

CO₂激光器的研究动向

1. 绪 言

近来,激光工作者热烈地讨论着有关二氧化碳激光器的问题。

以前,在气体激光器中,人们认为具有实用价值的仅是产生红外或近红外的氦-氖激光器与发出蓝绿强光的氩激光器。这里要介绍的是由二氧化碳分子产生的、波长为10.6微米的红外激光器。由于它连续振荡的输出功率是现存激光器中首屈一指的,其振荡波长正位于“大气窗”中,较其它波长有着较佳的透过率,其激励效率也高于其它的气体激光器,加之多数物质均能吸收这一波长的光辐射并转变成热能,故很有希望作成新型的热源;凡此种种,使二氧化碳激光器颇受激光工作者的重视。

此种激光器由佩特耳(Patel)首先于六四年提出^[1]。当时将二氧化碳气体封入激光管内,使其产生连续的或脉冲的振荡。然其功率极其微弱,连续振荡输出功率仅为毫瓦量级。嗣后,仍是佩特耳,在备有谐振腔的激光管内流动着的二氧化碳气体中,通入预先处于放电状态的氮气流,使之振荡,制成了激光管本身不加放电设备的激光器。其输出功率虽亦仅有毫瓦量级,但激励效率较单独使用二氧化碳时要高许多,此点甚受注意。其原因可作如下解释:氮分子所具有的振动能在碰撞过程中大量地转移给二氧化碳分子,造成了激光效应所必需的、在二氧化碳分子两振动能级间的粒子数反转。于是佩特耳将二氧化碳和氮、氦混合后加以直接放电,获得了12瓦的功率输出,这是当时气

体激光器从没有得到过的巨大数值^[3]!继此,使用氮、二氧化碳、和氦混合气体,一跃而获得了106瓦的输出^[4]。这样,二氧化碳激光器(一般将含有CO₂-N₂-He混合气体的激光器亦称之为二氧化碳激光器)的输出在一年内便跃升了五个数量级。据报导,美帝已获得1千瓦以上的振荡,而四千瓦的输出亦在计划与试验之中。

在简单的实验中,二氧化碳激光器很易达到百分之一到百分之几的激励效率,与其他气体激光器仅只万分之一至千分之一的效率相比,这确是一个极可观的数目。不仅如此,如能对实验作精心的改善,获得百分之十至二十的效率也是可能的。它在理论上的极限值约为百分之四十,这在后面将要谈到。

2. 二氧化碳激光器工作原理

本刊于1967年1月号中已有介绍,在此从略。——译者注

3. 连续振荡的二氧化碳激光器

如上所述,使CO₂、N₂及He的混合气体直接放电,可高效率地获得大功率输出。为得到激光振荡,在容纳产生粒子数反转的工作物质的激光管两端,必须安置光频腔。按工作方式分类,气体激光器一般可分为内反射镜与外反射镜等两种(图1)。使用外反射镜时,放电管端面需构成布儒斯特角窗。与普通的气体激光器一样,无论那一种方式均采用透过谐振腔反射镜从光频腔中耦合出功率的方法。因此,希望布儒斯特角窗

及腔反射镜的材料在 CO_2 激光的红外波段中, 均具有较大的透过率。然而, 在这个波长区域中, 透明的材料并不多。氯化钠 (NaCl) 及氯化钾 (KCl) 单晶的透过率虽大, 且对可见光透明而易于调整, 但它们极易潮解, 机械强度脆弱, 使用上也有困难。锗单晶虽不潮解, 但吸收过大, 对可见光亦不透明。IRTRAN 之类的材料, 在 10.6 微米处的透过率较 NaCl 小得多, 对可见光的透明度极小。

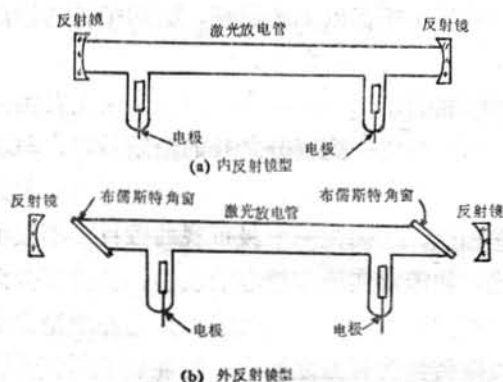


图 1 气体激光器的种类。

因此, 在低功率的小型电管中, 只在腔的一端安置外反射镜, 功率不是透过反射镜输出, 而是通过一适当的锗之类的红外半透镜与反射镜的组合来取得(图 2a), 此时, 改变交角 θ , 即可使输出功率最大。

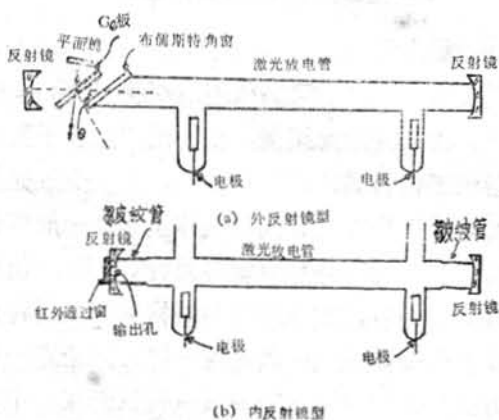


图 2 CO_2 激光器的装置略图。

最为可行而又较为简便的、适用于大功率输出的耦合方式, 在内反射镜的情况下, 如图 2(b)所示。功率从一反射镜中心所开的圆孔中经 NaCl 窗输出, 这种耦合方式是基于输出振荡的衍射现象的, 故称之为衍射耦合。在内反射镜情况下, 为了便于对光腔反射镜作精细的光学调整, 用金属绞纹管将它与放电管接起来。

此时, 为获得最有效的输出, 须从实验中决定开孔的大小。而要得到大的输出功率, 就须增加激光管的有效长度, 即增加其模体。如表示激光束截面大小的点径用 ω_s 代表, 腔的长度以 d 表示, 则模体表为 $\pi\omega_s^2 d$, 这相当于参与振荡的气体的体积。为了获得尽可能大的模体, 这时, 即使保证了良好的反射镜的平面性, 调整仍有相当的困难, 故通常均使用曲率半径极大的凹球面镜。

日本日立公司中央研究室试装成的大功率 CO_2 激光器, 使用具有五个电极、长 8 米、内径 7 厘米的放电管, 将它分成四个激励区间, 两端均用曲率半径为 30 米的凹面内反射镜。

其最佳条件是: 每区间放电电压 8 千伏, 电流 100 毫安, 故总输入功率为 3.2 千瓦。输出激光能量的测量虽有多种方法, 但如此强功率的测定却仍是一个棘手的难题。通过适当的已校准的衰减片后, 用辐射测量检定用的热电偶来测量, 其输出约 400 瓦, 效率为 12.5%。如前所述, 放电管的温度以低些为宜, 故采用双重管壁, 内中通水冷却。 CO_2 - N_2 - He 的混合气体不是封在放电管中, 而是采用流动放电方式, 并以唧筒抽气, 以保持一定的气压。这样得到的效率约为静止时的三倍。在静止的情况下, CO_2 、 N_2 在放电分解后生成 CO 、 O 、 C 及 N 等, 它们再结合时就产生了 N_2O 、 O_2 , 致使振荡减

弱。流动状态防止了这一点。进而如能对流量作精细的调节便有可能使其输出稳定。

4. Q 开关 CO_2 激光器

Q 开关激光器是获得峰值功率极大的脉冲激光的一种方法。早在 61 年,就在红宝石、玻璃等激光器上获得成功,它得到的峰值功率可达数兆瓦乃至数千兆瓦(即所谓巨脉冲)。用它照射物体时所产生的极大光频电场,可用来取得许多用以往的光源无法得到的、有关非线性光学基本理论方面的资料。此外,它在激光雷达等方面也获得了广泛的应用。

在此期间,对气体激光器,用脉冲激励的方法,在氮氦及氩激光器上也获得了峰值功率相当大的激光脉冲^[11-12],但具备实用价值的 CO_2 Q 开关气体激光器的制成却是 66 年初的事情。因为并不是所有气体都可用 Q 开关的方法来激励的, CO_2 激光物质的激励能级的寿命较长,故使此法得以实现。

Q 开关 CO_2 激光器依下法实现:以一定比例混合的 CO_2 - N_2 -He 气体,在放电管内受连续放电的激发,一直处于强烈的反转分布状态,也就是说,在开始时,我们让光频腔失谐,因而它不能产生振荡。

一旦光频腔调谐到所需的频率,处在反转分布状态的分子一齐受激辐射而落到基态能级上,获得极大的脉冲振荡输出。实际上,通常是把光频腔一端的反射镜做成旋转镜,使其高速旋转,于是仅当镜面与光轴相垂直的一刹那才构成光频腔。在 Q 开关 CO_2 激光器中,将转镜的速度增加到 400~500 赫,在适当的压力条件下即可得到几十千瓦至数百千瓦的峰值输出。能在如此高的重复频率上获得这样的功率输出,且它又恰好处在以往的强光光源所无法进入的空白区域

——波长相当长(10.6 微米)的远红外区域——之中,这是很有意义的事情。

图 5 为 Q 开关激光器的装置略图。(a) 为外转镜式, (b) 为内转镜式。它们各有优缺点,须视使用目的而适当选取。在外转镜中,必须使用布儒斯特角窗,其制造材料的优劣在很大程度上影响了所得激光脉冲的特性,但它的构造与调整均较简单。

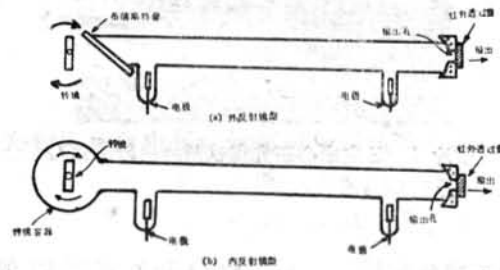


图 3 Q 开关 CO_2 激光器的装置略图。

内转镜型回避了上述布儒斯特角窗所导致的困难,适合于追求大功率时使用,但结构复杂,调整困难。鉴于没有查到有关这种 Q 开关激光器的报告,笔者制作了内转镜式的 Q 开关 CO_2 激光器,并进行了许多实验^[9]。

在日立中心研究室制成的激光器的内径为三公分,长两米,在放电管的一端用纹接管封接一固定反射镜,使后者具有一定的可调度。另一端,通过 O 形环与一金属制的转镜容器机械地相接(照片 1)。为便于调节,用正交的两面镜作转镜,旋转速度可达每秒 500 周。为了求得 Q 开关型 CO_2 激光器的峰值功率,须知道 Q 开关状态下的平均输出和脉冲的宽度。当然,也可以从转镜静止时的连续振荡功率、激励态的寿命及脉冲宽度等参数来估计。

在我们的实验中,使下列组成的混合气体(0.74 毫的 CO_2 , 8.5 毫的空气、18.2 毫的氦)流经放电管,加以 50 赫的交流激励,

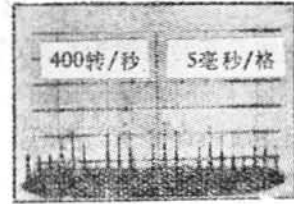


照片 1 日立中心研究室试制的内转镜式 Q 开关 CO_2 激光器前方的圆形容器中装有马达与转镜；输出端位于另一头。

并高速旋转转镜，观察由 Q 开关所产生的脉冲。由于没有合适的高速响应的半导体检测器，为推定其峰值输出，假定脉冲的宽度为 20 毫微秒。美帝麻省理工学院的实验室所做的外转镜式 Q 开关激光器，其实验条件基本上与我们类同（压力条件），弗林 (Flynn) 等人用响应极快的半导体检测器测得其宽度为 20 毫微秒，故作这样的假定是合理的。依此，根据我们在 Q 开关下得到的平均输出功率的实测值是 0.28 瓦，脉冲的重复频率是 400 赫，故推得其峰值功率为 35 千瓦。当转镜固定时，连续振荡的实测功率是 7 瓦，其激励态的寿命是 0.3 毫秒，按上列假定的脉冲宽度，即可推得其峰值功率为 100 千瓦。看来，实际得到的峰值功率在这两个数值之间。

在实验中，利用了 TGS（三甘氨酸硫酸盐）结晶制成的检测器来检测 Q 开关脉冲，看来这是一个新的尝试。这种检测器，在外回路的阻抗降低的时候，灵敏度下降，但响应速度提高，这极宜于用来检测激光脉冲。同时，这种检测器在从红外至远红外的宽阔

的波段内都能使用，且不需要冷却，可在室温下工作，故十分简便。但仍有一些地方：诸如线性、响应速度以及在受到强脉冲照射后出现压电现象等等问题急需改善解决。用 TGS 检测器观测得到的 Q 开关 CO_2 激光器的输出波形见照片 2。



照片 2 Q 开关 CO_2 激光器的输出波形。用 TGS 结晶检测器接收到的波形，因用交流激励，故其脉冲输出受有 100 赫的调制。

5. CO_2 气体激光的应用

正如在绪言中所指出的， CO_2 气体激光器的波长为 10.6 微米，处于红外波段，这在应用方面受到特别的重视。因为它正好在大气吸收较少的大气窗内（图 4）。如果能获得大的功率输出，则定能在通信和激光雷达方面获得应用。为此，就迫切要求研制出有实用价值、具极高响应速度、有较好灵敏度的检测器。目前最为适当的是用液氮冷却的、掺有铜、汞或金等杂质的锗半导体检测器。

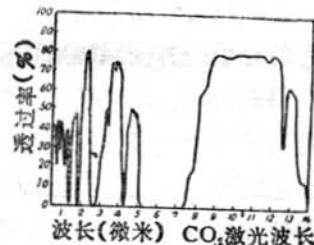


图 4 大气透过率的一例（在视程为 26 公里的晴天，由 Taylor 及 Yates 在 5.47 公里的距离上测得）。

另外，许多物质能大量地吸收 10.6 微米波长的光，将辐射能转变成热能，故 CO_2

激光可用作热源；此时，如很好地利用激光所特有的单色性和方向性较强的优点，就可以在极小的面积上集中巨大的能量，故可望用于高熔点物质的熔化、切削、加工（特别是精密加工）等方面。美帝麻省理工学院曾以 1 千瓦的连续 CO_2 气体激光束轰击岩石，再配以挖岩机，使得隧道的掘进效率提高，并减少了挖岩机刀刃的磨损。这方面的工作很有深入进行的必要。

除了上述技术方面的应用之外，当物质受到极强的辐照时，在辐照强电场的作用下，会产生非线性光学现象。使用 CO_2 激光器已在这方面得到若干有趣的结果。

某些对 10.6 微米的红外波长透明的单晶，如 Te, GaAs, ZnS, CdS, InAs 等，佩特耳等人用 CO_2 激光照射而获得了二次谐波（5.3 微米）。

其次便是多光子现象。在极强电磁波的照射下，同时吸收两个或更多的光子，物质便能吸收比固有能级间隔的能量差小得多的光子而产生跃迁^[5]。随着激光的出现，用红宝石激光早已观察到这种效应，如今用 CO_2 激光亦观察到同样的现象，这对探索物质的新的光物性质将发挥其应有的作用。

7. 结 论

以上就 CO_2 激光器研究的一般动向，结合笔者的经验，作了一些解释。其中讲述了一些必要的基本知识，略陈其发展简史，对工作原理亦作简略介绍。至于应用方面，和其它激光器一样，还没有出现能够完全取代迄今为止各种装置的、具有划时代意义的器件，这确是令人遗憾的事。但不能因此而悲观，对它的前途仍应充满信心。无疑，为着提高激光器的效率，延长其寿命，改善其稳定性以及进一步增加其输出功率等等方面，尚留有许多相应的技术问题等待我们去解决。

从应用方面来看，与激光无直接关系的其它领域中的一些专门家提出的意外要求和方案，往往会给今后激光的发展带来深远的影响。从这个意义上讲，让非激光工作者了解一些 CO_2 激光器的概况，那就不仅仅是期待在不久的将来发现和利用一些意外的新领域的问题了。

参考文献(略)

译自 島津備愛, «電子科学», 1967(8月),
№8, 101~107

CO_2 激 光 器 简 介

提要：本文详细讨论了一种对于高功率应用有很大前途的激光系统，包括设计程序和参数互换的考虑。

人们对于 CO_2 激光器十分感兴趣是由于它的连续功率输出的能力以及高效率 and 结构的简易。表 1 示出了它比其他几种气体激光器优越的地方。

CO_2 激光器系统如图 1 所示。三种气体

(二氧化碳、氮气和氦气)相混合，并以几个毫的压强被送入放电管的一端。混合气体在大约一秒时间内流过整个管长，并在管的另一端由前置机械泵抽至管外。放电维持在管的金属凸缘之间。由于放电时有负的动态阻