

10.6 μm 玻璃-金属复合波导激光器的偏振特性

王瑞峰 李洪波 李少葵

(成都电讯工程学院光电子技术系)

提要: 提出一种使小型波导 CO₂ 激光器产生线偏振光输出的波导管结构, 在激活介质长度 250 mm、总腔长 310 mm 的条件下, 获得功率大于 5 W、偏振度大于 95% 的线偏振 TEM₀₀ 模激光输出。

Polarization characteristics of a 10.6 μm glass-metal complex waveguide laser

Wang Ruifeng, Li Hongbo, Li Shaokui

(Chengdu Institute of Radio Engineering, Chengdu)

Abstract: A waveguide tube structure is suggested to get linear polarized output in small CO₂ waveguide lasers. Using this structure, linear polarized TEM₀₀ mode laser output of over 5W and the degree of polarization of over 95% are obtained with an active medium length of 250mm and a total cavity length of 310mm.

一、引言

随着近年来激光通讯这一领域的不断发展, 对偏振输出小型波导 CO₂ 激光器提出了更高的要求。在谐振腔内加布鲁斯特窗来得到偏振输出这一传统方法有一些固有的缺点, 比如增加了激光器的长度和腔内损耗。为此, 我们提出一种玻璃-金属复合波导的设计。它是基于下面一些事实: 玻璃空心圆柱波导中的低损耗模 EH₁₁ 是线偏振的, 但由于空心圆柱波导的圆对称性, 往往使得其偏振方向不固定。我们通过在玻璃波导的一端接上一段金属波导, 利用金属波导中场结

构的特殊性来限制玻璃空心圆柱波导中的场结构, 使偏振方向固定下来, 产生我们所需要的线偏振光输出。

二、实验装置及结果

玻璃-金属复合波导就是在玻璃空心圆

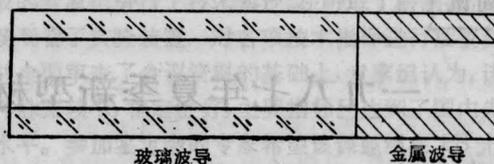


图1 玻璃-金属复合波导的截面图

收稿日期: 1986年1月17日。

柱波导的一端接上一段金属平行平板波导组成的复合结构,如图1所示。

为了减少玻璃波导与金属波导之间的耦合损耗,尽量使两者靠近。由于弯曲的波导将引入附加损耗^[1]。也应将金属平行平板波导截面的几何中心轴线与玻璃空心圆柱波导的轴线尽量重合,以得到最佳的功率输出。在激光器的结构上我们使用了大孔径玻璃波导(波导管内径为3mm左右),并利用近场非匹配凹面镜进行选模。我们制作了二十三支激光管。激光器的典型参数为:腔长 $L=310\text{mm}$,波导管长 $l_1=250\text{mm}$,波导管内半径 $a=1.5\text{mm}$,金属波导长 $l_2=20\text{mm}$,宽 $w=15\text{mm}$,两金属板的间距 $2d=3.5\text{mm}$,全反射镜曲率半径 $R_1=1000\text{mm}$,半反射镜曲率半径 $R_2=\infty$,反射率 $r=90\%$,工作气体配比为 $\text{He}:\text{CO}_2:\text{CO}:\text{Xe}=7:1:1:0.1$ 。在总气压为60 Torr时,对器件的输出功率及偏振度测量得到的结果列于表1。

表1 输出功率及偏振度的测量结果

试验管编号	85004#	85011#	85019#	85021#	85022#	8601#
工作电流(mA)	6	10	8	7	6.5	8
输出功率(W)	5.7	6.2	5.5	5.5	5.4	5.4
偏振度	>95%	>95%	97	99	97	>95%

偏振度的测量装置如图2所示,它将两个砷化镓光学平面平行放置而构成一个组件,并使入射光以布鲁斯特角入射。旋转这一组件,测得入射光的最小垂直分量及最大水平分量,用下面的式定义偏振度:

$$P = \frac{I_{\perp\max} - I_{\perp\min}}{I_{\perp\max} + I_{\perp\min}}$$

我们的实验管在三个小时连续工作期间,测得的结果基本上一致,都十分相似,图3是对85019#管测量的结果。

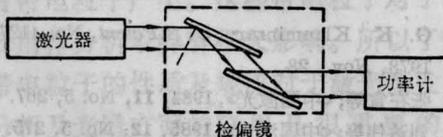


图2 偏振度测量装置

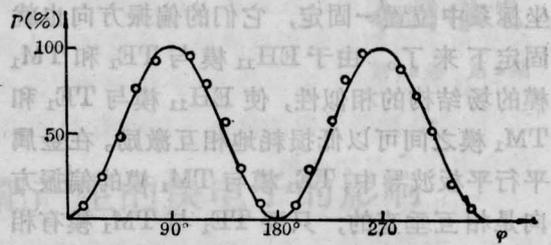


图3 偏振度的测量结果

曲线为线偏振光入射时的理论曲线;圆点为测量值

在图3中 φ 为检偏组件的旋转角度。由图可见,实验结果与100%线偏振光入射时的理论曲线相当吻合。实测的偏振度为97%。更为重要的是,实验中发现,不论金属平行平板波导相对于波导管轴线作任何角度的旋转,实际得到的输出光的偏振方向总是平行于平行平板表面。这证明了我们所得到的线偏振光是由于金属平行平板波导的作用而产生的。

三、对实验结果的解释

由介质波导理论可知^[1],在空心介质圆柱波导中可以低损耗地传输 EH_{11} 模。而 EH_{11} 模的电场结构可以表示为:

$$\begin{cases} E_{\varphi} = J_0(u_{11}r/a) \cos \varphi \\ E_r = J_0(u_{11}r/a) \sin \varphi \end{cases} e^{i(rz - \omega t)}$$

式中 u_{11} 为零阶贝塞尔函数的第一个根($u_{11}=2.406$), a 为波导管内半径, r 为传播常数。由 EH_{11} 模的场结构可知, EH_{11} 模是线偏振的且具有圆对称性。由于这种圆对称性, EH_{11} 模的偏振方向将以波导管的轴心为轴作随机变化。这样,不加布鲁斯特窗, CO_2 波导激光器输出光束的偏振方向也将随机变化。

在金属平行平板波导中,当两平板的间距 $2d$ 远大于所传输光的波长 λ 及波导中模的传播常数近似相等时,可以独立传播低损耗的 TE_1 及 TM_1 模。由 TE_1 及 TM_1 模的场分布可知^[2], TE_1 及 TM_1 模都有固定的偏振方向,也就是说,只要金属平行平板波导在实验

坐标系中位置一固定, 它们的偏振方向也就固定下来了。由于 EH_{11} 模与 TE_1 和 TM_1 模的场结构的相似性, 使 EH_{11} 模与 TE_1 和 TM_1 模之间可以低损耗地相互激励。在金属平行平板波导中, TE_1 模与 TM_1 模的偏振方向是相互垂直的, 只要 TE_1 与 TM_1 模有相差较大的传输损耗系数, 它们之中的一个就能成为金属平行平板波导中的主要模式。这样, 我们就可获得所希望的具有固定偏振方向的线偏振输出。

对 $10.6\mu\text{m}$ 的 CO_2 激光, 玻璃的复折射率 $\eta_G = 2.1 - i1.2^{[3]}$, 我们使用铜作为金属波导, 其复折射率 $\eta_c = 14.2 - i64.5^{[4]}$ 。对于实验波导选取的尺寸, 我们算得 TE_1 , TM_1 及 EH_{11} 模的损耗系数为:

$$\alpha_{\text{TE}_1} = \frac{\lambda^2}{16d^3} \text{Re} \frac{1}{(\eta_c^2 - 1)^{1/2}} \\ \approx 2.5 \times 10^{-6} \text{ (dB)}$$

$$\alpha_{\text{TM}_1} = \frac{\lambda^2}{16d^3} \text{Re} \frac{\eta_c^2}{(\eta_c^2 - 1)^{1/2}} \\ \approx 3.0 \times 10^{-2} \text{ (dB)}$$

$$\alpha_{\text{EH}_{11}} = \left(\frac{u_{11}}{2\pi} \right)^2 \frac{\lambda^2}{d^3} \text{Re} \frac{\eta_G^2 + 1}{2(\eta_G^2 - 1)^{1/2}} \\ \approx 1.2 \times 10^{-2} \text{ (dB)}$$

结果查明, TM_1 模的损耗系数比 TE_1 模大四个数量级。所以, 在金属平行平板波导中将以 TE_1 模作为主要模式, 而 TE_1 模的偏振方向平行于金属板表面。因而我们将得

(上接第 219 页)

棱镜数, 还随总扩束倍率不同而变化, 图 4 给出了两种材料的多棱镜系统在有、无增透膜时最优透过率和最优棱镜数与总倍率的关系, 可以看出, 在无增透时, T_P 仍随 M 的增大而下降, 且 $T_P(\text{ZF}_5) < T_P(\text{K}_9)$; 而有增透时, 最优透过率几乎与 M 无关, 且 $T_P(\text{ZF}_5) > T_P(\text{K}_9)$ 。

五、小 结

由上述以扩束倍率 M 和材料折射率 n

到偏振方向与 TE_1 模的偏振方向相平行的线偏振光输出。

由以上分析我们认为: 内腔 CO_2 波导激光器的偏振特性是与腔结构紧密相关的。在普通 CO_2 波导激光器中, 由于制造波导管的过程中所产生的不对称及放电不均匀, 对空心介质圆柱波导的圆对称性都有一定程度的影响, 从而对输出光束的偏振特性也将产生影响。但这种影响是较弱的, 使输出光束的偏振方向基本上局限于某一范围, 偏振度低且不稳定。我们在腔内插入金属平行平板波导强烈地限制了玻璃空心圆柱波导中场结构的圆对称性从而得到了线偏振输出。事实上, 只要我们对这种圆对称性加以合理的限制也可以达到同样的目的。但是这些问题在理论上还有待于进一步完善和解决。

在器件的制造过程中得到了郑华琴、洪永和、卢雁等同志的大力帮助和支持, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] E. A. J. Marcatili, R. A. Schmelzter; *Bell Syst Tech. J.*, 1964, **43**, 1783.
- [2] H. Nishihara *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **25**, No. 7, 391.
- [3] W. Cleek; *Appl. Opt.*, 1966, **5**, 771.
- [4] A. P. Lenham, D. M. Terherne; *J. Opt. Soc. Am.*, 1966, **56**, 683.

作为重要参数, 对扩束棱镜系统的损耗分析表明: 采用多棱镜扩束, 选用高折射率、高色散的玻璃材料, 不仅有利于获得高扩束倍率, 而得到窄激光带宽, 也有利于提高光的偏振性能与减小扩束系统的损耗。

参 考 文 献

- [1] G. K. Klauminzer; *U. S. Patent*, No. 4127828, 1978, Nov., 28.
- [2] 张在宣等; 《中国激光》, 1984, **11**, No. 5, 267.
- [3] 刘达伟等; 《中国激光》, 1985, **12**, No. 5, 275.
- [4] 张国威; 《光学技术》, 1983, No. 4, 2.