

译者的话

和半导体材料一样，电子陶瓷材料也是现代电子技术中极其重要的一类材料，它对电子技术的发展起着越来越重要的作用。

电子陶瓷包括范围很广。目前我国全面介绍电子陶瓷的中级读物尚少。期望翻译出版本书能弥补这方面的不足。

本书全面、系统地介绍了近代各类电子陶瓷的基本性质和应用，内容简明扼要，形式图文并茂，对广大从事电子技术、电子材料和仪器仪表制造的读者全面了解整个电子陶瓷领域的基础知识和发展现状可能起到积极作用。

日本的电子陶瓷技术居世界领先地位，本书是由日本这方面的一些著名专家编著，其中：第一章由辻俊郎、大野留治，第二章由福浦雄飞、坂野久夫，第三章由小西良弘、脇野喜久男，第四章由早川茂、大内宏、伊势悠纪彦，第五章由辻俊郎、河合淳，第六章和第七章由一ノ瀬昇分别编著。

由于水平有限，在翻译过程中错误和不当之处在所难免，谨请广大读者批评指正。

译者

序 言

最近,电子学在各个领域都获得了惊人的发展。不消说,在这些发展中新型电子材料的开发起着重要的作用。

以陶瓷为例,早在十九世纪后半叶作为绝缘体应用以来,至今已用于制作电容器、集成电路等电子元件。最近研制成功了微波低损耗高介电常数的电介质,且正在用于制作小型滤波器。同时,也研制了基于陶瓷压电效应的超小型滤波器,并达到超高频(UHF)段。特别是利用陶瓷所具有的半导体特性的气敏元件和热敏电阻等各种传感器也正在开发之中。

综上所述,由于陶瓷具有绝缘性、介电性、压电性、磁性和半导性等各种电子器件所不可缺少的重要性质,因而具备这些特性的陶瓷势将更加广泛地获得应用。同时,随着今后对材料的研究,各种陶瓷的性能也将不断改进,因此把各种特性复合起来的新型陶瓷材料的出现也并不只是梦想。

因此,对于从事电子器件研究的技术人员来说,在很好地了解材料性质的同时,要掌握探索未来电子器件所需材料的知识,而对于从事材料研究的科研人员来说,了解材料在电子学领域中的作用,并把握未来材料发展的方向和地位都是很重要的。

从上述观点来看,虽然曾出版过不少有关器件技术和各种材料的专门书籍,但同时满足上述两个要求,论述器件技术和材料之间关系的著作尚为数不多。

为此,本书从电子技术应用的角度出发,力求对使用广

泛的陶瓷材料进行系统的论述。正是在这种意义上本书命名为《电子陶瓷》。

本书内容共分七章：第一章叙述什么是电子陶瓷及其发展历史；第二章以输电线路中使用的绝缘子和汽车中使用的火花塞为代表介绍绝缘陶瓷的性质；第三章论述电容器、电介质线路、集成电路基片和电介质滤波器等介电陶瓷的性质；第四章论述微音器、声表面波滤波器和延迟线等压电陶瓷的性质；第五章介绍转换器、环行器和相移器等磁性陶瓷的性质；第六章论述热敏电阻等半导体陶瓷的性质；第七章对红外传感器和有关透明陶瓷进行说明。

如上所述，本书列举了包括最新研究状况的极丰富的具体应用实例，力求使读者了解和掌握作为电子材料的陶瓷已在如此广泛的范围内获得应用的知识，以及未来在电子技术领域里陶瓷能在哪些范围内获得应用的前景。

未来应用陶瓷的电子技术将日益发展，本书如蒙从事该领域工作的科技人员和材料研究人员从电子学方面加深理解，从而对开发更新技术有所贡献，那将是笔者的欣慰。

小西良弘

1978年8月

目 录

译者的话

序言

第一章 什么是电子陶瓷	1
1.1 从陶瓷器到电子陶瓷	1
1.2 陶瓷与金属和单晶的区别	3
1.2.1 结构上的区别	3
1.2.2 性质上的区别	4
1.3 陶瓷在电子技术发展中的作用	5
1.3.1 电信、电话的萌芽时代	5
1.3.2 真空管时代	6
1.3.3 晶体管、大规模集成电路 (LSI) 时代	6
1.4 陶瓷的哪些性质在电子技术中得到应用	7
1.4.1 电磁性质的应用	7
1.4.2 热学性质的应用	9
1.4.3 机械性质的应用	10
第二章 绝缘陶瓷	12
2.1 绝缘陶瓷概述	12
2.2 绝缘陶瓷的性质	13
2.2.1 离子导电和绝缘性	13
2.2.2 陶瓷的微观结构与绝缘性	15
2.3 绝缘陶瓷材料	16
2.3.1 绝缘陶瓷材料的分类和性质	16
2.3.2 普通瓷器	22
2.3.3 氧化铝-莫莱石系陶瓷	26
2.3.4 块滑石-镁橄榄石系陶瓷	30
2.3.5 氮化物系陶瓷	32
2.3.6 玻璃陶瓷	35

2.4 绝缘陶瓷的应用	39
2.4.1 绝缘陶瓷的用途	39
2.4.2 绝缘子	41
2.4.3 火花塞	44
2.4.4 电阻器基体材料	46
2.4.5 陶瓷表面的金属化	47
2.4.6 集成电路 (IC) 基片	52
2.4.7 集成电路封装	55
2.5 绝缘陶瓷的未来	58
参考文献	59
第三章 介电陶瓷	60
3.1 介电陶瓷概述	60
3.2 介电陶瓷的性质	60
3.2.1 电极化	60
3.2.2 介质耗散	63
3.2.3 介电陶瓷的性质和分类	67
3.3 作电容器的应用	68
3.3.1 集成电路 (IC) 时代的高密度设计	68
3.3.2 对应于大型系统的高可靠性设计	72
3.3.3 微波时代的高频设计	74
3.4 作微波电路元件的应用	77
3.4.1 低损耗和温度稳定的介电陶瓷	77
3.4.2 电介质基片	79
3.4.3 电介质波导线路	82
3.4.4 电介质谐振器	83
参考文献	86
第四章 压电陶瓷	87
4.1 压电陶瓷概述	87
4.2 陶瓷的压电性	89
4.2.1 压电性的发现	89
4.2.2 表征压电性的特性	90
4.2.3 压电性的等效电路	95

4.3 压电陶瓷材料	97
4.3.1 BaTiO ₃ 系陶瓷	97
4.3.2 Pb(Ti _{1-7r})O ₈ 二元系陶瓷	100
4.3.3 三元系压电陶瓷	104
4.3.4 透明压电陶瓷	110
4.3.5 非铅系压电陶瓷	114
4.4 在动力装置中的应用	118
4.4.1 气体点火装置	118
4.4.2 超声波振子	119
4.4.3 超声波清洗机	122
4.4.4 超声波传声器和扬声器	123
4.4.5 压电继电器	125
4.4.6 加湿器	126
4.4.7 超声波加工机	127
4.4.8 压电变压器	128
4.5 在信息处理方面的应用	129
4.5.1 拾音器芯座	131
4.5.2 压电音叉	131
4.5.3 低频 (LF) 滤波器	133
4.5.4 中频 (MF) 滤波器	135
4.5.5 高频 (HF) 滤波器	136
4.5.6 甚高频 (VHF) 滤波器	138
4.5.7 超声波延迟线	139
4.5.8 表面波器件	140
4.5.9 光调制元件	141
4.6 压电陶瓷的未来	141
参考文献	143
第五章 磁性陶瓷	144
5.1 磁性陶瓷概述	144
5.1.1 多晶烧结材料	148
5.1.2 单晶材料	151
5.1.3 粉末状磁性材料	153

5.2 磁性陶瓷的性质	154
5.2.1 饱和磁化强度的调节	155
5.2.2 导磁率的提高	157
5.2.3 低损耗化技术	161
5.2.4 非线性性质	168
5.3 磁性陶瓷材料和应用	175
5.3.1 线圈、转换器材料	175
5.3.2 在磁记录方面的应用	179
5.3.3 在微波方面的应用	181
5.3.4 其他应用	184
参考文献	186
第六章 半导体陶瓷	187
6.1 半导体陶瓷概述	187
6.2 压敏电阻	189
6.2.1 压敏电阻的性质	189
6.2.2 压敏电阻材料及应用	190
6.3 热敏电阻	196
6.3.1 热敏电阻的性质	196
6.3.2 热敏电阻材料和应用	197
6.4 气体传感器	203
6.4.1 气体传感器的性质	203
6.4.2 气体传感器材料和应用	205
6.5 湿度传感器	213
6.5.1 湿度传感器的性质	213
6.5.2 湿度传感器的材料和应用	214
6.6 半导体陶瓷的未来	222
第七章 红外传感器用陶瓷和透明陶瓷	227
7.1 红外传感器用陶瓷	227
7.1.1 红外传感器概述	227
7.1.2 红外传感器材料和应用	230
7.2 透明陶瓷	240
7.2.1 透明陶瓷概述	240
7.2.2 透明陶瓷材料及应用	242

第一章 什么是电子陶瓷

1.1 从陶瓷器到电子陶瓷

餐具、花瓶、绝缘子等所谓陶瓷器是我们身边常见的陶瓷。岩石和矿物也可以说是大自然创造的陶瓷。人类的历史与陶瓷的关系极为密切。远在史前就有用火烧固粘土制取器具的做法。焙烧结实的器具就是陶瓷，它被用于保存或煮炊食物。图1.1示出日本陶瓷发展的历史梗概。日本曾历经绳文式土器，弥生式土器等土器时代，同时受到中国陶瓷的影响开始向陶瓷器发展，直至今日。这期间从简单形状的壶和皿之类的阶段解脱出来，一方面向富有艺术色彩的器具和装饰品发展，另一方面不断地向既无吸水性、机械强度又高，既卫生又实用的高级陶瓷方向发展。

陶瓷器是用粘土等硅酸盐为主要成分的天然原料制成的。将原料同水充分混炼后，再

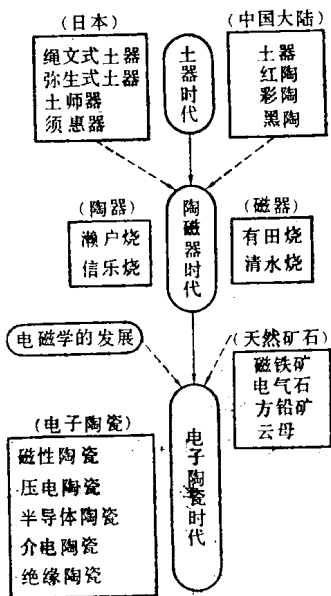


图1.1⊖ 电子陶瓷的发展梗概

⊖ 图1.1中只表示出了中国古代陶瓷对日本陶瓷器发展的影响，实际上影响最大的还是中国的瓷器——校者注。

用类似于粘土细加工的方法成形,并经长时间干燥。然后在高温下进行加热,此时硅酸盐中的一部分物质将变成玻璃状物质,并在保持整体形状的同时进行少量收缩制成陶瓷器。陶瓷器的品质因原料的种类、配料比例以及产地的不同而异。所谓信楽烧(陶器),有田烧(瓷器)均各具特色[⊖]。

从电子陶瓷的观点来衡量,陶瓷富有耐热性、绝缘性、耐风化等优点。但对电子陶瓷来说,仅仅这几点还不够,不消说,磁性、介电性、导电性等电学性能也很重要。从十九世纪末直到二十世纪初迎来了电子陶瓷的萌芽时期,但在这一时期关于陶瓷的电学特性几乎还不为人们所了解。

那么何以认识到陶瓷对电子技术是富有价值的呢?这是由于人类在大自然所创造的矿物中发现了象磁铁矿和电气石等这样一些有用的物质。当时,除了绝缘性以外还没有发现人类所制造的陶瓷器有优异的电学性能。其原因是因为,对于电子陶瓷来说,一般不希望在陶瓷中存在玻璃质。为了合成类似于天然矿物的陶瓷,化学成分、结晶组织、微量杂质的有无等因素是很重要的。于是,开始了发展电子陶瓷的新技术。电子陶瓷的原材料不能原封不变地采用天然物质,而是使用高纯度的合成的粉状原料。由于不采用粘土,所以不能再采用粘土细加工技术来成形,因此在制造方法上也必须重新加以考虑。这样就产生了用压机把几乎不含水的混合原料加压成形的必要。虽然成形体的烧结方法大致和陶瓷一样,但为了调整结晶组织和微晶晶粒的大小(后述),还必须发展新技术。

从电子陶瓷的诞生到现在,经历了整整半个世纪,现在人类已开发出性能远远优于天然矿物的铁氧体和自然界中不

⊖ 信楽烧、有田烧系指日本两陶瓷产地所烧造的陶瓷产品——校者注。

存在的钛酸钡之类的铁电陶瓷等电子陶瓷。陶瓷同金属材料、单晶材料、有机材料一样，是支持电子技术发展的基础材料。陶瓷同其他材料相比较，它既能产生出全新的特性，又能赋予它复合性能，还可以使之具有二种材料的中间特性等等。能够具有多种多样特性是电子陶瓷的特征。由此看来，电子陶瓷的范围今后势将不断发展扩大。

1.2 陶瓷与金属和单晶的区别

1.2.1 结构上的区别

陶瓷与金属和单晶（特别是无机物）可以根据外观和物理性能的不同比较容易地加以区别。陶瓷一般是不透明体、难以导电和导热、大多数是硬而脆的物质。金属具有金属光泽，导电性和导热性好，并富有延展性。单晶则像水晶和金刚石那样的透明并具有美丽的外观。但是最近透明陶瓷已被合成，富有导电性的半导体陶瓷也出现了^①，因此，仅仅根据外观和物理性质已不能进行区分。为了区分各种物质，必须阐明原子的组合和排列方式。从微观上看，无论陶瓷还是金属，都像我们在单晶中所知道的如图 1.2 所示的那样，由原子按几何学规则整齐地排列组成晶格。这种规则排列对于物质整体实际上就是单晶体。这样的单晶具有象水晶那样美丽的晶面。而上面所说的陶瓷和金属都是由微小的单晶体（晶粒）象图 1.3 所示那样组成的集合体，在这种情况下，各个晶粒的排列方向是不规则的，在晶粒与晶粒之间形成了晶界。

那么，陶瓷与金属在结构上有什么不同呢？陶瓷虽不是金属，但含有金属原子。如同铁暴露在野外就会生锈，但这种铁锈是铁同氧结合的产物，已经不能再称它为金属了。陶

① 参见第六、七章。

瓷实际上就是象铁锈那样由金属原子和氧（在不同情况下有时还含有氮等其他非金属原子）结合的产物，在晶格中，金

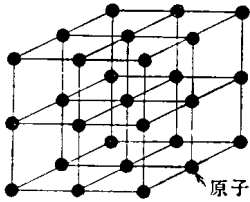


图1.2 组成晶格的原子排列

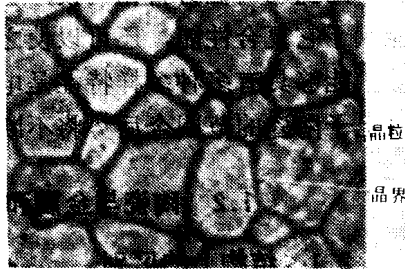


图1.3 多晶体的显微结构

属原子和氧原子互相结合形成强键（离子键）。另一方面，金属仅仅是由金属原子构成，不能由相同原子的离子靠静电引力结合，而是靠在金属原子周围旋转的自由电子形成晶格（金属键）。陶瓷和金属的原子结合方式不同，这种不同，表现在二者在延展性、导电性等方面的差异。

1.2.2 性质上的区别

如上所述，因原子结合方式的不同，陶瓷和金属具有完全不同的性质，例如，电和热的传导性，延展性，耐腐蚀性等。尤其从多样性来看，金属在电子技术方面的作用大部分是作为导体或磁性体而存在的，与此相对应，陶瓷则具备绝缘体、磁性体、压电体、电介质和半导体的作用。尤其作为磁流体（MHD）发电用的电极材料，金属是不适合的，而用陶瓷作为导体则正是它的发展方向。

尽管硅、锗等半导体单晶是非常有名的单晶，它们对电子技术的发展起着重要作用，但这里仅谈谈可以跟陶瓷进行对比的氧化物单晶的性质。单晶的电学性质，机械性质或光学性质沿不同原子排列方向具有不同的特征（各向异性）。

水晶(SiO_2)具有压电性,已制作成水晶振子。改变水晶的切割方向,能够获得温度系数非常小的水晶振子,从而最大限度地利用单晶的各向异性。陶瓷是氧化物单晶的集合体,所以在宏观上看不出各向异性。因此,若将水晶粉碎后再进行烧结,则其制品就不再具有压电性了。然而,钛酸钡和PZT等铁电陶瓷,如果加上直流电压使晶体的排列方向一致,就能够使之具有各向异性,并能赋予压电性。陶瓷与单晶最根本的区别是晶界的存在,积极地利用这种晶界的阻挡层(BL)电容器和陶瓷压敏电阻业已出现。

1.3 陶瓷在电子技术发展中的作用

1.3.1 电信、电话的萌芽时代

十九世纪后半叶由爱迪生和贝尔迎来了有线电报、电话时代的曙光,刚一进入二十世纪就由马可尼等人开创了无线电报、电话时代,从此便揭开了电子陶瓷时代的序幕。但当时对电子陶瓷的期望,除绝缘材料外,无疑想象不到今日某些电子陶瓷发展的盛况。然而这一时期的通信方式却获得了惊人的发展。人们致力于研究信号、声音尽量远,杂音尽可能小的发射技术和清晰的接收技术。为此,希望开发具有新形式和新功能的材料。用天然矿石制的检波器和二极真空管、三极真空管等的相继发明,仅仅是自马可尼发明火花放电无线电报机起十年间的事。在这之前,关于电子的行为,人们已了解它在金属中的运动。由于检波器、真空管等的出现,固体中电子的行为更引起了人们的注意,而陶瓷也重新为人们重视。遗憾的是,在二十世纪初,与人类和历史共同发源的陶瓷仍没有成为电子技术的主要对象。毋宁说当时人们的注意力仍集中在自然界的矿物上。

1.3.2 真空管时代

1904年弗来明(Fleming)发明了真空二极管,随后又发展出多极管,从此电子学迅速发展起来。随着振荡、调谐和放大技术的发展,逐渐要求高性能的线圈、电容器、电阻、检波器、磁体等电子元件。起初注意力集中于天然矿物,随后,以特性的改良和产品质地均一化为目标制成了人工合成电子陶瓷。

用氧化钛(TiO_2)制成的瓷器,其介电常数约为100,可达云母的几十倍。进而在 TiO_2 中加入各种添加物以图增大介电常数,通过这些研究又发展了介电常数达1万多的钛酸钡(BaTiO_3)。此后又知道了 BaTiO_3 陶瓷是铁电体,从此压电陶瓷问世,并促进了水下探测器及其他超声波装置的发展。用其他原子置换磁铁矿的一部分铁原子所制得的铁氧体,使损耗非常小的小型高性能线圈的研制得以实现。二十世纪前半叶可以说是电子陶瓷的萌芽时代,这期间每隔十年反复发生的战事,加速了小型高性能无线电通讯装置的发展,而电子陶瓷对加速无线电通讯装置的发展起着重要作用。它不仅为军需品所需要,而且对一般民用的无线电、电话等的发展所起的作用也不容忽视。

1.3.3 晶体管、大规模集成电路(LSI)时代

在第二次世界大战结束之际,电子技术发生了从真空管时代向晶体管时代转化的大变革。当时在电子陶瓷领域所期待解决的命题是,在小型化和高性能化的同时,还要廉价和高可靠性,特别是具有新功能的陶瓷的研究。表1.1示出了随电子陶瓷的发展而问世的电子产品的具体例子。现在,电子技术以小型化和高可靠性为目标,正在为向着大规模集成电路,进而向超大规模集成电路发展而继续努力。今后电子陶

瓷的研究任务，必须重视对应于大规模集成电路为代表的电子器件的高集成度和高密度封装所需材料的开发，同时还期望研究可能形成微细图形结构的陶瓷基片，散热性和热传导性好的陶瓷，以及高频性能好或响应速度快的陶瓷。进一步尚需发展具有更多功能的复合陶瓷和各种传感器陶瓷等。

表1.1 随电子陶瓷的发展而问世的一些电子产品举例

产品名称	在电子技术方面所起的作用	效果
晶体管收音机	因 $BaTiO_3$ 和铁氧体实用化使得L、C元件小型化和降低价格	手提携带
计算机	由于超小型、矩形磁滞回线材料和铁氧体的开发，促使记忆元件出现	产品工业化
电视机	因偏转线圈使用的铁氧体的开发，出现了廉价的阴极射线管	民用产品的普及
电话传送	由于通讯用铁氧体的开发，使得传送装置小型化	电话线路大容量
便携式无线电装置	由于PZT压电陶瓷的开发，使得滤波器小型化，低功耗	小型化

陶瓷的可贵之处是通过调整其化学成分、微量添加物、晶界和制造方法等，能比较容易地改变它的电学、热学和机械性能，从而使它成为一种具有生命力的电子材料，其发展是很有前途的。

1.4 陶瓷的哪些性质在电子技术中得到应用

1.4.1 电磁性质的应用

〔1〕磁性 具有磁性的代表陶瓷是铁氧体。根据图 1.4 所示磁滞回线形状的不同，大体上可将铁氧体分为三种类型，

它们的应用也各自不同。

(a) 软磁铁氧体 广泛用作线圈和变压器磁心。这些应用要求初始导磁率大、高频损耗小、温度系数小的铁氧体。为适应通信装置的要求,研制出高性能的锰锌铁氧体,它已成为电信发射装置不可缺少的电子陶瓷。

(b) 硬磁铁氧体 用于制作永磁体。仅用于吸引物体的磁体和马达用磁体的需要量仍在增长。而在特殊应用方面,如必须使用永磁体的回旋加速器中也要使用铁氧体。铁氧体具有能够大量生产和廉价的特点,估计今后用途还会扩大。

(c) 矩形磁滞回线铁氧体 利用磁滞回线的特征,以剩余磁化的有、无进行“1”、“0”记忆的记忆元件,在电子计算机、电子交换机、货币记录机等中获得应用。现在,虽出现了半导体存储器等各种记忆元件,但铁氧体记忆元件有切掉电源后仍能保持记忆的特长。

(d) 其他铁氧体 有微波领域里使用的石榴石型磁性陶瓷和磁化时尺寸发生变化的磁致伸缩材料等。镍铁氧体作为磁致伸缩材料很有用,可制成超声波发生器用于超声波加工机和清洗机等。

[2] 介电性 介电常数(ϵ)大,介电损耗($\tan\delta$)

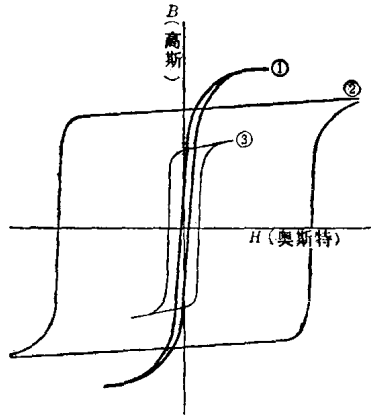


图1.4 各种铁氧体的磁滞回线

- ①—软磁铁氧体 ②—硬磁铁氧体
③—矩形磁滞回线铁氧体

小的陶瓷正在供制造电容器使用。陶瓷除了在耐（电）压性、耐湿性和耐热性等方面本来就具有优异的性能外，还具有通过变更化学成分和制造条件而能随意改变介电常数（静电容量）及其温度系数的灵活性。在图 1.5 中示出供制造电容器用的陶瓷材料的典型介电常数温度特性曲线。图中曲线①是通过调整化学成分，使 BaTiO_3 的居里点（ 120°C 附近）降低至室温，从而利用介电常数的极大值，

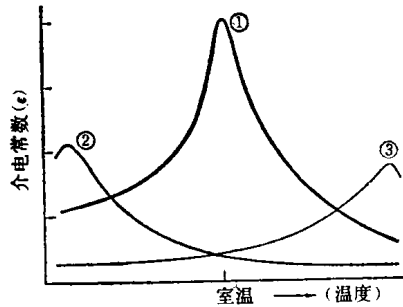


图1.5 陶瓷的介电常数温度特性曲线图

这种陶瓷大多被用作高介电常数电容器。曲线②和③是居里点低于和高于室温的情况。这种陶瓷被用作介电常数温度系数为正、负或零的温度补偿用电容器。

与这些陶瓷电容器不同的，还有由和久所开发的阻挡层（BL）电容器。这种电容器是使 BaTiO_3 系陶瓷的晶粒半导化并把晶界作为高绝缘电阻的电介质而制成的。其视在介电常数达几万。

1.4.2 热学性质的应用

〔1〕具有各种热学特性的绝缘体 对于陶瓷的一般性质，我们知道它可以作耐高温和导热率低的绝缘材料，但也有呈现特殊热学性质的陶瓷，并开辟了如下应用。

（a）高导热率陶瓷基片 氧化铍（ BeO ）陶瓷不但具有与金属铝相匹敌的高导热率，同时还具有高的绝缘性，因此作为防止温度上升的高密度封装用基片正在获得实用。但是，

因 BeO 是有毒物质,所以人们期望出现代用它的新型陶瓷。

(b) 高温绝缘材料 一般在高温下陶瓷的电阻下降。对于真空管的绝缘隔板,要求在高温下具有高的绝缘性,在这方面,氧化铝 (Al_2O_3) 陶瓷正在获得应用。

(c) 温度系数小的电阻体 陶瓷和金属的电阻温度系数符号相反。利用这种特性,把氧化物和金属混合起来制成的陶瓷(金属陶瓷)具有对于温度稳定的性质,可用作电阻体。

[2]对温度敏感的电阻体 是随温度的变化电阻发生剧变的电阻体。包括负电阻温度系数的热敏电阻 (NTC) 和正电阻温度系数的热敏电阻 (PTC)。NTC 主要是指用铬 (Cr)、钴 (Co)、铁 (Fe)、镍 (Ni) 等的氧化物混合体烧结而成的尖晶石型陶瓷; PTC 主要是指具有钙钛矿型晶体结构的 BaTiO_3 系陶瓷。

[3]具有其他性质的陶瓷 热膨胀系数与金属相接近的镁橄榄石型陶瓷被用于金属-陶瓷封接。在具有钙钛矿型晶体结构的陶瓷中,有在高温下呈现高导电性的陶瓷,这种陶瓷作为磁流体 (MHD) 发电机用极材料正在推向实用化。热发电元件和电子致冷元件也在用陶瓷来制作,今后需要谋求这些陶瓷元件的高效率化。

1.4.2 机械性质的应用

一般,陶瓷的机械性质是硬而脆,因此几乎不能象金属材料那样进行可塑加工。就电子陶瓷来说,对这些性质并不抱有多大兴趣。因此,本节将叙述关于本来应当是在电磁性质的应用中涉及到的压电陶瓷和与机械性质的应用有关的特殊陶瓷。

[1]压电效应的利用 二次大战后出现了能够把机械振