

超微粒子及其应用的研究

陈启仁 孙荣传 黄进所 汪光武

(应用化学系)

摘 要

本文介绍一种新型的功能材料——超微粒子。内容包括制备方法,粒度大小的测定方法,物理化学性质,以及它在化学工业、电子工业、尖端科学和基础理论研究中的应用。提出了今后优先考虑的课题:(1)从国外引进的感光材料、电子元件材料等的生产变成国内生产;(2)精密陶瓷;(3)传感器;(4)超微粒子在光化学、激光化学的应用;(5)超微粒子在分子电子学研究中的应用。

一、引 言

八十年代初期,具有特殊性能的超微粒子以一种新型的功能材料出现,引起日本、美国、西德等国的高度重视^[1-3]。这个新领域不但具有学术意义,而且经济效益也引起人们的重视。

当物质被制备成超微粒子时,仍保留着原来的化学成分和化学性质,而物理性能却显示出多种多样的奇异特性。粒度、形状、表面积、表面电荷、表面能等发生巨大变化。超微粒子一般指粒度小于 $0.1\mu\text{m}$ 的颗粒。它具有超导性能,在磁性、内压、光吸收性、热阻、化学活性、催化性能、熔点等方面呈现优良性能。广泛应用于化学工业、电子工业、能源以及尖端科学和基础理论研究。

电子信息技术的革命将依赖新型的功能材料的发现。研究超微粒子的结构与其性能之间的关系,可望发现新的物理化学规律,找到它的新用途,这对于开发这一新的功能材料是至关重要的。

二、超微粒子的制备方法^[4-6]

一般分为化学法和物理方法。化学法的优点:方法简便、投资少、设备简单、操作技术容易掌握。缺点:使用有一定局限性。例如,作为超低温制冷机热交换材料用的超微粒子银,用化学方法制备的银粉,就难以胜任。

本文1986年10月30日收到。

物理方法的优点是可以制备具有特殊性能的超微粒子,例如,具有特高化学活性的超微粒子。另外,作为研究超微粒子及其物理性能之间的关系,特别需要这方面的知识,至今却鲜为人知。缺点是:需要现代化尖端技术设备、投资大、操作复杂、需要特殊训练的各种专门人才联合作战。

1. 化学方法

(1) 液相生成法

其工艺流程如图1表示。

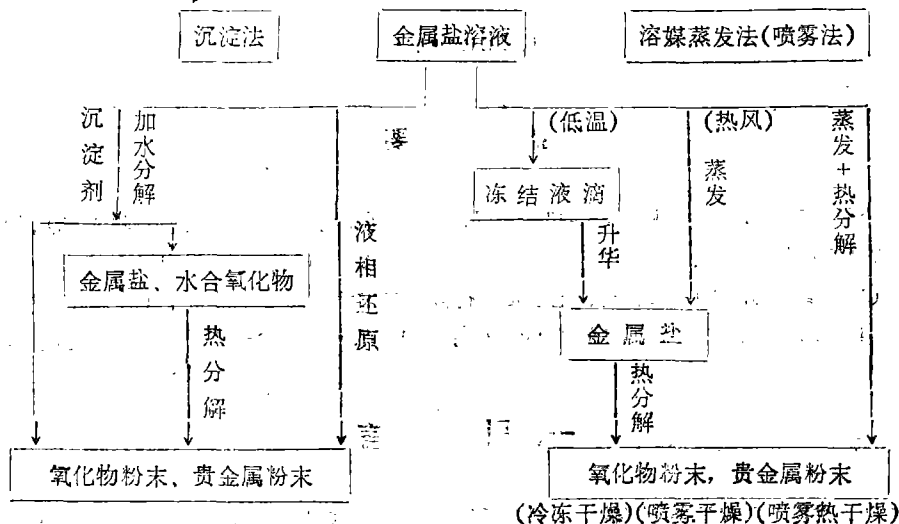
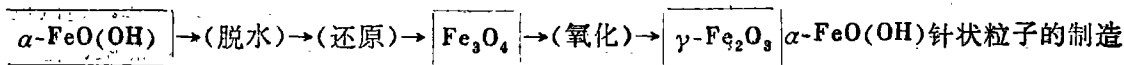


图1 液相法制造超微粒子流程图

(2) 氧化加水分解法:

磁性材料针状粒子 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 是由针状的 $\alpha\text{-FeO(OH)}$ 粒子来制造的。工艺流程如下:



$\alpha\text{-FeO(OH)}$ 针状粒子的制造分为: 酸法: $(\text{Fe}^{2+} \rightarrow \alpha\text{-FeO(OH)})$; 碱法: $(\text{Fe(OH)}_2 \rightarrow \alpha\text{-FeO(OH)})$ 二种。

(3) 还原法:

使用还原反应能够从银、金、铂的金属盐溶液制备粒径为 1nm 以下的贵金属超微粒子等。

(4) 溶胶-凝胶法^[6]:

典型方法是金属与乙醇反应,生成金属醇盐,金属醇盐在适当的醇中分解,然后加入水,以引起醇盐分解,调节溶液的 pH 值后,材料则聚合成凝胶。

凝胶是由疏松结合的材料和液体(水和醇)组成。在 200—500℃ 小心加热以除去液体,凝胶则变成细微的金属氧化物粉末,粒度为 0.003—0.1 μm 。此法可制得极均匀的两种组分以上的混合物。

(5) 溶液-沉淀法:^[7]

1987年,美国麻省理工学院研究成功制备微细球金属氧化物粉末的溶液——沉淀法。此

法也像溶胶-凝胶法一样,先将金属转化为金属醇盐(不生成凝胶),因为所用的溶液是稀释液,用调节 pH 值来避免生成凝胶。

美国麻省理工学院用溶液-沉淀法制备二氧化钛微粒时,首先制备四乙氧基钛 $[\text{Ti}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4]$,然后将四乙氧基钛溶解于乙醇中,加水形成无定形的水合二氧化钛,并用超声波处理,使胶体分散,再进行离心分离,将大部分多余的液体倾泌出。最后,加热沉淀物,得到均匀的亚微细粒的二氧化钛粉末。

用此法制得的球状二氧化钛粉末,直径为 $0.3\text{--}0.6\mu\text{m}$,可达到理论最大密度的 99%。此法也可制备氧化硅、氧化锆、氧化锌等超纯粉末。

此外,通过有机化合物制备金属胶束(micells),用合适的表面活性剂来提高微胶的分散度,也是制备超微粒子的一种重要方法。

2. 物理方法

用高能热源,如激光束、等离子体、电子束等新技术,兼用高(超)真空技术、低温技术相结合的所谓物理方法,是制备超微粒子的重要研究方法。现简述如下:

(1) 激光化学法:

美国麻省理工学院 N. W. Stauffex 等人^[8],用二氧化碳激光制备氮化硅和碳化硅。用硅烷(SiH_4)作为反应气体,用氮[制备氮化硅(SiN)]和乙稀[制备碳化硅]作载气。激光工作波段在 CO_2 激光 $p(20)$ 支上($10.59\mu\text{m}$),硅烷在 $10.59\mu\text{m}$ 波段上有良好的光学吸收性。载气氮和乙稀也能吸收 CO_2 激光的 $p(20)$ 支线($10.59\mu\text{m}$)。而反应产物(碳化硅和氮化硅颗粒)和气体(H_2 和 N_2)在 $10.59\mu\text{m}$ 波段上是不吸收激光的。反应产物氮化硅和碳化硅具有排列有规则结构大小均匀的球形颗粒($<1\mu\text{m}$)。研究者假定 1 台 1500W CO_2 激光器连续工作,年产量 $60\text{--}60\text{t}$ 粉末,所需总电力约为 $2\text{kW}\cdot\text{h}/\text{kg}$ 微粒,造价约为 $2.00\text{--}3.50$ 美元/kg,比传统生产方法(研磨法)便宜 10 到 100 倍。

(2) 等离子体蒸发法:

本法是利用电弧所产生的高温,将载气-天然气电离成活性氢,利用产生活性氢的高温将金属熔融,通过冷却和分尘器来收集超微粒子金属。活性氢-金属反应法制备超微粒子的实验条件^[10]如表 1 所示,其反应装置如图 2 所示。

Ag、Al、Co、Cr、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni、Pd、Sc、Ta、Ti、V、W 等金属的超微粒子制备,通常得到微粒的粒度为 $0.05\text{--}5\mu\text{m}$ 之间,也有一部分粒度为 $0.02\text{--}0.1\mu\text{m}$ 的金属超微粒子。在真空条件相同时,平均粒度与载体气体的分子量的大小有关系。分子量小的载体气体得到的超微粒子的平均粒径也小。氢气、氮气或氢氮混合气体都是理想的载体气体,在氢氮混合气中,氢的比例不能过高,否则,不安全。

(3) 高周波感应加热法:

图 3 为制备磁性金属微粒用的实验装置,用高周波感应电流来加热、蒸发原料,炉内先用 0.13Pa 气体冲洗后,再从下部通入 Ar、He 气体,保持 $0.13\text{--}6.5\text{kPa}$ 的压力。产生的磁性超微粒子的直径为 2--

表 1

载气氮, $\text{H}_2\text{--Ar}(\%)$	50
压力, Pa	101,325
天然气流量, m^3/s	5×10^{-4}
工作电流, A	260
工作电压, V	20-25
反应时间, s	1-540
试料体积, m^3	5×10^{-6}

$20\text{nm}(10^{-9}\text{m})$, Fe-Co 合金超微粒子的制备条件, He 作为载气, 压力为 0.65kPa , 生成粒径为 $2-20\mu\text{m}$ 、长度为 $10\mu\text{m}$ 以上的链状的磁性超微粒子。

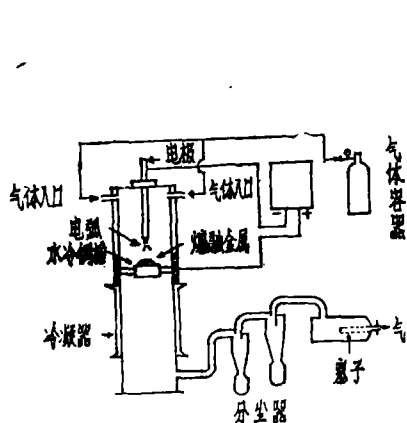


图 2 活性氢-金属反应制备超微粒子^[11]装置

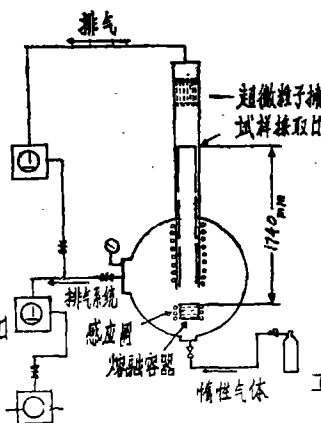


图 3 高周波感应加热式超微粒子生成炉模型图^[11]

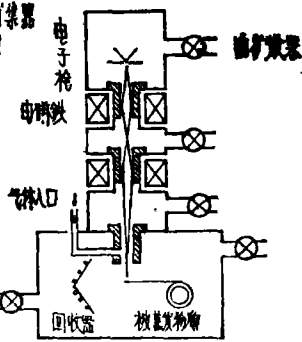


图 4 电子束加热制备超微粒子装置^[12]

(4) 电子束加热法:

高熔点物质超微粒子的制备, 必须用能产生高温的热源来蒸发, 电子束是常用的热源之一。日本的岩间等人^[12, 13]用图 4 的装置制造 Bi、Sn、Ag、Mn、Cu、Mg、Fe、Fe-Co、Ni、Al 等。Cu 微粒子的制备条件为: 50V 、 50mA 的电子束, 66Pa 的 Ar 作载气, 每分钟产生 50mg Cu 的超微粒子。Ti 用 N_2 或 NH_3 作载气, 用电子束蒸发得到粒径为 10nm 以下的立方晶体的 TiN 超微粒子。Al 只在 NH_3 气中蒸发才生成 AlN 超微粒子, 在 N_2 气氛下不能生成 AlN 超微粒子。在压力约 130Pa 的 N_2 以及 NH_3 气中蒸发 Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mn、W, 得到粒径为 $2-10\text{nm}$ 的过渡金属超微粒子。

三、粒子大小的测定^[15]

粒子大小是超微粒子的一个重要的物理参数。粒度大小不一, 物理性能显示出巨大差异。微粒可以固体、液体(乳胶和分散体系)、或气体(气泡)、或作为胶束的聚合分子。

Scarleff 指出, 大约有 400 种分析方法, 现将电子显微镜分析方法作一简单介绍^[16]。

(1) 透射电子显微镜(TEM—Transmission Electron Microscope);

TEM 测定颗粒大小在 $0.001-5\mu\text{m}$ 的范围之内^[17]。利用电子束在萤光屏上或照相底版上显示影像, 对记录在照相底版的影像进行分析。一般标定工作可用“道化学公司”出产的细分级聚苯乙烯乳胶液, 高精度的标定是用衍射光栅。

(2) 扫描电子显微镜(SEM—Scanning Electron Microscope);

扫描电子显微镜是一束具有中等能量 ($5-50\text{kV}$) 的电子在一系列轨迹上扫描试样。这些电子与试样相互作用产生二次电子放射, 反射电子光或阴极射线和 α 射线等信号, 检测每一种信号, 用电视图象在阴极射线管的屏幕上显示出来。用屏幕照相记录来观测。与 TEM 比

较, SEM 要快得多, 而且能得到许多三维空间的信息, 主要研究有关颗粒形状和表面结构。

Howard 等人^[15]的文章介绍一些物质粒子大小的分析方法, 简介如下:

(1) 催化剂粒子的分析方法:

X-射线散射法(XRS)^[18], 电镜法(EM), X-射线衍射法^[19](XRD)等。

(2) 胶体和胶束 Micells 的分析方法:

光子相关光谱法(PCS)^[20], 光学散射法^[21](LS)等。

(3) 陶瓷粒子的分析方法:

光散射法(LS)^[22]等。

四、超微粒子的物理化学性质

研究超微粒子的物理化学性质, 将为开发新的应用提供广阔的前景。日本河本邦仁^[23]认为超微粒子表面的晶格振动问题, 与粒子的熔点、德拜温度、比热以及晶格振动有关系。其次, 谈到超微粒子的分散与凝聚问题。这是溶液中超微粒子经常碰到的一个基本问题。这与微粒的表面电荷、电化学稳定性等有密切关系。

甘道初介绍, 1000 μm 铜颗粒的比表面能为 58.597J, 当铜颗粒缩小为 1 μm 时, 比表面能增加14000倍。汽油在燃烧室中雾化成20至40 μm 时燃烧最完全。杂乱无章的磁粉没有记录信息的功能。板状结构的卤化银可使无定形的卤化银彩色胶片的感光度从 400ASA 提高到 1000ASA。这些问题, 都与超微粒子的结构、物理化学性能有关。深入研究这方面问题, 为开拓这一新型功能材料的应用提供理论指导。研究超微粒子的结构与物化性能间的关系, 若能从超微粒子之间的相互作用来研究微粒的表面化学和微粒的界面化学, 将会提供丰富的信息。

五、超微粒子的应用

1. 科学技术方面的应用

(1) 高性能催化剂:

超微粒子的表面积、表面能比较大, 有利于反应物与超微粒子之间的反应, 呈现优良的催化活性。例如微粒子镍, 粒径为 $3 \times 10^{-6}\text{m}$ 在氢化反应中, 其效率是传统的莱尼镍催化剂的10倍。

(2) 磁性材料:

用超微粒子的 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 Cr_2O_3 金属合金^[24, 25]可制成比现在磁性密度大10倍的磁性材料。例如 Fe-Ni-Co 合金超微粒子的最大矫顽力可达到 $18.7 \times 10^4 \text{A/m}$ 。

(3) 太阳能的利用:

铬、铂系合金的超微粒子^[26]具有优良的吸光性能。目前, 太阳能转换装置中吸光材料已用铬系合金的超微粒子。

(4) 敏感元件材料:

。用超微粒子制造的传感器,具有表面积大、灵敏度高、操作温度低、微型化、传感速度快等优点,正在引起人们的重视。

能检测漏气的传感器一般是半导体传感器(诸如 SnO_2 、 Fe_2O_3 和 ZnO 之类的 n -型氧化物半导体),这种半导体传感器对低浓度气体极灵敏,现列表如表 2 所示。

表 2 已研制成的半导体气体传感器^[27]

检 测 器 件	待 检 验 元 素	检 测 器 件	待 检 验 元 素
ZnO 薄膜	还原、氧化气体	复合氧化物(LaNiO_3 等)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 和其它
氧化薄膜(ZnO 、 SnO_2 、 CdO 、 Fe_2O_3 、 NiO 等)	还原、氧化气体	$\text{V}_2\text{O}_5 + \text{Ag}$	NO_2
SnO_2	燃烧气体	CoO	O_2
$\text{In}_2\text{O}_3 + \text{Pt}$	H_2 、碳氢化合物	$\text{ZnO} + \text{Pt}$	C_3H_8 、 C_4H_{10} 等 } H_2 、 CO }
氧化物(WO_3 、 MoO_3 、 Cr_2O_3 等)+触媒(Pt 、 Ir 、 Rh 、 Pd)	还原气体	$\text{ZnO} + \text{Pd}$	
$\text{SnO}_2 + \text{Pd}$	还原气体	MgFe_2O_4	还原气体
$\text{SnO}_2 + \text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{Au}$	还原气体	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	C_3H_8 、 C_4H_{10} 等
$\text{WO}_3 + \text{Pt}$	H_2	$\text{SnO}_2 + \text{ThO}$	CO

(5) 超低温制冷机的应用^[25]

利用超微粒子在低温条件下几乎没有热阻(即热极易通过)的特性,用它作为超低温制冷机的热交换材料。1979年,法国和日本的低温科学各自独立在 ^3He - ^4He 稀释制冷机采用超微粒 Ag 作为热交换器中的热交换材料,致冷机温度为 $10^{-2} - 3 \times 10^{-3}\text{K}$ 。

(6) 电子元件材料的应用:

应用超微粒子贵金属粉末或它的化合物作为制造电子元件材料,可以提高产品质量,降低成本。武田义章介绍^[26],目前已使用各种电子元件材料超微粒粒子的粒度范围,在数百 \AA 到 $10\mu\text{m}$ 之间。数十 \AA 以下的极超微粒子正在研究,从已发表文章有几个感兴趣的结果:(1)超电导迁移温度上升;(2)极低温条件下热传导性提高;(3)光的吸收性能增加;(4)磁性增加;(5)熔点下降;(6)催化效果增大。

(7) 精密陶瓷^[7, 8]的应用:

从航天飞机上的瓦片到计算机部件和通讯系统都用上陶瓷。它具有导热低、化学惰性、耐腐蚀、耐磨损,还具有特殊的电学、磁学、光学和良好的机械性能,可适用于作固体电介质、录音磁头、高压钠灯、气体泄露报警器以及各种传感器。精密陶瓷最大的一个研究课题就是在发动机方面的应用,可节约30%的燃料。

精密陶瓷的应用存在两个问题:(1)可靠性低;(2)价格贵。麻省理工学院的 John S. Haggerty 等人认为,这些问题是由构成陶瓷颗粒的粉末引起的。我们认为主要问题有二:(1)制备粒度 $< 0.1\mu\text{m}$ 的大小均匀的陶瓷超微粒子;(2)制备纯度在 99.99% 以上的陶瓷超微粒子。

(8) 分离功能材料的应用:

膜分离膜用于海水淡化, 排水处理, 有价值物质的回收, 超纯水的制备等。一旦用分离膜分离有机物, 则可代替蒸馏作为化工厂分离有机物的主要方法。日本科学家预测, 到2000年膜分离技术可望代替蒸馏分离法。

此外, 超微粒子可以降低粉末冶金的温度, 例如钨粉烧结温度为 3000°C ^[26], 掺入 0.1—0.5% 的超微粒 Ni 粉, 烧结温度可降低到 $1200\text{—}1300^{\circ}\text{C}$; 美、苏已采用添加超微粒子 Al 和 Ni 来提高固体火箭燃料的效率。在胶片以及医疗方面也有广泛的用途等。

2、在学术上的应用

(1) 超微粒子的比表面积、表面能都很大, 催化活性很高, 能为催化理论研究提供重要信息。

(2) 超微粒子的粒径^[27]与原子或分子的大小相比, 只差一个数量级, 有重要的科研价值。粒径为 $1 \times 10^{-6}\text{mm}$ 的金属超微粒子中的原子数为 3×10^4 个, 表面原子占 20%, 粒径为 $5 \times 10^{-6}\text{mm}$ 的金属超微粒子中的原子数为 4×10^3 个, 表面原子占 40%, 当粒度降低到 $1 \times 10^{-6}\text{mm}$, 只有 30 个原子, 几乎全部集中在超微粒子表面, 为人们探索原子或分子的形态和特性提供了方便条件。

(3) 日本科学家用电子显微镜观察到金超微粒子的蠕动。他们用电子显微镜连续地观察了粒度为 $10\text{—}100\text{\AA}$ 的金超微粒子中的原子运动。超微粒子中的金原子不断排列变位, 微粒的外形时刻在变化, 微粒愈小, 变化愈剧烈。当微粒粒度为 100\AA , 只是表面上的原子在运动, 可在显微镜下却观察到有棱有角的云状东西。他们观察到大微粒吞没小微粒的合体现象, 对银、铂的超微粒子进行观察, 发现与金的超微粒子相类似的蠕动现象。这一研究成果将对物质的表面研究、催化剂、半导体工艺以及新材料的研制起促进作用。

(4) 研究超微粒的大小, 形状和排列方式等与微粒物理性能之间的关系、为表面化学、界面化学提供了丰富的研究内容。

六、今后的展望

1980年, 在英国成立国际颗粒协会。美国、日本、西德、加拿大成立颗粒研究中心。我国于1986年成立了中国颗粒协会。表明超微粒这个新的科技领域引起世界各国的关注。应该指出超微粒子同界面和薄膜科学之间的关系, 将引起人们极大兴趣。美国科学院科学、工程与公共政策委员会等机构把界面与薄膜科学作为1988年联邦政府科学预算的依据的四个项目之一。

它提供了特别诱人的体系来研究物质宏观性质与原子结构之间的关系。物质在界面结构的性质、活性可能与体内十分不同。在技术上具有重要的物理性质——强度、生物兼容性等, 常常取决于薄膜与界面的特性。

我们建议考虑下面的研究课题:

(1) 结合我国从国外引进的生产线、例如感光材料、磁性材料、电子元件材料等, 实现原材料国产化。

(2) 精密陶瓷^[7, 8];

精密陶瓷的耐高温性质,可用于汽车发动机、燃烧嘴和热交换器;其独特的电性能可用于电容器、压电元件、热敏电阻、太阳能电池和集成电路衬底等;其光学特性可作为红外光发射窗;其生物适应性,可作为骨骼和关节的代用材料以及人造心脏瓣膜。日本已列入优先研究的领域。1980年日本精密陶瓷销售额大概为19亿美元,美国为16亿美元,到1990年,日本销售额估计为65亿美元,美国为45亿美元。我国有丰富的陶瓷资源,如何充分利用我国的原料优势,只有统一规划,分工合作,组织力量攻关,逐步形成有我国特色的精密陶瓷工业。

(3) 传感器:

人工智能‘大脑’的计算机的重要性是众所周知的,作为人工智能的‘五官’——传感器的研究却大为落后。对于粮食资源、矿物资源、生命科学、能源、医学、环保、海洋开发等领域的研究,都离不开传感技术。西德科学家认为,传感技术是世界上最重要的十大技术之一,现将精密陶瓷制成的各种传感器列表如表3所示。

表 3

温度传感器	Mn、Ni、Fe的氧化物、BaTiO ₃ 、CeO ₂ /ZrO ₂
热度传感器	氧化锰、BaTiO ₃
磁性传感器	InSb、InAs、Ge、Si
压力传感器	ZnO聚偏氟乙烯、PbZrO ₃ /PbTiO ₃ (PZT)
气体传感器	氧化锡、氧化锌/氧化铁
湿度传感器	金属氧化物
光度传感器	CdS、ZnO、Si

日本通产省工业技术研究院正在研究超微粒传感器。新型超微粒集成化传感器是将气敏湿敏元件集成在同一块集成片上的复合传感器。

(4) 超微粒子在光化学、激光化学的应用研究。

(5) 探索通过超微粒子途径、运用薄膜技术、研制分子电子器件的可能性。

随着微电子技术的飞速发展,用半导体硅做成的超大规模的集成电路,已达到理论上的极限。因而产生用生物芯片来取代硅的设想。科学家提出用分子作为电子学元件。这种生物芯片及有机计算机^[29],不但信息的存储量比普通集成电路计算机大十亿倍,而且运算速度也高一亿倍。它靠化学反应动作,无需消耗能量。研究途径一个用化学方法进行探索,另一个从生物学入手进行探索,合成兼有生物机体分子和有机分子的可能性。生物电子学是一门十分诱人的新的研究领域,它是生物学与电子学互相渗透,又与神经科学、有机化学交叉的新学科。

超微粒子这种高级科学技术,尽管目前尚处于实验室试验阶段,产量小、价格高,但它具有广阔的应用领域,因此很有必要开展这方面的研究工作。

参 考 文 献

- [1] Anderson, A., Maddox, J., What Magic Formula for Success? *Nature*, 305, 5933 (1983), 355.
- [2] 陈石卿译, 科学导报, 1(1986), 77.
- [3] 严车生、薛志麟等, 新型无机材料, 11, 1(1983), 1.
- [4] 吉住素彦, 化学, 10(1984), 23.
- [5] 加藤唱夫, 化学总说, 48(1985), 13.
- [6] 明石和夫, 化学总说, 48(1985), 29.
- [7] 学敏编译, 高级技术陶瓷, 国外科技动态, 5(1985), 44—49.
- [8] Stauffex, N.W., *Laser focus*, 19, 12(1983), 22.
- [9] 宇田雅宏、大野 悟, 日本金属学会讲演概要, (1981), 185.
- [10] 宇田雅宏, 日本金属学会会报, 22(1983), 412.
- [11] 小田正明, 固体物理别册特集号, 超微粒子テクネ技術セレー, (1984), 103.
- [12] 岩间三郎、浅田千秋, 精密机械, 48(1982), 94.
- [13] Iwama, S., Shichi, E., Sahashi, T., *Jpn. J. APPL. phys.* 12(1973), 1531.
- [14] Iwama, S., Hayakawa, K., Arizumi, T., *J. Crist Growth*, 66(1984), 189.
- [15] Howard, G.B., Shao-Tang Sun, *Anal. Chem.* 57, 5(1985), 151R.
- [16] Allen, T., *particle Size Measurement*, 3rd Edn. Chapman & Hall, (1981).
- [17] Kay, H., *Techniques for Electron Microscopy*, 2nd Edn. Blackwell Scientific publications, Oxford, (1985).
- [18] Pielaszik, J. et. al., *J. Catal*, 80(1983), 479—481.
- [19] Bartholomew, C.H., *Ind. End. Chem. prod. Res. Dev.* 21(1982), 523.
- [20] Al-Saden, A.A. et. al., *J. Colloid Interface Sci.* 86(1982) 51—52.
- [21] Imae, T., Ikeda, S., *Colloid polym Sci.* 262(1984), 497—506.
- [22] Buw, K.J., *Anal. proc(London)*, 21(1984), 133—134.
- [23] 河本邦仁, 化学总说, 48(1985), 47.
- [24] 陈隆智, 真空, 2(1982), 42.
- [25] 陈隆智, 自然杂志, 2(1982), 134.
- [26] 武田义章, 化学总说, 48(1985), 143.
- [27] 孙光摘译, 国外科技动态, 11(1985), 25.
- [28] 文学敏摘译, 化学经济, 2(1984), 61, 国外科技动态, 1(1985), 30.
- [29] 是兆雄, 自然杂志, 9, 3(1986), 216.

A Study on Ultra-Fine Particle and Its Application

Chen Qiren Sun Rongchuan Huang Jinsua Wang Guangwu

Abstract

This paper presents a new type function material of ultrafine particle. It deals with preparation method, particle size measurement, physicochemical property, applications in chemical industry, electronic industry, research on frontiers of science and basic theory.

Some subjects are proposed herein for preferential consideration; (1) Introduce from abroad the production specification of photoactive material and electronic component material; (2) precise ceramics; (3) sensor; (4) application of ultra-fine particle in photo-chemistry and laser chemistry; (5) application of ultra-fine material in moletronics.