

90 年代新型材料的展望

ADVANCED MATERIALS IN THE 1990s

师昌绪

材料是人类进步的里程碑，是现代文明的重要支柱，因此，任何工业发达国家，莫不以材料的生产与开发作为发展国民经济的重要组成部分。一般来说，材料可以分为传统材料与新型材料两大类，而新型材料中有相当一部分是在传统材料的基础上发展出来的，当然也有不少是科学研究中的新发现。世界上现有 800 多万个化合物，还在以每年 25 万个的速度迅速增加，但目前这些化合物中有商业价值的只有 8 万多个。一种具有应用前景的新材料，从发现到大规模的工业化应用一般需要 10~15 年，所以这里所说的 90 年代的新型材料主要是目前已经存在、而且已显示出有应用前景的材料。现扼要介绍新型材料的发展趋势。

一、复合材料是高性能结构材料最重要的发展趋势

复合材料一般由基体材料（如树脂、金属、陶瓷）与增强剂（连续纤维、晶须、颗粒）复合而成。从图 1 可以看出，从比强度和比模量来看，不管是无机非金属材料（B, C, SiC, Al₂O₃, 玻璃）还是有机纤维（尼龙、聚乙烯、芳纶），都比冷拔钢丝高。

现代复合材料的第一代是玻璃钢（玻璃纤维与树脂复合）。第二代是树脂与碳纤维的复合，工作温区为 200~350℃，高比强度和高比刚度，易于成型，价格也比较便宜。第三代则是正在发展中的金属基、陶瓷基及碳碳复合材料。

金属基复合材料目前主要是在轻金属中加入增

强剂，不但使用温度高（>350℃），而且比强度和比刚度大幅度增加，主要用于宇航。金属基复合材料的抗疲劳能力也比传统材料高。由于其比刚度，在相同受力条件下，变形量也小，从而能保持原设计的气动性能。

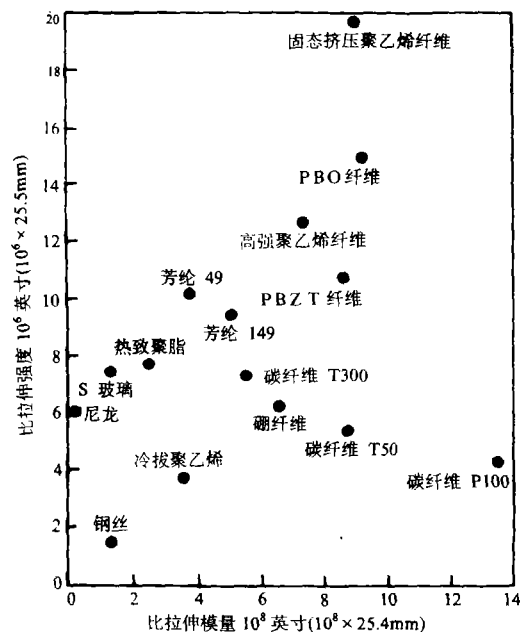


图 1 有机高分子高强纤维与某些常见纤维的对比

陶瓷基复合材料的主要目的在于解决陶瓷的脆性问题。在陶瓷基体中加入韧性较好的纤维或质点，可以提高韧性，一是通过材料本身的作用，二是造成大量界面，成为位错和缺陷的尾闾，以提高强度，改善脆性。

碳是所有材料中工作温度最高的，达 3 000℃

以上, 而且在 $2\ 800^{\circ}\text{C}$ 以下, 强度随温度提高而增加。但是其块状材料各向异性, 容易破裂, 特别经不住急剧加热。为此, 将碳纤维多向编织, 而后粘结在一起, 成为碳碳复合材料。它是火箭壳体的理想材料。

金属基与陶瓷基复合材料的研制成功还要克服很多难点。如基体与增强剂间的匹配与结合问题, 特别是当两相膨胀系数、弹性模量不同时, 温度热应力的变化都会引起二者相互脱离而失掉强化作用。既然是结构材料, 焊接或连接问题也必须得到解决。此外还有降低成本的问题。

二、新型结构材料向高温、高比强度的方向发展

动力机械的工作温度愈高, 热效率也愈高, 如现在的火力发电效率只有 $30\sim 40\%$, 当前正在发展中的磁流体发电装置可提高到 $50\sim 60\%$ 。由于导电流体的温度很高 ($> 3\ 000^{\circ}\text{C}$), 加上流体 (如煤粉) 有冲刷和强烈和腐蚀性, 所以材料便成为最关键的问题。

在这里, 对几种工作温度不太高的结构材料略加介绍。

1. 铝合金

铝合金是现代飞机的主要蒙皮材料, 它比重小 (2.7), 能耐 200°C 的高温, 可用作马赫数 2 以下飞机的蒙皮。近年来正在发展的铝锂 (Al-Li) 合金 (含锂 $2\sim 3\%$) 具有高比强度 (提高 $20\sim 24\%$)、高比刚度 (提高 $19\sim 30\%$), 比重小 ($2.5\sim 2.6$) 等特点, 并可超塑性成型。如用 Al-Li 合金代常规铝合金, 一架大型客机可减轻 5 吨左右。按英国航空公司的估计, 长途运输机波音 747 每减重一公斤, 一年可多盈利 2000 美元, 则年可多收入近千万美元。所以铝锂合金是 90 年代要发展的一种重要材料。

2. 钛合金

钛是一种比钢轻 (比重 4.55)、耐腐蚀性能好的无磁性高强度材料, 非常适于制造舰艇。钛还可以代替不锈钢用于化工。但钛的生产成本高, 工作温度也较低 (650°C 以下), 在航空发动机中只能用于低温段。

3. 高温合金

由于喷气技术的发展, 高温合金, 特别是镍基高温合金的发展在金属材料中是最快的, 图 2 说明其发展历程。它与新技术发展密切相关。50 年代中

期以前, 以调整合金成分而提高的锻造合金为主; 而后由于合金化程度的提高, 变形十分困难, 采用铸造成型, 发生了一个飞跃。合金晶界是高温强度的一个薄弱环节, 于是 60 年代初开始了定向结晶和单晶的生长, 材料性能进一步得到提高。合金化程度提高后, 合金元素的偏析问题很严重, 影响合金的进一步发展, 于是采用粉末冶金的办法。最近中国科学院金属研究所在系统地研究微量元素在高温合金凝固过程中的作用时, 发现微量元素对合金的偏析影响极大, 并通过严格控制这些微量元素发展出一系列高性能的铸造合金。通过这种措施还改善了变形合金的锻造性能与定向结晶的性能。利用粉末冶金法, 可加入陶瓷粉末, 经高能研磨, 而后成形、再结晶为柱状晶, 称之为 ODS 合金 (Oxide Dispersed Strengthened Alloy), 是当前高温合金的最高水平。由于高温合金的工作温度已接近它的熔点, 不可能再有大幅度提高, 但是它们对现代航空技术太重要了, 预计还会有所发展。据英国预测, 90 年代镍基高温合金及钛合金在航空发动机仍占主导地位。

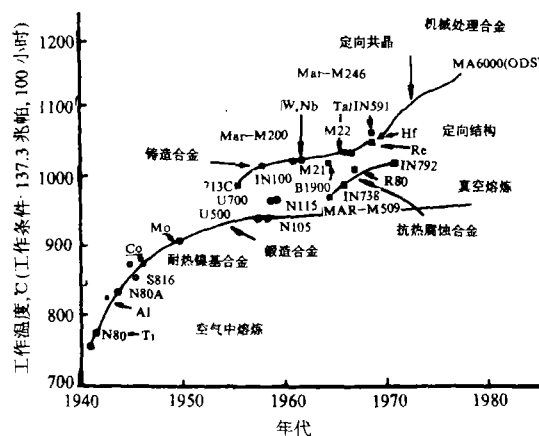


图2 高温合金的发展

4. 金属间化合物高温结构材料

金属元素之间可以形成固溶体, 也可形成金属间化合物。Ni-Al 系合金有面心立方的 Ni_3Al 及体心立方的 NiAl 两个金属间化合物, 它们的原子排列都是有序的。这些化合物的原子结合力比固溶体强, 高温强度高, 比重比一般镍基合金小, 还有较高的抗氧化与抗腐蚀能力。图 3 为 Ni_3Al 的比屈服强度与一般高温合金的对比。可以看出, 在一定温度范围内, 它随温度的升高而增加。中间化合物的最大弱点是脆性, 不同合金致脆的原因不同。如不能变形的六方超结构 Co_3V , 在加入 Ni、Fe 以后,

转变为面心立方超结构，成为具有良好塑性的材料；在多晶的 Ni_3Al 中加入 0.02~0.05% 硼，能使其室温拉伸塑性从零提高到 40% 左右；用粉末冶金工艺并结合合金化可使 Ti_3Al 、 TiAl 的塑性得到改善。这些突破给金属间化合物带来希望，使它们成为目前研究工作的热点，并有可能成为 90 年代的新材料。

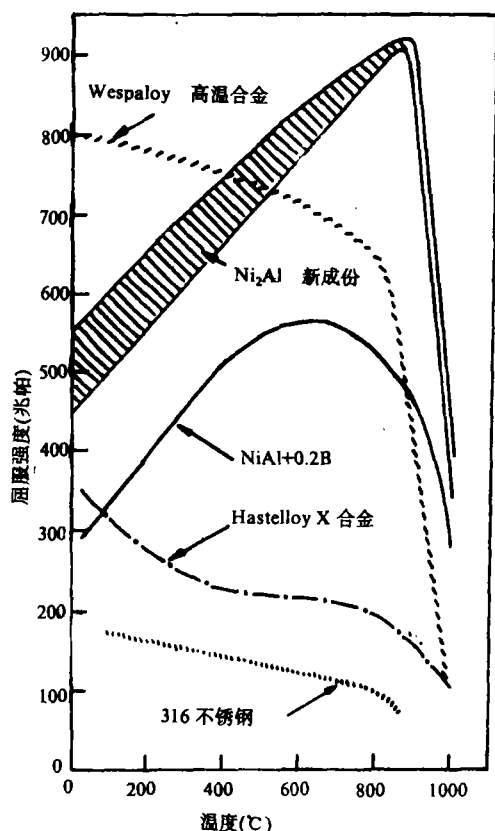


图 3 Ni_3Al 金属间化合物的屈服强度与高温合金及不锈钢的对比

5. 工程陶瓷

陶瓷的种类繁多，这里指的是 Si_3N_4 、 SiC 、 ZrO_2 、 Al_2O_3 及 Sialon 等。这类材料由于比重小 (3.2)，高温强度好，用于燃气轮机，可使工作温度从目前的 1 100℃ 提到 1 370℃ 或更高，从而可使热效率从 60% 理论值提高到 80%。当前，由于脆性和价格原因，还只用于刀具、模具和汽车发动机的零件。今后的发展方向是用于制造绝热发动机。由于脆性问题一时还得不到解决，所以工程陶瓷的研究是当前材料科学的热点。其主要研究方向：第一是提高材料本身的韧性，如通过引入缺陷使裂纹的传播受到阻碍，可以提高韧性；改善材料的显微结构，如晶粒度、晶界杂质的控制等，以及最近发展

的用纳米级原材料来制备陶瓷及采取复合材料的方式等都是提高韧性的有效途径。第二是发展使用脆性材料的机械设计方法，与提高材料韧性的新技术相配合。第三是研究脆性材料的断裂行为，确定不发生灾害性破坏所允许存在缺陷的临界尺寸及其监控与测试方法等。

6. 工程塑料

高分子材料是很多单元以共价键结合在一起的大分子，其数目可达百万。在熔化状态像一盘煮熟的面条，这是非结晶状态，橡胶便属于此，如图 4 (c)；还有部分结晶状态 (50%)，如图 4 (d)，聚乙烯、聚丙烯和尼龙等便类似这种情况；另外一种称之为液晶聚合物，其链的取向一致，而链的位置则是无序的，如图 4 (a)，这种结构可以从熔体形成，也可由溶液形成，芳纶 (Kevlar) 便是在芳环聚酰胺的聚合体中加入浓硫酸后结晶成为纤维，而后把硫酸洗掉而成的，如图 4 (e)，而聚乙烯是由熔体结晶而成。另外一种使聚合物达到结晶态的办法是固态挤压，如聚乙烯变形量 250 倍后的结晶度为 96%，其模量达 220 吉帕，接近理论值 (320 吉帕)，在各种纤维中，可谓是最高的 (见图 1)。

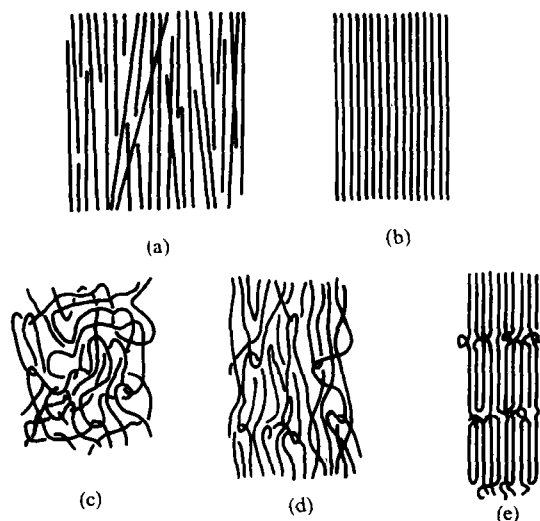


图 4 有机分子的结晶过程

共聚物强化的途径还可通过合金化及嵌段共聚 (Block Copolymer)，使两种不同性质的分子链用化学方法联结在一起，因此，当前的聚合物已进入按需要进行设计的阶段，称之为“分子复合材料”。预期到本世纪末，这种高性能纤维将大幅度增加。

三、信息功能材料是材料研究中最活跃的领域

信息通常包括三个方面，即通讯、计算机和控制技术。信息材料就是与信息的获取、传输、存储、显示及处理有关的材料。因为信息传递的媒介为电子（或电磁波），所以又称为电子材料。但是，近年来光子的作用愈来愈重要，光学与电学相结合成为光电材料。因为电子有一定的质量（ 9.1×10^{-31} 千克），传输速度比光子慢，而且在传输过程中还会发热和产生磁效应，这对制备高密度与高速器件（如集成电路）来说都会受到影响，因而用光作为信息的传递媒介便应运而生了。

1. 集成电路材料

在电子材料中最主要的是电子技术中的集成电路材料。近年来，集成电路的发展十分迅速，其集成度由 1978 年的 10~100 万发展到 1987 年的大于 100 万，加工精度由 2~3 微米发展到 0.8~1 微米。随着集成度的不断提高，要求制造工艺愈来愈精密，当集成度为 100 万（1024k）时，线宽在 1 微米以下，预计本世纪末可达 0.35 微米以下。

集成电路的发展对人类文明有很大影响，例如，由电子管到微机所起的变化，使电子器件的体积缩小了 30 万倍，功耗降低了 5.6 万倍，重量减轻了 6 万倍，而价格性能比的降低更是难以计算。

目前芯片材料主要是硅单晶。对硅单晶的纯度和缺陷的要求十分严格，而且集成度愈高对材料的要求也愈高。为了提高芯片的成品率（收得率），硅单晶的直径愈来愈大，如 1970 年为 50 毫米，1973 年为 75 毫米，1975 年为 100 毫米，1979 年达 125 毫米，1983 年为 150 毫米，目前为 200 毫米，到 2000 年预计可达 225 毫米。硅单晶直径愈大，愈容易发生偏析，制造难度也愈大，因此，对硅单晶的研究还不能放松。

硅是取之不尽、用之不竭的原材料，工艺成熟，制造集成电路的方法比较简单，在本世纪内仍然是集成电路的主要原材料，但是 GaAs 在 90 年代会有一个大的发展，因为它有不少特点（如表 1）。

表 1 硅、锗、砷化镓的若干特性

	禁带宽度 (eV)	电子迁移率 (厘米 ² ·伏·秒) ⁻¹	工作温度 (°C)	频率 (10 ⁶)
Si	1.107	1 900	250	300
Ge	0.67	3 800	100	1 000
GaAs	1.35	8 800	300~500	2 000

由于 GaAs 的开关速度比硅大得多，一个属于

纳秒级（10 亿分之一），一个则属于皮秒级（一万亿分之一），因而计算机的速度也相差千倍。此外，砷化镓作为光电子材料有特殊的功能。由于其电子结构的特点及电子的移动速度很快，其激化的电子可以发光而成为激光光源，也可用之做成激光探测器。这种特性有着广泛的用途，如光纤通讯、全息图象转换及光存储等，但是砷化镓集成电路的制作比较困难，目前仍处于开发阶段。

集成电路的集成度也有一个极限，那就是当集成度达到一定程度时（如 12 万 k），线宽在 0.1 微米左右，则所产生的热量足以使芯片发生局部熔化而失效，因此，目前正采用各种方法加以解决。一是采用三维电路，而不是平面；一是将硅外延在金刚石一类的薄膜上，以此为基底，利用金刚石的导热性好，又是电的绝缘件，可以提高承受温度；再者砷化镓的工作电量小，不易达到熔化温度，也是解决的途径之一。

集成电路发展的另一个重要方向是人工合成材料，那就是在原子量级上进行合成，利用分子束外延（MBE）、液相外延（LPE）、化学气相沉积（CVD）、真空蒸发（VE）、溅射沉积（SD）、固相外延（SPE）、金属有机分子束外延（MOMBE）等现代手段，可以把原子一层一层地按预定成分精密地排列在一起，其精度达 5~10 埃。这样可把集成电路和光电功能结合在一起，就是既有集成电路的功能，又有光电子功能，即所谓“多功能一体化”。目前研究较多的是，GaAs/GaAlAs 系，可以通过成分的变化来改变禁带宽度，称为“带隙工程”（Band-gap Engineering），通过禁带宽度的控制，可以得到不同的光电性质，从而可以根据需要制成多功能元件。

计算机的发展取决于集成电路，在 90 年代，除了硅及砷化镓集成电路以外，目前正在发展中的是光集成（光路集成）。光计算的研究已经开始，但不会成为 90 年代的主流。另外，更长远的是生物计算机，即利用生物分子的活性进行计算，在一个芯片上可有 10^{12} 个以上的分子，其运算速度可达每秒 1 万亿次，这恐怕是下一世纪以后的事了！

2. 信息存储材料

与计算机配套的是信息存储问题，在这方面的进展也很快，从 40 年前到现在一直以磁记录为主。至今磁盘的记录密度已超过 10^8 位/厘米²，磁带为 0.2×10^8 位/厘米²，相当于每位的面积为 1 微米²。磁头与盘带的相对速度分别为每秒几十米与几米。磁头与磁盘间隙为 0.2 微米，但与磁带是相接触

的, 因此, 除了磁盘磁带材料以外, 磁头材料也很关键。

磁带、磁盘是由磁粉涂敷于有机膜或铝盘上而成, 目前用量最大的 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 铁氧体粉末 (长 0.25 ~ 0.4 微米), 价廉, 稳定性好。60 年代发展出 CrO_2 , 用于录音、录像与记录磁带; 而后又发展出以钴 (Co^{++}) 改性的氧化铁粉, 可以得到记录密度更高的材料; 70 年代发展出长度为 0.2 微米、直径为 0.02 微米的铁粉, 记录密度进一步提高; 到 80 年代, 钡铁气体 ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) 作成 0.1 微米直径、厚 0.01 微米的盘状粉末, 也很有发展前途。除了粉末记录材料以外, 从 50 年代就开始研究金属膜记录材料, 目前已发展出多种成分, 如沉积在有机膜上的 Co , CoNi , 或 CoNiCr , CoNiPt , CoCrTa/Cr 等溅射连续膜, 及 CoCr/NiFe (1 000 埃 / 5 000 埃) 垂直记录双层膜等。表 2 为几种记录材料的对比。

表 2 几种磁记录材料

记录介质	商业水平 位 / 英寸 (位 / 毫米)	估计极限 位 / 英寸 (位 / 毫米)	面密度 位 / 英寸 ² (位 / 毫米 ²)
$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 磁粉	12 000 (472)	< 30 000 (1181)	10^7 (15 500)
溅射连续膜(Co-Cr)	40 000 (1575)	> 70 000 (2 756)	10^8 (155 000)
垂直记录双层膜 (Co-Cr/FeNi)	150 000 (5 908)	> 500 000 [*] (19 685)	10^9 (1 550 000)

* 曾达到 680 000 位 / 英寸 (26772 位 / 毫米)

磁头材料除了耐磨耐蚀以外, 还有电学与磁学要求, 过去都是铁氧体, 后来发展的巨姆合金与非晶态合金都不能满足高密度、高频率的要求, 从而改用晶态及非晶态薄膜复合材料。

最近发展的光存储与磁光存储不但密度高 (10^{10} 位 / 厘米²)、寿命长 ($> 10^5$ 次), 而且保真度高, 可以擦除, 发展很快, 在 90 年代可望与磁记录并驾齐驱。磁光材料最初为非晶态 GdCo , 近来的三元合金主要是稀土元素与过渡族元素, 如 GdTbFe 及 TbFeCo 。如采用 Co 及 Pt 薄膜重叠, 效果更好, 而且其结构可以根据需要而进行控制, 薄膜的厚度分别为 4 埃和 10~20 埃, 这就要用分子束外延才行。

3. 光导纤维与光通讯

通讯的方式很多, 用光导纤维通讯, 相对信息量最大 (一对线可容 3 万门), 材料的消耗也少 (与同轴电缆相比, 每公里节铜 1.1 吨、铅 2~3 吨)。1966 年, 英籍华裔学者高琨首先在光导纤维上取得理论上的突破; 至 1970 年, 美国康宁公司拉出了损耗小于每公里 20 分贝的光导纤维, 1976 年达到 1 分贝, 目前的最高水平为 0.15 分贝。由于光损失的下降, 从而中继距离可大幅度拉长, 如衰耗为 0.15 分贝 / 公里时, 中继距离为 500 公里。由于光通信的信息量大, 不受电磁干扰, 保密性强, 重量轻而易施工, 所以发展很快, 目前世界已有 3 万公里已经通话, 包括大西洋海底电缆 (6 680 公里)。在 90 年代将有更大发展。

光导纤维由高纯度石英玻璃加上少量掺杂 (P , Ge) 制成。为了进一步降低损耗, 目前正在研究多组份玻璃 (损耗可望降到 0.01~0.001 分贝 / 公里) 和氟化玻璃 (损耗可低到 3×10^{-4} 分贝 / 公里), 那时, 中继距离可延长到 2 500 公里, 从北京到广州的光导通讯, 中间就不需放大了。

4. 敏感材料及传感器

传感器的基础是敏感材料, 敏感材料的灵敏程度决定控制的精度。敏感材料多种多样, 因为外界条件变化无穷, 举凡声、光、电、热、磁、力和各种气氛都可引起材料发生变化, 从而成为敏感材料, 做成传感器。

温度传感器材料, 一般采用金属热电偶。 Mn 、 Ni 、 Co 、 Fe 等氧化物的烧结体, 可形成负温度系数热敏电阻, 其灵敏度可达 10^{-6}°C 。此外, 还有湿度敏感材料, 如 $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ 系陶瓷; 气体敏感材料, 如 SnO_2 用于检测可燃气体, V_2O_5 加微量 Ag 制成薄膜, 可测 1ppm 的 NO_2 ; 压力传感器是利用陶瓷的压电效应, 如 BaTiO_3 、 PoTiO_3 等都对压力的变化十分敏感。目前的发展趋势是多功能传感器, 如 $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$ 系及 $\text{BaTiO}_3\text{-SrTiO}_3$ 系多孔陶瓷分别为湿度—气体及温度—湿度传感器。当然传感器不都是陶瓷材料, 金属、有机与半导体材料都是敏感材料的候选者, 视材料的特性而定。形状记忆合金便是利用相变达到控制作用的一类材料, 应用比较广泛, NiTi 合金在相变点温度以下膨胀, 以上收缩, 利用膨胀与收缩两种效应便可实现控制作用。

以上仅是信息功能材料的一部分, 此外还有激光材料、显示材料和非线性光学材料都是功能材料十分重要的组成部分。

四、能源功能材料是一个开阔的领域

能源功能材料可以分为新能源开发与节能两类。目前常规能源资源有限,有的只能维持几十年(如油与天然气),有的几百年(煤、铀),因此,新能源的开发与现有能源的有效利用便成为当务之急。

1. 高临界温度超导材料

固体中的超导现象是1911年发现的,但一直发展很慢,没有突破液氮温度。1986年瑞士缪勒(Muiller)等发现了在30K具有超导性质的LaBaCuO系以后,引起了全世界范围的研究热潮,不到一年就发现了液氮温度以上的氧化物超导体,图5说明整个历程及目前最受重视、其临界温度在液氮温度以上的三个超导成分体系:YBa₂Cu₃O₇, BiSr₂CaCu₂O₈和Tl₂Ba₂Ca₂Cu₃O₁₀。

超导的用途极为广泛,如作成约瑟夫森元件,可用于制造计算机,大大提高电路集成密度,使亿次计算机的体积像微机大小;如用来作超导量子干涉器,可用于低噪声磁量计,做地球物理探矿和电压计量等精密测量,这些都要超导材料做成薄膜,从目前来看,已基本达到实用阶段,其电流密度可达几百万安培(每平方厘米)。二是用做能源材料,要求块状或线材,目前还存在很大问题。第一是电流密度还不够高,虽然我国上海冶金所已做出在2.5万高斯磁场强度下电流密度可达4万安培(每平方厘米)的材料,比起现有NbTi超导材料来说还有很大距离。第二是材料的脆性问题要得到解决,否则也很难得到广泛应用。从目前情况来看,要真正达到实用状态,对薄膜材料来说,不久可以实现;对体材料则可能要到本世纪末。同时,还要寻找更高温度可用的超导材料,如在干冰温度(-78℃)或室温具有超导功能的材料。另外,在超导理论方面目前还没得到解决。

2. 永磁材料

磁性材料是主要的信息功能材料,它在信息的存储与控制元件方面占有重要地位。这里着重介绍现代永磁材料钕铁硼,因为它是能源交通用材料的一部分,同时,我国又是稀土钕的重要产地,钕铁硼将是今后我国重要产品之一。

永久磁性材料在30年代主要是磁钢,40年代出现了AlNiCo,60年代为稀土钴合金,进入80年代又出现了Nd₂Fe₁₄B,与磁钢相比,使磁能积(BH)_{max}提高了近百倍。这可使磁铁变得更小,马

达更为有力。

我国对Nd₂Fe₁₄B材料的研究开始很早,也取得了较好的成果。在选料方面我们可用纯度不太高的Nd稀土炼出高性能的磁性材料,因而成本大为降低。在性能方面我国居于世界先进水平,(BH)_{max}达42以上。但是还有不少工作需要作,如抗氧化和提高居里点。特别是这种合金的理论磁能积(BH)_{max}约为64,目前的实际值还相差很远,大有潜力可挖,如采用先进工艺,即通过微粉或超细微粉(纳米级),可使性能进一步提高。

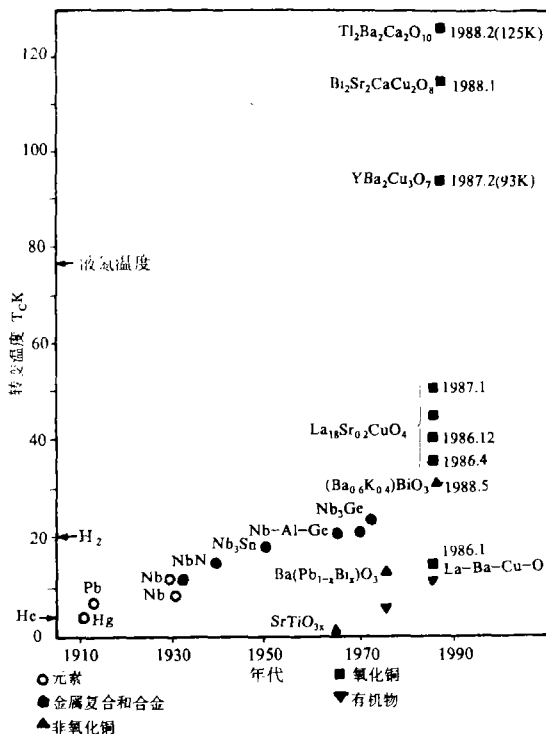


图5 超导体的发展历程

3. 太阳能转换材料

太阳能变为电能有收集、转换和储存问题,目前都还没有得到解决。光电转换材料必须要高效、长寿、价廉。如GaAs与单晶硅的转换效率都在20%以上,但价格太高,只能用于宇航等行业。非晶硅可大面积涂敷,厚度薄,光吸收系数高,材料消耗只有单晶硅的2万分之一,其转换效率理论值为24%,而目前只达到12%,很有发展前途,但稳定性存在问题,寿命不够长,需要进一步研究。多晶硅虽价格不高,稳定性也好,但转换效率还不高(10%左右)。因此,探索新型材料或开拓新的转换原理是目前当务之急。几年前曾盛传转换效率达60%以上的有机材料,事实上只是一种设想。

太阳能利用在中国有特殊的重要意义,因为我国有日照时间长而又缺电的辽阔地区。太阳能的转

换必须伴随着高能蓄电池, 目前这方面并没有得到很好解决。

4. 有机导电高分子、分离膜与生体机能模拟材料

有机高分子材料聚乙烯及一些其他有机材料都可成为导电材料, 其导电程度接近铜或银, 这是近几年来有机材料的一个发展。但是这类材料受到一些限制, 还没有成为工程材料。最主要的是稳定性问题。有机材料比重小, 资源丰富, 当是今后发展的一个重要方向。此外, 有机高分子也曾是高温超导体希望之所在, 因为 80 年代初曾发现高分子也具有超导特性, 虽然其临界温度还很低 (图 5)。

在高分子材料中更有发展前途的是分离膜, 利用膜的不同孔径和其他原理, 可以把不同的物质分开, 从而大大节约能源。目前有的已工业化, 有的还在探索阶段, 如合成氨尾气中含氢 5% 左右, 利用分离膜可以把它和氮分开而再利用; 又如海水淡化, 采用分离膜也是很有希望的; 氮氧分离膜是当前的热门之一, 因为可以大大提高燃烧效率, 目前已富集到氧为 40%, 可提高燃效 30%。此外, 如果分离膜兼有分离与催化两种功能的话, 通过分离膜还可以实现化学合成。

人和其他动物是能量利用效率最高的, 不通过高温高压而能充分利用能量, 是人们正在追求的能量转换方式。通过一种材料来实现这种高效转换, 从而改变很多工业流程是人们正在追求的事, 但能否实现还是一个问题!

五、生物材料与智能材料日趋发展

生物材料是指用于生物体的材料, 又称生物医学材料。与一般材料相比, 使用环境特殊, 要求更为严格。这类材料在 60~70 年代开始发展起来, 目前已形成材料与医学交叉学科。对生物材料的要求有: 在生物学方面, 必须是不显示毒性或过敏反应, 与生物组织的相容性好, 不致癌, 不产生血液凝固或血溶, 不产生代谢异常或被排斥, 在生物体内不分解或沉淀, 在力学方面要弹性和硬度适当, 有一定的耐疲劳与耐磨性等。

常用的生物材料有金属 (钛、不锈钢、钴铬钼合金)、陶瓷 (Al_2O_3 , 铝酸钙、生物玻璃 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$)、碳素材料、高分子材料, 以及各种复合材料。到目前, 除了神经系统以外, 几乎各种器官都能做出来, 并具有生物功能, 如人工肌肉和人工心脏的伸缩功能, 人工肾脏的选择渗透功能, 人工血液的输氧功能, 以及人工脾脏的生理活性物质分泌功能等。这些器官多数是有机高分子材料, 因为它有较好的柔韧性, 生物相容性也好, 而且可制成不同柔度和孔隙度的器官, 使其接近生物体的组织。但有机高分子材料具有易老化, 寿命期短的缺点。常用的原材料有聚乙烯、聚氨基甲酸酯、聚四氟乙烯等。

生物材料与人体的相容性可以通过表面处理来实现。为了使人造器官或组织与人体适应性得到改善, 甚至产生治疗的效果, 可以把生物化学及药理学与生物材料相结合, 使抗凝药物或抗菌药物有控制地从人工器官或组织发出。

受生物材料启发, 近年来人们提出智能材料的设想。所谓智能材料就是对材料的工作环境能进行客观判断, 并产生相应的反应, 从而使材料更好地发挥作用。一是材料在外力作用下能像手一样在劳动过程中产生老趼, 这样不致因为长期劳动而被磨破。材料也可产生自愈合, 和人的皮肤一样, 这样经过长期疲劳载荷的零件, 可以通过小裂纹的不断愈合而无限延长其使用寿命, 或通过应力的松弛而阻止裂纹的生长。另一种是预报材料性能的改变或断裂的来临。可以通过在材料中的重要部位埋入小的传感器, 用光导纤维把它们连接起来, 这样就可对材料内部的变化记录下来, 或进行实时监测, 不但提高材料的使用效果, 也保证了安全。

随着信息技术和计算机的发展, 智能材料的实现并不是不可能的, 估计在 90 年代会有较大的进展。

本文作者师昌绪 (Shi Changxu) 系学部委员、国家自然科学基金委员会副主任, 本刊编委。

(责任编辑 刘先曙)