

第 1 章

绪 论

1.1 材料科学与工程

1.1.1 材料及其研究意义

材料是人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的物质,是人类赖以生存和发展的物质基础。历史学者曾将人类的历史划分为石器时代、铜器时代、铁器时代、水泥时代、硅时代、新材料时代等实际就是人们开发和使用材料的不同阶段。材料学家进一步根据材料类型和特性将其分为了 7 个时代^[1],见表 1.1.1。连续不断地开发和使用新材料构筑了时代的发展,也构筑了今天的文明。因此,材料是人类进化的里程碑,更是现代文明的重要支柱。科学技术的进一步发展,人类生活水平的进一步提高,特别是资源的加速枯竭,生态环境的不断恶化,都对材料科学技术提出了更高的要求。当前材料领域,已从技术相对成熟的金属时代,进入了陶瓷、塑料、复合、纳米、智能等新材料时代,经历着史无前例的创新发展时期。材料已呈现尺寸、结构、性能、用途的多样化、复合化甚至极限化,而且各种材料尽管各有特性,但均是现代材料的重要发展方向,都在航空航天、汽车、现代建筑、电子信息等高新技术领域起着关键的支撑和先导作用,其研究水平和产业化规模已成为衡量一个国家和地区经济发展、科技进步和国防实力的重要标志。

表 1.1.1 材料发展的 7 个时代

时代	名 称	典 型 材 料	人 类 进 步 标 志
1	石器时代 (公元前 10 万年)	石头、木材、骨头等天然材料	人类基本保障
2	金属时代 (公元前 3000 年)	铜、锡、钢铁	人类生产与作战能力
3	陶瓷时代	砖瓦、硅	人类建筑文明与信息时代
4	塑料时代	合成树脂	人类日常生活水准大幅提升
5	复合材料时代	碳纤维等	航空航天、汽车等高科技
6	纳米材料时代	纳米尺度材料	电子、医药、能源等领域
7	智能材料时代	智能陶瓷、智能涂层	机器人、传感器等信息革命时代

1.1.2 材料科学与工程的内涵

“材料”是早已存在的名词,但“材料科学”的提出只是 20 世纪 60 年代初的事。1957 年,苏联人造卫星首次上天,美国朝野上下为之震惊,认为自己落后的主要原因之一是先进材料落后,于是在一些大学和研究机构相继成立了十余个材料研究中心,采用先进的科学理论与实验方法对材料进行深入研究,取得重要成果。从此,“材料科学”这个名词开始流行^[2]。

材料科学所包含的内容往往被理解为研究材料组织、结构与性质的关系,是对自然规律的探索,属于基础研究。同时,如前所述,材料是面向实际、人类生活、科技、经济建设服务的,研究材料的目的在于应用,需要研究使其成为构件/器件的制备工艺、服役考核与应用等工程技术问题,是一门应用科学。所以在“材料科学”这个名词出现后不久,就提出了“材料科学与工程”学科,定义为研究材料组成、结构、生产过程、材料性能与使用效能以及它们之间关系的学科^[2]。组成与结构、合成与生产过程、性质及使用效能也称为材料科学与工程四个基本要素,将四要素连在一起便形成四面体,这个四面体也一直是材料领域权威期刊 *Acta Materialia* 的封面。*Acta Materialia* 封面的四面体一直在变化,现在的四面体如图 1.1.1 所示,是结构、性能、模拟、工序。考虑在四个要素中的组成与结构并非同义词,即相同成分或组成通过不同的合成或加工方法,可以得出不同结构,从而材料的性质或使用效能都会不相同。因此,我国有人提出五个基本要素的模型,即成分、合成/加工、结构、性质和使用效能。如果把它们连接起来,则形成一个四面体,如图 1.1.2 所示。

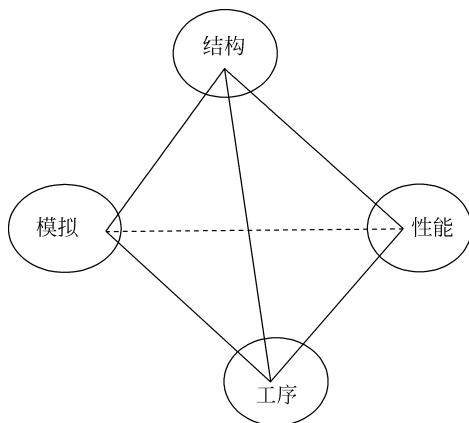


图 1.1.1 材料科学与工程的四个基本要素

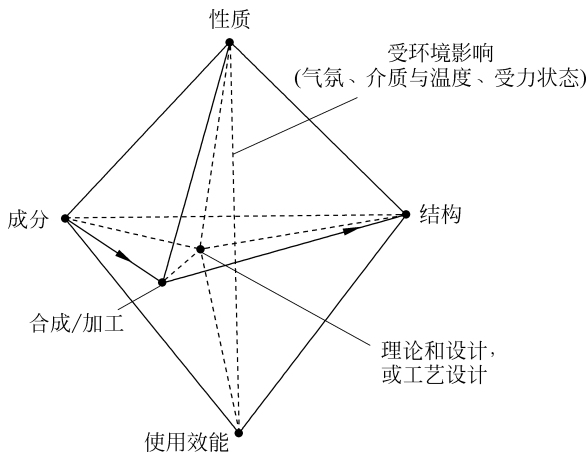


图 1.1.2 材料科学与工程的五个基本要素

材料科学与工程五要素模型的特点主要有两个^[3]：一是性质与使用效能有一个特殊的联系,材料的使用效能便是材料性质在使用条件下的表现。环境对材料性能的影响很大,如气氛、介质与温度、受力状态等,有些材料在一般环境下的性能很好,而在腐蚀环境介质下性能却下降显著;有的材料在常温下承载能力很强,而在高温下承载能力下降显著甚至软化;有的材料在光滑样品时表现很好,而在有缺口的情况下性能大为下降,特别是高强度材料尤为突出,但凡有一个划痕,就容易造成灾害性破坏;还有的材料呈现出显著的载荷选

择性,如有的材料抗静压,有的材料抗冲击等。因此,环境因素的引入对工程材料来说十分重要。二是材料理论和设计或工艺设计有一个适当位置,它处在六面体的中心。因为这五个要素中的每一个要素或几个相关要素都有其理论,根据理论建立模型,通过模型可以进行材料设计或工艺设计,以达到提高性能及使用效能、节约资源、减少污染或降低成本的最佳状态。这是材料科学与工程最终努力的目标。

1.1.3 材料科学与工程属性

根据以上所述,材料科学与工程有三个重要属性^[2]:一是多学科交叉,在材料成分、合成/加工、结构、性质和使用效能的研究过程中,需要与物理、力学、化学、冶金学、计算科学相互融合,同时也对这些学科提出新的要求;二是其是一种与实际使用结合非常密切的科学,发展材料科学的目的在于开发新材料,提高材料的性能和质量,合理使用材料,同时降低材料的成本和减少污染等;三是其是一门年轻且正在快速发展中的科学,不像物理学、化学和力学已经有很成熟的理论与方法体系。材料科学与工程将随各有关学科的发展而得到充实和完善,并逐步形成自身成熟的体系。

1.2 电子材料及其发展趋势

1.2.1 电子材料的定义与分类

电子材料是以电子为载体,用于能量与信号的获取、发射、吸收、转换、传输、存储、显示或处理等功能特性的一类材料。以电子为媒介传递信息,因为电子的传输速度受其质量影响有一定限度,随着信息传输容量的速度要求不断提高,光子作为更高频率和速度的信息载体,也成为了电子材料发展的载体。因此,电子材料也定义为利用电子、光子及相互作用而实现信息产生、传输、存储、显示、探测及处理的材料,用于制造各种电子及光电子元器件、半导体集成电路、纳米电子器件、磁性元器件、电子陶瓷器件等,是现代电子工业、微电子技术以及集成电路、电子装备等科学技术发展的物质基础,是现代信息产业的基石,支撑着包括通信技术、计算机技术、集成电路及自动化技术等众多信息技术的发展。

电子材料的主要类型有:①金属材料。金属材料主要有铜、铝、镍、铁、钨等。这些材料具有优良的导电性、强度、硬度和耐腐蚀性能等优点,广泛应用于电路板、电源、连线等电子零部件中。②半导体材料。半导体材料是电子技术中最重要的材料之一,主要包括硅、锗等。它们具有介于金属和绝缘体之间的导电性能,具有稳定的电性能,广泛应用于集成电路、太阳能电池等领域。③绝缘材料。绝缘材料是指具有良好绝缘性能的材料,主要包括树脂、玻璃纤维、陶瓷等。它们在电子产品中被应用于绝缘层的制造,如电路板上的绝缘层,提高了电路的可靠性和安全性。④磁性材料。磁性材料是指在磁场下具有磁性的材料,主要包括铁、钴、镍等。它们在电子产品中被应用于电机、电磁铁等领域,使得电子产品的运动更加稳定。⑤光电材料。主要包括红外材料、激光材料、光纤材料、非线性光学材料等。这类材料主要实现光与电之间的相互转换与传输,具有高效、快速、精准等优点,在光纤通信、光计算、激光医疗、激光印刷、液晶显示器领域有着广泛的应用。除了上述五类电

子材料,电子产品中还涉及超导材料、液晶材料等。这些材料为电子产品的创新发展提供了强有力的支持。

总之,电子材料种类繁多,每一种材料都在电子产品中扮演着重要的角色。了解电子材料的分类,有助于深入了解电子产品的构成,为未来的电子产品设计和研发提供更多的材料选择。

1.2.2 电子材料在国民经济中的地位与发展现状

电子材料作为电子技术、微电子技术以及整个电子信息领域的基础与先导,在全球以及我国国民经济中占有重要的地位。电子材料作为基础性材料已渗透到国民经济和国防建设的各个领域,没有高质量的电子材料就不可能制造出高性能的电子元器件,也就没有先进的电子信息系统。电子材料支撑着现代通信、计算机、信息网络技术、微机械智能系统、工业自动化和家电等现代高技术产业。电子材料产业的发展规模和技术水平,已成为衡量一个国家经济发展、科技进步和国防实力的重要标志,在国民经济中具有重要战略地位,是科技创新和国际竞争最为激烈的材料领域。

随着信息载体从电子向光电子和光子的转换步伐的加快,半导体光电信息功能材料也已由体材料发展到薄膜、超薄层微结构材料,并向集材料、器件、电路为一体的功能系统集成芯片材料和纳米结构材料方向发展。材料生长制备的控制精度也将向单原子、单分子尺度发展。从材料体系上看,除了当代微电子技术的硅和硅基材料作为主导外,化合物半导体微结构、有机半导体发光材料、氮化镓基紫、蓝、绿异质结构发光材料也得到了快速发展。从应用上看,航空、航天以及国防建设的要求推动了宽带隙、高温微电子材料和中远红外激光材料的发展。探索低维结构材料的量子效应及其在未来纳米电子学和纳米光子学方面的应用,特别是基于单光子光源的量子通信技术,基于固态量子比特的量子计算和无机/有机/生命体复合功能结构材料与器件发展应用,已成为材料科学目前最活跃的研究领域,并极有可能触发新的技术革命,从而彻底改变人类的生产和生活方式。另外,从半导体异质结构材料生长制备技术发展的角度看,已由晶格匹配、小失配材料体系向应变补偿和大失配异质结构材料体系发展。如何避免和消除大异质结构材料体系在界面处存在的大量位错和缺陷,也是目前材料研究需要解决的关键问题之一,它的解决将为材料科学工作者提供一个广阔的创新空间。

1.2.3 电子材料的发展趋势

随着现代科学技术的飞跃发展,电子材料的发展体现出如下的发展趋势。

(1) 功能材料与器件相结合,并趋于小型化与多功能化。电子材料逐步深入微观层次,有目标地发现和开发新物质、新材料,并特别注重与器件的结合,特别是外延技术与超晶格理论的发展,使材料与器件制备可以控制在原子尺度上,这将成为发展的重点。

(2) 电子材料低维化。低维材料具有体材料不具备的性质。例如,零维的纳米级金属颗粒是电的绝缘体及吸光的黑体,以纳米微粒制备的陶瓷具有较高的韧性和超塑性;纳米级金属铝的硬度为块体铝的八倍;作为一维材料的高强纤维、光导纤维,作为二维材料的金

刚石薄膜、超导薄膜等都已显示出广阔的应用前景；薄膜、涂层科学和技术越来越受到重视。

(3) 电子材料复合化。复合材料是现代材料性能提升、功能拓展的重要手段,电子材料复合化也是重要的发展趋势,是导致电子材料和电子器件深刻变革的领域之一。按材料复合基体不同,复合材料可分为金属基、陶瓷基、聚合物基和纤维增强复合等四种。复合材料不仅是重要的高温结构材料,也是新的电子功能材料。

(4) 极性化新型电子材料。随着摩尔定律被逐步打破、航空航天国防领域超常环境的不断要求与需求,电子材料性能走向极性化是重要的发展趋势。超高介电、超大容量、超高抗辐照、超小型、低价格、高可靠等,都是电子材料性能提升的重要趋势。如超大容量、超小型电容器的体效率已可与钽电解电容器比拟,而超多孔结构的钽电解电容器的比容可望得到进一步提高。

(5) 电子材料环境适应性要求。电子材料在做成元器件和集成电路之后,需在各种场景尤其是航空航天特殊环境下使用,应具备很好的环境适应性、一致性和稳定性,能够承受各种恶劣的环境,包括温度、压力、湿度、环境中的化学颗粒及尘埃、霉菌、辐射以及机械载荷等。因此,电子材料服役行为将备受关注。

1.3 电子材料对固体力学提出的需求与挑战

1.3.1 电子材料对固体力学的需求

固体力学是研究可变形固体在外界因素作用下所产生的位移、运动、应力、应变和破坏的一门学科^[4]。固体力学萌芽于公元前 2000 多年,那时中国和世界其他文明古国就开始建造有力学思想的建筑物、简单的车船和狩猎工具等。始建于隋朝(公元 595 年至 605 年)的赵州石拱桥,已蕴含了近代杆、板、壳体设计的一些基本思想。18 世纪大型机器、大型桥梁和大型厂房等工业技术的发展,推动了固体力学的快速发展。至今,固体力学已发展并产生若干个次级分支学科,如材料力学、弹性力学、塑性力学、断裂力学、结构力学、复合材料力学、岩石力学、计算材料力学、实验固体力学、涂层薄膜力学等。他们的研究思路、基本假设和研究方法不尽相同,在研究对象方面各有侧重,但又不能截然分开。

作为由可变形的金属、陶瓷以及各种成分结构复合的电子材料,其服役行为主要体现为各种服役环境(载荷条件)作用下的变形、应力场、应变场以及微结构与损伤演变规律。因此,电子材料服役行为对固体力学各分支学科的需求主要涉及以下几点。

(1) 材料力学。材料力学是固体力学中最早发展起来的一个分支,研究材料在外力作用下的力学性能、变形状态和破坏规律,为工程设计中选用材料和选择构件尺寸提供依据,但研究的对象主要是一维的杆件以及简单的板壳,是固体力学其他分支学科的启蒙与奠基。

(2) 弹性力学。又称弹性理论,是研究弹性物体(三维)在外力作用下的应力场、应变场以及相关的规律。弹性力学首先假设所研究的物体是理想的弹性体,即物体承受外力后发生变形,并且其内部各点的应力和应变之间是一一对应的;外力除去后,物体恢复到原有形态,而不遗留任何痕迹。弹性力学研究的最基本思想是假想把物体分割为无数个微元体,

考虑这些微元体的受力平衡和微元体间的变形协调。此外,还要考虑物体变形过程中应力和应变间的函数关系。

(3) 塑性力学。又称塑性理论,是研究固体受力后处于塑性变形状态时,塑性变形与外力的关系,以及物体中的应力场、应变场和有关规律。物体受到足够大外力的作用后,一部分或全部变形会超出弹性范围而进入塑性状态;外力卸除后,变形的一部分或全部并不消失,物体不能完全恢复到原有的形态。一般地说,在原来物体形状突变的地方、集中力作用点附近、裂纹尖端附近,都容易产生塑性变形。塑性力学的研究方法同弹性力学一样,也从对微元体的分析入手。在物体受力后,往往是一部分处于弹性状态,一部分处于塑性状态,因此需要研究物体中弹塑性并存的情况。

(4) 断裂力学。又称断裂理论,研究工程结构裂纹尖端的应力场和应变场,并由此分析裂纹扩展的条件和规律。它是固体力学最新发展起来的一个分支。这个理论是力学在20世纪的一大成就,其影响难以估量。许多固体都含有裂纹,即使没有宏观裂纹,物体内部的微观缺陷(如微孔、晶界、位错、夹杂物等)也会在载荷、腐蚀性介质,特别是交变载荷作用下,发展成为宏观裂纹。断裂力学,使得带裂缝的材料不仅可以使使用而且可以判断它的寿命。这对结构强度设计在概念上带来极大的革新,因为传统的设计是基于完美无瑕的材料,而对其寿命只能按纯经验的方法做出估计。有了断裂力学之后,固体力学的分析不但讨论连续变形,也考虑物体的破坏,于是工程师可以更有把握地根据材料的真实情况设计和使用材料。

(5) 实验固体力学。研究固体力学参数测试的科学,又称实验应力分析。基本的思路是采用电测方法、光弹性法、现代光声磁法等先进的实验方法,同时建立或应用力学、物理与数学模型,表征材料的力学性能、损伤参数等,为破坏机制的分析提供参数和依据。

(6) 计算固体力学。其采用离散化的数值方法,并以电子计算机为工具,求解固体力学中的各类问题。基本方法是在已建立的物理模型和数学模型的基础上,采用一定的离散化的数值方法,用有限个未知量去近似待求的连续函数,从而将微分方程问题转化为代数方程问题,并利用计算机求解。

上述分支学科的理论为电子材料在各种服役环境下的位移、运动、应力、应变和破坏分析提供了思路、基础理论、实验方法与计算工具。此外,复合材料力学的发展也给电子材料缺陷、空位及晶界问题的处理提供了基础,结构力学等新型分支学科的发展也为电子材料稳定性与断裂分析提供了参考。

1.3.2 电子材料对固体力学的挑战

尽管固体力学为电子材料的研究提供了理论体系与研究手段,但现代新材料尤其是电子材料依然给固体力学提出了许多挑战。2023年11月,中国力学学会在陕西省西安市举行了“先进材料对力学学科发展提出的机遇与挑战”研讨会,就固体力学在材料宏微观力学、多物理场耦合环境力学、生物与软材料、智能材料等发展中所面临的挑战和机遇进行了深入的研讨。电子材料,既有向低维材料、复合材料、薄膜涂层结构、微尺度、环境适应性等共性发展的趋势,也有材料器件一体化、结构和功能一体化、电子效应与力学效应一体化等特殊性质,给固体力学提出了一系列处于科学前沿的挑战性问题。

(1) 低维材料力学^[5]。随着现代制备技术的发展,人们制备出了各种具有丰富和优异性能的新型低维材料。电子材料向低维结构发展更是重要的趋势,大多数电子材料均朝如零维量子点、原子团簇、纳米粉体,一维量子线、纳米丝、纳米管、纳米超晶格,二维量子阵列、薄膜、涂层以及一、二维准晶等方向发展。这些材料大都表现出结构形态复杂、物理性能优异,对其生长规律和物理性能与其结构形态之间关系的研究一直吸引着材料、物理、力学、数学、机械、生物等领域的学者。由于低维材料与相应大块材料、基底材料性能相差较大,以及尺度效应等,现有的理论基础和实验方法对低维材料的研究不一定适用。由于低维材料的发展,力学工作者被带入一个既非传统宏观,又非传统微观的科研领域。因此,寻找适合于设计低维材料和预测低维材料力学性能是当前材料和固体力学研究领域遇到的挑战:低维材料力学的研究范畴,考虑电子、光子等量子效应的力学理论,从量子到连续体统一的本构理论等,都是迫切需要解决的关键科学问题。

(2) 跨尺度力学^[6-8]。人们在长期的实践中认识到,材料性质并非是一成不变地依赖于材料的化学组分,而是在很大程度上取决于材料的微结构。所谓微结构,是指所有热力学非平衡态的晶格缺陷在空间分布的集合,其空间尺寸可以从零点几纳米到数米量级,所对应的时间尺度可以从数皮秒到数年。从定量上搞清楚材料的宏观性能与其微结构之间的关系,一直是材料科学的一个主要目标。传统固体力学,从连续介质的角度有效解释和预测了毫米以上尺度材料的变形与破坏规律。量子力学,从离散体的角度很好地阐述了电子、原子的运动行为。但原子尺度的量子力学理论和宏观尺度的固体力学理论,在纳米、微米等微结构丰富的尺度上却无法有效连接,而这一尺度空间正是现代材料性能设计的突破口,也是电子材料微结构与性能设计的主要尺度,单一的微观或者宏观方法显然是行不通的。对于这个跨尺度的问题,人们遭遇到严重的数学和物理问题。

(3) 界面力学。材料的复合化成为发展新材料和改造传统材料的一种重要手段,也是电子材料发展的重要趋势,这包括复合材料、材料表面改性、薄膜与涂层等。材料的复合化造成界面问题显得特别突出,由于界面两侧材料的热学与力学参数的失配将引起残余应力,该残余应力与外载荷的共同作用将造成材料的破坏。因此,界面力学遇到从微观到宏观的变形、损伤直至破坏的全过程的理论分析、数值模拟和实验测量的问题,尤其是界面断裂韧性、界面强度等参数是否可以完整描述界面性能? 又是否可以找到一个关于表征界面由变形、损伤直至破坏全过程的合理参量?

(4) 实验表征方法。电子材料以低维、薄膜以及薄膜器件的形式服役,其本身的力学性能、力学性能随尺度的演化规律、丰富微结构的力学响应及其演化规律,这些新的研究对象、新的问题都是实验力学所面临的问题。如何发展新的实验方法、研究新的测试技术以满足这些问题的测量需要? 对电子材料而言,要着重研究微/纳米结构的加载方法与变形测量方法,微米结构的超高频动力学特性试验方法,微区域微观演化的宏观加载环境控制技术,低维结构的实验方法与模拟技术,微小试件的微加载微传感测量方法。

(5) 多场耦合力学^[9]。电子材料主要基于电子、光子及其产生的电学效应,各种载荷作用下,不仅仅有力的作用,还有电的效应。航空航天服役环境下,还将面临强烈的粒子辐照,诱导物理和化学损伤。此外,电子材料及其器件应用过程中产生的热是诱导其功能和结构失效的重要因素。因此,电子材料服役行为是典型的力-热-电以及化学、辐照等多物理场耦合问题,多场耦合本构与损伤理论是面临的科学问题。

(6) 材料-器件耦合力学。电子材料往往以器件的形式走向应用,而不是传统材料的薄膜、涂层或杆件等结构件。电子材料器件无论是设计还是服役,都有电子材料细微结构以及器件的效应,而且两者会彼此影响和作用,当应力、应变或热与电磁行为出现强相互作用时,力学的规律对于电子材料及其器件就变得极其重要。因此,往往是各向异性的电子材料及其器件的本构关系的确定、二者的耦合行为、基本物理力学参数的确定是固体力学面临的又一挑战。

(7) 生物与软物质电子材料力学^[10]。人们利用固体力学知识,正在逐步学习从生物学和生物技术得到启发来设计材料与器件。我们可以从生物学中借鉴和学习知识来设计材料,通过研究生物材料的微结构、应力和应变场,发展分层次、多尺度设计新材料的方法,使设计出的新材料能够具有生物系统的最优应力分布状态、最优的结构和功能特性、最佳的演化规律。我们甚至可以大胆地预言:真正的微机电系统(MEMS)或者纳机电系统(NEMS)就存在于生物身上,高度敏感的元器件就存在于生物身上,真正与社会及其生态和谐相处的高性能新材料就是生物材料。这方面工作的开展将可能极大地冲击整个工程界、生物界、医学界、材料界和军事界。

(8) 新领域、新方向、交叉学科开拓固体力学新领域。低维材料的研究使固体力学不只是局限于传统连续介质的思想,而且拓展到物质的微观领域,追求微观结构和宏观性能的本质关系。面对完全不同于传统材料如碳纳米管、薄膜等这些新的研究对象,开始发展新的实验方法、研究新的测试技术以满足微/纳米结构及材料力学性能测量的需要。对于研究对象在空间尺寸可以从零点几纳米到数米量级,时间尺度可以从数皮秒到数年的微结构的演化问题,以及相对应的宏观性能与其微结构之间的关系这样一个跨尺度的研究不仅拓展了固体力学的研究领域,而且真正将材料学科、物理学科、力学学科和数学学科紧密地联系在一起。“厨房炒菜”式材料制备的方法被打破,人们开始理性地从材料的微观结构、宏观性能等多方面进行材料的设计。固体力学学科在当今的信息技术、集成微光机电系统飞速发展扮演了十分重要的角色。

1.4 内容概述

材料固体力学研究金属材料、非金属材料和各种功能材料的基本力学性能、弹性变形、塑性变形、断裂以及在各种载荷作用下发生破坏的基本理论。所研究固体适应的尺度为宏观和细观,即用以牛顿力学为基础连续介质力学来研究该尺度范围内材料的基本性质。虽然本书假设研究的对象是连续介质,但大量的研究表明,即使在微观和纳观的层次,连续介质力学在一定程度上还是可以应用的。材料固体力学所研究的固体通常假设为均匀的和各向同性的,对不均匀的和各向异性的固体也只有在一定程度上进行理想化后才能进行定量处理。这种理想化的程度由所需研究问题的需求精度而定。力学问题可以是静态的(与时间无关的)和动态的(与时间有关的)。实际问题本质上都是动态的,但很多问题可当作静态或者准静态问题来处理,实际的材料或者结构都是受到各种不同的载荷,包括机械载荷、热载荷、电载荷、磁载荷和化学载荷等,当这些载荷互相耦合时,也可以通过拓展基础理论而适用。

本书针对电子材料对固体力学提出的需求与挑战,从材料共性的固体力学理论、方法以及电子材料特殊的需求两方面予以阐述,分为共性基础和专题两部分,共13章。共性基础理论和方法包括第2~7章,分别介绍材料的基本力学性能、应变理论、应力理论、弹性本构关系、非弹性变形以及均质材料断裂力学,主要讨论连续的、均匀的和各向同性固体在机械载荷作用下的静态和准静态问题,涵盖了从材料基本力学性能到弹性变形、塑性变形以及断裂破坏的基础理论与方法。专题部分包括第8~13章,从针对电子材料共性的热应力、薄膜结构的力学行为,再到具体的电介质、压电材料、铁电材料、电磁材料,展开其力学行为的分析与描述。

在弹性部分采用的基本假设是:①假定固体是连续的,也就是假定整个物体的体积都被组成这个物体的介质所填满,不留任何空隙。这样,物体内的一些物理量,例如应力、应变、位移等,才可能是连续的,因而才可能用坐标的连续函数来表示它们的变化规律。实际上,一切固体都是由微粒组成的,都不符合上述假设。但是,可以想象,只要微粒的尺寸,以及相邻微粒之间的距离,都比物体的尺寸小得多,那么,关于物体连续性的假设,就不会引起显著的误差。②假定物体是完全弹性的,也就是假设物体完全服从胡克定律——应变与引起该应变的那个应力分量成比例,反映这种比例关系的常数,即所谓弹性常数,并不随应力分量或者应变的大小和符号而变。③假定物体是均匀的,也就是整个物体是由同一材料组成。这样,整个物体的所有各部分才具有相同的弹性,因而物体的弹性常数不随位置坐标而变。可以取出该物体的任意一小部分来加以分析,然后把分析的结果应用于整个物体。④假定物体是各向同性的,也就是物体内一点的弹性在所有各个方向都相同。这样物体的弹性常数才不随方向而变。⑤假定位移和形变是微小的。假定物体受力以后,整个物体所有各点的位移都远远小于物体原来的尺寸,因而应变都远小于1。这样,在建立物体变形以后的平衡方程时,就可以用变形以前的尺寸来代替变形以后的尺寸,而不致引起显著的误差,并且在考察物体的形变及位移时,应变的二次幂或乘积都可以略去不计。

在非弹性部分采用的基本假设是:①忽略时间因素的影响。在一般温度不很高,时间不太长的情况下,可以忽略蠕变和松弛的效应。在应变率不太高的情况下,可以忽略应变率对塑性及其他非弹性变形规律的影响。②连续性假设。这里讨论的塑性力学还是属于连续介质力学范围。假设材料有无限的塑性变形能力而不考虑它的破裂和破坏。这并不排斥在连续介质假设下出现应变速率和应力的某些不连续性。③稳定材料的假设。关于非稳定材料的问题本书将不介绍。④变形规律与应力梯度无关的假设。在共性理论中,本书不考虑变形的应变梯度效应。通常由实验得出的变形规律是在均匀应力条件下进行的,根据这个假设我们可以将这样得到的规律应用到非均匀应力分布的问题中去,一般情形下,根据这个假设计算的结果能够和实验符合。⑤静水应力部分只产生弹性的体积变化,而且不影响塑性变形规律。这个假设在静水压力不太大的情况下对金属是较好的,不过对于岩石一类材料则不符合实验事实。

当弹性变形或者塑性变形的假设不成立或不完全满足时,如对电子材料,大量出现薄膜结构、承受非机械载荷的热应力、电、磁等载荷,此时需对弹性或者塑性理论做适当的拓展和推广。如果考虑不连续固体的力学行为,就需要讨论含有裂纹材料的力学行为(第7章);如果考虑宏观向微观的结构过渡,需要讨论薄膜的力学行为(第8章);如果考虑非机械载荷对材料变形和破坏的影响,就需要讨论非机械载荷的特征和非机械载荷与机械

载荷的耦合作用,非机械载荷以热载荷为主(第 10 章)、以电为主(第 11 章),电和畴共同考虑(第 12 章),以磁为主(第 13 章)。

当固体力学的基本原理和特定的材料、特殊的载荷等某些特殊情况更紧密地结合起来时就形成一些专门的分支,如与复合材料结合就形成复合材料力学,与冲击载荷结合就形成冲击动力学,与高温结合就形成蠕变力学,与材料损伤过程紧密结合就形成损伤力学,与探测器结合就形成探测器力学,与器件结合就形成器件力学等。本书不讨论这些专门的问题,有兴趣的读者可以参考有关文献或者专著。

本书彩图请扫二维码观看。

