

微米/纳米技术军事应用潜力巨大

任风云 樊昊 付耐根

(徐州空军学院航空弹药系 江苏 221000)

微米/纳米技术包括从亚毫米到亚微米尺寸的材料、工艺和器件的综合和集成技术,该技术领域将对航天工程、信息技术、制导武器、计算机、传感器探测技术、航空航天电子技术、雷达技术、隐身技术、微型机械设计与制造、微型光学自适应技术等诸多技术领域产生重大影响,其军事应用价值和潜力十分巨大!所以美国空军航天与导弹系统中心(SMC)从20世纪90年代初就开始预测微米/纳米技术在上述技术领域对未来空军武器装备系统和新系统结构发展的潜在影响。

众所周知微电子技术发展曾使精确制导武器命中率提高2个数量级;使相控阵雷达功能提高了 10×10^3 倍,平均无故障时间提高了230倍,重量和功耗大大减少;利用信息技术(IT)使电子对抗系统的信息处理能力达到几十亿条指令/秒;微电子技术是军事通信的核心,它使军用集成电路可以实现保密通信;利用微电子技术研制的大型计算机可以处理复杂战场态势变化;微电子芯片技术已经使新武器系统和整个信息兵器出现了质的变化,是新型武器的“大脑”和“眼睛”……具有代表性的武器装备如固体相控阵雷达、合成孔径雷达、预警飞机、导弹预警卫星、C4ISR系统、各种高精度制导武器、军事定位卫星、军事通信卫星、军事仿真系统、作战模拟系统、可视化系统、综合电子战系统等都使用了微电子技术,而且使这些系统具有更高的功能、更快的速度、更高的精确度和更强的自动攻防能力,并使指挥控制系统具有更高、更快、更精确以及安全、快捷和机动的应变能力。近10年内微米/纳米技术领域的发展已经使上述技术获得更大的飞跃!纳米技术是操纵原子、分子重新排列组合,形成新的物质,制造出

具有特殊功能材料的技术。目前该技术领域的微工程技术已经将大规模集成电路即“专用集成电路”发展为“专用集成微型仪表”(ASIM)技术,ASIM技术是一种高水平微型器件,它可以将各种传感器、致动器、信号和数据处理器集成在一块基片上,构成一个微型仪表,这种仪表实际上就是一个高度复杂的系统。用它可探测局部地区或遥远地区的环境信息,并可以按已编制的程序指令做出决策,并使微致动器与电、流体控制器以及信息数据处理系统工作,信息还可通过基片与相关的微型仪器进行直接通信或无线电通信。关于ASIM的制造技术与工艺是由半导体工艺技术——ASIC技术发展起来的,其中最典型的是将硅和其他材料进行三维机械加工,而制成的各种“微机电系统”(MEMS),MEMS主要研究内容包括微型传感器、微型执行器、信号处理器、智能器件和控制电路于一体的微型机电一体化产品,MEMS尺寸极其微小,达到微米/纳米范畴。但这种微型MEMS确具有高级智能,它具有识别、分析、判断和动作等功能。预计到2010年左右将有一大批产品问世,将形成21世纪难以估量的庞大高技术市场,其规模之大将会超过微电子芯片产业,MEMS技术已经成为世界十大科学技术之一。预计到2015年利用微米/纳米技术将可以研制出单量子计算机、量子波计算机、单量子通信和量子波通信设备,其运算和通信功能将比微电子器件快1000~10000倍,能耗降低到1%,量子微型处理器的效率可提高100万倍。目前已经研制出 10^{12} ~ 10^{14} 的存储器、单电子器件和各种传感器。利用纳米生物技术将在21世纪研制出DNA神经网络计算机,1998年美国普林斯顿大学两位科学家已经获得了DNA计算机专利。

80年代初就提出研制每分钟能发射500发炮弹的电磁炮作为机载武器和防空武器。

从战略防御的角度讲,用电磁炮拦截战略弹道导弹有其独特的优势——用动能摧毁目标效果比较可靠。计算表明电磁炮弹丸只要具有几兆焦耳的动能就有把握摧毁来袭导弹。如重10克、速度为20千米/秒

的2兆焦耳的弹丸,完全可以使导弹外壳裂解或气化。

总之,现代战争绝对需要比较高的弹头速度和动能。此问题对于防空反导最为关键,同时,随着坦克的装甲越来越厚,穿甲武器的动能也必须大大提高。电磁发射技术特别是电磁炮技术的应用无疑会发动一场新的常规武器系统革命。

DNA 计算机可以实现超级大规模并行运算, 运算速度极快, 2 天的运算量几乎相当于目前世界上所有计算机问世以来的总运算量, 其存储器容量将超过目前世界上现存所有计算机的存储容量, 而且能耗只有普通计算机的十亿分之一。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, 并可以与人类大脑神经元相连, 开拓人类的创造智慧。无疑微米/纳米技术将会使信息技术走向更高层次, 对军事武器装备影响极为深远。

纳米材料具备有许多特殊性能, 一些纳米材料具有特殊的磁性, 可利用它研制抗电磁干扰的通信设备和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, 例如用纳米磁膜制成的光盘, 其信息记录和储存量是现在光盘的 100 万倍, 储存汉字可达 300 万亿个, 几乎可以把我国各图书馆所有图书和资料储存在一张纳米光盘上; 纳米材料具有十分奇特的力学性能, 如研制成的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, 使之可以机械加工、弯曲, 而且耐高温, 美国空军正在研究将其用于制作飞机、火箭、导弹的发动机的技术途径, 这种发动机功率大、安全性好、航速高, 节省油料; 用于纳米材料制作的航天器、飞机的防护层, 其抗穿甲能力可以提高 4~5 倍; 纳米碳管材料的硬度、强度是钢的 100 倍, 如果用纳米碳管纤维材料制造飞机、航天器的壳体和受力部件, 不仅可以大幅增加飞机、航天器的强度和安全性, 而且可以减轻重量, 增大运载能力, 韧性也极好; 在应用纳米技术研制的陶瓷基复合材料方面, 已用碳纤维增强陶瓷基复合材料试制出燃气涡轮发动机燃烧室, 其耐高温可达 1590℃, 温度梯度在 600℃ 以上, 而且热力学性能极好, 目前美国空军正在研究将其用于液体火箭发动机的可行方案, 按照美国高温燃气发动机计划 (IHPTET)、高温发动机材料计划 (HITEP) 和航天飞机计划 (NASP) 中, 安排在 2005 年对能在 1538℃ 工作的、不带冷却系统的发动机进行试验; 纳米铜材料具有超乎寻常的塑性和延展性, 可在室温下拉长 50 倍而不断裂, 可谓“百折不挠”; 纳米铁的断裂强度比常规铁高出 12 倍; 纳米材料的光学性能更具有诱惑力, 纳米薄膜材料可在较宽的频谱范围内对光、电磁波具有非常好的吸收性能, 如氮化硅、碳化硅、氧化铅、氧化锌对红外光、雷达波具有宽频带的吸收能力, 可用于飞机、航天器、卫星、导弹和雷达隐身, 目前美国已研制出一种纳米隐身“超黑

粉”材料, 对雷达波吸收率高达 100%, 可以避免各种雷达对目标的侦察, 达到隐身和伪装目的; 利用微米/纳米技术可研制用于空军航天、航空系统中的微型光学仪表, 这种微型光学仪器可以完成普通光学设备的各种基本功能——折射、衍射、反射、偏转、散射等, 美国空军正与相关公司签署研制几十微米到几毫米尺度的分立式微型光学部件和直径为几十厘米的光学阵列部件, 阵列式光学部件可在几十厘米基片上集成几十万个光学部件, 在阵列中使用的微型部件的例子是微型透镜、微致动器和微型反射镜, 这种微型光学部件还可用于光学自适应系统, 这对激光武器的激光束发射和激光雷达、激光导引头的自适应调整将是关键部件; 纳米金属材料在热力学性能方面具有很高的活性, 在空气中能迅速燃烧甚至爆炸, 用纳米铝粉可以实现高速燃烧, 迅速释放能量, 从而为研制新型高能炸药和推进剂开辟了新途径。纳米材料的发展将为空军以及各军兵种的武器装备 (如导弹、炸弹、卫星、侦察设备、微型无人飞机……) 的微型化提供了所需的材料和技术。在该方面美国在航天器、卫星领域已经取得了突破性进展, 1995 年美国宇航局、航空航天公司和空军与导弹系统中心就提出了如何将纳米技术、ASIM 技术和 MEMS 技术用于航天器和卫星制造和发射领域。并提出了实施微型卫星 (1~10kg) 和纳米卫星小于 0.1kg 的发展计划。在此之前 1990 年美国就将二颗重 150 磅 (68kg) 多路通信卫星发射到 908 千米高的轨道上; 1991 年又将 7 颗 47 磅 (21.4kg) 卫星发射入轨, 主要用于话音、数据、传真和低速视频传输。而后又将一颗 30 磅 (3.6kg) “探索者 1” 发射升空, 1998 年更小的“先锋 1”号卫星又发射成功, 其重量只有 1.5kg。制造微型卫星必须采用标准的微型制造技术, 将光学传感器、天线、微波发射机、接收机、姿态控制、惯性导航及位置保持等机械装置集成在一个功能基片上。纳米卫星将完全由专用集成模块构成, 并用硅基片作为卫星的主要结构材料。美国空军还准备发射 1000 颗低功率带有发射机和接收机的微型卫星群, 它可以构成一个部署在太空中的相控阵雷达系统, 这种微小型卫星不易发现、生存能力强, 发射机射束的有效孔径大 (约为 100 米)。1995 年美国宇航局就计划在 10 年以后发射自动火星探测器, 并提出这种火星登陆器重量不能大于 100kg, 要求火星登陆车的科学探测仪器重量在 10kg 左右, 其通信设备、控制系统、导线、电缆、电池和能源及结

构是主要的有效载荷。2003年发射重量小于100kg的“勇气”号和“机遇”号火星车均于2004年初成功登陆火星表面,并都传回火星表面清晰的岩石地貌图片。这些技术都表明微米/纳米技术、ASIM技术和MEMS技术在航天器技术领域得到非常成功的运用。

美国空军在微米/纳米技术领域已经做出了很详细的发展计划,主要侧重于空间航天器、有人和无人驾驶的航空器、用于导航控制的微型传感器和微型仪表、用纳米技术创新微型卫星通信系统、微型制导和导航在精确制导武器应用技术、多芯片模块电子组件、用于航天和航空温度控制的纳米技术、微型结构力学、微型光学传感器和微型光学自适应系统……在该领域发展中许多技术是严格保密的,特别是工艺技术。只对下述用于航天、航空、导弹等相关技术发展情况作简要介绍。

1. 制导、导航和控制用的纳米技术

用于制导、导航和控制用的各分系统,包括姿态和位置测量、姿态控制用的分系统以及用于导航的惯性传感器、陀螺和加速度表等都将可以利用MEMS和ASIM制造技术实现微型化,当然其计算硬件和软件以及各种执行机构都必须实现微型化。关键技术是集成化的微型陀螺/轮/能量管理装置,美国德雷伯实验室研制一种集成在一块芯片上的低成本惯性测量装置,它由三轮陀螺和三轴加速度表组成,该研制合同还包括微型制导系统(MIGS)。霍尼韦尔公司重点研制一种集成在一块芯片上的光纤陀螺,目前该装置漂移速度在0.1~0.01度/小时,预计新陀螺从演示到实际生产应用可能在2015年实现。

美国航天微电子中心和喷气推进实验室在电子-隧道效应位移传感器技术研究方面已获取创新性成果,他们利用MEMS和ASIM技术将硅结构与电子隧道效应技术结合在一起,使传感器/致动器的质量和体积减少100~1000倍,其灵敏度比常规电容传感器高出2万倍,而且功耗低,其尺度只有几百埃,体积非常小。该技术可用于制导和导航用的加速度表、红外探测器、压力传感器、力与应力传感器、磁力测试仪和探测微观粒子等技术领域。空军特别关注这些技术在制导、导航和控制方面的有关技术。

2. 航天、航空和精确制导武器中的通信系统

在高轨道运行和地球同步轨道卫星(GEO),通信有效载荷占航天器净质量25%以上,此外导线和电缆、电池组和电源也占净质量30%以上,姿态控

制和温度控制组件占其质量15%以上,而且这样高的轨道会使卫星与地面传输信号按正比于距离平方关系产生巨大损失。对于精确制导武器其导引头、导航控制系统、致冷系统、控制舵在体积上也占精确制导武器的很大空间。所以利用ASIM和MEMS成功的微型化制导、导航、姿态控制、热控制、压力与温度传感器、微型雷达、致动器、加速度表以及各种探测器的小型化,可以确保卫星通信和精确制导武器通信和数字传输系统的高质量,借助于MEMS帮助,不仅可以降低整个航天器、制导武器的有效尺寸,而且可以开拓其执行任务的新领域。美国空军正在研制微型开槽波导、单片矩形波导和大型阵列波导,这将开拓卫星、飞机和精确制导武器实现微波传输信号的新途径。此外还在研制光波导管、硅光电池、太阳能电池和电荷耦合器件,也研制和试验了小型喇叭形辐射体和反射天线阵列,并成功地演示了集成阵列式喇叭天线在90、240和802GHz毫米波段在通信、遥感和成像中的应用。

3. 多芯片模块电子组件

微米/纳米技术与微型系统结合将促进电子组件功能发挥重要作用,多芯片模块是指将高密度互连衬底上的未封装芯片的总合,多芯片模块(MCMS)将比半导体芯片(CMOS)速度快、重量轻、集成灵活性更大。对于航天器、航空器、精确制导武器等应用方面,它可实现与主机同样的计算功能,也可作为传感器和电子器件的集成分系统。采用高密度互连工艺技术,将可用于存储模块、处理器中心、三维栈式计算机和代替磁记录器,这些固态存储器的可靠性和广泛应用能力都优于传统的记录器,而且具有多输入/输出功能,可以持续100兆比特数据传输率,而磁记录器是不可能实现的。美国IBM、NEC公司都已研制出以MCMS为基础的超级计算机,目前正在突破光互连集成技术、用于通信的集成光学和电子系统技术、集成快速反应传感器、致动器系统、MCMS与微型机械集成技术,与薄膜功率器件集成技术,美国菲利普实验室已经多次对空军应用的多芯片模块进行评价和测试。预计到2010年将实现在每个多芯片模块上集成更多的功能。

4. 微米/纳米微型光学技术与微电子学、微机械学和微传感器技术集成将对空军的

航天与导弹系统中心未来发展计划产生重大影响
该技术领域主要研究微型光学部件(如将几十万个光学部件集成在一个基片上)、衍射光学设备、

微型透镜阵列、折射微型光学形成透镜阵列和利用激光感应材料修正、沉积、烧蚀或化学腐蚀技术生产透镜技术和生产分析级折射率透镜技术。为在空间和导弹等系统中应用,美国空军正研制利用微型光学提高焦平面阵列的占空因数,并与成像技术相结合,提高空间对地面目标拍照图像质量;提高高速光学信号处理器和数字光学计算机性能;提高光电互连的利用性;提高波前传感器的利用性;利用微型光学制造技术在光纤上直接生产微型光学元件或微型光学传感器;利用微型光学制造技术提高光学元件性能;开发利用透射相衍照片和折射微型光学设备的激光束阵列发生器和组合器,例如利用微型透镜阵列,可以把激光二极管阵列产生的许多光束组合成单一的光束对固体激光器进行抽运,该技术可用于激光通信、激光测距、激光雷达、光束控制和光学自适应系统控制技术;综合利用微型光学和光子学技术生产细胞学传感器,用以提高模式识别能力。预计在2010年左右,上述技术研究成果将广泛应用于航天器、预警侦察系统、精确制导武器系统和通信系统。

5. 纤维光学传感器

依靠单模或多模光纤的光传播特性可以对许多环境中的物理化学参数进行测定,可用于应变、密度、流量、振动、压力、温度、电磁场、电流、移动等诸多参数测量。利用 ASIM 和 MEMS 技术可以将这种灵巧传感器、致动器集成在自适应结构中,并借助于闭环自适应控制系统,可实现主动地传感和实时修正这种结构。现在已经研制出一种连续分布式本征传感器网络和一种分立式非本征器件组成的多路传输网络,非本征性网络重量轻巧、耐热、大宽带、抗射频和抗电磁干扰。可以嵌入在各种材料结构中,测量各种结构材料中的各种物理和化学参数变化,并可以用各种致动器调整控制其参数在允许范围内,成为控制各种结构材料参数变化的“神经网络系统”,1995年美国空军就将这种纤维光学网络嵌入到 F-15 战斗机的蒙皮中,这种光纤传感器网络对航天器、飞机、导弹四周环境可以实时进行预报,所以美国空军非常关注发展多路传输式或分布式纤维光学传感器网络,未来这种传感器对空军武器装备发展十分重要,目前该技术正趋于成熟。

6. 微米/纳米技术在结构力学方面的应用技术

与结构力学有关的微米/纳米技术应用范围很广,它包括①自适应结构,例如把“灵巧”器件装配在结构上以改进整体结构性能;②制造纳米器件,如致

动器和传感器;③微电子机械加工;④材料合成;⑤开发新结构元件;⑥探索制造规模型的纳米机械系统集成和开发控制领域更先进的技术;⑦开发改进制导和控制系统性能技术……关于自适应结构控制,可利用小型传感器件和致动器探测结构变形情况,然后将信息反馈到智能控制器,通过指令传送到致动器用来纠正不希望出现的变形。自适应结构现已应用在控制振动和衰减,还可以控制光学系统的变形,特别是用来控制大型光学元件的变形,用以改善光学系统的性能。目前自适应结构振动抑制技术已成熟,已在各种飞行试验中进行多次试验。在此领域,科学家们还正在研究超级精确的陀螺仪系统以及相关传感器。

7. 微流体力学技术

由于纳米技术使航天器、制导武器关键结构尺寸大大减小,所以小尺度微流体力学现象的重要性急剧提升,计算机和微机械加工尤为突出。其中流体基元件的核心困难是致密信息与快速信息传输之争的瓶颈限制。微流体力学主要研究包括从微电子冷却到生物应用,并在微型传感器技术领域应用十分广泛。例如冷却气体流过小型电子插件板微通道以及小型涡度计操作都属于此技术领域。美国许多著名大学和研究所,如哈佛、加州、麻省理工学院、贝尔实验室、摩托罗拉和福特、通用公司等都致力于解决微流体力学问题;例如圣德伍德微系统公司专门研究和制造微型阀和微型泵,还重点研究微流体诊断和测量器件。因为微流体力学在未来航天和导弹系统中将担当重要角色。

8. 微加工技术

微加工系指微型结构加工技术,它在航天、航空、精确制导、高级信息处理和通信等诸多领域应用十分广阔,是美国空军极为感兴趣的领域。微加工技术制造系统和部件可以归并在 IEEE 机械人工程学和自动化协会称为的“微机电系统”(MEMS)。目前是利用半导体工艺设施作为发展和应用微加工技术的先导型实验室。美国空军感兴趣的是把微加工技术用于航天系统、航空系统、信息系统和精确制导武器系统,目前美国已从微加工技术中得到如下好处:高级处理器、诊断工具、传感器、热管理和低温设备、微型光学装置、微型制导、导航和控制用的传感器、多芯片模块、纤维光学传感器、微结构、航天器总线、光纤总线混合电路、光纤多路连接器、微型光学透镜阵列、光学自适应系统、结构自适应系统等。这些技术将为促进空军转型和武器装备技术的发展提

数字电视技术

戴浩 官纯文

(海军蚌埠士官学校理化教研室 安徽 233012)

当前,世界科技迅猛发展,由于微电子技术、超大规模集成电路技术、数字信号处理技术、计算机技术的突飞猛进,使数字电视的发展已取得了令人鼓舞的成果。技术先进国家的电视演播室设备数字化已完成,世界广播电视已经进入数字化时代。美国计划在2006年关闭模拟电视;英国计划在2010年关闭模拟电视;日本计划在2011年关闭模拟电视。我国广播电视“十五”计划也明确提出2003年全面开展有线数字电视,2005年有线数字电视用户达3000万,到2015年,我国将关闭模拟电视,并承诺2008年奥运会将使用数字电视技术向全球传送比赛信息。

对于普通百姓来说,数字电视这个词也变得越来越熟悉,在各种媒体上、商场里,“数字电视”频频亮相。但实际上,什么是数字电视?它采用了哪些新技术?与普通彩色电视相比具有哪些优点?如何才能收看数字电视……恐怕没有多少人能有一个全面的认识。

1. 什么是数字电视

所谓数字电视,是将传统的模拟电视信号经过抽样、量比和编码转换成用二进制数代表的数字式信号,然后进行各种功能的处理、传输、存储和记录,也可以用电子计算机进行处理、监测和控制。通俗地讲,数字电视就是从拍摄、编辑、制作、播出、传输、接收等电视信号处理的全过程都使用数字技术的电视系统。采用数字技术不仅能使各种电视设备获得比原有模拟式设备更高的技术性能,而且还具有模拟技术不能达到的新功能,使电视技术进入崭新时代。

典型的数字电视系统是将数字的视频信号、伴音信号及数据信号经压缩编码后使数码率压缩几十倍,大大提高了传输的有效性。然后复用系统将视

频、音频、辅助数据等编码器送来的数据比特流,经处理复合成单路串行的比特流,送给信道编码,加入各种纠错编码,以提高传输的可靠性。最后进行数字调制,以提高信道的频谱利用率。该数字电视信号经发射机发送出去,在接收端由调谐器接收的信号,经数字解调、信道解码及解调复用器后,分别通过视频、伴音及数据的压缩解码,恢复出原来的数字电视信号。数字的视频及伴音信号经数字/模拟(D/A)变换器变换成模拟电视信号后,即可在显示终端看到图像,并听到伴音。其中,对电视图像及伴音进行压缩编解码、复用、信道编解码及调制解调技术是数字电视的技术核心。

2. 数字电视的优点

数字电视可以提供给我们更多的频道和更高质量的图像,由于没有信号衰减,高清晰度电视(HDTV)将把鲜艳的画面原汁原味的展现在电视屏幕中,观众看到的节目质量与在电视台演播室的画面毫无差别。高质量的图像和高保真的环绕声,将把电视变成“家庭影院”。其实,真正的数字电视并不仅仅是清晰,它比现在的模拟彩色电视有着突出的优点。

以地面广播而言,数字电视可以启用模拟电视的“禁用频道”,而且在今后能够采用“单频率网络”技术,例如1套电视节目仅占用同1个数字电视频道便可覆盖全国。此外,由于采用了视频、音频压缩编解码技术,现有的8MHz模拟电视频道,可用于传输1套数字高清晰度电视节目或者5-6套DVD质量的数字常规电视节目。因此,电视频道的利用率大大提高,频道将会更多。我国电视频道共68个(不计增补频道),原来只能传输68个电视节目,采用数

供科学技术基础。

此外美国还在研究航天器和发射环境保障用的化学微型传感器;执行空间和空中任务的微米/纳米压力和温度传感器;用于航天航空的微型机械设计与制造的摩擦学;用于航天和导弹系统的爆炸系统等领域。

微米/纳米技术的发展,将很快出现纳米卫星、纳米导弹、纳米侦察预警系统、纳米电子战系统、纳米导航与制导定位系统、纳米微型飞行器、纳米机械人,它不仅对空军武器装备发展有潜在巨大价值,而且对各军兵种、对战争模式转变将产生无法估量的巨大影响。