

射频激励全金属波导 CO₂ 激光器的特性研究

辛建国 阎 平 魏光辉

(北京理工大学工程光学系, 北京 100081)

Experimental investigation of RF excited all-metal waveguide CO₂ laser

XIN Jianguo, YAN Ping, WEI Guanghui

(Optical Engineering department, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

Abstract A new type of RF excited all-metal waveguide CO₂ laser is presented. Its output characteristics are studied and compared with those of metal-ceramic sandwich and naked metal waveguide structures in the same geometrical size. With this structure, we have obtained 12 W EH₁₁ waveguide mode output power from gain length of a 300 mm.

Key words all-metal waveguide, RF excited, CO₂ laser

全金属波导激光器具有以下优点:成本低、导热性好、可加工性好,并因采用同种材料构成波导,使波导因受热膨胀所造成的变形减小。据报道,这种器件若批量生产,成本约 200 美元左右,因而有很大的应用前景。本文提出了一种新型二电极射频激励全金属波导 CO₂ 激光器结构^[1],并研究了其输出特性。

1 实验原理

射频激励二电极全金属波导结构简图如图 1 所示:波导由上电极(RF 电源输入端)、下电极(地端)和悬空的两侧壁组成,且波导四壁均由铝合金制成。在上电极与侧壁和下电极与侧壁之间间断放置了厚度仅 0.1 mm 左右的陶瓷隔片,以在上、下电极与侧壁间形成气隙。

因为我们所设计的波导结构上、下对称,故侧壁与上、下电极间形成的等效电容相等,因而其在上的分压相等,从而可实现均分压射频放电,得到正常射频 α 放电的对称均匀激励增益分布。由射频放电的 Paschen 定律^[2]可知,在气体击穿电压与气压和电极间距乘积($P \cdot d$)函数关系中,气体击穿电压有一极小值。在较大或较小气压和电极间距乘积值时,气体击穿电压很高。因此,适当地选取气压和电极间距乘积值,我们可以在全金属波导腔里获得上、下电极间的主回路放电而抑制电极和侧壁间气体隙中的放电,实现了动态绝缘。实验结果表明, $P \cdot d$ 值可以在一定范围内选取,当波导横向口径选定为 2~6 mm 时(最佳工作 $P \cdot d$ 值 $\leq 2.9 \times 10^4$ Pa · mm),气体隙可以在 0.1~0.2 mm 之间选择(其 $P \cdot d$ 值小于或等于最佳 $P \cdot d$ 值的十分之一),这时均可抑制气体隙中的放电,使波导上、下电极主回路形成稳定和可靠的放电激励。

此外,由于在光波段金属波导的分布损耗较大,为了减小波导分布损耗,我们将波导侧壁表面经阳极氧化处理形成了厚度大于一个激光工作波长,类似于 Al₂O₃ 陶瓷组份的介质膜层,以达到减小波导分布损耗的目的。通过阳极氧化处理,使金属波导转变为介质膜金属波导,并保持了金属导热性好的优点。

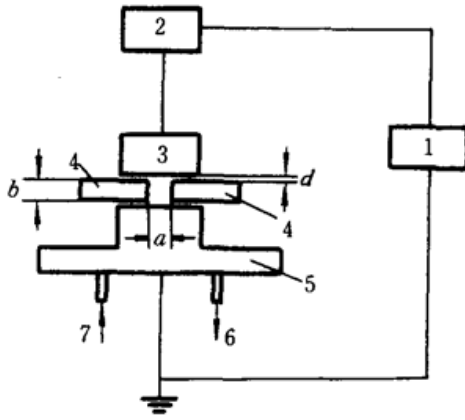


Fig. 1 Schematic diagram of the all-metal waveguide structure

1—RF power supply; 2—matching circuit; 3—top electrode; 4— anodized aluminum waveguide side walls; 5—bottom electrode; 6—cooling water outlet; 7—cooling water inlet

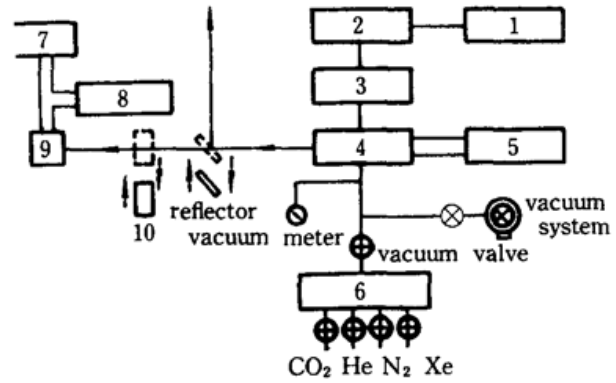


Fig. 2 Experimental setup

1—RF signal generator; 2—RF power amplifier; 3—matching circuit; 4—lase head; 5—water cooling system; 6—gas mixture bottle; 7—oscilloscope; 8—optical scanner control box; 9—optical scanner; 10—laser powe meter

2 实验装置和实验结果

整个实验装置如图 2 所示:RF 电源是 70~110 MHz 宽带 300 W 功率射频源,其输出阻抗 50 Ω。激光头与射频源间的匹配采用了一个容感匹配电路。实验中,根据各种波导的不同容性,相应调整射频电源工作频率和匹配电路参数使射频源反射功率保持在入射功率的 5% 以下。真空系统为一台机械泵低真空系统(1.33 Pa)。激光输出参数测试用激光功率计和一台 BPS-1 型光强分布扫描仪。

激光头的构成是把图 1 所示的全金属波导放入一个用 LY₁₂ 铝合金做成的真空腔内,并利用氟橡胶“O”形圈进行密封。整个激光头靠水冷却真空腔体,实验中采用平—平谐振腔,其中 10.6 μm 半透镜是锗基底介质膜片,全反镜则是金刚石刀具加工的无氧铜镜片。激光器增益长度 300 mm,混合气体组份 He : N₂ : CO₂ : Xe = (3 : 1 : 1 : 5)%。

我们做了裸金属、金属—陶瓷夹心和阳极氧化膜金属波导结构的对比实验,其几何结构尺寸如表 1 所示,并得到图 3 所示几组实验曲线。

Table 1 Waveguide geometrical size

No	type	geometrical size	size	$a \times b$ (mm ²)
1	naked-metal waveguide	2.3 × 2.3	3 × 3.3	4 × 4.3
2	anodized-metal waveguide	2.3 × 2.3	3.3 × 3.3	4 × 4.3
3	metal-ceramic sandwich waveguide	2.2 × 2.3	3.3 × 3.2	4.3 × 4.2

从曲线 (a)、(b)、(c)、(d) 可以看出:阳极氧化膜介质波导比裸金属波导输出功率、增益

激光器效率都有较大程度提高。我们认为这是由于阳极氧化介质膜的存在减小了波导本征模损耗的结果。

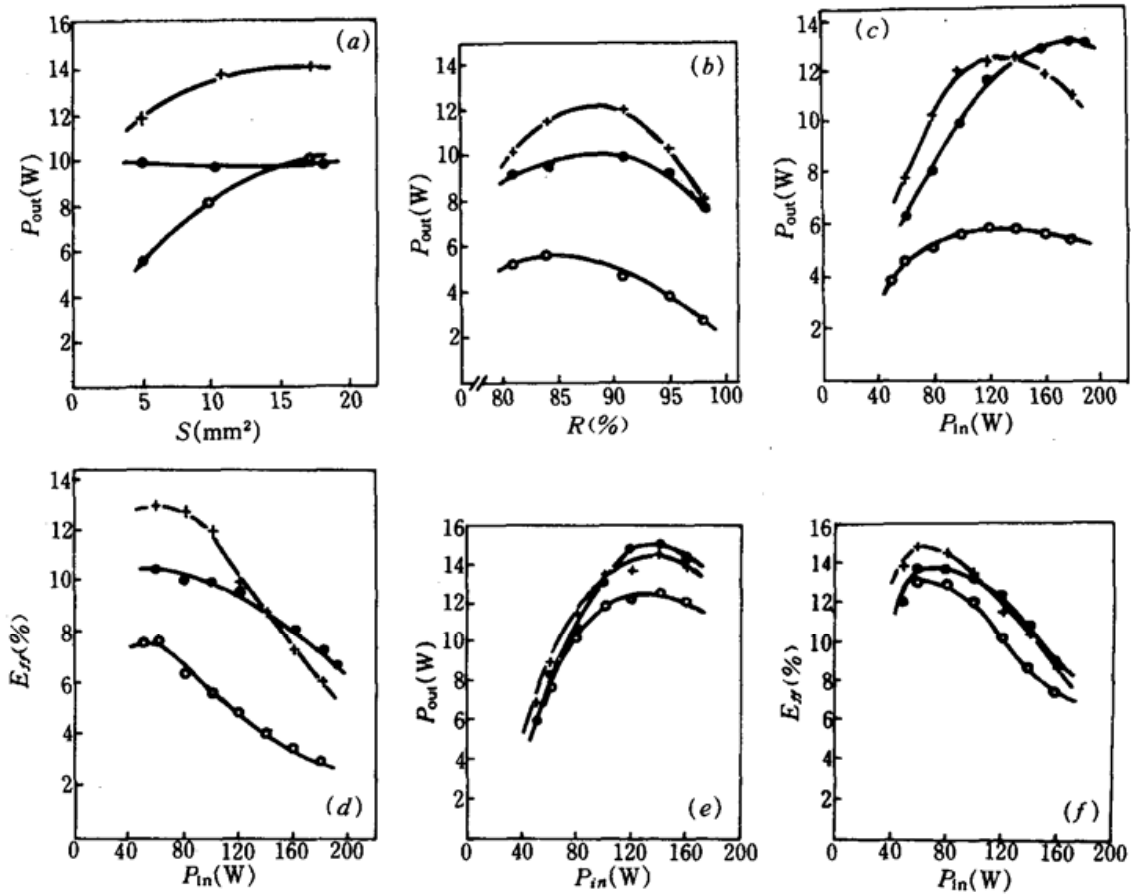


Fig. 3 Experimental results

(a) laser output power vs different waveguide geometrical size. $P_{in} = 100 \text{ W}$;

(b) laser output power vs reflectivity of output mirror $P_{in} = 100 \text{ W}$;

(c) laser output power vs RF input power. $a \times b = 2.3 \times 2.3 \text{ mm}^2$

(d) laser output efficiency vs RF input power. $a \times b = 2.3 \times 2.3 \text{ mm}^2$;

(e) laser output power vs RF input power for anodized-metal

(f) laser output efficiency vs RF input power for anodized-metal waveguide

(a) ~ (d) + — anodized-metal waveguide;

• — metal-ceramic sandwich waveguide;

○ — naked-metal waveguide;

(e), (d) + — $a \times b = 4 \times 4.3 \text{ mm}^2$;

• — $a \times b = 3.3 \times 3.3 \text{ mm}^2$;

○ — $a \times b = 2.3 \times 2.3 \text{ mm}^2$

由曲线(a)、(b)可知:当输入功率为 100 W 时,对于不同的波导横截面尺寸和输出镜反射率,阳极氧化膜介质波导比金属—陶瓷夹心波导输出功率及增益有所提高。全金属波导激光器改进了金属陶瓷夹心激光器的导热性能,从而获得了较高激光输出功率及效率。曲线(e)、(f)是对于阳极氧化膜介质波导,在不同波导口径时所获得的激光输出功率、效率和输入功率关系曲线。对于 $2.3 \times 2.3 \text{ mm}^2$ 波导,当工作频率为 99 MHz,输出镜反射率为 90%,且谐振腔两镜

片距波导口 4 mm 时,气压为 1.3×10^4 Pa,输入功率 140 W,可获得最大激光输出功率 12.5 W。当气压为 1.21×10^4 Pa,输入功率 60 W 时,获得最高激光器效率为 13%。并且得到 EH₁₁ 基模输出。

通过实验还发现:对于阳极氧化膜介质波导,其输出 EH₁₁ 基模的偏振方向垂直于波导侧壁,这是由于波导侧壁经阳极氧化处理后,与上、下金属电极壁相比分布损耗较小,因而波导内偏振态垂直于侧壁的光场易形成振荡。

参 考 文 献

- 1 J. G. Xin, P. Yan, G. H. Wei, *Appl. Phys. Lett.*, **59**(26), (1991)
- 2 L. B. Loob, *Fundamental Processes of Electrical Discharge in Gases*, Second Printing, 410, 550

(收稿日期:1992年3月10日;收到修改稿日期:1992年10月9日)