

约束放电激励型二氧化碳激光器研制成功

岳忠厚 邹立尧

(国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100083)

[关键词] CO₂激光器, 基模, 辉光放电, 磁约束, 转换效率

1994年7月, 国家自然科学基金委员会在武汉主持召开了由华中理工大学陈清明教授承担的基金项目“约束放电激励型气体激光器的探索”鉴定会。以中国科学院院士王大珩先生和周炳琨先生为正、副主任的鉴定委员会认为, “课题组出色地完成了该项目规定的任务”, “创造性地提出了气体激光约束放电的激励方法”。以陈清明教授为首的课题组从理论上研究了约束放电激励的动力学过程, 并求解了约束放电条件下的 Boltzman 和 Langevin 方程, 提出并实现了约束放电激励下电子行为的 Monte Carlo 模拟, 建立了约束放电的原理性实验装置, 研究了约束放电的伏安特性和光谱特性, 从而证实约束放电激励能够提高均匀稳定的工作范围, 并有可能控制电子的能量分布, 实现选择激励, 提高激光器的效率。他们建立的约束放电激励的高功率二氧化碳激光器的实验装置, 输出功率千瓦级准基模时, 电光转换效率可达 13.4%。他们采用横流激光器技术得到了快轴流激光器高光束质量的效果。专家们认为该项目的实验结果“在电光转换效率上超过了国内外现有低阶模横流激光器的水平, 在光束质量方面达到了国内外现有快轴流激光器的水平”。鉴定委员会一致认为, “该项目所提出的在阴极区附近巧妙地设置正交磁场实现气体激光的约束放电激励方法属国际首创, 在理论和实验上都取得了重要突破。”

几十年来, 我国研制建造了多种类型的气体激光器, 大多数都是追踪国外的结构形式, 但以陈清明教授为首的课题组则在前人研究的基础上, 大胆创新, 提出了在阴极区附近设正交磁场的方法来实现约束放电, 使自己的工作步入国际先进行列。约束放电激励的二氧化碳激光器的研制成功, 是气体激光器技术的一个重大进展, 并将开辟气体激光技术一个新的方向。

众所周知, 放电激励是气体激光器最重要的激励方式之一。但是, 现有气体激光器激励方式最致命的弱点是激励效率低。其主要原因是, 目前大多数气体激光器采用二极放电, 放电的电压很大一部分降在阳极区, 从阴极发射的电子被阳极附近的强电场加速后很快到达阳极, 沿途产生的有效碰撞较少。在这种放电形式下, 阳极消耗的功率较大, 并且电子到达阳极时还有大量的动能变成热能被消耗。(普通的二极非自持放电激励方式, 是依靠外来源提高放电电离效率的, 对电子的运动状态没有根本的改变, 其作用虽然提高了激光器的注入电流密度, 但是由于外来源本身的效率受到一定限制, 最终效果在一定程度上提高了激光器的功率, 可效率没有提高, 甚至有所下降或大幅度下降。)所以, 多年来国内外许多科学家一直在

本文于 1994 年 8 月 11 日收到。

寻找高功率气体激光器新的激励方式,以期得到高功率、高效率、高光束质量的激光束。陈清明教授针对这种激励方式的缺点,提出了在阴极区设磁场实现约束放电激励的物理思想。他借用已经成熟的等离子体磁约束理论和气体放电理论,推导了约束放电条件下的玻尔兹曼方程,然后在假设电子碰撞截面与电子能量无关的前提下,从朗之万方程出发,导出了磁场作用的电子输运系数的表达式。最后从磁场约束条件的有效电场出发归纳总结横向磁场对放电基本特性的影响,并详细地进行了 Monte Carlo 模拟计算,实验结果与理论十分吻合。他们完成的实验结果清楚地表明,利用正交或基本正交磁场对放电过程中阴极产生的电子进行约束放电,使电子按人为设计的宏观轨道运行,这样电子与沿途粒子碰撞次数增多,传递给激光气体介质中粒子的能量也增大,电子自身的能量降低愈多,它与沿途粒子碰撞的截面愈大。这种良性循环过程的直接效果使气体电离程度增加,放电电流增大。电压降低也有效地减少了阴极的损耗,使激励效率成倍地提高。除此之外,鉴于放电区的扁平结构,为充分利用增益区,他们还采用了七折光腔。所有这些措施带来了准基模运转下的高效率和高功率。进一步的研究和计算机模拟表明,这种约束放电激励方式的二氧化碳激光器还有潜力,输出功率和电光转化效率还可进一步提高。

陈清明教授在国家自然科学基金资助下,通过几年来的探索,提出了完全崭新的理论思想和独特的技术路线,其约束放电激励方式不仅开辟了气体激光器激励的新途径,还具有一定的普遍性。它还可用于多种类型的气体激光器,如金属蒸气、氩离子,准分子激光器,等等。值得指出的是,他们在现有工作的基础上,拟采用阴极溅射方法(非常规的加热方法)在金属蒸气激光器中产生难熔金属蒸气,通过外场的约束,不仅可增加电光转换效率,还可以减少或避免蒸气对管壁污染。

二氧化碳激光器是应用非常广泛的气体激光器之一,它在材料加工,通讯、雷达、化学分析、化工反应,医疗和科学研究等领域中有着重要的用途。华中理工大学研制成功的千瓦级准基模二氧化碳激光器,将使我国此领域的研究在国际上占有一席之地。

鉴定委员会的专家希望课题组在已实现的约束放电激励二氧化碳激光器的基础上,尽快制成工业样机,并进一步开展相应的基础研究和应用研究,为我国的激光事业做出更大贡献。

CO₂ LASER EXCITED BY MAGNETIC CONFINED GLOW DISCHARGE SUCCESSFULLY DEVELOPED

Yue Zhonghou Zou Liyao

(Department of Mathematical and Physical Sciences, NSFC, Beijing 100083)

Key words CO₂ laser, Fundamental mode, Glow discharge, Magnetic confinement, Conversion efficiency