

高技术新材料的发展方向 Development of the New Hi-Tech Materials

李茂山 赵宝荣

(中国兵器工业第五二研究所 包头 014034)

高技术新材料是指新近研制成功或正在研制的、具有比传统材料更优异的特性和功能,能够满足高技术发展需要的新型材料。它具有多学科交叉和知识密集、技术密集的特点,是一类品种繁多、结构特性好、功能性强、附加值高、更新换代快的材料。目前全世界已经注册的新材料约有 30 万种,并且还以每年大约 5% 的速度迅速增长,其中相当一部分具有发展成为新材料产业的潜力。

新材料与现代科学技术特别是高技术联系密

切,它们互相依存、互相促进,共同推动经济发展和社会进步。一种新材料的出现,可以给人类的生产和生活带来新的变化,甚至引起生产技术的革命,加快社会发展的历程。新材料既是当代高技术的重要组成部分,又是高技术得以发展和应用的物质基础。一切高技术及其产业的发展,都必须以新材料为基础和先导,紧密地依赖于新材料的研究开发和生产。例如,没有半导体材料的工业化生产,就没有电子计算机问世;没有耐高温的轻质高强结构材

料,它们互相依存、互相促进,共同推动经济发展和社会进步。一种新材料的出现,可以给人类的生产和生活带来新的变化,甚至引起生产技术的革命,加快社会发展的历程。新材料既是当代高技术的重要组成部分,又是高技术得以发展和应用的物质基础。一切高技术及其产业的发展,都必须以新材料为基础和先导,紧密地依赖于新材料的研究开发和生产。例如,没有半导体材料的工业化生产,就没有电子计算机问世;没有耐高温的轻质高强结构材

术已成为这次战争的特殊表现。在未来的战争中,激光在战略武器及战术武器系统中都将发挥重要的作用。

在战略武器系统中主要发展自带能源的大功率化学激光器。它克服了一般激光器的能源限制,将以机载为主;克服了大功率激光在空气介质传输中的能量损耗。据报道 1997~1999 年度美国将改装 3 架波音 747 飞机,进行机载激光反弹道导弹与反卫星系统的实验。激光器输出功率达百万瓦水平,只要连续工作几秒钟,就可以命中几十公里以外的目标,着重破坏卫星或导弹的传感系统,或使导弹偏离航线不能命中目标,也可以摧毁敌方的飞行器。这也是星际武器系统,可能用于未来宇宙飞船的防御系统。

激光与光电子技术已广泛应用于军事领域的各个方面。例如,精确激光制导炸弹,投弹误差几率不足 3 米;致盲武器用于战场可使敌方人员丧失战斗力;激光制导炮弹,可准确引导炮弹击中行进中的坦克;巡航弹中的光电子目标识别系统,可用作自动搜寻目标。又如红外焦平面成像,已广泛地用于夜视,适应步兵的单兵作战;利用夜间星光仪可看清 5 公里距离的兵员移动;美国已制成的激光防护镜可瞬间自动调节光强 6~7 个量级;俄罗斯、欧洲诸发达国家,也纷纷发展各种类型的激光武器系统、反激光装置和光电子对抗技术。其他用途如测距、侦察、警戒、目标指示、制导、导航、战场照明、作战屏幕演示、作战模拟器、遥感遥测等方面,在下个

世纪都将有更大的发展。

5. 先进自动机

过去常提光、机、电一体化,实际上当前已发展成光、机、电、算、材一体化。自动加工系统是下个世纪工业企业产品的必然趋势,它可完成加工的程序化、自动化、智能化、自适应,甚至自动修复。因此发展各种类型的传感技术是必不可少的,如机器人的视觉、触觉、反馈指令的动作协同。中等功率的激光器可以满足各类加工自动化的要求,如对钢铁、塑料、布料、陶瓷材料以及超硬、超薄、脆性等特殊材料的切割、打孔、焊接、表面热处理、表面合金化。适合由微机控制的自动加工系统和在恶劣环境中的遥感遥测技术等都可望获得较大的发展。

利用激光的方向性和单色性可提供各种基准,如长度、频率、时间。又如大型装置的安装、准直,水坝应力监测,机场的夜间导航,矿山的远距离引爆,大型隧道的自动导航钻进等都可利用激光的准直定位装置。

激光分子束外延技术已应用于研制新材料,如人工合成材料中以原子层数为单位的材料合成。其他如激光光谱术、全息术、非线性光学、激光化学动力学等高科技也将获得广泛的应用。

高效率的半导体二级管激光器有可能应用于下世纪的普通照明光源。此外,激光在光显示技术和光印刷技术中都将发挥更大作用。

(责任编辑 肖庆山)

料,就没有宇航业的发展;没有低损耗的光导纤维,就没有光纤通讯,更不会使整个通信产业发生革命性的变化。总之,在当前激烈的竞争中,谁掌握了最先进的新材料,谁的高技术及其产业就能得到迅猛发展。与此同时,当代科学技术的发展,特别是高技术及其产业的发展,又对新材料提出了更新、更高和更为迫切的要求,如高强度、高韧性、耐高温、耐低温、耐磨损、抗腐蚀、抗疲劳等,还要求构件重量轻、成本低、生产工艺简单等。这是推动材料科学技术发展的一个关键因素。

目前,世界各国对新材料的研究开发、生产和应用都十分重视,并把它列为带头学科和优先发展领域,我国也在1986年把新材料列入了“863高技术计划”的七个重点发展领域之一。在世界范围内,一场研制新材料的高技术角逐正方兴未艾,新材料产业化的竞争也愈演愈烈,无论在我国,还是全世界,新材料的发展已进入了一个黄金时期。

本文根据材料科学技术本身的发展情况,以及高技术对新材料的需求与促进,将高技术新材料的发展方向概括为十个方面。

1. 高性能化

即从强度、塑性、韧性等方面发展、提高结构材料的力学性能。当代高技术的发展,特别是航空航天、兵器、能源、海洋等高新技术领域对结构材料性能的要求愈来愈高,如良好的综合力学性能及一些特殊性能等。随着人类对材料组织结构的深入研究、宏观规律与微观机制的紧密结合,进一步深刻地揭示了材料行为的本质,并采用了相应的新工艺、新技术、新设备,从而创造出种类繁多、性能更好的新材料。近年来结构材料的比强度、比刚度、韧性、耐高温、耐腐蚀等性能得到大幅度的提高,现已开发出在航空航天条件下使用的耐高温、耐腐蚀、耐冲刷的轻质高强结构材料,在核电站核聚变反应堆中使用的高强度、耐辐射、耐高温、耐高压、抗腐蚀的结构材料等,满足了高技术及其产业发展的需要。由于高性能结构材料的不断创新和广泛应用,促使新产品技术开发方向从“重、厚、长、大”型向“轻、薄、短、小”型转变,即向着体积小、重量轻、省资源、省能源、高附加值、提高工作效率、降低成本和增强市场竞争能力的方向发展。

2. 高功能化

利用材料所具有的特殊的热、声、光、电、磁、辐射等物理性能而得以使用并得以发展的材料称为功能材料,如各种敏感材料、形状记忆材料、信息存储材料、光电转换材料、阻尼减振材料、磁致伸缩材料等,在电子信息技术、能源技术、空间技术、海洋工程、生物工程等领域有着广泛的用途。目前新材料研究重点已由结构材料转向功能材料,功能材料也由单一功能转向多种功能,因此,近年来功能材

料发展很快,已成为新材料研究中最活跃的一个领域,并将在下个世纪呈现出繁荣景象。随着新材料研究工作的不断发展,其功能进一步得到大幅度提高,并逐渐把功能材料与元器件结合起来,实现了材料与元器件一体化。甚至新材料本身就可以成为元器件或零部件,这样就促进了元器件的小型化和多功能化。例如,硅、锗等半导体材料的出现及其元器件的发展,使电子信息技术发生了革命性的变化,特别是单晶硅是目前最主要的集成电路材料,而单晶硅的应用和发展都是在器件的进步中完成的,器件的发展是单晶硅材料发展的动力。

3. 仿生化

近年来,材料科学的一个重要发展趋势是材料仿生学的崛起,即通过研究自然界中生物体的物质结构及其特有的功能,学到一种制造新材料的思路和途径,并在某些材料的设计和制造中加以模仿,这样就可以利用简单而丰富的原料,通过错综复杂的生物过程制得高强度和多功能的新材料。现在美、日、德等国的材料科学家已开始研制仿生材料。例如,通过对蜘蛛丝的研究发现,蛛丝比钢丝更硬、更富有弹性,比凯夫拉纤维更坚韧,且耐低温性能良好,它对于来自枪弹的外力冲击能起到很好的缓冲作用,是制造防弹服装和降落伞衣的理想材料,于是人们得到启示,想通过把水溶性的蛋白质分子纺织成既坚韧又不溶解的人造蛛丝,用来制作牢固耐久的军用被服和装备;通过对鲍鱼贝壳的研究发现,此贝壳是由碳酸钙组成,而其结构很像精心砌筑的“砖墙”,一排排首尾相接的微型碳酸钙起“砖”的作用,而蛋白质和一些复杂的糖类则起“砂浆”的作用,这些“砖层”互相错开,上层的“砖”码放在下层两块首尾相接的“砖”的上面,从而使它特别坚硬,于是人们就想用蛋白质、糖类与钙来制备出类似这种贝壳的高强度复合材料,用作坦克装甲、汽车车身等重要结构材料;通过研究犀牛角的纤维结构并具有的自愈特性,来研制汽车用结构材料,可使汽车相撞后能自动恢复原貌。生物医用材料也是一种仿生材料,要求其强度和弹性适当,有一定的耐疲劳、耐磨损、耐腐蚀性能,并与人体组织有很好的相容性,可对人体组织和器官(如牙齿、骨骼、血管、皮肤、韧带、鼻、喉、心脏瓣膜等)进行矫形、修补、再造,以维持其原有功能,从而保障人类的健康和长寿。仿生材料是以生物体合成的蛋白质为基础,它将逐步取代以矿石为原料的金属材料和以石油为原料的工程塑料、尼龙等有机高分子材料,既能解决资源、能源枯竭问题,又对环境没有任何危害,从而开创材料科学技术的新纪元。

4. 智能化

材料科学与信息科学紧密结合产生了智能材料,它是一种模仿生命系统,同时具有感知和激励

双重功能材料,即能对外界环境变化因素产生感知,自动作出适时、灵敏和恰当的响应,并具有自我诊断、自我调节、自我修复和预报寿命等功能。智能材料主要有形状记忆合金、压电陶瓷、光导纤维、电流变体、磁致伸缩材料等,现已成为材料科技领域的一个重要分支和研究热点,并孕育着新的突破和大的发展。智能材料是一种超功能材料,它是智能结构的基础,可以解决用传统方法难以解决或不能解决的技术关键,在一些重要工程和尖端技术领域具有巨大的应用前景。例如,美国空军采用智能材料制造飞机机翼,不同工作状况下,机翼能够自动调节形状,改变升力或阻力,以适应飞机的起降,从而使飞行更加安全并减少耗油量。将微型的分子传感器植入材料的分子结构中,用这些材料建造桥梁、楼房或飞机构件,可进行自动监控。当建筑物或飞机受到超负荷重载或其自身老化时,可发出报警信号,防止意外事故的发生。采用智能材料和智能结构系统后,当机电设备出现事故苗头时,可以自动报警,甚至还能做到自修复、自愈合,从而大大延长机电设备的使用寿命。

5. 轻量化

随着科学技术的发展,要求产品的重量愈轻愈好,同时,节能工作也要求产品轻量化。例如,在航空工业中采用高强度铝合金、镁合金、钛合金和高性能复合材料后,可以保证飞机结构的牢固性,减轻飞机重量,减少燃料消耗,增加有效载荷,进一步提高其飞行技术性能指标。目前,高强度铝合金占飞机的重量比已达到60%以上,是制造飞机的主要结构材料。在汽车上采用轻质高强的工程塑料、复合材料和有色轻合金材料来代替传统的钢材,是减轻自重与节能的重要手段,并能有效地改善汽车的整体性能(提高车速、减少油耗、减轻环境污染、降低生产成本、增加安全舒适感等),是汽车工业的重要发展方向。在各种武器系统上采用高强度钢和超高强度钢、高强度铝合金、钛合金、精细陶瓷、高性能复合材料等,可以大幅度减轻武器重量,提高机动性能,增强军队的战斗力。因此,研究和采用高比强度、高比刚度的轻合金、工程塑料、陶瓷材料和各种先进的复合材料来代替常用的钢铁结构材料,是一个重要的发展趋势。

6. 复合化

单一的金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料都存在着各自固有的缺点和局限性,难以满足当代高技术中综合性能的要求。现代材料科学的发展,促进了这三大类材料之间日趋密切的结合,使得单一材料纵向发展的传统局面被材料复合的横向发展所取代。把不同种类和不同性能的材料通过各种方法复合成一体,可以扬长避短、取长补短、获得比原组分性能更好或具有某些特殊性能的复

合材料。复合材料一般是由基体材料和增强剂两部分组合而成,按照其基体种类,可分为金属基复合材料、树脂基复合材料、陶瓷基复合材料;按照增强剂的类型,可分为纤维增强复合材料、颗粒增强复合材料、层叠复合材料和多组分的纤维、颗粒混杂复合材料。例如,由碳纤维增强的陶瓷基复合材料,其抗冲击强度比普通陶瓷高40倍,能经受数千度的高温,是宇航工业中的重要结构材料。在目前所有的材料中,复合材料是最能够根据产品的性能要求进行设计制造,并具有较高适应能力的一种柔性材料。它具有优异的综合性能、可设计性和各向异性的特点,既是一种理想的结构材料,又是一种很好的功能材料,在工业部门中获得了广泛应用,成为发展高技术必不可少的重要材料。材料的复合化是改进和提高材料性能的一条很好的途径,它体现了当代材料科学技术的巨大进步,是当前新材料研究的重要发展方向。

7. 低维化

低维材料是指超细粉(零维)、纤维(一维)、薄膜(二维)等新材料。它们与一般常用的固体块状(三维)材料不同,由于存在着尺寸效应和量子效应,从而导致电学、磁学和光学性质的奇异变化。超细粉的粒度一般在100纳米以下,因其颗粒小、表面积增大、表面能增加、化学活性强、吸附性好,在电、磁、光、热等方面具有许多优异的特性,可用作高效催化剂、助焊剂、助燃剂、烧结助剂、磁记录材料、高灵敏度的传感器和隐形材料等。采用纳米粉末原料制备的精细陶瓷,可使陶瓷由脆性变为塑性,甚至还出现了超塑性,这可能是解决陶瓷材料脆性的一条有效途径。一维材料主要有光导纤维、碳纤维、硼纤维、氧化铝纤维、碳化硅纤维和各种晶须等。光导纤维的信息容量大、中继距离长,且保密性强,是最有生命力的信息传输材料,用它代替传统的电缆,极大地提高了通讯技术水平;碳纤维等由于其比强度、比刚度高,主要用作复合材料的增强剂,在航空航天工业中获得了重要应用。薄膜是一种厚度从几纳米到几十微米的特殊形态的材料,具有一些独特的功能,有利于实现薄型化、轻量化和集成化,如光学薄膜、集成电路薄膜、传感元件薄膜、磁盘和光盘薄膜、太阳能利用膜、高温超导薄膜、金刚石薄膜等,已被广泛应用于以微电子技术为中心的许多工程技术领域。特别是金刚石薄膜作为一种理想的功能薄膜,受到国内外的普遍关注。低维材料是近年来发展最快的一类新材料,已成为国际上新材料研究的“热点”,无论是用作结构材料,还是用作功能材料,都有着广阔的发展前景。

8. 极限化

极限化是指某一项技术的发展已大幅度超越常规的或现有的技术水平,或是日益趋近自然界的

各种意义上的最高限度,如超高温、超低温、超高压、超高速、超高真空、超强磁场、强辐射、超纯、超净、超导、微重力或无重力等。在极限条件下,物质结构往往会发生巨大变化而出现新的性能,因此,研究在各种极限条件下材料的组织结构和性能的变化规律,对于研制新材料、发展高技术至关重要,有些新材料的合成与制备往往要在这些极限条件下才能够实现,例如,在超高温、超高压条件下,用石墨合成人造金刚石;利用超高压技术,实现微细粉末的高密度加工;采用快速急冷技术,制取微晶和非晶态材料;利用超高真空技术,制备耐高温的新材料、新型半导体器件和薄膜电路;采用真空超净技术,制备高纯度物质;利用宇宙空间实验室内的微重力、高真空、超低温、无菌等特殊环境,制备一些在地面上无法制备,并具有许多特殊性能的新材料,如合成新医药制品,冶炼高纯金属或合金,生产超导、超强、轻质新材料和高度均匀的大直径超纯半导体晶体等。未来高温超导材料的应用,将使电子计算机的运算速度更快、体积更小、成本更低、功能更新、应用更广,并将在从弱电弱磁到强电强磁的广阔领域里引起重大变革。

9. 设计化

随着材料研究逐步由经验性的认识提高到科学规律性的认识,由宏观现象的观测深入到微观本质上的探讨,人们掌握了材料的组成、结构、工艺与性能之间的变化规律,已有可能利用原子、分子结构理论来预测材料的性能,并从被动选择材料到主动优化设计新材料,即彻底改变过去依靠经验的“排列组合”、“配方炒菜”进行筛选确定最佳成分和生产工艺的落后研究方法,实现按所需性能利用电子计算机在原子、分子尺度上设计开发新材料。目前材料设计已成为材料科学的一项重要内容,并用来研究开发高温超导材料、有机高分子材料、梯度功能材料、智能材料及蛋白质等。这样可以大幅度地提高材料的性能,缩短研制周期,减少人力、物力和财力的消耗,使新材料的研制和生产发生根本性的变化。随着高性能超级计算机的普及,材料设计也将愈来愈广泛地得到应用。预计在21世纪,新材料的研究开发将更多地依赖和使用电子计算机,这是发展新材料的必由之路。最近出现的“纳米技术”,将近代微米级尺寸的材料跃进 to 纳米级尺寸的材料,并能使材料在原子、分子尺度上进行复合和加工,从而产生出一大批具有优异性能的新材料,如可制备出兼具金属材料与陶瓷材料各自长处于一身的新材料。

10. 综合化

材料科学技术发展到今天,不仅继续向微观领域深入,而且向着宏观、交叉和综合化的方向发展,

其综合性愈来愈强。材料按其基本组分分成的金属、无机非金属和有机高分子三大类材料之间的明显区分正在逐渐消失,而它们之间的联系和交融则不断增强,它们有着共同的理论基础和研究手段,并在高技术领域中有着广泛的用途;材料按其用途分成的结构材料与功能材料也出现了一体化的趋势,大力发展集结构材料与功能材料于一体的新型材料,是材料技术的一个重要发展,例如,近年来所发展起来的梯度功能材料既可以用作热应力缓和用途的结构材料,又可用作包括电、磁、声、光、核以及生物等多种功能在内的新型功能材料,并从无机材料发展到了有机材料范畴。同时,材料科学与材料工程也日益紧密地结合在一起,两者相辅相成、互相促进、并形成了跨学科、跨专业的新领域——材料科学与工程。材料科学与工程是一项庞大复杂的系统工程,因此,要运用系统工程的理论和方法,正确处理好材料科学与工程领域内的一些关系,指导新材料的研究,做到宏观与微观相结合、材料与工艺相结合、理论与实践相结合、科研与生产相结合。这样可以实现少投入、多产出、快产出,收到事半功倍的效果。

高技术新材料的发展方向除上述十个方面之外,还需要解决新材料科技成果的产业化、商品化问题。高技术产业是紧密联系的,新材料及其产业也是一样。新材料科技成果只有形成产业变成产品、商品,并在工农业生产和人们生活中得到实际应用,才能转化为现实生产力,取得巨大的经济效益。为此,需要开展新材料工程、新工艺、新设备及新测试方法的研究,这是发展新材料并使其实现产业化的基础和关键。目前,以新材料为基础的一批新兴产业正在迅速兴起,并成为许多国家新的经济增长点,有力地推动着世界新的产业革命。预计到2000年,世界新材料市场销售额将达到4000亿美元;美国新材料市场销售额约为1550亿美元,其中复合材料市场就有200亿美元;日本新材料市场销售额约为10万亿日元。我国也研制成功一大批新材料,并在国民经济各部门中获得了广泛的应用,取得了很好的技术效果和明显的经济、社会效益,具有我国特色的新材料研究开发和产业体系正在形成。

当前,一场与新技术革命和产业革命相呼应的新材料革命已经蓬勃兴起,一代全新材料的开发正支撑着整个新技术革命,促进高技术及其产业的发展。从某种意义上说,21世纪将是由新材料支撑的新信息产业革命的时代。这对于我国来说,既是一场严峻的挑战,也是一次良好的机遇,我们不仅要承受这场新材料革命的挑战,而且要积极参与新材料领域的国际竞争。

(责任编辑 刘先曙)