

射频激励CO₂激光器的十年发展

林良华 时顺森 罗永新

(西南技术物理研究所, 成都)

摘要: 本文评述了射频激励CO₂激光器十年的发展, 介绍了几种典型器件的发展概况, 以及国内射频激励CO₂激光器的进展。

Ten year's development of RF excited CO₂ lasers

Lin Lianghua, Shi Shunsen, Luo Yongxing

(Southwest Institute of Technical Physics)

Abstract: The development of the RF excited CO₂ lasers in past decade is reviewed. The several typical RF excited CO₂ lasers are introduced and the development of the RF excited CO₂ lasers at home is described.

70年代末, 横向射频激励技术在CO₂波导激光器中的应用^[1], 是中小功率CO₂激光器发展的一个重要突破, 推动了波导CO₂激光器的发展。

射频激励技术, 是气体射频放电理论在激光技术中的应用和发展, 成为近年来气体激光技术尤其是CO₂激光技术研究中的一个热点。在短短几年内, 不断涌现出许多新型的激光器, 像折叠式射频激励CO₂波导激光器, 列阵波导CO₂激光器, 大面积射频激励高功率CO₂激光器^[2,3]。使激光器可以在很小体积得到数百瓦至千瓦级的激光输出, 使大功率CO₂激光器的研制展现出光明的前景。

射频放电的正阻抗特性, 以及无电极放电的可能性, 这就从原理上保证了射频激励激光器具有一系列性能和结构上的明显优越性。除体积小、紧凑外, 还能提高激光器的效率、比输出功率、寿命、光束质量和可靠性, 以及易于调制和编码。因此特别适用于测距、制导、雷达等军事应用领域。

正是由于射频激励技术的优越性, 在过去的十年里, 这种技术促使人们对中小功率CO₂激光器进行探索。射频激励技术和激光技术的紧密结合和互相促进, 使CO₂激光器件与技术得到了迅速的发展。

一、射频激励中低功率波导CO₂激光器

自从70年代中期，K.D.Laakman和Lachamber首先研制成功横向射频激励波导CO₂激光器以来，射频波导CO₂激光器的结构取得两个主要的进展。根据它们的电容特性的不同，出现了所谓的低电容结构和高电容结构，因此伴随出现两种射频激励技术。

第一种射频激励技术，也叫类电感负载技术。首先由Laakman和Griffith〔4'5〕提出，后来D.J.He和D.R.Hall对该射频激励技术进行详细的研究（见图1）。根据实验，发现沿激光器电极纵向方向上的电压分布极不均匀，而造成了波导通导放电不均匀。为了解决这种放电的不均匀性，沿着激光器的纵向放置许多分立电感，它们提供一个负导纳，以补偿激光器纵向传输线反射系数相位角的微小变化，从而相应地减小了激光器纵向方向上的驻波幅度。这样就改善了电压分布的均匀性。为保证满意的驻波电压幅度，这些分立电感的数目与传输线特性阻抗，工作频率和激光器的长度有关。在这些电感中，两端电感的电感量为中间等值电感的电感量的两倍。为了保证能量的有效耦合，这种激励技术适用于低电容结构。利用这种射频激励技术，于1983年已经研制成功射频波导CO₂激光器其输出功率为30W、效率为13%、比输出功率达到0.83W/cm的水平〔6〕。

第二种射频激励技术，也叫平行谐振分布电感激励技术，是由P.P.Chenanshy等人〔7〕提出的，如图2。为保证射频放电的均匀性，在激光器的长度方向上，等距离地安置着许多

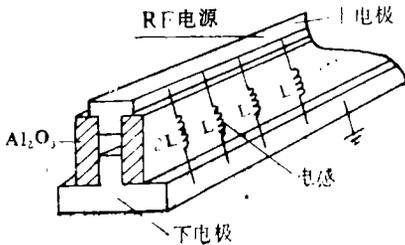


图1 低电容结构原理图

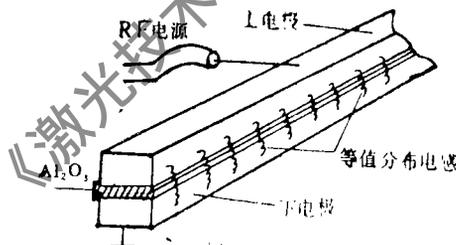


图2 高电容结构原理图

等值的电感，而近似分布电感，使这些分布电感与激光器电容在激励频率上谐振。这样一来，就使沿着激光器的长度方向产生一个比较均匀的电压分布，因而在激光器中建立一个比较均匀的射频放电。理论和实验表明，即使激光器的长度比 $\lambda/4$ 大得多，也可以使波导管内的电压分布较为均匀。而且在工作频率的波动小于5MHz时，在70cm长的放电长度上，电压的变化也小于10%。这种高电容结构同样可使射频能量有效地耦合到放电区中去。1982年，采用这种技术的射频波导CO₂激光器的输出功率为24.5W，效率大于10%，比输出功率为0.84W/cm〔7〕。近几年来，我国的一些单位也先后开展射频波导CO₂激光器的研究，取得了可喜的进展。1985年，北京真空电子技术研究所研制的射频波导CO₂激光器的输出功率为2.8W。1987年底，西南技术物理研究所三〇五组利用国产材料，研制成功射频波导CO₂激光器，目前达到的水平为输出功率20W，全效率13%，比输出功率0.55W/cm，达到80年代初期世界先进水平。

高电容结构射频激励技术的研制成功，叩开了新型激光器研制的大门，在短短几年内，出现了折叠式、列阵式射频波导CO₂激光器和大面积高功率射频CO₂激光器，

二、折叠式射频波导CO₂激光器

由于工业、医学和军事等领域的应用，迫切要求激光器的功率进一步提高。理论和实验证明，要提高激光器的输出功率，必然要增加放电区的长度，或者使气体快速流动，这就带来了制造上的困难，因为要获得小的损耗，就要求波导直而光。折叠式射频波导CO₂激光器，就能既提高激光器的输出功率，又保持波导激光器体积小特点。

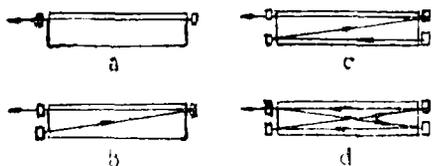


图3 折叠式激光器原理图

a—单通道 b—“V”型
c—“Z”型 d—“X”型

美国UTRC已经对射频激励折叠波导CO₂激光器进行了广泛的探索，这包括“V”折叠式，“Z”折叠式和“X”折叠式，如图3。经过深入的研究发现，即使气体混合物、工作频率以及其他的条件达到最佳，激光器的单位长度输出功率也不能保持最大。这是由于不可避免地引入折叠镜引起的内腔损耗和模式耦合损耗的缘故。在这种情况下，目前，在折叠式射频波导CO₂激光器中得到

80W的单模输出，其比功率为0.54W/cm，效率为10%〔3〕。

三、列阵式射频波导CO₂激光器

随着折叠式射频波导CO₂激光器输出功率的增加，当功率达到百瓦量级时，入射到折叠镜上的光通量将是入射到谐振腔镜上光通量的两倍，从而引起镜面的光损伤，这就限制了射频波导CO₂激光器输出功率的进一步提高。要增加激光器的输出功率，就必须另辟蹊径，寻找新的原理和方法。

由于过去几年，相位锁定半导体激光列阵的快速发展，使半导体激光器的输出功率大大提高。美国UTRC的L. A. Newmam等人〔3〕，利用半导体激光列阵的原理于波导CO₂激光器中，结合了PRDT射频激励技术，研制出两种射频波导CO₂激光列阵，如图4。从而既可获得高输出功率，又可避免折叠式射频波导CO₂激光器中存在的光损伤问题。

一种叫做空心脊波导列阵，其中 $c = d$ ， a 和 b 可变化，通过调节 a 和 b ，就可使列阵中的各个波导单元光耦合，从而达到相位锁定工作和高功率相干输出。他们研制成功的二单元和三单元列阵，可获得50W水平的相位锁定输出，而五单元37cm长激光列阵，得到105W的部分相位锁定输出。随着列阵单元数的增加，就会出现“超模”的分辨问题，从而发展了另一种叫做交错式波导列阵，并且从这种波导六单元列阵中获得了68W的单频输出。他们还从七单元半米长的外耦合波导列阵中得到190W的外相干输出〔2〕。研究表明，只要解决波导列阵的相位锁定，小型单频百瓦量级以至千瓦量级的波导激光列阵是完全可以实现的。国内波导列阵激光器的研制工作开展得比较晚，最近，西南技术物理研究所三〇五组也研制出三列阵射频波导CO₂激光器〔12〕，已经获得近35W的相干输出，激光器结构新颖，输出稳定，并正在进一步提高激光器的性能。

由于射频波导CO₂激光列阵输出功率高，体积小，避免光损伤，以及价格便宜等优点，

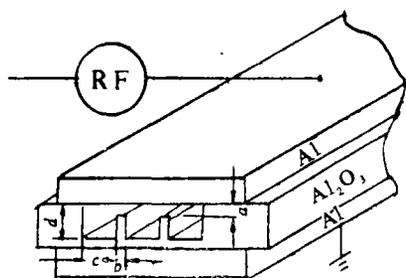


图4 三列阵射频波导激光器

这种激光器在工业加工、激光医疗、军事应用领域前景十分诱人。

四、大面积射频高功率CO₂激光器

近几年来，射频波导CO₂激光器得到飞快的发展，输出功率水平大大提高，但是激光器的内效率和功率提取能力受到气体放电力学、气体化学作用和气体热作用的限制，难以进一步提高，尽管可以采用增加增益长度和气体快速流动等方法，使输出功率提高，可是器件体积庞大，价格昂贵。一种可行的探索已由K.M.Abramski^[9]等人和J.G.Xin^[10]等人提出的大面积射频激励技术，利用扩散冷却的方法，使放电区的热量通过大面积电极有效地扩散出去。这种激光器的构型有平板状和环形状两种，如图5。

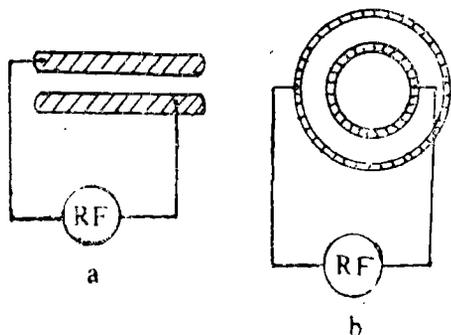


图5 大面积射频激光器的电极构型
a—平板状 b—环形状

在 $2.25 \times 18 \times 376 \text{mm}$ 的激光器中，实验已经得到 20kW/m^2 的萃取功率，其效率为15%，最高可达20%。显示这种技术有巨大的发展潜力。

鉴于大面积放电容易产生多模振荡，为提高激光器的性能，P.E.Jackson等人^[11]提出，利用非稳定波导混合腔技术，在大面积射频激励CO₂激光器中已得到 14kW/m^2 的萃取功率。这种振荡腔的优点，一方面改善了激光束的质量，另一方面降低激活介质振荡模的跳动，降低光流强度的非均匀性和增益饱和。根据实验，已显示这种技术的生命力，可以展望，随着大面积射频激励技术的不断探索和

发展，在不久的将来，一种小型的、封离式的、千瓦级的大面积高功率射频激励CO₂激光器，完全可以研制成功，这将为CO₂激光器的广泛应用开辟新的途径。

对于大功率CO₂激光器的研制，人们投入了极大的力量，西德的一些公司相继研制成功 $1 \text{kW} \sim 5 \text{kW}$ 的射频激励快速轴流CO₂激光器，用于精密焊接和切割等工业需求。这种激光器无论在光束质量、调制性能、放电效率、气体消耗和器件的小型化方面都比直流激励快速轴流式CO₂激光器的性能优越得多，可以预料，它将具有逐步取代直流激励CO₂激光器的趋势。

射频激励技术及其激光器，是目前世界上CO₂激光研制的一个相当活跃的领域，随着人们对这种技术探索的不断深入，激光器的输出功率一定会大大提高，新型激光器一定会不断涌现，激光器的应用一定会更加广泛。

参 考 文 献

- [1] A.P.L., 1978, Vol.32, No.10, P.652.
- [2] Leek Carlson, New Development and Applications in Gas Laser, 1987, Vol. 737, P. 36~46.
- [3] L.F./E.O., 1987, No. 6, P. 80~91.
- [4] U.S.P., No. 4169251, 1979.
- [5] U.S.P., No. 4352188, 1982.
- [6] A.P.L., 1983, Vol. 43, P. 726,

用半导体激光器侧向泵浦的YAG激光器的聚光腔的研究

王法义

(长春光机学院, 长春)

摘要: 本文介绍一种用半导体激光器侧向泵浦的YAG激光器的聚光腔。它是由两块相同的对称安装的“直角三棱镜”*组成的半开式腔。这种结构的聚光腔可以使由一侧射入的泵浦光从三个方向照射YAG棒。它不仅有很高的几何传输效率,而且还可以大大地提高泵浦的均匀性。

An experimental study of light concentrating housing used in semiconductor laser transversely pumped YAG laser

Wang Fayi

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics)

Abstract: This paper introduces a light concentrating housing used in semiconductor lasers pumped YAG laser. It is a half open housing

* “直角三棱镜”只要求一个光学面,并且镀上与波长相应的全反射膜。这仅是为了分析问题和安装方便,当然可以改为两块平面全反射镜——作者

-
- [7] U.S.P., No. 4363126, 1982.
 - [8] A.P.L., 1986, Vol. 48, No. 25, P. 23.
 - [9] A.P.L., 1989, Vol. 54, No. 19, P. 8.
 - [10] A.P.L., 1987, Vol. 51, No. 7, P. 17.
 - [11] A.P.L., 1989, Vol. 54, No. 20/24, P. 1950~1952.
 - [12] 《激光技术》, 1989年, 第13卷, 第4期, 第25页。

作者简介: 林良华, 男, 1937年11月出生。高级工程师。现从事激光技术及应用研究工作。

时顺森, 男, 1941年3月出生。高级工程师。现从事激光技术及应用研究工作。

罗永新, 男, 1967年12月出生。硕士研究生。

收稿日期: 1989年12月11日。