

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

中小學生課堂故事博覽

结构重塑显奇功

—材料化学的故事

e-BOOK
网络资源 电子图书

材料的中国之星——陶瓷

陶瓷是我国古代劳动人民的重大发明之一，欧洲人也一向视中国陶瓷为无价之宝，所以，欧洲人把瓷器叫做“China”，久而久之，“China”成了中国的英文名称。

陶瓷是陶器和瓷器的总称。陶瓷的产生和发展是中国灿烂的古代文化的重要组成部分。早在公元前5000年的新石器时代，我们的祖先就开始用普通粘土在很高的温度下烧制陶器，这是一种粗糙简陋的器皿，以后经过不断改进，到新石器时代的晚期，已经能造出比较光滑，质地较坚固而且具有不同颜色的陶器了，但它的缺点是容易渗水。到了奴隶社会的商代，人们已经发明了陶器上釉的技术，使陶器既美观，而且不渗漏，不易被污染。同时，人们已经开始选择比较好的粘土来烧制瓷器了。至此，陶瓷日用品和工艺品的水平不断完善。陶瓷产品最负盛名的当属宜兴和景德镇了。

江苏宜兴，以生产陶器闻名于世。帮助越王勾践灭吴的大夫范蠡，在灭吴以后，带着西施隐居宜兴烧起陶器来，开创了宜兴的陶业，因此，历代制陶艺人都奉范蠡为祖师爷。宜兴的茶壶，曾为许多文人墨客所推崇，当年苏东坡择居宜兴蜀山，特别喜欢用提梁壶饮茶。重感情的陶工为了纪念他，就将这种提梁壶称为“东坡壶”。宜兴被称为“陶都”是当之无愧的。

江西的昌南镇，自汉朝开始烧制白瓷，到宋朝景德年间已盛名中外，从此昌南镇改名为景德镇，作为“瓷都”盛名绵延至今。

普通陶瓷以粘土、石英、长石为重要原料。故又叫三组分陶瓷。

粘土是一种细颗粒的含水铝硅酸盐，当与水混合时产生塑性。尽管各地的粘土，其化学、物理性质各不相同，但共同的特点是具有结晶状的电中心层状结构，从而使其有柔软性、润滑性、易于劈裂等一系列物理性能。陶瓷坯体中，粘土一般要占到45%~60%，其主要作用是为成型提供细颗粒物质和良好的可塑性，并在烧成的过程中使坯体具有一定的强度与耐火性能。

低品位的粘土到处可见。常用于制造陶瓷的是一种以高岭石 $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ 为主要成分的高级粘土，即高岭土。

制造陶瓷的第二种重要材料是石英。它的分子式是 SiO_2 ，大多以结晶态存在于石英矿中。石英非常硬，不溶于水，高温溶化时为无色透明液体。石英是酸性氧化物，是地球上数量最大的一类矿物。以它为基础的硅酸盐材料是无机非金属材料中最重要的部分。石英在陶瓷中的作用主要是提供坯体耐熔的骨架，使之不在烧成时变形，并且提高陶瓷的机械强度及半透明度。

制造陶瓷的另一重要原料是长石。主要有钾长石 $K(Al_2Si_3)O_8$ ，钠长石 $Na(Al_2Si_3)O_8$ 及钙长石 $Ca(Al_2Si_3)O_8$ 。这些铝硅酸盐在陶瓷中是作为助熔剂的。在未烧成前，可降低可塑性，缩短干燥时间，减少坯体收缩，在烧成时，促进形成玻璃相，降低制品的烧成温度。

普通陶瓷的生产工艺大致相同，主要工序是：泥料制备、成型、干燥、上釉和烧成。

一、泥料制备

由于原料来源不一，制品品种繁多，成型方法各异，所以泥料制备十分复杂。一般制备过程如下：

石英→煅烧
 长石→拣选
 粘土→干燥

破碎→球磨→除铁→过筛→压滤→

炼泥→陈腐→成型

二、成型

成型又叫制坯。它是将泥料拌适量的水，灌注在石膏或金属模具中使之成为制品的生坯。

三、干燥

为了防止在烧成时裂开，生坯要进行干燥，通常在室式或隧道式干燥室内用热空气进行，也可用电热、远红外等进行快速干燥。含水量较大的坯体，在水份蒸发时，会发生较大的收缩，为了避免坯体翘曲或开裂，应小心控制干燥速度。

四、上釉

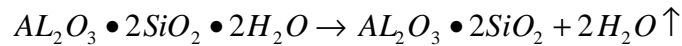
釉涂在陶器或瓷器表面，起着美观、光滑、不渗水等作用。釉是由长石、石英、硼砂、氧化锌调配而成的，其中还掺有少量的金属氧化物如氧化铁、氧化铅、氧化铜等作显色剂。

五、烧成

陶瓷制作的最后一道工序是烧成，坯体在高温过程中发生一系列物理、化学反应，形成一定的物相组成与显微结构，从而使陶瓷具有所需要的机械、电、热等性能。

烧制时发生的物理和化学变化主要为脱水、分解和氧化。用化学方程式表示：

脱水：



分解：



烧成：



另外，还发生了重量、体积、颜色、强度、硬度和形状等物理变化。经过高温烧制的坯体还要放在窑里让它渐渐冷却，到 80 时开始出窑，取出来的就是美观、坚固的陶瓷品了。

陶瓷是最古老的硅酸盐材料。精致的中国陶瓷制品，至今仍然吸引着世界各地的客商。随着科学技术的发展，具有特殊优异性能的现代陶瓷材料也飞速发展起来，并且已被非常广泛的应用，被人们誉为永不凋谢的材料之花。

陶瓷经过特殊的“极化”处理后，它在机械力、光能的作用下，能把它们转变成电能，在电场作用下，又能把电能转变为机械能。这种特殊的功能叫做“压电效应”，具有这种压电效应的陶瓷叫压电陶瓷。核试验员带上用透明压电陶瓷做成的特殊目镜，带来了很大的方便。原子弹爆炸，当核闪光

强度达到危险程度时，由于光的作用护目镜的控制装置马上就把它转变成瞬时高电压，防护镜自动地迅速变暗，在千分之一秒钟里，能把光强度减弱到只有万分之一，险情过后，它还能自动复原，不影响驾驶员的视力。这种压电陶瓷护目镜结构简单，重不过几十克，只有火柴盒那么大，安装在防核护目头盔上携带十分方便。

新型陶瓷的种类有很多，如具有气敏、热、电、磁、声、光等功能互相转换特性的各种“功能陶瓷”，用于人或动物肌体，具有特殊生理功能的“生物陶瓷”等等。下面再介绍一种十分有趣的陶瓷——“啤酒陶瓷”。

说起“啤酒陶瓷”的出世，还有一个非常有趣的故事。美国化学家哈纳·克劳斯在研究一种用于导航容器的材料配方时，无意中错把身旁的一杯啤酒当作蒸馏水倒入一个盛有石膏粉、粘土以及几种其他化学药品的烧杯中，然而，正是由于这个“无意之中”的举动导致了啤酒陶瓷的问世。这一杯啤酒一倒入烧杯中，就出现了意想不到的奇特现象，烧杯中的那些混合物立即产生了很多泡沫，体积突然膨胀了约两倍，不到30秒就成了硬坯。这次偶然制成的啤酒陶瓷居然是一种具有很多优良特性的泡沫陶瓷，这是谁也没有料到的。这种后来被人称作“啤酒石”的陶瓷具有釉光、重量轻、无毒、防火性能好等特点。由于啤酒石形成时固化速度快，并有那么多优良特性，它将在增强运载工具的绝热性能、安全储存核废物以及在包装业、汽车制造业、农业等方面具有很高的应用价值和商业价值。一些专家认为，啤酒石最重要的用途之一是储存核废料。大家知道，核废物如储存不当，会对环境造成非常有害的核污染。当前处理核废物较大的问题是容器，传统的方法是用防锈、不漏气的钢鼓储存，容器的内壁常用一种塑料作为防护套。但是，一旦粘结剂失效，就会发生泄漏，由于啤酒陶瓷具有自行上釉的特性，所以可将其喷在新钢鼓的内表面，或旧钢鼓的外表面，形成啤酒陶瓷釉，成为一个不破裂、不泄漏的防护套，这样就可安全地储存核废物了。

透明的世界——玻璃

我们的生活，好比一幅宏大美丽的画卷，五彩缤纷、瑰丽多姿。我们就生活在这幅美丽的画卷中，心情舒畅，同时又不无自豪，因为，这个世界是我们人类自己的杰作。

在生活中，我们常常看见各种布置精巧的橱窗，这不，前面便又是一个。不过，这可不是一般的橱窗。你瞧，一个透明的台柜，上面铺着蓝色的天鹅绒，几件形象奇特的、透明的艺术品，巧妙地陈列在一盏台灯的周围。台灯是一体七色的，七种柔和的光，从灯罩里挥洒而出，映着这些透明的珍奇，更是显得晶莹摧灿，光彩夺目。台柜旁边是一架精巧的透明的茶几，上面陈列着几套各式各样的透明的杯盏。一只形状奇特的高脚杯，盛放着一杯鸡尾酒似的彩色液体放在一旁，那界限分明的色彩，盈盈欲滴，好像要飞泻而出似的。

毫无疑问，这是一个玻璃制品的橱窗了。不过，它将各种奇异形状的玻璃器具与各种色彩如此巧妙地布置在一起，不由得令我们对这个透明的世界刮目相看。在我们日常生活中，玻璃可以说是司空见惯的。我们一睁眼，首先映入眼帘的便是从窗户上倾泻进来的明亮的光线；我们一想喝点什么，无意中拿的便是一只透明的杯子；书桌上有几件小巧的玻璃工艺品，还有透出

柔和的光线的台灯；当我们到实验室里后，各式各样的玻璃仪器便开始垂首候命。还有，我们鼻子上的玻璃眼镜，科学家们用的显微镜，天文学家们将遥远的星球拉到我们的视野里的望远镜，它们关键的部分——镜片便也是由玻璃制成。玻璃，以它良好的透明的性能，一定的机械强度，方便的加工工艺，美观的各式造型，以及低廉的工业成本，越来越深入到我们的生活画卷之中，为我们美好的生活增添了神奇的透明的美景。

其实，在古代的埃及就已经有了玻璃制品，玻璃珠一直是埃及当时的高贵装饰品。考古学家在埃及的古墓中发掘出的一颗最早的玻璃珠它的年龄有五千五百岁，它就是埃及玻璃的见证。

在我国的考古文献中，也曾介绍西周（距今三千多年）的白色穿孔玻璃珠，以及战国时期的彩色料珠等。它们是在河南、湖南、山西等地古墓发掘中得到的珍品。

考古学家找到了古代的玻璃制品，但玻璃是怎样发明的，谁也没有找到答案。可是我们谁都会从心里敬佩那些无名的匠师，因为玻璃的发明，为人类文明的发展做出了极其伟大的贡献。

公元一世纪初，古罗马把原料放在窑里熔炼，温度大大提高了，熔制的玻璃液已从不透明变成透明的。他们用吹管把玻璃液吹制成各种形状的玻璃制品，如美丽精巧的药瓶，风格别致的酒杯和宝石般的装饰品。玻璃技术的发展，记录了罗马的文明。

到了中世纪时期，意大利的威尼斯成了玻璃业的中心。威尼斯玻璃制品样式新颖、别具一格，因而畅销全欧乃至世界各地。威尼斯玻璃业有八百多年的历史。十五世纪到十七世纪为鼎盛时期。当时，威尼斯玻璃艺术品跃为世界之冠。但威尼斯玻璃工匠的秘密，很快传到法国、德国、英国，到十七世纪，玻璃厂已经遍及世界许多地区。

由于威尼斯追求玻璃制品的华丽外表，造成其制品过于笨重，渐渐失去了原来的简易、轻便、朴素、雅致的风格，到十八世纪末，威尼斯玻璃业走向了反面，从顶峰上跌落了下来，玻璃制品的皇冠被捷克夺去。此外，俄国的艺术玻璃制品从十七世纪以来，也闻名于世。

但是，无论是威尼斯还是捷克，当时都没有采用机器生产，各种各样的玻璃制品，都是在能工巧匠的双手中诞生的。而简单的手工劳动已经无法满足人们的需要。随着工业革命的兴起和发展，到十九世纪时出现了把玻璃拉成空心圆筒的机器。筒子拉成后，节成小段，再剪成薄板。后来，比利时的发明家弗克设计出一种拉板机，经几十年的改进，发展成引上机，平板玻璃才开始大量生产。

目前，玻璃工业已逐步实现了机械化、自动化生产线，如平板玻璃、玻璃容器、灯壳、电子管、显象管等均已采用了自动化。

现代化玻璃生产，单凭眼力是无法控制的。电子计算机的推广，为玻璃工业自动化开辟了广阔的前程。现在，玻璃工人坐在自动控制室即可对生产过程了如指掌，而不必再像以前那样，奔走在炉旁车间，忍受高温的袭击。

今天世界上的玻璃制品种类繁多，从实验室的试管、烧杯、烧瓶，到化工厂的管道、塔柱设备；从体温计、注射器，到 X 射线管、荧光屏、红外灯、紫外灯；从揭开星空之谜的天文望远镜，到识破微生物行踪的显微镜；从耐热玻璃到防弹、防辐射玻璃；从玻璃纤维到光导纤维；还有许许多多特种玻璃、电光玻璃、声光玻璃、变色玻璃、微孔玻璃等等，可以说，离开了玻璃，

现代科学技术的发展是不能设想的。

步入工业化时代，人们十分重视居住地和办公楼的隔音、绝热、避震、耐光及防盗。现代化高楼大厦的正面均安装着巨大的反光玻璃。这种玻璃虽然很薄，但由于材料纯净且具有经过精确计算的内预应力，故能经受住特大风压、厚重积雪及其他外力，其表面上的防风雨涂层则能防止热辐射。多层充气玻璃可降低热传导，因此多层充气玻璃可将机场噪声降低到偏僻住所夜间的安静程度。由不同厚度层与层之间充以坚硬塑料薄膜的特种玻璃及其他安全玻璃，既经得起重锤猛敲，亦不怕手枪射击。涂有透明软稠物质的3层玻璃具有防火性质，火焰喷在其上，软稠物质便泛起泡沫，使这种玻璃成为不易燃烧的材料。

通过实验证明，在硼硅玻璃大容器里发酵葡萄酒远优于使用传统木桶酿制的葡萄酒，因为玻璃容器内发酵后的葡萄酒不再氧化，故味道更为醇香可口。

内科医生通过光导纤维可观察病人胃部。外科大夫则多采用玻璃陶瓷制品取代因事故或疾病而损坏的骨头、关节、牙齿或中耳听骨等。这种材料不但不影响活的人体组织，而且还能与这些组织长在一起。

科学家们从基本粒子运动轨迹的形状及彼此碰撞后和相互作用过程认识到：有些粒子虽然不带电且极微小，但富有能量，可无阻挡地击穿厚层材料，然而它们却无法穿越厚实的富铅玻璃。用富铅玻璃可以制作“原子放大镜”。还可以应用于其他科研领域，如防辐射玻璃，用于观察核反应堆的“热槽”或在原子炉内布接电线。上述玻璃是无源的，即只能防止原子微粒击穿及阻遏放射性辐射。

60年代以来，科学家们开始对自身可以产生连锁反应的激活玻璃进行试验。这种以激光玻璃闻名的玻璃含有的微量钕、磷酸氟或其他物质，可产生能量极大的光，在几千亿分之一秒内可以将一个结冰的重氢小球的密度增大一万倍，同时使其温度上升到1亿摄氏度，研究人员进行这种实验，旨在寻求新的能源。

随着科技的发展，各种新型玻璃将不断出现，它将渗透到一切领域中去，帮助我们攻克前进道路上的一个个障碍，攀登科学的峰巅。玻璃，是一种透明的无定形体，质硬但“碰”不得，一碰即碎。不过，玻璃家族是一个庞大的集体，玻璃纤维就是一种与玻璃有着紧密关系的新材料。

有这样一家纺织厂，它的原料是石灰石、纯碱与砂子，织出的布，像绸缎一样柔软光亮，不怕虫咬，也不怕酸碱的腐蚀，即使放在火中也烧不起来，这就是用制玻璃的原料纺出来的玻璃纤维，织出来的正是玻璃布。用一根手指粗细的玻璃纤维编织的绳子，可以将一辆满载的解放牌卡车吊起来，玻璃纤维的抗拉强度比普通钢丝还要大一倍。玻璃布耐酸碱腐蚀，在化工厂里特别受欢迎。用玻璃布做的吸尘袋比棉布耐用二十多倍。原先过滤腐蚀液的过滤布是用毛料做的，现今都已改用玻璃布，用玻璃布还可制成防火衣。穿上这种衣服，可以在几百度的高温下工作，它比石棉衣服更轻巧。由于玻璃布耐热、轻巧，连宇宙航行员的服装也是用涂有聚四氟乙烯的玻璃布制成的。

大家都知道，水泥块耐压，钢材耐拉。用钢材作筋骨，水泥砂石作肌肉，让它们凝成一体，互相取长补短，变得坚强无比——这就是钢筋混凝土。同样，用玻璃纤维作筋骨，用合成树脂作肌肉，让它们凝成一体，制成的材料，其抗强度可与钢材相媲美——因此得名叫玻璃钢。玻璃钢是近三十多年来发

展迅速的一种复合材料。玻璃纤维产量的 70% 都是用来制玻璃钢。玻璃钢坚韧，比钢材轻得多。喷气式飞机上用它作油箱和管道，可减轻飞机重量。登上月球的宇航员，他们身上背的微型氧气瓶，也是用玻璃钢制成的，玻璃钢加工容易，不锈不烂，不需油漆。我国已广泛采用玻璃钢制造各种小型汽艇、救生艇及游艇，节约了不少钢材。玻璃钢无磁性，不阻挡电磁波通过。用它来做导弹的雷达罩，既不阻挡雷达的“视线”，又起到防护作用。

材料科学的骄子——光导纤维

1870 年著名物理学家了达尔曾做过一次有趣的现场表演。他的实验是在暗室里做的：一股水流从容器侧壁的小孔中流出，在对称的另一侧，对着流水孔进行照明，从孔中流出的水在流动中几乎处处都在发光。原来直线传播的光竟沿着这股弯曲的水流闪动。那些在现场观看表演的人，都为之震惊；有的瞪大了双眼反复思考，有的揉揉双眼再验证一下自己是否看清了。的确，在场的人们认为沿直线传播的光现在却真的弯曲了。这个事实证明，光由折射率大的水进入折射率小的空气中时，能在两种折射率相差较大的物质界面上产生全反射，即光不进入折射率小的空气，而全部反射回折射率大的水中。科学家应用这一原理成功地利用玻璃纤维模拟了这股水流，作为传导光信号的介质。这种玻璃纤维就叫做光导纤维。用普通玻璃拉制成的纤维，光只传播 15 厘米，强度就衰减一半；改用高级光学玻璃，传播距离也只有 5 米左右。而光导纤维用来通信时，光要在其中传播数十万米甚至更远。那么，光导纤维是什么样的材料做的呢？1966 年英籍华人科学家高锟博士发表论文指出：精心除掉杂质的石英玻璃应是极其透明的。该论文发表四年后，美国的康宁公司就制成石英玻璃拉制的光导纤维，光在纤维中传播衰减一半的距离为 150 米，仍然距实用程度有很大的差距，但这无疑是光导纤维的开始。

光导纤维是双重构造，核心部分是高折射率玻璃，表层部分是低折射率的玻璃或塑料，光在核心部分传播，并在表层交界处不断进行全反射，沿“之”字形向前传播。这种纤维比头发丝还细，这样细的纤维要有折射率截然不同的双重结构分布，是一个非常惊人的技术。各国科学家经过多年努力，创造了“内附着法”、“MCVD 法”、“VAD 法”等，制成了超高纯石英玻璃，特制成的光导纤维传播光的效率有了非常明显的提高。现在较好的光导纤维，其光传播损耗每公里只有零点二分贝；也就是说传播一公里后只损耗 4.5%。

那么，光纤通信是怎样进行的呢？光纤通信是先把声音转换成能代表声音变化的电信号，然后把它放大，再用这经过放大的电信号来控制激光器发光，使激光器发出来的激光的亮度也随着代表声音的电信号来变化。这样，激光器就把代表声音的电信号转换成相应的光信号。通过光导纤维传送到接收的那一头以后，由于接收设备里有一个对光非常敏感的光电管，可以把接收来的光信号转换成电信号。这样，代表声音的光信号就被转换回来，再放大以便送到听筒引起膜振动，就能听到跟发送端一样的声音了。

近十几年来，光纤通信发展得很快，世界上很多国家都在大力发展光纤通信。这主要是因为光纤通信有许多优点。它所用的线路又细又轻。一根光纤的直径口比头发丝稍微粗一点，一公里长也不过 100 克重。为了保护光导纤维不被拉断同时使之抗拉又抗弯，在制作光导纤维时，还在它的表面加上

“外衣”。如果是多根光导纤维组成的光缆，还要跟抗拉的钢丝和塑料填充料组合在一起，外面再套上厚塑料皮。即使如此，这种光缆也比普通电缆轻多了，同时使运输和铺设线路都很方便。

光纤通信的第二个优点是可以节约大量的有色金属。比如，生产 1000 千米长的光导纤维只需几十千克的超高纯石英玻璃。而制造 1000 千米长的同轴电缆，却需用 50 万千克的铜，200 万千克的铝，而且石英的原料在地球上储量极为丰富。

光纤通信的第三个优点是通信容量大。将来一对光纤通信可以通上百万路电话。光纤通信的容量所以会这么大，主要是因为光纤通信是利用近红外光来传送信息的。近红外光的频率是几十万亿赫芝，比同轴电缆里的载波频率高几十万倍。

光纤通信的第四个优点是通信距离远。目前，1800 路同轴电缆的中继距离是 6 公里左右，而 1920 路光缆的中继距离一般都在 12 公里以上，因此，在建设长途通信线路时，就可以少建很多中继站，节省很多费用。

光纤通信的第五个优点是抗电磁干扰能力强。光导纤维是石英玻璃丝，里面传送的是光信号，这样，就是把它平行铺设在高压电线和电气铁路附近，也不会像金属电缆那样受到电磁干扰。另外，信号在远距离传输过程中，噪声不会积累。所以，光纤通信除了可以在邮电通信部门使用外，还适合在铁道、电子等部门使用。

随着科学技术的不断发展，光导纤维的应用将愈来愈广泛。1993 年 9 月，美国政府宣布“国家信息基础设施计划”，正式提出了建设全国性信息高速公路的宏伟设想，由副总统戈尔主持这一跨世纪工程。

这条“信息高速公路”，主要的建筑材料不是水泥、沙子、钢铁，而是光导纤维线缆。在这种光导纤维通信线缆结成的“公路网络”内，私人电脑为“汽车”，五花八门的计算机软件当“汽油”，便能使人们探索各种各样的奇迹。这种信息高速公路，将使信息工业发生“革命性变化”，再一次改变人们的生活方式。

现在，你要上班得开车上高速公路进城到办公室，将来，你可以在远离闹市的家里，手执计算机鼠标器，“开着”计算机通过“信息高速公路”到几十里、几百里乃至几千几万里之外的“办公室”上班。

现在，你要驱车上高速公路到离家几十公里的“十里商场”购物中心去选购东西，将来，你要选择的商品会通过信息高速公路十分清晰地出现在你的私人电脑荧光屏上，规格、产地、质料、价格、厂家等等一切资料应有尽有，通过计算机、信用卡，便可立即付款购买你需要的货物，一两天内，就会有人送货上门。

如果你不想出去开会、上学或到电影院看电影，信息高速公路可把会场、学校、电影院“搬”到你家来。

你要看报纸，呈现在荧光屏上的不只是文字，还有声音。图像，如果你只对国际金融方面的报道有兴趣，电脑可把信息库里最新的国际金融报道搜索出来，为你编成电子报纸，并可用激光打印机编排打印出来，供你慢慢研究。

这一切，在昨天还只不过是一场美丽的梦想，很快就会变成现实。

这一切，都得归功于材料科学的骄子——光导纤维。

半导体

1906年真空三极管的发明，为本世纪上半叶无线电和电话的发展奠定了基础。但真空管的运用有一定的局限性，如由于真空管内电子从阴极射出是热致蒸发的，因而真空管需要消耗相当大的电能，同时电能所产生的热又在很大程度上限制了真空管的工作寿命。因此，一般商用系统最多只能包括几百个真空管，不然系统就不能可靠地工作。

因此，为了能够制造更为复杂的电路，就需要有一种新的元器件来代替真空管。1948年发明了半导体晶体管，它的出现成为本世纪下半叶世界科技发展的基础。这种半导体晶体管由于毋需加热，其功耗只有真空管的百万分之一，而且可靠性高，转换速度快，功能多样，尺寸又小，因而成为当时出现的数字计算机的理想器件，并很快在无线电技术和军事上获得广泛应用。随着50年代计算机和晶体管的发展，对电子材料需求越来越高，就又进一步促进了半导体材料本身的发展。

半导体材料在目前的电子工业和微电子工业中主要用来制作晶体管、集成电路、固态激光器等器件。

目前科学家们已经发现的半导体材料种类很多，并且正在不断开拓他们应用领域。但是在目前的电子工业中使用的半导体材料主要还是硅。硅是单一的元素半导体，它的机械强度高，结晶性好，自然界中储量丰富，成本低，并且可以拉制出大尺寸的完整单晶。目前它是制造大规模集成电路最关键的材料。因此，可以说，硅是大规模集成电路的基石。

我们现在常见的晶体管有两种，即双极型晶体管和场效应晶体管，它们都是电子计算机的关键器件，前者是计算机中央处理装置（即对数据进行操作部分）的基本单元，后者是计算机存储器的基本单元。两种晶体管的性能在很大程度上均依赖于原始硅晶体的质量。

就目前来说，单晶硅是人工能获得的最纯、最完整的晶体材料。它的纯度、完整性、均匀性以及直径尺寸是衡量单晶硅质量及可达到功能的指标。

单晶硅的制作普遍采用提拉法，该法可以生长出比较均匀、无缺陷的硅单晶体。目前，利用提拉法可以生长出直径约为150毫米的优质硅单晶，不久的将来直径可望达200毫米。更大直径的、均匀无缺陷的硅单晶的制备是难以实现的。这是由于重力的影响，熔融硅中存在的温度差和浓度差会导致有害液体流动，进而导致所制备的硅单晶不均匀。现在人们正在考虑利用空间站，在太空无重力或微重力的条件下制备大的优质硅单晶。

现在具有广泛用途的半导体集成电路是利用一系列集成化工艺，在半导体材料的局部区域形成所谓施主或受主型微区，然后在一定范围内从外部控制电子运动以实现不同的电路功能。

在用上面所介绍的方法生长出晶体以后，下面的工作是将其切割成片并抛光，制成“晶片”。晶片要求表面非常光滑，表面上各点的高度差小于十亿分之一米。然后再通过几十道工序过程（这些工序通常是在超净环境中进行的），在硅晶片上集成许许多多的晶体管或其他元件。这样的晶片制成后又被切割成许多芯片，每个芯片就可包含多至上百万个晶体管。随后，将芯片装在陶瓷封装壳中，便构成了具有特殊电路功能的集成块。这种利用集成化工艺制成的集成块里包含了晶体管、电阻、电容以及它们之间连线的电路网络。这些元器件全都制作在一块半导体硅的芯片上。因此，要提高半导体芯

片上元器件的集成度，晶体管的小型化具有决定性的意义。只有晶体管尺寸缩小，电子系统才可以做得更小，成本更低，而且晶体管越小，其开关速度越快，这对计算机工业具有极为重要的意义。

目前，晶体管的小型化的速度十分惊人。在过去 30 年中，集成电路的最小特征尺寸（线宽）已显著减小。60 年代典型的线宽为 10 微米，即十万分之一米，每个芯片上的晶体管或其他元件数约为 100 个。到了 80 年代，典型线宽为 1 微米，大约相当于人的头发丝直径的 1/75。目前，线宽已能达到 0.5 微米或更小，在一根头发丝般粗细的面积上可制出成百上千个晶体管。

要将这样的微细结构的图形在半导体芯片上刻蚀出来，采用通常的刻蚀方法已不可能，必须采用其他专门的措施。目前人们设想了三种解决办法。一是利用高能电子束代替光束，这种电子束的波长为原子直径的几分之一。正是这一方法，使制造半微米线宽的芯片成为可能。另一方法是采用波长极短的 X 射线代替光束，这种 X 射线由同步加速器产生。第三种方法是等离子体刻蚀技术。现在正在发展之中。

尽管在可见的将来硅单晶仍是电子工业主选材料，但目前世界上一些发达国家正围绕化合物半导体砷化镓大力开展研究。科学家预料，砷化镓很可能成为继硅之后第二种重要的半导体电子材料。这是因为，根据量子力学原理，砷化镓中电子的有效质量仅为自由电子质量的 1/15（硅中电子的有效质量为自由电子质量的 1/15）。正因为其中电子的有效质量小，因而电子在砷化镓中的运动速度就比在硅中快。根据理论计算表明，用砷化镓制成的晶体管开关速度，比硅晶体管的开关速度快 1~4 倍。因此用这样的晶体管可以制造出速度更快、功能更强的计算机。同时，砷化镓中电子速度更快这一事实，也使制造用于高频通信信号的放大器成为可能。再者，根据砷化镓的电子结构特征，砷化镓中的电子激发后释放能量是以发光的形式进行的，因而可以用它来制作半导体激光器和光探测器。

砷化镓只是化学元素周期表中第 III 族和第 V 族元素构成的化合物半导体中的一种。利用不同的第 III 族元素，如镓、铝、铟，与不同的第 V 族元素，如磷、砷、锑，可以组合成不同的半导体材料。这一大类半导体统称为 III-V 族化合物半导体。把不同比例 III 族和 V 族元素组合起来，可以改变材料的电学光学性能，以适应特定器件的需要。

但是与元素半导体硅相比，砷化镓的应用目前受到很大限制。因为还有许多问题有待解决。镓和砷是两种化学性质不同的元素，要确定砷化镓化合物的表面特性是很困难，要寻找一种用来与半导体接触的合适的材料也相当困难，另外消除砷化镓的结构缺陷和化学缺陷也不容易。虽然 III-V 族化合物半导体已获部分应用，但要使砷化镓和其他 III-V 族化合物半导体获得更广泛的应用必须解决上述问题。此外，即使所有的技术问题都已解决，器件小型化的过程依然要继续进行下去，只是所用的材料与硅不同而已。

我国的科技工作者在砷化镓的研究中已经做了大量的工作，其中，在人造卫星上利用微重力条件进行砷化镓单晶的生长，已取得了令人鼓舞的结果。

目前，利用高真空技术沉积生长超薄层材料和超晶体材料，为了半导体材料的研究、制备以及半导体器件的制作开辟了新天地。这些材料不仅拓宽了硅技术的适用面，大大扩大了器件的应用范围，也极大地提高了器件的性能。就 III-V 族化合物的半导体材料与器件的制取来说，一种特别有希望的

方法和异质外延法，即在晶体衬底上一层叠一层地生长出不同材料的薄膜来。这样生长出来的材料叫超晶体材料。所谓超晶体，就是指由两种不同的半导体薄层交替排列所组成的周期列阵。

生长外延膜的三种主要方法是分子束外延法、化学气相沉积法和液相外延法。分子束外延是把一束或多束加热了的原子或分子对准保持在高真空中的衬底射出，从而在衬底上生长出薄膜层。近年来，结合分子束外延和金属有机化学气相沉积技术的优点，又发展了化学束外延技术。液相外延是通过把含有所需的两种元素、且已加势的溶液加以冷却，使其在衬底上生长出薄膜。相比之下，分子束外延对薄膜沉积的控制可能是最有效的，金属有机化学气相沉积可望较快地用于生产。

人们利用分子束外延等超薄膜制备方法，已经制备出镓铝砷/镓砷、锗-硅/硅等超晶体材料。目前，这一领域的研究极为活跃，因为它不仅是制备超薄膜材料的关键技术，也是制备半导体微电子学、光子学材料和器件的关键技术，各国都投入大量人力物力财力开展研究。

利用半导体超晶格多层结构制备“弹道晶体管”和“高电子迁移率晶体管”也是近年来人们感兴趣的研究课题。对弹道晶体管在设计上的考虑是，让电子在垂直或平行于薄膜平面的方向上作弹道运动，这样制作的晶体管具有快速和十分紧凑的特点。对高电子迁移率晶体管在设计上的考虑是，通过调整超晶体各层的成分和结构，使载流子从有缺陷层进入晶格完美层，在该完美层中，迁移率大的电子高度集中，因而可提高器件的开关速度。此外，使电子器件在低温下工作，以提高器件性能的工作也在探索之中；利用超导体制作晶体管也在进行尝试。“生物芯片”技术已引起人们的注意，但目前对“生物芯片”尚无确切定义，它可能包括用有机分子（即含碳分子）、或用生物及类生物分子作芯片，也可能指材料功能类似于某些天然有机物芯片。

大厦的基石——混凝土

在历史上，浙江杭州湾的钱塘江海潮，既是当地一大奇观，也是当地的一大隐患。传说公元9世纪初，吴越王钱镠为保护钱塘江沿岸百姓不再受海潮的袭击，便沿着江岸筑起一条长堤。可长堤经不住浪潮的日夜冲击，几经决堤倒塌。钱镠勃然大怒，命令手下的几百个强壮士兵，用弓箭射住潮头，最后潮头被射退了，长堤也建筑成功了。

真的是弓箭吓退了浪潮吗？其实浪潮所以能被制服，是因为在建筑长堤时，用竹编成笼，里面填满石块，然后把这些竹笼堆叠起来，再用木桩粘土夯实，筑成了一条坚固的长堤，挡住了浪潮的冲击。钱镠筑起的长堤，可以说是我国古代最早开始运用的原始混凝土。

18世纪中叶，英国的工业迅速崛起，海上交通也格外繁忙起来。1774年，工程师斯密顿奉命在英吉利海峡筑起一座灯塔，为过往船只导航引路。

面对汹涌咆哮的海面，斯密顿难住了。按传统方法，在水下用石灰砂浆砌砖。灰浆一见水就成了稀汤。用石头沉入海中，又被海浪冲击得杳无踪影。经过无数次的实验，他用石灰石、粘土、砂子和铁渣等经过锻烧、粉碎并用水调和，注入水中。这种混和料在水中不但没有被冲稀，反而越来越牢固。这样，他终于在英吉利海峡筑起了第一个航标灯塔。

在斯密顿的成功启发下，英国建筑师亚斯普丁把粘土用石灰石混和加以煅烧后，磨成细粉，再用水进行调稀，制出了在地上干后不裂，在水中异常坚硬的材料。这种产品硬化后的颜色和强度同波特兰地方出产的石材相近，因而取名为“波特兰水泥”。亚斯普丁因此在1824年获得了这项专利。“水泥”这个名称便由此沿用下来。

水泥具有水硬性，粉状水泥与水混合后，跟水发生作用，生成水泥浆，在开始一小时内，水泥的颗粒被一层胶质所包裹着。这一层胶质由硅酸钙与水形成，这个过程叫做水合作用。正是由于胶层的联结，水泥颗粒才形成一个较弱的键合网，水泥在4小时之后才能达到真正的硬化，这时就有大量的纤维从胶层中“生长”出来。它们最终生成极细且密的纤维，像豪猪或海胆的刺那样，从水泥的每一颗粒向外伸展。这些“刺”是水泥和水之间作用的产物，它是由内空的细管组成。随着纤维的变长，这些“刺”也逐渐联结在一起，从而增大了水泥的强度。

普通水泥在最初的数日或数周内，初步发生硬化。但其强度在数日或数年的漫长时间里，依然继续增加。事实上，水合作用过程通常不会完结。就是说，并不是所有的水泥都跟水发生作用。若干年后，仍可在坚硬的水泥中发现大量未反应的水泥，这是非常普遍的现象。如果将硬化了的水泥重新磨碎，并将它与水混和，发现它会产生第二次硬化。

1861年，法国工程师克瓦涅接受了建造拦水大坝的任务。这种跨度大还须经得起压力和冲击力的大坝，光用水泥已经难以支撑。

克瓦涅一门心思要攻克这一难题。他密切地注视着周围的一切。一天，他夫人为他烹制了一条美味的鱼，他边吃边思考着拦水大坝的事情。他面对一条剔除鱼肉的鱼的骨骼发生了兴趣。突然一个奇妙的想法在头脑中闪过：能不能仿照动物体给水泥加骨头。于是他用钢筋按一定要求扎好，将水泥和砂石进行水拌和之后，灌入模板的钢筋四周并捣实。产品经过反复试验，证明是一种既耐重压又耐拉伸的经久耐用的优良建筑材料。克瓦涅把这种混合物风趣地称为“混凝土”。就这样，一座以混凝土为建筑材料的拦河大堤横卧在大河上，成为建筑史上的一座不朽丰碑。“混凝土”的出现，可以说是建筑史上的一场革命。它使现代建筑摆脱了砖木石的基本结构模式。

本世纪二十年代，美国政府为了炫耀实力，于1929年10月决定建造一座102层高的“帝国大厦”，富有科学预见的建筑师们大胆地采用“混凝土”结构。一年零八个月之后，帝国大厦竣工。远远看去，俨然像一根电线杆子直插云霄。住在大厦周围的许多人担惊受怕：万一这摩天大楼被风吹倒，或者自身摇摆而折断怎么办？1945年7月28日早晨，住在大厦附近的人更是乱作一团。那时正值大雾天气，一架B—25型轰炸机迷失了方向，撞在大厦第79层上，随着一声巨响，不少人以为大厦倒塌下来，争先恐后往外跑。然而，这次相撞的结果是：飞机碎了，大厦并没有倒，只是第79层的一道边梁和部分楼板被撞坏。钢筋水泥建筑物从此更是名声大震。

从此，各种建筑物的造型可以通过浇注方法完成，它的形态各异，不仅有“火柴盒式”、转顶式，而且还有扇贝式，抛物线形等等，街道两边的宾馆、商厦、写字楼等等高低错落，使各大都市展现出前所未有的雄姿。

混凝土，成了当今世界各城市大厦的基石。

钢铁是怎样炼成的

在所有的金属材料中，钢铁是人类最早使用的金属之一。早在三千年前，人类已经会开采铁矿，并且发明了炼铁的方法。我国也是早期发明炼铁的国家之一。

古代人民炼铁用的原料是铁矿石，因它的颜色是红棕色的，古代人民把它叫做红棕色的石头。古代人民虽然不懂得炼铁的化学原理，但他们知道炼铁需要很高的温度。当时炼铁用的燃料是木材和木炭，到了汉代开始用煤。

当时炼铁用的炉子非常简单，炉身一般是用石头和粘土砌成的，呈圆筒形，在炉旁有一个风箱。最初是用人或马来拉动风箱的，到了汉代发明了水排，才利用水力来鼓风，以提高炉内的燃烧温度。

在炼铁时，把铁矿石和木炭一层间一层地从炉子上面加进去。生火后，用风箱把空气压送到炉子里去，木炭就旺盛地燃烧起来，产生很高的温度。这时铁矿石熔化，三氧化二铁被木炭燃烧时生成的一氧化碳还原，还原出来的铁在 1200 ~ 1300 的高温下熔化成铁水，从炉腰间的一个小孔流出，这样就炼出了生铁。我们的祖先在当时已经掌握了完全合乎现代科学原理的炼铁技术。

钢铁是一个庞大的集团，其应用之广、产量之大，都无愧于金属世界的冠军。各种机器、农具、汽车、火车、坦克以及许多日常生活用品的制造，都离不开钢铁。

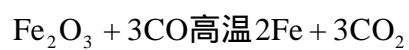
钢铁是铁与钢的总称，实际上，铁矿石在高炉中经过冶炼得到的生铁，在炼钢炉中经过进一步冶炼，才得到钢。

在炼铁厂里，有个高达 100 多米，容积达 4000 多立方米的庞然大物就是赫赫有名的炼铁高炉。它的外形像一个大圆筒，中间大，两头稍小。炉身的外面包着钢壳，里面砌有耐火砖。高炉每昼夜要吞进上千吨的铁矿石、焦炭和石灰石等原料。这么多的原料，要举到几十层楼高的高炉炉顶上放进炉内，可不是一件易事。不过，在现代化的炼铁厂里，装料操作完全是机械化和自动化的。从矿山来的一列列火车。装载着铁矿石和石灰石；从炼焦厂来的运焦车，装载着一罐罐的焦炭，它们由自动给料器送入料车，满载原料的料车，由输送轨道跑到炉顶。料车到达炉顶后自动地下料，将原料送入炉内。接着，空车再沿轨道跑下来，并且当高炉缺料时，料车就会自己跑上来送料。

炼铁原料装入高炉以后，慢慢地不断由上向下移动。炉身内径逐渐向下扩大是为了便于炉料向下移动，使它们容易跟上升的气体接触。炉子下部的焦炭遇到了鼓入的热空气，就跟空气里的氧气化合，生成二氧化碳。二氧化碳气体上升，被炽热的焦炭还原成一氧化碳。



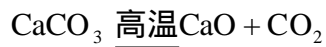
生成的一氧化碳再向上升，遇到铁矿石的时候就跟三氧化二铁起还原反应：



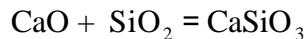
在炼铁过程中除了铁被还原出以外，锰、硅、磷等元素也分别从它们的氧化物里还原出来。在高炉内径最大的部分，还原出来的铁开始跟碳、锰、硅、磷、硫等元素熔合在一起。因此，由高炉炼出来的不是纯铁，而是含有

1.7%以上的碳和少量锰、硅、磷、硫等杂质的铁碳合金，这种合金就是生铁。

加入石灰石是为了除去铁矿石中所含的极难熔化的脉石（主要成分是 SiO_2 ）。石灰石加热到 800 左右开始分解成氧化钙和二氧化碳：



生成的二氧化碳随气流上升，氧化钙跟脉石里的二氧化硅化合生成熔化状态的硅酸钙炉渣。



这样就把难熔的脉石熔化成炉渣而便于除去了，所以我们把石灰石叫做熔剂。

熔化的生铁和炉渣生成后，炉料的体积逐渐缩小，高炉下部的内径也逐渐随着缩小。每隔一定时间，出铁口和出渣口交替打开出渣出铁。当出铁口一打开，其景象极为壮观，刹那间只见红热的铁水飞奔流出，闪着太阳般的光辉，溅起灿烂的铁花。铁就这样在烈火中诞生了。

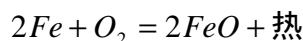
从高炉中炼出了生铁，不直接使用，大部分还要送去炼钢。这主要是因为生铁的性能欠佳，不能满足多方面的需要。生铁硬而脆，耐磨性虽好，但韧性很差，不易加工、铸造，不易焊接，生铁的用途往往只限于制造机床床身、外壳、底座及火炉、铁锅等，连小小的指甲刀也无法用生铁来制造。钢没有生铁那些缺点，它具有良好的韧性、塑性和焊接性，可以锻打、压延、抽丝，易于进行机械加工，钢的用途十分广泛。

生铁与钢的主要成分都是铁，但性能有显著不同。这主要是由于生铁中含碳量偏高，并含有一些不适量的硅、锰、硫、磷等杂质造成的。通常把含碳量高于 2% 的叫生铁，含碳量在 0.03% ~ 2% 的叫钢，含碳量低于 0.03% 的就是热铁。

由生铁炼成钢主要就是降低含碳量并把硅、锰、硫、磷的含量调到适当的范围。工人师傅常把这个过程简单地概括为：降碳、调硅锰、去硫磷。当然，降碳不会是无限制地降，去硫磷也达不到彻底清除的地步。

从炼钢的化学原理来看，跟炼铁的过程恰好相反。炼铁是将氧化铁还原为铁的过程；炼钢则是将生铁中的杂质氧化而除去的过程。那么炼钢时用什么作氧化剂呢？现代采用的氧气顶吹转炉炼钢法，用的是纯氧气。

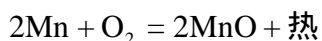
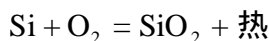
在炼钢过程中，生铁中各元素的氧化都是直接或间接跟氧作用，但是它们不是同时被氧化的。谁先和氧作用，谁后和氧作用，主要决定于它们跟氧结合的能力。铁元素跟氧结合的能力虽然较低，但是铁水里铁的含量远远大于其他元素，所以吹炼时部分铁先被氧化成氧化亚铁，同时放出大量的热。



硅和锰也不甘落后，接着他们从 FeO 中夺取氧而被氧化。



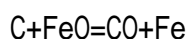
硅和锰在钢水中非常活跃，它们也会跑去直接跟氧化合。



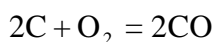
生成的 SiO_2 和 MnO 跟生石灰 (CaO) 结合而进入炉渣。



当硅和锰的氧化接近结束时，反应放出大量的热使炉温迅速上升。当炉中钢水的平均温度超过 1500 时，碳大大地活跃起来，这时它跟氧结合的能力超过了硅、锰与氧的结合能力，因而碳被迅速氧化。



处于活跃状态的碳在钢水中跑来跑去，它也跑去直接跟氧化合。



生成的一氧化碳气体随炉气逸出。一氧化碳上升时对钢水起搅拌作用，使钢水剧烈地沸腾，这样就能使反应加速。所以除去生铁中的部分碳是炼钢中的一个非常重要的环节。

降了碳，调整了硅、锰的含量，下面就是去掉硫和磷了。为什么要除掉硫和磷呢？因为硫和磷是两种有害的杂质元素。硫的存在会使钢产生“热脆性”，即钢在热加工时发生断裂现象。磷的危害则相反，它使钢产生“冷脆性”。磷的“冷脆性”曾是世界上几起疑案的“主犯”。

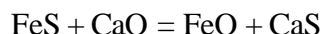
1938年3月14日，比利时的哈塞尔特城被包围在寒冷的气氛中，温度低达零下15度。刺骨的寒风吹到人的脸上如针扎一般疼痛，只有阿尔伯运河的水在欢快地、不知疲倦地流淌着，不时地弹奏出那轻柔悠扬的乐曲。横跨在运河上的阿尔伯钢桥，显得格外雄伟、壮丽，就像是哈塞尔特忠诚的卫士，突然，从桥下传来了惊天动地的金属断裂声，紧接着是桥身剧裂抖动，桥面出现了裂缝。人们惊恐万状，人和车辆争先向桥的两侧奔去……，在不到几分钟的时间内，钢桥折成了几段，坠入河中。

无巧不成书。时隔十六年，也就是1954年寒冬腊月的一天，爱尔兰海面上寒风凛冽，一艘三万两千吨级的英国油轮——“世界协和号”乘风破浪地航行在广阔的海面上。忽然，有个水手气喘嘘嘘地向船长报告：“船长先生，快去看吧，油轮的中部出现了裂缝！”话音未落，一阵刺耳的巨响击破长空，油轮顿时一分为二，许多水手纷纷跳进大海。就这样，油轮上的人还没有来得及用无线电发出求援信号，就和油轮一起葬身波涛汹涌的大海中。

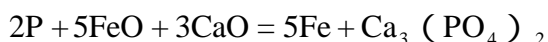
谁是这两起重大事故的肇事者呢？科学家经过深入的研究后宣布：罪魁

祸首是钢铁中的磷！钢铁中磷的含量如果过大，遇冷就会变脆。这两起恶性事故的发生，就是因为钢铁受冻而造成的。因此，在炼钢时要加入造渣剂氧化钙，目的是为了除去铁水中所含磷、硫两种元素。

在铁水中硫以 FeS 的形式存在，它跟生石灰作用，生成硫化钙而进入炉渣：



去磷的总化学方程式是：



生成的磷酸钙也进入炉渣。

炼钢生成的炉渣比钢水轻，它浮在钢水表面上，可以跟钢水分开。

氧化和造渣过程完成后，还会有未反应的氧化亚铁存在，最后还要加入脱氧剂，以除去氧化亚铁，并同时调整硅、锰的含量。若生产某种合金钢，在最后阶段还要加入适量的某种金属，经化验钢样合格时，即可出钢。

炼钢的方法有多种。有平炉炼钢，电炉炼钢法。氧气顶吹转炉炼钢法，是 50 年代建立并发展起来的新方法。这种方法用纯氧吹炼而不用空气，炉温高、反应快，一炉钢的吹炼时间只需十几分钟，因而，这种方法发展很快。有的国家氧气顶吹转炉炼钢的产量，达到了总产量的 90% 以上。

一块不起眼的铁矿石经过了高炉的冶炼，除掉了杂质，成为坚硬无比的钢铁，成为在工农业生产、日常生活中具有最广泛用途的金属材料，这是多么伟大的功绩。

神奇的“土”家族——稀土材料

陶瓷，是我国古代劳动人民的重大发明之一，它的产生、发展和广泛应用的历史，形成了中国灿烂的文化。在国外，不仅是陶瓷名称成了“中国”的代名词“China”，精制的陶瓷制品，也往往从古到今都是珍品收藏家们朝思暮想的宝贝。

几千年的陶瓷文化发展到现在，各式各样的陶瓷工艺品异彩纷呈，惹人心动；品种繁多的陶瓷家用器具也以其质优价廉、美观大方招睐着八方顾客，也往往成为我国陶瓷生产厂家出口创汇的“拳头”产品，中国陶瓷马桶便是其中的极为平凡的一个例子。然而，八十年代中期，中国陶瓷马桶的出口交易中一件极为平凡的小事，却震动了一代极具历史责任感的中国化学专家。

事情是这样的：西方某小国原本是我国陶瓷产品的小消费国，一般每年只从我国进口一定数量的各种陶器瓷器。然而它突然决定大量进口中国陶瓷马桶，并愿以稍高的价格作为代价。一些有识之士在这件并不十分起眼的事情中，敏锐的目光竟看出了几点不同寻常之处：该国感兴趣的不是“陶都”、“瓷都”或其他著名厂家的名牌产品，而对我国一家不显眼的内地陶瓷厂的产品情有独钟，真有些“求贤若渴”的味道了；再有就是进口量显然大于该国市场的最大需求量，那这些中国陶瓷马桶到底去了什么秘密的地方呢？难道有什么特殊的地方以致于该国不惜高价大量“抢购”？

耐人寻味的中国陶瓷马桶！

谜底很快被这些有着深邃观察力的专家们揭开了，很简单，但更耐人寻味：这个地方生产陶瓷马桶的原料中含有微量稀土金属，那是我国现在工艺水平难以提取因而“忽略不计”的极低含量；然而，进口国却把这批本应如厕的马桶“请”进了工厂，提取了稀土，转而销售稀土材料成品，包括高价出口给我国！这是始料不及的，专家们在感叹外国人骨子里的精明的同时，却也不禁痛心疾首：

作为稀土蕴藏量最大的国家，我们为何还不得不进口本属于我们自己的稀土金属材料？

“土”家族的存在，其实人类远在200年前便已经认识到了。早在1794年，芬兰化学家加多林(J.Gadolin)在瑞典首都斯德哥尔摩附近的小镇伊特比上，他发现了一种从未见过的神奇的金属矿石，便命名为“钇”土，从而揭开了人类认识稀土金属元素的艰辛历程的序幕。

一般的金属矿石，经过冶炼之后，往往都可以得到纯净的金属，即“单胞胎”。然而稀“土”家族的众多兄弟，却由于性相近、息相通，往往结伴生长于同一种矿石中，一胞多胎，其数目之众，令人咋舌更令分析化学家们苦笑不得。就是加多林发现的钇土，被宣布为只有“钇”这个“独生子”后经历了40年，于1842年经过瑞典化学家莫桑德尔(C.Mosander)仔细分析，发现它实际上是“三胞胎”，“钇”土的两个孪生兄弟“铈”土和“铈”土竟被“粗心”的加多林忽视了。然而，又过了35年后，1878年，瑞士化学家马利纳克(Marignac)竟又从“钇”土中找到它的又一个孪生兄弟：镱土。可是两年后，瑞典化学家尼尔逊(L.Nilson)对“镱土”经过详细分析发现这“一个”孪生兄弟“镱”竟是孪生兄弟“镱”和“铈”的合体！而且，在经过千百次的重结晶，分离，以及离子交换、光谱法等分离手段后，化学家们竟又从中分离出来“铈”和“铈”！

何等难缠的稀土兄弟！不过，虽然它们是如此的相亲相爱不愿分离，在化学家们不懈而又艰辛的努力下，小兄弟们终于一个接一个地降临到人世。法国化学家布瓦博法朗对氧化铈经过上千次重结晶，才除去了杂质，得到一种新的稀土元素镱，它的法语意义即为“难以取得”。1905年，又是法国化学家乌尔宾(Urban)又从氧化镱中分离得到“镱”，到此为止，人类经过110年辛勤劳动，从原以为是“单胞胎”的钇土中竟分离得到了钇、铈、铈、铈、铈、铈、铈、铈等一共9个孪生的兄弟！

稀“土”家族的其它8个兄弟的降生，同样也是有类似的艰辛而又颇为戏剧性的过程。1803年，法国化学家克拉普罗特(Klaproth)等发现了铈土。36年后，莫桑德尔于1839年竟又从铈的硝酸盐加热分解过程中分离得到新的一个成员：镧，希腊文是“隐藏”的意思。1878年，化学家德拉方坦从铈钇矿中提取出新的元素化合物，他认为其中含有一种意为“使人迷惑”的元素，第二年，布瓦博法朗揭开秘密，从铈钇矿中分离出新的稀土氧化物，他命名为“钷”；然而“钷”的稀土成员身份却被更多的化学家们因认为这是不纯净的元素而拒绝认可，直到它的兄弟钷从中诞生后两个兄弟才一块儿被世人接受。以后人们又分得了钷、钷、钷等元素，其中钷、钷性质如此相似，直到1885年才由化学家威尔斯巴赫(Welsbach)给它们鉴定了身份：钷，“绿色双生子之意”；钷，“新的双生子”之意。就是这些几代科学家付出的艰苦卓绝的努力，一次次地溶解、浓缩、结晶、分离。一次次失败中孕育出成功，而一次次成功中的小失误又为新的发现提供极具价值的线索，终于，稀

“土”家族诞生了它的 17 个孪生兄弟：

钪 (Sc)、钇 (Y)、镧 (La)、铈 (Ce)、镨 (Pr)、钕 (Nd)、钷 (Pm)、钐 (Sm)、铕 (Eu)、钆 (Gd)、铽 (Tb)、镝 (Dy)、铥 (Ho)、铒 (Er)、铥 (Tm)、镱 (Yb)、镱 (Lu)。其中后 15 个兄弟们在元素周期表里聚为一家：镧系。

“稀土”元素之家的 17 位兄弟，在约 110 种元素的大家庭中位置独特，但其实力不可谓不雄厚。而且，稀土并不是稀少之土，也不是罕为人知的土。实际上，稀土不稀，地球上稀土含量比熟悉的铅、锌还多，远远超过金、铂等，其储量可供人类开采 500 年以上，远较铁 (100 年)，锌 (30 年)、铜 (40 年) 长。稀土发现的历史也不可谓不长，200 年了，倾注了人类几多心血！

然而，它现在还被视为“新兴”材料，为什么？

从稀土元素的发现过程中，我们不难发现，这些难以辨认的孪生兄弟们在为人类所鉴别时，最大的困难就是如何把它们分离开来。现在到了稀土材料的应用阶段，尤其是特种稀土材料的应用，为了充分发挥每个稀土元素的特色性能，稀土矿的分离提纯仍然是尚待解决的难题。每一种纯度更大的稀土元素的纯净物，总是千呼万唤始出来，犹抱琵琶半遮面。

稀土元素的分离方法，历史上曾有过分级结晶法，即把粗制产品再溶解、浓缩、结晶、溶解、浓缩……一次次重复操作，直到达到一定的纯度。这种方法工作量大，且不连续，产品在操作过程中损失也较多。后来又有过离子交换法。更值得重点关注的是溶剂萃取法，因为它不仅已代替了前两个方法成为当今主流，分离纯度达到了 99.99% 以上，分离效率高，可以连续操作而适于工业化生产的需要；更重要的，我国北京大学化学与分子工程学院徐光宪院士等专家在几十年的辛勤耕耘中创立了串级萃取理论，不仅使我国稀土元素实现了工业化生产，取得了极佳的经济效益和社会效益，还成为国际上领先潮流的稀土金属分离方法，值得我们为之骄傲！

萃取体系是由水相和与水不相溶的有机相组成，有待于分离纯化的稀土金属一般以可溶盐的形式存在，按一定的比例分别处在水相与有机相中。为了达到分离某一（几）种目标元素的目的，往往采用特定结构的萃取剂，它既几乎完全分布于有机相中，又对目标元素离子有很强的亲和力，从而把大量原本属于水相的目标元素离子“拉拢”进有机相，再通过分离水相与有机相，目标元素离子便大量地“富集”到有机相中，而水相中目标元素溶度大大降低了，为了达到必要的纯度，把几个萃取体系串联起来。有机相中的目标元素离子便一次比一次纯净，从而得到了预期的分离目的。液态的水相有机相可在生产器具中流动，从而工厂里便可以连续操作了。从中也可看出，新颖高效的萃取剂的选取，是提高萃取分离效果的关键。

当然，稀土的分离工艺实际上是极为复杂的，每一个环节都蕴含着深刻的道理，而现在世界上对这些基础理论的研究并不是那么深入和完善。我国和国外的提纯工艺上尚存在一定差距，那些低稀土含量的中国马桶被外国人充分利用，这件事将永远激励着我国稀土专家们发奋努力，时刻不忘赶超国际先进水平。

维生素，是人体内的一类特殊的化学物质。它们在体内含量很少，然而却扮演着极为重要更不可缺少的角色。只需人体有少量的各种维生素，健康便得到了保证；但老人体内缺乏了某一种维生素，或者人的饮食中长期缺欠

某种维生素，那么种种奇怪的病便如魔鬼缠身，挥之不去。由此可见，维他命，的确确实是维持人类生命所必需的营养成分了。

稀土元素，便被专家们称作“工农业的维生素”，它们是真的那么神奇？对于工农业它们真的是必需的生命成分？

农业，它几千年的发展壮大时时滋润着中华民族的五千年华夏文明。华夏大地上生长着繁茂农作物的各种土壤里，是不是都含有某些稀土元素目前还未可知，但这个“未知”也许会被人用来否定稀土元素的神奇功效，说它们并非是必要的土地营养成分了。不过，通过人们有意识的使用试验，稀土元素对农作物的神奇的“维他命”效用已确切无疑地显示了出来，并且成果喜人，含有几万甚至几百万分之一的极小浓度的稀土添加剂的肥料，可以使小麦等粮食作物平均增产7%以上，增加了稀土营养的西瓜，不仅个个又大又圆，瓜香诱人，切开之后尝一口，你会发现与众不同的甘甜可口；橡胶树吸收了微量的稀土营养成分后，可以“挤”出更多更好的“奶”；棉花施用了稀土微肥，可以托出更多更大的“云朵”……还有，增加了稀土营养成分的饲料，牛可以多长出9.4%的鲜牛肉，猪、羊更肥壮，马儿更俊美……稀土肥料、稀土饲料和更多的稀土药物的应用推广，对个人也许并不那么必要，但它们对粮食肉蛋的增产优质作用，它们对人类健康的护理，对整个人类的生存和发展来说，用量少而功效奇大，“农业维生素”的美名，形象而又确切！

在幽静的夜幕下，我们在宽敞明亮的教室里认真地学习着。偶尔抬起头，映入眼帘的是头顶上60瓦的日光灯，放射出柔和的辉光，带给了我们无限的光明。不过你也许注意到这并不太大的教室装了整整齐齐的好几排日光灯，加起来竟有一、二十支！怎么宽敞的大礼堂里的荧光灯就又少又明亮呢？原来，“光明”的秘密在于灯管内的荧光粉。普通的日光灯管里，用的是掺有锰和铈的卤磷酸钙荧光粉，这样的灯比钨丝白炽灯泡要亮4~5倍，20瓦的日光灯便可以相当于80到100瓦的白炽灯泡的亮度。而特制的荧光灯里，用的荧光粉含有少量特殊的稀土元素，又亮又节能。目前，大多用发射蓝光的掺铕的多铝酸盐，发射绿光的掺铽的多铝酸盐、发射红光的掺铕的氧化钇制成稀土三基色灯，这种荧光灯可节电达80%，一只12瓦的稀土荧光灯便可代替一只60瓦的日光灯，真是荧光材料里的小力士搬倒大巨人了。我国能源紧缺，节电效果这么好的荧光材料很有开发价值，难怪稀土又在荧光灯世界里倍受宠爱了。也许你还不知道，家里彩电的五彩缤纷的颜色，也是稀土荧光粉在扮演“花脸”呢！还有，激光光源与激光玻璃里也有稀土家族兄弟的身影呢！

除了作为发光材料的激光材料的新生力量，稀土材料还有多方面的重要用途。含有少量稀土催化剂的汽车尾气净化剂，活性高，效果好，汽车尾气中的氧化氮（NO、NO₂等）、一氧化碳（CO）消失得无影无踪。稀土光学玻璃使照相机的镜头更透明更均匀，照片中的人物花草就更清晰、生动和逼真。另外，钢铁工业中需要稀土作为必需的添加剂，石油化工产品需要稀土作催化剂，玻璃与陶瓷中用稀土染色后更加美观诱人，材料工业中，发光材料、永磁材料、磁光材料、储氢材料、磁致冷材料、磁致伸缩材料要以稀土为“主角”，激光材料、超导材料、光导纤维、燃料电池等也都离不开稀土，这一切的一切，都源于稀土家族兄弟们的特异功能，誉为现代工业生产的维生素，它们也当之无愧！

神奇的“土”家族，在科学家们的不懈努力下，已经逐步为人类所认识和应用。为了更好地让它们造福人类，充分发掘稀土兄弟们的潜能，那么深入地研究稀土家族更多的神秘之处是必要的。打开未来之门的钥匙是勤奋和坚韧不拔，神奇之土的一切秘密，都将在人类的执著追求中大白于天下。

电阻为零的世界

到底什么是超导？我们可以先从金属的电阻来谈起。

学过一些初步物理学知识的人都知道，世界上有一类物质内部存在可以自由移动的电荷，在有外电场作用时，这些自由电子会向着一定的方向流动，于是就形成了电流，这些物质因为能够让电流通过，所以被称为导体。日常生活中最常见的导体是金属，像电线中的铜和铝、灯泡中的钨丝和电炉中的合金电炉丝等都是金属。一般来说，在金属内部，原子按照一定的秩序整齐地排列，我们把这种按一定秩序排列的原子整体称为点阵。在金属中，离原子核较远的一些电子很容易摆脱原子的束缚，成为可以在点阵中自由运动的电子，而那些失去了一些电子的原子只能在它们各自的位置上作微小的振动。在外力（即外电场）的推动下，这些自由电子定向运动形成了传导电流，但是，它们在定向运动时，会经常和那些处于点阵上不断作热振动的原子相互碰撞，使运动受到阻碍。另外，金属的点阵中可能会有些原子站错了位置而形成“缺陷”，金属中的某些杂质也会破坏点阵的完整，这些有“缺陷”的点阵对电子的运动也形成阻碍，这几种对电子运动的阻碍，我们称为电阻。在一般情况下，就连像银和铜那样导电性能最好的导体，也有电阻存在。由于有电阻，所以电流在通过金属时，会把一部分能量转交给点阵的热振动，从而产生热损耗。

人们后来发现，许多金属、合金、化合物甚至某些有机化合物，在一定低的温度下，会突然进入到一种特殊的状态：它们的电阻突然变到零，这种状态我们就称为超导态。而具有这种特性的物质，我们就称它为超导体。

超导体一般要在很低很低的温度下才进入超导态，超导体在刚刚开始进入超导态的温度叫作临界温度，记作 T_c 。由于它非常低，所以用我们日常的摄氏温标来表示很不方便了。在物理学中，还经常用到一种绝对温标，它的单位为开尔文，简称为 K，绝对温标 $T(K)$ 和摄氏温度 $t(^\circ C)$ 的换算关系为 $t = T - 273.15$ 。一般谈到低温和超导时，主要采用绝对温标。

然而，“约束”超导现象的因素不仅仅是温度，即使在低于临界温度下，若进入超导体的电流及周围磁场的强度超过某种临界时，就会破坏超导状态，而成为普通的常电导状态。该极限值被分别称为临界电流密度（或临界电流）及临界磁场。

上述各值互有密切关系。例如，在勉强达到临界温度时，其临界电流密度和临界磁场均极小，超导现象随时被破坏。另外，在同一临界温度较高的物质，其临界磁场也较大。

在地球表面的自然界中，最冷的地方可以算是南极洲了，据记载，在南极洲最冷时曾达到过摄氏零下 88.3 度的低温，但远远满足不了超导体对低温的苛刻需求。然而，物理学家们却可通过把气体液化，达到比这低得多的温度。到 1908 年，曾一度被称为“永久气体”的氦气也终于被荷兰物理学家卡末林·昂内斯液化。利用液氦，人们也第一次达到了当时地球上的最低温度：

大约 4.2K 左右，甚至还要更低些，这与绝对零度已经很接近了。

卡末林·昂内斯并不仅仅满足于此。他把眼光放在了对低温物理学的研究上。1911 年时，卡末林·昂内斯和他的学生一起，选择了当时最容易提纯的水银作为实验材料，在液氮的温度下进行认真的研究。当温度降到 4.2K 左右时，水银的电阻竟然突然地消失了！这可是谁也没有预先想到过的现象。这也是人们首次发现超导现象。从那时起，超导物理学这门新兴的科学诞生了。

不过，由于那三个苛刻的临界条件人们在最初的很长一段时间内都不能把这一伟大发现运用到实际中来。

1987 年 2 月 25 日，我国国内各大报刊纷纷以大字标题登出了头条新闻：“我国超导研究取得重大突破！”新闻中讲到，中国科学院物理研究所近日获得起始转变温度在绝对温度 100 度以上的高临界温度超导体。“这项研究成果居于国际领先地位。”从此以后，报纸、电视、广播中不断传来世界各国科学家和中国科学家在超导研究中取得重大进展的消息，一时间，像一阵旋风一样，“超导热”席卷了全世界。

其实，对超导的研究是一个循序渐进的过程。最初发现的较高临界温度的超导体，是 1941 年时德国科学家艾舍曼等人发现的氮化铌，临界温度为 15K。到 1973 年，在一类叫 A-15 结构的物质中，泰斯塔迪等科学家获得了 23.2K 的临界温度。这个记录直到 1986 年之前都没被打破。但科学家们并没有因此而灰心，而是继续努力地探索着，并且又提出了许多新的理论设想。例如，在 1963 年，美国物理学家利特尔提出，除了电子和点阵相互作用的机制之外，在另一种电子和激子相互作用的机制中，也可能会有很高临界温度的超导体。后来，人们又在理论上继续发展了利特尔的想法，提出了各种结构的激子超导体设想。虽然这种新的超导机制最终还没有得到实验的确证，但它的提出却促进了人们对有机超导体的研究。尽管有机超导体的临界温度目前还不太高，但它无疑是一个很有前途的新的研究方向。

探索高临界温度超导体的历程是漫长、曲折、艰巨的。但终于到了 1987 年，2 月 15 日美国国家基金宣布，朱经武等物理学家发现了临界温度为 98K 的超导体，但没有公布材料成分。时隔不久，2 月 24 日，中国科学院举行了中外记者新闻发布会，郑重宣布，物理研究所的赵忠贤、陈立泉等 13 名中国科学家获得了液氮温区的超导体，转变温度达 100K 以上，材料成份为钡—铋—铜—氧。至此，人们终于实现了液氮温区超导体的多年梦想，完成了科学史上的一次重大突破。中国科学家的研究工作也随之跨入了世界先进行列。

从 1973 年 23.2K 最高临界温度记录，一跃而至液氮温区，转瞬间梦想变成了现实，人们终于可以摆脱液氮制冷的种种不便了。由于氮气在地球上极为丰富，液氮的制备也很容易，所以这一次腾飞的意义非同小可。超导临界温度的这一大幅度提高，可以说是 20 世纪科学史中最重要的事件之一。

迄今为止，研究得最仔细的液氮温区超导体仍然是钡—铋—铜—氧体系。大量实验证明，这一体系的结构和超导电性对氧含量和氧有序都十分敏感。钡铋铜氧的制备工艺十分简单，它可在空气中或氧气流中用高温（约 950）陶瓷烧结的方法获得。

前面讲了很多关于超导材料的发现和研究，可超导材料到底具有什么样的特性而使人们对它情有独钟，在实际中它又有什么用途呢？

我们已经知道，超导材料的最突出的性质是它们处于超导状态时，材料

内部的电阻为零，电流通过它时不会发热。这样，允许通过的电流达几万安培/毫米²。如果用超导体做成线圈，通以电流，使它产生磁场，就可以得到超导磁体，由于电阻为零，超导磁体所产生的磁场很强，用它做成的超导电机励磁线圈，可使单机容量大为提高，并大大减低电阻耗损。同时，由于可以省去一般电机需要的冷却设备，可使超导电机重量大大减低。

由于国民经济的发展，货运、客运均大幅增长。但是，传统的火车速度较慢，而飞机运力十分有限，因此，客观上迫切需要发展一种速度能达到时速数百公里的铁路系统。我们都知道，火车是靠车轮转动时与地面的摩擦力推动车厢前进的，而火车受到的阻力则主要来自空气的粘滞作用，这种粘滞作用随车速的增大而增大，当车速达到一定量值的时候，空气的粘滞阻力将超过推动火车前进的摩擦力，因此车速的进一步增大将受到限制。解决这个问题的办法是：机车的非接触支撑；机车的非粘着前进。近代超导技术的发展，正好为解决这个问题提供了可能。超导磁悬浮方法可将列车在轨道上悬浮起来，利用超导体直线同步电机可以非粘着地推动列车高速前进。磁悬浮列车能无机械接触地由电磁推力稳定地升起和导向。它升起的高度离轨道一般大于10厘米。在静止或低速行驶时，仍由列车的车轮系统支撑。它的升举力、导向力和推进力都靠超导直线电机产生。在轨道上安装了一系列电机的相绕组，这些相绕组从电力系统获得能量，并与列车上的超导磁体相互作用，推动列车前进。在这方面的研究目前日本居于领先地位，在7公里距离的载人试验中，磁悬浮列车的时速已达500公里，这相当于中等飞机的速度，且无噪音、无污染、无振动，其载重量更是普通客车所无法比拟的。目前，英国、德国、美国、日本等已制成了多种磁悬浮列车。除此以外，利用超导磁体还可以制成电磁推进船等。在未来的交通工具中，超导体必将大显身手。

超导材料的研究是当今世界上一门新兴的科学技术，鉴于超导材料能影响人类生存的许多重要领域，各国的材料科学家都在竞相探索它的结构，研究它的性能，以求率先找到具有高临界温度的超导材料。可以这样说，高温超导材料的突破，必将深刻地促进尖端科学技术的发展，从而加速人类文明的进程。含苞待放的超导之花，必将带来一个缤纷的世界。

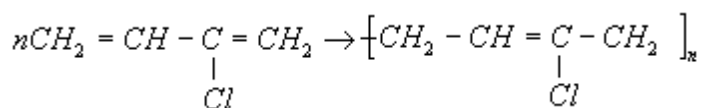
树的泪水——橡胶

世界上荣获“弹性之王”称号的物质是什么？是橡胶。

橡胶可以拉伸到原来长度七到八倍，外力一消失，它又迅速地恢复到原来的状态。橡胶不但具有优异的弹性，还具有绝缘性、不透气性、耐腐蚀性、抗磨损性等宝贵性能，因而它成了现代化建设不可缺少的材料。

最早认识橡胶的是美洲最古老的居民——印第安人。1493年，航海家哥伦布第二次航行到美洲的海地岛。他看到岛上印第安人的儿童，一面哼着歌曲，一面合着节奏欢乐地把一个黑色的球扔来扔去，这球落到地面后，竟然会弹跳到几乎与原来一样的高度。哥伦布大为惊讶，仔细地向印第安人打听，才知道世界上有一种弹性非常好的物质——橡胶。

橡胶是从含有橡胶的树皮里流出来的白色树汁。印第安人把它叫做“卡乌巧乌”——意思是“树的泪水”。用树汁晒干而成的橡胶，叫生橡胶。它生性怕热，稍一受热，就变得像湿面团似的，又软又粘。天气一冷，它又变



氯丁橡胶具有优良的耐油性，石油工业中大量使用氯丁橡胶制品制胶管、垫圈等；还具有耐化学腐蚀性，所以，化工厂常用它来作各种管道。

合成橡胶的原料可以从石油得到源源不断的供应，从此更是突飞猛进。合成橡胶的年产量已从无到有，年产量现在已达到 600 多万吨，远远超过了天然橡胶的产量。

合成橡胶生产发展快，性能各有千秋，可胜任某些天然橡胶所不能担当的工作。这真是青出于蓝胜于蓝。

合成纤维

尼龙

“尼龙”，又名“卡普隆”、“锦纶”，化学名称是聚酰胺纤维，大家对尼龙并不陌生，在日常生活中尼龙制品比比皆是，但是它的历史却鲜为人知。尼龙是世界上首先研制出的一种合成纤维。

1926 年美国最大的化学工业公司——杜邦公司的董事斯蒂恩出于对基础科学研究的兴趣，建议该公司开展有关发现新的科学事实的基础研究。1927 年该公司决定每年支付 25 万美元作为研究费用，并开始聘请化学研究人员，到 1928 年杜邦公司在特拉华州威尔明顿的总部所在地成立了基础化学研究所，年仅 32 岁的卡罗瑟斯博士受聘担任该所有机化学部的负责人。

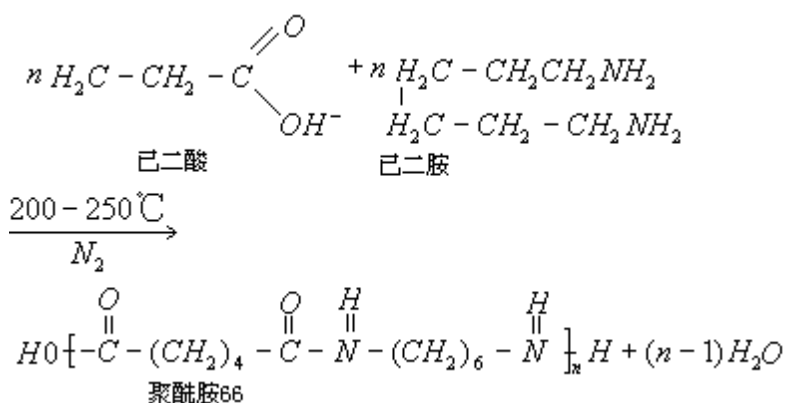
卡罗瑟斯出生于美国洛瓦的伯灵顿。他的父亲在得梅因商学院任教，后来担任了该院的副院长。受他父亲的影响卡罗瑟斯 18 岁进入该院学习会计，他对这一专业并不感兴趣，倒是很喜欢化学等自然科学，因此，一年以后转入一所规模较小的学院学习化学。1920 年获理学学士学位。1921 年在伊利诺斯大学取得硕士学位，后来在南达柯地大学任教，讲授分析化学和物理化学。1923 年又回到伊利诺斯大学攻读有机化学专业的哲学博士学位。在导师罗杰·亚当斯教授的指导下，完成了关于铂黑催化氢化的论文，初步显露了他的才华，获得博士学位后随即留校工作。1926 年到哈佛大学教授有机化学。由于卡罗瑟斯的性格内向，他认为搞科学研究更能发挥自己的聪明才智，于是 1928 年受聘来到了杜邦公司。

卡罗瑟斯来到杜邦公司的时候，正值国际上对德国有机化学家斯陶丁格提出的高分子理论展开了激烈的争论，卡罗瑟斯赞同并支持斯陶丁格的观点，决心通过实验来证实这一理论的正确性，因此他把对高分子的探索作为有机化学部的主要研究方向。一开始卡罗瑟斯选择了二元醇和二元羧酸的反应，想通过这一被人熟知的反应来了解有机分子的结构及其性质间的关系。在进行缩聚反应的实验中，得到了分子量约为 5000 的聚酯分子。为了提高聚合度，卡罗瑟斯改进了高真空蒸馏器并严格控制反应物的配比，使反应进行得很完全，在不到两年的时间里使聚合物的分子量达到 10000 ~ 20000。

1930 年卡罗瑟斯用乙二醇 (HO - CH₂—CH₂—OH) 和癸二酸 [HOOC—(CH₂)

HOOC]缩合制取聚酯，在实验中卡罗瑟斯的同事希尔在从反应器中取出熔融的聚酯时出现了一种有趣的现象：这种熔融的聚合物能像制棉花糖那样抽出丝来，而且这种纤维状的细丝即使冷却后还能继续拉伸，拉伸长度可以达到原来的几倍，经过冷拉伸后纤维的强度和弹性大大增加。这种从未有过的现象使他们预感到这种特性可能具有重大的实用价值，有可能用熔融的聚合物来纺制纤维。他们随后又对一系列的聚酯化合物进行了深入的研究。由于当时所研究的聚酯都是脂肪酸和脂肪醇的聚合物，具有易水解、熔点低、易溶解在有机溶剂中等缺点，卡罗瑟斯因此得出了聚酯不适宜制取合成纤维的错误结论，最终放弃了对聚酯的研究。卡罗瑟斯的这一错误结论使聚酯纤维失去了“合成纤维祖先”的桂冠。就在卡罗瑟斯放弃了这一研究以后，英国的温费尔德在汲取这些研究成果的基础上，改用芳香族羧酸（对苯二甲酸）与二元醇进行缩聚反应，1940年合成了聚酯纤维——涤纶。这对卡罗瑟斯不能不说是一件很遗憾的事情。

为了合成出高熔点、高性能的聚合物，卡罗瑟斯和他的同事们将注意力转到二元胺与二元羧酸的缩聚反应上，几年的时间里卡罗瑟斯和他的同事们从二元胺和二元酸的不同聚合反应中制备出了多种聚酰胺，然后这些聚合物的性能并不太理想。1935年初卡罗瑟斯决定用戊二胺[H₂N(CH₂)₅NH₂]和癸二酸[HOOC-(CH₂)₈-COOH]合成聚酰胺（即聚酰胺510）实验结果表明，这种聚酰胺拉制的纤维强度和弹性都超过了蚕丝，而且不易吸水，很难溶，不足之处是熔点相对较低，所用原料价格很高，还不适于商品生产。紧接着卡罗瑟斯又选择了己二胺和己二酸进行缩聚反应，终于在1935年2月28日合成出聚酰胺66。



这种聚合物不溶于普通溶剂，具有 263 的高熔点，由于在结构和性质上更接近天然丝，拉制的纤维具有丝的外观和光泽，其耐磨性和强度超过当时任何一种纤维，而且原料价格也比较适宜，杜邦公司决定进行商品性生产开发。

要将实验室的成果变成商品，一是要解决原料的工业来源；二是要进行熔体纺丝过程中的输送、计量、卷绕等生产技术及设备的开发。生产聚酰胺66所需的原料——己二酸和己二胺当时仅供实验室作试剂用，必须开发生产大批量、价格适宜的己二酸和己二胺。杜邦公司选择来源丰富的苯酚进行开发实验，到1936年在西弗吉尼亚的一家所属化工厂采用新催化技术，用廉价的苯酚大量生产出己二酸，随后又发明了用己二酸生产己二胺的新工艺。杜

邦公司首创了熔体纺丝新技术，将聚酰胺 66 加热融化，经过滤后再吸入泵中，通过关键部件（喷丝头）喷成细丝，喷出的丝经空气冷却后牵伸、定型。1938 年 7 月完成试验，首次生产出聚酰胺纤维。同月用聚酰胺 66 作牙刷毛的牙刷开始投放市场。10 月 27 日杜邦公司正式宣布世界上第一种合成纤维诞生了，并将聚酰胺 66 这种合成纤维命名为尼龙（nylon）。

杜邦公司从高聚物的基础研究开始历时 11 年，耗资 2200 万美元，有 230 名专家参加了有关的工作，终于在 1939 年底实现了工业化生产。

尼龙的合成奠定了合成纤维工业的基础，尼龙的出现使纺织品的面貌焕然一新。用这种纤维织成的尼龙丝袜既透明又比真丝袜耐穿，1939 年 10 月 24 日杜邦公司在总部所在地公开销售尼龙丝长袜时引起轰动，被视为珍奇之物争相抢购，混乱的局面迫使治安机关出动警察来维持秩序。从前曾用“像蛛丝一样细，像钢丝一样强，像绢丝一样美”的词句来赞美这种纤维。到 1940 年 5 月尼龙纤维织品的销售遍及美国各地。由于尼龙的特性和广泛的用途，尼龙的产量在最初 10 年间增加了 25 倍，到 1964 年占合成纤维的一半以上，至今聚酰胺纤维的产量保持在 10^9 千克数量级上，虽然产量不如聚酯纤维多，但仍是三大合成纤维之一。

尼龙的合成是高分子化学发展的一个重要里程碑。在杜邦公司开展这项研究以前，国际上对高分子链状结构理论的激烈争论主要是缺乏实验事实的支持。卡罗瑟斯的研究表明，聚合物是一种真正的大分子，可以通过已知的有机反应获得，参加缩聚反应的每个分子都含有两个或两个以上的活性基团，这些基团通过共价键互相连接，而不是靠一种不确定的力将小分子简单聚集到一起，从而揭示了缩聚反应的规律。卡罗瑟斯通过对聚合反应的研究把高分子化合物大体上分为两类：一类是由缩聚反应得到的缩合高分子；另一类是由加聚反应得到的加成高分子。尼龙的合成有力地证明了高分子的存在，使人们对斯陶丁格的理论深信不疑，从此高分子化学才真正建立起来。

“人造羊毛”

“羊毛出在羊身上”，这是人人皆知的一句俗语。可是，在科学技术飞速发展的今天，羊毛已经不是全部出在羊身上。不出在羊身上的“羊毛”，叫合成羊毛，化学名字为聚丙烯腈（俗称腈纶）。

羊毛由多种蛋白质组成，其中主要的一种叫“角蛋白”，这种角蛋白营养丰富，是某些小虫特别爱吃的食物，所以羊毛衣、羊毛毯很容易受到虫的蛀蚀。但是因为羊毛的纤维具有柔软、容易卷曲、保暖性好、分量轻、能复制等优点，所以仍很受人们的喜爱。不过，从一头羊身上一年只能剪取几公斤到十几公斤的羊毛；畜养一头羊，又要付出很多的劳力，因而，羊毛的产量不能不受到条件的限制，价格也难以降低。

能不能用化学的方法，制造出一种像羊毛一样的“羊毛”呢？人们从粘胶纤维的成功中获得了某种启示。于是，科学家的目光又投入了人工合成纤维的领域之中。

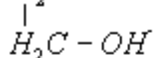
1920 年，德国的斯陶丁格教授成功地剖析了天然纤维的结构，并指出：“在一定条件下，小分子可以聚合成纤维。”当时尽管他的观点在化学界还没有正式承认，但是他的研究作为合成纤维时代的到来奠定了基础，为此他获得了诺贝尔奖章。

这里先向大家介绍你们很熟悉，也是很喜欢的合成纤维品种——聚酯纤维。

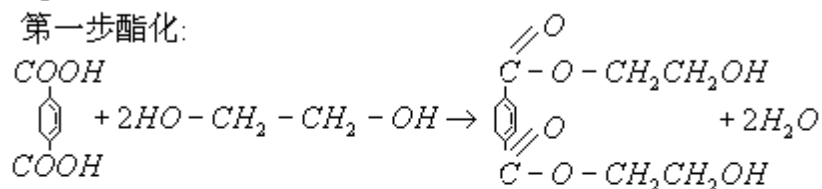
1930 年美国杜邦公司研究人员卡罗瑟斯利用乙二醇和癸二酸缩合制得了聚酯，但因它的性质与卡罗瑟斯设想的合成纤维相距甚远，便没有引起重视，重起炉灶，放弃了对聚酯的研究。十年以后，英国的温费尔德吸取了卡罗瑟斯的经验和教训，决定改用芳香族羧酸（对苯二甲酸）与二元醇进行缩聚反应，结果大获成功。1940 年聚酯纤维在英国的实验室诞生。又经过了十年，在 1950 年聚酯纤维进入了大规模的工业生产。现在人们所穿的挺括“的确凉”衣服便是用它做的。它的学名叫聚对苯二甲酸乙醇酯，其原料是从煤、石油中得到的。合成对苯二甲酸 $\text{COOH}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COOH}$

和乙二醇

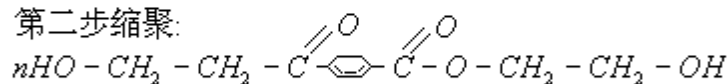
$\text{H}_2\text{C}-\text{OH}$ 其路线为:



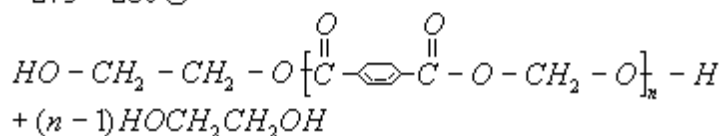
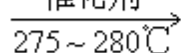
第一步酯化:



第二步缩聚:



催化剂

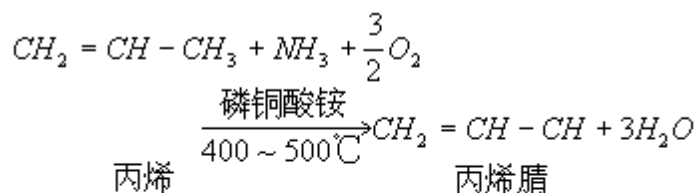


由于涤纶纤维分子结构的主链上有着僵硬的苯环结构

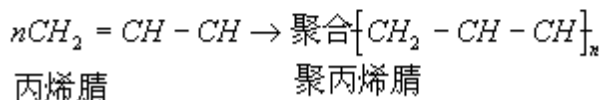
($[-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-]$)，分子中官能团排列得比较规整、紧密、结晶度比较高，不易变形，受力变形后易恢复形变，有刚性，所以抗皱性好，外形挺括。由于分子排列紧密，水分子难于进入涤纶纤维分子内部，因此纤维在水中不膨胀、不缩水。纤维表面较光滑，而且易于洗涤，吸湿性低，所以易干。因为涤纶有这些优点，所以涤纶纤维是发展最快、产量最大的一种合成纤维。

1950 年是合成纤维大丰收的一年，在这一年，人们还研究出了在工业上制造腈纶的工艺，腈纶学名叫聚丙烯腈，其原料是丙烯腈 ($\text{CH}_2=\text{CHCN}$)，丙烯腈可以由电石制造，也可以用石油裂解和炼油废气中的丙烯来制造。

丙烯经过氨、氧化后，便成了丙烯腈：



丙烯腈通过聚合变成聚丙烯腈

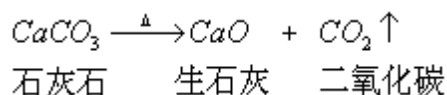


其特点是绝热性能优良，耐日晒雨淋能力强，蓬松性好，有毛型感，用它制成的毛线和毛毯摸上去与真羊毛的感觉几乎一样！这就是人们从 1893 年就开始寻找的“人造羊毛”！这样一来，合成羊毛的来源就极其丰富了，价格也便宜了。四十多年来，腈纶的生产发展迅速，到今天，世界上腈纶的年产量已达到 1000 万吨左右，相当于 10 亿只羊的产毛量。

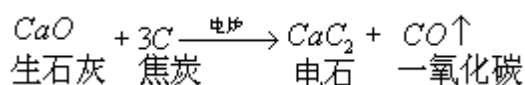
当“羊毛出在羊身上”已成了历史遗言时，本世纪六十年代，人们又在工厂里合成了一种新的纤维，它白如雪、轻如云、暖如棉、柔如绒，吸水性和手感与棉花相似，因此有“合成棉花”之称。你可能万万想不到的是，这种“合成棉花”它是由化学家们像魔术师变戏法一样用石头作原料“变”来的呢？

这种石头变来的纤维叫做“维尼纶”，它的化学名称是聚乙烯醇缩甲醛纤维。

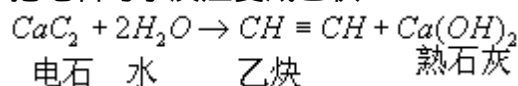
首先，化学家把一种叫石灰石的石头在炉子里煅烧：



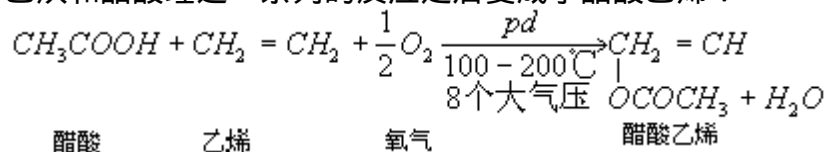
石灰石烧后变成了生石灰，把生石灰和焦炭混合在电炉中加热到高温，则变为碳化钙：



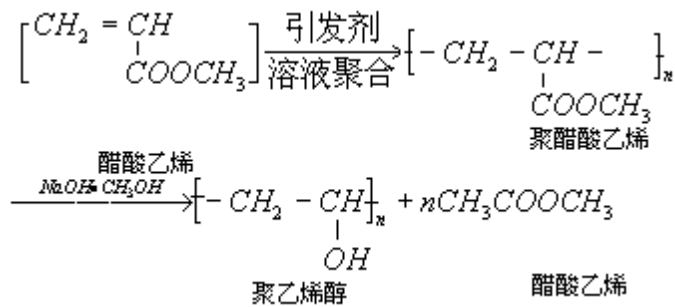
把电石与水反应变成乙炔：



乙炔和醋酸经过一系列的反应之后变成了醋酸乙烯：



醋酸乙烯聚合和醇解后得到聚乙烯醇：



通常将聚乙烯醇溶于热水并在硫酸钠溶液中凝固纺丝，然后与甲醛缩合就得到了聚乙烯醇缩甲醛。

在此之后，新的合成纤维品种层出不穷：丙纶、芳纶、氯纶……合成纤维的使用装扮了人间，同时也从民用扩展到工程技术、军事领域，从而为我们展示了它那强大的生命力。

从老虎吃人谈起——纳米材料

第一场冬雪刚刚下过，偌大的北京城都笼罩在一片银白之下；一阵阵凛冽的寒风，卷起千堆飞雪，扑打在行人的身上脸上，顿时令人感到寒意俨然。

在某名牌大学的报告厅里，一个学术报告正在进行着。刚踏进大学之门的本科生，初涉科研领域的研究生博士生，学有所长的老师们，甚至还有不少头发花白在学术上造诣颇深的老教授，济济一堂，都带着浓厚的兴趣专心致志地听着报告人的讲解。其气氛之热烈，与室外的飞雪寒冬形成了鲜明的对照。

报告人却是一位极年轻的老师。他面前的幻灯投影屏幕上，正映着一幅生动逼真的图画；隔着一堵厚厚的墙，一只大虫正对着一个人咆哮连连，虎视眈眈；奇怪的是厚墙那一面的人好像是给吓破了胆，忘记了厚墙的屏障作用，竟然惊惶失措，拔腿狂奔，汗如雨下。“我们是不是认为这个人胆小如鼠，很有些杞人忧天呢？”报告人的话外音及时地点破了听众们的想法，不过，“你们这么想是因为你们认为这只老虎根本不可能吃到这个人，因为老虎不能越过这墙这个难以逾越的障碍。但是，这个人却不这么认为。他不是个傻瓜，相反，他是世界上有名的化学家。”幻灯及时地换了一幅画面：“你们看，这是一个化学粒子，它由状态1变到状态2，中间要跨越这个很高的能垒；而处在状态1这点的粒子显然能量不足，就像老虎不能腾越过那堵墙一样。不过量子理论却告诉我们粒子可以不经这个能垒而直接由状态1到状态2，这个几率是存在的，这便是量子的隧道效应。”画面又切换回虎与人的场景：“这位大科学家就是隧道效应理论的发现者，所以他知道老虎不翻越墙而直接穿墙而过来吃他的几率也是存在的，难怪他要逃之夭夭了。”话音未落，全场立即对他精采的演讲报以一阵阵热烈的掌声，大厅里的气氛也更见热烈。

这便是在题为《纳米科技与智能材料》的科学讲座里的一段场景。报告人刘教授虽然是那么年轻，却是我国高科技发展计划——攀登计划B组项目光电智能材料方面的首席科学家，更是这方面的国际知名学者。这次讲座的

主题，纳米材料，也在日益以其在光电、结构、化学等性质方面的诱人特征，成为新兴高科技材料的希望之星。

我们知道，对于人类应用为生产与生活材料的许多固体物质，我们的认识首先是从宏观现象开始的。最先观测到的是物质的硬度、强度等力学性质，于是便有了木材、竹材以及金属材料在机械方面的应用；随着科技的发展，电磁现象、化学反应现象的基本理论为人类所掌握，物质的电导、磁性等新的属性为人类所认识，于是更多的新材料投入应用，电气化时代，信息时代之门也随之为人类开放。现代的材料科学，已经深入到原子、分子的层次，用原子结构，晶体结构和化学键理论来阐明各种物质的物理属性和微观结构之间的关系，从而新一代的功能材料也随之诞生。不过，近年的研究发现，在物质的宏观固体（大于 $1\mu\text{m}$ 微米即大于 10^{-6}m ）与微观原子分子（小于 1A 即小于 10^{-10}m ）之间，还存在着一些介观的层次，如介观（ $100\text{nm} \sim 1\mu\text{m}$ 即 $10^{-7} \sim 10^{-6}\text{m}$ ）、纳米（ $1\text{nm} \sim 100\text{nm}$ 即 $10^{-9}\text{m} \sim 10^{-7}\text{m}$ ）、团簇（ $1\text{A} \sim 1\text{nm}$ 即 $10^{-10}\text{m} \sim 10^{-9}\text{m}$ ）等，这些层次对材料的物理性质起着决定性的作用。尤其引人注目的是，微观体系只包含单个或几个分子，属量子化学的研究范畴，宏观体系包含无限的原子和分子群体，表现出的是化学统计热力学性质；唯有以纳米为代表的几种介观体系层次，物质的尺寸既不太大也不太小，所包含的原子分子数既不太多也不太少，粒子的运动速度既不太快也不太慢，这些由有限分子组装起来的集合体，决定着物质的性质，它所表现出来的物理性质和宏观的材料迥然不同，具有奇特的光学、电学、磁学、热学、力学和化学性质：

普通的铁块已经难以压断，可纳米铁的抗断裂能力比它还强 12 倍！就算你能折断手腕粗的普通铁棒，你也折不断一根拇指粗的纳米铁条；

普通金块要 1063 才溶化，普通银块要 960.8 才熔化，而纳米金在 330 就化为液体，纳米银在 100 就再也保持不住它的棱角；

纳米 TiO_2 在 200 就可以转变为高温的盒红石结构！纳米 Si_3N_4 的强压电效应是普通材料的 4 倍！

……

这一系列诱人的性质，令材料化学家们欣喜异常：在纳米尺寸范围内对物质进行研究和应用的纳米科技，不正是使人类认识和改造物质的手段直接延伸到原子了么？直接对原子或分子进行加工让它们听从摆布，不是可以将它们组装成具有特定功能的结构的特种材料吗？

在沸石分子筛的硅铝酸盐晶体里，有无数微形孔穴，其尺寸便是纳米级的。如果利用某种途径将具有某种特殊光、电、磁性质的化学物质沉积在这些小笼子里，那便形成了纳米级的超级微米晶体，且将具有更为特殊的物理性能。利用这种微孔晶体和纳米技术，科学家们已经制得了纳米结构的多孔硅。在室温下，以一定的光线照射这种多孔硅，它便会像月亮那样放射出夺目的光辉，整个晶体显得晶莹剔透，光彩照人。这一发现引起了国际轰动，因为纳米半导体技术和硅基发光技术便在这基础上迅速地发展了起来。另外，科学家们还制成了光敏化的纳米结构 TiO_2 膜，可用于制备光电电池，把光能转化为电能的效率高达 $10 \sim 12\%$ ，从而在硅太阳能电池中取代了晶体硅，取得了突破性的高效益。

在催化体系中，催化剂若有更大的活性表面积，则与反应体系中分子的接触点就越多，因而催化效率就越高。因此，制备更细颗粒的催化剂或制备孔隙更多的催化剂一直是解决催化效率问题的重点所在。利用表面活性剂的

分子有序组合体所形成的微型乳粒，科学家们制得了 3~5nm 的超细纳米级铂 (Pt)、钯 (Pd)、铱 (Ir)、铑 (Rh) 等金属微粒，从而使它们用作催化剂时有效活化面积大大增加，获得极高的催化活性，将在石油化工等众多产业中大展身手。

当然，最为诱人的莫过于直接对物质的原子或分子进行“操作”了。用一种神奇的机器来“搬动”一个个原子，我们可以充分发挥人类的想象力，来写世界上最小的字，画世界上最小的画。这不真是太奇妙了吗？想一想，几个原子就可以排列成一个笔划甚至是一个字，那该是多小多小的字啊！还有，把不同的原子有序地排列在一起，就是一幅层次分明的图画，甚至还是立体的呢！再想一想，像纳米尺寸这么小的字和画，在哪怕是 1cm² 这么小的面积上可以“书写”多少内容啊，那我们若把这种材料作成电脑的存储器，那不是一种超高密度的新型存储材料么？这种存储材料只怕会比普通的磁盘高上万倍甚至上百万倍，纳米科技的发展，特别是纳米材料，在这一点上可以说明把物质内部潜在的丰富的结构性能充分地发掘出来了；这正如我们这个世纪的三四十年代里，核裂变材料和核技术的发展和运用，把物质中潜在的能量成百万倍地开发了出来那样，将是材料科学的又一大飞跃！

可是，这种能直接“搬动”原子或分子，让它们俯首听命于我们的指挥的仪器我们上哪里去找呢？在这里，我们可以回到本文开头的量子隧道效应理论上。根据这个理论，科学家们在经过千辛万苦的辛勤探索后，1982 年，国际商业机器公司苏黎世实验室的两位杰出的科学家葛·宾尼博士和海·罗雷尔博士共同研制成功了世界上第一台新型的表面分析仪器——扫描隧道显微镜（简称 STM），利用它的帮助，人们可以得到原子级的尺寸分辨率，平行和垂直于表面方向的分辨率分别可达 0.1nm 和 0.01nm，单个的原子将被准确无误地分辨出来，并实时地得到在实空间的表面的三维图像。将扫描隧道显微镜应用到纳米科技研究中，在计算机计算、编程和控制下，在高真空的扫描隧道显微镜里，可以操纵电子束使单晶硅等物质表面的原子受到激发而移动，从而可以“搬动”原子进行重新排列，这便是新颖的电子刻蚀技术。

利用电子刻蚀技术，“中国”这两个世界上最小的汉字已经被刻蚀了出来：每个字的尺寸仅有 0.1nm，笔划的宽度只是几个硅原子，深度是 3Å，这么小的字，放大一千万倍，才像我们手写的“中国”两个字那么大！难怪日本 NEC 公司的计划中写道：如果在 21 世纪初能把纳米材料制成的电脑存储器实用化，那么，400 万页报纸刊载的内容，将可以轻松地存放在一张邮票那么大表面积的存储器里！作为纳米科技里的弄潮儿刘教授，在报告的过程中，给听众们显示了他亲自“书写”的世界上最小的“Grent wau”等精采绝伦的投影片，引起了满堂听众的极大兴趣。

纳米材料，以其独有的微观特性，在电子、催化、光纤、仿生以及超导等多方面都显示了强大的应用潜力。正是由于对物质的原子或分子尺寸的结构与性能关系的了解，物质内部潜在的丰富的结构特性才有可能被更加彻底地发掘；我们有理由相信，随着有关纳米科技的基础理论研究的突破性进展，种种纳米材料的神奇妙用将不再是神话。在新的世纪里，纳米材料将迅速从实验室里走出来，深入到生活的各个方面，实实在在地服务于人类社会。

粘结起来的世界——粘合剂

1647年的一天，天气晴朗，马德堡的市民兴致勃勃地涌向广场。广场中央，放着一对直径为20英寸的特制的空心青铜半球。这两个半球的边缘都经过仔细的加工，彼此接合在一起密不透气。在两个半球的顶端还有一个铸好的环，其中一个半球上还有一个带活塞开关的出气孔。这就是马德堡半球。在半球旁边，这场科学实验的表演者，马德堡市市长、德国物理实验大师格里凯正在认真地工作着。只见格里凯不慌不忙地请助手们把这两个半球合拢起来成一铜球。然后抽去其中的空气，又把几匹马套在球的两边环上，指挥马夫挥动鞭子，让马尽力向两边拉。但是，这种努力都是枉然的。两个半球好像有什么巨大的魔力压在一起，不会分开。这是大家熟悉的著名的马德堡半球实验。

100多年后的一天，在我国辽宁省的辽阳市又重新出现了这样的场面，1973年10月，在辽阳市中心广场只见八匹高头大马，分成两列，各自套上马鞍，从相反的方向拉着洗脸盆大小的两块钢板，这两块钢板是用胶水一类的东西粘合在一起的。站在高处的一个外国人手臂一挥，赶马人挥动鞭子，噼哩啪啦抽在马背上，它们使尽全力，就像拔河一样，拼命地拉呀，拉呀，围观的人也阵阵喝采……由于两边马的拉力几乎相等，所以那两块钢板便停留在中间。渐渐地喝采声平息了，一匹匹大马也都精疲力尽了，那两块钢板仍然牢牢地粘合在一起。

原来，这是法国专家当众表演的粘合剂粘结强度的实验。辽宁省辽阳市的辽阳化工厂，有一部分设备是从法国引进的，法国派出专家和工程技术人员前来承包安装设备工作。奇怪的是，专家们不论在地上还是在墙上固定设备，从不用螺栓，而是用一种像胶水一样的“粘合剂”。当时，由于我们对这一类先进技术不太了解，有人私下议论：“这样粘得牢吗？万一倒下来怎么办？……”，法国专家知道了这种担心，于是便进行了这次别开生面的类似“马德堡半球实验”的八马对拉表演。

现在我们知道，粘合剂是一种能把各种材料紧密地粘合在一起的化学物质。“粘合剂”又被称作“粘结剂”、“胶粘剂”，有的干脆就简称为“胶水”。借助粘合剂来进行连接的技术就是粘接技术。

典型的粘合剂，它在形成连接接头前的某个阶段，一般应是液体，这样才能很容易地把它涂刷在被粘接零件表面上。在一定的条件下（温度、压力、时间等），它能凝固成坚硬的固体，同时，将被粘接的材料紧密结合成一个整体。

能满足这些条件的物质并不少，大自然里就有。至于人工合成的品种就更多了。

粘合剂这个家族近几年来特别兴旺发达，不断有新的成员问世。这个家族里，比较老的一辈都是在大自然里生长的，如松香、树胶，还有用动物的骨、皮熬制的牛皮胶、黄鱼胶等等。这些我们统称为天然高分子粘合剂。由于这些材料来源较少，往往受天然资源的限制，性能又不完善，所以目前已逐渐被合成高分子粘合剂所淘汰，合成高分子粘合剂的种类很多，主要有合成树脂类型和合成橡胶类型，前者如环氧树脂、酚醛树脂、脲醛树脂等，后者如丁腈橡胶、氯丁橡胶等。有意思的是，这两大类家族之间还很喜欢攀亲结着，因此又出现了树脂-橡胶混合型的粘合剂。

不论是天然的高分子粘合剂，还是合成的高分子粘合剂，统称为有机粘合剂。因为它是在整个粘合剂大家族里最主要和最常用的种类，所以平时就

简称为“粘合剂”了。

既然有“有机粘合剂”，肯定还有“无机粘合剂”。不错，无机粘合剂与有机粘合剂截然不同，属另一个族系。它们都是由无机物组成的，例如磷酸盐、硅酸盐等。由于分子组成及分子的结构不同，这类胶的性能与前者差异很大，它们特别能耐高温，比较硬、脆。

每一种合成粘合剂，除了橡胶、树脂这样一些主要组分以外，还有好多其他组分。因为单是依靠环氧树脂或丁腈橡胶，是不能把东西胶牢的。这些其他组分我们一般称为“粘合剂的辅助材料。”

“辅助材料”，正像舞台上的配角。但切不可小看它们，没有配角，哪能演成一台戏呢！辅助材料对粘合剂的性能影响太大了。

我们不妨举一个粘合剂的配方，看看在配方里面，主要组分和辅助材料之间到底有些什么关系。

环氧树脂	100份
间苯二甲胺	18份
邻苯二甲酸二丁酯	15份
氧化铝粉	25份
丙酮	适量

从这个配方来看，其中分量最多的是环氧树脂。它是这个配方的主要组分，一般叫做基料。基料是构成粘合剂最重要，而且也是最必需的组分。因为要依靠它才能使粘合剂获得良好的粘附作用。它的性质和用量，对粘合剂的性能和工艺都有决定性的影响。

用这个配方调制好的粘合剂，是粘稠的液体。当你把它涂到两个胶接面上，再紧密地贴合在一块，第二天再看它时，胶层已经坚硬了。两个物体也已牢牢地粘住了。是什么东西把液态的环氧树脂变成坚硬的固体了呢？这个功劳要归第二个组分——间苯二甲胺了。这一组分我们称它为固化剂，或硬化剂。

从分子结构来看，加入固化剂以前的环氧树脂，是由许多结构相同的重要单位一个一个以化学键连接起来而组成的无数根长长的分子链。这就是线型结构。它在通常情况下是蜷曲着的，每根长分子链之间没有联系，线型的高分子可以熔化，在适当的溶剂里也能溶解。在环氧树脂基料中加入固化剂以后，由于固化剂的作用，这些分子链和分子链之间架起了“桥”——互相交联在一起，成了具有三维空间的体型结构。这时它就变成既不熔化也不溶解的脆硬固体了。这个过程一般就叫固化。

现在再来看看配方中的第三个组分——邻苯二甲酸二丁酯。把它加到粘合剂中来可以使胶层变得比较柔韧。具有这种性能的组分，叫做增塑剂。

氧化铝粉在这个配方中扮演的角色叫填料。它在粘合剂内不起化学作用，仅仅是为了改善某些性能而已。氧化铝粉的加入，可以提高胶层的强度。很多金属粉末或它们的氧化物以及一些矿物质都可以作填料使用。

配方中的最后一个组分——丙酮，是作为稀释剂使用的，加了它可以降低粘度，便于施工。

从上面的这个配方中可以看出，尽管配方中有五个组分，但各有各的用处。它们各自发挥自己的作用，共同完成胶接的任务。

粘合剂具有各种各样的优良性能，如粘接强度大，耐水、耐热、耐腐蚀、密封性好、重量轻等，因此它的用途也是多方面的。

在航天工业中，每制造一架喷气式飞机至少要用 360 千克粘合剂，粘结面积在总结合面积的 60% 以上，可省去 20 万个铆钉。胶结制件，表面光滑平整，压力分布均匀，还可减轻重量。人造地球卫星和宇宙飞船中热屏蔽用的烧蚀材料便是用酚醛——环氧粘合剂来粘结的。

在交通运输方面，轮船的甲板和木料粘合，塑料和橡胶制品与钢板粘结，汽车刹车片等许多零件的粘结也都使用粘合剂。英国的工程师通过粘结钢板加固一座桥，竟使其负载能力由原来的 110 吨提高到 500 吨。

在医疗方面，牙科大夫用医用粘合剂修补牙齿，外科大夫用胶粘结血管、肌肉组织，用氰基丙烯酸酯粘合伤口，10 秒钟内即可粘牢，既不需要打麻药，又可免除病人缝合时的痛苦。

在机械制造工业中，无论是各种刀具、量具、夹具和模具的粘结，还是密封补漏、设备维修和废次品的修复，都要用到无机粘合剂。

在电子工业、建筑业乃至日常生活中，粘结剂的应用十分广泛，不胜枚举。所以我们可以毫不夸张地说——世界正在走向粘结组合时代。

新型复合材料

所谓复合材料是将两种或两种以上，具有不同性质的材料，用某种工艺方法均匀地合成为一体而形成的一种新的材料。复合材料是当今实现材料性能设计的一个重要途径，通过材料的“复合”，可以使新的复合材料在性能上不仅兼备原来材料各自的优点，而且在某些性能上会远远超出原有组成材料的性能，这将适应当今新技术革命对新材料所提出的更多更高的要求。

复合材料的应用，在人们生活中并不少见，如工程建设中钢筋混凝土结构材料，其中混凝土有保温、耐磨等性能，但不能承受弯曲、剪拉等负荷，而钢筋则具有良好的各种抗机械负荷的性能，“复合”后取长补短，综合了两者的优点，从而得到广泛的应用。

新型复合材料通常是指近代各种高性能的复合材料，它是当今新一代的动力机械、航空和航天等高新科技中发挥突出贡献的新一代材料。通常以 40 年代开始出现的以玻璃纤维与树脂复合而成的所谓玻璃钢复合材料为起点，经过四十多年的发展，新型复合材料在品种、性能和应用上均取得了可喜的成果。

复合材料是由基体材料和增强剂材料两部分所组成。(1) 基体材料主要有高分子聚合物、金属及陶瓷，而以高分子聚合物的应用最广。高分子聚合物包括有人工合成分子聚合物，如环氧树脂、聚酯、酚醛树脂、聚酰亚胺等；天然高分子聚合物，如沥青、天然橡胶、泥炭等，以人工合成高分子聚合物应用最广。(2) 增强剂材料主要有纤维增强剂和颗粒增强剂，以纤维增强剂应用最广。纤维增强剂有玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、氧化铝纤维、碳化硅纤维、芳纶纤维等。颗粒增强剂有二氧化钛、二氧化硅等。

当今复合材料的研究，着重于结构和功能两个方面，而以前者所取得的应用成果更为突出，下面将择要进行介绍。

一、树脂基体复合材料是复合材料中应用最早，亦是当今应用最广的一类材料。

(一) 玻璃纤维复合材料。利用玻璃纤维作增强剂与合成树脂经一定制造工艺形成的玻璃纤维增强塑料(简称玻璃钢)是最早出现的第一代纤维增强复合材料,它具有强度高、重量轻、耐腐蚀、成型简单、价格低廉等综合优异性能而闻名于世,因而受到广泛应用,小至民用浴盆,大至船体结构,已是众所周知的,用玻璃钢代替钢材将在今后汽车、造船、航空和军工工业中进一步获得发展,玻璃钢的制作可以因用途的不同,而选用不同的树脂基体,如一般无特殊性能要求而量大面广的产品,像各类容器、船体等可采用聚脂为基体的玻璃钢,不仅价格相对便宜,且制作工艺更简单;有绝缘性能要求的玻璃钢制品可采用环氧树脂为基体;有耐高温要求的制品可采用酚醛树脂为基体的玻璃钢。

(二) 碳纤维复合材料,用碳纤维代替玻璃纤维作增强剂的树脂基复合材料被认为是第二代的纤维增强复合材料。它具有比玻璃纤维更轻的比重和更高的模量,是一种性能更为优良的增强剂,用它和树脂形成的复合材料,其比重只有钢的 $1/4 \sim 1/3$,而强度则比钢要高出 $3 \sim 4$ 倍,较玻璃钢则高出6倍,它为汽车、航空以及宇航等事业的发展开辟了良好前景。当今碳纤维树脂复合材料是汽车工业中寻找质量轻而强度高的材料,来替代钢材的一个方面,在保持汽车强度要求下,大幅度减轻汽车重量,可以大量节约汽油的消耗,如美国已在部分汽车制造中改用纤维复合材料,其年节约汽油达10亿加仑以上。碳纤维树脂合成材料在航空工业中已从非承力部位的应用进入承力部位的应用,如飞机尾翼、主翼、及其他承力部位的结构均可使用这类材料,当今的波音757和300、301、A310等大型客机,均大量使用此种材料。大型民用航机的运输成本中有60%为燃料费用,因此减轻飞机重量以降低成本是飞机工业的一项重要任务。据计算,如果将飞机主体结构材料的40%改用此类材料,则相应可减少燃料的消耗费用达30%。比起航空工业来说,宇航工业在材料方面使用质轻、高强的纤维树脂复合材料更具有特殊的意义。目前碳纤维树脂复合材料已在人造卫星和航天飞机中加以应用,并将进一步发挥作用。

当前使用的碳纤维主要是聚丙烯腈为主,但聚丙烯腈碳纤维的原料价较高,降低碳纤维的成本是该项技术的一个努力方向。目前除了通过寻找更新纤维材料外,已经研究采用碳纤维与玻璃纤维、开普纶纤维合用的混杂纤维增强复合材料,具有良好的经济效果。

(三) 芳纶纤维复合材料。芳纶纤维树脂复合材料是继碳纤维后新开发的第三代纤维复合材料,因为它较碳纤维价格便宜、制取容易,同时具有高强度、低比重、耐热,耐腐蚀等优异性能,目前已开始应用于航空及宇航等工业。其与碳纤维混杂的复合材料已在波音767及波音757客机上使用,使飞机重量减轻1吨,与同机种波音727机相比,可减少燃料费用35%,光年节约燃料费用就有百万美元之多。

二、金属基体复合材料,主要有纤维增强金属基复合材料和颗粒增强金属基复合材料。

(一) 纤维增强金属基复合材料。纤维增强金属基复合材料其所用纤维增强剂主要有硼纤维、碳纤维、氧化铝纤维及金属丝等。其基本材料有铝、钢、钛、镍等及其合金。与非金属基复合材料相比,它具有更好的性能,如高的机械性能、高耐磨性、高耐腐蚀性、高导热等性能,如氧化铝和碳纤维为增强剂的铝基复合材料其比强度为一般铝合金的 $2 \sim 3$ 倍,是用于汽车、航

空、航天工业的理想材料。又如巴氏合金经纤维增强后，所形成的复合材料具耐热性能大大提高，熔点由原来 228 提高到 1000 ，耐磨性要比一般金属高出近百倍之多。

(二) 颗粒增强金属基复合材料。以金属微粒子或非金属粒子为增强剂的金属基复合材料，同样可以制取得新一代具有高性能的金属基复合材料。如由陶瓷粉末颗粒与金属基粉末烧结而成的金属陶瓷复合材料，兼有金属与陶瓷各自的优异性能，是一种既耐高温又韧而不脆的材料，如切削加工中已应用的硬质合金刀具材料。同样可以用它来制作航天飞机和火箭的外壳构件和喷口等等。

金属基复合材料价格高、工艺相对复杂，目前还不能像非金属基复合材料那样广泛应用。但由于其性能的优异而可以肩负更艰巨的任务，显然在新材料的发展领域中，仍不乏其重要的地位，可以预见随着金属基复合材料的大量涌现，关于金属的概念将作出新的调整。

三、在陶瓷基体材料中加入各种增强剂如碳纤维、氮化硅、玻璃纤维、石墨纤维等，可以使陶瓷的脆性降低；韧性、抗疲劳和耐磨性等大大提高，这是既发挥陶瓷的优异性能又消除其固有缺点的一项重要措施。其主要用于耐高温、超硬性、耐腐蚀等场合，如以氮化硅、碳化物纤维增强的高温陶瓷复合材料可代替耐热合金用于制作燃气轮机，其耐高温达 1400 ；用作耐热柴油机可节能 30%；用作切削加工刀具，其耐用度比硬质合金要高出 30 倍之多。故它是当前具有发展意义的一种新型材料。

四、功能复合材料是一种利用两种或多种具有不同功能的材料，使之复合成一体，其所形成的新的功能具有原功能的相乘效应。如某种具有 A B 转换功能的材料，与另一种具有 B C 转换功能的材料相复合，其最终所得的复合材料，其功能是二者功能相乘的结果，即成为具有 A C 转换功能的材料。如将一种具有压电转换功能的材料与另一种具有电光转换功能的材料相复合，而得到所需要的压光功能的材料。

复合功能材料的上述特点，使人们对功能材料的开发和促使材料性能设计的思想进入一个新的领域，使人们有可能按照预想的材料性能与功能来制取相应的材料。这一成果目前已在国内外取得一定的进展，例如利用合成高分子聚合物与石墨粉的复合材料，已用于石油输油管道的加热体，来达到自动控制油温，它是利用合成高分子聚物质热膨胀，以及石墨因膨胀而改变电阻的相乘效应，而达到自动控温的功能。

随着科技事业的发展，组成复合材料的基体材料和增强剂材料将有更多的选择余地，而功能复合的途径亦会渐趋扩大，这将为新技术的发展作出更多的贡献。

高分子家族的新成员

人工合成有机高分子材料的出现，是材料发展史上又一次重大突破。1907 年，美国贝克兰博士发明了酚醛树脂，从而创造了自然界原来没有的第一种合成材料。

一般无机化合物和有机化合物，其分子只包含几个或几十个原子，最多二三百个原子，而高分子化合物却不同，每一个分子所含的原子数可以高达几千或几万，甚至几百万或几千万。高分子化合物的分子链形状细长，或者

首尾相连，或者有小支链，互相交联，吸引力非常强，所以高分子材料在强度、弹性等方面都比低分子物质优越得多。

二次大战前，已发明了尿醛、苯乙烯、聚乙烯、聚氯乙烯、密胺等树脂，战时又增加了聚酯树脂、硅树脂、氟树脂等。50至60年代出现了环氧、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元共聚物（ABS）、聚缩醛、聚碳酸酯。60年代以后出现的称新聚合物，如聚苯醚、聚砜、聚苯硫醚、聚酰亚胺、对苯二甲酸酯等。

合成高分子材料的发展非常迅速，已经深入到所有技术领域和人们的日常生活之中，1980年世界的聚合物产量已超过钢产量一倍，超过有色金属产量16倍。聚合物的品种也很多，主要包括一般说的三大合成材料，即合成纤维、合成橡胶和合成塑料。此外，还包括人工合成的油漆、涂料、胶粘剂和一部分液晶。

现在，在汽车、航空、计算机、电子工业中最广泛使用的五大工程塑料为聚酰胺（PA）、聚缩醛（POM）、聚碳酸酯（PC）、聚苯醚（PPO）和对苯二甲酸酯（PBT）。这些塑料均具有强度高、耐冲击、耐疲劳的特点，有些能在250~300的高温下长期工作。特别是近年来发展的聚醚砜（PES）、聚醚醚酮（PEEK）、双马来（BMI）等塑料都是为了满足高温高强度要求而研制的，然而，发展新型结构高分子材料的困难日益增加，目前主要的研究方向是提高实用材料的可加工性，同时适当对这些材料的各种结构进行组合，通过接枝和块状共聚作用来改进已有材料的性能，与其它分子组成合金（高分子合金）以及与其它材料组成复合材料。

80年代以来，在聚合物家族中最活跃的是一些功能高分子材料，它们以特殊的物理性能，如光学、电学和磁学性能，选择渗透性，可降解性，液晶性等区别上述结构高分子材料，成为材料界又一探索的热点。

导电塑料

塑料是人们最熟悉材料之一，它的强度高，密度低，耐腐蚀，可以制成各种机械零件和日用品。同时，它还是一种广泛使用的电绝缘材料，然而你听说过塑料能导电吗？

这纯粹是科学上的一次偶遇。1970年的一天，日本筑波大学的白川教授在指导学生做一项用乙炔气制取聚乙炔的实验时，学生误把比实际需要量多1000倍的催化剂加入试剂中，结果得到的不是应得到的含有碳基长链的黑色聚乙炔粉末，而是一种银光闪闪的薄膜，与其说是塑料，不如说更像金属。1977年，白川在与另外两个美国人研究这种塑料薄膜时发现，掺入碘后它居然能导电，导电率增加了3千万倍。尽管这样，它的导电率只相当于金属铅，或者说是铜和银的百分之

80年代初，导电聚合物还是实验室的珍品，而现在已在许多工业领域内应用，并引起研究单位的重视。关于聚合物为什么能够导电，目前还没有圆满的答案。但相信随着科学的发展，终会真相大白。

随后的研究表明，除聚乙炔外，还有一些高分子聚合物加入掺杂剂后也成为导电塑料，例如聚苯硫醚、聚吡咯、聚噻吩、聚噻唑等。目前，已制成一批导电性与银、铜相当的聚合物，被称为有机金属或合成金属。

首先在实验室取得成功并走进市场的是塑料电池。美国布里奇斯通和日

本精工埃普森公司合资生产了一种电池，它的一个电极是金属锂，另一个电极是聚苯胺导电塑料。它的尺寸与硬币相仿，可以多次重复充电。作为计算机的辅助电源，具有很长的使用寿命。德国生产的薄型挠性电池，仅明信片那么大，适合于手提式工具的电源。

电池放电是因为两个电极之间有电压差存在。在普通电池里，包括上面谈到的塑料电池里，阳极和阴极采用两种不同的材料制造。电池放电时，电极之一就逐渐溶解在电解质中，变成正离子，并在电解质中运动；电池充电时，这些离子获得电子，重新回到电极上。这样经过几次充放电后，电极表面易形成复膜，使电池效率降低和失效。

在改进的塑料电池中，阴极和阳极是由相同的导电塑料薄膜组成，由电解质而不是电极来提供运动的正离子，因此经过多次充电和放电，电极材料依然完好如初。充电次数可达 1000 次以上。塑料电池体积小、重量轻，可以提供常规铅蓄电池 10 倍的电力，而且每次充电时间也缩短了。

首先对塑料电池感兴趣的是汽车工业，人们早就希望用蓄电池做动力来代替内燃机，但在此之前蓄电池车都因为太笨重和性能不可靠而无法推广，而塑料电池形状灵活，可以制成薄板装在汽车的车顶或车门夹层里，在汽车内的发动机位置只装一台高效的电动机，便可使汽车的加速性能和爬坡性能大大改善。此外，塑料电池是密封的，不会释放有害的化学物质和气体，因此这种蓄电池车将是一种无公害的小汽车。

导电塑料薄膜有一种特殊性能，即通过电化学或物理方法可使它从透明变成不透明。丰田公司的一种高级小汽车计划采用带有这种导电塑料薄膜的窗玻璃，自动挡住强烈照射的阳光。

导电塑料的另一特点是具有消除静电的功能。计算机和电子设备机房都要求抗静电防护，新型飞机上的电子器件要求防电磁干扰，树脂基复合材料机身、机翼要求防雷击，这些要求都可以用导电塑料薄膜屏蔽加以解决。

导电塑料还有一项重要的潜在用途，就是作为未来机器人的人工肌肉，当用电化学方法对某些导电塑料掺杂和不掺杂时，其体积就能发生膨胀和收缩的变化，使机器人的四肢获得必要的运动。

在美国、欧洲和日本的一些实验室里已制成一系列导电塑料器件，其中包括二极管和晶体管。导电塑料的导电性跨越了绝缘体-半导体-导体三种状态，因此有很大的灵活性。目前的太阳能电池是由硅和其它半导体材料制成，不仅成本高，而且效率低（10%以下）。如果一旦改用导电塑料薄膜，就可以使用压制薄膜切割法，生产出大量廉价的高效太阳能电池。

科学家预言，在未来的能源工业中，导电塑料将成为重要的一员。

高吸水性塑料

谈到吸水性强的物质，人们一下子就想到海绵，它能吸收相当于自重几倍的水分，然而，现在我们见到的高吸水性塑料却可吸收相当于自重几百倍甚至上千倍的水分。吸水膨胀后即便加压，也很难把水剂压出来。不象海绵一样一拿起来就会流失水分。

这些奇特的高吸水性塑料制品已进入市场，带给人们极大的方便。例如，供婴儿用的名副其实的“尿不湿”纸尿裤，即便吸入了 1000 毫升水（相当于两瓶多牛奶），仍然滴水不漏，而且仍保持着通气性。令年轻妈妈放心的是

这种纸尿裤吸湿部位会收缩出现皱褶，将婴儿臀部轻轻托起，免去淹浸之忧，使婴儿一整夜不用换一次尿布。

高吸水性塑料的成分为一些特殊的高分子材料，如淀粉、纤维等天然高分子与丙烯酸、苯乙烯磺酸的接枝共聚物，聚乙烯醇与聚丙烯酸盐经交联处理的聚合物，聚乙二醇系列聚合物等。

高吸水性塑料的工作原理，一般认为主要是依赖高分子链中的交联结构。例如，聚丙烯酸钠交联体在吸水前呈紧密的固体状态，其高分子长链相互缠绕卷曲，链与链间形成立体网络状的交联结构。遇水后，交联体中的钠离子便游离出网络之外，剩下带负电的羧酸根相互排斥，将高分子链充分扩展，如同打开一个大网袋，立体网络扩大许多倍，其中饱含吸入的水。

高吸水性塑料的制造工艺不复杂，成本低，因此在医用和食品包装方面很快找到了用户。除了制造棉塞、绷带一类止血包扎器材外，高吸水性树脂还可制成外用软膏和人造皮肤。这种人造皮肤和其它材料组合后，具有良好的渗透性和药物保持能力，同时可防止细菌侵入。高吸水性树脂吸水后形成的水膜，对人体器官具有润滑和缓冲作用，因此各种导管和内窥镜涂上高吸水性树脂膜后会减轻病人的痛苦，高级隐形眼镜片也是用这种塑料制造的。

过去，人工关节的活动接合面不像天然关节那样经常有体液的润滑，久而久之就会发生磨损和掉屑。现在日本石油公司研制出一种高吸水性树脂水凝胶，将它置于人工关节活动接合面代替软骨膜，获得了满意的效果。水凝胶的弹性、变形性、复原性和润滑性等功能都与天然组织相仿。

在食品工业中，高吸水性塑料膜是一种很好的保鲜包装材料，用于存放蔬菜、水果，可以长期保持水分和防止溃烂。

土地沙漠化是世界性的环境保护难题。在实验室内淀粉与丙烯酸盐接枝共聚物显示出强大的吸水保温功能，利用其立体网络和离子键的作用能吸收自重 500 ~ 1000 倍的水分，其中 95% 可供植物吸收。在温室内施用保湿剂后，小麦产量提高 15%，大豆产量提高 25%，沙漠中，阳光照射强烈，保湿剂在这种苛刻的环境中工作，必须满足反复吸放水分的重现性、不被高温和微生物分解的耐老化性和与当地自然条件相结合的保湿性等要求。

在全球有占陆地面积 35% 的 4500 万平方公里土地面临沙漠化的威胁时，高吸水性塑料为绿化沙漠增加了一种强有力的手段。

可降解塑料

经过几十年的不断了解，塑料的性格已为人们所熟悉。目前，几乎所有的合成塑料都具有很高的化学稳定性，它们耐酸耐碱，不蛀不霉，把它们埋入地下，上百年也不会腐烂。

然而，有利必有弊，废弃的塑料因其耐久性已经成为严重的公害。据统计，发达国家居民的垃圾总量中塑料占 7% ~ 8%。尽管环境法律规定垃圾必须分类倾倒，但回收的塑料仍是有限，不能从根本上解决环境污染问题。80 年代中期，美国一些州立法规定食品包装物和容器必须使用可降解的塑料制造，从而使那些流失的塑料能在较简单的自然和人工条件下溶化、腐烂掉。这一潮流正在影响欧洲国家，估计到 90 年代将波及全世界的食品工业和其它工业，可降解将成为对包装塑料的重要要求。

塑料顽强的耐久性来源于它的化学结构，合成塑料是由不断重复的碳氢

分子长链组成的，被称为高分子聚合物的这些长链结合得十分牢固，使得许多溶液和微生物对它无计可施。

长期以来化学家的任务是寻找一种弱化这些合成链却又不降低其强度的途径。目前已出现三种类型的可降解塑料，这就是生物降解塑料、化学降解塑料和光照降解塑料。

生物降解塑料是一种能被土壤中的微生物和酶分解掉的塑料，即能像有机植物一样腐败的物质。在试验过的成分中，最简单的莫过于在塑料中添加淀粉，以破坏和削弱聚合链，使之达到微生物能消化的程度，最后分解成水和二氧化碳。

美国农业部开发的一种方法是在塑料中加入 40% ~ 50% 的凝胶状淀粉，另一家公司则把加入有机硅耦联剂处理后的淀粉和少量玉米不饱和脂肪酸作为氧化剂。这些塑料在堆肥条件下经过 3 ~ 5 年后分解。很明显，这些塑料都具有成本高和降解期长的缺点。

光降解塑料中含有羟基，能依靠吸收阳光中的紫外线来破坏合成链，使塑料变脆和崩解。目前已有一些食品包装袋和瓶罐使用这种塑料制造，同化学降解塑料一样，光降解塑料也会留下一堆残渣，需要好几年才能完全降解掉。

值得注意的是，这些塑料都要求适当的降解环境。光降解塑料必须较长时间暴露在阳光下，生物降解塑料和化学降解塑料必须埋入土中或沉入水中，才能保证细菌存活。

高效分离膜

分离膜具有神奇的魔术师般的本领，从下面的实验中不难领会。将一瓶含酒精 4.5% 的普通啤酒用水稀释成两瓶，然后倒入玻璃容器内，只要将这种溶液通过薄薄的一层分离膜，就能够在几分钟内提取出酒精浓度达 93% 的乙醇。这种乙醇用一根火柴就能点燃。这个实验中在分离膜的表面施加了高频电场，促使乙醇溶解、扩散、和水分离，所耗电能仅为蒸馏法的十分之一。在过去要从液体中分离另一种液体，只能使用蒸馏法。

分离膜是 80 年代初迅速发展起来的高分子材料，它能从混合物中有选择地提取所需要的物质，包括固体、液体和气体。分离膜的工作原理还不十分清楚，大致可以认为是以浓度差或压力差为驱动力，选择透过的结果。从分离方式上看，可以分为混合气体的分离，混合有机液体的分离，水溶液中溶质、离子的分离（液-液透析）和水溶液的分离（反渗透）等。

分离膜可以是一种高分子材料，也可以是两种或多种高分子材料的共聚体，分离膜的结构类似于筛网，不过它不存在任何肉眼可见的网眼，它的自由空间是高分子膜的高分子链间的间隙，其大小至多只有 100 纳米（0.1 微米）。

气体、有机溶液、溶质、水都是具有低分子量的物质，叫做低分子。低分子物质在透过分离膜时不是像穿过筛网那样直接通过，而是被分离膜面吸附经溶解后通过上述高分子链间的间隙扩散，由浓度高的一侧向浓度低的一侧移动，从分离膜的另一面脱出。

1950 年美国研制出由空气浓缩制氧的乙基纤维素分离膜，膜厚 25 微米，每分钟能为医疗目的提供 4 ~ 8 升浓度为 40% 的氧。这种气体分离膜的潜在

用途很多，因此一直是研究的重点。例如，高炉或炼钢炉的鼓风机安装这种薄膜，就可以使进入的富氧空气促进燃烧，节约燃料，缩短熔炼时间。如果用在汽车发动机内，则不仅能提高燃料的燃烧效率，而且可以大大降低废气排放量。

人们正在研究一种用作人工肺的厚度薄、透过率高的高强度膜，例如硅橡胶膜，只能达到最薄 25 微米，采用硅橡胶（聚二甲硅氧烷）-聚碳酸酯共聚体就可以将厚度降低至 0.1 微米。

二氧化硫、二氧化碳、硫化氢等工业废气会造成严重的大气污染——酸雨，正在试验用聚醚磺酰高分子膜来回收。因为这些高分子材料的化学结构中含有二氧化硫，与回收物的结构相似，可以增加溶解度，提高透过性。这与某些植物的树叶净化空气的原理类似。

天然气中的氦是一种重要的工业气体，一般含量为 0.1%~5%，可用以充填气球和制冷。采用多层醋酸纤维素分离膜可使氦浓度提高到 60%。

渗析分离膜是一种半透膜，已用于医学中的人工肾脏，它可以滤除尿中毒病人血液中的尿素、尿酸、肌酐等毒性物质。使之与血液中的蛋白质分离开。工业废水与人中毒的血液一样，含有多种金属离子，采取渗析分离膜就可以回收有用物质，净化水质。

能从海水中分离出淡水的反渗透膜已达到大规模使用的阶段，它也是一种半透膜，只让水分子通过，而使含盐的低分子溶质几乎不能通过，施加一定的压力后，就能使水加速挤出。采用不同结构的反渗透膜就可以获得工业锅炉水、饮料水、无菌水、去离子水、洗涤半导体的超纯水等。在非洲一些缺水地区建立起不少海水淡化装置。一种 PEC—1000 的海水淡化装置对海水如加压 40~70 公斤/平方厘米，就可以得到 16%~20% 的淡水。建于沙特阿拉伯的基塔自来水厂，是世界上最大的海水淡化厂，日供应淡水 12000 吨，主要使用醋酸纤维素分离膜装置。

利用海水温差代替压力，也能获得大量淡水。

海水中含有微量金属，总量达几千亿吨，分离膜浓缩提取是一项低能耗技术，因此已有人着眼于提取铀、镭、锂的研究，以弥补地球资源的日益匮乏。

在分离膜的的实际应用中，较简单的装置如医用富氧器可直接采用平膜，而在要求小型化的人工肾中，分离膜被制成中空纤维，其外径为 0.03~0.1 毫米，内径为 0.015~0.05 毫米，长度为 2~4 米。把若干中空纤维集成束使用，以增大接触面积。这种人工肾的年产量已达数百万件。能分离二氧化碳和氧的有机硅胶膜试用于人工肺，年产量也达到几万件。

在海水淡化和其它分离装置中，微型化不是主要要求，可采用管形或多层卷管形分离膜组件。

目前，分离膜的研究方向是不断扩大品种，寻找适合于各种分离物质使用的新型高分子材料，这种材料既要有高的吸附力和透过度，又要有好的支撑力，这样才能获得高效薄膜，减轻装置重量。

隐身材料

在 1991 年 1 月 17 日至 2 月 28 日的海湾战争中，美国的“不速之客”——F—117 隐身战斗机家喻户晓。海湾战争的第一枚炸弹是由一架 F—117 隐

身战斗机在战争开始之夜突袭到巴格达市中心投下的，投弹 45 分钟后。巴格达才实行灯火管制。以后，95%对巴格达的空袭任务是由 F—117 战斗机完成的，它在茫茫暗夜中把激光炸弹投入伊拉克防空司令部的烟囱中，把制导炸弹炸中向海洋泄放原油的油管。最使人们惊讶的是参加海湾战争的 44 架 F—117 隐身战斗机前后共执行 1600 架次空袭任务，本身无一机损失。这里起关键作用的是隐身技术。

隐身技术是一项高技术综合体，其目的是使敌方的雷达可探测性降低到零。它主要包括三个方面，即飞机外形的设计、吸波材料和吸波涂层的使用，并使这三个方面相互结合。目前，隐身技术不仅适用于飞机，并且扩大到导弹、卫星、坦克、水面和水上舰艇，固定军事设备等方面。

隐身技术的发展可以追溯到 60 年代的 U-2 和 SR-71 间谍飞机。这时飞机主要靠本身机载电子干扰和对抗设备，或采用投掷金属箔和黑色涂料隐蔽等手段保护自己。1988 年 11 月，美国向世界公开了它新研制的 F—117 隐形战斗机和 B—2 隐形战略轰炸机。至此隐形技术已进入第三代。目前美国正在研制的 YF—22，YF—23 隐形战斗机可称为第四代。此外，日本、原苏联、法国、德国也是隐形技术的研究者，拥有相应的隐形飞机。隐形技术受到越来越大的重视。

F - 117 飞机的外形很独特，像一个堆积起来的复杂多面体，大部分表面都向后倾，具有大后掠机翼和 V 字形垂尾。这种外形能使雷达波改变反射方向，产生散射，敌方雷达很难捕捉这些微弱的信号。与此同时，它还采用了红外隐身技术，发动机使用扁而宽的二元喷口，喷管周围加隔热层，喷口有红外挡板，改变喷口方向，降低排气温度等使飞机不易被敌方红外探测器发现。

F - 117 在机身、机翼和垂尾的结构中，采用了各种雷达吸波材料。一般来说，高分子材料的吸波和透波能力大大优于金属材料，而纤维增强和多层结构的复合材料在强度、韧性、疲劳强度等方面又优于单一的材料。所以，在 F—117 的结构中有许多是用玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维混杂织物增强的热塑性树脂复合材料，在夹层结构中除常见的蜂窝夹芯外，还采用了各种低介电性吸波物质，如空心玻璃微球、陶瓷微球、碳粒和吸音颗粒等。飞机的蒙皮也使用复合材料和导电塑料制造，避免使用钛合金和铝合金，以降低雷达波反射。

在机身、机翼和垂尾的承力主结构中，目前还无法取代铝合金，但是在大面积部位都贴有铁氧体和环氧树脂制成的吸波薄板，在小面积部位直接喷涂一层铁氧体吸波涂层。

在飞机发动机附近工作的构件温度较高，在更先进的隐身战斗机上考虑用陶瓷纤维增强的铝合金或碳-碳复合材料来制造。

隐身飞机上使用最多的吸波涂层是铁氧体。至今已使用了半个世纪。铁氧体是一种粉末材料，价廉易得，吸波性能良好，它主要依靠自身自由电子的重排消耗敌方雷达波的能量。

另外一种新型吸波材料叫视黄基席夫碱盐聚合物，它的物理性能与石墨相似，是黑色，具有强极性，而密度只有铁氧体的十分之一。现在的困难是还没有找到一种适宜的粘结剂。

在 F—117 隐身战斗机和 B—2 隐身战略轰炸机上，各种玻璃纤维、碳纤维复合材料、蜂窝和多层夹层结构、吸波薄板和吸波涂层的用量，接近全机

结构重量的 25%，而在下一代的隐身战斗机上预计达到 45%~50%。可见隐身材料的重要性。

为了与 F-117 隐身战斗机相对抗，前苏联发展了米格 37 和苏 37 隐身战斗机，从现有的资料看，除外形设计更多地采用圆弧形来削弱雷达波外，其选材思想是大量使用透波吸波有机复合材料和涂层。

生物高分子材料

生物高分子材料的研究已有 40 多年的历史，但它的蓬勃发展开始于本世纪 70 年代。合成高分子材料与人体器官组织的天然高分子有着极其相似的化学结构和物理性能，因而可以植入人体，部分或全部取代有关器官，成为现代医学的重要支柱材料。

合成高分子材料一般具有优异的生物相容性，不会因与体液接触而产生排斥和致癌作用，在人体环境中的老化不明显。因此通过选用不同成分聚合物和添加剂，改变表面活性状态等方法可进一步改善抗血栓性和耐久性，获得高度可靠的生物高分子材料。

目前，使用于人体植入件的聚合物包括尼龙、环氧树脂、聚乙烯、聚乙烯醇、聚乳酸、聚甲醛、聚甲基丙烯酸甲酯、聚四氟乙烯、聚醋酸乙烯酯、硅橡胶、硅凝胶等。制作的人工器官几乎遍及全身，例如：眼球人工玻璃体、人工角膜、人工晶状体、人工喉管、人工中耳、心脏瓣膜、人工心脏、人工肾、人工肝、人工肺、人工乳房、人工尿道、人工血管、人工皮肤、人工关节和软组织等。

人工心脏 在人工器官中最重要也是难度最大的是人工心脏。在各国疾病死亡统计中，心脏病占据首位，仅美国每年死于心脏病的就有 60 万人。心脏是血液循环的加压站，人工心脏材料既需要有高的抗血凝性，又要有一定的强度和弹性。每天要经受十万次以上往复力的作用。1982 年 61 岁的美国病人克拉克植入了世界上第一个人工心脏“杰维克-7”，存活了 120 天。

人工心脏包括心室壳体、隔膜、导管等，早期曾采用过聚氯乙烯、聚氨酯、硅橡胶等材料。“杰维克-7”的人工心室由铝和聚氨酯制成，隔膜也是聚铵酯树脂膜。人工心脏由钷原子电池驱动微型电机和压力系统，控制压缩空气来维持人工心脏的工作。随后改进的人工心脏在心室壳体使用过环氧树脂、乙烯橡胶、聚砷、钛合金，而隔膜使用了聚醚型聚氨酯、聚酯型聚氨酯共聚物。

心脏瓣膜也属于重要人工器官，它是用钨铬合金、钛合金制成支持框，再用涤纶或聚四氟乙烯织物覆盖。底部轮圈与覆盖层之间衬有硅橡胶海绵，以增加弹性，活门材料为聚乙烯、聚四氟乙烯、聚碳酸酯、聚丙烯、硅橡胶膜。

人工肾利用人工肾可以除掉血液中的尿素、肌酸酐等有毒物质。人工肾的工作原理有透析型、过滤型和吸附型几种。所用聚合物材料可制成平膜、管型和中空纤维形状，这些材料绝大多数为纤维素，如铜氨法再生纤维素、醋酸纤维素，其余还有丙烯腈、聚甲基丙烯酸甲酯、乙烯、乙酸乙烯酯共聚物等。人工肾用的中空纤维非常细，把它们成千上万根地束集在一个圆筒形容器中，血液在空心丝中心流动，透析液在空心丝外侧流动，通过膜壁进行渗析。人工肾适应于因外伤、输血反应、肾毒性物质、分娩合并症等急症

患者，也适用于肾炎、肾衰竭等慢性病患者。据统计，仅日本每年就有三万多病人依靠人造肾维持生命。

人工肝 肝脏是人体内的加工厂和储存库，具有贮藏糖原、合成蛋白质和解毒等多种功能。目前的人工肝还不具备这样复杂的全功能，只能近似上面谈到的人工肾那样来开展工作。早期的人工肝利用粒状活性炭来吸附血液中氨、肌酸酐和尿素等有毒物质，现在可以直接使用高分子材料活性炭和高分子材料制成的透析膜，对肝昏迷患者急救解毒。

人工肺 早期的人工肺只用于施行外科手术的病人，以辅助病人呼吸。现在人工肺已用于肺功能不全的患者，如小儿肺炎、肺栓塞、气胸等病人。更完善的人工肺可植入人体，长期使用。现在世界上大约有一万多病人使用人工肺。人工肺大体有三种类型，即气泡式、平面接触式和膜式人工肺。膜式人工肺从 1955 年开始试制，曾采用过纤维素、聚乙烯、醋酸纤维素、聚四氟乙烯等，但它们对气体透过性不好。1960 年以来，改用硅橡胶、聚酯、尼龙等，它们透气性高，对血液适应性也较好，目前正在研究使用硅橡胶、聚碳酸酯共聚物、聚烷基砒等。膜式人工肺使用三万根中空纤维集束组成，每根中空纤维表面上布满了微孔，这些孔极小，使血液渗不出去，但可以排出二氧化碳，吸进氧气，进行气体交换。

人工肌肉和人工皮肤 人工肌肉是由一根硅橡胶管包着一根涤纶织物管组成。涤纶织物管作为人工肌腱从硅橡胶两端伸长，以便附着在天然肌腱或骨骼上。中央部分的涤纶织物有皱折，以便让人工肌肉能部分活动，但不能超出臂或腿伸直的位置。新型人工肌肉是用导电高分子制成，能吸收电信号产生膨胀和收缩。人工皮肤实际上是治疗过程中一种暂时性的创面保护覆盖材料，它能防止体液从创面蒸发和流失，起到防止细菌感染和促进肉芽和上皮生长的功能。人工皮肤的品种很多，但基本上是由底层与织物层结合而成。底层为硅橡胶或聚多肽，织物层为尼龙、涤纶或聚丙烯等纤维。近年来，混合型人工皮肤已经出现，美国一家研究机构利用小牛皮、鲨鱼软骨和一些合成织物制成混合人工皮肤，表面涂有一层硅膜。将这种人工皮肤植于人体烧伤部位，即可渐渐起到正常皮肤的功能。这种混合皮肤看上去和被太阳晒成紫铜色的真皮肤没有区别。

相比之下，人工角膜、人工喉管、人工血管、人工关节、人工假牙等的难度就小多了。现在，人工器官的禁区是脑、胃和部分内分泌器官，但可以相信，克服这些障碍的日期也不会太遥远了。

液晶

1888 年，奥地利植物学家莱尼茨尔在做加热胆甾醇苯甲酸酯结晶的实验时发现，在 145.5 时，结晶熔解成为混浊粘稠的液体，当继续加热到 178.5 时，则形成了透明的液体。这是人们对液晶认识的开始。第二年德国的物理学家莱曼发现，上述 145.5 ~ 178.5 之间的粘稠混浊液体在用偏光显微镜进行观察时，它具有双折射现象。于是莱曼把这种具有光学各向异性、流动性的液体称之为液晶。

从液晶的发现经过来看，这种胆甾醇苯甲酸酯实际上就是一种胆甾相液晶。它的特征是，加热熔成各向同性的液体，经冷却又能回到液晶态，同时出现一系列光辉夺目的彩虹色，液晶的发现与此彩色现象密切相关。

通常的有机晶体加热到熔点就开始熔解，成为透明的液体。在偏光显微镜下观察时，可发现光学各向异性消失，从光学各向异性变为各向同性（因为几乎所有的有机晶体都显示光学各向异性，液体显示光学各向同性。）故可以用这种现象来测定熔点。

然而，有一类有机化合物在熔解时却出现异常现象。当其晶体加热到温度 T_1 时，熔解成粘稠状而稍微有些混浊的液体，但当继续加热到温度 T_2 时，则变为透明的液体。从表面上看，这类有机化合物好像具有两个熔点。用偏光显微镜观察这类样品时，则发现在 T_1 和 T_2 温度之间所形成的混浊液体具有明显的纹理，表明它为光学各向异性。在温度为 T_2 时所形成的透明液体在偏光显微镜在正交尼科耳棱镜下则出现暗视野，表明为光学各向同性。人们称 T_1 和 T_2 温度之间形成的显示光学各向异性的液体为液晶。

根据纹理结构的特点和性质，可以把液晶分为三种不同的类型，即向列相液晶、胆甾相液晶和近晶相液晶。从分子结构和特点分析，液晶态必需在有分子间力和相互作用的条件下才能形成。

自 1888 年莱尼茨尔发现液晶以来，已经历了一个多世纪。但回顾起来，过去漫长的岁月中由于历史条件所限，人们对液晶的结构和性质了解甚少。直到近几十年，液晶的研究成果才逐渐地从科研实验室进入到实际应用领域。

1958 年，法拉第学会曾举办过液晶专题讨论会，会后出版了文献汇编——《大分子和液晶》。这时，美国的韦斯廷豪斯研究室的弗加森小组也着手开始研究液晶分子结构、光学性质及工业实际应用的可能性。经过几年的刻苦钻研，反复实验，1963 年他首先用胆甾相液晶制成了依据颜色变化来测定物体表面温度分布的温度计。这使液晶研究向着实际应用领域大大地向前推进了一步，引起国际液晶学界的强烈反响。本世纪六十年代中期以后，随着微电子工业、航空工业、激光、微波以及全息照相等新技术的迅速发展，相应地也迫切需要使用一些对低能量激励有灵敏反应的物质。特别是 1968 年 RCA 公司的海尔迈耶发现向列相液晶的透明薄层通电时会出现混浊象（即电光效应）以后，相继发现了许多新型的电光效应。

本世纪七十年代以来，液晶已被广泛地应用到许多尖端新技术领域中。例如：电子工业的显示装置；化工的公害测定；高分子反应中的定向聚合；仪器分析；航空机械及冶金产品的无损探伤和微波测定；医学上的皮癌检查、体温测定等等。特别是，改变液晶分子排列所需的驱动功率极低这一特性为研制袖珍计算机和全电子手表的数字显示提供了有利条件。液晶显示全电子数字石英手表是目前世界手表工业中的新产品。它具有走时准确、造价低、功耗小和功能多样等特点，在许多方面都优于机械表和其它电子手表。同时，液晶图像显示和液晶快速电视显示的研制也倍受注目。

推动液晶研究迅速发展的另一个动力，就是液晶与生命现象有着紧密的关联。许多物理、化学、生物学者对生物膜具有介晶态结构很感兴趣，液晶生物物理已受到各国科学家相当普遍的重视。各种各样的假说、推论层出不穷，它们都把生物膜所特有的功能与液晶特性相结合，来探索生命科学的奥秘及生物液晶的特殊功能。

现在，许多国家都先后建立了液晶科学的专门研究机构，制定了具体的研究规划和措施。为此投入大量经费和组织了相当雄厚的科研力量，对液晶领域进行全面的研究，争取更大更新的突破。可以预料，随着科学技术的发

展，液晶学科的未来发展前景必将更加美好。

永不忘本的形状记忆合金

1969年7月20日，东方夏令时间晚上10时56分，全世界数以万计的科学家，数以亿计的公众凝视着电视屏幕，关注着那远在38万公里以外、乘坐“阿波罗”11号登月舱的美国宇航员阿姆斯特朗在月球上踏下的第一个人类的脚印，谛听着这位勇士从月宫里传回的富于哲理的声音：“对一个人来说，这是一小步；但对人类来说，这是跨了一大步”。宇航员的形象和声音是怎么从月球上返回来的呢？细心的观众肯定已经发现，宇航员登月后，在月球上放置了一个半球形的天线，月、地之间的信息就是通过它传输过来的。不过，有人可能纳闷：天线可是一个直径数米的庞然大物，怎么能够装在小小的登月舱送上太空呢？原来，奥秘在于：半球形天线是用当时刚刚发明不久的记忆合金制成的。什么是记忆合金呢？

许多重大的发现都是从偶然事件开始的，记忆合金也是这样。

1963年，美国海军一个研究所奉命研制一种新式装备。在一次试验中他们需要一些镍-钛合金丝，然而当他们将这些合金丝领回来时，却发现这些镍钛合金丝是弯弯曲曲的，使用起来不方便。于是他们就将这些细丝一根根地拉直，并用在试验中。在试验过程中，奇怪的现象出现了：当温度升到一定值的时候，这些已经被拉得直直的镍钛合金丝，突然又全部恢复到原来弯弯曲曲的形状，而且丝毫不差，和原来一模一样。他们反复作了多次试验，结果都是这样——被拉直或做成其他形状的镍钛合金丝，只要遇到这个温度，便立即恢复到原来那种弯弯曲曲的样子。好像从前被“冻”得失去知觉时，被人们改变了形状，而当温度升高到一定值的时候，它们“苏醒”了，又“记忆”起了自己原来的模样，于是便不顾一切地恢复了自己的“本来面目”。类似的现象是在50年代初期就不止一次地被观察到，只不过当时没有引起足够的重视，所以使记忆合金的真正实用化晚了十几年。

美国海军研究所的这一发现引起了科学家的极大兴趣，他们在对此进行了深入的研究和反复的试验之后发现很多合金都有这种奇特的本领：人们可以在一定温度范围内根据需要改变它们的形状，可是到一个特定的温度，它们便一个个自动恢复到自己原来的形状，丝毫不差。而且这一“改变——恢复”的现象可重复进行，其“记忆”能力决不会降低。科学家们把这种现象叫做“形状记忆效应”。

所谓形状记忆效应是指某些合金材料在一定条件下，虽经变形但仍然能够恢复到变形前原始形状的能力。目前发现的有“记忆”能力的金属都是合金，就是通过人工的方法由几种不同金属混合而成的一类金属。在这种金属里，金属原子是按一定的方式排列起来的，而且这些金属原子有一个特点就是当受到一定的外力时，它们可以离开自己原来的位置而“迁居”到邻近的另一个地方去暂时“借住”。这个过程，也就是金属做成的物体发生形变的过程。而当我们把这金属加温后，由于获得了一定的能量，这种金属里的原子又从“借住”的地方“搬回”原来的“家”去住。而这个过程就是我们看到的这种有灵性的金属在加热到一定的温度后又“记起”自己的模样而恢复原状的过程。科学家们称这个“唤醒”形状记忆合金并使它们发生改变的溫度叫“转变温度”。每一种形状记忆合金都有自己的转变温度，而不同形状

记忆合金的转变温度也不同。各种形状记忆合金在转变温度以上时的晶体结构是稳定的，当我们在低于这个温度下，用外力改变了合金的形状时，这时合金的外形虽然发生了变化，但由于此时合金的晶体结构是处于一种不稳定的结构状况，只要温度一达到这种合金材料的转变温度，这种不稳定的晶体结构就会立即转变成稳定结构，这样就使得它从不稳定结构时被改变的形状恢复成原来稳定结构时的形状。这就是形状记忆合金做成的物体能“回忆起”原来的形状并发生变化的原因。那个被阿波罗登月舱带到月球上的环形天线，就是用极薄的记忆合金材料先在正常情况下按预定要求做好，然后降低温度把它压成一团，装进登月舱带上天去。放到月面上以后，在阳光照射下温度升高，当达到转变温度时，天线又“记”起了自己的本来面貌，变成一个巨大的半球形。

形状记忆合金的可贵之处，在于它是一种无疲劳的材料，这种“回忆”——“变形”的本领可以反复使用 500 万次而不产生疲劳断裂，而且它恢复原状几乎可以达到 100%，即和原来一模一样。

目前形状记忆合金主要分为镍-钛系、铜系和铁系合金等。

镍-钛系形状记忆合金

这是最有实用化前景的一种形状记忆材料。镍-钛形状记忆合金是美国海军兵器研究所在 60 年代初研制成功的，它以“National”的商品名称而闻名于世，并已成为用途最广泛的实用合金。这类合金迄今仍然是用量最多的形状记忆合金，其室温抗拉强度可达 1000 兆帕以上，密度较小为每平方厘米 6.45 克，疲劳强度高达 480 兆帕（ 2.5×10^7 循环周次），而且还具有很好的耐蚀性。70 年代初，镍-钛合金管接头在美国 F-14 飞机油路连接系统上得到大量应用，这是形状记忆合金的第一批产品，也是形状记忆合金发展史上的重大突破。

近年来发展了一系列改良型的镍-钛合金，如在镍-钛合金中添加铌、铜、铁、铝、硅、钼、钒、铬、锰、钴、锆、钇等元素。在此基础上研究开发了钛-镍-铜、钛-镍-铌、钛-镍-钇、钛-镍-铁、钛-镍-铬等新的镍-钛系合金，作为高温形状记忆合金材料是很有希望的。

近年来日本形状记忆合金研究协会还开发了添加微量的铁或铬的镍-钛形状记忆合金，使其转变温度降至 -100 以下，特别适用于制作为低温环境下工作的驱动器等，从而进一步扩大了镍-钛形状记忆合金的应用范围。

铜系形状记忆合金

目前主要是铜-锌-铝合金和铜-镍-铝合金，它们是实用合金的开发对象。

它们与镍-钛合金相比，由于制造加工容易，价格便宜，具有较好的记忆性能，而且相变点可在 -100 ~ 300 范围内调节，因此对该种材料的研究较具实用化意义。但是目前铜系形状记忆合金还不如镍-钛系形状记忆合金那样成熟，实用化程度还不高，阻碍铜系形状记忆合金实用化的主要原因是合金的热稳定性差和容易引起晶界破坏。解决其脆性、晶粒粗大和循环失效等问题的主要途径是加入钛、锰、钒、硼及锆等稀土微量元素，使合金晶粒细化。

铁系形状记忆合金

铁系形状记忆合金的研究要晚于前两项。主要有铁-铂、铁-钼、铁-镍-钴-钛等系列合金,另外目前已知高锰钢和不锈钢也具有不完全性质的形状记忆效应。

在价格上,铁系形状记忆合金比镍-钛系和铜系形状记忆合金低得多,因此具有明显的竞争优势。但是应该说,铁系形状记忆合金的研究与应用尚处于开始阶段,有待进一步发展。

形状记忆合金的最早应用是在管接头和紧固件上。如,用形状记忆合金加工成内径比欲连接管的外径小 4%的套管,然后在液氮温度下将套管扩径约 8%,装配时将这种套管从液氮取出,把欲连接的管子从两端插入。当温度升高至常温时,套管收缩即形成紧固密封。这种连接方式接触紧密能防渗漏、装配时间短,远胜于焊接,特别适合于在航空、航天、核工业及海底输油管道等危险场合应用。

这种形状记忆材料也可用于安全报警系统,如火灾报警器等。还可用于能源开发,制成小型固体热机。形状记忆效应和超弹性可广泛用于医学领域。如制造血栓过滤器、脊柱矫形棒、牙齿矫形弓丝、接骨板、人工关节、妇女胸罩、人造心脏等等。

形状记忆合金是一种集感知和驱动双重功能为一体的新型材料,因而可广泛地应用于各种自动调节和控制装置,也称作智能材料。如人们正在设想利用形状记忆材料研制像半导体集成电路那样的集记忆材料——驱动源——控制为一体的机械集成元件,形状记忆薄膜和细丝可能成为未来超微型机械手和机器人的理想材料,它们除温度外不受任何其他环境条件的影响,可望在核反应堆、加速器、太空实验室等高新技术领域中大显身手。

奇妙的新型陶瓷

本世纪二三十年代以来,由于科学的高速发展,对传统陶瓷提出了新的挑战。如电力的普及与大规模的应用,需要使用大量强度很高、绝缘性能很好的绝缘子;电子通信技术的发展迫切需要在高频下绝缘性能良好的陶瓷材料;特别是在第二次世界大战期间,为了解决用于制作高质量电容器的天然云母的匮乏,希望能够用介电常数高的陶瓷来代替天然云母。现实的需要推动了对陶瓷材料进行广泛而深入的研究。人们发现,虽然陶瓷中的玻璃相,使陶变得坚硬、致密,但是,也正是陶瓷中的玻璃相,妨碍了陶瓷强度的进一步提高。同时,玻璃相也是陶瓷绝缘性能,特别是高频绝缘性能不好的根源。于是,在传统陶瓷的基础上,一些强度高、性能好的材料不断涌现,它们的玻璃相含量都比传统陶瓷低。目前,由于陶瓷制备工艺的不断进步,特别是对陶瓷烧结过程、显微结构进行研究的结果表明,制备出玻璃相含量非常低,甚至几乎不含玻璃相的,由许多微小晶粒结合而成的结晶陶瓷是可能的。这种材料的各种性能有可能与相应单晶体的性能相近。

现在,许多高性能陶瓷,几乎都是不含有玻璃相的结晶态陶瓷。为了有别于传统陶瓷,人们称之为先进陶瓷或高技术陶瓷;有时,也称之为精细陶瓷,取其显微结构、制备技术都非常精细之意;也有人称其为工程陶瓷,取

其主要应用在工程技术方面之意。

从传统陶瓷到先进陶瓷，是陶瓷发展史的第二次重大飞跃。这一过程始于本世纪四五十年代，并且还在不断的发展。当然，传统陶瓷和先进陶瓷之间并无绝对的界线，然而二者在原材料、制备工艺、显微结构等多方面确有相当的差别。但无论从材料本身的性能，或者是材料所采用的制备技术来看，先进陶瓷已经成为陶瓷科学和材料科学与工程方面，非常活跃、极富挑战的前沿研究领域。

先进陶瓷，无论从材料的性能，还是从材料的制备工艺技术来看，都已经和人们对陶瓷的印象有很大的不同。在许多人的印象中，陶瓷是一种坚硬但易碎的物体，缺乏韧性，缺乏塑性。说到陶瓷的生产，便马上想到了“泥巴”和满是粉尘的车间。而许多先进陶瓷则是既坚且韧，一改陶瓷易碎的旧形象。例如，60年代后期发展起来的增韧氧化锆瓷就非常坚韧，不仅摔在地上不会碎裂，有人还把增韧氧化锆球放在铁砧上用铁锤用力敲打，竟然难以敲碎。日本的企业家和陶瓷科学家为了改变人们对先进陶瓷的传统印象，特别把这种高技术陶瓷改制成剪刀和水果刀作为礼品，赠送给公司、企业的客人，甚至作为商品在市场上以低于成本价格销售，称之为永不卷刃、永不生锈、永不磨损的刀具，一改人们的印象，赢得了民众和社会舆论对发展先进陶瓷的支持，取得了戏剧性的宣传效果。而这种陶瓷剪刀和水果刀全部在市场上站住了脚跟，并且逐步变得有利可图了。有的先进陶瓷有很好的弹性，可以制作成陶瓷弹簧。近年来还发现一些陶瓷具有超塑性，断裂前的应变可达到300%左右，这更是传统陶瓷所难以想象的。至于先进陶瓷的性能则更是丰富多彩。

60年代以来，先进陶瓷在材料和制备技术两方面的研究都取得了很大的进展和成就。值得一提的是，在陶瓷发展进程中正面临着第三次飞跃：从先进陶瓷发展到纳米陶瓷。科学家们预期在本世纪最后10年和下世纪初，陶瓷科学将在这一方面取得重大突破。

