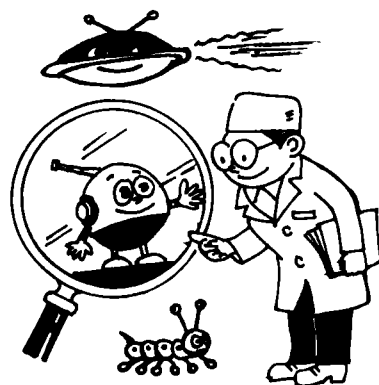


纳米技术的进展及军用前景

徐润君 陈心中

(中国人民解放军汽车管理学院 安徽省蚌埠市 233011)



近来科学家们纷纷预测：“纳米技术将是 21 世纪科技革命的生力军”、“纳米技术将像微电子技术引发科技革命一样，成为 21 世纪信息时代的核心”。

2000 年 1 月，美国政府发布了《国家纳米技术计划》，此计划被认为是面向未来的重大战略举措。克林顿总统于 2000 年 1 月 21 日在加利福尼亚大学理工学院演讲中提到：“我的 2001 年预算案支持一个价值 5 亿美元全新的国家纳米技术启动计划……使人类有能在原子和分子水平上操纵物质的能力。……”显然，美国政府已把崭露头角的纳米科学和纳米工程放在科学发展的优先考虑地位。

一、纳米材料和纳米技术

纳米是一个极小的长度单位，1 纳米 = 10^{-9} 米，即十亿分之一米。假设一根头发丝直径为 0.05 毫米，1 纳米长度则为该头发丝直径的 5 万分之一。一般说来，纳米材料是指尺寸由 1—100 纳米的超细微粒组成的固态或液态材料。

纳米技术是 20 世纪 80 年代末迅速发展起来的一门交叉性很强的综合学科，是在 0.1—100 纳米尺度上研究和利用原子与分子的结构、特性及其相互作用的高新技术。1993 年国际纳米科技指导委员会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。

纳米物理学和纳米化学是纳米科技的基础研究。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。当组成材料的尺寸达到纳米量级时，纳米材料表现出的性质与体材料有很大的不同。例如半导体量子阱、量子线和量子点器件的性能要比体材料的性能有很大的提高；当晶体小到纳米尺寸时，由于位错的滑移受到边界的限制而表现出比体材料高很多的硬度；纳米光学材料会有异常的吸收；体表面积的变化使得纳

米材料的灵敏度比体材料要高得多；当多层膜的单层厚度达到纳米尺寸时会有巨磁阻效应等。

试验证明，将 Al_2O_3 纳米颗粒加入橡胶中，可以大大增强其介电性能和耐磨性能；将纳米铁粉掺加到钇铝石榴石或钇镱石榴石中，可以制成工作温度为 20K 的磁制冷材料；纳米固体铁的断裂应力比常规铁材料提高了近 12 倍；一些纳米磁性材料在适当条件下还会出现一些特殊磁性，如超顺磁性、超铁磁性和超反磁性等。普通状态下呈脆性的陶瓷，而纳米陶瓷材料却能被弯曲，其塑性形变竟然高达 100%。

纳米材料结构的奇异性、鲜为人知的光学性质、特殊的导电机理、量子尺度效应和小尺寸介面效应等，都将通过纳米物理学的研究来揭示。

纳米加工包括原子操纵、纳米光刻布和纳米尺度的常规加工三方面，其中原子操纵是纳米加工学的主要研究内容。原子操纵是通过扫描隧道显微镜对纳米空间内材料表面的原子进行提取、植入和转移，也就是说，对材料的原子结构进行重新组合。这种超精细的纳米加工技术使人类改造自然的能力延伸到分子和原子领域，它的最终目标是直接以分子、原子在纳米尺度上制造具有特定功能的产品，实现生产方式的飞跃。

近 20 多年来，国际实验物理学界在纳米技术方面有了很大突破。例如，1988 年 5 月 27 日美国加利福尼亚大学的两位华裔科学家研制的只有 3% 英寸的超微马达，通电后进行了高速旋转。1991 年 11 月，日本电子公司的科研人员在当时最先进的电子隧道显微镜下面用“超微针尖”将硅原子排成金字塔形的“凹棱锥体”，它只有 36 个原子一样高，这是人类首次用手工排列原子，在世界原子物理学界引起轰动。1996 年美国哈佛大学毫微技术中心宣布，他们研制出的“极微机器人”体积是普通跳蚤的十分之一，其中用硅材料制成的涡轮机直径只有 7 微米，一

张邮票上能放几千个这种涡轮机,只有在超高倍电子显微镜下才能看清楚它的外形和结构,这是人类首次制成纳米级的机器人。

此后,纳米技术的研究成果捷报频传: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,而且也能制造出转子直径只有30微米、转速却高达每分钟2000次的超微电机;法国巴黎的超微技术研究所研制出一种超微电池,长、宽、厚都是0.004微米,只相当于一根头发丝的粗细,但它可产生30毫伏电压,还可连续使用75分钟……

二、纳米技术的军用前景

人们预料,纳米技术在工农业生产、科学研究中有着广泛的应用,而且在军事领域也有广阔的应用前景。

1. 可提高武器装备实战中的攻防能力

人们从目前已取得的纳米科学研究成果不难预测,运用纳米技术可以人工制造出军事需要的具有某些特殊性质的物质。例如:

运用纳米技术可以在原子水平上设计和制造出诸如贝壳和蜘蛛网那样的坚固耐用的材料。勒斯大学物理学家里查德·斯莫里在真空箱里使碳气化,制造出自然界并不存在的碳纳米管,这种纳米管的化学性质稳定,硬度大约是钢的100倍。由此可以想象,将纳米技术用于武器制造中,可大大提高武器弹头对目标的穿透力和破坏力,也可显著提高武器装备防穿透能力和防破坏能力。

纳米固体在较宽的频谱范围内对电磁波有均匀的吸收性能,几十纳米厚的纳米固体薄膜的吸收效果与比它厚1000倍的现有吸波材料相同。因此用纳米薄膜制成的极薄材料涂敷在战略轰炸机、导弹等攻击性飞行器表面,能有效吸收敌方防空雷达射来的电磁波,起到隐形效果,从而大大提高武器的实战效能。美国B-2隐形轰炸机表面的涂层中就含有纳米材料。

用纳米技术可制造杂质极少、十分纯净的芯片和材料,可用来检查核反应堆或飞机发动机叶片上的微小缺陷。

2. 可提高自动化指挥系统的作战效能

计算机在军队自动化指挥系统中起着核心作用,计算机性能的提高也必将促进自动化指挥系统作战效能的提高。

纳米固体材料的自扩散系数很大,纳米固体中

量子隧道效应使电子输运反常等特异性能将成为超大规模集成电路器件的设计基础。例如:英国研制的一种尺寸只有4纳米的复杂分子,具有“开”和“关”的特性,可以由激光驱动,开关时间很短,为研制新型计算机提供技术基础。荷兰的一个研究小组在1998年夏天,用纳米管制造出世界上第一个能在室温条件下工作的单分子晶体管。这个直径只有4—5个原子长度的电路打破了普通硅装置无法逾越的尺寸限制。它还第一次为制造原子大小的电子元件的可行性提供了具体证据。IBM公司也展示了用碳纳米管制造的晶体管。

把纳米技术与生物技术相结合,将可制造出单个分子组成的线路和生物分子电子器件,这是一种完全抛弃以硅半导体为基础的电子器件,这又将引起计算机技术的重大革命。

纳米磁膜材料将大大提高磁记录密度。例如纳米加工技术的进步使纳米级光盘的出现成为可能。光盘一旦进入纳米级,其信息储存量将是现有光盘的 10^6 倍,可以储存300万亿个汉字,北京图书馆现有藏书2000万册,我们假设这些藏书都是洋洋50万字的600页厚书,而所有这些藏书在一张纳米级光盘上只能占到1/30。因此利用纳米磁膜材料能有效地提高自动化指挥系统中的信息储存能力。

3. 可应用于微机电武器的制造

纳米技术的主要应用是微型工程,利用纳米技术可以把传感器、电动机和数字智能装置集中在一块硅片上,制造出微机电系统,它们很可能取代计算机硬件、汽车引擎、工厂装配线和其他很多生产过程和产品上使用的较为昂贵的部件。

应用纳米技术还可制造出分子机器,这种机器是直接从原子、分子进行“装配”的纳米尺度的装置。例如能进入人体的“微机器人”可以修复损坏的器官、疏通堵塞的血管、更换缺损的基因、消灭癌变的细胞等,显然军用医学将受益匪浅。

目前世界上许多研究单位在微机电系统的研究上取得了可喜的成果:美国加利福尼亚州的锡米谷航空环境公司马修·基农设计出了一架“黑寡妇”微型飞机,外形像个飞碟,重量只有7克,飞行时间可达16分钟,时速达72千米,飞行距离可达10多千米。亚特兰大佐治亚理工学院研制出“直升虫”微型飞机,外形很像一只大蚊子。林肯实验室的威廉·戴维斯采用的燃汽轮机可产生0.64千克力的推力,它只有衬衣钮扣那么大。麻省理工学院的涡轮喷气

发动机的直径只有 1 厘米,其推力为 13 克,可带动 50 克重的微型飞机按 300 千米时速飞行。德国研制的一种微型直升机重量仅 400 毫克,其发动机直径只有 1—2 毫米,转速每分钟达 4 万转,据称它可平稳地起降于一颗花生上。美俄亥俄州的凯斯西方预备大学的科学家向中央情报局展示的微型发动机小到 5 立方厘米的空间可以装进 1000 台发动机。

可以预料,如果把这些微机电系统用于军事领域,可制成微机电武器,并构成战场传感网络。

据 1996 年 10 月 28 日路透社阿尔伯克基的报道,美国研制的小型智能机器,其大的像鞋盒子那么大,小的像一枚硬币,它们会爬行、跳跃或最终飞过布雷区、穿越沙漠或海滩、穿越城镇,为远处的部队或数千英里之外的总部收集信息。因为这些“机器虫”上面装有随身听和蜂窝电话所使用的电子装置。

还有一种称为“蚂蚁雄兵”的微型武器,只有蚂蚁大小,其背部装有一枚微太阳能电池作动力,它可以神不知鬼不觉地潜进敌军总部,有的“蚂蚁雄兵”装上收集情报的感应器,有的装上炸药专找电脑网络或电线下手。

还有不同形状的袖珍遥控机,有的像小草,有的像纸币,用于收集装甲车、坦克排出的废气或行驶的声音,再将情报传回己方总部。这种由微机电系统组成的战场传感器网络还可以探测核污染和化学毒剂。

这些微机电武器可以由单兵徒手放飞,也可以由火箭筒、多管火箭炮发射,或由飞机撒布到目标区上空执行多种侦察任务。

难怪人们风趣地说:“21 世纪上战场还需带放大镜呢!”“坦克、舰艇等战场‘巨兽们’遇见微机电武器这些‘小妖们’也是害怕的。”

美国战略研究所的一位科学家说:“武器越造越大,也越易遭攻击,如果美国十几艘航母毁了四、五艘,可能会重创美国军力。但若发展微型武器,则可以量取胜。”

4. 可用于研制军事潜力大的微型卫星和纳米卫星

纳米技术的进展导致微型武器的发展,也导致纳米卫星的研制。

近些年来,由于纳米技术、微机电技术的进展,一些国家发射的卫星向着小型化方向发展。从 1990 年至 1998 年,世界上发射的微型卫星(10—100 千克)共计 110 多颗。早在 1993 年美国航空航天公司

就提出了纳米卫星(重约 0.1—10 千克)的概念。

纳米卫星是以微机电一体化系统技术为基础的一种全新概念的卫星,其实质是一种分布式的卫星结构体系。整个微型卫星作为基本单元,以局部成团或分布式星座的形式部署在太空中不同的轨道上,它们之间通过遥测、遥控的方式互相连接,形成内在有紧密联系的星座,从而实现对地球表面的地毯式覆盖,以便在高空侦察时达到“无盲区”。

纳米卫星采用微机电系统中的多重集成技术,利用大规模集成电路的设计思想和制造工艺,不仅把机械部件像电子电路一样集成起来,而且把传感器、执行器、微处理器以及其他电学和光学系统都集成在一个极小的几何空间内形成机电一体化的具有特定功能的卫星部件和分系统。例如把常规卫星上的气相层析仪、环形激光光纤陀螺、固体图像传感器、微波发射机以及电动机等部件都做得很小,并集成在半导体基片上制成纳米卫星的基本组合模块,根据需要改变其排列顺序或增减某些小模块,组成分布式配置的星座,使卫星星座具有不同的功能。

纳米卫星相对于常规卫星具有许多优点,即使遭受攻击也不会丧失全部功能,故生存能力强;研制纳米卫星不需要大型试验设施和跨度大的厂房,在大学、研究所的实验室里就可以进行,故研制费用低;也无需大型运载工具发射,因此发射成本低,风险小,又保留了常规卫星的军事潜力和商业价值;不仅覆盖范围广,而且能对那些有能力制造核武器和其他大规模杀伤性武器的国家进行持续监视,也能为部队提供实时、准确、大量的战场信息。

从目前发展情况来看,世界上许多实验室都在加紧纳米卫星的研制工作。美国桑迪亚国家实验室在研制纳米卫星方面具有很强的实力,例如他们发明了一种大小与一粒沙子相当的卫星传动装置,可使同样大小的微型发动机功率增加 300 万倍;还将激光通信技术用于纳米卫星。美国加州大学已研制出一种微型机械式加速度表;霍尼韦尔公司已研制出一种微型机械式陀螺,洛克维尔公司也致力于研究用于制导、导弹和控制系统的专用集成微型仪器。1999 年英国萨瑞大学、美国斯坦福大学和瑞典 Vmea 大学各发射一颗纳米卫星。

美国莱惠斯负责的实验室正在研制的微型火箭系统是在 6×4 平方毫米的硅片上实现的,内含 15 枚火箭,它有三层,一层是点火器,另一层是燃烧室(含燃料),还有一层是火箭喷嘴,硅片的两面还有

生理传感器

——用AFM测非常小的力

侯淑莲 李石玉

(华北煤炭医学院物理教研室 河北唐山 063000)

原子力显微镜 (AFM) 不仅被用来成像, 而且可以用来测量非常小的力。如接触模式的 AFM, 它的悬臂是由小的薄细丝状的金刚砂氮化物构成长 100—300 μm , 宽 20—40 μm , 厚 0.4—0.8 μm 。共振频率 5—100kHz, 力常数为 0.001—0.5N/m。机械振动、涡流、温度改变都可以导致悬臂偏转。它的偏转通过激光束反射到相应位置的光电二极管上来测量, 可达超微米的高分辨率。当悬臂由两层不同材料组成时, 比如接触式 AFM 的悬臂用金刚砂氮化物和金(用以改进反射)做成。由于两种材料热胀系数不同, 当温度改变时, 悬臂就会偏转。从悬臂偏转方式上又分为两种: 静态偏转模式 (DC 模式) 和悬臂共振频率的改变模式 (AC 模式), 两种模式均可用于定性、定量分析。对于 DC 模式, 常用于温度传感器、水银传感器和量热学研究。AC 模式认为是悬臂质量改变的结果。悬臂这种行为的最新应用是制做传感器, 用以检测活细胞在力学行为方面的改变。如许多种类的细胞游动和运动是对于一种信号如激素作出的反应。人类锥管力学性质的控制, 通过一定途径包括氮氧化物产生等。某些种类细胞由于病毒的感染引起细胞骨架活性的改变等。所以活细胞力学行为的检测能提供一个测量效应物的生物活性的一个方法。这不仅提供了大范围商业应用的潜在可能, 而且提供了研究活细胞力学行为和响应的能力。

一、传感器设计

制作传感器的基本根据是细胞对机械刺激的反应, 这个反应通过悬臂作为转换器而检测到。细胞

500 纳米厚的氮化硅保护膜。这种火箭的最佳喷发时间为 1 毫秒, 正在争取做到 1 微秒。快速喷发的火箭以便对微型卫星和纳米卫星进行精确定位。由此可见, 未来微型火箭又必将给微型卫星和纳米卫星的发射带来革命性的变化。

目前, 在纳米卫星的研制过程中还有许多需解决的实际问题, 如微机电系统的工作环境问题、多卫

的主要反应是运动中粘弹性改变。若把细胞直接生长在 AFM 悬臂上, 细胞的力学响应通过检测悬臂的倾斜来测量, 悬臂的倾斜用一个常规的光杠杆检测系统。传感器结构设计的关键是如何在悬臂上按要生长细胞。使用的是 MDCK (Madine Darby Canine Kidney) 细胞, 一个取自于狗肾的细胞系, 这种细胞既非常强壮又很容易保持, 能约束接触形式很好的单层。MDCK 细胞用常规培养方法保持。为了产生单一细胞悬浮溶液, 形成成熟的单层 MDCK 细胞需用胰蛋白酶处理, 然后把这些悬浮液 (1.6×10^6 cells/ml) 用吸移管放入无菌悬臂的盘中; 细胞集中生长 2—4 天。很容易在悬臂的两边生长, 而细胞与悬臂一体化的重要目的是达到一边生长, 即细胞的生长仅在悬臂的一边。可以有几种方法, 一个方法是用蛤贝粘合蛋白质到悬臂上, 以便粘上细胞。多酚蛋白质对于多种类型细胞表现出生物适应性, 而且能在细胞和基质间形成强有力的吸附作用。也容易置于溶液中。无论以后表面是否需要干燥。沉积蛤贝吸附蛋白质仅在悬臂的一边, 滴培养液也在这一边。由于溶液有比较大的表面张力, 能束缚液滴在悬臂的一边。限制细胞的生长使偏向一方。也可以通过用化合物处理悬臂表面来限制细胞生长。一种化合物是 $[(\text{CH}_3)_2\text{Cl}_2\text{Si}]$ 。通过浸入 1:20 硅烷与三氯甲烷溶液, 包被整个悬臂, 然后用蛤贝吸附蛋白质去包被另一边, 细胞优先被吸附且表现出惊人的倾向。

二、AFM 的初步结果

星之间的连接、数据传输、功能协调技术, 众多卫星组成网络的管理费用等问题, 更好地在半导体基片上制造卫星推进系统等方面, 还需要纳米技术的发展。但是近几年来纳米卫星的研制进展很快。

我们相信, 纳米卫星真正展示其军事风采的日子不会太久。我们更相信, 纳米技术的进展会为 21 世纪的战场带来战斗力的新飞跃。