

求知文库
QIU ZHI WEN KU

求知博览

新材料技术的应用

李 波◎主编

远方出版社

求知文库

新材料技术的应用

李波 主编

远方出版社

图书在版编目(CIP)数据

新材料技术的应用/李波主编. —呼和浩特:远方出版社,2005.9
(2007.11 重印)

(求知文库/李波主编)

ISBN 978-7-80723-078-6

I. 新... II. 李... III. 材料科学—青少年读物 IV. TB3-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 094119 号

求知文库 新材料技术的应用

主 编	李波
出 版	远方出版社
社 址	呼和浩特市乌兰察布东路 666 号
邮 编	010010
发 行	新华书店
印 刷	廊坊市华北石油华星印务有限公司
开 本	850×1168 1/32
印 张	258
字 数	4000 千
版 次	2007 年 11 月第 1 版
印 次	2007 年 11 月第 1 次印刷
印 数	5000
标准书号	ISBN 978-7-80723-078-6

远方版图书,版权所有,侵权必究。
远方版图书,印装错误请与印刷厂退换。

前 言

《求知文库》是一套介绍科普知识的丛书,涵盖了环境、能源、科技等方面的知识。

现代社会拥有高度文明,人类的物质、精神生活都很丰富。但立足长远,能源贫乏、环境污染、物种灭绝、自然灾害这些问题,却始终困扰着人类,阻碍着社会发展,甚至给人类带来了巨大的灾难。而青年一代正是未来社会发展的主要力量,怎样传承世界文明,使人类能够更和谐、快速地发展呢?答案是青少年应该具备足够的知识,了解前人创造的文明,了解社会发展的现状,在此基础上,发展新科技,保证社会长足发展。

随着“科教兴国”战略的实施,以电视电脑为媒介的科学教育专题节目也越来越多。但考虑到电视传播转瞬即逝,电脑传播还不是很普及,为更方便读者阅读,我们特推出《求知文库》这套丛书。本丛书覆盖面广,语言流畅、通俗易懂,兼顾了科学性和趣味性。希望能给青少年朋友提供一个了解人类

文明、发展的窗口,为青少年朋友增长知识、促进成长尽一份薄力。

本套丛书最大的特点在于:她用鲜活的语言、生动的故事把那些原本枯燥乏味的知识讲得浅显透彻、趣味盎然;把那些生活中经常碰到的或忽略了的日常现象讲得令人恍然大悟、豁然开朗;她真正地把学生课本所学的知识和社会实践融汇贯通了。

在本套丛书的编写过程中,我们得到了许多专家及学者的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。在组稿过程中,我们对一些业已发表的稿件进行了采编,有部分未能联系到原作者。望作者见书后与我们联系,以方便寄付稿酬。

编者

目 录

第一章 大放异彩的超导材料	(1)
第一节 卡麦林·昂纳斯的故事	(1)
第二节 迈斯纳的发现	(5)
第三节 阿布里科索夫的贡献	(6)
第四节 磁悬浮列车	(7)
第五节 关住一亿度高温的“魔室”	(9)
第六节 初生之犊约瑟夫逊	(13)
第七节 20 世纪 80 年代的淘金热	(15)
第八节 前途无量的超导材料	(16)
第二章 看不见的高速公路	(18)
第一节 构筑信息高速公路的材料	(18)
第二节 计算机的核心材料	(20)
第三节 信息的仓库	(23)
第三章 如梦如幻的功能晶体	(31)
第一节 “光学魔术”	(31)
第二节 光功能晶体	(33)
第四章 材料的新时代	(48)
第五章 个性张扬的“异能”金属	(55)
第一节 一发吊千钧的金属晶须	(55)
第二节 彩色不锈钢	(59)

第三节	像玻璃那样的金属	(63)
第四节	有“记性”的金属	(67)
第六章	神奇的有机高分子材料	(72)
第一节	向海洋要淡水	(72)
第二节	树木的眼泪	(76)
第三节	使沙漠变良田的吸水树脂	(81)
第四节	从不粘锅说起	(84)
第五节	聚丙烯传奇	(87)
第六节	能导电的塑料	(91)
第七节	会爬杆的液体	(95)
第七章	话说玻璃钢	(100)
第一节	不是钢,胜似钢	(100)
第二节	层出不穷的先进复合材料	(105)
第三节	研制材料的新方法	(109)
第四节	向物质的微观世界进军	(112)
第五节	材料工程放异彩	(117)
第六节	本世纪的突破	(120)
第八章	不可思议的材料	(128)
第一节	神奇的未来材料	(128)
第二节	碳纳米管	(130)
第三节	未来的仿生材料和传感器	(131)
第四节	未来包装材料——生物钢	(133)
第五节	未来的建筑材料	(134)
第六节	未来的超级材料	(135)

第一章 大放异彩的超导材料

第一节 卡麦林·昂纳斯的故事

荷兰物理学家卡麦林·昂纳斯(H. Kamerling Onnes)是1913年诺贝尔物理奖的获得者,这是为了表彰他制取液氮的低温技术,但他更大的贡献却是发现了超导现象。这一发现直至现在,甚至下个世纪都将对民界产生重大影响。昂纳斯无愧于诺贝尔科学奖的殊荣。

20世纪初,物理学家进行了一场获取低温的竞赛。

从分子运动的角度看,气体压力是分子碰撞容器壁的结果,而温度是气体分子动能的量度,所以,温度是没有上限的,却有下限,那就是当气体分子都停止运动时的温度。那么,这个温度是多少呢?

实验测出,如果保持气体体积不变,把气体从摄氏零度冷却,温度每下降一度,压强降低273分之一。由此推算,当气体压力为零时分子也就停止了运动,这时的温度就是低温的极限。英国物理学家开尔文勋爵建议用这个温度作为温度的起点,仍然用摄氏温度的温度间隔,也就是把水从冰点到沸点间的温差分为100等分每个等分为一度。这个温标称开氏温度,也称绝对温标,用这个温标表示的温度称绝对温度,用大写字母K表示。

把气体变成液体就能得到低温,比如,你可以把物体浸在液氮里,它就被冷却到液氮的沸点 -195°C 以下。而且每种气体都必须冷却到

一定的温度以下才能被液化,所以,气体液化和低温技术自始至终是密切相关的。

19 世纪下半叶,当时已知的气体除氢以外几乎都被液化了。是苏格兰科学家杜瓦完成了氢气液化这一工作。杜瓦把装着压缩氢气的容器浸在液氮里,将压缩氢气冷到零下 200°C ,再让这瓶极冷的氢气减压,通到一个大的容器里,气体体积迅速增大时就吸收热量,进一步冷却。然后再将氢气用管子引回来,压缩到容器里,冷却,再膨胀,进一步降温。反复循环这种压缩——膨胀的过程,终于在大约 -240°C 时,氢气变成了液体。次年,杜瓦使液氢减压蒸发,进一步降温,液氢凝固变成了固态氢。

杜瓦是第一个得到液氢和固态氢的人,也是第一个获得 -253°C 和 -259°C 的人。杜瓦还发明了特殊的镀银玻璃瓶来保存他的超冷液体。这种玻璃瓶有两层,中间抽真空,细长的瓶颈上端有一个小口,叫做杜瓦瓶,至今还在物理、化学等许多实验室使用。杜瓦瓶还是现在家用热水瓶的前身。

1908 年 7 月,在荷兰莱顿大学,昂纳斯教授开始了他准备十年之久的试验,这就是把当时称为“永久气体”的氢气液化。

昂纳斯具有卓越的组织能力和指挥才能,他的实验准备完善而且周密。他和他的同事们安装制造了大型气体液化装置,能够大量制取液态空气直到液态氢,提供一系列的低温环境;液态乙烯能达到 -145°C ,液态氧能达到 -183°C ,液态氢能达到 -253°C 。

实验从上午十点开始,他们先用前天准备好的液态空气冷却高压氢气,利用高压氢气在体积膨胀时的吸热效应来使氢气液化。这个步骤花了半天时间。

得到了足够的液态氢以后,再把装有高压氢气的容器放到液体氢中冷却到零下 250°C ,开启高压容器的阀门,使高压氢气喷射到另一个低压容器中,显然,这是一个典型的绝热膨胀过程。由于这个喷射,氢气的分子运动能进一步减小,温度进一步降低。开始,这个试验并

不太顺利,并没有得到所期望的液态氢,直到液氢全部用完,准备结束实验时,才在低温恒温器中发现了液氢的液面。

这是人类第一次将氢气液化,也是人类第一次把最低温度降到接近绝对零度,开辟了低温研究的新纪元。

昂纳斯没有满足于他的成功,立即着手进行物质在超低温下的性质的研究。在此之前,杜瓦教授获得液氢温度后,也研究过金属在低温时的导电性。据说杜瓦教授在被竞争对手超过以后,感到心灰意冷,不久就放弃了他的低温物理研究,无法与昂纳斯教授分享低温物理研究中的成功与荣誉。鲁迅先生主张“不耻最后”,赞扬那些落在最后仍然能够坚持跑到终点的选手,含意十分深远。我们做每一件事,都应该“不耻最后”,坚持到底。

昂纳斯和他的学生们首先测定白金丝在低温下的电阻,发现随着温度的降低,铂丝的电阻不断减小,当接近绝对零度时,电阻减小到某一定值就不再减小。这个电阻值就叫残余电阻。昂纳斯认为残余电阻是金属中的杂质引起的,就改用黄金丝做实验,因为黄金容易达到更高的纯度。实验测得黄金的残余电阻果然比白金小得多。后来,昂纳斯又选用水银做实验,因为水银在常温下是液体,可以通过蒸馏来提纯,蒸馏在实验室是很容易实现的操作,经过多次蒸馏后,可以达到很高的纯度。当测量水银的电阻时,随着温度下降,水银的电阻也变小,当温度降到 4.2K 附近时,电阻突然消失。这是一个前所未有的发现,昂纳斯本人也大为吃惊,他并没有将实验结果立即发表,而是提高精度,反复试验,证明结果准确无误。1911 年,他把结果报告给荷兰皇家科学院,1913 年,把这个结果公开发表。在这篇论文里,昂纳斯首次使用 Super conductivity 一词来描述他所发现的现象。Super 意为“超” Conductivity 意为“传导”,这就是“超导”一词的由来。用来描述物质导电能力的物理量是电导,电导是电阻的倒数,电阻趋近零,意味着电导无穷大。所以,“超导”一词也并没有夸张的意味。

也有人提出,“超导”也可能理解为光、热的传导,建议使用“超电

导”来代替它。但实际上,由于约定俗成,大家都知道“超导”指的是超电导,所以仍然使用超导一词。

昂纳斯还设计了十分巧妙的实验来证明超导现象的存在,他把铅制圆圈放进杜瓦瓶里,瓶外放一块磁块,把液氮倒入杜瓦瓶,使铅冷却成超导体(这时他已经知道铅在液氮中是超导体),这时,把瓶外的磁块铁突然拿掉,由于导体切割磁力线在铅圈中产生了感生电流,这个电流应该持久不息,这就是有名的持久电流实验。

以后,很多人用更精确的方法重复了这个实验,1954年3月5日,斯坦福大学做的一次实验,在长达两年半的时间,持续电流未见减弱,直到1956年9月6日,由于液氮供应中断,实验才告中止。费勒等用更精确的核磁共振方法测量超导电流产生的磁场,推算出超导电流衰变时间在十万年以上,就是说,只要保持导体的超导状态,其中的电流至少可以流动十万年!



临界温度和临界磁场

水银在温度下降至4.2K附近变成超导体,当温度超过4.2K时,水银的超导性消失,又转变为普通导体,这个超导转变温度叫临界温度。昂纳斯发现,铅在7.2K以下转变为超导体,7.2K以上是普通导体。

显然,每一种超导体都有它自己特定的临界温度,而且超导临界温度越高越好,使用起来越方便,因为维持的温度越低,花费的钱就越多。

由持久电流实验,昂纳斯立即意识到制造超导线圈是一件很有意义的工作。因为往线圈中注入电流以后,电流流动就产生磁场,成为超导磁体,而且在超导线圈中一次注入电流就可以永久流下去,而普通线圈因为存在电阻要消耗电流,很多电能作为热量被损耗了,超导电磁铁可能会比普通电磁铁消耗少得多的电而获得更高的磁场。昂

纳斯用铅制成导线,绕成线圈,在液氮冷却下,加上电流,得到了磁场。研究结果发现,磁场会破坏线圈的超导态。当磁场强度超过某一数值时,线圈就从超导体变成普通导体。由此发现了超导体的另一个重要性质:存在临界磁场。

事实上,每一种超导体都有自己的临界磁场,不管这个磁场是外加的,还是由于本身通过电流时所产生的感应磁场,当磁场强度超过超导体的临界磁场时,超导体的超导状态就被破坏,成为普通导体。

临界磁场下流过超导体的电流密度称为临界电流密度,是表征超导体性质的另一个重要参数。

例如铅的临界温度 7.2K,铅在 4.2K 时,临界磁场 550 高斯,临界电流密度 150 安。这就是说,当铅制线圈的导线中电流密度达到 150 安培时,或者线圈产生的磁场强度达到 550 高斯时,铅导线的超导性就会消失,转变为普通导体。这就是昂纳斯的超导电磁铁得不到强磁场的原因。

临界磁场是温度的函数,在临界温度以下时,随着温度降低而增大。在临界温度时,不需加磁场,超导体的超导性就消失,换言之,在磁场为零时实现由超导体向普通导体的转变,此时的临界磁场为零。

临界电流密度与临界磁场互相依存,它与温度的关系也是一样的。也就是在临界温度时,临界电流密度为零,随温度降低而增大。当然每一种超导体的增大趋势是各不相同的。

第二节 迈斯纳的发现

关于超导的研究在两次世界大战的间隙中有过一段繁荣时期,在 20 世纪 30 年代曾达到高峰,这一时期的代表人物是柏林的迈斯纳(K. W. Meissner)。

1933 年,迈斯纳通过实验发现纯净的、无应力的超导体内部的磁

场为零。这是由于超导体产生了与外磁场相反的磁场,从而抵消了外磁场的作用,使内部的磁场为零,这种性质被称为完全抗磁性,按照科学界以发现者的名字命名的习惯,也称为迈斯纳效应。

所以,当把超导体放在磁场上部时,由于超导体反向磁化,产生方向相反的磁场,在超导体和外磁场间产生排斥力,甚至可以把超导体托起来浮在上面,磁悬浮列车就是依据超导体的抗磁性制成的。

当外磁场足够大,能够穿透超导体内部,超导体的抗磁性丧失了,超导体也就消失了。

所以,超导体的基本性质是超导性和完全抗磁性,表征这两个基本性质的参数是临界温度、临界磁场和临界电流密度。

在有表面电流流动的这一薄层里,磁场并不为零,而是有一定的穿透,穿透深度叫伦敦穿透深度,对决定超导体的性质有十分重要的意义。

第三节 阿布里科索夫的贡献

昂纳斯研制的铅制线圈超导磁场强度只有几百高斯时就受到破坏,这是由于铅临界磁场和临界电流密度太低造成的。在他之后几十年,人们也未能做成一个有实用价值的高磁场超导磁体。

事情的转机是在发现了另一类超导体以及阿布里科索夫作了科学阐述之后。这类超导体有两个临界温度,在第一个临界温度以下,它表现为超导体,当温度超过第一临界温度,尚未达到第二临界温度时,它表现为超导体与普通导体的混合态,超导部分是抗磁性的,而非超导部分则有磁场通过;当温度超过上临界磁场时,磁场完全穿透,超导体完全转变为普通导体。这种结构就好像一块藕片,中间圆孔是磁力线穿过的非超导部分,而藕块就是超导体,没有磁力线通过。

上临界磁场比下临界磁场大一个数量级,第二类超导体的发现,

意味着超导体的临界温度和临界磁场增大了十倍,可能成为有实用价值的材料。第一类超导体是由纯物质组成的,像汞、铅;第二类超导体含有杂质或合金。看来,作超导材料并不是越纯越好,不纯的才有用。不仅如此,在结构上还要有晶体缺陷,晶体错位,杂质析出物才能形成稳定的超导体。

这里的道理也不难明白。在混合态时,超导部分有电流流动,产生感应磁场,因而推动穿过非超导部分的磁力线产生移动,通过磁通涡线运动。移动的磁力线产生相反的电场,形成电阻,就会破坏超导态。幸好有前面谈到的缺陷、析出物等,这些杂质和缺陷阻止了磁通的运动,就像在磁力线上钉上钉子一样,所以称为钉扎点。钉扎点阻止磁力线运动的力称钉扎力,钉扎力越大,超导体的临界磁场就越高,临界电流越大。在制造超导线材、带材时要设法增加钉扎点,提高钉扎力。

第四节 磁悬浮列车

在日本的宫崎县日向市,有一条新奇的铁道线,铁道上运行的列车也是前所未有的,这种车厢安装的是橡胶轮,但不靠车轮驱动,运行时车厢浮在铁轨上方 10 厘米高处,因而没有车轮和铁轨撞击的轰隆声,它的速度极快,在 1979 年试运行,时速超过 500 公里,据推算,理论上的速度可以达到 1000 公里。

除日本国铁进行的试验外,德国也进行了磁悬浮高速列车试验,时速 500 公里,悬浮 10 毫米。很多国家都看好磁悬浮列车,认为它可能是未来的交通工具。

实验磁悬浮列车是为了对现在的火车进行改革。由于现在运行的火车是靠车轮和铁轨间的摩擦力前进的,现在已经有了时速 300 公里的高速列车,但速度不容易再提高,否则列车车轮打滑空转,高速

列车已临近极限。要突破极限就必须寻求新的运行方式。磁悬浮因为列车和轨道没有接触,就没有以上的问题,而且运行时稳定、安全、不受台风等任何风力的影响。

其实磁悬浮的设想早在 1911 年就由俄国人提出来了,但真正实施是在六、七十年代,主要是由于超导材料的实用化研究取得了进展。

磁悬浮列车的关键设备是安装在车上的超导磁体,超导磁体的主体是两个装在不锈钢罐(低温恒温器)的超导线圈。列车下面的轨道呈 U 字形,轨道下面装有电磁线圈,这些线圈都是独立、闭合的,不用通电,由于受到列车下面的超导磁体感应而产生电流,电流使线圈产生与超导磁体相反的磁场而使列车浮起。U 字形轨道两侧装有线圈,由普通导线绕成,通交流电。由交流电引起的磁力和超导磁体互相作用产生推力驱动列车前进,前进速度与交流电频率成正比。侧壁线圈还对车厢起稳定作用:当列车车厢靠近时它产生斥力,在车厢离得太远时又产生吸引力,它把车厢拉在 U 型轨道内,非常安全。

这个超导磁体的磁场强度约一万高斯,就是一特斯拉,超导线圈所用线材是铌钛合金线。

铌钛合金并不算好的超导材料,它的临界温度仅 9K 左右,上临界磁场约 11 特斯拉,这些指标在超导材料中实在排不上名次,但却是应用较广的超导线材。

这是因为超导线材至少会碰到三个问题。一个是前面谈到的磁通涡线运动,会破坏超导态;第二个就是所谓的磁不稳定性,一般情况下,钉扎能钉住磁通线,当外界磁场变化时,磁通线与钉扎力间的平衡被打破,为了建立新的平衡,磁通线要发生一次运动,运动产生的热又会减弱钉扎力,结果又导致磁通进一步运动,形成恶性循环,直到超导态被完全破坏。这种连锁反应又叫磁通跳跃。

所以实际使用的超导线材结构非常复杂。是由铜镍合金包埋着上万根铌钛合金细丝,细丝粗细只有头发的十分之一,用肉眼根本就看不见,细丝内部还造成许多钉扎点。造成钉扎是为了制止磁通涡线

运动,做成极细超导线芯是为了防止磁通跳跃,实践证明芯越细越稳定;使用铜合金包覆是为了保护超导线芯,因为铜镍合金导电性好而且导热性较差,这样可以防止热量入侵超导线而且一旦超导态破坏可以顺利地传导电流。

铌钛合金线材的制作过程也是为着上述目的而进行的。先要把铌钛合金铸成锭,再加工成棒,把许多根合金棒埋到铜镍合金里,再压延,冷拉,长度拉伸到原先的上百万倍,才能把里面的铌钛合金拉成比头发还细的丝。用冷拔工艺是为了在铌钛合金丝的晶格里产生位错和缺陷,增加钉扎点。

冷拔成线材后,还要在 300—500 摄氏度进行时效热处理。所谓时效,就是要经历一定时间才能显出效果。目的是使以钛为主的细小的粒子沿着位错脱落出来,这种现象称为析出。析出的粒子就成为钉扎点。此外,还要用钨或铜增强,再把这种增强的超细多芯线制成扁带、电缆或编织带。

铌钛合金延展性好,适于冷拔加工;和铜或铜合金容易复合,制成的线材稳定性好,加之工艺成熟,原料也不算昂贵稀缺,因此使用较多。这就是为什么在磁悬浮列车上使用铌钛线圈的原因。

现在,许多高温超导体问世,使用温度已进入液氮范围,液氮的价格只有液氦的十分之一,经济效益十分可观,关键的问题是要解决线材和带材生产中的问题,生产出稳定化的线材、带材来。

第五节 关住一亿度高温的“魔室”

1952 年,美国在马绍尔群岛的一个小岛上进行了名为“迈克”的试验,爆炸了一颗相当于 1300 万吨黄色炸药的氢弹,使这个小岛从此从地球上消失。

这就是氢弹的威力。一颗原子弹足以毁灭一个城市,然而在氢弹

面前，原子弹不过是小巫见大巫：氢弹是用原子弹引爆的，原子弹不过是氢弹的“雷管”！一颗氢弹可以相当于 5000 万吨黄色炸药，比前面所说的氢弹威力还大四倍！

事实上，用热核反应作为新的能源，正是许多科学家们梦寐以求的目标。氢弹爆炸的原理是热核反应，是两个重氢（氘）或超重氢（氚）的原子在数百万度高温下生成一个氦原子的反应，所以称热核反应，也叫核聚变，反应放出的能量比核裂变放出的能量高六倍。核聚变还是一种清洁的能源，它不像核裂变那样污染环境。在这里需要补充说明一下：核裂变是铀 235（或是钚 239 等）受到中子轰击分裂成一个钡原子和一个氪原子，并释放出三个中子的反应。反应放出巨大能量，几乎为普通炸药的一亿倍。这正是原子弹爆炸所发生的反应，也是目前地球上几百座核电站里的反应。核电站的废气中有放射性气体氪 85，这是一种不起化学反应的惰性气体，在空气中能存在很久而保持着放射性。核裂变的放射性固体废渣也令人头痛，目前的处理方法是深埋到废弃矿井里。核电站还有爆炸泄漏的危险，前苏联的一次泄漏曾经造成长时间的放射性污染。热核反应作为能源就没有这些问题，它没有放射性副产物；其次，核聚变需要在数百万度的高温下反应，装的原料少，一旦发生泄漏，反应也自然停止了。

核聚变反应的原料氘（也叫重氢）在地球上的储量非常丰富，普通水中都含有五十分之一的重水，重水是氘（重氢）和水的化合物，电解重水就可以得到重氢。一桶平常的水中所含重氢的能量相当于 400 桶优质石油，地球的水资源中重氢的能量，可供人类使用几百亿年！

核裂变已经成功地用来发电，成为一种廉价的能源，而对核聚变反应进行控制以利用反应释放的能量还处在研究和实验阶段。

要利用核聚变反应的能量，就必须对反应进行控制，必须建造反应堆，这当然比爆炸氢弹难得多。爆炸氢弹的目的是利用它的巨大能量进行破坏，温度越高越好，压力越大越好，冲击越强越好，不需要控制。而现在的任务是不让它有一点破坏性，安安静静、服服帖帖地