

方法学和工程学的研究;在方法上,除用化学方法外还可运用粒子加速器、等离子束、溅射涂覆以及等离子体化学蒸气沉积等方法来对材料表面进行修饰和涂覆。对硬材料(如医用金属材料或碳素材料),这种涂覆改性的方法尤为重要。

5 **生物活性陶瓷及玻璃的开发** 着重研究这类材料的生物活性表征及机理,研究应力传递时弹性模量的匹配效应以及生物活性界面键合的长期稳定性等问题。重点开发口腔及骨骼材料(如羟基磷灰石等材料)以及陶瓷类复合材料。

6 **医用膜材料的开发研究** 重点开发人工肺用气体透过膜材料,血液净化用的透析膜和超滤膜,及可分离中分子物质的透析膜等材料及制品,并深化研制其它血液净化吸附剂等材料。

7 **其他** 加强生物活性材料、仿生材料及生体/合成杂化材料的开发研究。应用仿生设计,仿制具有某种器官或组织的物性和生理性能的生物材料;研制生物传感器材料;研制能够保持细胞活力的细胞载体材料和接载方法(如利用再生胶原和甲壳素等天然生物材料附载表皮细胞制造活性人工皮肤等)。在医用金属材料方面,深入研究某些金属表面与体液作用机理及生化作用,寻找改善界面相容性方法及表面生物惰化处理办法。

8 **对生物材料的生物相容性表征及评价方法的研究** 制订不同应用场合的生物相容性要求指标;研究准确、可靠、简便、快速的评价方法,使评价标准统一化、规范化。

THE BIOMATERIALS RESEARCH OF THE 21ST CENTURY IN CHINA

Zou Han

(Institute of Biomedical Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

智能材料

姚康德 许美萱

(天津大学材料研究中心,天津 300072)

1 引言

智能材料为材料和结构有关的新概念,是指对环境条件可感知、可响应、并且有功能发现能力的新材料,相关的材料和结构则称为智能(Intelligent)/灵巧(Smart)材料、智能材料系统和结构、灵巧结构等,其构思极大地超越以往的新概念。纵观材料的发展,经历了松散型,复合和杂化型,进而发展为异种材料间不分界的整体化融合型材料。智能材料即融合型材料,是在原子、分子水平上进行材料控制,于不同层次上寓于自检测(传感功能)、自判断、自结论(处理功能)和自指令,并可执行功能所设计出的新材料。智能材料的研究和开发孕育着新理论和新材料的开发,涉及科学和技术的振兴。

2 智能材料的构思

2.1 **仿生和智能材料** 智能材料的性能是组成、结构、形态与环境的函数。从植物、动物到人类一切生物体的最大特点为环境适应性。众所周知,细胞为生物体的基础,而细胞本身就是具有传感、处理和执行三种功能的融合材料,故可作为智能材料的蓝本。如视网膜细胞实为

具有光检测和信息处理功能的智能传感器,启示人们开发人工网膜用于视觉信息的传感。蛋白为生命的基本要素,从信息接受功能蛋白质和执行功能蛋白质出发,创造出了分子水平、超微观到宏观的各种层次智能材料。人们能以结构较为简单的合成多肽来赋予膜材料刺激响应功能。

2.2 从自动调节器到智能材料 现在,自动调节器不仅用于机器人和计算机这类人工机械,还可用在能条件反射的生物机械。自动调节器在输入信号(信息)时,能依据过去的输入信息产生输出信号(信息)。过去输入的信息能作为内部状态贮在系统内。因此,自动调节器由输入、内部状态和输出三部分组成。于是可将智能材料和自动调节器相比,因两者的概念相似。

2.3 智能材料与信息

对智能材料而言,材料和信息概念具有同一性。而某一 L 符号的平均信息量 Φ 与几率 P 状态的信息量 $\log(P)$ 有关,即
$$\Phi = \sum_{i=L}^n P_i \cdot \log(P_i)$$

此式类同于热力学的熵,但符号相反,故称负熵(Negentropy)。因熵是无序性的量度,负熵则是有序性的量度。如合成 GaAs/AlAs 超格子材料,其超格子状态与均一状态相比为熵低的状态,有利于将信息引入材料。可见,材料的智能化有赖于熵的有效控制。

3 智能材料不同层次结构

为了研究与开发智能材料,使其具有软件功能,应从材料不同层次结构,考察原子、分子、原子和分子簇水平的相互作用,射线和物质的相互作用,以及原子和分子水平杂混结构控制。

3.1 纳米空间与智能材料 物质和材料内存在纳米级的特异空间,此乃极限的功能空间和反应空间。纳米空间可为原子水平的三维纳米空间,如陶瓷、金属和半导体材料结晶内的纳米空间,以及结晶界面或表面附近的特异纳米空间。纳米空间也可以是分子水平的,如有机材料、生物材料、无机/有机复合材料等由分子本身产生的纳米空间。为合成这类具有纳米空间的簇结晶,要采用超微细加工技术,且和量子材料科学相关。

分子水平的纳米空间涉及第三种碳单质化合物和富勒球,此类材料为变形的 sp^3 轨道的碳立体排列成球壳状分子结构。现已可制得及分离出克级的 C_{60} 和 C_{70} 以及毫克量的 C_{76} , C_{78} , C_{85} , C_{84} , C_{90} , C_{94} 和 C_{96} , 类似于富勒球可合成巴基管或纳米管全碳结构,它对微电子技术的发展可望起到推动作用。

3.2 智能超分子 J. M. Lehn 等提出,某些超分子体系以分子信息为基础,使其具有分子识别能力,由此产生了“超分子化学”。此学科和分子信号的发生、处理、变换和检测相关。超分子化学涉及分子感受器的合成、组合和分子识别、催化及迁移过程的研究。依赖于分子信息的传递功能自组合体系的设计,反映了超分子化学的新水平,涉及“智能”、功能超分子材料、网络工程和多分子图形。此类体系已成为化学研究的热点,形成了“Chemionics”。

4 相转变和材料智能化

4.1 形状记忆效应与相转变 形状记忆合金(SMA)作执行元件材料的特点为大形变、高应力和低频响应性。因 SMA 本身具有阻尼和耐磨损特性,常将 SMA 的纤维或薄膜用于金属或高分子材料基材中,使复合材料具有传感和执行功能,成为灵巧材料。为开发出可实用的材料, TiNi 纤维和 Al 基材界面物性控制将是今后研究的课题。

4.2 相转变和材料的自修复 一般的结构材料常为非活性材料,但如其耐外部机械冲

击,即可对环境响应而具有自诊断和自修复功能,则成为智能结构材料。

经稳定化的氧化锆对环境的化学反应性小,强度和硬度大,但易破损,故需增韧。为此,利用准稳定相,即添加适宜的氧化物,使 $Y_2O_3-ZrO_2$ 多少残留些不稳定性,可在应力条件下诱发相变。当因外力引起裂缝扩展时,裂缝前端产生相变,体积膨胀,在裂缝前端产生压缩应力,抑制裂缝扩展,以达到增强增韧。

4.3 凝胶相转变与刺激响应性 凝胶的性质为网络及其所包络的水共同决定,此类软材料的性能可从凝胶相转变临界现象阐明。所谓高分子凝胶相转变,即凝胶的体积可随温度、溶液的组成、pH 值、离子组成和浓度、电场和光等外界环境刺激而呈现不连续的变化。凝胶的相转变现象很普遍,生物界有许多凝胶相转变的实例,如肌肉收缩与松弛的分子机理是肌浆球蛋白和肌动蛋白的纤维相互滑移所致,生命现象的本质寓于生物大分子间相互作用,分子间微妙的相互作用的协调与各种生命活动相联系,凝胶相转变这一宏观现象和高分子间相互作用有关。而肌浆球蛋白纤维间可交联成凝胶状,可见肌肉的收缩、松弛是与凝胶的相转变有关。

有一类凝胶的溶胀和收缩取决于体系中氢键的形成和解离,利用刺激响应,把凝胶作为药物释放体系(DDS)载体,可得智能药物释放体系,使药物受 pH 控制脉冲释放。

5 材料表面、界面环境响应性与智能化

高分子材料和金属、陶瓷材料相比较,具有较大的柔韧性(flexibility)。它的表面、界面和介质接触时,为维持其界面自由能最小,高分子材料特别是多相或多组分高分子体系的非相容性部分在表面的官能基,表面形态甚至一定深度的结构单元,可在较短时间内响应环境变化而重组,因此称为高分子材料表面的环境响应性。如常用于制造生物医学装置的线型聚(醚氨酯)Biomer,以及我们利用高分子材料表面环境响应性所设计出的智能高分子粘合剂,可用来粘合极性和非极性基材,这是由于粘极性材料时,它表面层中极性部分响应,而粘结非极性材料时,则是表面层非极性部分响应的缘故。

6 涉及的研究领域

智能材料的研究开发涉及许多基础研究领域,如:介子水平现象的阐明,基于状态变化的智能性研究,亚稳状态的智能性研究,新型量子效应的探索,利用特异微环境控制功能,量子波和物质相互作用的研究,材料实现传感、处理和执行功能的新机理研究,分子领域内能量的交换及供给等的控制,等等。智能材料的应用基础研究涉及:超格子微细混合结构控制,纳米水平结构控制,原子、分子聚集体的功能控制,微粒子、聚合物、蛋白质等分子识别能力及自组织化功能研究,利用超微化科学效应创造功能,利用物质非平衡性创造智能性等。智能材料的先驱开发研究,包括应用相关电子波量子效应的材料处理,利用非线性高速响应的电子光学材料,利用超微粒子组织体的磁性材料,具有多重亚稳状态高分子材料,利用高分子凝胶的微执行元件,具有物理、化学功能的膜材料,运用神经元的信息处理材料,表面精细加工和析出可控的自修复性材料,具有多种结晶结构的形状记忆材料,结构组成和物性可连续变化的智能材料,粒界非均一性的电子材料等。

INTELLIGENT MATERIALS

Yao Kangde Xu Meixuan

(The Research Center of Materials, Tianjin University, Tianjin 300072, China)