

按语 能源是与人类社会生存与发展密切相关的问题.持续发展是全人类的共同愿望与奋斗目标.矿物能源会很快枯竭,这是大家的共识.我国是能源短缺的国家,石油储量只占世界的2%,仅够再用20余年,即使占我国目前能源构成70%的煤,也够用100余年.我国的能源形势十分严峻,能源安全将面临严重挑战.

矿物燃料燃烧时,释放出 SO_2 , CO , CO_2 , NO_x 等对环境有害的物质,随着能源消耗量的增长, CO_2 释放在快速增加, CO_2 浓度的增加是地球气候变暖的重要原因,而气候变暖将对生态环境造成严重的破坏,危及人类的生存.如何提高化石能源利用率,开发先进能源,是十分紧迫的任务.

推动科学发展的最终动力是社会需求,科学发现又会推动社会快速发展.本刊介绍的先进电池,绝大多数是属于化学电源,但无一例外都与物理密切相关.上世纪70年代,物理学家发现的储氢合金,推动了镍氢电池的研究.同一时期,对石墨嵌入物理的研究,导致了锂离子电池的出现.近年来,对纳米材料的研究,不仅促进了纳晶 TiO_2 太阳能电池的发展,也会对其他新能源技术的发展起重大推动作用.本刊组织这一专题的目的是希望有更多物理学家关注与新能源相关的技术、材料和器件的研究,利用物理方法研究现有能源器件中的一些基本物理问题,特别是利用物理学的最新研究成果去研制出新的能源器件,为解决我国的能源问题作出应有贡献.

(中国科学院物理研究所 陈立泉)

燃料电池概述*

刘建国 孙公权[†]

(中国科学院大连化学物理研究所 大连 116023)

摘要 燃料电池在固定与分散电站、交通运输、移动电源等方面广阔的应用前景现已受到许多研究单位和公司的广泛关注.文章简要介绍了几种主要类型燃料电池(碱性燃料电池 alkaline fuel cell, AFC)、磷酸燃料电池(phosphoric acid fuel cell, PAFC)、熔融碳酸盐燃料电池(molten carbonate fuel cell, MCFC)、固体氧化物燃料电池(solid oxide fuel cell, SOFC)、质子交换膜燃料电池(proton exchange membrane fuel cell, PEMFC)、直接醇类燃料电池(direct alcohol fuel cell, DAFC)的特点、研究状况、市场需求和技术挑战.初步探讨了我国燃料电池研究开发的前景.

关键词 燃料电池,能源,能量转换效率

A survey of fuel cells

LIU Jian-Guo SUN Gong-Quan[†]

(Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023, China)

Abstract Recently fuel cells have received enormous attention from research institutions and companies on account of their potential application in the areas of transportation, stationary and distributed power generation, and portable power sources. The characteristics and status including technological challenges and potential market for fuel cell systems are briefly surveyed, with particular emphasis on the prospects in China.

Key words fuel cell, power source, efficiency of energy conversion

* 国家高技术研究发展计划项目(批准号 2003AA517040)、国家自然科学基金(批准号 20173060)资助项目,中国科学院知识创新工程领域前沿项目(批准号 K2001D1, K2003D2)

2003-06-09 收到初稿 2003-07-10 修回

[†] 通讯联系人 E-mail: gqsun@dicp.ac.cn

1 引言

燃料电池是一种将燃料和氧化剂的化学能直接转换成电能电化学反应装置. 图 1 表示了燃料电池的工作原理. 一节燃料电池由阳极、阴极和电解质隔膜构成. 燃料在阳极氧化, 氧化剂在阴极还原, 从而完成整个电化学反应. 电解质隔膜的功能为分隔燃料和氧化剂并起到离子传导的作用. 1839 年, 英国科学家 Grove 首先介绍了燃料电池的原理性实验^[1]. 约 100 年后, Bacon 采用多孔气体扩散电极制备了培根型碱性燃料电池(AFC). 20 世纪 60 年代, 燃料电池首次应用在美国航空航天管理局(NASA)的阿波罗登月飞船上作为辅助电源, 为人类登月球做出了积极贡献, 燃料电池的研究进入了快速发展阶段. 后来称这一时期为燃料电池开发的太空时代(space era). 1973 年, 在全球能源危机的刺激下, 为了提高能源利用率, 研究重点从航天转向地面发电装置, 磷酸燃料电池(PAFC)、熔融碳酸盐电池(MCFC)以及直接采用天然气、煤气和碳氢化合物作燃料的固体氧化物燃料电池(SOFC)作为电站或分散式电站相继问世, 燃料电池的研究与开发掀起了新高潮, 这一时期称为燃料电池开发的能源时代(energy era). 其后, 随着能源危机的缓解, 燃料电池的研究也随之冷淡下来. 80 年代末期, 环境污染问题逐步恶化, 1987 年美国公布了来自发电站和交通运输方面的废气, 如 CO、NO_x、SO_x、粉尘等的污染物几乎相等, 且总量超过大气中污染物的 90% 以上, 以提高能源利用率, 减少环境污染为目标的燃料电池研究开发工作引起了各国政府及科学家的重视, 促进了燃料电池开发的环境时代(environmental era)的到来. 1993 年, 加拿大 Ballard 电力公司展示了一辆零排放、最高时速为 72km/h、以质子交换膜燃料电池(PEMFC)为动力的公交车^[2], 引发了全球性燃料电池电动车的研究开发热潮. 许多发达国家相继投入了大量人力、财力开展以 PEMFC 为动力电源的电动车、舰船、潜艇、水下机器人等研究与开发工作, 并取得了长足进展. 近些年来, 由于直接醇类燃料电池(DAFC)的结构简单, 燃料存储携带方便等特点, 在移动电源、微型电源以及传感器件等方面具有广阔的应用前景, 作为一支新秀已成为燃料电池研究与开发的新的热点之一.

2 燃料电池的特点与技术状况

燃料电池直接将燃料和氧化剂的化学能转换为

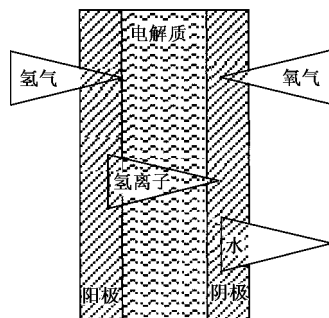


图 1 燃料电池工作原理图

电能, 不受卡诺热机循环的限制, 只要提供燃料即可发电, 其特点可概括如下:

(1) 能量转换效率高. 理论上燃料电池的能量转化效率可高达 85%—90%. 实际电池在工作时由于受各种极化的限制, 目前各类燃料电池的能量转化效率约在 40%—60%. 若实现热电联供, 燃料的总利用率可达 80% 以上.

(2) 环境友好. 当燃料电池以富氢气体为燃料时, 其二氧化碳的排放量比热机过程减少 40% 以上, 若以纯氢气为燃料, 其化学反应产物仅为水, 从根本上消除了 CO、NO_x、SO_x、粉尘等大气污染物的排放, 可实现零排放.

(3) 安静. 燃料电池按电化学反应原理工作, 运动部件少、工作噪声低. 实验表明, 一个 40kW 的 PAFC 电站, 与其相距 4.6m 的噪声水平仅为 60dB, 而 4.5MW 和 11MW 的大功率 PAFC 电站的噪声水平也不高于 55dB.

(4) 可靠性高. AFC 和 PAFC 作为空间电源、各种应急电源和不间断电源以及分散式电站的实际运行均证明了燃料电池的高度可靠性.

正是由于这些突出的优越性, 燃料电池技术的研究与开发备受各国政府与公司的青睐, 被认为是 21 世纪首选的、洁净的、高效的发电技术. 各种燃料电池的发展与具体的研究与开发状况已有专门报道, 其技术状况如表 1 所示.

3 燃料电池的市场需求与技术挑战

世界石油储量与快速消耗的矛盾迫使各国政府千方百计地寻求新能源和提高现有资源的利用率, 以确保社会的繁荣昌盛与国家的长治久安. 随着环境污染问题越来越受到重视, 迫切需求新型无污染或零排放的交通运输工具. 高能量密度、便携式的移动电源不仅在国防建设和国家安全领域需求迫切,

表1 燃料电池的技术状况

电池类型 工作温度	导电离子	所用燃料	功率/kW	燃料效率(%)	寿命/h	成本估算/(\$ /kW)	应用领域
AFC 50—200℃	OH ⁻	纯氢气	20—100	65	3 000—10 000	1 000	航天、空间站等
PAFC 100—200℃	H ⁺	重整气	200—10 000	40—45	30 000—40 000	200—3 000	现场集成能量系统
MCFC 650—700℃	CO ₃ ²⁻	净化煤气 天然气 重整气	100—5 000	50—55	10 000—40 000	1 250	电站 区域性供电
SOFC 800—1000℃	O ²⁻	煤净化气 天然气	25—5 000	50—60	8 000—40 000	1 500	电站 联合循环发电
PEMFC 25—100℃	H ⁺	氢气 重整氢	0.1—200	40—50	10 000—100 000	50—2 000	电动车、潜艇、 电源
DAFC 25—150℃	H ⁺	甲醇 乙醇等	0.1—10	30—45	1 000—10 000	1 000	移动电源 微型电源

而且在移动通讯、微型动力源等民用方面也具有广阔的应用前景。

燃料电池技术提供了一种能提高能源利用率、减少废气排放的发电方式(具体参见文献[3—14])，其自身的优越性决定了在上述领域中的应用前景。然而，燃料电池的商业化仍需克服技术、经济等方面的障碍。电池先进材料的开发制造技术、电池核心部件的制备组装技术以及其他以降低造价、延长寿命、提高可靠性为目的的电池系统及其子系统，如燃料处理、氢气储运、水热管理、热电联用、系统的监测与控制等都是制约燃料电池商业化的重要因素。就目前的技术状况而言，燃料电池的市场需求可能来源于以下几个方面。

3.1 固定电站和分散式电站

燃料电池用于大型电站和分散式电站，可以显著提高发电效率。从长远来看，有可能对改变现有的能源结构、能源的战略储备和国家安全等具有重要意义。

PAFC 的商业目的主要是以天然气、重整富氢气体为燃料的电站和分散电站，为旅馆、公寓、工厂、商店等实现热电联供。目前一系列兆瓦级 PAFC 电站已进行了试运行，其中，美联合技术公司(UTC)生产的 200kW PC-25 燃料电池有 200 多台。PAFC 电站技术已基本成熟，采用碳黑和石墨作电池的结构材料不仅具有较高的电导率，而且在酸性条件下具有较高的抗腐蚀能力。阳极铂催化剂载量现已降至 0.1 mg/cm²，阴极约为 0.5 mg/cm²。该电池的主要

问题是在较高工作温度(200℃)和压力(0.8 MPa)下，电池主要结构材料的腐蚀导致铂电催化剂活性与寿命降低。

MCFC 和 SOFC 属于高温燃料电池，余热利用价值较高，如将余热发电计算在内，其燃料的总热利用率分别为 70%—80% 和 60%—70%，可以采用脱硫煤气、天然气和各种碳氢化合物为燃料，在高效、环境友好的分散电站方面具有明显的优势。对于发电能力在 50kW 左右的小型电站，可用于地面通讯、气象台站等；发电能力为 200—500kW 的中型电站，可用于水面舰船、机车、医院、海岛和边防的热电联供；而发电能力在 1000kW 以上的 MCFC 电站，可与热机联合循环发电，进行区域性供电或与市电并网。

1996 年，美国 ERC 建成了内重整 2000kW MCFC 电站，该电站每台电池组的功率为 125kW，由 258 节单池组成，最大输出功率为 1930kW，共运行了 5290 小时，输出电能 2500MW 时，距电站 100 英尺处的噪声约为 60dB。日本从 1981 年开始研究发展 MCFC 技术，在月光计划和新阳光计划框架内，先后组装了外重整式 100—1000kW 实验电站，以液化天然气外重整为燃料，电池运行动力输出已达 900kW，热电效率为 45%。现有 MCFC 的寿命若能达到 4—5 万小时，则可与现行的发电技术(如火力发电)相竞争，实现商业化。目前的技术挑战是改进 MCFC 的关键材料与制备技术，隔膜是该电池的核心部件。早期的 MCFC 主要采用氧化镁隔膜，由于氧

化镁在熔盐中可微弱溶解,制备的隔膜易于破裂,现普遍采用带铸法制备偏铝酸锂电池隔膜,改善了离子电导率和抗碳酸熔盐腐蚀,但电池关键材料的腐蚀等问题依然存在,电池使用寿命与商业化要求尚有很大差距。

SOFC 有管型和平板型两种结构。工作温度约为 900—1000℃。德国的 Siemens Westinghouse Power Corporation 已经制造和运行了多套功率为 220 kW 的管式 SOFC 电站,并形成了每年 4 MW 的生产能力,该电池的寿命预期为 10 年,未来商品化的寿命预期为 10—20 年。加拿大的 Global 热电公司的研发方向为中温平板型 SOFC,主要面向分散供电、家庭热电联供市场。目前该公司已经形成每年 1 MW 的生产能力,并开始向市场提供 5 kW 辅助电源。德国、法国、荷兰、英国、西班牙、丹麦等多个国家也先后开展了 SOFC 的研究与开发。

管型 SOFC 主要特点是电池组装相对简单,缺点是电流通过电池的路径较长,电阻较大,限制了 SOFC 的性能。平板式 SOFC 的优点是制备工艺简单,造价低,由于电流收集均匀,流经路径短,其输出功率密度高于管式。主要缺点是密封困难、抗热循环性能较差及难以组装成大功率电池组。值得关注的是近些年来 SOFC 发展趋势是 600—800℃ 的中、低温电池组,工作温度的降低,可以在很大程度上拓展电池材料的选择范围,提高电池运行的稳定性和可靠性,降低电池系统的制造和运行成本。开发在氧化还原气氛中具有足够的稳定性、离子电导率高、与其他电池材料具有化学相容性的电解质隔膜仍然是 SOFC 的研究重点。

美国能源部、国防部和 NASA 对 SOFC 和 MCFC 两种燃料电池的研发高度重视,2003 年美国财政年度计划投资 \$ 47 000 000,其中约 \$ 11 500 000 用于开发中央电站发电技术,其余的资金用于分散电站的开发。

3.2 交通运输等动力电源

就目前的技术状况而言,PEMFC 在交通、运输、低容量分散型电站等方面具有良好的市场前景,如电动车、潜艇的动力电源以及海岛、矿山、医院、商店等使用的移动电源。

继加拿大 Ballard 电力公司 1993 年成功地演示了 PEMFC 电动巴士以来,国际上著名的汽车公司对 PEMFC 给予了高度重视,不同类型的概念车相继问世,如戴姆勒-克莱斯勒公司的 Necar1-5 型、雷诺公司的 Laguna 型、福特公司的 P2000 型、马自

达公司的 Demio 型、丰田公司的 RAV4 型以及大众、通用、尼桑公司的概念车均采用 PEMFC 为单一动力或混合动力,在电池系统和整车研制方面取得了可喜的成就。

P2000 型电动轿车以高压(24.82MPa)纯氢气为燃料,三台 Mark700 型 25kW PEMFC 置于轿车后部行李箱底层,两个 41L 的碳纤维增强的贮氢罐置于轿车后部行李箱上层,空气过滤与增压部分置于轿车前部,整个系统重 295kg。轿车前轮驱动部分由电机、逆变器、场矢量控制组成,DC-DC 转换器,12V 辅助蓄电池等部件均置于轿车前部,总重 114kg。该车时速大于 80km/h,从零加速至 30km/h、60km/h 分别为 4.2s 和 12.3s,可与内燃机车相媲美并具有较高的能量利用效率。Necar5 电动轿车以车载甲醇重整制氢为燃料,发动机功率为 75kW,最高时速达 152—160km/h,一次加甲醇(55 加仑)可行驶 640—720km。

PEMFC 另一个巨大的市场是潜艇动力源。核动力潜艇由于其造价高、退役时核动力设备处理较难等一系列问题不可能大量建造。而常规的柴油机和铅酸电池为动力的潜艇工作时的噪声、发热以及通气管等使得潜艇的隐蔽性与安全性受到严重威胁。因此,研究不依赖空气、可在水下长时间航行、并能完成各种任务的非核动力潜艇已势在必行。德国 Siemens 公司已建造了四艘以 300kW PEMFC 为动力的混合驱动型潜艇,计划在 2003 年用作德国海军新型 212 型潜艇的动力电源。以 PEMFC 为动力的潜艇续航能力比斯特林发动机约长一倍,大大增强了潜艇的水下续航能力与作战能力,并提高了安全性与隐蔽性。

其他应用市场,如无缆水下机器人、家庭用分散电站、移动电源、不间断电源等也正在积极的开发中。随着 PEMFC 技术的日臻完善和成本的不断降低,新的应用市场也必将显露和开发出来。

从技术层面讲,目前有关 PEMFC 关键材料如电催化剂、电极、质子交换膜、双极板等均取得了长足的进展,多孔电极、电池、电池组的制备组装技术也日臻完善。目前主要的技术挑战可能来源两个方面,一是燃料电池普遍存在的成本较高问题,就 PEMFC 而言,由于电极使用的均为铂基电催化剂,除了成本较高外还存在该贵金属的资源有限问题。质子交换膜、双极板等关键材料的成本也居高不下。二是氢源问题,现已成为 PEMFC 商业化的主要障碍。目前解决氢源问题大体有三种技术方案,一是使

用纯氢气;二是使用贮氢材料储氢;三是重整制氢,即将汽油、甲醇等液体燃料通过重整器制取氢气,世界许多石油公司已介入汽油重整制氢的开发,期望在不改变汽车燃料供应这一公用设施的前提下,以汽油重整制氢作燃料电池电动车的氢源,包括车载、艇载制氢(on board)和现场(on site)制氢。

美国 Freedom CAR 计划中 2003 年财政年度预算为 \$ 97,400,000,包括用于 PEMFC 的研发(\$ 57,500,000)和氢气生产、储存研究开发(\$ 39,900,000)。车载制氢必须解决氢气的纯度问题,以确保 PEMFC 的使用寿命。此外,还要满足快速启动和对燃料波动快速响应的要求。只有解决氢气燃料系统和储氢技术,电动汽车才会具有预想的能源利用率和环境友好性。实际上,无论是交通运输还是移动电源、小型电站,安全、高效、洁净、经济的氢气制造和输送技术都是至关重要的。

3.3 便携式移动电源

Direct alcohol fuel cell (DAFC) 由于以甲醇、乙醇等液体燃料直接进料,无需重整装置,结构简单,体积小、方便灵活,且燃料来源丰富、价格便宜、便于携带与储存,现已成为国际上研究与开发的热点。Direct methanol fuel cell (DMFC) 的理论比能量密度约为锂离子电池的 10 倍,贮能方面与各种常规电池相比优势明显。作为偏远地区、海岛荒漠等小型独立电源,国防通讯、单兵作战武器电源、车载武器电源、微型动力源以及传感器件等方面具有广阔的市场前景。目前研究较多的是以液体甲醇水溶液直接进料的 DMFC。

以美国 Los Alamos 国家实验室、陆军研究室、Argonne 国家实验室为主的一些单位,其主攻方向是军用百瓦级小型移动电源及传感器件。2001 年 5 月,美国陆军研究室投资 3500 万美元,组织了由 22 个单位参加的技术合作联盟主攻 DMFC,重点开发单兵作战武器电源的 DMFC。上述各单位除了得到陆军研究室的资助外,其他部门也给予了很大强度的资助。2003 年 2 月 14 日,美国总统布什试用了 Mechanical Technology Inc. 研制的以 DMFC 为电源的手机进行了长时间通话。MTI 宣称这种用于移动电话的微型 DMFC 将于 2004 年推向市场。德国的 Smart Fuel Cell 公司宣称他们生产的小型 DMFC 使用 125ml 甲醇可使笔记本电脑连续工作 8 小时以上。2003 年 3 月,日本东芝公司发布了一款用于笔记本电脑的 DMFC 样机,它使用 50ml 的甲醇溶液可以连续工作 5 个小时,预计 2004 年正式投入生产。

韩国三星等大公司也先后开展了微型 DMFC 的研究开发工作。毫无疑问,这不仅将引起电池行业的一次革命,而且必将带动一系列高新技术产业的问世。

DMFC 的技术挑战目前主要有三方面,一是常温下醇类燃料的电氧化速度较慢,电流密度较低;二是目前所用的贵金属电催化剂不仅成本较高而且易被甲醇氧化产生的 CO 和中间产物毒化;三是电池工作时甲醇从阳极到阴极的渗透率较高,致使电池性能下降和使用寿命缩短。

当然,对于任何一种燃料电池,虽然各有不同的因素制约其商业化,但价格和寿命是所有燃料电池必须解决的两个关键问题。

4 展望

我国燃料电池研究始于 20 世纪 50 年代末,70 年代国内的燃料电池研究出现了第一次高峰,主要是国家投资的航天用 AFC,如氨/空气燃料电池、肼/空气燃料电池、乙二醇/空气燃料电池等。80 年代我国燃料电池研究处于低潮,90 年代以来,随着国外燃料电池技术取得了重大进展,在国内又形成了新一轮的燃料电池研究热潮。1996 年召开的第 59 次香山科学会议上专门讨论了“燃料电池的研究现状与未来发展”,鉴于 PAFC 在国外技术已成熟并进入商品开发阶段,我国重点研究开发 PEMFC、MCFC 和 SOFC。中国科学院将燃料电池技术列为“九五”院重大和特别支持项目,国家科委也相继将燃料电池技术包括 DAFC 列入“九五”、“十五”攻关、“863”、“973”等重大计划之中。

燃料电池的开发是一较大的系统工程,“官、产、研”结合是国际上燃料电池研究开发的一个显著特点,也是必由之路。目前,我国政府高度重视,研究单位众多,具有多年的人才储备和科研积累,产业部门的兴趣不断增加,需求迫切,这些都为我国燃料电池的快速发展带来了无限的生机。

另一方面,我国是一个产煤和燃煤大国,煤的总消耗量约占世界的 25% 左右,造成煤燃料的极大浪费和严重的环境污染。随着国民经济的快速发展和人民生活水平的不断提高,我国汽车的拥有量(包括私人汽车)迅猛增长,致使燃油的汽车越来越成为重要的污染源。所以开发燃料电池这种洁净能源技术就显得极其重要,这也是高效、合理使用资源和保护环境的一个重要途径,燃料电池技术很可能成为 21 世纪最具竞争力的能源新技术之一。

参 考 文 献

[1] Grove W R. Phil. Mag. ,1839 ,14 :127
 [2] Prater K B. J. Power Sources ,1993 ,37 :181
 [3] Williams M ,Fuel cell :Realizing the potential. In :Fuel cell seminar abstracts ,Portland ,2000. 5
 [4] Hart D. Opportunities for fuel cell power systems in the liberalized European. In : Fuel cell seminar abstracts , Portland , 2000. 17
 [5] Minh N Q ,Takahashi T. Science and Technology of Ceramic Fuel Cells. Amsterdam :Elsevier ,1995
 [6] EG&G Services ,Parsons ,Inc. ,Science Applications International Corp. Fuel Cell Handbook(5 ed.). West Verginia : DOE-National Energy Technology Laboratory 2000

[7] Jost K. Automotive Engineering ,1997 ,105 :151
 [8] Docter A. J. Power Sources ,1999 ,84 :194
 [9] Ogden J M. J. Power Sources ,1999 ,79 :143
 [10] Kordesch K ,Simader G. Fuel cells and their applications , Weinheim :WILEY - VCH ,1996
 [11] McNicol B D ,Rand D A J ,Williams K R. J. Power Sources , 1999 83 :15
 [12] Wasmus S ,Kuver A. J. Electroanal. Chemistry ,1999 ,461 : 14
 [13] Toshiba unveils prototype DMFC for portable PCs , Fuel Cell Bulletin , May 2003 ,1
 [14] Smart Fuel Cell unveils mobile electronics , Fuel Cell Bulletin , May 2003 2



· 物理新闻与动态 ·

原子振动提供的信息

组成液体、气体以及固体的原子都是处于运动状态的。在许多物质中的原子在振动时的微小差别会在物质的宏观性质上带来重大的差别。例如材料中杂质原子的运动常常能决定该材料是不是一种有用的半导体，同样对原子运动的测定可以了解材料的高温超导性、非常磁阻和其他许多重要的物理性质。

近来东京大学、日本同步辐射加速器研究所、日本原子能研究所和大阪教育学院的科学家们联合发展了一种新的对原子振动的测量方法，这个方法超越了传统的测试技术。它的关键点是能将核共振的非弹性散射进行更好地细化。当 X 射线作用在粒子束时，它将顺序地激发原子发射 γ 射线，也就是形成了激发原子的同步辐射，这种辐射称为非弹性散射。过去的测试技术也能识别材料中的各种原子，但它却不

能将同种原子处于不同构象或状态区分开来。现在的突破点是科学家们通过激发原子同步辐射脉冲来观察辐射时间谱的振荡。量子拍测定出材料中的原子处在不同构象态的比例。他们对磁性材料氧化铁中铁原子的状态作了研究，利用新的技术观察到材料中有 2/3 的铁原子，其周围有 6 个氧原子，而剩余的 1/3 的铁原子的周围只有 4 个氧原子。在 γ 辐射讯号中的量子拍是核共振非弹性散射状态的反映，它清晰地显示出了铁原子的两种不同的原子团构象。

以 Makoto Seto 教授为首的科学家们认为，他们的这项新技术还可应用到研究复杂的凝聚物与生物大分子中原子的动力学性质和一般物质的差别上，这样必然能使我们对这类复杂物质有更为深入的了解和掌握。

(云中客 摘自 Physical Review Letters ,31 October 2003)



· 信息服务 ·

北京汇德信诚聘技术销售经理

北京汇德信科技有限公司(GermanTech Co., Ltd)是由中国数位留德硕士、博士根据自己的专业特长创办的高新技术企业。公司专业化代理德国各种微纳米技术产品，该类产品广泛用于高校、科研院所和微纳米工业企业。

用于微电子工业技术产品包括：飞行时间二次离子质谱仪，晶片表面形貌和缺陷分析技术，晶片包装和转移系统，精密仪器设备减震系统，电磁屏蔽技术等等。

公司为拓展技术销售和服务，特诚招技术销售经理一名。要求如下：

- (1)本科或以上学历，物理、材料、电子工程及分析仪器专业者优先；
- (2)有三年以上工作经验，在微电子行业或在微纳米分析技术方面有工作经验者优先；
- (3)英语流利；
- (4)为人正直，有信用。

工作地点：上海，北京

有兴趣者可浏览本公司网页：www.germantech.com.cn，应聘资料请寄：germtech@public3.bta.net.cn

电话 010-82867920 82867921 82867922 联系人：李新涛先生