

对发展我国先进材料的几点意见

Some Considerations on The Development of Advanced Materials in China

师昌绪

(国家自然科学基金委员会副主任, 科学院学部委员)

据美国材料研究学会(MRS)1990年9月出版的一期公报报道:美国商业部预测2000年的新兴技术市场将达3660亿美元,其中先进材料为1500亿美元,占42%,如果包括超导材料50亿美元,则占43.5%;从全世界来看,新兴技术市场为10000亿美元,先进材料占40%。这里所说的新兴技术(emerging technologies)是指有应用前景并可成为产品,而且将在10年内占有重要市场的技术。先进材料以及超导材料是新兴技术市场的一部分。所谓先进材料(advanced materials)是指结构陶瓷与功能陶瓷、陶瓷基与金属基复合材料、金属间化合物与轻合金、先进塑料、表面改性材料、金刚石薄膜、膜材料及生物材料等。

从美国商业部的这篇报道可以看出,先进材料在今后新兴技术市场的发展中占有何等的重要地位。如果考虑先进材料对其它新兴技术或已成熟的技术的影响,其作用就更为突出了。可以说,没有先进的材料,多数高技术或新技术都不能得到发展;反过来,先进材料的突破,对其它新兴技术或高技术的进步会产生难以估计的影响。所以,世界各工业发达国家对先进材料的研究与开发莫不给以充分的重视。为此,我国也把先进材料的发展放在优先地位,如“六五”、“七五”攻关计划,都包括了先进材料,并给予重点投资;1986年建立的“863高技术”计划,也把先进材料做为七个重点发展领域之一。但是中国是发展中国家,应该如何发展先进材料?先进材料应该放在什么位置?笔者愿提出一些肤浅的看法,希望批评指正。

一、在重视先进材料研究与开发的同时,必须重视基础材料(或称传统材料)的研究

当前,我国存在一个较为严重的问题,就是基础材料与国际水平的差距比先进材料与国际水

平的差距大得多,特别是在工业生产方面。所以,我国在重视先进材料的同时,更应关心基础材料的研究、开发与生产。例如,在开发新金属材料的同时,还要重视钢铁、铜、铝等基础材料质量的提高,品种的扩大和成本的降低;在发展芳纶及其它高级工程塑料的同时,还要十分重视常用塑料与纤维品种的开发与质量的提高,尽快改变我国塑料与钢铁比过低的现象。我国塑料与钢的比只有2.6%(1985),而美国与前西德早在80年代初(1981)就分别达到11.4%及15.9%。开发塑料与其它高分子材料,周期短、投资少、能耗低(单位体积聚苯乙烯为1时,钢为10,铝则为20),因此,以塑料代钢已是当前一个重要发展方向,如玻璃钢便是其一。另一方面,在重视精细陶瓷研究的同时,要十分重视水泥、玻璃与新型建筑材料的开发。建筑材料在我国有广阔的发展前景,因为用量大、品种多、原料丰富。结合我国资源特点,尤其是熔渣、尾矿及矸石的综合利用,研究工作大有可为。

同时,我们还要清楚地认识到,基础材料上不去,也会影响先进材料的发展和应用,因为先进材料与基础材料往往配套使用,如电视机中有很多先进材料,但也离不开基础材料,如低碳钢,我国便因国产低碳钢板的质量不合乎要求,曾长期依赖进口。另一方面,在很多情况下,采用先进材料的工艺,基础材料也可以得到改进和发展。因此,先进材料与基础材料互为补充,互为推动力,也互为基础。

此外,发展先进材料要尽可能做到军民结合,寓军于民,改变过去把军用材料视为专用材料的做法。专用材料一般产量小、成本高,而且不通过大批量生产,材料的稳定性也得不到保证,因此军用材料应尽可能向民用扩展。如钛合金既是良好的航空航天材料与舰艇材料,又是优良的耐蚀材料。但只有通过大量的化工应用,钛合金的成本才能大幅度下降,生产稳定性才明显增加。

二、发展先进材料要和发展高技术群相结合

材料工业是基础工业。先进材料也一样，它是为其它技术配套的，发展材料本身并不是目的。因此，要想使材料得到健康的发展，其它高技术产业也必须得到相应的发展。我国当前在先进材料的某些领域虽处于国际先进水平(如人工晶体)，受到国外的欢迎，评价也很高，每年都有一定数量的出口，但国内市场很少，这就是先进材料与其它高技术产业互相脱节的结果。这不但影响了国家的收入，也不利于材料自身的发展，因为材料与器件或整机相比，售价相差很大，不是一比几，而是一比几十或更高。如我们的钨精矿，低价卖出后，又高价购入钨丝，一出一进，造成资源的极大浪费和重大的经济损失。另外，材料只有通过应用，性能才能不断改进，不断提高。因此，先进材料与其它高技术也是一个互相促进的关系。在这里，应该特别强调组织工作与政策导向的重要性，即加强先进材料工作者和器件与整机工作者之间的密切合作，如激光晶体与激光器的密切配合。在鼓励出口创汇的同时，要首先满足国内发展高技术产业或科学研究的需要。要增强群体观念，爱国思想。当然，也不能因噎废食，不能因为国内高技术还没有充分发展，先进材料的研究就停滞不前。总之，凡是在国际市场上有竞争能力的材料，都应大力发展，这样才能促进国内高技术的发展。

三、发展先进材料必须重视材料科学与新技术的发展

先进材料既然是知识密集、技术密集的一类新兴产业，因此，先进材料的发展不是靠经验的积累，而是靠知识的扩展与新技术的运用，这就是近30年来形成的一门新的学科“材料科学与工程”。“材料科学与工程”专门研究材料的组织结构、性能、合成生产过程及使用性能(Perfomance)，以及其相互间的关系。一般来说，材料科学研究的是材料内部的内在规律(从微观到宏观)及其与外界的关系及交互作用；而材料工程则是研究材料制备与生产中的各种科学问题，包括材料的设计与使用。二者密切相关，相互交叉，甚至互相融合。“材料科学与工程”不但与先进材料有关，对基础材料的质量提高与合理利用也是不可缺少的。当前材料科学与工程的重点研究内容包括：

1. 新工艺、新技术与新的合成方法的探索

每当一种新工艺、新技术或新的合成方法出现，材料的发展就可能产生一次飞跃。如随着快冷技术的出现，产生了金属的非晶态、准晶和微晶；随着外延技术的出现，产生了人工合成材料，如超晶格、合成薄膜，并可以按照人的意志

控制在1-2层原子厚度加入任何元素而达到预期的性能，这已成为当前光电子材料开发的重点。新工艺、新技术发展的主要方向是利用极端条件，如超高温、超高压、超高真空、微重力、强磁场、强辐射、高速及快冷等。在极端条件下，物质结构往往会发生突变而出现优异的性能。这就是先进材料的起始点。我国在这方面还没有走出模仿的圈子，因此应予足够重视。

2. 除了继续注意研究材料的组成、结构与性能的关系以外，要特别重视在接近使用条件下的性能

当前，组织、结构与性能关系的研究最活跃的有两个领域，一是纳米级微粒子，二是非平衡态金属。前者是指直径在10纳米以下的颗粒，许多来自量子尺寸效应与表面效应的性质都发生了变化，如热导率的增加，吸光能力的提高，熔点的明显下降，扩散系数达到晶界扩散速率的1000倍，都为先进材料的发展提供了很好的前景。另一个领域是非平衡合金，如用离子注入方法可以形成过饱和固溶体，用急冷方法可以形成非晶态结构和微晶。这些方法不但可以改变目前的合金化手段，而且有可能导致新合金理论的出现。这些研究在我国都相继开展起来了，问题在于如何组织起来，尽可能地减少低水平重复。

由于受力条件与环境因素的显著差异，材料的实验室性能往往不能代表实际使用性能。例如钢的疲劳强度，一般是抗张强度的一半左右，但如存在缺口(如机械零件上的孔径或尖角)，疲劳强度就会降低；如果在腐蚀介质中工作，其疲劳强度还会大幅度下降。而且，这些现象随着材料强度的提高而加剧，有时强度高的材料反而不如强度低的，这常常在机械设计的选材上造成失误。又如材料的尺寸效应，有些材料在实验室条件下进行试验时表现为韧性，而制成很厚的板材(如核反应容器)时，则会表现为脆性材料。凡此种种，都是不容忽视的问题。

3. 重视高性能精密仪器的发展

仪器是研究和生产材料的眼睛，是发展材料科学与工程必不可少的手段。事实说明，仪器每前进一步，就可能有新的发现，产生新的飞跃。由于19世纪末X射线的发现，物质内部的原子排列才为人所认识；由于20世纪初电子显微镜技术的逐步发展，现在已可分辨出单个原子的存在；最近发展的扫描隧道显微镜，不但可以观察到材料中原子的排列，而且可以跟踪它们的行动；同步回旋加速器是当代更为有力的一种大型装置，可以用来研究材料中原子的价态、声子结构以及表面原子键合状态等。我国在这方面还存在一些问题。一是国家对仪器的研究和生产重视不够，若干年来一直靠引进来维持。由于商品仪器一般要比原型仪器落后几年，因此我们总不能在科学研究上走在世界前列。而且，我国仪器用量大，依靠进口必然消耗大量外汇，如果用这

些钱来兴办几个生产现代化仪器的工厂，则不但可满足国内的需要，更重要的是可以根据自已的研究成果，不断发展创新，再打入国外市场。二是我国科学技术人员对发展自己的科学仪器不够重视，很少自行设计和制造较大型的设各，而只是满足于使用现成的进口设备，这就影响了创造性的充分发挥。

此外，对与材料质量控制和机械零件寿命估算密切相关的无损检测也研究不够。众所周知，工程陶瓷最大的问题之一是质量的稳定性。这是因为陶瓷具有高强度、低韧性，造成灾害性破坏的临界裂纹很小。在陶瓷中，即使只有几微米大小的裂纹，就可能导致突然破坏。因此，必须发展高精度的无损探伤装置进行监控，以保证产品的稳定性，特别是高精度、高灵敏度的在线无损探伤装置，是提高产品质量的重要保证。

4. 运用电子计算机，开展新材料设计

由于现代电子计算机的发展和对材料结构及其与性能的关系的深入了解，以及材料的先进制备技术的不断开发，目前已经有可能按照人的意志进行材料设计。一般来说，材料设计可分为三个层次，一是微观层次，限于原子与分子尺度，主要是运用统计力学与量子力学的手段，研究原子与分子的集体行为，从而发现新现象、新性能直至发展成为新材料；第二个层次为显微结构，其大小在微米以上，考虑的不是单个原子行为，而是一定原子数量范围内的平均性质，如形变、磁性，一般是运用连续方程来描述，如扩散方程；第三个则是更为宏观层次，如宏观性能、生产流程与使用性能间的关系等。为了指导材料的生产与设计，就要把所有因素都考虑进去，利用计算机模拟进行设计，从而可以找出符合要求的新材料的最佳成分、结构及生产工艺。当然，材料设计目前还仅仅处于初级阶段，只能在不同层次进行设计，如能带工程、晶界工程与生产流程等，它们分别代表三个层次。不同材料发展的阶段也不相同，有机高分子材料发展快一些，已进入了分子设计阶段。随着科学技术的发展，材料设计会逐步完善起来，其中最关键的基础是，建立完整的数据库与知识库，发展符合实际的解析与数字模型。这就要求应用数学家、物理学家、化学家、材料科学家，机械制造工程师等密切合作。当然，在我国目前还仅处于初级阶段，应在不同层次中进行尝试，使我们的材料科学研究逐步深入。

四、要充分重视我国材料科学与工程人才的培养

我国与材料有关的高等学校很多，专业也很齐全，每年培养出大量的大学毕业生。仅金属材料与热处理专业全国就近百个，每年培养出几千人。此外，陶瓷、有机高分子，以及与材料相关

的固体物理与固体化学等专业每年毕业人数比美国多若干倍。从我国现有工业基础来说，材料专业人才不是缺少而是过剩，只是质量上远远不能满足当前材料科学与技术高速发展的要求。这主要表现在学校专业太细，学生知识面太窄，更为严重的是在职人员的知识不能适应现代工业的需要和交叉学科的发展。因此，必须加强继续教育，使从事有关材料的工程技术人员，研究教学人员，以及使用材料的设计人员，对现代材料有更深入的了解。领导者应具有高瞻远瞩的素质，为科学技术工作者创造条件，鼓励那些力求上进，不断做出贡献的人。材料科学工作者要增强信心，提高自学能力，立志为我国材料工业和材料科研与教学做出更大的贡献。

当前，我国在科学技术领域中存在的另一个问题是人才流动与学术交流不够。大学近亲繁殖非常严重；研究所死水一潭，活力较差，学术思想不够活跃。因此，要大力促进各专业（如物理、化学、应用数学及工程科学）之间的密切合作；同时，要提倡大学、研究所与企业间工程技术人员与科学家的相互交往，鼓励企业中的科技人员到大学进修，到研究所进行研究。特别要强调的是，要充分利用国家重点实验室和部门开放实验室的条件，加强人才交流，活跃学术思想，促进不同专业、不同来源人员间的共同协作。当前我国已建和在建的国家重点实验室以及中科院和教委所属研究所和大学的开放实验室中约有1/5与材料科学和工程有关，充分利用这些条件，不但能解决某些科学问题，对人员的提高与知识的更新，都会产生很好的效果。

五、促进先进材料产业的形成

先进材料是许多高技术的基础，因此，先进材料必须达到产业化才能发挥它们的作用。当前，我国先进材料的研究，从实验室水平看，与世界差距好象不太大，但真正投产的却不多。如光导纤维，我们在实验室似乎已达到了80年代末的世界水平，但用于大规模生产时，仍须进口，因为我们的生产装备不配套，大批量生产的工艺并没有过关，还只停留在实验室水平，成品率、稳定性及经济性都不能与国际商品竞争。之所以形成这种局面，除了因为需要不够迫切，不能促进其发展以外，缺乏新材料中试基地，研究成果无法经过“生产可行性”考验也是重要原因。更深层的原因是当前某些政策和观念不利于研究成果的推广（如认为技术不值钱，投入多而回收少，有时高达几十倍的差异）。但这种状况看来一时还很难改变，因为这涉及面比较广，有经济结构和体制问题，也有认识问题。但我们材料科学工作者，应努力创造多种形式，使材料研究成果能迅速向商品转化。

（责任编辑 刘先曙）