

# 气体激光器

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书主要介绍气体激光器的基本原理和工艺技术，包括激活介质特性、谐振腔原理、稳频锁相技术、输出功率特性，以及激光器制作工艺等。

本书可供从事气体激光器研制的工作人员和大院校有关专业师生参考。

Gas Laser Technology

D. C. Sinclair

W. E. Bell

Holt, Rinehart and Winston, Inc.

1969

气体激光器

《气体激光器》翻译组 译

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 5<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 120 千字

1975年5月第一版 1975年5月第一次印刷 印数：0,001—8,000册

统一书号：15034·1403 定价：0.62元

# 目 录

符号	6
第一章 引论	11
1.1 气体放电的发光与吸收	13
1.2 气体激光光谱学	17
1.3 氮氛激光器	18
1.4 离子激光器	21
1.5 二氧化碳激光器	23
第二章 辐射与物质的相互作用	26
2.1 处理方法	26
2.2 原子与辐射场的相互作用	28
2.3 密度矩阵	31
2.4 速率方程近似	35
2.5 色散理论	38
2.6 潜线展宽	41
第三章 气体激光器的兰姆理论	51
3.1 激光谐振腔	51
3.2 自治方程	52
3.3 气体激光振荡的一般讨论	54
3.4 阈值条件	58
3.5 单模激光器	60
3.6 多模激光器	65
第四章 横模结构	79
4.1 平行平面谐振腔	80

4.2	共焦谐振腔 .....	90
4.3	一般曲面反射镜谐振腔 .....	101
4.4	气体激光谐振腔反射镜曲率的选择 .....	105
4.5	一般曲面反射镜谐振腔的共振条件 .....	108
4.6	高斯束的传播圆法 .....	109
4.7	高斯束的代数法 .....	115
4.8	关于横模的几个特殊论题 .....	117
<b>第五章 纵模结构 .....</b>		<b>122</b>
5.1	单纵模激光器 .....	122
5.2	锁相激光器 .....	125
5.3	气体激光器的稳频 .....	131
<b>第六章 气体激光器的输出功率 .....</b>		<b>136</b>
6.1	单模气体激光器 .....	136
6.2	多模气体激光器 .....	141
<b>第七章 气体激光器的构造 .....</b>		<b>146</b>
7.1	气体激光器的等离子体管 .....	146
7.2	等离子体管的阴极 .....	156
7.3	等离子体管的真空处理 .....	159
7.4	气体激光器的电源 .....	167
7.5	气体激光器的反射镜和窗口 .....	173
7.6	气体激光器的机械结构 .....	176
<b>附录 1 电磁理论的若干公式 .....</b>		<b>178</b>
<b>附录 2 等离子体色散函数 .....</b>		<b>183</b>

# 气 体 激 光 器

[美] D. C. 辛克莱尔 著  
W. E. 贝尔

《气体激光器》翻译组 译

《長江之歌》

《峰迴路转》

淡泊以明志  
宁静以致远

国防工业出版社

1975

## 内 容 简 介

本书主要介绍气体激光器的基本原理和工艺技术，包括激活介质特性、谐振腔原理、稳频锁相技术、输出功率特性，以及激光器制作工艺等。

本书可供从事气体激光器研制的工作人员和大院校有关专业师生参考。

Gas Laser Technology

D. C. Sinclair

W. E. Bell

Holt, Rinehart and Winston, Inc.

1969

气体激光器

《气体激光器》翻译组 译

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 5<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 120 千字

1975年5月第一版 1975年5月第一次印刷 印数：0,001—8,000册

统一书号：15034·1403 定价：0.62元

## 译者序

气体激光器是目前种类最多、应用最广泛的一类激光器。自从1961年氦氖激光器问世以来，相继制成了原子、离子和分子等各种类型气体激光器。特别是，近年来二氧化碳激光器的重大进展，为高效率大功率激光器开辟了新的途径。目前，已观测到的气体激光谱线不下万余条，其波长几乎遍布了从真空紫外到远红外整个光谱区；已付诸使用的气体激光器，其最大连续输出功率达数万瓦，脉冲峰值输出功率达数兆瓦。此外，气体激光器还具有工作物质丰富、容易连续运转、单色性好、结构简单和造价低廉等优点，因此在国防建设和工农业生产各个部门中广泛地被用来作为准直导向、计量基准、材料加工，以及作为全息照相、激光光谱的相干光源等。

为了适应我国激光技术发展的需要，我们遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，翻译了《气体激光器》一书，以供参考。

本书主要介绍气体激光器的基本原理和工艺技术，包括激活介质特性、谐振腔原理、稳频锁相技术、输出功率特性，以及激光器制作工艺等。该书内容比较简明实用。尽管原书写于1969年，近年来出现的诸如大功率气体激光器和稳频激光器等未能包括在内，但对从事气体激光器研制的一般工作者仍有一定参考价值。此外，原书若干公式和个别叙述有错误，已发现的均作了订正和注释。由于我们水平有限，译文中难免仍有错误之处，希读者批评指正。

# 目 录

符号.....	6
第一章 引论.....	11
1.1 气体放电的发光与吸收 .....	13
1.2 气体激光光谱学 .....	17
1.3 氮氛激光器 .....	18
1.4 离子激光器 .....	21
1.5 二氧化碳激光器 .....	23
第二章 辐射与物质的相互作用.....	26
2.1 处理方法 .....	26
2.2 原子与辐射场的相互作用 .....	28
2.3 密度矩阵 .....	31
2.4 速率方程近似 .....	35
2.5 色散理论 .....	38
2.6 潜线展宽 .....	41
第三章 气体激光器的兰姆理论.....	51
3.1 激光谐振腔 .....	51
3.2 自治方程 .....	52
3.3 气体激光振荡的一般讨论 .....	54
3.4 阈值条件 .....	58
3.5 单模激光器 .....	60
3.6 多模激光器 .....	65
第四章 横模结构.....	79
4.1 平行平面谐振腔 .....	80



4.2	共焦谐振腔 .....	90
4.3	一般曲面反射镜谐振腔 .....	101
4.4	气体激光谐振腔反射镜曲率的选择 .....	105
4.5	一般曲面反射镜谐振腔的共振条件 .....	108
4.6	高斯束的传播圆法 .....	109
4.7	高斯束的代数法 .....	115
4.8	关于横模的几个特殊论题 .....	117
<b>第五章 纵模结构 .....</b>		<b>122</b>
5.1	单纵模激光器 .....	122
5.2	锁相激光器 .....	125
5.3	气体激光器的稳频 .....	131
<b>第六章 气体激光器的输出功率 .....</b>		<b>136</b>
6.1	单模气体激光器 .....	136
6.2	多模气体激光器 .....	141
<b>第七章 气体激光器的构造 .....</b>		<b>146</b>
7.1	气体激光器的等离子体管 .....	146
7.2	等离子体管的阴极 .....	156
7.3	等离子体管的真空处理 .....	159
7.4	气体激光器的电源 .....	167
7.5	气体激光器的反射镜和窗口 .....	173
7.6	气体激光器的机械结构 .....	176
<b>附录 1 电磁理论的若干公式 .....</b>		<b>178</b>
<b>附录 2 等离子体色散函数 .....</b>		<b>183</b>

## 符 号

下面是本书中所用符号的一览表。符号后面数字表示出现页数。

$A$	场振幅	66
$A_n$	时间本征函数	53
$a$	反射镜损耗	137
$-a, a$	反射镜宽度	82
$a, b$	能级展开系数	28
$b$	共焦曲率半径	90
$b'$	光束参量	98
$c$	$2\pi \times$ 菲涅耳数	91
$c$	光速	16
$d$	直径	20
$E$	电场强度	28
$E_a, E_b$	$a$ 态能量, $b$ 态能量	28
$E_n$	时间本征函数振幅	54
$E_0$	电场强度振幅	36
$F, F'$	侧焦点	99
$f$	焦距	111
$f^*$	$f$ 数	117
$G$	增益	16
$G_0$	未饱和增益 (包含碰撞)	59

$g_l$	单位长度增益 (增益系数)	16
$g_{l0}$	谱线中心未饱和增益系数 (不存在谱线展宽)	45
$g_t$	单位时间增益 (时间增益系数)	16
$g_{t0}$	谱线中心未饱和和时间增益系数 (不存在谱线展宽)	55
$H$	哈密顿量	29
$H_m, H_n$	厄米多项式	93
$H$	哈密顿量矩阵	32
$\hbar$	普朗克常数	29
$\mathcal{I}_m$	反转密度的空间傅里叶分量	75
$\mathcal{I}_0$	反转密度	38
$i$	$\sqrt{-1}$	34
$k$	玻尔兹曼常数	44
$k, K$	波数 ( $2\pi/\lambda$ )	56
$L$	长度	16
$L'_p$	缔合拉盖尔多项式	119
$L_T$	阈长度	59
$M$	原子质量	44
$m, n$	横模数	83
$N$	菲涅耳数	84
$N$	单位体积原子数	31
$n$	整数	21
$n$	折射率	39
$n_a, n_b$	处于 $a$ 态或 $b$ 态的单位体积平均原子数	38
$n_1, n_2$	折射率	113

$P$	电极化强度	39
$P$	几率	28
$P_{\text{out}}$	输出功率	143
$p$	偶极矩	28
$Q$	品质因子	52
$q$	纵模数	92
$R$	波前或反射镜的曲率半径	96, 104
$R$	速率常数	37
$r$	距离	82
$r$	反射率	52
$S_{0n}, R_{0n}$	扁球坐标系中的波函数	91, 92
$S_1$	反射镜面积	82
$T$	温度	44
$t$	积分变量	45
$t$	反射镜透射率	137
$t$	时间	28
$U_n$	空间本征函数	53
$u_m, v_n$	标量光场	83
$V_{\text{int}}$	相互作用能	28
$v$	速度	43
$W$	强度 (单位面积功率)	16
$W_s$	饱和参量	62
$W_{s0}$	饱和参量	40
$w_0$	束腰光斑尺寸	105
$w_s$	光斑尺寸	96
$X$	激发参数	64

$x, y$	距离	82
$Z, Z_r, Z_i$	等离子体色散函数	46
$z$	距离	53
$\alpha_m$	兰姆系数	67
$\alpha_t$	单位时间损耗 (时间损耗系数)	52
$\beta_m$	兰姆系数	67
$\Gamma$	衰变矩阵	33
$\gamma_a, \gamma_b$	$a$ 态或 $b$ 态的衰变速率	29
$\gamma$	平均衰变速率	31
$\gamma_s$	饱和衰变速率	40
$\gamma'$	平均衰变速率 (包含碰撞效应)	41
$\gamma'_s$	碰撞展宽饱和衰变速率	43
$\gamma, \gamma_m, \gamma_n$	模式本征值	81
$\Delta$	两腔共振的角频率之差	65
$\Delta\omega_D$	谱线的多普勒宽度	44
$\epsilon_0$	自由空间介电常数	40
$\eta$	展宽参数	45
$\eta_{mn}$	兰姆系数	69
$\theta$	发散角	20
$\theta$	倾斜角	82
$\theta$	相角	56
$\theta_{mn}$	兰姆系数	69
$\Lambda_a, \Lambda_b$	至 $a$ 态或 $b$ 态的激发速率	37
$\lambda$	波长	20
$\lambda$	激发矩阵	34
$\lambda_a, \lambda_b$	激发矩阵元	34

$\mu$	偶极矩阵元	30
$\bar{\mu}$	系综平均偶极矩阵元	31
$\xi$	归一化频率	45
$\xi_{mn}$	兰姆系数	69
$\pi$	传播圆代号	98
$\rho$	距离	96
$\rho_{ab}$	密度矩阵元	32
$\rho_m$	兰姆系数	70
$\rho$	密度矩阵	32
$\sigma$	传播圆代号	98
$\sigma_m$	兰姆系数	70
$\tau_{mn}$	兰姆系数	70
$\Phi$	相角	96
$\varphi$	相角	53
$\chi', \chi''$	复电极化率的实部和虚部	39
$\psi$	相对相角	70
$\psi$	波函数	28
$\Omega$	腔共振角频率	51
$\omega$	角频率	21
$\omega_0$	$a$ 态和 $b$ 态之间跃迁的角频率	31
$\omega'$	多普勒角频移	44

# 第一章 引 论

气体激光器是一种光源。就其最一般的形式来讲，它是由一支能放大光的气体放电管和一对高反射率的反射镜所组成。图 1.1 是一个典型的气体激光器的结构示意图。

激光器的反射镜通常是球面的，并镀以多层介质膜，使其具有大约 99% 的反射率。容纳气体放电的管子称为“等离子体管”。等离子体管的两端封以窗口，即所谓“布儒斯特窗”——窗的法线与等离子体管轴线之间的夹角等于布儒斯特角<sup>●</sup>。在入射平面内线偏振的光按布儒斯特角入射时，将通过窗口而无菲涅耳反射损失。因此，可以使等离子体管与激光器的反射镜分开安装，所引起的光学损耗很微小；这就提供了

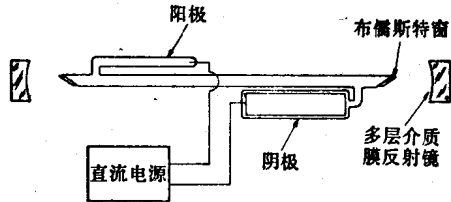


图1.1 典型的气体激光器结构

极大的方便，因为这允许实验者很容易地调换激光器的反射镜。非实验用的激光器，其反射镜往往直接固定在等离子体管上。

如果气体放电的光放大超过反射镜的光损耗，则系统将

● 布儒斯特角等于窗材料的折射率的反正切，其典型值约为 $56^\circ$ 。

是“再生的”，其功能如同一只“光振荡器”<sup>●</sup>。

激光振荡的最初建立，是由具有合适的频率、方向和偏振的光的自发发射所引发的。所要求的频率取决于两个条件：（1）必须位于呈现放大作用的辐射跃迁的“线宽”之内；（2）必须是和激光器反射镜所构成的“光学谐振腔”共振的。所要求的方向取决于反射镜系统的光轴，而其偏振取决于布儒斯特窗：由于在入射平面内线偏振的光射到布儒斯特窗上，其光学损耗最小，因而这种偏振将远远超过所有其它的偏振。

上述光的自发发射会激起附加的光发射。于是激光器中振荡的强度<sup>●</sup>将增加到这样的程度：此时电气体放电馈给振荡器的功率等于反射镜损耗的功率。在稳态振荡的情况下，放大必定饱和，结果增益等于损耗。严格地讲，应当是稳态振荡的增益略低于损耗，因为总有某些自发发射产生，不过，自发发射功率与受激发射功率相比非常之小，一旦激光器起振，自发发射通常可以忽略不计。自发发射的存在将在激光束中引起“噪声”。

让一个反射镜部分透过，便可获得激光器的输出光束。当所有不曾受到反射镜反射的光束全部透过反射镜时，将得到最大的输出功率。反射镜的吸收和散射损耗，对于获得高的

● 在六十年代初期就曾经有人建议，鉴于大多数激光器都是用作振荡器（oscillator），因此辐射的“受激发射光放大”（light amplification by stimulated emission of radiation）的缩写“laser”应当改写为“loser”。但是，显然由于“loser”很难得到研究者的公认，因而这个建议被搁置下来。

● 本书所用“强度”一词，是指电磁场中单位面积的功率。强度的平方根称为场强“振幅”。



输出功率是有害的。

反射镜必须校直，使其光轴（即两个反射镜曲率中心的连线）通过等离子体管；在理想的情况下，光轴应当与等离子体管的轴线重合。反射镜的校直公差取决于它们的曲率半径：当反射镜的曲率半径略小于它们的间距时，校直公差最大；而当反射镜为平面，或者其中一个曲率半径等于它们间距的一半时，则校直公差最小。如果反射镜的曲率半径小于它们间距的一半，则在它们之间来回反射的光的衍射损耗将很大，通常激光器不会振荡。

气体的激发通常是用直流放电或射频放电来实现。有许多因素影响到放电方案的选择；但在一级近似下，激光器的特性与所用的激发放电的方法无关。

激光器的必要条件是，要有一种放大光而不是吸收光的跃迁。这样的跃迁是不容易找到的。在处于热平衡状态的气体中，较低能级比较高能级有更多的粒子集居，光射入这样的气体时将被吸收，而不会放大。好在许多气体放电中的原子并非处于热平衡状态，并且已经发现了几百条放大跃迁谱线。

在这一章中，我们将讨论气体放电的发光和吸收的一般性质，然后描述氮氛激光器、氩离子激光器和二氧化碳激光器的最基本的特性。本章的目的主要是使读者了解气体激光技术的特点。在以后的几章中，将更详细地论述这一课题的各个特殊方面。

## 1.1 气体放电的发光与吸收

在气体放电中发生的电子学过程是多种多样的。对于我