

· 研究简报 ·

小型光泵远红外激光器中横向反馈增强效应*

黎 耀 罗锡璋 林貽堃

(无线电电子学系)

摘 要

在实验上首次观测到小型光泵远红外激光器中的横向反馈增强效应。

关键词 小型光泵远红外激光, 横向反馈增强效应

波长小于1mm的远红外激光可在外层空间无损耗地传输而且可实现外差法接收, 波束方向性好, 天线系统可以实现小型化平面化^[1]. 远红外波段被认为可以应用在太空基地雷达和太空通信中^[2]. 在从事小型化研究方面, 1986年H.O. Everitt等人研究成功CW光泵腔式远红外激光器, 把样品腔的长度缩小到5cm^[3]. 邹矩佳、罗锡璋等人采用脉冲无腔的方案研制成功1cm到5cm长的OPFIRL^[4~6].

已经报道^[7], 由于管壁反射引起的横向反馈对光泵远红外激光器(OPFIRL)的输出功率有很大的影响. 实验表明, 当样品管长约为2m, 内径为68mm时, 则管壁反射系数越大则激光器的输出功率就越小. 我们发现, 横向反馈对超短光泵远红外激光器的输出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.

1 横向反馈增强小型OPFIRL实验

实验装置是一个传统的光泵远红外激光器系统^[4], 但样品管是全新设计的, 用以观测横向反馈的增强作用. 其结构仍属于超辐射形式, 泵浦输入端窗口为NaCl晶体, 远红外激光输出窗口为Teflon片. 两窗口分别对红外和远红外的吸收和反射都很小. 样品管用铝加工而成, 内径为30mm, 有效长度为45mm. 管内在横向方向上装有一对可调的平行反射镜, 一个是平面镜, 一个是凹球面镜.

在实验中仔细调节两个反射镜的距离, 可以观察到横向反馈的增强作用. 从实验结果可以看出, 输出功率随两镜的距离呈周期性变化, 类似于谐振腔的调谐作用. 当横向反馈的距离为激光的半波长的整数倍时, 横向反馈形成驻波, 纵向输出最大, 也即激光器的输出最大, 输出远红外激光功率密度约200W/cm².

2 横向反馈增强效应的理论模型

远红外激光工作介质由泵浦激光激活, 其受激辐射与泵浦光束有相同的极化方向.

本文1990年7月4日收到

* 国家教委博士点基金资助项目; 1990年6月北京毫米波与远红外技术国际会议邀请报告

假定泵浦光束为线性极化,垂直于光轴方向,那么,远红外辐射将向两个方向传播,即向光轴方向和向横向方向传播,向横向方向的传播既垂直于光轴,也垂于极化方向。沿横向传播的远红外辐射被管壁反射,在管内横向方向上来回传播多次,在传播过程中不断被激活介质放大,因而其强度达到一个很高的水平。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感应到纵向信号上来,使纵向信号得到加强。而纵向传播的信号在传播过程中还进一步得到激活介质的放大,最后在样品管的末端输出。这就是横向反馈增强效应的机理。

由于横向反馈的存在,泵浦场、远红外场与工作物质分子的相互作用和交换能量过程将变得更为复杂。为了分析方便,我们提出一个简化的物理模型。把激光工作物质沿光轴方向(即纵向)平分为 N 个小段,而每个小段沿横向又分为 I 个小区。第 n 小段的输入光强为 I_{n-1} ,它将激励该段内的分子辐射远红外信号,正如前面所讨论的,受激远红外辐射将沿两个方向传播。沿横向方向传播的信号由该段内的每一小区的激活分子放大,由于管壁的反射,这种放大过程将往返多次。被多次放大的横向信号感应成纵向传播信号,作为该小段放大后的输出信号。而这个小区段的输出信号,即是下一小区的输入信号。

利用上述模型,便可用迭代法计算出激光器的输出功率。

3 横向反馈增强小型OPFIRL理论研究

当 $I_p = 4 \text{ MW/cm}^2$, $L = 1.5 \text{ cm}$, $D = 3 \text{ cm}$, 管壁的反射系数 $R = 0.001$, FIR信号在横向腔内往复来回传输 M 次,获得 I_s-P 理论曲线。两者比较,最佳工作气体压强相同,等于50毛,但实验曲线的形状比较钝而理论曲线比较尖锐。这主要是因为理论计算时,我们假设了侧向反射面是平面,而实验中的样品管其侧面是圆柱面;假定了泵浦光束理想平面波,而实际上 CO_2 泵浦激光为高斯光束,其中心强度最高,而离开中心,强度很快减弱。计算表明,不同的 D 所对应的最佳工作气体压强 P_{opt} 是不同的,当 D 减少时, P_{opt} 移向高端;不同 I_p 强度所对应的 P_{opt} 值也不同,当 I_p 减少时, P_{opt} 移向低端。一方面,实验中的泵浦激光为高斯光束,意味着泵浦对工作物质的作用在中心处最强,其他地方较弱,因而总的FIR激光输出既有较强泵浦的贡献也有较弱泵浦的贡献, I_s-P 曲线也就由此向低端变纯。另一面,OPFIRL样品管截面是一个圆,意味着FIR信号在样品管中来回反射的距离不同,中间处最大(为 D),两旁均比 D 小,因而横向反馈既有反射距离为 D 的贡献也有反射距离比 D 小的贡献,其效果是使 I_s-P 曲线向高端变纯。综合以上两个方面的讨论可见,理论计算时如果样品管也取圆柱形侧面,则理论结果与实验结果将吻合得更好。

4 结论

在实验中观察到的横向反馈的增强效应,对小型化光泵远红外激光器起着积极作用。在设计制造管长3cm以下的激光器时必须充分考虑和利用这种效应。所提出的理论模型与实验结果相符,对光泵远红外激光的小型化研究有指导意义。

参 考 文 献

- [1] Rebeiz, G M et al., *Int. J. IR-MMW*, 8 (1987), 10, 1249
[2] Frerking, M A *Ibid.*, 8 (1987), 10, 1211
[3] Everitt, H O et al., *Appl. Phys. Phys. Lett.*, 49 (1986), 16
[4] 罗锡璋等, *Int. J. IR-MMW*, 10 (1989), 2, 237
[5] 邹钜佳等, 中山大学学报(自然科学版), 28(1989), 1, 95
[6] 林贻莹等, *Int. J. IR-MMW*, 10 (1989), 12, 1427
[7] Plettl A, *IR. Phys.*, 28 (1988), 6, 405

Transverse Feedback Enhancement Effect in a Miniature Optically Pumped Far-infrared Laser

Li Yao Luo Xizhang Lin Yikun

Abstract

The transverse feedback enhancement effect in a miniature optically pumped far-infrared laser was demonstrated experimentally and theoretically. The effect was proved to be an active role in the miniature OPFIRL.

Keywords: miniature OPFIRL, transverse feedback enhancement effect