文章编号：0258-7025(2002)Supplement-0592-03

准分子激光微细加工光路变换的研究

荆 涛 殷泊华 陈 涛 蒋毅坚 左铁钏
(北京工业大学激光工程研究院，北京 100022)

提要 通过对准分子激光光束特性进行研究，并根据准分子激光微加工的需要，设计了一套实用的准分子激光微加工光路。

关键词 准分子激光，微加工，光学系统，场镜
中图分类号 TG665 **文献标识码** A

Study of Beam Transformation in Excimer Laser Micromachining

JING Tao YING Bo-hua CHEN Tao JIANG Yi-jian ZUO Tie-chuan
(*College of Laser Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing* 100022)

Abstract According to the requirement of excimer laser micromachining, an optical system is designed by studying the beam property of the excimer laser.

Key words excimer laser, micromachining, optical system, field piece

1 引 言

微机械具有体积小、精度高、能耗低及高智能化等优点。它的总体尺寸在毫米甚至微米量级，需要将许多微小的元件集成到一个微小的单元内。它的高集成度、尺寸的微小及高精度要求都注定了现今传统的加工方法难以完成微机械的加工，因此在微电子工艺的基础之上，人们提出了许多新的加工手段。其中之一就是准分子激光微细加工[1]。准分子激光微细加工技术以其较高的精度，较低的成本及较快的加工速度在微机械的加工领域受到了极大的重视。它利用准分子激光光子能量高的特点，对于某些材料甚至可以实现冷加工，并且波长短，聚焦光点小，所以加工精度高。但这毕竟不是一种成熟的技术，在很多方面还需要进行进一步的研究。

准分子激光器出射的激光截面上能量分布不均，如果将准分子激光直接用于加工，很难达到好的加工效果，在利用准分子激光实行微加工之前，必须对准分子激光进行整形和光束变换以满足加工的需要，这就需要设计出一套完善的微加工外光路系统。本文通过对准分子激光光束特性进行研究并根据准分子激光微加工的需要，设计了一套实用的准分子激光微加工光路。

2 加工光路系统的设计

本实验所采用的微加工方式为掩模投影直刻法，这种方法的原理是利用准分子激光照射一与被加工工件反相的掩模板，即需加工的部分在掩模板上为透明的部分，然后利用一缩小物镜将掩模板成像在被加工的材料上，受到光照的部分被激光刻蚀，余下的部分即是工件。它的特点是加工精度较高，可一次成形，加工速度快。对于这种加工方式来说，光路中最重要的两点要求是：一，在掩模面上光斑的均匀性；二，激光能量的高利用率。由于投影成像法的加工为并行加工，一次成形，为了达到工件上各点的加工效果的一致，自然需要到达加工工件各点上的激光能量密度相同。并且由于各种材料都有一定的刻蚀阈值，如果能量利用率过低，就会使准分子激光加工的材料范围变小。

为了满足均匀性的需要，在准分子激光出射后使之通过一均束器以达到光束截面能量分布均匀性的要求。但未经过均束时激光的发散角在两个方向都比较小，经过均束器后，由于多个透镜的共同作用，使得从均束器出射的激光的发散角增大，使得通过均束器后的激光光束口径远远大于系统中各元件的口径，这会减小光能的利用率。为了提高激光的利用率，就需要在掩模前增加一场镜以减小激光的

发散角。图 1 为本实验室采用的实验装置示意图。其中，准分子激光器为 Lambda Physik 305iF 型，波长为 248 nm，平均功率 50 W，单脉冲最高能量 1200 mJ，脉宽为 25 ns。所使用的均束器为两级复眼式均束器[2]，它首先用一倒置的柱面望远镜系统将准分子激光在光束宽度较小的方向上进行扩束，然后通过两级复眼系统进行均束。复眼采用 7×7 的小透镜阵列，原理如图 2 所示。激光进入复眼后，由 49 个小透镜阵列将激光光束均分成 49 束子光束，各小透镜对激光所成的像分别由一焦距较大的收集透镜会聚在一起，由于通过各小透镜的子光束分别取自原来激光光斑上的较小的一部分，所以各子光束光斑截面上的光强分布差别较小，而且对称方向上的两个小透镜的光束产生相互补偿作用，这样在经过两级复眼后，激光光斑就可达到较好的均匀效果。只要将掩模放在收集透镜的聚焦面上，就可实现掩模板的均匀照明。

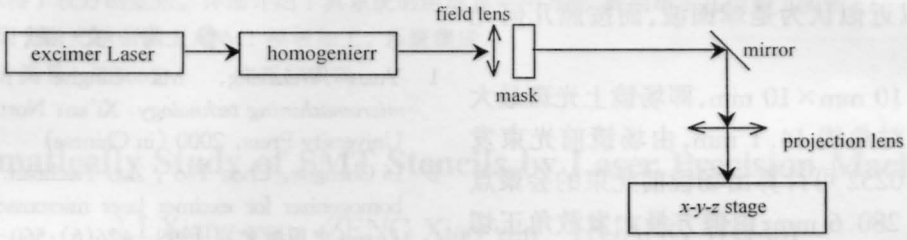

图 1　掩模投影直刻法光路原理图

Fg. 1　Principle of excimer laser micromachining with mask projection technique

在加入均束器之后，由图 2 可以看出，原来的平行光束经过均束器后会产生较大的发散角，这会降低激光光能的利用率，为了充分利用准分子激光的刻蚀能力，需要在均束器后放置利用适当焦距的透镜以压缩激光光束的发散角。这正是场镜的作用。

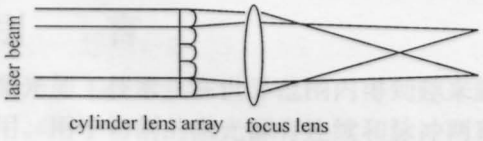

图 2　复眼均束器原理图

Fig. 2　The principle of fly eye homogenizer

3　实验结果与讨论

要计算出场镜的焦距，可将场镜前后的光束分别认为是物方光束和像方光束。首先测量光束在场镜前的发散角，而经过场镜之后的光束发散角可根据场镜的口径和成像透镜的口径及二者之间的距离计算得出。实验中成像透镜[3]的口径为 25 mm，放大倍率为 10:1，共轭距为 750 mm，即 $l+l'=750$ 且 $l'/l=10$，由此可以计算出透镜的物距 $l=681.8$ mm。根据透镜的设计，物方的最大面积为 10 mm×10 mm，即场镜的口径为 14.1 mm，由此可得经过场镜后光束的发散角正切值最大为 0.00796。为了计算经过场镜前的激光束的发散角，利用一方形光阑测量经过光阑之后的光束的截面半径以确定经过透镜前的光束的发散角，然后通过两个发散角来计算场镜的焦距[4]。

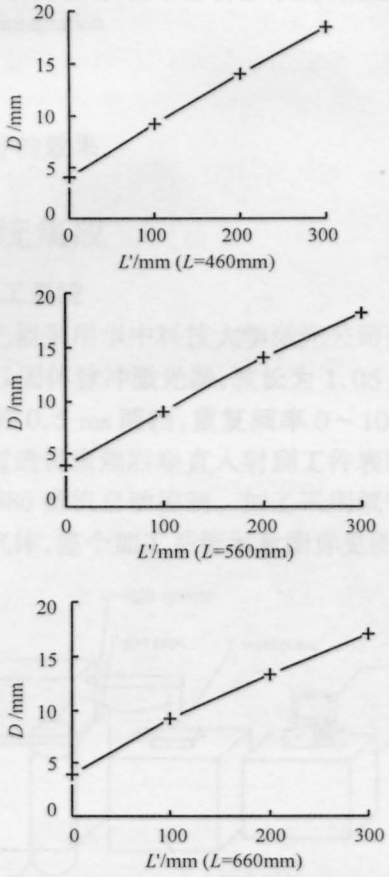

图 3　光阑后不同位置的光束口径

Fig. 3　The laser diameter in deferent position after the diaphragm

通过对激光通过光阑后的不同位置处的光束截面进行测量,得到了如图3所示的结果。其中光阑的口径为4 mm,L 为光阑距均束器的距离,L'为测量位置与光阑之间的距离,D 为测得的光束半径。由图3可以看出,经过光阑后,光束的发散角基本为线性变化,且发散角的大小基本上和光阑与均束器间的距离无关。根据图3中直线的斜率可知发散角的正切为 $\tan\theta=0.0252$。同时由以上数据可以看出,激光经过均束器后,由于多级透镜的作用,激光已不再是高斯光束,可以近似认为是球面波,而按照几何光学情况来处理。

掩模大小为10 mm×10 mm,即场镜上光斑最大宽度即为掩模的对角线14.1 mm,由场镜前光束发散角的正切值0.0252可计算出场镜前光束的会聚点即虚物点距场镜280.6 mm;由像方最大发散角正切值0.00796可计算出场镜后的光束的会聚点即虚像点距场镜为888.2 mm;由透镜物像公式可得场镜的焦距为 $f=410$ mm。

将设计好的元件组合成系统进行实验和观察,可以发现激光光束较好地符合了原来的设计情况。达到了预期的目的。

4 结 论

在准分子激光微加工的光路中,最为重要的两点就是光束的均匀性和光能的利用率。这可以通过在光路系统中加入均束器和场镜来实现。通过研究激光光束在各点处的光束性质计算出所需的元件的参数就可完成设计的要求。

参 考 文 献

1 Yuan Weizheng, Ma Binghe. *Micromachine and micromachining technology*. Xi'an: Northwesten Polytechnic University Press, 2000 (in Chinese)

2 Li Chengde, Chen Tao , Zuo Tiechuan. Design of fly's eye homogenizer for excimer laser micromachining. *Chinese J. Laser*(中国激光), 1999, **A26**(6):560~564(in Chinese)

3 Wan Ying, Zuo Tiechuan, Jiang Yijian. The imaging projection lens for excimer laser micro-machining. *Proc. of SPIE*, 2000, **4222**:361~365

4 Yu Daoyin, Tan Hengying. *Engineering Optics*. Beijing: Mechanical Industry Press, 1999(in Chinese)