

改善准分子激光光强分布的一种方法

董景星 叶震寰 高鸿奕 魏运荣 楼祺洪

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 介绍了一种改善准分子激光输出光束光强均匀性的新方法, 给出了实验结果和简要的分析。

关键词 波导, 均匀器

1 引言

大部分的商品化或实验室准分子激光器, 输出的激光光束光强有一个分布, 而且由于准分子激光器放电的特殊性, 输出光束的光强分布局部还有很大的起伏。在卤素气体浓度较高时尤为明显。由于光强分布的不均匀, 给激光对材料的刻蚀和表面处理带来了困难, 一般实验中使用小孔光阑从激光光束中心部分取出部分能量用于实验。对于光强分布要求越高的实验, 激光光束的利用率越低。参考文献[1]利用这种方法做了激光刻蚀实验。本文介绍一种改善准分子激光输出光强均匀性的新方法。

2 实验方法

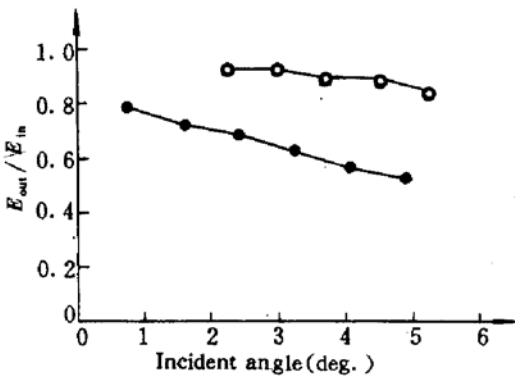


Fig. 1 The reflectivity of a glass plate at 308 nm under different incident angles

Upper trace; with AL film; Lower trace; without AL film

我们使用一段矩形“光波导”, 与一对石英透镜组合, 使在空间的某一个面上获得光强分布均匀的激光输出。“光波导”用浮法玻璃制作。内反射面作光学加工, 一般使用时可以不镀膜。激光在小角度掠入射的情况下, 不镀膜的面对于 308 nm 激光反射率大于 80%, 可满足一般使用。实验测量了镀铝膜和不镀铝膜的反射面在不同入射角时的反射率变化(图 1)。因为掠入射时的反射损耗决定了均匀器的传输损耗, 激光在均匀器内的反射次数越多, 光束的均匀性越好, 但损耗也线性增加。

“波导”长度从 15~30 cm, 通光口径为 0.5 cm×0.5 cm 方孔。入射角小时内壁的反射损耗较小, 但要加长“波导”以便保证有足够的反射次数。

用 $f = 200 \text{ mm}$ 的透镜把激光束会聚进长 30 cm 的“波导管”，不同入射角的光线在管内经过不同次数的反射，传输到“波导管”的输出口叠加混合后可以获得均匀的激光光强分布。用石英透镜把“波导管”输出口的激光成象于空间某一个面上，在这个面上可以得到一个光强分布近似方波的激光输出。改变输出透镜和“波导管”输出面的距离，可以产生不同光斑面积的激光均匀面。实验装置如图 2。下面把“光波导”对激光束的均匀特性和小孔光阑作一对比。准分子激光器的激光输出有一个强度分布，分布的平坦部分在激光束的中心部分。为了获得均匀的光强分布，小孔挡住了大部分激光，仅利用了中心部分小于 10% 的能量。“光波导”均匀激光束时，除了内壁反射面的散射损耗之外，大部分的光能得以通过。利用光线在“波导管”内一个侧面的一次反射来看一下激光在“波导管”内的传输过程(图 3)。

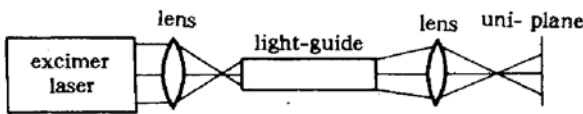


Fig. 2 Schematic of the experimental arrangement

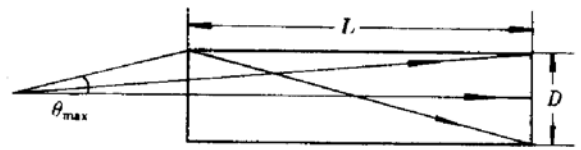


Fig. 3 Schematic of the optic-rays reached D -plane by reflection once from the light-guide wall

3 均匀原理

当光强分布近似高斯分布的入射光以最大入射角 θ_{\max} ，最小入射角 θ_0 进入光波导后，只有入射角接近 θ_0 的一小部分光不经过反射直接通过“光波导”。其余入射角的光线将经过反射到达输出面的不同点上，入射角由入射透镜的焦距决定。把直接通过“光波导”的光束定义为 I_1 ，经过反射的光束定义为 I_2, I_3 ，把光束 I 的坐标范围定为 $-x_0$ 到 x_0 (图 4)，在光强分布的曲线上

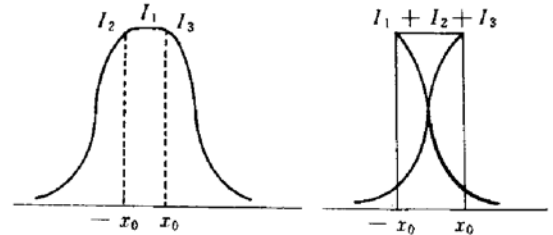


Fig. 4 Schematic of energy overlapping of an incident beam with intensity-distribution reflected once by the light-guide wall

$$I_1 = I_0(x) |_{-x_0 < x < x_0}, \quad I_2 = I_0(x) |_{x < -x_0}, \quad I_3 = I_0(x) |_{x > x_0}$$

在最简单的情况下，一次反射后 I_2, I_3 的坐标移动后对称叠加在 I_1 上，则有

$$I_{\text{out}} = I_1(x) |_{-x_0 < x < x_0} + I_2(2x_0 - x) |_{x > x_0} + I_3(-2x_0 - x) |_{x < -x_0}$$

实际上因“光波导”孔径较小， I_1 的取值范围远小于 I_2, I_3 。三部分的光束叠加后的光强分布趋于平坦。如果“光波导”足够长， θ 角越大的入射光反射次数越多，不经过反射通过“光波导”的光越少，经过内壁四个面的反射叠加，最后得到均匀的激光光强分布。图 5 显示经过“光波导”均匀前后的光强分布情况。测量用 38 单元一维紫外光二极管阵列分别接收 x, y 方向的一维光强分布，配以示波器观察，紫外激光通过均匀器时，由于内壁对光束的多次反射，受反射面的材料及光学加工的精度限制，每次反射都将产生一定的损耗。实验测得，在平均入射角度下，均匀器内壁对光线的平均反射率约在 80% 左右，若用镀铝材料代替玻璃内壁则使反射损耗从 20% 下降到 8% 左右，但制作成本有所提高。从实验得到，长约 30 cm 内壁不镀铝膜的均匀器可得到均匀化的光斑，传输损耗小于 40%，获得的能量分布横截面变化小于 $\pm 2\%$ 。

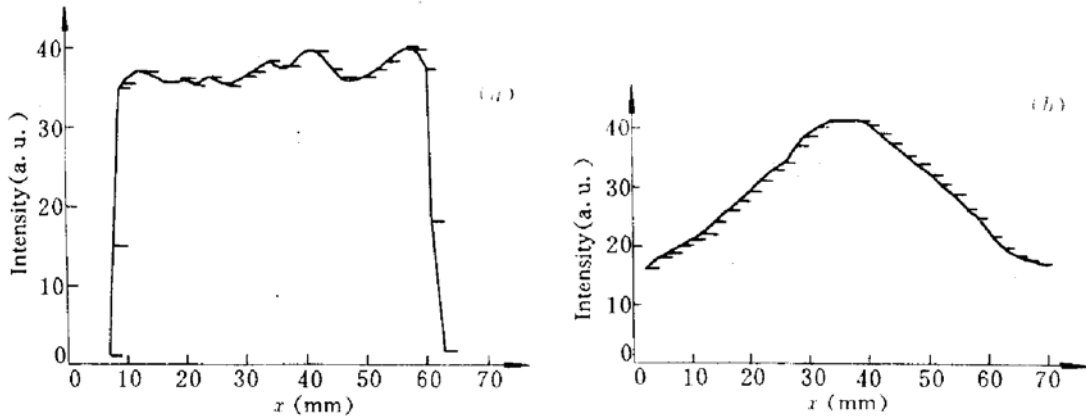


Fig. 5 Intensity profile of an excimer laser before (b) and after (a) light-guide, measured by a 1D-ultraviolet-diode-array

4 实际应用

实验中把这个方法用于紫外激光照射 C_{60} 膜。XeCl 准分子激光(308 nm)可对 C_{60} 膜刻蚀及改变膜的电导率。由于改善了光束的均匀性,能够精确地测定 308 nm 激光对膜的破坏阈值,提高了实验精度。特别对于激光照射 C_{60} 膜改变膜电导率的实验,可以在接近破坏阈值的能量密度下实现大面积的均匀照射。而不会由于光强分布不均匀造成局部破坏。而且经过透镜成象的光强均匀分布面其大小满足透镜的成象公式,因此改变透镜到“光波导”输出面的距离,可以方便地选择不同的照射能量密度。另一个令人感兴趣的应用是在微电子线路中印刷板表面的加工。用透镜组把掩膜的花样成象在一个平面上,并希望得到均匀的聚焦深度和清晰的边缘。由于不经过处理的准分子激光光束有一个强度分布,不能达到整个掩膜面积上的光强均匀。经过均匀器处理后,把具有各种图案的掩模板成象到目标上,可以得到精确的二维图象,与蝇眼透镜均匀激光输出的方法相比较,上述方法加工简便,成本大大降低,能方便地改变输出光斑的大小。缺点是传输损耗大于蝇眼透镜。

参 考 文 献

- 1 James H. Brannon. Micropatterning of surfaces by excimer laser projection. *J. Vac. Sci. Technol.*, 1989, B7(5):1064~1071

Improvement of the Intensity Homogeneity of Excimer Laser

Dong Jinxing Ye Zhenhuan Gao Hongyi Wei Yunrong Lou Qihong
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract In this paper, a new method to improve the intensity homogeneity of the output beam of an excimer lasers is introduced. Experimental results and a concise analysis are presented.

Key words wave guide, homogeneizer