

Structural Ceramics

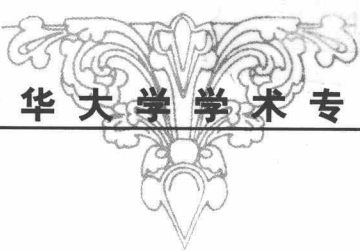
结 构 陶 瓷

谢志鹏 著

Xie Zhipeng



清华大学出版社



清华大学学术专著

Structural Ceramics

结构陶瓷

谢志鹏 著

Xie Zhipeng

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

结构陶瓷具有高强度、高硬度、耐高温、耐腐蚀、耐磨损、化学稳定性和生物相容性好等优异性能,在能源、航天、机械、化工、环保、生物和医学等领域得到愈来愈多的应用。本书是作者在过去 20 多年里从事结构陶瓷材料教学和科学研究工作的基础上编写的,力图全面系统地介绍结构陶瓷的基础研究和技术发展,并反映国内外的最新研究进展。本书内容包括四部分:(1)结构陶瓷的基本理论与性能表征;(2)结构陶瓷的先进制备工艺,如陶瓷粉体合成、现代成型工艺、先进烧结技术、精密加工技术等;(3)氧化物结构陶瓷、非氧化物结构陶瓷的研究和发展;(4)近年来发展起来的超高温陶瓷、透明陶瓷、可加工陶瓷等其他新型结构陶瓷的制备与应用。

本书适合大专院校、科研院所材料及其他相关专业的师生和从事工程陶瓷研究、制造的科技工作者阅读参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

结构陶瓷/谢志鹏著.--北京:清华大学出版社,2011.6

(清华大学学术专著)

ISBN 978-7-302-24489-9

I. ①结… II. ①谢… III. ①特种陶瓷—研究 IV. ①TQ174.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 006658 号

责任编辑:黎 强

责任校对:王淑云

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:40.25 字 数:972 千字

版 次:2011 年 6 月第 1 版 印 次:2011 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:120.00 元

产品编号:036809-01



谢志鹏 男，1957年出生于江西。工学博士，清华大学材料科学与工程系教授、博士生导师，现任清华大学新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室副主任，美国陶瓷学会会员，中国机械工程学会工程陶瓷专业委员会副理事长。

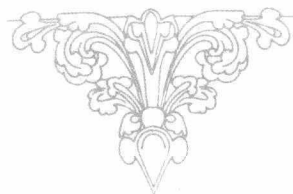
1982年毕业于湖南大学化学化工系，1993年于清华大学材料科学与工程系获博士学位，1995至1996年在苏黎世瑞士联邦理工大学从事博士后研究工作，1999至2000年在澳大利亚墨尔本Monash大学担任高级访问研究员并参加国际合作项目，2007年在美国中佛罗里达大学和弗吉尼亚理工大学从事合作研究与访问交流。

主要从事结构陶瓷材料的科研与教学工作，研究方向包括：结构陶瓷的胶态成型工艺、快速烧结、注射成型、陶瓷自增韧、透明陶瓷、纳米及复合陶瓷等新材料制备技术，以及超低温、超高温与核辐射等极端条件下陶瓷的结构性能与应用研究。作为课题负责人，先后承担国家高技术计划(863计划)项目、国家重点基础研究发展计划(973计划)项目、国家自然科学基金项目等国家级课题10余项。

已在国内外期刊和学术会议上发表学术论文200余篇，其中被SCI收录130篇，被EI收录80余篇，论文和研究成果被国内外研究工作者引用1000余次。申请国家发明专利27项，已授权17项；有8项研究成果通过教育部鉴定。

1996年获清华之友—优秀青年教师群体奖，1998年获清华美国联合技术公司—容闳科技教育奖，2004年获得教育部科技进步一等奖，2005年获得国家技术发明二等奖(排名第三)。

(摄影：徐晓飞)

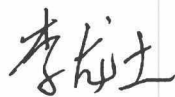


序

结构陶瓷是 20 世纪 50 年代后逐渐发展起来的一类新型陶瓷材料。特别是 70 年代以后,由于在粉体合成、成型工艺、烧结技术、显微结构和晶界控制等制备科学与技术方面取得的突破,结构陶瓷的研究和应用获得了快速发展,一大批新型氧化物陶瓷与非氧化物陶瓷研究及应用成果相继涌现。例如,被称为“陶瓷钢”的高韧性、高强度相变增韧氧化锆陶瓷(Y-TZP)、高性能赛隆(SiAlON)陶瓷、掺杂钕铝石榴石(Nd-YAG)透明激光陶瓷、燃气轮机用的高温结构陶瓷部件、金属切削用氮化硅陶瓷刀具、高压钠灯和金卤灯用透明氧化铝陶瓷管、航天航空飞行器用超高温陶瓷等不断地研制成功并获得了推广和应用。时至今日,结构陶瓷不仅在化工、冶金、机械、能源、环保等工业领域得到广泛应用,而且在航空航天、现代通信、生物医学、国防建设等尖端技术领域也展现出广阔的应用前景,结构陶瓷已经成为新材料家族中的重要组成部分。

谢志鹏教授在过去 20 多年里一直从事结构陶瓷材料的研究与教学工作,在结构陶瓷的先进成型制备、烧结技术、结构调控与性能等研究方面有着深厚的基础与工作积累。他历时数年撰写的《结构陶瓷》一书,是在总结前人研究工作的基础上,融入他本人多年来的研究成果,并涵盖了该领域过去 20 余年来国内外的最新研究与进展而编写出来的。该书内容丰富、翔实、全面,兼具完整性、系统性和新颖性。

我认为,该书是近年来有关结构陶瓷材料的研究及其最新进展的一本难得的重要著作,可供本领域科技工作者和工程技术人员借鉴与参考,也是大专院校无机非金属材料专业教师、研究生和高年级学生的一部很好的教学参考书。相信该书的出版将有助于促进本学科及相关领域的学术交流和科技进步,推动结构陶瓷材料及应用研究的发展。



中国工程院院士
清华大学新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室学术委员会主任
2010 年 11 月

前 言

结构陶瓷是指主要由离子键、共价键结合的一类先进陶瓷材料,具有高强度、高硬度、耐高温、耐磨损、耐腐蚀、生物相容性好等优异性能。这类材料在国内外已经得到广泛应用,遍及化工、冶金、机械、能源、环保等领域和人们的日常生活。在最近 10 余年里,结构陶瓷在航天航空、通信电子、生物医学、国防军工等高科技领域也获得越来越多的应用,已成为许多重大工程和尖端技术开发中不可或缺的关键材料。

本书的编写得益于本人 20 多年来在先进结构陶瓷这一领域的研究与教学工作。自 1990 年进入清华大学新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室后,本人陆续承担了国家自然科学基金、国家高技术研究发展计划(863 计划)、国家重大基础研究计划(973 计划)等项目的科研工作,还有机会与瑞士联邦理工大学 L. J. Ganckler 教授领导的无机非金属材料研究所、澳大利亚莫纳什大学 Yibing Cheng 教授和美国中佛罗里达大学 Linan An 教授的团队进行国际合作,这些研究作为本书的撰写提供了坚实的基础。此外,本人在编写过程中还查证并参考了大量的国内外文献,特别是近 20 年来国内外在这一领域的研究进展,这些信息不仅有助于反映结构陶瓷的研究状况,而且也便于读者对照检索。

本书编写的原则主要有两条,一是注意整体内容的系统性和完整性,能够向读者全面展示有关结构陶瓷的研究发展信息;二是从基础研究和产业发展角度全面介绍结构陶瓷的基本理论与性能、制备过程与工艺以及先进制造技术的进展,注意阐述各类结构陶瓷的特点及应用领域。为此,全书分为四篇共 12 章。第一篇(第 1 章)是基础篇,主要介绍陶瓷的结构特性和性能表征;第二篇(第 2~5 章)主要论述结构陶瓷的制备工艺与先进技术,包括陶瓷粉体合成方法、各种成型工艺、陶瓷烧结理论与先进烧结技术、陶瓷的各种精密加工方法等;第三篇(第 6~8 章)专门讨论经典的氧化物与非氧化物结构陶瓷的制造及应用,包括常用的氧化物陶瓷、氮化物陶瓷、碳化物陶瓷;第四篇(第 9~12 章)介绍其他新型结构陶瓷,包括低膨胀陶瓷、可加工陶瓷、各种透明陶瓷以及超高温陶瓷,并对这些陶瓷的发展过程、制备理论与方法以及实际应用进行了详细论述。

在本书撰写过程中,本人在文献查找、文字录入和图表整理等方面得到了杨现峰博士、陈海波博士、薄铁柱硕士、廉姣硕士以及博士研究生刘冠伟、刘伟、薛伟江等人的大力协助;此外,在图片引用方面还得到国内外一些专家学者的大力支持与热心帮助。

在本书的构思、篇目框架的确定和具体写作过程中,本人先后得到清华大学李龙土院士、黄勇教授、苗赫濯教授,中国建筑材料科学研究院原院长欧阳世翥教授,北京科技大学洪彦若教授等人的关心和帮助,他们或提出各种建议,或者为作者申请清华大学学术出版基金、国家科学技术学术著作出版基金提供推荐意见。L. J. Ganckler 教授、Yibing Cheng 教授、Linan An 教授、Zhijian Shen 教授,以及同事杨金龙教授、汪长安教授等人对本人的研究和编写工作也给予了各种帮助。在此,谨向以上人员表示衷心的感谢。

本书从动笔到完稿虽然前后历时6年,本人倾注了大量精力和时间,但由于结构陶瓷内容丰富,涉及面广,又有很强的应用背景,加之本人学识水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者给予批评指正。

作 者

2010年10月于北京清华园

目 录

序	I
前言	III

第一篇 陶瓷性能与表征

第 1 章 陶瓷性能与表征	2
1.1 陶瓷材料的化学键	2
1.1.1 离子键与离子晶体	2
1.1.2 共价键与共价键晶体	4
1.1.3 范德华键与氢键	5
1.2 陶瓷基本物理性能	6
1.2.1 陶瓷的密度及测试	6
1.2.2 陶瓷硬度及表征	9
1.2.3 陶瓷的熔融与蒸发	13
1.3 陶瓷力学性能及表征	14
1.3.1 弹性变形与弹性模量	15
1.3.2 陶瓷的强度及表征	17
1.3.3 陶瓷的断裂韧性及表征	23
1.4 陶瓷热学性能及表征	25
1.4.1 陶瓷的热容	25
1.4.2 陶瓷的热膨胀	26
1.4.3 陶瓷的热导率	28
1.4.4 陶瓷抗热震性	31
1.5 陶瓷电学性能	36
1.5.1 陶瓷的绝缘与导电特性	36
1.5.2 陶瓷半导体特性	37
1.5.3 陶瓷介电性能	38
1.6 陶瓷的光学性能	40
1.6.1 陶瓷透光性	40
1.6.2 陶瓷的颜色	44
1.6.3 陶瓷激光器	47
1.7 陶瓷的高温性能	50
1.7.1 陶瓷的高温强度	50

1.7.2 陶瓷的高温蠕变	52
1.8 陶瓷的低温性能	56
1.8.1 陶瓷低温应用环境	56
1.8.2 低温下陶瓷的力学性能	57
1.8.3 低温下陶瓷的热学性能	59
1.8.4 陶瓷低温性能的测试	60
参考文献	61

第二篇 陶瓷的制备工艺

第2章 陶瓷粉体制备	66
2.1 概述	66
2.2 固相法	67
2.2.1 固相法简述	67
2.2.2 高温固相反应法	67
2.2.3 碳热还原反应法	68
2.2.4 盐类热分解法	69
2.2.5 自蔓延高温合成	70
2.3 液相法	75
2.3.1 液相法简述	75
2.3.2 化学沉淀法	76
2.3.3 溶胶-凝胶法	78
2.3.4 醇盐水解法	80
2.3.5 水热法	81
2.3.6 溶剂蒸发法	86
2.4 气相法	88
2.4.1 气相法简述	88
2.4.2 气相法原理与过程	88
2.4.3 气相合成陶瓷粉体分类	91
2.4.4 气相合成法特点与评价	94
2.4.5 气相法合成工艺	94
参考文献	105
第3章 陶瓷成型工艺	109
3.1 概述	109
3.2 干压成型	110
3.2.1 干压成型工艺简述	110
3.2.2 成型添加剂及造粒控制	111
3.2.3 粉料充模与压实过程	112
3.2.4 成型压力损失与密度分布	114
3.2.5 成型坯体的脱模及移出	115

3.2.6	干压成型缺陷及控制	116
3.3	等静压成型	116
3.3.1	等静压成型工艺及特点	116
3.3.2	等静压成型的缺陷与控制	117
3.3.3	冷等静压成型技术的应用	118
3.4	注浆成型	119
3.4.1	注浆成型工艺简述	119
3.4.2	注浆基本过程与控制	120
3.4.3	注浆成型用石膏模具	123
3.4.4	空心实心注浆及缺陷	124
3.4.5	其他注浆成型新方法	125
3.5	流延成型	128
3.5.1	流延成型工艺简述	128
3.5.2	流延成型机	129
3.5.3	流延成型工艺过程	130
3.5.4	非水基流延成型工艺	132
3.5.5	水基流延成型工艺	136
3.5.6	凝胶流延成型新工艺	138
3.6	挤压成型	139
3.6.1	挤压成型工艺简述	139
3.6.2	挤压成型设备与工艺	140
3.6.3	添加剂与塑性料制备	141
3.6.4	挤压过程与机理分析	143
3.6.5	挤压成型缺陷与控制	144
3.7	热压铸成型	144
3.7.1	热压铸成型简述	144
3.7.2	热压铸浆料制备及要求	146
3.7.3	热压铸模具与成型工艺参数	146
3.7.4	热压铸坯体的排蜡	147
3.7.5	热压铸产品缺陷与控制	148
3.8	注射成型	148
3.8.1	陶瓷注射成型简述	148
3.8.2	注射成型工艺过程与装置	149
3.8.3	陶瓷注射成型流变学	151
3.8.4	陶瓷注射成型用有机载体	154
3.8.5	注射工艺参数与坯体品质	157
3.8.6	陶瓷注射成型的热脱脂	159
3.8.7	水基萃取脱脂新工艺	160
3.8.8	其他脱脂新方法	162

3.8.9 陶瓷注射成型的缺陷及控制	164
3.8.10 陶瓷注射成型的典型应用	165
3.8.11 陶瓷微型注射成型新技术	167
3.9 凝胶注模成型	168
3.9.1 凝胶注模成型简述	168
3.9.2 单体聚合凝胶注模成型原理与工艺	170
3.9.3 影响单体聚合凝胶化反应的因素	172
3.9.4 不同陶瓷的凝胶注模成型	175
3.9.5 凝胶注模成型中的缺陷与控制	179
3.9.6 多糖类高分子凝胶注模成型	181
3.9.7 其他体系的凝胶注模成型	185
3.10 直接凝固注模成型	188
3.10.1 直接凝固注模成型简述	188
3.10.2 直接凝固注模成型原理与工艺	189
3.10.3 氧化物陶瓷的直接凝固注模成型	190
3.10.4 直接凝固注模成型陶瓷坯体强度的提高	192
3.10.5 非氧化物陶瓷的直接凝固注模成型	194
3.10.6 直接凝固注模成型的应用及特点	196
3.11 固体无模成型	196
3.11.1 固体无模成型原理与分类	196
3.11.2 熔融沉积成型技术	197
3.11.3 三维打印成型技术	198
3.11.4 喷墨打印成型技术	199
3.11.5 分层实体成型技术	200
3.11.6 立体光刻成型技术	201
3.11.7 激光选区烧结成型	202
参考文献	203
第4章 陶瓷烧结技术	213
4.1 概述	213
4.2 烧结理论	214
4.2.1 烧结理论简述	214
4.2.2 烧结过程中的晶粒生长	215
4.2.3 固态烧结	218
4.2.4 液相烧结	223
4.3 热压烧结	229
4.3.1 热压烧结简述	229
4.3.2 热压炉与模具材料	229
4.3.3 热压烧结工艺	230
4.3.4 热压烧结的机理	231

4.3.5	热压烧结特点及应用	232
4.4	热等静压烧结	235
4.4.1	热等静压烧结简述	235
4.4.2	热等静压装置及发展	235
4.4.3	包套式热等静压烧结工艺	237
4.4.4	无包套热等静压烧结工艺	239
4.4.5	热等静压气体选择及烧结制度	240
4.4.6	热等静压特点及对材料性能的影响	242
4.4.7	热等静压技术的应用	244
4.5	气压烧结	246
4.5.1	气压烧结简述	246
4.5.2	氮化硅的高温分解与氮气压力作用	247
4.5.3	两步气压烧结法	248
4.5.4	其他含氮陶瓷的气压烧结	253
4.6	微波烧结	253
4.6.1	微波烧结简述	253
4.6.2	微波加热与烧结原理	254
4.6.3	微波烧结系统与加热特性	258
4.6.4	各种陶瓷的微波烧结	260
4.6.5	微波烧结与材料特性的关联	264
4.6.6	微波快速烧结的机理	268
4.6.7	微波促进相变及裂纹愈合效应	270
4.6.8	陶瓷材料的微波焊接	272
4.6.9	陶瓷微波烧结的应用	272
4.7	自蔓延致密化烧结	274
4.7.1	自蔓延致密化技术简述	274
4.7.2	机械加压自蔓延致密化	274
4.7.3	气体压力自蔓延致密化	277
4.7.4	离心力自蔓延致密化工艺	279
4.8	放电等离子烧结	280
4.8.1	放电等离子烧结简述	280
4.8.2	放电等离子烧结装置的结构及特点	280
4.8.3	放电等离子烧结原理与特殊效应	281
4.8.4	放电等离子烧结中温度与电流分布	282
4.8.5	放电等离子快速烧结与晶粒细化	286
4.8.6	纳米复合陶瓷的放电等离子烧结	288
4.8.7	其他陶瓷材料的放电等离子烧结	290

参考文献	297
第5章 陶瓷精密加工	304
5.1 概述	304
5.2 陶瓷的机械加工	304
5.2.1 磨削加工	305
5.2.2 研磨加工	310
5.2.3 抛光加工	312
5.2.4 ELID 超精密磨削加工	313
5.3 陶瓷的化学加工	315
5.3.1 化学研磨抛光	315
5.3.2 电泳抛光与磨削	316
5.4 陶瓷的电火花加工	317
5.4.1 电火花加工原理及特点	317
5.4.2 导电陶瓷的电火花加工	318
5.4.3 非导电陶瓷放电加工	319
5.5 陶瓷的激光加工	320
5.5.1 激光加工原理及激光器特性	320
5.5.2 激光加工陶瓷工艺及影响因素	321
5.6 陶瓷的超声波加工	323
5.6.1 超声波加工原理	323
5.6.2 超声波加工装置与工艺	324
5.7 陶瓷打孔的加工技术	325
5.7.1 机械打孔加工方法	326
5.7.2 超声波打孔加工方法	326
5.7.3 激光打孔加工方法	327
参考文献	327

第三篇 氧化物与非氧化物陶瓷

第6章 氧化物结构陶瓷	332
6.1 概述	332
6.2 氧化铝陶瓷	333
6.2.1 氧化铝晶体结构	333
6.2.2 氧化铝粉体的制备	336
6.2.3 氧化铝陶瓷的烧结	339
6.2.4 氧化铝陶瓷显微结构与性能	343
6.2.5 氧化铝晶粒异向生长及机理	345
6.2.6 氧化铝陶瓷自增韧及其机理	349
6.2.7 氧化铝陶瓷特性与工业应用	354
6.2.8 氧化铝体系生物陶瓷	356

6.3	氧化锆陶瓷	360
6.3.1	简述	360
6.3.2	氧化锆晶型及晶体结构	361
6.3.3	氧化锆的稳定化与相图	363
6.3.4	氧化锆陶瓷的增韧机理	366
6.3.5	增韧氧化锆陶瓷的制备与性能	370
6.3.6	四方氧化锆陶瓷低温老化	376
6.3.7	氧化锆陶瓷的高温超塑性	379
6.3.8	氧化锆陶瓷的典型应用	381
6.4	氧化铍陶瓷	384
6.4.1	氧化铍晶体结构与物性	384
6.4.2	氧化铍陶瓷制备	384
6.4.3	氧化铍陶瓷特点与应用	387
6.5	氧化镁陶瓷	387
6.5.1	氧化镁晶体结构与物性	387
6.5.2	氧化镁陶瓷的制备	388
6.5.3	氧化镁陶瓷特点与应用	390
6.6	莫来石陶瓷	390
6.6.1	莫来石陶瓷简述	390
6.6.2	莫来石晶体结构与性质	391
6.6.3	莫来石陶瓷相图	391
6.6.4	高纯莫来石陶瓷的制备	392
6.6.5	莫来石陶瓷性能及应用	395
6.7	氧化锆增韧氧化铝陶瓷	396
6.7.1	氧化锆增韧氧化铝陶瓷简述	396
6.7.2	氧化锆增韧氧化铝陶瓷粉体的制备	397
6.7.3	氧化锆增韧氧化铝陶瓷烧结工艺	398
6.7.4	氧化锆增韧氧化铝体系及其增韧机制	400
6.7.5	不同体系氧化锆增韧氧化铝陶瓷的特性	403
6.8	氧化锆增韧莫来石陶瓷	405
6.8.1	氧化锆增韧莫来石陶瓷简述	405
6.8.2	氧化锆增韧莫来石陶瓷的制备	405
6.8.3	氧化锆增韧莫来石陶瓷的结构与性能	408
	参考文献	409
第7章	氮化物陶瓷	417
7.1	概述	417
7.2	氮化硅陶瓷	418
7.2.1	氮化硅陶瓷简述	418
7.2.2	氮化硅的晶型与结构	418

7.2.3	氮化硅粉末的合成	420
7.2.4	氮化硅陶瓷的烧结方法	423
7.2.5	氮化硅陶瓷性能及高温特性	432
7.2.6	氮化硅陶瓷的工程应用	436
7.3	氮化铝陶瓷	439
7.3.1	氮化铝陶瓷简述	439
7.3.2	氮化铝晶体结构与物性	440
7.3.3	氮化铝陶瓷的热导率及导热机理	440
7.3.4	氮化铝粉末合成	441
7.3.5	氮化铝陶瓷的烧结	443
7.3.6	高热导率氮化铝陶瓷制备	446
7.3.7	氮化铝陶瓷特性与应用	447
7.4	赛隆陶瓷	449
7.4.1	赛隆陶瓷简述	449
7.4.2	β -赛隆陶瓷	450
7.4.3	α -赛隆陶瓷	453
7.4.4	$(\alpha+\beta)$ -赛隆陶瓷	455
7.4.5	长柱状晶 α -赛隆陶瓷	456
7.4.6	赛隆陶瓷的工程应用	457
7.5	氮化硼陶瓷	458
7.5.1	氮化硼晶体结构及特征	458
7.5.2	氮化硼粉末的制备	459
7.5.3	氮化硼陶瓷的烧结	460
7.5.4	氮化硼陶瓷的性能及应用	461
	参考文献	463
第8章	碳化物陶瓷	468
8.1	概述	468
8.2	碳化硅陶瓷	469
8.2.1	碳化硅陶瓷简述	469
8.2.2	碳化硅晶型与结构	470
8.2.3	碳化硅粉体的合成	471
8.2.4	碳化硅陶瓷的烧结	473
8.2.5	碳化硅陶瓷的性能	480
8.2.6	碳化硅陶瓷的特点与用途	483
8.3	碳化硼陶瓷	486
8.3.1	碳化硼陶瓷简述	486
8.3.2	碳化硼化学组成与结构	486
8.3.3	碳化硼粉料的合成	487
8.3.4	碳化硼陶瓷的致密化烧结	488

8.3.5 碳化硼陶瓷的性能与应用	492
参考文献	494

第四篇 其他类型结构陶瓷材料

第9章 低膨胀陶瓷	498
9.1 概述	498
9.2 堇青石陶瓷	498
9.2.1 堇青石晶体结构及基本特性	498
9.2.2 堇青石陶瓷相图与制备	500
9.2.3 降低堇青石陶瓷热膨胀系数的方法	502
9.2.4 堇青石陶瓷的工业应用	505
9.3 钛酸铝陶瓷	507
9.3.1 钛酸铝晶体结构与相图	508
9.3.2 钛酸铝的热膨胀性和强度与其结构的关系	509
9.3.3 钛酸铝陶瓷的制备及性能改善	510
9.3.4 钛酸铝陶瓷的典型性能及工程应用	513
9.4 熔融石英陶瓷	514
9.4.1 熔融石英陶瓷简述	514
9.4.2 熔融石英陶瓷的制备与性能	515
9.4.3 熔融石英陶瓷增强及其复合材料	517
9.4.4 熔融石英陶瓷的特性与工程应用	518
9.5 锂质陶瓷	520
9.5.1 锂质陶瓷简述	520
9.5.2 晶体结构及 $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 三元相图	521
9.5.3 锂质耐热陶瓷制备与性能	522
9.5.4 锂质陶瓷的应用	523
参考文献	523
第10章 可加工陶瓷	527
10.1 概述	527
10.2 云母玻璃陶瓷	527
10.2.1 显微结构与可切削机理	527
10.2.2 云母玻璃陶瓷制备工艺	529
10.2.3 云母玻璃陶瓷性能调控	530
10.2.4 云母玻璃陶瓷的特性及应用	531
10.3 Ti_3SiC_2 系陶瓷	532
10.3.1 Ti_3SiC_2 系陶瓷简述	532
10.3.2 Ti_3SiC_2 系晶体结构及物性	532
10.3.3 Ti_3SiC_2 系陶瓷的制备与性能	533
10.3.4 Ti_3SiC_2 系陶瓷可加工性	536

10.3.5	Ti_3SiC_2 系陶瓷的工程应用	537
10.4	稀土磷酸盐/氧化物复合陶瓷	538
10.4.1	稀土磷酸盐/氧化物陶瓷简述	538
10.4.2	稀土磷酸盐(LaPO_4 、 CePO_4)的结构与特性	538
10.4.3	稀土磷酸盐/氧化物陶瓷可加工性及机理	539
10.4.4	几类主要的稀土磷酸盐/氧化物可加工陶瓷	540
10.5	含 h-BN 的可加工复合陶瓷	544
10.5.1	含 h-BN 的可加工陶瓷简述	544
10.5.2	Si_3N_4 (AlN)/h-BN 体系	544
10.5.3	$\text{SiC}(\text{B}_4\text{C})$ /h-BN 体系	547
10.5.4	Al_2O_3 (ZrO_2)/h-BN 体系	548
	参考文献	550
第 11 章	透明陶瓷	554
11.1	概述	554
11.2	陶瓷透明性原理及制备关键因素	554
11.2.1	陶瓷透明性原理	554
11.2.2	影响透明性的主要因素	556
11.2.3	透明陶瓷制备关键工艺因素	557
11.3	陶瓷透光率的表征及测试	558
11.4	氧化铝透明陶瓷	558
11.4.1	氧化铝透明陶瓷简述	558
11.4.2	透明氧化铝陶瓷制备技术	559
11.4.3	透明氧化铝陶瓷的应用	562
11.5	氧化镁透明陶瓷	564
11.5.1	透明氧化镁陶瓷特点与性能	564
11.5.2	透明氧化镁陶瓷的烧结	565
11.6	氧化钇透明陶瓷	566
11.6.1	氧化钇透明陶瓷简述	566
11.6.2	氧化钇透明陶瓷的致密化烧结	567
11.6.3	氧化钇透明陶瓷的应用	568
11.7	镁铝尖晶石透明陶瓷	569
11.7.1	镁铝尖晶石透明陶瓷简述	569
11.7.2	镁铝尖晶石透明陶瓷特性	569
11.7.3	镁铝尖晶石透明陶瓷的制备	570
11.8	钇铝石榴石激光透明陶瓷	572
11.8.1	钇铝石榴石激光透明陶瓷的发展历程	572
11.8.2	钇铝石榴石晶体结构及特性	574
11.8.3	钇铝石榴石激光透明陶瓷与单晶的比较	574
11.8.4	钇铝石榴石激光透明陶瓷的制备	576