

· 研究简报 ·

横向反馈增强的超小型光泵亚毫米波激光器^{*}

黎 耀 林贻堃

(中山大学无线电电子学系)

摘 要 本文研究超小型光泵亚毫米波激光器的一些特性,证明管壁反射系数对小型激光器的输出功率有重要的积极影响,管壁反射系数越大,输出功率也越大。实验发现当横向反馈足够强时,最佳工作气体压强出现双峰现象。

关键词 小型光泵亚毫米波激光器,横向反馈增强效应,工作气体最佳压强

亚毫米波段可以应用在太空基地雷达和太空通信中^[1]。亚毫米波的应用前景促进了小型化光泵亚毫米波激光器的研究。Everitt等研究成功CW腔式光泵亚毫米波激光器,把样品管的长度从传统的2 m缩小到5 cm^[2]。林贻堃等成功地采用脉冲无腔的方案研制出1 cm到5 cm长的光泵亚毫米波激光器,发现横向反馈增强效应在小型化亚毫米波激光器中充当重要角色^[3]。本文讨论存在横向反馈增强效应的超小型光泵亚毫米波激光器的输出特性。

1 横向反馈小型光泵亚毫米波激光实验

实验系统由TEA-CO₂激光器, NH₃分子激光器, 测量系统以及真空系统组成。我们设计了不同材料、不同内径样品管的NH₃激光器。样品管由基本结构和一系列小圆筒组成,基本结构内径为28mm,而小圆筒有铝、黄铜、紫铜3种材料和内径为18 mm, 22mm两种规格共6个,外径都是27.5mm。分别将小圆筒套入基本结构内,便得6个不同横向参数但纵向长度相同的小型激光器。我们已研制成功的小型光泵亚毫米波激光器,样品管长度最短的为1.5cm,但实验上发现,它的输出能量比样品管长度为5cm左右的激光器的输出能量低得多。因此,为了更加明显反映横向参数的影响,设计的样品管的长度为39mm。

2 横向反馈增强效应

实验表明,由于管壁反射引起的横向反馈,对超短光泵亚毫米波激光器的输出功率起着重要的积极作用。我们称这种效应为横向反馈增强效应。

本文1992年4月2日收到

^{*}国家教委博士点基金和中山大学科学基金资助项目

亚毫米波激光工作介质由泵浦激光激活,其受激辐射的极化方向与泵浦光束的极化方向有一定的关系。被激活的分子将向垂直于极化方向的所有其它方向辐射亚毫米波信号。沿光轴方向(纵向)辐射的亚毫米波信号,在传输过程中不断被激活介质放大,最后成为激光器的输出信号。沿横向辐射的亚毫米波信号被管壁反射,在管内横向方向上来回传播多次,在传播过程中也不断被激活介质放大,因而其强度达到一个很高的水平。当谐振条件满足时,还可以形成稳定的横向驻波。由于横向和纵向两个信号都属于同一对能级之间的跃迁,因此,被多次放大的横向信号将耦合到纵向信号上,使纵向信号得到加强。而纵向传播的信号在传播过程中又进一步得到激活介质的放大,最后从样品管的末端输出,其输出功率将比无横向反馈时要大得多。这就是横向反馈增强效应的机理。

2.1 样品管管壁反射系数的影响 图1比较了3种材料样品管激光器输出能量随工作气体压强的变化关系(实验值)。在亚毫米波段内,紫铜的反射系数较大,铝次之,黄铜较小,因此,图1实际上代表了3种不同管壁反射系数对小型激光器输出能量的影响。从图中可以看出,管壁反射系数越大,激光器的输出量也就越大。在存在横向反馈的小型激光器中,管壁反射系数是一个很重要的因素。管壁反射率越大,横向传输的信号能量损耗就越小, Q 值越高,越有利于横向形成驻波。形成驻波还有一个条件,就是反射距离满足谐振条件。在我们的实验中,样品管内壁的加工精度仅为 $\nabla 3$,对于工作波长 $\lambda = 90\mu\text{m}$ 的 NH_3 激光来说,反射面是非常粗糙的,因而管壁出现的是漫反射。漫反射对形成驻波不利,但是,对于圆柱形样品管来说,漫反射同样能使横向传输的信号在管内来回反射多次,在传输过程中不断被激活介质放大。在实验中测量小型光泵亚毫米波激光器的极化方向,结果表明,输出激光没有固定的极化方向。这正好说明了在圆柱形样品管中管壁对横向传输的信号漫反射,多次改变方向,使极化方向信息丢失。在许多已报道的波导型光泵亚毫米波激光器中,输出信号的极化方向都是检测不到的^[4]。

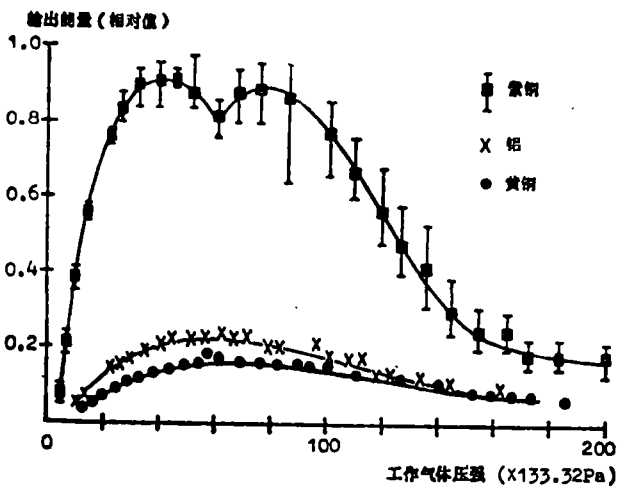


图1 $\phi 18\text{mm}$ 不同材料样品管超小型光泵亚毫米波激光器输出能量的实验曲线

Fig.1 Experimental curves of the output power of miniature optically pumped SMMW lasers of three sample tubes with $\phi 18\text{mm}$ inner diameter

2.2 样品管内径的影响 比较紫铜样品管的两个不同内径的激光器的输出能量可知，内径为 $\phi 22\text{mm}$ 时的最佳工作气体压强下的输出能量比 $\phi 18\text{mm}$ 时要小，而且，当工作气体压强高于最佳气体压强时，前者的输出能量随工作气体压强的升高而下降得比后者快，如图 2 (a)所示。在小型光泵亚毫米波激光器中，样品管内径也就是横向信号来回反射的距离，当泵浦激光光斑充满样品管的横截面时，横向反射的信号在整个传输空间内都得到放大。实验中光斑直径约为 10mm ，比样品管横截面尺寸要小。对于分子气体，它的散射时间^[5]为 $\tau_D \sim 5.6 \times 10^{-8} P \cdot r (\text{s})$ ，其中 P 为气体压强，单位为 133.32Pa ， r 为样品管半径，单位为 cm ，而分子的弛豫时间为 $10^{-8}/P(\text{s})$ 量级，泵浦激光脉冲长度也为 100ns 量级，一般的放大自发辐射亚毫米波激光器的工作气体压强为 $1 \times 133.32 \sim 100 \times 133.32\text{Pa}$ ，样品管半径为 cm 量级，所以，分子的散射时间远比弛豫时间和泵浦脉冲长度要长，也就是说，在泵浦激光脉冲的有效时间内，或在分子的弛豫过程结束之前，气体分子还来不及扩散，因此，光斑内的分子被激活而光斑外的分子不会被激活。横向

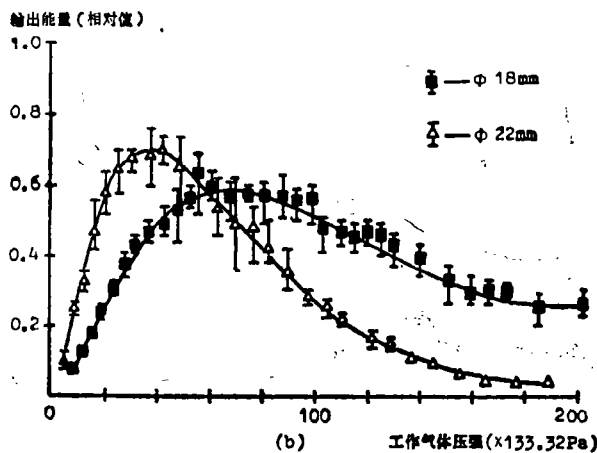
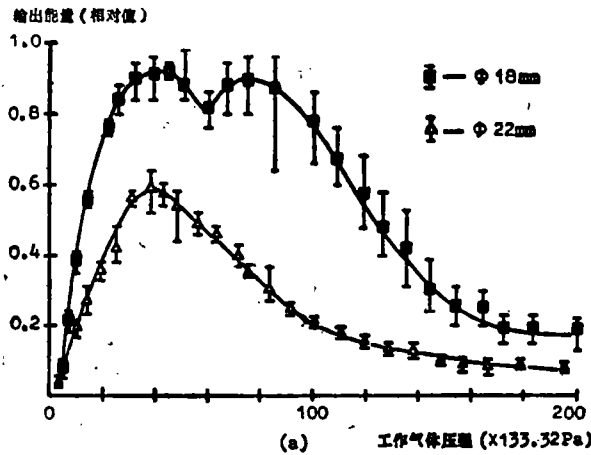


图 2 不同内径超小型光泵亚毫米波激光器输出能量的实验曲线 (a)紫铜样品管；(b)黄铜样品管
 Fig.2 Experimental curves of the output power of miniature optically pumped SMMW lasers with different inner diameters

信号在多次反射传播的过程中,只有在光斑内才得到放大,而在光斑外被气体自吸收。光斑大小与样品管横截面大小之比越小,则自吸收越严重。由于这个原因, $\phi 18\text{mm}$ 样品管的最大输出能量要比 $\phi 22\text{mm}$ 样品管的大,对三能级系统外的能级引起的自吸收的研究表明, NH_3 90.43 μm 谱线的自吸收系数与工作气体压强的平方成正比^[6],即自吸收系数随工作气体压强的升高而迅速增大,因此,在高气压区,样品管内径大的激光器的输出能量比内径小的激光器的输出能量随工作气体压强的升高而下降得较快。

黄铜样品管的激光输出能量与内径大小的关系在高气压区与紫铜的情况是一致的,即内径越大输出能量随工作气压的增加而下降得越快。然而,最大输出能量与内径的关系却与紫铜的情况相反(图2b)。这可能是 $\phi 22\text{mm}$ 黄铜样品管的管壁反射系数比 $\phi 18\text{mm}$ 黄铜样品管的管壁反射系数稍高之故。由于加工精度不同,造成同一种材料的反射系数有所差异是完全有可能的。另外,在低气压区三能级以外的能级所造成的自吸收很小^[6],而 NH_3 的90.43 μm 谱线是第一振动激发态 v_2 能级 $s(7,0)$ 与 $a(6,0)$ 之间的转动跃迁,在热平衡态下振动激发态的集居度很小,由这两个能级之间跃迁本身引起的气体介质对亚毫米波辐射信号的自吸收也很弱。当管壁的反射率不高时,横向传输的信号的能量损耗就主要由管壁的不完全反射造成,故管壁反射系数的差异会敏感地反映到对输出能量的影响。

2.3 双峰现象 $\phi 18\text{mm}$ 紫铜样品管的小型激光器的输出能量随工作气体压强的变化关系的实验曲线出现双峰现象,如图1所示,第一个峰在 $P = 40 \times 133.32\text{Pa}$,而第二个峰在 $P = 80 \times 133.32\text{Pa}$ 左右。双峰现象的出现,是横向反馈和纵向受激辐射以及纵向反馈相互作用的结果,有待进一步的研究。

3 结论

我们在实验上研究了样品管管壁反射系数和样品管内径对输出功率的影响。管壁反射系数影响输出功率,而基本上不影响最佳工作气体压强,管壁反射系数越大,输出功率也越大;在内径大于光斑直径的前提下,内径越大反而输出功率越小,这是由于光斑外的工作介质的自吸收所致。实验上还发现,当管壁反射系数较大时,输出功率随工作气压的变化曲线出现双峰现象。对双峰现象的研究有望进一步提高小型光泵亚毫米波激光器的输出功率。

参 考 文 献

- 1 Frerking M A. *Int J IR-MMW*, 1987, 8:1211
- 2 Everitt H O, Skatrud D D, Celucia F C. *Appl Phys Lett* 1986, 49:995
- 3 Li Yao, Luo Xizhang, Lin Yikun. *IR Phys*, 1991, 32:251
- 4 Lourtioz J-M, Meyer C. in *REVIEWS OF IR AND MMW*, ed K J Button *et al.* Plenum Press, N Y, 1981, 2:53
- 5 Chang T Y. in *REVIEWS OF IR AND MMW*, ed K J Button *et al.* Plenum Press, N Y, 1981, 2:1
- 6 林贻莹, 郑兴世, 罗锡璋等. *红外与毫米波学报*, 1991, 10:359

Transverse Feedback Enhanced Miniature Optically Pumped Submillimeter Wave Lasers

Li Yao Lin Yikun*

Abstract The characteristics of miniature optically pumped submillimeter wave lasers were studied experimentally. The output power of the miniature laser was affected by the reflectivity of the inner wall of the sample tube and was observed to increase as the reflectivity increases. There were two operating pressures at which output power was optimum for strong transverse feedback.

Keywords miniature optically pumped SMMW laser, transverse feedback enhancement, optimum operating gas pressure

* Department of Radio and Electronics, Zhongshan University