

微纳工程学

2018 工导 GO 微纳班



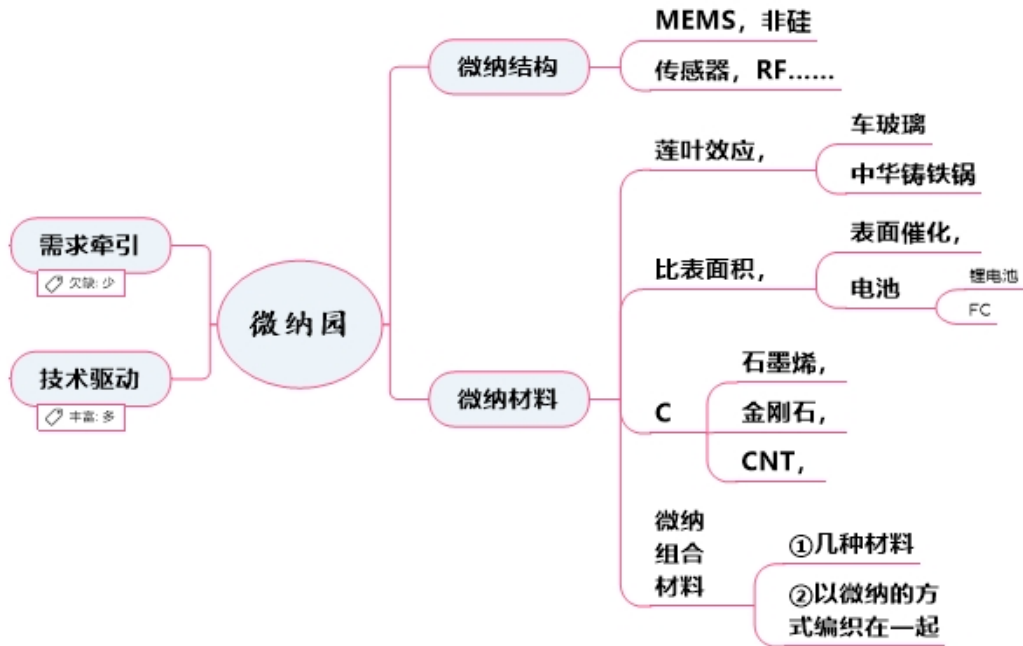
作者：用签名的

张澳 徐鸿 段力 黄望翔 隋恩哲
杨明杰 陈赫 张睿桐 邱致远 熊逸芸
张云骥 王凯源 魏皓 林嘉豪 康鑫宝
何恩翊 李洋 朱浩然 余经纬 谢禹坤
李天童 石炜昂 王浩然 赵欢桐 颜畅
吴方舟 朱跃 苗雨润 周云 王润琦
赖俊宇 赵显文

2018年工导班



06/02/2016 10:53:03



微纳= 科用材技

=Science + Application + Material + Technology

<http://km2000.us/mywritings/weinami.html>

目录

综述 错误!未定义书签。

微纳四个方面

- 科学研究
- 微纳材料
- 微纳应用
- 微纳技术

微纳工程学的发展趋向

- 长度方向
 - 新的纳米材料（0D、1D、2D）和人造材料，
 - 新的纳米物理、原理，
 - 制作新的纳米器件、
 - 新纳米结构
- 宽度方向
 - 即应用方面
 - 指利用现有的微纳技术进行跨学科的应用

大作业的内容

- 大论文的写法
- 小论文的写法

微纳的 5W1H

What

李天童 大论文 《微机械与微纳米科技的研究及其发展趋势》	3
李天童 小论文 高能机械化学法制备微纳米 Mo-Si 粉体	6
康鑫宝 大论文 纳米材料	9
康鑫宝 小论文 纳米晶体	12
林嘉豪 大论文 《微纳马达的聚集与分散行为及其机理解析》	17
林嘉豪 小论文 微纳马达行为控制与驱动燃料研究使其在不同化学燃料中运动	20

石炜昂 一维纳米材料及其发展与未来——一维纳米功能材料研究新进展读后感	26
石炜昂 小论文 碳纳米管复合材料的制备及其性能	29
赵欢帼 大论文 从微电子学到纳电子学	33
赵欢帼 小论文 锰的硅化物薄膜在 Si (100) -2X1 表面生长的 STM 研究	35

Why

颜畅 大论文 纳米技术及纳米材料在环境治理中的应用	3
颜畅 小论文 纳米钨酸铋光催化剂合成及在环境净化领域应用	5
向思磊 大论文 读纳米技术在医学领域的应用有感	9
向思磊 小论文 纳米载体的合成及其药物释放	11
邱致远 大论文 读《纳米磁性材料及其应用》有感	14
邱致远 小论文 Fe ₃ O ₄ 复合纳米磁性材料	16
朱浩然 大论文 纳米粒子技术在军事领域的应用	20
朱浩然 小论文 纳米隐身材料涂层对飞机生存能力的作用	22
李泽 大论文 关于《纳米材料在催化领域中的应用》读后感	27
李泽 小论文 纳米催化材料	29

who

熊逸芸 大论文 高温下用准分子激光烧灼制备硅纳米线	3
熊逸芸 小论文 利用聚苯乙烯微球制备规整的 Si 纳米线结构	5
谢禹翀 大论文 读费曼的《There's Plenty of Room at the Bottom》	9
谢禹翀 小论文 纳米颗粒增强的葡萄糖生物传感器	12
苗雨润 大论文 读后感《我国微电子技术及产业发展战略研究》	15
苗雨润 小论文 氮化镓高速电子迁移率晶体管双界面热阻测试	17
张博闻 大论文《Fabrication and characterization of squama-shape micro/nano multi-scale silicon material》读后感	21
张博闻 小论文 SiC 薄膜制备高耐受性 MEMS 结构及工艺参数研究	23
朱跃 大论文 Helical microtubules of graphitic carbon	27
朱跃 小论文 多壁碳纳米管阵列场发射研究	29
徐鸿 大论文 Micro-structure in Linear Elasticity	33
徐鸿 小论文 二维微纳米结构表面反射特性的时域有限差分法模拟研究	34
张澳 大论文 读《石墨烯的室温霍尔效应》有感	37
张澳 小论文 用静电自组装法制备的结构和功能自由控制的石墨烯薄膜的特性研究	39

when and where

王润绮 大论文 微纳电子学科/产业发展历史及规律	3
王润绮 小论文 基于 CMOS 工艺的硅基 PI 湿度传感器的研制	5
赖俊宇 大论文 工程的诞生到成熟	8
赖俊宇 小论文 负电晕放电气体传感器	10
隋思哲 大论文 Chemical Amplification: Continuous-Flow PCR on a Chip	13
隋思哲 小论文 集在线荧光分析的连续流动反转录-聚合酶链式反应	16
张睿桐 大论文 中国微纳制造研究进展读后感	19

张睿桐 小论文 用 MEMS 工艺研制高性能电热驱动微继电器	22
赵显文 大论文 纳米硅单电子存储器研究进展	25
赵显文 小论文 锗硅异质纳米晶通过良好空穴存储特性改善非易失浮栅存储器特性的研究	27
杨明杰 大论文 三维晶体管和后 CMOS 器件的进展	30
杨明杰 小论文 金属栅/高K基 FINFET 研究进展	32

How

周玉 大论文 电子显微分析在表征纳米晶体化学组分中的应用	
周玉 小论文 单晶中植入纳米晶微结构及光电性能研究	
魏皓 大论文 MEMS 集成化设计方法及关键技术	
魏皓 小论文 利用 LIGA 技术研制超微步进电机	
余径舟 大论文 《氧化铝微纳结构材料的研究进展》读后感	
余径舟 小论文 《微纳多层功能复合材料的制备新技术》改写	
王凯源 大论文 微纳技术进展、趋势与建议	
王凯源 小论文 介电泳操控纳米材料应用	
伍致宇 大论文 微纳连接技术研究进展	
伍致宇 小论文 新型高灵敏度微纳光纤应变传感器	
张云骥 大论文 《超疏水微纳结构的制备与研究》读后感	
张云骥 小论文 具有微纳超疏水的槽道特性研究	
吴方舟 大论文 化学气相沉积技术及应用前景	
吴方舟 小论文 激光诱导化学气相沉积法制备纳米氮化硅及粉体光谱特性研究	
陈沛东 大论文 纳米压入法的应用与发展	
陈沛东 小论文 测试薄膜力学性能	

总结 错误!未定义书签。 9

微纳工程学 微纳院

- 第一部分是微纳制造
- 第二部分是微纳材料

微纳工导GO





徐鴻

李天童

朱凱

王江源

顏暢

謝海卿

朱浩然

余徑舟

趙

郭皓

王潤崎

周元

陳灝東

熊逸芸

李澤

賴俊宇

張浩

趙煥

白恩

石錦

蔣思

林

康

段

張

田雨潤

黃

趙

張

張

段

综述

NANO（微纳工程）

④ NANO is:

- NANO is the study of **X** in 1nm—100 μm range
- NANO is a multi-disciplinary (**X**= physics, chemistry, ...)
- NANO opens a new world

④ NANO has 4 main aspects:

- Science
- Material
- Application
- Technology

微纳科学技术工程是 21 世纪科学发展的一个新兴领域，通常指尺度在 1nm—100 μm 的研究，在不同领域的研究和应用有着本质的不同，微纳具有多学科交汇的特点，涵盖了物理、化学、生物、集成电路、计算机等各方面，微纳工程具有极大的重要性和极广阔的发展前景，为科技的发展打开了一扇新的大门。

而分析微纳米科技这门学科时，我们可以将其归到四个方面，即科学研究，微纳材料，微纳应用，微纳技术四个方面。

1. 有关**微纳的科学**研究包含了很多分支领域，如物理、化学、生物、集成电路等各个方面，其中集成电路工业是我们制造微纳材料的重要工具。现代微纳的理论很多是靠计算机仿真实现的，如多物理场的仿真，我们可以运用 COMSOL 软件将多个物理场拟合在一起，实现在某些情境下方程的求解。
2. 关于**微纳材料**，我们通常认为在一维、二维、三维这三个维度中有一个维属于微纳范围的都属于微纳材料，这其中就有微纳的薄膜、碳纳米管等等，微纳材料的形状主要包含三类，即面状、管状、点状三种。其中薄膜就是在一个维度上是微纳的，另外两个维度上是无限的，所以我们将这种材料称为薄膜。我们通常在物体的表面覆盖一层薄膜，使物质连续性发生中断，由此使得薄膜材料产生了与块状材料不同的独特性能，现在薄膜技术在电子元器件、集成光学、电子技术、红外技术、激光技术以及航天技术和光学仪器等各个领域都得到了广泛的应用，它不仅成为了一种独立的应用技术，而且成为了材料表面改性和提高某些工艺水平的重要手段。
3. **微纳的应用**首先包括微机电系统 (MEMS, Micro-Electro-Mechanical System) 的制造，微机电系统是集微传感器（将其他信号如磁信号、温度信号等非电信号转化为电信号的装置）、微执行器（将电信号转化为其他信号如磁信号、温度信号等非电信号的装置）、微机械结构、微电源微能源、信号处理和电路、高性能电子集成器件、接口、通信等于一体的微型器件或系统。微纳的应用还涵盖了一些新的器件的

制作，例如使用碳纳米管制作晶体管等等，以及在节能、化学化工、土木建筑等领域的应用，例如使用微纳米材料充当燃料电池中的催化剂，使电池的燃烧更加高效，使用微纳米材料制作土木工程的建筑材料，实现莲花效应，实现后建筑外表将像莲花一样不沾水，免去很多以后的清洁保养工作。碳材料未来在微纳领域的有很多的用途，其中富勒烯（C60），石墨烯+和碳纳米管（英文 Carbon Nanotube，缩写 CNT，由日本物理学家饭岛澄男（Iijima Sumio）制造）在微纳领域有着很多的应用。

4. **微纳技术**大部分来自于集成电路工业，包含四个交替使用的基本步骤，即画、增、减和改变材料特性。

- a) 第一个步骤“**画**”，是指用光刻的方法刻画材料，具体为先用一块板板选择性地遮盖和曝光部分材料，使透光和不透光的部分分离开，这个步骤通常是一次性完成的。具体的工艺方法为在薄膜淀积之后，在表面涂一层光刻胶（PR），然后光线（Light）透过光刻版（Mask）对硅片进行曝光（Light Exposure）、显影（Developing）、烘干（Baking）之后进行刻蚀（Etching），除去光刻胶之后，就在薄膜上得到了所需要的图案。
- b) 第二个步骤“**加法与减法**”，是指在已经画有图形的平板上增添或减少一些东西，如在透光的部分加上一层薄膜，或是删去不透光的部分等。增添方面即薄膜技术方面具体有 PVD（物理气相沉积）、CVD（化学气相沉积）、外延和氧化四种方法，衡量产物的指标包括平均度、质量、台阶覆盖程度和沉积速率等方面，材料方面多用硅为基地材料，薄膜材料方面主要使用光学材料，磁学材料和力学材料。减少方面即刻蚀技术方面有湿法刻蚀、干法刻蚀。其中湿法刻蚀是将材料放在酸中，没有光刻胶覆盖的地方将被酸腐蚀掉，干法刻蚀使用离子打材料表面，没有光刻胶的部分将被打掉，有光刻胶的部分则保留下来，最后形成图形。
- c) 第三个步骤称为“**乘除法**”，指材料的厚度没有增减，材料的性质发生了改变。改变材料特性可以采用离子注入法、合金法、后续加工等。离子注入法是将离子打入材料内，离子会掺杂在没有光刻胶的部分，有光刻胶的部位则进不去，合金法是指将金属和硅高温下混合在一起改变材料特性，后续加工是指一种新型的能被改动的芯片，这些芯片可以通过改变其中的某个程序达到改变其功能的目的。

至于微纳工程学的发展趋向，将向**长度和深度**两个方向发展，长度方向即科研方面的研究包括研发新的纳米材料（0D、1D、2D）和人造材料，发现新的新的纳米物理、原理，制作新的纳米器件、新纳米结构等方面，宽度方向即应用方面则指利用现有的微纳技术进行跨学科的应用。

总结下来，微纳就是一个多学科交汇，包含微纳米科技科学研究、微纳材料、微纳应用、微纳技术四个主要方面，涵盖光刻、薄膜、刻蚀三项主要技术，拥有广阔前景，会为人类将来提供极大便利的一个领域。

在这次工程学导论的实践当中，总共分成五组，分别着重于微纳工程学的5W1H，即如右图所示：

其中红颜色的，是每个小组的组长，他们负责整合负责组员所写的内容。

每一位组员，将撰写两篇主要论文，大论文与小论文。

517021910002	李天童	女	2017	What
517021910013	林嘉豪	男	2017	
517021910020	王浩然	男	2017	
517021910038	康鑫宝	男	2017	
517021910072	石炜昂	男	2017	
517021910106	赵欢帆	男	2017	
517021910167	颜畅	女	2017	Why
517021910185	向思磊	男	2017	
517021910207	邱致远	男	2017	
517021910244	朱浩然	男	2017	
517021910289	李泽	男	2017	
517021910304	周玉	女	2017	How
517021910348	魏皓	男	2017	
517021910350	余径舟	男	2017	
517021910504	黄堃栩	男	2017	
517021910536	王凯源	男	2017	
517021910539	伍致宇	男	2017	
517021910543	张云骥	男	2017	
517021910571	吴方舟	男	2017	
517021910584	陈沛东	男	2017	
517021910832	戴逸若	女	2017	Who
517021910654	谢禹翀	男	2017	
517021910767	张博闻	男	2017	
517021910855	朱跃	男	2017	
517021910980	苗雨润	男	2017	
517021910986	徐鸿	男	2017	
517021910989	张澳	男	2017	
517021911163	王润筠	女	2017	When/where
517021911170	赖俊宇	男	2017	
517021911177	隋思哲	男	2017	
517021910768	张睿桐	男	2017	
517021910770	赵显文	男	2017	
517021910824	杨明杰	男	2017	

1 大论文的写法

在你负责的领域中，首先做学术调研，找出一篇有行业意义及学术地位的综述性的文章，最好是大家写的文章，然后根据文章的内容，写一篇读后感。举出主要的观点。尽量用你自己的文字和文笔写这篇文章的综述，写重点。

内容不超过 2000 字，插图不超过 1 张。

2 小论文的写法

找到一篇具有工程学操作性的学术论文，有别于前面的大论文，这篇论文的专题必须足够小，小到具有可执行性、可操作性。在精读这篇论文的基础之上，做以下几项工作：

2.1 列明出处，比如【汪军,段力,刘一剑,等. 基于 MgxZn1-xO 薄膜固体装配型体声波谐振器[J]. 应用声学, 2016, 35(3):212-218.】

打印出来，存成 pdf，连同作业一起上交

2.2 研究标题和改写标题

原来的：

改写的（有 What, why, how）：

2.3 研究摘要与改写摘要

原来的：

改写的（按照 Why, What, How, What (results)）

2.4 研究前言（绪论）和改写

科技工程类的论文的前言部分应该包括以下几项

- *why?* 为什么要做?
- *who, when & where?* 有什么人在这之前做了什么东西?
- *what?* 总结一下我们在这篇文章的贡献

然后是实验部分，包含方法和表征

2.5 实验

- 方法（怎么做的）
- 表征（怎么测的）

再者就是结果，要附上一篇文章最重要的一条曲线，表达了此项工程学的重要思路，鉴于篇幅所限（全班 33 位同学，要把所有文件整合在一起便有 200 多页了），只可以附上一张主要的图，并且要加上说明。

2.6 结果与讨论

这条最重要的曲线，也就是工程学里面的一项主要内容，即工程学 234 里面的 3-ipo, (input, process, output)。也就是任何的实验思路，都是选定自变量 I，通过合适的实验方法 P（或仿真方法），得出确定的输出变量 O，并且研究输出变量随条件的改变。比如下边这条曲

线就对应了右边这个 ipo 的研究思路，也就确定了实验的自变量、参变量、协助参量及其输出变量。

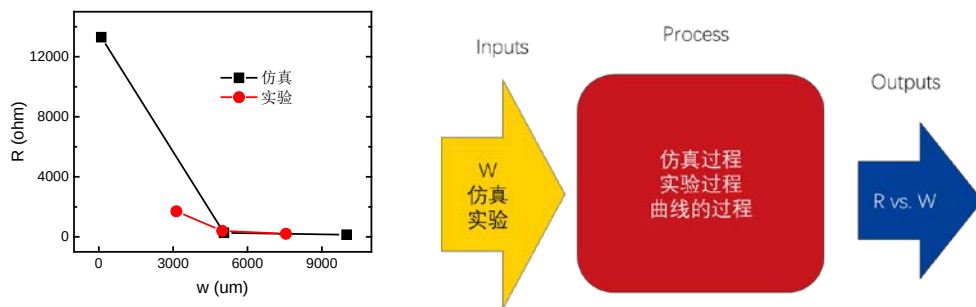


图 1 磨损量电阻器的电阻随磨损深度的变化趋势，仿真结果与试验结果

此外还有对曲线做进一步的解释，比如：

由图可以看出，随着磨损量的增加，也就是厚度的减小，电阻会增大，在磨损量进一步加剧的时候，电阻增加速度会进一步增长，这和预期的结果是一致的。从曲线中也可以看到，实验室和仿真的值是比较接近的。

写小论文的时候要注意，文章不要太长，不要超过 2000 字，这个里边的中心议题是如胡立德【<http://km2000.us/mywritings/science1.html>】所说：你的故事核心只需要一件事就够了：

大部分科学家其实还是那样子，他们不懂！他们不知道你不可能在故事里把所有东西都讲出来。

他们需要明白，你的故事核心只需要一件事就够了。

但是挑选这一件事很难。你不能把所有细节都塞进去，没人会看的，连科学家都不会看。

在结果与内容上，只需要把最关键的一条曲线及其代表的思路找出来、讲出来就可以了。所以内容不要超过 2000 字。

WHAT 是微纳

这是每个人的分工

517021910002	李天童	女	2017	What
517021910013	林嘉豪	男	2017	
517021910020	王浩然	男	2017	
517021910038	康鑫宝	男	2017	
517021910072	石炜昂	男	2017	
517021910106	赵欢帼	男	2017	

目录 1

李天童 大论文 《微机械与微纳米科技的研究及其发展趋势》	3
李天童 小论文 高能机械化学法制备微纳米 Mo-Si 粉体	5
康鑫宝 大论文 纳米材料	8
康鑫宝 小论文 纳米晶体	10
林嘉豪 大论文 《微纳马达的聚集与分散行为及其机理解析》	14
林嘉豪 小论文 微纳马达行为控制与驱动燃料研究使其在不同化学燃料中运动	16
石炜昂 一维纳米材料及其发展与未来——一维纳米功能材料研究新进展读后感	20
石炜昂 小论文 碳纳米管复合材料的制备及其性能	22
赵欢帼 大论文 从微电子学到纳电子学	25
赵欢帼 小论文 锰的硅化物薄膜在 Si (100) -2X1 表面生长的 STM 研究	27

出处 1：马炳和, 苑伟政, 李晓莹,等. 微机械与微/纳米科技的研究及其发展趋势[J]. 航空精密制造技术, 1997(6):1-3.

出处 2：贾宝贤, 李文卓. 微纳米科学技术导论[M]. 化学工业出版社, 2007

这篇论文介绍了微纳领域的一些定义及其发展趋势, 微纳米科技是 21 世纪科学发展的一个新兴领域, 一般指尺度在 1nm — $100\mu\text{m}$ 的研究, 而且微纳米科技在不同领域的研究和应用有着本质的不同, 本身具有多学科交汇的特点, 涵盖了物理、化学、生物、集成电路、计算机等各方面。

微纳米科学技术的定义与内涵

纳米技术与微细工程是 20 世纪科技发展的一个新兴领域, 是 21 世纪的高科技之一。纳米技术 (nano technology) 通常指纳米级尺度 ($0.1\text{-}100\text{nm}$) 的科学与技术, 微细工程 (micro technology) 则是指微米级尺度 ($0.1\text{-}1000\mu\text{m}$) 的科学与技术, 它们又被称为微纳米科学技术 (micro/nano science and technology)。纳米尺度的物质与微米尺度的物质虽然在某些特性上有本质的不同, 但是由于它们在尺度上是连续的, 在一些特性和技术上必然有着某些相同之处, 这两者既有区别又有联系。所以常把微纳米科技看作一个学科。

纳米技术是研究尺寸范围在 $0.1\text{-}100\text{nm}$ 之间物质的组成, 故纳米技术是深入到原子和分子层级的科学与技术。

微细工程 (微米级书) 是研究微米量级尺度上物质特性及其应用的技术。它的另一个方面是微小型机械及其相关技术。

A. 纳米科技

纳米技术实际上就是研究一小堆原子 (团簇)、单个原子或分子的一门学科。纳米技术也是用单个原子、分子创造物质的科学技术, 纳米技术是以现代先进科学技术为基础, 是现代科学 (混沌物理、量子力学、介观物理、分子生物学) 和现代技术 (计算机技术、微电子技术、扫描隧道显微技术、核分析技术) 相结合的产物, 在纳米领域, 各传统学科之间的界限变得模糊, 各学科高度交叉融合。纳米技术还引发了一系列新的科学技术, 例如纳米电子学、纳米材料科学、纳米机械学等。纳米技术被认为是世纪之交出现的一项高新技术。

纳米技术包括物理、化学、材料和生物等多门学科, 同时也包括信息、微电子、精密机械、计算机、能源、航空航天、化工、纺织、医药、食品等的设计、制造、测量、控制和产品技术。纳米技术已经逐步渗入到人们的生活, 进入到衣食住行等多个领域。

摘自：贾宝贤, 李文学. 微纳米科学技术导论[M]. 化学工业出版社, 2007

B.微细工程

微细工程是指在微米级的材料上设计、制造、测量、控制和应用的技术。

微机械

从特征尺寸的角度, 日本东京工业大学的林辉教授对微机械作过一个基本定义: 1-100MM 的为小型机械 (MINIMECHANISM), 10MM—1MM 为微型机械 (MICROMECHANISM) 10NM—10MM 的为超微型机械 (SUBMICROMECHANISM)。外形微小, 操作尺度极小成为微机械的基本特征。从构成和功能实现的角度来看, 微机械的发展更倾向于一个微型系统, 它可以包含微能源、微致动器、微传感器 (如声、光、热、电、力、磁等)、微控制器等构件, 这些构件集成于一个微小的空间可以完成一种或多种特定功能, 其代表装置就是微机器人。

微细加工技术

微细加工技术可以理解为加工尺度在微米级以下的、针对于微小尺寸器件或薄膜图形的一种加工制造方法。从加工尺寸看, 它可分为微米级微细加工 (Microfabrication)、亚微米级微细加工 (Sub-microfabrication) 和纳米级微细加工 (Nanofabrication)。

摘自: 马炳和, 苑伟政, 李晓莹,等. 微机械与微/纳米科技的研究及其发展趋势[J]. 航空精密制造技术, 1997(6):1-3.

而且, 在对其发展趋势进行各方位的探索后, 我们发现, 微纳米科技的发展前景也极为广阔, 就目前来看, 微纳将向长度和深度两个方向发展, 长度方向即科研方面的研究包括研发新的纳米材料和人造材料, 发现新的新的纳米物理、原理, 制作新的纳米器件、新纳米结构等方面, 宽度方向即应用方面则指利用现有的微纳技术进行跨学科的应用。具体而言, 微纳米技术的研究和发展必将对 21 世纪的航空、航天、军事、生命科学 和健康保健、汽车工业、仿生机器人、家用电器等领域产生深远的影响。

目前, 很多国家都对微纳米领域投入财力物力, 将微纳米作为 21 世纪的重点发展学科, 微机械等微纳米领域将是今后和下个世纪科技与产业的制高点, 这无疑为这方面的发展提供了良好的国际与国内环境。

出处：刘高杰, 贺立, 燕伟,等. 高能机械化学法制备微纳米 Mo—Si 粉体[J]. 纳米科技, 2012(4):43-46.

标题

原来的：高能机械化学法制备微纳米 Mo-Si 粉体

改写的：为避免高熔点、氧化等问题通过高能机械法实现微纳米 Mo-Si 粉体的制备

摘要

原来的：以 Mo 粉和 Si 粉为原料，通过自行设计的高能机械化学球磨机在室温下制备出了微纳米 Mo-Si 粉体，利用 X 射线衍射（XRD）和扫描电子显微镜(SEM)进行物相分析和粒度分析，结果表明，在不同反应阶段会生成 MoSi_2 和 Mo_5Si_3 ，并且生成物之间相互有一定的转化，反应生成率接近 100%，制备出的微纳米 Mo-Si 粒度在 100nm 左右，在 Mo 和 Si 的高能机械反应中，适当的提高球料比和转速可以加快反应的进程。

改写的：为了避免高熔点、氧化等问题在室温下制备出微纳米 Mo-Si 粉体，以 Mo 粉和 Si 粉为原料，通过自行设计的高能机械化学球磨机在室温下制备出了微纳米 Mo-Si 粉体，利用 X 射线衍射（XRD）和扫描电子显微镜(SEM)进行物相分析和粒度分析，结果表明，在不同反应阶段会生成 MoSi_2 和 Mo_5Si_3 ，并且生成物之间相互有一定的转化，反应生成率接近 100%，制备出的微纳米 Mo-Si 粒度在 100nm 左右，在 Mo 和 Si 的高能机械反应中，适当的提高球料比和转速可以加快反应的进程。

前言

机械化学技术是近年来新兴的制备纳米粉体材料的方法，利用机械化学技术已经制备出了氧化物弥散强化合金、非晶合金和许多金属间化合物等。由于 Mo-Si 化合物的熔点很高，所以传统方法在生产上受到限制。而用机械化学技术制备 Mo-Si 粉体可以避免 Mo-Si 化合物高熔点和氧化问题。本实验的目的是探索球磨条件对合成硅化钼反应进程的影响。

实验原理

本实验用自行设计的高能机械化学球磨机，用纯 Mo 粉和 Si 粉为实验原料，通过高能机械化学法合成微纳米级别的 Mo-Si 粉体，改变球料比、转速等工艺参数，以探索球磨条件对合成硅化钼反应进程的影响。

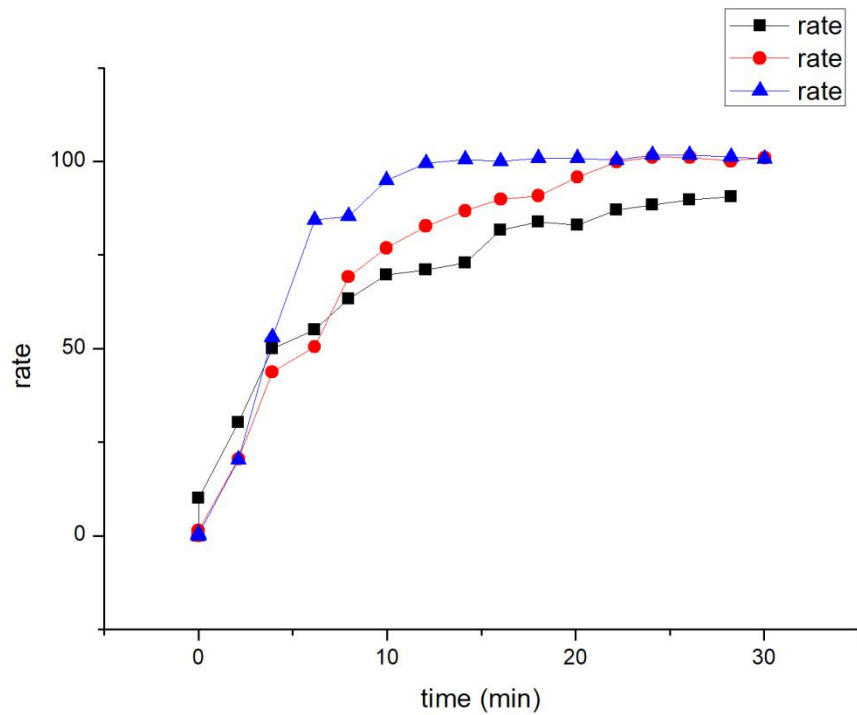
实验方法

实验在自行设计的一台机械化学高能搅拌式球磨机上进行。实验用钼粉纯度高于 99.9wt%，费氏粒度为 $4.2\mu\text{m}$ ；硅粉纯度高于 99.9wt%；球磨介质为 $\phi 2\text{mm}$ 氧化锆陶瓷球。实验采用 8 : 1、12 : 1、15 : 1 三种不同的球料比及 1000r/min、1300r/min 两种不同的转速。球磨前给球磨罐充入氩气进行保护，在室温下进行球磨。

样品粒度分析在 JSM-6700F 高分辨率扫描电子显微镜进行，晶体结构采用日本 PANalyticalX'pertPRO X 射线衍射仪，辐射源 $\text{CuK}\alpha$ 。

基本结果

当球磨的转速能提供反应所需的能量时，随着球料比的提高可以加快反应进程，在球磨的初始阶段有 MoSi_2 生成，随着球磨的进行会有 Mo_5Si_3 生成，最终的生成物为 MoSi_2 和 Mo_5Si_3 的混合物。



图为 1300r/min 不同球磨时间、不同球料比 Mo-Si 生成率曲线图，图中曲线对应球料比为 a（黑色） 8 : 1, b（红色） 12 : 1, c（蓝色） 15 : 1。由图可得出，球料比越高，反应进行越快。

结论

- 1) 以 Mo 和 Si 为原料，在室温下通过高能机械化学球磨制备出了微纳米 Mo-Si 粉体，反应生成率接近 100%，粒度在 100nm 左右
- 2) 在 Mo 和 Si 的高能机械化学反应中，提高球料比和转速可以加快反应进程，而转速起主要作用。

跨世纪的新领域:纳米材料科学

张立德. 跨世纪的新领域:纳米材料科学[J]. 科学, 1993(1):13-17.

前言

纳米材料是世纪之交国际学术界关注的热点,在纳米尺度上认识和改造世界,使人们的认识水平又上升到一个新层次,围绕这一领域的竞争已经开始。

今天,人们可以按自己的意愿和需要合成和制备具有特殊性能的新材料,由纳米微粒构成的纳米材料作为纳米科学技术的重要组成部分,已成为世纪之交人们关注的热点之一。

纳米材料与传统材料不同,它不是以物理特性来分类的,而是以构成纳米材料的基本结构单元——纳米微粒(超微粒子)的尺度来定义的。当颗粒尺寸进入纳米级时,它的尺度与物理特性长度(电子的德布罗意波长或超导相干波长)差不多甚至更小些,由这种微粒组成的材料周期受到严重破坏,其能级已不再像大块固体那样呈准连续能带,而变成分立的能级。因此,纳米材料具有许多新的性质。

纳米科学技术

纳米科学技术是 80 年代末期刚刚诞生并正在崛起的新科技,其基本含义是:在纳米尺寸范围认识和改造自然,通过直接操作和安排原子、分子造新物质。它的诞生,使人们改造自然的能力直接延伸到分子和原子。标志着人类的科学技术进入一个新时代——纳米科技时代,以纳米科技为中心的新科技革命必将成为 21 世纪的主导。

纳米科学技术包括机械纳米学、纳米电子学、纳米生物学、纳米材料学。短短几年,这个领域已取得日新月异的新成果。

纳米材料内涵

纳米尺寸材料分为两个层次,纳米微粒和纳米固体。前者是指单个纳米尺寸的超微粒子($1 \sim 100$ 纳米),后者是由纳米微粒聚集而成的新制凝聚体。它包括:二维纳块体和二维纳米薄膜。纳米块状材料通常是指由具有表面清洁度的粒径为 $1 \sim 100$ 纳米的粒子经高压形成的人工凝聚体。对纳米氧化物、氮化物块状材料一般要经过适当的烧结处理,有的纳米固体,例如纳米陶瓷经高压和烧结应达到很高的致密度。

纳米固体与常规固体不同,不是按物理性质定义的,而是以构成凝聚体的微粒尺寸大小来定义的,分类比较复杂,按照颗粒存在状态,纳米固体通常可划分为纳米晶体和纳米非晶体。构成纳米固体的纳米微粒是晶态的称为纳米结构的晶体;由具有短程序的非晶态纳米微粒组成的块状材料称为纳米结构的非晶固体。

纳米材料的应用

在催化方面的应用 催化是指物体表面部分形成有效活化中心，提高反应效率，选择反应路径。纳米微粒表面有效反应中心多，这就为纳米粒子做催化剂提供了必要条件。目前用纳米微粒进行催化反应有三种类型：直接用纳米微粒铂黑、银、氧化铝和氧化铁等在高分子高聚物氧化、还原及合成反应中做催化剂，提高反应效率，控制反应速度和温度；把纳米微粒掺和到发动机的液体和气体燃料中，以提高效率；在火箭固体燃料中掺和铝的纳米微粒，可提高燃烧效率若干倍。

在磁记录上的应用 记录材料高性能化和记录高密度化是信息社会的需求。例如每 1 平方厘米需要记录 1000 万条以上的信息，这就要求每条信息记录在几个平方微米、甚至更小的面积内，在几平方微米的记录范围内，至少有 300 个阶段分层次记录，这就要求在几平方微米内有 300 个记录单元。纳米微粒为这种高密度记录提供有利条件。磁性纳米微粒由于尺寸小，具有单磁畴结构和矫顽力很高的特性，用它制作磁记录材料可以提高信噪比，改善图象质量。

在传感器上的应用 纳米微粒是应用于传感器最有前途的材料。由于它们表面大，对外界环境如温度、光、湿度等十分敏感。外界环境的改变会迅速引起表面离子价态和电子运输的变化，其特点是响应速度快、灵敏度高。

在医学、生物工程上的应用 由于纳米粒子比红血球小得多，可以在血液中自由运动，因此可以注入各种纳米粒子到人体各部位，检查病变和进行治疗。此外，用纳米二氧化硅微粒可进行细胞分离，用金的纳米微粒能进行定位病变治疗以减少副作用等。

纳米晶体微观畸变与弹性模量的模拟研究

常明, 常皓. 纳米晶体微观畸变与弹性模量的模拟研究[J]. 物理学报, 1999, 48(7):1215-1222.

出处

物理学报 第 48 卷 第七期 1999 年 7 月

标题

原来的：纳米晶体微观畸变与弹性模量的模拟研究

改写的（有 What, why, how）：为进一步对纳米晶体材料的结构、性能进行研究而采用模拟方法研究纳米晶体微观畸变与弹性模量

摘要

原来的：采用分子动力学方法模拟纳米晶体铜原子的结构，又对纳米晶体铜原子进行了 X 射线衍射模拟。计算了晶粒尺寸和点阵畸变，还计算了能量分布和弹性模量等。结果表明不但晶界产生很大的应力场，而且晶粒内部的畸变也起着与晶界相似的重要作用。由于原子半径的增加，导致弹性模量的减少。

改写的（按照 Why, What, How, What(results)）：为了进一步对纳米晶体材料的结构、性能进行研究，本文采用分子动力学计算机模拟，分别模拟了晶粒度为数纳米的纳米晶体铜原子的一些结构特征，又对纳米晶体铜原子进行了 X 射线衍射模拟。计算了晶粒尺寸和点阵畸变，还计算了能量分布和弹性模量等。结果表明不但晶界产生很大的应力场，而且晶粒内部的畸变也起着与晶界相似的重要作用。由于原子半径的增加，导致弹性模量的减少。

前言

Why?

为了进一步对纳米晶体材料的结构、性能进行研究，本文采用分子动力学计算机模拟，分别模拟了晶粒度为数纳米的纳米晶体铜原子的一些结构特征。

纳米晶体材料是具有晶粒尺寸直至 100 nm 的多晶体材料，由于它的特殊的尺寸以及很大的体积分数的原子是处在晶界位置，因此导致纳米晶体材料的许多高、新性能。

Who, when & where?

早期的科学工作者得出结论，认为纳米晶体材料晶界的结构与传统的粗晶粒材料十分不同。最近有些研究表明，纳米晶体材料的晶界与传统粗晶粒材料没有根本的差别。

最近几年，人们广泛感兴趣的是有关纳米晶体材料结构-性能的相互关系，并开始阐明这些复杂性。

What?

本文采用的原子间相互作用势函数为 Finnis 等人推出的多体势，尽管它比对势计算复杂且模拟时间和难度都有所增加，但它更适用于纳米晶体的模拟。通过模拟的结果进行 X 射线衍射的点阵常数、晶粒尺寸和点阵畸变的计算，还计算了不同晶粒中原子的能量分布和弹性模量等。

弹性模量是材料重要的力学性能指标之一，尤其是对纳米材料弹性模量的研究，将对纳米陶瓷材料塑料的产生和韧性的提高提供有力的理论基础。

实验

(1) 方法

本文采用分子动力学方法，为了模拟结果准确，采用 Finnis 等人推出的改型的嵌入原子法 (EAM) 多体势函数。它不具有通常采用的函数的截止半径，这从数字计算和物理分析的观点来看，它是优于通常采用的具有截止半径的函数势。

本文模拟的纳米晶体采用面心立方铜原子多晶体，即所有原子位于 Wigner-Seitz 型元胞内而形成晶粒成分，晶界结构依赖于相邻晶粒之间取向关系，由于晶界上原子不稳定，逐步弛豫后达到平衡状态，形成平衡的晶界结构。为了简单，本模拟晶粒取向采用 $\langle 100 \rangle$ ， $\langle 110 \rangle$ ， $\langle 111 \rangle$ 三种。晶粒尺寸分别为 1.45，2.18，2.62 nm。本文采用 27 个 Wigner-Seit

z 型计算元胞，任意两个计算元胞边界上相邻的两个原子间的距离最少有一个原子的直径。所有计算元胞内的原子分别为近 5000, 18000, 32000 个。模拟采用了周期性边界，使体系变成准无限大，更接近于宏观实际。模拟采用的时间单位为 t ， $t=1.0 \times 10^{-14} \text{s}$ ，一般取时间步长为 $\Delta t=0.2 t$ 。

(2) 表征

为了测定模拟弛豫后纳米晶体的结构参数，本文采用了 X 射线散射理论的模拟方法。

但是纳米晶体的 X 射线衍射线形不完全相同于相应的粗晶粒材料的 X 射线衍射线形，其差别表现在相对强度峰位、峰形和背底散射强度的变化上。这是由于纳米晶体点阵参数的变化、平均微观应力量级的增大、静态原子位移的增加以及晶体点阵和晶界位错的增加等一些结构特征所致。

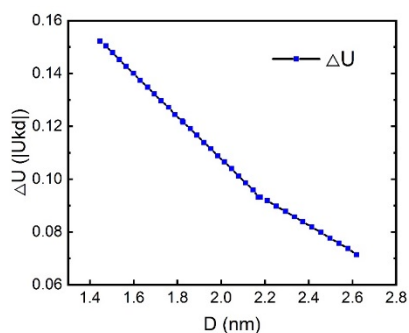
由于 X 射线衍射峰产生的增宽现象，既与仪器因素有关，又与细晶和点阵畸变等因素有关。前者称为仪器增宽，其线形常用 $g(x)$ 表示，后者称为物理增宽，其线形常用 $f(x)$ 表示。对于待测样品的衍射峰形常用 $h(x)$ 表示。

由宽化峰求出晶粒尺寸 L 和点阵畸变 e ，首先退卷积求出物理宽化函数，然后再分别求出晶粒尺寸及点阵畸变所造成的宽化函数。但是由于单峰即一个物理宽化函数退卷积求出的晶粒尺寸函数和点阵畸变函数将不是唯一的，为了得到唯一性需采用双峰法，但由分析可知，函数峰的背底遭截是必然出现且又是出现误差的原因，不难理解双峰法的误差将是双重误差的叠加，又由于晶体在实际的 X 射线衍射下，两个分别独立的单峰较难获得。目前人们常用测定晶粒尺寸和点阵畸变的方法有：1) 近似函数法(现在常用 Voigt 函数法)，2) Warren-Averbach 的傅氏分析法。

上述由能量的二阶导数推导的弹性模量是利用粗晶粒材料而进行的。由于纳米晶体有较大体积分数的晶界成分，一般晶界能是由晶界区域内原子相互作用的核心能和晶界的弹性应变能组成。对于细观力学而言，纳米晶体的弹性模量可看作复合材料的等效模量来研究。本文为了直观，只从势函数的选择加以对照。

结果与讨论

(1) 结果



(2) 讨论

上图表明在纳米晶体材料中，每个原子的归一化超过能随晶粒尺寸减小而有明显的提高（图中 U_d 为绝对值）。这不但表明每个原子超过能在晶粒边界和晶粒连接处有很大的不同，而且晶粒内的原子超过能也在增加。这与点阵畸变情况相符合，且与能量分布函数一致。所以随晶粒尺寸减小，纳米晶体粒内、晶粒边界处以及晶粒连接处原子的能量都相对地提高。

有关纳米晶体结合的问题还可以从力的角度，例如从弹性模量来说明。纳米晶体材料的弹性模量常数已被发现减小 30% 或更小。这些结果被认为是在晶界区域由于平均原子间距的增加而导致晶界大的自由体积。在杨氏模量值的减小方面，一些科学工作者还有另外一些解释，认为在样品中存在疏松和裂缝的状态。

结论

(1) 纳米晶体材料不只是具有小晶粒尺寸的多晶体。一旦晶粒尺寸和晶界尺寸变成可比较的长度比例，则将出现新的物理效应。

(2) 由于大的体积分数的晶界相所产生的应力场，导致纳米晶体材料中晶粒的结构变化还可以表现为晶粒内点阵发生膨胀或畸变。随晶粒尺寸减小，点阵畸变程度增大。由能量分布函数可知，随晶粒尺寸减小，晶界与晶粒结构的区别越来越小。

(3) 随晶粒尺寸减小，纳米晶体的弹性模量明显地下降，即材料抵抗外力的能力下降。

1. 个人见解

微纳马达的聚集与分散行为及其机理解析，这是一篇我选的和我的小论文主题比较贴近的大论文，比较偏理论也比较抽象。文中提到“对于自然界的生命来说，生物体内一系列重要的生命活动都依赖于在细胞质内运动的生物分子马达。”这让我对微纳马达的理解有了较大的变化，因此吸引住了我的眼球。微纳马达的聚集与分散行为是马达非常重要的群体行为，聚集状态下可大幅提升马达执行任务的效率，分散状态下又可成为独立的个体，各自运动，执行各自的使命。群体行为我认为不仅是微纳马达也是微纳器件，机器的一个特性行为。对此的研究对于未来微纳机器的发展较有意义。本文概述了近年来微纳马达在聚集与分散行为方面的重要研究进展和最新研究成果，详细叙述不同刺激下两者之间的转换过程及其机理，为深入开展微纳马达动态行为的科学研究提供一定的借鉴和参考，对未来纳米机器人等有一定意义上的先见与发现。

2. 原文摘引及分析

随着对单个马达结构、速度、方向等性能研究的不断深入，科学家发现，在一定的能量刺激下，马达与马达间会形成有序或者无序的团簇，有序的团簇可认为是马达的自组装行为，无序的团簇可认为是马达的聚集行为(本文重点讨论此类)，这些团簇可以一起运动，一起执行任务，因此可数以千倍甚至万倍地增加马达执行任务的效率。这是微纳马达聚集行为机理研究的动机，为提高微纳马达机群的工作效率。在不同的能量刺激下，由于颗粒间产生了复杂的力学作用，如由化学反应产生气泡而导致的体积排除相互作用，由溶剂引起的动力相互作用，或者由颗粒间运动产生的(温度场、浓度场、电场)场间长程作用等，从而使粒子与粒子之间发生聚集行为。一般情况，刺激消除，粒子会由于自身的布朗运动而逐步使聚集体分散，如果此时给予另一种有效刺激，则可加速聚集体的分散行为。当然也存在物质原本是团聚的状态，给予一定的刺激，聚集体迅速分散的情况。而这篇文章主要对化学刺激型、物理刺激型和双重刺激型等三大类微纳马达的聚集与分散行为及相应的机理进行详细的梳理。

其中由于篇幅原因，我就选一个我印象比较深的小标题，那即是物理刺激性的微纳马达聚集与分散行为。其中有超声刺激型，声驱动的微纳马达生物兼容性好、能量高、速度快，因此在生物医药方面具有较好的应用前景。关闭超声场时，聚集体由于化学燃料发生反应形成离子梯度场和马达自身布朗运动的双重作用，聚集体开始分散成单个自由运动的个体。利用超声波的开/关高效控制微纳马达的聚集与扩散，为痕量分析和微粒分离提供了潜在的应用前景。因为人们对于超声波的利用至今已较成熟，也很广泛。故我认为微纳马达在这方面的刺激控制对于医药等方面的应用是很有前景的。

另外还有光刺激型，一种是发生化学反应，一种是发生基团异构化。光引发基团异构化的聚集与分散行为是通过异构化后的基团影响材料表面张力而实现的。而化学变化则是化学反应生成带电粒子，由于带电粒子的扩散速率不同以及马达自身电荷分布不同，破坏了玻璃基板表面的平衡性。这是其与化学刺激唯一不一样的地方。光刺激我觉得有些难度，因为现实中光无处不在，故要进行精细的控制所需要的环境就比较严格，这令我感觉这方面的应用会有所阻挠。

电刺激型是常见的物理刺激之一，电场下微纳马达可发生各种有趣的聚集现象。我特别注意到，通过改变交流电场的强度或频率，颗粒之间可形成清晰的条纹状态或完全混合的状态，文中图可看到。但是关于其机理研究甚少，尚不足以完全支撑目前观察到的现象，因此还有待科研人员继续猜测并研究证实，这是有待发展的控制形式。

3. 结尾

最后，随着对微纳马达聚集与分散行为的研究的深入，在不同场的作用下，微纳马达具有可控的运动性能，作为可移动、可定向、可修饰的微纳器件，在很多方面已表现出优越的应用前景。但这依旧是个新兴话题与领域，目前依旧面临一些重大的挑战。故需要科学家们不断的努力和创新把这些难题攻克，最终设计出生物兼容性好、调控方式多样、工艺合成简单的微纳马达，为实现微纳马达的实际应用奠定基础。通过更深入的研究，加强多学科交叉与融合，微纳马达的聚集与分散行为在未来必将具有广泛的应用价值。

林嘉豪 小论文 微纳马达行为控制与驱动燃料研究使其在不同化学燃料中运动

出处：微纳马达行为控制与驱动燃料研究_胡飞燕

摘要

原版：人造微米马达是一种通过特定工艺制备而成的微米尺寸器件，在特定刺激下，能够实现各种各样的机械运动。微纳马达发展至今，取得了很多重大的突破和进展，科学家们通过多种材料制备了能在不同化学燃料中运动的微纳马达。主要对微纳马达行为控制与驱动燃料进行研究。

改动版：人造微米马达是一种通过特定工艺制备而成的微米尺寸器件，在特定刺激下，能够实现各种各样的机械运动。在一些特定领域有着极好的应用，比如生物医学(如诊断、药物运输和释放、癌细胞的捕捉、细菌的识别等)、环境监测和环境修复(如水质检测、油污运输、污水净化等)领域。本文通过制造多种各种尺寸(小到微米级或纳米级)及形状各异的微纳马达，主要对微纳马达行为控制与驱动燃料进行研究。

前言和绪论

原版：人造微纳马达是一种通过特定工艺制备而成的微米或纳米尺寸的器件，在特定刺激下，能够实现各种各样的机械运动 [1]。微纳马达是 21 世纪初新出现的一个多学科交叉的尖端研究领域。历经了近十年的探索和研究，科学家们制备了各种尺寸(小到微米级或纳米级)及形状各异的微纳马达，并且随着新的材料和新驱动能源(如 H_2O_2 、 H_2O 、酸/碱、溴/碘、联氨、葡萄糖等)的发现和用生物/化学受体修饰微纳马达的技术发展，微纳马达的研究得到了迅猛发展，特别是在一些特定领域的应用 [2-8]，比如生物医学(如诊断、药物运输和释放、癌细胞的捕捉、细菌的识别等)、环境监测和环境修复(如水质检测、油污运输、污水净化等)领域。

微纳马达种类繁多，不同种类具有不同的工作原理。如果按形成原因分类，它可以分成自然界进化生成的生物微纳马达和通过人工合成制备的人造微纳马达 [9]。按照不同的驱动方式又可以分为磁性驱动型、超声驱动型以及化学催化驱动型。还可以按照其形状来区分，例如形状是纳米线或者纳米棒的马达，可以称之为纳米马达；有些是管状的，长度为微米级，运动时尾部有气泡推进，类似火箭，可以称之为微米火箭；还有类似子弹形状的可以称之为微米子弹等。本文主要对微纳马达行为控制与化学催化型微纳马达驱动燃料进行归纳总结。

改动版：人造微纳马达是一种通过特定工艺制备而成的微米或纳米尺寸的器件，在特定刺激下，能够实现各种各样的机械运动。在一些特定领域有着极好的应用，比如生物医学(如诊断、药物运输和释放、癌细胞的捕捉、细菌的识别等)、环境监测和环境修复(如水质检测、油污运输、污水净化等)领域。历经了近十年的探索和研究，科学家们制备了各种尺寸(小到微米级或纳米级)及形状各异的微纳马达，并且随着新的材料和新驱动能源(如 H_2 、 H_2O 、酸/碱、溴/碘、联氨、葡萄糖等)的发现和用生物/化学受体修饰微纳马达的技术发展，微纳马达的研究得到了迅猛发展。微纳马达种类繁多，不同种类具有不同的工作原理。本文主要对微纳马达行为控制与化学催化型微纳马达驱动燃料进行归纳总结。

实验及结果讨论

微纳马达行为控制

1. 磁场控制

磁场能控制纳米线马达的运动行为，主要是通过在微纳马达中引入磁性材料(如 Ni)。磁场引导马达运动方向的原理同样也被应用到了管状微纳马达中，这种设计的微米管马达以过氧化氢为燃料，速度达到 50 bl/s(body length/s)。

将磁铁(Fe/Co)引入管壁后，可以通过磁场来控制其行为，外界旋转的磁场来控制马达的运动，透过光学显微镜可以看到由气泡形成的长长的尾巴的运行轨迹。

讨论：人们可以通过磁场引导来精确控制微纳马达的方向。需要指出的是，磁场在这里只是控制马达的方向，而不是驱动马达或者改变其速度。当然，调节磁场的强弱，可以控制马达的启动和停止。若需要反复的，从停到走和停-拐弯-走的操作，则在时间和空间上需要很好的配合。

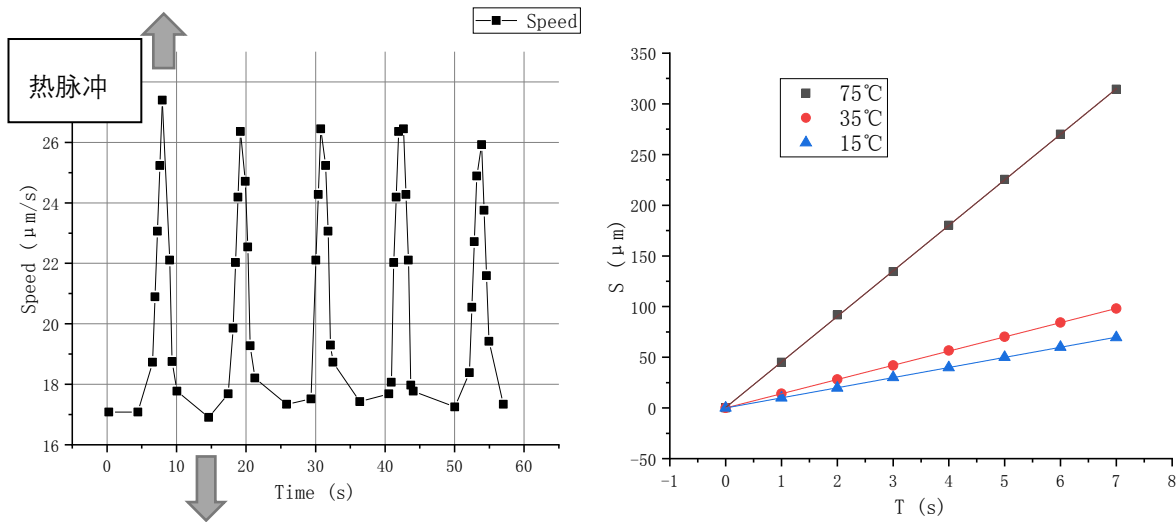
2. 热控制

实验中，将 Pt/Au 纳米线马达暴露在 35 ~ 70 $^{\circ}C$ 下，与室温中运行进行对比。并之后将其放入一个热脉冲的环境中，观察微纳马达实时变化温度下，受热控制影响的运动变化情况。发现运行的距离远远大于其在室温时(例如，同样的马达在 65 $^{\circ}C$ 时，1 s 运行 45 μm ，而在 35 $^{\circ}C$ 时运行 14 μm) 并且可以看到微纳马达运行速度随温度升高降低而产生的变化。导致微纳马达加速的原因为温度升高加速了金属催化过氧化氢的氧化还原反应，同时也改变了溶液的粘度。将催化型微纳马达 Pt/Au 放入一个热脉冲的环境中(见图 4)，同样可以看到高度可逆

的热调节行为变化。并且这种变化比较灵敏，便于及时进行微纳马达的控制

结论：与室温中运行进行对比。发现运行的距离远远大于其在室温时并且微纳马达的速率随着温度升高和降低的循环，表现出上升和下降的可逆变化。变化较灵敏。

讨论：将热调节速度的行为和磁场调节方向的行为相结合，对微纳马达来说，会有更好的、更及时的空间上的调控。这将促进对微纳马达装载和卸载目标物体领域的研究进展。



3. 电化学控制

将 Au 线电极尽可能地接近微纳马达(约 150 μm)，然后施加正电压引发过氧化氢的氧化反应，或者施加负电压引发氧气的还原反应。通过调节电压来控制马达的速度，如图 5(a) 所示，将电压从 -0.4 V 慢慢调节到正电压，可以看到，马达的速度从 $20\text{ }\mu\text{m/s}$ 降到 $16\text{ }\mu\text{m/s}$ 、 $10\text{ }\mu\text{m/s}$ 、 $4\text{ }\mu\text{m/s}$ 时对应的电压分别为 $+0.4\text{ V}$ ， $+0.6\text{ V}$ ， $+1.0\text{ V}$ 。Wang 等 [21] 还通过 10 s 为周期的矩形波脉冲电压 -0.4 V 和 $+0.1\text{ V}$ 来实现循环开关的功能。正电压时，马达停止运动，负电压时加速马达运动，从电压 $+1.0\text{ V}$ 到 -0.4 V 时，速度从 $4\text{ }\mu\text{m/s}$ 提高到 $22\text{ }\mu\text{m/s}$ ， $\text{Ag}/\text{Ag}/\text{Cl}$ 为参比电极。

结论：电压调控成为了一种有效调节马达速度的方式。

讨论：通过这种氧化还原切换运动的方法和具有独立电极的网络结构相结合，微纳马达能更加精确地在微观网络结构种行驶和执行任务。

化学催化型微纳马达的驱动燃料

过氧化氢燃料

石炜昂 一维纳米材料及其发展与未来——一维纳米功能材料研究新进展读后感

前言

一维纳米材料是纳米材料的一种，两维在纳米范围内，其他一维不在纳米范围内，例如纳米棒、纳米丝等类型的材料。一维材料目前在多个方向有很重要的应用前景，同时一维纳米材料还是其他一些纳米材料研究的基础，又与纳米电子器件和传感器等密切相关，因此，其制备和应用研究已成为近年来的研究前沿课题。

特性

一维纳米材料具有与一般纳米材料在纳米范围内相似的性能，同时又由于具有一个宏观的维度，而表现出一些特别的性能，尤其是在超大规模集成电路、传感器等方面表现出了优异的物理和化学性能。尺寸、组成和结晶度可控的一维纳米功能材料已经成为研究结构与性能的关系以及相关应用的非常富有吸引力的体系。包括热稳定性、电子传送特性、激光发射特性、光电导性和光学开关特性在内的多种优势性能的利用必然会成为新一代纳米器件的重要发展趋势，一维纳米材料将会成为常规纳米材料的一大重点。目前，一维纳米材料的新效应和新功能的应用已经成为了当今世界研究的一大热点。

由于近年来纳米材料相关的研究已经成为了世界一大热点，并且取得了许多非凡的成就，也由此衍生出了许多与之相关的领域，一维纳米材料就是其中之一。纳米材料本身就具有一些特殊的电特性，而由于一维纳米材料在一定尺度上的独特的半导体效应，一维纳米材料也成为了电子元器件研究发展的一大重点与前沿方向。这一特性的新的发现与应用或许会成为改变一个产业的契机，对集成电路设计领域产生巨大的冲击。

制备

一维纳米材料主要分为一维纳米金属材料、一维纳米非金属功能材料。根据原料的不同，其制备方法也有很大的不同，主要的有模板法、气固生长法、激光烧蚀法、蒸发冷却法等。一维金属纳米功能材料主要使用模板法、软溶液法等。一维非金属纳米材料有半导体材料和其他材料如碳纳米管等，半导体材料使用激光烧蚀法，而其他材料则经常使用生长法。相比于传统材料领域，这些制备的方法都对设备、环境有较高的要求，很难做到传统材料一样大规模的生产应用。

现在的一维纳米材料，乃至更大范畴的纳米材料的实际应用仍然更多的处于研究与理论中，还需要更多的人来对这一具有特殊性质材料进行研究，以更好地利用这些有与常规材料不同的特殊性能的材料。对于这一类材料的制备，也需要进行进一步的研究，需要更具普适性、更适于大规模生产的方法。一维纳米材料的很多机理目前对于人类来说都是未知的，还需要更进一

步的研究它的生长、性质。对于一维材料，还需要提升材料的质量，提升材料在实际生产过程中的便利性以及制备得到材料的长度，性能。

检测与表征

由于这些材料的纳米尺度，使得这些材料的检测、表征也变得困难，尤其是在受到传统材料检测应用的固有思维的影响下。对于这一类突破常规的材料，如何有效直观地进行检测还是一个亟待解决的问题。只有在充分了解材料性能与特性地情况下，才能开发出有效利用新材料解决目前传统材料种种局限的新材料、新应用。

结论

不管是纳米材料还是纳米材料的一个小分类的一个一维纳米材料，都有着相当远大的前景，作为一个突破常规材料尺寸的材料种类，目前已经有了许多在医疗、电气、传感器等方面的应用，有了许多的研究，甚至对于目前材料所无法解决的难题都会有解决的办法，或者是对解决这些问题新的启发。新兴的纳米材料虽然有了很多的研究，但是如何更好地应用还是一个急需解决的问题。目前制备的一维纳米材料基本都还停留在实验室的产品，距离实际应用还有很长的路要走。新兴材料的研究与制备始终是材料科技发展的动力与推动其他科技发展的推动力。

出处：

刘海峰, 彭同江, 孙红娟,等. 一维纳米功能材料研究新进展[J]. 化工新型材料, 2007, 35(4):1-3.

石炜昂 小论文 碳纳米管复合材料的制备及其性能

出处【吴玉程, 刘晓璐, 叶敏,等. 碳纳米管负载纳米 TiO₂ 复合材料的制备及其性能[J]. 物理化学学报, 2008, 24(1):97-102.】

标题

原来的 碳纳米管负载纳米 TiO₂ 复合材料的制备及其性能

改写的 碳纳米管负载纳米 TiO₂ 复合材料的制备及其光催化性能

摘要

原来的

采用溶胶-凝胶法,以钛酸丁酯为原料,将纳米 TiO₂ 负载在碳纳米管 (CNTs) 表面,制备了 CNT-TiO₂ 光催化复合材料.通过 X 射线衍射 (XRD)、透射电子显微镜 (TEM) 等手段研究了复合颗粒的形态结构及包覆情况,通过 UV-Vis 漫反射谱分析比较了纯 TiO₂ 和 CNT-TiO₂ 的吸光性能,并研究了不同温度热处理的 CNT-TiO₂ 光催化剂在紫外光照射下对甲基橙光催化降解的性能.结果表明,纳米 TiO₂ 颗粒以锐钛矿相存在,紧密地包附在碳纳米管的管壁上,CNT-TiO₂ 在紫外-可见光波长范围内均有较好的吸光性能,450℃热处理后的复合光催化剂 CNT-TiO₂ 比纯 TiO₂ 对甲基橙光降解有更高的光催化活性.

改写的 (按照 Why, What, How, What (results))

在众多光催化剂中,TiO₂ 以其活性高、热性能好、持续性长、价格便宜、无毒无害等特性而备受人们青睐.如何制备既保持高的催化活性又能在不同材料表面均匀牢固负载的催化剂,是当前光催化剂研究的重点之一.(Why) 纳米 TiO₂ 颗粒以锐钛矿相存在,紧密地包附在碳纳米管的管壁上.(What) 采用溶胶-凝胶法,以钛酸丁酯为原料,将纳米 TiO₂ 负载在碳纳米管(CNTs)表面,制备了 CNT-TiO₂ 光催化复合材料.研究了复合颗粒的形态结构及包覆情况,并研究了不同温度热处理的 CNT-TiO₂ 光催化剂在紫外光照射下对甲基橙光催化降解的性能.(How) CNT-TiO₂ 在紫外-可见光波长范围内均有较好的吸光性能,450℃热处理后的复合光催化剂 CNT-TiO₂ 比纯 TiO₂ 对甲基橙光降解有更高的光催化活性.(What results)

前言和绪论

why? 为什么要做?

碳纳米管 (CNTs) 具有特殊的比表面积和空隙结构,其表面的键态和电子态与颗粒内部的键态和电子态不同.碳纳米管表面的原子配位不全,会导致表面的活性位置增加,使其对有机物具有一定的降解性能,为其作为催化剂提供了基本条件.以碳纳米管作为 TiO₂ 的载体主要有三个方面优点:一是增大反应速率;二是对决定反应路径具有优良的选择性;三是降低反应温度.

who、when & where? 有什么人在这之前做了什么东西?

Seeger 和 Hernadi 等将 SiO_2 、 Al_2O_3 等无机物负载到碳纳米管上;Jitianu 等研究了分别以 $\text{Ti}(\text{OEt})_4$ 、 $\text{Ti}(\text{OPri})_4$ 和 TiOSO_4 为前驱体将 TiO_2 负载到碳纳米管的制备工艺并进行了比较.

what? 总结一下我们在这篇文章的贡献

本文采用溶胶-凝胶法制备了 CNT- TiO_2 复合材料催化剂, 以透射电子显微镜、扫描电子显微镜、X 射线衍射、UV-Vis 漫反射谱等技术, 对 CNT- TiO_2 复合材料进行结构表征, 并以甲基橙为目标降解物考察了其光催化性能.

实验

方法 (怎么做的)

制备所需物质的配比为 $n(\text{Ti}(\text{OBu})_4) : n(\text{EtOH}) : n(\text{H}_2\text{O}) : n(\text{HNO}_3) = 1 : 18 : 3 : 0.15$. 准确量取一定量的钛酸丁酯, 溶于无水乙醇中 (体积为所需体积的三分之二), 按 $n(\text{Ti}(\text{OBu})_4) : n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1 : 0.3$ 加入冰醋酸作为抑制剂, 延缓钛酸丁酯的强烈水解, 搅拌 0.5 h 得透明溶液 A.

取预处理后的碳纳米管, 以聚乙二醇作为表面活性剂, 超声分散 1 h 后, 加入到硝酸-蒸馏水-无水乙醇 (无水乙醇的体积为所需体积的三分之一) 的混合溶液中, 得到溶液 B.

在强烈搅拌下, 将溶液 A 缓慢滴加到溶液 B 中, 调节溶液 pH 值为 3.0, 室温下反应 2-3 h, 将反应产物离心分离, 用蒸馏水反复清洗, 烘干, 研磨, 再分别在 150、300、450、600 和 750°C 下焙烧 2 h, 即得 CNT- TiO_2 复合材料

表征 (怎么测的)

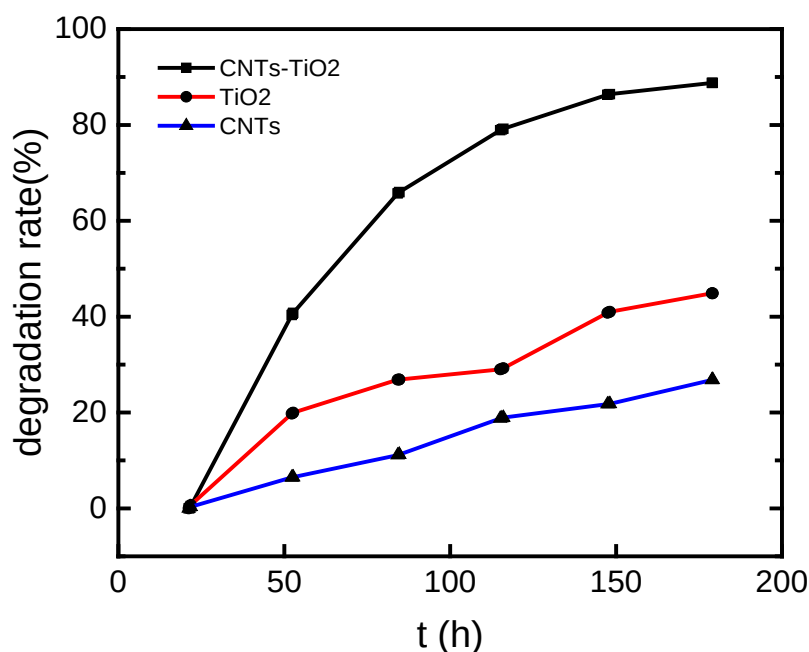
将负载后的催化剂准确称量, 放入体积比为 1 : 1 的硫酸铵和浓硫酸混合溶液中, 加热至沸腾, 定容用 H_2O_2 显色, 在 $\lambda = 410 \text{ nm}$ 用分光光度法测定溶液吸光率, 根据 Lambert-Beer 公式计算 TiO_2 含量

光催化反应在自制的光催化反应器中进行. 在反应器中加入 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的甲基橙溶液 250 mL, 加入 750 mg 的催化剂, 用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硝酸溶液调节体系的 pH 值为 3.0, 静置 0.5 h 使其充分吸附, 并以此时催化剂溶液的浓度作为初始浓度; 将其在 150 W 紫外线灯 (主波长为 365 nm) 下辐照 3 h (液面与灯的距离为 20 cm), 机械搅拌, 每隔 30 min, 取上层清液, 使用分光光度计测定其吸光度. 低浓度范围内吸光度 (A) 与催化剂溶液的浓度 (C) 之间呈很好的线性关系, 遵守 Lambert-Beer 定律. 以脱色率 (D) 来衡量降解程度 ($\lambda = 464.6 \text{ nm}$)

结果与讨论

将 450°C 焙烧后 CNT- TiO_2 复合材料、CNTs 以及纯 TiO_2 在紫外光下照射 2.5 h 后, 测定其对甲基橙的催化分解的降解率, 结果见图. 从图中可以看出, 复合催化剂和纯 CNTs、粉末状纯 TiO_2 的光催化活性顺序为 $\text{CNT-TiO}_2 > \text{TiO}_2 > \text{CNTs}$. CNT- TiO_2 复合材料的最高降解率为 89.7%.

用量为200 mg时CNTs-TiO₂复合材料、CNTs、纯TiO₂的光催化活性



结论

- (1) 以钛酸丁酯为原料, 碳纳米管为载体, 采用溶胶-凝胶法制备了 CNT-TiO₂复合材料. 制备得到的纳米 TiO₂均匀分散包覆在 CNTs 表面上, 复合材料在紫外-可见光波长范围内均有较强吸收.
- (2) 对不同热处理温度下的 CNT-TiO₂复合材料进行了光降解甲基橙实验, 结果表明, 450C°热处理的复合材料光催化活性比纯 TiO₂更高, 降解甲基橙 2.5 h, 降解率为 89.7%.
- (3) 由于载体碳纳米管特殊的管状结构和较大的比表面积, 具有很好的吸附性能, 使得复合材料周围的待降解溶液的浓度增大, 提高了 TiO₂表面氧与有机物的浓度, 同时碳纳米管本身就具有一定的吸附降解性能, 因而, CNT-TiO₂兼具了载体和 TiO₂二者的优点, 具有更高的催化活性, 并且复合材料稳定、分散性更好.

近半个世纪以来，微电子技术一直沿着 Moore 定律轨道，即主要依靠每三年左右特征线宽缩小约 30%而使芯片集成度翻两番的高速度发展。由于相应的性能价格比的大幅度提升，微电子的上述推进促使电子信息系统的不断更替换代，推动了信息化社会的到来。

纳电子学时代的到来，标志着人类科技水平的又一次大的跨越。科技的进步总是服务于人类社会，纳电子学的突破，标示着一些新机理的器件的诞生，如量子电子器件和分子电子器件。

量子电子器件：MOSFET 尺寸缩小的基本物理限制有二，即量子力学效益和热力学统计起伏效应。当器件的特征尺寸达到与半导体中电子平均波长时，由于量子隧道效应，使 MOSFET 作为开关的功能失效，从而使其不能再成为信息处理芯片的基本单元。量子电子器件是利用量子效应来构筑电子器件的器件总称。因为只有纳米微小结构下才能出现显著的量子效应，所以量子电子器件属于纳器件。

分子电子器件：分子，特别是超大分子的结构尺度在纳米范围，所以运用分子中电子行为组成的分子电子器件是另一类纳电子器件。随分子结构的不同，已经证明有机化合物、聚合物与一般无机晶体一样有绝缘体、半导体和导体之分。有些超分子的基团具有电子施主（D）的特征，另一些则具有受主

（A）的特点，如果在一个分子中把这两个基团用一个具有传输电子能力（通过共价键链）的分子基团（称为桥，B）连接起来，则这个 DBA 分子就将具有和通常的 P N 结一样的单向导电性，从而可以构建电子开关。利用分子结构构筑纳电子器件的优点是有形式十分丰富的分子结构可供选择，利用分子工程来加以实现。另外，分子器件中的电子过程往往与光子过程相结合进行，从而把电子学与光子学密切地结合起来，丰富了电子信息处理的灵活性。

纳电子学在器件级的革命在于，以对电子量子行为的控制替代传统微电子学中对固体中电子作为准粒子的运动的控制，来实现信息处理，可使电子器件优值比之传统微电子极限值再改善数个数量级。同时纳电子器件将为新的信息处理系统，如量子元胞自动机、量子计算机等实现提供基础。

纳电子学时带来的革命性改变可能包括：一，基础电子器件为纳电子器件，器件很可能多样化，包括电子器件与光子器件相结合；二，改集成电路为主导为以集成系统为主导，特别是基于新工作机理的纳系统，纳系统的基本形式也可能不如今日单一；三，芯片的性能价格比、处理能力功耗优值比比之前微电子芯片进一步有数个量级的提升；四，智能信息处理和人类知识处理将轻而易举。同时有两点需要指出：一是微电子随着特征尺寸的不断缩小，一些物理上的基本限制，以 MOSFET 为基本器件的当代微电子发展将受到制约；第二，数字信息技术发展的需要却不断地向微电子芯片提出越来越高的要求：更复杂的功能，更高的处理速率，更低的功耗，更高的集成度。当代的微电子面临出现一次新的变革，这一变革可由器件和系统的创新两方面来推动，而这器件级和系统级的本质变革将导致电子学进入一个新时代——纳电子学时代。

通过对论文的仔细阅读，我发现科技的发展总是一步一个脚印地向前进，成长的过程是缓慢的，无法一步到达目标。就拿最近的“中兴事件”举个例子，中国在高端芯片的领域还落后于美国，长期过分依赖于进口而导致某些时段被“掐脖子”的现象发生。虽然美国已宣布终止对中兴的制裁，但是背后折射出来的问题还是值得我们去深思的。芯片的技术，实际上就是微纳领域的相关技术。我国在本世纪初时，由于生产芯片的设备和原材料的无法解决，导致了我国长期受制于人。现在的中国和那时的中国已是今非昔比了，虽然高端芯片的生产我们还落后，但是我们还有迎头赶上的机会。任何一门科学技术都有着逐渐的成长过程。当然，微纳只是众多学科中的一个小分支，其他学科的科研也具有同样的重要性。

参考文献：

[1]曹来发.中国芯片发展现状(八)[J].科技情报开发与经济,2005(08):1-127.

[2]李志坚.从微电子学到纳电子学——电子科学技术的又一次革命[J].电子世界,2001(10):7-9.

[3]李志坚.从微电子到纳电子[J]. 半导体学报, 2003, 24(s1):1-5.

赵欢帼 小论文 锰的硅化物薄膜在 Si (100) -2X1 表面生长的 STM 研究

1.1 出处

[1] 李玮聪, 邹志强, 王丹, 石高明. 锰的硅化物薄膜在 Si (100)-2×1 表面生长的 STM 研究[J]. 物理学报, 2012, 61 (06) : 391-396.

1.2 标题

原来的：锰的硅化物薄膜在 Si (100) -2X1 表面生长的 STM 研究

改写的：出于实际应用目的的锰的硅化物薄膜的 STM 研究

1.3 摘要

原来的：

锰的硅化物在微电子器件、自旋电子学器件等领域具有良好的应用前景，了解锰的硅化物薄膜在硅表面的生长规律是其走向实际应用的关键步骤之一。本文采用分子束外延方法在 Si (100) -2X1 表面沉积了约 4 个原子层的锰薄膜，并利用超高真空扫描隧道显微镜研究了该薄膜与硅衬底之间在 250-750°C 范围内的固相反应情况。室温下沉积在硅衬底表面的锰原子与衬底不发生反应，薄膜由无序的锰团簇构成；当退火温度高于 290°C 时，锰原子与衬底开始发生反应，生成外形不规则的枝晶状锰硅化物和富锰的三维小岛；325°C 时，衬底上开始形成平板状的 MnSi 状的 MnSi 小岛全部消失，只剩下平板状的 MnSi 大岛。这些结果说明退火温度决定了薄膜的形态和结构。在大约 600°C 退火时岛的尺寸随着退火时间的延长而逐渐增大，表明岛的生长遵从限制的 Ostwald 熟化机理。

改写的：

锰的硅化物在微电子器件等领域有良好的应用前景，本文采用分子束外延方法在 Si (100) -2X1 表面沉积了约 4 个原子层的锰薄膜，利用 STM 研究该薄膜与硅衬底在 250-750°C 范围内的固相反应情况，结果表明退火温度决定了薄膜的形态和结构，在大约 600°C 时，岛的生长遵从限制的 Ostwald 熟化机理。

1.4 前言与绪论

1.4.1 WHY? 为什么要做?

研究锰的硅化物在硅表面的生长规律进而通过对其生长条件的控制来获得这些具有优异特性的硅化物结构,对于微电子器件的应用和进一步发展都有着重要的意义。

1.4.2 WHO、WHEN&WHERE? 有什么人在这之前做了什么东西?

Lian 等将 Si (100) 和 Si (111) 衬底加热到 300°C 并沉积了厚度为 30 nm 的锰,在 300 和 1000°C 通过两步退火法得到了 MnSi_{1.7} 的外延薄膜。Wang 等利用固相外延的方法在 400 和 600°C 退火分别得到了 MnSi 和 MnSi_{1.7} 薄膜并研究不同温度下薄膜的形态变化、生长动力学以及锰与硅共沉积的情况。

Lippitz 等在 Si (100) 表面沉积了 1.5 个原子层 (ML) 的锰并退火,当退火温度低于 450°C 时得到的是无序的团簇,在 450–480°C 得到了 MnSi 和 Mn₅Si₃。

Krause 等在 Si (100) 表面沉积了 0.2 ML 的锰并在 300–700°C 退火,发现硅化物岛的生长过程遵从 Ostwald 熟化机理并计算得到了硅化物岛团聚的激活能。

Wang 等利用分子束外延 (MBE) 方法在 Si (100) 表面沉积了分别含锰 10%, 30% 和 50% 的锰硅薄膜并在 300–600°C 的温度范围内退火,后利用拉曼光谱检测到 MnSi 和 MnSi_{1.73}。任鹏等将 Si (100) 衬底加热至 600°C 并利用分子束外延共蒸发的方法得到了厚度约 80 nm 的 Mn_xSi_{1-x} 薄膜,之后利用 X 射线衍射和 X 射线吸收近边结构方法研究了其成分和结构。

1.4.3 WHAT? 总结一下我们在这篇文章的贡献

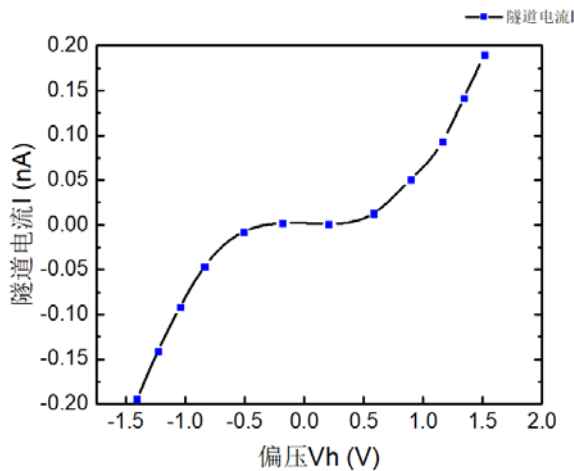
研究这些问题能够帮助我们更好地理解锰的硅化物在硅表面的生长行为,为今后能够可控地制备出各种结构的锰的硅化物提供依据。

1.5 实验

1.5.1 方法 (怎么做的)

本文涉及的实验均在德国 Omicron 公司生产的超高真空分子束外延 (UHV-MBE)-扫描隧道显微镜 (STM) 系统中进行。样品的退火采用了焙烘加热和直流加热两种方式。焙烘是通过样品架底部的钨电阻丝加热烘烤样品,直流方式是在样品两端加一定的电压并通直流使样品温度升高。

分析样品在 525°C 退火时出现的平板状岛的扫描隧道谱，如图 a 所示的 I-V 特性曲线表明这些岛是半导体性的，禁带宽度约为 0.8 eV，该特性与体相的



MnSi_{1.7} 化合物的电学性质相符。

图 a，525°C 退火时衬底表面生产的平板状大岛的 I-V 特性曲线，为多处的平均结果。

1.6.2 讨论

结果一，与之前在 Si (111) - 7 × 7 表面沉积锰的结果有类似之处，即室温下沉积的锰原子与硅衬底不发生反应，仅形成团簇。当沉积的锰原子量超过 1 ML 之后，随着沉积量的增加，锰原子则以层状模式无序地向上堆积。

结果二，这是由于温度的升高使得锰原子有足够的动能来克服相互之间团聚的作用力而向周围扩散，但扩散能力十分有限。

结果三，由此可知，当温度达到 290°C 以上时，锰原子与衬底开始发生反应，坑洞很可能是衬底表面的部分硅原子参与反应并形成小岛以后留下的。

结果四，原子的扩散能力在这个退火温度下进一步提高，原子得以沿着枝晶状结构的边缘扩散，形成大量具有规则外形的小岛。

结果五，这很可能意味着三维小岛在这个温度不能稳定存在而部分发生了分解，释放出的原子再次发生形核，并长大形成尺寸较大的平板状岛。

结果六，这是高温退火过程中原子发生了热脱附的结果。

我们认为这些较大尺寸的平板状岛为 $\text{MnSi}_{1.7}$ 相，其在 $\text{Si}(100)$ 表面形成的温度约为 525°C ，与之前的研究结果一致。对于三维小岛，其大量出现的温度为 350°C ，而此时硅原子的扩散能力很弱，所以它们应该是富锰相。此外，三维小岛的外形与 Lippitz 等得到的 Mn_5Si_3 岛的外形基本相似，并且在 525°C 以上退火时小岛发生分解而逐渐消失。因此我们认为这些三维小岛很可能是 Mn_5Si_3 相。

1.7 结论

锰的硅化物薄膜在 $\text{Si}(100) - 2\times 1$ 表面固相反应生长的过程中，薄膜的形态和结构会随着退火温度的升高而发生转变。在室温至 250°C 的温度范围内，薄膜是由无序分布的锰团簇构成；当退火温度高于 290°C 时，锰原子与衬底表面的硅原子开始发生反应，生成枝晶状的锰硅化物和富锰的三维小岛； 325°C 时开始形成平板状的 MnSi 小岛，其数量随着退火温度的进一步升高而增加；当退火温度高于 525°C 时，富锰的三维小岛和平板状的 MnSi 小岛逐渐消失，但有平板状的 $\text{MnSi}_{1.7}$ 大岛生成。在该过程中，岛的长大符合扩散限制的 Ostwald 熟化机理。

WHY 为什么要微纳

why 这个标题的意思是指《微纳工程学》存在的必要性，直白的意思，就是围绕微纳工程学的应用前景进行的调研工作。这是每个人的分工

517021910167	颜畅	女	2017	Why
517021910185	向思磊	男	2017	
517021910207	邱致远	男	2017	
517021910244	朱浩然	男	2017	
517021910289	李泽	男	2017	

其中颜畅是组长，负责整个工作的整合。

目录1

颜畅 大论文 纳米技术及纳米材料在环境治理中的应用3

颜畅 小论文 纳米钨酸铋光催化剂合成及在环境净化领域应用5

向思磊 大论文 读纳米技术在医学领域的应用有感9

向思磊 小论文 纳米载体的合成及其药物释放 11

邱致远 大论文 读《纳米磁性材料及其应用》有感 14

邱致远 小论文 Fe₃O₄ 复合纳米磁性材料 16

朱浩然 大论文 纳米粒子技术在军事领域的应用 20

朱浩然 小论文 纳米隐身材料涂层对飞机生存能力的作用 22

李泽 大论文 关于《纳米材料在催化领域中的应用》读后感 26

李泽 小论文 纳米催化材料 28

纳米技术与纳米材料诞生以来二十余年，寄托了科学家极大的期望。我国著名科学家钱学森说，纳米科技将会带来一次新技术革命。纳米技术与纳米材料领域取得的巨大成就已经影响并渗透到了各个领域。对于环境领域，纳米技术与纳米材料在资源持续利用、汽车尾气的净化、污水的处理以及噪声的控制等方面的应用正取得突破性的进展。本文主要介绍了纳米技术和纳米材料分别在水污染治理、大气污染治理与固体废物处理方面的应用。

纳米技术和纳米材料在水污染治理中的应用体现在有机废水的处理和无机废水的处理两个方面。

对于有机废水，应用纳米光催化技术能有效解决治理高浓度有机废水的问题。当前使用的催化剂主要有 TiO_2 ，但其仍存在许多缺陷，比如因为 TiO_2 的电子能级较高，需要高频光才能激发，在废水处理时，需要大功率的高压汞灯，设备昂贵、耗能，对人体有害；而表面活性很强的纳米 TiO_2 不但具有巨大的表面积，可将有机物最大限度地吸附在其表面，同时，该材料具有更强的紫外光吸收能力，因而具有更强的光催化降解能力，因此可以利用更经济的太阳辐射源来代替紫外汞灯电源。利用纳米 TiO_2 进行催化降解的技术可以根本解决有机磷农药的污染问题、处理毛纺染料废水、有机溴杀虫剂等，具有省资、高效、节能，最终能使有机物完全矿化、不存在二次污染等特点，具有良好的应用前景。

另外还可采用以代替 TiO_2 的低能级并具有光催化特性的物质有： Cu_2O 、 CuFeO_2 ；其他具有催化降解有机污染物的物质有：稀土钙钛矿型复合氧化物 ABO_3 和天津大学制备的纳米级 $\text{SrFeO}_{3-\lambda}$ 悬浮体等。

目前我国已将纳米技术成功用于城市污水和工业废水的处理，如湖南研制成功的“Z氏法”污水处理技术形成了一个成功的污水处理体系，天津大学北洋科技公司将将絮凝过滤技术应用于纳滤的预处理中并建立微絮凝过滤~吸附~紫外线消毒等的组合处理工艺，可得到高质量的纯净水。

对于无机污染废水的处理，可通过利用光催化氧化或无害无毒的化合物转化来完成，也可以通过光催化作用去除。通过纳米粒子的光催化作用，可以将许多的有毒水污染物完全矿物化或氧化成无害的最终化合物。

纳米技术和纳米材料在大气污染治理的应用分为在空气净化和噪声控制及防止电磁辐射两方面的应用。

纳米技术和纳米材料在空气净化方面的应用，分别从处理燃料油燃烧产生的含硫污染物、汽车尾气中的污染性气体以及室内空气净化三方面进行。

其中，为了减少含硫污染物的产生，石油提炼工业中有一道降低硫含量的脱硫工艺，使用的催化剂有石油脱硫催化剂，如纳米钛酸钴(CoTiO_3)及钛酸锌(ZnTiO_3)粉体、纳米级助燃催化剂。后者不仅可以使煤充分燃烧，提高能源利用率；而且会使硫转化成固体的硫化物，

不产生二氧化硫气体，从而杜绝有害气体的产生。北京大学博雅公司利用纳米技术研制开发出NANO牌纳米燃油添加剂，可以全面解决辛烷值强化剂、清净剂和节油添加剂所单独解决的问题，还可以整体改善发动机的性能，是一种全新概念的具有综合性能的第四代环保型燃油添加剂。

对汽车尾气的净化可以通过用纳米复合材料制备与组装的汽车尾气传感器通过汽车尾气排放的监控，可及时对超标排放进行报警，并调整合适的空燃比，减少富油燃烧。达到降低有害气体排放和燃油消耗的目的。一些催化剂如 TiO_2 光催化剂、纳米稀土钛矿型复合氧化物 ABO_3 等可以催化转化排放的 NO 、 CO 和 HC ；有极强的氧化还原性能的复合稀土化物的纳米粉体的应用可以彻底解决汽车尾气中一氧化碳和氮氧化物(NO_x)的污染问题；而更新一代的纳米催化剂，将在汽车发动机汽缸里发挥催化作用，使汽油在燃烧时就不产生 CO 和 NO ，无需进行尾气净化处理。

对于新装修房间中高浓度有机物如甲醛、甲苯等的处理，也可以利用光催化剂进行降解。其中以纳米 TiO_2 的降解效果最好。且用纳米 TiO_2 的光催化性能不仅能杀死环境中的细菌，而且能同时降解由细菌释放出的有毒复合物，由此又有用于医疗或制成抑菌防臭的高级纺织品、衣服、围裙及鞋袜等含有超细等微粉的抗菌除臭纤维开发成果。

对于去除飞机、车辆、船舶等主机工作时的噪声，可通过将机器设备纳米技术微型化以减少噪声产生和在墙体内加入纳米材料层或涂上纳米涂料两种途径来解决问题。纳米材料 TiO_2 或表面包裹 SnO_2 或 SnO (含 PbO)的 TiO_2 加入导电粉末、树脂等中，可以使材料的性能更加优质。此外，以纳米 TiO_2 为代表的纳米微粒在防紫外线方面也有较大的应用前景，由此可制成特殊防紫外线产品如汽车、轮船面漆的防老剂和防紫外线伞等。其他的纳米材料还有：蒙脱土纳米纤维、纳米 ZnO 。

纳米技术及纳米材料应用于城市固体垃圾处理，主要表现在两个方面：一方面是可以将橡胶制品、塑料制品、废印刷电路板等制成超微粉末，除去其中的异物，成为再生原料回收；另一方面，利用纳米 TiO_2 催化技术可以使城市垃圾快速降解，其速度是大颗粒 TiO_2 的10倍以上，从而可以缓解大量城市垃圾给城市环境带来的压力。

通过本文我们可以看出，纳米材料与纳米技术在我国环境治理方面的研究与应用呈现欣欣向荣、不断进步的状态，从废水、空气污染、固体垃圾各个方面改善了城市的污染状况。可以预见，随着科研人员在微纳领域探索更多的发现、做出更多的成就，纳米材料和纳米技术将不仅在环境治理，而且渗透进人们生活的方方面面，为改善人类生活、促进人类社会进步起到极其重要的作用。

0.出处和标题

0.1 出处

【朱永法, 付洪波. 纳米钨酸铋光催化剂合成及在环境净化领域应用[C]// 全国环境催化与环境材料学术会议. 2005.】

0.2 标题

原来的：纳米钨酸铋光催化剂合成及在环境净化领域应用

改写的：用水热法合成纳米钨酸铋光催化剂及在环境净化领域应用

1.摘要、前言和绪论

1.1 摘要

1.1.1 原摘要

本世纪以来,纳米技术的高速发展,为半导体光催化技术的研究提供了极好的机遇;尤其是在环境与能源问题上,以纳米半导体氧化物为载体的多相光催化过程和室温深度反应,以及基于可见光驱动的氧化还原反应为独特性能的纳米光催化技术将是一种理想的、有广泛应用前景的环境污染治理与修复手段。本文采用低成本的、易于控制的水热合成法,合成了一系列的具有片状结构的纳米 Bi_2WO_6 ;光化学实验表明,该催化剂能够在可见光下有效降解有机污染物。

1.1.2 新摘要

Why：本世纪以来,纳米技术的高速发展,为半导体光催化技术的研究提供了极好的机遇;尤其是在环境与能源问题上,一种理想的环境污染治理与修复手段有广泛应用前景,

What：即以纳米半导体氧化物为载体的多相光催化过程和室温深度反应,以及基于可见光驱动的氧化还原反应为独特性能的纳米光催化技术。

How : 本文采用低成本的、易于控制的水热合成法,合成了一系列的具有片状结构的纳米 Bi_2WO_6 。

What : 光化学实验表明,该催化剂能够在可见光下有效降解有机污染物。

1.2 前言和绪论

1.2.1 WHY ? 为什么要做 ?

光催化剂,尤其是那些在可见光下具有较高光催化活性并表现出优秀稳定性的催化剂,一直被认为是在太阳能转换和水污染物处理应用中最有前途的一种材料。 Bi_2WO_6 的光催化活性高是因为它本身具有特殊的层状结构,窄的禁带宽度,能充分利用太阳光,特别是可以利用可见光,大大增加了对太阳光的利用率。

1.2.2 WHO、WHEN & WHERE ? 有什么人在这之前做了什么东西 ?

自从 1972 年, Fujishima 和 Honda 研究发现当单晶 TiO_2 作阳极, Pt 作阴极在可见光照射下可以将水分解为氢气和氧气以来,广大科学工作者就开始广泛关注利用太阳能进行光催化作用方面的研究。1999 年, Akihiko Kudo 和 Statoshi Hiji 报道了 Bi_2WO_6 的可见光催化活性,近年来, Bi_2WO_6 的可见光催化特性的研究已经取得了许多进展,光催化活性也得到了很大提高。

1.2.3 WHAT ? 总结一下我们在这篇文章的贡献

目前为止, Bi_2WO_6 的制备方法有多种,如液相沉淀法、微波水热法、超声合成法、水热法、高温固相法等等。本文采用低成本的、易于控制的水热合成法,合成了一系列的具有片状结构的纳米 Bi_2WO_6 。

2.实验部分

2.1 实验原理

Bi_2WO_6 二元氧化物是一类被广泛研究的功能材料,在铁磁材料、离子半导体、电光和介电等领域有着诸多的应用。 Bi_2WO_6 晶体隶属于斜方晶系,具有类似于 Bi_2O_3 的结构,沿C轴方向,Bi和O原子夹于两层Wo中,为典型的层状钙钛矿构型。已有研究报道,这种层状结构多元氧化物往往具有较高光催化活性,某些材料的光量子效率甚至高于 TiO_2 。人们推测具有此类结构的光催化材料的层间空间能够形成催化反应的活化点,而夹层成为受体接纳光生电子,从而抑制光生空穴-电子对的复合。使其光量子效率大大提高。分析

Bi₂WO₆的电子结构可以发现, 由于Bi原子是d轨道全满(d¹⁰) 的过渡金属离子, 其禁带宽度是由O的2p能级和Bi的6s能级共同决定的。相对于TiO₂(~3.2 eV) 而言, Bi₂WO₆由于其杂化能级而具有较窄的禁带宽度(~2.7eV), 因而在可见光作用下, 电子能够被激发, 形成电子-空穴对而表现出光催化活性。

2.2 实验方法和表征

纳米 Bi₂WO₆采用水热法合成:在烧杯中将 0.485gBi(NO₃)·5H₂O,0.125H₂WO₄和 0.28gKOH 混合,加入 9ml 去离子水,搅拌形成均匀的沉淀,转移至水热釜在一定的温度下水热反应一定时间。然后将生成的沉淀洗涤、真空干燥,收集贮存。在典型条件下制备的样品呈规则片状晶体,晶体尺寸在 50-100nm 之间。从紫外可见漫反射光谱可以发现,纳米 Bi₂WO₆光吸收一直延展到可见光区域,禁带宽度估计为 2.7eV。

以 500W 的氙灯为光源,采用 400nm 的滤波片滤去紫外光,平均光密度是 20mW·cm⁻²以罗丹明 B 为目标污染物,进行光化学实验。

3.结果与讨论

3.1 重要的曲线

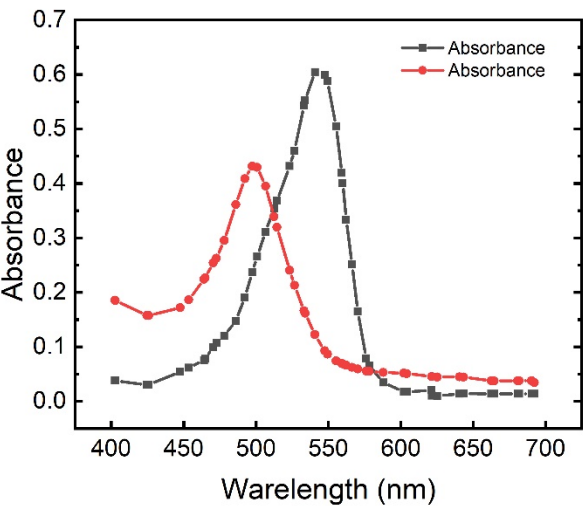


Figure2. UV-visible spectral changes of RhB (1×10⁻⁵ ml⁻¹) in aqueous Bi₂WO₆ dispersions as a function of irradiation time. pH=7.5, 7> 400nm

向思磊 大论文 读纳米技术在医学领域的应用有感

1 纳米相关知识

纳米是一个微小的尺度单位,纳米是十亿分之一米($10^{-9}m$), 大约是单个原子直径的 4 倍,通过对在纳米尺度上新现象、新过程的观察,纳米技术为人们提供了许多性能独特的工具、材料、器件和系统。当前纳米技术的研究正快速地从观察和发现向设计和制造复杂的纳米尺度集合体转变。纳米技术的研究具有系统性, 纳米技术也是基于多学科的发展基础之上的。它具有巨大的潜能, 有望取代现有的大多数技术, 创造新的工业生产方式, 并在能源、环境、通信、计算、医药、空间探索、国家安全以及一切基于材料的领域中改变基础的科学模型。

我们知道, 细胞具有微米 ($10^{-6}m$) 量级的空间尺度, 生物大分子具有纳米量级的空间尺度。在这两者之间的层次则是亚细胞结构, 具有几十到几百纳米量级的空间尺度。显然, 在纳米水平上研究生命现象的纳米生物学, 它的研究对象就是亚细胞结构和生物大分子体系。由于纳米微粒的尺寸比一般生物体内的细胞小得多, 这就为生物学研究提供了一个新的研究途径: 利用纳米微粒进行细胞分离、疾病诊断, 利用纳米微粒制成特殊药物或新型抗体进行局部定向治疗等。

2 发展需要

随着当今世界人们的生活水平不断地提高, 当今人们将更多的目光投向了自身的健康, 这也极大的促进了现代医学的发展。近十年以来, 纳米材料、纳米技术在医学领域方面得到了广泛的应用。特别是在基础医学、药理学、临床医学和预防医学等方面, 纳米材料作用的发挥都不容忽视。

3 纳米技术在医药领域的应用

在医药领域, 纳米级粒子使药物在人体内的传输更为方便, 纳米粒子包裹的智能药物进入人体后, 可主动搜索并攻击癌细胞或修补损伤组织。在人工器官移植领域, 在人工器官外面涂上纳米粒子, 就可预防人工器官移植的排异反应。在医学检验学领域, 使和纳米技术的新型诊断仪器, 只需检测少量血液, 就能过其中蛋白质和 DNA (脱氧核糖核酸) 诊断出各种疾病。在膜技术方面, 用纳米材料制成独特的纳米膜, 能过滤、筛去制剂的有害成分, 消除因药剂产生独特的污染, 从而保护人体。在抗癌的治疗手段方面, 德国一家医院的研究人员将一些极其细小的氧化铁纳米颗粒, 注入患者的肿瘤里, 然后将患者置于可变的磁声中, 使患者肿瘤里的氧化铁纳米颗粒升温到 $45\sim 47^{\circ}C$, 这么高的温度足以烧毁肿瘤细胞, 而周围健康组织不会受到伤害。

有机药物经纳米化可提高其生物利用率及制剂的均匀性、分散性和吸收性。纳米药物载体的发展, 为现代给药系统 (DDS) 的研究提供了新途径, 对现代药剂学的发展提出了更高、更新的要求。发展纳米药物存储器 (药泵): 用于存储、运输指定的药物, 并按指定的部位存放, 即定点给药, 其体积可达数个微米; 制造纳米生物导弹: 直接用于治疗各种细胞水平的疾病, 对病变组织有亲和力, 对病变细胞有杀伤力, 可特异性地杀灭肿瘤细胞; 将单克隆抗体共价交联或吸附到纳米粒表面形成具有免疫活性的纳米粒的研究, 也取得了令人鼓舞的体外试验结果。

4 纳米生物技术及纳米药物载体

在最近的十年中，随着纳米材料在癌症治疗、细胞显影和疾病检测方面的应用，由此诞生了一个新的领域——纳米生物技术。纳米生物技术是指在纳米尺度上认识生物分子的精细结构和功能之间的联系，并在此基础上按研究者的意愿组合、装配，创造出满足人们意愿并行使特定功能的生物纳米机器。纳米生物技术是生物技术领域的前沿和热点问题，在医药卫生领域有着广泛的应用和明确的产业化前影，将在疾病诊断、治疗和卫生保健方面发挥重要作用。

纳米药物载体的研究方向是向智能化进行，研究制备纳米级载体与具有特异性的药物相结合以得到具有自动靶向和定量定时释药的纳米智能药物，以解决重大疾病的诊断和治疗。

5 发展与展望

随着科学技术的发展，材料学和生物医学的结合越来越紧密，纳米材料在生物应用上已经取得了很大的成就，并展现出良好的发展势头和巨大的发展潜力。但是我们还应该看到，在这个领域的很多方面的发展还不完善，应用还不安全，有待我们进一步研究。比如在纳米载体方面，在其充分安全、有效进入临床应用前，如何得到更可靠的纳米载体，更准确的靶向物质，更有效的治疗药物，更灵敏、操作性更方便的传感器，以及体内载体作用机制动态测试与分析方法等一系列问题仍待进一步研究解决。

纳米技术与生物医学的结合，为医学界提供了全新的思路，纳米材料在医学领域的应用取得了显著的效果。但纳米材料应用还很有限，尤其是在生物医学上面，目前大多数的研究都还处于动物实验阶段，还需大量的临床试验予以验证，纳米应用的生物安全性有待进一步提高。因此，笔者认为，在 21 世纪纳米材料在生物医学方面发展会有所加强，它的巨大的应用潜力，将成为今后一段时间的研究热点。

我们有理由相信，随着纳米生物技术的发展，纳米材料在生物医学领域更广泛的应用。我们将可以制备出更为理想的具有智能效果的纳米药物载体，而临床医疗将会变得节奏更快，效率更高，诊断、检查更准确，治疗更有效。人类重大疾病的诊断、治疗和预防等问题将得到有效的解决，人们的生命安全将得到更大的保障。

向思磊 小论文 纳米载体的合成及其药物释放

出处

【唐冠鑫, 彭红霞, 胡传跃,等. 核-隔层-壳结构 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{MoO}_3/\text{mSiO}_2$ 纳米载体的合成及其药物可控释放[J]. 无机化学学报, 2018(2):337-345.】

标题

原来的：核-隔层-壳结构 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{MoO}_3 \cdot \text{mSiO}_2$ 纳米载体的合成及其药物的可控释放

改写的：一种具有微波热响应性的核-隔层-壳结构 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{MoO}_3 \cdot \text{mSiO}_2$ 纳米载体的合成及其药物的微波可控释放

摘要

原来的：

利用加热均匀、迅速、热平稳性好和安全性高的微波热响应来实现药物的微波可控释放。引入具有微波热响应性质、热稳定性和化学稳定性好的 MoO_3 作为微波吸收物质，制备了核-隔层-壳结构 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{MoO}_3 \cdot \text{mSiO}_2$ 纳米药物载体。研究该纳米载体对药物布洛芬(IBU)的负载和微波响应可控释放过程。该纳米载体具有高的比表面积($222 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)和较大的孔隙体积($0.14 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)可用来负载药物。同时还具有较好的磁响应性，可实现药物的靶向给药，具有相对好的微波热响应性，可通过 MoO_3 中间层吸收微波辐射实现药物的可控释放。结果表明，在持续微波辐射 360 min 时 IBU 的释放率达到 86%，远远高于仅搅拌时的释放率。

改写的：

制备具有良好的微波热响应性质、热稳定性和化学稳定性的核-隔层-壳结构 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{MoO}_3 \cdot \text{mSiO}_2$ 纳米药物载体来实现药物的微波可控释放。研究该纳米载体对药物布洛芬(IBU)的负载和微波响应可控释放过程。该纳米载体具有高的比表面积($222 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)和较大的孔隙体积($0.14 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)可用来负载药物。同时还具有较好的磁响应性，可实现药物的靶向给药，具有相对好的微波热响应性，可通过 MoO_3 中间层吸收微波辐射实现药物的可控释放。结果表明，在持续微波辐射 360 min 时 IBU 的释放率达到 86%，远远高于仅搅拌时的释放率。

0 前言和绪论

0.1 WHY？为什么要做？

以 Fe_3O_4 为核的“核-壳”结构纳米载体在靶向可控给药方面的研究领域已经成为国际热点问题之一。

0.2 WHO、WHEN & WHERE？有什么人在这之前做了什么东西？

具有靶向可控释放药物特性的纳米载体可以克服药物溶解性差、稳定性不好、代谢迅速等传统用药存在的问题，特别是在解决药物缺乏靶向选择性方面取得很好的效果。

介孔二氧化硅纳米颗粒由于其较高的比表面积、可调节的孔径大小、低毒性、可生物降解性等，近年来在药物输送方面已成为最具有潜在应用前景的载体之一。例如，Qiu 等合成了二氧化硅包覆 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{ZnO}$ 的多功能纳米粒子并研究了其作为生物载体的性能。并且一定的研究表明 MoO_3 纳米材料相比较于 ZnO 和 TiO_2 来说具有更好的微波热响应性。

0.3 WHAT？总结一下我们在这篇文章的贡献

因此，制备了核-隔层-壳结构 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{MoO}_3 \cdot \text{mSiO}_2$ 纳米药物载体。该载体的介孔二氧化硅壳层为载药层来提高药物的负载率。把磁性 Fe_3O_4 和具有微波吸收性能的 MoO_3 纳米颗粒结合，同时赋予纳米载体磁靶向性和微波可控释放的性能。

1 实验

1.1 主要试剂

实验所需药品有: 氨水、浓硝酸、氢氧化钠、十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)、三氯化铁($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 99.0%)、钼酸铵($(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$, 99.0%)、乙酸(CH_3COOH , 99.0%)、聚乙二醇(分子量 6000)、实验用水为去离子水。

1.2 实验方法

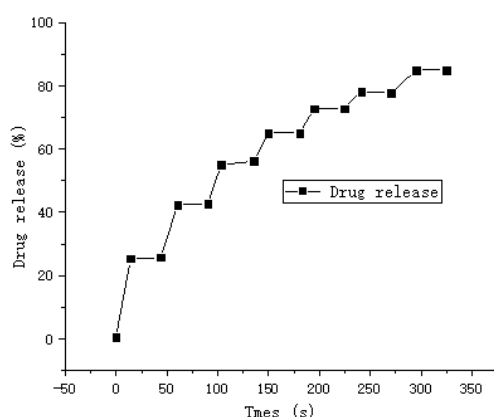
本实验主要分为磁性 Fe_3O_4 纳米颗粒的制备、 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{MoO}_3$ 纳米颗粒的制备、 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{MoO}_3 \cdot \text{mSiO}_2$ 纳米载体的制备、纳米载体的载药过程、药物释放过程这五个过程。

其中, 药物 IBU 的释放实验是在生理盐水中进行, 为了研究微波辐射对药物释放率的影响, 我们固定溶液的条件为 37°C 和 $\text{pH}=7.0$, 所采用的微波照射频率为 2.45 GHz。

1.3 表征

用多晶粉末 X 射线衍射 (XRD) 仪进行分析, 采用环境扫描电镜(FESEM, 200 kV)和透射电镜观察粒子的形貌和尺寸。MCR-3 微波化学反应器观察载体的微波热转化效率。采用红外光谱仪对样品进行红外光谱的测试。用表面吸附仪(TR2Star 3020)在液氮湿度下(77 K)测试样品的氮气吸附与解吸附过程。用紫外-可见分光光度计进行药物的负载和释放过程的紫外-可见光谱的测试。用超导量子干涉磁测量系统(SQUID)对样品的磁学性能进行测试。

1.4 主要实验数据



微波照射和搅拌下 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{MoO}_3 \cdot \text{mSiO}_2$ -IBU 对药物 IBU 的可控释放行为

2 结果与讨论

在实验初始阶段, 对 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{MoO}_3 \cdot \text{mSiO}_2$ -IBU 溶液进行首次辐射 15 s 后, 大约有 26% 的 IBU 分子被释放出来, 但是, 当停止微波辐射仅进行 30 min 搅拌, 只有大约 2% 的 IBU 分子被释放出来, 远远小于微波辐射时的药物释放率。结果表明, 负载了 IBU 分子的纳米颗粒在微波照射下会快速的释放出 IBU 分子, 证明微波在药物的释放过程中起到了促进药物释放的作用。并且负载了药物之后的纳米颗粒可以通过调节微波辐射的开/关状态来精确的控制药物的释放。

随着体系药物释放时间的延长, 药物的释放曲线趋于平坦, 经过了 7 个循环后药物 IBU 分子的释放率约为 86%。但是, 在该释放过程中, 可通过调节微波辐射的时间和有微波辐射实现药物释放的精确控制。这有可能是因为微波热效应与微波辐射时间有关系, 随着辐射时间的延长微波热效应增强, 同时样品的温度也会升高。因此, 药物 IBU 分子的累积释放率随着微波辐射时间的延长而增大。这就表明, 可以通过微波照射实现药物的可控释放, 而且以 MoO_3 为微波吸收

于有限尺寸中寻无限空间 ——读《纳米磁性材料及其应用》有感

纳米磁性材料的研究和应用始于 20 世纪 50 年代。所谓纳米磁性材料，是指材料尺寸限度在纳米级，通常在 1-100nm 的固体或液体磁性材料。由于纳米材料的小尺寸效应、表面效应、量子尺寸效应等，其在磁、光、电等方面都呈现出常规材料不具备的特性²。换句话说，纳米材料能够在纳米领域大放异彩，与其尺寸和很多与磁性相关的物理特征长度相仿有很大关系，这一特性使得磁性材料在小的尺度里却能达到巨大的效果，甚至获得很多反常的磁性特征。而这些与众不同的特性，使其为信息化产业、医疗器械等等的发展和创新做出巨大贡献。

目前，纳米磁性材料分为纳米微晶材料、纳米微粒材料、纳米结构材料等等。这些材料虽有不同，但核心的设计焦点都在使其尺寸与一些物理特征长度相仿，例如电子平均自由路程、交换作用长度等等，以此来激发纳米级材料与其他材料不同的特性。这一研究的途径和切入点给了我一些启示：一直以为在科研或研制新材料的过程中，科学家都是漫无目的的尝试和摸索。而在纳米磁性材料和研制中，显然一些微观物理特征长度与纳米材料的尺寸有紧密的联系，这启示我在科学探索的过程中，既要有无限尝试的耐心和勇气，更要有推测的凭据和利用已知探索未知的思维方式。

纳米磁性材料有其与众不同的优势。其优势一方面表现在承载信息量大，一方面表现在其形状和尺寸可控制得尽量小。在信息产业飞速发展的时代，人们总是要求在信息容量尽量大的前提下，承载信息的载体尽量小、轻便，这样才能给日常的生产生活带来便利，因此，纳米磁性材料应运而生，试图解决材料的尺寸与信息承载能力之间的矛盾。

在磁性材料的领域中，一项吸引我的技术是磁性纳米微粒材料中的磁性液体材料。1963 年，美国国家航空与航天局的帕彭首先采用油酸为表面活性剂，把它包覆在超细的 Fe_3O_4 微颗粒上，并高度弥散于基液中，形成稳定的胶体体系。具有磁性的纳米微粒弥散在基液中形成磁性液体，这样的材料既具有液体的流动性又具有固体磁性材料的磁性，打破了固体与液体间的隔阂，不仅达到了磁性材料高记录密度的特性需求，更在密封、减震等领域有强大的优势。相关的应用有很多：人们利用液体磁性材料中的超微粒，制作高记录密度的记录材料。将磁性液体约束在磁场之中形成了磁性液体的“O”形环，可进行真空、加压、封水、封油等情况下的动态密封，具有无泄露、无磨损、自润滑和寿命长等特点。20 世纪 60 年代，利用磁性液体材料的密封特性，在宇航服头盔中施加了磁密封；之后，科学家在电子计算机的转轴处

¹ 都有为. 纳米磁性材料[C]// 中国功能材料及其应用学术会议. 2001.

² 周艳琼, 白木. 纳米磁性材料[J]. 信息记录材料, 2001, 2(3):32-35.

也采用磁性液体，来防止硬盘中的尘埃损坏磁头与磁盘。此外，更令人惊叹的是磁性液体材料可增大扬声器的输出功率。在扬声器的音圈和磁铁之间加入磁性液体，由于磁性液体的导热系数比空气高 5-6 倍，因此在相同条件下扬声器的功率可增加一倍。

由以上的案例以及磁性液体材料的流动性和尺寸特点，我思考，纳米级材料尺寸小、形状可控制，那么对于人体体内的靶向治疗也许会有很大帮助，因为它既可以携带药物或微型支架等进入人体内如血管等部位，又不容易对体内细胞或其他结构造成破坏。于是我在网上进一步搜索资料，发现磁性纳米颗粒作为靶向药物、细胞分离等医疗应用的工具之一，也成为了当前生物学的一热门研究课题，有的已步入临床试验。由于纳米颗粒的表面积大，表面活性大，且纳米级的磁性颗粒比毛细血管通路还要小 1~2 个数量级，因此用其作为定向载体，通过磁性导向系统控制，在施加定向磁场后，可带领药物在体内运向靶向细胞，在病变区发挥作用，达到定向治疗的目的，并有助于降低药物对正常细胞的伤害。这样的磁性材料与药物的组合，又被称为“磁控导弹”，具有高效、低毒、高滞留性的特点。³

纳米磁性材料的丰富特性和广泛应用，使得关于这一材料的投入和关注不断增加。2000 年，美国克林顿政府向国会提出增加纳米科技的经费，原因是巨磁电阻效应器件显示出了巨大的经济效益和社会效益；2000 年 GMR 读出磁头产值已逾 100 亿美元/年，而 TMR 磁随机存储器（MRAM）不久将可能取代半导体内存（DRAM），其产值预计将超过 1 千亿美元/年；2007 年法国科学家阿尔贝·费尔（Albert Fert）和德国科学家彼得·格林贝格尔（Peter Grunberg）因发现“巨磁电阻”效应而获得诺贝尔物理学奖。⁴近 10 年来，纳米技术已成为本世纪的主导技术，纳米复合材料已经成为 21 世纪最重要、最有发展潜力的材料，渗透进信息化、通讯、医疗、军事等各个领域。

从各个角度来说，世界对于纳米磁性材料产业的总产值投入持续升高，科学界对于纳米磁性产业的关注方兴未艾，磁性材料正不断向高频化、薄膜化发展，纳米磁性材料也还有很多适用的领域等待挖掘。进一步提高材料的性能，满足科技和生活的需要，是纳米磁性材料研究的主要方向，也给未来的我们留下了继续探索的期待。⁵

³ 徐星星，朱宏. 磁性纳米颗粒及其在生物医学领域中的应用[J]. 磁性材料及器件, 2010, 41(5):7-11

⁴ 胡苗苗，刘海顺，李端明,等. 纳米磁性材料应用[J]. 物理教师, 2009, 30(1):39-40.

⁵ 胡金江，张礼刚，李晨璞. 纳米复合磁性材料技术发展动态[J]. 电子元件与材料, 2014, 33(5):99-100.

出处：【曹向宇, 李垒, 陈灏. 羧甲基纤维素/ Fe_3O_4 复合纳米磁性材料的制备、表征及吸附性能的研究[J]. 化学学报, 2010, 68(15):1461-1466.】

标题

原来的：羧甲基纤维素/ Fe_3O_4 复合纳米磁性材料的制备、表征及吸附性

修改的：通过氧化沉淀法制备羧甲基纤维素/ Fe_3O_4 复合纳米磁性材料并探究其吸附性能

摘要

原来的：采用改进的氧化沉淀法在羧甲基纤维素(CMC)体系中制备了以磁性纳米 Fe_3O_4 为核心, 外层包覆羧甲基纤维素的复合磁性纳米材料. 用透射电镜、X 射线衍射、红外光谱、Zeta 电位和震动样品磁强计对复合纳米 Fe_3O_4 进行了表面形貌、结构和磁学的表征. 在此基础上研究了复合纳米 Fe_3O_4 对 Cu^{2+} 的吸附性能, 探讨了溶液 pH、反应时间和 Cu^{2+} 的初始浓度对其吸附性能的影响. 实验结果表明, 复合 Fe_3O_4 粒子为反尖晶石型, 平均粒径在 40 nm 左右, 羧甲基纤维素在 Fe_3O_4 粒子表面是化学吸附, 复合 Fe_3O_4 粒子的饱和磁化强度为 36.74 emu/g, 在中性溶液中 Cu^{2+} 的吸附量最高, 吸附平衡时间为 1.5 h, 二级动力学模型能够很好地拟合吸附动力学数据, 吸附等温数据符合 Langmuir 模型. 复合纳米 Fe_3O_4 对 Cu^{2+} 的吸附机理主要为表面配位反应.

修改的：

Why:磁性吸附剂由于相互之间的磁力吸引而发生团聚现象, 吸附剂发生团聚使得吸附剂上的吸附位点减少, 从而降低了吸附剂对污染物的吸附处理效果。

What:利用羧甲基纤维素聚合物的特性可以获得在水中稳定分散的磁性纳米粒子, 从而能够有效地克服上述缺点。

How:实验采用改进的氧化沉淀法在羧甲基纤维素(CMC)体系中制备了以磁性纳米 Fe_3O_4 为核心, 外层包覆羧甲基纤维素的复合 磁性 纳米材料, 对复合纳米 Fe_3O_4 进行了表面形貌、结构和磁学的表征。

What(results):实验结果表明, 羧甲基纤维素提高了磁性纳米 Fe_3O_4 粒子的吸附性能, 且基本不改变磁性纳米粒子的其他特性。

重要曲线：

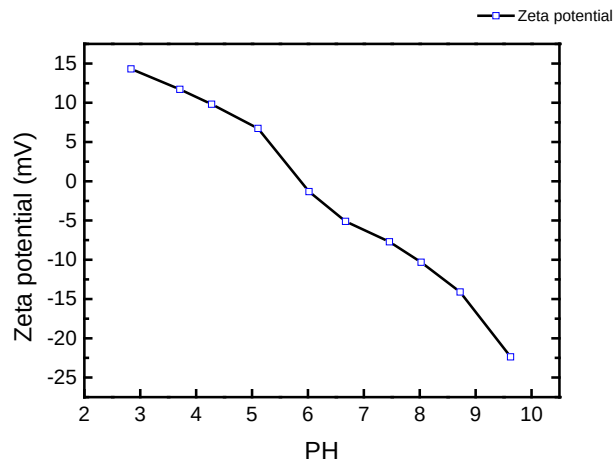


Figure 1 复合材料 Zeta 电位与 PH 的关系

图线是在不同 PH 值下，复合磁性纳米材料表面的 Zeta 电位情况。实验及图线表明，CMC- Fe_3O_4 颗粒在中性和碱性水中，表面带有较高负电荷，颗粒之间产生较大的静电排斥力，此时 CMC- Fe_3O_4 颗粒之间不易发生团聚，有较高的稳定性。

0.前言：

Why:磁性纳米材料制作的磁性吸附剂可以通过外加磁场用于废水污染的治理中。利用聚合物的特性可以获得在水中稳定分散的磁性纳米粒子，从而能够有效地提高磁性吸附剂的性能。

Who, when and where:近年来，人们关注生物质改性材料在重金属废水处理中的应用，Srivastava 等研究发现改性木质素对 Pb^{2+} , Zn^{2+} 等重金属的吸附随着振荡时间和 pH 值的增加吸附量显著升高；Chu 研究了壳聚糖对铜离子的吸附特性，结果表明铜离子的吸附程度随着 pH 值的升高而增大。

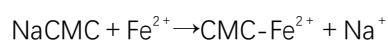
What:羧甲基纤维素(CMC)是一种多糖衍生物，在 pH 值 2~11 范围内的水溶液中结构和性质稳定，具有良好的生物亲和性和降解性。本文提出将纳米级磁性材料 Fe_3O_4 和羧甲基纤维素进行组装的设想，以铜离子作为研究对象，考察了磁性复合纳米材料对重金属离子的吸附机理。

1.实验部分

1.1 实验的过程

复合纳米 Fe_3O_4 的制备

采用羧甲基纤维素钠为稳定剂与 Fe^{2+} 发生配位反应，然后与 NaOH 反应生成氢氧化亚铁，再经空气中的 O_2 氧化生成四氧化三铁，反应原理如下：



纳米科学技术定义

纳米技术是指在 0.1 ~ 100 nm 的尺度空间内研究电子、原子、分子的内在运行规律和特性的崭新技术。1990 年 7 月, 首届国际纳米科学技术会议在美国巴尔的摩举行, 标志着纳米技术的正式诞生。它是现代科学和技术相结合的产物, 涉及到几乎现有的一切基础性科学技术领域, 并派生出纳米功能材料学、纳米电子学、纳米信息学、 纳米生物学、纳米机械学、纳米显微学、纳米化学、纳米物理学和纳米测量学等学科。

摘自: 王远, 廖瑞华 纳米技术在军事领域的应用 微纳电子技术

为什么要发展纳米科技

按照微电子产业的摩尔定律, 每 18 个月左右, 芯片的速度增加一倍、尺寸减小一半¹。如果这个定律持续起作用, 那么到 2010 年左右, 微电子技术的发展就会接近其物理极限, 因为在纳米空间, 电子的波动性质将明显地表现出来, 以电子为基本粒子的微电子技术将面临挑战, 于是, 纳米电子技术应运而生。纳米技术与微电子技术相结合出现的纳米电子学, 立足于最新的物理理论和最先进的工艺手段, 按照全新的理念来构造电子系统, 可以超越集成电路的物理和工艺限制, 研制出体积更小、速度更快、功耗更低的新一代量子功能器件。科学家称, 这种电路有可能成为未来更小、更精确和能耗更低的芯片的基础。当尺度由微米级降至纳米级, 器件的集成度将大幅度提高, 同时还具有器件结构简单、可靠性高、成本低等诸多优势。微电子技术曾在 20 世纪 70 年代引发了信息革命, 而纳米技术将可能成为下一个技术革命时代的核心。

每次技术革新必定引起军事领域的更新换代。美国认为纳米科技是国防工业的未来, 世界上各主要军事大国, 也都投入大量经费, 开展研制试验, 制造纳米武器。作为军事信息技术重要基础的军用微电子技术, 如果一旦得到纳米技术的支撑, 将促使以微电子技术为代表的当代信息技术实现向以纳米技术和分子器件为代表的智能信息技术的巨大转变。纳米电子技术对未来军事作战领域的驱动力, 将远远超出当前微电子技术对信息战的影响, 也必将在 世界范围引发一场真正意义的新军事革命, 并把电子信息战水平推向更新、更高级的发展阶段。

摘自: 王远, 廖瑞华 纳米技术在军事领域的应用 微纳电子技术

如今军备的研发不再是将重点放在武器系统, 而是多方面全面发展, 例如单兵设备, 航空航天等。

纳米技术在计算机系统中的应用

除去熟知的纳米隐身材料, 将纳米技术运用在计算机领域可谓是全新的尝试。采用纳米技术制造的微型晶体管和存储器芯片将使存储密度、计算速度和效率提高数百万倍, 可以大大缩小计算机的体积和重量, 而能耗却可降低到今天的几十万分之一。一旦这种具有原子精密度的新型计

算机取代现有的计算设备用于军事作战，必将实现信息采集和处理能力的革命性突破，从而提高 C4I 系统的可靠性、机动性、生存能力和工作效能。

在航空航天领域，纳米卫星技术逐渐成熟，可能引起对太空资源的进一步争夺。而设想用碳纳米管制造的太空升降机，将解决往空间站输送物资困难的问题，将进一步开发太空资源。

纳米技术在无人机中的应用

在追求现在这个追求“小精尖”的时代，小型无人机已经引起了各国的关注，如今已经研制出手指大小的无人机，紧跟的能源问题也在有序的解决中。有关小型无人机协调作战和指挥的算法也已经逐步进入成熟阶段。而这些带有纳米技术的微型无人机可携带各种探测设备，具有信息处理、导航(带有小型 GPS 接收机)和通信能力。这些纳米飞机可以秘密部署到敌方信息系统和武器系统的内部或附近，监视敌方情况，同时也可对敌方雷达、通信等电子设备实施有效干扰。它们可以悬停、飞行，且很难被敌方常规雷达发现。

摘自：王远，廖瑞华 纳米技术在军事领域的应用 微纳电子技术

机械骨骼

如今纳米技术的迅速发展，不仅让人惊叹现在科技的发展进步，也让人对未来的纳米科技充满幻想。在电影《复仇者联盟 3：无限战争》中，托尼·斯塔克，利用纳米科技制造了战甲，可以自己恢复，自动延展和变换形状，并且可以利用纳米科技修复受伤的身体部位和损伤的装备，并且携带方便。现实生活中，中美俄也在积极的研制初代钢铁侠——单兵外骨骼。利用纳米科技的“未来战袍”项目也在 MIT 展开。预计具有隐形、防导弹打击、自动治疗等功能，还具备感知可能来的危险能力，能够对炭疽袭击，子弹，作出相应的反应。如果空气中二氧化氮的指标突然升高，战袍会突然将头盔中的透气口关闭；这些都是纳米传感技术和纳米电子技术广泛运用的结果。

在现在宏观世界已经探索和利用几乎完全情况下，通过探究更微小世界的性质并加以利用，可以从微观世界理解宏观，并且改变宏观世界。微纳技术的出现和发展表示人类希望通过从更高精度处进行细微的更新来得到功能更强大的宏观物件。相对于其他领域，微纳技术在军事领域有更好的发展和利用价值并且对国家安全至关重要。在周围发达国家纷纷开始提出设想并付诸实践的时候，中国应该着重发展微纳技术，把握契机，实现我国国防事业的跨越式发展。

朱浩然 小论文 纳米隐身材料涂层对飞机生存能力的作用

原标题：纳米隐身材料及其在信息化战争中的应用

出处：张臣. 纳米隐身材料及其在信息化战争中的应用. 微纳电子技术, 2005.

摘要：

原来的：

论述了纳米隐身材料的一些特殊性质；介绍了国内外纳米隐身材料的研究概况；展望了纳米隐身材料的应用前景和未来发展方向。

改写的：

信息化战争中武器平台的高度信息化和自动化使作战环境日益复杂，雷达及各种侦察卫星的应用使各方动向一览无遗。在现代战场上，使武器“隐身”成为提高生存能力和胜算的关键因素。而在空战逐渐占据主导地位现代，让飞机“隐身”成为首要任务。通过算式模拟战场环境，对非隐形飞机和隐形飞机的损失率分别进行研究。通过算式计算得到飞机的损失率，进而对比生存能力。通过雷达发现概率函数和导弹杀伤函数模拟战场，研究了隐形飞机和非隐形飞机的生存能力。发现隐形飞机的损失率远低于非隐形飞机，则隐形飞机的生存能力高。

引言

WHY？为什么要做？

在信息化战争中，武器平台的高度信息化和电子化，使飞机、坦克、舰艇等所处的作战环境日益复杂。它们除受地面或空中的火力威胁和电子干扰外，其一举一动还处于雷达、红外、激光等探测器的严密监视之下，使其生存能力和战斗力面临极大的挑战。有效的应对措施是在这些武器装备表面涂覆一层特殊物质将雷达等探测器所发出的电磁波吸收，使探测器丧失发现目标的功能，以达到“隐身”的目的。由于隐身武器系统具有隐蔽性好、生存能力强、易于从不同高度灵活多变的突破战术和战略防御网的特点，因而对信息化战争将产生深远影响，具有重要的战略和常规威慑力量。

WHO、WHEN & WHERE？有什么人在这之前做了什么东西？

美、俄、法等军事强国都把纳米隐身材料作为新一代的隐身材料进行探索和研究，并对纳米材料的微波电磁谱理论、材料系列、制备方法、性能表征等进行了系统研究，研制出了多种不同结构的纳米隐身材料，取得了实质性进展。1995年，日本采用纳米碳管与磁性吸收剂复合，设计了纳米材料吸波涂层，吸波性能有一定的提高。20世纪末，美国研制出的“超黑粉”纳米隐身

材料，对雷达波吸收率达到 99%，不仅吸收率大，而且在低温下仍保持良好的韧性。2000 年俄罗斯成功利用了纳米晶体膜的高磁损耗和高磁导率特性，制备了 20lxm 的超薄型多层膜毫米波吸波材料,具有良好的隐身效果。法国研制的一种磁性多层膜宽频带纳米隐身材料，它是由粘结剂和纳米级微屑填充材料构成，能够吸收超高频的电磁波。

WHAT ? 总结一下我们在这篇文章的贡献

隐身技术实质上是要降低突防目标的雷达、红外、声学 and 光学的特征，使敌方各种探测系统难于发现、探测和跟踪目标，从而保证目标在突防中的生存能力。隐身武器对隐身材料的要求主要有：材料能在较宽频率范围内对电磁波具有高的吸收率；吸收材料的特性阻抗要与入射电磁波的空间特性阻抗相匹配；材料的电磁损耗要大，从而使电磁波转化为热能的效率高；材料的机械性能好、重量轻，并且耐温、耐湿、抗辐射和抗腐蚀性要好。本文将通过算法计算得出飞机生存率与突防的关系。

隐身飞机的战场生存能力

实验方法

RCS 的计算

由于现代防空体系中最重要使用最广发展最快的探测器是雷达，因此，雷达隐身技术成为最主要的隐身技术。雷达隐身技术的核心就是降低目标的雷达散射截面积（RCS）。雷达的最大

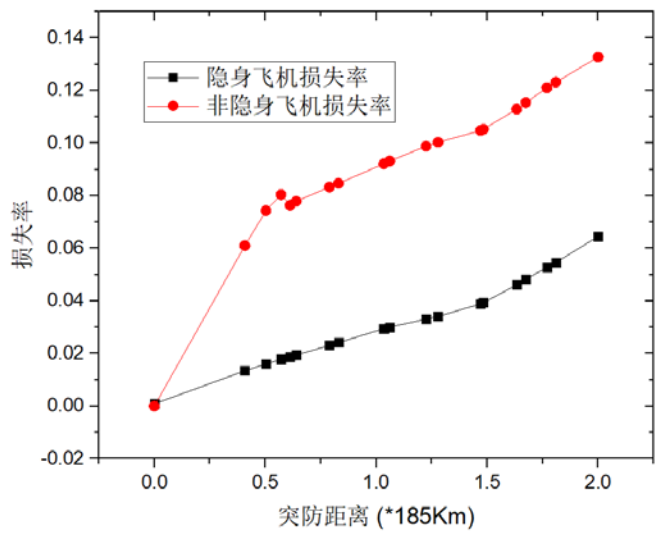
探测距离与 RCS 的关系可用下式表示：
$$R_{\max} = [\frac{P_t \cdot G_t^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot P_r}]^{1/4}。$$

式中 P_t 为雷达发射功率； P_r 为 雷达接收功率； G_t 为雷达天线增益； λ 为雷达工作波长； σ 为目标雷达散射截面积。分析中取其头向 RCS 为计算值,忽略其角度偏差造成的 RCS 的变化。在进行突防中,首先遇到远程警戒雷达的探测和防空炮火的拦截。依次计算损失率。

主要目标的 RCS 如下：

巡航导弹	0.5m ²
小型战斗机	2 m ²
大型轰炸机	10~100 m ²
中型舰船	10000 m ²
轻型飞机	16 m ²
B-17 轰炸机	74 m ²

则通过分析，隐形飞机和非隐形飞机损失率如下图：



由图可以看出，随着突防距离的增加，非隐身飞机和隐身飞机的损失率都有所上升，但有隐身措施的飞机要比没有隐身措施的飞机生存性能要高很多。但是仍有被击落的可能，并且自保能力较差，最好和电子干扰机一起行进。

结论

在信息化战争中，隐身、侦察、干扰、窃密和反辐射是信息对抗的重要手段。有人认为“飞机隐身技术是继喷气发动机和后掠翼之后的最有革命性的军事航空技术”。美国 F-117A 和 B-2 隐身飞机在战场上的投入使用，标志着隐身时代的到来。21 世纪将会有更多更先进的隐身武器脱颖而出这将为纳米隐身材料的发展创造极为有利的条件。

本文通过对比隐身飞机和非隐身飞机的突防生存概率,从而得到隐身效能指标。在现代战争中,作战飞机的突防生存力十分重要,隐身技术加上电子作战可以大大减缩飞机的特征信号,从而使飞机不被发现或者没有有效时间进行拦截,有效地提高了己方的作战生存力。通过计算分析,隐身效能指标很好地说明了隐身技术在作战中的作用。

参考文献

- [1] 颜丙新 黄俊. 突防飞机的隐身效能分析. 云南大学学报(自然科学版)2005, 27 (5A) :127~135.

李泽 大论文 关于《纳米材料在催化领域中的应用》读后感

出处：《纳米材料在催化领域中的应用》【蔡卫权, 陈进富. 纳米材料在催化领域中的应用[J]. 现代化工, 2002(s1):39-42.】

《纳米材料在催化领域中的应用》以应用为关键词, 详细介绍了纳米材料在催化领域的应用, 让我体会到了纳米材料的独特魅力。

传统催化材料有着效率低、经济效益低、环境污染大等特点, 纳米材料的小尺寸效应、表面(界面)效应和量子尺寸效应, 使它具备了作为催化剂的许多优点, 在催化领域有着广阔的前景。

通过文章的介绍, 我学习到纳米粒子的催化特性和它的特定模型密切相关, 不同纳米晶粒的晶面活性是不相同的。除此以外, 晶粒形状和不同晶面的暴露程度对催化反应的活性和选择性影响也很大。纳米微粒粒径的大小对其催化性能也有一定的影响。因此, 纳米材料作为催化剂有着控制反应速度, 提高反应效率, 使原来不能进行的反应也能进行等的优势。

全文介绍了纳米金属粒子催化剂、纳米金属氧化物催化剂、载体负载的纳米金属粒子催化剂、纳米半导体粒子的光催化、碳纳米管、分子筛共计 6 种应用方式。

其中, 纳米金属粒子催化剂主要以贵金属为主, 由于金属纳米粒子十分活泼, 可以作为助燃剂在燃料中使用, 还可以掺杂到高能密度的材料。

纳米金属氧化物催化剂主要有 Fe_3O_4 、 TiO_2 和 CeO_2 等, 在聚合反应、汽车尾气净化、选择性催化等方面有着有效的应用。

载体负载的纳米金属粒子催化剂以氧化物为载体, 通过活化等手段把粒径为 1-10nm 的金属粒子分散到这类多孔载体的衬底上, 与载体结合形成表面负载型催化剂。在氢化还原和聚合反应中有着远高于传统催化剂的性能。

纳米半导体粒子的光催化是纳米材料较为常见的应用方式。其中, TiO_2 活性高、热稳定性好、持续性长、价格便宜、对人体无害, 是最受重视的一种光催化剂, 新型 TiO_2 在电冰箱、空调、医疗器械、医院手术室装修等方面有着广泛的应用前景。

碳纳米管是一种电子离域性很大的具有金属或半导体性质的特殊材料, 由单个碳原子在一定条件下聚集而成。其中由催化生长法制备的多壁碳纳米管兼具纳米级管腔结构、大比表面积、类石墨结构的多层管壁以及高导电率等特点, 作为新型催化剂或其载体材料, 正在引起化学工作者的高度重视。

分子筛通过在其孔腔中组装或封装金属配合物, 所制备的金属配合物/分子筛复合催化材料具有反应条件温和、反应活性和选择性高, 易与产物分离、可重复使用, 位分离效应、择形效应高等优点, 是传统均相催化剂和多相催化剂不可比拟的极具潜力的新型催化材料。

文章结尾最后指出, 虽然纳米催化剂的研究取得了一定成果, 但是, 同样存在许多需要解决的问题:

对纳米催化剂的基础理论问题研究不够深入、全面。我们有必要对其进行系统的研究, 并不断开发出新型纳米材料。我们有必要对其进行系统的研究, 并不断开发出新型纳米材料。

与此同时, 纳米催化材料的稳定性同样存在问题。由于纳米粒子的小尺寸效应及高活性, 不论高熔点材料, 还是复合材料, 都比较容易烧结, 而且烧结温度低、烧结时间短。如何避免纳米金属粒子在反应过程中由于温度的升高颗粒长大还有待进一步深入研究。另外, 由于其粉末在空气中极易氧化、吸湿和团聚, 性能很不稳定, 所以未来还要注意研究纳米粒子催化剂的性能稳定性控制和防团聚技术。

李泽 小论文 纳米催化材料

出处：《三种形貌 BiVO₄ 微纳材料的制备及其光催化性能研究》【周慧, 杜彬, 陈丽萍. 三种形貌 BiVO₄ 微纳材料的制备及其光催化性能研究[J]. 化学研究与应用, 2016, 28(9):1494-1499.】

标题：

原来的：

三种形貌 BiVO₄ 微纳材料的制备及其光催化性能研究

改写的：

水热法合成三种形貌 BiVO₄微纳材料及其光催化性能研究

摘要：

原来的：

本文以 Bi(NO₃)₃·5H₂O 和 NH₄VO₃为原料, 以甲酰胺和尿素为不同碱源来调节 pH 值, 采用水热法合成出三种不同形貌和晶型的 BiVO₄微纳材料。实验结果显示, 不加碱源时(反应后 pH 约为 2.35)得到四方锆石结构和单斜晶系白钨矿结构混合相的类球状 BiVO₄; 加入甲酰胺时(反应后 pH 约为 6.54)得到羽毛状单斜晶系白钨矿 BiVO₄; 而加入尿素时(反应后 pH 达到 8.91)所得产物则为草垛状锆石结构和白钨矿结构的混合相 BiVO₄。当以罗丹明 B 为降解对象, 上述三种 BiVO₄样品光催化性能的考察结果表明, 在紫外光照射下, 类球状的混合相 BiVO₄微纳材料表现出最好的光催化性能, 在 120 min 内使罗丹明 B 水溶液的脱色率达到 98.28%。在可见光照射下, 羽毛状白钨矿 BiVO₄微纳材料则对罗丹明 B 表现出最好的降解效果, 6h 内脱色率达到 97.23%。

改写的

金属钒酸盐作为一类新型高活性光催化剂, 具有在可见光下催化分解水和降解有机污染物的能力。本文以 Bi(NO₃)₃·5H₂O 和 NH₄VO₃为原料, 以甲酰胺和尿素为不同碱源来调节 pH 值, 采用水热法合成出四方锆石结构和单斜晶系白钨矿结构混合相的类球状 BiVO₄ (不加碱源)、羽毛状单斜晶系白钨矿 BiVO₄ (加入甲酰胺)、草垛状锆石结构和白钨矿结构的混合相 BiVO₄ (加入尿素)。当以罗丹明 B 为降解对象, 上述三种 BiVO₄样品光催化性能的考察结果表明, 在紫外光照射下, 类球状的混合相 BiVO₄微纳材料表现出最好的光催化性能, 在 120 min 内使罗丹明 B 水溶液的脱色率达到 98.28%。在可见光照射下, 羽毛状白钨矿 BiVO₄ 微纳材料则对罗丹明 B 表现出最好的降解效果, 6h 内脱色率达到 97.23%。

前沿和绪论

TiO₂光催化降解有机污染物存在带隙较宽, 需要紫外光激发, 太阳能利用率低的缺点, 金属钒酸盐是一类新型高活性光催化剂, 其中, 钒酸铋(BiVO₄)是一种无毒、环境友好具有可见光响应性的光催化材料。

Guo 等通过调节水热时间、酸度和 Bi 与 V 摩尔比制备出具有不同的晶体结构和形貌的 BiVO₄。Kell 等采用十六烷基三甲基溴化铵作为模板, 通过调节水热温度选择性制备微球和层状 BiVO₄。Tan 等利用超声水热法, 通过 NaOH 改变 pH 合成了不同形貌的 BiVO₄, 并且研究了不同形貌的 BiVO₄的晶型和可见光催化活性。

本文通过添加不同碱源改变 pH，从而得到不同形貌和晶型的 BiVO_4 光催化材料，研究不同反应条件对 BiVO_4 晶体结构和形貌的影响，并通过降解模拟废水罗丹明 B(RhB) 溶液，考察了三种形貌 BiVO_4 的光催化活性。

实验

方法：

于 50 mL 烧杯中加入 4.50 mL 去离子水及 0.50 mL (0.20 M) $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ 溶液，然后在快速磁力搅拌下，逐滴加入 5.0 mL (0.02 M) NH_4VO_3 溶液，常温搅拌 15 min 得到黄色悬浊溶液 1；于另一个 50 mL 烧杯中加入 2 mL 甲酰胺、2.50 mL 去离子水及 0.50 mL (0.20 M) $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ 溶液，然后在快速磁力搅拌下，逐滴加入 5.0 mL (0.02 M) NH_4VO_3 溶液，常温搅拌 15 min 得到黄色悬浊溶液 2；于第三个烧杯中加入 4.50 mL 去离子水及 0.50 mL (0.20 M) $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ 溶液，然后在快速磁力搅拌下，逐滴加入 5.0 mL (0.02 M) NH_4VO_3 溶液，搅拌均匀后加入 0.3003 g 尿素，继续搅拌 15 min 得到黄色悬浊溶液 3。将三种溶液搅拌均匀后分别移至带有聚四氟乙烯衬套的 3 个不锈钢反应釜中，再将反应釜密封置于电热干燥箱中，升温至 100°C ，保温 12 h，然后自然冷却至室温，将所得三种产物先后用蒸馏水和无水乙醇洗涤数次，最后于 600°C 条件下真空干燥 24 h 得到产品分别标记为 BiVO_4 -1、 BiVO_4 -2 和 BiVO_4 -3。

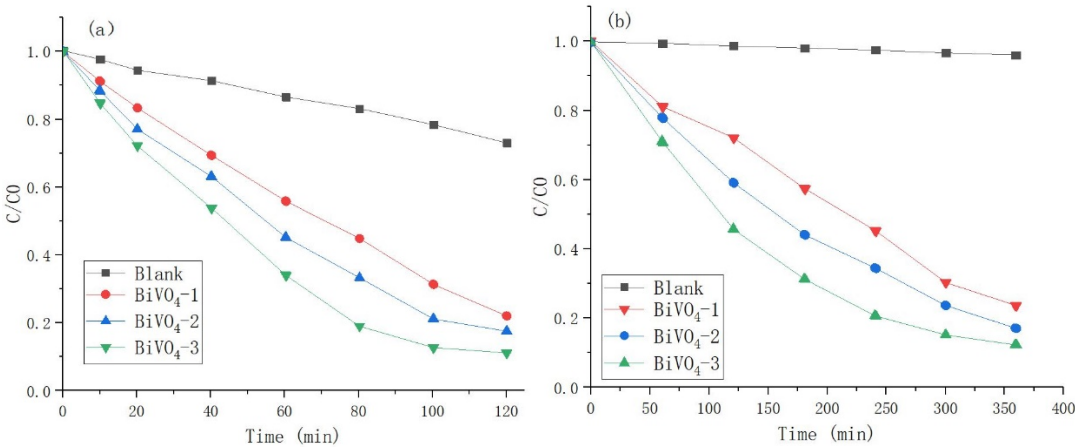
表征：

称取 0.0500 g BiVO_4 。黄色粉末放入 200 mL 石英反应瓶中，然后加入 50.0 mL RhB 水溶液 (5 mg / L)，经超声分散均匀后，置于光反应仪内室中，在避光处搅拌 90 min，使体系达到吸附-脱附平衡，然后边搅拌边分别用波长为 254 nm 的汞灯 (150 W) 和波长为 420 nm 的氙灯 (300 W) 进行照射 (石英反应瓶距离光源均为 10 cm)，间隔一定时间取样，离心分离后用紫外-可见吸收光谱仪测定上层清液的吸收光谱。

结果与讨论

2.1 结果：

图是所制备的三种形貌 BiVO_4 样品降解 RhB 的光催化性能 (C/C_0) 随紫外光和可见光照射时间的关系曲线。



2.2 讨论：

图 a 可以看出，经紫外光照射 2 h 后， BiVO_4 -1 显示出最高的紫外光催化活性，对 RhB 的降解率达到 98.28%。这是因为一定比例的两种不同的晶体结构存在的 BiVO_4 。就类似于一种半导体耦合体。在相同条件下，单斜相的 BiVO_4 -2 对 RhB 的降解率为 90.98%，混合相 BiVO_4 -3 的降解率为 86.04%，这是因为在混合相样品中 tz-BiVO_4 量对产品的性能起关键作用。在

WHO DID 微纳

517021910832	熊逸蓉	女	2017	Who
517021910654	谢禹翀	男	2017	
517021910767	张博闻	男	2017	
517021910855	朱跃	男	2017	
517021910980	苗雨润	男	2017	
517021910986	徐鸿	男	2017	
517021910989	张澳	男	2017	



熊逸芸 大论文 高温下用准分子激光烧灼制备硅纳米线	3
熊逸芸 小论文 利用聚苯乙烯微球制备规整的 Si 纳米线结构	5
谢禹翀 大论文 读费曼的《There's Plenty of Room at the Bottom》	9
谢禹翀 小论文 纳米颗粒增强的葡萄糖生物传感器	11
苗雨润 大论文 读后感《我国微电子技术及产业发展战略研究》	14
苗雨润 小论文 氮化镓高速电子迁移率晶体管双界面热阻测试	16
张博闻 大论文《Fabrication and characterization of squama-shape micro/nano multi-scale silicon material 》读后感	19
张博闻 小论文 SiC 薄膜制备高耐受性 MEMS 结构及工艺参数研究	21
朱跃 大论文 Helical microtubules of graphitic carbon.....	24
朱跃 小论文 多壁碳纳米管阵列场发射研究	26
徐鸿 大论文 Micro-structure in Linear Elasticity.....	29
徐鸿 小论文 二维微纳米结构表面反射特性的时域有限差分法模拟研究	30
张澳 大论文 读《石墨烯的室温霍尔效应》有感	33
张澳 小论文 用静电自组装法制备的结构和功能自由控制的石墨烯薄膜的特性研究	35

我选读的这篇大论文是 D.P YU, Lee C S, Bello I, et al 等人写的<synthesis of nano-scale silicon wires by excimer laser ablation at high temperature>。也就是在高温下用准分子激光烧灼制备硅纳米线。这是一篇具有历史意义的文章。他们是历史上第一次用 LAD 方法成功生长出了 Si 纳米线的人，这篇文章所得到的是具有里程碑意义的研究成果，为纳米线研究带来了新鲜活力。

虽然之前在纳米多孔 Si 的可见发光、碳纳米管的发现及纳米表征技术所取得的重大进展，但是这篇文章才是真正给纳米线带来新鲜活力的研究成果。经历了这篇文章的成果之后才关于纳米线的制备与应用研究的序幕才悄然拉开。

由此可见，这篇文章在历史上里程碑式的意义。

本文中作者做了很多实验，主要用了合成 SiNW 作为实验材料，报告了用激光合成纳米级硅线的状况。作者通过做实验找到激光角度、强度和 SiNW、Si 纳米线强度的关系。使用高温烧灼等方法，通过这种方法，能够生产产率很高，均匀直径分布和纯度高。结构、形态和利用高性能表征了硅纳米线的化学组成。为同类一维合成提供了一种强有力的方法。

作者用来合成 SiNW 的体系是制备 BN 纳米管的原料[12]目标材料是通过掺杂硅粉(硅纯度约为 97%)和 a(质量分数为 97%)制备的。约 3wt%的杂质)与纳米镍和钴粉末(约 5%)。混合粉末在 150°C 时被热压，形成一个靶。目标被放置在一个 42 毫米×750 毫米长夸脱中。Z 管。石英管首次抽运至 20 mTorr 左右。然后在 850°C 附近的氩气流中加热 4 小时，以允许脱气。在 1200°C 20 小时进一步脱气后，目标用波长 248 nm 的准分子激光在 500 Torr 左右的压力下烧蚀。激光束以 500 mM 聚焦于靶上，靶被烧蚀。T 1200×C。激光束的频率为 10 赫兹。每个脉冲的平均能量约为 400 兆焦耳。

用配备有 AEDAX 探测器的飞利浦 CM20 透射电子显微镜对样品进行形貌和成分分析。XRD 表征用 A 实现 飞利浦 X'Pert-MPD 区分器。高分辨电子显微镜(HREM)是使用 aJeol-2010 显微镜进行的，点对点分辨率约为 0.19nm。

在热压靶的情况下，被烧蚀的小分子团组织成 SiNW，并在石英上发现一种深黄色的海绵状产物，其宽度约为 10 毫米。管壁，贾斯汀前面的铜收集器。需要注意的是，SiNWs 的生产是完全可重复的。这些新鲜产品被密封在氩气气氛中以防止任何表面氧化。一小块从新造的海绵状产品中被撕下，被放置在一个铜 gd 上，直接进行电子显微镜分析，显微照片代表了在不同条件下生长的 SiNWs 的一般形态。

报告图中显示了从 a t 产生的 SiNWs 的放大图像。含 Co-Ni 催化的脱碳剂。大部分可见的 SiNWsham 是一个弯曲的形状，其中有些甚至看起来很大程度上是卷曲的(插入右上角)。估计超过 99%的产品 成为新大陆人。相应的选区电子衍射(SAED)图案，这是多晶硅典型的斑点环图案。在 THA 一、二、三阶环分别对应于{111}、{220}和{311}阁楼平面族，它们分别为 0.31 nm、0.19 nm 和 0.16 nm。如图所示，放大的显微照片显示含催化剂靶所产生的 SiNW 的密度

均匀性和平滑性。曲线形态我们发现,大多数 SiNWW 的直径为 13 ± 3 nm,而它们的长度从几十 μm 到几百 μm (通常很难找到它们的终点)。插入显示沿[110]带轴线从单个 SiNW 取来的 Saed 模式。

此文示出了从 Co Ni 催化剂自由目标产生的 SnWS 的形态。可以看出,虽然某些部分的 SnW 表现出均匀的直径,大部分是当与含催化剂靶产生的 SiNW 相比时, SiNWs 的直径看上去并不均匀,从 15 nm 到 60 nm 不等。注意到这个有趣的现象与用类似方法制备的单壁碳纳米管相似[13, 14]。相应的 SAED 模式;如 INSERT 所示。v 型 ery 特有的辫状形态(左下图像)和分支的 Con-tast 是可见的。

用 EDAX 测定了 SiNWs 的化学成分。在谨慎运行中产生的 SiNW 的 EDAX 光谱中,只有一个峰值是可见的,它对应于硅,这表明所获得的海绵样产品是由纯天然菌制成的。没有发现镍或钴存在的证据-EDAX 分析。Co 和 Ni 催化剂的混合作用可能影响 SiNW 的直径。它们在 SiNW 形成中的作用似乎并不决定 SiNW 的形成。相反,我们认为在硅粉靶中以杂质形式出现的 Fe 原子。非催化剂与 SiNW 的信息密切相关,因此在 SiNW 的生长过程中起着重要的作用。用高分辨 X 射线衍射(XRD)对海绵样 SiNW 的结构进行了表征。大图中示出的 SiWS 的 XRD 谱。

本文中有很多实验所做的纳米线照片,以及最后得出的关系实验图。本文中的实验,可以看出是做了很多平行实验和表征方法的。虽然得出的是一张浓缩的非常简短简洁的图,但是实际上做的工作十分多。包括在本论文中出现的很多的作为例子的 Si 纳米线的照片,都体现了做成这个实验的过程和努力的庞大。我们可以看出,做出一个结论需要付出的努力其实是非常大的。

本文的绪论和简介部分都提到了前人的贡献和将来的应用前景,可以看出作者对于自己实验的选择也是很有想法的。他们选择了一个能够承接前人的实验结果并且在将来对纳米线领域有很大的贡献的实验。

熊逸芸 小论文 利用聚苯乙烯微球制备规整的 Si 纳米线结构

出处

王崇娥, 陈童, 刘玉莹,等. 利用聚苯乙烯微球制备规整的 Si 纳米线结构的研究[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2018(1).

1.1 标题

原来的 利用聚苯乙烯微球制备规整的 Si 纳米线结构的研究

改写的 (有 What, why, how) 为了制作出更优异的聚苯乙烯微球掩模板来制出规整的 Si 纳米线结构用对比实验的方法找出能够制备最规整的硅纳米线结构的聚苯乙烯微球掩模板

1.2 摘要

原来的

聚苯乙烯微球 (PS) 掩模板技术具有操作简单、成本低廉、制备面积大、可精确控制周期结构参数等优点, 广泛应用于光子晶体、超材料、超表面等纳米量级二维阵列的结构器件。采用了一项新兴的技术利用聚苯乙烯微球制备硅纳米线结构。主要研究了基于自组装技术在不同实验参数的情况下, 对聚苯乙烯微球掩模板规整度的影响。结果表明, 采用铺展剂水与乙醇 1:2 的配比、表面活性剂 4wt% 的浓度、静置平衡 2 分钟后再提拉、用塑料滴管滴加纳米球悬浊液可以制备出大面积规整排列的单层聚苯乙烯微球掩模板, 进而得到了规整的硅纳米线结构。

改写的 (按照 Why, What, How, What (results))

Why: 聚苯乙烯微球 (PS) 掩模板技术具有操作简单、成本低廉、制备面积大、可精确控制周期结构参数等优点, 广泛应用于光子晶体、超材料、超表面等纳米量级二维阵列的结构器件。

What: 采用了一项新兴的技术利用聚苯乙烯微球制备硅纳米线结构。主要研究了基于自组装技术在不同实验参数的情况下, 对聚苯乙烯微球掩模板规整度的影响。

How: 主要研究了基于自组装技术在不同实验参数的情况下, 对聚苯乙烯微球掩模板规整度的影响。

What (results): 采用铺展剂水与乙醇 1:2 的配比、表面活性剂 4wt% 的浓度、静置平衡 2 分钟后再提拉、用塑料滴管滴加纳米球悬浊液可以制备出大面积规整排列的单层聚苯乙烯微球掩模板, 进而得到了规整的硅纳米线结构。

1.1 0 前言和绪论

0.1 WHY? 为什么要做?

近年来, 胶体晶体^[1], 即单分散胶体圆球的二维规则阵列, 应用领域活跃, 尤其是硅基纳米结构, 受到人们广泛关注, 例如在光子晶体^[2]、催化剂、光刻、传感器、超材料和超表面等方面都有着重要的应用前景, 这就使得对纳米量级二维阵列结构的研究显得尤为重要。

0.2 WHO、WHEN & WHERE? 有什么人在这之前做了什么东西?

当今的纳米制造主要包含两种方法: “自上而下”的高分辨技术和“自下而上”的直接组装技术。新兴的“自下而上”的方法打破了传统的材料制备方法, 从原子或分子级开始完整地构造器件, 即自组装技术^[9]。自组装是指特定的构造单元(如原子、分子或胶体粒子等)通过某些非化学键作用自发地结合起来并构造成更为复杂的高级结构^[10]。利用特定条件下单分散胶体粒子的简单自组装可以较为方便地合成出具有密堆积结构的二维胶体晶体。

0.3 WHAT? 总结一下我们在这篇文章的贡献

自组装技术严格来说属于一种随机工艺过程, 极易造成掩模缺陷的引入, 所以在制备聚苯乙烯微球掩模板过程中需仔细考虑所有可能会造成掩模缺陷的工艺因素, 尽量能通过优实验参数来控制掩模板的缺陷个数并完善自组装工艺的稳定性 and 重复性, 满足制备的纳米结构周期性要求。

1.2 1 实验

在本论文中采用十二烷基硫酸钠(SDS)作为纳米球铺展的表面活性剂, SDS 属于较常用的阴离子表面活性剂, 化学式为 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{Na}$ 。利用的面活性剂溶液同样需要满足一定的配比条件, 不同浓度的 SDS 溶液会直接影响纳米球排列紧凑程度。为了讨论表面活性剂的浓度对膜层质量的影响, 首先按照实验步骤完成准备工作, 实验参数分别设定为: 3ml 的 SDS 溶液, 200 μl 的 PS 纳米球悬浊液, 1:2 的纳米球水溶液与乙醇体积比。配制 SDS 溶液时, 首先准备 5 只干净的烧杯, 分别倒入 10ml 的去离子水, 做好标记。再分别将 0.4g、0.5g、0.6g、0.7g、0.8g 的 SDS 干粉倒入去离子水中, 进行充分的振荡溶解后待用, 即选择待测的 SDS 溶液的质量分数分别为 4wt%、5wt%、6wt%、7wt%、8wt%, 然后分别在五个相同的盛有

去离子水的口径为 10cm 的蒸发皿加入 3ml 的 SDS 溶液，接着将纳米球水溶液和乙醇 1 : 2 配比的溶液进行提拉实验，制备的纳米球模板的硅衬底表面的 SEM 照片如图 3 所示。其中 (a) (b) 为 4wt%、(c) (d) 为 5wt%、(e) (f) 为 6wt%、(g) (h) 为 7wt%、(i) (j) 为 8wt%。从图 (a) (b) 和 (c) (d) 中能看出，随着表面活性剂浓度的升高，纳米球模板的排布更加紧凑，但是加入过量的表面活性剂会导致纳米球聚集过度，甚至有可能形成重叠缺陷，如图 (e) (f)、(g) (h) 和 (i) (j) 所示。由此可知，加入适当浓度的表面活性剂是很有必要的，因为表面活性剂的作用，使纳米球排布更加紧密，这样才能做到纳米球周期的精确可控，进而保证刻蚀后的纳米结构的良好周期性。

1.2 方法（怎么做的）

本论文中采用十二烷基硫酸钠 (SDS) 作为纳米球铺展的表面活性剂，SDS 属于较常用的阴离子表面活性剂，化学式为 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{Na}$ 。利用的表面活性剂溶液同样需要满足一定的配比条件，不同浓度的 SDS 溶液会直接影响纳米球排列紧凑程度。

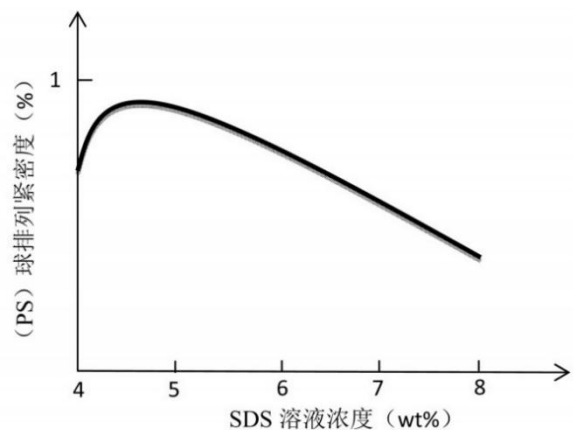
1.3 表征（怎么测的）

首先按照实验步骤完成准备工作，实验参数分别设定为：3ml 的 SDS 溶液，200 μl 的 PS 纳米球悬浊液，1 : 2 的纳米球水溶液与乙醇体积比。配制 SDS 溶液时，首先准备 5 只干净的烧杯，分别倒入 10ml 的去离子水，做好标记。再分别将 0.4g、0.5g、0.6g、0.7g、0.8g 的 SDS 干粉倒入去离子水中，进行充分的振荡溶解后待用，即选择待测的 SDS 溶液的质量分数分别为 4wt%、5wt%、6wt%、7wt%、8wt%，然后分别在五个相同的盛有去离子水的口径为 10cm 的蒸发皿加入 3ml 的 SDS 溶液，接着将纳米球水溶液和乙醇 1 : 2 配比的溶液进行提拉实验，得到制备的纳米球模板的硅衬底表面的 SEM 照片。

1.3 2 结果与讨论

2.1 结果

SDS 溶液浓度越高，纳米球排列更紧凑，当浓度达到 5wt% 时，纳米球排布的最为规整致密，随着浓度进一步升高，纳米球的排列随之变得疏松分散，不能达到制备规整纳米线结构的要求。通过以上的分析可知，铺展剂和表面活性剂都能抑制纳米球模板的缺陷产生，优化这两个实验参数有助于提高自组装备备纳米球模板的效率，从而为实现高规整度、高致密性的硅纳米线结构提供了更多的可能性。



2.2 讨论

通过以上的分析可知，铺展剂和表面活性剂都能抑制纳米球模板的缺陷产生，优化这两个实验参数有助于提高自组装制备纳米球模板的效率，从而为实现高规整度、高致密性的硅纳米线结构提供了更多的可能性。

1.4 3 结论

采用提拉法的自组装技术并在硅衬底上制备出了规整排列的单层聚苯乙烯微球掩模板，通过优化了实验参数，即铺展剂水与乙醇 1：2 的配比、表面活性剂 4wt% 的浓度、静置平衡 2 分钟后再提拉、用塑料滴管滴加纳米球悬浊液等，可以有效地控制纳米球的排列规整度和紧密度，进而得到规整的硅纳米线结构，从而在纳米科学领域会有更好的应用前景。

谢禹翀 大论文 读费曼的《THERE'S PLENTY OF ROOM AT THE BOTTOM》

文章出处：【Feynman R P. There's plenty of room at the bottom [data storage][J]. Journal of Microelectromechanical Systems, 2002, 1(1):60-66.】

首先，先介绍一下费曼先生吧。费曼先生全称为 Richard Phillips Feynman，是加州理工学院物理学教授，1965 年获得了诺贝尔物理学奖，是一位名副其实的伟大的物理学家。他被认为是爱因斯坦后最睿智的物理学家，爱因斯坦的伟大是因为他建立了相对论这一伟大的理论，而费曼被人们熟知的便是提出了纳米的概念。

费曼在上个世纪 50 年代末在加州理工学院的物理年会中发表了一篇著名的演讲，正是在这篇演讲中他提出了纳米的概念，他在这篇演讲中讲述了他对纳米的多个方面的理解，其中的很多观点在今天都已经成为了现实，让我们不得不感叹于费曼先生在科学方面准确的预见力。

提出微型化的可能性：

首先，费曼先生讲述了这个时代的微型化的一些情况。费曼先生认为人类已经开始陷入沾沾自喜导致更细小的微型化已经陷入了停滞，他提出了个大胆的假设，假设别针头上可以写下大英百科全书的 24 卷全部内容。从当时的只能刻下一句祷告到全部的大英百科全书，这之间的差距岂止万倍，而费曼先生就是有这样的勇气去想象，让人惊叹。然后费曼又提出了将大英百科全书的 24 卷刻在针头上的可行性。他认为一个字都可以有很多个原子可以覆盖，所以至少把所有内容刻下是绰绰有余的。费曼接下来提出了如何将微型化的东西复现的方法。他只是用了那个时代可以实现的方法——用塑料薄膜的方式。但是那只是那个时代的东西，但是也已经足够用来实现了。

微型化制作的方法：

费曼接着提出了方法。他说：通过显微镜的方法集中在光电屏幕上，然后光照射使得电子出射来实现金属被光腐蚀。这种方法或许很慢但足够简便，并且理论上也有很强的依据——光电效应。用这种方法可以使大量的信息浓缩，他设想了图书管理员在十年后查找资料的便利，并且再一次强调了微纳科技的重要性和可能性。

信息的小规模化：

随后费曼提出了一种更加简便的方法能够实现微型化——那就是将我们要复制的文件缩小，将每个字都用点来表示——这不就是摩斯密码吗？然后用这种方法可以将 2400 万本书写在一英寸宽的立方材料中，就像尘埃一样。

而这个事实——大量的信息在狭小的空间中进行，是生物学家熟知的，并且就是我们人体本身，人体的组成，生长都是靠这个事实而成立的。

更好的电子显微镜：

虽然在之前费曼已经提出了观察这种微型化的信息的方法，但他觉得可以做得更强，将 10 埃米的最小观察半径提升到 0.05 埃米。而这种显微镜，他认为，可以在生物领域起到很大的作用，可以解决很多困扰生物学家的重大难题，这就是电子显微镜的前景。

小型化计算机：

在费曼发表演讲的时代，计算机还是个庞然大物，但是每个生物的细胞就相当于一个计算机那样可以控制，并且由于信息的传输是有速度的限制的，那么为了做到快速的辨别，就需要做到计算机的微型化，这是物理学上的一种可能性。

小型制造：

我们如何制造这些设备呢？我们想要通过过去制造大的零件的方式来制造小的，但是有很多物理方面的比如电气方面在微观的邻域下是有不同的特性的，所以需要重新设计电路，并且为了使产品微观化，生产产品的工具也得微观化，这样就可以避免工具太大导致的误差。

润滑问题：

费曼提出了当微型化实施到一定程度的时候，我们不需要润滑，因为热量会飞快地从这种小机器中逃离出去，这样我们就可以不用考虑很多东西了，全自动管理将会成为最方便的管理方式。那么可以将这种微型化实施到人体的治疗中，使人体实现微型的治疗。

100 只小手：

当微型制造开始的时候，所需要的空间很少，因为微型化的设备很小。我们可以将自己的手当作操作的母本，然后进行复制，产生一百只小手来进行微型化的操作。但是当我们用这些手进行操作的时候，就出现了微型化的一些问题，比如重力的作用没有范德华力大等。

重新安排原子：

最后我们能否按照我们的想法安排原子呢？这很困难，我们不知道材料的特性会变成什么样子。这种性质是否会使得原来的性质放大而产生超高的强度，这值得我们考虑。

小世界中的原子：

当我们达到原子这个层面的时候，我们就可以有新的设计机会和新的东西产生了。而且据费曼所见，物理学确实存在原子级别的可能性，只是因为我们的尺寸太大了。而且化学和生物会因为到达了 this 层次而可以做到更多的事，比如化学合成，通过原子的排列使得化学合成变得更加简单。

比赛机制：

通过奖金等方式，让更多的人参与到微型化的过程中。而这种竞争甚至可以放到高中。微型化是可期的，所以微纳的未来将是光明的。

谢禹翀 小论文 纳米颗粒增强的葡萄糖生物传感器

出处：【唐芳琼, 孟宪伟, 陈东,等. 纳米颗粒增强的葡萄糖生物传感器[J]. 中国科学:化学, 2000, 43(2):119-124.】

标题

原来的：

纳米颗粒增强的葡萄糖生物传感器

改写的：

提高固化酶催化活性：纳米颗粒增强的葡萄糖生物传感器

摘要

原来的：

研制的纳米增强葡萄糖传感器是用纳米憎水 Au 颗粒、亲水 Au 颗粒、憎 SiO₂ 颗粒以及 Au 和 SiO₂ 颗粒混合与聚乙烯醇缩丁醛(PVB)构成复合固酶膜基质,用溶胶-凝胶法固定葡萄糖氧化酶(GOD),组成葡萄糖生物传感器.实验表明,纳米颗粒可以大幅度提高固定化酶的催化活性,响应电流从相应浓度的几十纳安增强到几千纳安,电极响应迅速,1 min 达到稳态.探讨了纳米颗粒效应在固定化酶中所起的作用,开辟了制备直接电子传递第三代生物传感器的新途径和纳米颗粒应用的新领域.

改写的：

为了提高固定化酶的催化活性,研制了纳米增强葡萄糖传感器.该传感器是用纳米憎水 Au 颗粒、亲水 Au 颗粒、憎 SiO₂ 颗粒以及 Au 和 SiO₂ 颗粒混合与聚乙烯醇缩丁醛(PVB)构成复合固酶膜基质,用溶胶-凝胶法固定葡萄糖氧化酶(GOD),组成葡萄糖生物传感器.实验表明,纳米颗粒可以大幅度提高固定化酶的催化活性,响应电流从相应浓度的几十纳安增强到几千纳安,电极响应迅速,1 min 达到稳态。

0. 前言和绪论

0.1 WHY ? 为什么要做 ?

采用新的电极物质如有机导电盐、导电有机物制备直接电子传递酶传感器是一种方法,但迄今为止,还远未达到其潜在的能力。

0.2 WHO、 WHEN & WHERE ? 有什么人在这之前做了什么东西 ?

近年来一些文献中报道了在金溶胶中固定酶,它为生物传感器的发展翻开了新的一页。并且在葡萄糖传感器中,采用酶的天然介体氧的催化原理设计制作的酶传感器称为第一代生物传感器;第二代生物传感器将人工合成的媒介体掺入酶层中,减少了空间氧的干扰。

0.3 WHAT? 总结一下我们在这篇文章的贡献

本文利用纳米颗粒制备葡萄糖传感器的方法具有简单易行、操作方便 GOD 用量少、不需要昂贵的实验设备、易于工业化的优点。是制备第三代葡萄糖传感器新的途径,为纳米颗粒的应用开辟了新的领域。

1.1 主要试剂及仪器

葡萄糖氧化酶 GOD(100 U/mg from *Aspergillus niger*)、 β -D 葡萄糖(Sigma Chem.Co)、混合磷酸盐(KH_2PO_4 , Na_2HPO_4)、表面活性剂 AOT($\text{C}_{20}\text{H}_{37}\text{O}_7\text{SNa}$)、聚乙烯缩丁醛(PVB)、正硅酸四乙酯(分析纯) 其他试剂均为分析纯,配制溶液的水均为 2 次蒸馏水、Ag/AgCl 电极(自制)、透射电子显微镜 JEM-100 型、紫外光谱仪:8451A 型、自动双重纯水蒸馏器:石英管式、数字多用仪 Thurlby 1905-a 型。

1.2 实验方法

制备亲水 AU 颗粒:

用柠檬酸钠还原氯金酸盐 0.0001mol/kg 水溶液制备亲水金颗粒。

制备憎水 AU 颗粒:

在 AOT/环己烷体系中分别制备满足指定 RW(水与表面活性剂的摩尔比)和 RE(电解质与表面活性剂的摩尔比)值条件的 HAuCl_4 和柠檬酸钠反胶束,混合两种反胶束溶液,磁力搅拌至溶液出现淡紫红色,制备得到 0.0001mol/L 环己烷的 Au 溶胶。

制备憎水 SiO_2 颗粒:

我们利用正硅酸四乙酯(TEOS)的水解来制备 SiO_2 纳米粒子,以氨水为催化剂反应如下含有表面活性剂 AOT/环己烷体系溶液中加入一定量的水,形成反胶束,为正硅酸四乙酯的水解提供大小均一的反应场,定义 R_a 为 NH_3 与表面活性剂的摩尔比,利用 RW 和 R_a 值来控制 SiO_2 颗粒的大小。

1.3 表征

采用二电极检测装置。底液为 0.1mol/L KCl 磷酸盐缓冲溶液 pH 6.8,恒温温度为 35。测量时先将双电极置于缓冲溶液中,加一电压于工作电极(0.4V VS. Ag/AgCl),当背景电流值减少至一恒定值时将电极放至被测溶液(不同量 β -D 葡萄糖, 0.1mol/L KCl 磷酸盐缓冲溶液)中,分别记录不同时间的电流响应值,扣除初始背景电流值即为被测葡萄糖浓度的电极电流响应值。

1. 结果与讨论

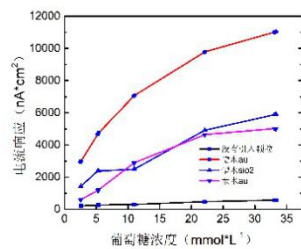


图 1 纳米颗粒对酶电极的影响

分别在含相同量的纳米亲水 Au 憎水 Au 憎水 SiO₂ 溶胶中固定 GOD 制备电极,对不同葡萄糖浓度测定电极的电流响应.作为对比未引入任何纳米颗粒的葡萄糖传感器的响应电流在 10mmol/L 时为 200nA/cm²,引入憎水 SiO₂ 颗粒的电极电流响应为 2500 nA/cm²,引入亲水 Au 颗粒的电极电流响应为 2800nA/cm²,引入憎水 Au 颗粒的电极电流响应为 7050 nA/cm².从中可以看出,固定化酶时引入纳米颗粒能够增加酶的稳定性和催化活性,大幅度提高电极的响应电流值.

2. 结论

通过对纳米颗粒固定葡萄糖氧化酶的研究得出以下结论：

(1)引入憎水二氧化硅纳米颗粒制备的葡萄糖传感器的响应电流,与不含纳米颗粒的葡萄糖传感器的响应电流相比提高了十几倍.这主要由于二氧化硅较强的吸附性能,和反胶团对酶的稳定和保护作用.引入的反胶团为固定化酶提供优良反应场所,增加固定化酶的稳定性和活性.因而纳米 SiO₂ 颗粒能牢固地吸附大量具有生物活性的 GOD,从而提高电极的电流响应.

(2)亲水金纳米颗粒制备的葡萄糖传感器的响应电流大大提高.这主要是由于 Au 的良好导电性能,亲水金可能与 GOD 氧化还原中心 FAD 发生较好的联系,减小电子在给体和受体间的距离,提高了电极与 GOD 间的电子传递速率.

(3)憎水金纳米颗粒制备的葡萄糖传感器的电流响应与不含纳米颗粒的葡萄糖传感器的响应电流相比提高 30 倍.这主要是由于金的良好导电性和憎水颗粒引入的反胶团对酶的保护作用。

文章出处：许正中，李欢. 天津大学管理学院。《国家自然科学基金资助项目“微电子技术与激光技术国家基础研究发展需求调研”的部分成果》DOI：10.16262/j.cnki.1000-8217.2010.03.007 分类号：F426.6

这篇文章并没有提出技术上的突破与创新，而是通过分析微电子行业的历史发展从而总结出某些规律及其推广，然后简要分析了微电子行业目前的障碍和未来的发展方向和机遇，最后从政策和市场角度给出了促进我国微电子产业发展的建议和方法。本文结构清晰，涉及到的知识便于理解，是一篇较优秀的政策分析文章。

1. 微电子技术 10 年一代的技术进步

从具体技术看，50 年来集成电路特征尺寸不断缩小，45nm 已进入产业化阶段，32 — 22 nm 工艺已基本定型，集成度从 101 增加到 109，集成电路上晶体管价格下降至最初的 1 / 108，晶圆直径增加了 12 倍，MPU 集成度 24 个月翻一番，存储器集成度 18 个月翻一番，基本上遵循了 Intel 公司创始人之一的 Gordon E. Moore 1965 年预言的摩尔定律 1，工艺技术的进展对 IC 集成度的提高起到乘积的效果。

2. 微电子技术未来发展的突破口

(1.延续摩尔定律

(2.扩展摩尔定律

(3.跨越摩尔定律

2.1 器件的特征尺寸继续缩小：

缩小特征尺寸可以提高集成度，从而不断提高产品的性能/价格比，是微电子技术发展的动力。

2.2 新材料的应用：

目前芯片的主要制造材料是硅，随着器件特征尺寸的不断缩小，会受到物理极限的限制，寻找新的器件材料也是微电子技术发展的必然趋势。

2.3 系统集成芯片：

SOC 是微电子设计领域的一场革命，发展 SOC 要从两个方面进行突破。第一，是软、硬件的协同发展：软件是整机系统运行的灵魂，设计性能良好的软件系统是 SOC 发展的必然要求。第二，是要突破 IP 核技术：IP 核分三种，即软核、固核和硬核。软核主要是功能描述，固核主要为结构设计，硬核是基于工艺的物理设计，使用价值最高，也最有创新意义。同时，IP 模块间的胶联逻辑技术

以及 IP 模块综合分析及实现技术也亟待技术的新突破。

2·4 绿色微电子技术：

功耗已经严重制约了微电子技术的发展，也对人类生存环境产生威胁。发展绿色微电子技术，进一步降低功耗，建立技术与人类社会共生态，是微电子技术发展的必然趋势，迫切期待技术的新突破。新材料、新工艺的应用，生物芯片等的研制都是发展绿色微电子技术的有效途径，环境污染指数应该作为重要指标纳入技术评估体系。

2·5 新器件的突破：

最有希望突破的是新型存储器和传感器。具体来讲，比如双掺杂浮栅（DDFG）闪存存储器件，垂直结构双氮化层只读存储器件(VDNROM)，基于垂直双栅结构和双层陷阱层结构的 VDNROM 器件等。与其他新型存储器技术相比，PCRAM 被认为是新一代 NVM 技术的主要候选者，同时 RRAM 被认为是最有发展潜力和成为通用存储器的候选者。

3 微电子产业的发展瓶颈

目前我国微电子行业蓬勃发展，，迅速向全球市场靠拢，但是仍然存在高端产品受制于人的现象，且大部分企业为外资所主导。

4 微电子技术与市场机遇：

若能尽可能大的解决困难，抓住机遇，在市场低谷期加大基础研究的力度，实现技术突破，将迎来市场的又一个高峰，带动国家经济的腾飞。

5 微电子技术发展的政策建议：

5·1 定位多元执行主体与执行方式，以联动带发展。

5·2 实施积极的微电子财政、金融政策。

5·3 加强政府采购，为本国微电子产业发展护航。

5·4 加强人才

苗雨润 小论文 氮化镓高速电子迁移率晶体管双界面热阻测试

出处：孙明，任翔 《国外电子测量技术》，2017，36 (11) :67-70

标题：

原来的：氮化镓高速电子迁移率晶体管双界面热阻测试

改写的：基于正偏栅极和瞬态热阻抗分离点相结合的瞬态界面测试法对氮化镓高速电子迁移率晶体管双界面热阻测试

摘要：

原来的：

热阻的准确对 GaN HEMT 器件寿命评价的有效性有非常大的影响。红外热像法热阻测试只能在器件未封帽时进行，不适用于封装完整的器件。利用正偏栅极电压和瞬态热阻抗分离点相结合的瞬态双界面测试法，对一款进口 GaN HEMT 器件开展了电学法热阻测试研究。将测试结果与红外热像法热阻测试结果进行了对比，并分析了在不同控温冷板温度和功率条件下器件热阻的变化。结果表明，双界面热阻测试能够在封装完整的情况下实现对 GaN HEMT 器件热阻的准确测试，在不同条件下热阻测试结果呈现一定的变化规律。

改写的：

基于GaN材料宽禁带、高击穿场强以及高饱和电子漂移速度等优势，GaN高电子迁移率晶体管（HEMTs）在微波大功率应用领域中具有良好的发展前景。利用正偏栅极电压和瞬态热阻抗分离点相结合的瞬态双界面测试法，对一款进口 GaN HEMT 器件开展了电学法热阻测试研究。将测试结果与红外热像法热阻测试结果进行了对比，并分析了在不同控温冷板温度和功率条件下器件热阻的变化。结果表明，双界面热阻测试能够在封装完整的情况下实现对 GaN HEMT 器件热阻的准确测试，在不同条件下热阻测试结果呈现一定的变化规律。

0 前言和绪论

0.1 WHY？为什么要做？

GaN HEMT 温度应力加速寿命试验时，结温检测结果的准确性对 GaN HEMT 加速寿命试验有着非常大的影响。

0.2 WHO、WHEN&HOW？有什么人在这之前做了什么东西？

已报道 国内有采用 0.25 μm GaN HEMT 制造工艺的 Ku 波段 20 W 功率 MMIC 和 C 波段 20 W 内匹配功率放大器等产品的成功研制。

0.3 WHAT ? 总结一下我们在文章里的贡献

利用正偏栅极电压和瞬态热阻抗分离点相结合的瞬态双界面测试法，对一款进口 GaN HEMT 器件开展了电学法热阻测试研究。将测试结果与红外热像法热阻测试结果进行了对比，并分析了在不同控温冷板温度和功率条件下器件热阻的变化。

实验

1.1 热阻测试技术分析

主要热阻测试技术

双界面热阻测试技术

电学法热阻测试模式

1.2 实验方法

测试样品及安装：

选择 3 只 CRE E 公司功率容量为 25 W 的 GaN HEMT 器件进行测试。该器件芯片衬底为 100 μ m SiC，AuSn 焊料焊接，1 mm 厚铜钼铜管壳。器件安装到铜制测试夹具上后，同夹具一起固定到控温冷板上。

测试电路：

本文测试采用 T3ster 热阻测试仪进行热阻测试，栅源电压 V_{GS} 作为温度敏感参数。。芯片加热期间，开关 S1 在位置 1，开关 S2 在位置 1，使沟道导通，调节 V_{DS} 或 V_{GS} ，获得功耗 P_H 。温度敏感参数测量期间，将开关 S1 置于位置 2，开关 S2 置于位置 2，加热前后分别测量 V_{GS} 。

1.3 测试电流

对样品温敏参数的温度系数标定采用降温法，将样品 浸入油浴锅，油的温度从 150 $^{\circ}$ C 缓慢降到 30 $^{\circ}$ C，期间每 5 $^{\circ}$ C 测量一次 V_{GS} 。测量电流 I_M 分别采用 1 mA 和 10 mA。

1.4 测试结果

当芯片粘接使用高热导率材料（如焊料）时，热阻计算采用瞬态热阻抗分离点法；当芯片粘接使用低热导率材料（如胶粘物）时，热阻计算采用结构函数法。结果如图。

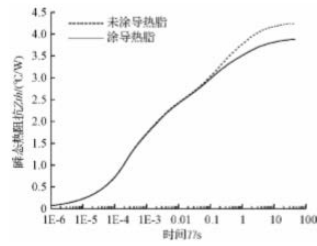


图 3 两种热接触方式的热阻抗曲线

通过对热阻抗微分曲线确定分离点，获得样品的热阻 值 $2.35^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。

结果与讨论

2.1 与红外热像法测试结果的对比

通过两种测试方法的结果对比可以看出，双界面热阻 测试结果与红外热像热阻测试结果具有较好的一致性。瞬态双界面热阻测试不仅适用于完整封装的 GaN HEMT 器件，也可以用于未封盖器件，且测试过程简单快速，较红 外热像法有更大的灵活性。

2.2 不同控温冷板温度条件测试结果讨论

从器件的结构函数曲线可知，铜钼铜管壳热阻和芯片热阻约占 GaN HEMT 器件热阻的 75% [6]。由于 SiC、Cu 和 Mo 材料热导率具有负的温度相关性 [14]，当器件温度升高时，材料的热导率降低，从而增大了整个器件的热阻值。

2.3 不同功率条件测试结果讨论

随着施加功率的增大，测得的热阻值逐渐减少。施加到器件上的功率从 2.32 W 提高到 17.04 W ，热阻值减少了 18%。这是由于电学法温度测量区域并不在峰值温度所在位置。GaN HEMT 器件中多子为电子，半导体材料中由电子动能所引起的电子焦耳热是器件的主要发热来源。峰值电场集中在 AlGaIn/GaN 界面，栅极下靠近漏端一侧的区域 [15]，这个狭小的区域也是峰值温度区域。而电学法温度测量利用的是栅下肖特基结的压降。因此，随着电流的升高，肖特基结处的温度与峰值温度的差值逐渐增大，从而导致热阻值的降低。

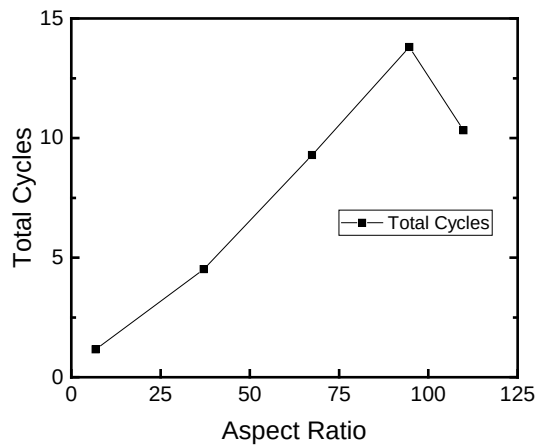
结论

本文将栅源电压作为温度敏感参数，采用正偏栅极电 压法对一款进口 GaN HEMT 器件进行了双界面热阻测 试，通过瞬态热阻抗分离点确定热阻值。该方法避免了传 统电学热阻测试时壳温测量误差，且测试结果与目前广泛 采用的红外热像法结果相近。同时，研究了在不同控温冷 板温度和功率条件下器件热阻的变化情况。研究表明，双 界面热阻测试方法适用于封装完整的 GaN HEMT 器件。由于器件温度的升高，芯片和管壳的热导率下降，器件热阻也相应增大。但由于该方法温度测量结不在峰值温度 区域内，当器

这篇论文，是微纳学界人物张海霞教授的代表作之一，它主要集合四作者之力，介绍了鳞片状微/纳米多尺度结构的制作以及制作过程中不同尺度结构之间相互作用的分析。研究者通过 KOH 湿法蚀刻来制造由倒金字塔和 V 形槽构成的精心设计的微结构。论文中还介绍了通过改进的无掩模深反应离子刻蚀（DRIE）工艺在微结构上制造高密度高纵横比（HAR）纳米结构，并且具有优化的配方以形成微/纳米双尺度结构（MNDS）。由于微观结构的轮廓对纳米结构形状的影响，已经在微结构的倾斜表面上形成了不对称的（即，鳞状）纳米柱，而在水平表面上以不同的形成速度形成了对称的纳米柱。这一工艺制造出的微/纳米结构相比于传统光蚀刻工艺制造出的微/纳米结构具有更高的密度和纵横比。而论文中提到的“微/纳米双尺度结构”和“微/纳米多尺度结构”，我认为则是具有一定革命性的结构，因为 MNDS（微/纳米双尺度结构）的光学特性对微结构的结构参数不敏感，使得具有该结构的试验样品克服了光电器件传统工艺的光刻限制。这让我想起 UV-LIGA 等传统的光刻工艺，随着微纳器件规模的不断增大、集成度的不断提高，这些传统工艺将会达到它们的瓶颈，这时由新的微/纳米结构掀起的新的制造工艺变革则是推动生产力发展的一大驱动力。然而，实验并未止步于此，论文中还记述了通过在 MNDS 上溅射金薄膜来制造三层结构，并且通过实验得出 MNDS 的外形在金颗粒的沉积中是选择性的，这确实是令人惊叹的发现，而且对复杂度高于“微/纳米双尺度结构”的“微/纳米多尺度结构”也展开了初步探究，这在工艺上是具有创见性的。

论文还介绍了制造微/纳米双尺度结构的多种方法，例如金属催化化学蚀刻，金属催化电流蚀刻，碱性溶液湿法蚀刻，气相干法蚀刻等。但目前，由于在可控性和生产率等方面仍存在较多不足，基于硅的微/纳米双尺度结构（MNDS）并未得到广泛应用。而论文提出了一种改进的深度反应离子刻蚀（DRIE）工艺，该工艺是可控的，大尺寸的，并且与标准 IC 工艺兼容。改进的 DRIE 过程适合于实现由无掩码和简单特征产生的 MNDS。文章还进一步介绍了使用这种改进的 DRIE 工艺的纳米结构的可控生长，以及实验所得的关键工艺参数与纳米结构轮廓之间的定性关系和用于制造 MNDS 的 DRIE 过程的优化配方。实验者还通过改进的 DRIE 工艺以及 MNDS 的光学性质与其形态之间的关系来进一步研究在不同微结构（例如水平表面和倾斜表面）上的纳米结构的形成。就目前已经取得的实验成果来看，研究者已经在微结构的倾斜和水平表面上

获得了高度紧凑的不对称（即鳞片状）和对称纳米结构。



The effects of key process parameters on the aspect ratio of nanostructures.

此外，实验还得出倾斜和水平表面上的纳米结构的形成速度是不同的。这些新观察到的制造和形态特性不仅可以帮助理解分层结构的形成机制，而且可以扩展 MNDS 在新器件中的应用。

由于原文所用语言为英文，而且全文有大量的专业词汇，所以我在阅读上有不小的困难，但得益于课上所学的论文阅读方法和思想，我最终还是顺利理解了原文的大概含义。

作为一篇学术论文，严谨的学术研究态度自然是重中之重。这篇论文虽然受限于多尺度相互作用的知识缺乏，对关键工艺参数和纵横比之间的关系只进行了定性研究，但这丝毫不影响该论文的结构和逻辑的严密性，以及对实验过程记述的可靠性，因而最终所得的结论也有很大的参考价值。从 5W1H 的角度来说，论文的“What”、“Why”、“How”都非常清晰，但是缺少“Who, When& Where”，这可能从侧面说明了这篇论文记述的研究工作是具有开创性的。更可贵的是，研究者并没有在得到实验结果、对结果进行讨论后就结束论文。论文的结论部分，除了对制造和表征过程的总结，还有对于实际应用场景发展前景的展望，有一些建议的意味。

总而言之，这篇学术论文让我领略到了微纳学领域研究者超强的实践理论化能力、蓬勃的创新力、深刻的思考力和强大的预见力。我不禁期待 KOH 湿法刻蚀，改进的 DRIE 工艺和金溅射在微纳器件实际生产中得到大规模应用的那一天，不禁猜测具有“微/纳米多尺度结构”的光电器件将如何改变我们的生产与生活，不禁想像未来还将有怎样的巨大变革。

出处

王煜, 郭辉, 张海霞,等. SiC 薄膜制备 MEMS 结构[J]. 中国机械工程, 2005, 16(14):1310-1312.

标题

改写：SiC 薄膜制备高耐受性 MEMS 结构及工艺参数研究

摘要

改写：为了用抗腐蚀性更强、力学性能更佳的 SiC 薄膜制备更高稳定性的 MEMS 结构，采用 PECVD 方法制备了无定形 SiC 薄膜,在此基础上,以 SiC 为结构层,利用传统 的表面硅牺牲层工艺制作了电容式谐振器以及薄膜残余应力的在片检测结构并进行了相关研究。对 SiC 的 MEMS 结构进一步进行了长时间的腐蚀,可以获得 SiC 材料的腐蚀特性；借助制作出的谐振器和在片检测结构，可以对 SiC 材料的力学特性进行研究。实验表明，SiC 材料具有较好的抗腐蚀特性，且退火工艺能够改善其力学特性，同时薄膜硅碳原子比随硅烷在气体流量中所占比例增大而增大。

0 前言和绪论

0.1

作为传感器、执行器等部件,MEMS 器件常常暴露在恶劣环境中，因此,MEMS 材料的选择至关重要。SiC 材料具有良好的电学特性和力学特性，是一种非常理想的半导体材料。它具有热传导率高、耐高温、抗腐蚀、化学稳定性高等特点。以此作为器件结构材料,可以得到耐高温、耐高压和抗腐蚀的 SiC - MEMS 器件,可大大拓展传统 MEMS 器件的应用领域,具有广阔的市场和应用前景。PECVD 属于低温工艺,容易与 IC 工艺兼容，适合于制备 SiC 薄膜。

0.2

目前 MEMS 技术中占主导地位的是硅基 MEMS 器件，其在高温、高压、腐蚀等恶劣环境中难以正常工作，不能胜任日益复杂的工作环境和苛刻的工作条件。

0.3

笔者采用 PECVD 工艺制备 SiC 薄膜,并以该薄膜为结构层制作了电容式谐振器以及薄膜残余应力在片测试结构等 MEMS 结构,同时对腐蚀特性以及力学特性等显著影响器件性能的薄膜特性进行了研究。

1 实验

1.2 方法

SiC 材料的制备在北京大学微电子学研究院 微米/纳米加工技术国家重点实验室完成。衬底硅片直径为 100mm(即 4 英寸片), 双抛, 〈100〉晶 向,厚度为 $(420 \pm 10)\mu\text{m}$ 。淀积采用的是 PECVD 工艺。工艺条件如下:温度为 300°C , 压力为 133.3Pa , 采用 SiH_4 ($20\text{cm}^3/\text{min}$)、 CH_4 ($600\text{cm}^3/\text{min}$)、 Ar ($400\text{cm}^3/\text{min}$)作为气体源,高频功 率 200W ,低频功率为零。为了研究工艺条件对薄膜力学特性的影响,本文对硅烷的气体流量进 行了调整,以得到不同特性的 SiC 薄膜。薄膜的刻蚀由 ICP 实现。

1.3 表征

本研究在清华大学分析中心采用俄歇测试手段得到 SiC 薄膜中非氢原子的原子比。仪器型号 为 PHI - 610/SAM ,采用同轴电子枪和 CMA 能 量分析器,电子枪高压为 3kV ,发射电流 25mA , 能量分辨率为 0.3% ,入射角为 30° ,分析室真空 度为 520nPa 。薄膜的杨氏模量和硬度则由纳米压痕测量得到。

测试在中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室完成, 使用 MTS Nano Indenter XP〇 R 系统。压针为金刚石 Berkovich tip; 载荷量程为 500mN ,分辨率为 50nN ; 行程为 2mm ,分辨率为 0.01nm 。压痕深度从 $1\mu\text{m}$ 到 $1.5\mu\text{m}$ 不等, 根据试样的薄膜厚度不同而有所区别。

2 结果与讨论

2.1 结果

2.1.1 制备 MEMS 结构

采用传统的表面硅牺牲层工艺,成功地利用 SiC 材料制备了电容式谐振器以及残余应力的在 片检测结构。结构层薄膜具有压应力。谐振器的悬臂梁存在翘曲的现象, 这是由于 SiC 薄膜中残余应力以及应力梯度的共同作用而引起的。

2.1.2 SiC 结构的腐蚀特性

把 SiC 谐振结构放在 KOH 溶液中浸泡 4h 后,没有观察到 SiC 结构有明显的腐蚀。

2.1.3 SiC 材料的力学特性

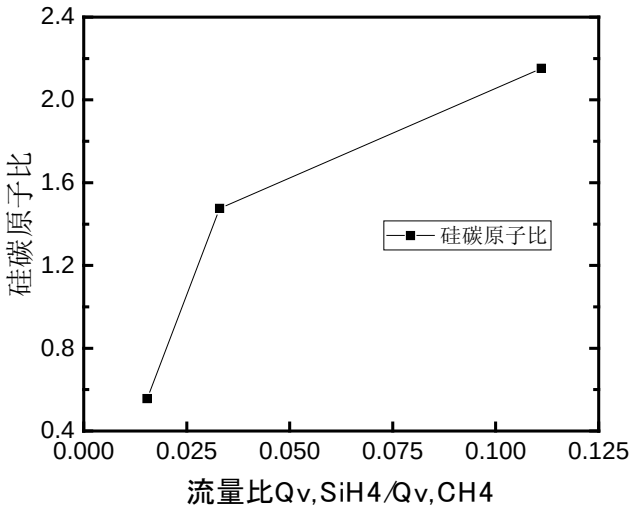
测试得到的结果显示: 对 SiC 薄膜进行退火, 薄膜的杨氏模量和硬度都会随之增大; 另外,薄膜的硅碳原子比越低,则薄膜的杨氏模量越高。薄膜的硅碳原子比通过俄歇测试分析 得到。

2.2 讨论

2.2.1 制备 MEMS 结构

可动结构层的翘曲将对谐振器的性能带来重大影响,它会增大谐振器的驱动电压,甚至造成器件

失效,无法驱动。为了使制作的 MEMS 器件能够正常工作,结构层材料的应力和应力梯度都应该得到较好的控制。有研究指出:对于 PECVD 生长的初始应力为压应力的 SiC 薄膜,退火工艺有助于减小薄膜的应力。



2.2.2 SiC 结构的腐蚀特性

SiC 材料具有较好的化学稳定性。

2.2.3 SiC 材料的力学特性

退火工艺使 SiC 薄膜中的氢原子逸出,因而薄膜中的 Si - H 键以及 C - H 键减少,而增加了 Si - C 结合,使得 SiC 薄膜在结构上更加致密,因此薄膜的杨氏模量、硬度增大。俄歇测试的结果显示:硅烷在气体流量中占的比例越大,则薄膜的硅碳比也随之增大。随着硅烷流量增大,薄膜的硅碳原子比增大,于是薄膜的折射率向硅材料的折射率靠近,其光学性质越来越接近于硅。

3 结论

实验表明: SiC - MEMS 器件在 KOH 溶液中均表现出较稳定的化学特性。因此,在腐蚀等恶劣环境中,采用 SiC 材料制作的 MEMS 器件具有较好的应用前景。采用 SiC 材料制备 MEMS 器件时,应对薄膜的应力参数加以控制,以免破坏器件性能。本文的研究表明,退火工艺在改善 SiC 薄膜应力的同时,使薄膜的杨氏模量和硬度都得以提高。薄膜的硅碳原子比与杨氏模量之间也显示出正相关的关系。而薄膜硅碳原子比取决于薄膜制备的工艺条件,随着硅烷在反应气体中所占的比例增加,薄膜的硅碳原子比相应增大,薄膜折射率也趋近于硅材料的折射率。

4 实验曲线

薄膜的硅碳原子比与薄膜的制备工艺中硅烷、甲烷的流量之间存在明显的关系。实验图线显示:硅烷在气体流量中占的比例越大,则薄膜的硅碳比也随之增大。

【Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon[J]. Nature, 1991, 354(6348):56-58.】

这是饭岛澄男教授于 1991 年发表于《Nature》的文章，第一次向世人展示了碳纳米管的魅力。

饭岛澄男（Sumio Iijima），日本国籍，纳米科学家。1939 年 5 月出生于日本，1968 年获得日本东北大学博士学位，现任日本名古屋名城大学教授。2010 年当选日本科学院院士，2011 年当选中国科学院外籍院士。

在当时 C60 和其他富勒烯的分子碳结构的合成激发了人们对石墨碳片易于获得的结构浓厚兴趣。而饭岛教授则是在本文中第一次提出了碳纳米管的结构与其性能。

文章先从碳纳米管在高分辨率电子显微镜下的状态开始，讲述了当碳片弯曲成管状时的一些物理状态。随之笔者对碳管做了衍射实验，并将碳管沿针轴方向剖开，展平得到呈螺旋结构的六边形。

文章是一种类似于展示发现物品的论文。此文中饭岛教授并未对碳纳米管做出十分详细的研究，取而代之的是几个初步研究的简单实验，揭示了碳纳米管的一些基本性质——六边形的完美连接结构等。正是教授留下的一些实验空白，令后人对于碳纳米管的研究进入了一种白热化的地步。

碳纳米管，又名巴基管，是一种具有特殊结构(径向尺寸为纳米量级，轴向尺寸为微米量级，管子两端基本上都封口)的一维量子材料。碳纳米管主要由呈六边形排列的碳原子构成数层到数十层的同轴圆管。层与层之间保持固定的距离，约 0.34nm，直径一般为 2~20 nm。并且根据碳六边形沿轴向的不同取向可以将其分成锯齿形、扶手椅型和螺旋型三种。其中螺旋型的碳纳米管具有手性，而锯齿形和扶手椅型碳纳米管没有手性。

碳纳米管具有重量轻等特点，且具有其特殊的导电性、化学性能及力学性能，具有很远的发展前景。饭岛教授的这篇文章我认为其主要的的作用并不是讲述他目前对碳纳米管的研究，而是向世人表明了碳纳米管的存在。一个研究的重要性没有一个研究方向的重要性强，而饭岛教授正是给了当时的科学研究一个新的方向——碳纳米管。自 20 世纪 70 年代纳米颗粒材料问世以来，碳纳米管毫无疑问是一个里程碑式的发现。

那么有关碳纳米管的性质，下面我从力学、电学以及化学三个方面进行补充说明：

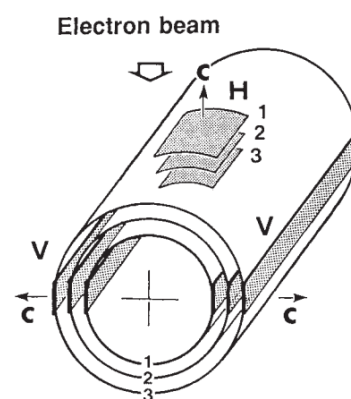


FIG. 2 Clinographic view of a possible structural model for a graphitic tubule. Each cylinder represents a coaxial closed layer of carbon hexagons. The meaning of the labels V and H is explained in the text.

力学。碳纳米管的抗拉强度约为 50~200GPa，与钢比较，是钢的 100 倍。而其密度偏小，仅为钢的六分之一。碳纳米管的弹性模量以及硬度与金刚石相似，是目前可制备出的具有最高比强度的材料。且碳纳米管具有极好的韧性，在 1011MPa 的压力下压扁后置于标准环境下，很快能够恢复原状。另，碳纳米管具有目前材料中最高的熔点以及较高的热传导率。

电学。碳纳米管上碳原子的 P 电子形成大范围的离域 π 键，由于共轭效应显著，碳纳米管具有一些特殊的电学性质。由于碳纳米管的结构与石墨的片层结构相同，所以具有很好的电学性能。常用矢量 Ch 表示碳纳米管上原子排列的方向，其中 $Ch = na_1 + ma_2$ ，记为 (n, m) 。 a_1 和 a_2 分别表示两个基矢。 (n, m) 与碳纳米管的导电性能密切相关。对于一个给定 (n, m) 的纳米管，如果有 $2n+m=3q$ (q 为整数)，则这个方向上表现出金属性，是良好的导体，否则表现为半导体。对于 $n=m$ 的方向，碳纳米管表现出良好的导电性，电导率通常可达铜的 1 万倍。

化学。碳纳米管的比表面积很大，基于它特殊的管道结构与类石墨层系的优势特点，也具备了储氢材料的条件。在电化学方面也具有很大的发展潜力。其次，碳纳米管的特殊管状结构使其具有极强的毛细吸附性能，能够作为吸附剂使用。

毋庸置疑的，碳纳米管是一个伟大的研究。对于其未来的发展以及性能的研究，需要我们研究者们更进一步的努力。

【宋教花, 张耿民, 张兆祥, 等. 多壁碳纳米管阵列场发射研究[J]. 物理学报, 2004, 53(12):4392-4397.】

标题

原来的：多壁碳纳米管阵列场发射研究

新的标题：Ar 离子束轰击处理及温度对碳纳米管阵列场发射平面显示的影响的研究

摘要：

原来的：

研究了 Ar 离子束轰击及温度对多壁碳纳米管阵列场发射性能的影响。经 Ar 离子轰击 35min 后，发现阵列顶端的 Fe 催化剂颗粒明显减少，弯曲的顶部被轰击掉，使碳纳米管的场发射电流明显减小而场发射像无明显改变。温度的增加引起碳纳米管的场发射电流也随之增加。还研究了在透明阳极技术中涂在阳极的荧光粉对场发射电流的影响。对同一碳纳米管阵列样品，发现涂有荧光粉的透明阳极使测量到的场发射电流大幅度减小，只是未涂荧光粉阳极电流的 1/30 左右。直接用二氧化锡导电膜作阳极时，测得样品的开启场强为 1.0V/ μm 。沉积了荧光粉的二氧化锡导电膜作阳极时，开启场强变为 2.0V/ μm 。

改写的：

作为电子源，碳纳米管阵列在场发射平面显示方面有着广阔的应用发展前景。为了研究 Ar 离子束轰击及温度对多壁碳纳米管阵列场发射性能的影响，进行了系列实验。经 Ar 离子轰击 35min 后，发现阵列顶端的 Fe 催化剂颗粒明显减少，弯曲的顶部被轰击掉，使碳纳米管的场发射电流明显减小而场发射像无明显改变。温度的增加引起碳纳米管的场发射电流也随之增加。还研究了在透明阳极技术中涂在阳极的荧光粉对场发射电流的影响。对同一碳纳米管阵列样品，发现涂有荧光粉的透明阳极使测量到的场发射电流大幅度减小，只是未涂荧光粉阳极电流的 1/30 左右。直接用二氧化锡导电膜作阳极时，测得样品的开启场强为 1.0V/ μm 。沉积了荧光粉的二氧化锡导电膜作阳极时，开启场强变为 2.0V/ μm 。

前言与绪论

0.1 WHY？为什么要做？

作为电子源，碳纳米管阵列在场发射平面显示方面有着广阔的应用发展前景。

0.2 WHO、WHEN、WHERE？有什么人在这之前做了什么？

目前已经有关于用后处理方法，例如用氨气、氮气、氢气等气体的等离子体轰击碳纳米管，以提高场发射性能的报道，碳纳米管形态的改变将会影响其场发射性能。另外，碳纳米管的温度对其场发射性能也有影响。目前很多研究场发射的文献中用的是涂有荧光粉的 ITO 或二氧化锡导电膜，而荧光粉导电性一般是比较差的，其电阻系数为 $10^{10} \sim 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ ，这就有可能对场发射性能造成较大影响。因为若荧光屏导电性不够好，电荷不能很好地导出，有时则会聚集在屏上，使其荷负电，负电荷在屏表面附近形成的拒斥电场会抑制场发射电流。已有文献直接利用未涂荧光粉的二氧化锡导电膜作透明阳极但涂荧光粉与不涂荧光粉的阳极对场发射电流的影响尚未见报道。

0.3 WHAT？总结一下我们在这篇文章的贡献

本文研究了 Ar 离子束轰击处理对碳纳米管阵列场发射性能的影响。Ar 离子束轰击将改变碳纳米管阵列的物理结构及形貌，还可以去掉碳纳米管顶端的催化剂颗粒从而改变场发射性能。还研究了温度变化后碳纳米管阵列场发射性能的变化，并用同一样品在相同条件下分别用涂荧光粉的阳极与未涂荧光粉的阳极测量了场发射电流。

实验

一、多壁碳纳米管阵列的制备

多壁碳纳米管阵列是采用高温裂解方法制备的，以酞菁铁（FePc）为原料，石英管作反应器，用体积比为 1：1 的 Ar/H₂ 混合气体作为载气，基底为 Si 片。

二、Ar 离子束轰击对场发射性能的影响

Ar 离子束处理分两次进行，第一次轰击 10min，利用 X 射线光电子能谱（XPS）观测其成分变化，然后再轰击 25min，再用 XPS 观测样品成分变化。

为了比较 Ar 离子处理对场发射性能的影响，在金属超高真空系统中进行了场发射性能测试，真空度保持在 10^{-7} Pa。Si 基底上碳纳米管阵列的面积为 40mm^2 ，粘在钼片上作为阴极，将涂有荧光粉的氧化锡透明导电膜作阳极，阴阳极间距为 0.8mm，阴极上的负高压由一稳压电源提供。利用热子对阴极间接加热，用热电偶直接测量阴极温度。

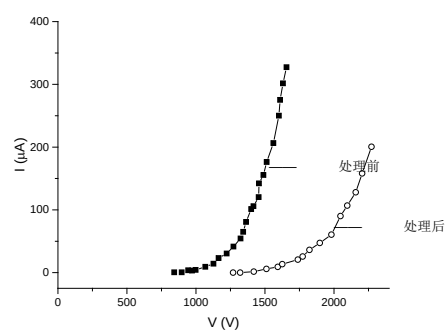
三、温度对场发射性能的影响

将样品加热到 480℃ 保持 10min，然后分别测量了在 2.7、2.5、2.3 和 2.1V/ μm 固定场强下温度引起场发射电流的变化。实验过程是先加热到需要的温度，然后停止加热，在自然降温的过程中测量温度与电流。

四、荧光粉对场发射性能的影响

实验所用荧光粉采用干法涂复，其大致过程是：将混有 10% 磷酸的甲醇溶液均匀涂复在导电膜上，使溶液在导电膜上均匀分布，然后用橡皮球将荧光粉通过玻璃弯管喷涂到导电膜上，达到要求的厚度就停止喷粉。

结果与讨论



这是 Ar 离子处理前后的 I-V 图像。实验发现，在用 Ar 离子处理后，碳纳米管阵列的场发射电流明显减小。说明 Ar 离子束长时间的轰击容易形成结节而不利于电子的逸出。在处理前，碳纳米管的尖端存在大量 Fe 颗粒，它的存在可能有利于场发射。

结论

通过研究 Ar 离子束轰击及温对碳纳米管阵列场发射性能的影响，发现 Ar 离子轰击 35min 后，阵列端的 Fe 催化剂颗粒明显减少，弯曲的顶部被轰击掉，碳纳米管的场发射电流明显小，而场发射点密度无明显改变。温度升高则引起碳纳米管的场发射电流大大增加。另外还发现，对同一碳纳米管阵列样品，涂有荧光粉的透明阳极使场发射电流幅度减小，只是未涂荧光粉阳极电流的 1/30 左右。对于场发射像的观测，荧光屏具有较高的发光强度，分辨率较二氧化锡膜低，实验表明 ITO 膜不适合用作场发射点分布的观测。

鉴于这是一篇英文的大论文，而且是理论性的。我在读的时候不求甚解，很多地方已经超越了我的知识范畴。所以写这篇感悟的时候知识泛泛而谈，并不能读懂作者在论文中提及的各种公式等。

本文提出了一个三维的线性理论，具有晶格性质的弹性连续体在理论上包含了单位细胞的概念。方程组与声波和光学分支相同的屈服波色散关系晶格理论中的长波特性在中子散射实验中观察到。虽然具体的解决方案不是详细显示，从方程的形式可以看出在运动和平衡条件下都会产生有趣的表面效应

作者第一节讲的是运动学。为什么作者会在结构里讲运动呢？带着这个疑惑，我进入了第一节，发现作者讲得是微观结构中的运动。准确的说，是微观结构里的微运动。作者将微观结构放大，然后取出其中众多重复结构的一块，然后合理的建立理想的模型，设置变量，列出变量之间的方程。从而探究微观结构的运动规律。

第二节接着第一节的分析，引出了动能和势能。自然而然地作者通过几个变量列出了微观结构的动能和势能，其中动能和势能是相互转换的。

紧接着第三节，作者讲的是运动变分方程。全部是理论性的公式以及定义等。根本没办法明白。但可以肯定的是作者还是在研究结构运动方面的事情。

第四节，作者讲了运动应力方程和边界条件。作者又研究了应力方程，还确定了其边界条件。在某个特殊条件下，某个方程才成立。

第五节，作者讲了本构方程。一听这名字，好像很熟悉，感觉听到过。上网搜了一下：本构方程(constitutive equation)，反映物质宏观性质的数学模型。又称本构关系(constitutive relations)。通常把应力和应变率，或应力张量与应变张量之间的函数关系称为本构方程。原来第五节和第四节是有联系的。都和应力有关。然后作者又是一大堆的理论推演。我表示无能为力。

第六节是讲位移运动方程。这一节讲的就比较温和了，不像之前几节的方程没有见过。这节主要讲了怎么从变量上获得不同方程，然后插入本构方程将其转化成应力运动方程。

第七节是讲微振动。作者列出了几个方程来描述微观结构中的微振动。这一节也是紧接上一节的位移运动方程。节与节之间体现了很强的联系。

第八节讲了长波平面波。这一节中，作者花了大量的篇幅列写方程，解释方程，可见这一节内容的关键性和难度。

第九节，十一节，十二节，讲的都是低频超长波近似。本节和以下三个部分是关于讨论和推导的。

第十节是 TouPin 对偶应力理论的推广，这一节是作者对该理论的一个延拓和加工，使该理论更好的解决了作者遇到的问题。

第十四节是基于近似方程的集中力。

最后一节是作者参考的文献。

最后理一下整篇论文的结构。第一部分是基本的介绍。前面一些部分关于微结构的运动，势能，本构方程等都是为后面的讨论做下铺垫。可见作者为了讲清楚这些知识做了很多工作。

后面部分是作者对重要环节的讨论与分析。最后是参考文献。

徐鸿 小论文 二维微纳米结构表面反射特性的时域有限差分法模拟研究

出处：余彦清. 基于 FDTD 的微纳结构表面的抗反射特性研究[D]. 中国科学技术大学, 2012.标题

原来的

二维微纳米结构表面反射特性的时域 有限差分法模拟研究

改写的（有 WHAT, WHY, HOW）

为抗反射表面的设计和制作进行二维微纳米结构表面反射特性的时域有限差分法模拟研究

摘要

原来的

亚波长微纳米结构表面具有优良的抗反射特性，本文以硅基太阳能电池响应光谱的 300 ~ 1 200 nm 为应用基础，利用时域有限差分法计算了表面面形、结构参量的占空比、高度和周期以及 光波入射角等对二维微纳米结构表面反射特性的影响，并结合等效介质理论进行了进一步理论分析。结果表明：等截面光栅结构的反射率较大，结构参量影响也较小；锥形渐变截面光栅结构的抗反 射性能较好，且反射率随着占空比、结构高度的增大而显著下降；同时，光波在光栅法线的 $\pm 40^\circ$ 范围内入射时，反射率均较小。通过对亚波长微纳米光栅结构的反射特性的模拟和分析，为抗反射表面的设计和制作提供了基础。

改写的（按照 WHY, WHAT, HOW, WHAT (RESULTS)）

- Why 硅基太阳能电池作为一种新型能源已成为现阶段研究热点之一。由于其光电转换效率较低，人们试图利用多层膜、表面织构以及衍射光栅加强背反射 等手段来降低反射、增加光吸收效率，以期提高光电 转换效率。其中表面织构以其亚波长结构的抗反 射特性受到广泛的关注。亚波长微纳米结构表面具有优良的抗反射特性
- What 对于硅基太阳能电池来说，其光谱响应区间为 350 ~ 1 150 nm，为此，可以在覆盖这一宽光谱范围内，通过构建亚波长的表面微纳米结构来提高其 抗反射性能。
- How 本文以硅基太阳能电池响应光谱的 300 ~ 1 200 nm 为应用基础，利用时域有限差分法计算了表面面形、结构参量的占空比、高度和周期以及光波入射角等对二维微纳米结构表面反射特性的影响，并结合等效介质理论进行了进一步理论分析。
- What 结果表明：等截面光栅结构的反射率较大，结构参量影响也较小；锥形渐变截面光栅结构的抗反 射性能较好，且反射率随着占空比、结构高度的增大而显著下降；同时，光波在光栅法线的 $\pm 40^\circ$ 范围内入射时，反射率均较小。

0 前言和绪论

0.1 WHY? 为什么要做?

- 硅基太阳能电池作为一种新型能源已成为现阶段研究热点之一。由于其光电转换效率较低，人们试图利用多层膜、表面织构以及衍射光栅加强背反射等手段来降低反射、增加光吸收效率，以期提高光电转换效率。其中表面织构以其亚波长结构的抗反射特性受到广泛的关注。

0.2 WHO、WHEN & WHERE? 有什么人在这之前做了什么东西?

- 在二维亚波长结构的光学特性研究领域，国内外的学者利用严格耦合波法分析了方柱型、锥型和半球型等亚波长光栅结构在可见光或红外波段的抗反射特性。Leem 等利用严格耦合波法对具有圆柱形和半球形组合的亚波长二维周期结构反射特性进行了分析。Y C Chang, C H Chang 和 Jose A. 等利用等效介质理论分析了金字塔和锥型结构在可见光波段的反射特性；Ting 等利用时域有限差分法研究了金字塔型和圆锥型的二维周期结构在可见光波段的抗反射特性。相关的研究虽然分析和计算方法以及考察光谱范围不同，但是均表明亚波长的微纳米结构表面具有很好的抗反射特性，且相对因受到折射率对膜材料的限制以及膜的附着性和稳定性等影响的多层膜结构来说有着显著的优势。

0.3 WHAT? 总结一下我们在这篇文章的贡献

- 对于硅基太阳能电池来说，其光谱响应区间为 350 ~ 1150 nm，为此，可以在覆盖这一宽光谱范围内，通过构建亚波长的表面微纳米结构来提高其抗反射性能。

1 实验

1.2 方法（怎么做的）

1.1 等截面微纳米结构的模拟计算

1.2 梯度截面光栅的模拟计算

1.3 表征（怎么测的）

模拟不同结构，测量反射率

2 结果与讨论

2.1 结果

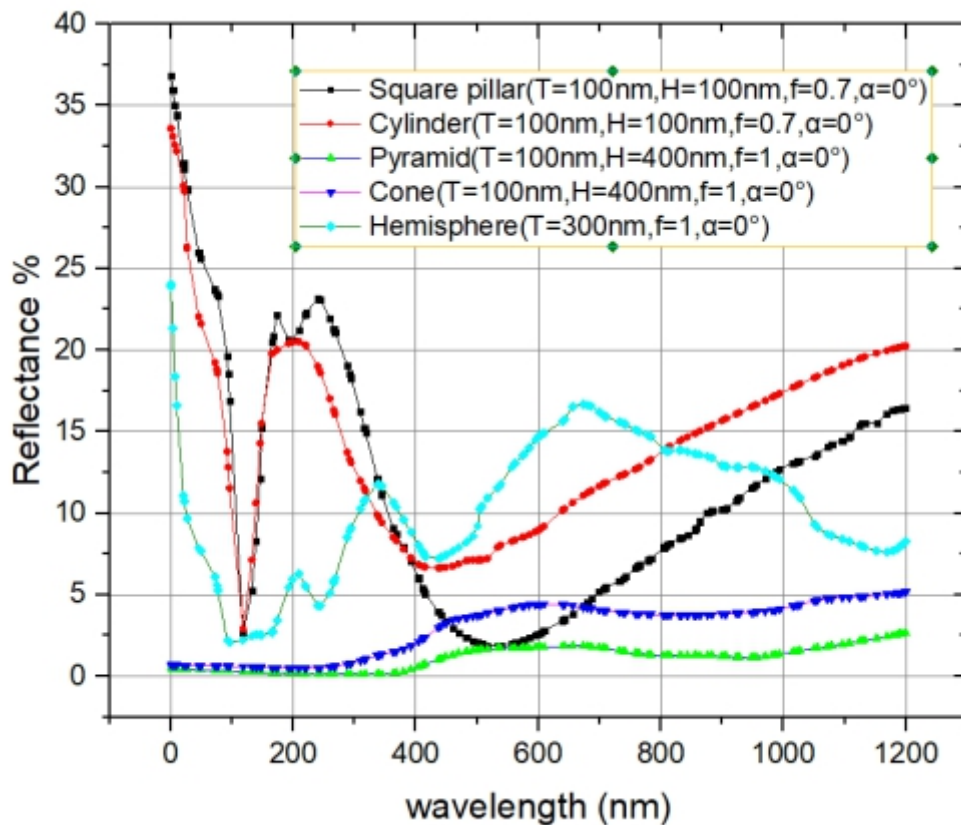


图 6 不同二维浮雕结构表面与反射率的关系对比

2.2 讨论

图 6 给出了 五种亚波长结构经优化后反射率 R 随波长的变化 情况。其中等截面微纳米结构(方柱型和圆柱型)的 参量分别为 $T=100\text{ nm}$, $H=100\text{ nm}$, $f=0.7$, $\alpha=0^\circ$ ；梯度截面微纳米结构 中的金字塔型和圆锥型的 参量为 $T=100\text{ nm}$, $H=400\text{ nm}$, $f=1$, $\alpha=0^\circ$ 。；半球 型结构参量为 $T=300\text{ nm}$, $f=1$, $\alpha=0^\circ$ 。可以看出五 种结构中，梯度截面变化的金字塔型和圆锥型二维 微纳 米结构的抗反射效果是最好的，在全波段范围 内反射率最大分别不超过 3%和 5%。

3 结论

- 本文以硅基太阳能电池常用工作波段为分析基础，利用 FDTD 的数值分析方法，来模拟计算五种 典型二维亚波长微纳米结构表面的反射特性，通过 对光栅结构的占空比、高度和周期等结构参量的正 交模拟，结果表明，具有梯度变化截面的微纳米结构 相对等截面光栅结构来说，具有很好的抗反射性能； 同时，光波入射角度对反射率的影响也较为显著。当 入射角度 $\alpha < 40^\circ$ 时，反射率较小，而随着入射角度的 继续增大，反射率也将显著 增大。

在模拟计算的基础 上，结合等效介质和衍射的理论分析，对不同结构参 量与反射率的关系展 开了进一步的分析和讨论，从 而为利用 FDTD 的数值计算提供 理论支持。为 此，通过对亚 波长微纳米光栅结构的反射特性的模 拟和分析，为太阳能电池抗反射表面的设

摘自 【Room-Temperature Quantum Hall Effect in Graphene K. S. Novoselov¹, Z. Jiang^{2, 3}, Y. Zhang², S.V. Morozov¹, H.L. Stormer², U. Zeitler⁴, J.C. Maan⁴, G.S. Boebinger³, P. Kim^{2*} & A.K. Geim^{1*}
¹Department of Physics, University of Manchester, M13 9PL, Manchester, UK ²Department of Physics, Columbia University, New York, New York 10027, USA ³National High Magnetic Field Laboratory, Tallahassee, Florida 32310, USA ⁴High Field Magnet Laboratory, Radboud University Nijmegen, 6525 ED Nijmegen, Netherlands】

量子霍尔效应(QHE)是发生在真正宏观尺度上的量子现象的一个例子, 自 1980 年发现以来一直引起人们的广泛关注(1)。QHE 是二维金属特有的, 阐明了量子物理的许多重要方面, 加深了我们对相互作用系统的理解。这也导致了一个新的度量标准的建立, 即电阻量子, 只包含电子电荷 e 和普朗克常数 h 的基本常数。与其他许多量子现象一样, QHE 的观察 通常需要低温 T , 通常低于液氮(1)的沸点。作者正在努力扩大 QHE 的温度范围, 例如, 使用具有小有效载流子质量的半导体 迄今为止, 电荷载流子的 SES 达不到 30K 以上 (3,4) 。这些努力是由观察环境条件下明显脆弱的量子现象的好奇心和 P 一些好奇的科学家们做出的, 需要在至少是液氮温度下进行计量.更强大的量子态, 由于它们对更高温度的持久性, 也将提供更多的自由来进行访问具有 QHE 的更精细的特征, 并且可能允许更高的量化精度 (2) 。

作者展示了在石墨烯中, 单层的碳原子紧密地包裹在蜂窝状晶格中。即使在室温下也可以观察到 QHE。这是由于石墨烯中电荷载流子的非常不寻常的性质, 其表现为无质量的相对论性粒子(狄拉克费米子)并会发生环境条件下的小散射(5)。作者了石墨烯中的室温 QHE。霍尔电导率 σ_{XY} 显示出电子和空穴在 $2e^2/h$ 时的清晰平台, 而纵向则是电导率 ρ_{xx} 接近于零($<10\Omega$), 表现出活化能 $\Delta E \approx 600$ K。 σ_{XY} 中的量子化在 $\approx 0.2\%$ 的实验精度内是精确的。QHE 可以发生在这种高温的原因可以归结为石墨烯中 Dirac 费米子的大回旋隙 $\hbar\omega_c$ 特性。它们在磁场 B 中的能量量子化用 $E_v = 2e B N / N_F \hbar$ 描述。其中 $v_F \approx 10^6$ m/s 为费米速度, N 为整型兰道能级(LL)数(5)。如果费米能量 E_F 介于最低之间, 则在 $B=45$ t 时, 该表达式产生一个能隙 $\Delta E \approx 2800$ K。 Landau 水平 $N=0$, 第一激发水平 $N=\pm 1$ 。这意味着, 在此实验中, 在室温下, $\hbar\omega_c$ 比热能 $k_B T$ 高出 10 倍。重要的是, 在离子对大回旋隙, 还有许多其他的因素, 帮助石墨烯中的 QHE 能发生在如此高的温度。首先, 石墨烯装置允许很高的载流子浓度。(最多 10^{13} 厘米⁻²)只占用一个 2D 子带, 这对于在超高 B 区完全填充最低的 LL 是必不可少的, 这与传统的 2D 系统(例如, GaAs het)形成了对比。 传统的 2D 系统的腐蚀结构已经在中度 B 中被放散或表现出多个子带占据, 导致有效能量隙减小到远低于 $\hbar\omega_c$ 的值。第二, 在我们的样品中, Dirac 费米子的流动性从液氮到室温没有明显的变化。它保持在 $\approx 10,000$ cm²/VS, 产生 $13 \sim 10^{-10}$ 秒的散射时间, 因此 $\hbar$ 在几个 T 的场中达到了 He 场极限 $\omega_c \tau = \mu \cdot B \gg 1$ 。这些石墨烯的特性寄托了在小于 30T 的场中观察到的室温 QHE 的希望。

事实上，我们已经观察到霍尔高原在 $B < 20\text{T}$ ，在 300K 时。它对高磁场的需求归因于由于紊乱而扩大的 LLS，这降低了活化能。我们期望改进样本的同质性来实现更高级别的 μ (目前受科技机构限制) (TiC 缺陷) 应该允许观察室温 QHE 使用传统磁铁。这应该为发展基于石墨烯的电阻标准(当然，操作上) E 液氮以及在高温下工作的新型量子器件提供可能。

论文的内容如上，作者研究发现在室温石墨烯中发现了量子霍尔效应，这是石墨烯的一个极为重要的特性。作者关注了提高霍尔效应温度对载流子的要求，由此将目光放在了石墨烯中，发现可以在室温中观测到量子霍尔效应，由此又展开了一系列研究，探究其因素，最后发现石墨烯的特性寄托了在小于 30T 的场中观察到的室温 QHE 的希望。科学的魅力就在于此，大胆假设，小心求证，这体现了作者的天才洞察力，从现象出发，研究其机理，应用于问题中。

至今为止，高温下能够工作的量子器件依然在研究中，但这个论文的可贵之处在于为我们提供了一个方向，提供了一个范例，这其中的意义是重大的。

张澳 小论文 用静电自组装法制备的结构和功能自由控制的石墨烯薄膜的特性研究

摘自：【用静电自组装法制备的石墨烯薄膜特性研究 刘 杰^{1'2}，王 彬³，石瑞英^{1'2*}，王婧^{1'2}，刘沛波^{1'2}，吴运熹^{1'2}，翁志超^{1'2} 四川大学物理科学与技术学院微电子学系，成都 610064；2. 微电子技术四川省重点实验室，成都 610064 3. 四川大学化工学院，成都 610064】

标题

原：用静电自组装法制备的石墨烯薄膜特性研究

新：用静电自组装法制备的结构和功能自由控制的石墨烯薄膜的特性研究

摘要：

原：本文采用静电自组装技术制备石墨烯薄膜，以带正电的聚乙烯亚胺作为粘结剂，将带负电的氧化石墨烯自组装在粘结剂上，形成多层氧化石墨烯聚乙烯亚胺复合膜，然后在肼蒸汽下还原得到石墨烯薄膜样品，并利用石墨烯薄膜的紫外吸收光谱、椭圆偏振光谱、扫描电镜图谱及拉曼光谱对其层数、厚度、形貌及还原效果进行了研究。研究表明此方法制备的石墨烯薄膜具有杂质含量少、层数与膜厚微观可控且膜厚均匀等优点。通过调节组装材料种类、浓度和组装次数可制备出结构和功能自由控制的石墨烯薄膜，且此方法与微电子工艺兼容，易于制作石墨烯晶体管，因此在石墨烯晶体管领域具有广阔的应用前景。

改写：

利用石墨烯制作的晶体管具有 低功耗、高频率、小型化等特性，结构和功能可自由控制的石墨烯薄膜具有广阔的应用前景。本文采用静电自组装技术制备石墨烯薄膜，以带正电的聚乙烯亚胺作为粘结剂，将带负电的氧化石墨烯自组装在粘结剂上，形成多层氧化石墨烯 / 聚乙烯亚胺复合膜，然后在肼蒸汽下还原得到石墨烯薄膜样品，并利用石墨烯薄膜的紫外吸收光谱、椭圆偏振光谱、扫描电镜图谱及拉曼光谱对其层数、厚度、形貌及还原效果进行了研究。研究表明此方法制备的石墨烯薄膜具有杂质含量少、层数与膜厚微观可控且膜厚均匀等优点。通过调节组装材料种类、浓度和组装次数可制备出结构和功能自由控制的石墨烯薄膜，且此方法与微电子工艺兼容，易于制作石墨烯晶体管，因此在石墨烯晶体管领域具有广阔的应用前景。

前言：

Why: 石墨烯(Graphene，又称为单层石墨)，由于其 具有较高的载流子浓度[1]和迁移率[2]、亚微米尺度的电场调制特性[3]，利用石墨烯制作的晶体管具有 低功耗、高频率、小型化等特性[4'6]，引起了业界和科学界的广泛兴趣。

What: 目前, 制备石墨烯的方法有很多种, 由于化学法[73]具有简单高效、可与有机材料结合、易于一体化生产等优点而受到广泛使用。化学法制备石墨烯是利用强氧化剂对石墨进行氧化得到氧化石墨烯(Graphene oxide, 二维层状结构化合物, 以下简称 GO), 然后通过特殊工艺制备氧化石墨烯薄膜, 最后通过化学还原或热还原得到石墨烯。石墨烯结构的设计和制作对器件特性有显著的影响, 而氧化石墨烯薄膜的制备方法是影响石墨烯结构的关键因素。目前氧化石墨烯薄膜的制备方法有滴涂法[9]、旋涂法[9]、真空过滤法[11]、静电自组合法[1]等等。

Why: 值得关注的是, 旋涂法制备的石墨烯薄膜具有厚度宏观可控、高导电率和良好透过率等优点, 满足在光电子器件等方面的应用, 但对于微电子器件而言, 现有旋涂自组合法制备的石墨烯薄膜在层数与厚度微观控制、成膜稳定性、器件工艺兼容性等方面不具有显著优势, 而其他方法由于实验周期长、成膜不稳定或实验条件苛刻而不被广泛使用。静电自组合法技术简单, 形成的石墨烯薄膜具有质量稳定、组装面积大、膜厚均匀等优点。现阶段, 用静电自组合法制备的石墨烯薄膜厚度较大、薄膜连续性差[12, 1]。

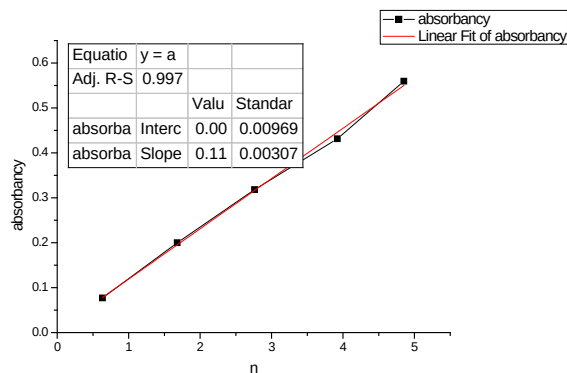
What: 本文利用透明的有机高分子材料(聚乙烯亚胺)作为粘结剂, 不仅不会影响石墨烯薄膜的透过率, 还有利于组装得到厚度小、薄膜稳定性高的石墨烯薄膜, 还通过调节氧化石墨烯的溶液浓度来组装得到厚度精确可控、薄膜连续性好的石墨烯薄膜, 最小膜厚为 2.72 nm, 且此方法与微电子工艺兼容, 易于制作石墨烯晶体管口 5I, 对石墨烯晶体管的实用化具有重要意义。

1 实验

1.1 实验原理: 当氧化石墨烯溶于水时, 层上的大量含氧极性基团如 C=O, C—OH, —COOH 等离解使片层带负电荷, 易于吸附有机阳离子以保持其电中性, 这有利于层层自组装的进行。本文以经过改性的石英片和硅片作为带负电的基底, 以聚乙烯亚胺(Polyethyleneimine, 有机高分子材料, 以下简称 PEI)作为带正电的阳离子, 将氧化石墨烯通过静电组装在 PEI 上, 制备出多层聚乙烯亚胺/氧化石墨烯复合膜, 即氧化石墨烯薄膜, 然后经过肼蒸汽还原得到石墨烯薄膜。

1.2 表征测量: 本文采用静电自组合法制备石墨烯薄膜, 以带正电的聚乙烯亚胺作为粘结剂, 将带负电的氧化石墨烯自组装在粘结剂上, 形成多层氧化石墨烯/聚乙烯亚胺复合膜, 然后在肼蒸汽下还原得到石墨烯薄膜样品, 并利用石墨烯薄膜的紫外吸收光谱、椭圆偏振光谱、扫描电镜图谱及拉曼光谱对其层数、厚度、形貌及还原效果进行了研究。

2 结果与讨论



如图所示是使用紫外可见分光光度计测量在石英片上组装(GOI PEI) n 复合膜的紫外吸收强度与复合膜层数的关系图。由图可知，复合膜的紫外吸收强度随着复合膜层数的增加呈线性增加，线性相关方程为 $Y=0.0067+0.0535X$ ，其中 X 为复合膜层数， Y 为复合膜的紫外吸收强度，相关系数 R 为 0.9996 ，线性相关性好，说明通过静电自组装可以在石英片上制备出层数可控的 (GO PEI) n 复合膜，即氧化石墨烯薄膜。

3.结论

研究表明此方法制备的石墨烯薄膜具有杂质含量少、层数与膜厚微观可控且膜厚均匀等优点。通过调节组装材料种类、浓度和组装次数可制备出结构和功能自由控制的石墨烯薄膜，且此方法与微电子工艺兼容，易于制作石墨烯晶体管，因此在石墨烯晶体管领域具有广阔的应用前景。

WHEN AND WHERE 微纳

WHEN AND WHERE 这个标题的意思是指《微纳工程学》的发展历程，直白的意思，就是围绕微纳工程学发展的一些重要历史时刻和发生的事情进行这个方面的调研工作。一共有以下同学进行了这个项目的调研和实习，这是每个人的分工：

517021911163	王润绮	女	2017	When/where
517021911170	赖俊宇	男	2017	
517021911177	隋思哲	男	2017	
517021910768	张睿桐	男	2017	
517021910770	赵显文	男	2017	
517021910824	杨明杰	男	2017	

其中王润绮是组长，负责整个工作的整合。

目录	1
王润绮 大论文 微纳电子学科/产业发展历史及规律	3
王润绮 小论文 基于 CMOS 工艺的硅基 PI 湿度传感器的研制	5
赖俊宇 大论文 工程的诞生到成熟	8
赖俊宇 小论文 负电晕放电气体传感器	10
隋思哲 大论文 Chemical Amplification : Continuous-Flow PCR on a Chip	13
隋思哲 小论文 集在线荧光分析的连续流动反转录-聚合酶链式反应	16
张睿桐 大论文 中国微纳制造研究进展读后感	19
张睿桐 小论文 用 MEMS 工艺研制高性能电热驱动微继电器	22
赵显文 大论文 纳米硅单电子存储器研究进展	25
赵显文 小论文 锗硅异质纳米晶通过良好空穴存储特性改善非易失浮栅存储器特性的研究	27
杨明杰 大论文 三维晶体管和后 CMOS 器件的进展	30
杨明杰 小论文 金属栅 / 高 K 基 FINFET 研究进展	32

【王阳元,王永文.微纳电子学科/产业发展历史及规律[J].中国科学:信息科学,2012,42(12):1485-1508.】

读后感

微电子学是信息领域的重要基础学科,涉及信息的获取、传输、存储、处理和输出等各个方面。微电子学的研究对象是在固体(主要是半导体)材料上构成的微小型化电路及系统(包括分立器件、集成电路、微机电系统等)的物理规律、器件设计、制造工艺等各个环节;微电子产业则涵盖市场、应用、投资、人才等各个层面。其中集成电路在微电子产品市场中占有 80%以上的份额。

自 1958 年集成电路问世后,在市场牵引和技术推动的双重作用下集成电路已经全面渗透到工业、农业、国防、金融、交通、教育、商务等各个领域,在国民经济和国防建设中的战略地位日益凸显,推动 GDP 增长。从公元 1998 年到 2010 年的 12 年中,借助于信息产业的驱动,世界 GDP 从 287370 亿美元增长到 619634 亿美元,平均年增长率为 6.612%。

在微电子学科领域,1928 年,德国物理学家普朗克提出的固体能带理论第一次科学地阐明了固体可按导电能力的强弱分为绝缘体、导体和半导体。1931 年,英国物理学家威尔逊提出了半导体的物理模型,阐述了“杂质导电”和“本征导电”的机理,奠定了半导体学科的理论基础。1946 年,美国贝尔实验室的肖克莱、巴丁和布拉顿实验成功点接触锗三极管,开创了微电子学科的先河。1958 年,在 TI 工作的基尔比完成了将晶体管、电阻和电容集成在一起的相移振荡器及触发器的制造和演示,标志着集成电路的诞生。1959 年,仙童公司的诺伊斯发明了基于硅平面工艺的集成电路,该发明更适合于集成电路的大批量生产。1968 年,Intel 公司成立。1970 年,Intel 公司用 12 微米工艺开发了 1KMOSDRAM。其后,半导体存储器迅速取代了计算机中的磁芯存储器。1971 年,Intel 将 4 位微处理器 4004 推向市场,宣告了集成电路产业的新纪元。1981 年,Intel 的微处理器 8088 被用于 IBM 公司的 PC 机,开创了个人计算机的新时代。21 世纪初,移动通信和网络开始进入家庭,这标志着人类的脚步已经踏入了信息社会。1965 年 4 月 19 日,任职仙童半导体公司的戈登·摩尔在《电子学》杂志上发表了题为“向集成电路填充更多的元件”一文,文章认为,集成电路在最低元件成本下的复杂度大约每年增加一倍。1975 年,摩尔对此预测做了修正,即集成电路的集成度每两年增加一倍。迄今,Intel 公司微处理器上的晶体管数一直遵从着这样的规律发展。当前,集成电路加工最小尺寸已达到 22 纳米,单一芯片可集成几十亿个晶体管。集成电路加工以 MOS 工艺为主,少量产品为双极工艺。

在集成电路的市场变化方面,1958 年,一只晶体管的售价约为 100 美元,如今,1 美元可以买到 106 个晶体管,50 余年来每个晶体的成本下降了约 1 亿倍,世界半导体市场的变化呈指数增长趋势。1975 年到 2010 年,世界半导体市场年平均增长率为 12.5%,2010 年该市场总额为 2983 亿美元。

在中国,集成电路产业在 1956 年萌芽,在周恩来总理的主持下,国务院组织全国科学家制定了《1956 年至 1967 年科学技术发展远景规划纲要》。《纲要》中第 40 项任务是“半导体技术的建立”。我国集成电路产业的成长是从 1978 年到 1985 年,无锡 742 厂从日本东芝公司引进了彩色

电视机用双极集成电路生产线(3 英寸、5 微米技术)。1984~1989 年,871 厂绍兴分厂、上海贝岭公司、上海飞利浦半导体公司和中国华晶电子集团公司等制造骨干企业,以北京集成电路设计中心为代表的设计企业,以及部分封装、材料、设备企业相继建成投产,构成了我国集成电路产业的雏形。1990 年 8 月,国家启动“908 工程”,在无锡建设了一条 0.8~1 微米技术、6 英寸集成电路生产线。1998 年该生产线验收,1995 年,国家启动“909 工程”,在上海建设了一条 8 英寸、0.5 微米的集成电路生产线。该生产线的建设标志着我国集成电路生产进入了深亚微米、超大规模集成电路的技术阶段。进入 21 世纪后,以中芯国际(SMIC)、上海宏力、苏州和舰、松江台积电、无锡海力士、大连英特尔为代表的一批集成电路企业陆续成立,标志着我国集成电路产业进入了一个新的历史时期。人才国际化、技术国际化、资金国际化、市场国际化成为这些企业最大的特点。

如今,在中国集成电路产业的产业规模方面,2010 年,中国直接与集成电路生产有关的企业有近 700 家,包括了设计企业 534 家,制造企业 39 家,封装测试企业 124 家。中国集成电路销售总额在 1993 年,突破 10 亿元;到 2000 年超过 100 亿元,2006 年跨越 1000 亿元,2010 年,达到 1440 亿元。1981~2010 年,中国集成电路产业销售额的平均增长率为 28.1%,为同期世界集成电路市场平均增长率的 2.25 倍。2000 年以前,中国集成电路产业销售额占世界半导体市场的份额小于 1%,2006 年该比例为 5.09%,到 2010 年,上升到 7.28%。从产业结构上看,我国尚无 IDM 类型的企业,代工企业的加工能力也与 TSMC 存在较大差距;设计企业基本上“小舢板”居多,与世界一流设计企业相比,规模有待扩大。

从集成电路消费大国到产业强国,中国还需以史为鉴,适应政治与国家安全需要、经济增长的需要,通过创新开拓市场,以达振兴。

王润绮 小论文 基于 CMOS 工艺的硅基 PI 湿度传感器的研制

2.1 出处

【杨子健,韦波,王敬松,等.基于 CMOS 工艺的硅基 PI 湿度传感器的研制[J].半导体技术,2009,34(4):385-388.】

2.2 标题

原来的：基于 CMOS 工艺的硅基 PI 湿度传感器的研制

改写的：以聚酰亚胺作为感湿介质层，采用 CMOS 工艺制备的改良湿度传感器

2.3 摘要

原来的：在国内外湿度传感器研究的基础上，基于 Si CMOS 工艺研制出了以聚酰亚胺(PI)为感湿介质的电容型相对湿度传感器。并对其结构进行了理论分析，仔细确定了湿度传感器的工艺步骤和版图设计。对其测量范围、湿滞和响应时间等特性参数进行了详细的测试。通过实验结果与模拟结果的对比分析，给出了该实验中存在的问题和改进意见，以便在今后的研究中加强这方面的工作。

改写的：为了改进湿度传感器，并加强今后的研制，通过对电容型相对湿度传感器结构的理论分析，仔细确定了湿度传感器的工艺步骤和版图设计。对其测量范围、湿滞和响应时间等特性参数进行了详细的测试，研制出了基于 Si CMOS 工艺研制出了以聚酰亚胺(PI)为感湿介质的电容型相对湿度传感器。并通过实验结果与模拟结果的对比分析，给出了该实验中存在的问题和改进意见。

2.4 前言和绪论

原来的：湿度测量在现代工农业生产、科学研究以及人们的日常生活中有着广泛的应用，湿度传感器作为湿度测量系统的重要组成部分，经过多年发展，出现了诸多类型，如陶瓷湿度传感器、电解质湿度传感器、高分子湿度传感器和半导体结型及 MOS 型湿度传感器等。目前国内外所研制的湿度传感器其感湿介质多为聚酰亚胺或 BCB(苯并环丁烯)。本文所研究的湿度传感器属于 Si 基电容型传感器，以聚酰亚胺作为感湿介质层，采用 CMOS 工艺制备。

改写的：在现代工农业生产、科学技术研究中，湿度测量有着广泛应用，因此对于其重要组成部分湿度传感器的改进显得尤为必要。目前，国内外所研制的湿度传感器感湿介质多为聚酰亚胺或 BCB（苯并环丁烯）。本文所研究的湿度传感器属于 Si 基电容型传感器，以聚酰亚胺作为感湿介质层，采用 CMOS 工艺制备。

2.5 实验

2.5.1 制备工艺流程

具体工艺流程如下：Si 片清洗——氧化(760nm)——蒸镀下电极(大面积)——涂聚 PI、亚胺化(大面积)——蒸镀上电极(大面积)——刻蚀划片道——刻蚀上电极图形——刻蚀下电极引线孔——切片——压焊——封装上下电极均采用大面积蒸镀钎电极工艺，厚度均为 1.2 μ m(为增强触电极与 SiO₂ 和 PI 之间的黏附度，在镀钎之前首先制备一层 50nm 厚的钼层作为缓冲层)。上下电极之间为 PI 介质层，其厚度为 0.67 μ m。然后利用正胶工艺进行光刻后刻蚀出划片道及上电极图形。

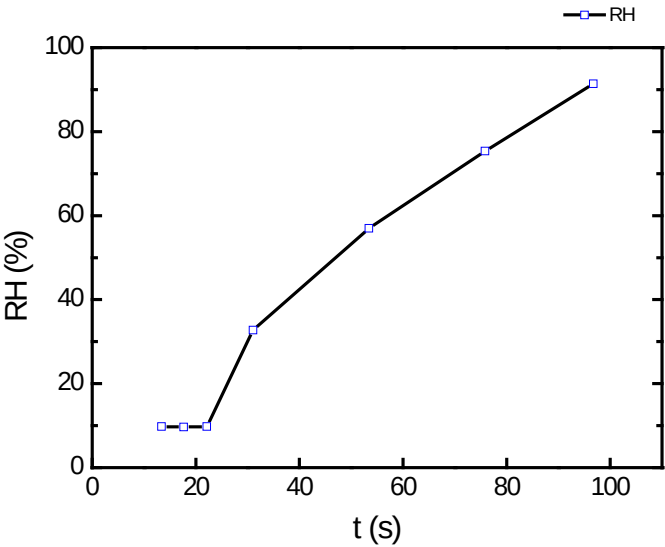
聚酰亚胺酸膜(PA)的亚胺化条件为：将涂好 PA 的样品放入高温炉内从室温加热至 100℃，保持 30min；加热至 200℃，保持 30min；加热至 300℃，保持 30min；最后加热至 350℃并保持 1h，以确保 PA 分子内环化脱水转化为 PI，是影响 PI 性能的最重要步骤。亚胺化后的 PI 耐酸耐碱，使用探针测试上下电极不导电，绝缘性能良好。整个工艺改变了以往以丝网印刷制作电极的方法，取而代之的是正胶光刻湿法腐蚀。而 PI 则采用干法刻蚀，难点在于亚胺化温度控制的选择和刻蚀划片道与下电极引线孔时干湿法的交替使用(实验中采用等离子气体进行干法刻蚀，结果证明在等离子刻蚀 PI 层时，正胶可以对保留图形进行有效保护)。

2.5.2 测试数据

测量范围为 12%RH — 92%RH，环境温度 20℃。测试湿度传感器电容-湿度对应关系，响应时间，绘制对应曲线，包括升湿曲线、降湿曲线，得出传感器的湿滞指标。

升湿测试：待测传感器依次置于 20℃的氯化锂饱和溶液(12%RH)、氯化镁饱和溶液(33.2%RH)、溴化钠饱和溶液(56.5%RH)、氯化钠饱和溶液(75.8%RH)、硝酸钾饱和溶液(92%RH)至平衡状态(约 25min)后，进行测试，1min 记录一次数据。

降湿测试：待测传感器依次置于 20℃的硝酸钾饱和溶液(92%RH)、氯化钠饱和溶液(75.8%RH)、溴化钠饱和溶液(56.5%RH)、氯化镁饱和溶液(33.2%RH)、氯化锂饱和溶液(12%RH)至平衡状态(约 30min)后，进行测试，1min 记录一次数据。湿滞为升湿或降湿时，同一电容量所对应的湿度不重合现象。传感器自 12%RH(LiCl)切换到 92%(KNO₃)的响应时间如图所示约为 100s。



20℃传感器响应时间

在 1986 年的诺贝尔演讲上, GERD BINNIG 和 HEINRICH ROHRER 讲述了扫描隧道显微镜从它的诞生到它的青春期的过程。从想法的产生到原理的选择, 从显微镜结构的设计到关键扫描针尖的实现, 从图像第一次的获取到设备的不断改进, 一个工程的完成需要经历太多的困难与艰辛, 其中的每一个环节都十分重要。

一.主要内容

在这篇文章中, BINNIG 主要讲了研制的前期准备工作, 主要结构的问题及其解决方法, 改进发展阶段和图像测试实验。

1.前期准备工作阶段, BINNIG 讲述了事件的起因, 想法的来源与发展, 团队的组建, 扫描隧道显微镜的原理。

STM 原理: STM 的工作原理就是利用量子力学中的隧道效应, 通过测量探针与被测样品之间的隧道电流的变化来分辨固体表面的形貌。隧道效应由微观粒子波动性所确定的量子效应。考虑粒子运动遇到一个高于粒子能量的势垒, 按照量子力学可以解出除了在势垒处的反射外, 还有透过势垒的波函数, 这表明在势垒的另一边, 粒子具有一定的概率, 粒子贯穿势垒。

2.在主要结构的问题与解决部分, BINNIG 讲述了仪器的结构, 针尖震动的解决方法等实际问题。

主要结构: 隧道扫描显微镜主要由三个部分组成: 显微镜主体, 控制电路, 计算机控制系统。主体包括了针尖平面扫描机构, 针尖与样品距离控制调节机构, 系统与外界震动隔离装置。

3.在改进发展阶段, BINNIG 讲述了仪器的修正与改进和工作方式, 成功制造了 ultra-high vacuum (UHV) -compatible STM.

STM 工作方式: 扫描隧道显微镜在工作时有两种模式分别是恒高模式和恒流模式。恒高模式: 就是 STM 在扫描的时候始终保持探针高度不变, 检测隧道电流的变化, 再经过程序处理可以得到样品的表面起伏变化, 从而得到样品表面的原子形貌图形。恒流模式: STM 图像扫描时, 保持隧道电流恒定, 利用反馈电路控制探针, 使针头在 Z 方向上运动, 保持样品与针尖的距离不变, 保持隧道电流不变, 从反馈电路中得到样品与针尖之间的距离变化信息。

4.在图像测试实验阶段, BINNIG 和他的团队利用 STM 进行了 7×7 的硅表面结构重建工作。并且获得了成功。

二.STM 的优点及应用

STM 的优点是电子显微镜及其他分析仪器所无法比拟的: 首先 STM 具有极高的分辨率。STM 可以轻易的看到原子, 这是一般显微镜甚至电子显微镜都无法达到的。其次, STM 可以捕捉到实时的, 真实的高分辨率样品表面图像。再次 STM 的使用条件宽松, STM 的使用对于环境的要求不高, 远没有像电子显微镜那样必须将样品放在真空条件下那样苛刻, STM 可以在真空

环境，大气环境，高温，低温条件下使用，还可以在液体中使用，这样就可以保持生物样品的活性了。最后，相对于电子显微镜等大型仪器来说，STM 的价格是比较低的。

利用 STM，可以在多个领域进行更深入的应用：进行原子级别的观察，实现了单原子与单分子的操控，实现单原子化学反应，实现了在分子水平上构造电子元件

三.思考感受

工程的成功需要占有天时地利人和，需要适合科学研究设计的环境，需要大量的物资支持，需要在适合的领域进行有意义的研究，更新需要一个能力过硬的科研团队。

想法的来源往往是实际的需求。BINNIG 在和 ROHRER 在讨论金属表面的氧化膜图像时，意识到缺少了一种合适的工具来研究这些图像。于是他们想到了一个以前的原理——真空隧道分光镜。并且在自己的思考、结合实际情况后做出了自己的改进。工程学来源于实际需求，我们发现在某一方面有特定的需要，但是现有设备无法满足这种需求时，就是一个工程的开端了。我们工导课的大藤峡水库磨损传感器也是来源于有这样的需求，所以才会做这方面的实践。

工程的方向可能会因为实际情况而做出适当的调整。BINNIG 最初是想做分光镜，但是在往后的了解研究后，发现了一种场致发射显微镜的原理和他们的设想比较接近，他们结合了分光镜的真空隧道和扫描，得到了更适合的想法，也就是扫描隧道显微镜。初始的想法只能是给工程定下了一个大的方向，随着研究的深入和现实情况的变化，我们可以对工程的想法与目标进行适当的改变。

工程需要大量其他科学家的研究成果的支撑。BINNIG 最初的想法来自 W.A. Thompson 的带位置针尖的真空隧道，改进后的想法结合了 R. Young 的叫做“topograliner”的 field-emission microscope 的原理。每一个工程的成功都是建立在大量的参考基础上，为了一个工程的成功，也需要查阅大量的文献，才能得到适合的研究方法和手段。

工程成功的决定性因素在于一个有能力的团队。扫描隧道显微镜的发明离不开优秀科学家的加入。在 IBM 工作了十余年、经验丰富的 Christoph 首先加入了他们，为他们大量的技术支持。而后 Weibel 也加入了他们，完成了团队的组建。然后开始专注于扫描隧道显微镜的研制，并不断解决途中遇到的问题。

工程进行的过程就是不断发现解决问题的过程。BINNIG 在研制扫描隧道显微镜的过程中不断地遇到问题并设法解决，改正错误。针尖震动的避免，须晶（whiskers）的去除等等，每一个问题都需要通过不断试验然后改进，直到达到预定的要求。

在 BINNIG 的演讲中，我们得知了 STM 的出生到青年的过程，这也是一个工程从诞生到成熟的过程。一个工程的成功，不仅仅是大量人力物力的投入，也是科研人员苦心孤诣的成果。

1.1 出处

杨天辰, 张金英, 何秀丽,等. ZnO 修饰多针-板结构负电晕放电气体传感器[J]. 微纳电子技术, 2017, 54(7):458-464.

1.2 标题

原来的：ZnO 修饰多针-板结构负电晕放电气体传感器

改写的：采用 MEMS 技术研制灵敏度高、响应良好的 ZnO 修饰多针-板结构负电晕放电气体传感器

1.3 摘要

原来的：基于负电晕放电原理的气体传感器利用局部高压电场将目标气体电离，根据电离特性对气体进行识别。采用 MEMS 技术制备硅尖阵列电极，利用电喷 ZnO 纳米颗粒对电极表面进行修饰，结合金平板正电极构建了多针-板结构电晕放电气体传感器。研究了电极间距对传感器负电晕放电特性的影响，综合考虑起晕电压、信号输出范围及稳定放电范围，优化电极间距为 $100\mu\text{m}$ 。测试了在 -0.70kV 放电电压下传感器对乙酸气体的敏感特性。该传感器对乙酸气体的响应灵敏度约为 $1.05\text{mV}/10^{-6}$ ，理论检测限（三倍噪声）约为 8.6×10^{-6} ，测试范围内传感器响应同乙酸气体体积分数近似呈线性关系。实验结果表明，ZnO 纳米颗粒修饰减小了放电尖端曲率半径，增加了放电尖端个数，消除了硅尖阵列之间高度和顶端曲率半径的差异，从而有效降低了起晕电压，提高了传感器对乙酸气体响应灵敏度及电晕放电的稳定性。

改写的：研制灵敏度高、响应恢复快、响应重复性好的气体传感器是实现气体识别的关键。基于负电晕放电原理的气体传感器，利用局部高压电场将目标气体电离，根据电离特性对气体进行识别。采用 MEMS 技术制备硅尖阵列电极，利用电喷 ZnO 纳米颗粒对电极表面进行修饰，结合金平板正电极构建了多针-板结构电晕放电气体传感器。研究了电极间距对传感器负电晕放电特性的影响，测试了传感器对乙酸气体的敏感特性。实验结果表明，ZnO 纳米颗粒修饰减小了放电尖端曲率半径，消除了硅尖阵列之间高度和顶端曲率半径的差异，从而有效降低了起晕电压，提高了传感器对乙酸气体响应灵敏度及电晕放电的稳定性。

1.4 前言和绪论

1.4.1 WHY

设计和制备了 ZnO 修饰多针-板结构负电晕放电气体传感器，提高了传感器对气体响应灵敏度及电晕放电的稳定性。

1.4.2 WHO, WHEN, WHERE

a、本课题组前期 2016 的 MEMS 硅尖阵列多针-板电极结构。

b、1998 年，B.Ghodsian 等人设计并制备了 MEMS 硅尖阵列，用于乙酸气体的检测。2003 年，美国科学家 A.Modi 等人首次报道了基于纳米管阵列（CNTs）的微型电离型气体传感器。2011

年, J.H.Min 等人采用 CVD 方法, 在具有 ZnO 缓冲层的 Si 片上生长直径为 50 ~ 300nm 的 ZnO 纳米棒作为放电电极, 定量检测了甲苯、异丙醇等有机气体。

1.4.3 WHAT

制备出了 ZnO 修饰的 MEMS 多针-板结构负电晕放电气体传感器, 进一步减小了尖端曲率半径, 提高了硅尖形貌的一致性。同时, 研究了大气环境下电极间距对器件负电晕放电特性的影响, 测试了器件对乙酸气体的敏感特性。

1.5 实验

1.5.1 原理

基于负电晕放电原理的气体传感器利用局部高压电场将目标气体电离, 根据电离特性对气体进行识别

1.5.2 方法

- a、电极制备: 采用 MEMS 硅尖阵列多针-板电极结构, 主要包括硅尖阵列负电极、玻璃镀 Au 平板正电极和绝缘隔离层三部
- b、电极表面修饰: 在制备好的硅尖阵列上电喷 ZnO 纳米颗粒进行电极表面修饰。
- c、器件封装: 采用聚酰亚胺膜作为绝缘隔离层, 封装负电晕放电传感器, 针-板电极间距可通过选择不同厚度的聚酰亚胺膜进行调节
- d、负电晕放电及气敏特性测试: 用传感器测试系统, 采用静态配气法测试气敏特性。

1.5.2 表征

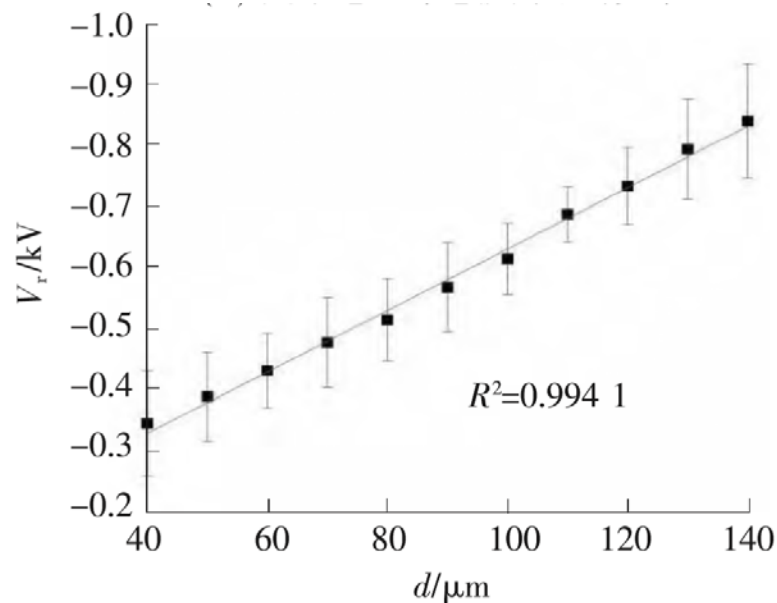
- a、硅尖阵列形貌表征: 利用扫描电子显微镜 (SEM, HitachiS-4800) 对硅尖阵列及 ZnO 纳米颗粒形貌进行表征。
- b、间距对放电特性的影响: 采用分辨率为 10 μ m 的微平移台对电极间距 d 进行调节, 研究传感器放电特性与电极间距的关系。
- c、ZnO 修饰前后器件负电晕放电特性比较: 比较了 ZnO 纳米颗粒修饰前后电极的起晕电压、稳定电晕放电范围的变化。
- d、传感器乙酸气体敏感特性: 传感器对不同体积分数乙酸气体的响应和恢复时间。

1.6 结果与讨论

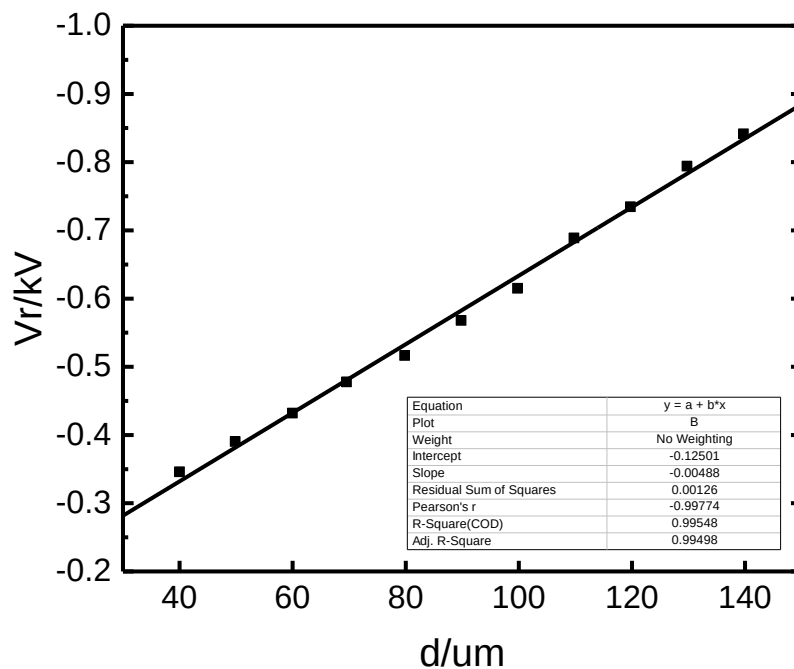
ZnO 纳米颗粒修饰缩小了各硅尖之间的高度和顶端曲率半径的差异, 可有效提升放电的稳定性。构建了以 ZnO 修饰硅尖阵列为负极板、以平板 Au 电极为正极板的负电晕放电气体传感器, 研究了电极间距对器件负电晕放电特性的影响, 优化电极间距为 100 μ m。研究了传感器对乙酸气体的敏感特性: 外加电压为 -7.0kV 时, 测试范围为 $2 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$ 时, 传感器响应与气体体积分数呈线性关系; 乙酸气体响应灵敏度约为 1.05mV/10 $^{-6}$, 对体积分数为 8×10^{-4} 的乙酸气体响应和恢复时间分别约为 26s 和 35s, 理论检测限 (三倍噪声) 约为 8.6×10^{-6} 。

1.7 结论

采用 MEMS 工艺制备出硅尖阵列，采用电喷 ZnO 纳米颗粒对硅尖表面进行修饰，减小了尖端曲率半径，有效降低了起晕电压并提高了电晕放电的稳定性。ZnO 纳米颗粒的修饰提高了传感器对乙酸气体的响应灵敏度，测试可重复。



(c) 稳定电晕放电范围与电极间距的关系



图片显示稳定电压放电范围与电极间距有良好的线性关系，稳定电压放电范围随着电极间距增大而变大。

读后感

这篇文章最初发表在 1998 年 5 月 15 日的 Science 杂志上，基于对前期 PCR 技术的研究，提出了连续流 PCR 集成技术，解决了先前 PCR 技术的诸多不足，并极大地提升了 PCR 化学增殖的效率，为后世基于 DNA 的研究提供了极大的便利。

文章简述

1-当时流行 DNA 增殖技术及其特点

文章从当时流行的几种 DNA 扩增方式开始讲起，分析了各个方法的不足，以及当时 PCR 技术的局限性。

1-1 电子增殖技术 (ELECTRONICAMPLIFIERS) :

电子增殖技术可以将微小的信号放大数倍，且没有延迟。但是其随时间变化的非线性性成为了它最大的问题。

1-2 化学增殖技术(CHEMICALAMPLIFIERS) :

化学增殖技术可以精准地复制目标物，但是其操作往往比较复杂，其时间成本（对于反应物及产物的转移）甚至要大于电子增殖技术。

1-3 传统 PCR 技术 :

化学增殖技术的概念被应用在了其他反应上，比如自激酶催化反应(self-activating enzymatic reactions)、循环电化学反应(cyclic electrochemical reactions)，以及多聚酶链式反应 (Polymerase chain reaction, PCR) 。而 PCR 技术正是这篇文章着重讨论的话题。

PCR 技术是指利用 DNA 双链模板，利用引物，经过解链 (melting) ,复性 (annealing) , 延展 (extending) , 实现对目标 DNA 以指数形式扩增的技术。以上三步均在特定温度下进行：解链——95℃，复性——50℃-65℃，延展——72℃-77℃。传统的 PCR 技术是在可编程加热器上实现的，加热器通过对毛细滴管的加热和冷却，进而控制反应温度。

2-传统 PCR 技术的局限性及连续流 PCR 技术提出的灵感

传统 PCR 技术往往受到装置的限制。在进行解链、复性、延伸三步时，由高热容所导致的加热延迟大大限制了 PCR 技术的整体速度。

最初的 PCR 扩增采用水浴加热的方式，有的厂家也采用空气加热的方式以保证加热的均匀性。但由于水的热容较大，空气的导热性较差，传统 PCR 的加热和冷却速度均很难提高。而采用半导体加热的方式，又由于其造价高昂，生化试剂多等特点，没有实现广泛的应用。

结合前文所述，传统 PCR 技术存在一下缺陷：

- 1、加热冷却延时较高
- 2、频繁地转移反应物，增加了 PCR 技术的时间成本

而本文章所提出的集成芯片式连续流动 PCR 技术，巧妙地解决了上述问题：

- 1、连续流 PCR 技术摒弃了以往集中加热的模式，采用了小剂量流动循环加热的方法，提高了加热及冷却的效率:根据菲克定律，对于混合原料的加热（冷却）时间小于 100ms，这使得产物达到目标温度的时间几乎仅仅取决于其流动的速度，极大地节约了反应时间
- 2、连续流 PCR 技术将解链、复性及延伸的加热离散化，在不同的介质（three temperature zone）中分别实现加热和冷却。恒温的加热介质，进一步减少了原先对介质反复加热冷却的时间
- 3、连续流 PCR 技术将重复的扩增过程线性化：将第一次流出的产物继续注入反应温区，并重复此过程，可以在一次流动中实现近 20 次扩增，提高了扩增效率
- 4、连续流 PCR 技术使 PCR 高度集成化：相比于传统 PCR 技术，结合微纳刻蚀镀膜技术，连续流 PCR 技术的设备制造工艺简单，利于批量生产及广泛使用

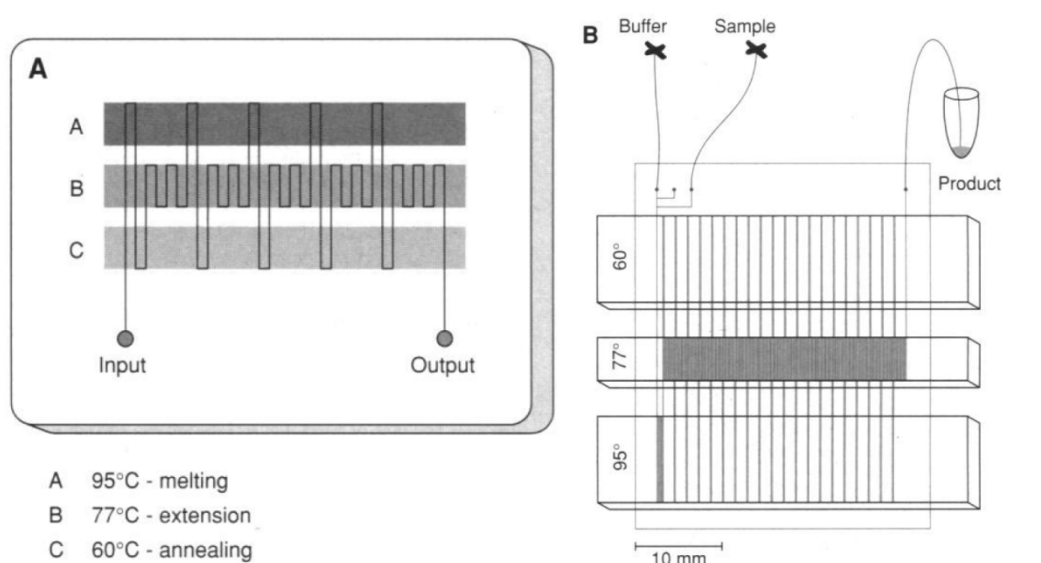


Fig2-1 连续流 PCR 技术的实现

3-连续流 PCR 技术的问题及解决方案

3-1 表面抑制效应

玻璃表面会对 DNA 及酶产生吸附作用,使用二甲基二氯硅烷对毛细细管表面做硅烷化处理,并在缓冲剂中加入表面活性剂作为 DNA 分子的活性外壳来减少表面抑制效应。

快速扩增检测食源致病性轮状病毒

摘要：聚合酶链式反应可用于检测食源中的致病性轮状病毒。但是传统的 PCR 模式存在诸多不足。此 RT-PCR 微流控装置以加热铜块组成恒温带，以聚四氟乙烯毛细管微通道为反应体系构建而成。采用循环水冷却退火区，此装置能获得低至 31℃ 的退火温度，而且温度控制及其稳定性良好，因而能满足不同 PCR 的要求。在此集成化的 RT-PCR 微流控装置上，1h 可完成轮状病毒 RNA 的 RT-PCR 以及其扩增产物的在线荧光分析，样品检出限达到 6.4×10^4 copies/ μ L。

1. 前言

胃肠炎是人类最常见的一种疾病。大多数胃肠炎是由病毒引起，其中轮状病毒是最主要的病原体之一。它对水环境安全以及人类健康已构成严重威胁。因此，建立准确快速的检测方法具有重要意义。

目前，检测轮状病毒的方法有多种，如电镜观察、细胞培养、核酸杂交、酶联免疫及聚合酶链式反应等，但均有较严重的不足。而作为新型检验方法的传统 PCR 技术受热容限制，效率较低，作为改进的微流控 PCR 技术又有效率低、装置复杂等缺陷。本研究中重新设计了 PCR 技术的温度带形状，并成功解决了以上问题。

本研究是在前期研究的基础上，将 RNA 反转录和在线荧光分析两个单元功能集成到 3 个温度带呈圆形布置的螺旋通道连续流动 PCR 中，从而形成集 RNA 反转录、连续流动 PCR 扩增及在线荧光检测于一体的微流控装置，在该装置上成功进行了粪便中轮状病毒 RNA 的快速扩增检测。

2. 实验

2.1 实验方法

2.1.1 集成化的连续流动 PCR 微流控装置

该装置由温度控制与采集系统、加热系统、荧光显微成像系统、计算机、以及注射泵等构成。

2.1.2 连续流动 RT 反应和连续流动 PCR 反应

在连续流动 RT 中，混合物中含 RNA 样品、缓冲液、引物、抑制剂及 BSA 等。当加热体温度维持 42℃ 和流速为 2.0 mm/s 时，反应时间约为 45 min。阳性控制 RT 采用相对应 RT 混合物在传统 PCR 仪上进行。

样品 RNA 经过 RT 反应合成 cDNA 后，cDNA 作为 PCR 模板。将 PCR 混合物引入到毛细管微通道后，在注射泵驱动下实现连续流动 PCR。阳性控制 PCR 采用相对应 PCR 混合物在传统 PCR 仪上进行。

2.1.3 一步连续流动 RT-PCR 反应

一步连续流动 RT-PCR, 在传统 PCR 仪上进行。用于检出限通过扩增检测反应混合物中不同浓度的轮状病毒 RNA 实现。

2.2 PCR 产物分析

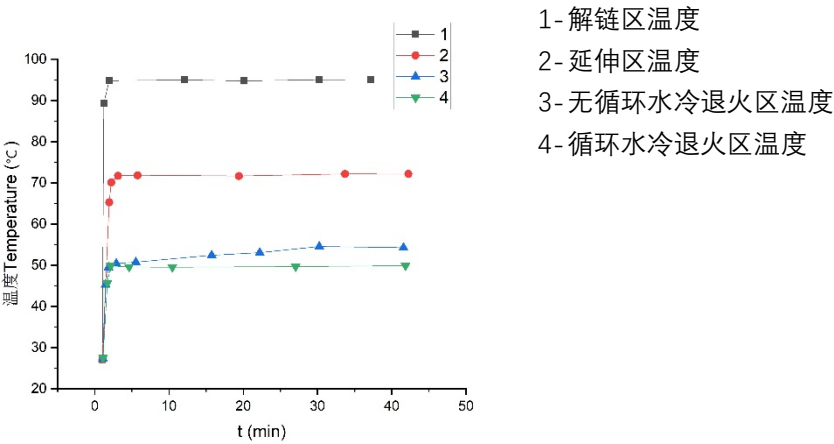
在毛细管出口处的适当位置进行产物的在线荧光分析, 并荧光显微镜的采集图像软件分析。另外, 0.2mLPCR 试管也用于接取产物, 于 4℃冷藏, 以便作进一步的离线琼脂糖凝胶电泳分析。取样品在电场下进行电泳分析, 在凝胶成像分析仪上判断 PCR 结果。

3.结果与讨论

3.1 连续流动 RT-PCR 微流控装置的温度控制及其稳定性

PCR 是一个典型的温度控制的酶促生化反应, 而退火温度是影响 PCR 特异性甚至成功与否的重要因素。在螺旋通道单向流 PCR 中, 空气沟槽设计相对简单, 但是装置结构不紧凑、甚至难以获得低的退火温度。基于薄绝缘片的热绝缘方法中每个温度块需要空气冷却, 装置相对复杂、风冷装置体积较大。

本实验采用循环水冷却方式, 有以下优点(1)循环水冷却仅仅发生于退火区上的通孔, 加工简单;(2)水循环通过微型泵驱动, 附属水冷却装置整体结构较紧凑;(3)能获得相当低的退火温度, 满足不同 PCR 要求。



3.2 集在线荧光分析的连续流动 PCR 快速扩增检测轮状病毒 RNA 的 cDNA

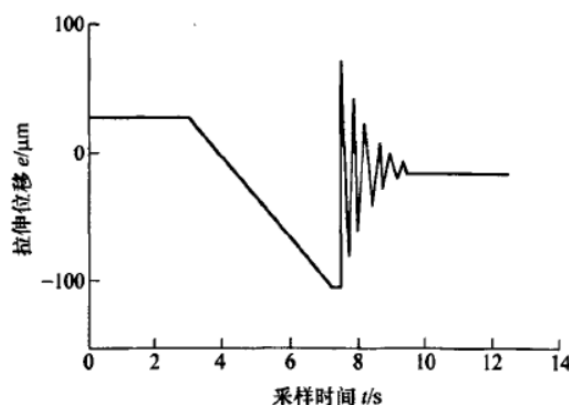
当连续流动 RT-PCR 检测食源致病性轮状病毒时, 通过连续流动 RT 将 RNA 反转录为 cDNA 是至关重要的。实验中使用两步都使用传统 PCR 的空对照组与使用 RT-PCR 的实验组进行对照, 结果表示, 即便使用了 BSA 对毛细管表面进行了静力学和动力学钝化处理, 仍旧不能消除 RT 和 PCR 的表面抑制效应。因而猜测仍需使用给予 BSA 的钝化技术或者其他技术来进一步减轻这种不利表面效应。

总体来说,这篇文章介绍了中国微纳制造领域的总体概况。文章逐一介绍了微纳制造研究和进展,并列举出了先进的科研单位,最后对中国微纳制造发展进行了总结和展望。首先,我来对文章进行总结。

中国的微机电系统 MEMS 研究始于 1989 年,已经形成覆盖多个研究领域的较为完整的体系。中国在 MEMS 研发方面取得了长足的进步,不少成果已经进行了产业化应用,标志性成果有:微惯性测量组合单元 MIMU 及单元器件获得军事上的应用;神州系列飞船测控系统采用了大量微传感器;多种传感元件用于民用产品;生物芯片、血液生化检测系统、智能药丸和智能内窥镜等开始用于临床。这些高端领域的成果可以说明我国已经大致上弥补了微纳制造领域的空白,值得我们骄傲和自豪。

1 基础理论研究简况

微构件力学性能方面进一步的研究工作主要由中国科学院力学所、西安交通大学进行。微纳摩擦磨损及粘附行为方面清华大学摩擦学国家重点实验室进行了卓有成效的工作,从理论上说明了界面摩擦中原子不稳定跳动发生的原因、条件和能量耗散机制,研制出芯片式微摩擦测试仪。典型微流体器件输运特性方面中科院力学所对微米尺度的通道内流体流动特性进行了深入试验研究,提出了量纲一阻力系数和流量的修正 Hagen . Poiseuille 流动规律公式,并将微尺度流动引入流体力学参量的试验测量,提出了微量液体粘度仪的设计思想。拓扑优化技术在微纳结构设计中的应用、微传热学的研究、微测试方法和装置的研究也都有清华大学的参与,让我深刻的体会到了清华大学的实力。



图为清华大学研究的的的离过程弹簧片应变的示意图

2 微系统设计与加工工艺研究进展

设计方法方面清华大学重点开展了工艺模型建模、模拟与验证、工艺与封装材料特性数据库等方面的研究。硅基 MEMS 制造工艺方面,我国解决了 MEMS 表面微机械加工技术、体硅微机

出处：胡志军, 陈迪, 黄闯,等. 一种新型的电热驱动 MEMS 微继电器的研制[J]. 传感技术学报, 2009, 22(12):1696-1700.

摘要：为了得到一种新型的高性能微型继电器，设计和制备了一种新型的电热驱动微电子机械(MEMS)继电器，并进行了性能测试。整个工艺采用非硅 MEMS 工艺，利用 Cu 作为牺牲层材料，Ni 作为微继电器的结构材料。微继电器是基于杠杆放大原理设计的，因此能够获得较大的行程；驱动臂采用“U”型梁设计，能够在不增加功耗的条件下，获得较大的驱动力。最后采用 Ansys10.0 有限元软件对微继电器进行了模拟分析。测试结果表明，这种微型继电器具有体积小、驱动电压低、切换速度快等优点。

1.前言

微继电器作为一种基本的机电元件广泛地应用于信息处理，通信重点工程等各个领域。微继电器可以分为：微静电继电器、微电磁继电器和微电热继电器。微静电继电器驱动力较小，产生的位移也较小。微电磁继电器加工工艺较为复杂。而电热驱动微继电器驱动电压低，驱动力大，结构和工艺过程简单。因此，电热驱动微继电器的研发具有重要意义。

Peterson 在 1979 年首次报告了 MEMS 继电器开关。D.Girbau 和 A.Laizaro 等设计了一种“V”型梁热驱动 RF-MEMS 微继电器。JinQiu 等人研制了一种预变形的“U”型梁双稳态热驱动微继电器。

本文提出了一种新型的基于电热驱动的微机械继电器，并使用 Ansys10.0 进行仿真分析和结构设计。微机械继电器采用的“U”型的加热臂在不增加加热臂电阻和微继电器功耗的前提下，增加加热臂的驱动力；采用的放大臂将加热臂的微小热膨胀伸长放大为触点较大的位移。

2.实验

2.1 实验方法

2.1.1 微型继电器的结构设计

首先为热驱动臂和放大臂厚度和宽度的设计，来提高结构的刚度；其次为触头设计，减少接触电阻，获得较好的接触性能；然后为热驱动臂和放大臂长度的设计，来减少驱动电压，获得理想的放大效果；最后为泻荷槽的设计，降低放大臂的弹性系数，减小驱动电压，同时也会影响微型继电器的回复力。

2.1.2 制作工艺流程

热驱动微机械射频微继电器采用 MEMS 表面微加工工艺制作。光刻设备采用德国 KarlSuss 公司 MA6 光刻机。①采用玻璃为基片，用去离子水清洗基片，在 60℃烘干。②溅射电镀种子层 Cr / Cu。③旋涂 10pm 的正性光刻胶，光刻显影形成驱动电路、信号电路和牺牲层结构的图形。

④电镀铜，制作驱动电路、信号电路和牺牲层结构。⑤用丙酮浸泡，去除正性光刻胶。⑥旋涂正性光刻胶，光刻显影形成热驱动臂、放大臂、接触块等的图形。⑦电镀镍，制作热驱动臂、放大臂、接触块。⑧用丙酮浸泡，去除正性光刻胶。⑨用双氧水和氨水混合溶液刻蚀去除种子层 Cu。⑩甩正性光刻胶，光刻显影形成保护图形，露出牺牲层部分，保护驱动电路和信号电路。⑪用双氧水和氨水刻蚀去除牺牲层铜。⑫曝光，显影去除正性光刻胶。⑬用铁氰化钾和 NaOH 混合溶液刻蚀去除种子层 Cr。

2.2 实验表征：采用 ANSYS10.0 有限元软件对微继电器进行了模拟分析

得到微型继电器的驱动电压和放大臂触头位移的关系曲线和微型继电器驱动电压与热驱动臂工作时最高温度的曲线关系，从而进行分析。

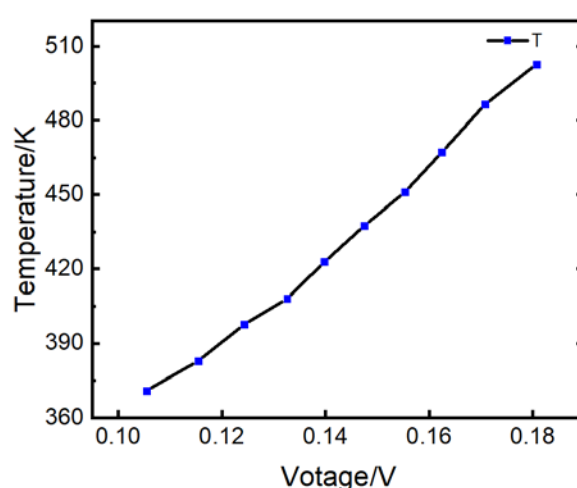
3.结果与讨论

3.1 微型继电器的驱动电压和放大臂触头位移的关系曲线

从图中可以看出，在驱动电压为 0.15V 的时候，开关触头位移为 6 微米；工作时，热驱动臂的最高温度为 440K，在理想的工作范围内。

3.2 微型继电器驱动电压与热驱动臂工作时最高温度的曲线关系

采用了 Ansys10.0 有限元分析软件进行机电热耦合仿真。做出微型继电器驱动电压与热驱动臂工作时最高温度的曲线关系。通过理论计算和 Ansys 模拟分析得到微型继电器的关键结构参数，“U”型热驱动臂长 l ，宽 b ，间距为 e ；放大臂长 c ，宽 d ；热驱动臂和放大臂的厚度都为 m ；放大臂顶部的触头与接触块(信号输出端)之间的间距为 f ；泻荷槽位于放大臂与热驱动臂连接处的下方，深 g ，宽 h ；热驱动臂与放大臂之间的间距为 l 。



微型继电器驱动电压与热驱动臂工作时最高温度的曲线

读后感

通读了这篇文章和一开始找的一篇文章, 通过对比, 我认为这篇文章是更好的一篇概述性的论文。

其摘要部分写了这篇文章的主要内容并概述了纳米硅电子的优点和发展趋势。引言部分叙述了集成电路的发展经历; 微电子器件在发展引起的诸如芯片功耗增加, 以至于超过了目前的芯片散热能力极限问题; 纳米硅单电子的优点“以纳米硅作为存储介质的单电子存储器由于比现有微电子存储器具有更低的功耗、更快的开关速度、更高的存储密度以及更高的集成度”引出本文的主角——纳米硅单电子存储器。

文章正文有如下几个部分: 浮置栅非挥发性存储器的发展; 纳米硅单电子存储器的结构及工作原理; 纳米硅单电子存储器研究现状; 纳米硅单电子存储器存在问题及解决办法。

非挥发性存储器由于功率损耗小且在关闭电源后能保留所存储的信息, 所以它被广泛应用于电子电器领域。这里我知道了一个概念, 编程(编程是指电荷在控制栅极电压单独作用下或其与漏极电压共同作用下, 由硅衬底或漏极跨过隧穿氧化层注入并储存于浮置栅中)。非挥发性存储器起始于 1967 年由 D.Kahng 和 S.M.Sze 发明的第一个以金属层为浮置栅的存储器(MIMS), 为克服其结构漏点快的缺点, 1967 年 Wegener 提出 MNOS 结构; 同样为解决这一问题 Frohman.Bentchkowsky 1971 年提出 FAMOS 存储结构, 其后演变为 EPROM 模型。1977 年提出了基于缺陷态存储的 SONOS。

在纳米硅单电子存储器的结构及原理上, 1994 年日本日立中央研究所的 K.Yano 等采用超薄多晶硅晶体管新结构, 利用单电子隧穿, 制备了室温单电子存储器; 为改进一些诸如电压要求高, 随机性大问题, IBM 的 S.Tiwari 等于 1995 年提出基于纳米硅晶粒存储的浮栅金属-氧化物-半导体场效应晶体管存储器件, 它有高密度, 高功耗, 多阈值, 横向泄露小的特点。

在描述纳米硅单电子存储器研究现状的部分中, 从 1995 年 S.Tiwari 提出纳米硅存储器以来受各高校, 研究所的密切关注。在纳米硅的制备方面, 相继提出了各种办法, 最常见化学气相淀积(如低压化学气相淀积、利用限制性晶体化原理在 PECVD 系统中生长夹层结构、低能粒子注入法等)、气溶胶法, 共溅射法等各类化学合成方法。在存储结构方面 R.Ohba 等人在 2002 年基于单层纳米硅存储基础上提出自对准双层堆叠纳米硅晶体作存储介质的存储器, 此后基于双层纳米硅存储器的结构研究成热点。当然一些中国的研究也在进行。在实际应用中, 2004 年飞思卡半导体公司在美国 IEEE 集成电路设计与技术国际会议上首次报道了基于纳米硅晶体存储的 4Mb 非挥发存储阵列。

文章最后提出了纳米硅单电子存储器存在的一些问题如均匀性不好及由不均匀性引起的阈值电压漂移更加严重和如何解决器件的擦写时间和电荷保留时间之间的矛盾。作者并发表了自己的一些关于解决这些问题的看法。“1) 以高 k 材料包裹的纳米硅量子点作为存储电荷的介质。因为高 k 材料可以屏蔽存储在其中的电荷引起的势场, 这样就可以在不改变其他性能参数的条

件下，延长电荷存储时间。2)利用金属硅化物复合量子点代替纳米硅量子点进行电荷存储。利用金属的深势阱来延长电荷存储时间。3)采用叠层介质材料作为隧穿层。即用不同势垒高度的材料构成三明治(两边高势垒，中间低势垒)结构的复合介质层作为隧穿介质层，在不影响电荷隧穿速率的情况下，延长电荷存储时间”

结语部分总结了纳米硅单电子储存器的现状：虽然具有功耗低、开关速度快、存储密度高、集成度高等诸多优势，但由于存在器件与器件之间的阈值电压漂移严重等问题，仍然没有作为主流非挥发存储介质应用于各类微电子芯片中。未来，通过广大科研人员和工程技术人员鼎力合作，相信纳米硅单电子存储器将表现出极大的发展潜力。

文章详细记录了从非挥发性存储器到纳米单电子储存器的发展历程，让我对微纳在单电子方面应用有了一定的了解。

赵显文 小论文 锗硅异质纳米晶通过良好空穴存储特性改善非易失浮栅存储器特性的研究

出处【闫锦, 陈裕斌, 左正,等. 基于锗硅异质纳米晶的非易失浮栅存储器的存储特性[J]. 半导体学报, 2008, 29(4):770-773.】

标题

原来的：基于锗硅异质纳米晶的非易失浮栅存储器的存储特性

改写的：锗硅异质纳米晶通过良好空穴存储特性改善非易失浮栅存储器特性的研究

摘要

为改善单质纳米晶或单层隧穿氧化层存储器，在较长的电荷存储时间和较快的擦写速度之间存在着相互制约的矛盾，通过自组织生长和选择化学刻蚀方法制备了渐变锗硅异质纳米晶，并通过电容-电压特性和电容-时间特性研究了该纳米结构浮栅存储器的存储特性，结果表明因为 Ge 的价带高于 Si 的价带形成了复合势垒，空穴有效地存储在复合势垒的 Ge 的一侧，所以该异质纳米晶非易失浮栅存储器具有良好的空穴存储特性。

(原来：利用自组织生长和选择化学刻蚀方法在超薄 SiO₂ 隧穿氧化层上制备了渐变锗硅异质纳米晶，并通过电容-电压特性和电容时间特性研究了该纳米结构浮栅存储器的存储特性。测试结果表明，该异质纳米晶非易失浮栅存储器具有良好的空穴存储特性，这是由于渐变锗硅异质纳米晶中 Ge 的价带高于 Si 的价带形成了复合势垒，空穴有效地存储在复合势垒的 Ge 的一侧。)

1.前言和绪论

WHY ?

纳米晶浮栅存储器由于具有功耗低、擦写速度快、存储密度高等诸多优点，有望取代传统的多晶硅浮栅存储器然而，对于单质纳米晶或单层隧穿氧化层的存储器而言，在较长的电荷存储时间和较快的擦写速度之间存在着相互制约的矛盾。异质纳米晶(Ge / Si, Silicide / Si)和堆栈介电层在纳米晶非易失浮栅存储器中的应用有望解决这个问题。

WHO、WHEN & WHERE ?

1995 年 Tiwari 等人提出了纳米晶浮栅存储器；

2002 年 R.Ohba 等人基于单层纳米硅存储基础上提出的自对准双层堆叠纳米硅晶体作存储器结构影响广泛。

WHAT ?

本文使用自组织生长和选择化学刻蚀方法在超薄 SiO₂ 隧穿氧化层上制备了渐变锗硅异质纳米晶，并研究了基于渐变锗硅异质纳米晶的浮栅存储器的电荷存储特性。测试结果表明，该浮栅存储器具有良好的空穴存储特性，这是由于渐变锗硅异质纳米晶中 Ge 的价带高于 Si 的价带形成了复合势垒，空穴有效地存储在复合势垒 Ge 的一侧。

2.实验

2.1 方法

自组织生长和选择化学刻蚀方法在超薄 SiO₂ 隧穿氧化层上制备了渐变锗硅异质纳米晶。

等离子体增强化学气相沉积(PECVD)法定积 30nm 厚的氧化硅。

在样品两端热蒸发形成铝电极，得到渐变锗硅异质纳米晶浮栅存储器。

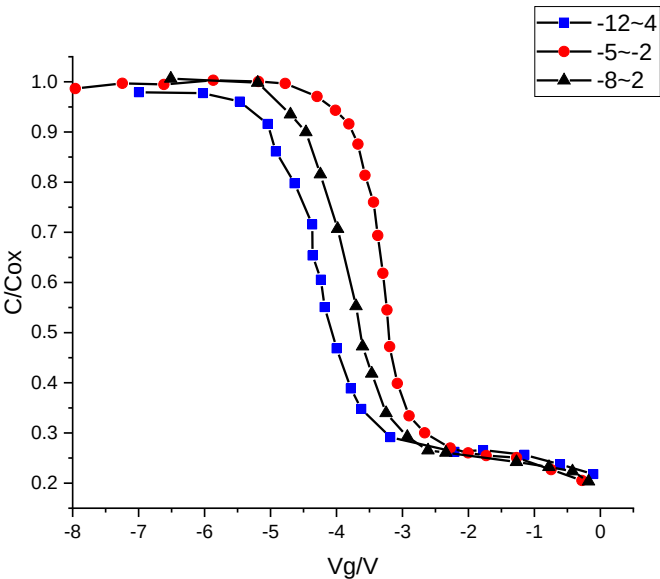
2.2 表征

渐变锗硅异质纳米晶的表面形貌和元素成分分别使用扫描电镜(SEM, JSM 7000F)和 x 射线光电子谱(XPS, Thermo ESCALAB 250)进行表征。

并使用高频(1MHz)电容-电压(C-v)测试设备(Agilent 4284A)研究了该浮栅存储器的电荷存储特性。

3.结果与讨论

3.1 重要的曲线



C-V 图

出处 [《微纳电子技术》](#) , 2014 , 51 (1) :1-11 赵正平

读后感

微纳科学最早起源于人们对于集成电路的研究, 为了将最初庞大的电子管计算机做得更小, 效率更高, 把原件做得越来越小是大势所趋, 当器件小到了微米纳米级别时, 其复杂的物理以及化学特性需要人们进一步的研究以及应用, 微纳科学便应运而生, 本文将回到基础的器件领域, 谈谈我的一些理解以及看法。

在 2004 年时集成电路的特征尺寸已经突破了 90nm, 标志着微电子技术的发展进入了纳电子时代, 随着工艺尺寸的减小, 介质栅漏电, 短沟道效应以及寄生效应的影响增大, 快速增加的能耗, 陡增的散热压力都阻碍着器件向着更小的尺寸发展, 尤其是在 2012 年 intel 的量产集成电路特征尺寸进入了 22nm 之后, 工艺尺寸的提升更是举步维艰, 而为了解决这些问题, intel 在 2011 年发布了两项重要成果, 世界上第一个 3-D 晶体管 Tri-Gate 以及商业化量产的 FinFET (鳍式场效应晶体管)。与此同时, 取得突破的还有双栅、鳍栅、Pi 型栅、 Ω 型栅、三栅和环形栅等 FET 关键技术, 以及栅极控制沟道电子能力。

有了这些技术上的支持, 英特尔、台积电, 三星等半导体企业迈过了停留了数年之久的 20nm 门槛, 迈向 14nm, 12nm, 如今 14nm 的芯片已经获得大规模量产, 目前市面上个人电脑中的 cpu 以及 gpu, 手机中的 soc 基本采用的都是 14nm 工艺生产的, 而现在各个半导体龙头将目光转向了突破 10nm 工艺的门槛上, 近日三星透露其 7nm EUV (远紫外光刻) 工艺研发完成, 将于今年下半年正式量产, intel 也在加紧验证下一代处理器 10nm 方案的可行性, 相信不久的将来, 下一代更高性能的产品即将面世。

本文极为详细的介绍以及概括了目前三维晶体管, CMOS 器件的发展状况以及未来的发展趋势。首先介绍了不同 FET 的性能特性以及限制。

首先谈谈短沟道。对于长通道器件, 通道四边的“边缘效应”是可以忽略不计的。对于长通道器件, 电场线垂直于通道的表面。这些电场由栅极电压和背栅极电压控制。但是, 对于短通道器件, 漏极和源极结构更靠近通道, 特别是当通道中的纵向电场进入画面时。纵向电场由漏源电压控制。纵向电场平行于电流流动方向。如果通道长度不大于源极和漏极耗尽宽度的总和, 则该器件称为短沟道器件。

过短的通道将会给器件带来一些不良的影响, 如载波速度饱和度和移动性降级, 漏极感应障碍降低, 以及穿孔等。对于传统的 MOS 结构, 随着沟道长度的缩小, 栅极不能完全控制通道, 这是不希望看到的。其影响之一是从漏极到源极引起更多的亚阈值泄漏, 这从功耗角度来看不是很好。在常规 MOS 中, 栅极不能控制远离其的泄漏路径。可以使用允许将晶体管缩放超过常规 MOS 缩放极限的各种 MOS 结构来改进。而双栅、鳍栅、Pi 型栅、 Ω 型栅、三栅和环形栅等 FET 技术有多个通道控制的通道可以使得给定晶体管占空比的更高的驱动电流, 更高的速度, 更低的

泄漏，更低的功耗，无随机的掺杂剂波动，具有非常优良的性能，因而可以将器件做得更小，让举步维艰的摩尔定律多延续几年。

再来谈谈后 CMOS 器件，本文主要介绍了三种理想的新材料：InGaAs 材料、Ge 材料以及碳纳米管。InGaAs 材料是化合物半导体材料中电子迁移率最高的材料，其电子迁移率可达 $3 \times 10^4 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ，可作为 NMOS 沟道的替代材料。2011 年报道了三栅超薄体 InGaAs 量子阱 FET，成功实现了 InGaAs 量子阱厚度为 10nm 的超薄体和 30nm 较窄的鳍宽度，从而加强了三栅的静电控制。Ge 材料的空穴迁移率在主要半导体材料中是最高的，可作为 PMOS 器件的沟道替代材料；由于其电子迁移率比 Si 材料高，也可作为 NMOS 器件的沟道替代材料。再说碳纳米管，碳纳米管（CNT）新材料具有尺寸小、载流子迁移率高等特点。其单壁碳纳米管直径在 0.7~2nm；当载流子通过碳纳米管时没有晶格振动的散射，属弹道输运，因此载流子具有高的迁移率，室温下高达 $100000 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 。碳纳米管的禁带宽度约为 0.9eV，且导带和价带的边缘是对称的，导致其电子和空穴的迁移率都较高。碳纳米管是 CMOS 尺寸缩小到 10nm 以下的替换沟道的备选材料之一。与此同时，本文还介绍了石墨烯量子隧穿机理，具有库仑阻塞效应的单电子晶体管，磁自旋器件等。

如今，科学家已经描绘好了终极 CMOS 器件的模型（纳米线沟道、全环栅结构、高 k 栅介质和导电的叠层栅电极），但为了延续摩尔定律以及将工艺推向更新的高度，人们既要处理尺寸按比例缩小的已熟悉的技术挑战（沟道迁移率、短沟道控制、寄生电阻和电容），又要处理和原子尺度相关的新挑战（原子间距所限制的临界尺寸、支配物理结构的界面和支撑层以及包含泄漏、限制和散射等量子效应）。在原子尺度的范围，新的物理效应将会出现，又需要进行新的实验和相关的理论研究活动去解决这些问题。

老实说，集成电路走到现在已经五十个年头了，现在的工艺技术已经逼近了原子大小的大门，摩尔定律到底如何维持，未来的芯片技术应该如何发展确实是一个很大的疑问，极紫外光刻的领头羊 ASML 在研发下一代的光刻机困难重重，本代 7nm EUV 光刻机的生产也是极为缓慢，一年只能交付个位数台。在此面前，Samsung 选择了继续精进工艺，而 intel 选择了优化结构，不管如何，人类的创新不能停滞不前，历经困难总能走到更美好的前程。

而个人认为，这个瓶颈期正是中国集成电路行业发展的黄金时期，在以往的快速发展时期，中国能与世界领先水平保持相同的发展速度不被甩开已经相当不容易了，芯片不同于原子弹，他是一个不断发展的东西，而这时，世界领先的水平已经增长缓慢甚至停滞不前时，我们是不是能赶上他们呢，能不能打开一条通往未来的路抢占先机呢？龙芯，兆芯的国产 cpu，紫光电子的国产 nand，能不能迎头赶上呢？我希望未来中国的集成电路产业可以在集成电路设计（如华为的 SoC）以及集成电路工艺上都能够赶超世界先进水平。

出处: 北京航空航天大学 李越 黄安平 [《微纳电子技术》](#), 2012, 49 (12) :775-780

标题

新标题:金属栅 / 高 k 基 FinFET 分析与优化及下一代电子器件研究

旧标题:金属栅 / 高 k 基 FinFET 研究进展

摘要

旧摘要:

对比传统的平面型晶体管,总结了三维立体结构 FinFET 器件的结构特性。结合 Mos 器件栅介质材料研究进展,分别从纯硅基、多晶硅/高 k 基以及金属栅 / 高 k 基三个阶段综述了 FinFET 器件的发展历程,分析了各阶段 FinFET 器件的材料特性及其在等比缩小时所面临的关键问题,并着重从延迟时间、可靠性和功耗三方面分析了金属栅 / 高 k 基 FinFET 应用于 22nm 器件的性能优势。基于短沟道效应以及界面态对器件性能的影响,探讨了 FinFET 器件尺寸等比缩小可能产生的负面效应及其解决办法。分析了 FinFET 器件下一步可能的发展方向,主要为高迁移率沟道材料、立体型栅结构以及基于新原理的电子器件。

新摘要:

本文结合了 MOS 器件栅介质材料研究进展,总结与概述了三维立体结构 FinFET 的发展历程,着重讨论了 FinFET 器件尺寸等比缩小时产生的负面效应以及解决方法,以及下一步 FinFET 器件的发展-基于高迁移率沟道材料,立体栅结构以及新原理的电子器件.分析部分主要基于延迟时间,可靠性和功耗三方面,并分析得出高 K 基 FinFET 应用性能优势,基于短沟道效应以及界面态对器件性能的影响.

WHAT

MOS 器件栅材料 / 高 K 基金属栅 FinFET/基于高迁移率沟道材料,立体栅结构以及新原理的电子器件

WHY

FinFET 器件尺寸等比缩小时产生的负面效应以及解决方法/下一代 FinFET 器件的发展/得出高 K 基 FinFET 应用性能优势以及界面态对器件性能的影响

HOW

基于延迟时间,可靠性以及功耗三方面的分析

前言

改:半导体器件特征尺寸按摩尔定律等比缩小,芯片集成度不断提高,出现的众多负面效应使传统的平面型 MOSFET 在半导体技术发展到 22nm 时遇到了瓶颈(短沟道效应),器件关态电流急剧增加.提高掺杂浓度可一定程度抑制短沟道效应,但增大的库伦散射会使载流子迁移率下降.目前业界提出的解决方案有 FDSOI(全耗尽绝缘体上硅技术)以及三维立体 FinFET.本文将着重讲 FinFET. FinFET 最早由 Chengming Hu 教授提出,而 Intel 在 2011 年将其商业化,发布了以此结构的 Ivy Bridge 处理器,结合了金属/高 K 技术与 Fin 结构的优点,表明 FinFET 技术逐渐成熟,摩尔定律延续以及器件等比例缩小成为可能.FinFET 器件在延迟时间,可靠性以及功耗方面对比旧有器件都有极大的提升.

具体内容及实验

- 1.FinFET 结构介绍
- 2.FinFET 发展历程
- 3.实验部分: FinFET 器件性能优势具体分析

实验:测量器件在表面声子散射作用下沟道,流子的迁移率,以及延迟时间,功耗测量,性能影响.

表征:沟道载流子迁移率 延迟时间 等效电场 阈值电压波动 器件功耗

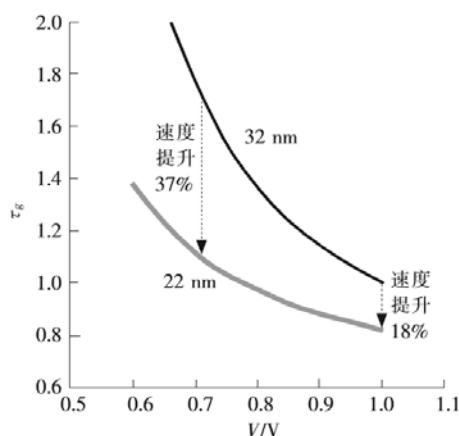


图:22nm FinFET 与 32nm 平面型

MOSFET 栅极延迟时间对比图

相关实验结果:与平面型 MOSFET 相比,金属栅 / 高 k 基 FinFET 延迟时间大幅缩短,如图(τ_g 为归一化栅极延迟时间, V 为工作电压)。延迟时间的缩短主要归因于源漏间饱和电流大幅增加及栅极对沟道的控制能力显著增强。余下实验分析得出了 FinFET 器件在源漏间饱和电流(运行速度),可靠性以及功耗方面的优势

HOW TO 微纳

我们的组员在刚开始根据查找的资料，将 how 的部分分为了合成方法和检测方法，然后再进行了详细的分工。每个人都针对一个或者两个方法做了资料的搜集，在大论文中写了自己的一些简单理解。然后进行了了解后，针对搜集的资料做了整合，对小论文进行了改写，所以小论文是很多资料的有机结合，

这是每个人的分工

517021910304	周玉	女	2017	How
517021910348	魏皓	男	2017	
517021910350	余径舟	男	2017	
517021910504	黄堃栩	男	2017	
517021910536	王凯源	男	2017	
517021910539	伍致宇	男	2017	
517021910543	张云骥	男	2017	
517021910571	吴方舟	男	2017	
517021910584	陈沛东	男	2017	

目录

周玉 大论文 电子显微分析在表征纳米晶体化学组分中的应用

周玉 小论文 单晶中植入纳米晶微结构及光电性能研究

魏皓 大论文 MEMS 集成化设计方法及关键技术

魏皓 小论文 利用 LIGA 技术研制超微步进电机

余径舟 大论文《氧化铝微纳结构材料的研究进展》读后感

余径舟 小论文《微纳多层功能复合材料的制备新技术》改写

王凯源 大论文 微纳技术进展、趋势与建议

王凯源 小论文 介电泳操控纳米材料应用

伍致宇 大论文 微纳连接技术研究进展

伍致宇 小论文 新型高灵敏度微纳光纤应变传感器

张云骥 大论文 《超疏水微纳结构的制备与研究》读后感

张云骥 小论文 具有微纳超疏水的槽道特性研究

吴方舟 大论文 化学气相沉积技术及应用前景

吴方舟 小论文 激光诱导化学气相沉积法制备纳米氮化硅及粉体光谱特性研究

陈沛东 大论文 纳米压入法的应用与发展

陈沛东 小论文 测试薄膜力学性能

出处

何节玉, 柳一鸣, 欧阳健明. 电子显微分析在表征纳米晶体化学组分中的应用[J]. 人工晶体学报, 2009, 38(5):1266-1271.

正文

这篇论文的目的并不是在电子显微分析的领域针对当下发展的困境进行探索, 不是突破性进展的报告, 而是仅仅总结了目前已有技术, 先纵向介绍了每种技术的原理, 然后用相应的技术对晶体进行分析, 这些分析即是此种技术的应用实例; 然后再通过横向比较, 最后得出电子显微分析技术的不足与长处。所以这篇文章更像是一片科普性的文章, 是对整个领域的一种总结性的描述, 结构十分清晰, 文章整体性强。

电子显微镜技术的发展, 使得由于受光的波长限制而分析不到的微米级微区得到了有效处理, 并且还可以利用联用技术 (简单来说就是用电子显微镜与不同的物相分析仪相结合), 使得彼此的功能都得到延展, 比如可以分析微区得形貌、尺寸, 可以表征微区化学组分和理化性质, 分析的限度也大大扩展到了几个纳米。根据不同的结合方式, 可以把电子显微分析技术进行分类, 本文主要介绍 EDS、WDS、EELS、SAED。

EDS 是 X-射线能谱, 其优点是可以分析定性定量分析式样的元素组成且分析速度较快, 但精度与准确度不高。其原理是: 用高速电子轰击物质, 是其中的一些电子可以得到高于自身脱离共价键束缚的能量, 则共价键中的电子将会脱离, 剩下一个空穴, 原子带正电, 处于激发态 (能量较高), 高能级电子向低能级空穴跃迁, 多余的能量以 X 射线的形式释放, 不同的物质释放的射线能量特征值与谱峰强度不同, 以此为依据来定性定量分析。^[1]

WDS 是 X-射线波谱, 优点是也可以定性定量分析物质, 但由于比 EDS 分辨率高, 所以探测精度比 EDS 高, 分析范围比 EDS 宽, 显然 WDS 所需要的技术也就更高, 对样品也要求有更高的光洁度。其原理是: 不仅仅有利用 EDS 的技术, 而且再 EDS 的基础上加上了分析射线波长的功能, 因此功能也更强大。

EELS 是电子能量损失谱, 优点是在检测超轻元素方面比 EDS 好, 但无法鉴别试样化学状态, 也不能对其进行晶相分析。其原理是: 以电子轰击材料表面, 有极少部分的电子将会发生弹性碰撞, 而大量的电子会不同程度的损失能量, 而这些损失的能量形成的能谱可以反映原子内部的空间分布情况, 所以每种材料都有不同的损失能谱。^[2]

SAED 是选区电子衍射, 能对微区晶体粒子进行物相鉴定和晶体结构分析, 但电子衍射花样分析复杂, 晶面距离 d 值计算和标准物检索繁琐, 无法对非晶材料进行微区分析且检测试样不受晶体与非晶体材料的限制。其原理是: 用高能粒子轰击材料已被测出的微区, 由于不同的材料的内部结构不同, 所以电子发生弹性散射加强的方向与减弱的方向不同, 从而在单晶衍射中,

形成的斑点不同；多晶衍射中，形成的衍射圆环不同，通过 $R_d = \lambda L$ 公式求出一系列 d 值，检索 d 值来分析晶相组成与晶体结构。

总的来说，电子显微分析技术能在不失精确度且检测的元素范围十分广泛的情况下，把尺寸极其微小乃至纳米级的微区中组分分析和形貌分析结合起来，达到各种技术所需的检测要求，除此之外，由于此技术在分析物质中的化学元素时，元素的化学状态不会对分析结果造成影响，而且可以同时分析各种不同的元素，又给实验带来了巨大的方便。但是有利必有弊，此技术到目前的发展状况为止，还有很多需要改进的地方。比如由其优点带来的缺点，以上方法大多只能对试样进行元素定性和定量分析，不能鉴别其化学状态，只有 SAED 可分析物相，但是 SEAD 的数据处理以及图谱分析都十分复杂（EELS 也是如此），因此在给分析元素带来便利的同时，分析物质却变得异常繁复。另外对于分析技术本身也存在致命性的缺陷。电子显微分析技术中，高能电子束轰击物质是必不可少的程序，但高能电子束与试样作用时易造成辐照损伤，打断材料的化学键，将某些原子从格位碰撞出去，从而可能改变试样的理化性质，造成检测的巨大误差。与此同时，仪器设备的价格昂贵，检测操作烦琐，样品制备麻烦，微区越小信噪比越低等缺点也是此项技术发展中需要突破的问题。

可见，电子显微分析技术优缺点并存，其整体的发展应朝着对试样无辐照损伤，分辨率更高，分析微区更小，数据处理和检测操作简单，设备成本降低的方向发展。

[1]参考：<https://baike.baidu.com/item/电子和空穴/12605766?fr=aladdin>

[2]参考：www.cailiaoni.com/49297.html

周玉 小论文 单晶中植入纳米晶微结构及光电性能研究

论文出处

祖小涛, 向霞. 单晶中植入纳米晶微结构及光电性能研究[J]. 电子科技大学学报, 2006(s1):29-36.

标题

原来的标题：单晶中植入纳米晶微结构及光电性能研究

修改的标题：以离子注入技术在单晶中植入纳米晶微结构并研究其光电性能在光磁器件中的应用

摘要

原来的摘要：单晶 α -Al₂O₃、MgO、YSZ 和 TiO₂ 在室温下分别注入 Ni⁺和 Zn⁺离子,然后在氧化气氛中退火,以形成金属及其氧化物纳米晶。形成的纳米复合结构分别采用 X 射线光电子能谱 (XPS) 表征各元素化学价态;用 X 射线衍射分析 (XRD) 检测纳米结构的结晶形态;用透射电子显微分析 (TEM) 观察纳米晶的微观结构及分布情况;吸收光谱和荧光光谱分别用来表征纳米复合结构的宏观光学性能;超导量子干涉磁强计 (SQUID) 测量磁性纳米晶的矫顽力及截止温度。研究表明:在几种单晶材料中分别形成的金属 Ni 和 Zn 具有表面等离子共振吸收效应,ZnO 纳米晶具有较强的绿光发射,铁磁性金属 Ni 纳米晶具有比常规块材大的矫顽力。这些性能在光学滤波片、蓝/绿发光器件和磁存储器方面具应用前景。

修改的摘要：在单晶中植入纳米晶微结构后的材料的性能在光学滤波片、蓝/绿发光器件和磁存储器方面有很好的应用前景。本文将 Ni⁺和 Zn⁺离子在室温下分别注入单晶 α -Al₂O₃、MgO、YSZ 和 TiO₂,然后在氧化气氛中退火,以形成金属及其氧化物纳米晶。在电子显微分析的数据基础上用吸收光谱来表征所形成的纳米复合结构的宏观光学性能。研究表明:在几种单晶材料中分别形成的金属 Ni 和 Zn 具有表面等离子共振吸收效应。

前言和绪论

离子注入已经成为一种在材料近表面形成纳米晶的行之有效的技术,与其他制备纳米晶的方法相比有独特的优点。在绝缘体中植入的金属纳米晶具有奇异的光学特性,成为近年来研究的热点,主要表现为表面等离子共振吸收效应 (SPR) 和高的三阶非线性光学 (NLO)极化率。目前用于离子注入制备纳米晶的基体材料主要是非晶 SiO₂ 玻璃,以单晶材料作为基体的研究相对较少,对植入金属纳米晶的研究主要集中在基体上,研究了 Au、Ag、Cu、Ga、Cr、Fe、Ni、Zn 等金属植入纳米晶的形成过程和退火对纳米晶光学、磁学等性能的影响。本文以近年研究成果为基础,综述了以 α -Al₂O₃、MgO、YSZ 和 TiO₂ 单晶作为基体分别制备了金 Ni 和 ZnO 纳米晶,并研究了纳米晶的微观结构和宏观光学、磁学性能。

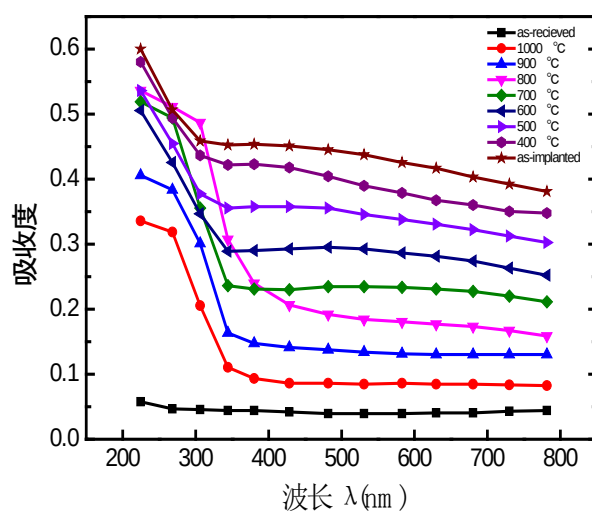
实验部分

实验过程（实验方法）

以 Ni^+ 离子注入的单晶 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ，注入样品在氧化气氛(空气或氧气)中用石英管式炉进行退火处理，温度从 300°C - 1000°C ，分别保温 1h。（表征）吸收光谱分析采用 SHIMADZU UV-2550 紫外-可见分光光度计，紫外和可见光区分别用氖和钨灯作光源，波长检测范围 200-1000nm。

一条重要的曲线

图中为以 Ni^+ 离子注入的单晶 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 为样品，以波长为横轴，吸收度为纵轴，分别画出了不同退火温度下，吸收度波谱随波长的变化情况，并做了对比。



实验结果

可以看出，纯净的单晶样品吸收光谱在可见光区是一条平滑的直线。 Ni^+ 离子注入后样品的吸收曲线中出现一个峰值在 400nm，吸收范围 300~700nm 的宽而弱的光吸收带。依据单电子显微分析的分析结果可以断定，此吸收带是由金属 Ni 纳米晶的表面等离子共振引起的。随退火温度升高此吸收带红移，800°C 时几乎消失；同时，当温度升高到 600°C 时，紫外波段开始出现一个肩峰。当温度达到 800°C 时，这个肩峰更加明显，其峰值红移到 306nm (4.05 eV)，随退火温度继续升高，峰值没有再发生明显的迁移。由于 NiO 绝缘体的禁带宽度为 4eV (310nm)，电子显微分析也证实了 NiO 纳米晶的形成，因此可以判定该紫外吸收带是由 NiO 纳米晶所引起。

MEMS 集成化设计方法及关键技术

大论文读后感

魏皓 517021910348

在本学期的工程学导论课堂学习中，在老师的指导下，我了解到了微纳方面的相关知识，为了进一步了解微纳这个领域，我阅读了清华大学尤国平、田凌、郝文涛撰写的论文《MEMS 集成化设计方法及关键技术》，认真阅读之后，我有不少的收获和感想。

这篇论文的主体部分介绍了 MEMS 集成化设计方法、工艺版图的三维重构、面向系统级仿真的宏模型构建三个方面。首先从论文的摘要中，我大致了解到了本文所提出的 MEMS 集成化设计方法的作用，即实现了 MEMS 集成化设计环境，最终目的是建立集成化设计的 MEMS CAD 软件系统。

论文的引言介绍了和传统设计过程相比，MEMS 设计的特殊性。而正因为 MEMS 具有功能多样、加工复杂、分析困难、设计周期长、成本高等特点，寻求先进的设计方法和相应的 MEMS CAD 软件来支持建模、动态仿真、评测变得尤为重要。所以该论文的研究对于优化工艺、降低成本、缩短设计周期、提高产品竞争力都有很重要的意义。

在阅读论文主体部分的过程中，我了解到了作者的集成化设计理念是从 MEMS 设计的最初阶段就考虑到设计过程中的所有关键要素，集成多学科知识来组织管理分级“Top-Down”设计。在解决集成化设计的关键问题之一——工艺版图的三位重构方面，作者在比较了四种开发方式的成本、商业化、难易程度之后，选择了利用 OpenGL 从底层进行开发的方式。而在面对直接把器件模型数值模拟结果用于系统模拟所产生的巨大运算量的难题时，作者采用了简化耦合场的办法，采用传递函数法和状态方程法两种方法表示宏模型。

最后作者总结出论文的设计方法有助于克服目前 MEMS CAD 的缺点，为开发具有实际意义的具有自主知识产权的国产 MEMS CAD 软件提供了理论基础。

读罢这篇论文，我不仅对 MEMS 设计方法有了一个更加全面的认识，更了解到了许多微纳工程甚至整个工程学中处理问题的方法。

首先是问题的提出，我认为在工程学中，提出问题是新的创造发明的源头。而提出问题也是最为困难的工作。在本文中，作者看到，传统的 MEMS 设计已经无法满足越来越复杂的器件的要求，所以提出了集成化设计的想法。在工程学中，许多问题也是如此，随着科技的进步和需求的增长，原先的器件或方法不能满足新的需要，就促使了新方法的产生。我们在工程中就需要多关注这些前沿的需求，结合自己的专业知识，有根据的提出新的想法。

其次是系统化处理问题的思路。随着计算机的发展，人们可以处理的问题变得越来越复杂。如果没有清晰地分析解决问题的思路，将会导致不可避免的混乱。因此，我们要有整体分析问题

的概念，从上而下去分析，将要做的事情分层，先制定出整个框架，然后去解决细节。或者研制出具有普适性的东西将其应用于小问题的处理，这样可以节省很多的时间和精力。

然后就是在面对多条路径的选择问题。在本文中，三维实体重构技术有四种方法，最终作者选择了利用 OpenGL 从底层进行开发。在工程学中，我们也经常会碰到这样的选择，这时候就需要我们在各个方面做出权衡。我们不仅需要考虑在实际工程中的实用性、可操作性等问题，也需要考虑商业化、推广过程中成本、产品特点等方面。只有提前将这些问题考虑全面，才不至于出现已经做出进展又因为考虑不周需要推倒重来的尴尬局面。这也是工程学中大局观念的重要一环，我认为这是工程师必不可少的素养。

最后是在对于成果的修改优化和反思。很明显，世界上几乎没有完美的设计。我们需要对成果进行优化，让它尽量变得更好。而在研究实验过程中，我们很难发现不足。俗话说“实践是检验真理的唯一标准”，与其闭门造车，对着自己的成果苦苦寻找不足，不如先将它投入实验，在实际应用的过程中找出设计的缺陷，也能对症下药，做出改进。如果难以改进，也可以将问题记录下来作为反思，留给读者去思考。

除了论文内容给我的启发，论文的本身也给我以后在论文写作方面提供了很好的参考和借鉴。一篇优秀的工程学论文，离不开清晰的结构，离不开表达作者想法的一目了然的图表，还需要真实的数据和文字支撑。与此同时，摘要、注释等环节也必不可少。这些细节都能体现出工程师严谨的科学态度，而正是工程成功的关键。

工程学和其他学科相比最大的不同就在于它的务实和严谨，这是这篇论文教给我的，我觉得我们应该将它牢记在心，在以后的工程学习和实践中都不辜负这几个字，做出推动人类发展的伟大成果！

出处

【伊福廷, 彭良强, 张菊芳,等. 利用 LIGA 技术研制超微步进电机[J]. 微特电机, 2001, 29(3):93-95.】

标题

原来的 利用 LIGA 技术研制超微步进电机

改写的 利用 LIGA 技术研制超微步进电机以提升电机结构性能

摘要

原来的 文章概述了超微步进电机的原理设计、结构设计、加工方法以及该电机的扫描电镜照片等。该电机的转子和定子由 LIGA 技术制造完成, 线圈由手工在显微镜下绕制完成, 转子直径 2mm, 整个电机直径 5mm。

改写的 文章概述了超微步进电机的原理设计、结构设计、加工方法以及该电机的扫描电镜照片等。该电机的转子和定子由 LIGA 技术制造完成, 线圈由手工在显微镜下绕制完成, 转子直径 2mm, 整个电机直径 5mm。计算结果表明, 该电机具有很大的输出扭矩, 能够满足微产品的需要。

0 前言和绪论

0.1 why? 为什么要做?

LIGA 技术是微加工技术的重要手段, 也是微机械系统制造较为适合的加工方法, 在微机械等领域有着良好的应用前景, 已经制造出光纤连接器、热交换器、齿轮、微泵、电机等许多的微机械器件, 有些器件已经投入使用。LIGA 技术是利用光刻技术进行微机械结构和零件的加工, 而光刻技术又是电子器件生产的一种方法, 因此在方法上就实现了微电子与微机械的结合, 为微系统技术发展提供了一种强有力的实现方法。该技术是利用同步辐射 X 光光刻技术制造原始胶结构, 由于同步辐射光刻的优越性能, 使 LIGA 技术具有其它技术所无法相比的优越性能。

0.2 who、when & where? 有什么人在这之前做了什么东西?

微电机有静电式、电磁式等多种结构形式, 国内有清华大学、上海交通大学进行了微电机的制造, 并已取得了很好的研究成果。清华大学和上海交通大学主要利用硅加工技术完成了微电机的制造。

BS RF 自 1993 年起开始从事 LIGA 技术的研究工作, 基本上完成了除塑铸外的整个工艺过程。在进行基础工艺研究的同时,进行了应用技术的研究:悬空金属微条探测器、微加速度计、微镊子、正电子慢化器及微电机等, 其中超微步进电机就是一重要应用研究方向, 并已取得了很好的研究成果。

0.3 what ? 总结一下我们在这篇文章的贡献

我们在吸收和消化国内外先进技术的基础上, 提出了一种新的微电机设计思想, 使该电机具有很好的结构性能。利用上牺牲层技术, 将分散的电机定子很好地结合起来, 从而可以作为一个完整的部件进行装配。

1 实验

1.2 方法 (怎么做的)

利用 LIGA 技术来制造这一电机, 首先是 LIGA 技术的常规工艺流程, 包括在钛片上涂 PMMA 光刻胶, 同步辐射光刻, 电铸镍;然后是制造转子所需要的牺牲层, 包括涂 AZ1350 光刻胶, 套刻, 显影, 蒸镀金属铜膜, 将金属铜膜用电镀的方法加厚到 0.5mm, 并利用机械方法在加厚的铜体上钻孔, 以使导磁棒从中穿过;最后将钛片、PMMA 和牺牲层去除掉, 并将带有线圈的导磁棒安装到定子的插孔内, 这样电机就装配完毕。线圈是在显微镜下由手工绕制而成, 漆包线的直径为 50 μ m, 可通电流 100mA。磁棒是普通的铁丝, 直径 0.5mm。脉冲电源由常规步进电机的驱动电源改造完成, 脉冲频率 500Hz, 脉冲幅度 1.5V。

1.3 表征 (怎么测的)

从扭矩的计算公式中, 我们可以看到, 扭矩与转子半径 R 、空气间隙的表面积 S_0 、线圈的电流和圈数的平方成正比, 与空气间隙的距离和磁铁回路平方成反比。对于上述 LIGA 工艺路线的考虑, 以及能够有一定的输出扭矩, 我们选电机的转子半径 $R=1\text{mm}$, $l=4\text{mm}$, $l_0=0.03\text{mm}$, 选用镍为磁性材料, $\mu_r=2000$, 转子厚度选用 LIGA 技术通常能达到的水平 0.5mm, 齿数为 5 个, 每齿宽 0.02mm, 则 $S_0=0.5\times 0.02\times 5=0.05(\text{mm}^2)$, 取线圈匝数 $N=300$, $I=0.1\text{A}$, $\mu_0=4\pi\times 10^{-7}\text{Tm/A}$ 。我们就可以得到一扭矩和偏角的函数, 从函数曲线上看, 当 $\theta=45^\circ$ 时, 扭矩达到最大, $T_{\max}=7.95\times 10^{-6}\text{Nm}$ 。

2 结果与讨论

2.1 结果

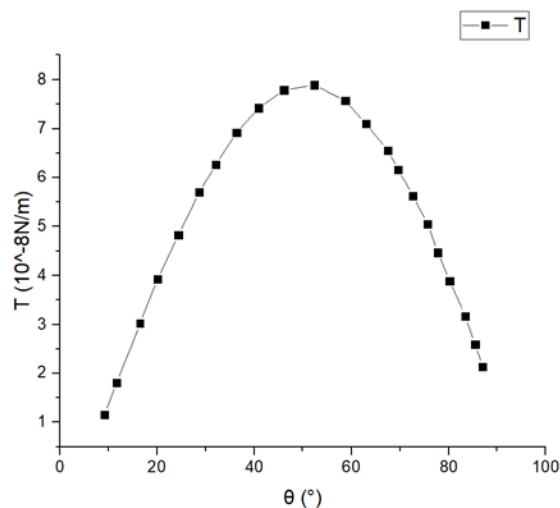
该电机的中间为转子, 四周为分散的四对(八个)定子。四对定子的齿分布相差 $1/4$ 齿间距, 通过依次对不同定子对施加磁场, 就可使转子齿与不同定子齿相吸合, 这样转子就会以每步 $1/4$ 齿间距的角度转动。定子对的磁力是靠 4 个线圈产生的磁力来提供的, 4 个线圈由一脉冲电源提供电力供应。导磁棒通过铜的基片插入定子的孔内。目前, 该电机已能够在脉冲电源的驱动下转动, 转动速度为 60r/min 。

2.2 讨论

为了减小电机装配的困难和其它一些条件的限制, 该电机设计的尺寸还较大, 还需要对一些尺寸进行限制, 使其整体尺寸小下来。目前的导磁棒是利用了现有的材料, 其尺寸过大导致了电机整体尺寸的加大。在下一步的设计和制造中, 将采用特制的磁棒尺寸, 以及减小转子的尺寸, 就能够很好地将电机的整体尺寸小下来。

3 结论

利用 LIGA 技术来制造超微电机的优势, 就在于它可以制造出较厚的结构, 这样可以得到较大的输出扭矩。从计算的结果看, 该电机有很大的输出扭矩, 能够满足微产品的需要。目前, 电机的转子和定子由镍材料制造, 线圈的导磁棒是铁材料, 从导磁的角度来说, 这些材料都不是最好的材料; 转子和定子的结构尺寸也不是最佳尺寸, 所以还需要进一步的优化; 脉冲驱动电源是常规电源改造完成, 并不是专用电源, 其脉冲结构还需要改进。



电机扭矩与偏转角的关系曲线

余径舟 大论文《氧化铝微纳结构材料的研究进展》读后感

(文章出处：朱振峰, 孙洪军, 等. 氧化铝微纳结构材料的研究进展[J]. 材料导报, 2009, 23(15):000019-23.)

引子

随着纳米科学和技术的发展, 各种具有特殊形貌的纳米结构越来越引起人们的兴趣和重视。而氧化铝微纳结构材料由于具有特殊的形貌、高比表面积、高介电常数、高的热和化学稳定性等特性, 并且还可以作为构筑单元、采用自下而上的方法合成各种超级结构材料, 所以在吸收剂、催化剂载体、陶瓷材料、耐磨材料和新结构材料合成等诸多领域都得到重要应用, 已成为当前纳米材料科学领域的前沿和热点。

这篇论文就是在氧化铝微纳结构材料成为近几年来化学和材料科学前沿的一个日益重要的研究领域这个大背景下应运而生的, 结合了近年来国内外最新的研究进展, 就不同制备方法合成的氧化铝微纳结构材料、合成材料的形貌以及物性和应用等方面一一作了大致的介绍。目前为止, 制备氧化铝微纳结构材料的主要方法有四种: 水热法、溶剂热法、表面活性剂辅助水热法以及溶胶-凝胶法。除此之外, 本文还介绍了另外几种小众的合成氧化铝微纳结构材料的方法。接下来对这几种主要制备方法进行分析。

水热法

由文中所述, 水热法的原理是提供了一个在常温常压条件下无法得到的特殊的物理化学环境, 使前驱物在反应系统中得到充分的溶解, 并达到一定的过饱和度, 从而形成原子或分子生长基元, 进行成核结晶, 由此促进反应的进行和各种形貌的形成。而采用水热法得到的最终产品的形貌主要受铝源的种类和物质的量、溶液的 pH 值等因素的影响。其中, 前者对产品的形貌的影响最大, 比如分别以硝酸铝、氯化铝、硫酸铝为铝源, 水热反应均可得到氧化铝的纳米棒状结构, 但是采用硫酸铝为铝源时得到的纳米棒直径最小。至于后者, 实验表明铝源在酸性、中性以及碱性条件下, 会反应形成不同的结构。根据实验结果看来, 水热法具有操作简单、无污染且产量高等优点, 并已广泛应用于制备各种不同形貌的氧化铝微纳结构材料, 但是由于水热法一般采用水作为溶剂, 所以只适用于氧化材料及少数对水不敏感的材料制备。并且铝源的选择一般仅限于无机盐类, 但是无机盐在水中的水解速度较快, 从而限制了较为复杂的氧化铝微纳结构材料的制备。

溶剂热法

与水热法相同, 溶剂热法也提供了一种特殊的高温、高压环境, 从而有利于得到各种具有独特形貌的氧化铝微纳材料。而溶剂热法由于可以采用不同的有机溶剂, 如乙醇、乙二胺、甲苯等, 或者是其混合物作为本体溶液, 大大扩展了铝源物质和表面活性剂的选择范围, 能制备出水溶液中无法得到、易氧化、易水解或对水敏感的氧化铝微纳结构材料。其中, 目前主要采用的溶剂便是乙醇, 通过调整乙醇浓度可以有效地控制产品的形貌。不过由于乙醇的沸点较低在一定程度上限制了溶剂热法的使用, 所以目前利用其它溶剂替代乙醇作为溶剂的研究也在进

行之中，比如异丙醇与甲苯、二甲苯和四氢呋喃等。虽然溶剂热法具有许多水热法无法比拟的优点，但是由于多采用沸点较低的有机溶剂作为本体溶液，使得体系具有比水热法更高的压力，这有利于复杂形貌氧化铝微纳结构材料的制备，但对仪器和设备提出了更高的要求，从而也限制了该方法的普遍推广。此外，也存在成本过高、污染环境且存在一定危险性的缺点。

表面活性剂辅助水热法

研究认为，表面活性剂在水热法制备微纳结构的过程中可以抑制某一晶面方向的生长，促进另一晶面方向的生长，从而改变了不同晶面的生长速度，导致微纳结构的形成。表面活性剂有两种，一种是十四烷基三甲基溴化铵、十六烷基三甲基溴化铵、十八烷基三甲基溴化铵这类阳离子表面活性剂，一种是 P123(聚氧乙烯—聚氧丙烯—聚氧乙烯三嵌段共聚物)这类非离子表面活性剂。表面活性剂辅助水热法是制备微纳结构形貌最有效的方法，但在制备微纳结构的过程中由于表面活性剂的引入不可避免地会引入杂质，污染了产品。另外，由于很大一部分表面活性剂在水中的溶解度较小，也限制了水热过程中表面活性剂的选择。

溶胶-凝胶法

溶胶-凝胶法是一种传统的湿化学制备方法。它可以在较低温度下得到形貌和尺寸都可控的氧化铝微纳结构材料。其中，加入偶联剂会影响产物的性质以及制备效率。此外溶胶-凝胶法还可以和水热法结合起来，从而更高效的制备形态良好的氧化铝微纳结构材料。不过，溶胶-凝胶法在氧化铝微纳结构材料的制备研究中还处于起步阶段，目前采用溶胶-凝法制备的氧化铝微纳结构形貌比较单一，难以制备出复杂形貌的氧化铝微纳结构材料。不过，我相信随着在这一领域研究的进一步扩展，溶胶-凝胶法会进一步完善，必将在氧化铝微纳结构材料的制备研究中发挥不可替代的作用。

结语

总之，就目前来看氧化铝微纳结构材料的制备还处于研究的初级阶段，各种主流制备方法或多或少都还存在一些缺点。如何解决和进一步完善各种制备方法的不足，减少制备过程中的污染、产品中的杂质，以及提高制备的效率，制备更优异的氧化铝微纳结构材料将成为未来的主要方向。

余径舟 小论文《微纳多层功能复合材料的制备新技术》改写

(出处：王明, 郭少云. 微纳多层功能复合材料的制备新技术[J]. 工程塑料应用, 2008, 36(11):83-87.)

标题：

原来的：微纳多层功能复合材料的制备新技术

改写的：用微纳多层共挤出技术制备微纳多层功能复合材料

摘要：

原来的：

介绍了微纳多层共挤出技术是通过简单地对高分子熔体进行分割—变流—合并过程来增加层数的技术。说明通过微纳多层共挤出技术制得的微纳交替多层复合材料在结构上不同于传统加工方法制得的复合材料，其力学性能、阻隔性能、导电性能、光学性能具有独特的优点。指出微纳多层共挤出技术还可用于开发新型的中间相材料；这种交替多层结构形态为界面张力、粘接、结晶、扩散等理论研究提供了一个很好的模型。

改写的：

(why) 具有交替多层结构的复合材料具有独特的力学性能、光学性能、阻隔性能、导电性能等，为了制备这类结构的材料，便产生了微纳多层共挤出新技术。(what) 介绍了微纳多层共挤出技术是通过简单地对高分子熔体进行分割—变流—合并过程来增加层数的技术。指出微纳多层共挤出技术还可用于开发新型的中间相材料；这种交替多层结构形态为界面张力、粘接、结晶、扩散等理论研究提供了一个很好的模。(how) 两种不同的高分子熔体分别从两台挤出机挤出，经过不同的流道在连接器出口处合并成一股两层的熔体，然后进入分层单元，由分层单元成倍地增加熔体的层数，最后在牵引装置的作用下，多层复合材料经过冷却装置被牵引出分层单元。(results) 说明通过微纳多层共挤出技术制得的微纳交替多层复合材料在结构上不同于传统加工方法制得的复合材料，其力学性能、阻隔性能、导电性能、光学性能具有独特的优点

前言和绪论：

1.why? 为什么要做

具有交替多层结构的复合材料具有独特的力学性能、光学性能、阻隔性能、导电性能等，为了制备这类结构的材料，便产生了微纳多层共挤出新技术。

2.who、when & where? 有什么人在这之前做了什么?

1.W.J.Schrenk 等设计了分层口模，且研究了聚碳酸酯(PC)和(苯乙烯/丙烯腈)共聚物(SAN)交替多层复合材料的力学性能。另外，他们还提出了低分子化合物在交替多层复合材料中的渗透扩散模型

2. E.Baer 等对此种材料的机理做了进一步研究，发现产生这种协同效应的原因是银纹和剪切带的相互作用。

3. Neilsen 提出了 Neilsen 模型。

4. D.Jarus 等采用微纳多层共挤出技术制备了 PP/PA66 交替多层复合材料。

5. M.Sandrock 等制备了一种应力诱导光学性能变化的复合材料。

6. R.Tangirala 等制备了一种新型的光反射交替 1024 层复合材料。

7. S.Nazarenko 等研究了以铜片或镍片颗粒填充 PP 交替多层复合材料的导电性能。

8. G.Pollock 等研究了 PC 与聚酯、PE 等相容性聚合物之间的扩散问题，并利用扩散制备了高导电性的聚合物导电材料。

3.what?总结一下我们在这篇文章的贡献。

本实验室自主开发的微纳多层共挤出系统，主要有两台挤出机，以及连接器、分层单元、水冷却装置、牵引装置等部分组成。用此类共挤出系统可以很容易地得到具有几十层到几千层的薄膜和薄片，并且可以通过控制分层单元数来控制层的数量和厚度(在保持总厚度不变的情况下，层数的增加将使层厚减小)，并可通过控制喂料比来改变不同组分层的厚度比。

实验：

1.实验方法（怎么做的）：

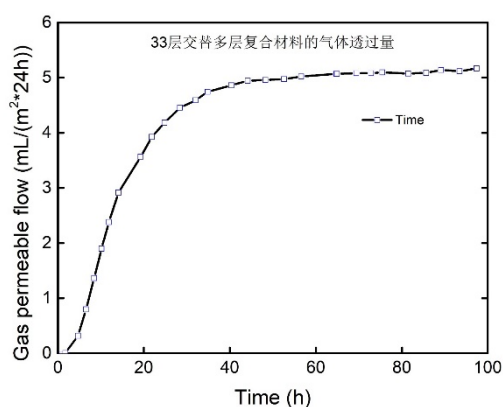
两种不同的高分子熔体分别从两台挤出机挤出，经过不同的流道在连接器出口处合并成一股两层的熔体，然后进入分层单元，由分层单元成倍地增加熔体的层数，最后在牵引装置的作用下，多层复合材料经过冷却装置被牵引出分层单元。用此类共挤出系统可以很容易地得到具有几十层到几千层的薄膜和薄片，并且可以通过控制分层单元数来控制层的数量和厚度(在保持总厚度不变的情况下，层数的增加将使层厚减小)，并可通过控制喂料比来改变不同组分层的厚度比。

2.实验表征（怎么测的）：

交替多层复合材料的优势在于能充分地把两种高分子材料的性能体现出来，并产生协同效应，得到性能更加优越的材料，因此具有广阔的应用前景。本文的实验分别从力学性能、阻隔性能、光学性能、导电性能、界面扩散、受限结晶等方面来测验交替多层复合材料的性能。

3.实验结果：

- 1、 复合材料具有韧性断裂行为，并具有较高的伸长率。
- 2、 复合材料与普通熔融共混的材料相比具有更好的气体阻隔性。
- 3、 在特定波长、特定强度的光照射下，所在相的折射率减小，这样使
光照射区域与未照射区域出现不同的光学性质。
- 4、 交替多层复合材料，在熔融状态下高分子链的扩散富集，其体积电
阻率减小。



由图可以看出，随着时间的增加，气体渗透流量逐渐趋于平衡。而较之普通熔融共混的材料，33层交替多层复合材料的气体透过量非常的小，说明了与普通熔融共混的材料相比33层交替多层复合材料具有更好的气体阻隔性，这和预期的结果是一致的。

(阻隔性能测试中，复合材料的气体透过量。)

结论：

多层交替复合材料在力学性能、光学性能、阻隔性能、导电性能等方面具有独特的优点，因此利用微纳多层共挤出技术在开发高性能、特殊功能的聚合物基复合材料方面具有较大优势。此外，这种材料给人们提供了一个很好地研究高分子材料结构与性能模型，如研究两种高分子间的相容性、界面扩散、受限结晶等。因此在高分子科学研究和生产实践应用中，微纳多层共挤出技术将会得到更大的重视。

文章出处

纳米技术与精密工程第 4 卷第 4 期丁衡高

正文

这篇文章阐述了微纳技术的行业发展趋势，给出了不同领域下微纳技术的应用，并给出了微纳技术最近的发展动态，在最后提出了问题和建议。

在微纳技术的行业发展趋势的方面，举了如微流控 / 生命科学、恶劣环境中的 MEMS、光 MEMS、RFMEMS (RFMEMS 的主要市场有移动电话、宽带局域网、消费类与信息技术、基站、微波通讯、汽车雷达、仪器、卫星及相控阵等 .)、惯性 MEMS 等几个例子，可以看到，微纳技术与多种学科都存在一定的联系，并且在一些学科的实际应用中起到相当重要的作用，如在移动电话里，就有薄膜体声谐振器、硅麦克风、加速度计、自动聚焦部件、微型燃料电池、多频振荡器、嵌入式 RFMEMS、图像稳定化器件等 MEMS 器件，可以看出微纳技术在移动电话技术中的重要地位。而且，这种包含 MEMS 器件的移动电话市场前景很好：2004 年市场接近 1 亿美元，主要是薄膜体声谐振器，2008 年将接近 6 亿美元。此外，中国占全球移动电话产量的 1 / 3，是世界上最大移动电话生产国，因此国际公司比较重视在中国的发展。例如：国际最大的麦克风制造公司娄氏公司(KnowlesAcoustics)在苏州的制造厂已经开始量产，以巩固该公司在全球 MEMS 硅麦克风生产领域的领先地位，由此我们可以料想微纳技术（尤其是在中国）的明朗的发展前景以及不错的行业发展趋势。

而在微纳技术最近的发展部分，该文章提出了人工复眼、陀螺诊断癌症、纳米飞行器等一系列新颖的名词。从这些我们陌生的名词不难推测出微纳技术的发展空间还有很大，其中，英国纽卡斯尔大学发明的可以探测癌细胞分泌的蛋白质的陀螺仪或许是攻克癌症的一条新的道路，癌症作为世界一大难题，可以料想，该技术一旦有实质性的突破，是十分振奋人心的。而在纳米飞行器方面，比较著名的微型飞行器是“黑寡妇”，其主要性能是：翼展为 152 . 4cm，质量 80g；它有 2 个微处理器，命令接收器，数据传输器，两轴磁姿态传感器，MEMS 压力传感器，速度陀螺仪，马达，微涡轮喷气发动机。而纳米飞行器的尺寸和形状可与枫树种子相近，NAV 纳米飞行器机长约 3 . 8cm 最大起飞重量约 10g。

虽然微纳技术处于高速发展中，但是仍有一些基础性的问题急需解决，例如：标准、测试与表征、表面性能控制、微纳尺度互连、多学科交叉、基础研究与应用研究结合等等。而在微纳尺度互连这一方向上，将纳米结构与微米结构互连后，才能与宏观世界联系起来，但这是一件极具挑战性的课题，第 20 届，IEEE MEMS 会议(2007 年)已将微纳尺度互连作为一个方向进行征文。目前的主要方法是先做电极，后做纳米线。

通过阅读这篇文章，我对微纳技术的近况以及未来的发展方向有了浅显的一些认识，微纳技术的一些奇妙应用使我惊奇不已，我相信，在未来，微纳技术还有很长的发展道路，并给我们以及未来的人们带来更多的便利。

出处

刘伟景, 张 健, 万丽娟, 蒋珂玮, 吕家伟

1 华东师范大学电子系, 传感技术国家重点实验室, 上海 200062

2 巢湖学院物理系, 安徽巢湖 238000】

1.标题

原来的标题

介电泳操控纳米材料及其在微纳传感器中的应用

- How ?
- What 磨损量监控传感器
- Why ?

新的标题

纳米材料介电泳操控及其在微纳传感器中的应用

- How 介电泳操控
- What 纳米材料
- Why 在微纳传感器中的应用

2.摘要

2.1 原来的摘要

要将纳米结构作为功能元件应用在微纳传感器、纳米电路等系统中, 首先要解决材料的定位操作问题。在自行设计的几种电极的基础上, 采用介电泳技术对 SiO₂ 微纳米材料进行操控, 可以实现材料的沿电场方向的排布和电极间的跨接, 为解决纳米结构的定位操作做了有益的尝试。初步测试了采用介电泳技术操控自行生长的 ZnO 纳米结构制作而成的湿度传感器的基本特性并取得很好的响应, 表明介电泳技术可以很好得实现纳米材料在传感器领域中的应用。

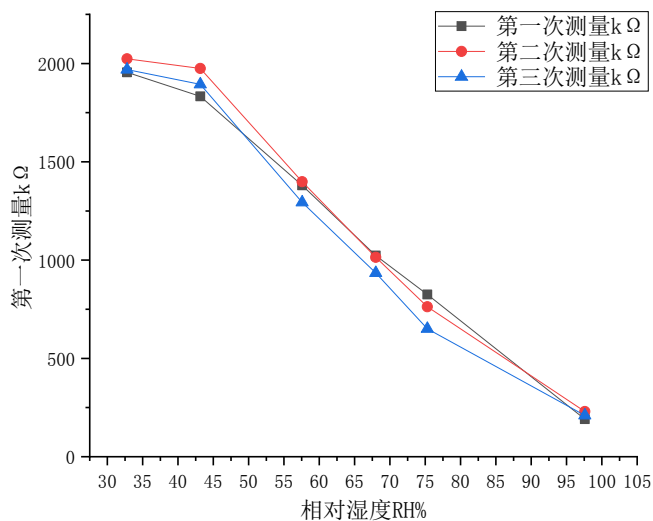
2.2 新的, 摘要

- why
- 要将纳米结构作为功能元件应用在微纳传感器、纳米电路等系统中, 首先要解决材料的定位操作问题。
- what
- 在自行设计的几种电极的基础上, 采用介电泳技术对 SiO₂ 微纳米材料进行操控, 可以实现材料的沿电场方向的排布和电极间的跨接, 为解决纳米结构的定位操作做了有益的尝试。
- how

- 初步测试了采用介电泳技术操控自行生长的 ZnO 纳米结构制作而成的湿度传感器的基本特性并取得很好的响应。What 通过大量的计算机仿真实验及其磨损与电阻的实验，研究了不同工作状态下的磨损量监控电阻传感器和磨损参量之间的关系。
- what
- 表明介电泳技术可以很好得实现纳米材料在传感器领域中的应用。

3.一条最重要的曲线

- 1Vrms, 10kHz 条件下，相对湿度由低到高的方向，全程连续 3 次重复测量阻抗随湿度变化的曲线



从图中可以看到，随着测试环境相对湿度增大，测量结果的相对标准偏差趋于变大，说明在低湿条件下，传感结构的阻抗测量值之间的接近程度越好，重复性越好。

4.前言部分

- 4.1 why
- 纳米材料被认为是性能超群的敏感材料和有潜力的纳米电路的结构单元。在这些具体的应用中，需要将纳米材料放置在预先设计的微纳米结构中
- 4.2 when where who
- SurajitKumar, SwaminathanRajaraman, RosarioA. C-erhardt, WangZhongLin, PeterJHesketh . TinOxideNanosensorFabricationUsingACDielectrophoreticManipulationofNanobebs[J] . ElectrochimicaActa, 2005, 51t943—951 .
- 4.3 how
- 本文通过在自行设计的电极两端施加适当频率和幅度的交流电信号，在电极间产生非均匀电场，使在其间的微粒受到介电泳力，从而呈现出严格的电场线方向排布，实现了微纳米材料在电极之间的定位操作。

5.实验原理

- 根据介电泳理论，通过改变操控电信号的频率，在同一系统中可以实现正和负介电

泳，在正(或负)介电泳力作用下，微粒将被吸引到强(或弱)电场区，亦即一般电极尖角的边缘(或两电极间隔)[4'6]。所以要实现传感材料在两电极间的排列和跨接，只要施加适当频率的偏压，使系统处于正介电泳状态即可。

6. 实验方法

- 首先将待操控的纳米材料溶入去离子水中，然后将悬浮液放入超声池超声 20min[Er]。用移液器取少量悬浮液移入电极中间区。用 DDS 任意波形发生器施加正弦交流信号，幅度为 8V，频率为 2MHz，在室温下直至溶剂完全挥发。实验过程通过 Leica 精密光学显微镜和 DV 采集系统实时观测。

7. 基本结果

- 7.1
- 第三种是对三角型电极，这种电极将介电泳效应限制在电极四周很小的区域，在电极尖端处最强。电场梯度可以由尖角的大小准确控制[1 引]。因为周围电场是由电极向四周发散的，如果增大尖角的角度，可以使更多的材料在最小间距处聚集和电极间的跨接。如果减小尖角角度，介电泳区域会缩小，但在尖端四周会产生很大的电场梯度。因此，这种电极可以用于少量或单根材料的定位操作。在单根材料的特性研究和器件中的应用领域，这种电极设计有着广泛的应用前景。首先采用间距约为 400 μm 的电极进行实验。操控结果如图 4(a)所示，从图中可以看到原本四处分散的材料由于介电泳力的作用向电极之间的中心区域沿电场方向密集排布。我们将电极间距缩短为约 80 μm ，将悬浮液稀释后进行实验，结果如图 4(b)所示。从图中可以看出，随着电极间隙的减小，纳米材料沿电场方向排列的趋势愈加明显。这是由于在同样的操控信号下，小的电极间隙产生大的电场梯度，从而使材料受到的介电力作用增强
- 7.2
- 在正介电泳力作用下，较长的材料终将跨接于最接近的电极上完成定位操作，较短的材料则沿着电场线方向排布，很多个短小材料首尾连接，出现较明显的电极间的跨接，简单而有效的完成纳米材料应用中的定位问题。当然，在图中我们看到某些区域材料排列的方向有点杂乱，甚至出现交叉现象，那是由于溶剂挥发过程中，液体表面张力所产生的影响。

原论文出处：

王尚, 田艳红. 微纳连接技术研究进展[J]. 材料科学与工艺, 2017, 25(5):1-5.

微纳连接技术的重要性

近年来, 集成电路不断向短小轻薄的高集成方向发展。同时, 作为信息革命的重要组成部分, 集成电路技术往往涉及到多个领域的交叉和相互渗透, 如微机电系统、精密仪表以及柔性器件等, 而作为电子元器件封装中的关键技术, 微纳连接技术的发展直接关系到电子工业中新型封装结构的研发与技术革新。因此, 集成电路中微纳连接技术的发展也与多个技术领域密切相关。

现有问题

随着微电子系统、MEMS、精密仪器及机械、电力电子及功率器件等向着更加微型化、多功能方向的发展, 其对焊接过程中的温度也越来越敏感。尤其对于一些新出现的基板及涂层材料, 如柔性材料、机物发光材料、铁电材料以及有机物材料等也无法承受太高的温度。这些特点使得传统的软钎焊技术无法适应。现有两种方法, 一是降低铅料熔点, 二是采用局部加热的方法。但使用纳米连接技术, 则可以更好的解决这些问题。

3.目前的纳米连接技术分类：冷压焊法，加热法，超声键合，钎焊法，电子束辐照，焦耳热法，激光辐照法。

(1) 冷压焊法：纳米尺度下材料表面原子相互扩散，从而实现纳米线之间或者纳米线和电极之间的互连，而且这一过程是自发的，不需要施加额外的能量。冷压焊连接方法是对纳米材料尺寸效应最直接的应用。

(2) 加热法：由于尺寸效应，纳米材料的熔点仍然远远低于传统块体材料，这大大降低了纳米连接的温度。通过输入少量能量，在较低的温度下就能实现连接。

(3) 超声键合：高频的超声波能量对金属有软化作用，在压力和超声的作用下引起材料发生塑性变形实现连接。超声键合技术适用于多种纳米材料，并且不局限于金属电极。另外，超声键合的方法借助于传统的超声设备，加工效率高，适用于大规模连接。

(4) 钎焊法：纳米材料较高的表面能除了能进行自身的连接之外，还可以作为钎料连接其他材料。类似焊接领域中的钎焊技术，能够保持被连接的对象维持各自的结构和功能的完整性，而且可以根据需求来选择合适的焊料材料。这一方法能够对纳米线的排列进行控制，形成一定的排布图案。但是，不同于微米尺寸的软钎焊连接，精确定位钎料焊接位置仍然比较困难。而随着纳米器件相关技术的不断完善和新技术的不断涌现，以上困难有望解决。

(5) 电子束辐照法：电子显微镜是表征纳米材料形貌和结构的有效工具，而纳米材料在高能电子束辐照下会局部受热熔化。而且利用这一原理可以实现对纳米线的修饰、切割与连接。使用高能电子束对纳米线进行焊接，已经实现了金纳米线之间和单壁碳纳米管之间的连接。这种

方法一般在真空度极高的透射电镜中操作，操作复杂，效率低，成本高。但是对于原位研究连接过程与原子扩散行为是十分有效的。

(6) 焦耳热法：当对于金属纳米线输入电流时，其接触点会产生远高于纳米线本体的焦耳热，使纳米线在接触点熔化从而实现连接。

(7) 激光辐照法：除了热力学上的特殊性质，纳米材料也具有独特的光学特性。如银纳米线已经被成功应用于光学传感器、拉曼散射探针增强材料以及纳米光波导器件等。同时，利用纳米材料与光波的相互作用，还能够实现快速连接与选择性连接。采用快速光烧结法实现了在聚对苯二甲酸乙二酯基底上制备铜纳米线透明导电薄膜。

4.微纳连接技术的未来

作为近年来蓬勃发展的新兴领域，纳米连接技术还处于探索阶段。但是，可以看到微纳连接技术领域的未来还非常的广阔，前景很好。开发新的微纳连接技术与手段，开发新的材料，制造新的连接设备，从而快捷高效地实现纳米连接，对各大领域有巨大的推动作用，这是我们未来研究的方向和目标！

出处

【夏亮, 邢增善, 余健辉,等. 新型高灵敏度微纳光纤应变传感器[J]. 光电工程, 2017, 44(11):1094-1100】

1.标题

原来的标题：新型高灵敏度微纳光纤应变传感器

新的标题：可广泛应用于各种物理、化学和生物传感和探测领域的火焰熔融拉锥的新型高灵敏度微纳光纤应变传感器

How 火焰熔融拉锥

What 新型高灵敏度微纳光纤应变传感器

Why 应用于各种物理、化学和生物传感和探测领域

2.摘要

原来的摘要：本文使用火焰熔融拉锥的方法，通过控制火焰的高度及拉锥速度，成功制备了具有微拱型渐变区的新型微纳光纤器件。理论计算表明，微拱型渐变区有利于激发出强度相当的高阶微纳光纤传输模式，从而增加了传输光谱中由模间干涉导致的透射谷的深度。实验表明，该新型微纳光纤器件透射谷深度达到 18 dB，当轴向应变增加时，透射谷向短波长方向移动，轴向应变灵敏度为 $-13.1 \text{ pm}/\mu\epsilon$ ，比光纤光栅应变传感器提高一个数量级，是传统直线型微纳光纤灵敏度的 3 倍，线性度为 99.15%。这种具有微拱型渐变区的微纳光纤器件具有灵敏度高、机械性能好以及便于与现有光纤系统集成等优点。并且结构简单，易于制备，可广泛应用于各种物理、化学和生物传感和探测领域。

新的摘要：

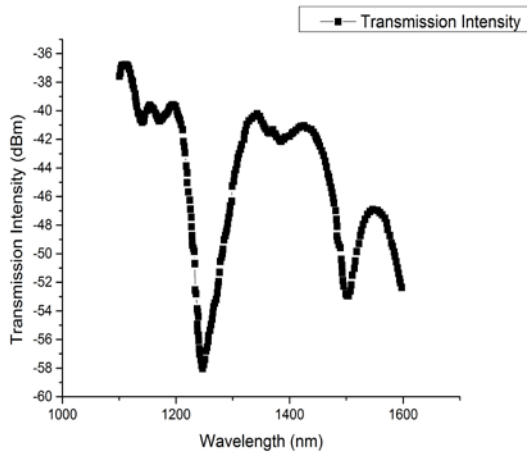
Why 这种具有微拱型渐变区的微纳光纤器件具有灵敏度高、机械性能好以及便于与现有光纤系统集成等优点。并且结构简单，易于制备，可广泛应用于各种物理、化学和生物传感和探测领域。

What 理论计算表明，微拱型渐变区有利于激发出强度相当的高阶微纳光纤传输模式，从而增加了传输光谱中由模间干涉导致的透射谷的深度。

How 使用火焰熔融拉锥的方法，通过控制火焰的高度及拉锥速度，成功制备了具有微拱型渐变区的新型微纳光纤器件。

What 实验表明，该新型微纳光纤器件透射谷深度达到 18 dB，当轴向应变量增加时，透射谷向短波长方向移动，轴向应变灵敏度为-13.1 pm/ $\mu\epsilon$ ，比光纤光栅应变传感器提高一个数量级，是传统直线型微纳光纤灵敏度的 3 倍，线性度为 99.15%。

3.一条最重要的曲线



室温下，微纳光纤样品在预置绷直状态下(即轴向应变为 0)，其传输光谱如图所示。传输光谱呈现两个主要的透射谷，位置分别为 1246.4 nm 和 1505.4 nm。其中波长为 1246.4 nm 的透射谷深度为 18 dB，远大于具有直线型渐变区的微纳光纤器件。

4.前言

Why 随着建筑行业的迅速发展，桥梁、隧道、高楼大厦、大型水电工程、石油平台等工程日益增多。同时，为了保障基础工程和人民财产的安全，对这些工程的结构健康监测就特别重要。传统的应变片电测技术由于其抗电磁干扰差、防水性差以及本身的零漂缺陷导致其不能满足这些工程结构的长期监测的要求，而光纤应变传感器具有抗电磁干扰能力强、耐腐蚀性好等优点，很好地解决了应变片不能长期监测的缺点。

When where who 2009 年，Queen's University 的 Tian 等在单模光纤上制作了马赫.曾德尔干涉结构，2014 年，浙江大学的 Li 等使用火焰熔融拉锥技术制作了直径为 2.5 μm 的微纳光纤。

What 使用一种火焰熔融拉锥技术制作了一种微纳光纤，通过控制火焰高度及拉锥速度，成功制备了具有微拱型渐变区的微纳光纤。这种具有微拱型渐变区的微纳光纤器件具有高灵敏度、良好的机械性能以及便于与现有光纤系统集成等优点，并且结构简单，易于制备，可以广泛应用于各种物理化学和生物传感领域。

5.实验原理

通过火焰熔融拉锥的方式制作成微纳光纤。制作过程如下：首先，用剥线钳刮去一部分光纤的涂覆层(长度大约为 2 cm-3 cm) 并将光纤的两端固定在拉锥机上。使用酒精灯作为热源，光纤受到火焰加热后呈现熔融的状态，控制拉锥的速度，使光纤缓慢拉长得到微纳光纤。由于火焰的温度梯度变化，使得火焰加热区域产生向上的气流，气流的作用使得拉锥区域形成向上的拱起；由于残余应力的原因，在微纳光纤冷却之后，形成了一个微拱型的直径渐变区，通过控制火焰的高度、拉锥的速度与步长，可以控制微拱型渐变区的形状。

前言

这篇论文很长，一共有 50 页左右，是一篇偏向于科普的论文，也因此适合我们这些不太了解超疏水微纳结构的读者来加深了解。以下我粗略的概括以下这篇论文所写的主要内容以及我读后所获得的知识 and 感悟。

内容回顾

论文首先是中文摘要和英文摘要，在摘要中，作者提到了自己选的方向是什么，还说明了他的论文所做出的成绩“我们提出了四种不同的疏水薄膜，它们都是在 PDMS 表面上构建出合适尺寸的粗糙度制备而成的。”

因为内容繁多，作者将自己写的主要内容浓缩在目录中，这是一个不错的想法，让论文看起来逻辑更加连贯。在目录中，作者将文章分为绪论、PDMS-炭黑疏水结构、微纳复合结构。总结和展望四章。每章中又分为很多小节，整个文章的条理比较清晰

首先是第一章绪论，在这一章，作者先介绍了自然界中存在的超疏水现象，例如荷叶、水稻叶、玫瑰花瓣、蝉翅等都具有超疏水特性，此后，他还超疏水的量化表征以及超疏水表面的制备方法，同时，作者还提出了超疏水表面的应用及目前研究中存在的主要问题。通过这几节的学习，我对超疏水结构有了一定的了解，知道了超疏水结构的特性有极大的实用价值，但作者马上提出了超疏水产品在目前所遭遇的困境：目前制备超疏水的方法虽然有很多，但是真正被人们广泛接受的超疏水产品却寥寥无几。造成这种尴尬的一个重要原因就是制备超疏水表面所花费的生产成本将导致最终的产品价格与人们的预想不相符合。因此在研究如何制备出性能更加优异的超疏水表面的同时，更要考虑如何用最便宜的材料、最简单的制备方法以及最短的生产周期创造出适合大众需求的低廉的超疏水产品。也正是基于这样的考虑，作者将这个作为自己论文的方向。

在第二章中，作者介绍了一种既廉价又安全的超疏水产品制作原料“聚二甲基硅氧烷简称 PDMS，它是一种热固型高分子化合物。固化前它是一种黏稠状黏性液体，固化后形成的硅胶除了具有透明、无毒、不易燃、低表面能等特性外，还具有很强的化学稳定性和图形稳定性，因此可被用作制备超疏水表面的材料”，这种材料能极大的减小制作成本。然后，作者具体地记载了利用这种材料制备超疏水产品的过程，首先是玻璃基片的清洗以及 PDMS-炭黑疏水薄膜制备，再利用上一步的产品制备类烛灰炭黑超疏水薄膜，再制作凹坑状炭黑超疏水薄膜，表征发现。除了 PDMS-炭黑疏水薄膜外，类烛灰炭黑薄膜和凹坑状炭黑薄膜都具有微纳复合结构且都实现了超疏水性。类烛灰炭黑超疏水薄膜拥有与烛灰表面类似的粗糙结构和超疏水性但却不具有类似烛灰结构脆弱性的缺点。而凹坑状炭黑超疏水薄膜的表面除了具有优异的微米孔洞结构外，还具有纳米炭黑结构，这样的微纳复合结构造就了薄膜的超疏水性。对这三种薄膜的机械强度进行了分析，得出微纳复合结构更有利于维持表面的疏水性。这三种薄膜的制备方法

都具有简单易操作、制备周期短、成本低廉、基底选择广泛等优点，因此利用这样的实验方法可制备出低成本的高疏水薄膜。

第三章中，为了模仿荷叶表面的微纳复合结构，作者提出了把纳米炭黑粘黏在经 PDMS 修饰后的光刻胶点阵以及玻璃点阵表面上，从而成功制备出了具有微纳米二级粗糙结构的超疏水薄膜。为了进一步提高薄膜的超疏水性，他又对光刻胶点阵仿荷叶薄膜提出了一些改进，即将 PDMS 薄膜镀在点阵+炭黑表面上，之后再添加炭黑，从而制备出了多级粗糙结构的光刻胶炭黑仿荷叶薄膜，测试结果发现表面的粗糙度和超疏水性都有了一定的提高。作者还用酸碱溶液证明出了三种仿荷叶薄膜既疏酸也疏碱，并由此推断出水滴在仿荷叶薄膜表面粗糙结构的接触意图。对三种薄膜的超疏水性和耐腐蚀性进行了分析，得出了点阵顶端的炭黑密度是造成薄膜超疏水性和耐腐蚀特性的主要因素。

第四章中，作者总结了一下本篇论文的研究成果并对自己研究中不完善的地方做了一个总结，明确了后续完善的方向。

阅读收获

通过阅读这篇论文的，我了解到了超疏水结构的在自然界中的实例以及超疏水结构的实用的特性。同时也明白了超疏水结构在普及中所面临的困难，并在作者的实验中，了解到了几种解决这种困境的办法。

与此同时，在超疏水材料的发现中，我学会要善于观察周围事物，观察大自然，观察我们所生活的环境，向大自然和其他生物学习，来取得一些新的对人类有益的发现。在作者提出的解决方法中，我意识到我们也应该对我们面临的难题进行深入的思考，努力解决我们遇到的问题。在作者验证过程中，我了解到我们还应该通过实验来检验自己的想法是否正确，用实验的结果来分析判断自己构想的正确性，“实验是检验真理的唯一标准”。最后，在作者严谨的实验过程、符合逻辑的结果分析和清晰连贯的语言表达中，我学到了一些写论文的基本方法与格式，这将指导我以后如何写自己的逻辑清晰、条理清楚的论文。

这是一篇很优秀很标准的论文，这篇论文既教给了我关于超疏水材料的知识，还教会我如何写一篇清晰连贯的论文。感谢这篇论文的作者。

张云骥 小论文 具有微纳超疏水的槽道特性研究

论文出处：卢思,姚朝晖,郝鹏飞,傅承诵. 具有微纳结构超疏水表面的槽道减阻特性研究[J].中国科学:物理学 力学 天文学,2010,40(07):916-924.

标题

原来的标题：具有微纳结构超疏水表面的槽道减阻特性研究

新的标题：由微纳二级结构构建的超疏水表面形成的宏观尺度槽道的减阻特性研究

How：微纳二级结构构建

What: 宏观尺度槽道的减阻特性研究

Why: 超疏水表面

摘要

旧的摘要：目前一系列实验表明，在由一级微米结构或一级纳米结构构成的疏水表面制成的槽道中，在层流的条件下，存在明显的减阻效应。但是以往的实验中所采用的超疏水表面均是由一级微米结构或者纳米结构构成，并且流动槽道的尺度均是在微米量级，对于宏观尺度槽道中的流动减阻没有相应的研究。在本文中，首先介绍了一种全新的利用碳纳米管构建具有微纳二级结构的超疏水表面的方法，然后在由该表面构成的宏观尺度的槽道进行了流动阻力特性实验，实验发现由微纳二级结构构建的超疏水表面形成的宏观尺度槽道中，在流条件下，依然具有减阻效应，且最大减阻达到 36.3%。同时利用 micro-PIV 技术对槽道内的流动速度进行了测量，与传统的壁面无滑移理论不同，在超疏水槽道在壁面处流体存在明显的速度滑移。

新的摘要：

Why：目前一系列实验表明，在由一级微米结构或一级纳米结构构成的疏水表面制成的槽道中，在层流的条件下，存在明显的减阻效应。但是以往的实验中所采用的超疏水表面均是由一级微米结构或者纳米结构构成，并且流动槽道的尺度均是在微米量级，对于宏观尺度槽道中的流动减阻没有相应的研究。

What：在本文中，首先介绍了一种全新的利用碳纳米管构建具有微纳二级结构的超疏水表面的方法。

How：在由该表面构成的宏观尺度的槽道进行了流动阻力特性实验，同时利用 micro-PIV 技术对槽道内的流动速度进行了测量。

What (result)：实验发现由微纳二级结构构建的超疏水表面形成的宏观尺度槽道中，在流条件下，依然具有减阻效应，且最大减阻达到 36.3%。同时利用 micro-PIV 技术对槽道内的流动速度进行了测量，与传统的壁面无滑移理论不同，在超疏水槽道在壁面处流体存在明显的速度滑移。

前言和绪论

Who、when&where : Ou 等人在实验中, 在一系列高 $76\text{ }\mu\text{m}<H<254\text{ }\mu\text{m}$, 宽高比都保持在 $\alpha = W/H = 20$, 长度都保持在 $L=50\text{ mm}$ 的微管道中, 发现超疏水表面构成的槽道都具有减阻效应, 最大减阻甚至达到了 40%。Watanabe 等人研究了过直径 6 和 12 mm 具有高疏水壁面的管道流动, 由于表面覆盖了一层 $10\text{ }\mu\text{m}\sim 20\text{ }\mu\text{m}$ 的微沟槽, 在 $500<Re<10000$ 的流动状态下, 流动阻力减少了 14%。Davies 等人[3] 的实验研究表明, 当与流动方向垂直的微结构深度比间距大 25%时, 摩擦压降为经典光滑管的 Stokes 流动时的压降。Woolford 等人[4]利用计算和实验研究了在平行于流动方向布有微凹槽的微管道内, 系数 $C=f\times Re$ 随微凹槽尺寸的增加而减少。Choi 等人[5]采用 500 nm 高 230 nm 间距纳米柱结构形成超疏水表面, 将其应用于 $3\text{ }\mu\text{m}$ 的微管道中, 压降较普通微管道降低 20%~30%。

Why : 但是在这一系列实验中, Ou 等人采用的超疏水表面仅仅具有一级微米结构, 且流动管道的尺度越大, 减阻效应越不明显, 当流动特征尺度为微米量级时, 减阻达到 40%, 但是当管道的特征尺度为毫米量级时, 减阻仅有 14%。

What : 自然界荷叶等表面一般是微纳二级结构, 本文利用一种新的方法制备了具有二级微纳米复合结构的超疏水表面, 通过实验的方法测量了在具有二级微纳米复合结构的超疏水表面构建的宏观尺度槽道中的流动压差, 并与普通槽道中的流动压差以及经验公式计算的压差进行了比较, 分析了具有微纳米结构的超疏水表面的接触角与滚动角对于流动阻力的影响, 并分析了具有微纳米结构的超疏水表面的槽道减阻机理。

实验方法及表征

1.超疏水表面的制备

首先以单体的形式制备出超疏水表面的上的微米尺度的微纳米复合结构单元, 又叫无序缠绕碳纳米管, 然后再采用涂敷工艺用胶将碳纳米管复合颗粒粉体粘接固定在表面上, 构成碳纳米管微纳米复合结构表面。

2.流动阻力实验

在实验过程中, 我们把雷诺数 Re 始终控制在 2000 以下, 以确保槽道内流动是层流, 矩形槽道内的普通流动中, 在槽道宽高比约为 10 的情况下, 沿程阻力系数:

$$f = \frac{\Delta p}{(L/D_H)} \frac{1}{\frac{1}{2}\rho U^2} = \frac{92}{Re}, \quad (1)$$

其中

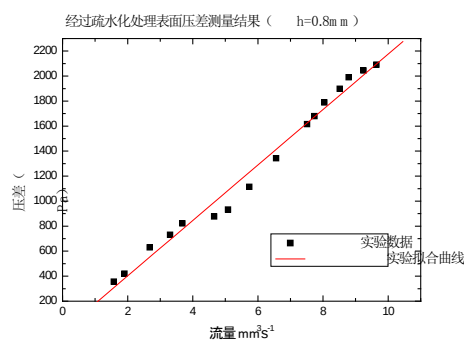
$$Re = \rho U D_H / \mu, \quad (2)$$

因此在实验过程中只要能够测量出两点之间的压差, 就能够计算出该流动中的沿程阻力系数, 进而把普通槽道内的流动与超疏水表面槽道内的阻力进行比较。

3. Micro-PIV 实验

为了明确在超疏水表面附近是否存在壁面滑移现象, 我们利用 Micro-PIV 技术对槽道中的流场进行细致测量, 选取的槽道的底部与左右两边仍然采用无序碳纳米管制成的超疏水表面, 但是顶部采用透明的玻璃盖板, 以方便测量。由于受显微镜载物台尺寸的限制, 与流动阻力实验不同, 该实验采用的槽道长度为 60 mm, 利用型号为 TS2-60 的注射泵进行驱动, 利用显微镜的焦距来控制所测量的平面与流动槽道底部的距离, 调整物镜高度, 寻找附着在壁面不移动的荧光示踪粒子确定壁面位置, 然后逐渐调高显微镜物镜改变物镜焦平面的高度进行测量, 得到距底部不同高度截面上水平速度的分布, 进而分析在超疏水表面附近是否存在速度滑移。

结果与讨论



Micro-piv 实验测量结果, 通过对壁面附近的例子的速度测量, 可以明显地看到, 在壁面上, 流体存在明显滑移, 其滑移速度约为 0.15mm/s 左右。通过这一测量结果, 我们经过分析计算, 得到以下结论:

(i) 普通槽道内, 流动压差的经验计算公式在本实验中的流量范围内, 是符合得很好的; (ii) 未经疏水化

处理的超疏水表面槽道内, 经过实验数据的拟合, 沿程阻力系数可以利用下式计算:

$$f = \frac{\Delta p_{\text{hyd}}}{(L/D_H) \frac{1}{2} \rho U^2} = \frac{72.9}{Re},$$

与(1)式进行比较, 发现超疏水表面构成的槽道内, 阻力减小 20.8%。在具有微纳米结构的超疏水管道内表面溅射聚 四氟乙烯以后, 其内压降又有了进一步的减少, 其沿程阻力系数可表示为:

$$f = \frac{\Delta p_{\text{hyd}}}{(L/D_H) \frac{1}{2} \rho U^2} = \frac{58.6}{Re},$$

与(1)式比较, 其减阻达到了 36.3%。

结论

通过实验的方法, 在流动均为层流的情况下, 测量了在由超疏水表面构成槽道内的流动压差以及普通槽道内的流动压差, 把两者的结果进行比较, 最终发现在未经疏水化处理时, 其减阻效果能达到 20.76%, 经过疏水化处理后, 减阻达到了 36.3%。实验证实了在相对宏观尺度的层流中, 超疏水表面依然具有减阻效应; 具有二级微纳米复合结构的超疏水表面具有可观的减阻效应; 在前后几次实验中, 因为所采用的超疏水表面的滚动角变化不大, 而接触角变化比较明显, 因而可以认为, 在滚动角比较小的情况下, 超疏水表面的接触角对于减阻的影响更明显, 接触角越大, 减阻越多。

出处

《化学气相沉积技术的进展》读后感中国科技信息 2005 年 12 期 张迎光 白雪峰

正文

化学气相沉积技术(Chemical vapor deposition, 简称 CVD)是近几十年发展起来的制备无机材料的新技术。化学气相沉积是利用气态或蒸气态的物质在气相或气固界面上反应生成固态沉积物的技术。化学气相沉积的英文词原意是化学蒸气沉积, 因为很多反应物质在通常条件下是液态或固态, 经过汽化成蒸气再参与反应的。

化学气相沉积技术是一种较为先进前沿的技术。这一名称是在 20 世纪 60 年代初期由美国 J. M. Blocher Jr.等人首先提出的。Blocher 还由于他对 CVD 国际学术交流的积极推动被尊称为“Sir CVD”, 在 20 世纪 60 年代前后对这一项技术还有另一名称, 即蒸气镀, 而“气相沉积”一词后来被广泛地接受。

科学技术的地位和作用是不断变化的, 随着科学技术本身的进步和生产力发展水平的提高, 科学技术在生产力发展中的含量越来越高, 作用越来越大, 到现代, 已经上升到了“科学技术是第一生产力”的地位。化学气相沉积技术由于能够大大增强产品的耐用度, 提高产品质量, 而迅速得到了广泛的应用。二十世纪六七十年代以来, 化学气相沉积法已经广泛用于提纯物质、研制新晶体、沉积各种单晶、多晶或玻璃态无机薄膜材料。在集成电路生产中更广泛地使用 CVD 技术沉积各种掺杂的半导体单晶外延薄膜、多晶硅薄膜、半绝缘的掺氧多晶硅薄膜; 绝缘的二氧化硅、氮化硅、磷硅玻璃、硼硅玻璃薄膜以及金属钨薄膜等。

作为现代 CVD 技术发展的开始阶段, CVD 技术在 20 世纪 50 年代主要着重于刀具涂层的应用。这方面的发展背景是由于当时欧洲的机械工业和机械加工业的强大需求。应用 CVD 法能得到纯度高、致密性好、残余应力小、结晶良好的薄膜镀层, 以及平滑的沉积表面。以碳化钨作为基材的硬质合金刀具经过 CVD Al_2O_3 等复合涂层处理后切削性能明显地提高, 使用寿命也成倍地增加, 取得非常显著的经济效益, 因此得到推广和实际应用, 使得刀具的生产上升到了一个新的台阶。

在制造各类特种半导体器件中, 采用 CVD 技术生长发光器件中的磷砷化镓、氮化镓外延层等, 硅锗合金外延层及碳化硅外延层等占有很重要的地位。由于半导体和集成电路技术发展和生产的需要, CVD 技术得到了更迅速和更广泛的发展。CVD 技术不仅成为半导体级超纯硅原料超纯多晶硅生产的惟一方法, 而且也是硅单晶外延、砷化镓等 III-V 族半导体和 II-VI 族半导体单晶外延的基本生产方法。

CVD 法本身也存在着一定的局限性。CVD 法需要在一定的基体上进行, 而 CVD 法所需要的反应温度一般在 1000 摄氏度以上, 然而很多基体材料无法承受这样的高温, 因而适用范围受到

了一定的限制，因而，如何降低反应温度，扩大 CVD 法适用范围将成为 CVD 研究中的一个重要方向。

在 CVD 法的研究过程中，CVD 技术产生了众多新的分支，例如金属有机化合物化学沉积技术、激光化学气相沉积技术以及等离子增强化学气相沉积技术。这些技术在一定程度上能够符合所必须的反应条件，能够降低反应所需的温度，使得 CVD 技术能够更加广泛的应用于各种不同的基体，扩大了 CVD 技术的应用范围，并且使得产品的质量以及使用寿命大大提高，符合了工业生产的要求。

随着工业生产要求的不断提高，CVD 的工艺及设备得到不断改进，现已获得了更多新的膜层，并大大提高了膜层的性能和质量。与此同时交叉、综合地使用复合的方法，不仅启用了各种新型的加热源，还充分运用了各种化学反应、高频电磁(脉冲、射频、微波等)及等离子体等效应来激活沉积离子，成为技术创新的重要途径。CVD 技术由于采用等离子体、激光、电子束等辅助方法降低了反应温度，使其应用的范围更加广阔，下一步应该朝着减少有害生成物，提高工业化生产规模的方向发展。同时，CVD 反应沉积温度的更低温化，用 CVD 更精确地控制材料的组成、结构、形态与性能技术的开发，厚膜涂层技术、利用残余应力提高材料强度的技术、大型连续 CVD 薄膜及涂层制备技术、新材料的合成技术，具有新的结构的反应器的研制，新的涂层材料及具有新的更优的材料体系的探索等，将会成为今后研究的主要课题。

综上所述，CVD 技术时至今日已经有了长足的发展，具有着其他方式所不具有的突出特性。与此同时，各个方向的研究层出不穷，将 CVD 技术向着更为广阔的使用空间，更为优良的使用性能的方向发展着。在不远的将来，CVD 技术必定能够在各个不同的领域发挥出举足轻重的作用。

文献资料

- [1] 田民波.薄膜技术与薄膜材料[M].清华大学出版社, 2006.542-595
- [2] 胡昌义.化学气相沉积技术与材料制备.稀有金属[J], 2001, 25(5):364-368
- [3] 王豫, 水恒勇. 化学气相沉积制膜技术的应用与发展.热处理[J], 2001,16(4):1-4
- [4] 杨西, 杨玉华. 化学气相沉积技术的研究与应用进展.甘肃水利水电技术[J],2008,44(3):211-213
- [5] 张迎光,白雪峰,张洪林 etc. 化学气相沉积技术的进展. 中国科技信息[J],2005,12:82-84
- [6] 刘志宏, 张淑英, 刘智勇 etc. 化学气相沉积制备粉体材料的原理及研究进展. 粉末冶金材料科学与工程[J],2009,14(6):359-364
- [7] 张魁武. 激光化学气相沉积. 金属热处理[J],2007,32(6):118-126

吴方舟 小论文 激光诱导化学气相沉积法制备纳米氮化硅及粉体光谱特性研究

出处

出自王锐^{[1] [2]}，李道火^{[1] [2]}，黄永攀^{[1] [2]}，罗丽明^[1]，浦坦^[1] 《激光诱导化学气相沉积法制备纳米氮化硅及粉体光谱特性研究》(1．中国科学院安徽光学精密机械研究所，安徽 合肥 230031；2．山东道钦纳米技术研究院，山东济南 250100)

标题：

原来的：激光诱导化学气相沉积法制备纳米氮化硅及粉体光谱特性研究

更改后：为获得高质量纳米氮化硅使用 LICVD 法进行制备并对其分体光谱特性进行研究

摘要：

原来的：研究了激光诱导化学气相沉积法制备纳米氮化硅的工作原理，提出了减少游离硅的措施，利用双光束激发制备得到了超微的、非晶纳米氮化硅粉体。实验证明，纳米氮化硅粉体具有很多奇异物理性能和光谱特性。

改写的：氮化硅在陶瓷材料中具有举足轻重的作用。本文采用激光诱导化学气相沉积法，利用双光束激发制备得到了超微的、非晶纳米氮化硅粉体。研究了激光诱导化学气相沉积法制备纳米氮化硅的工作原理，并提出了减少游离硅的措施，证明了纳米氮化硅粉体具有很多奇异物理性能和光谱特性。

0.前言和绪论

0.1 WHY？

氮化硅有陶瓷材料中的“全能冠军”之称，它既是优良的高温结构材料，又是新型的功能材料，在陶瓷发动机、微电子学、空间科学和核动力工程等领域具有广阔的应用前景。

0.2 WHO？

作为重大战略材料，氮化硅一直受到国内外的普遍关注，已有几种规模生产工艺用于合成氮化硅，典型的有热管炉气相反应法、等离子体法和硅粉的氮化等。硅粉氮化一般会在氮化硅颗粒中留下硅芯，而且该过程是在固态下进行的，需要研磨和分离，这样就不可能产生窄粒径分布的无团聚纯相粉末。热管炉气相反应法或等离子体法没有理想的热分布和反应区来控制成核、生长和团聚的形成，并且无法避免非均匀成核。要想获得性能优良的陶瓷材料，关键是要有理想的粉末作烧结原料，而理想的粉末应当具备下列特征：小的颗粒尺寸、颗粒间无团聚、粒径分布窄、颗粒形态须等轴、趋于球形、高度控制的纯度。与常规方法相比，在激光制粉过程中，工艺参数可精确控制，所以能够制备出理想的粉末。

0.3 WHAT ?

本文着重研究了激光诱导化学气相沉积（简称为 LICVD）法制备纳米氮化硅粉体的工作原理，在此基础上，提出了双光束激发的新思路以克服游离硅的存在，最后对粉体的光谱学特征进行了表征。

1.实验

1.1LICAD 法制备纳米氮化硅粉体的基本原理

利用 SiH_4 分子对 CO_2 激光的强吸收效应，用连续 CO_2 激光束辐照快速流动的混合反应气体 ($\text{SiH}_4 + \text{NH}_3$)，诱导 SiH_4 与 NH_3 分子发生激光热解与合成反应。在 $800 \sim 1000^\circ\text{C}$ 和 $20\text{--}90\text{kPa}$ 的条件下成核生长，获得超细、粒度分布均匀、无团聚的球形非晶态 Si_3N_4 纳米粉末。

1.2 本次实验采用的方法

本次实验采用双光束激发法，在原有的实验装置中增加一束与 CO_2 激光束正交的紫外 (UV) 光束来激励 NH_3 分子，使 NH_3 分子在较低温度 ($\sim 300\text{K}$) 直接光解，以增大反应体系中 N 原子浓度，提高 N/Si 比，达到改善 CO_2 激光诱导热化反应的平衡常数，加快反应速率的目的。这里紫外光束起着光催化的作用，采用双光束激发制备 Si_3N_4 纳米粉末。

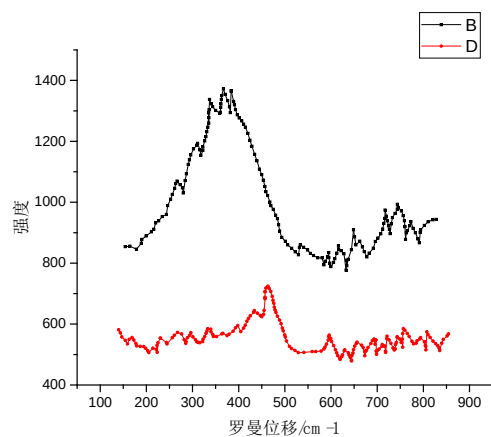
1.3 表征

采用超声分散法，将纳米 Si_3N_4 粉体制成悬浮液，并滴在带有碳膜的电镜用 Cu 网上，待悬浮液中的载液(乙醇)挥发后，放入电镜样品台，尽量拍摄有代表性的电镜像，然后由透射电镜 (TEM) 照片来测量粒径。采用压片法测定红外光谱图。测定不同退火温度下的 Si_3N_4 红外光谱图。并测定其拉曼光谱图。

2 实验结果与讨论

对退火温度红外吸收光谱进行简要分析可知，当退火温度低于 860°C 时，红外吸收光谱没有明显变化，但是当退火温度达到 1000°C 时，红外吸收光谱发生了显著的变化。通过对样品进行光电能谱分析，我们发现当退火温度达到 1000°C 时，样品表面的 N—H 键被 Si—O 键所取代，这种取代的临界温度恰恰为 1000°C 。

此后我们对于纳米 Si_3N_4 粉末及薄片的拉曼光谱的进行了研究与分析。下图为纳米 Si_3N_4 粉末及薄片的拉曼光谱。从图中看出，薄片的拉曼光谱相对于粉末有蓝移，拉曼峰从 465cm^{-1} 处变到 510cm^{-1} 处。由此可知， Si_3N_4 粉体产生了拉曼光谱的反常蓝移，这种反常的现象以现有的经典理论很难解释，需要进一步的研究分析，提出新的理论来解决这一问题。



总结

使用双光束激发，我们合成得到了非晶态的纳米 Si_3N_4 粉体。粉体具有高纯度、理想化学计算、超微、粒径分布窄，并且形状接近球形的特点。所制得的 Si_3N_4 粉体处于亚稳态，具有很多经典理论无法解释的奇特现象，其中以拉曼光谱的反常蓝移为代表。此外，纳米 Si_3N_4 粉末还有其他一些特性，比如，具有极强的压电效应，这将是我們下一步研究的主要方向和重点。

MEMS 材料(包括薄膜)的力学性能对 MEMS 的使用性能和寿命有很大的影响。由于 MEMS 元件和尺寸较小,其力学性能的测量难以用大体积材料力学性能测量的方法——拉伸法进行。拉伸法除了需具有位移和载荷分辨率分别达到优于 nm 和 μN 级的超精密的拉伸机外,其局限性在于夹持试样困难和需要制作标准试样,另外拉伸法还不适用于 MEMS 构件。由于拉伸法的局限性,其在 MEMS 材料力学性能测量中没有获得广泛应用;而由于纳米压入法克服了拉伸法中试样夹持方面的问题和不需要制作标准试样,以及纳米压入理论和仪器的日臻成熟,用纳米压入法进行 MEMS 材料力学性能的测量得到广泛的应用。用纳米压入法测量的两个主要力学性能参数为硬度和弹性模量, MEMS 材料的屈服强度、断裂韧性、硬化指数和蠕变力学性能参数亦可用纳米压入法进行测量。尽管纳米压入法测量材料力学性能的研究已有几十年的历史,且已形成一套较为完整的理论体系,但其测量和评定模型尚未实现标准化,其结果造成评定结果不规范、不一致和没有可比性。随着 MEMS 和纳机械的快速发展,规范的材料力学性能资料对其设计和使用将越来越重要,因此,研究纳米压入法 MEMS 材料力学性能测量与评定的标准化具有重要的意义和经济价值。

一是评定模型的标准化。迄今为止,还未得到纳米压入法 MEMS 材料力学性能的统一的评定模型。目前硬度的评定,采用的面积就分为接触面积和投影面积两类,计算面积采用的深度分别为卸载至零时的压痕深度、最大载荷时的压入深度和考虑最大载荷时试样材料在压头周围所形成的堆积或下沉时的实际接触深度三种,因此,为了保证测量结果的可比性,测量结果必须指明所采用的面积形式、深度形式及压头形式。为了简化硬度评定,建议用投影面积和实际接触深度作为 MEMS 材料硬度的标准评定模式。弹性模量的评定也可以投影面积和实际接触深度作为标准评定模式。与硬度评定相比,弹性模量的评定比硬度的评定复杂,评定模型较多。由于 MEMS 材料力学性能的测量与评定的影响因素较多,实现其测量与评定的标准化是一个长期的过程,需要进行大量的实验和理论研究。因此,为加快这一进程,需要统筹规划,开展 MEMS 研发单位、材料研发单位、纳米压入仪生产厂家及标准化组织的国际国内合作。

二是测量条件与试样的标准化。测量条件对测量结果的一致性也有直接影响。测量结果的比较只有在相同或近似测量条件下才能比较。对于最大压入深度,在试样厚度足够大的情况下,可规定绝对压入深度(如根据试样厚度,按 R10 或其他优先系数分级);否则规定相对压入深度,即最大压入深度/试样厚度(对于薄膜,通常最大压入深度 $\leq$ 薄膜厚度 10,但 MTS 公司对于薄膜的测量已无此项要求)。对于加、卸载速度,既可按等速加卸载,又可按非等速加卸载,加、卸载的速度既可相同又可不同;最大压入深度时的保载时间可为 0、5s、10s、30s、……等,通常采用的是 0 和 30s 两种保载方式;对于环境温度、湿度和振动,可按超精密测量要求进行规定,而试样测试时的温度则可按 20°C 、 50°C 、 100°C 、 200°C 、 400°C 、……等规定;各压入点之间最小间距及压入点距试样边界之距的规定,主要是排除各压入点以及试样边缘缺陷对测量结果的影响,该参数的设置应与最大压入深度及压头参数有关;用于每个试样计算平均值的压入点数量,若试样尺寸满足多点压入时的相邻压入点之距要求,压入点的数量以 10 个为宜,其测量结果的平均值可剔除偶然误差对测量结果的影响;对于试样的安装,尽管真空装夹具有易装夹、装夹可靠等优点,但由于试样较小,开发该类型的夹具难度较大,距实际应用还有一定的距离,目前应用最广的方法是粘结法,因此应对所用的粘

结剂进行规定。对于小体积材料、MEMS 构件和薄膜,应按 R10 或其他优先数系的尺寸分段方法规定其尺寸系列,按优先数系分段的目的主要是为了减少尺寸分段的数量。

工欲善其事必先利其器,要提高纳米压入法测量材料力学性能的精确度,一个高精度的测量仪器也是必不可少的。纳米压痕仪即为其一。纳米压痕仪主要用于微纳米尺度薄膜材料的硬度与杨氏模量测试,测试结果通过力与压入深度的曲线计算得出,无需通过显微镜观察压痕面积。它主要用于测量纳米尺度的硬度与弹性模量,可以用于研究或测试薄膜等纳米材料的接触刚度、蠕变、弹性功、塑性功、断裂韧性、应力-应变曲线、疲劳、存储模量及损耗模量等特性。可适用于有机或无机、软质或硬质材料的检测分析,包括 PVD、CVD、PECVD 薄膜,感光薄膜,彩绘釉漆,光学薄膜,微电子镀膜,保护性薄膜,装饰性薄膜等等。基体可以为软质或硬质材料,包括金属、合金、半导体、玻璃、矿物和有机材料等。其具有光学显微镜自动观察、独特的热漂移控制技术、适时测量载荷大小、采用独立的载荷加载系统与高分辨率的电容深度传感器、快速的压电陶瓷驱动的载荷反馈系统等技术特点。最大加载载荷为 400mN,载荷分辨率可达 30nN,位移分辨率可达 0.003nm。是一种精度较高的纳米压入测量仪器。

当今世界科技发展愈来愈迅速,纳米压入法测量力学性能作为微纳大科学中的一个极小而极为具体的领域,近些年来取得的发展成就也是可观的。但这并不会让科学家们和研究者们停止投身于该方法的研究,毕竟如前所述,纳米压入法尚有很多亟需改善的地方。相信,通过一代代研究人员的努力,纳米压入法会日臻完善,进而更好地被应用于材料性能的测量,造福于社会。

标题

原来的标题：测试薄膜力学性能

修改后的标题：纳米压入法（how）测试薄膜力学性能（why）的若干关键影响因素（what）分析

摘要：

原来的摘要：纳米压入法是日前薄膜等小体积 MEMS(micro-electro-mechanical system)材料力学性能评定广为使用的方法,其测试可靠性严重依赖于仪器校准及对各种误差影响因素的消除和修正。文中以 Oliver-Pharr 数学评定模型为基础,对包括仪器柔度、压尖几何形状偏差、初始接触点位移、尺寸效应、基底、堆积和凹陷、蠕变、表面粗糙度等在内的薄膜弹性模量和硬度纳米压入测试时的若干关键影响因素进行分析。在此基础上,分别给出相应的处理办法和数据修正措施。研究表明,只有综合考虑这些因素的影响,方能获得准确的薄膜本征力学性能参数。

修改后的摘要：纳米压入法是日前薄膜等小体积 MEMS(micro-electro-mechanical system)材料力学性能评定广为使用的方法（what）,其测试可靠性严重依赖于仪器校准及对各种误差影响因素的消除和修正。（why）本文根据纳米压入法测量与评定 MEMS 材料力学性能的原理,对诸如测量仪器、压头、评定模型、测试条件等影响力学性能测量精确度、测量结果的可比性的主要因素进行了分析。（how）并在此基础上，给出了相应的处理办法和数据修正措施。（results）

前言与绪论

Why（为什么要做）

可靠性是微电子机械系统(micro-electro-mechanical system ,MEMS)及微装置走向实际应用及产业化的关键。单(多)晶硅、氮化硅及各种金属薄膜是 MEMS 系统及各种微装置的重要组成部分,为了使 MEMS 系统具有良好的使用寿命,需要准确了解薄膜的各种力学性能。

Who、when & where

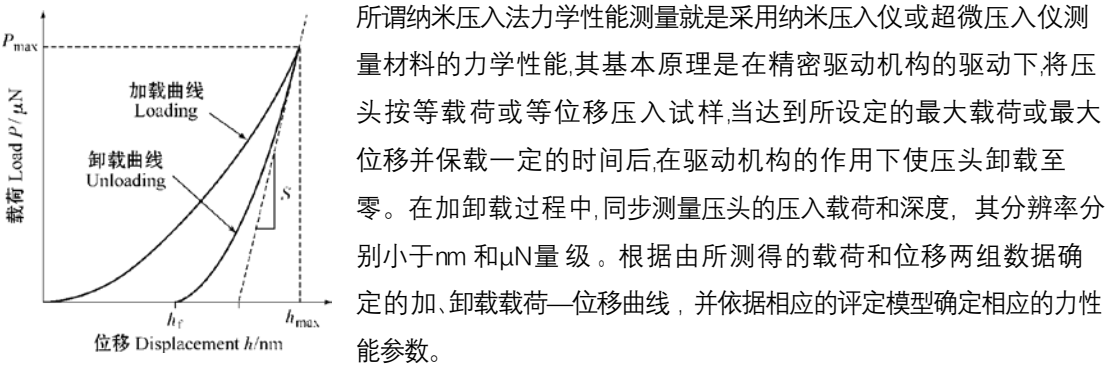
因此近 20 年来,许多学者对此领域进行了大量研究,并相继提出多种薄膜材料力学性能的测试方法,主要有压入法、硬度法、单轴拉伸法、微梁弯曲法、鼓泡法及共振频率法等。

What（我们在此文章中的贡献）

在这些方法中,压入法由于对试样制作要求较低并操作简便,因此是使用最广的一种测试方法。在此基础上发展起来的纳米压入技术目前被广泛地应用于薄膜等小体积 MEMS 材料的力学性能评定本文从目前通用的 Oliver-Pharr 定模型原理出发,对纳米压入法测试薄膜弹性模量和硬度的若

干关键影响因素进行系统分析和溯源归类,在此基础上对各种因素的误差影响程度、规律及消除方法进行探讨。

1. 纳米压入法力学性能测量原理



2. 影响纳米压入法力学性能测量结果的若干关键影响因素的分析（实验）

A. 压尖几何形状偏差

压尖几何形状偏差是纳米压入法测试结果不确定的最重要影响因素。Oliver-Pharr 评定模型在计算接触面积 A 时假定压头为理想形状。而实际上由于加工上的限制和使用中的磨损,常用的 Berkovich 或 Vickers 等多棱锥金刚石压头尖部均具有不同程度的曲率。

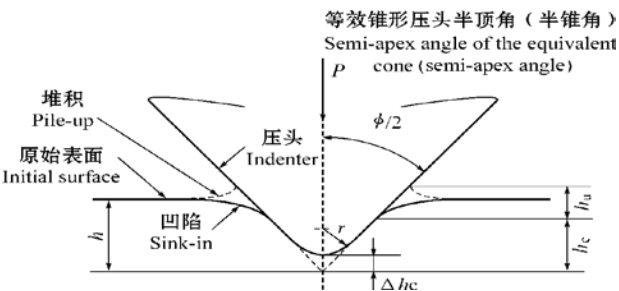


图 2 压尖几何形状偏差及材料堆积和凹陷现象

Oliver-Pharr 法中的接触深度 h_c 为压头尖部到接触截面的距离,因此压尖的非理想形状将使 h_c 产生误差,从而对 A 产生重大影响,进而导致测试结果的系统误差。

因此,修正压尖形状偏差对面积函数的影响是纳米压入法测试的前提条件。

将 Berkovich 压头用半锥角为 70.3° 的等效刚性圆锥体替代,并设压尖曲率半径为 r 。(方法)图 2 的几何关系可以得到压尖钝化造成的 h_c 误差为 $\Delta h_c = -r(1 \sin 70.3^\circ - 1) = -0.062r$ 。由于压尖钝化使 h_c 减小,进而导致接触面积 A 相应变小,从而使 E_r 和 H 的计算值增大,对 H 的影响相对更大。(结果)这种效应随着压入深度的减小而增加,小压深时其影响更为显著,出现掩蔽本构特征的尺寸效应。Bouzakis 通过有限元分析发现,只有当压尖尺寸偏差小于 1 nm 时其对测试结果的影响方可忽略不计。(讨论)

B. 初始点位移

总结

微纳工程学，从具体分工上应该分为两大部分，第一部分是微纳制造，第二部分是微纳材料。

这也是上海交通大学微纳院的基本构造。微纳院分为两个重点实验室，一个是微纳加工实验室，一个是薄膜与微纳材料实验室。

微纳加工实验室，是把几种材料组合在一起，形成一个功能器件，比如 mems 传感器，比如加速度传感器等等。这个过程牵涉到，比较繁杂的集成电路加工工艺，比如光刻，薄膜与刻蚀工艺。需要一系列的微加工设备，这个过程以物理过程为主；

微纳材料与薄膜实验室研发微纳材料，比如碳纳米管材料，比如石墨烯材料，比如各种薄膜材料。在微纳材料领域，即便是气体传感器等微传感器，也都是基于材料本身对于环境的敏感和互动，不牵扯到复杂的微纳器件的制造和加工，以化学过程为主。

总之，微纳工程学非常繁杂，它是多领域交叉的结果，所以不太容易形成一个单独的知识体系，微纳院一直缺院长，这是原因之一：），因为一个人不可能同时精通物理学、化学和生物学及其集成电路微加工技术等学科。多学科的交叉也给微纳工程学带来了无穷的机会，比如微纳加工技术与航空发动机技术结合就形成了智能航空发动机交叉技术，可以让航空发动机的制造变得更优化、变得更智能化。

微纳四个方面

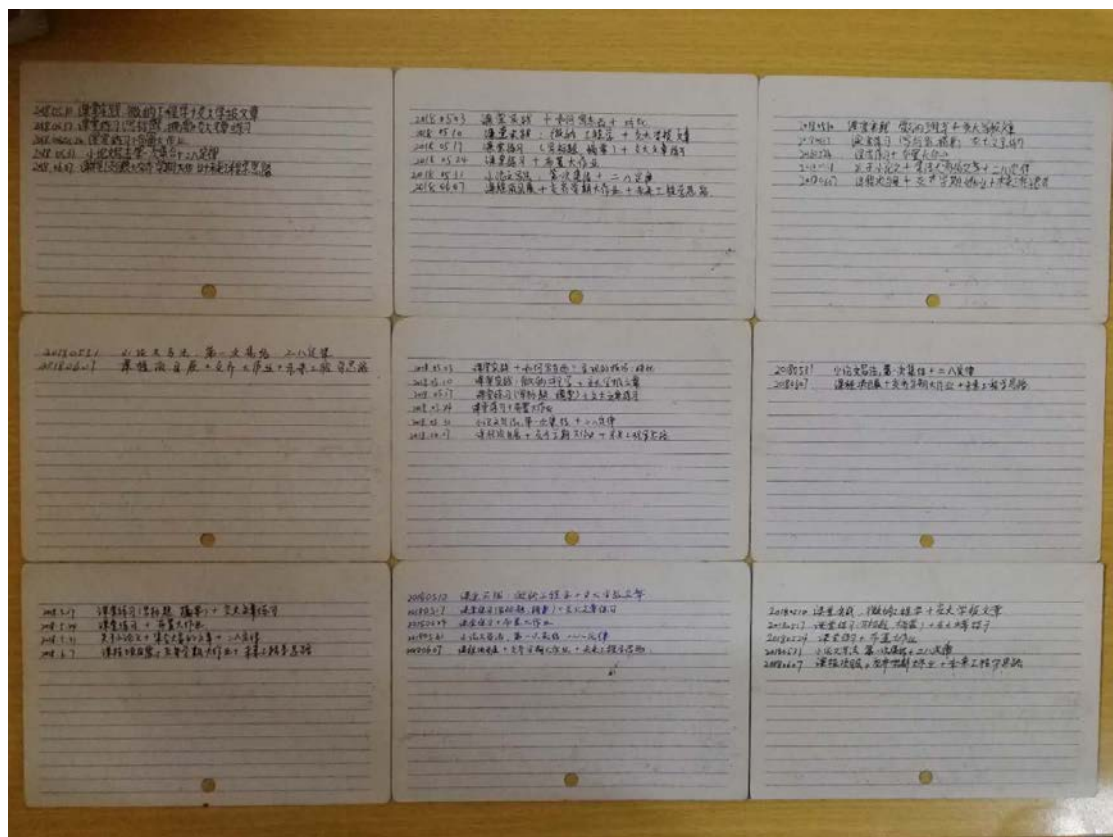
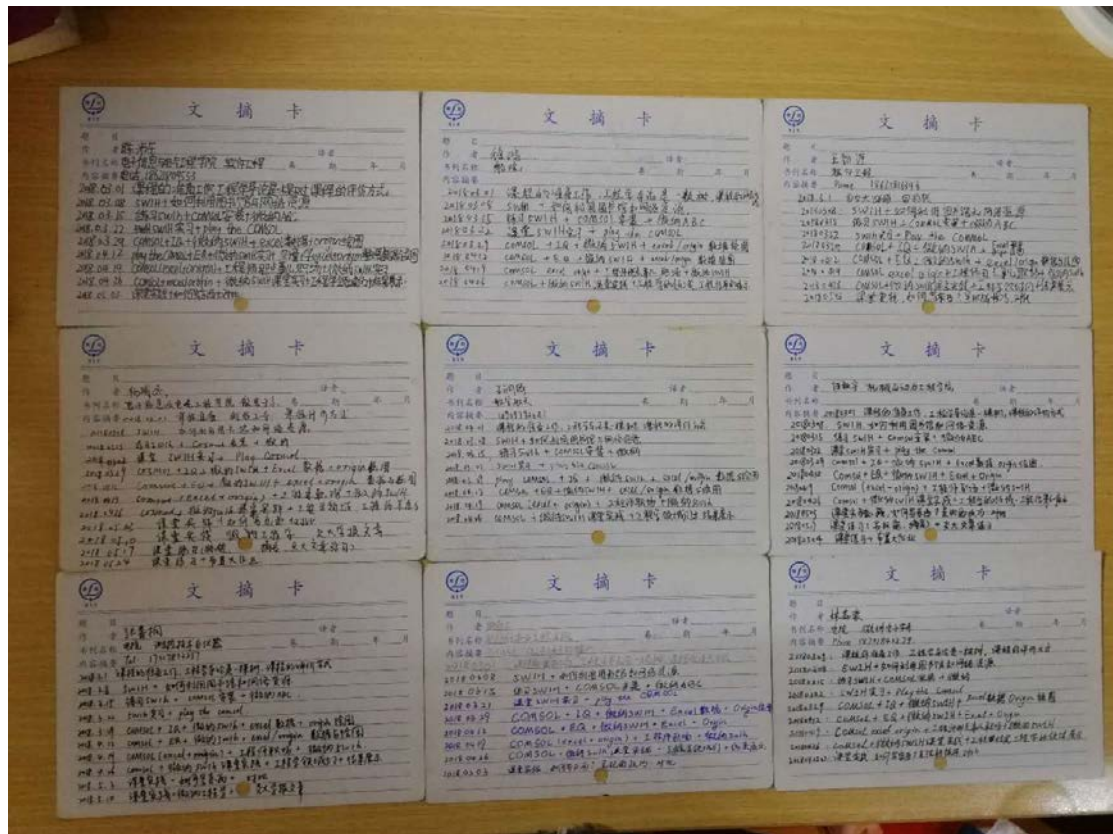
- 科学研究
- 微纳材料
- 微纳应用
- 微纳技术

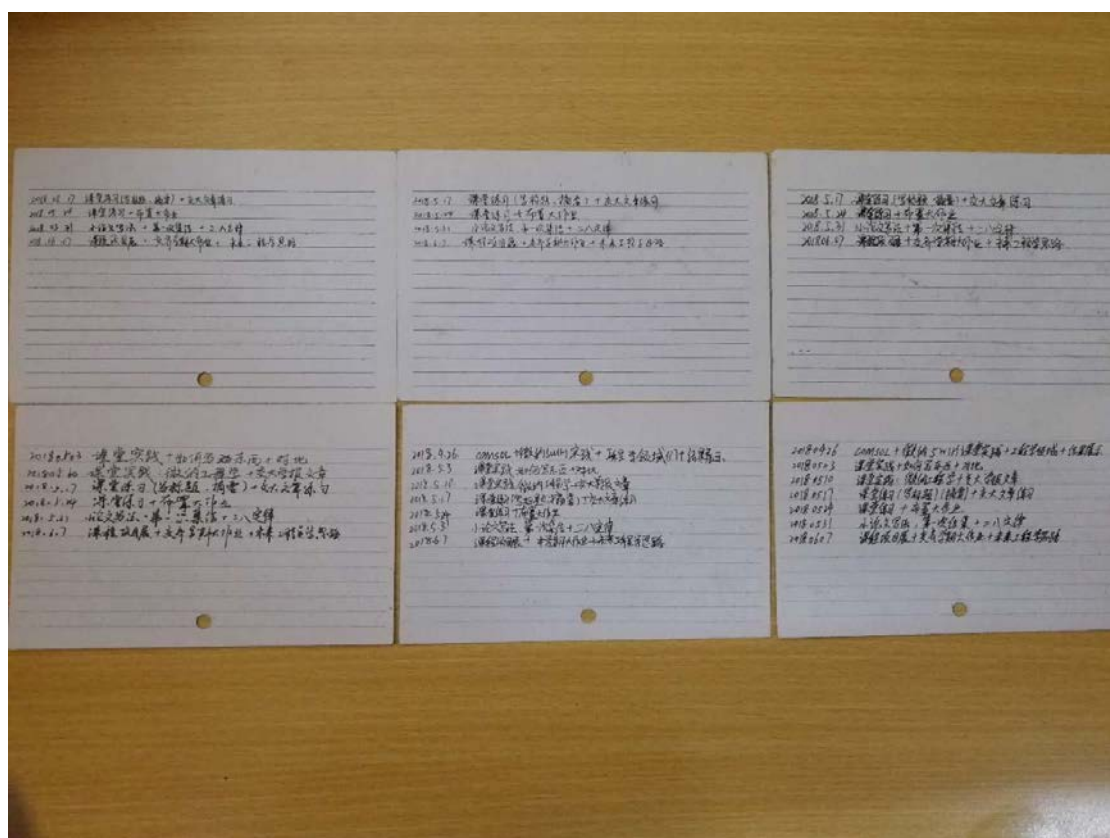
微纳工程学的发展趋向

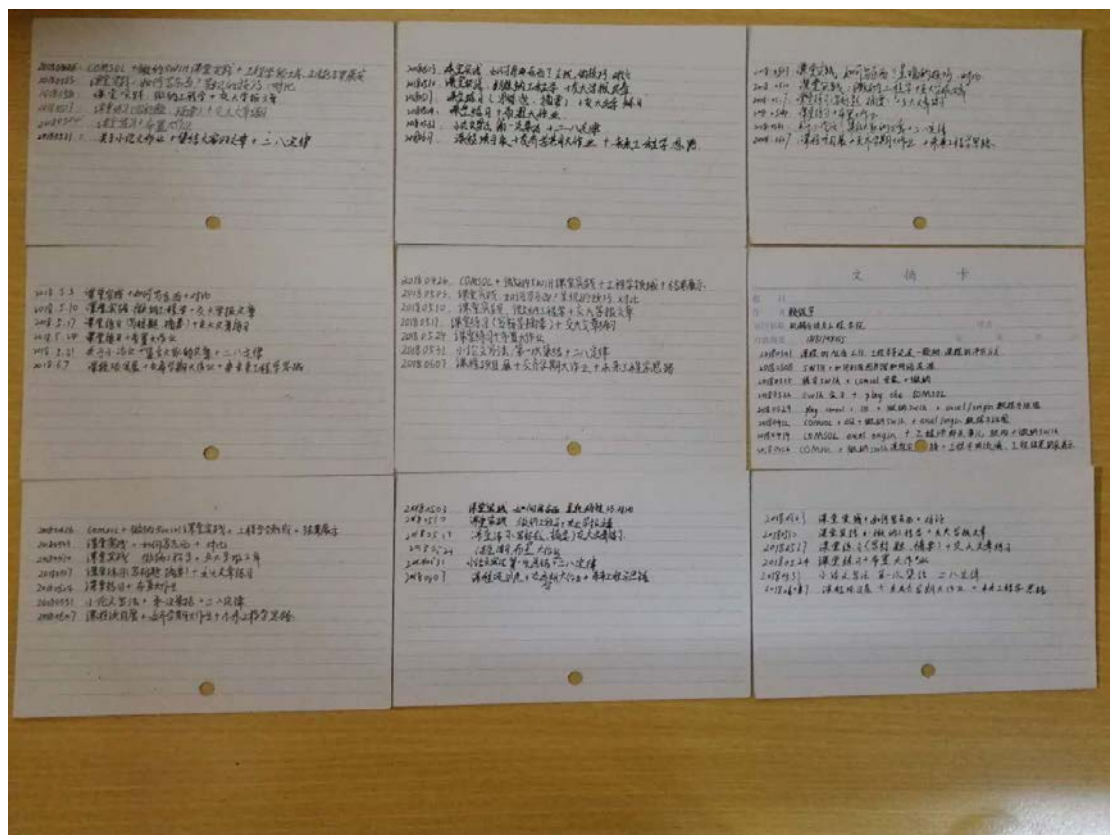
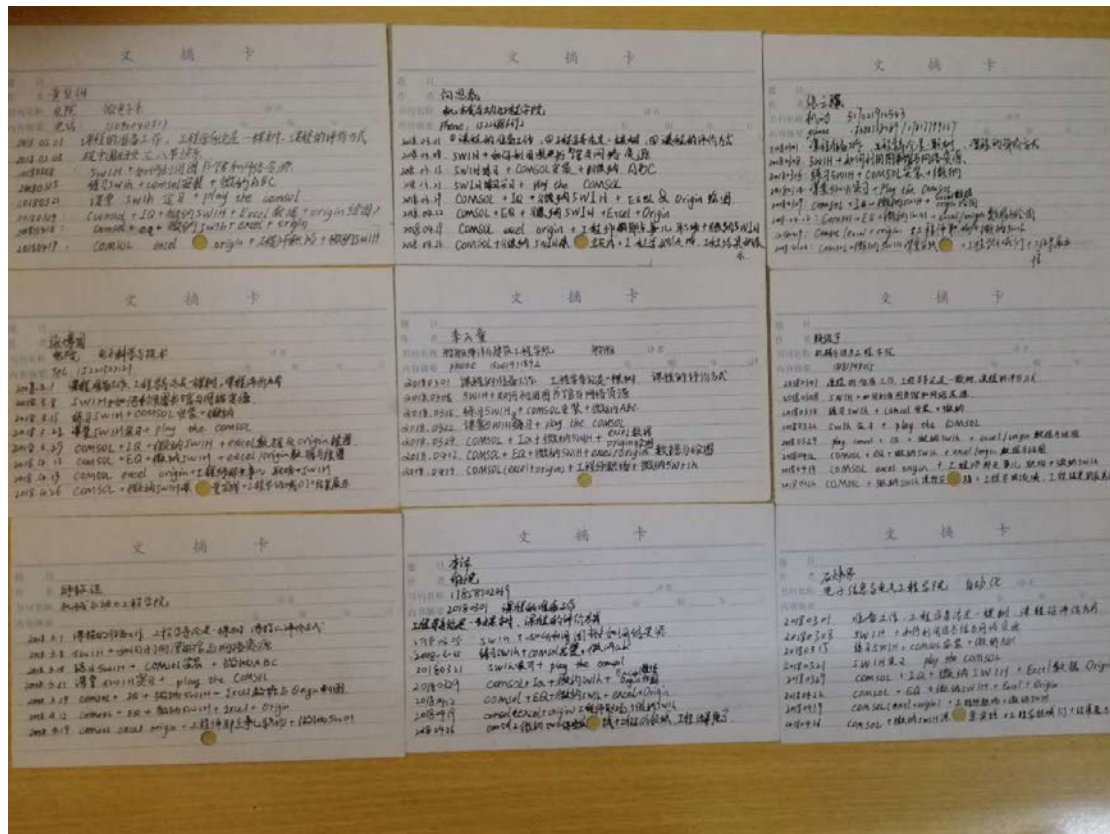
- 长度方向
 - 新的纳米材料 (0D、1D、2D) 和人造材料,
 - 新的纳米物理、原理,
 - 制作新的纳米器件、
 - 新纳米结构
- 宽度方向
 - 即应用方面
 - 指利用现有的微纳技术进行跨学科的应用

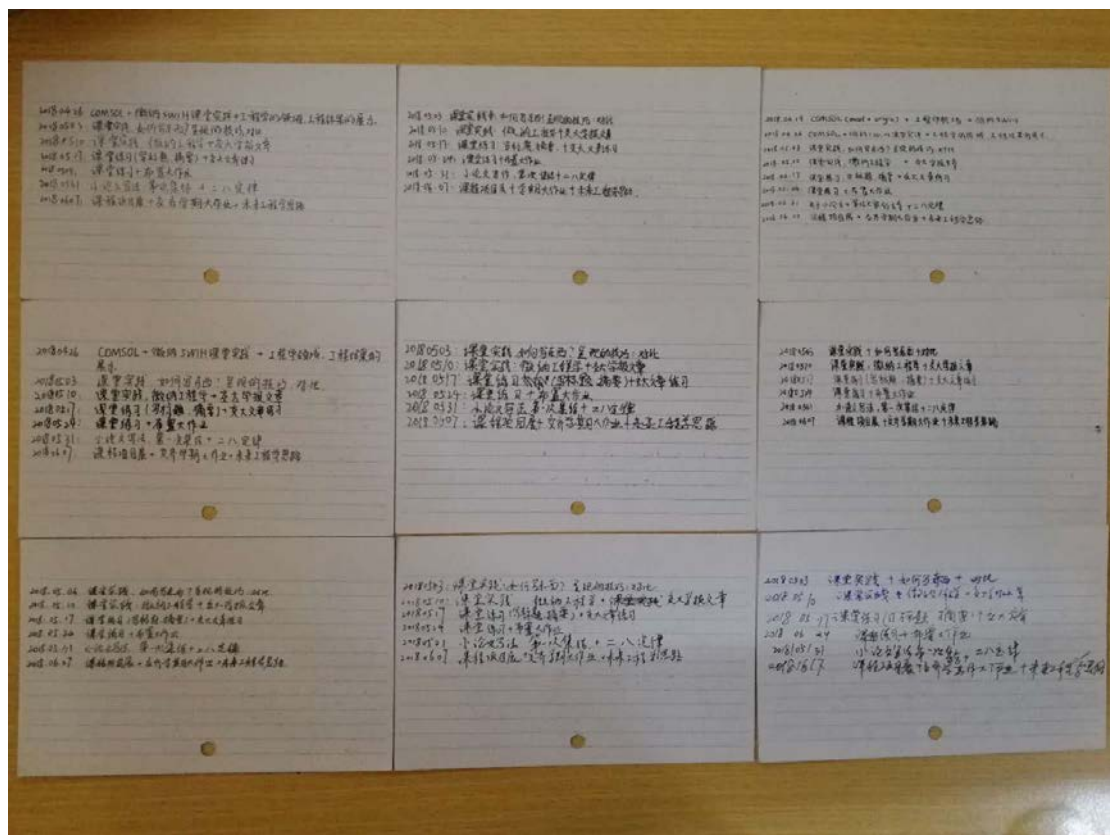
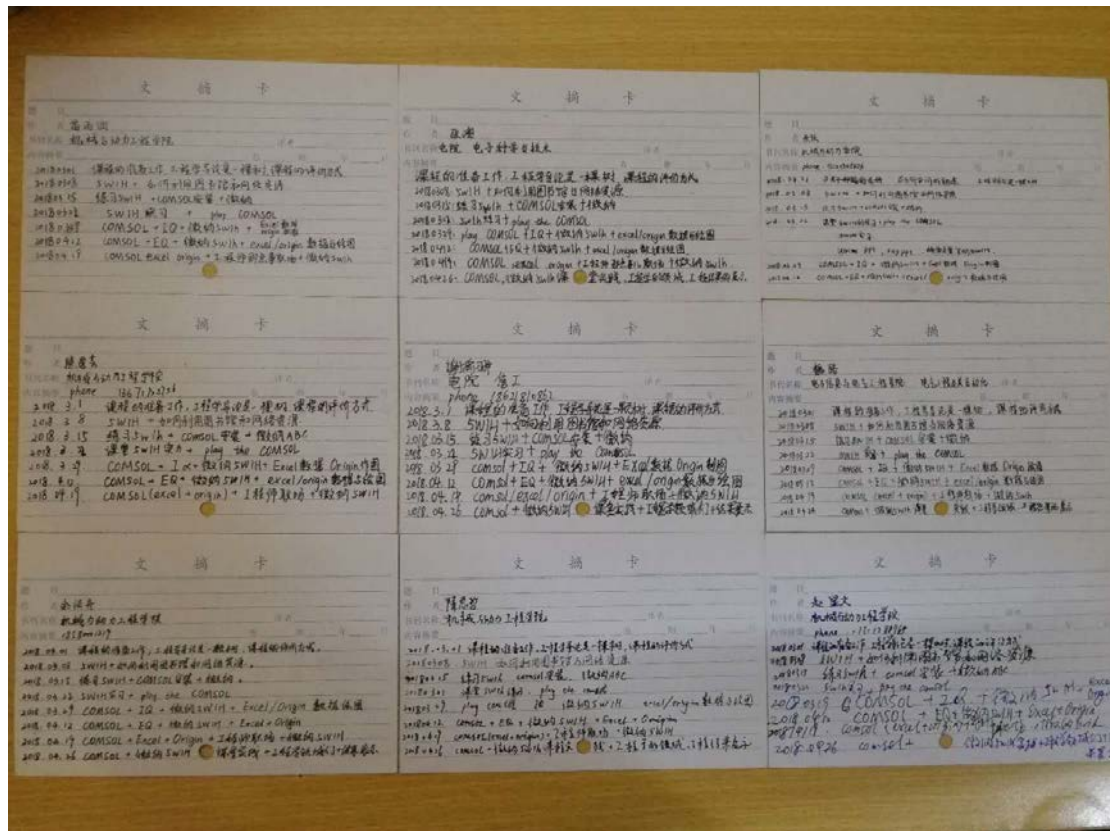
微纳工程学

- 第一部分是微纳制造
- 第二部分是微纳材料









微纳

微纳工程学，从具体分工上应该分为两大部分，第一部分是微纳制造，第二部分是微纳材料。

这也是上海交通大学微纳院的基本构造。微纳院分为两个重点实验室，一个是微纳加工实验室，一个是薄膜与微纳材料实验室。

微纳加工实验室，是把几种材料组合在一起，形成一个功能器件，比如 **mems** 传感器，比如加速度传感器等等。这个过程牵涉到，比较繁杂的集成电路加工工艺，比如光刻，薄膜与刻蚀工艺。需要一系列的微加工设备，这个过程以物理过程为主；

微纳材料与薄膜实验室，以研发微纳材料，比如碳纳米管材料，比如石墨烯材料，比如各种薄膜材料。在微纳材料领域，即便是气体传感器等微传感器，也都是基于材料本身对于环境的敏感和互动，不牵扯到复杂的微纳器件的制造和加工，以化学过程为主。

总之，微纳工程学非常繁杂，它是多领域交叉的结果，所以不太容易形成一个单独的知识体系，微纳院长不好当，因为一个人不可能同时精通物理学、化学、生物学及其集成电路微加工技术等学科。

多学科的交叉也给微纳工程学带来了无穷的机会，比如微纳加工技术与航空发动机技术结合就形成了智能航空发动机交叉技术，可以让航空发动机的制造变得更优化、变得更智能化。