# 微透镜阵列的飞秒激光加工方法

刘伟
（陕西国防工业职业技术学院，西安 710300）

**摘要：** 为研究常用的微透镜制造方法，通过熔融光刻胶法、反应离子束刻蚀技术、微喷打印法、飞秒激光加工法、热压印法等的对比，表明采用飞秒激光加工以及局部腐蚀的方法，能够加工各种形状的微透镜阵列，而且加工时间短，制造成本低，微透镜最小特征尺寸可以达到30 μm以内。将飞秒激光加工的微透镜阵列作为模板，运用热压印技术进行复制，不仅能够获得质量良好的微透镜阵列，还能够批量化生产，减小制造成本。

**关键词：** 熔融光刻胶法；反应离子束刻蚀技术；微喷打印法；飞秒激光加工法；热压印法
**DOI：** 10.3969/j.issn.1674-6457.2016.02.020
**中图分类号：** TG39　**文献标识码：** A　**文章编号：** 1674-6457(2016)02-0090-04

## Femtosecond Laser Machining Method of Microlens Array

*LIU Wei*
(Shaanxi Institute of Technology, Xi′ an 710300, China)

**ABSTRACT:** For the study of micro lens manufacturing methods, the comparison of melting photoresist, reactive ion beam etching technique, micro jet printing method, femtosecond laser processing method and thermal comparison printing concluded that: femtosecond laser machining and the method of local corrosion can be applied to various shapes of micro lens array, with short processing time and low manufacturing cost, and the minimum feature sizes of micro lens can be reached within 30 microns. Conclusion: The femtosecond laser machining of micro lens array as a template, using thermal printing technology to reproduce, can not only obtain good quality micro lens array, but is also suitable for mass production to reduce manufacturing costs.

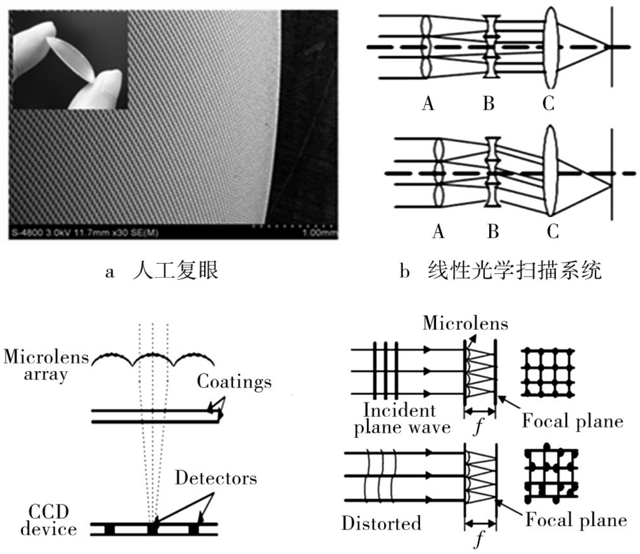
**KEY WORDS:** melting photoresist; reactive ion etching technology; micro spray print method; femtosecond laser processing method; hot pressing method

微透镜阵列的光学性能和制造方法已经有相关的研究。然而，在微透镜排列和布置方面还有许多问题值得研究，例如，不论微透镜如何排列和布置，总会在相邻微透镜之间形成空隙，而这些空隙将会极大地影响出光强度和均匀度，因为将会有部分光落在这个空隙内，而不会被微透镜会聚，形成所谓的“盲区”[1]。在一些红外成像和光纤传输应用中，“盲区”是不允许存在的。盲区将极大地影响信息传输的准确程度和质量，甚至会造成极大的误差。另一方面讲，“盲区”的存在将影响照明灯和显示器等设备的出光强度和均匀性，因为照射到“盲区”的光并不能被利用。对于常规的微透镜阵列结构，微透镜不论如何排列“盲区”总是不可避免的。可以通过改变微透镜的结构，如将透镜底面由圆形设计成多边形，比如三角形、正四边形或者正六边形等，这种形状的微透镜按照不同的排列方式组合，其填充因子理论上能够达到近乎100%，这就是异形微透镜阵列[2]，这对减小“盲区”有很大的实际指导意义[6-7]。

**收稿日期：** 2015-12-10
**基金项目：** 陕西国防工业职业技术学院科研项目(Gfy15-09)
**作者简介：** 刘伟(1982—)，男，湖北人，讲师，主要研究方向为机械制造、熔融沉积。

## 1　微透镜阵列及其应用

现如今，科技越来越发达，折射型微透镜阵列已成为新的研究方向，因为其有质量小、体积小等特点，而且折射型微透镜阵列器件的作用越来越大，比如在Shack-Hartmann波前传感器[3]、人工复眼[4]、CCD[5]以及线性光学扫描系统[6]中，其原理分别如图1a-d所示。




a　人工复眼　　b　线性光学扫描系统

c　CCD系统　　d　波前传感器

图1　微透镜阵列应用

Fig.1　Application of micro lens array

从以上关于微透镜结构、应用的研究情况来看，通过改变微透镜阵列单元形状，可使微透镜阵列的排列特征得以改变，这样微透镜阵列的填充因子可以提高，微透镜阵列的透光效果可以改善，微透镜阵列的应用范围得到扩大。

## 2　微透镜阵列的制造方法

早在20世纪初，人们就开始研制并利用微透镜阵列的技术，提出了猫眼透镜板技术[7]，但是，其制作技术在当时很难达到较高的水平。随着科学技术的发展，相继出现了多种制造微透镜阵列的方法[8]，比如：微加工表面技术、热压成形法、光诱导交联聚合、溶胶-凝胶法和微喷打印法、反应离子刻蚀法、电子束刻蚀、激光刻蚀法、化学气象沉积法等。下面将其中比较常用的几种方法分别加以介绍。

### 2.1　熔融光刻胶法

熔融光刻胶法的特点是工艺简单，工艺参数稳定，对材料、设备要求不高，容易复制，其工艺流程为：①紫外曝光，要求光刻胶板在掩膜遮蔽下进行；② 显影和清洗；③ 热熔成形[9]。其工艺过程如图2所示。

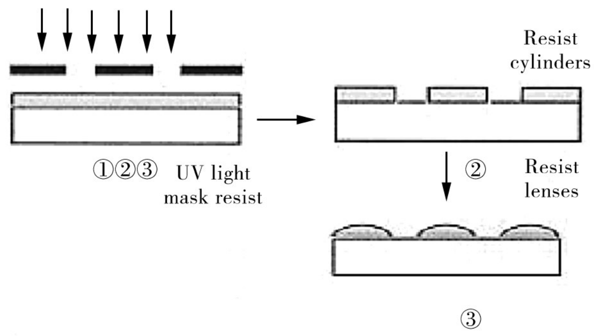



图2　用熔融光刻热熔法制备微透镜阵列的工艺过程

Fig.2　Micro lens array prepared with molten lithography in hot melt process

然而利用这种技术制备微透镜阵列也有自身的局限性[10]，主要其本身的光学性能不好，不适于作为微透镜结构的材料[11]。

### 2.2　反应离子束刻蚀技术

反应离子束蚀刻方法是采用离子轰击溅射和化学反应相结合的原理进行的。其特点是在横向上没有扩蚀现象，但是需要选择合理的控制参数，刻蚀的表面质量才能好。

### 2.3　微喷打印法

早在1833年，Savart发现从喷嘴中流出来的液体可以形成相同大小的液滴这一现象，并由Lord Rayleigh和Weber用数学方法描述出来。在20世纪50年代，Hansell观察到了液滴，其是通过电机诱导压力波产生的。该方法的特点成本较低，灵活性很强。

### 2.4　飞秒激光加工法

飞秒是$10^{-15}$ s，飞秒激光的脉冲宽度或者脉冲持续时间在飞秒量级，而传统激光的脉冲宽度在纳秒量级。飞秒激光的脉冲持续时间如此之短，以至于激光的能量还没有来得及转化为热量扩散到附近区域，是真正意义上的“冷加工”。飞秒激光加工微透镜阵列的流程如图3所示。首先，将飞秒激光光束聚焦到基底表面某一点上，通过飞秒激光的瞬间高能量将材料由固态转变为等离子态并剥离出材料表面，然后通过三坐标移动平台将样品移动至给定位置，继续刻蚀，重复操作，直到刻蚀点阵列完成，然后将样品放入5%的HF溶液中，并置入超声波清洗机以加快腐蚀速度，

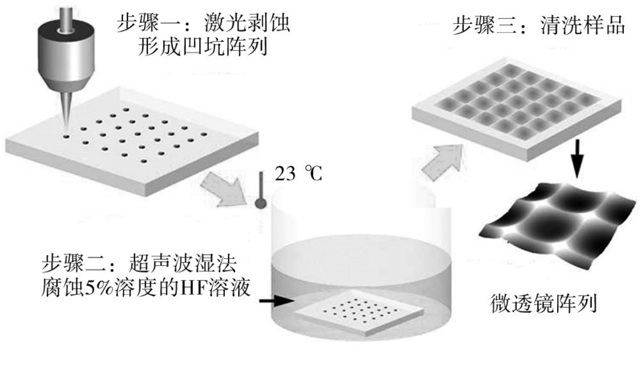



图3 飞秒激光制造微透镜阵列的原理

Fig.3 Principle diagram of the femtosecond laser manufacturing micro lens array

最后依次将样品放入丙酮、无水酒精和去离子水中清洗掉表面的HF溶液或者杂质。

由于激光能量呈高斯分布，使得HF腐蚀后的结构近似为微透镜。控制好腐蚀时间，就能够方便地加工各种微透镜阵列以及异形微透镜阵列，而且能够在任何硬质材料上加工，成形时间相对较短，在微透镜阵列加工领域具有独特的优势。

异形微透镜阵列的加工工艺流程如图4所示，飞秒激光在石英玻璃上剥蚀形成的凹坑点阵，在较短的腐蚀时间内，其边缘逐渐向外扩散，慢慢形成微透镜阵列结构。随着腐蚀的进行，微透镜的直径逐渐增大直到相邻微透镜相互接触，这样就形成了异形微透镜阵列。控制飞秒激光的点阵排列方式以及腐蚀时间，就能加工出不同形状的异形微透镜阵列，比如三角形、四边形以及六边形微透镜阵列。

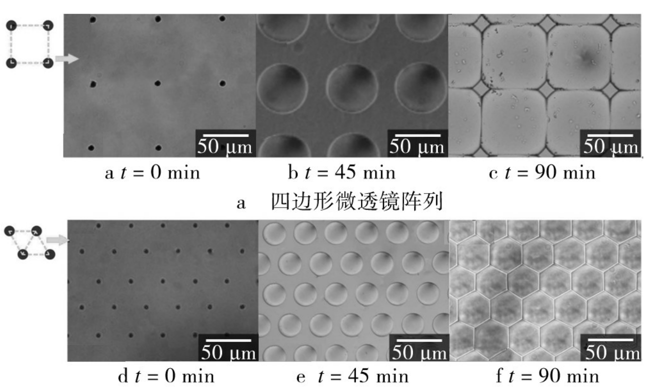



图4 飞秒激光制作的四边形和六边形微透镜阵列

Fig.4 Femtosecond laser made of square and hexagonal micro lens arrays

飞秒激光法能够方便快捷地制造微透镜阵列以及异形微透镜阵列，而且直接在石英玻璃等超硬材料上加工，与热压印技术相结合，不仅减少了模具的生产时间，还能够满足工业上批量生产的要求，大大降低了生产成本。

### 2.5 热压印法

热压印成形是一种常用的加工方法。由于微热压技术拥有复制精度高、制造速度快等优点，随着MEMS技术的发展，该技术得到了众多学者的重视，也涌现出大量的研究成果。但是，研究过程中也发现，此种方式制造出来的成品可能会有些缺陷，如充填不完全，成品存在收缩、翘曲及表面粗糙度大等问题。

## 3 结语

在各种光学器件以及传感器领域，微透镜阵列均有广泛的用途。平面光刻技术无法制造三维的微透镜结构，而常用微透镜制造方法，比如熔融光刻胶法、反应离子束刻蚀技术、微喷打印法、飞秒激光加工法、热压印法等，或工序较为复杂，或需要昂贵的掩膜。采用飞秒激光加工以及局部腐蚀的方法能够加工各种形状的微透镜阵列，而且加工时间短，制造成本低，微透镜最小特征尺寸可以达到30 μm以内。将飞秒激光加工的微透镜阵列作为模板，运用热压印技术进行复制，不仅能够获得质量良好的微透镜阵列，还能够批量化生产以减小制造成本。

**参考文献：**

[1] STEVENS R, MIYASHITA T. Review of Standards for Microlenses and Microlens Arrays[J]. Imaging Science Journal, 2010, 58(4): 202—212.

[2] WEI M K, SU I L. Method to Evaluate the Enhancement of Luminance Efficiency in Planar OLED Light Emitting Devices for Microlens Array[J]. Optics Express, 2004, 12(23): 5777—5782.

[3] BORRELLI N F. Efficiency of Microlens Arrays for Projection LCD[C]. 1994: 338—345.

[4] POPOVIC Z D, SPRAGUE R A, CONNELL G. Technique for Monolithic Fabrication of Microlens Arrays[J]. Applied Optics, 1988, 27(7): 1281—1284.

[5] LIN C P, YANG H S, CHAO C K. Hexagonal Microloans Array Modeling and Fabrication Using a Thermal Reflow Process[J]. Journal of Micromechanics and Micro Engineering, 2003, 13(5): 775—781.

[6] YANG H H, CHAO C K, WEI M K, et al. High Fill-factor Microloans Array Mold Insert Fabrication Using a Thermal Reflow Process[J]. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2004, 14(8): 1197—1204.

[7] CHOU M C, PAN C T, SHEN S C, et al.A Novel Method to Fabricate Gapless Hexagonal Micro-lens Array[J]. Sensors and Actuators A-Physical, 2005, 118(2): 298—306.

[8] KWON H, YEE Y, JEONG C H, et al. A High-sag Microlens Array Film with a Full Fill Factor and Its Application to Organic Light Emitting Diodes[J]. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2008, 18(6).

[9] PAN C T, CHEN M F, CHENG P J, et al. Fabrication of Gapless Dual-curvature Microlens as a Diffuser for a LED Package[J]. Sensors and Actuators A-Physical, 2009, 150(1): 156—167.

[10] CHANG S I, YOON J B. Shape-controlled, High fill-factor Microlens Arrays Fabricated by a 3D Diffuser Lithography and Plastic Replication Method[J]. Optics Express, 2004, 12(25): 6366—6371.

[11] CHANG S I, YOON J B, KIM H K, et al. Microlens Array Diffuser for a Light-emitting Diode Backlight System[J].Optics Letters, 2006, 31(20): 3016—3018.

[12] LIN T H, YANG H H, CHAO C K, et al. New High Fill-factor Triangular Microlens Array Fabrication Method Using UV Proximity Printing[J]. Microsystem Technologies-Micro-and Nanosystems-Information Storage and Processing Systems, 2009, 15(8): 1255—1261.

[13] LIN T-H, YANG H, CHAO C-K, et al. New High Fill-factor Dual-curvature Microlens Array Fabrication Using UV Proximity Printing[J]. Microsystem Technologies, 2011, 17(4): 601—607.

(上接第89页)

[9] 李建勇.粒子群优化算法研究[D]. 杭州:浙江大学, 2004.
LI Jian-yong. The Study of Particle Swarm Optimization[D]. Hangzhou: Zhejiang Unlversity, 2004.

[10] 刘波.粒子群优化算法及其工程应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2010.
LIU Bo. Particle Swarm Optimization Algorithm and its Engineering Application[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2010.

[11] 唐家德.基于MATLAB的非线性曲线拟合[J]. 计算机与现代化, 2008(6): 15—19.
TANG Jia-de. Nonlinear Curve Fitting Based on MATLAB[J]. Computer and Modernization, 2008(6): 15—19.