

重

庆

出

版

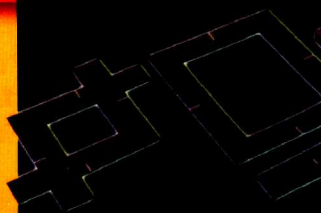
社

林鸿溢 / 著

DANGDAIQINGNIAN

KEPUWENKU

神奇的新材料



重

庆

出

版

社

林鸿溢 / 著

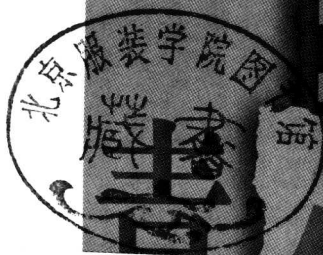
DANGDAIQINGNIAN

KEPUWENKU

神奇的新材料

TB3-49

4



北京服装学院图书馆



00172626

当

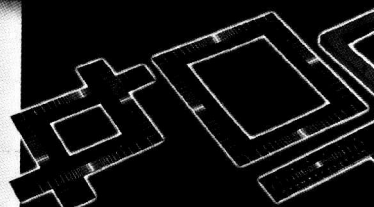
代

年

文

科

普



图书在版编目(CIP)数据

神奇的新材料/林鸿溢著. - 重庆:重庆出版社,
2000.1

(当代青年科普文库) ISBN 7-5366-4560-0

I. 神… II. 林… III. 材料科学 - 普及读物
IV. TB3 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 46527 号

《当代青年科普文库》

神奇的新材料

林鸿溢 著

责任编辑 王 梅

封面设计 谢 颖

技术设计 张 进

重庆出版社出版、发行

新华书店经销

山东新华印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 6.125 印张

字数:148 千 3 插页

2000 年 3 月第 1 版

2000 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5366-4560-0/G·1544

定价:10.00 元

出版一套面向广大青年的科普图书,是许多地方科技出版社萦怀已久的愿望,但是由于种种原因,一直没有哪一家出版社独自将之付诸实施,这常常让我们引为憾事。1995年,新闻出版署确定了《当代青年科普文库》为国家“九五”出版重点选题,才使我们有机会通过联合出版的方式了却大家的夙愿。

今天,世界处在科学技术飞速发展、社会生活瞬息万变的时代。处于高科技时代的青年人,通过耳濡目染或者孜孜以求,已经打开了曾经狭窄的眼界,而从各种不同的途径汲取知识,丰富自己,以求得多元的而不是单一的知识结构。将会影响21世纪人类命运和前途的高新科学技术知识,便成为他们涉猎的热点。青年人清醒地认识到,21世纪是青年人的世纪,他们背负着时代赋予的重大责任,而科学技术知识恰恰能开发他们担负起这种责任的巨大潜能。

地方科技出版社承担着向青年系统地进行科学普及教育的重要任务,这是具有使命性的任务。科学普及事业直接影响着社会进步和民族兴衰。翻开历史的卷页,许多事实都证明,科学技术对社会的影响既取决于科学技术的发展水平,又取决于科学技术被公众理解的程度,所以说,科学普及与一切科学活动、科学成就具有等量齐观的价值。我们注意到,由于现代科学技术发展迅速,知识更新日益加快,自然科学的各分支学科之间、自然科学与社会科学之间的融合愈加紧密,再像过去那

样仅向青年人介绍一般的科学常识已经不足以提高他们的科学文化素质。因此,《文库》除介绍了当代科学技术的重要知识内容,并竭力避免浮光掠影地粗浅描述外,还十分重视一定层次的整体描述,企望以此引导青年朋友改变传统的、陈旧的思想观念,确立新的科学理念、科学精神、科学方法和科学的思维方式。

在人类社会发 展进程中,科学技术从来不是孤立存在的,它是社会文化的重要组成部分。今天,人们越来越重视科学技术的文化意义,这对当今社会的进步具有重大意义。我们力求把科学技术放到大的文化背景中,采用合理的文化观念描述人类、自然、社会相互间的关系,使当代青年从单纯了解科学技术事实的局限中解脱出来,看到科学技术更为广阔和动人的图景。

《当代青年科普文库》的前期准备工作进行了将近两年,总体策划工作组在广泛调查研究的基础上,拿出了选题设想和文库整体编辑方案,之后多次进行了充分的讨论并召开专家论证会,确定了最后的选题编辑方案,这一方案经过地方科技出版社社长、总编年会通过后才正式加以实施。参加这一工程的共有 27 家地方科技出版社。

在《文库》即将全部付梓之际,我们倍觉欣慰。与此同时,我们对在《文库》策划、编辑、出版过程中,给予关心和支持的中宣部出版局、新闻出版署图书司和中国版协科技委员会的领导表示敬意和感谢;对应邀担任《文库》顾问的各位领导和科学家表示诚挚的谢意;对在很短的时间内编写出高质量稿件的各位作者表示衷心的感谢;对承担《文库》编辑、出版工作的各地方科技出版社的领导、责任编辑致以深切的慰问。作为跨世纪的大型科普书,这是我们奉献给当代青年的一份礼物,希望他们能够喜欢这份礼物。

中国出版工作者协会
科技委员会地方工作部

1999 年 6 月

开 篇

材料是时代进步的标志

自从地球上出现了人类,满足人类社会生存和发展所必需的材料也同时产生和发展,所以,材料进展史同人类社会发展史同样悠久。在漫长的历史长河中,材料的进展成为人类社会进化的里程碑。

时代的里程碑

历史学家把材料及其器具作为划分时代的标志:石器时代、陶器时代、青铜器时代、铁器时代等。从这里我们就不难看出材料在社会进步过程中的巨大作用。

当今,以硅材料为基础的微电子技术渗透到工业、农业、国防、科研,以至于人类生活的各个方面。实验室中的各种仪器仪表、工厂中的各种现代自动控制车床设备、现代农业机械、现代兵器、各种家用电器等等,无一不是由大量半导体硅芯片组装而

成,所以,当代可以称为硅器(芯片)时代。

随着以材料为标志的时代的发展,人类发现、制造和利用材料的发展阶段在逐步提升,这也是人类智慧不断提高的过程。从最初的利用天然材料(如树木、矿石等)发展到按照人类自身的需求制造人工材料的阶段;从一个时代进入另一个新时代,如从陶器时代进入青铜器时代,继之进入铁器时代,都极大地促进了人类社会的发展和进步。这有力地说明了新材料技术的发展对社会生产力发展有巨大的推动作用。社会生产力的巨大变化,必将加速人类社会的发展进程,把人类物质文明社会推向前进。所以,人类社会的发展和进步与新材料技术的发展和进步是密切相关的。

材料、能源和信息技术构成现代人类社会赖以生存和发展的三大要素,而在一定意义下,材料则是能源和信息技术的基石。所以,我们说材料技术是人类文明的基石。

经济发达的基础

当代,新兴工业成为国民经济最有活力的部门,如原子能工业、电子工业、海洋开发、能源技术等。原子能工业迫切要求耐辐射和耐腐蚀材料;电子工业的发展要求提供超高纯、超薄膜、特纤细、特均匀的电子材料;海洋开发需要耐腐蚀、耐高压的材料;能源技术同样要求新型的高性能材料,如太阳能的利用,需要寻找光电转换效率高的材料。太阳能是无污染,取之不尽,用之不竭的能源,每秒钟送到地面上的能量高达 81 万千瓦,相当于全世界发电量的十几万倍,能量密度达到每平方米 0.2~1 千瓦。假定光电转换效率为 10%,那么,在我国 960 万平方千米的国土上,每年接收的太阳能相当于 165 亿吨标准煤,这相当于我国煤年产量的 10 倍以上。现在最重要的是要找到能把太阳光能量转换成电能的高效率光电转换材料。由此可以想像新材料

的开发利用将带来多么巨大的经济效益。

国防实力的保证

一个国家武器装备的水平是其国防实力的重要标志。高性能的新型武器的出现往往与军用新材料的开发应用密切相关。任何一种新武器装备系统,离开新材料的支撑都是无法制造出来的。1991年,海湾战争中就出现许多新型的军用材料。因此,“海湾战争”被看作是高技术武器和军用新材料的实验场。无论是精确制导武器、反辐射导弹,还是隐身飞机、复合装甲坦克,无一例外地与新材料的应用分不开。

精确制导武器,包括制导炮弹、制导炸弹、制导子母弹、巡航导弹、末制导导弹等。这些武器实质上是一种能够获得并利用被攻击目标所提供的位置信息,修正自己的弹道,以击中目标为目的,具有一定智能的武器。海湾战争已经证明,精确制导武器是高技术战争中的主要火力。精确制导系统以全固态化惯性技术为发展方向,其核心器件是半导体加速度传感器。因此,高敏感度的半导体材料的研制,成为精确制导的重要技术之一,而被军方所关注。

高新技术的依托

人类社会已进入信息时代,人们很容易体会到材料,特别是新材料的重要性。可以说,一切高新技术的发展无不依赖于新材料的应用。人类社会即将进入21世纪,世界各国为了保持各自的经济活力、国防实力和科技能力,都在制订21世纪的国家关键技术。各技术先进国家都把新材料技术列入国家关键技术的首位。这正是新材料技术极为重要的标志。

人类在创造高度文明的同时也不断地破坏人类自身赖以生存的空间环境,如以煤矿和石油为能源给大气带来的污染就十

分严重。所以,开发无污染的清洁能源成为摆在我们面前的重要任务。如在我们的地球上有 $2/3$ 以上的面积是海洋,贮存着大量的海水。水分子由 2 个氢原子和 1 个氧原子组成,所以有水就有氢,而氢是无污染清洁能源,但是氢气的贮藏运输等还存在一系列问题,因此,寻找贮氢材料成为迫切的高技术问题。

在浩瀚的材料王国中,本书选择介绍了若干新发现的、有趣味的、很奇妙的、用处大的材料,给青年朋友们展现出一幅幅材料科学的神奇图画。

特殊的金属

金属有记忆力吗？

人类有记忆能力，这是天经地义的事，没有什么可怀疑的。如果说金属也有记忆能力，那人们会感到惊奇的。而事实上，真的发现金属也有记忆能力，但不是所有的金属都有记忆能力，只有某些特殊结构的金属才具有记忆力。

声音从月宫传出

美国阿波罗登月舱于1969年7月20日实现了人类几千年来梦想，首先在月球上着陆。宇航员阿姆斯特朗在月亮上踏下人类的第一个脚印。这天晚上全世界数以万计的科学家和数以亿计的公众都急切地注视着电视屏幕，关注着那远在38万千米外“月宫”的访客。晚上10点56分，人们清晰地看到宇航员在月宫步行的情景和那富有哲理的声音：“对一个人来说，这是迈出一小步；但对人类来说，这是跨了一大步。”无线电波把宇航员

的形象和声音实时地传送到地球上来。发射无线电波自然需要天线,事实上,放置在月球上的半球形天线的直径大达数米,这怎么可能装在小巧的登月舱里送上月宫呢?当时确是一个不解之谜。其实秘密就在于半球形天线是用当时发现不久的记忆合金材料做成的。下面我们来简要介绍记忆合金的发现和发展。

图1以白色线条显示太空站上的记忆合金天线和太阳能电池翼。

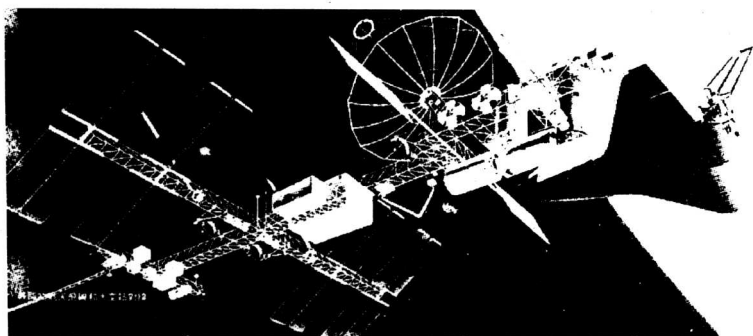


图1 太空站上的记忆合金天线和太阳能电池翼

唤醒记忆的故事

1958年,美国海军军械实验室冶金师布勒在研究镍-钛(Ni-Ti)合金时无意中发现,在不同温度下镍-钛合金棒相碰撞时,发出不同的声音,刚从炉子里取出的合金棒相撞发出清脆的声音,而冷却到室温后,则发暗哑迟钝的声音。他敏锐地意识到,温度对合金的组织结构和硬度可能有很大影响,但并未注意到是一种记忆现象。5年后的1963年,在一次实验中,需要用镍-钛合金丝,因为得到的镍-钛合金丝是弯弯曲曲的,使用起来不方便,所以实验前把这些合金丝一根根拉直,然后做实验。实验中出现了令人惊异的奇怪现象:实验温度升到一定值时,这些

原来拉直的合金丝突然无一例外地全部变成弯弯曲曲的形状，反复多次实验，结果都一样，而且发现无论你把镍-钛合金丝拉制得多么直，当温度达某一定值，即称为转变温度时，就会完全恢复到原来的弯曲形状。这个实验过程我们可以给出一个有点人情味的描述：当环境温度远离转变温度时镍-钛合金是没有“知觉”的，所以任凭你折腾它，随意改变它的形状，但是当环境温度一旦达到转变温度时，则镍-钛合金丝即被“唤醒”，恢复知觉，立即有“记忆力”，立即恢复到本来的面目。科学家把这种现象称为形状记忆效应。具有这种效应的合金称为形状记忆合金。镍-钛合金的转变温度为 40°C ，为了好记也可以称为“记忆温度”或“唤醒温度”。

揭开合金记忆的秘密

合金为什么会有记忆力？它的秘密何在？具有奇特的形状记忆能力，从本质上追究，是合金内部微观结构固有的变化规律所决定的。固态金属合金中，原子是按一定的规律有序排列的。有的合金随环境温度的变化，内部原子的排列方式会发生变化。当温度回到原来的数值时，合金内部原子的排列又会恢复到原来的排列方式。

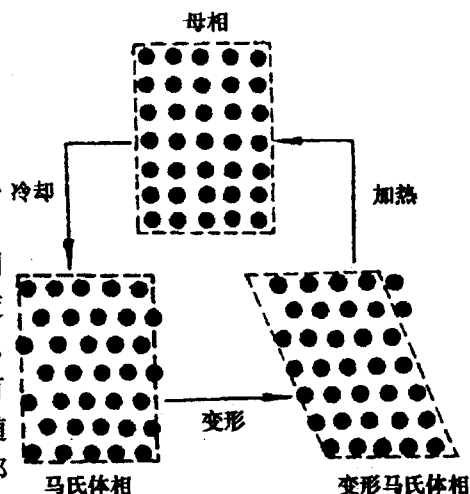


图2 形状记忆效应示意图

现在用示意图(图2)来说明形状记忆合金的特点，以回答合

金“记忆力”来自何方。图中黑色小球是金属原子。原子在母相时有序排列,当温度下降后,原子的排列方式发生变化,产生相变;如果施加外力作用,它就发生形变,此时,若使环境温度提高到转变温度值,则原子的排列方式将恢复到原来母相的状态,同时合金的外形回到母相的长方形外表。图3示意描绘三种不同材料进行拉伸变形、解除外力和加热等操作后所发生的结果。从中可以看到形状记忆合金与普通金属材料的不同是很明显的,而它与超弹性材料的不同在于超弹性材料是在解除外力后即恢复原状,而记忆合金要由“转变温度”唤醒其记忆力,才恢复原状。

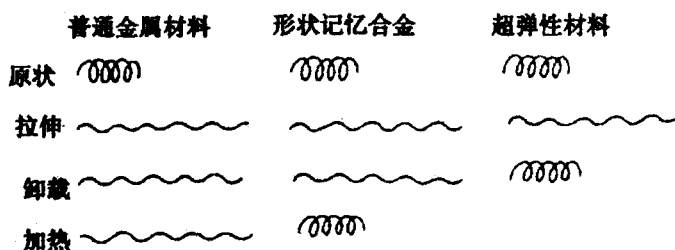


图3 不同合金的变形行为

记忆合金的家族

记忆合金的用途很大,所以发展很快。经过30多年来的发展,形状记忆合金从镍-钛合金开始,发展到镍-钛系合金、铜系合金和铁系合金等,形成系列成品。

镍-钛合金最早是在20世纪60年代试制成功的,是应用最多的一种记忆材料。近年来发展了一系列性能得到提高的材料,在镍-钛合金中加入其它元素,开发了钛-镍-铜、钛-镍-铌、钛-镍-钼、钛-镍-钨、钛-镍-铬、钛-镍-铁等镍-钛系合金。

这里特别要说明的是研究人员在镍-钛合金中添加微量铁或铬,可使记忆合金的转变温度降到 -100°C ,适合在低温下工作。

研究工作不断深入,发现了铜系合金,有铜-锌-铝和铜-镍-铝,转变温度可在很宽的 $-100\sim 300^{\circ}\text{C}$ 范围内调节。

最近又开发铁系合金,有铁-铂、铁-钯、铁-镍-钴-钛等。从价格上看,铁系形状记忆合金比镍-钛系和铜系形状记忆合金低很多,所以,是很有竞争力的新合金系。研究工作必将不断深入,开拓更加优秀的形状记忆合金,以满足更广泛的需求。

下面介绍一下形状记忆合金在一些领域的应用情况。

上文曾提到阿波罗登月舱曾在月亮上安置直径数米的半球形天线,这座天线是用当时研制成功不久的形状记忆合金材料按设计要求制造的,然后降低温度把它压成一团,装进登月舱送上月球,当天线在太阳光的照耀下温度升高,达到记忆温度(转变温度)时,天线的记忆力被“唤醒”,恢复了本来的形状,于是一座半球形天线便屹立于月球上了。数千颗人造卫星正在天空遨游,为了向地球发射有用的信息,往往要安装形状记忆合金天线,所以,记忆合金已成为人类获取天外信息所不可缺少的重要材料。

在医学上,镍-钛合金与生物体有好的相容性,可以在人体内作为固定骨骼的插销,做成接骨板,使断骨紧紧相接;用记忆合金做成极精细的网络,然后降低温度压成细丝,插入血管,由于体温使它恢复网络形状,在血管里起血栓的过滤器作用;用于牙齿矫形弓丝、女性胸罩、人造心脏等。形状记忆合金应用于医学成为人类身体康复的好材料。

工程中某些领域如航空、航天、核工业和海底输油管道等,为了保证系统万无一失,管道连接处常采用记忆合金管套(图4),用形状记忆合金加工成内径比要接的管子外径小4%的套管,然后在低温下将套管直径扩大8%,再把要连接的两根管子

从套管两端插入,当温度升到常温后,有记忆的套管就恢复原形,使管子紧密连接。

形状记忆合金可以作为智能材料应用,例如,利用它在加热和冷却时会产生伸缩力,因而可做成驱动机器人手臂的机构,这样就不需要传统的齿轮、凸轮等机械机构,而由智能材料(记忆合金)自身的功能来实现,机器人就更灵活自如了。

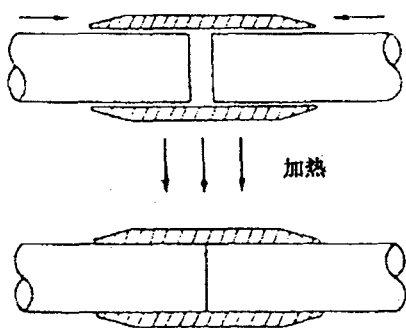


图4 管道连接

运作在火海中的金属

写下这个标题是想从一个生活中实际的例子出发,引出要讨论的问题——超高温合金。这里将给大家介绍超高温合金在工业上的迫切需求、以及超高温合金的种类和用途。

众所周知,水烧到 100°C 就开了,人的皮肉是无法承受的,若不小心洒上了,皮肤就要烫伤起泡。而超高温合金是指在 $600 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 高温下,能正常工作的金属材料。如果考虑得仔细一些,还要看当时加在合金部件上力的大小、环境情况和工作时间等因素。要问为什么需要在如此高的温度下工作的合金呢?回答很简单:工业需要,特别是航空航天工业迫切需求能在超高温下正常工作的合金材料。

火红的光环

超高温合金的发展和使用温度的提高与航空航天技术的发

展密切相关。20 世纪 40 年代末,喷气发动机问世,对优质超高温合金材料的需要量日益增长。现在,超高温合金的应用领域已经扩大到火车、舰艇、汽车、火箭发动机和原子核反应堆等领域。

超高温合金在喷气发动机中的应用,为航空航天工业开创了新纪元。1940 年首次用超高温合金涡轮叶片取代活塞式发动机。从此,航空工业进入新的历史时期,并继而向超音速飞行进军,使航空工业迅速发展,并进一步向航天工业迈进,为人类进入更加遥远的太空创造可靠的条件。

当飞机起飞后,如果从远处沿燃气发动机排气口向里看,可以望见一个火红的光环,这就是燃气涡轮叶片高速旋转的轨迹。这时叶片的温度还只有约 750°C ,而发动机燃烧室的温度高达 $1\,000^{\circ}\text{C}$ 以上。温度越高,发动机的推力越大,飞机飞行的速度就会更快了。

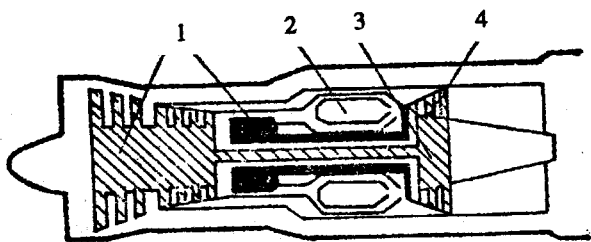


图 5 航空燃气轮机中使用的高温合金示意

1-压气机叶片;2-燃烧室;3-涡轮盘;4-涡轮叶片

我们再来看一看飞机的发动机,这是飞机能高速飞行的动力保证,没有强大的动力,飞机是上不了天的。图 5 是一台航空燃气轮机,所用的材料 70% 是超高温合金。发动机涡轮承受的温度高低、推力大小、耗油多少和寿命长短,都取决于超高温合金的性能。发动机的燃烧室是温度最高的区域,如果把涡轮前

温度从 900℃ 提高到 1 300℃, 则发动机的推力将增加到 130%, 耗油率会大大降低, 总之, 发动机的效率大大提高。

目前, 新型的发动机都追求高的涡轮前温度, 为了能承受高温, 必须采用耐高温的镍 - 钴基超高温合金制造燃烧室、涡轮盘和涡轮叶片。航天飞机发动机的涡轮叶片是用铬 - 钴 - 钨基超高温合金材料制造的。可见, 人类要离开地面到空中去, 甚至到更加遥远的宇宙深处去探奇揭秘, 就必须不断探索高性能超高温合金。

高技术应用领域

超高温合金的高技术应用领域十分宽广, 这里只作简要介绍。

铁基高温合金 这种合金是在不锈钢中加入钼、钛、铌等元素, 可以在 500 ~ 700℃ 温度条件下工作, 具有高强度。例如, 铁 - 镍 - 铬 - 钼高温合金、铁 - 镍 - 铬高温合金和铁 - 镍 - 钴 - 铬高温合金等。这类合金成本较低, 可用于制作温度要求较低 (低于 700℃) 的航天发动机和工业燃气轮机上的涡轮盘、涡轮叶片等部件。

镍基超高温合金 镍基超高温合金以镍为基体, 镍的含量超过一半, 可以在 700 ~ 1 000℃ 温度范围使用。这种合金高温强度大, 不变形, 现代喷气发动机, 涡轮叶片几乎全部用镍基超高温合金制造。

钴基超高温合金 钴基合金可以在 730 ~ 1 100℃ 高温条件下使用。例如, 最早研制成功的钴 - 铬 - 钼 - 镍 - 钛超高温合金, 具有很好的性能, 可以应用在航空发动机、工业燃气机、舰艇气轮机的导向叶片和喷嘴导向叶片的制造上, 效果很好。

想想看: 纷繁世界万物万象, 竟然有在那么高的温度下仍能正常运转的机器, 而这种高性能的机器就是用超高温合金制造