

微波泵浦封离式CO₂激光器的原理、设计、初步实验和理论分析

向 世 清

摘要：叙述了设计和试验微波泵浦封离式CO₂激光器的探索性的工作，总结了设计这种激光器结构的原则和方法。对结果进行了理论性的分析，得出不少有益结论，同时对微波放电的理论模型有所涉及。成功地找出一种适于微波放电的冷却剂，实现了放电与设计良好的吻合。且在现有实验结果上从理论方法上给出改进的可能性。

一、选题思想和原理

由于近年来微波技术和器件的发展，也因人们对高频激励原理的新认识，微波泵浦激励气体激光器尤其是CO₂激光器，目前又成为前沿课题。其原理是利用微波产生的高频电磁场（主要是电场）使工作气体放电，在此过程中工作物质由微波场吸取能量产生粒子数反转，从而实现激光输出。

微波泵浦引起人们的兴趣在于，放电频率的提高有可能实现高的能量注入密度条件下，保持大体积的均匀辉光放电（这恰是DC和RF放电达不到的），从而突破现有CO₂激光器的功率密度限制及缩小体积。同时，它有着数项显著优点：无极放电使得与电极相联系的一切不利因素均予避免；放电着火较DC等放电容易，尤其在大体积等离子体时；微波源简单，可避免许多设备和高压问题；可使激光输出更易控制等。

密封型CO₂激光器的微波泵浦曾被认为没有希望，目前还少有人涉及。我设计并制作了一套系统，试图在此有所探索，结果得出不少有益结论。

二、实验装置概述

为了实验，设计并制作了一套装置，示意图如图1。

装置中，微波经矩形波导由小方孔耦合至矩形谐振腔，耦合程度由其间E-H匹配器调节。谐振腔两端开有圆孔以插入并支撑激光管。激光管由同轴内外石英管构成，外层为冷却管，内中为放电管。微波能由磁控管产生并激励波导，供电电路仍为原日本产微波炉所用电路。磁控管工作频率2.45GHz，输出功率600W，可调为间歇及连续输出，以风扇冷却。

激光谐振腔为平凹腔，采用半外腔结构，输出镜一端有布氏窗。气体已预先在真空台储气罐中配好，由真空台控制抽出和充取。冷却油由油泵经容器中泵至冷却管入口，经出口回

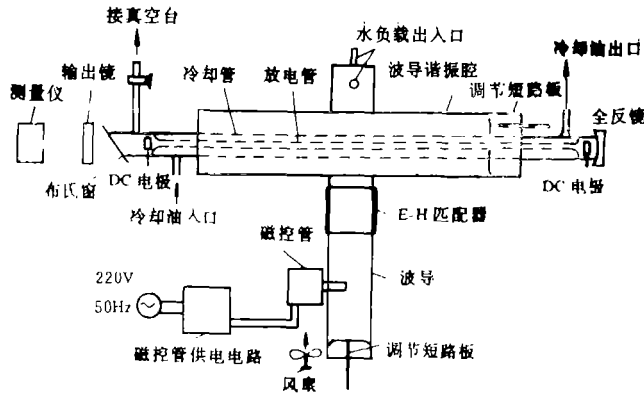


图1 微波泵浦 CO_2 封离式激光器实验装置示意图(图中油循环装置未画出)

至容器，容器再浸于冷水池。

为使系统可调节，微波谐振腔一端和波导端头加有可调短路板。另加有水负载以保护系统。放电观察和测量从谐振腔上板所开无辐射缝进行。放电管仍加直流电极以调正腔。

微波系统均由黄铜板自己加工，全套系统置于一铝制重平台上，具有良好的接地。(系统参数见论文)

三、实验过程及结果

1. 采用冷却管充水测吸收方式及用热敏电阻探测，初步调整了微波耦合，情况良好。

2. 在一系列预备实验之后，进行放电实验。实验中进行过改变气压、加否冷却油等实验，也曾在管中充入 CO 气体进行实验。整个放电情况与理论设计吻合较好。放电结构沿放电管长度方向为数段均匀辉光柱，辉光较DC放电等明亮许多，且等离子体充满整个放电管，从放电管两端观察管壁处的辉光似显得较管中心稍亮。放电时伴有大量热量产生，比DC放电为甚。随着气压变化，放电呈现不同的情况。在(1~10)Torr时，着火非常容易，辉光段之间暗区基本消除，连成整段在微波谐振腔两端间稍延出的均匀辉光柱；在(10~18)Torr时，着火稍不容易，段间暗区变得明显起来，且有时某段辉光柱还产生猝灭，此时热量及辉光较气压低时为甚；当气压再升高时，放电须用高频火花器预电离，且放电有时熄灭；约升高至30Torr时，放电基本不能发生并维持，即用预电离也如此。以上放电时每次耦合及放电均是调至最佳情况的。 CO 放电未出现不同情况。另随着放电时间的延长和次数的增多，放电颜色均出现由粉红转灰白的情况。 CO 颜色未作过多观察。

3. 冷却油效果好，这是国产一种变压器油，对微波放电影响很小，换热效果不错。

4. 调控并用DC放电出光调正后，用微波放电，没有发现出光。调整各种环节均为如此。

5. 先加直流放电，然后关掉，再加微波，一瞬间有光输出；当仍先直流放电，停后短路电极残余电压，再加微波，无光输出。

6. 同时加直流和微波激励。发现电极间放电发生所用直流电压较单用直流放电时低许

多,且刚工作时 有光输出,逐渐减为无光输出。增加冷却,从有光到无光输出的时间延长。冷却较好时光输出的时间长,但功率小,不足1W。

7. 另做过很多调微波与等离子体匹配工作并试验出光,均未获满意效果。

四、实验结果分析

1. 因变压器油耐高压、绝缘性好,故其内部自由电子少,不可能反射微波;分子基本不具电极性,不可能产生受迫振动吸收微波能转化为热能。同时其沸点高,粘滞性不大,热容量较大,故作为冷却剂较理想。

2. 类似于直流放电的帕邢曲线,在频率一定时,微波放电的电场强度和气压有一函数关系。由于本实验中微波产生的电场有限制(因微波功率和系统尺寸一定),因而呈现实验中的现象。另微波放电理论模型分析详见论文。

3. 没有理想的出光,其可能原因有:由于趋肤效应使能量无法大量注入等离子体内;电子除外的粒子不易从高频场获取能量;放电的高温对CO₂出光不利,同时可能使腔变形(实验中已发现)和产生类透镜效应; E/p 值不合适;腔长与放电长度比较大;输出镜透过率较大。

4. 直流和微波共同作用时的各种情况均可用直流放电为主来解释。

五、改进实验的措施预想和总结

1. 若欲不作结构上大的变动而获得出光,可能方法:减小放电管径;变动微波腔尺寸;减小输出镜透过率;增加冷却;增大有效放电区与激光谐振腔之比。但这些皆为权宜之策,不能从根本上获取高效率出光。

2. 去除趋肤效应是关键,再就是冷却的解决。若让气体流动并紊流,则可解决,但已不为封离。故巧妙设计放电结构和冷却,打破传统设计样式,才能突破难关,对此论文中有具体分析。另气体的配置等问题也值得探讨。

六、设计思想和方法总结

设计的要求可简述为巧妙地选择放电激励的结构克服趋肤效应,使能量由微波源最大程度地耦合进等离子体且转换为输出激光;同时力争结构简单,避免微波泄露及保护微波源,使总体功能齐全,调节方便,简明有效。

1. 据趋肤效应能被避免的要求,合理选择微波与等离子体互作用空间的形式和结构,且照顾激光谐振腔的设计和调节。

2. 按选定互作用空间的电磁场结构决定微波耦合的方式,微波能从源器件传至互作用空间的设计过程要一直以电磁场结构变化为基础,尤其是匹配问题应予明瞭。

3. 冷却问题要依据方便和效率切实解决。

总之,由于在微波器件中机械结构直接决定电磁场结构,故首先必须通晓微波理论和技术;再者激光器的理论和设计的深入了解也是必不可少的。

参 考 文 献

- [1] B. Freisinger, et al., SPIE, 1132, 22 (1989)
- [2] B. Freisinger, et al., SPIE, 1276, 29 (1990)
- [3] 张泽渤;《物理》,第十九卷4期, 212, (1990)
- [4] O plus E. No. 137. 55, (1991. 4)
- [5] Stephan Offermanns; J. Appl. Phys., 67(1), 115(1990)
- [6] 赫光生等;《激光器设计基础》,上海科学技术出版社, 1979年
- [7] 顾茂章等;《微波技术》,清华大学出版社, 1989年
- [8] 沈致远;《微波技术》国防工业出版社, 1980年
- [9] Junichi Nishimae, et al., SPIE, 1225, 340(1990)

Explorations of Sealed-off CO₂ Laser Excited by 2.45GHz Microwave Discharge

Xiang Shiqing

Abstract

During my postgraduate work's time, I designed and produced a sealed-off CO₂-laser excited by 2.45GHz microwave discharge, carried out a series of researches. This paper gives its principle and the experimental results and discussions. The results of gas discharge showed no difference with the design. A kind of excellent liquid coolant for the laser was found. The common way to design the structures of the lasers is summed up. The improvable measures and steps are presented in accordance with the current results of the laser experiments.