高频激励CO_2激光器

陈义红

（华中理工大学激光所，武汉）

摘要：高频激励方式由于其允许高注入功率密度和优越的调制性能正在取代CO_2激光器的直流激励方式。本文根据放电各物理过程的特征时间，讨论了DC，AC，RF和微波激励方式的特点。

High frequency excited CO_2 laser

Chen Yihong

(Laser Institute, HUST)

Abstract: The high frequency excitation is increasingly substituting the DC discharge excitation of CO_2 lasers, mainly because of the capability of higher power density and the superior modulation properties. According to the time scales of the various discharge processes, we have discussed the characteristics of AC excitation, RF excitation, DC excitation and microwave excitation in this paper.

一、引　　言

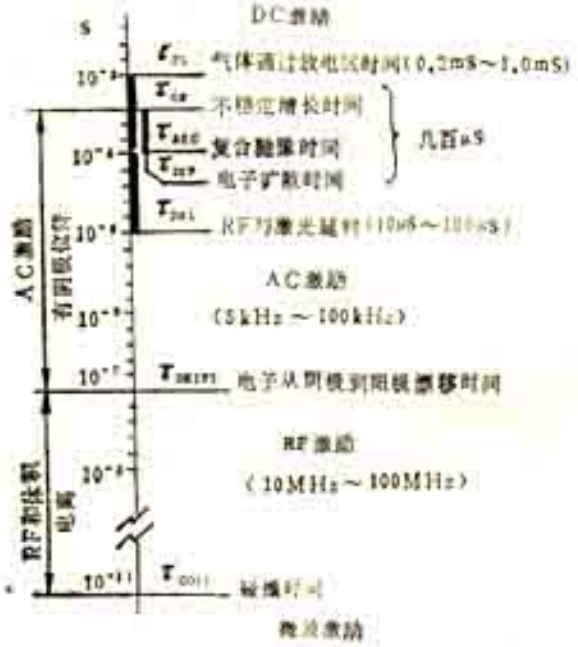
随着CO_2激光器在材料加工中的广泛应用，直流（DC）激励方式CO_2激光器也逐渐为人们进一步认识，这类激光器由于其放电特性决定了它必然存在以下三方面的问题：1.由于放电中存在的热不稳定性，限制了它的最大注入功率密度，一般在DC辉光放电中最大为$12W\cdot cm^{-3}$；2.DC放电激光器不能方便地实现连续——脉冲方式的转换，特别是脉冲占空比的改变；3.DC放电中不能省去镇流电阻，能量损耗大，整机效率低。

因此，人们现在不仅仅满足DC放电CO_2激光器，开展了其它激励方式激光器的研究，高频激励CO_2激光器就是近来出现的新一代激光器，它包括交流（AC）激励[1]，射频（RF）激励[2]，微波（Microwave）激励[3]等方式，而且日本和德国已有产品推出，我国在这方面的研究才刚刚起步[4,5]。

二、各物理过程的特征时间

为了说明直流与高频放电不同的物理过程，我们必须先要了解这些物理过程的特征时间，而特征时间又与放电性质相关，现在用横流CO_2激光器的平均放电参数来说明(附图)。

1.在典型的横流CO_2激光器中，如果气体流速为100m/s，则粒子通过放电区的时间τ_{fl}大约为0.2ms～1.0ms；



附图　横流CO_2激光器的特征时间

2.在放电区内，负离子形成的典型时间约为几百微秒，因此由这些负离子形成的放电不稳定时间τ_{ia}也为几百微秒[8]；

3.复合弛豫时间τ_{rec}与气压有关，一般为几百微秒；

4.电子的扩散时间τ_{ie}一般为几百微秒；

5.RF与激光脉冲的延时τ_{RL}约为10μs～100μs，它取决于气压，气体成分及前一脉冲的残余电离。

三、CO_2激光器的各种激励技术及其特点

根据上述的特征时间及加到电极上的电源频率，我们可以讨论CO_2激光器的各种激励技术及特点。

1.DC激励

直流放电CO_2激光器工作在自持放电区域，电离发生在阴极位降层内，而振动激发又局限在正柱区内，能量很大一部分被阴极位降所损失。在阴极位降区域内，由于高能电子的存在和折射率降低，小信号增益低，因此，光强分布不均匀，远场发散角较大。粒子通过放电区的时间τ_{FL}与不稳定形成时间τ_{ia}相当，加之阴极位降部分中气体温度较高，容易形成热不稳定，放电稳定性较差。因此，一般在DC放电激光器中采用预电离技术改善放电特性，或快速流动使τ_{FL}小于τ_{ia}。另外，DC放电由于存在负阻效应，一般需用镇流电阻来稳定放电，而镇流电阻消耗大量电功率，故DC放电总体效率较低。

2.AC激励

当激励电源频率f大于10kHz，而小于1MHz时，其半周期τ_{HALF}小于50μs，因此在电源变化极性之前的激励时间约为50μs，这个激励时间小于不稳定形成时间τ_{ia}，因此放电比DC放电稳定。但是τ_{HALF}远大于在电场作用下电子从阴极到阳极的漂移时间τ_{drift}。所以，可以认为在这段时间内类似于DC放电，这时必然存在阴极位降。很明显，CO_2激光器的交流激励方式由于电极性的交替变化，即使放电区中存在阴极位降，增益在两电极间分布仍然对称[8]，因此光强分布也优于DC放电。一般来说，AC激励方式中，金属电极被介质层所覆盖（这层介质称为镇流介质），代替了镇流电阻，相对于DC放电的镇流电阻消耗的功率来说，介质功耗相当小，使激光器整体效率大大提高，并且由于避免了金属电极与工作气体的直接接触，阻止了化学腐蚀作用，延长了电极寿命和减缓了工作气体的分解[8]；或在针-针放电方式中，电容代替了镇流电阻，也避免了电阻功耗[8]。

在AC激励方式中，很容易实现脉冲调制，使激光脉冲输出，脉冲频率可以远远大于5kHz，而脉冲占空比可以为1%～99%[8]。正是由于这种性能，使得它在材料加工中得到了广泛应用。

3.RF激励和微波激励[8]

当电源频率大于10MHz而小于300MHz时，τ_{HALF}小于τ_{DRIFT}，这时的放电主要是体积电

离，并且不存在阴极位降，效率得到了很大的提高，两电极间的增益分布也均匀了，光束质量优于AC放电。它也用介质镇流，这方面情况与AC类似，但它要使用真空管，器件结构较复杂，功率受到了一定限制。

在微波激励方式中，电源频率达吉赫兹量级，达到了电子碰撞频率，电极中高电子密度的边缘层阻止能量向放电区进一步渗透，这样放电区也有很高的能量密度。为了克服上述的有害影响，必须设计适当的耦合系统和放电腔。

四、结　　论

高频激励CO_2激光器由于其自身的优点被认为是新一代的激光器，它的总体效率大于DC放电激光器，光束质量优于DC放电激光器。这种激励方式与DC激励方式比较，可以延长电极寿命，减少气体消耗，脉冲工作能力更强。因此，高频激励CO_2激光器将会得到迅速发展并广泛的在实际中应用。

参 考 文 献

〔1〕 Garrilyuk V D.Soviet J Q E, 1977, 7(9), 1164

〔2〕 Angle E R, Wilkerson J L.Radio frequency laser pumping system, USP, 4451766, 1984

〔3〕 Freisinger B, Schafer J H, Uhlenbusch J *et al*. Microwave excited CO_2 laser.In: Gaillard M L eds.High power lasers and laser machining technology, SPIE, Bellingham, 1989, SPIE, 1989, 22～28

〔4〕 徐启阳，周　雷，李再光．应用激光，1989，7(6)，265～270

〔5〕 张泽勃，孙淑琴．微波激励千瓦级CO_2激光器，首届全国激光技术交流论文集，北京：1989，148～152

〔6〕 Nighan W L, Wiegand W L.A P L, 1974, 25(11), 633～636

〔7〕 Burlamacehi P, IEEE J Q E, 1990, 26(3), 570

〔8〕 Hishii M, Sato K,Fukushima T,High-performance compct 5kW CO_2 laser for industrial use, Proceedings of LAMP'87 osak aosaka, High Temperature Society of Japan, 1987, 57～62

〔9〕 Hoag E O.Apparatus for establishing and maintaining a stable electrical discharge across a stream of gas and a high power laser including such apparatus, USP, 4534032, 1985

〔10〕 Hoffmann, Discharge behaviour of a RF ecited high power CO_2laser at different excitation frequencies. In, Schuocker D eds, SPIE, Bellingham, 1986, SPIE, 1986: 23～34

*　　*　　*

作者简介：陈义红，男，1962年出生。讲师，硕士，现为中国光学学会理事。主要从事高功率CO_2激光器及应用的研究。

收稿日期：1991年9月24日。