

旋转光束匀化 CO₂ 激光光强方法的研究

周 行 潘世明 肖明强 李海沧
(上海激光技术研究所)

提 要

本文报导一种匀化光强的方法。根据光束在锗平片中折射产生偏移的原理,用一旋转锗平片使光束旋转,就可以达到匀化的目的。文内分析了平均强度分布与偏移距离等参量的关系,并对理论分析用电子计算机处理所得数据与实验测试进行比较,取得较为一致的结果。

一、引 言

激光束在截面上的分布是很不均匀的,CO₂气体激光一般工作于低次模,这类模式除 TEM₀₀模以外,光束截面上的光强分布出现节点、节线,也就是说某些部分光强为零。TEM₀₀模的光强分布在低次模中是最均匀的,所以许多应用要求激光器输出 TEM₀₀模,但是即使是 TEM₀₀模,其分布也是高斯型的,即

$$I = I_0 \exp(-2r^2/\omega^2), \quad (1)$$

其中 I_0 是光束中心强度, ω 为光束半径, I 为离光束中心 r 处的光强,显然 $r = \omega$ 与 $r = 0$ 两点的光强比为 e^{-2} 。

某些激光应用如表面辐照、热处理等要求被照射面上激光光强分布均匀,即使高斯光束也不能满足需要。为了使光束匀化,在可见光区域,采用高斯型吸收的透明介质,校正光强的非均匀性^[1],这样得到的光束均匀性虽然很好,但能量利用率很低,而且这种方法对红外,尤其对 $10.6\mu\text{m}$ 波段是不合适的。对于 CO₂ 激光,有人采用二维振镜的方法,使激光束扫出一幅复杂的图形,以此来达到匀化光强的目的^[2]。这种装置比较复杂,但损耗小,能量利用率比较高。

本文报导的光束匀化方法是利用 CO₂ 激光束在倾斜放置的锗平片中折射时光路发生偏移的现象,若使倾斜锗平片旋转就能造成光束旋转,达到匀化光强的目的。我们对这种简易装置作了理论分析,并用计算机计算处理,所得结果与实验符合。研究成果已用在一台激光燃烧样品分析装置中,估计在热处理等方面也可以应用。

二、分 析

使激光束通过一块倾斜放置的锗平片,光束在锗片中经折射后出射时,光束发生平移(见图1)。平移量 r 可以通过折射定律和图1中的几何关系求得:

$$r = \frac{\delta \sin [\alpha - \sin^{-1}(\sin \alpha/n)]}{\cos [\sin^{-1}(\sin \alpha/n)]}, \quad (2)$$

其中 δ 为镜片厚度, α 为光束入射角, n 为锗的折射率。出射的光束在入射光和锗平片的法线所构成的入射面内。当锗平片以入射光束为轴旋转时, r 不变, 但由于入射面绕光束旋转, 所以出射光束也就以入射光束为转轴, 以 r 为半径旋转起来。

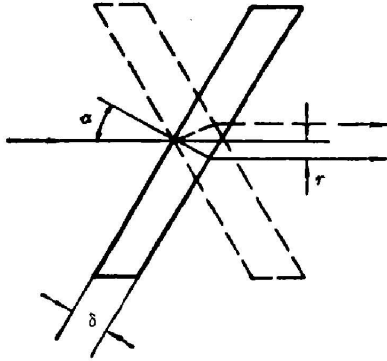


图1 通过旋转锗片后光束的旋转

Fig. 1 Rotation of laser beam after passing through a rotating germanium plate

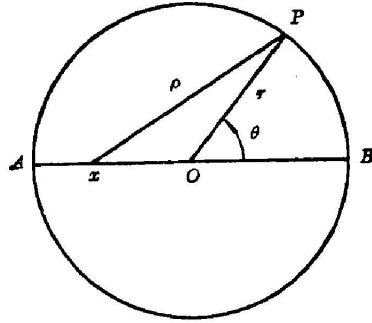


图2 在光束横截面上的几何参量

Fig. 2 Geometrical parameters on the beam cross-section

光束旋转时, 光束截面上每一点(除转轴以外)的光强都在以同一角速度绕转轴旋转, 对时间平均其效果是改变了高斯型分布, 匀化了光强。下面将对这种情况下光束截面上某一点的光强变化及其时间平均值进行分析。图2表示光束截面中某点 P 以 O 为圆心, 以 r 为半径旋转。显然, 旋转后光强的平均分布是中心对称的, 因此, 只需要求得光强沿任一方向的径向分布, 旋转一下就可以得到整个截面的分布。设 x 为任一直径 AB 上的一点, θ 为 PO 与 OB 之间的夹角, $OP=r$, $Px=\rho$ 。对 TEM_{00} 模的情况, 这种模的光强分布见(1)式, 为简化起见令 $I_0=1$, 则 x 点的光强为 $I_x = \exp[-2\rho^2/\omega^2]$, 随着光束旋转, ρ 值不断变化, x 点的光强也在不断变化。光束旋转一周, x 点的光强平均值 \bar{I}_x 可由下式计算:

$$\bar{I}_x = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \exp(-2\rho^2/\omega^2) d\theta. \quad (3)$$

令 $\varepsilon = Ox/\omega$, $a = r/\omega$, 则 $\rho^2 = \varepsilon^2\omega^2 + r^2 + 2\varepsilon\omega r \cos \theta$, 于是(3)式可化为:

$$\bar{I}_x = \frac{1}{\pi} \exp[-2(\varepsilon^2 + a^2)] \int_0^{\pi} \exp[-4a\varepsilon \cos \theta] d\theta, \quad (4)$$

对原点 O , 因为 $\rho=r$ 为常数, 旋转中该点光强 $I_0 = e^{-2a^2}$, 即为平均值。在(4)式中令 $\varepsilon=0$ 也可以导出此值。从(4)式可知, 当 a 值确定后, \bar{I}_x 值将随 ε 而变化, 这就形成一定的分布, a 值不同, 则分布也不同。这种分布可以从(4)式算出, 但是(4)式中的积分无法用解析式表示, 我们用数值计算法通过小型计算机计算了从 $a=0$ 到 $a=1.6$ 之间的不同情况下的平均光强分布。计算的部分结果如图3所示。

计算结果表明, $a=0$ 时的分布就是通常的高斯分布, 随着 a 的增大, 中心部分逐渐平坦, 这就达到匀化光强的目的。随着 a 值继续增大中心部分将逐渐下降, 出现凹陷, 光束又变得不均匀了。我们在 $a=0.7 \sim 0.9$ 范围以步长 0.01 作仔细计算, 计算表明以光强不均匀

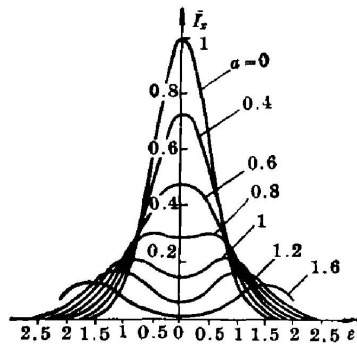


图3 在不同的 α 值下, 光强的分布曲线
Fig. 3 Profiles of laser flux
when $\alpha=0\sim 1.6$

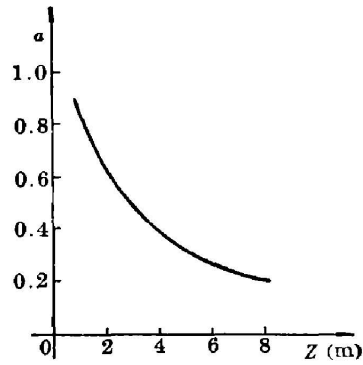


图4 距离 z 与 α 值的关系
Fig. 4 Relationship between
parameter α and distance z

性不超过 10% 为判据, 当 $\alpha=0.8$ 左右时, 光束均匀部分直径最大, 此直径与原光束直径之比为 80%。而未经匀化的光束, 不均匀度 $<10\%$ 部分只占光束直径 25%, 这说明用这种方法匀化的效果是明显的。

通过改变锗平片厚度 δ , 可以改变 α 值, 在 δ 固定的情况下, 因为光束半径 W 随离输出端的距离而变化, α 值也会发生变化。根据高斯光束的传播规律, 离激光输出锗平镜 z 距离上的光斑尺寸 w_z 为

$$w_z^2 = w_0^2 [1 + (\lambda z / \pi w_0^2)^2], \tag{5}$$

其中 w_0 为束腰半径, λ 为波长。选取参量 $w_0=2.40\text{ mm}$, $r=2.33\text{ mm}$, 则在 z 从 0.7 米变到 8 米的情况下, α 值从 0.9 变到 0.2 左右, 如图 4 所示。所以利用这种关系, 既可以用改变距离来调整 α 值, 也可以在不同距离上获得不同的光强分布。

三、实 验

光束匀化实验装置如图 5 所示。所采用的 CO_2 激光器的参量为: 放电长度 1.6 m, 腔长 1.8 m, 工作于 TEM_{00} 模, 输出功率 40~50 W, 短期功率稳定性 5% 左右。匀束装置核心是一块高速旋转的倾斜放置的锗平片, 转速约 3600 rpm, 与光束间的夹角为 60° , 也就是

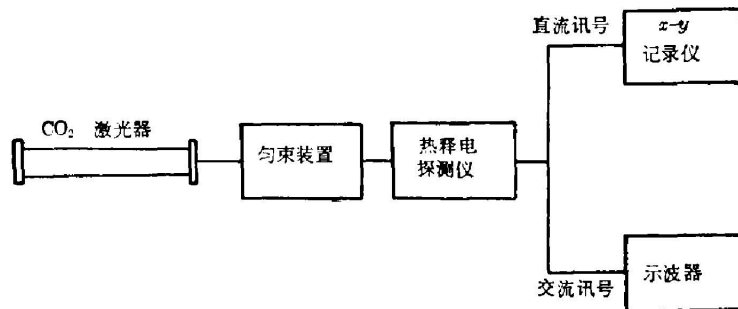


图5 实验装置示意图
Fig. 5 Schematic diagram of the experimental setup

使光束以 30° 入射, 两面以 60° 位置镀增透膜, 总的透过率在 90% 以上。CO₂ 激光参量测

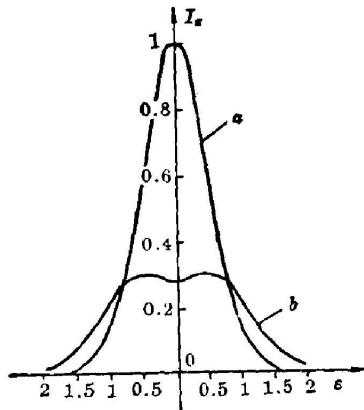


图 6 光强分布曲线比较

Fig. 6 Comparison of two profiles

试使用我所自制的热释电探测仪, 在该仪器中, 探测激光的热电元件沿光束截面的水平方向扫描, 扫出的光强的分析由 LZ3-204 型函数记录仪记录。图中的示波器用于监视并调整探测元件的位置。

测量结果证实了分析的正确性, 对同一激光器, 用不同 δ 的锺平片, 测得光强分布不同; 用同一锺平片, 在不同位置上测得的光强分布也不同。测量数据和理论计算大致(如图 4 所示)吻合。匀化效果最佳的典型实验曲线如图 6 所示, 其中测量位置离激光器输出镜约 1.67 m。不加旋转锺片时测得未匀化的光强分布曲线 a 接近高斯分布, 从这一曲线上求得 $1/e^2$ 处的光束半径 $w=3.3$ mm。曲线 b 是经过旋转锺片时测得的光强分布, 所用旋转锺片厚度为 6.0 mm, 光束偏移 $r=2.3$ mm, $a=r/w$, 约 0.7。这一结果和理论计算基本上相符。理论计算最佳匀化时 $a=0.8$, 和实验值稍有差别, 这可能与光学元件的加工精度及准直精度有关, 也可能与测量精度有关。

四、结 论

我们对旋转光束匀化 CO₂ 激光光强的方法进行了分析, 计算了偏离参量 a 对平均光强分布的影响。用数值计算的方法找出最佳匀化参量。这些计算与实验结果均基本相符。

从实验结果来看, 用这一方法可使光强均匀性获得相当大的改善, 不均匀度 <10% 部分的直径为未匀化时的三倍左右。这一研究结果已经用于一台激光燃烧样品分析装置中。

分析表明, 用这种方法可以得到其它形式的平均光强分布(如图 4 所示), 这有可能用于一些特殊的情况, 如热处理之类。

参 考 文 献

- [1] 池上皓治:《光学》, 1980, 9, No. 2 (Apr), 106.
- [2] T. Saito et al.: *Combustion Science and Technology*, 1977, 15, No. 3~4 (Mar), 161.

Improvement of flux uniformity in CO₂ laser by laser beam rotation

ZHOU HANG PAN SHIMING XIAO MINGQIANG AND LI HAICHANG
(Shanghai Institute of Laser Technology)

(Received 5 May 1982)

Abstract

A method of improving laser flux uniformity has been reported. Laser beam passes through a tilted germanium plate which rotates around the beam. The exit beam from the plate will rotate around its axis. In this way, the spatial uniformity of laser flux can be improved. The relation between rotation parameters and spatial distribution of laser flux intensity has been analysed and the experimental results are in agreement with the theoretical calculation.

'83 国际激光会议预告

Announcement—1983 International Conference on Lasers

«1983 年国际激光会议»将于 1983 年 9 月 6 日至 9 日在中国广东省广州市召开。会议由中国光学学会主办,中国光学学会理事长任会议主席。

会议的征文范围为:激光物理、激光化学、激光器件、激光材料、激光工程和工艺以及激光应用等方面。征文截稿日期 1983 年 3 月 31 日。

中国方面的征文稿请用“印挂”投寄上海 8211 信箱王之江教授,信封上务请注明«'83 会议»征文稿。

来稿一式两份,35~50 字的摘要和 800~1000 字的提要,中英文对照。若有必要的图、表、照片,必须一式两份,并要求清晰符合出版规格。

(‘83 国际激光会议筹备组供稿)