



神奇的纳米技术

马建军

(徐州空军后勤学院教保处 江苏 221000)

王长军

(徐州市公路工程公司)

一、科学巨匠遭冷遇,柳暗花明又一村

著名物理学家,诺贝尔奖获得者理查德·费恩曼在1959年12月29日召开的美国物理年会上满怀激情地发表了《底层大有可为》的报告,大胆提出“用原子搭积木”的设想。他说:“当我们深入并游荡在原子周围,我们将按照不同的定律活动,会遇到许许多多新奇的事情,能以全新的方式生产,完成异乎寻常的工作。”并提出“我们为什么不可以从单个分子甚至原子开始进行组装,达到我们的要求?”当时连分子、原子是什么样都看着,谈何对原子进行操纵组装呢?简直是痴人说梦。这一个天才创见,却受到当时主流科学家的怀疑和冷遇,甚至嘲弄他只是一个“击鼓手”(他打鼓比较有名气)。

1981年联邦德国学者宾尼格和瑞士学者罗雷尔及其同事们成功地研制出世界上第一台扫描隧道显微镜(STM),STM使人类第一次可以实时地观测单个原子在物质表面的排列状态和与物质表面电子行为有关的物理性质和化学性质。STM分辨率极高,横向分辨间距为0.01nm,纵向间距为0.001nm,只有原子直径的1/10。这种显微镜不仅可使人类目睹原子的“庐山真面目”,清晰地看到材料表面3维的原子结构图;而且还可以实施对单个原子、单个分子的直接操纵,按人的意向排布原子和分子,装组原子积木。真是山穷水尽疑无路,柳暗花明又一村。宾尼格、罗雷尔和鲁斯卡这一创举使他们在1986年获得了诺贝尔物理学奖。STM是利用探针和样品间的电相互作用,即用隧穿电子作检测信号的,只能对导体和半导体进行直接观察、检测和操作,对非导体和生物活细胞无能为力。是否可以用探针尖与样品间的原子斥力作为信号呢?1986年,宾尼格、奎特和格伯依此设想研制出原子力显微镜(AFM)。而后他们又利用在无外场作用下根据探针与样品间的

电、光、力、磁、热等相互作用,先后研制成对摩擦力成像的摩擦力显微镜(LFM)、对磁力成像的磁力显微镜(MFM)、静电场成像的电子显微镜(EFM)、弹道电子发射显微镜(BEEM)、探测离子通道的扫描离子电导显微镜……形成一系列观察、检测和操纵微观世界粒子的扫描探针显微镜家族。这些显微镜的突出特点可以形成对单个原子观测的3维成像,分辨率高,使用条件比较宽松,可以在空气或液体环境中成像。

利用扫描隧道显微镜,1990年4月,美国IBM公司阿尔梅德研究中心的研究者用一次移动一个原子的方法,用35个氦原子在镍材料表面上刻出“IBM”3个英文字母。1991年11月,日本科学家用STM的超微探针将硅原子堆成一个“金字塔”,在世界上首次实现原子3维空间的手工排列,在原子物理学界引起了轰动。我国科学家用STM在石墨表面写出“中国科学院”的英文缩写“CAS”,字的尺度为200纳米×200纳米,按照这个尺寸,可以在大头针尖这样微小面积上纪录一部《红楼梦》的全部内容。

二、纳米技术争奇斗艳,万紫千红春满园

纳米技术是在研究材料的微观量子效应(量子波运动)的特征和独特结构的科学基础上,研究尺度在0.1~100纳米材料结构内(量子点)探测、识别、控制量子及量子波的运动规律,然后利用扫描隧道显微镜、原子力显微镜、晶向取向附生、自组装材料技术和化学装配技术等方法,对纳米空间内材料表面的原子、分子、原子团、分子团进行提取、植入和转移,使之按照人的意向以精确完美的控制和准确入微的离散技术,实现快速操作和排布单个原子、单个分子定位,形成新的原子结构和分子结构。这种对材料的原子结构和分子结构进行重新组合的纳米加

现代物理知识

工技术,将使人类直接以分子、原子在纳米尺度上制造出具有特定功能的产品、微型器件和设备,实现生产方式的飞跃。纳米科技几乎涉及所有的学科和领域,目前国际上已将纳米科技分为纳米物理学、纳米化学、纳米生物学、纳米电子学、纳米加工学和纳米计量学等6个分支学科。在纳米技术上当前主要发展纳米材料、纳米器件和纳米检测与表征等三个方面。纳米物理学和纳米化学是纳米技术的基础研究。因为纳米材料的物理性质和化学性质既不同于宏观物体,也不同于微观的原子和分子。当物质组成材料的尺寸达到纳米量级时,纳米材料会将表现出异常奇特的性质,其力、热、电、磁、光和化学性能将发生巨大变化。

1. 纳米材料是推进高技术发展的奇珍异宝

当微电子集成电路芯片尺寸小到 $0.07\sim 0.01\mu\text{m}$ 时(微电子技术发展的物理极限),由于该空间电子数目很少,只有几十个或几个电子,此时经典物理普通定律失效,纳米材料的量子效应特征和功能将处于主宰地位,此时半导体量子阱、量子点阵器件的性能要比体材料性能有很大提高。科学家正在开发单电子晶体管集成电路和量子计算机。1998年夏天,荷兰科学家在室温条件下制造出单分子晶体管,这个只有 $4\sim 5$ 个原子长度的电路打破了硅晶体微电子器件无法逾越的极限物理尺寸限制。美国IBM公司用碳纳米管制造出晶体管。预计到2015年,量子计算机、量子波计算机、量子通信和量子波通信设备,甚至家用量子设备将普遍出现。届时,量子器件速度可比微电子器件快 $1000\sim 10000$ 倍,能耗可降低 1000 倍,量子微型处理器效率可提高 100 万倍。目前科学家正把纳米技术与生物工程相结合,研制生物计算机。美国加利福尼亚大学伦纳德·阿德拉曼博士在1994年就提出了DNA(脱氧核糖核酸)计算机原理,并成功地在DNA溶液试管中演示了运算过程。1998年9月,美国普林斯顿一研究所两位科学家首先获得了DNA计算机的一项专利,是DNA计算机技术的重大突破。目前,DNA计算机已经可以对赫母霍兹等数学问题求解。美国、德国和日本的科学家正在研究一种具有生命力的DNA神经网络芯片,试图把具有生命力的神经元与计算机芯片连接起来,利用计算机来控制芯片上的神经元,这种DNA神经网络芯片将具有人的大脑功能。DNA计算机可以实现超大规模并行运算,运算速度极快,几天运算量就相当于目前世界上所有计算机

问世以来的总运算量,其存储器容量超过目前世界上现存所有计算机的存储容量,DNA计算机能耗极低,仅是普通计算机的 10 亿分之一,而且不受电磁干扰。DNA计算机可以实现现代计算机无法实现的模糊推理功能和神经网络功能。DNA计算机技术已经取得重大突破,它的实现将使信息技术走向更高级层次,将引起世界上各个产业和领域发生重大革命,届时可以使各种生产方式、机械设备具有高级人工智能,用于军事它可以形成坦克、飞机、导弹、灵巧武器、雷达和 C^4I 系统的神经网络,这种神经网络计算机具有学习、发现、视觉、理解、归纳、推理、判断功能,并将与人的大脑神经元相连,开拓人类的创造智慧。这种计算机问世必将改变人类社会的生产方式、经济结构模式和人类的生活方式。

一些纳米材料具有特殊的磁性,如具有超顺磁性、超铁磁性、超反磁性和磁相变温度发生变化的特征。利用纳米材料这些特征可以制造低损耗、高频特性好、饱和磁化强度高的各种软磁材料,用于抗电磁干扰的通信设备、制导武器元器件和卫星抗电磁干扰器件。还可用于发展高记录密度和高信噪比的磁性记录材料,提高信息处理能力。例如纳米磁膜制成的光盘,其磁记录密度的信息储存量是现在光盘的 10^6 倍,在纳米磁光盘上可以储存 300 万亿个汉字。几乎可以把我国各图书馆藏书和资料存在一张纳米光盘上。在军事上能有效地提高 C^4I 系统的信息储存能力。

纳米材料具有十分奇特的力学性能,利用纳米技术可以“点石成金”。例如纳米陶瓷材料具有十分优异的强度、硬度、韧性、弹性模量和抗高温蠕变性能,可以机加工并能弯曲。用纳米陶瓷做飞机、汽车、坦克的发动机,其功率大、安全性好,可以大幅提高航行速度,节省油料。若用做装甲材料,其抗穿甲和破甲能力可以提高 $4\sim 5$ 倍。普通碳材料比钢的硬度、韧性低得多,但制成的纳米碳管硬度、强度却是钢的 100 倍,可以承受 100 万个大气压而不破裂,如果用纳米碳管制成碳纤维制造飞机、飞船受力部件,不仅可以大大增加飞机、飞船的强度、安全性,而且减少重量,增大载运能力。用纳米碳管纤维制成的防弹背心真可谓刀枪不入。纳米铜具有超乎寻常的超塑性和延发性,可以在室温下拉长 50 倍而不断裂,可谓“百折不挠”。纳米铁的断裂强度比常规铁材料高近 12 倍。这些力学性能令人十分惊奇。

纳米材料的光学性能更具有诱惑力。纳米薄膜

材料在较宽的频谱范围内对光、电磁波具有均匀吸收性能。例如氮化硅、碳化硅、氧化铝、氧化锌对红外光、雷达波具有宽频等吸收能力,用纳米薄膜涂敷在飞机、卫星、导弹、军舰、坦克表面,能有效吸收敌方雷达电磁波,起到隐身作用。目前美国已研制出纳米隐身“超黑粉”,对雷达波的吸收率高达 100%。利用吸收的雷达波,可以提前预警,避开各种带雷达导引头导弹的袭击,还可用反导武器对来袭导弹进行反击。利用纳米材料作为遮光剂,将纳米材料、薄膜涂敷在重要军事设施上,可避开敌方各种雷达对目标的侦察,达到伪装目的。

纳米金属材料在热力学性质方面具有很高的活性,能在空气中迅速燃烧甚至爆炸,例如用纳米铝粉做高燃烧材料,可以实现超高速燃烧,迅速释放能量,从而为研制新型高能炸药和推进剂开辟了途径。

纳米材料几乎可在航空航天、生物工程、医学保健、化工、建材、环保、能源、信息、光电技术、传感技术等各个领域得到应用。如人们日常用的纺织品掺入纳米材料可达到不沾油不沾水,而且免洗免熨的神奇效果。

2. 纳米器件是获取 21 世纪经济巨额利润的基石

当前,纳米技术的成果捷报频传:英国的一家超微研究所宣称,他们不仅能制造出一种误差只有 0.5 毫微米(即头发丝直径的几十万分之一)的高精度平面磨床,而且研制出转子直径只有 30 微米、转速为 2000 转/分的超微电机;1996 年美国哈佛大学毫微技术中心制造出的“极微机器人”的体积是跳蚤的 1/10,其中用硅材料制成的涡轮机直径只有 7 微米;法国超微技术研究所研制成功一种超微型电池,其长、宽、高尺寸都只有 0.004 微米,却可产生 30 毫伏电压,连续使用 75 分钟;中国 2001 年在北京科技展览会期间,展出了尺寸只有 0.5 毫米大小的电动机;美国航天微电子技术中心利用纳米技术制造出的电子-隧道位移传感器,重量和体积减少了 1 万倍,传感器的灵敏度却提高了近 2 万倍;德国研制一种微型直升机重量仅 4.00 毫克,其发动机直径仅 1 毫米,转速高达 4 万转/分,可以平稳地起降在一颗花生米上;美国麻省理工学院制造的微型涡轮喷气发动机可以产生 13 克推力,可带动 50 克重的飞机以 300 千米/小时速度飞行;1997 年澳大利亚分子工程研究中心制造出由分子构成的生物传感器,该传感器十分灵敏,如果有人把一块方糖仍到悉尼港口水

中,它可以测量出港湾内任何地方糖的增量,这种传感器可用于药品检测和环境监测,可以准确快速测量出糖尿病患者的血糖指数;美国波士顿大学化学家用 4 年时间,制造出仅由 78 个原子构成的分子电机,这种电机可用于制造微型机器人,它可以钻到人体血管、器官中,用于送药清污,治疗疾病;最近,美国麻省理工学院的专家制造出一种蚂蚁般大小的微型机器人,内部装有微型传感器,具有视觉、嗅觉、通信和触觉功能,它能飞、能爬、能在水中穿行,可用于侦察、排雷、引爆水雷、引爆导弹和攻击敌方 C⁴ 系统……

纳米分子器件将促使以微电子技术为代表的信息技术,转变为以分子器件为代表的智能信息技术的巨大飞跃。纳米分子器件可以克服半导体加工工艺存在的困难,大大突破微电子技术难以逾越的物理极限,而且分子器件的智能信息处理系统具有集成度高、开关迅速、传感器和致动器等功能器件易于集成到系统中,而且分子器件还可以包含有生物化学信息处理单元。分子器件最精细的结构可以达到单分子尺度,但它可以构成高级智能信息处理器件,例如可将 DNA 分子制成一个微处理器。

微机电系统(MEMS)是在微电子工艺基础上发展起来的多学科交叉的前沿研究领域。它主要研究和制造微型传感器、微型执行器、信号处理、智能器件和控制电路技术,并使其形成一体化微型机电产品。MEMS 的尺寸微小,只有微米—纳米范畴。专用集成微型仪表技术是在微机电制造技术基础上,利用传统的集成电路方法把传感器、微型执行器、信号处理器、智能器件和控制电路等集成在一块基片上。该基片具有高级智能,它具有识别、分析、判断、动作等功能。美国硅谷阿菲姆特斯公司已把数十万个 DNA 处理器集成在 1cm² 的基片上,用它可以检测和分析基因以及基因可能发生的突变;爱纳根公司把微基因阵列与微电极集成在一个基片上,可以同时检测数百个不同分子信息;还将毛细管微电泳阵列集成在一个 CD 光盘大小的基片上,可以同时分析和处理大量的生物和化学信息。

纳米分子器件、微机电系统、专用集成微型仪表技术将在军事领域引发一场巨大变革,纳米卫星、纳米导弹、纳米电子战系统、纳米侦察预警系统、隐身技术、雷达技术、导引头技术、纳米士兵等新概念武器都将会在战场上使用,并将使信息战争扩展到微观领域。“纳米微型军”,可以获取战场情报信息,攻

爱因斯坦和狄拉克谁对 20 世纪物理学发展贡献大

郁 忠 强

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

《现代物理知识》2001 年第 6 期上的有两篇文章:一篇是关于英国杂志《物理世界》最杰出的 10 位物理学家排名的报道,爱因斯坦位居榜首,而狄拉克排名第 8;另一篇是王正行先生的文章“狄拉克获诺贝尔奖的经过”,该文介绍了狄拉克在 20 世纪 20 年代对物理学的贡献和 30 年代物理学界对狄拉克的评价。读完这两篇文章后,细细想了一下爱因斯坦和狄拉克对 20 世纪物理学的贡献,有一些话想说。

王正行先生的文章一开头就说:“20 世纪物理学的第一位巨人当然是爱因斯坦。”毫无疑问,爱因斯坦是 20 世纪物理学的巨人,他对 20 世纪物理学的贡献是革命性的,影响是深远的。然而,回顾 20 世纪物理学的发展,特别是 20 世纪后半世纪物理学



的迅猛发展,狄拉克的贡献要比爱因斯坦的贡献大,而狄拉克仅排名第 8。我想简单介绍一下爱因斯坦和狄拉克对物理学的主要贡献,然后作一些比较,最后谈谈我的一些想法。

科学巨星——爱因斯坦

爱因斯坦对近代物理学的主要贡献是 1905 年提出的相对论和 1915 年创立的广义相对论。爱因斯坦提出的相对论主要根据两个基本原理:

相对性原理和光速不变原理。相对论打破了人们几千年以来所习惯的关于绝对空间和绝对时间的概念。爱因斯坦第一次告诉我们,世界是如此的复杂,空间和时间是不能完全分开的,它们是统一在一起的。他又指出物体的质量和能量是有关的,给出了著名的质能公式: $E=mc^2$ 。在牛顿力学中,时间、

击敌方信息系统;纳米导弹可以以智能方式攻击敌方飞机、导弹、火炮、坦克、军舰,使传统称雄称霸的威武壮观的航母战舰、飞机、坦克等败在“微型军”手下,届时将出现“小吃大”的战场奇观。

在经济上,以纳米分子器件、微机电系统和专用集成微型仪表为代表的纳米技术将获取巨额经济效益,它将促进 21 世纪头 10 年的经济大发展,将形成难以估量的庞大的高技术市场。其规模之大,将超过微电子芯片产业。美国政府早在 1993 年就将“微米和纳米级制造”列入国家关键技术,1995 年又将发展微机电系统和专用集成微型仪表技术用于制造纳米卫星。目前纳米技术在光学、医学、半导体、信息等领域的产品营销额已高达 500 亿美元,预计到 2010 年可高达 14400 亿美元。

3. 纳米检测技术是纳米技术的“制高点”

要制造出性能优越的纳米器件,必须搞清楚各种纳米材料结构的力、光、电、磁和热性能,研究纳米

空间内的化学反应过程、物理传输过程,以及原子、分子的排列、组装方式与奇异物质性能的关系。这样才能在理论指导下,发现新现象、新方法和新技术。美、日、德、英都相继组建了纳米检测研究机构,许多大学和研究所都建立了纳米技术研究中心,例如美国斯坦福大学、加州大学伯克利分校、康奈尔大学、霍普金斯大学等都先后建立了纳米检测与表征研究机构。许多国家不惜投入巨资,研究纳米材料新性能以及操纵排列组装原子的方法,其目的是抢占纳米技术制高点,使之在未来竞争中夺取主动权。

对纳米技术的发展,我们决不可以坐等观望。我国已在纳米材料、微电机制造技术上取得了许多成果。例如我国科学家最近用新方法、新工艺快速合成大量高质碳纳米纤维和单壁碳纳米管,在这个方面一举跃上世界先进水平。特别是快速生成单壁碳纳米管技术,目前世界上仅有美、日等少数国家才能生产。