

尖端材料

〔日〕堂山昌南 编
山本良一

邝心湖 等译
陈金阁 校

電子工業出版社

内 容 提 要

本书分上、下篇两部分，共二十章。上篇以电子材料和高分子材料为主，叙述了超大规模集成电路、无定形半导体、电子陶瓷、光电材料、超导材料、功能性玻璃、工程塑料、功能性高分子。下篇以金属材料 and 陶瓷为中心，叙述了非晶金属、结构陶瓷、形状记忆合金、储氢金属、聚乙炔、复合材料和核反应堆材料。

本书可供从事电子材料、电子元器件以及有关专业的科研人员、技术工人参考。

尖 端 材 料

〔日〕堂山昌南

山本良

编

郎心湖 等译

陈金阁 校

责任编辑 晓耕

电子工业出版社出版（北京海淀区万寿路）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市密云卫新综合印刷厂印刷

开本 787×1092毫米1/32 印张 10.125 字数 226千字

1987年7月第一版 1987年7月第一次印刷

印数 1—4000册 定价 2.05元

统一书号 15290 503

ISBN7-5053-0032-6/TP6

目 录

上 篇

第一章 新材料革命

- 1.1 材料革命高潮兴起的背景 (1)
- 1.2 材料革命对主要产业的影响 (4)
- 1.3 材料技术的研究方向 (11)

第二章 超大规模集成电路

- 2.1 大规模集成电路的历史回顾 (18)
- 2.2 大规模集成电路概论 (21)
- 2.3 大规模集成电路用的材料和工艺技术 (24)
- 2.4 结束语 (33)

第三章 无定形半导体的基础

- 3.1 何谓无定形半导体 (34)
- 3.2 无定形结构 (34)
- 3.3 能带 (36)
- 3.4 安达逊定域和电子跳跃传导 (38)
- 3.5 低温热特性 (39)
- 3.6 结束语 (41)
- 参考文献..... (42)

第四章 无定形半导体的应用

- 4.1 无定形硅 (a-Si) (43)
- 4.2 硫属元素无定形半导体 (48)
- 参考文献..... (52)

第五章 电子陶瓷

- 5.1 陶瓷技术和电子设备 (53)

5.2 电子陶瓷的特征	(55)
5.3 利用晶粒间空域特性的电子陶瓷	(57)
5.4 晶粒界区的结构、状态和作用	(61)
5.5 对电子陶瓷的要求	(63)
参考文献	(65)

第六章 光电材料

6.1 序言	(66)
6.2 发光材料	(66)
6.3 光电检测器材料	(72)
6.4 集成光学材料	(74)
6.5 材料制作技术	(75)
6.6 结束语	(78)
参考文献	(79)

第七章 超导材料

7.1 序言——超导材料的可能性	(80)
7.2 超导材料的研究课题	(83)
7.3 超导材料的开发方法	(90)
参考文献	(99)

第八章 功能玻璃

8.1 序言	(100)
8.2 新型玻璃组分	(101)
8.3 新型钢化玻璃	(109)
参考文献	(112)

第九章 精细聚合物

9.1 序言	(113)
9.2 高分子材料的固体结构和高性能化	(114)
9.3 高性能高分子材料	(117)
9.4 高性能的成形加工法	(126)
9.5 用作工程塑料的高性能高分子材料	(130)

9.6 结束语	(134)
参考文献	(134)
第十章 生物功能材料	
10.1 序言	(135)
10.2 酶和生物膜	(136)
10.3 人工酶	(137)
10.4 生物反应物	(138)
10.5 人工生物膜	(139)
10.6 医用材料	(142)
10.7 硬组织材料	(144)
10.8 人工内脏器官	(148)
10.9 高分子药物	(149)
10.10 人工血液	(150)
参考文献	(150)

下 篇

第一章 材料开发现代史

1.1 四十年代 (1945~1955年)	(151)
1.2 五十年代 (1955~1965年)	(15)
1.3 更新换代时期	(154)
1.4 材料科学时代	(155)
1.5 其他材料问题	(158)
1.6 总结过去, 展望未来	(160)

第二章 非晶态磁性材料

2.1 序言——非晶态磁性材料的定义	(165)
2.2 制造方法	(167)
2.3 特点和应用的的可能性	(171)
2.4 非晶态磁性材料的特性和应用	(173)

2.5 结束语	(185)
---------------	-------

参考文献	(186)
------------	-------

第三章 新型陶瓷

3.1 序言	(187)
--------------	-------

3.2 用作耐热高强度材料的新型陶瓷	(188)
--------------------------	-------

3.3 采用热等离子体合成陶瓷微粉体	(193)
--------------------------	-------

3.4 采用混合等离子体合成 Si_3N_4 超微粒	(202)
--	-------

3.5 热等离子法和激光法的比较	(205)
------------------------	-------

3.6 结束语	(207)
---------------	-------

参考文献	(208)
------------	-------

第四章 形状记忆合金

4.1 序言	(209)
--------------	-------

4.2 形状记忆功能和滞弹性机理	(211)
------------------------	-------

4.3 材料科学中的各种问题和研究现状	(215)
---------------------------	-------

4.4 形状记忆合金的破坏机理	(224)
-----------------------	-------

4.5 细粒化技术	(226)
-----------------	-------

4.6 存在的问题	(228)
-----------------	-------

参考文献	(230)
------------	-------

第五章 储氢金属

5.1 金属氢化物的能量储存、转换功能	(231)
---------------------------	-------

5.2 金属中氢的密度	(231)
-------------------	-------

5.3 金属-氢系的相平衡	(232)
---------------------	-------

5.4 氢在金属中的位置及其最大吸留量	(235)
---------------------------	-------

5.5 金属与氢的结合	(236)
-------------------	-------

5.6 金属氢化物的热力学	(238)
---------------------	-------

5.7 储氢合金的探索	(239)
-------------------	-------

5.8 金属氢化物的应用问题	(243)
----------------------	-------

5.9 结束语	(244)
---------------	-------

参考文献	(244)
------------	-------

第六章 合成金属的基本原理

6.1 合成金属的定义及其特征	(245)
6.2 TTF-TCNQ(培叶尔斯转移与电荷密度波)	(248)
6.3 聚乙炔(化学掺杂与苏立顿传导)	(252)
6.4 其它合成金属(二维性)	(255)
6.5 结束语	(256)
参考文献	(256)

第七章 合成金属的应用

7.1 序言	(257)
7.2 聚乙炔类	(257)
7.3 聚噻二唑[(SN) _x]	(261)
7.4 层间化合物	(262)
7.5 钙钛矿型氧化物	(266)
7.6 钨青铜	(267)
参考文献	(269)

第八章 复合材料

8.1 序言	(270)
8.2 增强用纤维	(272)
8.3 FRP(纤维增强塑料)的特点	(274)
8.4 FRM(纤维增强金属)的特点	(280)
8.5 FRC(纤维增强陶瓷)的特点	(285)
8.6 复合材料的用途	(286)
8.7 结束语——复合材料的课题	(288)
参考文献	(290)

第九章 超高压合成物质

9.1 cBN(立方晶体氮化硼)	(291)
9.2 金刚石	(294)
9.3 超高压技术	(297)

参考文献.....	(300)
第十章 原子反应堆、热核反应堆材料	
10.1 序言	(301)
10.2 中子照射损伤.....	(302)
10.3 对后备材料的评价.....	(304)
10.4 研究开发的课题.....	(307)
10.5 结束语.....	(311)
参考文献.....	(312)

上 篇

第一章 新材料革命

1.1 材料革命高潮兴起的背景

1.1.1 人们对材料的高度关心

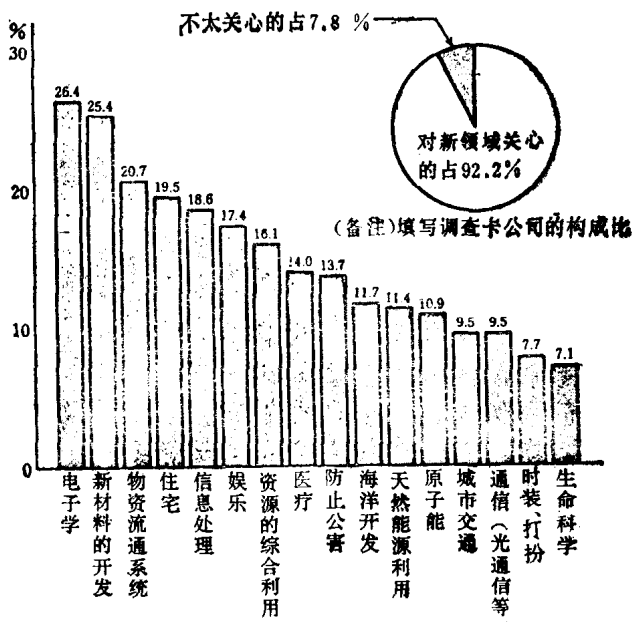


图1.1 今后人们在经营战略上所关心的新领域(占写调查卡的公司数的比例。因每个公司回答数个项目,故合计百分数超过100,共有1021个公司的调查卡。经济计划厅《企业的意识和行动》,1981年版)

材料革命高潮兴起的两个原因 人们对材料的关心正急剧高涨。“新材料革命”等有关材料的书籍也很畅销。其原因有二：一是材料开发已成为新技术革命能否成功的关键。为了使社会突飞猛进地发展，新产品的开发无论如何也是不可缺少的，因此，材料革命当然是令人关注的。另一个原因是，很久以来材料领域，没有象今天这样繁荣，接连不断地出现重要的新材料。

对企业的调查 事实已经证明，材料对企业来说是最重要的技术领域之一。日本经济计划厅对各种制造业进行了调查，了解企业“在今后的经营战略上所关心的领域”。其结果示于图1.1。

从图中可以清楚地看出，制造业对各个领域关心的程度如下：第一是电子学，第二是新材料的开发，第三是信息处理。随后是资源的综合利用、海洋开发、天然能源和原子能。作为生物工程基础的生命科学排在较后的位置上。

新材料和电子学并列为制造业两大研究开发目标，这是十分清楚的。而对非制造业来说，兴趣稍稍不同，他们对物资流通系统、住宅和娱乐方面比较关心。

1.1.2 政府的尖端技术研究开发课题

工业技术院下一代的基础技术 日本科学技术厅和通产省，工业技术院的国家计划，如果说过去是以大型计算机、飞机、航空、原子能和宇宙开发等大型系统为中心，那么最近则在材料和元器件等基础技术的开发方面投入了大量资金。大约三年前，就把表1.1所示的新材料开发课题列入了计划，其中有几项已经实现。

1981年9月，通产省工业技术院的下一代产业基础技术开发规划开始实施。对这些课题一般都十分关心。具体的项目，

表1.1 通产省基础技术新材料的开发课题

代表性技术 或开发对象	主 要 特 点	主要应用领域	与经济社会 活动的关系
· 精细陶瓷	克服现有陶瓷脆、加工性和 粘合性差等缺点的超耐热、 高强度、高精度材料	各种热机、航空与 航天用材料	· 节能和节约金属 资源
· 高性能、高 分子材料	高性能塑料的总称		
· 高效率分离 膜材料	具有高选择过滤性，接近生 物的混合物分离功能材料	分离·提纯	· 实现无公害、节 能、省空间的化 学工业
· 导电材料	导电性（在一定条件下为超 导性）与金属相同的材料	海水淡化，各种电 气设备的配线，输 电馈线	· 解决水资源问题 · 节约铜、铝资源 · 节能（超导的场 合下）
其 他	强度接近金属的材料与弹性 接近橡胶的材料 用于生物不产生异体排斥反 应的材料	各种结构材料 医用材料	· 节约天然资源 · 更加充实医疗领 域
· 金属材料			
· 超导合金	加工性·耐腐蚀性优良的超 导合金 常温下就显示出目前只有在 接近绝对零度（约-273°C） 的超低温下才能出现的超导 性的合金	超导输电 核反应堆 磁悬浮式铁路	· 节能 · 从根本上解决节 能的局限性
· 高性能结晶 控制合金	由于金属结晶组织控制技术 的提高，韧性等机械强度和 耐热性大幅度提高的合金	飞机、宇航、能源 等有关工业	· 节约金属资源 · 节能
· 复合材料	根据使用目的，由金属、塑 料等性质不同的材料组合而 成的材料	各种结构材料	· 节约金属资源 · 节能（轻量化）

资料来源：1982年 通商白皮书

除新材料以外，还有生物工程和新功能器件，十年内计划投资1040亿日元，这是全部经费由国库负担的国家项目。

项目的特点是，按实际研究专业范围分别设立技术研究联合体和研究协会，各个项目分别设统筹部长，进行长期连续的调查研究。

科学技术厅的创造性科学技术 科学技术厅也和通产省一样，对材料、元器件等基础技术的发展很重视。1981年度，计划用33亿日元推进表1.2所列课题的研究。这些课题是：超微粒子，特殊结构物质，精细聚合物和完美晶体器件，全部是基础课题，采用流动研究员体制。

表1.2 科学技术厅“创造性科学技术发展”课题

	项 目	内 容
1	超微粒子	原子数为10~100个的极微粒子，催化剂、过滤材料、磁性材料和电气材料等的应用
2	特殊结构物质	无定形（非晶）材料，层状化合物，非平衡化合物等新材料的可能性
3	精细聚合物	功能性高分子，医用，催化剂，酶的活性，离子传导和光特性等的研究开发
4	完美晶体器件	无位错完美晶体，下一代器件——静电感应晶体管等的开发，以及晶须的研究

1.2 材料革命对主要产业的影响

1.2.1 对汽车产业的影响

材料革命对主要产业会产生什么样的影响呢？这里打算列举具体的实例加以说明。所列举的产业是汽车，能源，信息和机械四个领域。

首先叙述对汽车产业的影响。汽车技术开发的目标是节能，从发动机和车体两方面着手研究。

梦寐以求的陶瓷发动机 汽车产业是日本的主要产业，但在汽车的生产技术中，还没有值得特别提出的划时代技术。最近，由于能源枯竭和价格飞涨的冲击，技术上才开始变革。

作为汽车的新材料，首先应当提出的是“发动机用陶

瓷”。要提高发动机的功率，关键是开发耐高温燃烧的发动机。陶瓷是烧结物，其特点是耐高温。由于高温工作发动机的制造成功，因此不再需要冷却装置。与原来的往复式发动机相比，节约燃料30%左右。据报道，1982年，京都陶瓷公司研制的“陶瓷发动机”汽车已经进行了行车试验。

陶瓷发动机的研究正在各研究所中进行，例如丰田公司中央研究所制成了以氮化硅为主体的陶瓷，在1250℃下弯曲强度为100kg/mm²。发动机用的陶瓷材料几年来飞跃地发展，不过实用化时，还要考虑大量生产时产品的可靠性和价格问题。

陶瓷化首先从柴油机的汽缸、活塞等开始，预计八十年代后期可以实用化。

作为材料，有氮化硅、碳化硅等非氧化物陶瓷和氧化铝等氧化物陶瓷两种。氮化硅大约每克20日元，是现今汽车材料价值的200倍，但即使用一部分高价材料，如果燃料费减少，发动机体积减少，辅助零件减少，那么就算材料费较高，从整体来看也是合算的。

今后，除产品可靠性外，在加工、连接技术和检验技术方面，仍然存在各种必须克服的障碍。

强化塑料的出现 钢板一直占据着车身材料的宝座。然而钢板被塑料取代将是今后人们感兴趣的问题。

如果从美国每辆汽车塑料用量的预测来看，十年内大约增加五倍，塑料化的动向发展很快。当前正进行零件的塑料化，但根本问题是车身塑料化。也许有人认为，使用以石油等天然燃料为原料的塑料，从保护资源角度来看是不利的，然而实际上强化塑料的单位容积耗能量比铁少得多。美国的汽车产业界，为了实现政府规定的1985年燃料利用率“每公升

11.6km”的目标，正在拼命地努力。塑料化之所以引起人们的关注，原因是它能满足轻量化等要求。强化塑料“克鲁巴”也将被应用。

接近21世纪时，将会出现取代玻璃强化纤维的碳纤维强化塑料等高级材料。碳纤维强化塑料比铝轻，比铁坚实。波音767飞机已经开始使用碳纤维，每架飞机用1吨，今后的新型波音757飞机，每机用9吨以上，因此，大量生产这种材料的日子即将到来。

碳纤维是用丙烯纤维和沥青烧制而成的。在这个领域中，日本有希望成为技术水平最高、产量最大的国家。

1.2.2 对能源产业的影响

当前，对石油面临枯竭问题的议论还没有消失。但除了短暂的非常时期外，预计1985年以前，无论价格或者市场都不会出现危机。但是，由于中东纠纷等危机可能出现，所以从长远来看，摆脱对石油的依赖无论如何也是必要的，为此仍然要靠技术。作为能源的对策，要从节能和代用自然能源两方面着手。

非晶硅的出现 太阳能可以说是无限的，但它是分散的，密度较低。太阳的热能难以用于发电，充其量也只能对水加热。

已经发现的应用是“太阳能电池”。最初，用单晶硅切成薄片制造的太阳电池板价格昂贵。在制造太阳能电池中所消耗的能量，如果折合成电池能量，作为电池供日常使用，那么大概可用23年。

然而，无定形硅的诞生，可望大幅度降低成本。用原来的单晶材料，光吸收层需要200 μm 的厚度，但是用硅-氢-氟无定形材料时，由于吸收性能强，所以有1 μm 厚即可。预计

制作温度也将从1500余摄氏度降到30摄氏度，制造成本降到百分之一。

利用原来的单晶硅发电时，每千瓦的发电设备费用为1000万日元，而原子能发电为40万日元，火力发电只有18万日元，可见单晶硅发电成本高得惊人，根本无法实际利用。但是，如果用无定形硅则可降低2个数量级，这样就具有竞争能力了。

日本人口稠密，屋顶面积就占国土的5%，如果这些屋顶南侧三分之一的面积铺上硅器件，那么就可以大体上满足家庭和办公用电。

当实用化时，直流电的利用、储存多余电力、提高无定形硅器件的效率和防止老化等有待解决的问题很多。然而，由于价格大幅度降低，所以太阳能发电实用化时期将很快会到来。

非常理想的储氢合金 能源领域的下一次材料革命就是21世纪将会出现的所谓氢能源时代。氢气的特点是可以作为优良的介质，“储氢合金”是能够满足这样条件的一种材料。

因为氢气燃烧变成水，所以是无污染的，而原料可通过水分解而获得，因此又是无穷无尽的。如果能够降低分解费用和提高能源利用率的话，作为一种未来能源是很有希望的，氢气与电气不同，其优点是可以运输和储藏，可以在中东的沙漠地带制造，然后运来。运输技术是个关键问题，目前只能采用高压气瓶的“极低温液态氢”方法解决。

储氢合金是将氢原子溶入晶体的间隙内而形成的材料，所以，无需高压瓶储藏。储存氢气效率较高的材料有铁-钛合金，镁-镍合金等，但它们都存在反应速度慢、价格昂贵和

高温释放等问题。

目前，即使高性能合金，每克储存氢气量也只有200ml稍多一点，如果每克储存量超过500ml的话，那就可能出现氢气汽车。其开发工作的进展非常迅速。

对于能源技术的开发，材料的作用很大，涉及的面也很广。例如，用于电磁流体(MHD)发电和高温气体原子反应堆，深地热发电等。在这些方面，提高材料的水平就非常重要。新能源开发能否成功就决定于能否得到优质的耐热材料。这样说也并不过分。

1.2.3 对信息产业的影响

在所谓信息化时代里，信息的作用变得十分重要，从事信息工作的人数也在增加。

信息产业，据说将是下一代替代汽车产业的主导产业。随着社会信息需求量的增加，信息技术将获得惊人的进步。

处于革命时期的通信领域向信息化时代迈进要靠计算机、通信等信息技术的迅速进步，特别是要靠那些对各种产业都有巨大作用的集成电路和通信领域的光技术。光技术是突破“频率”极限的技术，这与激光器的进步密切相关。

激光是光的一种，是波长单一、相位相干的光，其波长比电波短3个数量级，所以传送信息量比原来的电波高1000倍以上。

光纤是取代铜的通信传输线，其发展速度之快并不亚于集成电路。日本各公司都在进行研究，但电电公社茨城通信研究所达到了世界最高水平。光纤由芯子和外层包皮组成，由于折射率不同，所以光反射后折回芯子。

就日本的技术水平来说，由于成功地开发了新的制造方法，从而赶上了美国的水平。在不到十年的时间里，性能提

高了3个数量级。材料是熔融石英等陶瓷系材料，所以与铜不同，根本上不用担心原料不足的问题。最近已经能够制造高性能的塑料光纤了。

硅以后的器件 目前的集成电路是硅固体器件，硅时代在今后还将继续保持一段时间。但特殊用途——例如在微波器件、发光二极管等方面，砷化镓开始崭露头角，其特点是速度快。目前的高速集成电路器件有砷化镓器件、高电子迁移率晶体管、以及约瑟夫逊器件，按顺序来说，砷化镓器件将首先实用化。

与硅比较，砷化镓频率响应快，耐热性能好。从硅到砷化镓，其发展经历了相同的道路。然而，在未来的集成电路中，将出现原理根本不同的约瑟夫逊器件，它将作为下一代计算机器件而受到极大的重视。

约瑟夫逊器件是在约零下273℃的极低温下，在电阻为零的超导金属间夹有极薄绝缘层的器件。

约瑟夫逊器件的耗电量不到硅器件的千分之一，所以，虽然极低温耗费的能量大一些，但从能够大幅度提高计算机容量和性能方面考虑仍然是有利的。

IBM公司在这一方面的研究工作已经持续了十多年，但最近则凝视着日本在砷化镓器件和高电子迁移率晶体管方面的研究工作，并有消息说该公司已放弃了约瑟夫逊器件的研究计划。

1.2.4 对机械产业的影响

所谓机械产业，其概念极广，在此我们将理解为从工业机械、重型电机到一般机械。

承担智能工作的“大规模集成电路，传感器”和肩负突破零电阻技术的“超导材料”是这个领域进步的关键。