

微器件装配系统总体方案研究

郑 巍 徐毓娴 李庆祥

(清华大学精密仪器与机械学系 北京 100084)

摘要 微器件装配技术是微机械的关键技术之一,本文从微器件装配系统的特性和功能出发,提出了一套微装配系统设计方案,并对系统各个组成部分进行分析,介绍了系统实现的方法。

关键词 微器件 微装配 操作手

1 引言

展望微机械的应用前景,人们所期望的是能将传感器、处理器和执行器集成在一起构成一个微型机电系统(MEMS)^[1]。MEMS的理想形式是整体结构,但整体结构难以实现三维结构,不能满足功能要求,且工艺极为复杂,因此目前MEMS的制作只能通过不同器件的连接与组装来实现,微器件装配技术就成为MEMS的关键技术之一。

目前,日本和美国在微装配系统的研究方面比较突出,已具有一定的成果。它们研制成功的微装配系统大致可分为两类,一种是基于SEM的装配系统,另一种是基于光学显微镜的装配系统^[2~5]。基于SEM的微装配系统与基于传统光学显微镜的微装配系统相比,具有放大倍数高、焦深大、分辨率高等特点,是一种理想的装配方法,但其不足之处是操作复杂且设备昂贵。而基于传统光学显微镜的微装配系统具有操作简单,成本低廉等优点,是目前比较可行的方法^[6]。

我国对微机械的研究虽然取得了一定的成果,但都是集中在微构件的设计和工艺研究上,完整的微装配系统的研究尚属空白,这阻碍了我国MEMS的长远发展,因此,研究一套微装配系统成为当前MEMS研究的紧迫任务之一。

2 微装配系统总体方案

微操作与装配的主要特点是其操作对象微小,因而要求微操作与装备设备具有较高的定位测量精度、较多的操作功能和自由度。

本装配系统主要应用于硅微型加速度传感器、微型泵与微型阀等的装配制作以及微小轴、孔的定位装配,对微操作的主要要求是:二维平面内的定位对准,精度要求为 $1\mu\text{m}$;而梳状陀螺的定位对准要求可达 $0.1\mu\text{m}$;微型惯性测量组合 MIMU 的装配操作需要位置方向的精密测量和微细操作,姿态误差须控制在 3° 之内。

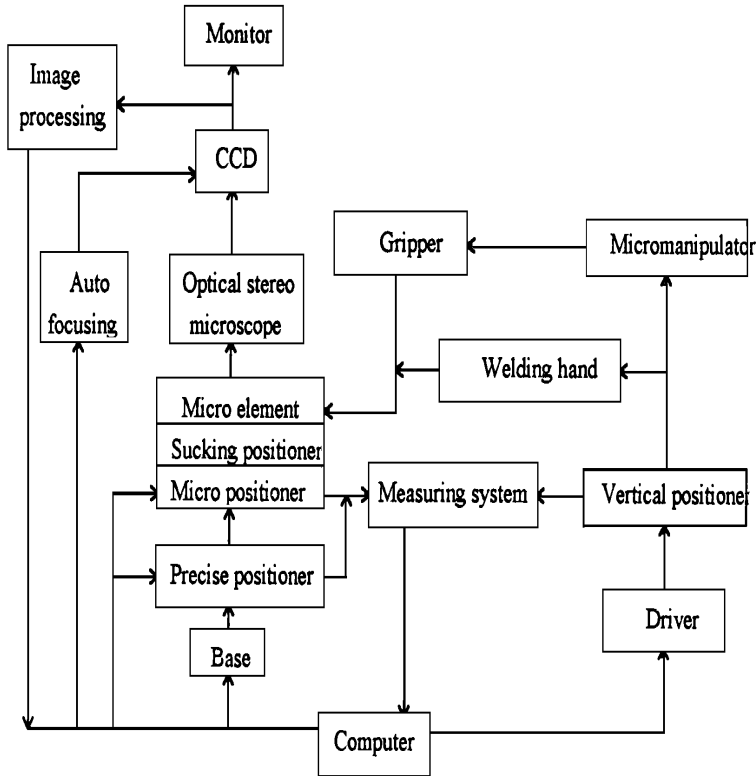
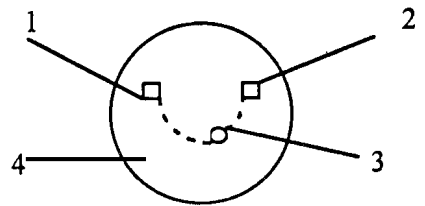


Fig. 1 Block diagram of microassembly system

针对上述微操作的特点和应用要求,本系统采用的设计方案如图1所示,主要由操作手系统、立体显微镜自动调焦系统和多自由度工作台系统等组成。操作手系统包括直立工作台、六自由度操作头、夹持器以及焊接机械手,它的功能是对微器件进行各种装配操作;立体显微镜自动调焦系统用来实现装配中的三维观察与测量;多自由度工作台系统由精密工作台、微动工作台和吸附台组成,其主要功能是提供操作空间并进行精确定位。整个系统工作原理如下所述:由驱动机构驱动直立工作台运动,带动装在微操作头上的夹持器从器件库中拾取待装配的



1. micro element 2. micro element
3. assembly point 4 sucking positioner

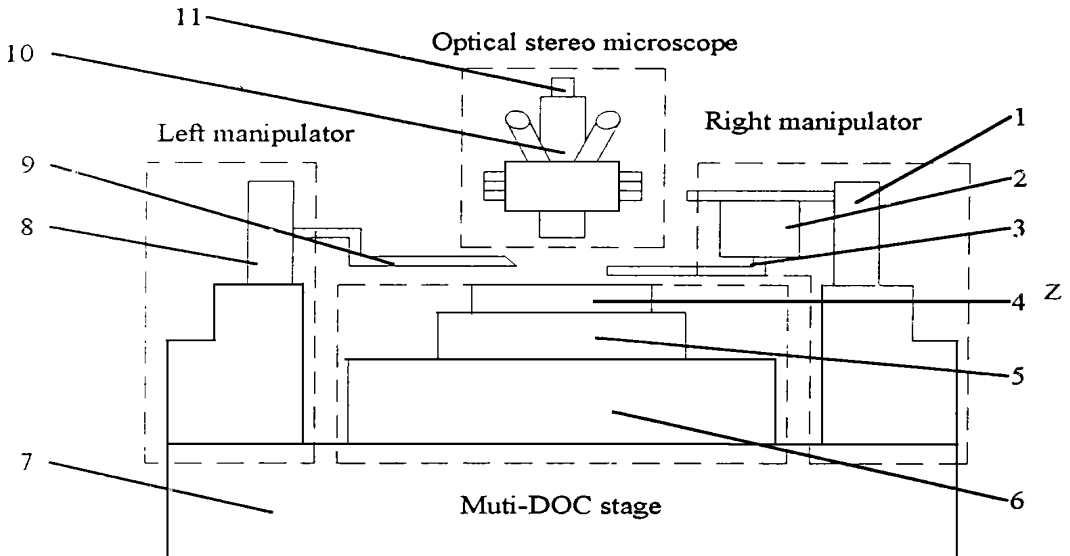
Fig. 2 Assembly process diagram

器件,放置在吸附台上面,先把需要装配的所有微器件全部放置在吸附台上。然后确定一个装配基体,如图2所示,移动精密工作台把待装配的微器件1定位在立体显微镜的视场范围内,同时启动显微镜的自动调焦机构,使器件1在监视器上清晰的成像;接下来使用夹持器夹取器件1,移动精密工作台使基体3处于立体显微镜的视场范围内,驱动微动台进行精确定位,对器件1

和基体3进行装配操作。重复以上操作,对器件2和基体3进行装配操作,在整个装配过程中,夹持器的尖端始终处于显微镜的视场范围内,保证显微镜有固定的观察角度。

3 系统的实现

这套微装配系统主要由左操作手、右操作手、光学立体显微镜和多自由度工作台四个子系统组成,如图3所示,下面就分别讲述四个分系统的结构和功能。



1. vertical positioner 2. micromanipulator 3. gripper 4. sucking positioner 5. micro positioner
6. precise positioner 7. base 8. vertical positioner 9. welding hand 10. optical stereo microscope 11. CCD

Fig. 3 Schematic diagram of microassembly system

3.1 右操作手

右操作手子系统由直立工作台、六自由度操作头和夹持器组成。操作头的六个自由度分别为三个移动自由度(X 、 Y 、 Z)和三个转动自由度(θ_x 、 θ_y 、 θ_z)，操作头安装于具有两个自由度的直立工作台上,沿工作台的立柱作上下运动,这是一个垂直方向上的移动自由度(Z)，这个方向上可实现较大行程,能弥补操作头本身行程较小的不足,而操作头可实现微装配过程中的高精度。直立工作台的另一个自由度(θ)主要用来实现微器件的传递,从器件库中取出待装配的器件,传送到工作台附近。夹持器装在操作头上,直接用来夹取待装配的微器件,它的设计是保证可靠、无损装配的关键技术之一,这里我们采用的是真空吸附结构,其优点主要是结构简单,易于控制,它的作用力分布均匀,不易造成微器件损坏。因此可以实现微器件可靠无损伤的夹取。

3.2 左操作手

左操作手主要具有 Z 向自由度的立柱和焊接机械手组成。焊接机械手装在立柱上,由立柱提供粗定位,焊接机械手自身实现精密定位并完成微器件之间的连接。

3.3 光学立体显微镜系统

目前能实现的用于微器件观测的显微镜主要有 SEM 和光学显微镜两种。虽然,光学显微镜在许多情况下有足够的放大倍率,但目前大部分对微型结构的鉴定,仍是利用扫描电子显微镜。采用 SEM 的主要原因是它较大的景深,能使整个三维微型结构清晰地成像。另一方面,微型结构的装配,目前几乎全是在光学显微镜下面进行,因为微型部件的操作,在 SEM 的真空室内进行还有很多问题。

为了实现装配中微小器件的三维观察与测量,必须使用立体显微镜,立体显微镜有两条光路,可以观察到物体的立体像,但由于结构复杂放大倍数不能做得过高,且时间长了,人眼容易疲劳,因此可以将 CCD 与显微镜对接,把图像显示在监视器上,进行实时监控。由于装配过程中微机械构件具有一定的纵向尺寸,往往会造成离焦,因此需要自动调焦系统来保证实现对装配过程的立体观察。综合以上这几项,可得出显微镜观测系统的组成如下图4所示。自动调焦系统的难点在于选择一个合适的离焦判别函数,由于需要观测三维结构,它不同于二维聚焦,况且要在监视屏幕上显示三维结构,需要利用立体成像技术,这也增加了图像处理的难度。

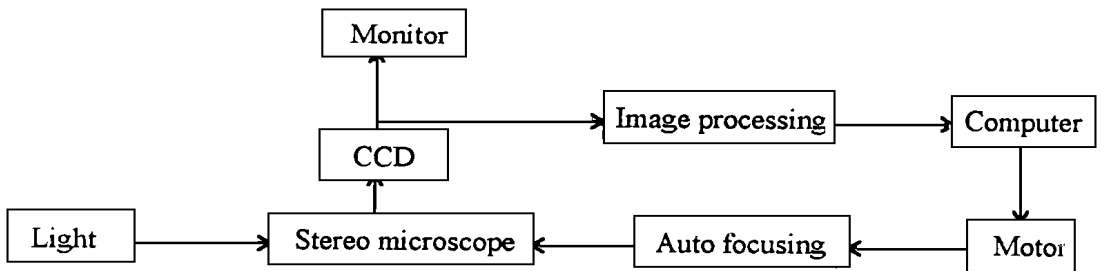


Fig. 4 Block diagram of microscope autofocus system

3.4 多自由度工作台

多自由度工作台主要包括精密工作台、微动工作台和吸附台,它提供了微器件装配的操作空间。本系统的工作台采用二级定位,用粗精相结合的两个工作台来实现,粗工作台完成高速度大行程,而高精度小行程由微动工作台来实现,通过微动工作台对粗动工作台运动中带来的误差进行精度补偿,以达到预定的精度。本系统工作台有六个自由度,分别是粗动台的水平移动自由度 X_0 、 Y_0 和转动自由度 θ_0 ,微动工作台的三个自由度 X_1 、 Y_1 、 θ 。对于微动台的设计,我们采用弹性导轨-压电驱动的方案,其中的关键技术在于压电马达的设计与制作和蠕虫机构的设计。采用尺蠖机构的压电器件,可达到 2mm 的行程,分辨率为 $0.01\mu\text{m}$ 。吸附台直接位于微动台的上面,它的功能是提供装配空间并对微器件进行定位,本系统中样品采取真空吸附的方式来定位,其可靠性主要取决于吸附力的大小。吸附力的大小要适中,不仅要实现装配过程中微器件的位置固定,还要保证微器件不受损坏。影响吸附力的因素主要有:系统真空度、微器件尺寸的形状、吸附孔的尺寸以及吸附台的器件的表面粗糙度。

3.5 定位测量和控制系统

由于微装配要求精度高,除了在结构上要满足精度要求外,还需要相应的定位测量系统,来保证系统功能的实现。水平尺寸采用光栅传感器来测量,精度可达 $0.01\mu\text{m}$,转动角度可用光电编码器来测量,精度可达 $30'$ 。全部的定位测量系统通过计算机控制,由计算机获取相

关数据并进行处理, 保证微装配系统的精度和效率。

4 结 论

本文提出了一套微器件装配方案, 它的特点是系统功能齐全、自由度多、定位精度高, 且应用范围广, 操作灵活方便, 不仅可以进行微器件间的定位与装配操作, 以构成具有一定功能的微系统, 还可对各种微型传感器、致动器本身进行装配制作。

参 考 文 献

- 1 王跃林等. 微电子机械系统. 电子学报, 1995, 23(10): 37 ~ 42
- 2 Suga T, Hosoda N. A novel approach to assembly and interconnection for micro electro mechanical system. Proc of the IEEE MEMS, 1995: 413 ~ 418
- 3 Yotaro Hatamur. Direct coupling system between nanometer world and human world. Proc of the IEEE MEMS, 1990: 203 ~ 208
- 4 Tomomasa Sato. Novel manipulator for micro object handling as interface between micro and human worlds. Proc of the IEEE/RSJ Inter, Conf on Intelligent Robots and Systems, 1993: 1674 ~ 1681
- 5 M amoru Mitsubishi. Information Transformation-Base Tele-Micro-Handling/Machining System. Proc of the IEEE MEMS, 1994: 303 ~ 308
- 6 李云平等. 微器件装配系统与关键技术. 光学 精密工程, 1997, 5(3) 1 ~ 6

A manipulator system for assembling micro elements

ZHENG Wei, XU YU -Xian, LI Qing -Xiang

(Dept of Precision Instrument and Mechanics, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract

Microassembly is one of the key factors for micro electro mechanical systems. In this paper, a manipulator system for assembling micro elements which is based on the properties and requirements of microassembly technology is presented. Design features of each components of this system are described and the methods to achieve these features are analysed.

Key words: Micro element, Microassembly, Micromanipulator

郑 巍 男, 1974年4月出生, 现在清华大学精密仪器专业攻读硕士学位, 研究方向为微装配系统。