

第四届高效加工技术研讨会
2013年3月28-29日 无锡

MIE
Manufacture Information Engineering
制造业信息化

微型机床 和桌面工厂

发言席

上海市科技功臣
全国优秀科技工作者
中国机械工程学会 荣誉理事
同济大学教授 张曙

微小尺度加工技术

Turning small ideas into big possibilities.



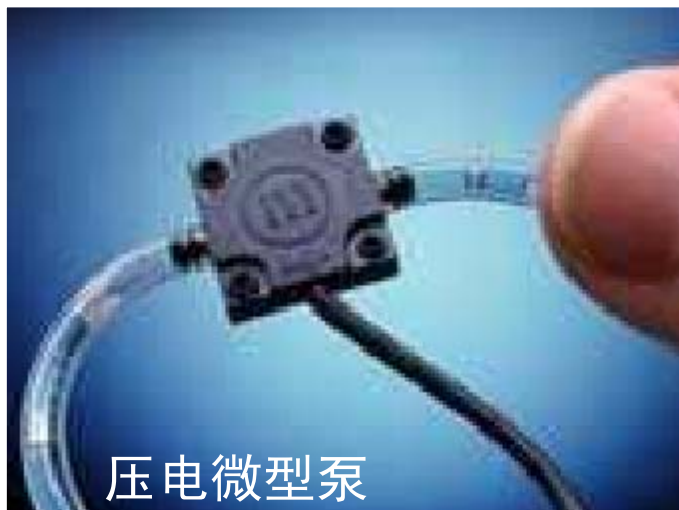
Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University

典型的微型元器件



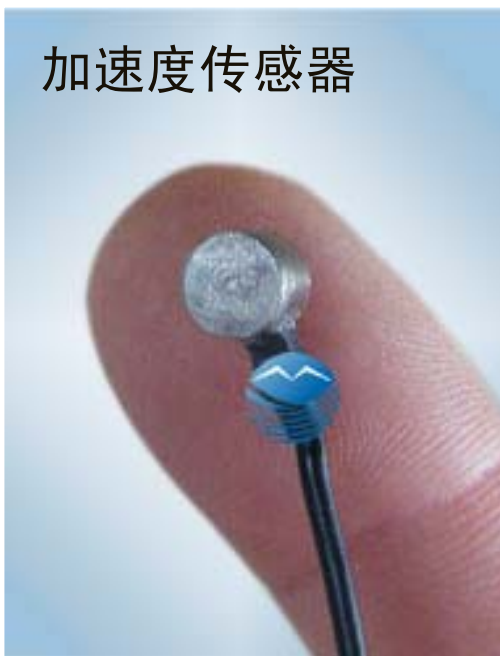
胶囊式内窥镜



压电微型泵



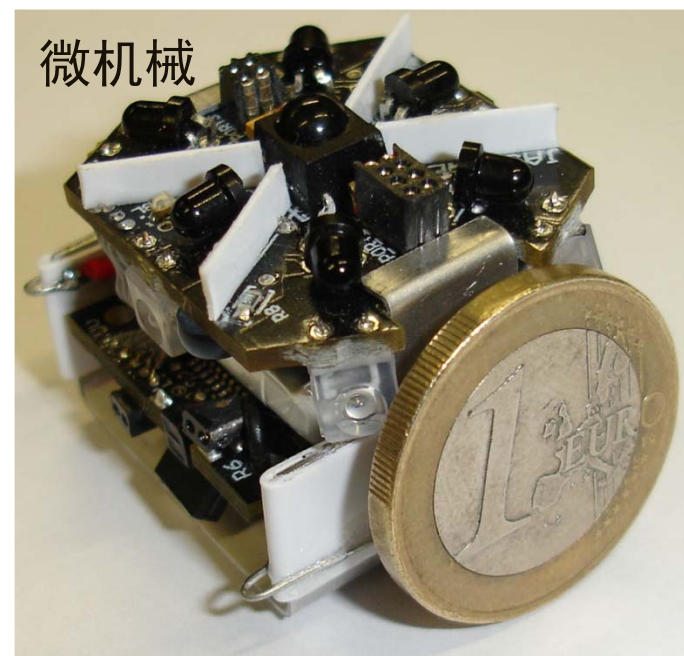
微型机器人



加速度传感器

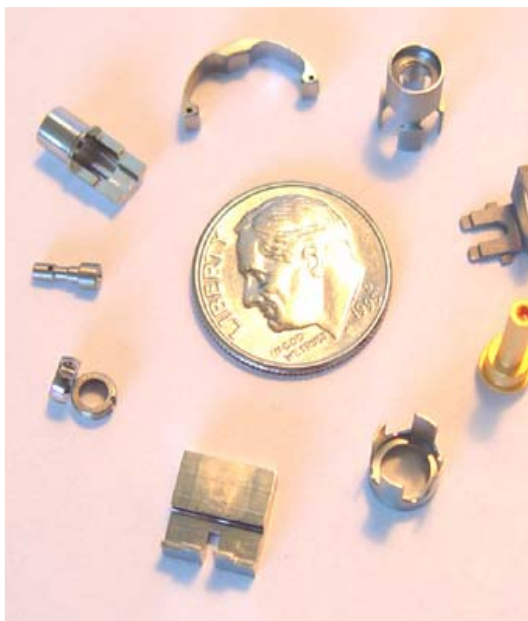


微飞行器



微机械

典型的微型零件



微型零件（背景为指纹）



微型齿轮

微型元器件的应用领域

- **信息技术和电子产品**：微型摄像头、微马达、微型夹持与微装配系统、电子封装等。
- **汽车工业**：安全气囊加速度传感器、发动机压力计、导向陀螺仪、废气排放、无人驾驶系统等。
- **国防领域**：弹药引信、微型传感器、微制导系统、光学元件、作战机器人和微机器人等。
- **航空航天领域**：微卫星零部件、微激光陀螺、微推进系统、微飞行器、无人侦察机等。
- **医疗领域**：微创外科手术、血管支架、生物芯片、血管机器人、内窥镜等。



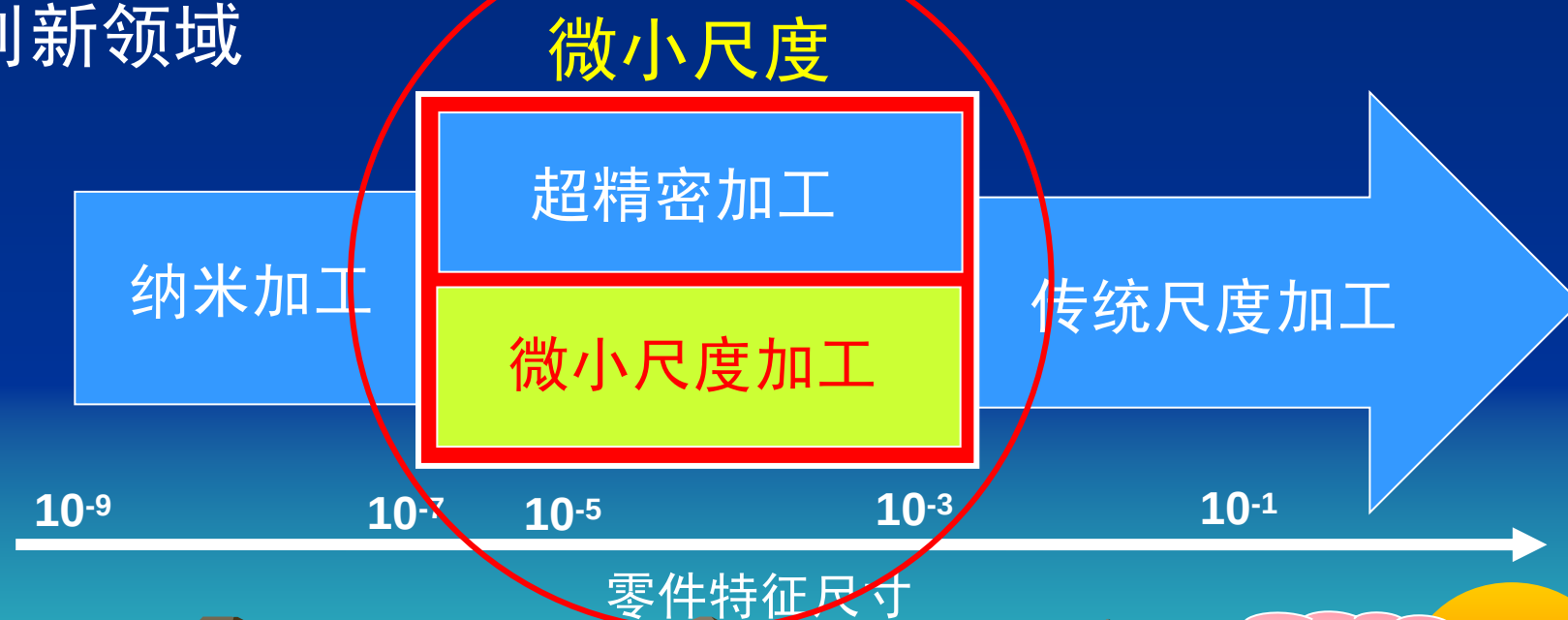
Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University



微小尺度加工的概念

- 零件特征尺寸在数十 μm (10^{-5}) 到数 mm (10^{-3})，公差为亚微米 (10^{-7}) 的切削加工、成形加工和电加工
- 微加工是传统加工和纳米加工之间的桥梁，新的技术创新领域



Prof. Shu Zhang

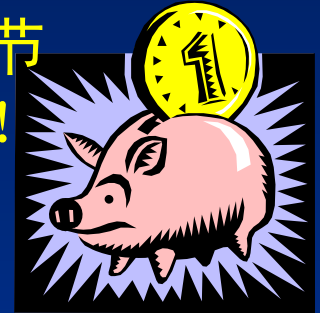
Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University

微小尺度加工的意义

微型零件



微小尺度加工发展的
两大推动力：节
能环保和低成本！



- 一般占地面积
(3 x 3 m左右)
- kW 级主轴和进
给功率
- 典型加工空间
560x430x350 mm³
- 相对精度 10⁻⁶

- 减少占地面积
(470×430×420mm)
- 减少能耗
10-100W级
- 典型加工空间
50x50x30mm³
- 相对精度 10⁻⁴

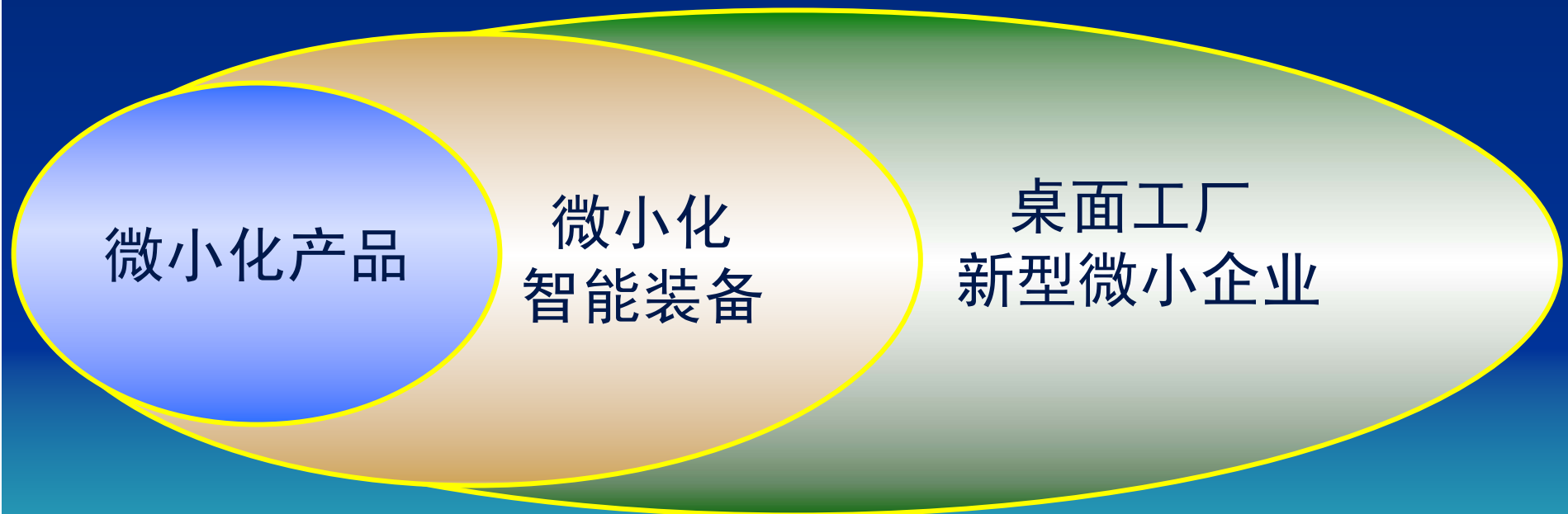


Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University

微小尺度加工的愿景

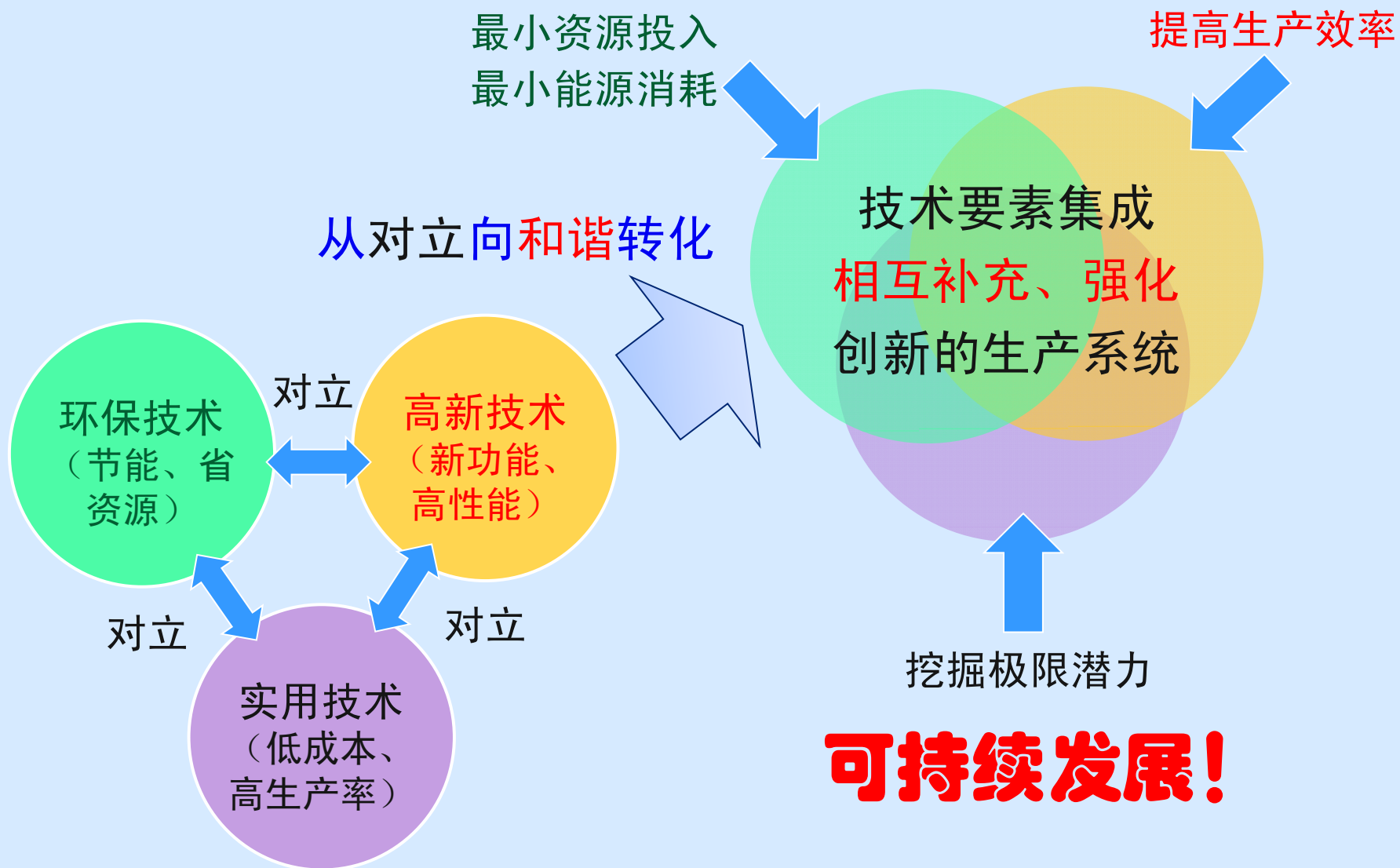
☯ 用微小化装备生产微小化产品，由微小化装备组成桌面系统和微型工厂，从而形成高效率、高能效、高附加值、可持续发展的新一代微小企业。



Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University

微小尺度加工的使命



微小尺度加工的目标

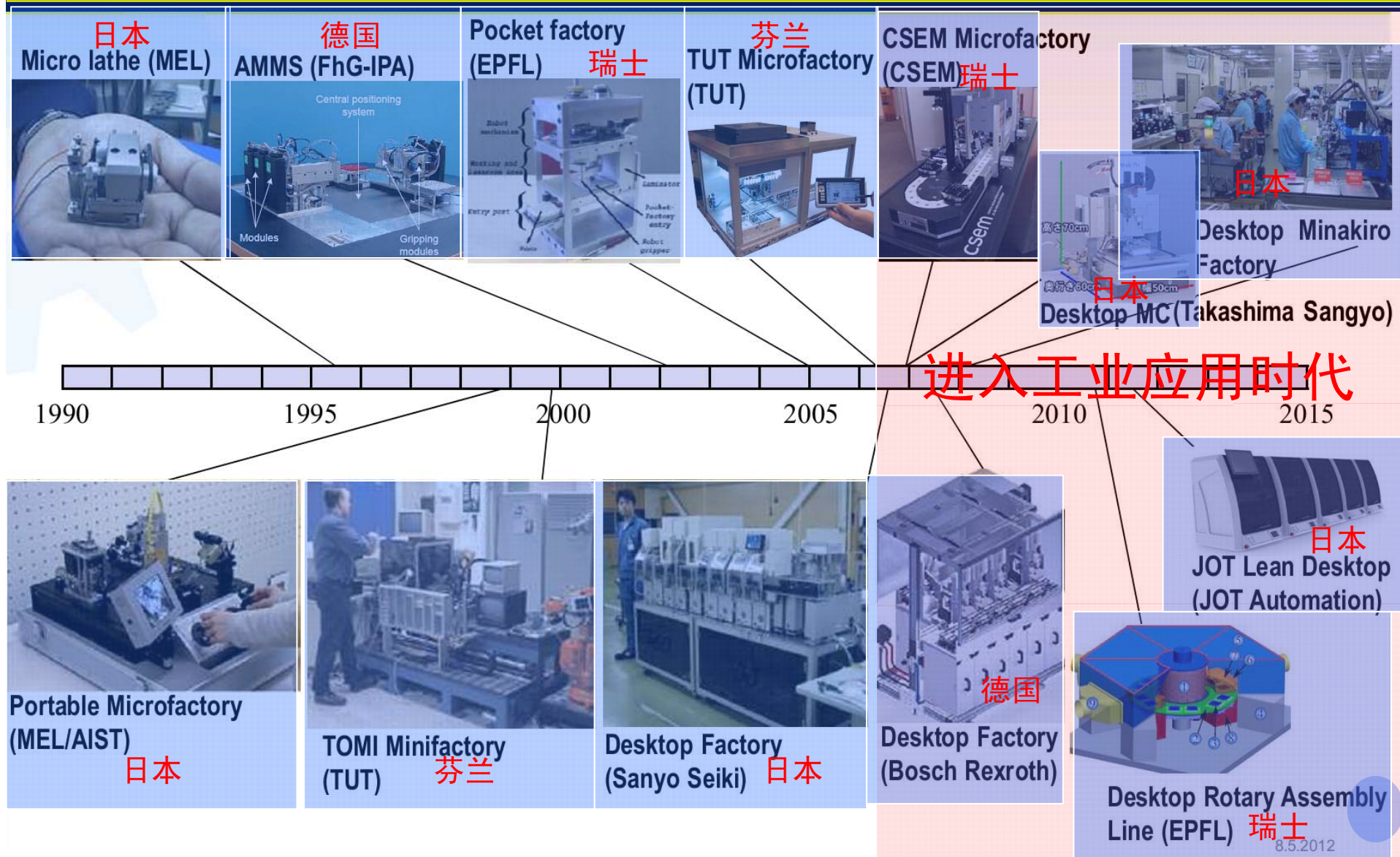
- 能加工各种材料的三维/自由形状的精密零件
- 把相对高精度和高效率（高材料切除率/成型效率）结合在一起。
- 与传统加工方法相比，降低加工成本数倍、甚至数十倍。
- 减少投资、生产面积和能源需求，投产见效快
- 减少原材料、劳动力、维护和运行成本。
- 适应产品变化，易重组、可变、可持续发展。



Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University

微小尺度加工的里程碑



微型机床--mMT

Turning small ideas into big possibilities.

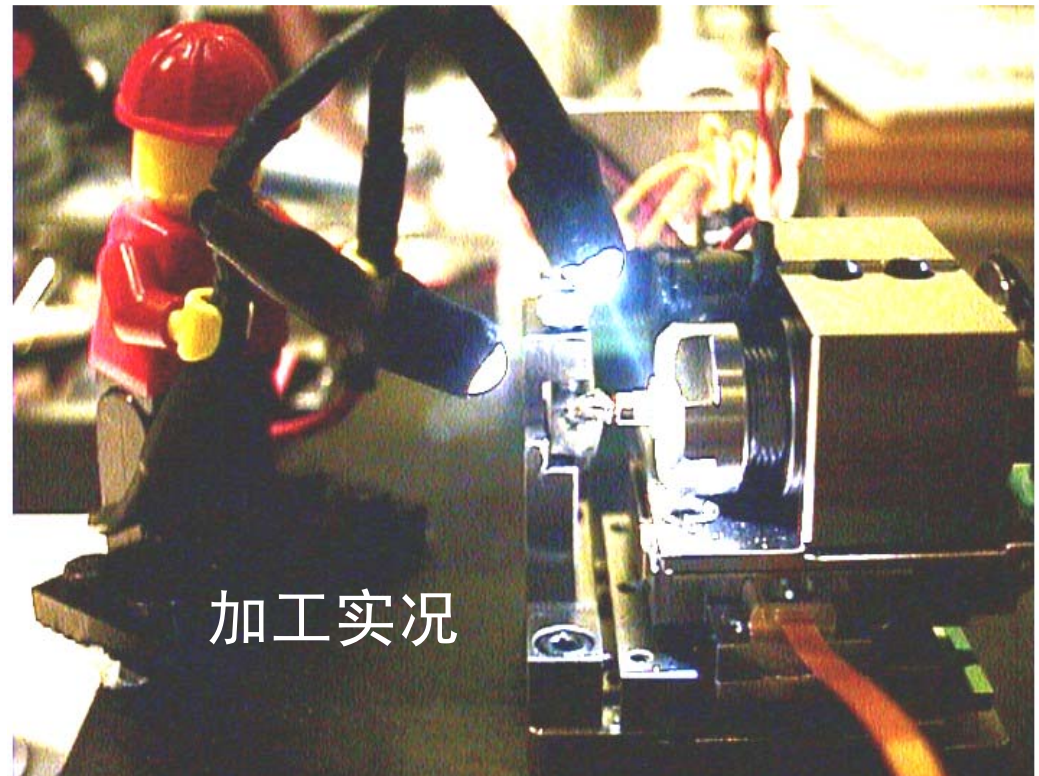
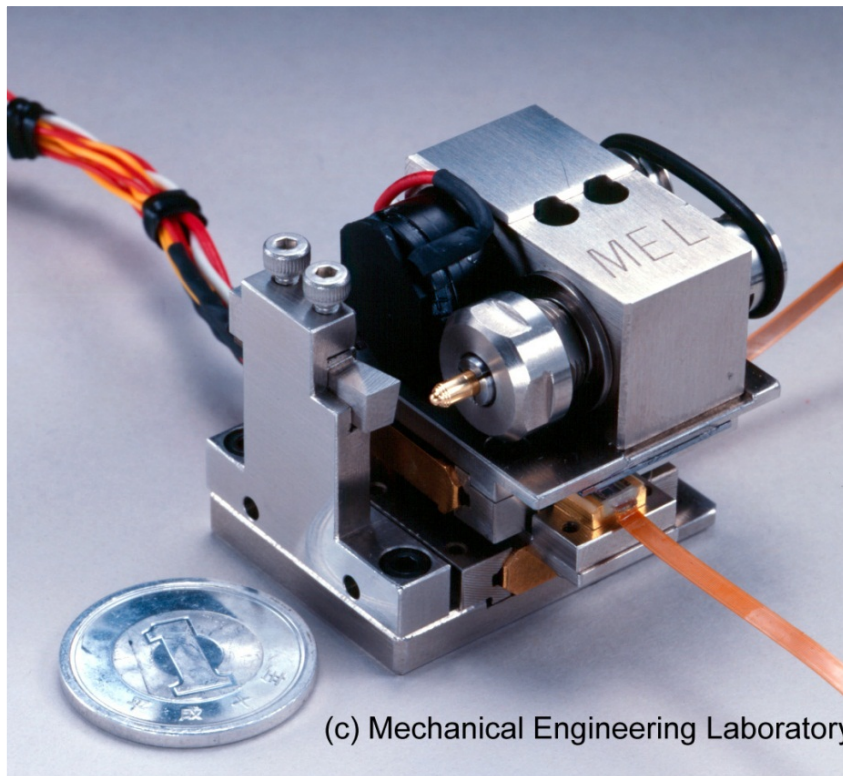


Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University

日本MEL开发的掌上车床

MEL是微型数控机床（mMT）的先驱，采用双层压电陶瓷致动微型工作台和光栅直线尺，闭环数控；主轴电动机1.2W直流，可换夹头，可配置2个刀夹（选件）



超小型数控车床

シンビオシス・テクで超小型精密CNC旋盤

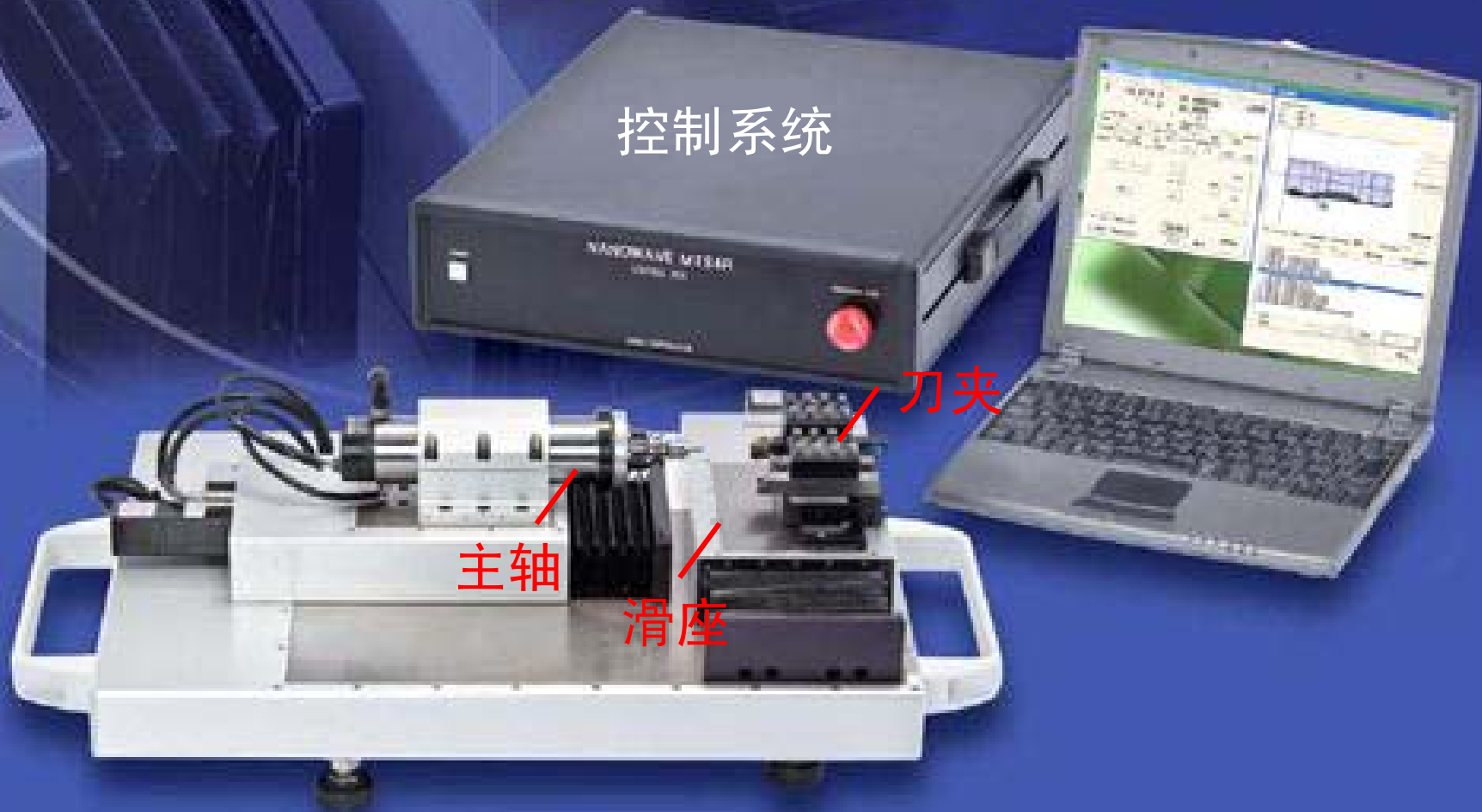
さらにコンパクト・高精度・簡単操作。
導入・運用コストを低減し、マイクロ・ファクチャリング時代をリードします。

控制系统

刀夹

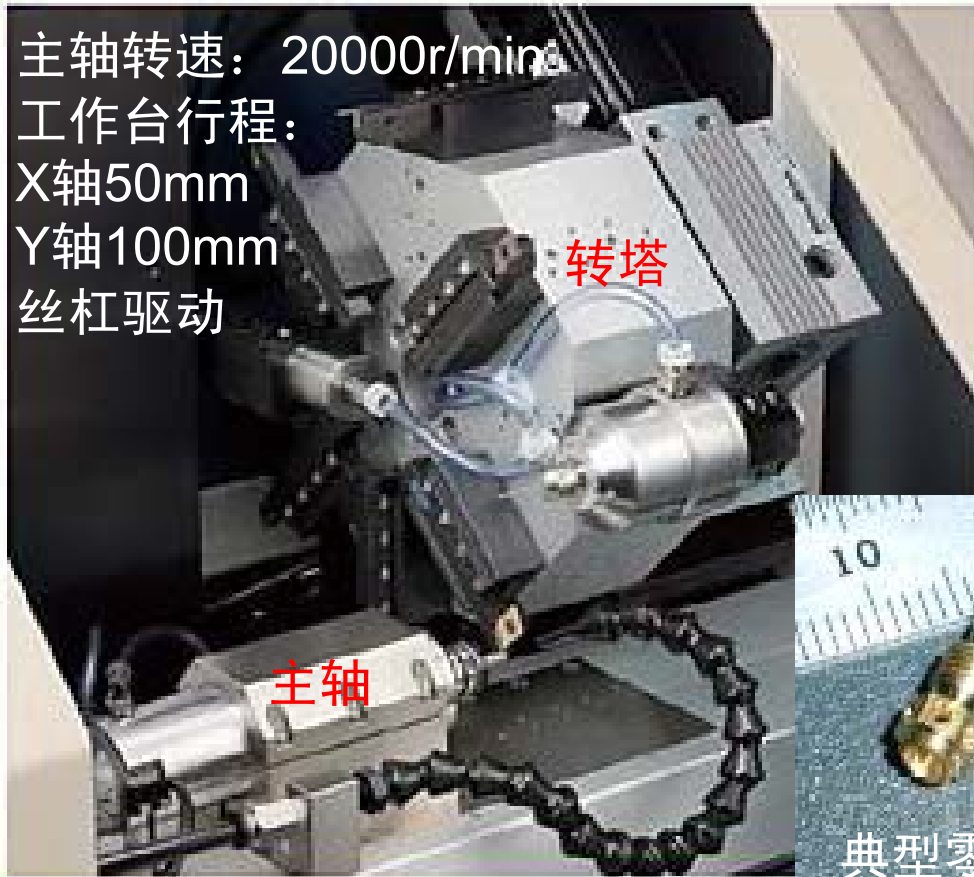
主轴

滑座



日本MTS3S微型车铣复合机床

日本Nanowave公司商品化产品；特点是八角转塔端面和周边配置10把车刀或自驱动铣头，完成多种工艺。



机床外形尺寸：
700×400×600mm
机床重量：108kg



美国Microlution的微型铣床

加工区域



刀具交换区域



易更换的刀库



363-S微型铣床视频

上海机床厂的微型数控磨床

X、Y、Z 导轨	直线滑轨
X、Z轴驱动	直线电动机驱动
Y轴驱动	直线电动机+滚珠丝杠驱动
X、Z移动量	100mm、50mm
X、Z移动速度	1000mm/min
	直流电动机驱动
工件回转轴	空气静压主轴
	最大转速：4000 r/min
	直流电动机驱动
砂轮回转轴	空气静压主轴
	最大转速：60000 r/min

上海机床厂完成的国家重大专项：
2MNKA9820型纳米级精度微型
数控磨床



W1000micro微型滚齿机

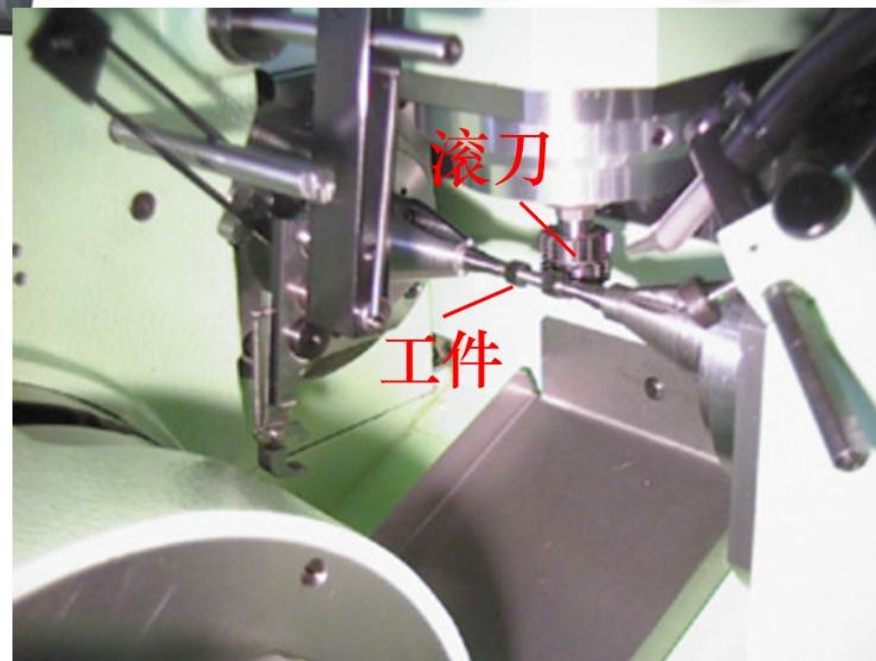
- 为了适应仪器仪表、钟表等行业加工小模数齿轮的市场需求，瑞士Lambert-Wahli公司推出W90 和W1000micro两款小模数数控滚齿机。
- W1000micro数控滚齿机共有8个数控轴，采用博世力士乐IndraMotionMTX 数控系统。
- W1000micro滚齿机适用于模数小于0.8mm的直齿轮、斜齿轮、冠状齿轮、端面齿轮、椭圆齿轮、直齿伞齿轮、蜗轮的粗滚和精滚加工。



Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University

W1000micro微型滚齿机



W1000micro微型滚齿机视频

微型功能部件

Turning small ideas into big possibilities.



Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University

微型机床的微型主轴

➤ 气动涡轮主轴

- 转速高 (50000~200000 r/min)
- 精度较高 (振摆 $\sim 3\ \mu\text{m}$)
- 尺寸较大 ($\Phi 45\ \text{mm}$)

➤ 牙科磨头

- 价格便宜
- 速度很高 (可达 500000 r/min)
- 尺寸小 ($\Phi 10\sim 15\ \text{mm}$)
- 精度较低、振摆大 ($\sim 10\ \mu\text{m}$)

➤ 无刷直流电动机

- 尺寸较大
- 速度相对高 (可达 150000 r/min)
- 易控制、易集成
- 精度低、振摆大 ($\sim 15\ \mu\text{m}$)

气动
主轴



牙科磨头

无刷直流电动机



Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Techn

音圈和压电驱动装置

音圈电动机:

- 工作可靠、容易控制
- 没有反向间隙
- 承载能力较大

压电陶瓷伸缩驱动:

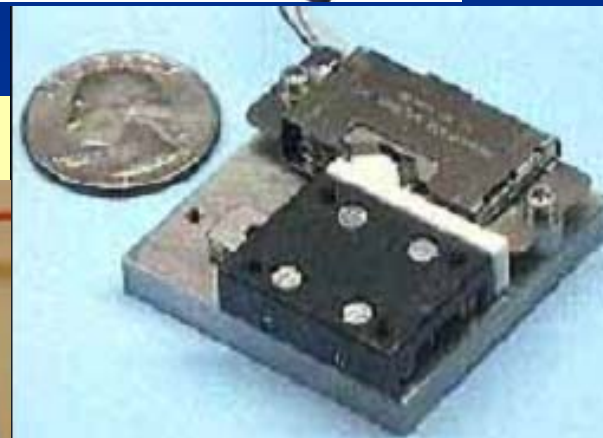
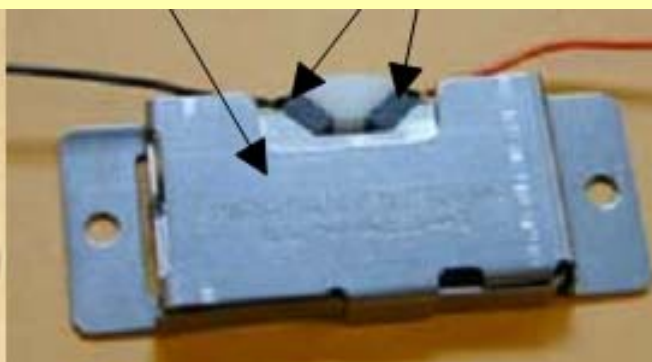
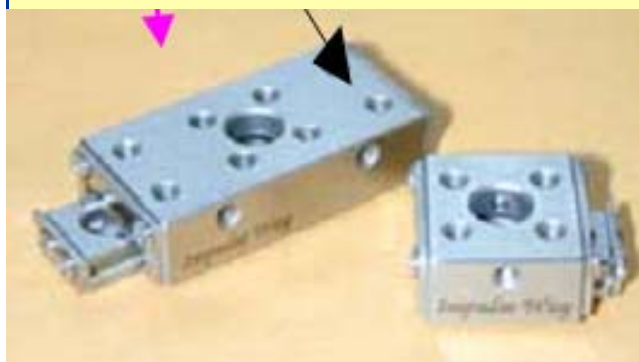
- 结构紧凑、尺寸小
- 速度难以控制
- 对载荷非常敏感



滚珠滑座

运动罩

压电元件



压电陶瓷伸缩驱动装置

音圈电动机驱动工作台视频

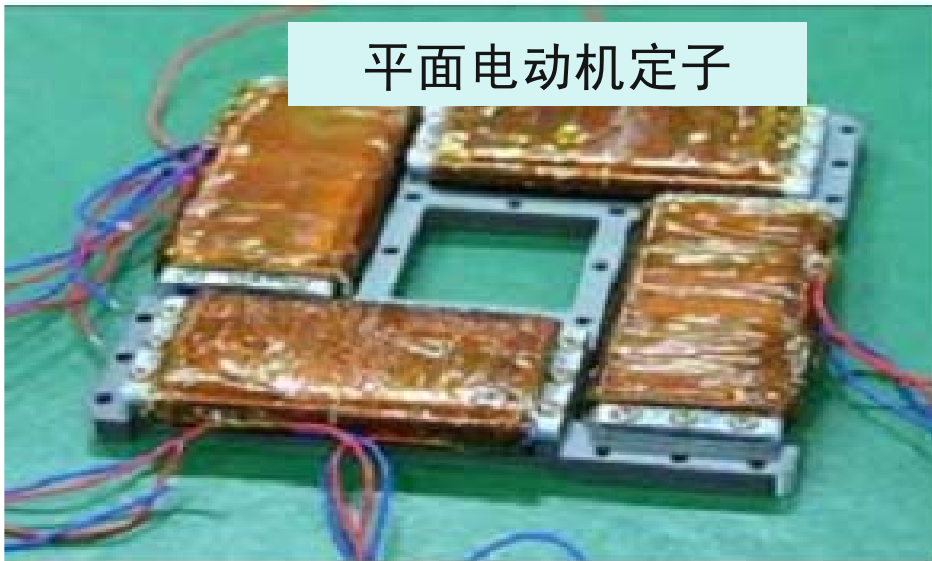


Technologies, Inc.

www.h2wtech.com

3DOF气浮平面电动机

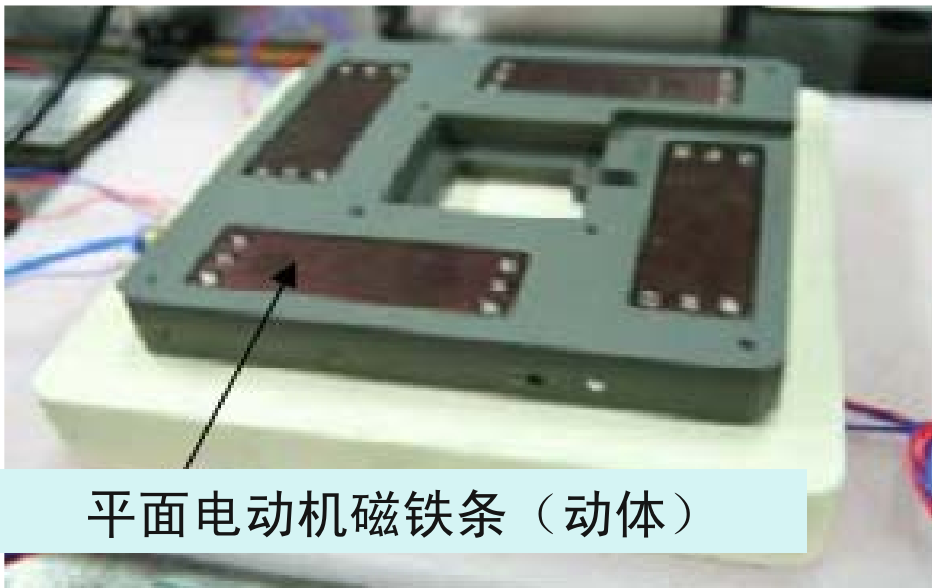
平面电动机定子



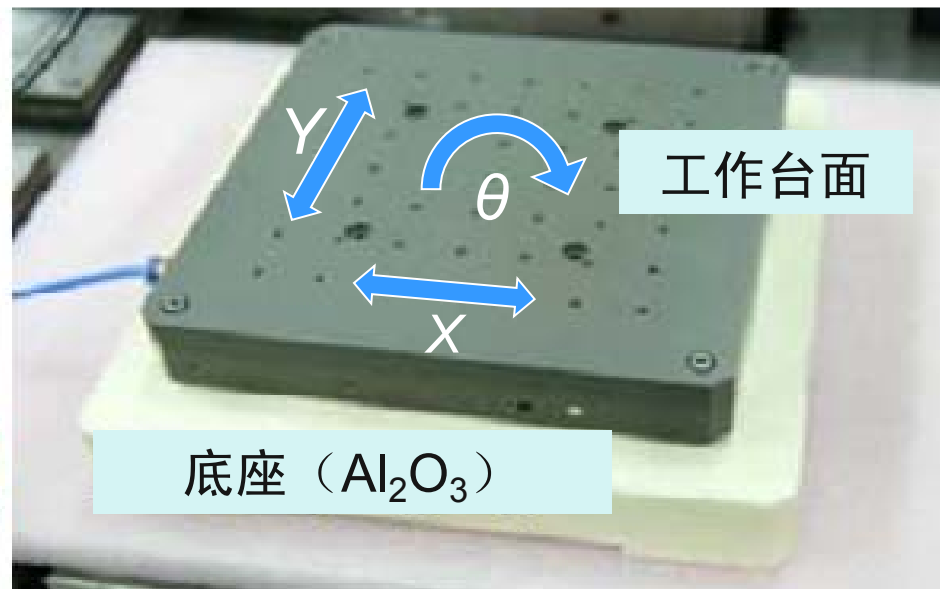
平面电动机底座



平面电动机磁铁条（动体）



工作台



底座 (Al_2O_3)

桌面工厂--DTF

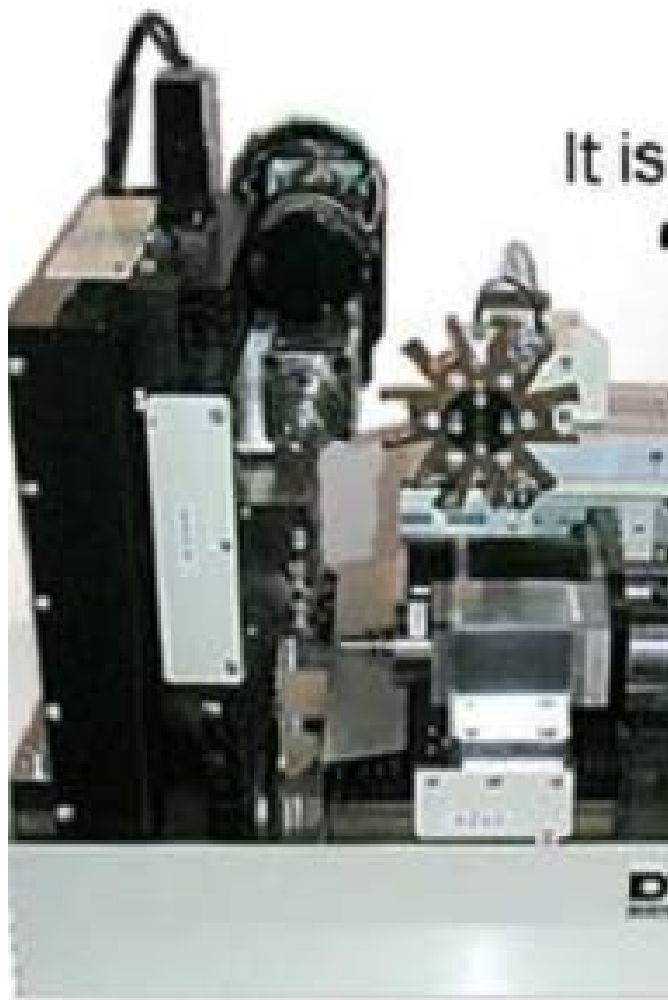
Turning small ideas into big possibilities.



Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University

桌面工厂的愿景



It is new creation of Earth friendly by "DTF"

"DESKTOP FACTORY"

MANUFACTURING

will become finer and smaller
Environmental Friendly

Manufacturing

at Any time
in Any place
for Anybody

省能源
Energy Saving

省资源
Resource Saving

省面积
Space Saving

桌面工厂的使命

现状：传统工厂模式

投资3亿

节约90%以上

200 m

节约90%以上

投资300万

10 m



3 m



趋势：产品微小化 → 生产设备微小化 → 工厂微小化

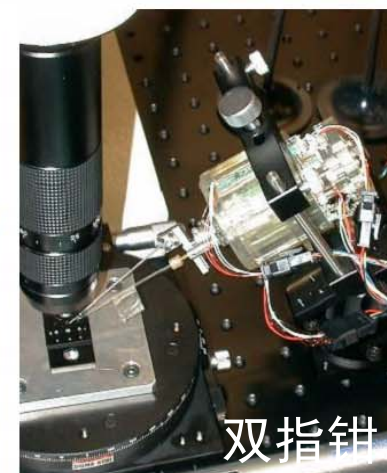
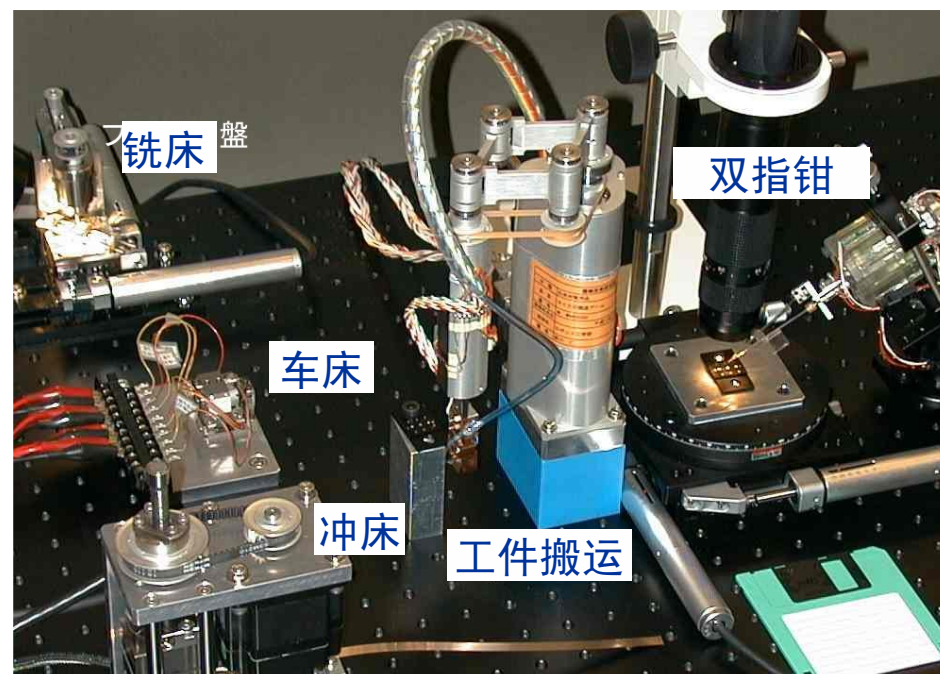
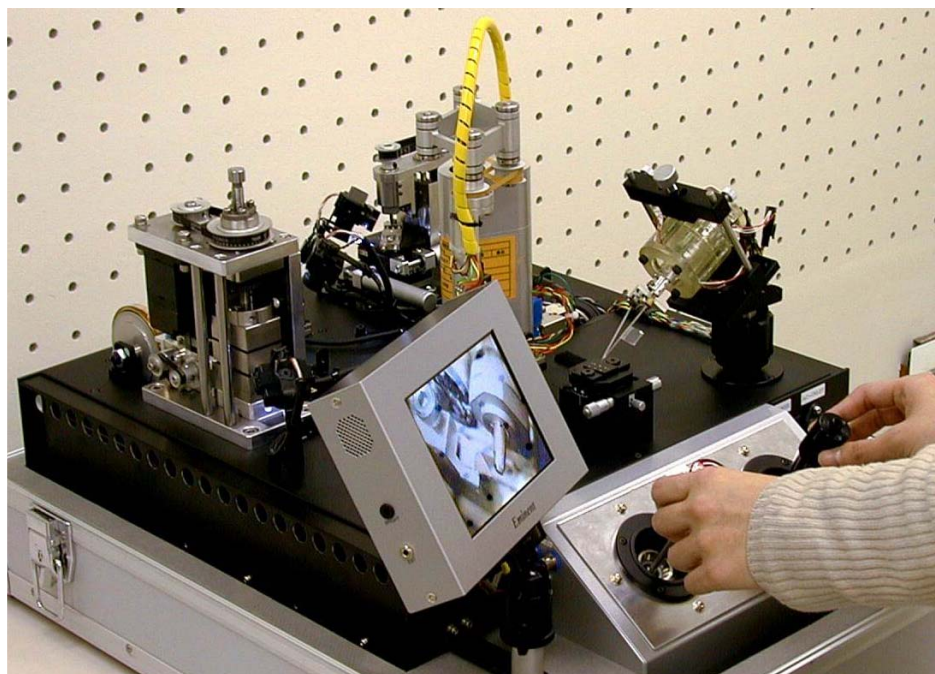
微小化制造的愿景和基本特征

省资源、低投资、高效益、可持续

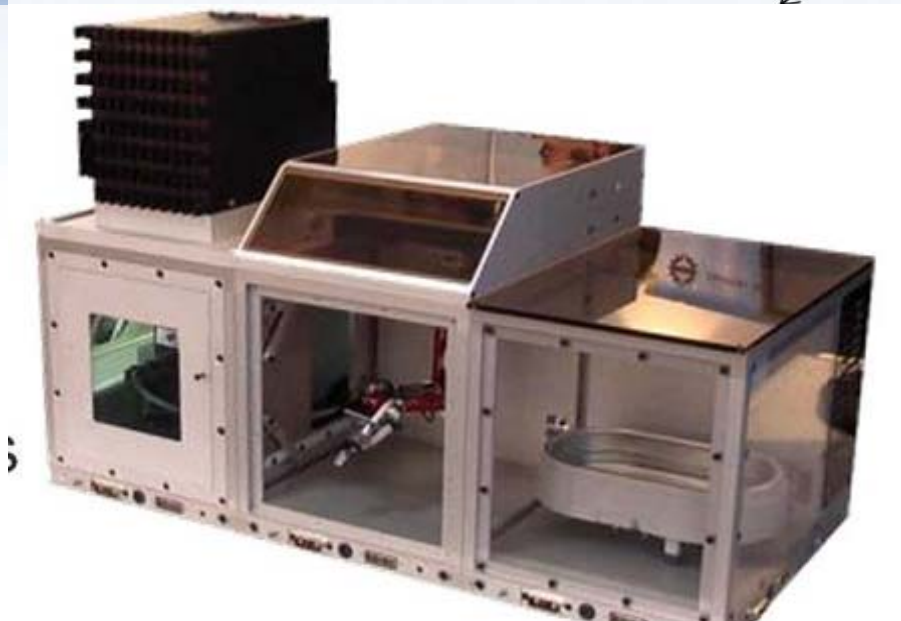
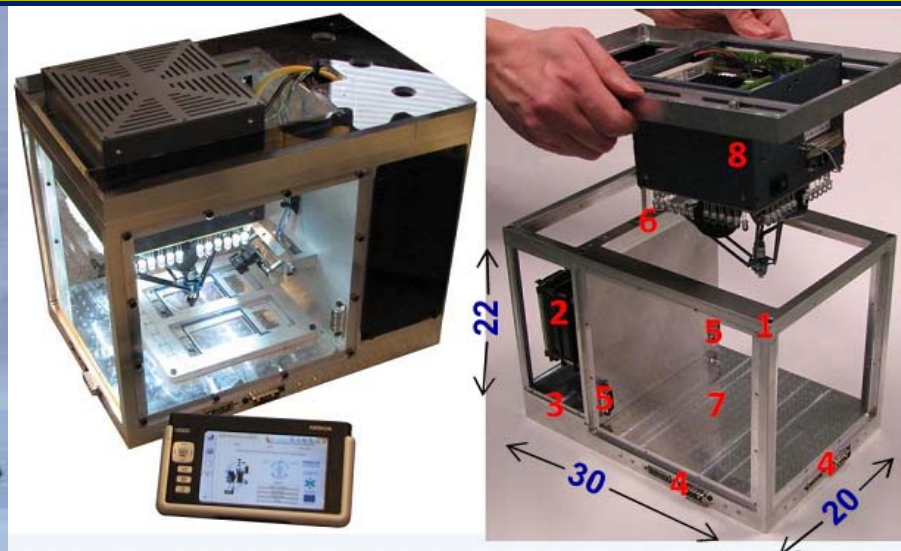


0.3 m

日本的第一代桌面工厂



芬兰TUT的模块化桌面工厂



芬兰TUT桌面工厂的视频

TUT Microfactory Concept

Tampere University of Technology
Department of Production Engineering



TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

美国UIUC桌面工厂的布局

控制系统、电源
和压缩空气供应

UIUC桌面工厂的平面布局

计算机屏幕

机械手
搬运系统

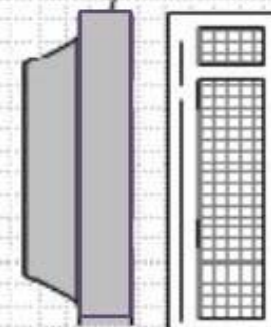
测量机

托板库

3 轴
铣床

5 轴
铣床

电缆槽

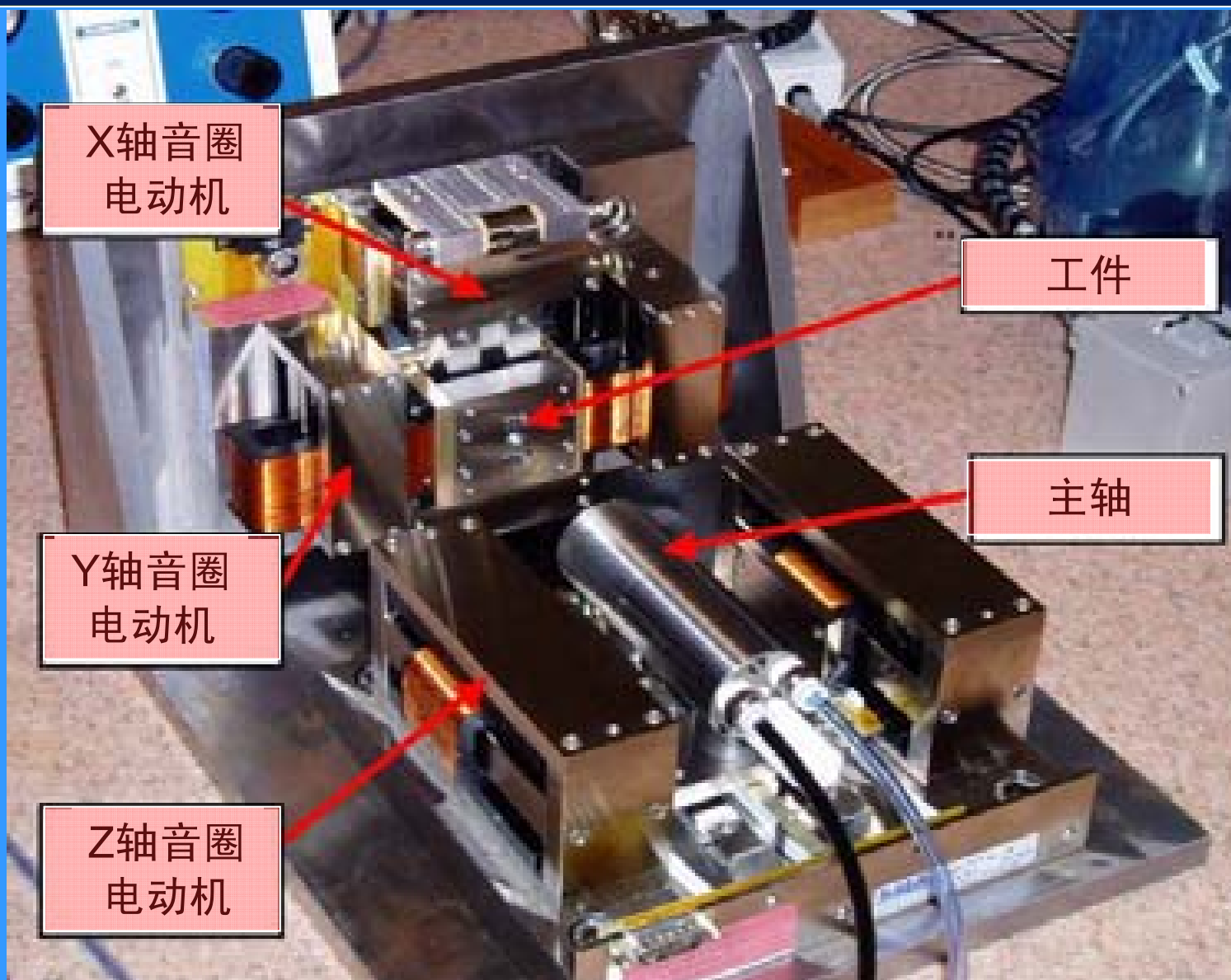


UIUC桌面工厂的使能技术

使能技术	柔性	模块化	自动化	便携性	精度
车间布局设计	●	●			
3轴微型机床	●	●	●	●	●
5轴微型机床	●	●	●	●	●
测量系统	●	●	●	●	●
机构间运动配合		●	●		●
托板电气接口		●	●		
工件夹紧方法	●				
横臂搬运系统			●		
控制系统	●		●		
利用率分配	●	●		●	
工件识别传感器	●		●		●
刀具位置传感器		●	●		●
校正方法				●	●

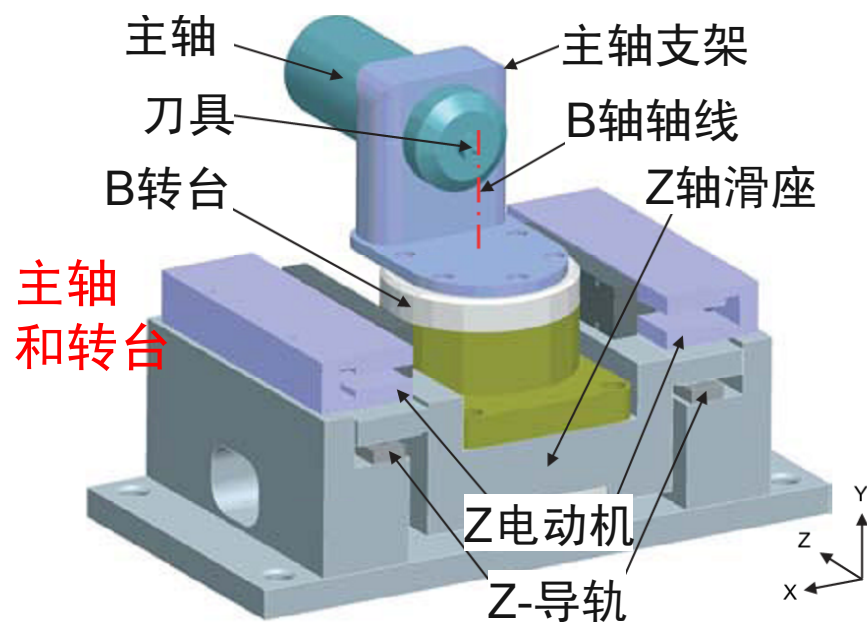
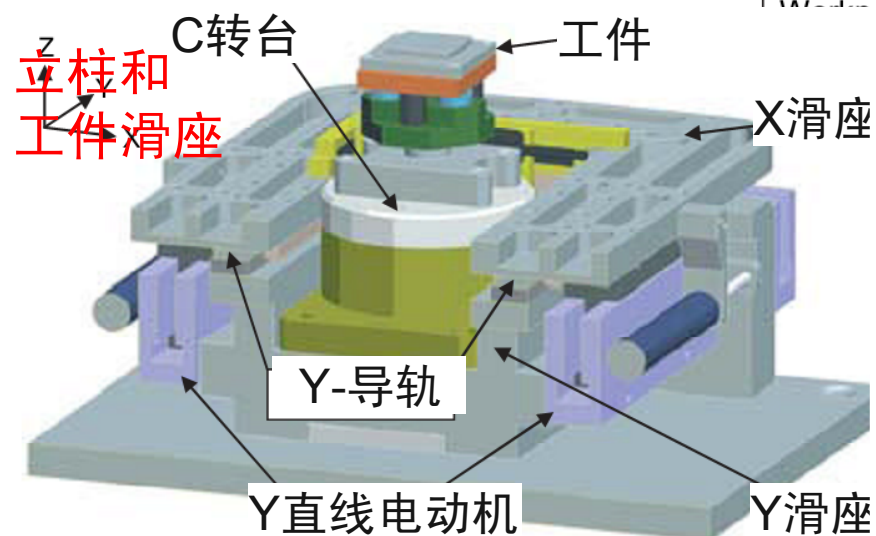
3 轴数控微型铣床

特点：音圈电动机驱动

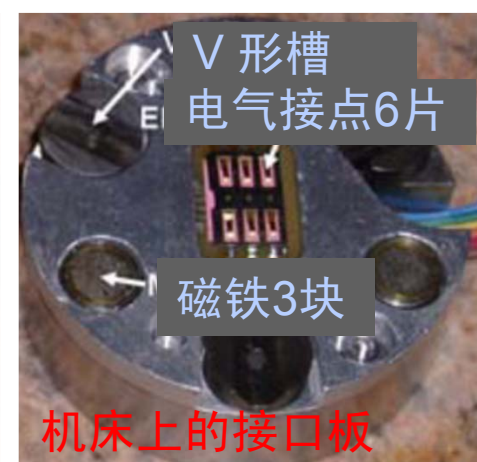
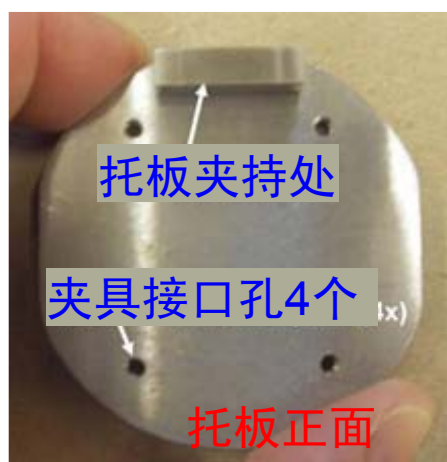
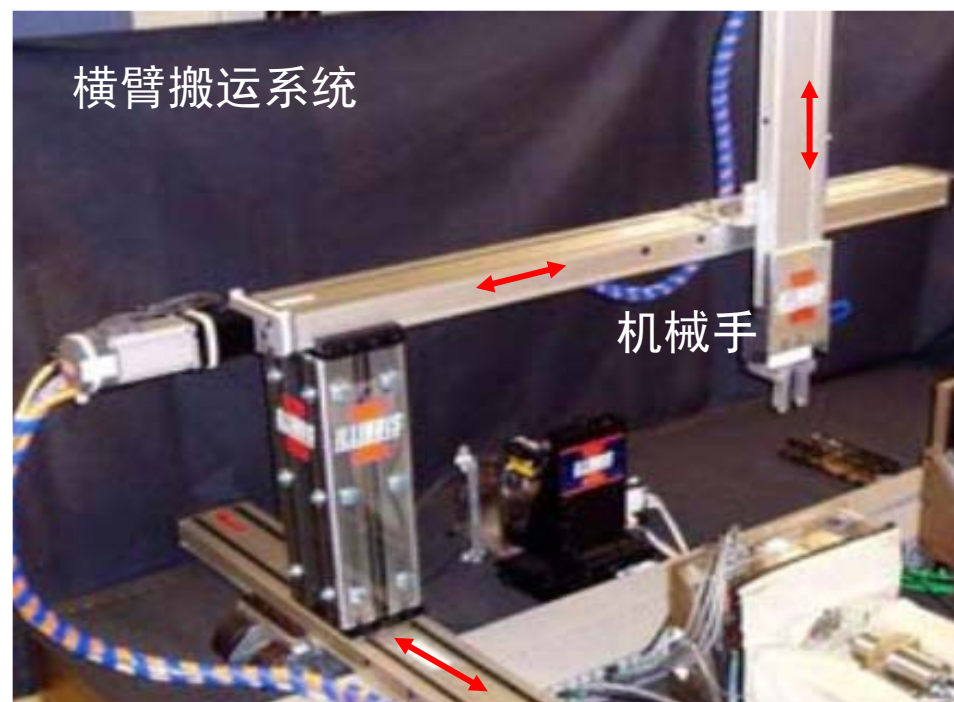
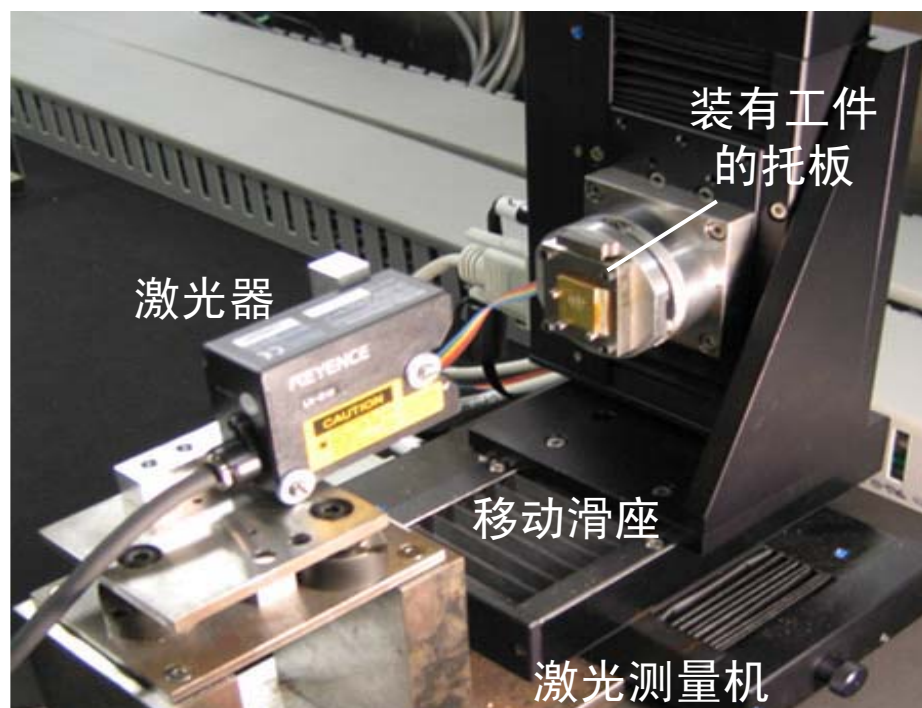


每个轴有两个音圈电动机

5 轴微型数控铣床



激光测量和搬运系统



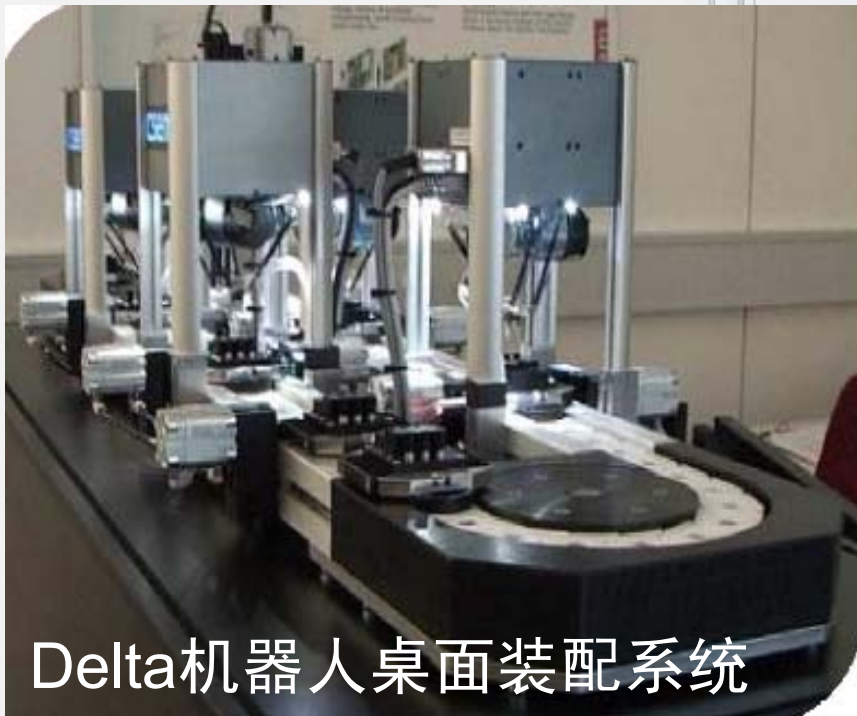
瑞士AsyriI公司微装配机器人



口袋式
Delta
机器人



桌面Delta机器人



Delta机器人桌面装配系统



微型Delta机器人装配单元

桌面装配自动线视频



日本信州的DTF开发联盟

➤ 日本信州（SUWA）地区的高岛产业等22家公司组成桌面工厂联盟，共同开发有关技术，以期将该地区打造成为桌面工厂的生产和应用中心。

➤ 桌面工厂（DTF）联盟的宗旨是：

- 1) 微小零件的柔性高效生产系统
- 2) 可适应不同零件的小批量生产
- 3) 实现敏捷生产，供货快、成本低
- 4) 以创新方法和价值实现用户友好
- 5) 环境和生态友好



Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji

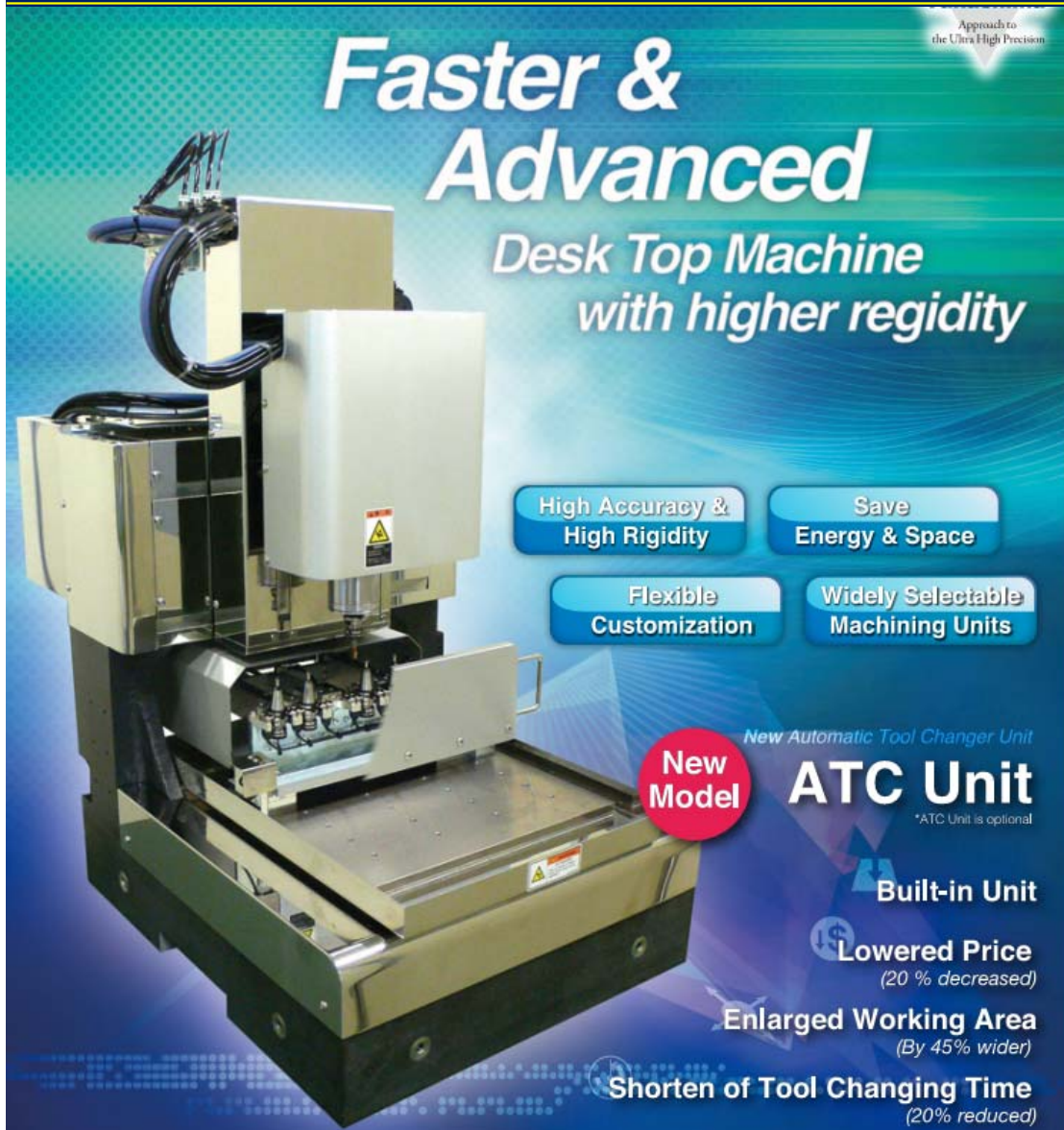
22 Member Companies

INDUSTRY NETWORK Co.
ENGINEERING SYSTEM Co., Ltd.
OLYMPUS Co.
KEC Co.
KOGANEI Co.
CKD Co.
CERATEC JAPAN Co., Ltd.
CENTRAL ENGINEERING Co., Ltd.
DAIYA SEIKI Co., Ltd.
TAKASHIMA SANGYO Co., Ltd.
TAMAGAWA SEIKI Co., Ltd.
TOYO SEIKI KOGYO Co., Ltd.
NAGATA SEISAKUSHO Co., Ltd.
NIDEC SANKYO Co.
NOMURA UNISON Co., Ltd.
HIRAIDE PRECISION Co., Ltd.
BOSCH Co.
MIKUNI KOGYO Co., Ltd.
MISUZU INDUSTRIES Co.
SHINKO SELLBUC Co., Ltd.
TECHNO Co., Ltd.

DTF联盟的制造系统



高岛MPX多功能微型机床



Faster & Advanced
Desk Top Machine
with higher rigidity

Approach to the Ultra High Precision

High Accuracy & High Rigidity

Save Energy & Space

Flexible Customization

Widely Selectable Machining Units

New Model

New Automatic Tool Changer Unit
ATC Unit
*ATC Unit is optional

Built-in Unit

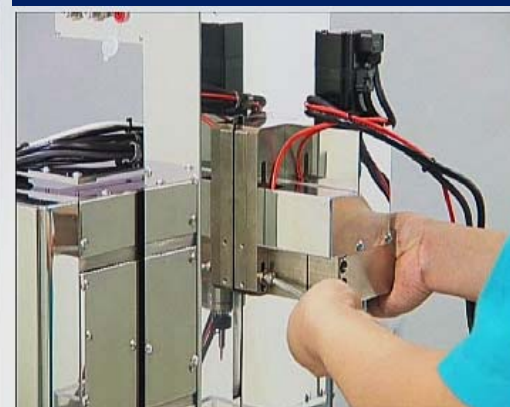
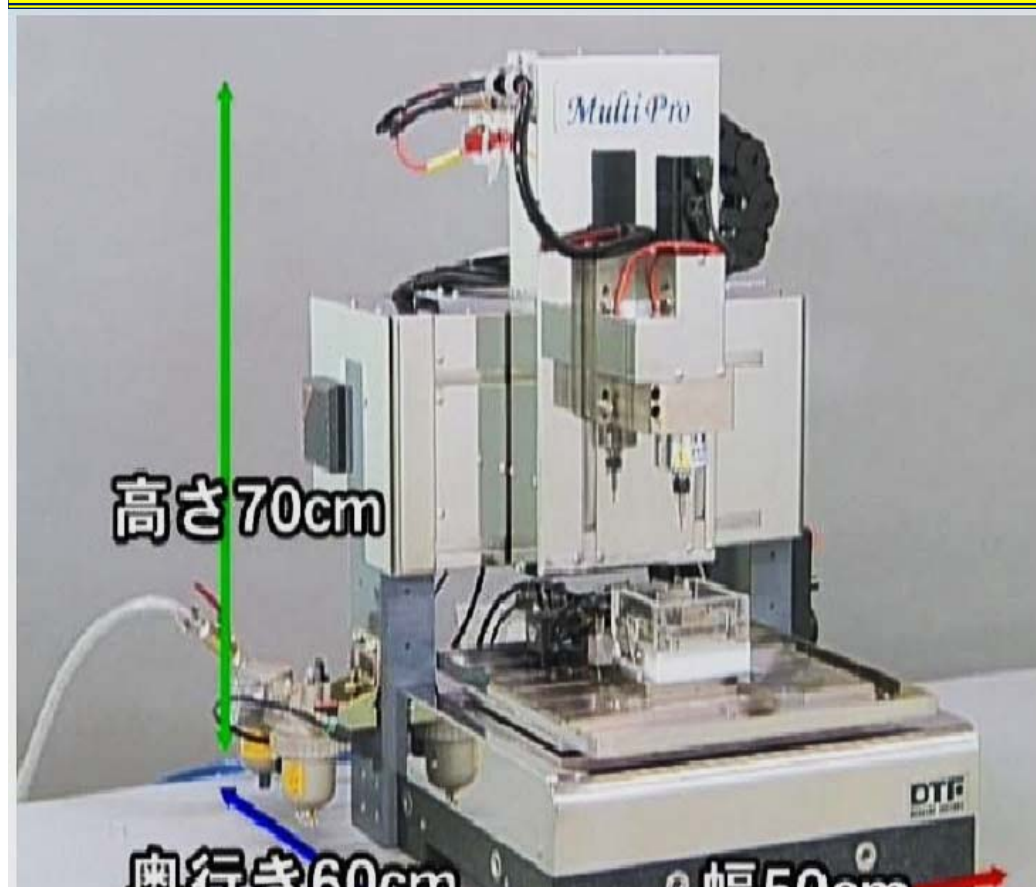
Lowered Price
(20 % decreased)

Enlarged Working Area
(By 45% wider)

Shorten of Tool Changing Time
(20% reduced)

- 日本高岛(Takashima)公司产品，模块化结构。
- 采用大理石底座，刚度高，重复定位精度 $0.4\mu\text{m}$
- 主轴头可更换，可配置自动换刀装置，以适应不同加工工艺。
- 机床前方宽敞，可安放电加工槽进行EDM加工。
- 配置相应夹具可进行铣削或磨削。

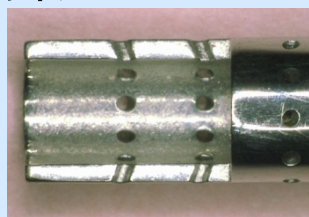
高岛MPX微型机床的结构



可更换的
主轴头



斜孔加工



网管加工



螺纹槽加工



高岛的微小化工厂

- 高岛公司建成了有**300多台微型桌面机床**组成的工厂用于生产高精度的微型零件，诸如：微型冲压模、拉丝模、陶瓷喷嘴、微型金属和塑料齿轮等。
- 该工厂的车间**屋顶铺设太阳能光伏电池**，最大输出功率达30kW，在正常日照的情况下，基本可满足工厂生产的需要。
- 由于产品微小化、设备微小化和工厂微小化，成为省能源环境友好的企业典范。工厂投资和**运营成本仅为产能相同工厂的1/5**。车间布局可根据生产需要进行调整，是敏捷、可变、可重组、可持续的制造系统。



Prof. Shu Zhang

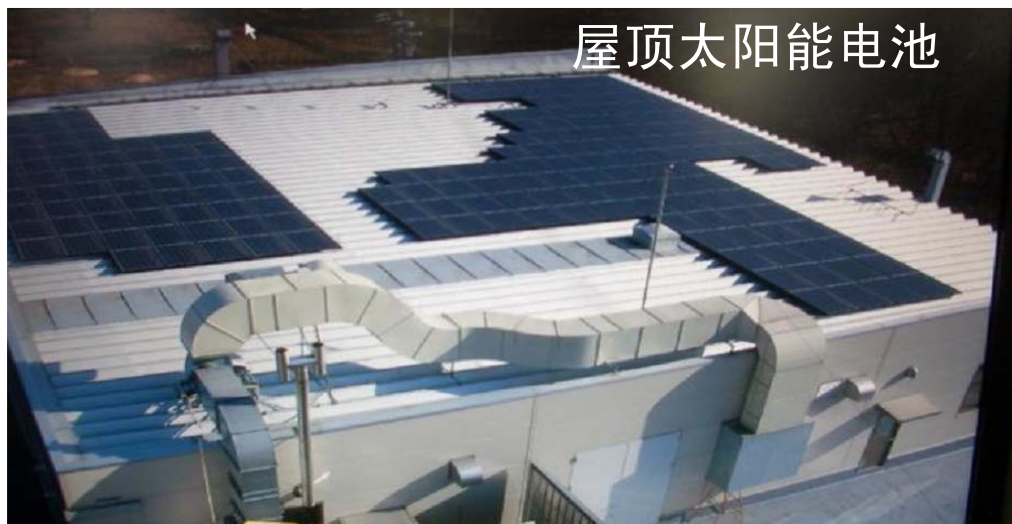
Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University

高島微小化工厂内景



高岛工厂的太阳能发电系统

太阳能电池



B栋和C栋厂房太阳能发电系统



韩国KIMM下一代微型工厂

- 韩国机械与材料研究院（KIMM）在韩国知识和经济部 and 企业的资助下，从2004~2011年进行了“**下一代微型工厂系统技术**”的研发。
- 总投资**2100万美元**，有9家企业、15家大学、3家研究单位和6家国外机构参加。
- **项目共分3个阶段**，2004~2007：开发微型机床的关键技术；2007~2009：研发单元机床系统及其应用；2009~2011：建立高科技领域的未来微型工厂。
- 该项目完成了**若干示范工程**，如24小时制作假牙的系统和手机镜头装配等。



Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University

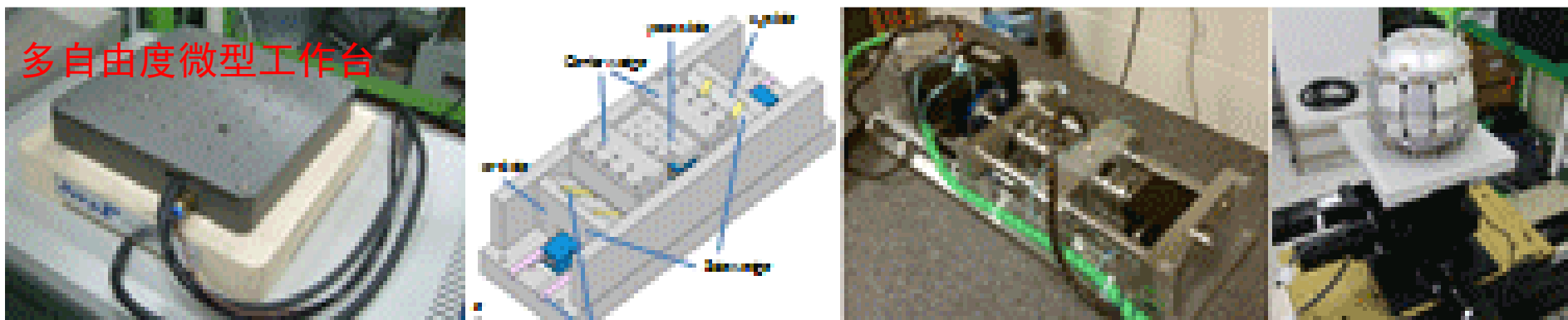


KIMM的微型部件和微机床

微型电主轴: 60000~300000r/min



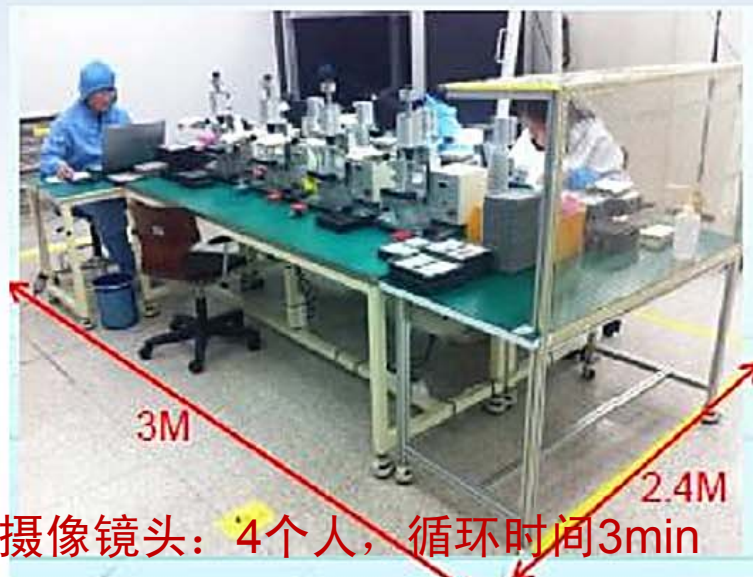
多自由度微型工作台



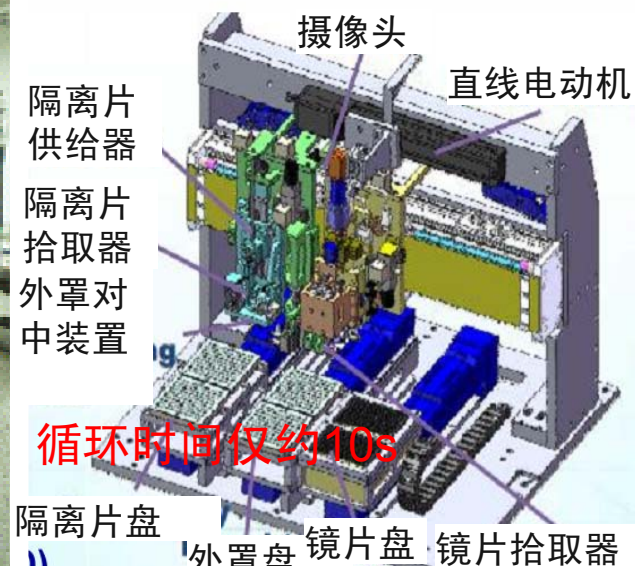
桌面工厂组件和多轴微型数控机床



KIMM的手机镜头装配系统



微型机械自动化装配: 循环时间仅约10s



结束语

- 微型机床绝不仅是实验模型，也不是教具，更不是玩具，而是**未来工厂的重要装备**。重大装备绝非从体积和重量来划分，而应该是从对国民经济和技术进步贡献大小的角度来衡量。
- 微小化是所有**产品的发展方向**。即使大型复杂的设备，也越来越多地集成有各种微型装置和传感器。如航空航天、汽车、军事装备、医疗设备、消费电子产品莫不如此。
- 我国成千上万的企业仍然在使用传统机床、甚至精密数控机床加工微小零件，严重浪费生产面积、能源、加重环境负担，投入大、产出少。**背离高效率、节能减排、绿色制造的大方向**。
- 微加工工艺研究的进展给微型机床的应用打开了崭新的局面。微加工的切削机理和刀具设计已经有了新的突破，使微型机床可以走出实验室、**迈进生产车间，成为未来工厂的重要角色**。



Prof. Shu Zhang

Institute on Advanced Manufacturing Technology, Tongji University

谢谢大家！

同济大学现代制造技术研究所

联系电话：021-65982826

电邮：szhang@tongji.edu.cn

