

(日)一瀬升 编著
陈世兴 译
陈俊彦 姚治才 校

XIAN DAI TAO CI WEN DA

现代陶瓷问答

中国建筑工业出版社

代陶瓷问答

【日】一濑升 编著

陈世兴 译
陈俊彦 姚治才 校

中国建筑工业出版社

本书所讨论的主题是当今正在蓬勃发展的新型材料——现代陶瓷。作者在书中采用了图解及问答方式，使那些复杂的概念变得简单明了，容易理解。全书共分五章，第一章是关于陶瓷基础知识问答；第二章是关于结构陶瓷的问答；第三章是电子陶瓷问答；第四章是关于玻璃、光导纤维的问答；第五章是陶瓷新技术问答。

本书适于无机材料研究与开发工作的科技人员阅读，同时也可供使用无机材料的其它专业科技人员参考。

ファインセラミクス読本

一ノ瀬昇 編著

オーム社 1983

* * *

现代陶瓷问答

陈世兴 译

陈俊彦 姚治才 校

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市平谷县大华山印刷厂印刷

*

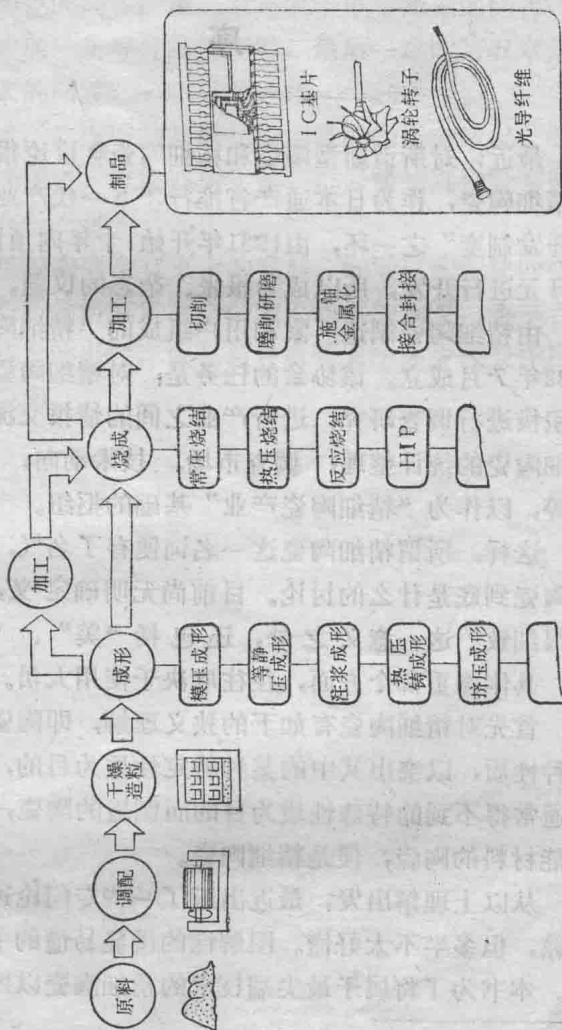
开本：787×1092毫米 1/32 印张：5⁹/₁₆ 字数：124 千字

1986年9月第一版 1986年9月第一次印刷

印数：1—5,700册 定价：0.88元

统一书号：15040·4994

现代陶瓷制造工艺图
(烧结陶瓷)



序

最近，对所谓新型陶瓷和精细陶瓷^①议论很多。特别是对精细陶瓷，作为日本通产省推行“下一代产业基础技术研究开发制度”之一环，由1981年开始，十年内预计约投资140亿日元进行开发，所以成为报张、杂志的议题。

由精细陶瓷制造厂家和用户组成的“精细陶瓷协会”于1982年7月成立。该协会的任务是：对精细陶瓷的制造和应用积极进行调查研究；进行产业之间的情报交流；负责有关精细陶瓷的统计整理；调查市场、技术动向；进行国际交流等，以作为“精细陶瓷产业”基础的枢纽。

这样，所谓精细陶瓷这一名词便有了名气，并引起了精细陶瓷到底是什么的讨论。目前尚无明确定义，除了含有“很细致”这一意义之外，还包括“美”、“精密”等意义，具体侧重哪个方面，往往取决于使用人员。

首先对精细陶瓷有如下的狭义理解，即陶瓷中本来具有各种性质，以突出其中的某种特定性质为目的，或以使其具有通常得不到的特殊性质为目的而制造的陶瓷，即所谓作为功能材料的陶瓷，便是精细陶瓷。

从以上理解出发，最近出版了一些专门论述精细陶瓷的书籍，但多半不太好懂。图解性的浅显易懂的书籍几乎没有。本书为了将属于最尖端技术的精细陶瓷以图解方式简单

^①新型陶瓷和精细陶瓷统称现代陶瓷——译注。

易懂地进行介绍而采用了问答形式。

本书内容：第一章是关于陶瓷基础知识的问答；第二章是关于结构陶瓷的问答；第三章是关于电子陶瓷的问答；第四章是关于玻璃、光导纤维的问答；最后一章即第五章是关于陶瓷新技术的问答。

如上所述，从陶瓷的基础知识到最近的研究情况，收入了大量具体的图表，以使读者了解、掌握精细陶瓷有哪些，它们都应用在什么地方。

将来，精细陶瓷会有更大的发展，随着这一专业的技术工作者和材料科学研究者对精细陶瓷理解的加深，本书若能对促进更新技术的出现，或在新材料开发中多少起些作用，作者将深感荣幸。

一濑升

1983年2月

目 录

第一章 关于陶瓷基础知识的问答	1
1-1 什么是陶瓷? 它与金属材料、有机材料有何不同?	1
1-2 何谓精细陶瓷?	3
1-3 陶瓷的晶体结构是怎样的?	6
1-4 陶瓷具有什么样的微观结构?	8
1-5 什么是陶瓷的晶界?	11
1-6 一般的陶瓷是多晶体, 这种多晶体是如何形成的?	13
1-7 陶瓷粉末是如何合成的?	15
1-8 陶瓷有哪些成形方法?	18
1-9 陶瓷有哪些烧结方法?	20
1-10 将陶瓷压粉体进行烧成为什么会变坚固?	22
1-11 什么是热压烧结?	25
1-12 何为热等静压 (HIP)?	27
1-13 何为化学气相沉积 (CVD)?	29
1-14 作为功能材料的陶瓷有哪些? 它们应用于哪些领域?	32
1-15 电子陶瓷有哪些? 都有什么用途?	35
1-16 哪些陶瓷能够耐高温?	38
1-17 陶瓷为什么能够透光?	41
第二章 关于结构陶瓷的问答	44
2-1 作为结构材料而用的氧化物陶瓷如何分类? 各具什么特征?	44
2-2 非氧化物陶瓷作为结构材料如何分类? 各具哪些特征? ...	46
2-3 哪些陶瓷属于氮化物陶瓷?	48

2-4	哪些陶瓷属于碳化物陶瓷?	51
2-5	所谓氧化铝 (Al_2O_3) 陶瓷是什么陶瓷?	53
2-6	什么是氧化锆陶瓷?	56
2-7	你想知道氮化硅陶瓷的特征、用途吗?	59
2-8	请介绍一下碳化硅陶瓷的 最新技术!	62
2-9	什么是赛隆 (Sialon)?	64
2-10	氮化铝有些什么特征和用途?	67
2-11	请对氮化硼 (BN) 作一简略说明!	69
2-12	请将钛碳化物和钨碳化物的特征作一介绍!	71
2-13	核燃料用哪些陶瓷?	74
第三章 关于电子陶瓷的问答		77
3-1	陶瓷能够吸收雷电吗?	77
3-2	陶瓷是如何吸收电波的?	79
3-3	铁氧体是如何使用于同步加速器的?	81
3-4	铁氧体能否代替钟表的发条?	84
3-5	压电陶瓷点火元件为什么不用电池?	85
3-6	什么是陶瓷变压器?	87
3-7	什么是区别新干线上列车车次的压电谐振器?	90
3-8	超声波诊断装置的检测部分可以用哪种陶瓷?	92
3-9	有无代替温度计的陶瓷?	94
3-10	什么陶瓷能够检测红外线?	97
3-11	陶瓷发热体材料有哪些?	99
3-12	陶瓷中大约能够储存多少电荷?	102
3-13	何谓电光陶瓷? 它有哪些用途?	104
3-14	什么是检测气体的陶瓷?	107
3-15	什么是检测湿度的陶瓷?	109
3-16	什么是检测压力的陶瓷?	112
3-17	透光性氧化铝陶瓷有何用途?	114
第四章 关于玻璃、光导纤维的问答		118
4-1	玻璃是非晶质, 它与晶体有何不同?	118

4-2	什么是乳白玻璃?	120
4-3	石英玻璃与高硼硅酸盐耐热玻璃有何不同?	123
4-4	在太阳光下光致变色的玻璃可以用作遮光眼镜吗? 它属于哪种结构?	126
4-5	请介绍一下射线定量用玻璃剂量计!	128
4-6	射线屏蔽玻璃中有什么物质?	131
4-7	用作放射性废物处理的玻璃是什么玻璃?	133
4-8	什么是激光玻璃?	135
4-9	照像用滤色镜等使用的着色玻璃是如何制造的?	138
4-10	用于玻璃纤维增强塑料等复合材料的纤维是什么 玻璃制造的?	140
4-11	请介绍一下光通信玻璃纤维(光导纤维)!	144
4-12	要求高透明度的光通信玻璃(光导玻璃)为什么 用红外线?	146
4-13	微晶玻璃(玻璃陶瓷)具有什么特征?	149
第五章 关于陶瓷新技术的问答		152
5-1	哪些陶瓷可以作为生物体材料?	152
5-2	高强度、高韧性陶瓷有哪些用途?	154
5-3	什么是非晶质陶瓷? 它有什么用途?	156
5-4	用陶瓷作超导体可以实现吗?	158
5-5	高导热陶瓷有哪些?用途如何?	160
5-6	哪些是医疗用玻璃(生物玻璃)?	163
5-7	请介绍一下超微粒子陶瓷粉末!	165
5-8	请介绍一下陶瓷的积层化、多层化技术!	167

第一章 关于陶瓷基础知识的问答

1-1 什么是陶瓷？它与金属材料、有机材料有何不同？

人类社会所使用的工业制品是由铁、铜、铝等金属材料，环氧、橡胶等有机材料和陶瓷器、耐火材料等无机非金属（陶瓷）三大材料制成的。“陶瓷”这一名词，源自古代希腊的“烧物”，它意味着陶器等是经烧成而赋予其强度的材料。但在今天，作为广泛的三大材料它已占有鼎足之一的地位。也就是说，陶瓷被定义为“经高温热处理工艺所合成的非金属无机材料”。在它是使用窑炉的工业这一意义上，日本称为窑业制品。目前所谓陶瓷这一名词的含义正在向广义发展是自不待言的。三大材料各具什么特征？陶瓷与其他材料有何差别？答案是：其差别的本质在于化学键的方式不同，结果导致物理、化学性质和制造方法的显著差别。下面通过陶瓷与其他材料的比较便可明瞭。

(1)金属材料 是由化学键中的金属键构成的一种材料，自由电子分散于原子之间，形成原子与原子的结合。因而，这种自由电子表现出优良的导热和导电性、不透光性和反射性、韧性等。

(2)有机材料 无论低分子、高分子有机材料，其主要成分都是由碳、氢、氧构成的，这与生物体的组成相同，碳与碳结合的骨架与氢、氧联结。这些非金属元素之间是通过

共价键结合的，由此而形成所谓分子群。但因分子间的键是很弱的范德瓦尔斯键，故具有熔点低、容易变形和易于加工等特征。

(3)陶瓷 绝大部分材料由元素周期表中电负性小的元素和电负性大的元素形成的化合物构成，这种材料大部分以离子键，一部分以共价键、金属键为主体。就这一点来看，元素之间的组合形式多，表现出多种材料功能。陶瓷的共同特征是：①耐热性优良；②除电绝缘性、半导体性之外，还具有磁性、介电性等多种功能；③不易变形，断裂时属于脆性破坏；④韧性低等。这些性质中的某些性质是优点，某些性质是缺点。通常进行的材料开发工作就是要起扬长避短的作用。

新陶瓷以其研究成果的应用而登上材料舞台，一般称它们为新型陶瓷、精细陶瓷。表1-1以陶瓷制品的应用为中心进行了分类。其中，玻璃与陶瓷虽有所区别，但也列入，这是根据上述定义而勉强算在陶瓷中的。表中所列，可以分为传统陶瓷和最近作为功能材料、结构材料而被注目的精细陶瓷。

陶瓷的分类(据《窑业工学手册》) 表 1-1

1.玻璃、搪瓷	1.颜料
2.陶瓷器	2.荧光、磷光体
3.耐火材料、隔热材料	3.人工合成矿物
4.研磨、磨削材料	→4.金属陶瓷、工具陶瓷
5.水泥、石膏、石灰	5.核反应堆材料
6.碳制品	6.催化剂载体
7.电子陶瓷	7.铸造型砂
8.其他	8.非金属发热体

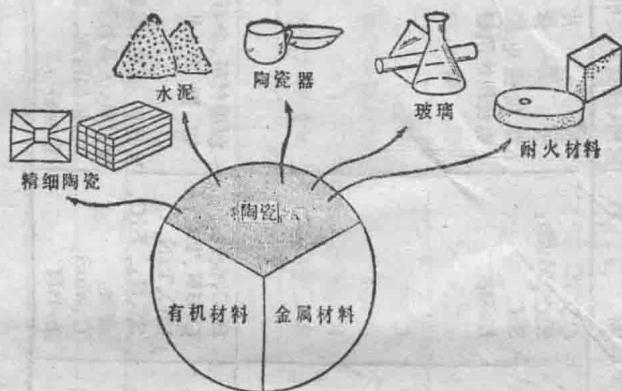


图 1-1 三大材料之一的陶瓷

1-2 何谓精细陶瓷？

陶瓷，一般（碳等例外）是由氧化物、非氧化物等金属元素与非金属元素组合而构成的化合物组成。因而，具有种类繁多，功能广泛的特征。图1-2、表1-2中按氧化物和非氧化物分别示出了精细陶瓷的概况及与陶瓷有关的功能、材料、应用制品。概括起来，便可充分了解陶瓷具有的多功能性。

可是，最近精细陶瓷这一名词被作为具有新功能材料的代名词而广泛使用，到底为什么？答曰：这是因为表1-2所列物质的功能如果只是简单地将低级粉末进行成形、烧成，则是无法获得的。为了发挥陶瓷有价值的功能，必须采用“高度精选过的原料粉末”，通过“精确调整过的化学组成”和“精心控制的成形方法和烧成方法”来进行陶瓷的合成。将经过这些过程而制得的陶瓷称为精细陶瓷。但对精细陶瓷这一术语还存在许多议论。就广义来说，表1-2所列内

陶瓷的功能及其与应用有关的情况

表 1-2

功能类别	氧 化 物 陶 瓷		非 氧 化 物 陶 瓷	
	功 能	材 料	功 能	材 料
电学、电子功	绝缘性	Al_2O_3 、BeO	绝绿性	C、SiC
	介电性	$BaTiO_3$	导电性	SiC 、 $MoSi_2$
	压电性	$Pb(Zr,Ti)O_3$	半导体性	SiC
		ZnO 、 SiO_2	电离子	LaB_6
	磁性	$Zn_{1-x}Mn_x$	放射	
	半导体性	Fe_3O_4		
力学功能		SnO_2		
		$ZnO-Bi_2O_3$		
		$BaTiO_3$		
	离子导电性	$\beta-Al_2O_3$		
		稳定化 ZrO_2		
		Al_2O_3 、 ZrO_2		
力学功能	耐磨性		耐磨性	B_4C 、金钢石
	切削性		切削性	C-BN、TiC、WC、TiN
			强度功能	Si_3N_4 、SiC、 氮化硅
			润滑性能	C、 MoS_2 、 h-BN
				耐磨材料、磨石 切削刀具
				发动机、耐热、耐腐 蚀材料、工具材料 固体润滑剂、脱 模材料

续表

功能类别	氧 化 物 陶 瓷			非 氧 化 物 陶 瓷		
	功 能	材 料	应用(包括开发中)	功 能	材 料	应用(包括开发中)
光学功能	透光性 透光性 偏光性 导光性	Y_2O_3 ·S:Eu Al_2O_3 PLZT SiO_2 ·多元玻璃	萤光体 钠灯外套管 光学偏光元件 光导纤维	透光性 反光性	AlON、含N气体 TiN	窗用材料 聚光材料
热 功 能	耐热性 隔热性 导热性	Al_2O_3 K_2O · πTiO_2 CaO · πSiO_2 · ZrO_2 BeO	耐热结构材料 隔热材料 基片	耐热性 隔热性 导热性	SiC、 Si_3N_4 、 h-BN、C C、SiC C、SiC	各种耐热材料 各种隔热材料 基片
与原子能 有关的功能	核反应堆 材料	UO_2 BeO	核燃料 减速剂	核反应堆材料	UC C、SiC C B_4C	核燃料 被覆材料 减速剂 控制剂
生物化学 功能	齿、骨材料 载体	Al_2O_3 $Ca_3(F, Cl)P_3O_{12}$ SiO_2 · Al_2O_3	人工牙齿、骨骼 催化剂载体	耐腐蚀性	h-BN、TiB ₂ Si_3N_4 、氮 C、SiC	蒸煮容器 泵材、其他各种 耐腐蚀部件材料

容虽然全都包括在精细陶瓷中，但也有一种意见认为，只限于作为结构材料的陶瓷称为精细陶瓷。这种意见能否成立，目前议论较多。另外，前述的定义本身，只限定采用成形、烧结的烧结陶瓷，而在表1-2中包括了单晶、薄膜和玻璃，这是因为作为广义的功能材料不得不将它们包括进来，所以矛盾很多。

对于具有新功能的陶瓷，除了使用这种外来语之外，也在使用新型陶瓷、特种陶瓷、现代陶瓷、工程陶瓷（结构材料）、电子陶瓷等多种名词，因为缺乏统一名称，故不可避免地使人产生繁杂感。

但总之，作为给予陶瓷新功能的精细陶瓷技术，粉体的控制和烧结体微观结构的控制极为重要。出现在本书中的许多技术，都是为提高精细陶瓷的性能所必须注意的问题。

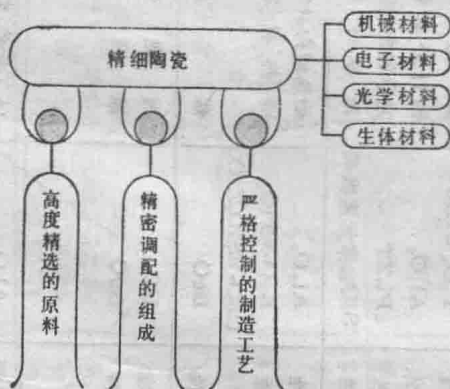


图 1-2 精细陶瓷概念图

1-3 陶瓷的晶体结构是怎样的？

陶瓷是无机质材料。虽然也有玻璃那样的非晶质，但大

部分是结晶质。这里对结构学作一简介。物质的状态有三种，即气体、液体和固体。在气体状态时，原子或分子分散在广阔的空间，但在液体、固体状态时，其空间排列的秩序性增加，尤其在固体状态下，原子间的引力克服使其分散的各种热效应，开始周期性地排列。要理解晶体结构，必须知道原子的结构。解释这一问题不是本节的目的，故省略，但这一问题与陶瓷的结合强度有密切关系。原子之间的键分为离子键、共价键、范德瓦尔斯键，还有金属键。陶瓷中的氧化物，离子键占大部分。共价键可在非氧化物（碳化硅、氮化硅）中看到，是方向性很强的结合形式。氧化物的晶体结构大体取决于 O^{2-} 离子的填充状态，阳离子与其在 O^{2-} 离子之间的存在状态有关。这种情况下，在阳离子周围形成阴离子配位的配位多面体。一个阳离子周围的阴离子数，称为配位数。这种配位数取决于离子半径比决定的几何模型。其结果是实际观察到的配位多面体与计算结果有着良好的一致性。最密堆积的阴离子（这时为氧）配位多面体通常有下列几种：正三角形、四面体、正方形、正八面体、立方体。它们形成空间排列的三维晶体结构。

在矿物中，虽然具有同一化学组成，但也有结晶系、物理、化学性质不同的现象。将这种有关系而又相互不同的矿物称为同质二相。也可以看到涉及数种这种关系的现象，将它们总称为同质多相（Polymorphism），也有将其称为多形的。例如， SiO_2 有石英、方石英、鳞石英； TiO_2 有金红石、锐钛矿、板钛矿。另外，碳有金刚石和石墨等同质多形。将与此有关的同质多相结晶状态称为该物质的变态（modification），将其结构的相应变化称为多晶转变（transformation）。这些用语因为频繁出现，所以最好

要牢记。

氧化物中有若干典型结构。立方晶系的岩盐 (NaCl) 型、闪锌矿 ($\beta\text{-ZnS}$) 型；六方晶系的纤锌矿 ($\alpha\text{-ZnS}$) 型；立方晶的氟石 (CaF_2) 型、金红石 (TiO_2) 型；六方晶的刚玉 ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) 型；其他还有钙钛矿 (CaTiO_3) 型，尖晶石 (MgAl_2O_4) 型等各种结构，分别构成物理、化学性质极为相似的一系列陶瓷物质。

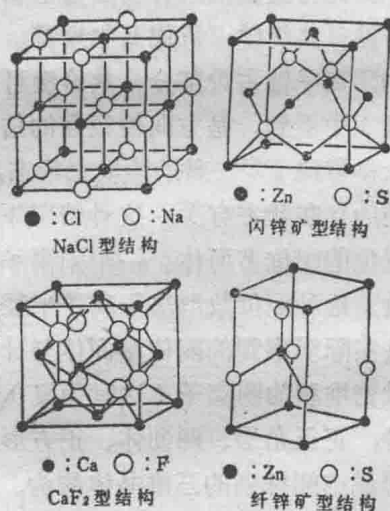
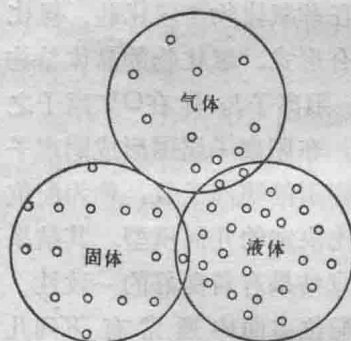


图 1-3 物质三态的原子排列示意图

图 1-4 典型的晶体结构

1-4 陶瓷具有什么样的微观结构?

多晶陶瓷材料的微观结构如图1-5所示，是复杂的结构体，然而在单晶中却不存在晶界。此外，由于空隙、缺陷、副成分相的存在，而赋予材料以多种特性。以往将这些晶界及副成分相等看作是有害因素，尽量将其排除，最大限度地