

功能金属材料

张名大等 译



辽宁科学技术出版社

TG 14
Z 19

301987

功能金属材料

张名大 等译



辽宁科学技术出版社

1988 年 · 沈阳

本书由中国科学院金属研究所组织翻译。

参加本书翻译的人员有：张名大（序及第一章），金文坤（第二章），邹本三（第三章），李忠浩（第四章及第五章），韩维大（第六章及第十章），宋治鉴（第七章），杨俊英（第八章及第十一章），金柱京（第九章及第十二章）。第二章及第四章分别由金文坤和漆洪波撰写了译后记，介绍最近开发的钕铁硼永磁材料及高 T_c 超导材料。译稿由张名大及李东初校，经有关同志分章校阅后，由吴文奎终校，最后由张名大定稿。



功 能 金 属 材 料
gong neng jin snu cai liao
张名大 等译

辽宁科学技术出版社出版，发行（沈阳市南京街6段1里2号）

东北工学院印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16

印张：17 1/8 字数：380,000

1988年1月第1版

1988年1月第1次印刷

责任编辑：卢钟录

封面设计：曹太文

责任校对：王春茹

ISBN 7-5381-0336-8/TG·5

印数：1—2000

定价：4.10 元

（自费出版）

序

师 昌 绪*

本书译自 1982 年日本出版的《机能性金属材料》一书。书中各章著者均为日本在功能金属材料各个领域的专家。

目前功能材料已成为能源、航天、冶金、计算机、自动化、仪器仪表、电子、国防等工业部门发展的基础,在我国正方兴未艾。但是,国内较全面地论述这类材料的书籍现在还不多。本书所论述的功能材料种类甚为广泛,包括各种功能金属材料和金属化合物(陶瓷),不但阐述了各种材料的作用原理及应用,而且对已经成熟的和正在研制的这类材料今后发展趋势、制备、性能及效用等也都作了较详细的介绍。是从事材料研究及生产和应用功能金属材料的科技人员的一本很有实用价值的工具书,也可作为有关院校的教师和学生的参考资料。本人于 1984 年 4 月,随方毅同志访问日本时获得此书。回国后,即组织中国科学院金属研究所的有关科技人员进行翻译,以满足当前国内读者的需要,并为传播信息和技术作出一些贡献。

原书中个别缺点与错误,在翻译时尽可能地作了纠正。

* 原中国科学院技术科学部主任,现任中国国家自然科学基金委员会副主任、中国科学院金属研究所名誉所长。

原 序

今后日本产业的发展要依靠自己的技术,创造出附加价值高的高级产品,走发展知识密集型产业的道路,以开拓经济新领域,因此很希望开发日本自己的新技术。

但是目前除了遗传工程等特殊领域以外,想要像过去那样根据新的原理来开发新技术,几乎是不可能了。今后开发新技术将主要依靠具有特殊性能的材料,也就是在大多数情况下要充分利用这些材料的特殊性能来制造出新的设备,为开发新技术创造条件。所以人们殷切期望具有特殊性能的材料有一个大的发展。

本书论述功能金属材料。这类材料被人们认为是即将到来的二十一世纪文明的支柱之一,从而在现代文明中起重大作用。这里所说的金属材料当然包括合金,另外也包括了各种金属化合物(陶瓷)。

这些功能金属材料各有其独特的功能。本书论述下列一些功能材料:

各种磁性材料,如高性能磁体,磁芯材料和高密度磁记录材料等(第二章)。

以具有光电转换功能的晶体及非晶体为中心的半导体材料及电子射线材料,主要是光电子半导体材料及高亮度电子束源材料(第三章)。

作为未来新技术中重要的一环而希望予以大力发展的各种超导材料,如超导磁体,约瑟夫逊元件等(第四章)。

利用磁致伸缩、压电和电致伸缩等现象而起作用的超声波振子材料(第五章)。

利用晶体的特殊相变机制而起作用的形状记忆合金(第六章)。

利用晶体相变等行为所产生的振荡型软化现象而起作用的减振合金(第七章)。

以复合陶瓷为中心的硬质材料(第八章)。

用非晶态合金制成的超耐蚀材料(第九章)。

以氢作燃料的工程中的一种不可缺少的材料,即具有吸氢和放氢功能的储氢合金(第十章)。

为了充分发挥这些材料的功能,必须控制材料的组成,并使它具有最佳物理状态(完整晶体状态,非晶态或薄膜、超细粉末等状态);故本书除了介绍材料各种功能的特点外,还系统叙述了有关控制组成及物理状态的问题,同时也探讨了它的具体应用范围,供不同领域的研究工作者及开发工作者参考,以便他们能在各自的领域中运用这些功能,达到开发新技术的目的。

另外,由于非晶态材料及超细粉末材料能更充分地发挥上述各种功能,它在各产业领域中获得应用的可能性很大,故本书除了若干章节中在附带予以阐述外,另列两章分别单独讨论这两个课题。这两章是:

超细粉末金属和陶瓷的制法及其特性(第十一章)。

非晶态合金,非晶态半导体和非晶态绝缘体的制法及其特性(第十二章)。

如上所述，本书涉及的方面很多，各个方面所包括的领域都很广，由于篇幅所限，要详细讨论，只能另找机会，这里仅以各个材料领域的现状和未来的展望为中心，编辑了若干资料，供读者参考。

竹内 荣*

1982年9月

(张名火 译)

* Sakae TAKEUCHI 日本东北大学名誉教授

目 录

序.....	师昌绪	
原序.....	竹内 荣	
第一章 功能金属材料的重要性	竹内 荣	
1 新材料的出现改变了文明发展的方向.....		(1)
2 支撑二十一世纪文明的功能金属材料.....		(3)
第二章 磁性材料		
1 磁体的功能和应用.....	藤森 啓安	(7)
1.1 铁磁性、亚铁磁性.....		(7)
1.2 功能和应用.....		(11)
1.2.1 宏观磁化现象.....		(11)
1.2.2 微观磁化现象.....		(12)
1.2.3 磁致伸缩.....		(12)
1.2.4 因瓦(invar)效应.....		(14)
1.2.5 异常磁阻, 霍尔效应.....		(15)
1.2.6 磁-光效应.....		(16)
2 高性能永久磁体.....	俵 好夫	(17)
2.1 前 言.....		(17)
2.2 晶体结构和磁性.....		(18)
2.3 矫顽力机制.....		(20)
2.4 SmCo_5 永久磁体.....		(22)
2.5 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 永久磁体.....		(24)
2.6 今后的展望.....		(26)
3 高性能磁芯材料.....	藤森 啓安	(29)
3.1 前 言.....		(29)
3.2 磁芯材料的基本功能.....		(29)
3.3 提高性能的途径和两三种适用材料.....		(30)
3.3.1 饱和磁化强度 M_s		(31)
3.3.2 磁导率 μ		(35)
3.3.3 其它附加性能.....		(38)
3.4 非晶态合金.....		(40)
3.5 结 语.....		(43)
4 高密度记录用材料.....	法橋 滋郎	(44)

4.1 前 言	(44)
4.2 记录退磁效应和决定记录密度的因素	(44)
4.3 记录媒体	(46)
4.3.1 磁带媒体	(46)
4.3.2 磁盘媒体	(50)
4.4 磁 头	(50)
4.5 垂直磁记录方式	(52)
4.5.1 垂直记录的基本性质和特征	(52)
4.5.2 垂直记录媒体和垂直记录磁头	(52)
4.5.3 垂直记录特性	(54)
4.6 结 语	(54)
第三章 半导体材料, 电子射线材料	
1 半导体和光电转换	齐藤富士郎 (58)
1.1 半导体中光和电子的相互作用	(58)
1.2 通过 pn 结的光电转换过程	(62)
2 发光材料	(65)
2.1 化合物半导体的禁带宽度, 晶格常数与成分间的关系	(65)
2.2 化合物半导体的折射率和色散参数	(71)
2.3 化合物半导体的热导率	(74)
2.4 化合物半导体混晶的溶混性 (miscibility)	(75)
2.5 半导体激光材料	(76)
2.5.1 长波段光通信用半导体激光材料	(78)
2.5.2 短波段光通信用半导体激光材料	(80)
2.5.3 可见光波段用半导体激光材料	(80)
2.5.4 远红外波段用半导体激光材料	(82)
2.6 发光二极管材料	(83)
2.6.1 $\text{GaP}_{1-x}\text{As}_x$	(84)
2.6.2 GaP	(85)
2.6.3 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$	(85)
2.6.4 GaN	(85)
2.6.5 SiC	(86)
3 吸光材料	(86)
3.1 吸光材料和吸光波长区	(86)
3.2 半导体的电离系数	(87)
3.3 光电二极管(PD)和雪崩光电二极管(APD)材料	(89)
3.3.1 0.85 μm 波段~可见光波段用 PD/APD 材料	(89)
3.3.2 长波段光通信用 PD/APD 材料	(90)

3.3.3	远红外区用 PD/APD 材料	(91)
3.4	光电导型光检测器材料	(92)
4	非晶硅半导体	並河 洋 (93)
4.1	前 言	(93)
4.2	制备方法	(94)
4.2.1	辉光放电方法 (glow discharge deposition)	(94)
4.2.2	反应溅射法 (reactive sputtering)	(94)
4.2.3	化学气相淀积法 (chemical vapour deposition)	(94)
4.3	结构与性能	(94)
4.4	应 用	(97)
4.4.1	太 阳 电 池	(97)
4.4.2	感 光 材 料	(98)
5	光记录材料	(98)
5.1	硫族化合物玻璃	(98)
5.1.1	结构和性能特点	(98)
5.1.2	光感生效应及其应用	(99)
5.2	光色玻璃	(102)
5.2.1	类型和特性	(103)
5.2.2	应 用	(104)
6	高亮度电子射线发射材料	熊代 幸伸 (104)
6.1	LaB ₆	(105)
6.2	其 它	(107)

第四章 超导材料

1	超导现象和磁场	橋本康男 (117)
1.1	超导现象的发现	(117)
1.2	超导体的磁性	(118)
1.2.1	理想抗磁体	(118)
1.2.2	第一类超导体和第二类超导体	(118)
1.2.3	第二类超导体的临界特性	(119)
2	高临界温度材料	(121)
2.1	超导体的电子状态	(121)
2.1.1	BCS 理论	(121)
2.1.2	G _L AG 理论	(122)
2.2	上临界场	(123)
2.3	强临界磁场材料	(123)
2.3.1	NbTi 系合金	(123)
2.3.2	A15 型化合物	(124)

2.3.3 Chevrel 相化合物	(125)
2.4 高临界电流密度材料	(125)
2.4.1 临界电流密度与钉扎	(126)
2.4.2 超导稳定化与交流损失	(127)
2.4.3 合金系材料	(130)
2.4.4 化合物系材料	(132)
3 超导磁体	(136)
3.1 磁悬浮列车	(136)
3.2 超导交流发电机	(138)
3.3 核聚变反应堆	(139)
4 约瑟夫逊 (Josephson) 效应元件	高田 進 (141)
4.1 约瑟夫逊效应	(141)
4.2 计算机元件	(145)
4.3 电磁波检测元件	(147)
4.4 约瑟夫逊标准电压元件	(149)
4.5 SQUID 检测元件	(150)
第五章 超声波振子材料 田村 幸三	
1 前言	(155)
2 超声波的各种特性	(155)
2.1 波的种类及波长	(155)
2.2 传播及衰减	(156)
2.3 反射及透射	(157)
2.4 动力功能	(157)
3 超声波发生元件用材料及其特性	(157)
3.1 磁致伸缩振子及其所用材料	(158)
3.2 压电振子、电致伸缩振子及其所用材料	(159)
3.2.1 单晶材料	(160)
3.2.2 强介电陶瓷材料	(160)
3.2.3 高分子压电材料	(161)
4 超声波振子用材料及其特性	(163)
4.1 对振子材料的要求	(163)
4.1.1 用作发射器的压电材料 (电能→机械能转换元件)	(163)
4.1.2 用作接收器的压电材料 (机械能→电能转换元件)	(163)
4.1.3 以频率为标准的压电材料 (电能→机械能→电能)	(163)
4.2 对超声波换能器的要求	(163)
5 在超声波传感器上的应用	(164)
5.1 超声波振子的种类和形状	(164)

5.2	超声波换能器的结构和特性	(165)
6	结束语	(165)
	第六章 形状记忆合金	本间 敏夫
1	晶体相变与形状记忆机制	(167)
1.1	形状记忆效应	(167)
1.2	马氏体型晶体相变	(168)
1.3	产生形状记忆效应的机制	(171)
2	形状记忆效应在工业上的应用	(173)
3	形状记忆效应在医学中的应用	(176)
4	Nitinol 热力发动机	(176)
	第七章 减振合金	藤田 隆 天野 景隆
1	前言	(180)
2	减振机制	(181)
3	减振合金的种类和特点	(182)
3.1	复合型减振合金	(183)
3.1.1	片状石墨铸铁	(183)
3.1.2	可轧片状石墨铸铁(RFC(Rolled Fraky Graphite Cast Iron))	(183)
3.1.3	减振钢板	(183)
3.2	李晶型减振合金	(184)
3.2.1	Mn-Cu 系减振合金	(184)
3.2.2	钛镍合金(Nitinol)	(185)
3.3	位错型减振合金	(185)
3.4	铁磁性型减振合金	(185)
3.5	其它(晶间腐蚀型减振合金)	(185)
4	减振合金的应用	(186)
4.1	减振合金的传递损失和在消音罩上的应用	(186)
4.2	减振合金的振动发声特性	(187)
4.3	减振合金的动态刚性	(188)
5	减振合金的今后发展方向	(190)
	第八章 硬质材料	深津 保 膳村 祐次
1	前言	(192)
2	硬质合金及涂层	(193)
2.1	概要	(193)
2.2	硬质合金的制法	(193)
2.3	硬质合金的性质	(194)
2.3.1	WC 系硬质合金	(194)

2.3.2	TiC系金属陶瓷	(196)
2.4	硬质合金的应用	(197)
2.5	有涂层的硬质合金	(199)
3	精细陶瓷	(201)
3.1	概 要	(201)
3.2	陶瓷的烧结技术	(201)
3.2.1	常压烧结法	(202)
3.2.2	热 压 法	(202)
3.2.3	热等静压烧结法(HIP)	(203)
3.2.4	反应烧结法	(203)
3.2.5	化学气相沉积法(CVD)	(204)
3.3	陶瓷的特性和用途	(204)
4	超高压合成和烧结材料	(206)
4.1	概 要	(206)
4.2	产生超高压的技术	(207)
4.3	超高压合成	(208)
4.3.1	触 媒 法	(208)
4.3.2	直接转变法	(209)
4.4	超高压烧结体	(210)
4.4.1	金刚石烧结体	(210)
4.4.2	CBN(WBN) 烧结体	(211)
4.5	金刚石及CBN的气相生长	(212)

第九章 超耐蚀材料

橋本 功二

1	前 言	(215)
2	高耐蚀非晶态合金	(215)
2.1	耐蚀性	(215)
2.2	高耐蚀性的原因	(218)
2.2.1	钝态——保护膜	(218)
2.2.2	钝化速度	(219)
2.2.3	化学均匀性	(219)
2.3	耐局部腐蚀性	(221)
3	耐蚀材料的展望	(222)

第十章 储氢合金

佐佐本靖男

1	前 言	(225)
2	储氢原理	(225)
2.1	金属与氢气生成金属氢化物的反应	(225)
2.2	活化处理与表面的影响	(228)

3	储氢合金的应用	(229)
3.1	储氢	(229)
3.2	储氢以外的功能及其应用	(229)
4	未来展望	(231)
5	结束语	(232)

第十一章 超细粉末金属和陶瓷的制备方法及其特性 阿部 惇

1	对超细粉末材料的评价	(236)
2	用气相法制取各种超细粉末	(237)
2.1	利用气体中蒸发法制取超细粉末	(237)
2.2	用 CVD 法制取超细粉末	(238)
3	粒径, 粒径分布及组成的控制方法	(239)
3.1	粒径的控制	(239)
3.2	粒径分布的控制	(240)
3.3	组成的控制	(242)
4	超细粉末的特性及其应用	(243)
4.1	红外敏感件	(244)
4.2	选择吸收膜	(245)
4.3	超细粉末多功能敏感件	(245)
4.4	磁带	(246)
4.5	其它	(247)

第十二章 非晶态合金、非晶态半导体和非晶态绝缘体的制法及其特性 铃木 谦爾

1	非晶态固体结构的特征及分类	(249)
2	结构弛豫与物性变化	(252)
3	快冷凝固法	(253)
4	气相淀积法	(256)
4.1	真空蒸镀法	(256)
4.2	溅射淀积法	(257)
4.3	离子镀膜法	(258)

第一章 功能金属材料的重要性

竹内 荣

1. 新材料的出现改变了文明发展的方向

人类根据长期的体验创造了冶金术，用天然矿石冶炼出金属。人类开始使用武器和生活用具的历史是很早的。公元前六千年在西亚已经出现铜制品，公元前三千年就有添加锡的青铜合金。由于青铜熔点低，铸造性能好，它作为制造武器、生活用具以及生产工具等物品的材料，曾大显身手，形成所谓青铜时代，在文明史上起了重要作用。用铁代替青铜是在相当晚的时候才开始的。公元前一千五百年人类发明了借助风箱，用木炭在高温下还原优质铁矿石，并在半熔状态下进行锻造的方法。这样制取的铁，即使长期放置在大气中也基本上不生锈，它具有和青铜不同的金属光泽，机械强度高。而且延展性和加工性能适宜。由于铁具有比青铜更好的性能，所以，它除用于制造武器外，还可用作结构材料和制造器具等。手里掌握铁的民族征服了其他民族，在冶金术、文字、宗教、艺术等方面也都有很显著的成就。

到了十七世纪炼铁趋向大型化，在中世纪欧洲出现了高炉。燃料还原剂由木炭改为煤炭，从十八世纪开始又进而改用焦炭，以焦炭为燃料的炼铁术在欧洲得到推广，高炉的规模逐渐扩大，产量也随之增加了。

人类根据长年积累的许多经验和观察而创造出来的冶金术，从十八世纪到十九世纪终于纳入了以分子论为基础的近代化学体系。十九世纪确立了电磁学的基础，分子物理学和热力学有了很大的发展。

当钢铁在高温下也具有高强度这一事实被发现之后，便出现了用钢铁作结构材料，将蒸汽的热能转变为机械能的蒸汽机。在此以前，人类所用动力主要靠人力和畜力。有了蒸汽机后，人类开始掌握了人工产生机械动力，开动机械装置进行大生产。这给人们的思想和社会结构带来了巨大的变革，于是发生了十九世纪的产业革命，掀起了现代机械文明的巨浪。

另外，将化学能转变为电能的电池也开始问世。关于电的许多实验表明：很多金属是电的良导体；电流会产生磁场；铁、钴、镍及其合金等能在此磁场中磁化，成为同磁铁一样的磁体。对于一直作为结构材料使用的金属合金，人们以往仅仅注重其机械强度和延展性，这时也开始认识到它还具有与此完全不同的另外一种功能特性。以这些属于电的良导体或磁体的金属合金所具有的功能特性为基础，借助电磁感应现象，创造出了变机械动力为电力的发电机；变电力为机械动力的电动机等。将蒸汽的热能和水力能的动力转变为电力加以输送和利用，就变得更加容易实现了。这样，以蒸汽机为开端的机械文明完成了进一步的新的飞跃。同时还发现了热电子现象，即钨等金属的细丝在真空中通电加热后可以放出电子。进入二十世纪后，人们利用这个现象开发了二极管和三

极管等电子管，使电压放大，整流或电波发射成为可能。以此为基础发展了电子电路理论，电磁波的发射和接收事业有了进展，出现了收音机。

这样，从十九世纪到二十世纪，围绕着金属所具有的功能特性，新的原理不断发现，并用于开发新的工业技术，机械文明向着前所未有的新方向发展了。这样的新发展涉及到工业的各个方面，它一直延续到大战后的一段时间。在这期间，固体物理学也逐渐发展，应用量子力学来阐明固体结晶的电子结构理论得到进一步的充实，以能带结构理论的观点使金属、半导体、绝缘体晶体的电子态得到统一的论述。这样，在论述晶体所显示的电学、磁学和光学功能特性时，就没有必要将晶体内原子间的结合状态不同的金属、半导体和金属化合物加以区别。以这些物质制成的功能金属材料的特性便可以用能带结构理论统一地加以处理了。在这种背景下，由于弄清了金属、半导体和金属化合物等的各种物性理论，使制造缺陷极少的高纯晶体的技术有了进步。用区域熔融提纯等方法制成的硅、锗等半导体晶体的纯度可高达 99.9999999% 以上。根据能带结构理论，这些半导体的功能特性显著地受所含杂质的影响，所以要进行提纯。与此同时，又发展了用扩散和离子轰击等方法，人为地注入三价或五价微量元素的技术，这样也就有可能在很大范围内任意控制一个单晶内的传导电子密度或空穴密度。用这种技术创造出了 pn 结型半导体元件（晶体管），它和三极电子管电路一样，也能执行放大、整流、广播等职能。其最大优点是：耗电省（约为电子管的 1/1000），工作电压低，抗冲击，不需要抽真空，可以做成具有半永久性寿命的小型、薄型等器件。所以三极电子管电路逐渐淘汰，几乎所有电子仪器都采用了半导体元件。从而不仅使仪器更加小型化，而且其性能也更佳。另外，为了取得更大的矫顽力，根据磁性金属、磁性氧化物等磁体的磁化机制，发展了制造单一磁畴结构的超微粒子磁体的技术。由于这些超微粒子磁体能够作为高密度信息信号的记忆元件和记录元件，故被用来制造磁带。这与半导体晶体管结合在一起，就创造出了电子计算机。由于对计算机性能要求逐渐提高，促使半导体硅的大型单晶板制造技术不断改进，使利用这种单晶板制作晶体管集成电路的高度精密加工法不断发展，集成电路从 LSI 向超 LSI 发展，出现了大容量高速电子计算机。与此同时，由超 LSI 组合的微型计算机几乎渗透到所有产业领域，它在提高生产率和业务管理效率等方面起重大作用的时代已经到来。

这样，从十九世纪到二十世纪，随着科学的发达，已发现了许多新现象。利用这些新现象创造出新的技术，大大地推进了机械文明。到了二十世纪后半期，科学的发展提高了设备的精密度，创造出具有特异功能的材料，由于它的推广应用而产生的新技术，也改变了原有文明的方向。

如今，科学发展迅速，分科越来越细，从这种情况来看，今后在原理上要有新发现，除了遗传工程等一两个领域以外，几乎是没有什么希望的。今后新技术的发展应从深入探讨材料的分子、电子结构以及材料在各种环境下所显示的特性开始，创造出前所未有的新的特殊功能材料。为此，应该研究在什么物理状态下，材料才能最大限度地发挥其功能特性。当然，要控制组分，此外，还要使之具有高纯度、呈完整结晶状态或相反地呈非晶态，有时还要使之呈薄膜、超微粒子等极端状态。

2. 支撑二十一世纪文明的功能金属材料

人们常说,推进二十一世纪文明必不可少的支柱是新能源、电子学和工业材料。这就是说,人们希望随着金属合金、半导体、电介体和超导体等功能金属材料物性研究的进展,能随之创造出具有各种各样功能的材料,并不断发展其工业应用。

作为二十世纪文明基础的能源大部分靠地下资源,但由于这些资源在地球上分布不均、贮量有限等原因,供应的不稳定日趋严重,又有公害的问题。支撑二十一世纪文明的能源,必然要被无上述不稳定性和无公害的能源所代替。在这一点上,人们寄希望于核聚变、氢燃料和太阳能。

为了实现核聚变,要有封闭等离子体所必需的大型超导磁体。这就有赖于发展具有高临界磁场强度 H_{c2} 、高临界电流密度 J_c 以及高临界温度 T_c 的超导磁体线材。为了产生强磁场,就需要有高 H_{c2} 的材料。作为超导磁体线材,已在实际应用的有合金 Nb-Ti-Ta ($H_{c2} \approx 10^7$ A/m)。对于合金则要求缩短电子的平均自由程,另外,即使遭受中子辐照也不会发生转变。为此希望研究非晶态合金的超导材料。以过渡金属为主体的金属间化合物,有 B-W 型 (A-15 型) 晶体结构的 Nb_3Sn 、 Nb_3Ga 等,其 $H_{c2} \approx 1.7 \times 10^7$ A/m,还有最近发现的 Mo_3S_4 基三元化合物 (Chevrel 相化合物),其中有的 $H_{c2} \approx 5.6 \times 10^7$ A/m (700 kG)。 J_c 值关系到线材的电流容量,为了有效利用超导线材,必须使材料具有高 J_c 。为了取得高 J_c ,希望发展这样的一种生产超导材料的技术,它能够消除材料内部产生的磁通线 (滑线) 移动等而引起的不稳定性。必须使材料具有高临界温度 T_c , Nb_3Sn 的 T_c 为 18K, Nb_3Ge 的 T_c 为 23K,如能发现 T_c 值比此更高的材料,则超导材料的应用将有飞跃的扩展。

以无公害能源氢作燃料,尚须解决两个问题:水的低成本分解方法和氢的安全储存及运输。就后一问题而言,储氢合金的开发是关键。能在较低的温度下吸储大量的氢,而稍微提高温度就可以放出氢气的合金有许多种, $LaNi_5^*$ 、TiFe 等是典型的例子。这些合金所吸收的氢凝成液体后,体积比合金本身还要大,且不会在常温下放出,所以便于储存和运输。这些合金晶体在反复多次吸氢和放氢后便成为细粉末。非晶态合金 Zr-Ni、Cu-Ti 等也很容易吸收氢,其特点是反复吸氢和放氢后,仍能保持原状而不粉化,故有发展前途。

利用太阳能的方法之一是发展太阳电池。其中用单晶硅半导体制作的小型太阳电池,已经得到实际应用。欲得到工业用大功率太阳电池,则要求有更大受光面积的硅晶板。因其成本太高,所以希望发展比单晶更容易制造和更便宜的薄膜状非晶态硅半导体。由于非晶硅对于波长在 500nm 左右 (即辐射能量分布峰附近波段) 的太阳能的吸收系数要比晶体硅约大一个数量级,所以非晶硅薄膜很适于做太阳电池元件,但其光电转换效率却较晶体硅低。对此,正在进行研究改进。

目前用在电子工业中的半导体元件,是组装成 pn 结集成电路的硅单晶板。不过,

* 原文为 La_5Ni ,疑有误——译者注。

作为半导体,除了硅之外还有许多化合物半导体,其中有许多适于作光电互换元件。随着以 GaAs, GaP 等为基础的, II—VI 族、III—V 族的二元系、三元系、四元系化合物的电子结构和特性研究的进展,关于场致发光二极管、pn 结型半导体激光、能充分发挥光像放大功能的化合物半导体晶体等的开发已有一些成就。另一方面,用分子束晶体生长法,已在较低的温度下取得了厚度均匀的晶体膜,异质结合也已成为可能。这样,长寿命连续振荡半导体激光材料 (GaAlAs, GaInAsP 等) 的实际应用也有所进展。在这种背景下,光电子学方面的各项研究得到了显著的进展。最近已经能以工业规模制造低损耗的石英系光导纤维。光放大半导体的开发也取得了进展,用这些材料以激光进行远距离通讯的应用试验即将开始。

用同为 VI 族的硫族元素 (S, Te, Se) 代替普通氧化物玻璃中的氧面制成的硫族玻璃,是光记录材料*,叫做硫族化合物非晶半导体。它不同于硅和锗,因为有孤电子偶和二配价键,故具有柔软性结构,有适当的、状态可以改变的势垒,结构的自由度大,所以在受到光辐照时,其物性会发生特异的变化。它是可能在许多工业上得到应用的材料。例如,Ge-Te-X (X: As, Sb, S) 型的硫族化合物薄膜用激光进行局部照射时,该局部便晶化。用吸收端附近的光照射 As-Se-S-Ge 系非晶态物质,则吸收端向波长较长的一侧偏移,产生变暗现象。将被辐照部分加热或以波长更长的光辐照时,它又回到原始状态。在这种情况下,受光辐照部分的折射率等性质发生显著的变化。由于它有这种特性,所以它作为大容量的光存储元件或图像记录元件(高分辨微胶片等),将有所发展。

磁体和半导体一样,是今后支撑高度文明的支柱之一,所以可望有很大的发展。磁体需要具有高矫顽力,磁芯材料需要有低矫顽力,即高磁导率。两者性质极端不同,这是它的特征。这两者都具有磁矩越大,磁通密度越高,则性能越好的特点,所以希望磁体要有高磁通密度。稀土金属的磁矩最大可达 $7\mu_B$, 所以提高它的磁通密度的技术已引起人们的重视。最近开发的稀土金属和过渡金属的化合物 SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 等的磁性虽有很大的提高,但尚未达到理想的程度。有希望作为接近理想的一种方式: 使不具有反磁化根源的磁畴壁的,也就是单一磁畴状态的超微粒子,即 $1\mu\text{m}$ 以下的针状超微粒子,从磁的角度得到高密度排列。为此目的,正在探索各种方法。另一方面,为了提高输电变压器或通讯仪器的性能,则要求磁芯磁导率高,易于磁化。为此应尽量减少材料的不均匀性,使磁畴壁易于迁移,这样就有可能控制非晶态磁性合金的组分,使其磁致伸缩系数和磁性的各向异性常数同时接近于零,从而成为高磁导率材料。非晶态磁性合金具有高硬度和高弹性以及优良的耐磨性,适于做磁记录用磁头材料。关于录音、录像和电子计算机用信息的储存等,今后将越来越朝着高密度、高速度方向发展。要提高这些设备所用的磁带的存储密度,则制磁带的磁性层用的单一磁畴合金微粒,须有高矫顽力及高磁通密度。这样的录音磁带正在开发之中。另外,由稀土元素原子和铁族元素原子组成的非晶态磁性合金 (CdCo , CdFe 等) 薄膜,可以用溅射法制取。同磁性石榴石单晶薄膜一样,这种合金薄膜具有与膜面垂直的磁各向异性。通过向垂直于膜面的方向上施加

* 原文为电学上的半导体,但根据本书第三章,它属于光记录材料——译者注。