

文章编号: 1000-2278(2008)02-0164-06

熔盐法合成晶体的研究现状与进展

李月明 黄丹 廖润华 王进松

(景德镇陶瓷学院材料科学与工程学院, 333001)

摘要

介绍了一种新型的人工晶体的合成方法——熔盐法,详细综述了该方法在降低合成温度,合成各向异性晶体以及提高材料性能方面的应用,并指出其研究方向,该方法具有广阔的应用前景。

关键词 熔盐法,人工晶体

中图分类号:TQ174.75*8 文献标识码:A

1 引言

随着科学技术的迅猛发展,更多行之有效的新颖的材料合成方法不断地出现。当前,材料合成方法已形成了一个庞大的体系,除了传统的固相反应及烧结外,还发展了许多现代合成方法,如化学气相沉积、物理气相沉积、化学气相渗透、溶胶-凝胶法、水热合成与溶剂热合成、自蔓延高温合成、微波与等离子体合成、微重力与超重力合成、仿生合成,熔盐法合成等技术^[1-3]。

所谓熔盐法,即将盐与反应物按照一定的比例配制成反应混合物,混合均匀后,加热使盐熔化,反应物在盐的熔体中进行反应,生成产物,冷却至室温后,以去离子水清洗数次以除去其中的可溶盐得到粉体产物。在熔盐法中,盐的熔体起到了熔剂和反应介质的作用。在高于熔点的锻烧温度下,熔盐变成液相,使得体系具有高的反应活性和流动性,促进了反应物之间的扩散,有利于固相反应进行,使得材料合成温度大大降低,并且制备的颗粒均匀性好,不易团聚。

2 熔盐法的原理及特点

2.1 熔盐法的特点

熔盐法是一种在较低的反应温度下和较短的反应时间内制备特定组分晶体的简便方法。在熔盐法中,盐的熔体起到了熔剂和反应介质的作用。与传统的固相法等方法相比,利用熔盐法合成晶体主要有以下优点:

(1) 可以明显地降低合成温度和缩短反应时间。这可以归结为盐熔体的形成,使反应成分在液相中的流动性增强,扩散速率显著提高;同时由于熔盐贯穿在生成的晶体颗粒之间,阻止颗粒之间的相互联结,因此熔盐法制得的晶体结构均匀,无团聚。

(2) 通过熔盐法可以更容易地控制晶体颗粒的形状和尺寸。这种性质同反应物与盐熔体之间的表面能和界面能有关,由于表面能和界面能有减小的趋势,导致熔盐法合成的晶体具有特定的形貌。影响熔盐法合成晶体形状的因素主要包括所用盐种类和用量,反应温度和时间,添加剂及起始物料的粉末特征等。通过改变这些条件,可以制得具有特定形状的结晶完整的晶体。

(3) 熔盐法适用性很强,几乎对所有的材料,包括许多难熔的化合物和在熔点附近极易挥发或由于变价而分解出气体的材料,以及非同组分熔融化合物,都能够找到一些适当的熔盐,从中将其生长出来。另外,熔盐法在反应过程以及随后的清洗过程中,也会有利于杂质的清除,形成高纯的反应产物。因此,熔

收稿日期: 2008-01-05

通讯联系人: 李月明,男,教授, E-mail:lym6329@163.com

盐法是合成符合化学计量的晶体比较简单的方法。

2.2 熔盐法的基本原理

熔盐法合成晶体可以分为两个过程:即晶体的形成过程和生长过程。晶体的形成过程依赖于参与反应的氧化物在盐中的溶解速率的差异。因此晶体的形态最初由形成过程所控制,随后由生长过程所控制。多组分氧化物在熔盐中的生成一般有两种机理:

(1) 组分氧化物在熔盐中都有一定的溶解度,由于其迁移率在熔盐中($1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-8} \text{cm}^2 \text{sec}^{-1}$)比在固相中($1 \times 10^{-8} \text{cm}^2 \text{sec}^{-1}$)高,故能在较短的时间内扩散到一起进行反应。当反应生成的化合物超过其溶解度,达到过饱和时即沉淀出来。

(2) 某组分氧化物在熔盐中的溶解度大于其它组分氧化物的溶解度,这样前者扩散到后者的表面,在其表面生成产物。

Cahn^[4]根据自己的研究,提出晶体的形状是由其生长机制决定的,并且提出:由扩散机制控制的生长过程形成的晶体为球形,而在界面反应机制控制下晶体则按一定的取向生长。Ardel^[9]则证明了扩散机制引起晶体生长速率随着液相含量的变化而变化。

由此可知,在熔盐法中,晶体通过其在液相中的传质过程而形成和长大,因此可以通过调节合成温度以及盐的含量和种类来控制晶体的形状和尺寸。

3 熔盐法的应用

3.1 降低合成温度

熔盐合成法主要是利用参与合成的反应物在熔融态盐中有一定溶解度,这样就可以使反应物在液相中实现原子尺度的混合;另一方面,反应物在液相中有更快的扩散速度,这两种效应能使合成反应在较低的温度下和较短的时间内完成。

上海硅酸盐研究所的 Huang Qingwei 等^[6]采用熔盐法和固相法均制备出 $\text{Sr}_{0.4}\text{Ba}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 晶体。研究发现在合成晶体过程中,采用固相法合成 $\text{Sr}_{0.4}\text{Ba}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 晶体产生了中间相 $\text{Ba}_6\text{Nb}_4\text{O}_{15}$ 、 $\text{Sr}_5\text{Nb}_4\text{O}_{15}$ 、 SrNb_2O_6 和 BaNb_2O_6 ; 而用熔盐法以 KCl 为熔盐合成 $\text{Sr}_{0.4}\text{Ba}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 仅产生了 $\text{Ba}_6\text{Nb}_4\text{O}_{15}$ 和 $\text{Sr}_5\text{Nb}_4\text{O}_{15}$ 两个中间相。采用固相法和熔盐法合成单一相的

$\text{Sr}_{0.4}\text{Ba}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 温度分别为 1100 和 1000 ,有效降低了合成温度。

中国海洋大学的 He Tian 等^[7]采用熔盐法,以 NaCl 和 KCl 为熔盐在 650~700 温度范围内,保温 2~4 h,合成了 $\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.7}\text{K}_{0.2}\text{Li}_{0.1})_{0.5}\text{TiO}_3$ 晶体。研究发现最佳的合成温度为 700 ,在该温度下无其他杂相生成,而用固相法合成该粉体需 840 ,可见用熔盐法明显降低了合成温度。

武汉理工大学田中青等^[8]采用 BaCO_3 、 Nd_2O_3 、MgO 为原料, KCl 为助熔剂,在 900 下保温 2 h 成功合成出单相的 $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nd}_{2/3})\text{O}_3$ 晶体,其合成温度比常规固相法降低了约 400 ,且合成的晶体粒径在 1 μm 左右。与其他合成方法相比较,显示了熔盐法在低温合成微波介质陶瓷材料方面的巨大优势。

中国海洋大学的 Guo Liangzhai 等^[9]以 Nb_2O_5 和 ZnO 为原料, NaCl 和 KCl 为熔盐,采用熔盐法在较低温度 600 下保温 2 h 成功合成了具有棒状结构的各向异性微波介质陶瓷粉体 ZnNb_2O_6 (如图 1),为

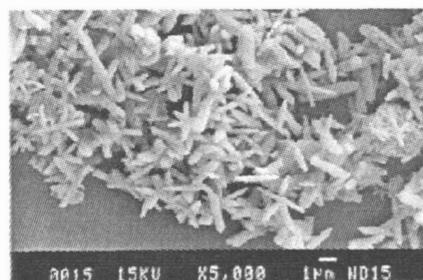


图 1 在 600℃下保温 2 h 合成的 ZnNb_2O_6 SEM 图^[9]
Fig.1 SEM micrograph of ZnNb_2O_6 powders synthesized at 600 °C for 2 h

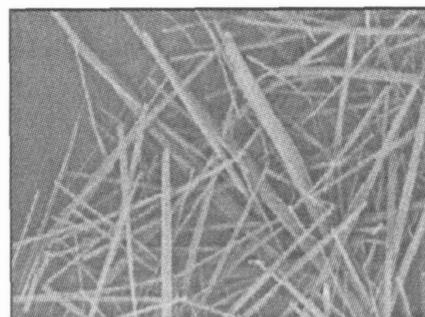


图 2 在 Na_2SO_4 熔盐中合成的莫来石晶须^[10]
Fig.2 The mullite whiskers synthesized in the molten salt of Na_2SO_4

微波介质陶瓷的低温烧结开辟了一个新的有效的途径。

武汉科技大学的李雪冬等^[10]以硫酸铝和氧化硅为原料,在硫酸钠熔盐中合成莫来石粉体。在 1000 下保温 3 h 合成出纯度较高的莫来石粉体,比传统固相法的合成温度低近 400 ,同时粉体的显微形貌呈晶须状,直径约 50~100 nm,长度约 3~8 μm (见图 2)。该方法与溶胶-凝胶法、水热法等其他合成方法相比,不仅操作简单,合成温度低,而且不需要专用设备,合成的周期短,合成出的莫来石晶体形貌好,可用于材料的增韧补强,有较好的应用前景。

3.2 合成各向异性晶体

在电子陶瓷领域,近年来得到广泛研究和重视的模板晶粒生长法(TGG)或反应模板晶粒生长法(RTGG)是提高陶瓷材料铁电、压电性能有效的方法^[11]。晶粒定向排布的织构化陶瓷具有类似单晶的各向异性,能够明显改善陶瓷某个方向上的性能。TGG 和 RTGG 技术是依靠少量各向异性晶体在细小基体粉体中的反应或优先生长实现晶粒定向排布的。而熔盐法是制备各向异性模版晶体简单而有效的方法之一^[12-15]。自 1973 年 Arendt R. H. 首先用熔盐法合成出 BaFe₁₂O₁₉ 和 SrFe₁₂O₁₉ 以来^[16],该方法在合成电子陶瓷各向异性晶体方面得到了广泛的应用。

上海硅酸盐研究所的 Kan Yanmei 等人^[17]分别以 NaCl-KCl 和 Na₂SO₄-K₂SO₄ 为熔盐,分别采用无定形 Bi₄Ti₃O₁₂ 前驱体和机械混合的 Bi₂O₃、TiO₂ 两种不同的起始原料合成了 Bi₄Ti₃O₁₂ 粉体。研究发现合成温度、熔盐种类和起始原料都对 Bi₄Ti₃O₁₂ 的结晶习性

和粉体颗粒形貌产生很大的影响。在相同的工艺条件下(以 Na₂SO₄-K₂SO₄ 为熔盐,合成温度 1000)以 Bi₂O₃、TiO₂ 混合物合成的 Bi₄Ti₃O₁₂ 晶粒尺寸比用无定形 Bi₄Ti₃O₁₂ 前驱体合成的晶粒尺寸要小。以氯盐为熔盐制备的 Bi₄Ti₃O₁₂ 晶体是沿 (001) 和 (112) 取向的,而以硫酸盐为熔盐制备的晶体仅沿 (001) 取向,且硫酸盐为熔盐的晶粒尺寸大。此外,熔盐含量和片状 Bi₄Ti₃O₁₂ 晶种的加入量都对以无定形 Bi₄Ti₃O₁₂ 前驱体为起始原料合成的 Bi₄Ti₃O₁₂ 晶体尺寸产生巨大的影响。当 Na₂SO₄-K₂SO₄ 与 Bi₄Ti₃O₁₂ 的摩尔比由 7.9 增加到 23.7,合成的 Bi₄Ti₃O₁₂ 晶粒尺寸逐渐减小;当 10% 的片状 Bi₄Ti₃O₁₂ 晶种加入到无定形 Bi₄Ti₃O₁₂ 前驱体中,致使 Bi₄Ti₃O₁₂ 晶体尺寸明显增大。Kan Yanmei 等人^[12]还报道了他们利用该熔盐法制备的片状 Bi₄Ti₃O₁₂ 模版晶粒,采用晶粒定向技术(TGG),通过水系流延成型,制备了织构化的 Bi₄Ti₃O₁₂ 陶瓷,如图 3 所示,晶粒沿平行于流延面方向定向排布,并且其介电性能沿平行和垂直于流延面方向具有高度的各向异性,其中平行于流延面的介电性能更优。

武汉理工大学郝华等^[18]以分析纯的 Bi₂O₃、SrCO₃ 和 TiO₂ 为原料,以 KCl 为熔剂,在 800~1100 范围内合成 SrBi₄Ti₄O₁₅ 晶体。与传统固相合成方法相比,采用熔盐法合成温度较低,合成的 SrBi₄Ti₄O₁₅ 粉体片状结构更为明显。熔盐法在不同条件下合成的晶体的微观形貌又有所不同。于 850 保温 2 h 已经形成了近似片状的晶体,随着温度的升高,SrBi₄Ti₄O₁₅ 晶体的片状结构越趋明显,晶体生长得越完善。研究发现,熔盐法比固相法制得的样品在 (001) 晶面取向性要

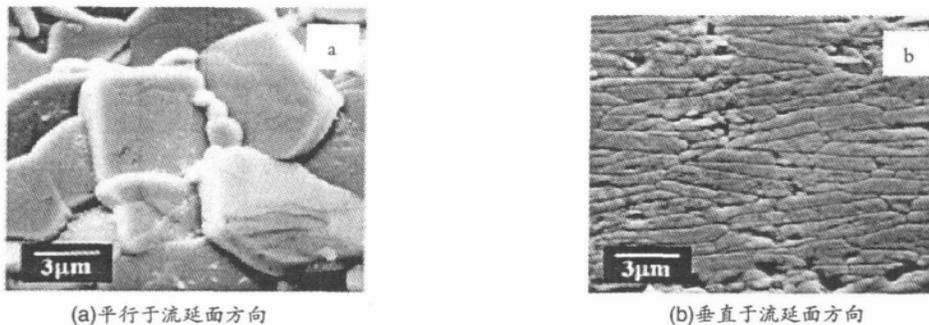


图 3 Bi₄Ti₃O₁₂ 织构化陶瓷的 SEM 图^[12]

Fig.3 SEM micrographs of Bi₄Ti₃O₁₂ textured ceramics: (a) parallel with the tape casting direction; (b) perpendicular to the casting direction

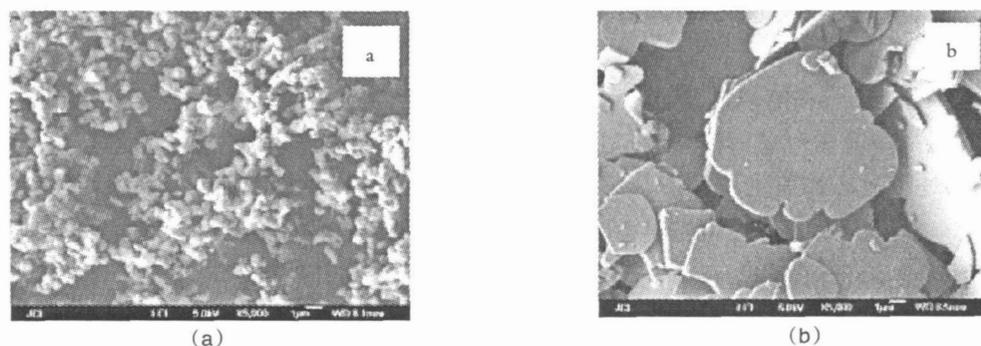


图4 固相法(a)和熔盐法(b)合成 $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ 晶体的 SEM 图

Fig.4 SEM micrographs of $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ powders prepared by different methods
(a) solid phase method; (b) molten salt method

高。

Akdogan E. K.等人^[19]采用二次熔盐法先合成了片状的 $\text{Sr}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ 晶体,在此基础上制得了片状的 SrTiO_3 晶体。研究发现采用 NaCl 为熔盐,盐与氧化物含量为 1:1 时,在 1250 °C 可获得高纵横比 (25:1) 的片状 $\text{Sr}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ 晶体,其晶粒长度在 10~40 μm 之间。然后在已获得的形貌较好的 $\text{Sr}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ 粉体中加入适量的 TiO_2 ,在 1100 °C 可合成 SrTiO_3 晶体。进一步研究发现,随着合成温度的升高,当温度达到 1250 °C 时,可获得高各向异性的 SrTiO_3 晶体,通过 XRD 证实,该晶体是沿 (200) 定向的。并指出此高各向异性的片状 SrTiO_3 晶体的获得,为制备铈镁酸铅-钛酸铅(PMN-PT)弛豫铁电织构化陶瓷奠定了基础。

本文作者以分析纯的 Bi_2O_3 、 Nb_2O_5 和 SrCO_3 为原料,以 KCl 和 NaCl 为熔盐,采用熔盐法在 800~1000 °C 合成了片状 $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ 粉体。XRD 分析表明,纯的 $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ 晶体沿(001)面定向生长。扫描电镜分析显示,与固相法相比熔盐法制备的粉体呈明显的片状和高度的各向异性,且无团聚现象产生,如图 4 所示。熔盐含量及合成温度对晶体定向生长和微观形貌的研究结果表明:沿(001)面择优生长的适合的熔盐含量为 60 wt%,随着熔盐含量的增加,晶粒尺寸逐渐增大。当合成温度在 900 °C,可获得较大尺寸和高度各向异性的 $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ 粉体,进一步提高合成温度,晶粒尺寸则减小。

3.3 提高材料性能

在熔盐法中,由于盐的熔体贯穿于生成的晶粒之间,阻止晶粒之间的相互联结,所以合成的晶体颗粒尺寸均匀,分散性良好,经溶解洗涤后的产物几乎没有团聚现象存在;另外,在随后的清洗过程中,也会有利于杂质的清除,使反应产物的纯度提高,所以采用熔盐法可以制备出理想的晶体材料,从而促进了烧结,有利于材料性能的提高。

清华大学的赵世玺等人^[20]研究了熔盐法合成 PMN-PT 粉体的烧结特性,以及合成工艺对 PMN-PT 陶瓷致密度,显微结构和介电性能的影响。结果显示,熔盐合成的粉料具有较小的颗粒尺寸和良好的分散性,能够降低陶瓷的烧结温度,在 1150~1180 °C 范围烧结可得到致密度达到 96% 的 PMN-PT 陶瓷。在 1100~1200 °C 烧结温度范围,硫酸盐熔盐体系制备的陶瓷呈沿晶断裂,而氯化物熔盐体系制备的陶瓷均呈穿晶断裂。在相同的烧结温度下,氯化物熔盐制备的陶瓷晶粒尺寸明显大于硫酸盐熔盐体系的陶瓷晶粒尺寸。用熔盐法制备的组分为 0.67PMN-0.33PT 陶瓷具有优良的压电和介电性能,在 1175 °C/2 h 烧结条件下,制备的压电陶瓷的最大介电常数 ϵ_r 为 29385,压电常数 d_{33} 达 660 pC/N。

东京大学的 Keich 等^[21]以 KCl 为熔盐,在 1000~1200 °C 成功合成了单相的 $\text{BaNd}_2\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ 粉体,并研究了其烧结性能,得出在 1450 °C 可获得致密的呈棒状微观结构的 $\text{BaNd}_2\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ 陶瓷。性能测试显示,其介电常数和机械品质因数都较高,体现了较优的微波介电性。

天津大学的 Fan Yahong 等人^[21]以 Na_2CO_3 - K_2CO_3 为熔盐, 在 800 °C 保温 2 h, 合成了单一相的钙钛矿结构的 $(\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5})\text{NbO}_3$ 粉体。研究发现, 随着熔盐含量的增加晶体结构由正交晶相变为了四方晶相, 并且晶粒尺寸先增加而后略有降低。并且还研究了 $(\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5})\text{NbO}_3$ 陶瓷的介电和压电性能, 测试结果显示均较优。

韩国汉阳大学的 Kim J. H. 和日本国立大学的 Myung S. T. ^[23]采用 $\text{Li}(\text{OH})$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 和 MnOOH 按照化学计量比 2 : 1 : 3 充分混合, 制成前驱体原料。以 LiCl 作为熔剂, 在 950 °C 下合成了 LiMnO_2 掺杂 Ni 离子的锂离子二次电池正极材料 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 。采用熔盐法合成的该粉体晶体形貌为典型的立方体结构, 且粒度均匀, 以其制备的 5 V 锂离子电池的可充电容量可以达到 139 mAh/g, 循环使用 50 次后容量保持率仍可达 99 %, 显示出该制备方法的优越性。

六角晶系结构钡铁氧体 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 作为一种磁性材料, 其具有很强的单轴各向异性常数。通常掺杂少量的 Co^{2+} 和 Ti^{4+} 来取代部分 Fe 离子, 可以使材料的矫顽力降到适合作磁记录材料的水平。所以 $\text{BaFe}_{11}\text{Co}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_{19}$ 是一种很有希望的磁性记录材料。磁性记录材料要求粉体具有片状形貌, 其粒度要细, 且粒度分布范围窄。常规固相法的合成工艺通常在 1000 ~ 1250 °C 下进行, 生产出的粉体在粒度和形貌上很难达到这样的要求。中南工业大学的曹建等人^[24]以化学纯的 BaCO_3 、 Fe_2O_3 、 Co_2O_3 、 TiO_2 为原料, 以 Na_2SO_4 和 K_2SO_4 混合盐作熔剂, 在 850 ~ 950 °C 煅烧, 合成的粉体是单一的 $\text{BaFe}_{11}\text{Co}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_{19}$ 相, 且晶粒沿 c 轴择优取向, 其比饱和磁矩, 比剩余磁矩和矫顽力分别在 65 ~ 75 Am²/kg, 30~38 Am²/kg, 75000~91500 Am²/kg 之间。与固相法相比, 不仅明显降低了合成温度, 性能也得到了提高。

4 结束语

综上所述, 熔盐法合成晶体具有合成温度较低, 操作简单, 化学组分均匀等特点; 通过调整熔盐种类、熔盐用量、合成温度等工艺参数可控制晶粒的形状和尺寸, 制得具有高度各向异性的晶体, 为制备织构化

陶瓷奠定了基础; 并且由于熔盐法制得的晶体形貌好, 粒度均匀, 反应产物的纯度高, 为提高材料性能开辟了一条新的途径。因此, 近几年来各国材料科学工作者在熔盐法研究领域进行了较深入的研究, 并取得了不少成绩。

但在该研究领域仍然存在一些困难, 例如: 如何控制晶体成核数目和位置, 改善掺杂均匀性, 提高溶解度及粉体尺寸等方面, 有待进一步解决; 此外, 熔盐法的合成机理研究较少, 没有深入研究合成热力学与动力学, 影响合成产物的关键因素尚不清楚等问题有待进一步去研究和探索。相信随着研究的不断深入, 这些问题会不断的得到解决。

参考文献

- 1 熊兆贤等编. 无机材料研究方法. 厦门: 厦门大学出版社, 2001
- 2 孙家跃, 杜海燕编. 无机材料制造与应用. 北京: 化学工业出版社, 2001
- 3 刘海涛, 杨郦, 张树军等编. 无机材料合成. 北京: 化学工业出版社, 2003
- 4 Saito Yasuyoshi. EP: No 1032057, 2000- 2- 23
- 5 J. W. Cahn. On the morphology Stability of growth crystals in crystal growth. Edited by H. S. Peiser, pergamon, Oxford. U. K. 1967
- 6 Huang Qingwei, Zhu Lihui, Wang Peiling, Cheng Yibing. Formation behaviors of $\text{Sr}_{0.4}\text{Ba}_{0.6}\text{Nb}_2\text{O}_6$ powders synthesized from the molten salt of KCl. J. Mater. Sci. Let, 2003, 22: 949- 951
- 7 He Tian, Dai Jinhui, Tian Jintao, Zhu Zhibin, Guo Liangzhai, Liu Zhongfang, Qu Xiaofei, Shen Zhenlei, Wang Peipei. Synthesis of $\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.7}\text{K}_{0.2}\text{Li}_{0.1})_{0.5}\text{TiO}_3$ powders through the molten salt method. J. Ceram. Int., 2007, doi: 10.1016/j.ceramint.2007.03.023
- 8 田中青, 刘韩星, 余洪涛等. 微波介质陶瓷的合成方法研究. 材料导报, 2003, 17(12): 48- 51
- 9 Guo Liangzhai, Dai Jinhui, Tian Jintao, Zhu Zhibin, He Tian. Molten salt synthesis of ZnNb_2O_6 powder. Mater. Res. Bull., 2007, 42(12): 2013- 2016
- 10 李雪冬, 朱伯铨. 熔盐法合成氧化物陶瓷粉体的研究进展. 中国陶瓷, 2006, 42(3):11- 47
- 11 曾江涛, 李永祥, 杨群宝等. 压电陶瓷晶粒定向技术. 电子元

- 件与材料, 2004, 23(11): 66-70
- 12 Kan Yanmei, Wang Peiling, Li Yongxiang, et al. Fabrication of textured bismuth titanate by templated grain growth using aqueous tape casting, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2003, 23: 2163-2169
- 13 K. H. Yoon, Y. S. Cho, D. H. Kang. Review Molten salt synthesis of lead-based relaxors. *J. Mater. Sci.*, 1998, 33: 2977-2984
- 14 D. M. Wan, J. Wang, S. C. Ng, L. M. Gan. Formation and characterization of lead magnesium niobate synthesized from the molten salt of potassium chlorate. *J. Alloys Compounds*, 1998, 274(1-2): 110-117
- 15 Zhao Lili, Gao Feng, Zhang Changsong, Zhao Ming, Tian Changsheng. Molten salt synthesis of anisometric $\text{KSrNb}_5\text{O}_{15}$ particles. *J. Cryst. Grow*, 2005, 276: 446-452
- 16 Arendt R. H. Liquid-phase sintering of magnetically isotropic and anise by the reaction of BaFe_2O_4 with Fe_2O_3 . *J. Solid State Chem.*, 1973, 8(4): 339-347
- 17 Kan Yanmei, Jin Xihai, Wang Peiling, Li Yongxiang, et al. Anisotropic grain growth of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ in molten salt fluxes. *J. Mater. Res. Bul.*, 2003, 38: 567-576
- 18 郝华, 罗大兵, 韩星等. 熔盐法合成 $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ 片状铁电陶瓷粉体. *武汉理工大学学报*, 2004, 26(1): 4-6
- 19 E. K. Akdogan, R. E. Brennan, M. Allahverdi, A. Safari. Effects of molten salt synthesis (MSS) parameters on the morphology of $\text{Sr}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ and SrTiO_3 seed crystals. *J. Electroceram*, 2006, 16: 159-165
- 20 赵世玺, 李强. 熔盐法制备 PMN-PT 弛豫铁电陶瓷的显微结构及性能. *深圳特区科技*, 2005, 11: 33-38
- 21 Keiichi, Katayama, Yasuo, Azuma. Molten salt synthesis of single-phase $\text{BaNd}_2\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ powder. *J. Mater. Sci.*, 1999, 34: 301-305
- 22 Fan Yahong, Sun Qingchi, Wang Yubin, Pan Tiezheng, Lu Cuimin. The preparation of $(\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5})\text{NbO}_3$ powder by molten salt synthesis. *功能材料*, 2005, 12(36): 1974-1976
- 23 Kim J. H., Myung S. T., Sun Y. K. Molten salt synthesis of $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ spinel for 5V class cathode material of Li-ion secondary battery. *Electrochemical Acta*, 2004, 49: 219-227
- 24 曹建, 谢嘉宁, 张业凤. 熔盐法合成 $\text{BaFe}_{11}\text{Co}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_{19}$ 磁性粉体及其性能分析. *功能材料*, 1996, 27(5): 446-448

DEVELOPMENT OF CRYSTAL SYNTHESIS BY MOLTEN SALT METHOD

Li Yueming Huang Dan Liao Runhua Wang Jinsong
(Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333001)

Abstract

In this paper, molten salt method as a new preparation process for synthetic crystal was introduced. Its applications in lowering the synthesis temperature, synthesizing the anisotropic crystals and improving the material capability are summarized in detail and further more, the research direction is pointed out. It is believed that this method has extensive prospect of application.

Keywords molten salt method, synthetic crystal

Received on Jan 5, 2008

Li Yueming, male, E-mail:lym6329@163.com