



陶瓷的故事

孙志福 著

中国国际广播出版社

图书在版编目(CIP)数据

陶瓷的故事/孙志福主编. - 北京:中国国际广播出版社,1999.12

ISBN 7-5078-2468-1

I. 陶… II. 孙… III. 陶瓷-故事 IV. Z228

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 86837 号

陶瓷的故事

编 者 孙志福
责任编辑 崔洪军
封面设计 国广设计室
出版发行 中国国际广播出版社
社 址 北京复兴门外大街 2 号(国家广电总局内)
邮 编 100866
经 销 新华书店
印 刷 北京大同数字印务有限公司
开 本 850 × 1168 1/32
印 张 7
字 数 126 千字
版 次 1999 年 12 月第一版 1999 年 12 月第一印刷
印 数 1-10000 册
书 号 ISBN 7-5078-2468-1
定 价 10.5 元

国际广播版图书 版权所有 盗版必究

(如果发现图书质量问题,本社负责调换)

目录

材料的中国之星——陶瓷.....	1
透明的世界——玻璃.....	3
材料科学的骄子——光导纤维.....	7
半导体.....	9
大厦的基石——混凝土.....	13
钢铁是怎样炼成的.....	15
神奇的"土"家族——稀土材料.....	19
电阻为零的世界.....	23
树的泪水——橡胶.....	27
氯丁橡胶.....	29
合成纤维尼龙.....	29
"人造羊毛".....	31
从老虎吃人谈起——纳米材料.....	33
粘结起来的世界——粘合剂.....	36
新型复合材料.....	40
高分子家族的新成员.....	43
导电塑料.....	44
高吸水性塑料.....	46
可降解塑料.....	47
高效分离膜.....	48
隐身材料.....	50
生物高分子材料.....	51
液晶.....	53
永不忘本的形状记忆合金.....	55
镍-钛系形状记忆合金.....	57
铜系形状记忆合金.....	57
铁系形状记忆合金.....	58
奇妙的新型陶瓷.....	58

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：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： $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \rightarrow Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2H_2O$ · 分解： $CaCO_3 \xrightarrow{\text{高温}} CaO + CO_2$ · $CaSO_4 \xrightarrow{\text{高温}} CaO + SO_3$ · $CaSO_3 \xrightarrow{\text{高温}} CaO + SO_2$ · 烧成： $2Al_2O_3 + 6SiO_2 \rightarrow 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 4SiO_2$ 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。

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“十里商潮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堂学校、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矗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的应用领域。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）已显著减校 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、且已加热的溶液加以冷却，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/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，也是制备半导体光电子学、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？其实浪潮所以能被治服，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内，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。