

的支持,但又不受传统概念的束缚而勇于探索.

参 考 文 献

- [1] H. Amano et al. , *Appl. Phys. Lett.* , **48**(1986) ,353.
[2] H. Amano et al. , *Jpn. J. Appl. Phys.* , **28** (1989) ,
L2112.
[3] I. Akasaki et al. , *Electron. Lett.* , **32**(1996) ,1105.
[4] G. Fasol , *Science* , **278**(1997) ,1902.
[5] M. Meyer , *Compound Semiconductor* , Nov./Dec. ,
(1997) ,8.
[6] S. Strite , H. Morkoc , *J. Vac. Sci. Technol. B* , **10**
(1994) ,1237.
[7] I. Akasaki et al. , *J. Crystal Growth* , **98**(1989) ,209.
[8] S. Nakamura , *Jpn. J. Appl. Phys.* , **30**(1991) ,L1705.
[9] N. Yoshimoto et al. , *Appl. Phys. Lett.* , **59** (1991) ,
2251.
[10] S. Nakamura , T. Mukai , *Jpn. J. Appl. Phys.* , **31**
(1992) ,L1457.
[11] S. D. Hersee et al. , *MRS Bulletin* , **22** - 7(1997) ,45.
[12] W. Qian et al. , *Appl. Phys. Lett.* , **66**(1995) ,1252.
[13] B. Heying et al. , *Appl. Phys. Lett.* , **68**(1996) ,643.
[14] X. H. Wu et al. , *Appl. Phys. Lett.* , **68**(1996) ,1371.
[15] S. Keller et al. , *Appl. Phys. Lett.* , **68**(1996) ,1525.
[16] X. H. Wu et al. , *Jpn. J. Appl. Phys.* , **35** (1996) ,
L1648.
[17] X. H. Wu et al. , *J. Crystal Growth* , in press.
[18] S. J. Rosner et al. , *Appl. Phys. Lett.* , **70**(1996) ,420.
[19] S. Nakamura et al. , *Jpn. J. Appl. Phys.* , **30** (1991) ,
L1708.
[20] S. Nakamura , G. Fasol , *The Blue Laser Diode* , Springer
- Verlag , Berlin , (1997) .

内腔式高亮度小发散角 CO₂ 激光器 *

王绍民 陆辉 林强

(杭州大学物理系,杭州 310028)

摘 要 根据子波在边界上产生位相跃变的假说,提出了用 $\lambda/2$ 光学厚度的位相片来实现新光束的技术构思,研制成功了等效光束质量因子 $M_c^2 < 1$ 的 CO₂ 激光器.

关键词 光束质量,新光束,CO₂ 激光器

INTRA - CAVITY HIGH BRIGHTNESS SMALL DIVERGENCE ANGLE CO₂ LASER

Wang Shaomin Lu Xuanhui Lin Qiang

(Department of Physics, Hangzhou University, Hangzhou 310028)

Abstract By using a transparent plate of optical thickness $\lambda/2$, we have realized a series of new beams superior to Gaussian beams in both divergence and intensity. An intra-cavity CO₂ laser with a $\lambda/2$ phase plate has been made with an equivalent beam quality factor $M_c^2 < 1$.

Key words beam quality, new beam, CO₂ laser

1 引言

众所周知,各类激光器,包括气体激光器、固体激光器、半导体激光器等,已广泛地应用于军事、民用和科学研究领域.在激光器出现以前,光的衍射极限是指平面波经过小孔光阑衍

射在远场形成的艾里斑.在激光器出现以后,基模高斯光束的方向性优于艾里光束,因而成为新的衍射极限.长期以来,基模高斯光束被认为是光束质量最好的光束,若用光束质量因子

* 国家自然科学基金和浙江省自然科学基金资助项目
1998 - 05 - 18 收到初稿,1998 - 08 - 14 修回

M^2 来表示,基模高斯光束的 $M^2 = 1$,而其他任意光束的 M^2 均大于 1.

由于大多数激光器(特别是高功率激光器)产生的模式是多模,光束发散角大,光束中心的光强并不悬殊地高于边侧的光强,稳定性也差.多年来,人们为了改善激光器的光束质量,寻求基模输出,曾做过大量的工作,如采取“小孔光阑”限模法、“软边光阑”选模法等,但其结果是虽可得到基模,却又使激光的功率大大下降,效率很低,效果并不理想.因此,寻求一种新的机理,去实现对光束质量上一种新的变革,获得一种优于高斯光束的高亮度、小发散角、稳定的高质量光束是人们长期以来所追求的目标.

实际光束能否超过基模高斯光束?国外有人试图用重频固体激光器的双光束耦合的锁定相位共轭来使激光束的发散角趋近衍射极限,有人认为调节激光腔可以改变光束分布,但没有具体结果.美国的 Siegman 教授认为,二元位相片不能改善光束质量^[1],任何光束不可能超过基模高斯光束这一衍射极限.得到这一结论的原因是基于二阶矩方法的光束质量定义不尽合理.为此,我们提出了一种利用位相片来改善光束质量的原理与方法,并首先在 CO₂ 激光器上得以实现.

2 系列新光束

根据边界衍射波理论,光通过光阑的衍射主要是由光阑的边界引起的.在远场,衍射光场是两列光束相互干涉的结果,一束是遵循几何光学规律传输的几何波,另一束是由光阑边界引起的边界波^[2].由于边界波存在位相跃变^[3],如果我们在几何波上附加位相,则可使几何波与边界波同位相,这样将会产生比入射光束中央功率密度更高、方向性更好的新光束^[4].

这类新光束可分为外腔式和内腔式两种.外腔式高亮度新光束产生器由光源和一块镀介质膜的位相片构成.位相片对工作波长来说是透明的,膜层的厚度 d 与工作波长 λ 的关系

满足 $d = (2n + 1) \lambda / 2$,其中 $n = 0, 1, 2, \dots$ 镀膜区的形状可为圆形、方形或长条形,镀膜区的尺寸小于照明光束的尺寸.现已成功地获得了 He - Ne 激光器、He - Cd 激光器、波导 CO₂ 激光器和固体板条激光器以及半导体泵浦固体绿光激光器的腔外新光束.但这类新光束必需由基模激光产生,并存在旁瓣,有 5%—50% 的损耗,因而限制了推广应用.

为了消除旁瓣,王绍民提出了把位相片插入腔内的新构思,并与原电子工业部第十二研究所合作,率先研制成功内腔式新光束 CO₂ 激光器^[5],其结构见图 1.为了减少损耗,把位相片设置在全反射镜上,位相片的直径 ϕ 满足 $0 < \phi < w_0$,其中 w_0 是基模光斑尺寸.在模式竞争中,抑制了高阶模振荡,得到了超衍射极限的新光束.

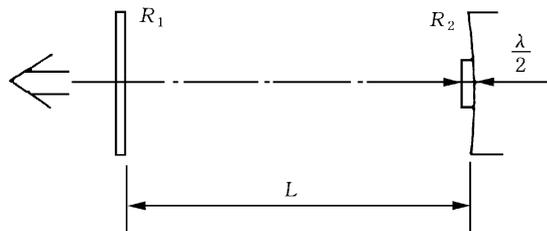


图 1 内腔式高亮度超衍射极限新光束激光器示意图

超衍射极限 CO₂ 激光器(普通直流激励)目前达到的参数为:腔长 $L = 500\text{mm}$,放电区长度 $= 420\text{mm}$,毛细管直径 $\phi = 5.8\text{mm}$,腔镜曲率半径分别为 $R_1 =$ (输出镜), $R_2 = 1\text{m}$ (带位相片全反射镜),输出功率 17W , $w_0 = 0.9\text{mm}$, $\theta_0 = 0.9\text{mrad}$, $M_c^2 = 0.3$.对同类型相同尺寸的 CO₂ 激光器,在基模输出时功率一般小于 9W ,小于本发明的 $1/2$,而基模发散角的理论值约为 3mrad ,相当于本发明的 3 倍.图 2 为距离激光器输出镜 26m 远处新光束的横向光强分布,其光斑尺寸为 0.9mm .

因为输出光束不是高斯分布,用等效光束质量因子 M_c^2 更切合实际,其定义为

$$M_c^2 = w_{86.5} / w_{86.5} \theta_{86.5}$$

其中 $w_{86.5}$ 为等效光束半径, $\theta_{86.5}$ 为等效远场发散角.据此定义,新光束 CO₂ 激光器的等效光

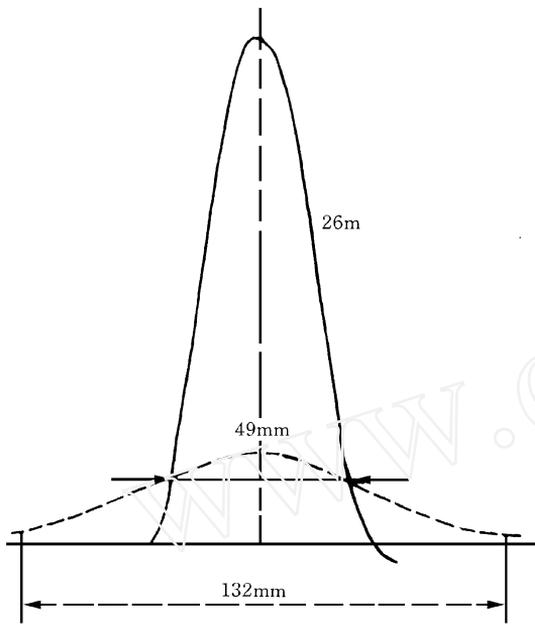


图2 远场(26m)新光束的横向光强分布
(虚线表示 TEM₀₀模的理论值)

束质量因子 M_e^2 约为 0.3. 本项目还解决了位相片制作中的许多技术问题,如控制位相片镀膜区的厚度、边缘的光滑性、膜层的抗破坏性等,为批量生产作了准备,也为其他激光器光束质量的改进打下了基础.

3 学术意义与应用价值

本项目根据边界波理论及子波在边界上产生位相跃变的新思想,研制成功的“内腔式高亮度小发散角新光束 CO₂ 激光器”,取得了等效光束质量因子 $M_e^2 < 1$ 的突破性进展,其光束质量优于目前尚很难得到的 TEM₀₀ 模,这是一项激光技术的重大突破,突破了原来的“衍射极

限”.研制成的样机在同类尺寸的 CO₂ 激光器中,其亮度达到国际领先水平,从根本上提高了激光器的光束质量,拓宽了激光器的应用领域,该项技术具有重大的学术意义、技术价值和潜在的经济效益.同时提高了我国在该领域的研究水平和学术地位,1997 年获国家技术发明三等奖.超衍射极限激光技术也可用于改善其他种类激光器的光束质量,形成系列的新光束激光器.

高亮度新光束的实现拓宽了激光的应用面,如激光准直、激光加工、激光打孔、激光切割等,提高了加工精度,对产品的升级起了关键的作用.高亮度超衍射极限光束的实现,对光学的衍射理论和激光的应用都有深刻的影响.用新光束 CO₂ 激光器研制成功激光雕刻机,达到了良好的雕刻效果.根据《Laser Focus World》和《Lasers & Optronics》报道,世界年需求 CO₂ 激光器为 2 万多台,价值 2.8—5.5 亿美元;据中国光学协会统计,我国每年售出约 5 千台中、小型 CO₂ 激光器,价值 5 千万元人民币,因而该技术具有很大的潜在经济效益.

致谢 作者感谢原电子工业部第 12 研究所潘承志教授等的合作.

参 考 文 献

- [1] A. E. Siegman, *Optics Letters*, **18**(1993), 675.
- [2] M. 玻恩, E. 沃耳夫, 光学原理. 科学出版社, (1985), 587.
- [3] S. Wang, *Optik*, **100**(1995), 107.
- [4] 王绍民、林强、陆 辉等, 衍射的本性和新光束激光, 杭州大学出版社, (1997).
- [5] C. Pan, S. Wang, *Optik*, **101**(1996), 184.