



材料化学

任课老师：潘伟

电子邮件：panw@tsinghua.edu.cn

wrf06@mails.tsinghua.edu.cn (助教)

联系电话：62772858



“化学——人类进步的关键”

核化学之父美国化学家西博格

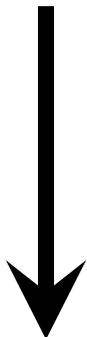
- 人类离不开化学

化学发展史



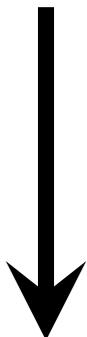
实用技术

冶金、酿酒、火药、造纸等



近代化学

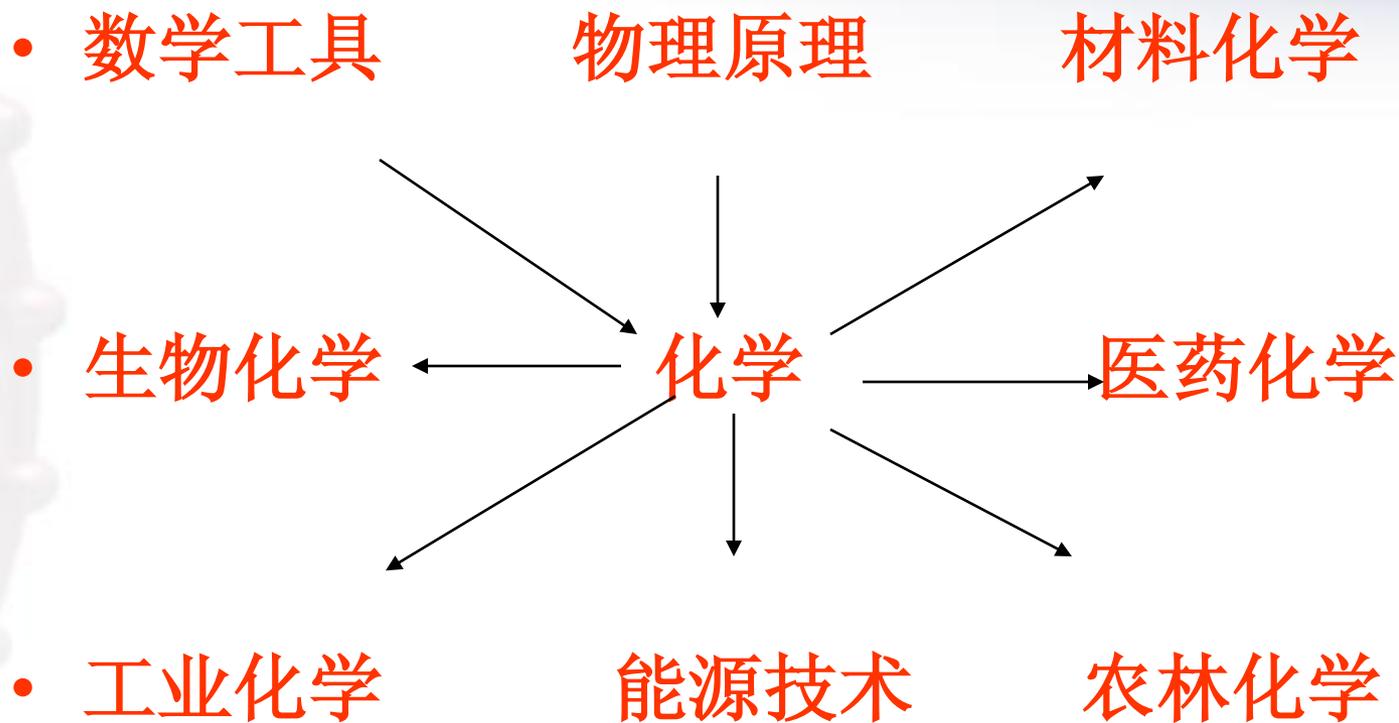
原子——分子学说



现代化学

现代物质结构理论

化学中心学科——科学的中心





1、化学研究的对象

以原子或分子形式存在的物质。

2、现代化学的发展方向

(1)材料化学： 纳米材料、超导材料

(2)能源化学： 新能源开发

(3)环境化学： 沙漠化、温室效应

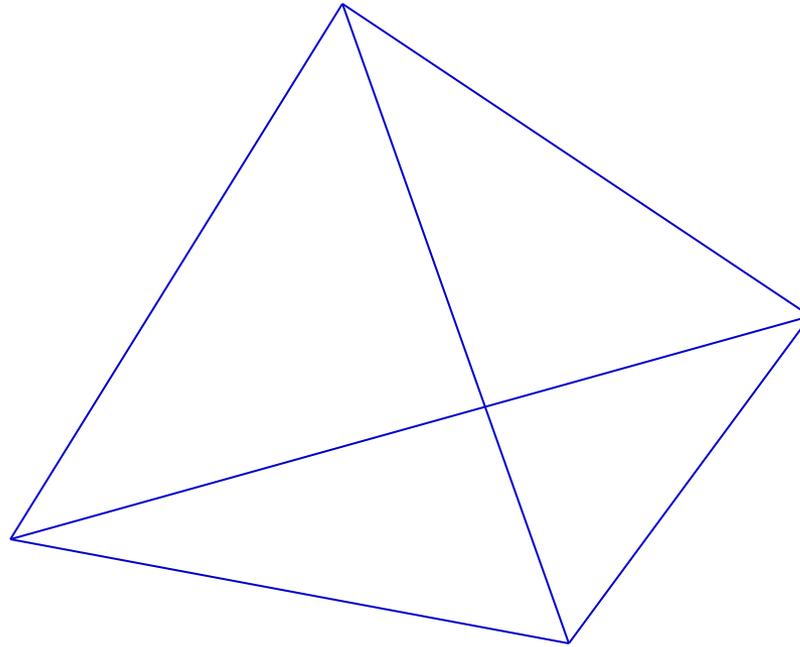
(4)生命化学： 克隆、基因工程



材料科学与材料化学

材料化学

化学反
应,合成



物质的性质,
物理, 化学,
机械, 电子,
等应用性质

物质
结构



从材料的发展过程可以看到，新材料的研制和商品化涉及到许多科学门类，其中最基础的学科有4个：

固体物理学：研究构成材料的固体的原子、离子及电子运动和相互作用的一般共性规律，提出各种模型和理论，以阐明固体的结构和性能之间的关系；

固体化学：研究固体材料中具体的各类固体物质的合成方法、结构和表征、性质测定和应用及其相互关联；

无机与有机化学：材料合成，使用过程的化学性质与反应：

材料工程学：解决如何将固体物质制成可以使用的结构材料和器件，使之具有指定的形态(如纤维、薄膜、陶瓷体、集成块等)和规定各种结构和性能，如具有特定的热、力、光、电、声、磁、化(学)和生(物)功能。



从新材料研制过程涉及的4门科学的研究对象可以看出，固体化学或材料化学是新材料诞生的摇篮，是材料科学中的中间链节。化学是自然科学中唯一一门创造新物质的科学。在过去的一个世纪之中，化学家以结构——功能关系研究为主线，设计、合成了许多具有各种功能的物质。

随着化学的发展，较为完备的合成化学理论和方法、精确的定性和定量分析，尤其是各类结构分析仪器的发展和应用，使得材料化学科学发展到一个新的水平，对新材料的研制和推出起到重要的作用。

材料化学中的基本化学问题

在化学家参与新材料研制和推出之前，新材料的研制基本上采用各种尝试法——把各种组分依照无理论指导的配比加成，选择各种工艺，再根据性能要求来取舍。

每种材料的特定结构决定它的特定功能和用途。它们的原始基础在于构成它们的分子结构，而实际功能则还取决于由分子构成的宏观物质的状态和结构。化学在研究开发新材料中一个作用就是用化学理论和方法研究功能分子以及由功能分子构筑的材料的制备（合成）、结构和功能关系，使人们能够设计新型材料。合成化学提供的各种化学合成反应和方法使人们可以获得具有所设计结构的材料。

在20世纪后期有两个动向：具有特定功能的先进材料变得越来越重要；对于特殊物理性质和材料的高级结构的依赖性增加。



未来材料科学发展的化学基本问题:

分子结构—分子聚集体高级结构—材料结构—理化性能—功能之间的关系 掌握这些关系便可以减少盲目性，增加命中率。还需要建立测定高级结构的方法，研究理化性能和功能与高级结构的关系。

合成功能分子与构筑高级结构的理论与方法的研究 如何构筑有序的高级结构是一个新的合成化学问题。或是在合成结构单元的时候如何时期能够自组装成为所需的高级结构；或是在获得功能分子之后，再组装为材料。

本课程学习要点

材料制备过程的主要化学反应
材料的化学合成方法及原理

材料物理化学性质与制备工艺、组成、结构的关系

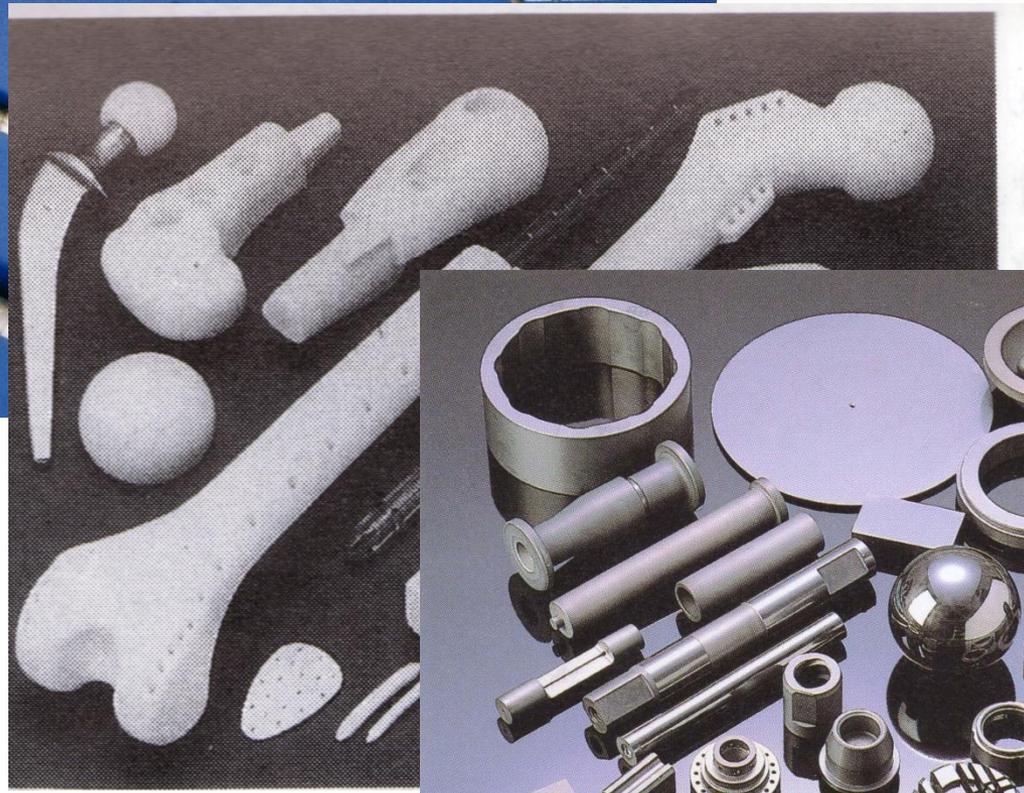
◆ 基本要求：

- ◆ 基本了解材料合成与制备过程的化学现象，化学反应特征，物理化学性质，结构；
- ◆ 掌握材料合成与制备的基本化学原理与方法。





新材料应用举例



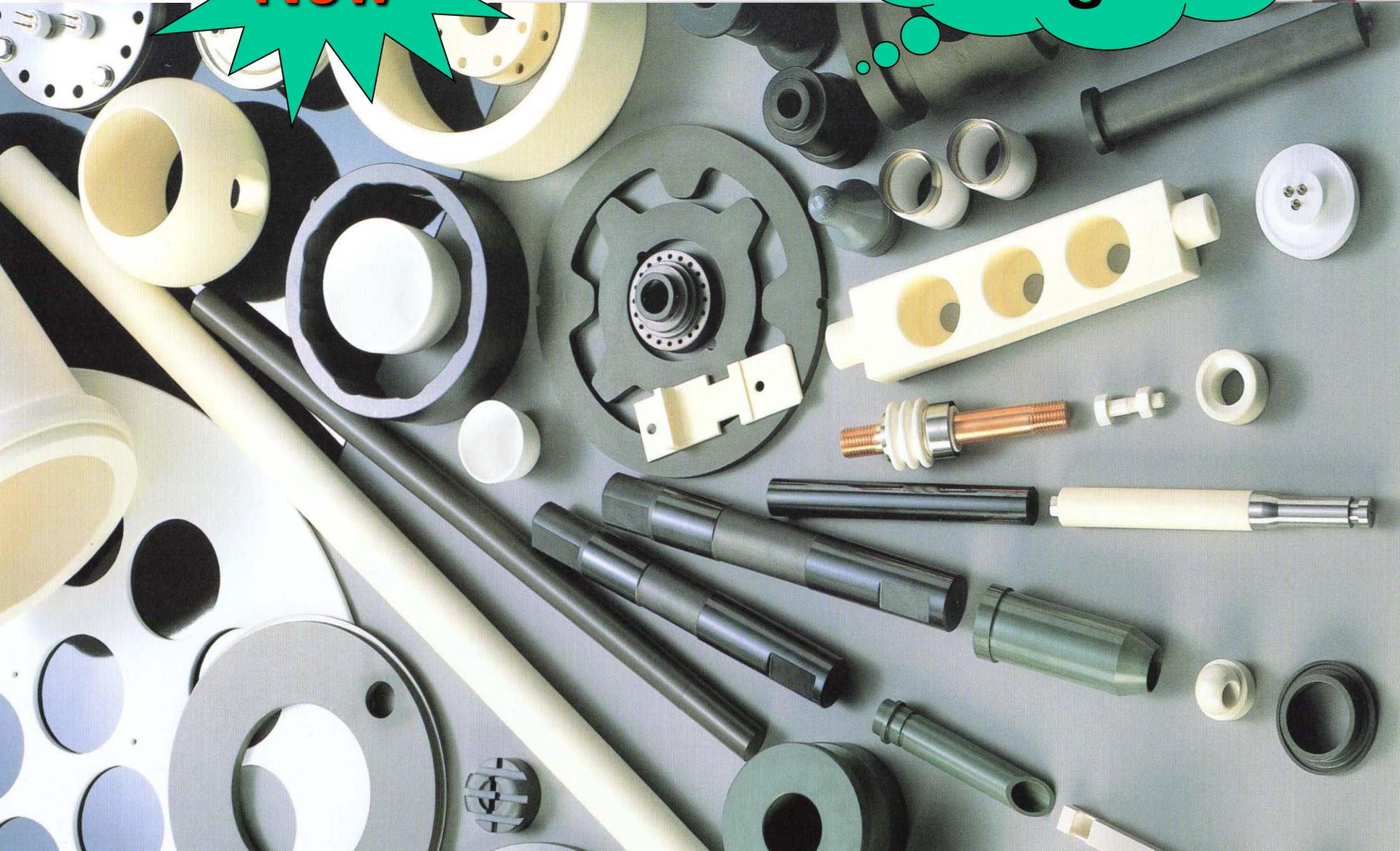
高性能结构陶瓷材料



- 轻质、高强、高韧、耐高温、耐蚀、耐磨损等；属于支撑能源、环境保护、国防、航天航空、以及化工、冶金、机械工业、传统产业升级改造等的关键新材料，是一类重要、而且国际竞争激烈的高技术新材料领域。

New

ceramics



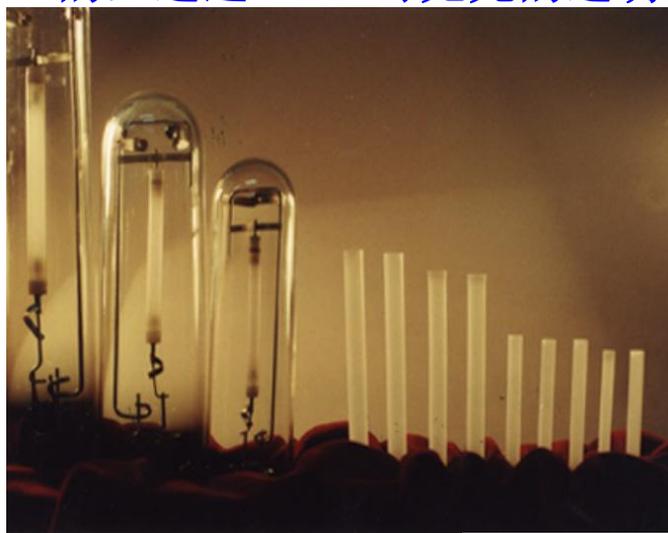
透明陶瓷与高压钠灯

(1978年全国科学大会奖)



我国第一条装备上高压钠灯的街道，路面平均照度相当于同等功率的高压汞灯的 3.5 倍。

- 高压钠灯发光效率比高压汞灯高一倍以上，透射性强。
- 核心部件：耐 1300℃ 高温钠蒸气腐蚀的，透过 95% 可见光的透明 Al_2O_3 灯管。



现年产约二千万支透明陶瓷灯管。现我国城乡道路约有一千多万支高压钠灯，节省大量能源。

目前正在开发新型高亮度微晶透明氧化铝金属卤素灯管,具有更好的光色和节能效果



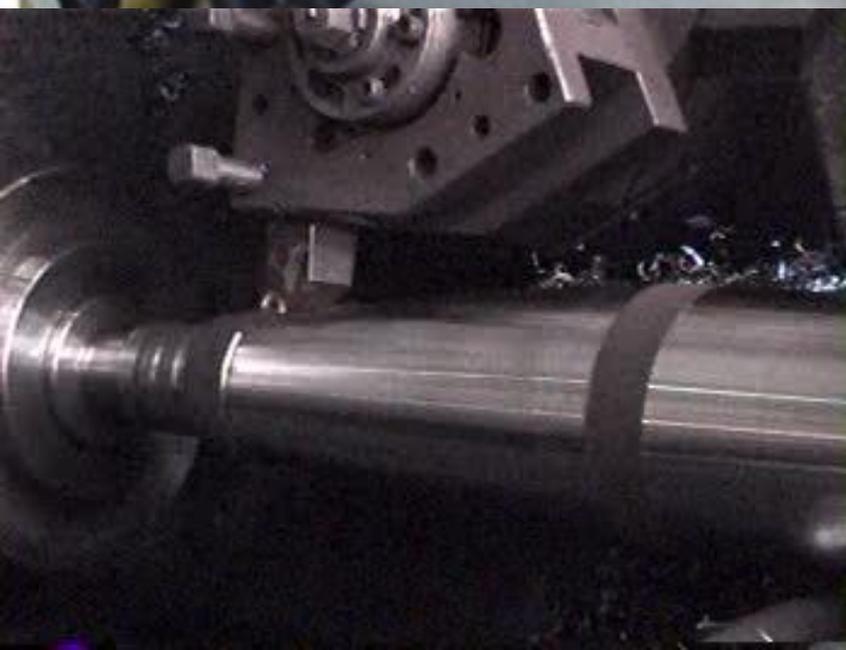
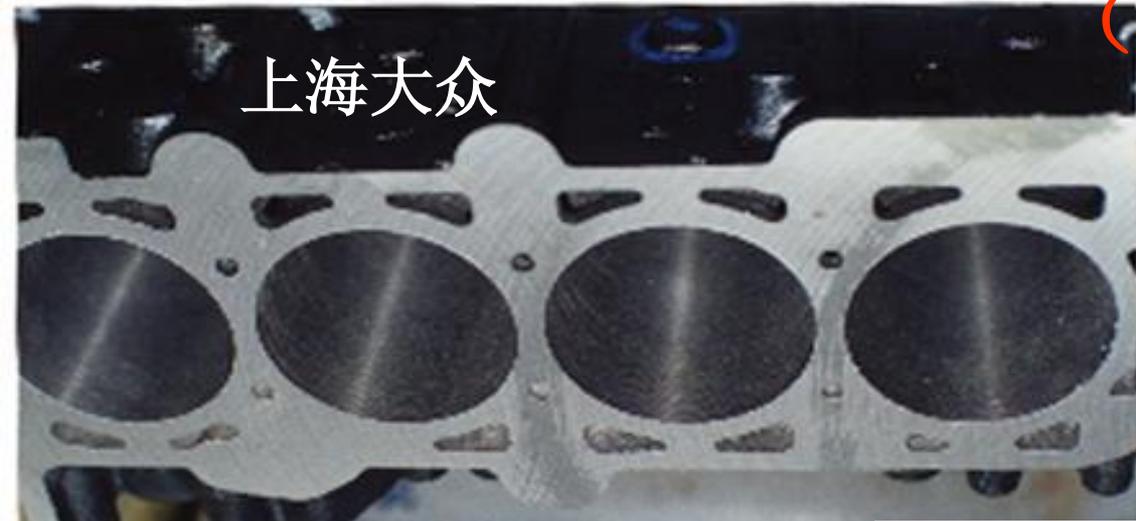
高耐磨性、高韧性复合氮化硅陶瓷刀具

(国家发明二等奖)



上海大众

已经大量应用于
我国机械制造，
和国防军工企业



Ceramic cutting tools

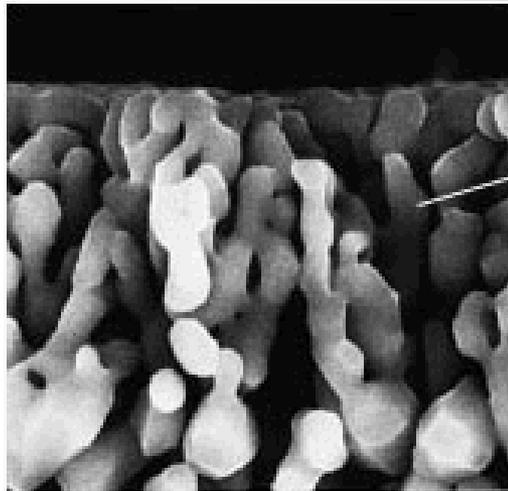


A Pilot Factory for the Ceramic Tools in Tsinghua University

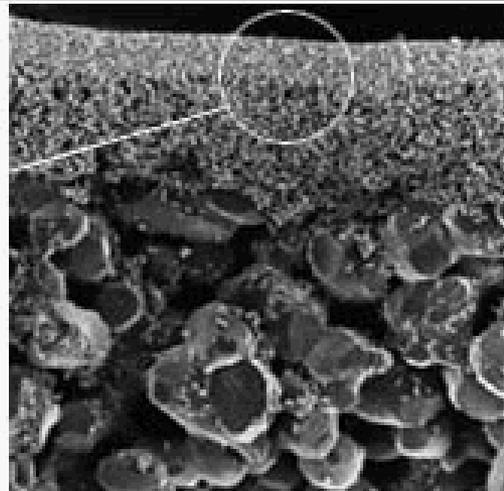
The production ability
is 300000 pieces/year



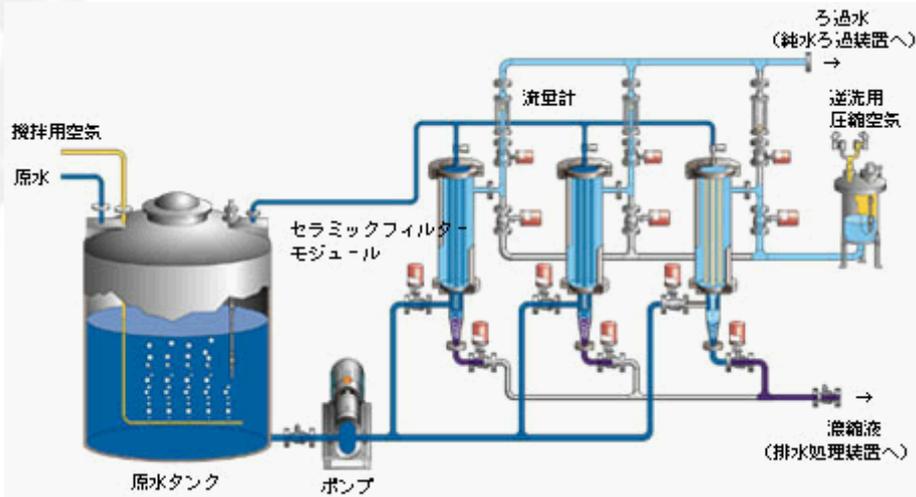
Ceramic Filter



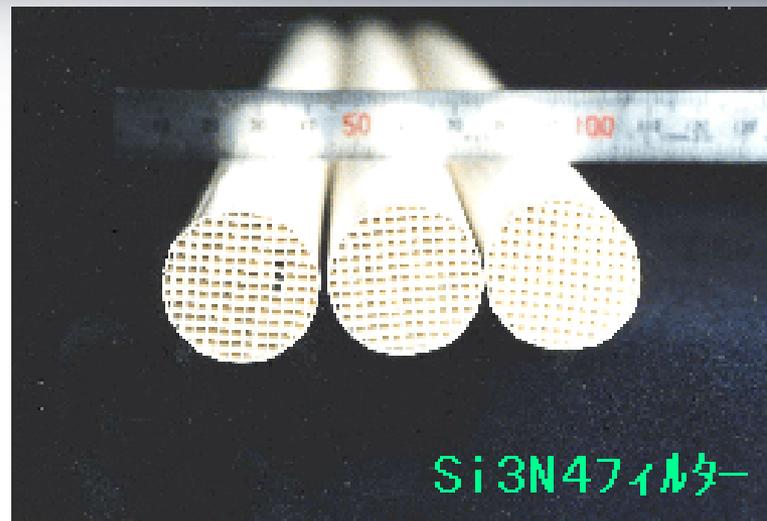
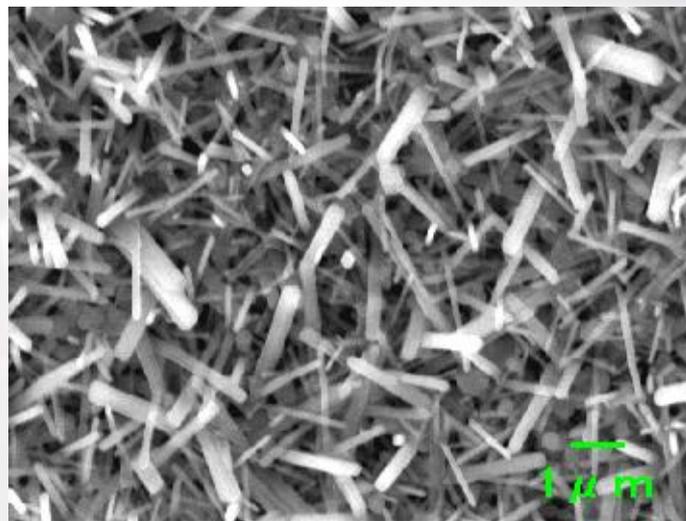
x3000



x500



Porous Silicon Nitride Filter (Sumitomo Electric)



Ceramics Goods



Bioceramics for Medical Applications



Ceramic Artificial Bone

85000 pieces in 1998

150000 pieces (40Millon US\$) in 2010

Ceramic Artificial Joint

41000 pieces in 1998

120000 pieces (200Millon US\$)in 2010

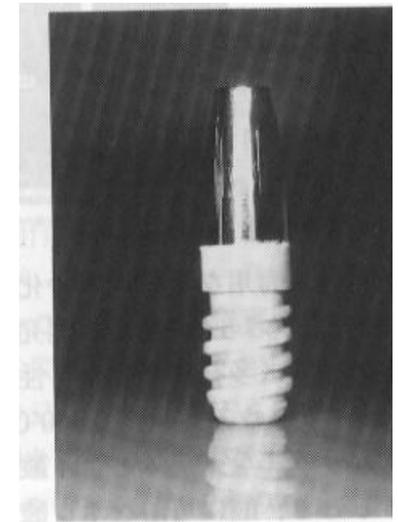
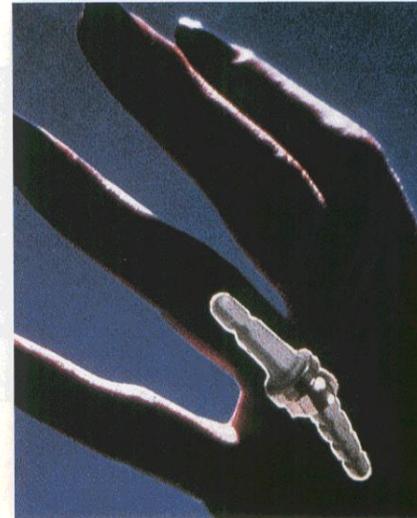


写真 2 人工歯根

防弹装甲陶瓷



清华方大陶瓷公司生产的陶瓷防弹背心正在装备我国特警部队**5000套**，同时出口印尼、韩国、科威特、伊拉克等国

为驻伊拉克英军提供 8000套防弹衣



↑ 伊拉克战场的英军士兵都配发了带有陶瓷插板的防弹衣。

----- Original Message -----

Dear Lary

We were told today that on several occasion British Soldiers wearing the body armour we buy from you have saved lives. On one occasion the plate was shot 7 times and it stopped the bullets.

Unfortunately last week 3 men were killed one had 12 bullets in the front plate and the other 3 bullets but the bullets had not penetrated the body armour.

Regards

Ceramic Bearing



Inside a computer harddisk



Ceramic bearing balls for harddisk



我国新一代核潜艇用高精度静电陀螺仪陶瓷碗和陶瓷轴承



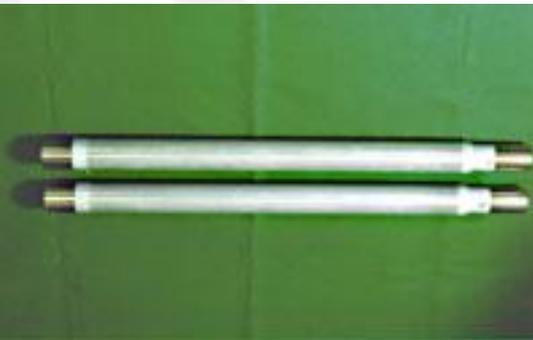
Ceramics Used in Steel-Making Industries



Ceramic Rollers

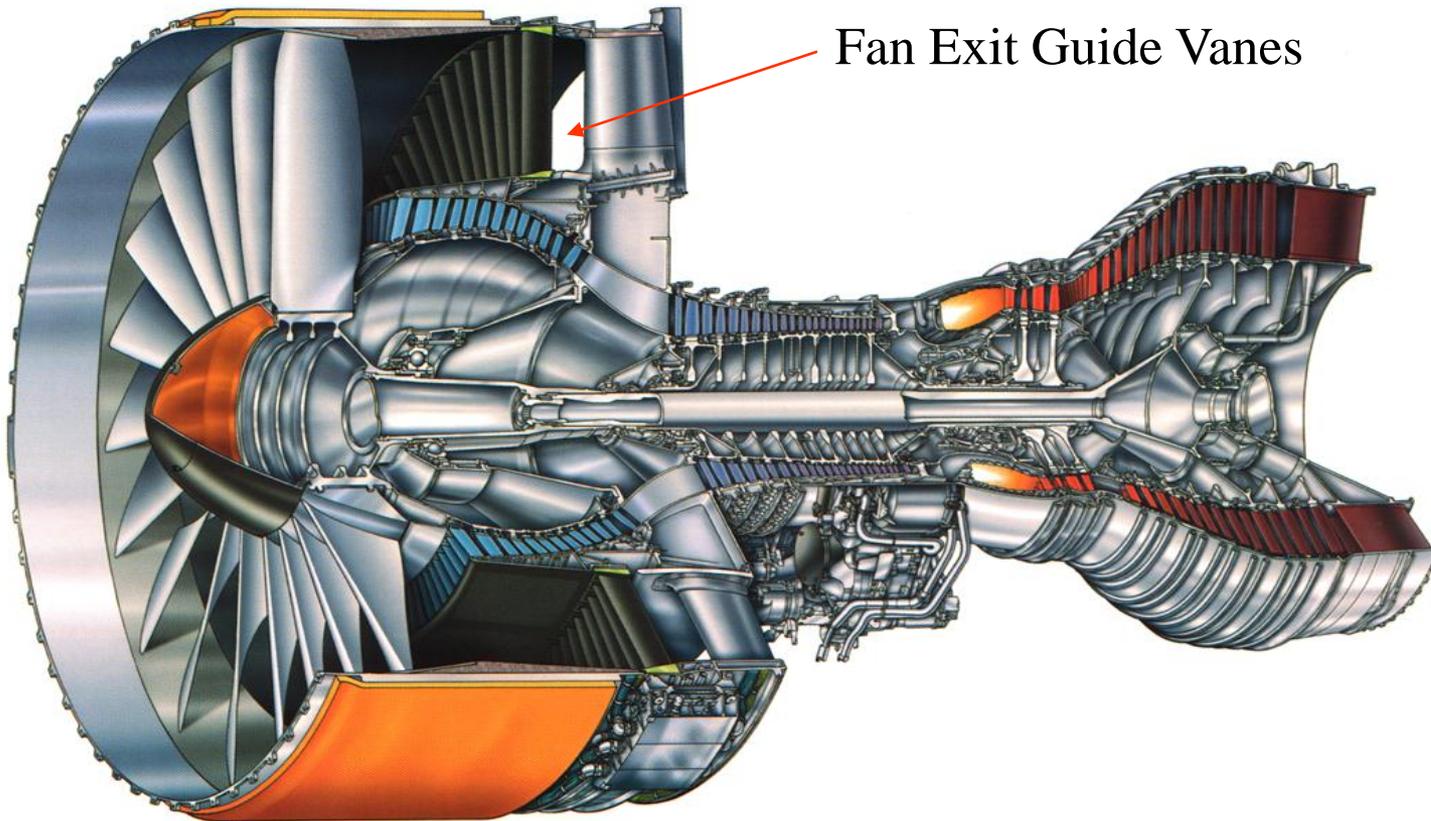


Ceramic Conveyor Rollers



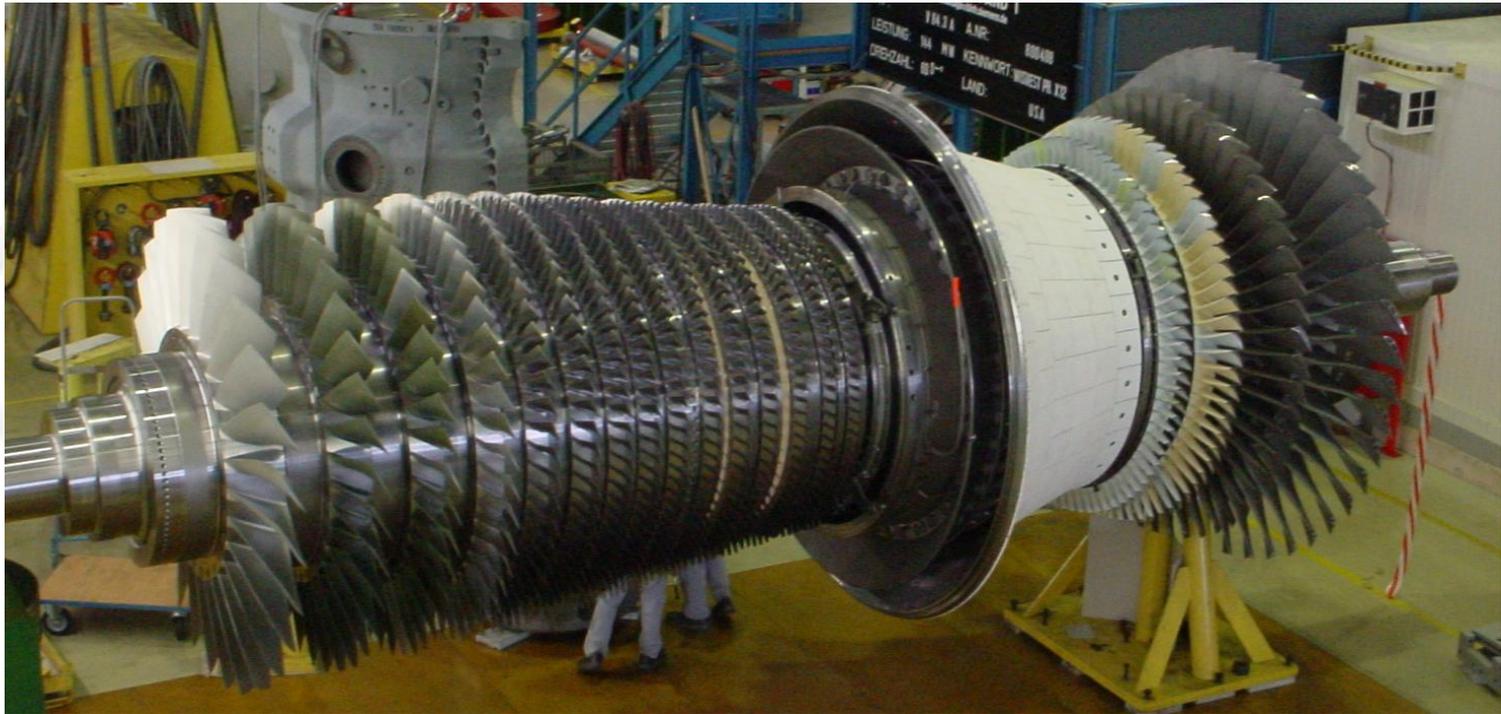
Ceramic Cold-Press Rollers

PW4000 112-INCH FAN ENGINE



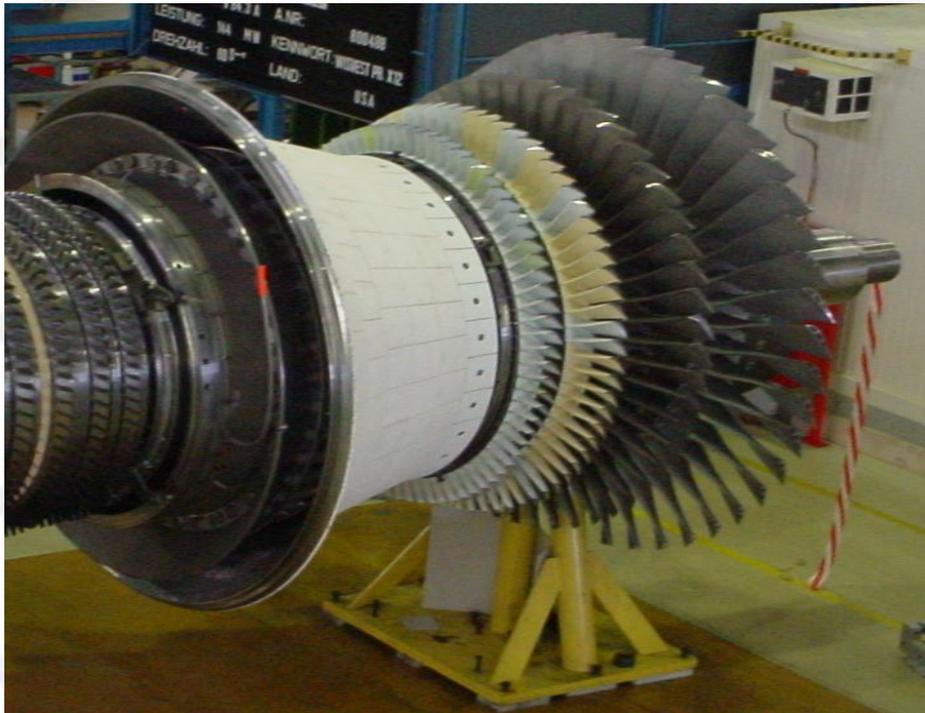


- Siemens V94.3 A (50Hz) 燃气轮机转子照片





◆ 空气冷却多级轴流透平



大焓降	(级压比 > 2)
高效率	~92%
叶片长寿命	大修2.4万小时以上

气动热力设计技术 (3D, 4D)

气 (汽) 冷却技术

超级合金定向结晶 (DS)、单晶 (SC) 叶片的铸造加工技术

耐热涂层加工技术和激光加工技术

- ◆ GE 9351FA第一级动叶片: 定向结晶+ 内部蛇型通道+冲击冷却+气膜冷却孔+尾缘喷射



◆ GE公司F级气冷透平动叶片(蛇形内部冷却通道)



超级合金（镍基、钴基）

无余量精密铸造

定向结晶/单晶

带肋片蛇形内冷却流道

叶片气膜冷却孔

叶片表面耐热涂层

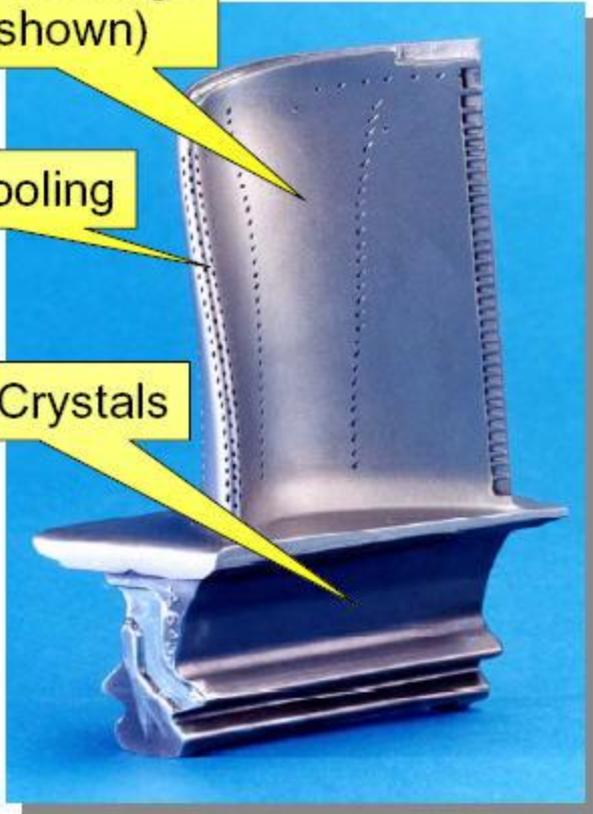
价格约2000美元/公斤，仅次于超级电脑及人造卫星



Thermal Barrier Coatings (not shown)

Film Cooling

Single Crystals

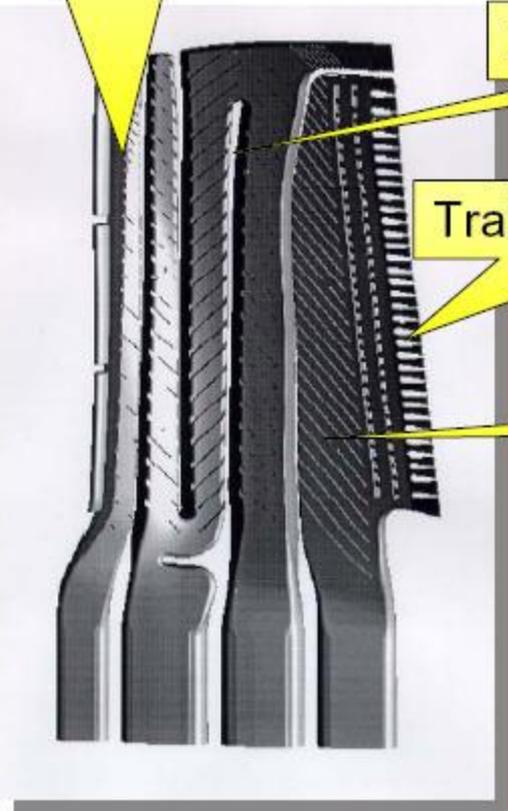


Impingement Cooling

Multi-pass Cooling

Trailing Edge Exhaust

Turbulators



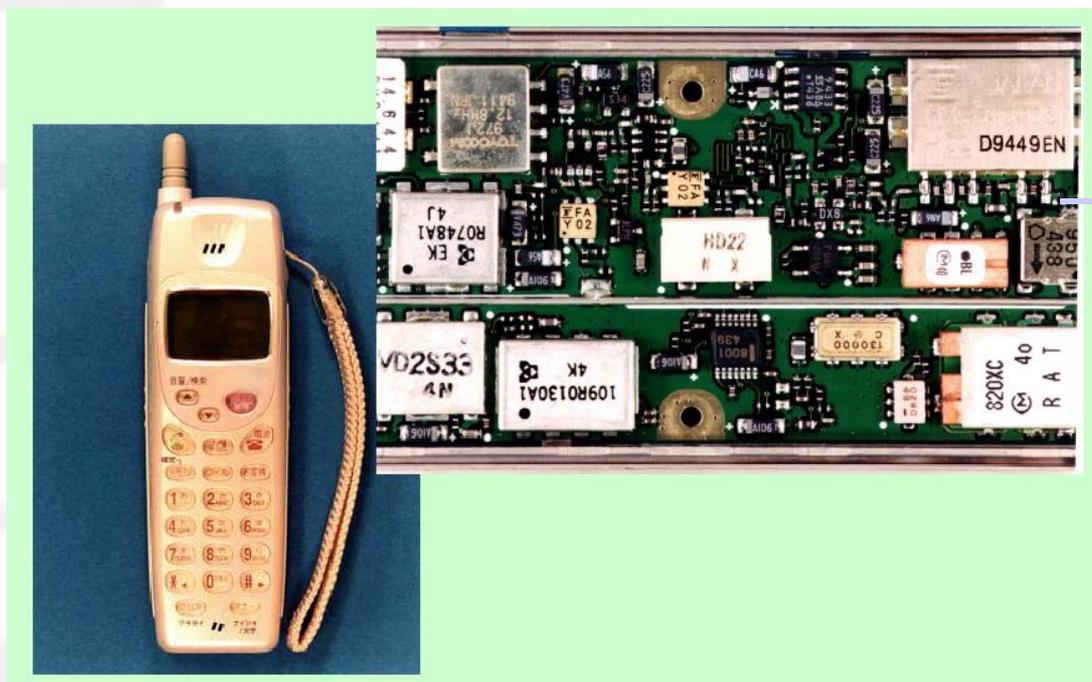
功能陶瓷材料



- 电、磁、声、光、热等性能的材料
- 各种电子元器件
- 各种传感器
- 各种控制器件等



信息功能陶瓷 —— 信息技术的重大需求

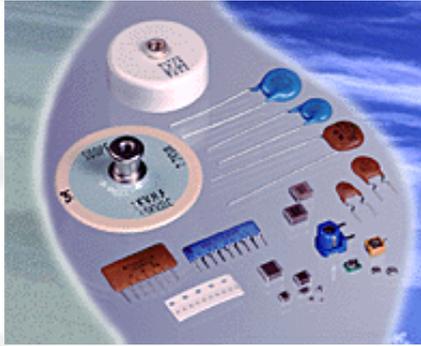


例如：移动通信手机

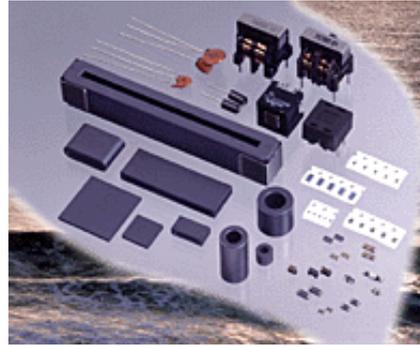
片式陶瓷电容器
片式陶瓷电感器
片式压电元件

小产品、大市场。

Ceramic Electric Devices



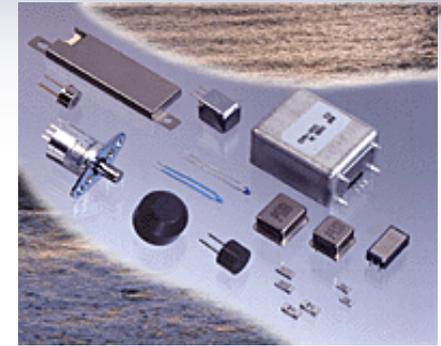
capacitor



EMI filter



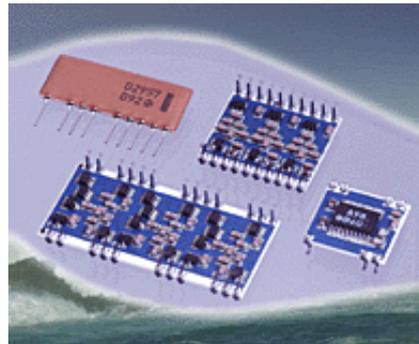
Micro wave device



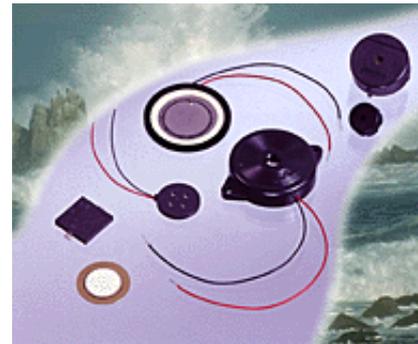
Sensor



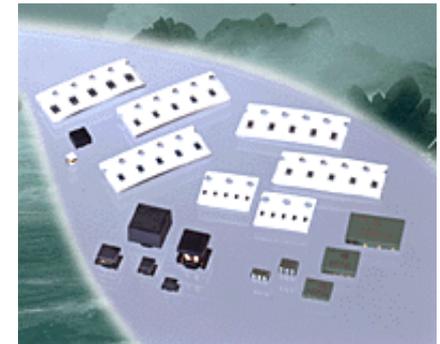
Actuator & transducer



IC



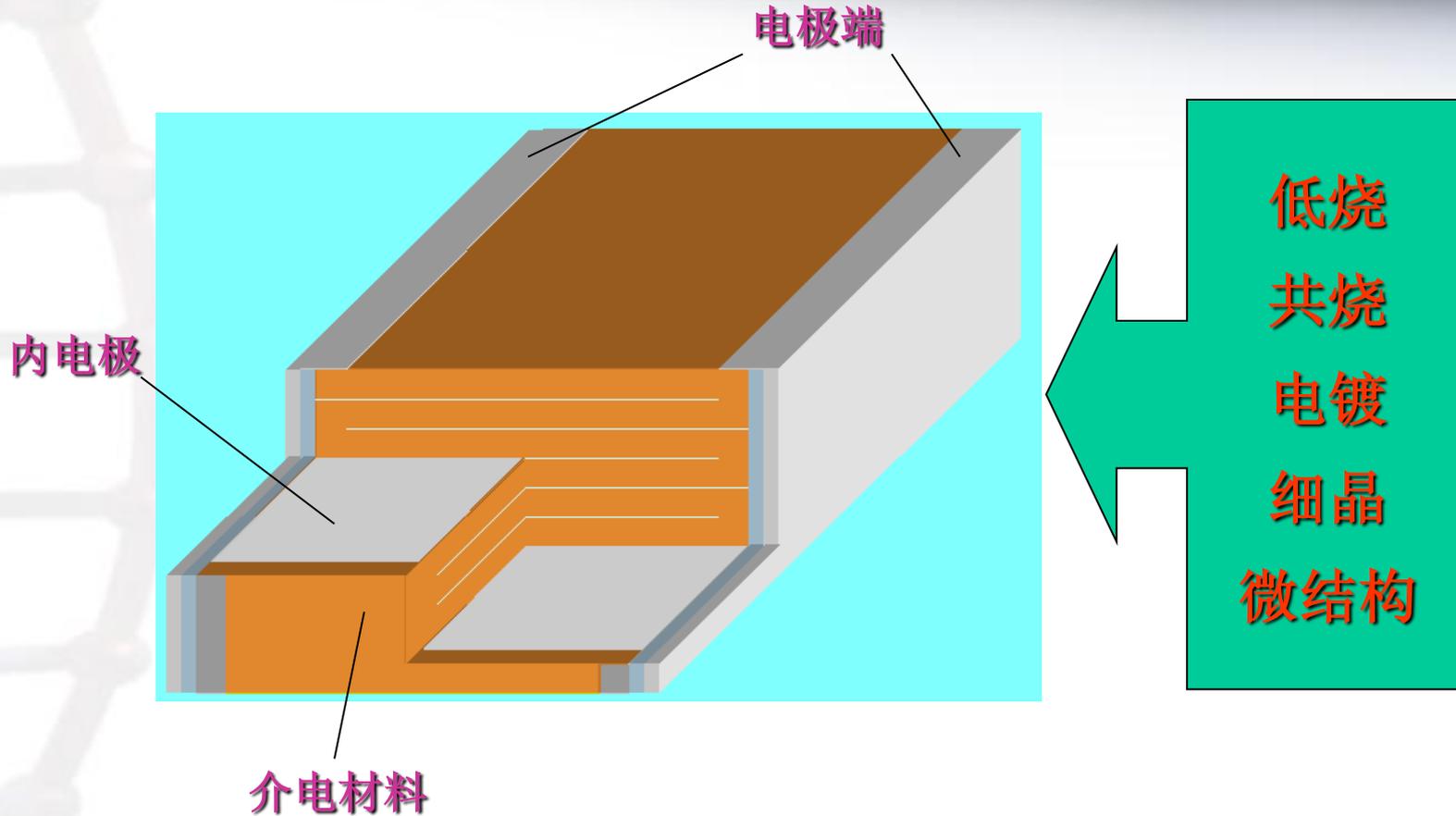
acoustic device



delay



多层片式元件关键性基础研究



小元件，高技术

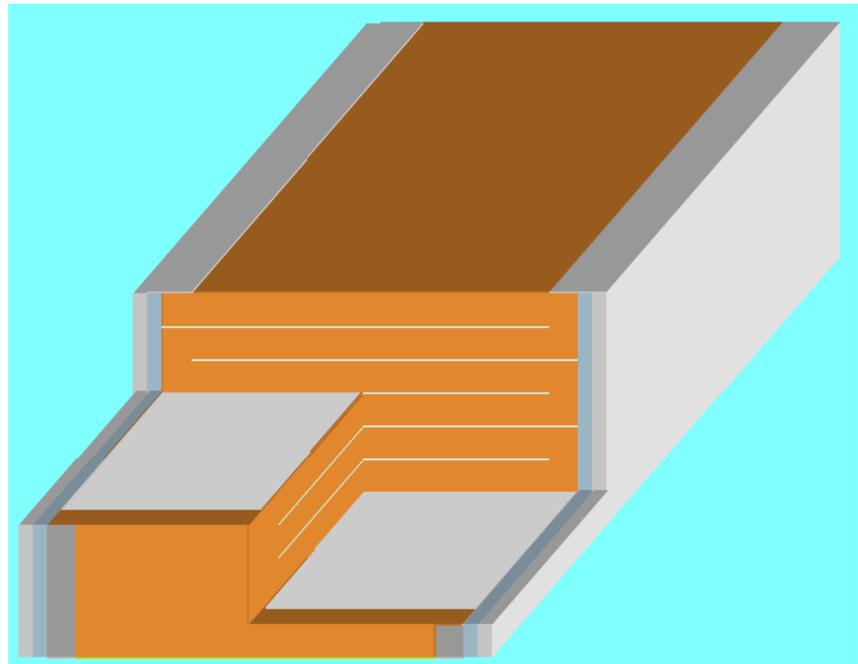
多层片式陶瓷电容器 (MLCC)

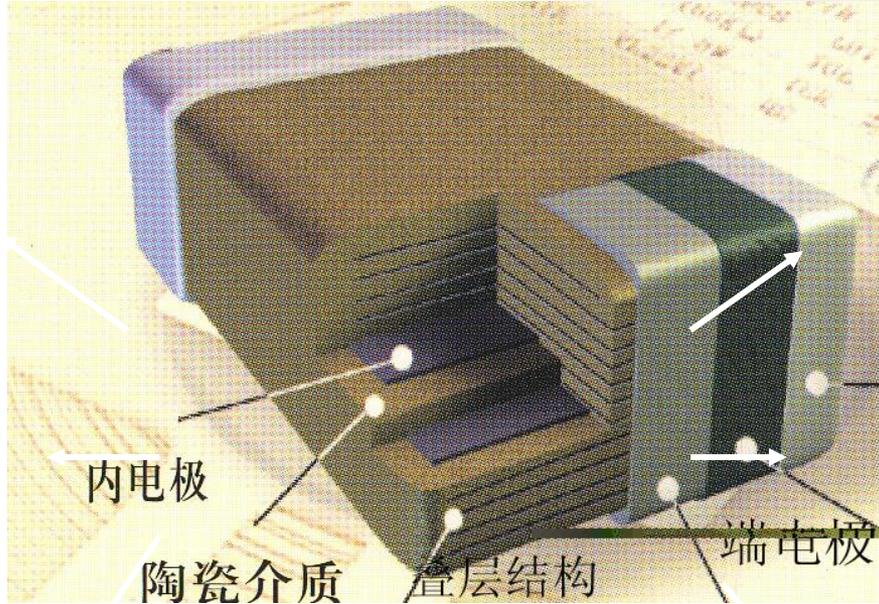
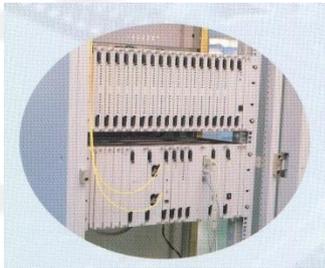


多层

$$C = K \cdot \frac{A}{t}$$

$$\sum C_i = K \cdot \frac{nA}{t/n} = K \cdot \frac{n^2 A}{t}$$





多层片式陶瓷电容器结构



高性能片式电子元件

片式电容

片式电感

片式天线

片式电阻

片式变压器

片式元件

片式滤波器

片式驱动器

片式换能器

片式压敏电阻

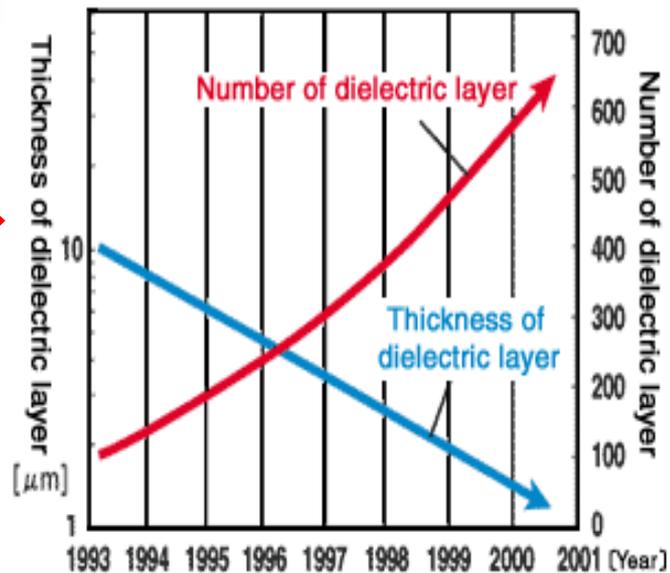
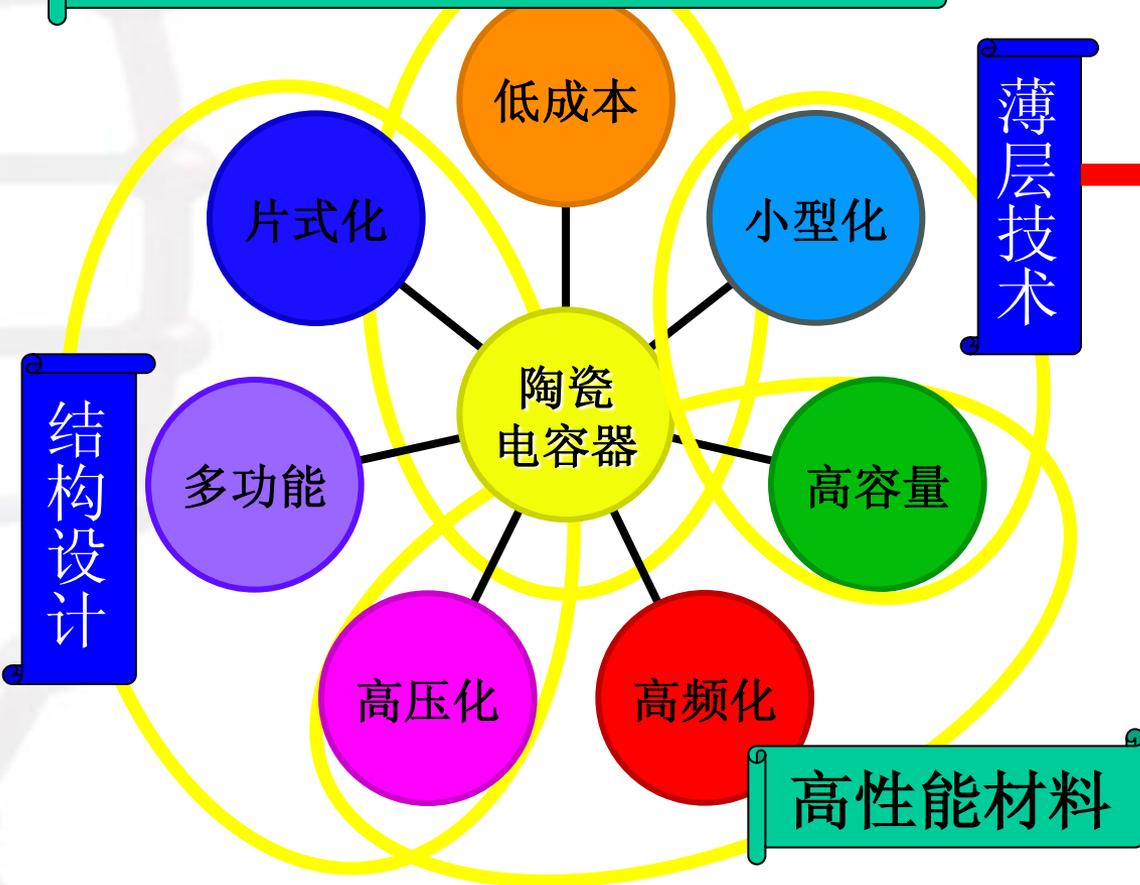
片式热敏电阻

多层化 → 片式化 → 集成化

MLCC的科学技术问题

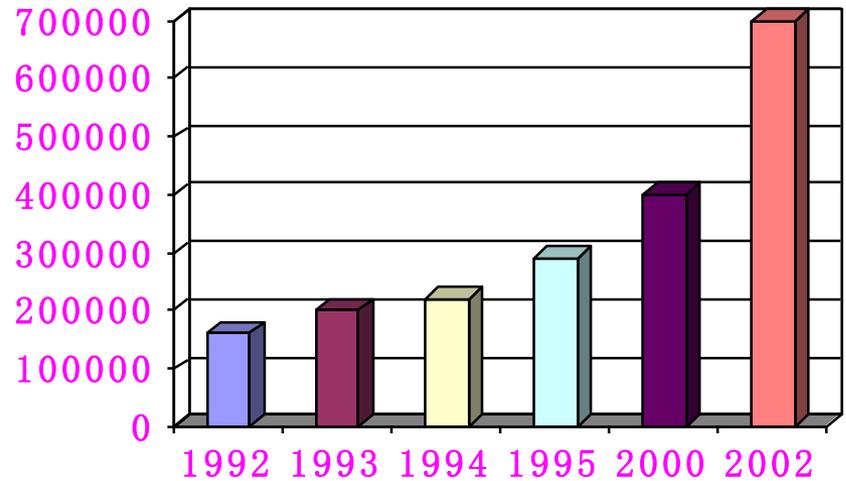
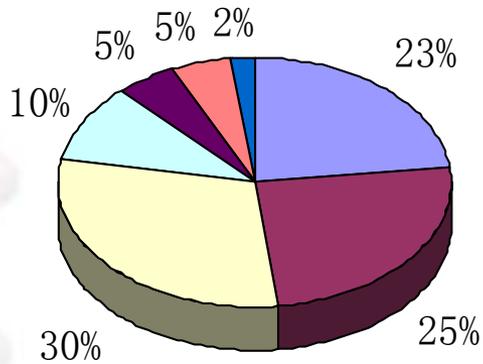


低烧技术、贱金属内电极工艺





世界范围对多层陶瓷电容器的市场需求



多层陶瓷电容器的消耗量
(单位/百万)

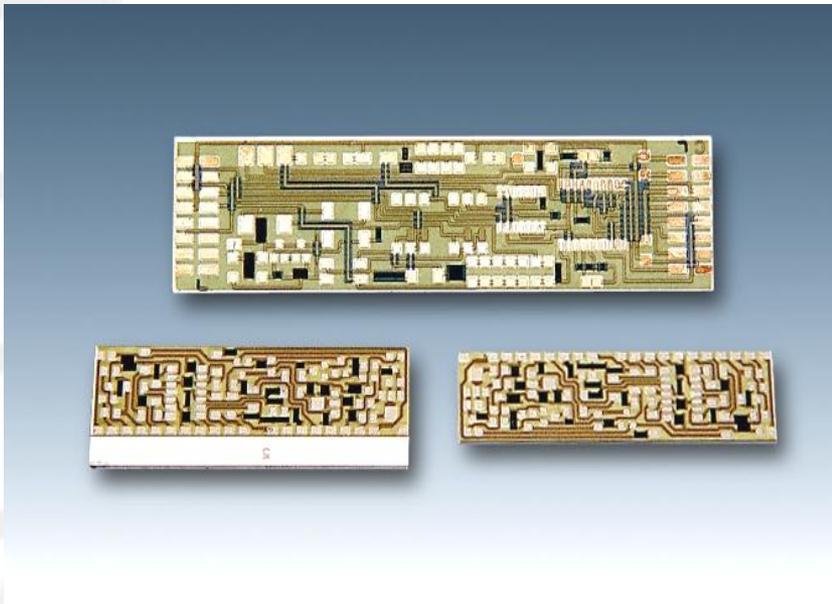
A Pilot Factory for the Chip Devices in Tsinghua University



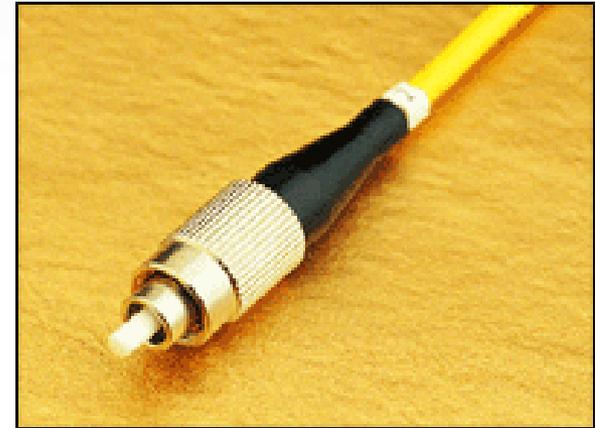
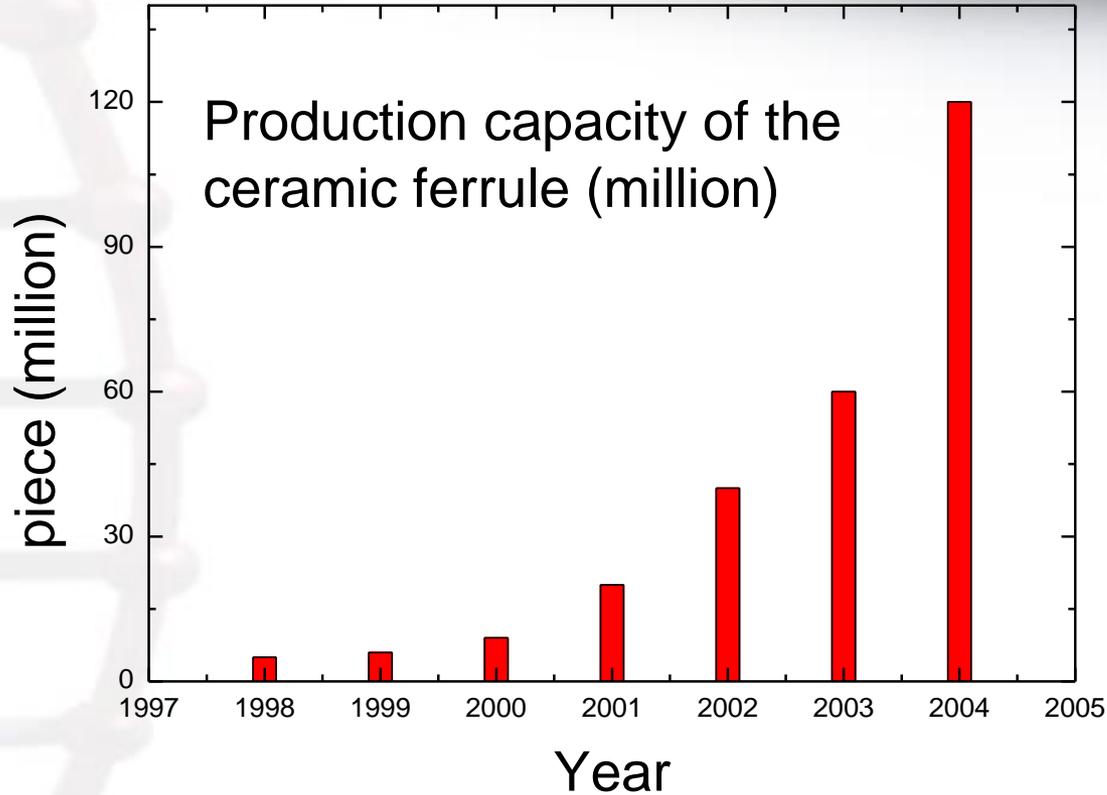
The production ability is
10000000 pieces/year



A Licensing Technology of Electric Substrate from Tsinghua to ZhuHai City



Ceramic Ferrule and Sleeve



The production capacity of sleeve is about 24 million pieces in 2003, but it will over 48 million pieces in 2004.

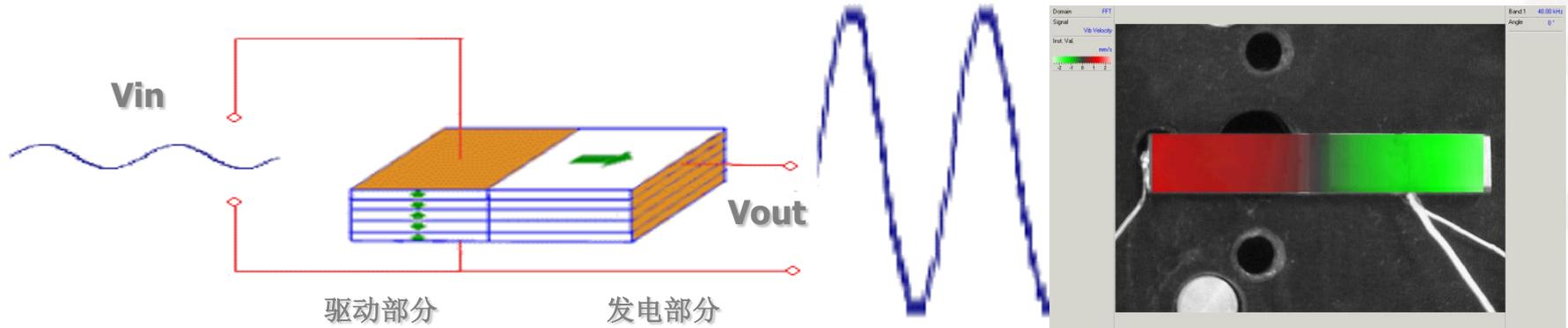
压电陶瓷材料及应用



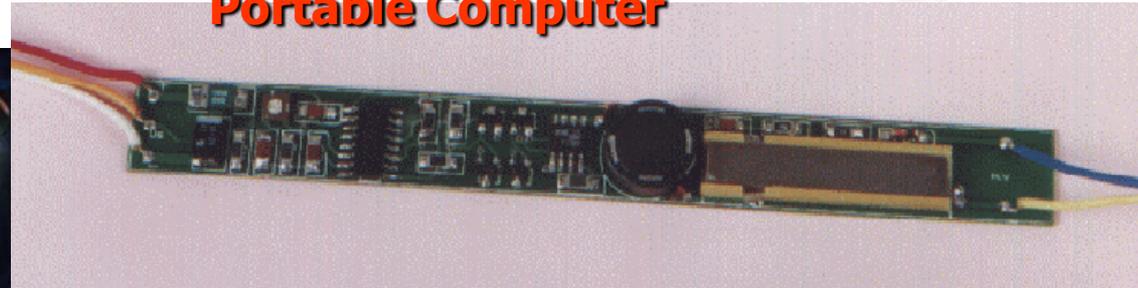
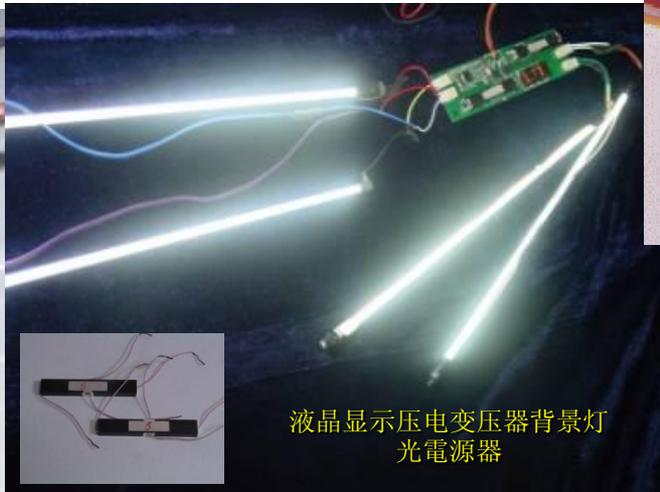
- 压电陶瓷在滤波器、换能器、点火器...等已得到广泛应用。近些年来，在驱动器、压电超声马达、电源变换器等新应用发展迅速，产业化趋势日趋明显，前景广阔。



高性能低烧多层压电变压器及背光电源 成果转化基地西安康鸿公司



MPCT used in Liquid Crystal Display in Portable Computer



高升压比、高转换效率、高功率密度、低的温升、低烧结温度、低成本等方面均处于国际领先水平。

应用：笔记本背光电源、液晶显示背光电源等。

多层压电陶瓷变压器



- 电 \rightarrow 机 \rightarrow 电变换器，具有电压变换、阻抗变换和电流变换等特性。
- 与线绕铁磁变压器相比具有：
 - 结构简单，负载短路自动截止而不烧毁
 - 易于片式化、薄型化、不受电磁干扰等特点
- 多层压电变压器具有低驱动电压、高升压比，便于集成化等优点。
- 在笔记本电脑、液晶屏手机、液晶TV、可视电话、掌上DVD、数码相机等方面有广阔应用前景。

压电驱动器及超声马达



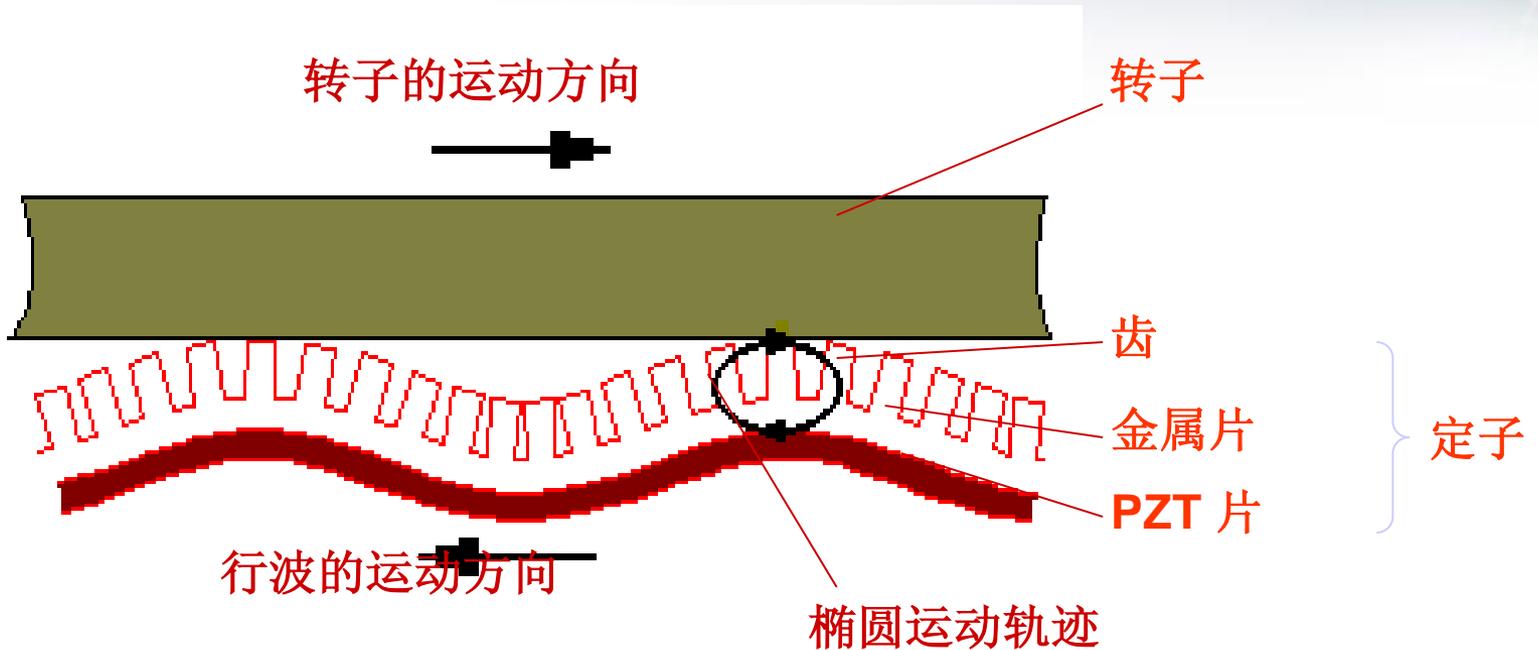
原理：

利用压电陶瓷的逆压电效应，直接把电能转换成机械能输出而无需通常的电磁线圈或机械传动的微型电机或微位移驱动器。

特点：

- 低速下可直接获得高转矩；
- 保持力矩大、无源自锁定；
- 无电磁线圈、无电磁辐射；
- 响应快、步进精度高；
- 运动方式多样、可多维运动。

行波超声马达工作原理



驻波1: $U_a = U_0 \sin(n\theta) \sin(\omega t)$

驻波2: $U_b = U_0 \sin(n\theta - \pi/2) \cos(\omega t)$

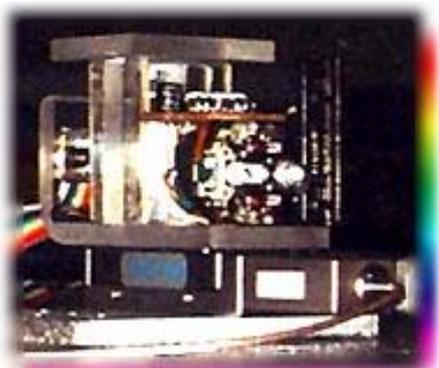
行波 (驻波1+驻波2): $U = U_a + U_b = -U_0 \cos(\omega t + n\theta)$

原理模拟

压电驱动器及压电电机的应用



聚焦高技术领域



光学系统

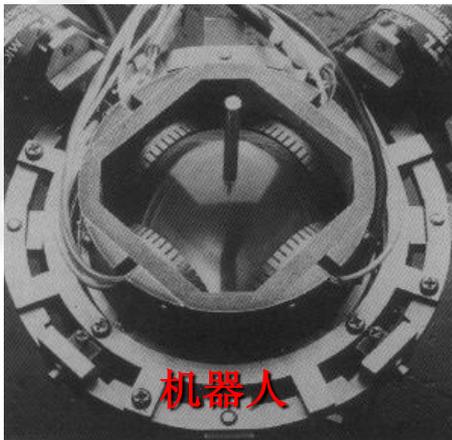


超声波马达

相机聚焦系统



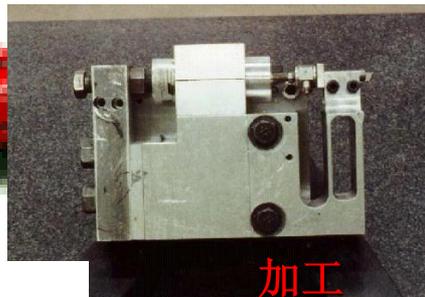
航天宇航
军工



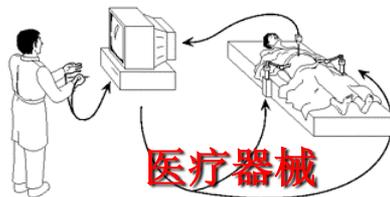
机器人



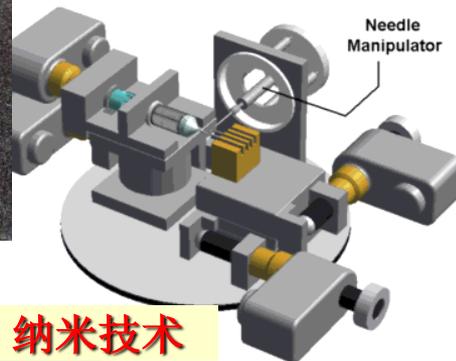
汽车



加工



医疗器械



Needle Manipulator

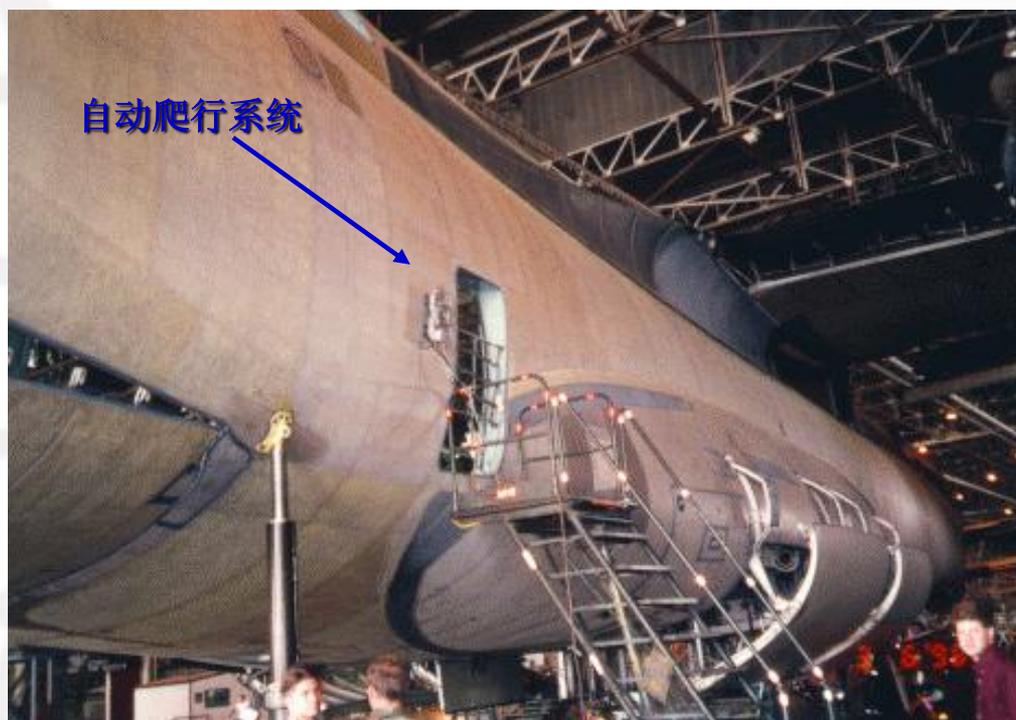
纳米技术

超声波马达在航天、宇航领域中的应用



- **M.I.T.航天宇航系为JPL火星微着陆柔性操纵器手臂关节研制的超声波马达；**
- **具有力矩20 in-lbs，低质量，伺服控制，步进等特点；**
- **在高力矩时高效率**
- **在苛刻环境中的热稳定性好**

超声波马达在航天、宇航领域中的应用



自动爬行系统（MACS）用于运载微型照相机到感兴趣的结构表面，完成检查等任务。目前JPL实验室将其用于飞船c5表面的勘察。自动爬行系统运用超声波马达实现直线、旋转运动，使得整个系统体积小、重量轻，其有效承载重量与自身重量比达10:1。

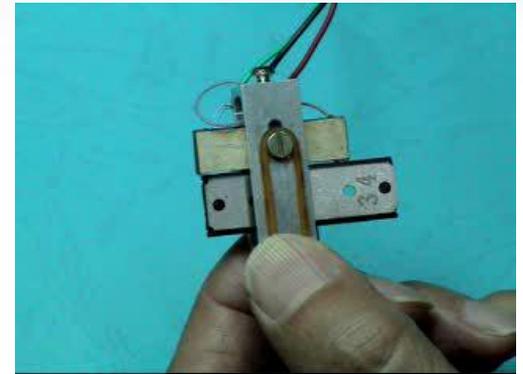
新型压电驱动器



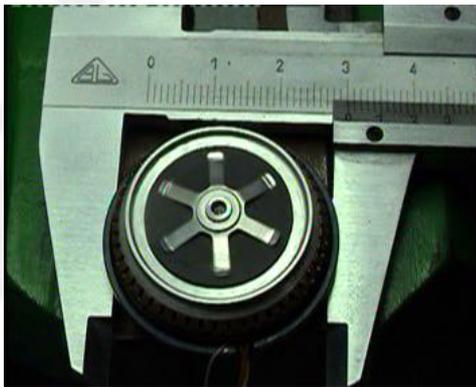
摇头压电电机



二维微动台



直线压电驱动器



行波压电电机

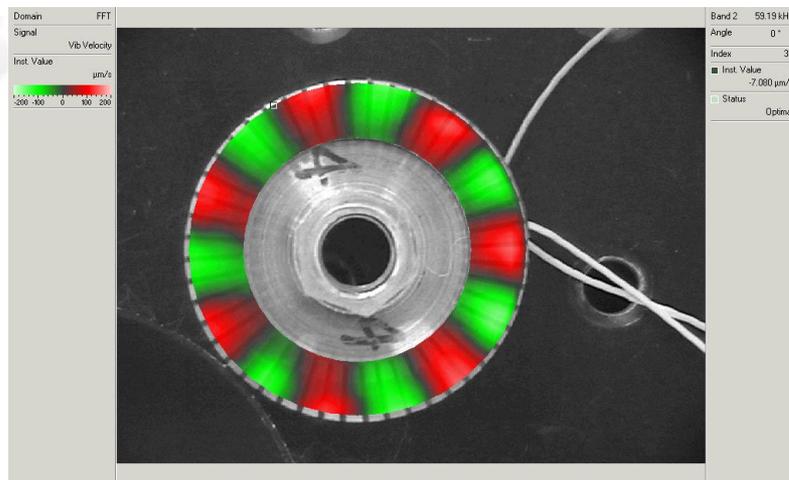
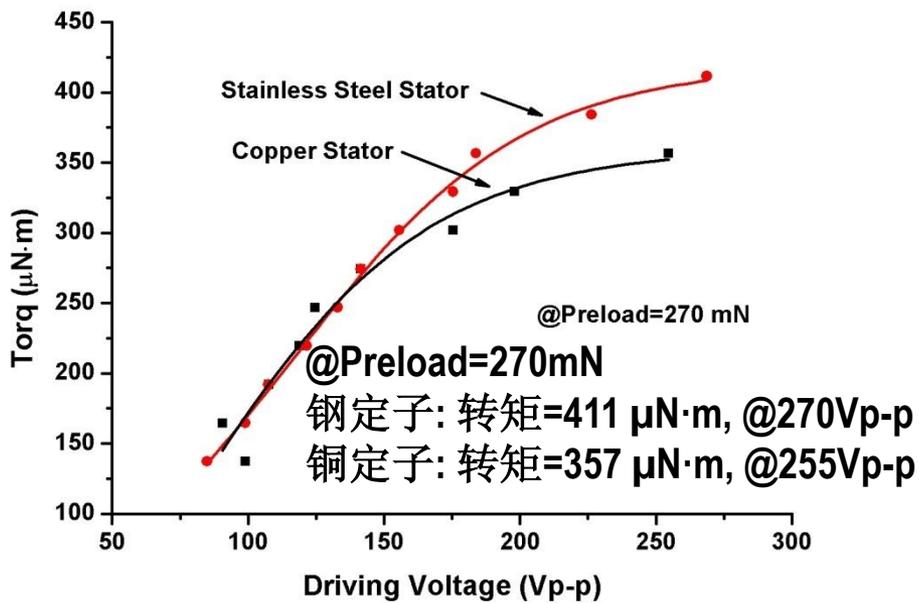


中空压电电机

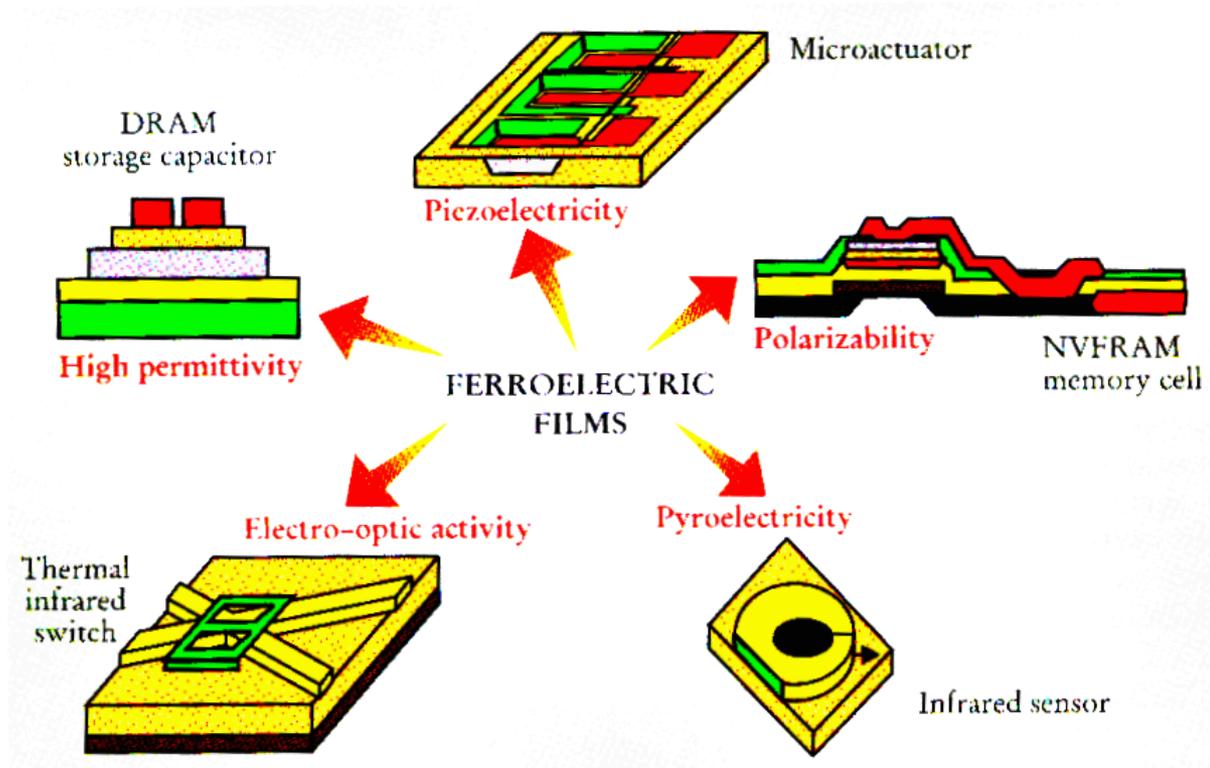


单向压电电机

直径3mm和30mm微小型压电电机用于武器系统

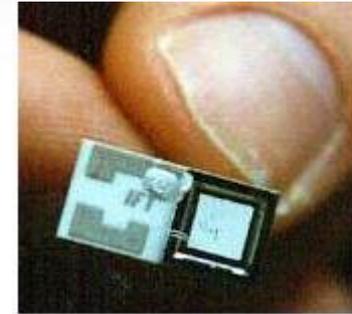
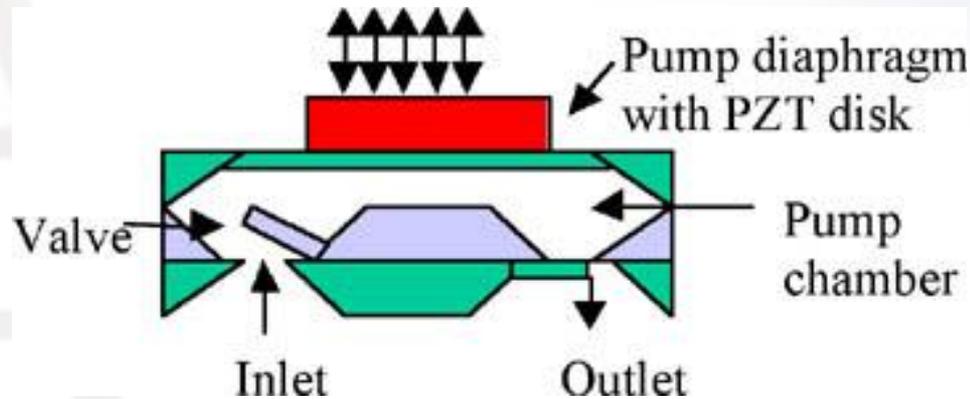


铁电厚膜和薄膜的应用





压电微泵

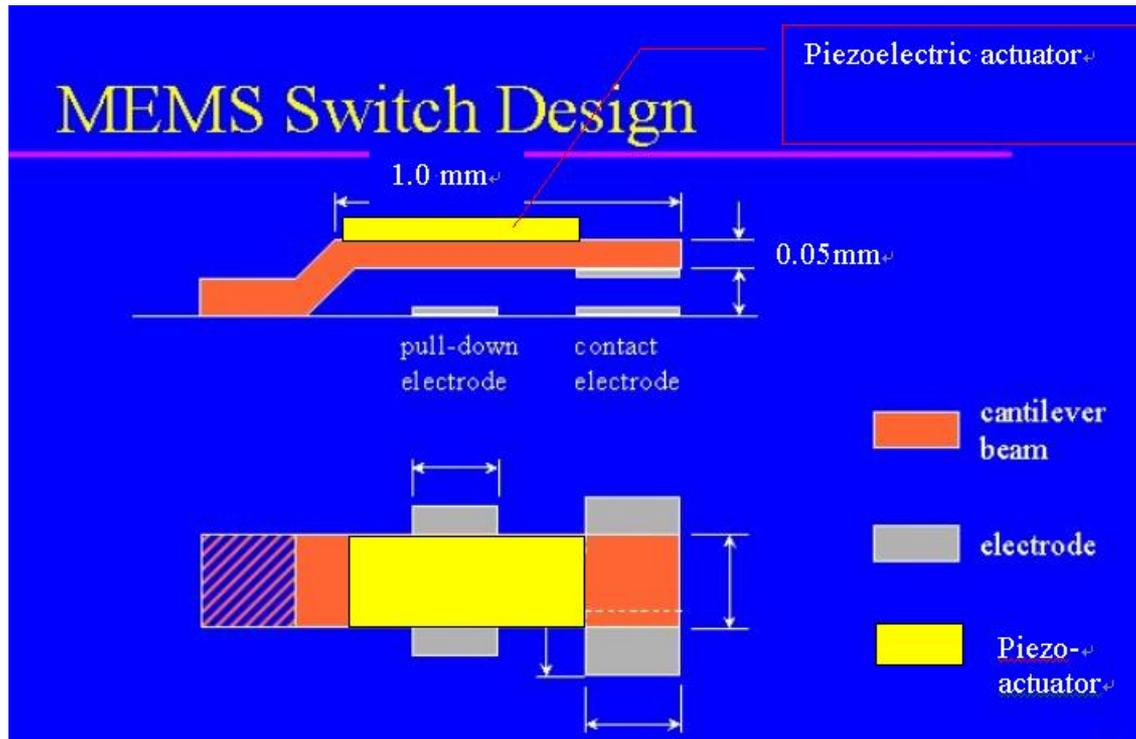


- **工作原理：** 压电片作为泵腔压力的调节机构，泵输入和输出口的微阀在泵腔的波动压力下，交替打开。

FhG-IFT 压电微泵用于控制药剂的准确剂量

- 泵和电子部分结合封装
- 泵速达 1 ml/min（液体）或 3 ml/min（气体）
- 泵尺寸是 7 mm x 7 mm x 1 mm

压电微开关



微通信设备使用

