

# 微型机械及相关理论和技术

宣 明

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

**摘要** 微型机械是一门新兴学科, 它的发展十分迅速, 本文介绍了微型机械的研究现状, 相关理论和技术以及已取得的一些成果。

**关键词:** 微型机械; 理论; 技术

## 1 引言

人们在研究宏观世界的进程中, 也在不断地对微观世界进行探索。本世纪八十到九十年代, 大规模集成电路制作技术取得了以前不可想像的惊人进展。由此使一些科学家产生了一个想法, 试图把一机电系统集成到一个极小的几何空间里, 也能像制作集成电路芯片一样, 大批量生产、廉价出售。基于这种想法, 科学家和工程师们开始进行了实验研究。由此产生了一个新兴的学科—微型机械。这一新学科的出现, 马上引起了世界各国科学家和政府部门的高度重视。美、日、德等发达国家已相继投入了大量的资金和人力, 进行这方面的研究。新的想法和研究成果不断出现。一些科学家预言, 微型机械的出现, 将会像当年晶体管的出现一样, 给人类带来又一次重大的革命。

## 2 微型机械学的产生及国内外研究现状

微型机械的研究开始于八十年代。美国是开展微型机械研究最早的国家。第一台静电微电机诞生在美国。德国及西欧各国对微型机械的研究也给予了高度的重视。德国的卡尔斯鲁尔(Karlsruhe)核研究中心研究开发了LIGA技术, 制作出许多高质量的微型机械零件、部件。日本十分注重微型机械的实际应用, 已制作出许多微型、小型的机电系统用于实际的工作中。

微型机械的研究工作, 从世界各国的发展情况看, 大致可分为如下几个阶段:

1975—1985年, 为微型机械的酝酿期。主要是用IC技术制作微型传感器;

1986—1989年, 为微型机械的产生期。主要是用IC技术制作微型机械的零、部件。如连杆、滑块、微电机等;

1990 后,为微型机械的发展期。各种微加工技术相继用于微型机械的制作。其成果已由单一的零件,到简单的机电系统。

对于微型机械的研究,国际上有一种观点,认为目前人们对微型机械的研究是一味地追求微小,而对它的实用性考虑不多。持这种观点的代表人物是日本的林辉教授,他主张应首先着眼于有可能在短期内得以应用的项目,利用现在的各种加工手段,研制尺寸在毫米级、厘米级的小机械。

我国对微型机械的研究也给予了重视。开展的主要研究内容是 IC 技术、LIGA 技术、超精密机械加工技术在微型机械制作中的应用以及微型机械运动学、动力学、摩擦学等基础理论问题。已经作出了自身带有测速装置的静电微电机、直径为 3 毫米的压电应力场微电机、微型齿轮、深度达 30 微米的 X 光光刻微型齿轮图形等。

### 3 微型机械相关理论与技术

#### 3.1 相关理论

微型机械,由其微小的尺寸特征而得名,但是它决不是普通机械的简单缩小。首先,由于它尺寸极其微小,所以在普通机械中不予重视的问题,在微型机械中却变得极其复杂和严重。美国学者最初制作出来的微电机,只能旋转几分钟,其中一个难以解决的问题就是摩擦磨损。

对于微型机械的基本理论和一些机理,目前人们还是处在一个朦胧的状态,还只能是用一些成形的宏观世界的理论对微型机械的问题进行分析和推测。微型机械的基本理论和机理的研究,是一个摆在人们面前的大课题,现在这方面的报告还不多。

目前来看,正在开展和急需开展的理论研究有如下几个方面:

- 1) 微型机械的设计理论、传动理论;
- 2) 微型机械运动学、动力学;
- 3) 微型机械摩擦学;
- 4) 微型机械力学;
- 5) 微型机械控制理论。

#### 3.2 相关技术

##### A 微加工技术

微型机械是伴随着大规模集成电路制作技术的迅速发展和成熟而产生的。所以在对微型机械的研究过程中,人们对其加工技术的研究,始终予以高度的重视。可以说没有现代微加工技术,就没有微型机械。归纳起来,用于微型机械制作的微加工技术有以下几类:

##### 1) IC 技术

IC 技术是一发展十分迅速和比较成熟的制作大规模集成电路的加工技术。一般来说,IC 技术的刻蚀深度只有几百纳米,是一种平面加工技术。为适于加工微型机械的三维实体,人们研究和使用了牺牲层技术来满足三维加工的要求。但是 IC 技术加工出来的微结构的陡直性还不很理想,还需要进一步加以改善。虽然 IC 技术有不完善之处,但是目前它还是一种在微型机械加工技术中使用最普遍的技术,现在所报道的大部分微型机械零件或部件,都是用这种技术加工出来的。但它只限于制作硅材料的元部件。

## 2) LIGA 技术

LIGA 是德文 (Lithographie Galvanoformung Abformung) 的缩写。它是由深层 X 射线光刻、电铸成型及注塑成型这三个工艺过程组成。它适于用多种金属、非金属材料制作机械元部件。LIGA 技术是德国卡尔斯鲁尔原子核研究中心研究开发的, 经过六、七年的努力, 已经成熟并可交付工业界开发。从已发表的报告来看, 已有越来越多的人使用 LIGA 技术来制作微型机械零部件。

LIGA 技术的工艺过程如下:

- a) 用于 X 光光刻掩膜版的制作;
- b) X 光深光刻;
- c) 光刻胶显影;
- d) 电铸成模;
- e) 光刻胶剥离
- f) 塑模制作;
- g) 塑模脱模成型。

LIGA 技术与 IC 技术最主要的不同是所使用的光刻光源不同, LIGA 技术使用波长在 0.2-1 纳米之间的 X 光, 可以深刻蚀至几百微米的深度并可保证微结构良好的陡直性, 其刻线宽度可以小于十分之几微米, 它是一种高深宽比的三维加工技术。LIGA 技术被认为是微机械加工技术中最有发展前途的一种技术。

对于深层光刻所使用的 X 光光源的性质除了波长之外, 还有两个重要的因素, 就是光的功率密度和准直性。前者是为了曝光的需要, 后者是为了保证刻蚀出来的微结构有好的陡直性。因此, LIGA 技术虽有很优异的特性, 但是其使用的光源目前还不易得到。目前, 国外在 LIGA 技术中使用 X 光光源多是同步辐射所产生的, 费用十分昂贵。现在也有人致力于研制小型适于实验室使用的 X 光光源装置, 若能够实现, LIGA 技术普遍应用的前景更加可观。

## 3) 准 LIGA 技术

由于 LIGA 技术中所使用的 X 光光源费用昂贵并且不易得到, 所以又有人发展了一种准 LIGA 技术。这种技术使用的光刻光源是容易获得的紫外光, 所使用的光刻胶也是市场上可以买到的, 例如 AZ4000 系列光刻胶。这种技术采用两次涂胶的办法, 可使胶层厚度达几十微米。这种技术的工艺步骤与 LIGA 技术基本相同, 所得到的微结构的宽深比可达 1:7, 分辨率在微米量级。

## 4) 精密机械加工和放电加工技术

用小型精密金属切削机床以及电火花、线切割等特种加工方法制作毫米尺寸上下的机械零件。这些技术的特点是可加工材料比较广泛, 是三维立体加工。但是一般是单件加工、单件装配, 费用较高。

## B 控制和能源制作技术

微型机械是在一个极小尺寸空间内的一个独立系统, 对它在运动中的位置、姿态和反应进行检测和控制是一个十分重要的技术。它需要把微传感器、驱动器和控制器有机地集成在一起。

微型机械的能源是微型机械的源动力。目前, 微型机械还局限于外加能源。微能源制作技术是一个多专业的复杂技术, 涉及到光、热、化、声、电等多学科, 这一技术, 将会成为

微型机械研究课题中的一个热点。

### C 装配技术

从制作微型机械是大批量、价格低廉这一角度来说，它的制作过程应像大规模集成电路芯片的制作过程一样，几乎没有装配环节。但是人们预测，既然它叫作“机械”就难免会有装配这一环节。微型机械的装配，要求准确、无尘、一般应是在密闭的条件下进行，因为人的呼吸就会使微零件“飞”起来。

## 4 典型微加工实例

微型机械的发展十分迅速，现在已从制作单一的简单结构发展到制作微小系统。许多微小部件已经实际应用。下面是一些实例。

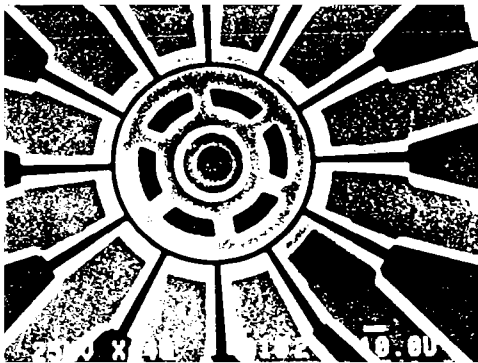


图1 IC 技术制作的摇摆式微电机。直径 100 微米，转子定子之间间隙 2.5 微米。

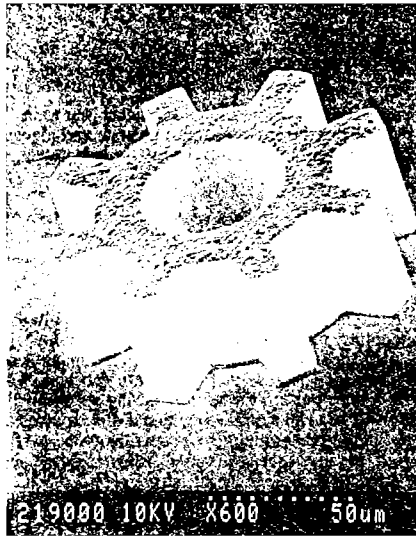


图2 LIGA 技术制作的微齿轮。内径 55 微米，高 50 微米。



图3 LIGA 技术制作的透平机。直径 130 微米，高 150 微米。轮子可转动。

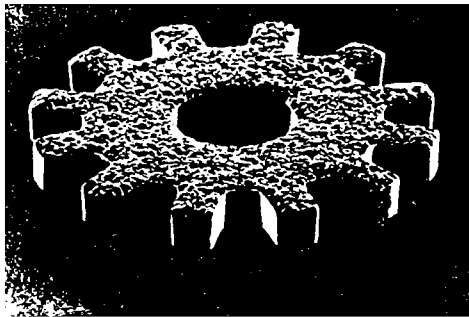


图4 准LIGA 技术制作的微齿轮。直径约 300 微米、高 45 微米。

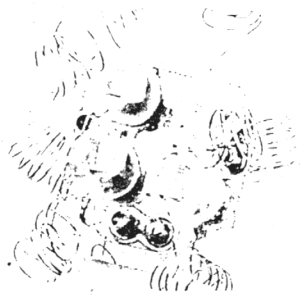


图5 微型泵。尺寸 $8 \times 10 \times 10$ 毫米<sup>3</sup>。

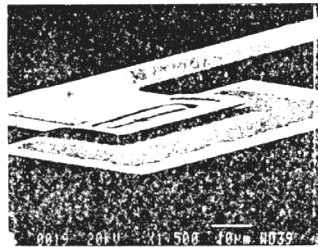


图6 IC技术制作的微型网。

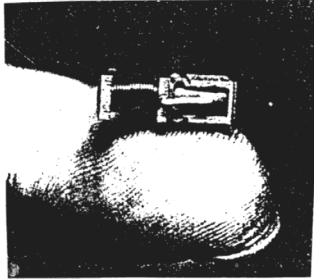


图7 用于生物医学的可控制微型摄子。  
它由直线电机驱动。

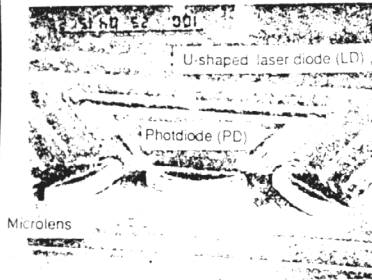


图8 微型编码器。

#### 参 考 文 献

- [1] IEEE, MEMS WORKSHOP, MEMS 1991, 233-238.
- [2] IEEE, MEMS WORKSHOP, MEMS 1992, 87-92
- [3] IEEE, MEMS WORKSHOP, MEMS 1993, 187-190

#### Micromechanism and Their Related Theory and Technology

Xuan Ming

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,  
Changchun130022)

#### Abstract

The micromechanism is a new scientific subject. The progress in this field is extended very quickly. This paper introduce domestic and foreign information, realistic theory and technology, achievements in this field.

**Key words:** Micromechanism, Theory, Technology