

# 准分子激光刻蚀技术在微机械中的应用研究\*

梁静秋 姚劲松

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

**摘要** 准分子激光刻蚀技术在微机械领域有着十分广泛的应用前景,用该技术制作的聚合物微结构深宽比大、精度高,并且工艺简单。我们分析了准分子激光刻蚀原理,探索了这种技术的工艺方法和技术条件,特别对掩膜的结构和制作工艺进行了较为深入的研究。本文采用简易的实验装置,用自行研制的三种结构掩膜进行了准分子激光刻蚀实验,得到了 $50\mu\text{m}$ 深的聚合物材料微机械构件。

**关键词** 准分子激光 直接刻蚀 微机械零件

**中图分类号** TN305.7 **文献标识码** A

## 1 引言

微电子机械系统(MEMS)的关键技术之一是三维微结构制作技术。现有的三维微细加工技术主要有:以IC工艺为基础的Si三维微结构制作技术;以同步辐射X射线曝光为基础的LIGA技术及采用紫外光曝光的准LIGA技术等。准分子激光刻蚀法制作高深宽比聚合物材料的微机械结构是国际上近几年出现的一门新技术。用该技术制作的微结构具有深宽比大,精度高及边缘整齐等优点,并具有制作上的灵活性。它可以在聚合物上直接刻蚀(不需显影),工艺简化,效率高,成本低,适合于大批量生产。

美、日、德等国家十分重视该技术的开发与应用,认为聚合物微结构在微技术领域存在着相当大的潜在市场。目前他们正在积极开发微光学领域需要的机械精密校准及耦合结构,波导结构及集成光学元件等。同时也在努力进行微流体领域的应用研究,如制作粒子分离用的过滤器、筛孔及流体槽等有关结构。在结构特性上已制作出深宽比大于10,厚度大于 $500\mu\text{m}$ 乃至几毫米的三维聚合物材料的微机械零件。在我国准分子激光刻蚀技术也逐步被人们所认识,已

\* 本课题由国家攀登计划B和吉林大学集成光电子学国家重点联合实验室资助

收稿日期:1999-07-15

修稿日期:1999-07-25

经开始投入力量进行研究,但距离发达国家的水平尚有很大差距。

准分子激光刻蚀技术制作微机械结构与现有其它方法比较有以下几个特点:

- 1、用该技术制作的微结构垂直高度从几百微米到几毫米,这是光学 DUV 所不可及的。
- 2、该技术与 LIGA 技术相比具有掩膜制作简单、工艺简捷、成本低等优点。
- 3、准分子激光刻蚀技术是光子打断分子链的冷加工,避免了化学腐蚀的浸润影响,可保证结构边缘良好的陡直性。

我们用吉林大学集成光电子学国家重点联合实验室具有高功率大光子能量特点的准分子激光器进行该工艺的实验研究并取得初步进展。

## 2 准分子激光直接刻蚀工艺技术研究

我们与吉林大学集成光电子学国家重点联合实验室合作,用准分子激光直接刻蚀技术对微机械中常用的微槽、微孔、微齿轮以及微马达构件的制作工艺进行了初步实验研究。

### 2.1 实验装置

简易的实验装置如图 1 所示。它包括准分子激光光源、全反射镜、石英球形透镜、掩膜及样品台等。PM-866 型准分子激光器可提供波长为 ArF(193nm) 和 KrF(248nm) 两种准分子激光,其脉冲宽度 10ns,重复频率为 0~50Hz,激光器高压触发范围为 28.0~40.0kV,最高输出能量可达 1J。

### 2.2 准分子激光刻蚀掩膜

准分子激光光源的特点决定了准分子激光刻蚀的掩膜与普通光学光刻的掩膜不同,它要求掩膜衬基与吸收体对准分子激光光束的透过率有很大的反差,并具有较高的稳定性与强度。我们设计制作了以 CaF<sub>2</sub> 为衬基、以 Cu 为吸收体的掩膜;附着式掩膜及金属镂空掩膜等三种结构的掩膜。并分别对它们的结构特点、制作工艺及其应用进行了较为深入的摸索。

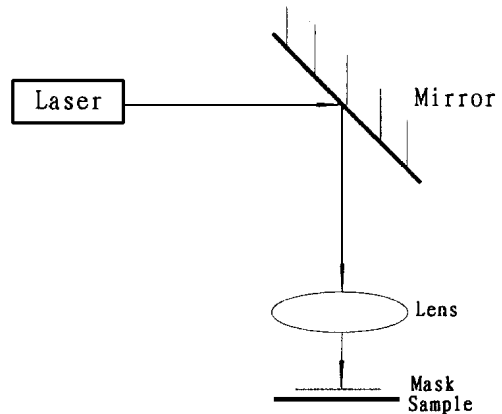


Fig. 1 Simplified experiment device

## 3 实验结果及讨论

准分子激光刻蚀主要分为诱导刻蚀

与直接刻蚀两种。诱导刻蚀是将衬底置于某种诱导气体中,通过准分子激光照射使气体产生高浓度自由基,完成对衬底的快速刻蚀。直接刻蚀至少含有两个过程,即光化学过程与热过程。对有机高分子聚合物,分子吸收紫外光子后,将引起电子向高能级跃迁,如跃迁高于聚合物的分解极限,则导致分子的分解;否则跃迁电子将经历某个中间状态返回,最后终止于基态。在光化学过程中,每一个辐射光子将导致分子键断裂和化学反应;而热过程中,尽管可能使分子分解,但大多数能量来自于光子转换成热的效应,一般无化学反应。

一般说来,这种直接刻蚀过程将不同程度地存在对样品的熔化或损伤,特别是在采用可见至红外波段激光时更是如此。研究结果表明,短波长激光的刻蚀效果比较好,刻蚀边缘齐整,损伤较小,通常认为是光化学过程,称为光解剥离过程,即 APD(Ablative Photodecomposition)过程。

高能量短脉冲的紫外准分子激光可有效地对多种有机高分子聚合物实现无损伤的直接刻蚀。这类材料包括三甲基丙烯酸酯(PMMA)、酰亚胺及聚碳酸酯等。但对于不同的激光波长和材料,热效应也占有不同的比例。图2与图3分别给出PMMA及聚酰亚胺在不同激光波长与能量密度下的热效应分量。由于聚酰亚胺的吸收系数较大,阈值激光能量密度较低,因此同一波长下热分量比PMMA要小。

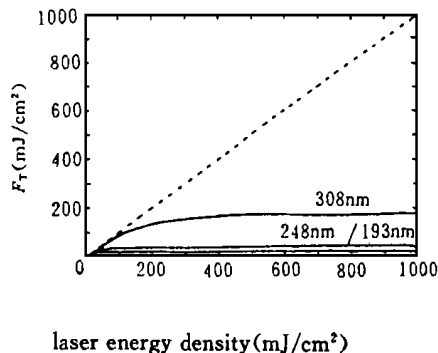
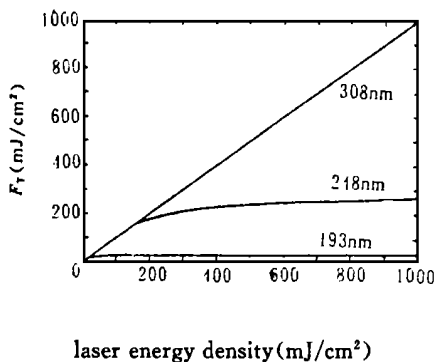


Fig. 2 The thermal effect component of PMMA in APD etching

Fig. 3 The thermal effect component of polyimide in APD etching

我们用图1所示的简易实验装置以及三种不同结构的掩膜对聚酰亚胺和PMMA等聚合物材料进行了准分子激光直接刻蚀实验,得到一系列实验结果。图4为用准分子激光直接刻蚀技术制作的微结构SEM照片。该结构深度为 $50\mu\text{m}$ 。

初步实验表明,准分子激光刻蚀技术在批量制作具有较高深宽比的聚合物材料三维微机械结构方面具有独到的优越性。由于它不需要光刻、显影等工艺,无需特殊考虑材料的光敏特性。因此在材料的选择上,可更充分地满足构件本身对材料的各种性能要

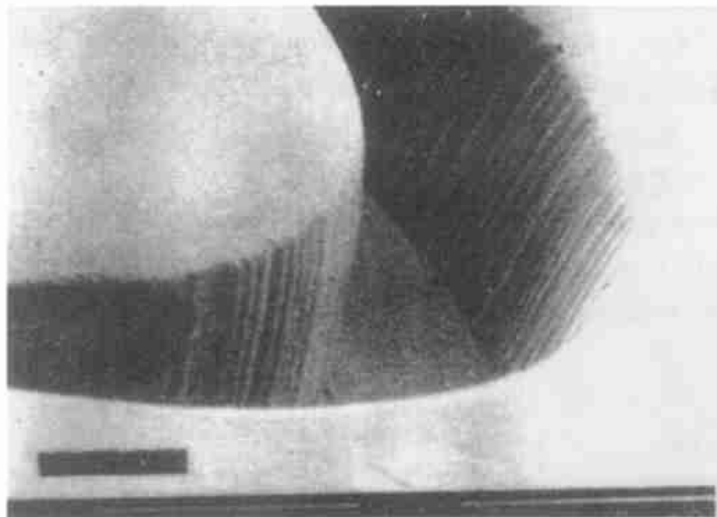


Fig. 4 The SEM photograph of excimer laser etching

求。

求。此外,这种技术与 LIGA 及准 LIGA 技术一样,可与 IC 工艺兼容,产生集成化效果。

### 参 考 文 献

- 1 张玉书,张庆有. 准分子激光微细加工技术. 长春: 吉林大学出版社, 1990
- 2 Arnold J, Ehrfeld Dasbach W, Hesch K, Lowe H. Combination of Excimer Laser Micromaching and Replication Processes Suited for Large Scale Production. Applied Surface Science, 1995, 86: 251 ~ 258

## Application of the Excimer Laser Etching Technology in Micromachine

LIANG Jin-Qiu, YAO Jin-Song

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

### Abstract

The etching technology using excimer laser has extensive application prospect in micro-machine. The microstructure fabrications by using this technology have the merits such as large depth-width ratio, high precision, and simple techniques. The principle of excimer laser etching is analyzed. The technical method and the technical condition are explored. Especially, mask structure and fabrication technology is studied. Three kinds of mask structure are etched by using excimer laser and simple equipment. The polymer micro-machine components with depth of  $50\mu\text{m}$  have been fabricated after experiment.

**Key words:** Excimer laser, Etching, Micro-machine component

梁静秋 女, 1984年毕业于吉林大学电子科学系半导体物理与器件专业, 获学士学位。曾从事半导体工艺、器件及微型传感器等研究工作。自1993年开始参加微型机械领域研究工作, 从事微细加工技术及微马达的研究。现任国家攀登计划B《微电子机械系统》子课题《端面摇摆式微型电磁驱动器(马达)设计、制造及其应用研究》课题负责人。