

微器件装配系统与关键技术

李云平 龙志峰 李庆祥 王晓晔 薛实福

(清华大学精密仪器与机械学系, 北京 100084)

摘要 微装配技术是实现组合结构的微机械电子学系统的关键技术之一。本文介绍了目前两种典型的可以实现不同功能的微器件装配系统以及设计微器件装配系统的关键技术。

关键词: 微系统; 微装配; 扫描电子显微镜; 光学显微镜

1 引言

微机械电子学系统(MEMS)作为二十世纪末的新型前沿学科,其发展十分迅猛,在生物工程、宇航、军事工业及工农业等方面有着广泛应用,它将导致人类认识和改造世界能力的重大突破,从而给国民经济、人民生活 and 军事带来深远影响。

随着MEMS的发展,一个由微电子学、微机械和光学与光电子学元件所构成的完整的微系统将是未来的发展趋势。微系统的工艺过程如图1所示。其中器件集成的装配技术将直接影响整个系统的可靠性和功能。最理想的微系统是它的整体的结构。但是由于各组件基于不同加工工艺故而缺少兼容性,因此在微系统装配时必需使各元件可靠地、在几何形状和材料方面毫不紧张地相互联接在一起,以确保微系统的性能^[1]。

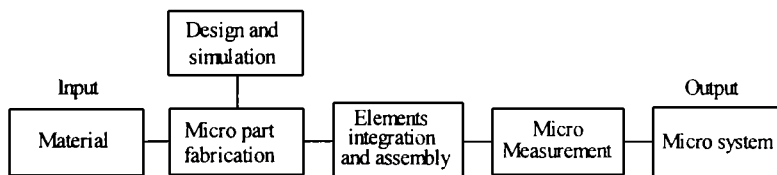


Fig. 1 Technological process of micro system

目前,微器件的组装与装配已为世界各国所充分认识,日本、美国、德国等许多发达国家已纷纷开始进行研究,其中尤以日本的微装配系统的研制最为突出。

2 微装配系统的基本组成

微器件的基本装配步骤为: (1) 将微器件置于操作空间; (2) 对微器件进行组装; (3) 将组装后的微结构移出操作空间。

2.1 基本扫描电子显微镜 (SEM) 的微装配系统^[2-3]

该微装配系统原理图如图 2 所示, 它由主装配腔和送进装置组成。在主装配腔中由多轴精密工作台、机械手、SEM 及电子枪等完成微器件的装配。送进装置的作用是传送微器件。

多轴工作台用来承接被装配的微器件, 它有四个自由度: X_1 、 Y_1 、 Z_1 及 θ_{z1} , 均由步进电机驱动, 可提供微器件装配中实现精确定位的各种运动。机械手可以绕 θ_{x1} 、 θ_{y1} 轴转动以及沿 Z_2 轴移动, 它由压电尺蠖机构驱动, 通过由形状记忆合金弹簧和平衡弹簧驱动的夹柄来控制样品。机械手—工作台系统可以绕着 θ_{x0} 、 θ_{y0} 、 θ_{z0} 轴转动和倾斜, 以实现装配中需要的各种动作。通过 SEM 的一个检测眼对样品进行精确定位。定位精度与电子束的焦点有关系, 而且与快速原子束 (FAB) 的运动方向一致 (称为工作点)。控制系统和工作台装在真空腔外的基座上, 由三个步进电机驱动可以在 X_0 、 Y_0 、 Z_0 三个方向上粗动, 这样就可以通过保持相对位置把样品对设置在工作点上。

操作时, 样品之一由机械手从圆盘上拾取并且放在置于多轴工作台上的另一个样品上方所要求的位置处, 此连接位置通过机械手与多轴工作台的联合操作进行控制。样品的位置受 SEM 的控制。欲连接的样品表面被大约 1.5 keV 的氩快速原子束辐照几分钟后被溅射净化, 在金属表面的天然氧化层或被污染的表面层被移去之后, 它们将在微小的压力下接触, 从而实现能动连接。

该系统的特点是: (1) 在真空环境下进行操作; (2) 系统包括一个真空传送装置, 因而可实现微器件的三个基本装配步骤, 并且易于实现装配过程的自动控制, 减少传送过程对器件的损伤; (3) 此系统具有 12 个自由度, 可以灵活

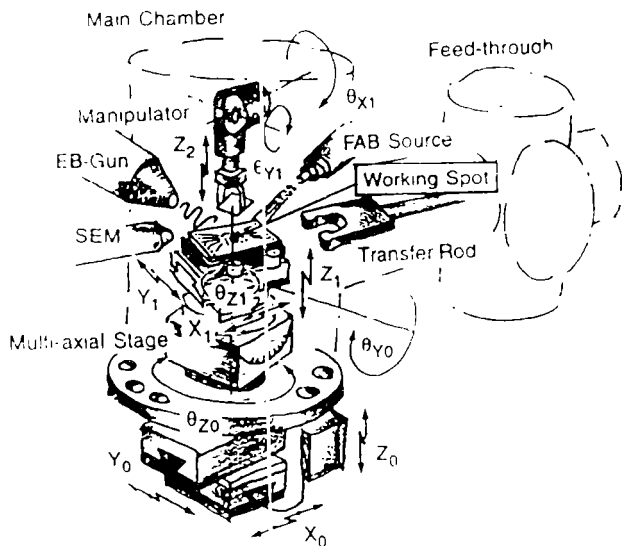


Fig. 2 Schematic draw of the micro-assembly system

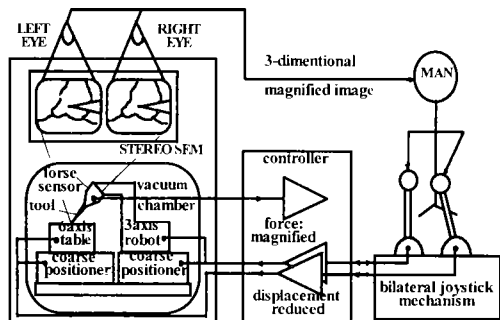


Fig. 3 System diagram of nanorobot system

进行装配过程的自动控制, 减少传送过程对器件的损伤; (3) 此系统具有 12 个自由度, 可以灵活

方便地进行操作。

此系统目前应是微装配技术中的一个最典型的装置,在世界上也属先进水平。

另一个用于纳米世界和人类世界之间的直接装配系统的原理如图3所示。

它由左机械手(六轴工作台—超声电机驱动)、右机械手(直角坐标式三轴机械手—压电马达驱动)以及SEM等所组成。左右机械手和SEM一起置于真空腔中,SEM用来提供三维实时处理图像。工件置于六轴工作台上,左手二轴粗定位机构带动六轴工作台运动,使工件置于SEM视场内;右手三轴粗定位机构可使操纵装置(工具)末端顶部接近工件的操作点,从而使操纵装置末端顶部及工件的处理点之间的距离变得比三轴机械手的作用区更小。在操纵装置末端顶部及三轴机械手之间有一个高灵敏度且尺寸微小的六轴力传感器,用来测量操纵装置及工件之间的接触点上的力的大小及方向。

三轴机械手的行程: X 、 Y 、 Z 向分别为 $12.5 \mu\text{m}$, 精度: $0.01 \mu\text{m}$;

六轴工作台的行程: X 、 Y 、 Z 向分别为 $10 \mu\text{m}$, 精度: $0.01 \mu\text{m}$;

旋转行程: X 、 Y 向分别为 $800 \mu\text{rad}$, Z 向为 $400 \mu\text{rad}$ 。

此系统增加一个力传感器,便于操作人员了解工具与工件之间的接触状态,并对其加以控制。不足之处是没有工件的传送装置,安放及移走工件均由人工完成,效率较低。

2.2 基于光学显微镜的装配系统^[4-5]

系统原理及所采用的控制模块分别如图4、5所示:

系统由左机械手、右机械手、三轴移动工作台、样品工作台、三轴力传感器、光学体视显微镜和视频照相机等组成。

右机械手具有两个旋转自由度,其旋转轴与工具尖端交叉,因而即使轴在旋转工具尖端也

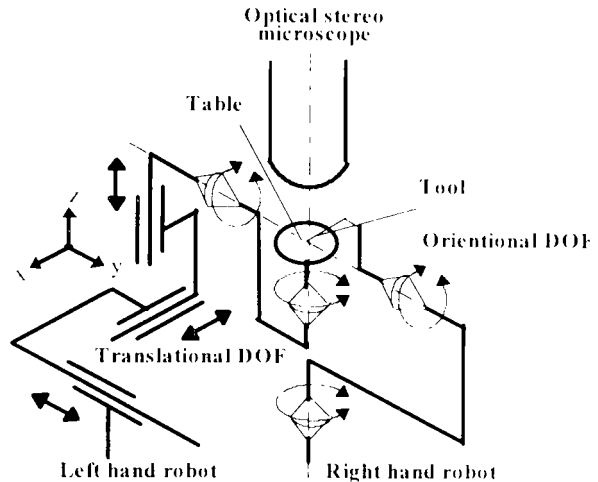


Fig. 4 Diagram of the micro object handling system

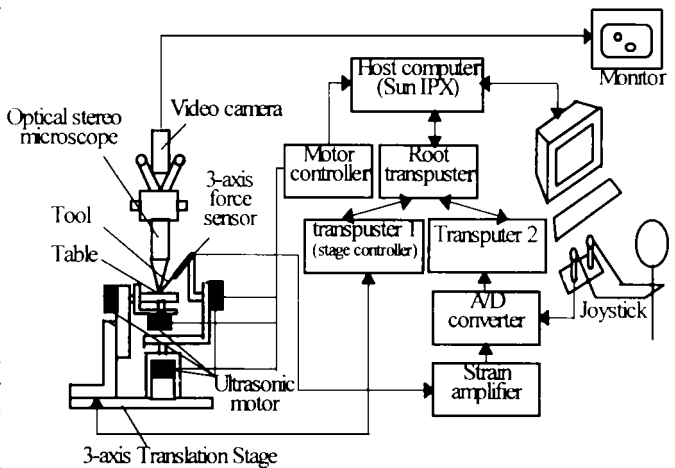


Fig. 5 Block diagram of the employed control system

不是通过视觉信息进行反馈,而是采用力—音信息变换,可以避免在监控时由于人的视觉疲劳而影响实际操作。

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(可高达 5×10^4 倍)、焦深大、分辨率高等特点,可以监测小到 $0.02 \mu\text{m}$ 的物体,是一种理想的装配方法,但其不足之处是操作复杂,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,是目前一种通用的方法。

3 关键技术

在微装配系统的研制中要解决以下几个关键技术:

(1) 多自由度操作器的设计

采用六自由度微动操作头可以实现对待装器件的位姿和协调运动控制。

六自由度微动操作头采用并联机器人机构形式,通过运动学和动力学分析,确定六自由度作业头结构参量与运动变量,开发高精度伺服驱动模块,建造六自由度协调运动及动力控制单元。

(2) 精密微位移工作台的设计与实现

微位移技术是实现高精度装配的重要技术之一,它主要用于提高整机的精度。

微位移机构的关键在于直线驱动压电马达的设计与制作,采用蠕动机构可以实现高分辨率和大行程。

(3) 吸附与装夹工具的设计

微机械构件由于具有小、轻、薄、脆等特点,装配时如何抓取它使其不损坏、不变形应该是重点解决的问题。

夹取和吸附是可供选择的方式。为了避免微机械构件因夹取而引起变形甚至于被损坏,夹取机构在设计时应严格控制夹取力,因而其设计和加工的难度很大。吸附又有真空吸附和静电吸附两种形式,如采用静电吸附,精细吸盘的加工要求高,并且对于不同材料元件吸盘材料需不同,给操作带来很大不便,因而,微器件的装夹与损伤机构采用真空吸附和柔性微变形结构设计,可以实现微器件可靠的无损伤装夹与夹取。

(4) 光学显微镜系统的参数设计

微机械构件因其微小(几十或几百微米量级),因而其组装必须在显微镜下进行。但是倍数较大的显微镜其工作距离一般都很短且焦深也很小,工作距离无法满足抓取微机械构件机械手对活动空间的要求,而焦深小会使得组装时有碍于纵向观察,为此需选取或研制既满足分辨率要求又满足工作距离和焦深要求的显微物镜。

(5) 各种连接与键合工艺的研究

微器件装配系统最终能实现的功能是与微机械构件的连接、键合工艺以及微细加工方法紧密相关的,因此必须进行各种连接与键合工艺及微细加工方法的研究,以便装配系统能实现多种装配与组装功能。

4 结 束 语

MEMS 的发展已导致了人类认识能力和改造世界能力的重大突破, 给国民经济、人民生活 and 军事带来了深远影响。而微装配技术是随着 MEMS 研制与开发的迅速展开而提出的, 它们对 MEMS 的整个发展具有决定性意义, 并且将为微型机器人的最终实现奠定坚实的基础。

参 考 文 献

- [1] Weistner T, Vogele G. 光机电世界, 1994, 11(10): 10~14
- [2] Suga T, Hosoda N. Proc of the IEEE MEMS, 1995: 413~418
- [3] Yatato Hatamura, Hiroshi Morishita. Proc of the IEEE MEMS, 1990: 203~208
- [4] Tomomasa Sato et al. Proc of the IEEE/RSJ Inter Conf on Interlligent Robots and System. 1993: 1674~1681
- [5] M amoru Mitsuishi et al. Proc of the IEEE/RSJ Inter Conf on Interlligent Robots and System. 1993: 1473~1478

The Assembly System and Key Technique of Micro Elements for Micro Mechanics

Li Yunping, Long Zhifeng, Li Qingxiang, Wang Xiaoye, Xue Shifu

(*Dep t. of the Precision Instrument and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084*)

Abstract

Micro assembly is one key techniques in realizing MEMS. In this paper, two micro assembly systems, one based on the SEM technique, the other on the traditional optical microscope (TOM), are proposed, their features are analyzed and their construction and key design techniques are described. The micro assembly system that based on the SEM technique is found to have the quality of high resolution, large focus depth and the ability of nano-score operation. One of the disadvantage is its high cost and complex operation. On the other hand, the system that based on the TOM is easy to operate and much economical. It is a valid technique for our project.

Key words: MEMS, Micro assembly, SEM, TOM

李云平 女, 1967 年 3 月出生。1995 年清华大学仪器仪表专业毕业获工学学士学位, 现攻读精密仪器及机械专业硕士学位, 研究方向为微机械。