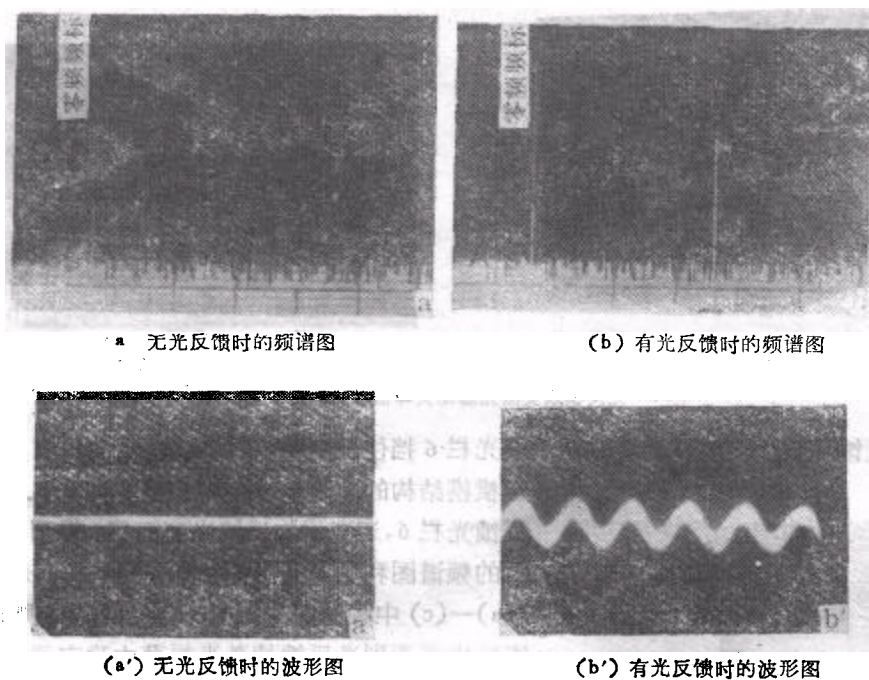


图3 光反馈诱发激光脉动输出

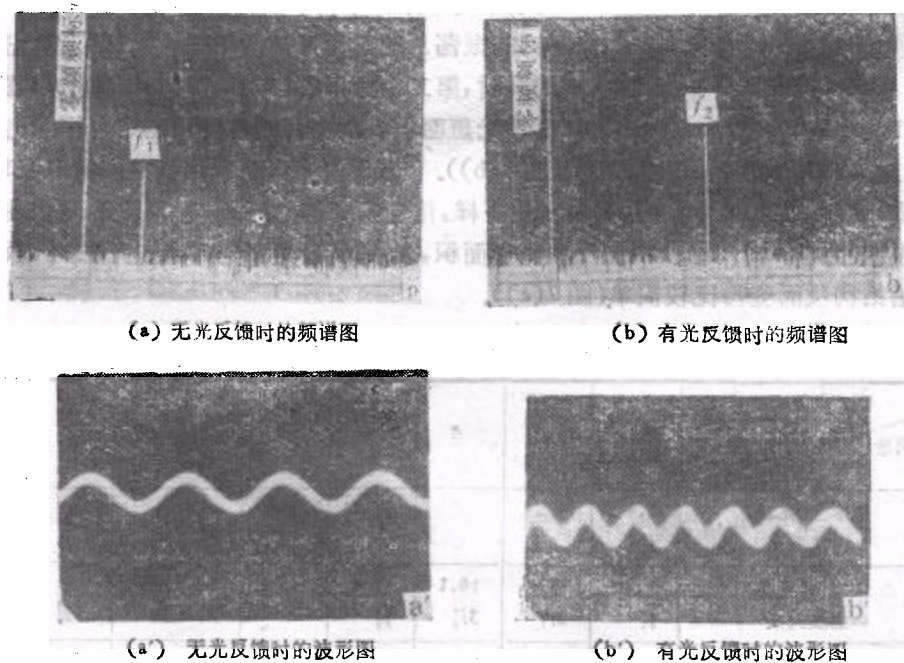
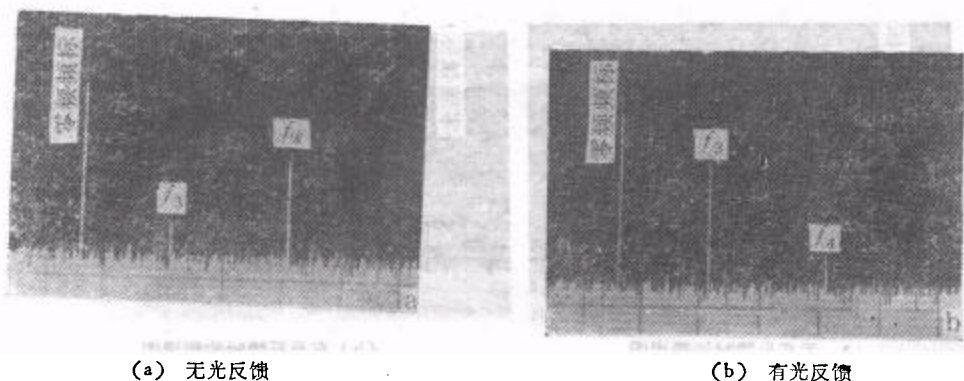


图4 光反馈改变激光的脉动频率

示出两个不同频率的尖峰信号 f_3 和 f_4 , 它们的相对强度如图 5(a) 所示。加适当的光反馈, 两个尖峰信号的位置在频谱仪上不变, 但相对强度变化, 如图 5(b) 所示。若挡掉反馈光, 频谱图又恢复到图 5(a) 的样子。



(a) 无光反馈

(b) 有光反馈

图 5 光反馈改变激光脉动尖峰信号的强度

5. 光反馈导致激光混沌运转. 用反馈光栏 6 挡住反馈光束, 调整激光腔, 得到具有一定横模结构的激光输出, 光斑花样如图 6.



图 6 光斑花样

移动反馈光栏 6, 逐渐增加反馈光斑面积, 得到图 7 所示的频谱图和图 8 所示的波形图. 表 1 列出图 7(a)~(c) 中频谱照片上尖峰信号的频率测量值. 实验中观测到光反馈使激光振荡由稳定通过 Ruelle-Takens 路径通向混沌的过程. 在无光反馈时(图 7(a), 图 8(a)), 激光输出为频率 f_1 (3.4 兆赫) 的振荡. 随着光反馈的增强, 在 f_1 的谐波出现的同时, 第二个频率 f_2 (17.6 兆赫) 产生出来(图 7

(b)). f_1 和 f_2 没有谐波关系. 继续增加反馈光斑面积, f_1 和 f_2 的各种可能组合相继出现(图 7(c)), 激光输出表现为准周期振荡(图 8(b)). 当反馈光斑面积达到某一特定值时, 激光输出波形杂乱无章(图 8(c)), 频谱变化多样, 信号幅度起伏很大, 呈现出混沌状态特有的展宽频带(图 7(d)). 继续增加反馈光斑面积, 直到反馈光束全部通过光栏 6, 激光输出的频谱结构反而变得比较简单(图 7(e)).

表 1 图 7(a)~(c) 中尖峰信号频率测量值

频谱图	测量数据	尖峰信号 (由左向右)						
		1	2	3	4	5	6	7
(a)	频率值(兆赫)	3.4						
	谐波关系	f_1						
(b)	频率值(兆赫)	3.3	6.7	10.1	17.6			
	谐波关系	f_1	$2f_1$	$3f_1$	f_2			
(c)	频率值(兆赫)	3.2	6.5	9.6	13.5	16.8	19.8	23.1
	谐波关系	f_1	$2f_1$	$3f_1$	$f_2 - f_1$	f_2	$f_2 + f_1$	$f_2 + 2f_1$

6. 为了进一步研究光场横向分布对激光不稳定性的影响, 我们用多模 He-Ne 激光器和 Ar⁺ 激光器做了类似的光反馈实验. 同样发现反馈光对激光输出的脉动频率有影响. 连

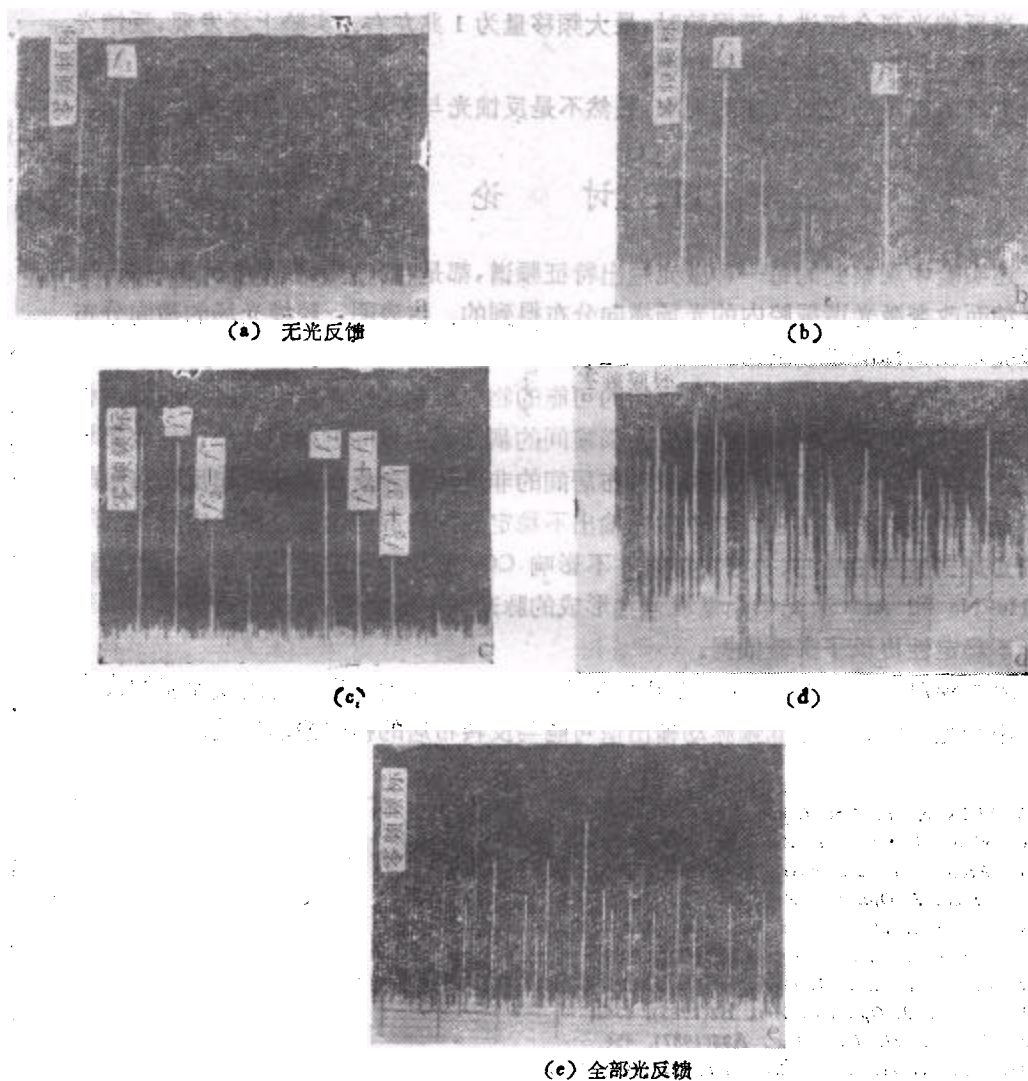


图 7 光反馈导致激光混沌运转
由(a)到(e)为逐渐加大反馈光斑面积的过程

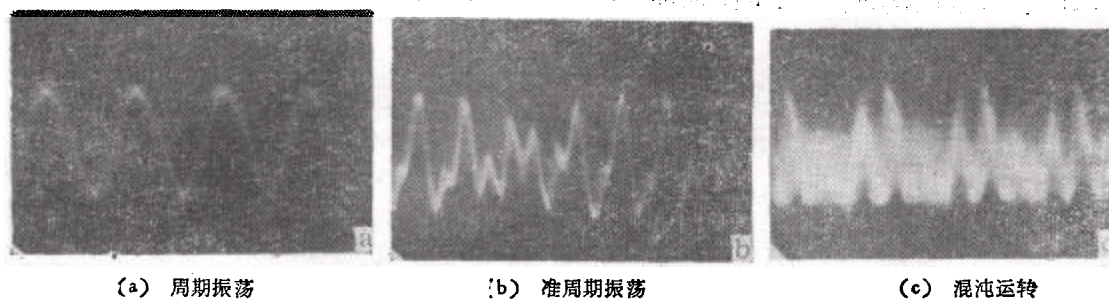


图 8 以图 7 同时记录的波形图
(a)→(c) 为逐渐加大反馈光斑面积的过程

续增加进入谐振腔的反馈光斑面积, 相应于横模差拍^[42]造成的激光脉动频率由小变大连

续改变。当反馈光斑全部进入谐振腔时,最大频移量为 1 兆左右。实验上还发现,反馈光束不影响纵模差拍形成的激光脉动频率。

综观上述由自脉动达到混沌的现象,显然不是反馈光与腔模场干涉的结果。

四、讨 论

1. 上述实验中观察到的每一种激光输出特征频谱,都是在其它参数不变的条件下,仅通过光反馈而改变激光谐振腔内的光场横向分布得到的。这表明,腔模光场的横向分布是产生激光不稳定性的的重要因素。

2. 光场横向效应对激光不稳定性影响的可能的物理机制是: 实验上观测到的特定横向分布的光场是不同横模间耦合的结果。横模间的耦合引起模间的激烈竞争,导致光场横向分布结构随时间变化。而光场和反转布居间的非线性耦合反过来又引起反转布居的横向不稳定性,即横向振荡,从而导致激光输出不稳定性以致混沌运转。实验中观测到的特定反馈光斑引起激光混沌、平移反馈镜 5 不影响 CO_2 激光输出的脉动频率、反馈光束不影响 He-Ne 和 Ar^+ 激光中由纵模差拍形成的脉动频率等现象,为反转布居横向振荡引起激光不稳定性提供了实验依据。

3. 实验中观测到一些相当低(零点几兆到几兆)的激光脉动频率,与用横模差拍公式算出的频率相差甚大。这些低频脉动输出很可能与反转布居的横向振荡有关。

- [1] C. O. Weiss *et al.*, *Opt. Comm.*, **44**(1982), 59.
C. O. Weiss, *J. Opt. Soc. Am.*, **B2**(1985), 137.
- [2] F. T. Arecchii *et al.*, *Phys. Rev.*, **A34**, (1986), 1617.
- [3] P. Lett *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, **B2**(1985), 1615.
- [4] L. M. Hoffer *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, **B2**(1985), 102.
- [5] R. Holzner *et al.*, *Phys. Rev.*, **A36**(1987), 1286.
- [6] L. W. Casperson, *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-14**(1978), 756.
- [7] E. Brun *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, **B2**(1985), 156.
- [8] D. J. Biswas *et al.*, *Phys. Rev.*, **A35**(1987), 456.
- [9] D. Dangoisse *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **57**(1986), 2657.
- [10] Li-Xue Chen, Chun-Fei Li *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, **B5**(1988), 1160.
- [11] G. L. Lippi and N. B. Abraham, *Phys. Rev.*, **A35**(1987), 3978.
- [12] 巴恩旭、吕可诚等,中国激光,**11**(1984),105.

EFFECTS OF LIGHT FEEDBACK ON CO_2 LASER INSTABILITIES

ZHANG LI-GEN, CHEN NAN-PENG, BA EN-XU

Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin, 300071

(Received 11 February 1989)

ABSTRACT

The effects of transverse distribution of light field on CO_2 laser instabilities are studied by means of light feedback. The phenomena of pulsing frequency shift and chaos in CO_2 laser caused by light feedback are observed experimentally. The mechanism of laser instabilities resulting from the transverse distribution is discussed.

PACC: 4255D; 0545; 4255