

文章编号:1674-2869(2015)12-0016-05

# 碱式碳酸镁晶须的均相沉淀法制备及其生长机理研究

陈娟,黄志良\*,陈常连,李文昭,徐伟荣

武汉工程大学材料科学与工程学院,湖北 武汉 430074

**摘要:**为了研究碱式碳酸镁晶须新的制备方法,扩大其作为阻燃剂的应用,采用以六水氯化镁和尿素为原料,通过均相沉淀法成功地制备了  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  型碱式碳酸镁晶须. 采用 X 射线衍射、扫描电子显微镜、红外光谱等测试手段对所得晶须进行物相、形貌和结构分析. 结果表明,当反应原料六水氯化镁与尿素的摩尔比值为 1:4,山梨醇作为有机模板剂时,在水浴时间为 24 h,陈化时间为 21 h,干燥时间为 5 h 的实验条件下,可以制备出长径比大于 100,发育良好的碱式碳酸镁晶须. 采用二维成核-台阶生长理论有效解释了碱式碳酸镁晶须的生长.

**关键词:**碱式碳酸镁晶须;均相沉淀法;二维成核-台阶生长

**中图分类号:** TB35

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3969/j.issn.1674-2869.2015.12.004

## 0 引言

晶须是有一定长径比,人工可控生长的单晶纤维. 其原子高度有序,内部无缺陷,力学性能好,弹性模量高<sup>[1-2]</sup>. 碱式碳酸镁具有良好的流动性、填充性、分散性<sup>[3]</sup>,并且晶须自身的形貌特征优势,添加到高分子材料中后,高聚物的抗拉强度和耐磨性方面都有明显提高,从而成为橡胶、塑料等制品的常用优良填充剂和补强剂<sup>[4-5]</sup>,并且  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  晶须耐高温,热分解出  $CO_2$  和  $H_2O$ ,不产生有毒物质,是一种绿色环保的阻燃剂<sup>[6-7]</sup>,也是一种制备氧化镁晶须的重要中间体. 因此探索晶须的新型制备方法对于新型功能阻燃剂材料的开发具有重要意义.

碱式碳酸镁的制备方法有很多,主要包括高温固相法、气相法、溶胶凝胶法、溶剂热法<sup>[8-9]</sup>等,如 Takahiro Ohkubo 等<sup>[10]</sup>以硫酸镁和碳酸钠为原料采用超声波辐射法制备出花瓣状碱式碳酸镁微米球. Mitsuhashi 等人<sup>[11]</sup>通过制备氢氧化镁水性悬浮液后在二氧化碳的碳化作用下制备出针状碱式碳酸镁. 鲜海洋等人<sup>[12]</sup>以氯化镁溶液与碳酸氢铵为反应物料,采用碳化法制备出长径比 10~40 的碱式碳酸镁晶须. 本研究采用“均相沉淀法”制备  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  晶须,并且探讨在有机质模

板诱导作用下晶须均相沉淀的生长机理.

## 1 实验部分

### 1.1 方法

称取 3.552 4 g 的  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ , 配置成为 1.7 mol/L 的均相溶液,滴加稀盐酸至 pH=3,再加入尿素(氯化镁与尿素摩尔比为 1:4)和山梨醇(质量分数 5%的模板剂),均匀搅拌后倒入密闭的反应釜中,将反应釜置于恒温水浴锅中,在 95 °C 下反应 24 h 后取出,将产品陈化 21 h 后,冷却至室温,采用真空抽滤法进行过滤,用蒸馏水和乙醇洗涤,在真空干燥箱中干燥 5 h,然后对其进行测试分析.

### 1.2 测试与表征方法

本实验采用日本岛津公司生产的 XD-5A 型粉晶 X 射线衍射仪来测试合成样品的物相成分,测试条件为:铜靶,  $K\alpha$  射线( $\lambda=0.154\ 056\ nm$ ),测试仪器的管电压为 30 kV,管电流为 20 mA,扫描范围  $10^\circ \sim 70^\circ$ ,扫描速度为  $4^\circ/min$ . 采用日本岛津公司生产的 JEOL JSM 5 510 LV 型扫描电子显微镜观察合成粉体的微观形貌. 实验采用美国 Nicolet Impact 420 型傅立叶红外光谱仪来测试合成样品的红外吸收峰,分析样品的结构. 测试时采用 KBr 压片,测定的波数范围为  $400 \sim 4\ 000\ cm^{-1}$ .

收稿日期:2015-09-03

基金项目:国家自然科学基金(51374155);湖北省重点科技支撑计划(2014BCB034);湖北自然科学基金(2014CFB796)

作者简介:陈娟(1992-),女,湖北公安人,硕士研究生.研究方向:功能矿物材料.\* 通信联系人

## 2 结果与讨论

### 2.1 $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 晶须的晶体结构

在上述条件下所制备  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶须的 XRD 衍射谱图见图 1. 通过与标准 PDF 卡片(PDF 25-513)比较,样品各峰位置及相对信号强度与标准衍射谱基本吻合,仅有  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  的衍射峰,无其他杂相,而且样品峰形尖锐,说明其结晶度高.  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶须为单斜晶系,空间群为  $P2_1/c$ ,晶格参数为  $a=1.011\ 0\ \text{nm}$ ,  $b=0.894\ 0\ \text{nm}$ ,  $c=0.838\ 0\ \text{nm}$ ,  $\alpha=\beta=90^\circ$ ,  $\gamma=90.25^\circ$ .

通过对晶体物相和结构的分析,作者推断并做出  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶体的结构,如图 2 所示,  $[\text{Mg}(\text{O},\text{OH})_6]$  八面体一半共棱相连接,公共的棱是 O 和 OH 的连接线部分如图 2 中的 a 位置处,一半共顶相连接,公共的顶是与两个 Mg 原子连接的 OH,如图 2 中的 b 位置处. 平行 c 轴为双链,链间以  $[\text{CO}_3^{2-}]$  相连.

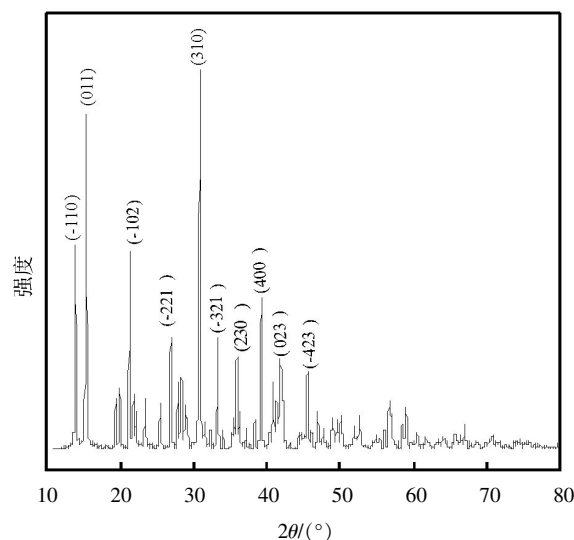


图 1  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶须的 XRD 图

Fig.1 XRD pattern of  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  whisker

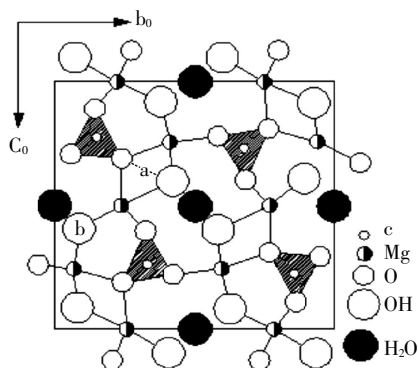


图 2  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶须的晶体结构

Fig.2 Crystal structure of  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  whisker

### 2.2 $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 晶须的晶体形貌

当氯化镁与尿素摩尔比为 1:4,水浴时间 24 h,陈化时间 21 h,干燥时间 5 h 时,得到了发育完好的晶须.  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶须长径比大于 100,单晶呈板片型纤维状晶须,见图 3,显露晶面为平行双面  $a(100)$ 、 $b(010)$  和  $z(-001)$ ,见图 3、图 4.

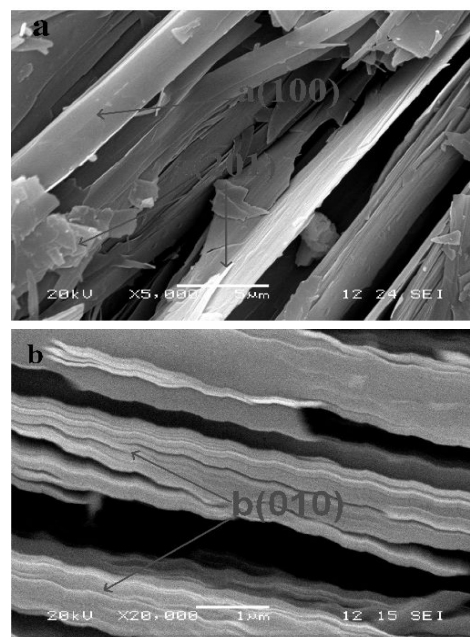


图 3  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶须的 SEM 图

Fig.3 SEM images of  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  whisker

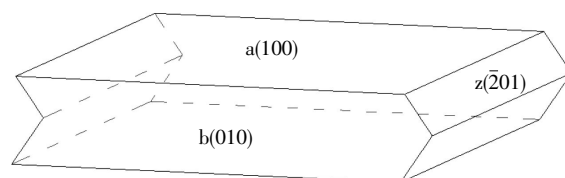


图 4  $4\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶须的晶面示意图

Fig.4 Crystal plane diagram of  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  whisker

### 2.3 $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 晶须的基团结构 FT-IR 解析

$\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶须的红外光谱图见图 5 所示. 晶须的基团主要为结构羟基 ( $\text{O}-\text{H}$ )、结晶水羟基 ( $\text{O}-\text{H}$ ) 以及结构碳酸根 ( $\text{CO}_3^{2-}$ ).

对结构羟基 ( $\text{O}-\text{H}$ ) 基团: 其对称性为  $A_1$  的对称伸缩振动峰  $\nu_1$  的频率为  $3\ 648.76\ \text{cm}^{-1}$ ; 其对称性为  $B_2$  的非对称伸缩振动峰  $\nu_3$  出现了分裂, 频率分别为  $3\ 514.54\ \text{cm}^{-1}$  和  $3\ 448.70\ \text{cm}^{-1}$ , 产生分裂的原因是由于  $\text{O}-\text{H}$  在晶体中处在的不同结构环境造成的, 如图 6, a 处  $\text{O}-\text{H}$  的连接八面体  $[\text{Mg}(\text{O},\text{OH})_6]$  是共棱的, 八面体间距小,  $\text{Mg}-\text{O}$  键键力增大,  $\text{O}-\text{H}$  键键力减小, 对应频率为  $3\ 448.70\ \text{cm}^{-1}$ , b 处  $\text{O}-\text{H}$  的连接八面体  $[\text{Mg}(\text{O},\text{OH})_6]$  是共顶连

接的,八面体间距大,Mg—O 键键力减小,O—H 键键力增大,对应频率为  $3\,514.54\text{ cm}^{-1}$ 。

对结晶水羟基(O—H)基团:其对称性为  $A_1$  的弯曲振动振动峰  $\nu_2$  的频率为  $1\,650.93\text{ cm}^{-1}$ ;其对称性为  $B_2$  的弯曲振动振动峰  $\nu_3$  的频率为  $3\,126.83\text{ cm}^{-1}$ 。

对结构碳酸根  $\text{CO}_3^{2-}$  基团:其对称性为  $A_1'$  的对称伸缩振动峰  $\nu_1$  的频率为  $1\,120.24\text{ cm}^{-1}$ ;其对称性为  $E'$  的非对称伸缩振动峰  $\nu_3$  出现了分裂,频率分别为  $1\,483.55\text{ cm}^{-1}$  和  $1\,421.56\text{ cm}^{-1}$ ;其对称性为  $A_2'$  的面外弯曲振动峰  $\nu_2$  出现了分裂,频率分别为  $885.31\text{ cm}^{-1}$  和  $852.99\text{ cm}^{-1}$ ;其对称性为  $E'$  的面外弯曲振动峰  $\nu_4$  出现了分裂,频率分别为  $743.99\text{ cm}^{-1}$  和  $713.11\text{ cm}^{-1}$ 。产生这些分裂的原因是由于 C—O 在晶体中处在不同结构环境造成的,如图 6, c 处 C—O 中的 O 与一个 Mg 原子相连接, C—O 键力较大,对应频率分别为  $1\,483.55$ ,  $885.31\text{ cm}^{-1}$  和  $743.99\text{ cm}^{-1}$ ,而 d 处的 C—O 中的 O 与两个 Mg 原子相连接, C—O 键力较小,对应频率分别为  $1\,421.56$ ,  $852.99\text{ cm}^{-1}$  和  $713.11\text{ cm}^{-1}$ 。

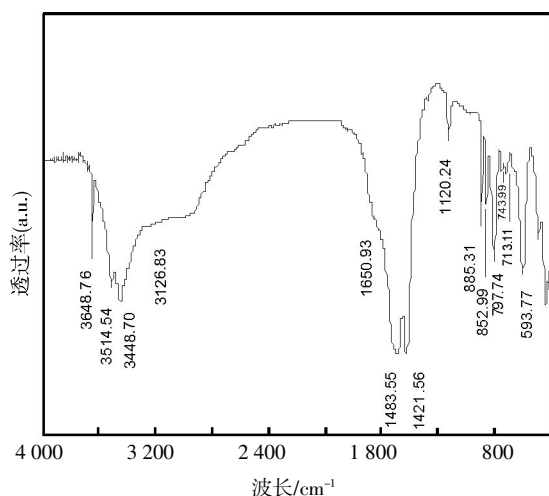


图 5  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶须的 FT-IR 谱图

Fig.5 FT-IR spectrum of  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  whisker

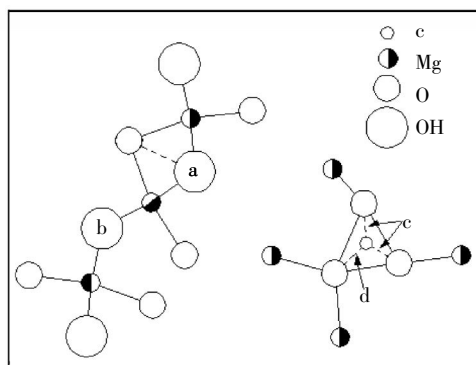


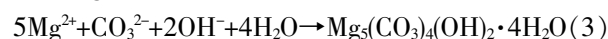
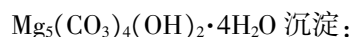
图 6 O—H 和  $\text{CO}_3^{2-}$  的结构连接示意图

Fig.6 Atom structure diagram of O—H and  $\text{CO}_3^{2-}$

## 2.4 $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 晶须的生长机理初步研究

**2.4.1  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶须的均相沉淀机制** 在高压釜中,尿素产生湿化学反应:在常温阶段无反应,随温度( $25 \sim 100\text{ }^\circ\text{C}$ )的不断加,可同时释放出 OH 和  $\text{CO}_2$  气体(式 1),  $\text{CO}_2$  气体在密闭反应釜中产生高压,高压条件下  $\text{CO}_2$  气体部分水解生成  $\text{CO}_3^{2-}$ (式 2),随反应的进行,反应体系的 OH 和  $\text{CO}_3^{2-}$  浓度增加,当浓度达到一定值后产生过饱和,形成  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  沉淀晶核(式 3),此时温度恒定,随着 OH 和  $\text{CO}_3^{2-}$  的均匀缓慢释放,结晶与释放平衡,母液体系饱和度几乎不变,保持在均相体系下沉淀。因此,晶须直径很容易小到纳米或亚微米级,晶须长径比( $L/D$ )较大;

尿素水解反应:



**2.4.2  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶须的有机模板诱导机制** 加入有机模板剂山梨醇,通过有机/无机离子杂化作用来影响不同晶面的界面能大小,从而诱导不同晶面的生长速率,达到晶须的一维定向生长。

晶须定向长大总体速率:

$$U = U_0 \exp(\Delta G_a / K T_0) [1 - \exp(-\Delta G^* / K T_0)] \quad (4)$$

对于晶须的某一晶面( $hkl$ )来说,  $U_{(hkl)}$  也可以写成:

$$U_{(hkl)} = U_0 \exp(\Delta G_a / K T_0) [1 - \exp(-\Delta G^*_{(hkl)} / K T_0)] \quad (5)$$

其中,晶核临界自由能  $\Delta G^*_{(hkl)} = 4\eta^3 \gamma^3_{(hkl)} / [27K^2 T_0^2 (\ln C / C_0)]$ ,  $C$  是体系浓度,  $C_0$  是晶核浓度。

$U_{(hkl)}$  值的大小显然决定于  $U_0$ 、 $\Delta G_a$ 、 $\Delta G^*$  和  $T_0$ ,由于  $\Delta G_a$  只与溶质的扩散有关,在结晶过程中可以认为是常数,在均相系统中由于不同晶面所处的环境对  $U_0$ 、 $T_0$ 、 $\ln C / C_0$  来说是相同的,因此,不同晶面的界面能  $\gamma_{cl(hkl)}$  值是决定  $U_{(hkl)}$  的大小的关键因素<sup>[13]</sup>。  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  的平行双面  $a(100)$  和  $b(010)$  是低指数面,其界面能  $\gamma_{cl(100)}$  和  $\gamma_{cl(010)}$  最小,  $\Delta G^*_{(100)}$  和  $\Delta G^*_{(010)}$  最小,  $U_{(100)}$  和  $U_{(010)}$  最小,根据晶面淘汰理论,最终显露的晶面为  $a(100)$  和  $b(010)$ 。

**2.4.3  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  晶须的二维成核——台阶生长机理** 根据 SEM 图可以明显看出,晶面上形成了较多的“二维晶核”,见图 7a,图 7b,晶须的长大是呈台阶状延伸的,见图 7b。这种晶须沿台阶生长的过程,初步称为“台阶生长”,生长的过程

如图 8. 当反应开始,浓度达到过饱和,体系开始成核,见图 8a,随着反应的继续进行,液相转化为晶体,流体分子到达界面位置 2 时,由于形成了一个最近邻键和四个次近邻键,假设最近邻分子的键合能为  $2\varphi_1$ ,次近邻的键合能为  $2\varphi_2$ ,因而释放的能量为  $W^s=2\varphi_1+8\varphi_2$ . 同样,流体分子到达位置 3 时,释放的能量为  $W^s=4\varphi_1+12\varphi_2$ ,到达扭折位置 4 时,释放的能量为  $W^s=6\varphi_1+12\varphi_2$ . 由此可见,在这些过程中到达扭折位置 4 所释放的能量最大,故该位置势能最低. 因而扭折位置 4 是分子在界面上的最稳定的位置. 扭折位置生长聚合形成台阶,随着反应的进行,晶面进一步生长.

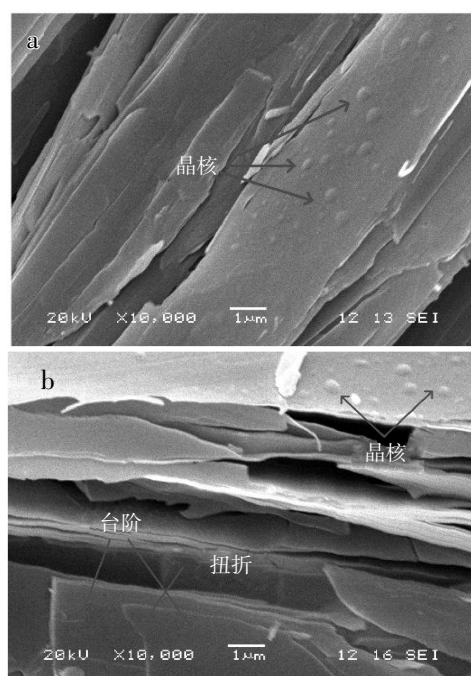


图 7  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  晶须的 SEM 图

Fig.7 SEM images of  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  whisker

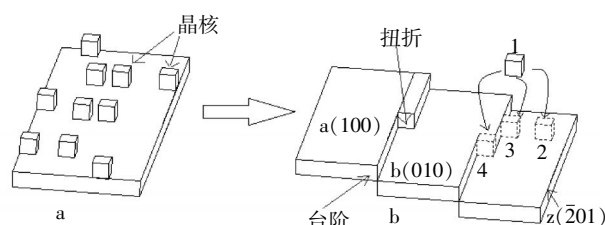


图 8  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  晶须的台阶生长模型图

Fig.8 Step growth model of  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  whisker

### 3 结 语

以  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  和尿素为原料,加入山梨醇作为模板剂,通过均相沉淀法成功制备出了长径比大于 100 的  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  晶须,并且所得晶须结晶度和纯度都较高. 研究了  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  晶须的均相沉淀机制和有机模板诱

导机制,明确尿素的湿化学反应以及界面能对晶面生长的影响,提出  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  晶须的生长符合二维成核——台阶的生长理论. 这有利于进一步研究  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  晶须在不同条件下的生长习性,扩大其在阻燃方面的应用.

### 参考文献:

- [1] 徐兆瑜. 晶须的研究和应用新进展[J]. 化工技术与开发, 2005, 34(2): 11-17.  
XU Zhao-yu. Research progress of whisker and its application [J]. Technology & Development of Chemical Industry, 2005, 34(2): 11-17. (in Chinese)
- [2] 李武, 靳治良, 张志宏. 无机晶须材料的合成与应用[J]. 化学进展, 2003, 15(4): 265-274.  
LI Wu, JIN Zhi-liang, ZHANG Zhi-hong. Application and synthesis of inorganic whisker materials [J]. Progress in Chemistry, 2003, 15(4): 265-274. (in Chinese)
- [3] 吕亚娟, 赵国虎, 马明广, 等. 球形片状微晶碱式碳酸镁的制备、表征及其用作纸填料的特性研究[J]. 化学研究与应用, 2015, 27(1): 89-93.  
LYU Ya-juan, ZHAO Guo-hu, MA Ming-guang, et al. Preparation and characterization of the basic magnesium carbonate appearing spherical type and flake crystallite shape as well as the characteristic study as the paper filler [J]. Chemical Research and Application. 2015, 27(1): 89-93. (in Chinese)
- [4] KIYOAKI M, TARO F, SHINYA N, et al. Development of environmentally -friendly electric wires for household and electro-appliances [J]. SEI Technical Review, 2002, 54: 80-85.
- [5] 刘峰, 向兰, 金涌. 水热法制备碱式硫酸镁晶须的过程机制[J]. 无机材料学报, 2004, 19(4): 784-785.  
LIU Feng, XIANG Lan, JIN Yong. Hydrothermal synthesis process of magnesium oxysulfate whiskers [J]. Journal of Inorganic Materials, 2004, 19 (4): 784-785. (in Chinese)
- [6] 王国胜, 王蕾, 曹颖, 等. 反应温度对碱式碳酸镁结构及晶形影响的研究[J]. 无机盐工业, 2011, 43(3): 31-37.  
WANG Guo-sheng, WANG Lei, CAO Ying, et al. Study on effects of reaction temperature on stucture and morphology of basic magnesium carbonate[J]. Inorganic Chemicals Industry. 2011, 43(3): 31-37. (in Chinese)
- [7] WU Zhi-cheng, LIU Min-gui, WANG Yong-jing. Study of in situ formation of magnesium hydroxide whidker via basic magnesium chloride whisker regulated by organic parcels at low temperature [J]. Chinese Journal of Structural Chemistry, 2014, 33(6): 881-887

- [8] LOU Zheng-song, CHEN Qian-wang, ZHU Yun, et al. Growth of magnesium carbonate single crystal in supercritical carbon dioxide molten sodium system [J]. *Crystal Growth and Design*. 2004, 4(3): 415–417.
- [9] WANG Qiang, WANG Ke-li, WU Xing-long, et al. Synthesis of  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  with flower-like microstructure and its catalytic activity for transesterification of dimethyl carbonate with phenol [J]. *Chemical Research in Chinese Universities*, 2007, 23(6): 641–645.
- [10] TAKAHIRO O, SEI S, KOHEI M, et al. Preparation of petaloid microspheres of basic magnesium carbonate [J]. *Langmuir*, 2007, 23: 5872–5874.
- [11] MITSUHASHI K, TAGAMI N, TANABE K, et al. Synthesis of microtubes with a surface of “house of cards” dtructure via needlelike particles and control of their pore size[J]. *Langmuir*, 2005, 21(8): 3659–3663.
- [12] 鲜海洋, 姜延鹏, 彭同江, 等. 以温石棉尾矿为镁源制备碱式碳酸镁晶须 [J]. *非金属矿*, 2011, 34(5): 1–7.
- XIAN Hai-yang, JIANG Yan-peng, PENG Tong-jiang, et al. Preparation of basic magnesium carbonate from chrysotile asbestos tailing [J]. *Non-Metallie Mines*, 2011, 34(5): 1–7. (in Chinese)
- [13] 何前军, 黄志良, 张联盟, 等. 羟基磷灰石晶须的控制合成与机理探讨 [J]. *武汉化工学院学报*, 2005, 27(5): 36–38.
- HE Qian-jun, HUANG Zhi-liang, ZHANG Lian-meng, et al. Study on controlling synthesis of the HAP whisker and its mechanism [J]. *Journal of Wuhan Institute of Technology*, 2005, 27(5): 36–38. (in Chinese)

## Preparation and growth mechanism of basic-magnesium carbonate whisker by a homogeneous precipitation method

*CHEN Juan, HUANG Zhi-liang, CHEN Chang-lian, LI Wen-zhao, XU Wei-rong*

School of Materials and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

**Abstract:** To study a new and facile preparation method, we prepared basic-magnesium carbonate whisker ( $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) using  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  and urea as raw materials by homogeneous precipitation method. The phase, morphology and structure of the whiskers were characterized by X-ray diffraction, Scanning electron microscope and Fourier transform infrared spectroscopy. The results show that the basic magnesium carbonate whisker with aspect ratio more than 100 can be prepared at the water bath time of 24 h, aging time of 21 h and the drying time of 5 h when the magnesium chloride and urea molar ratio is 1:4 and sorbic alcohol is used as a template agent. The growth of  $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  whisker could be explained effectively by two-dimensional nucleation-step growth mechanism.

**Keywords:** basic magnesium carbonate whisker; homogeneous precipitation method; two-dimensional nucleation-step growth mechanism

本文编辑: 张 瑞