

# XeCl 准分子激光光束均匀器及其应用\*

高鸿奕 楼祺洪 董景星 宁 东 魏运荣 叶震寰  
(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

**摘 要** 采用光束均匀器, 改善 XeCl 准分子激光器输出光束强度的分布, 其起伏优于 2%, 用这一装置测量了 C<sub>60</sub> 薄膜的刻蚀阈值, 并完成了准分子激光改变 C<sub>60</sub> 薄膜电导率的实验研究。

**关键词** 准分子激光器, 光束均匀器, 刻蚀。

## 1 引 言

准分子激光器已成为紫外波段最有效的相干辐射源之一, 在许多领域里已获得广泛应用。在所有应用中, 几乎均要求准分子激光器输出光束强度分布尽量均匀<sup>[1]</sup>, 而事实上, 由于准分子激光器在大体积、高压、高电压状态下运转, 容易导致放电及增益不均匀, 致使输出光强分布有着较大起伏, 这给应用带来了困难。为了改善激光光束质量, 人们进行了大量的理论和实验研究, 包括采用各种预电离技术, 设计和研究了形形色色的谐振腔结构<sup>[2]</sup>, 一个最典型的例子就是采用具有超高斯分布函数反射率的腔镜<sup>[3]</sup>。而较为行之有效的方法是采用蝇眼透镜列阵来改善光束均匀性, 但它需要高精度的光学加工技术, 价格昂贵。本文采用石英透镜组与矩形光波导组合, 使激光束在波导管内多次反射, 然后在输出端混合叠加, 有效地改善了空间光束均匀性, 既方便又简捷, 为激光束均匀化提供了一个有效方法。

## 2 光束均匀器工作原理及实验方法

工作原理如图 1 所示。当一光强分布近似高斯函数的准平行光束通过透镜  $L_1$  以后, 将变成一发散光束, 并进入到矩形波导管  $H$  内, 对管壁而言, 入射角几乎处于  $10^\circ \sim 90^\circ$  范围内。显然, 只有和透镜光轴平行的那些光线或和光轴成一较小夹角的光线直接通过波导管均匀器, 而大部分光线在波导管内产生反射, 在管内反射次数取决于入射角和管长, 从图 1 可以看出, 当反射次数为偶数时, 输出光束位置及分布皆发生倒置, 这可以用下式表示, 把直接通过波导均匀器的光束定义为  $I_1$ , 经过反射的光束定义为  $I_2, I_3$ , 则

$$\begin{aligned} I_1 &= I_0(x), & -x \leq x \leq x_0; \\ I_2 &= I_0(x), & x < -x_0; \\ I_3 &= I_0(x), & x \geq x_0. \end{aligned}$$

\* 本工作得到高技术青年基金资助。

收稿日期: 1995 年 10 月 6 日; 收到修改稿日期: 1995 年 12 月 26 日

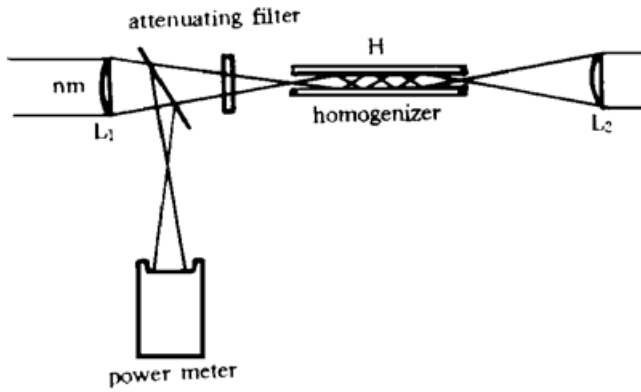


Fig. 1 Scheme of the experimental set-up with a beam homogenizer

式中:  $I_0(x) = A \exp[-2(x/D)^2]$ , 是一个高斯函数分布曲线, 为了简单起见, 仅假设三条光线叠加, 那末:

$$I_{out} = I_1(x) + I_2(x) + I_3(x)$$

三部分光束叠加以后, 光束分布均匀性大有改善, 如图 2 所示。事实上, 在总光束线上是由若干根光线在波导均匀器的四个壁上反射, 因此, 经混合叠加以后, 可获得均匀性较好的光束。

实验是在紫外预电离放电泵浦 XeCl 准分子激光器上进行, HCl 含量 0.1%, Xe 含量为 1%, 用 Ne 作缓冲气体, 总气压为  $4 \times 10^5$  Pa, 输出脉

冲能量 400 mJ 左右, 脉冲重复率 100 Hz, 平均功率约 40 W。

实验中所使用的波导均匀器是用浮法玻璃制作, 内反射面作光学加工, 由于激光束以掠入射方式进入均匀器, 一般情况下, 反射面不需要镀上反射膜, 不镀膜的面对于 308 nm 波长激光反射率大于 80%。图 3 给出了镀铝膜和不镀铝膜时均匀器的反射面在不同入射角情况下的反射率变化曲线。

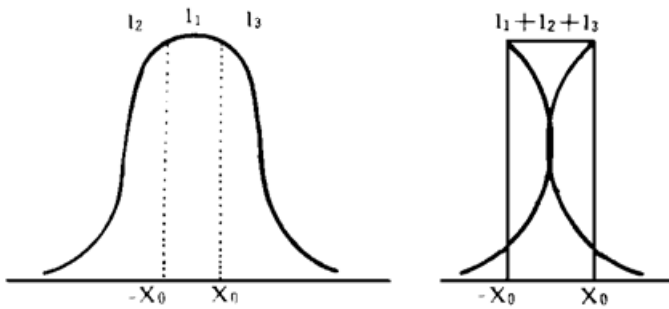


Fig. 2 Scheme of energy overlapping of incident beam with intensity-distribution reflected by the light-guide wall

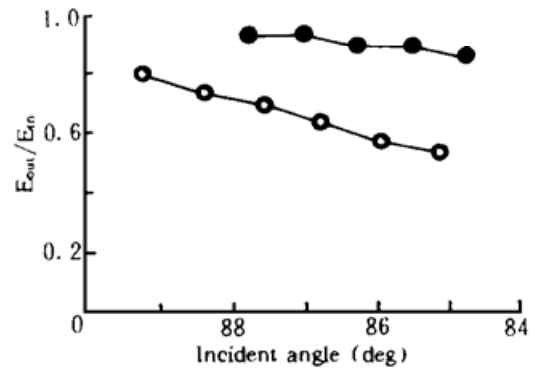


Fig. 3 The reflectivity of glass plate in 308 nm under different incident angle. (Upper: with Al film; lower: without Al film)

显然, 反射损耗直接决定了均匀器的传输损耗, 激光束在均匀器内的反射次数越多, 光束均匀性越好, 但损耗也随之增加了, 因而存在一个最佳长度, 实验观察到, 当通光口径为  $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 、 $L_1$  透镜焦距  $f_1 = 200$  mm、 $L_2$  焦距  $f_2 = 200$  mm 时, 均匀器长度为 150 mm~300 mm 较宜。 $L_2$  是一个成像透镜, 只要改变受辐照物体到  $L_2$  的距离, 就可以方便地改变光斑尺寸和照度。实验中采用了由 38 个单元构成的紫外光二极管列阵, 分别在 X、Y 方向测量一维强度分布, 用 485 示波器观察。图 4(a) 给出了未经均匀器 H 的 XeCl 准分子激光束强度分布图形, 显然, 它是一个近高斯函数分布曲线, 强度起伏超过 30% 以上; 当加入均匀器以后, 测得的实验结果如图 4(b) 所示, 其强度起伏大约在 2% 左右, 显然, 强度分布均匀性获得了很好的改善。

### 3 应用实例

XeCl 准分子激光器广泛地应用于材料的物化特性的改性研究以及高分辨率的光刻等等,

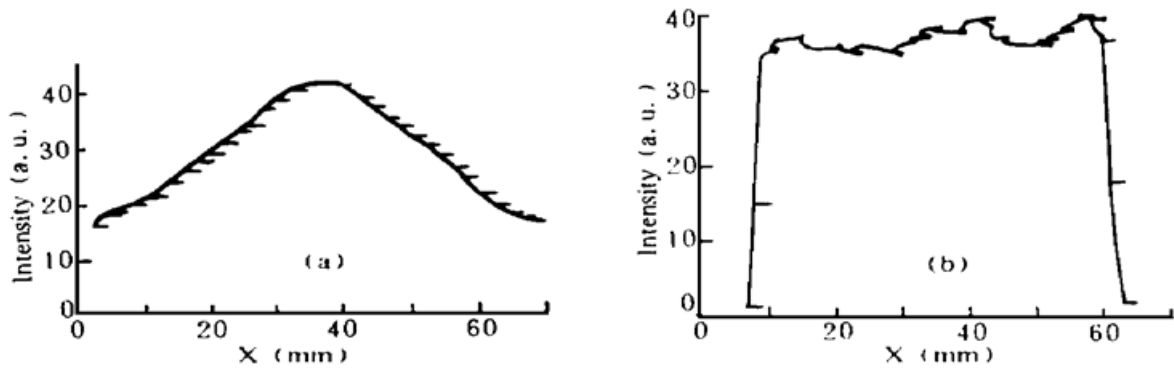


Fig. 4 Intensity profile of excimer laser before (a) and after (b) the homogenizer, measured by an 1D-ultraviolet-diode-array

本文以此为应用范例,以阐明其对均匀性要求的重要性。

1) 本文采用具有均匀强度分布的 XeCl 准分子激光器改变 C<sub>60</sub> 薄膜电导率的实验研究,获得了较为理想的结果。由于改善了光束的均匀性,对于激光辐照 C<sub>60</sub> 薄膜改变电导率的实验,可以在接近破坏阈值的能量密度下实现大面积均匀照射,而不会由于光强分布不均匀造成局部破坏,经过透镜 L<sub>2</sub> 成像的光强均匀分布面,其大小满足透镜的成像公式,因而可以方便地选择不同的照射能量密度。实验装置如图 5 所示。在这个实验中, XeCl 准分子激光器的波长为 308 nm,单脉冲能量为 150~200 mJ,脉宽 40 ns,光束截面 20×30 mm<sup>2</sup>,入射到样品 S 上的能量密度通过插入衰减片或移动透镜 L<sub>2</sub> 来调节,并采用热释电激光功率能量计 P 监测脉冲能量。样品 C<sub>60</sub> 薄膜由纯度 99% 的 C<sub>60</sub> 多晶粉末,真空镀于 15×15 mm<sup>2</sup> 的石英基片上,由于实时测量电导的需要,在基片上预先镀了两条 12×3 mm<sup>2</sup>、间隔为 1 mm 的 Ag/Cr 电极,其厚度为 600 nm (Ag: 500 nm, Cr: 100 nm)。C<sub>60</sub> 薄膜的尺寸为 5×5 mm<sup>2</sup>,厚度为 370 nm,样品制备好后,在室温和低真空环境下避光保存,测得的刻蚀阈值为 36 mJ/cm<sup>2</sup>。

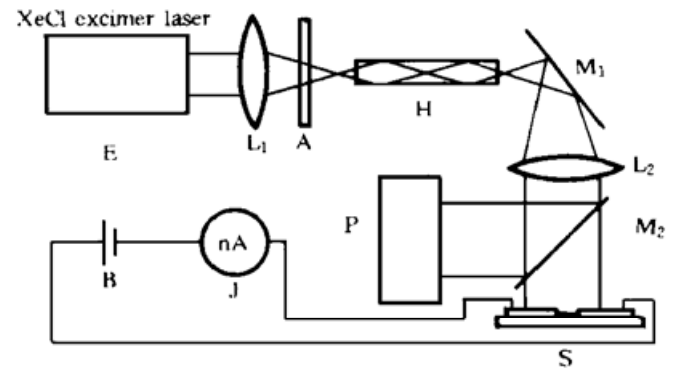


Fig. 5 Experiment apparatus

C<sub>60</sub> 薄膜样品的电导用共平面电极法测量,电流用精度 10<sup>-10</sup> A 的检流计 J 测量,测量导线用导电胶和样品电极连接。用热电能量计 P 监测激光脉冲的能量起伏。原始 C<sub>60</sub> 薄膜是良好的绝缘体,实验测得本征体电导率低于 8.24×10<sup>-8</sup> S cm<sup>-1</sup>[4],在上述条件下,当能量密度分别为 30 mJ/cm<sup>2</sup> 和 34 mJ/cm<sup>2</sup> 时, C<sub>60</sub> 薄膜的薄层电导率变化曲线如图 6 和图 7 所示。

从图 6 可以看出,在约 540 个脉冲照射后,样品电导率上升约 5 个量级,5000 个脉冲以后,电导率呈饱和趋势。而图 6,在 7 个脉冲以后,电导率就上升 6 个量级,30 个脉冲开始饱和,文献[5]认为,这是 C<sub>60</sub> 光致碳化和光致晶化所致。

2) 另一个应用是在微电子线路中印刷板表面的加工。用透镜组把掩膜的图案成像在待加工的表面上,希望得到均匀的聚焦深度和清晰的边缘,由于未经均匀化的准分子激光光束有一个高斯型强度分布,不能达到整个掩膜面积上的光强分布均匀,而经过均匀器处理以后,就能把各种图案的掩模板成像到目标上,获得所希望的精确二维图像。

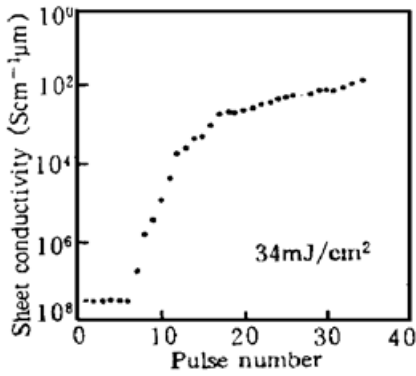


Fig. 6 Sheet conductivity of  $C_{60}$  film as a function of the number of laser shots with a fluence of  $30 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ . The conductivity changes over five orders of magnitude

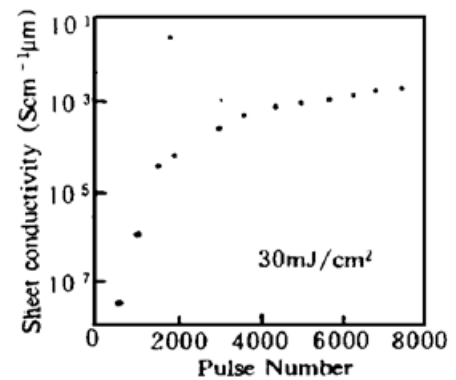


Fig. 7 Sheet conductivity for  $C_{60}$  film as a function of the number of laser shots at  $34 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ . The conductivity changes over six orders of magnitude

**结 论** 本文研究所采用的均匀器, 以其简捷方便的特点, 可以应用到各种类型的激光器上, 使激光光束分布均匀化。

### 参 考 文 献

- [1] J. H. Brannon, Micropatterning of surfaces by excimer laser projection. *J. Vacuum. Sci. & Technol.*, 1989, **B7**(5): 1064~ 1071
- [2] V. Magni, G. Valentini, S. de silvestri, Recent developpments in laser resonator design. *Opt. & Quant. Electron.*, 1991, **23**: 1105~ 1134
- [3] A. E. Siegman, *Laser*, Oxford, Oxford University Press, 1986
- [4] A. Hamed, Y. Sun, T. Tao *et al.*, Effect of oxygen and illumination on the in situ conductivity of  $C_{60}$  thin films. *Phys. Rev. (B)*, 1993, **47**(16): 10873~ 10880
- [5] 宁东, 楼祺洪, 董景星等, 准分子激光改变  $C_{60}$  薄膜电导率. 科学通报, 1996, **41**(8): 695~ 698

## Beam Homogenizer for XeCl Excimer Laser and Its Applications

Gao Hongyi      Lou Qihong      Dong Jingxing      Ning Dong  
Ye Zhenhuan      Wei Yunrong

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 5 October 1995; revised 26 December 1995)

**Abstract** A beam homogenizer was used to improve the intensity distribution of the output beam from XeCl excimer laser. The results demonstrated that the irradiation uniformity was better than 2%. Using this apparatus, the etch threshold of solid thin-film was measured and excimer-laser-induced electrical conductivity in  $C_{60}$  thin film has been studied experimentally.

**Key words** excimer laser, homogenizer, etch.