功能陶瓷的物理性能

曲远方　主编

化学工业出版社

·北 京·

需要全本请访问 www.ertongbook.com

本书较系统地介绍了功能陶瓷的基本物理性能、基础理论、应用及其发展。重点对功能陶瓷物理性能（电导、介电性能、介质损耗、绝缘强度、铁电性和铁电体、压电性、力学性能、热学性能、光学性能、磁学性能、耦合性能），敏感陶瓷的物理性能，生物陶瓷的物理性能、超导电性，纳米材料等的物理性能及其基础理论进行了介绍。在了解功能陶瓷的这些基本物理性能的基础上，还从功能陶瓷材料及元器件的研究和生产的角度，对影响功能陶瓷物理性能的主要因素、提高功能陶瓷物理性能的常用方法、功能陶瓷的基本应用和新材料进展进行了简单介绍。

本书可作为从事功能陶瓷材料和元器件研究和生产的工程技术人员的参考用书，也可供高等院校有关功能陶瓷材料和元器件专业的师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

功能陶瓷的物理性能/曲远方主编．—北京：化学工业出版社，2006.7
ISBN 7-5025-9105-2

Ⅰ.功… Ⅱ.曲… Ⅲ.功能材料-陶瓷-物理性能
Ⅳ.TB321

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 082428 号

功能陶瓷的物理性能

曲远方 主编
责任编辑：顾南君
文字编辑：颜克俭
责任校对：凌亚男
封面设计：张 辉

*

化学工业出版社出版发行
（北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029）
购书咨询：（010）64982530
（010）64918013
购书传真：（010）64982630
http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销
北京市振南印刷有限责任公司印刷
三河市宇新装订厂装订
开本 850mm×1168mm 1/32 印张 16 字数 444 千字
2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-9105-2
定 价：40.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

前　言

为了使读者对功能陶瓷的基本物理性能有较全面的了解，本书较详细地介绍了功能陶瓷具有的基本物理性能、主要的影响因素和提高性能的常用方法。其中第 1 章对功能陶瓷的基本物理性能、分类、应用及发展进行了简单介绍；第 2 章讨论了功能陶瓷的电导、机理及影响因素；第 3 章讨论了功能陶瓷的介电性能、机理及影响因素；第 4 章讨论了功能陶瓷的介质损耗、机理及影响因素；第 5 章讨论了功能陶瓷的绝缘强度、机理及影响因素；第 6 章介绍了铁电体和铁电性；第 7 章介绍了压电陶瓷的压电性；第 8 章介绍了功能陶瓷的力学性质；第 9 章介绍了功能陶瓷的热学性质；第 10 章介绍了功能陶瓷的光学性质；第 11 章介绍了功能陶瓷的磁学性质；第 12 章介绍了功能陶瓷的耦合性质；第 13 章介绍了敏感陶瓷的物理性能；第 14 章介绍了生物陶瓷的物理性能；第 15 章介绍了功能陶瓷的超导电性；第 16 章介绍了纳米材料的物理性能。通过对这些内容的学习，可使读者对功能陶瓷材料的物理性能有比较深刻的了解，为从事功能陶瓷材料的研究和生产奠定良好的基础。

参加本书编写工作的有（按章的顺序）：曲远方（第 1～7 章和第 13 章）；刘家臣（第 8 章和第 16 章）；马卫兵（第 9 章）；郭瑞松（第 10 章）；姜恩永（第 11 章）；刘洪海（第 11 章的部分内容）；李晓雷（第 12 章）；杨德安（第 14 章）；侯峰（第 15 章）。全书由曲远方统稿。

本书在编写过程中得到了化学工业出版社的大力支持和帮助，本书部分工作得到曲志刚的帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

曲远方

2006. 6

目　　录

第 1 章　绪论 …… 1
1.1　功能陶瓷的基本性质 …… 1
1.2　功能陶瓷的分类及应用 …… 2
1.3　功能陶瓷的发展 …… 6
第 2 章　功能陶瓷的电导 …… 7
2.1　量子电导理论初步 …… 7
2.1.1　波粒二象性 …… 7
2.1.2　费米能级 …… 8
2.2　电导、电导率与电阻率 …… 8
2.3　载流子 …… 12
2.4　离子电导 …… 16
2.4.1　晶体的缺陷及其浓度 …… 16
2.4.2　离子载流子的迁移 …… 22
2.4.3　离子电导率 …… 27
2.5　电子电导 …… 30
2.5.1　晶体中电子的能带 …… 30
2.5.2　电子载流子的浓度 …… 32
2.5.3　电子载流子的迁移及迁移率 …… 34
2.5.4　影响电子电导率的因素 …… 37
2.6　空间电荷效应 …… 42
2.7　高温直流负荷下陶瓷材料的电化学老化 …… 45
2.8　陶瓷的表面电导 …… 47
2.9　玻璃的电导 …… 48
2.10　功能陶瓷材料的电导 …… 49
参考文献 …… 50
第 3 章　功能陶瓷的极化 …… 51
3.1　极化强度 …… 51
3.2　表面电荷 …… 52

3.3 介电系数 …… 53
3.4 极化强度 P 与介电系数 ε 的关系 …… 55
3.5 克劳修斯-莫索蒂方程 …… 56
3.6 极化的基本形式 …… 59
3.6.1 位移极化 …… 60
3.6.2 松弛极化 …… 66
3.6.3 其他极化形式 …… 72
3.7 陶瓷材料的极化 …… 74
3.7.1 混合物法则 …… 74
3.7.2 陶瓷介质的极化 …… 75
3.7.3 介电常数的温度系数和主要的影响因素 …… 75
参考文献 …… 78
第 4 章 介质耗损 …… 79
4.1 介质损耗及其基本形式 …… 79
4.1.1 介质损耗 …… 79
4.1.2 电导损耗 …… 81
4.1.3 离子松弛损耗 …… 83
4.2 有电导的陶瓷介质损耗 …… 89
4.2.1 恒定电场下的吸收电流 …… 89
4.2.2 交变电场下的极化电流和电流叠加原理 …… 90
4.3 陶瓷材料的介质损耗 …… 95
4.3.1 离子晶体的介质损耗 …… 95
4.3.2 玻璃的介质损耗 …… 96
4.3.3 电离损耗和结构损耗 …… 97
4.3.4 降低陶瓷材料介质损耗的常用方法 …… 97
参考文献 …… 99
第 5 章 陶瓷材料的击穿 …… 100
5.1 介质的击穿 …… 100
5.2 击穿的基本形式 …… 101
5.2.1 热击穿 …… 102
5.2.2 电击穿 …… 106
5.3 影响陶瓷材料击穿强度的因素 …… 107
5.3.1 不均匀介质中电压的分配 …… 108
5.3.2 陶瓷中的内电离 …… 111
需要全本请访问 www.ertongbook.com

5.3.3 表面放电和边缘击穿 …… 114
5.3.4 强电场作用下介质的应力 …… 116
参考文献 …… 118
第 6 章 铁电体和铁电性 …… 119
6.1 铁电体 …… 119
6.2 $BaTiO_3$ 晶体 …… 120
6.2.1 $BaTiO_3$ 晶体的结构 …… 120
6.2.2 $BaTiO_3$ 晶体的电畴结构 …… 123
6.2.3 $BaTiO_3$ 晶体的介电-温度特性 …… 124
6.3 $BaTiO_3$ 基陶瓷的组成结构和性质 …… 125
6.3.1 $BaTiO_3$ 基陶瓷的一般结构 …… 125
6.3.2 $BaTiO_3$ 基陶瓷的电致伸缩和电滞回线 …… 126
6.3.3 $BaTiO_3$ 陶瓷的介电系数-温度特性 …… 127
6.3.4 压力对 $BaTiO_3$ 基陶瓷介电性能的影响 …… 130
6.3.5 $BaTiO_3$ 陶瓷的击穿 …… 131
6.3.6 $BaTiO_3$ 陶瓷的老化 …… 132
6.3.7 铁电陶瓷的非线性 …… 132
6.3.8 $BaTiO_3$ 陶瓷的置换改性和掺杂改性 …… 133
6.4 铁电陶瓷的应用 …… 135
6.4.1 铁电陶瓷应具备的主要性能 …… 135
6.4.2 铁电陶瓷的应用和典型陶瓷材料 …… 135
6.5 反铁电陶瓷的性能及其应用 …… 140
6.5.1 反铁电体的微观结构 …… 140
6.5.2 反铁电介质陶瓷的特性和用途 …… 142
6.6 铁电半导体陶瓷材料 …… 145
6.6.1 $BaTiO_3$ 陶瓷的半导化 …… 145
6.6.2 影响 $BaTiO_3$ 陶瓷半导化的因素 …… 153
6.7 半导体陶瓷的应用 …… 159
6.7.1 表面层陶瓷电容器 …… 159
6.7.2 晶界层陶瓷介质及晶界层陶瓷电容器 …… 161
6.8 弛豫铁电体的特性、研究与应用 …… 164
6.8.1 弛豫铁电体的特性 …… 164
6.8.2 弛豫铁电陶瓷材料的研究与发展 …… 165
6.8.3 弛豫铁电陶瓷材料的应用 …… 167

参考文献 …… 168
第 7 章　压电性 …… 169
7.1　自发极化与铁电性 …… 169
7.2　压电效应 …… 170
7.3　压电晶体 …… 172
7.4　压电陶瓷材料的极化 …… 175
7.5　压电陶瓷的主要性能参数 …… 177
7.5.1　频率常数 N …… 177
7.5.2　机电耦合系数 …… 178
7.5.3　机械品质因数 …… 179
7.5.4　弹性柔顺常数 …… 180
7.6　压电陶瓷的压电方程 …… 180
7.6.1　第一类压电方程组 …… 180
7.6.2　第二类压电方程组 …… 183
7.6.3　第三类压电方程组 …… 183
7.6.4　第四类压电方程组 …… 183
7.7　压电振子 …… 184
7.7.1　压电陶瓷振子 …… 184
7.7.2　压电振子的振动模式 …… 185
7.8　压电陶瓷性能的稳定性 …… 188
7.9　压电陶瓷的应用及发展 …… 190
参考文献 …… 197
第 8 章　功能陶瓷的力学性质 …… 198
8.1　陶瓷材料的受力形变 …… 198
8.1.1　应力-应变曲线 …… 198
8.1.2　陶瓷材料的弹性变形 …… 199
8.1.3　陶瓷材料的塑性形变 …… 201
8.2　断裂力学基础 …… 205
8.2.1　理论断裂强度 …… 206
8.2.2　Griffith 断裂理论 …… 207
8.2.3　材料的断裂韧性 …… 210
8.3　提高陶瓷材料强度和韧性的常用方法 …… 215
参考文献 …… 217
第 9 章　热学性能 …… 218

9.1 晶格热振动 …… 218
9.1.1 一维晶格的本征振动 …… 218
9.2 材料的热容 …… 227
9.2.1 热容的概念 …… 227
9.2.2 固体热容理论 …… 227
9.2.3 材料的德拜温度及相变 …… 232
9.3 材料的热膨胀性能 …… 234
9.3.1 热膨胀系数 …… 234
9.3.2 固体热膨胀机理 …… 235
9.3.3 热膨胀系数的影响因素 …… 238
9.3.4 多晶体复合材料热膨胀 …… 240
9.4 材料热传导 …… 242
9.4.1 基本概念和基本定律 …… 242
9.4.2 热传导理论 …… 243
9.4.3 多相和复合材料的热导率 …… 246
9.4.4 热导率的影响因素 …… 247
9.5 材料的抗热振性 …… 250
参考文献 …… 258
第 10 章 功能陶瓷的光学性质 …… 259
10.1 光通过介质的现象 …… 260
10.1.1 折射 …… 260
10.1.2 色散 …… 262
10.1.3 反射 …… 263
10.1.4 吸收 …… 272
10.1.5 散射 …… 275
10.1.6 透射 …… 277
10.2 无机材料的颜色 …… 282
10.3 无机材料的红外光学性质 …… 284
10.3.1 红外技术 …… 284
10.3.2 红外透过材料 …… 285
10.3.3 红外探测原理 …… 286
10.3.4 热探测器材料 …… 287
10.4 材料的光发射 …… 288
10.4.1 材料发光的基本性质 …… 290

10.4.2 荧光和磷光 …… 292
10.4.3 发光二极管 …… 294
10.5 光电效应 …… 295
10.5.1 光生伏特效应 …… 295
10.5.2 光电转换效率 …… 296
10.6 非线性极化 …… 298
10.7 电光及声光材料 …… 300
参考文献 …… 302
第 11 章 功能陶瓷的磁学性能 …… 303
11.1 绪论 …… 303
11.2 磁性的种类 …… 306
11.3 材料的磁性来源 …… 309
11.3.1 材料的磁性来源于原子磁矩 …… 309
11.3.2 电子轨道磁矩 …… 309
11.3.3 电子自旋磁矩 …… 310
11.3.4 原子的总磁矩 …… 310
11.4 宏观物质的磁性 …… 311
11.4.1 强磁性物质的磁性特征 …… 311
11.4.2 亚铁磁性氧化物的磁性 …… 313
11.5 与磁性有关的交叉物理效应 …… 321
11.5.1 磁热效应 …… 321
11.5.2 磁电效应 …… 323
11.5.3 磁光和光磁效应 …… 331
参考文献 …… 332
第 12 章 功能陶瓷的耦合性质 …… 333
12.1 功能材料的压电效应 …… 333
12.2 功能材料的热释电效应 …… 335
12.2.1 热释电现象 …… 335
12.2.2 热释电体的结构特点 …… 336
12.2.3 热释电效应的热力学 …… 336
12.2.4 热释电系数 …… 337
12.3 功能材料的电光效应 …… 338
12.4 功能材料的光电效应 …… 339
12.5 功能材料的磁光效应 …… 340

12.5.1 磁光效应 …… 341
12.5.2 磁光材料及应用 …… 342
12.6 功能材料的声光效应 …… 345
12.6.1 声光相互作用：布拉格衍射和拉曼-奈斯衍射 …… 345
12.6.2 声光效应的应用 …… 347
参考文献 …… 349
第 13 章 敏感陶瓷的性质 …… 350
13.1 热敏陶瓷 …… 350
13.1.1 陶瓷热敏电阻的基本参数 …… 350
13.1.2 正温度系数热敏电阻的主要特性及理论模型 …… 354
13.1.3 负温度系数（NTC）热敏电阻 …… 367
13.1.4 热敏电阻的稳定性 …… 370
13.1.5 NTC 热敏电阻的应用及发展 …… 372
13.2 光敏陶瓷材料的基本性能及应用 …… 374
13.2.1 光电导效应 …… 374
13.2.2 光敏电阻陶瓷的主要特性 …… 375
13.2.3 光敏陶瓷材料的应用、研究和发展 …… 377
13.2.4 铁电陶瓷的电光效应、应用及其发展 …… 380
13.3 湿敏陶瓷材料的基本性能和应用 …… 386
13.3.1 湿敏陶瓷的主要特性 …… 387
13.3.2 湿敏机理 …… 388
13.3.3 湿敏陶瓷材料及元件 …… 391
13.3.4 湿敏陶瓷元件的应用 …… 393
13.4 压敏陶瓷材料的基本性能和应用 …… 394
13.4.1 压敏半导体陶瓷的基本性能 …… 395
13.4.2 ZnO 压敏陶瓷 …… 400
13.4.3 ZnO 压敏陶瓷的导电机理 …… 404
13.4.4 压敏陶瓷材料 …… 407
13.4.5 压敏电阻的应用 …… 409
13.5 气敏陶瓷材料的性能及应用 …… 410
13.5.1 气敏元件的主要特性 …… 411
13.5.2 等温吸附方程 …… 412
13.5.3 SnO_2 系气敏元件 …… 413
13.5.4 氧化锌（ZnO）系气敏元件 …… 421

13.5.5 氧化铁系气敏元件 …… 421
13.5.6 气敏陶瓷元件的应用和发展 …… 423
参考文献 …… 423
第 14 章 生物陶瓷材料的物理性能 …… 425
14.1 生物陶瓷材料的基本分类 …… 425
14.2 生物惰性陶瓷 …… 426
14.2.1 氧化铝陶瓷 …… 426
14.2.2 氧化锆陶瓷 …… 427
14.2.3 碳材料 …… 429
14.3 表面活性生物陶瓷 …… 433
14.3.1 生物活性玻璃和玻璃陶瓷 …… 433
14.3.2 羟基磷灰石 …… 437
14.3.3 磷酸钙骨水泥 …… 439
14.4 生物可降解陶瓷材料 …… 443
14.4.1 硫酸钙 …… 443
14.4.2 β-磷酸三钙材料 …… 444
14.5 生物医用纳米材料 …… 447
14.5.1 纳米氧化铁 …… 447
14.5.2 纳米羟基磷灰石 …… 448
14.5.3 其他纳米材料 …… 450
14.6 生物医用复合材料 …… 450
14.6.1 生物活性陶瓷之间的复合 …… 450
14.6.2 生物活性陶瓷与生物惰性陶瓷的复合 …… 451
14.6.3 生物活性陶瓷与生物高分子材料的复合 …… 451
14.6.4 生物活性陶瓷与金属表面的复合 …… 452
14.6.5 生物活性陶瓷与人体组织中的有机质复合 …… 452
参考文献 …… 453
第 15 章 超导电性 …… 456
15.1 超导电现象和超导临界参量 …… 456
15.2 超导体的性质 …… 458
15.2.1 完全抗磁性 …… 458
15.2.2 约瑟夫逊效应 …… 460
15.3 超导电性的唯象理论 …… 461
15.4 超导体的分类 …… 463
需要全本请访问 www.ertongbook.com

15.4.1 元素超导体 …… 463
15.4.2 超导合金 …… 463
15.4.3 超导陶瓷 …… 465
15.5 高温超导材料的应用与前景 …… 466
15.5.1 超导量子干涉计 SQCID …… 467
15.5.2 超导变压器 …… 467
15.5.3 磁通变换器 …… 468
15.5.4 超导计算机 …… 468
15.5.5 混频器 …… 468
15.5.6 多层结构 …… 469
15.5.7 高温超导无源、有源微波器件 …… 469
15.5.8 超导电缆 …… 470
15.5.9 超导同步发电机 …… 470
15.5.10 超导磁能存储系统 …… 470
15.5.11 超导电磁推进系统 …… 471
15.5.12 超导磁悬浮装置 …… 471
15.6 提高超导陶瓷 T_c 及 J_c 的途径 …… 472
参考文献 …… 475
第 16 章 纳米材料的物理性能 …… 476
16.1 纳米材料的概念 …… 476
16.2 纳米材料的超塑性 …… 477
16.3 纳米固体材料热学性能 …… 479
16.4 纳米固体材料光学性能 …… 481
16.5 纳米固体材料磁学性能 …… 485
16.6 纳米固体材料电学性能 …… 486
16.7 纳米材料的应用 …… 491
参考文献 …… 493

第1章 绪 论

功能陶瓷由于具有独特的电、光、热、声、磁、生物、力学、化学和物理等特性而广泛应用于电子信息、微电子技术、光电子信息、自动化技术、传感技术、生物医学、能源、环境保护工程、国防工业、医疗卫生保健、航空航天、农业、计算机等国民经济各领域中。近代科学技术的高速发展对新型功能陶瓷材料提出的要求越来越高，这标志着功能陶瓷对高新科学技术的发展起着越来越大的关键作用。

功能陶瓷材料从传统的块体材料和元器件，到纳米粉体及纳米材料、纤维材料和薄膜材料等发展的领域不断扩大，新材料和新型元器件产品等日新月异，适应了高新科学技术的迅速发展。目前生产规模最大的功能陶瓷主要有绝缘结构陶瓷、电介质陶瓷、半导体陶瓷、磁性陶瓷等。

1.1 功能陶瓷的基本性质

功能陶瓷的基本性质包括电、光、声、热、磁、生物、力学和化学等方面的物理性能。这里以功能陶瓷中的电子陶瓷为例。电子陶瓷基本的性质是在电场作用下传导电流的能力和被感应的性质，可用式(1-1) 和式(1-2) 表达。

$$J=\sigma E \tag{1-1}$$

式中，J 为在电场作用下通过功能陶瓷的电流密度；σ 为功能陶瓷的电导率；E 为作用于功能陶瓷的电场强度。根据功能陶瓷的电导率大小可将功能陶瓷分为绝缘陶瓷、半导体陶瓷、导电陶瓷和超导陶瓷等。

$$D=\varepsilon E \tag{1-2}$$

式中，D 为电位移；ε 为功能陶瓷的介电系数；E 为作用于功能陶瓷的电场强度。根据国家标准以及功能陶瓷的结构、特性和在

不同频率条件下的介电系数，可将功能陶瓷介质分为一类陶瓷介质、二类陶瓷介质和三类陶瓷介质等。

电子陶瓷的基本性质是从应用的角度出发所必须具有的性质。对具体的某些电子陶瓷来说，除具有这些基本性质外，往往还需要具有其他一些特殊的性质，如某些电子陶瓷具有压电性、热敏性、铁电性、电光性、压敏性等。所以，电子陶瓷的基本性质主要是指电子陶瓷在电场作用下的电导、极化、损耗和击穿。

功能陶瓷的具体性质将在其他章节中进行介绍。

1.2 功能陶瓷的分类及应用

功能陶瓷的分类有几种不同的方式，从应用出发可大致划分如下。

（1）结构陶瓷（绝缘陶瓷、电真空陶瓷、电阻陶瓷等） 这类陶瓷材料主要用来制造装置零部件、小电容量的电容器、绝缘子、电感线圈骨架、电子管插座、电阻基体、电真空器件和集成电路基片等。不同的具体应用要求陶瓷材料具有不同的特性。例如：①用来制造一般的装置零部件和电感线圈骨架等，要求陶瓷材料的绝缘性能好、介质损耗小、机械强度高、具有一定的散热性能等。这类应用的代表性陶瓷材料有氧化铝陶瓷和滑石陶瓷。②用来制造电阻基体时，要求陶瓷材料在较高温度条件下，具有良好的绝缘电阻率，陶瓷体致密，气孔率低，可以精确地进行磨加工和抛光等，保证一定的加工精度，能与炭膜和金属膜等牢固结合并不发生化学反应。这类应用的代表性陶瓷材料有低碱陶瓷、长石陶瓷等。③用来制造电真空器件和集成电路基片等，要求陶瓷材料具有良好的气密性和致密度，绝缘性能好，高温性能稳定，导热性能好，耐化学腐蚀性好，机械强度高、具有与金属形成良好的封接性能等。这类应用的代表性陶瓷材料有刚玉陶瓷、氧化铍陶瓷、氮化硼陶瓷和氮化铝陶瓷等。

（2）电容器陶瓷 这类陶瓷材料主要用来制造各种电容器。根据国家标准，这类陶瓷材料分为Ⅰ类电容器陶瓷介质、Ⅱ类电容器陶瓷介质和Ⅲ类电容器陶瓷介质。

Ⅰ类电容器陶瓷介质主要用来制造高频陶瓷电容器。根据陶瓷材料的性能和应用要求，具体分为以下两种电容器陶瓷介质。

① 高频稳定型电容器陶瓷介质。主要用来制造用于精密电子仪器等用途的陶瓷电容器，要求电容器的电容量温度系数小，以保证精密电子仪器等的正常工作。

② 热补偿型电容器陶瓷介质。主要用来制造用于高频振荡回路等用途的陶瓷电容器，要求这种电容器具有较大的负电容温度系数，以补偿电感等其他元器件的正温度系数变化，提高整机工作频率的稳定性。

Ⅰ类电容器陶瓷介质的代表性陶瓷材料有金红石陶瓷、钛酸钙陶瓷、钙钛硅陶瓷等。

Ⅱ类电容器陶瓷介质又称为低频电容器陶瓷介质。主要用来制造电子线路中的旁路、耦合电路、低频及其他对电容量温度稳定性和介质损耗要求不高的电容器。要求这类陶瓷材料具有大的介电系数，介电系数与电场的关系为非线性。代表性陶瓷材料有 $BaTiO_3$ 陶瓷和 $SrTiO_3$ 陶瓷。

Ⅲ类电容器陶瓷介质又称为半导体陶瓷介质。主要用来制造用于低电压下工作的大电容量、小体积的电容器。要求这类电容器陶瓷介质具有介质层极薄、介电系数大、介电系数的温度变化小等性能。根据其结构特点分为以下三种。

① 表面层型，也称为氧化层型。是指在半导体陶瓷的表面经过氧化处理形成极薄的绝缘薄层为介质。

② 阻挡层型。是利用半导体陶瓷的表面与电极形成的接触势垒层为介质。

③ 晶界层型，也称为 BL 型。是利用半导体陶瓷中的半导体晶粒间的绝缘晶界层为介质。由于这种半导体陶瓷的半导体晶粒与极薄的绝缘晶界层相比，可认为半导体晶粒为电极，极薄的绝缘晶界层为介质，这样半导体陶瓷电容器可等效为很多小电容器的并联和串联。

由于三种介质为表面极薄的绝缘薄层、极薄的接触势垒层和极薄的绝缘晶界层，因此这类陶瓷电容器的电容量非常大，所以与Ⅰ

类电容器陶瓷介质和Ⅱ类电容器陶瓷介质相比，同样的电容量，体积却可以非常小。

Ⅲ类电容器陶瓷介质的代表性陶瓷材料有 $BaTiO_3$ 半导体陶瓷和 $SrTiO_3$ 半导体陶瓷。

此外，独石陶瓷电容器和“片式”陶瓷电容器大量用于计算机表面组装技术（SMT）中。还有反铁电陶瓷电容器介质等，这里不一一进行介绍。

（3）压电陶瓷　这类陶瓷材料主要用来制造各种压电陶瓷换能器、扬声器等电声器件、滤波器等频率元器件等。这种陶瓷材料具有良好的机械能与电能之间的转换等性能。代表性陶瓷材料有 $PbTiO_3$ 陶瓷、$Pb(Zr，Ti)O_3$ 陶瓷、$PbZrO_2$ 陶瓷等。

（4）半导体陶瓷　半导体陶瓷除可用来制造Ⅲ类半导体陶瓷电容器外，还可用来制造各种敏感元器件、传感器等，主要有半导体陶瓷热敏电阻、半导体陶瓷压敏电阻、半导体陶瓷光敏电阻、半导体陶瓷湿敏电阻、半导体陶瓷气敏电阻、半导体陶瓷红外敏电阻、半导体陶瓷光电池等很多对外界不同因素敏感的元器件，用于电子线路中进行自动控制、过电流保护、过热保护、节能降耗等很多应用产品中。这些敏感陶瓷材料具有随外界相应因素变化而发生电阻、电容及形变等电信号、磁信号、温度和应力等相应变化的性能，所以用途非常广泛。代表性陶瓷材料有 $BaTiO_3$ 基 PTC 热敏电阻陶瓷和 ZnO 压敏电阻陶瓷等。

（5）导电陶瓷　导电陶瓷主要用来制造各种大功率的电阻器、各种显示器件、微位移发生器、微波衰减器、夜视仪等。这种陶瓷材料的电阻率非常小，代表性陶瓷材料有 SnO_2 导电陶瓷等。

（6）超导陶瓷　超导陶瓷主要用来制造超导量子干涉计、超导变压器、磁通变换器、超导计算机、混频器、高温超导无源/有源微波器件、超导电缆、超导同步发电机、超导磁能存储系统、超导电磁推进系统、超导磁悬浮装置等。超导陶瓷的温度低于其临界温度时，其电阻值为零，具有完全抗磁性和约瑟夫逊效应等特性。代表性陶瓷材料有 $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 陶瓷等。

（7）磁性陶瓷　磁性陶瓷材料主要用来制造多路通信用电感

器、滤波器、磁性天线、记录磁头、磁芯以及雷达、通信、导航、遥测、遥控等电子设备中的各种微波器件，各种电子计算机的磁性存储器磁芯等。铁氧体材料分为软磁、硬磁、旋磁、矩磁和压磁五类。这种陶瓷材料具有良好的磁导率、压磁耦合系数、品质因数、损耗角正切等性能。代表性陶瓷材料有 $MnO\text{-}ZnO\text{-}Fe_2O_3$ 陶瓷、$NiO\text{-}ZnO\text{-}Fe_2O_3$ 陶瓷、$BaO \cdot 6Fe_2O_3$ 陶瓷及 $MgO\text{-}MnO\text{-}Fe_2O_3$ 陶瓷等。

（8）生物陶瓷　生物陶瓷材料主要用来制造人工牙、人工骨、人工关节等人工器官和人体硬组织的修复替换等，这种材料不会对人体组织、生理、生化产生不良影响。这类陶瓷材料具有良好的生物功能性、生物相容性和机械强度等特性。代表性陶瓷材料有磷酸钙陶瓷、玻璃陶瓷、生物活性陶瓷、Al_2O_3 陶瓷、ZrO_2 陶瓷和碳材料等。

（9）超硬陶瓷　超硬陶瓷材料主要用来制造磨料、磨具和刀具等机加工的工具以及各种精密机械、手表、装饰材料等需要高硬度材料的应用领域。这类陶瓷材料具有高的硬度、良好的机械强度和温度特性等。代表性陶瓷材料有金刚石、碳化硅陶瓷、氧化铝陶瓷、氮化硼陶瓷和氮化钛陶瓷等。

功能陶瓷材料的品种非常多，这里的分类很难将其全部包括在内，而且对各种分类也仅是简单进行了介绍。

我国的功能陶瓷工业主要是电子陶瓷方面的生产。生产的产品主要用于电子信息工业方面的整机中，有的产品是关键的元器件。例如，一块集成电路工作的稳定性和寿命，很大程度上取决于基片的性能；一个自动控制系统的精度和灵敏度等主要指标，取决于传感器的性能，而很多传感器的性能取决于功能陶瓷元件的性能；大型计算机的运算速度主要取决于磁性陶瓷或铁电陶瓷薄膜记忆元件。目前形成大批量生产的功能陶瓷主要有高频绝缘陶瓷、电阻陶瓷基体、陶瓷电容器、电真空陶瓷、铁电陶瓷、反铁电陶瓷和压电陶瓷及元器件、磁性陶瓷及元器件、半导体陶瓷和各种敏感元件及传感器、导电陶瓷及元器件、光电陶瓷及元器件、生物陶瓷及其零部件、环境保护用陶瓷及其零部件等。

需要全本请访问 www.ertongbook.com