

不同前驱体对 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 制备的影响

车洪生¹, 张阳¹, 苏静波¹, 石文启², 陈留刚³, 金胜利⁴

(1. 中铝郑州有色金属研究院有限公司, 河南 郑州 450041; 2. 郑州市第二外国语学校, 河南 郑州 450041;
3. 郑州大学 材料科学与工程学院, 河南 郑州 450001; 4. 莱奥本矿业大学, 奥地利 莱奥本 A-8700)

[摘要] 钠硫电池是一种优异的电化学储能电源, $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 电解质陶瓷是钠硫电池最为核心的材料, 直接决定了钠硫电池的性能、生产工艺和成本。片状结构的勃姆石适宜作为制备层状 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的前驱体, 本文分别以 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和水热反应合成的勃姆石为铝源, NaHCO_3 为钠源, 在 1 280 °C 制备了 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。试验过程中考察了不同前驱体对 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的影响, 同时探究了不同钠源加入量和温度对制备 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的影响, 并采用 X 射线衍射和扫描电子显微镜分析 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的物相组成和显微结构。结果表明: 采用 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 为前驱体制备的 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 中还同时存在 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, 而选取片状勃姆石为铝源, 加入 22% NaHCO_3 , 在 1 280 °C 下煅烧, 得到了纯相的 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$, 呈 1 μm 左右的片状结构, 晶粒之间分散较好, 没有团聚现象, 是理想的 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 前驱体。

[关键词] $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$; 勃姆石; 氢氧化铝; 水热合成; 碳酸氢钠; 钠硫电池; 储能材料

[中图分类号] TF821; TQ133.1 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2023)02-0067-06

DOI: 10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2023.02.009

钠硫电池具有安全性高、比能量高、充放电效率高、成本低等优点, 是一种优异的电化学储能电源^[1]。 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 电解质陶瓷是钠硫电池最为核心的材料, 直接决定了钠硫电池的性能、生产工艺和成本^[2-4]。 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的理想化学式为 $\text{Na}_2\text{O} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$, 属六方晶系, 与 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的晶体结构非常相似, 有类同的层状结构和层间距离^[5-8]。 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的单位晶胞包含 2 个尖晶石基块和 2 个钠离子层, 垂直于 c 轴的方向存在含等量 Na 离子和氧离子的疏松 Na—O 层, Na 离子可以在 Na—O 层的二维空间扩散^[6], 随着 Na 离子的迁移, 伴随有电荷的移动。因此, 层状的 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 具有优异的 Na 离子导电性。而 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的单位晶胞包含 3 个尖晶石基块和 3 个钠离子层, 且 c 轴约为 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的 1.5 倍, 因此, $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 具有更加优异的导电性, 电导率约为 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的 10 倍^[9]。

制备 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的主要工艺包括固相反应法^[10-12]、溶胶-凝胶法^[13-17]和共沉淀法^[13,18]。固相反应法需要较高的烧结温度, 从而导致氧化钠蒸发并部分损失, 溶胶-凝胶法和共沉淀法虽然制备出的 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粒径更小, 且烧结温度较低, 但在溶液中, 金属前驱体会互相随机反应, 不能精确控制物相, 且生产工艺较为复杂。随着研究的深入, Barison 等^[19]以 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 为铝源, Na_2CO_3 为钠源, MgO 和 Li_2CO_3 为稳定剂, 制备了不同纯度的 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。张笑等^[20]以水热合成的一维 $\gamma\text{-AlOOH}$ 为铝源, 通过固相反应合成了高 Na- $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 相的电解质材料。王晓等^[21]选取 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 为铝源, 以碳酸钠为钠源, 在 1 170 °C 下制备了 $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的混合物。

勃姆石 (AlOOH) 呈规则的氧原子立方紧密堆积、铝原子填隙的尖晶石结构^[22-24], 这与 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的氧原子立方紧密堆积的类尖晶石结构相似, 且勃姆石在煅烧过程中对形貌有一定的继承性, 因此, 片状结构的勃姆石非常适宜作为制备层状 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的前驱体。

本试验以氢氧化铝为铝源, 以水溶液为反应介质, 选取合适的模板剂, 采用水热法合成制备结晶度

[收稿日期] 2022-10-26

[第一作者] 车洪生 (1976—), 男, 高级工程师, 主要从事超细勃姆石和氧化铝的研究。

[引用格式] 车洪生, 张阳, 苏静波, 等. 不同前驱体对 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 制备的影响[J]. 中国有色冶金, 2023, 52(2): 67-72.

好、形貌规整的六边片状结构的勃姆石,同时选取 α - Al_2O_3 、 γ - Al_2O_3 作为对比,研究不同前驱体对制备 β'' - Al_2O_3 的影响,并探究碳酸氢钠加入量和温度变化对制备 β'' - Al_2O_3 的影响。

1 试验

1.1 原料

1) α - Al_2O_3 , 郑州来源于某精细氧化铝材料厂。

2) γ - Al_2O_3 为中国铝业股份有限公司河南分公司生产的工业氧化铝。

3) 勃姆石由实验室制备,过程如下:以水溶液作为反应介质,在反应容器中加入氢氧化铝(化学

成分见表1)和合适的模板剂,将反应容器加热至220℃并保温4h后,制备出粒径为0.5~1 μm 的六边片状结构勃姆石。勃姆石显微形貌如图1所示,化学成分见表2。

4) 碳酸氢钠来源于福晨(天津)化学试剂有限公司。

表1 氢氧化铝的化学成分(质量分数)

Table 1 Chemical composition of aluminum

	hydroxide			%
成分	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	Na_2O
含量	65.036	0.006	0.007	0.210

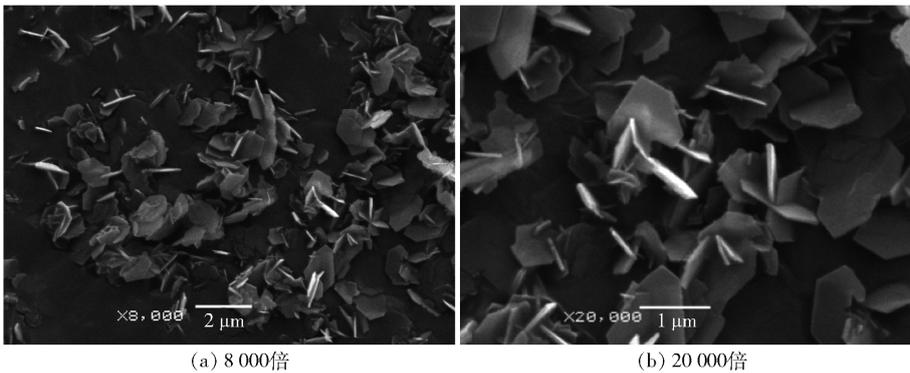


图1 水热法制备的六边片状结构勃姆石 SEM 图

Fig. 1 SEM of hexagonal flake boehmite prepared by hydrothermal method

表2 水热法制备的勃姆石化学成分

Table 2 Chemical composition of boehmite prepared by hydrothermal method

	%		
成分	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3
含量	82.590	0.046	0.038

1.2 试验过程

按计算比例称取碳酸氢钠,加入纯水并搅拌,完全溶解后,分别加入到称取好的 α - Al_2O_3 、 γ - Al_2O_3 和制备好的勃姆石中,室温下搅拌1h后,倒入不锈钢托盘,置于110℃烘箱中干燥24h,干燥后的粉体用玛瑙研钵研磨,过60目^①标准筛,然后置于500 mL坩锅中,在1280℃下煅烧4h,煅烧后的样品过60目标准筛。

采用激光粒度分析仪(Bettersize2000型,丹东百特,中国)分析试样的粒度分布,采用X射线衍射仪(Empyrean,马尔文帕纳科公司,荷兰)分析试样的物相组成,采用电子扫描电镜(JSM-6360,日本电

子,日本)观察试样的显微结构。

2 结果与讨论

2.1 不同前驱体对制备 β'' - Al_2O_3 的影响

以 α - Al_2O_3 、 γ - Al_2O_3 和勃姆石为铝源,碳酸氢钠为钠源制备 β'' - Al_2O_3 ,为了获得等量的 β'' - Al_2O_3 ,根据反应式,确定 α - Al_2O_3 、 γ - Al_2O_3 、勃姆石和碳酸氢钠的摩尔比分别为5:2、5:2、5:1,制备的 β'' - Al_2O_3 的XRD图谱如图2所示。

由图2可知,采用 α - Al_2O_3 为前驱体时,出现了大量的 β'' - Al_2O_3 衍射峰,该衍射峰峰高且尖锐,但同时还存在较多的 α - Al_2O_3 衍射峰,由此表明煅烧后的物相除了有 β'' - Al_2O_3 外,同时存在一定的 α - Al_2O_3 。这是因为 α - Al_2O_3 的结晶程度高、反应活性低,碳酸氢钠高温下分解的部分氧化钠未与 α -

① 60目=0.245 mm

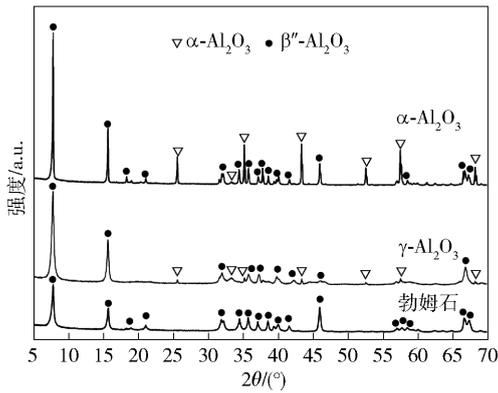


图2 不同前驱体制备的 β'' - Al_2O_3 XRD图谱

Fig. 2 XRD patterns of β'' - Al_2O_3 prepared by different precursors

Al_2O_3 反应就在高温下挥发,因此,反应后仍有部分 α - Al_2O_3 残留。

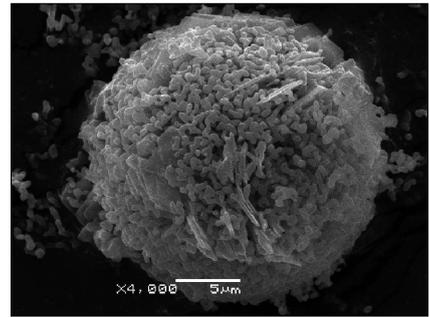
采用 γ - Al_2O_3 为铝源时,主要为 β'' - Al_2O_3 的衍射峰,以及少量 α - Al_2O_3 衍射峰,表明 γ - Al_2O_3 与碳酸氢钠反应后的产物中还存在少量的 α - Al_2O_3 。虽然 γ - Al_2O_3 比 α - Al_2O_3 活性高,更有利于反应的进行,但由于 γ - Al_2O_3 在高温下会转化为 α - Al_2O_3 ,少量的 α - Al_2O_3 未能参与反应,仍存少量残留。

采用勃姆石为前驱体时,得到的都是 β'' - Al_2O_3 衍射峰,即制备出了 β'' - Al_2O_3 纯相。勃姆石在加热过程中发生分解,形成的氧化铝活性更高,且结晶程度较 γ - Al_2O_3 和 α - Al_2O_3 更低,因而有利于与氧化钠发生固相反应,且有利于氧化钠的进一步扩散,使氧化钠在氧化铝的晶格中分散均匀,生成 β'' - Al_2O_3 。

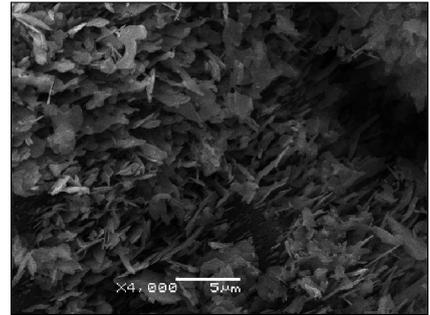
采用不同铝源制备的 β'' - Al_2O_3 的显微结构如图3所示。从图中可以看到,不同铝源制备出的 β'' - Al_2O_3 形貌差别非常大。以 α - Al_2O_3 为前驱体时,除了生成层状结构的 β'' - Al_2O_3 外,还有较多的颗粒状的 α - Al_2O_3 存在,层状 β'' - Al_2O_3 和 α - Al_2O_3 相互交叉,团聚比较严重。以 γ - Al_2O_3 为铝源时,也制备出了层状 β'' - Al_2O_3 ,但仍能观察到少量的颗粒状的 α - Al_2O_3 存在,且团聚在一起。选取勃姆石为铝源时,制备的 β'' - Al_2O_3 呈 $1\ \mu\text{m}$ 左右的片状结构,晶粒尺寸比 α - Al_2O_3 和 γ - Al_2O_3 为前驱体制备的 β'' - Al_2O_3 小,且晶粒之间分散较好。

2.2 碳酸氢钠加入量对制备 β'' - Al_2O_3 的影响

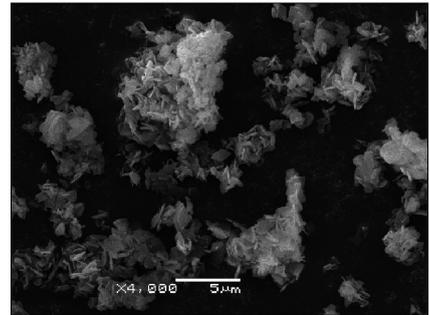
为研究钠源的加入量对 β'' - Al_2O_3 的影响,分别加入质量百分比为15%、20%、22%和25%碳酸氢



(a) 铝源为 α - Al_2O_3



(b) 铝源为 γ - Al_2O_3



(c) 铝源为勃姆石

图3 不同铝源制备 β'' - Al_2O_3 的SEM

Fig. 3 SEM of β'' - Al_2O_3 prepared by different aluminum sources

钠,对应的勃姆石和碳酸氢钠的摩尔比分别约为8:1、5.6:1、5:1和4.2:1,制备的 β'' - Al_2O_3 XRD图谱如图4所示。由图可知,加入15%碳酸氢钠的试样,经二次煅烧后出现了大量的 β'' - Al_2O_3 和 NaAl_5O_8 的衍射峰,同时也观察到了 α - Al_2O_3 衍射峰的存在,这是由于钠源加入量较低, γ - Al_2O_3 大量转化成了 α - Al_2O_3 ;碳酸氢钠的加入量增加至20%后, α - Al_2O_3 衍射峰降低, β'' - Al_2O_3 衍射峰升高,表明二次煅烧后, γ - Al_2O_3 向 α - Al_2O_3 的转化减少,同时生成了大量的 β'' - Al_2O_3 ;碳酸氢钠加入量为22%时, α - Al_2O_3 衍射峰消失,此时煅烧后的物相为 β - Al_2O_3 纯相;但是当碳酸氢钠的加入量进一步增加至25%时,试样

出现少量的 α - Al_2O_3 衍射峰,这可能是因为过量的 Na_2O 与 Al_2O_3 在高温下形成液相,在冷却的过程中 α - Al_2O_3 从液相中析出所致。综上所述,碳酸氢钠加入量为 22% 时,可制备得到 β'' - Al_2O_3 纯相。

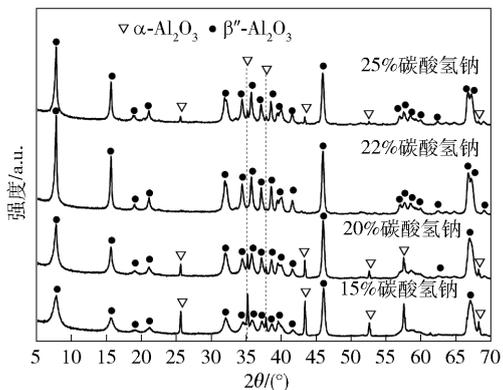


图 4 不同加入量的碳酸氢钠制备 β'' - Al_2O_3 的 XRD 图谱

Fig. 4 XRD patterns of β'' - Al_2O_3 prepared by different amounts of sodium bicarbonate

2.3 煅烧温度对制备 β'' - Al_2O_3 的影响

以勃姆石为铝源,22% 碳酸氢钠为钠源,分别在 1 180 $^{\circ}\text{C}$ 、1 280 $^{\circ}\text{C}$ 和 1 380 $^{\circ}\text{C}$ 下煅烧 4 h 制备 β'' - Al_2O_3 , XRD 图谱如图 5 所示。由图可知,煅烧温度为 1 180 $^{\circ}\text{C}$ 时,主要的衍射峰为 β'' - Al_2O_3 ,但在 18.33 $^{\circ}$ 的位置,仍然可以观察到有一个细小的衍射峰存在,经对比为 α - Al_2O_3 衍射峰;而当煅烧温度升高至 1 280 $^{\circ}\text{C}$ 和 1 380 $^{\circ}\text{C}$ 时,都是 β'' - Al_2O_3 的衍射峰,表明经 1 280 $^{\circ}\text{C}$ 和 1 380 $^{\circ}\text{C}$ 煅烧后,勃姆石与 22% 碳酸氢钠配比可生成 β'' - Al_2O_3 纯相。

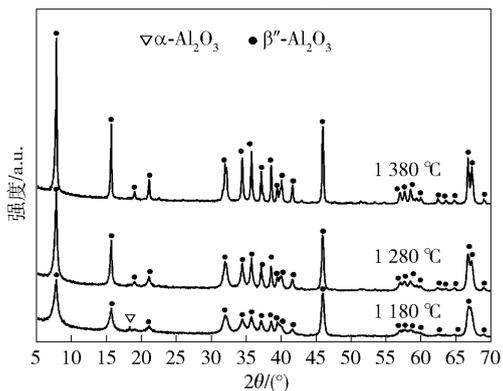
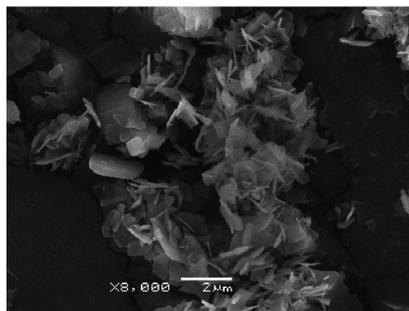


图 5 不同温度煅烧后制备 β'' - Al_2O_3 的 XRD 图谱

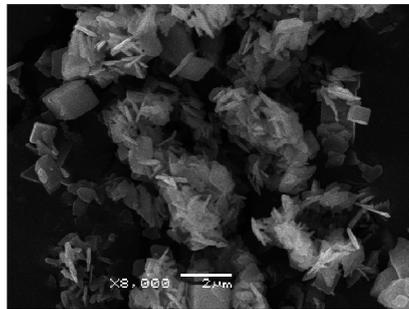
Fig. 5 XRD patterns of β'' - Al_2O_3 prepared by different temperature

经不同温度煅烧后制备的 β'' - Al_2O_3 显微结构如图 6 所示。经 1 180 $^{\circ}\text{C}$ 和 1 280 $^{\circ}\text{C}$ 煅烧后的 β'' - Al_2O_3 的形貌较为接近,呈 1 μm 左右的片状结构,且分散较好。而当煅烧温度升至 1 380 $^{\circ}\text{C}$ 时,薄片状的勃姆石晶粒开始变厚,粒径变大,且晶粒间开始出现黏连。

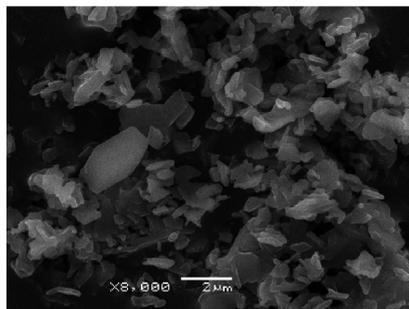
综上所述,1 280 $^{\circ}\text{C}$ 为比较合适的煅烧温度。



(a) 1 180 $^{\circ}\text{C}$



(b) 1 280 $^{\circ}\text{C}$



(c) 1 380 $^{\circ}\text{C}$

图 6 不同温度下制备的 β'' - Al_2O_3 SEM 图

Fig. 6 SEM of β'' - Al_2O_3 prepared at different temperatures

3 结论

本文以实验室制备勃姆石、 α - Al_2O_3 、 γ - Al_2O_3 作为铝源,碳酸氢钠作为钠源,探究不同前驱体对制备 β'' - Al_2O_3 的影响,并考察碳酸氢钠加入量和温度变化对制备 β'' - Al_2O_3 的影响,得到以下结论。

1) 选取 α - Al_2O_3 为铝源制备 β'' - Al_2O_3 ,除了 β'' - Al_2O_3 外,还存在较多的 α - Al_2O_3 ,层状结构的 β'' - Al_2O_3 和颗粒状 α - Al_2O_3 相互团聚;以 γ - Al_2O_3 为铝源制备的 β'' - Al_2O_3 ,仍能观察到少量的颗粒状的 α - Al_2O_3 存在;以勃姆石为铝源制备出的 β'' - Al_2O_3 ,没有观察到 α - Al_2O_3 ,且结晶度高,晶体形貌完整,呈 $1\ \mu\text{m}$ 左右的片状结构,晶粒之间没有团聚。

2) 碳酸氢钠加入量为22%时,可制备得到 β'' - Al_2O_3 纯相,且无其他杂相,同时保持勃姆石前驱体的六边片状结构。

3) 煅烧温度为 $1\ 180\ ^\circ\text{C}$ 时,制备的 β'' - Al_2O_3 中还存在少量的 α - Al_2O_3 ;经 $1\ 380\ ^\circ\text{C}$ 煅烧后的 β'' - Al_2O_3 没有其他物相,但晶粒变厚,粒径变大,且晶粒间出现黏连; $1\ 280\ ^\circ\text{C}$ 煅烧后的勃姆石呈 $1\ \mu\text{m}$ 左右的片状结构,且分散较好,故选取 $1\ 280\ ^\circ\text{C}$ 为合适的煅烧温度。

[参考文献]

- [1] K B Hueso, V Palomares, M Armand, et al. Challenges and perspectives on high and intermediate-temperature sodium batteries [J]. *Nano Research*, 2017, 10(12): 4082–4114.
- [2] I Kim, J Y Park, H K Chang, et al. A room temperature Na/S battery using $\alpha\beta''$ -alumina solid electrolyte separator, tetraethyleneglycol dimethyl ether electrolyte, and a S/C composite cathode [J]. *Journal of Power Sources*, 2016, 301: 332–337.
- [3] 苏威. β -氧化铝膜的制法[J]. *无机盐工业*, 1985(4): 46–47.
SU Wei. Production methods of β -alumina film [J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 1985(4): 46–47.
- [4] 王丽萍, 郭昭华, 池君洲, 等. 氧化铝多用途开发研究进展[J]. *无机盐工业*, 2015(47): 11–15.
WANG Liping, GUO Zhaohua, CHI Junzhou, et al. Progress in multipurpose research and development of multiform alumina[J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 2015(47): 11–15.
- [5] 温廷琰. β 氧化铝——一种快离子导体[J]. *硅酸盐学报*, 1979(4): 380–387.
WEN Tinglian. β -alumina—a fast ionic conductor[J]. *Journal of the Chinese Ceramic Society*, 1979(4): 106–113.
- [6] C A Beevers, S Brohult. The formula of “ β Alumina”, $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ [J]. *Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials*, 1936, 95(1–6): 472–474.
- [7] J T Kummer. β -alumina electrolytes[J]. *Progress in Solid State Chemistry*, 1972(7): 141–175.
- [8] G Yamaguchi, K Suzuki. On the structures of alkali polyaluminates [J]. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 1968, 41(1): 93–99.
- [9] N Fanjat, G Lucazeau, J Bates, et al. Dynamics of Na^+ in a single crystal of Na- β'' - Al_2O_3 [J]. *Physica B Condensed Matter*, 1989, 156: 342–345.
- [10] A K Ray, E C Subbarao. Synthesis of sodium β and β'' alumina [J]. *Materials Research Bulletin*, 1975, 10(6): 583–590.
- [11] A V Virkar, G R Miller, R S Gordon. Resistivity-microstructure relations in lithia-stabilized polycrystalline β'' -alumina [J]. *Journal of the American Ceramic Society*, 1978, 61(5–6): 250–252.
- [12] T Oshima, M Kajita, A Okuno. Development of sodium-sulfur batteries [J]. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 2004, 1(3): 269–276.
- [13] J D Hodge. Alkaline earth effects on the reaction of sodium with aluminum oxide [J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 1986, 133(4): 833.
- [14] B E Yoldas, D P Partlow. Formation of continuous beta alumina films and coatings at low temperatures [J]. *American Ceramic Society Bulletin*, 1980, 59(6): 640.
- [15] S Yamaguchi, K Terabe, Y Iguchi, et al. Formation and crystallization of beta-alumina from precursor prepared by sol-gel method using metal alkoxides [J]. *Solid State Ionics*, 1987, 25(2–3): 171–176.
- [16] M Zaharescu, C Pârlog, V Stancovschi, et al. The influence of the powders synthesis method on the microstructure of lanthanum-stabilized β -alumina ceramics [J]. *Solid State Ionics*, 1985, 15(1): 55–60.
- [17] V Jayaraman, T Gnanasekaran, G Periaswami. Low-temperature synthesis of β -aluminas by a sol-gel technique [J]. *Materials Letters*, 1997, 30(2–3): 157–162.
- [18] T Takahashi, K Kuwabara. β - Al_2O_3 synthesis from m- Al_2O_3 [J]. *Journal of Applied Electrochemistry*, 1980, 10(3): 291–297.
- [19] S Barison, S Fasolin, C Mortalò, et al. Effect of precursors on β -alumina electrolyte preparation [J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 2015, 35(7): 2099–2107.
- [20] 张笑, 杨洋, 吴彦国, 等. 一维薄水铝石制备高 Na- β'' - Al_2O_3 相相含量电解质材料 [J]. *硅酸盐学报*, 2019, 47(6): 758–763.
ZHANG Xiao, YANG Yang, WU Yanguo, et al. Preparation of Na- β'' - Al_2O_3 electrolyte material with high phase content from one-dimensional boehmite [J]. *Journal of the Chinese Ceramic Society*, 2019, 47(6): 758–763.
- [21] 王晓. β'' -氧化铝粉体材料及其陶瓷片的制备研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2014: 30–43.
WANG Xiao. Studies of preparation of β'' -alumina powders and β'' -alumina ceramic wafers [D]. Hunan: Central South University, 2014: 30–43.
- [22] T S Halbach, Y Thomann, R Müllhaupt. Boehmite nanorod-reinforced-polyethylenes and ethylene/1-octene thermoplastic elastomer nanocomposites prepared by *in situ* olefin polymerization and melt compounding [J]. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 2008, 46(8): 2755–2765.

[23] 徐鹏金. 浅述勃姆石的制备及应用研究进展[J]. 中国粉体工业, 2020 (1): 25-29.
XU Pengjin. A brief introduction to the research progress on the preparation and application of boehmite[J]. China Powder Industry, 2020 (1): 25-29.

[24] 温俊磊, 江琦. 多种形貌勃姆石纳米材料制备的研究进展[J]. 材料导报, 2016, 30(7): 42-44.
WEN Junlei, Jiang Q. Review for the synthesis of boehmite nano-materials with diverse morphologies[J]. Materials Report, 2016, 30(7): 42-48.

Effects of different precursors on the preparation of $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$

CHE Hongsheng¹, ZHANG Yang¹, SU Jingbo¹, SHI Wenqi², CHEN Liugang³, JIN Shengli⁴

(1. Zhengzhou Non-Ferrous Metals Research Institute Co. Ltd. of CHALCO, Zhengzhou 450041, China;

2. Zhengzhou Second Foreign Language School, Zhengzhou 450041, China;

3. School of Material Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450041, China;

4. Montanuniversität Leoben, Leoben A-8700, Austria)

Abstract: Sodium sulfur battery is an excellent electrochemical energy storage power. $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ electrolyte ceramic is the core material of sodium sulfur battery, which directly determines the performance, production process and cost of sodium-sulfur battery. The lamellar boehmite is suitable as the precursor for the preparation of layered $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$. In the paper, $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ was prepared at 1 280 °C using $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ and boehmite as alumina precursors and NaHCO_3 as sodium oxide source. The effect on $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ formation behavior of different alumina precursors, amounts of NaHCO_3 and temperature were studied. The phase composition and microstructure of the as-prepared $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ were analyzed, respectively, by X-ray diffraction, and scanning electron microscopy. $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ co-existing with $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ was obtained when using $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ and $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ were used, whereas, phase-pure $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ was prepared by calcining the mixture of boehmite and 22 wt% of NaHCO_3 at 1 280 °C. The phase-pure $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ particles did not agglomerate and showed a sheet-like morphology with a thickness of about 1 μm .

Key words: $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$; boehmite; aluminum hydroxide; hydro-thermal synthesis; sodium bicarbonate; sodium-sulphur battery; energy storage materials

中国恩菲编制的易门铜业智能工厂(自动化提升)建设项目 初步设计通过专家评审

近日,中国恩菲编制的易门铜业智能工厂(自动化提升)建设项目初步设计(代可研)通过专家评审。

易门铜业成立于1995年,现为云南铜业子公司,经两次扩产后,产能已达到粗铜10万吨,硫酸42万吨。2022年8月,为对其工厂进行智能化升级,易门铜业委托中国恩菲实施了智能工厂初步设计。

该项目内容包含基础设施,生产边缘控制模块、生产管理模块、生产监控模块、生产优化模块等4类生产模块,及自动化控制系统、先进过程控制、智能设备、工艺管理、计划管理、质量管理、成本管理、设备状态、能源消耗、计划优化、设备优化、能源优化等12个智能应用。中国恩菲在项目中运用了基础自动化改造和智能装备自动化、工艺优化专家系统、异构数据采集+信息化管理、智慧运营中心等多项核心数字化技术,可实现工厂生产的绿色环保、高效安全,进而实现企业的管理效率和经济效益提升。

下一步,中国恩菲将继续集中力量为项目做好服务支持,保障项目的高质量实施,促进行业的绿色、数字化发展。

(资料来源:中国恩菲)