

木材仿生制备生物结构陶瓷研究进展

周明, 王成毓

东北林业大学, 生物质材料科学与技术教育部重点实验室, 哈尔滨 150040

摘要 以自然界的生物为模板, 利用仿生学原理, 通过有机-无机转化, 获得具有生物结构的陶瓷材料已成为设计、合成材料新的方向。这种生物结构陶瓷材料在光、电、磁、力学方面表现出优异的性能, 具有巨大的发展潜力和广阔的应用领域。本文介绍以木材为模板制备生物结构陶瓷的研究现状、制备方法和性能特点。

关键词 木材; 仿生; 生物模板; 陶瓷; 分级多孔

自然界的生物, 从飞禽走兽到花草树木, 都经历了数亿年的自然选择和演变进化。它们自身的结构和功能已经接近完美, 从而可以适应大自然环境。在不断地认识自然, 了解自然界生物的过程中, 人们发现许多生物独特的结构表现出令人惊叹的特性: 如穿山甲鳞片呈现出特有的抗磨损、抗黏附等特征^[1,2], 贝壳独特的层状结构表现出极强的断裂韧性^[3], 许多植物叶片(如荷叶)表面上的粗糙结构(突起、褶皱、绒毛)协同疏水的表皮蜡质使得其具有优异的自清洁效应^[4,5], 蝴蝶翅膀上独特的光子结构表现出与之对应的结构色^[6,7]。

自然界生物独特的微观结构和优异宏观性能在漫长的演变过程中得到有机的统一。师法自然, 以生物为模板, 从分子水平上入手, 研究生物材料的结构特点及构效关系, 进而模仿研发出类似甚至超越原生物体功能的新材料, 以实现新型仿生智能材料的研究与制备, 这种仿生学研究成为人类发展进程中一个永恒的课题^[8]。

1 木材分级多孔结构

木材是一种天然的有机复合材料, 具有结构层次分明、构造复杂有序、分级结构鲜明、多孔结构精细等特性^[9]。在众多生物模板中, 木材以其自身的优点, 如结构精细优异、来源广泛和可再生等成为被研究较多的一种模板材料。

木材具有层次分明、构造有序的多尺度分级结构, 包括米级的树干, 分米、厘米级的木纤维, 毫米级的年轮, 微米级的植物细胞及纳米级的分子纤维^[9]。与此同时, 木材细胞的细胞壁也呈现分级结构, 包括初生壁、次生壁(又分为次生壁外层 S_1 、次生壁中 S_2 、次生壁内层 S_3)^[10,11]。木材细胞壁的组织结构是以纤维素作为骨架的, 纤维素分子链平行排列聚集成

微团(即基原纤丝), 这些微团再次聚集组成微纤丝, 由微纤丝聚集组成微纤丝束, 微纤丝束再经过聚集形成粗纤丝, 粗纤丝相互结合形成细胞壁的薄层。木材的分级结构如图1^[12,13]所示。

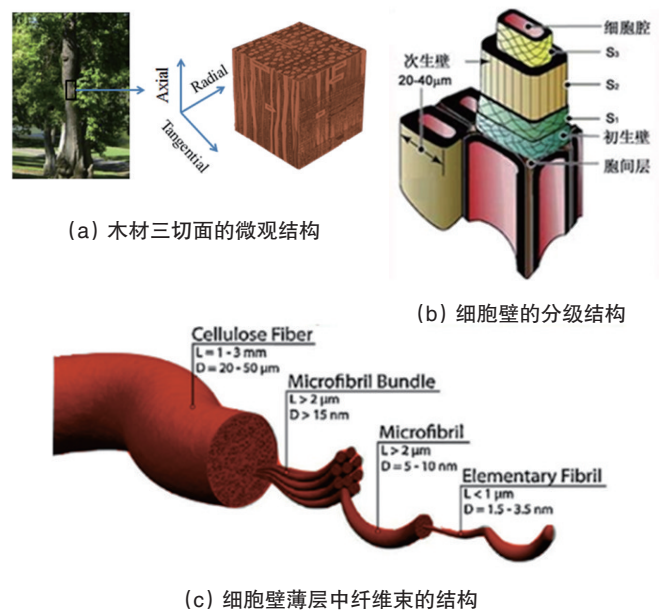


图1 木材的分级结构

Fig. 1 Hierarchical microstructure of wood

木材除了具有多尺度分级结构, 还具有精细的分级多孔结构。不同的木材其管孔结构不尽相同, 阔叶材的管孔形状呈现多样性且大孔小孔相间分布, 而针叶材管孔结构相对均一且分布较为规则。木材各异的管孔形状、尺寸及分布特

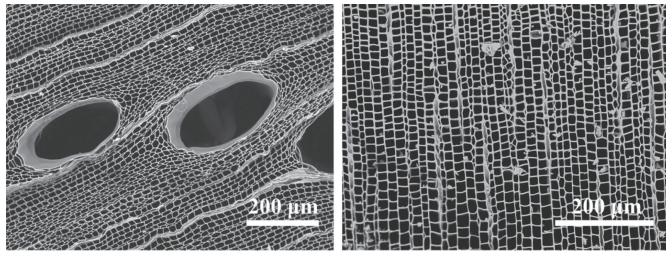
收稿日期: 2015-10-19; 修回日期: 2016-01-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(31470584)

作者简介: 周明, 硕士研究生, 研究方向为超疏水性生物质基复合材料及木材功能性改良, 电子信箱: zm15886677029@163.com; 王成毓(通信作者), 教授, 研究方向为超疏水性木材与生物质材的仿生合成及应用, 电子信箱: wangcy@nefu.edu.cn

引用格式: 周明, 王成毓. 木材仿生制备生物结构陶瓷研究进展[J]. 科技导报, 2016, 34(19): 111-115; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.19.019

征,为制备和合成不同的多孔材料提供了更多的选材空间。不同种类木材模板的微观组织结构如图2所示。



(a) 柳桉(阔叶材) (b) 落叶松(针叶材)

图2 木材模板材料的微观组织结构

Fig. 2 SEM images of wood templates

2 木材分级多孔结构陶瓷的制备工艺

利用木材作为模板制备分级多孔陶瓷主要有两种技术途径^[14,15]:模板转化技术和模板替代技术。模板转化技术主要用来制备碳化物相陶瓷材料,木材模板在高温惰性环境下热解成多孔碳模板,然后将熔融或蒸汽状态下的金属或者硅与碳模板反应形成碳化物相。模板替代技术主要用来制备氧化物陶瓷材料,原始或者经过热解后的生物模板被金属的盐溶液或有机前驱体液体浸渍后,高温移除原始纤维模板得到氧化物相陶瓷材料。以木材为模板制备生物多孔陶瓷材料的合成路线如图3^[16]所示。

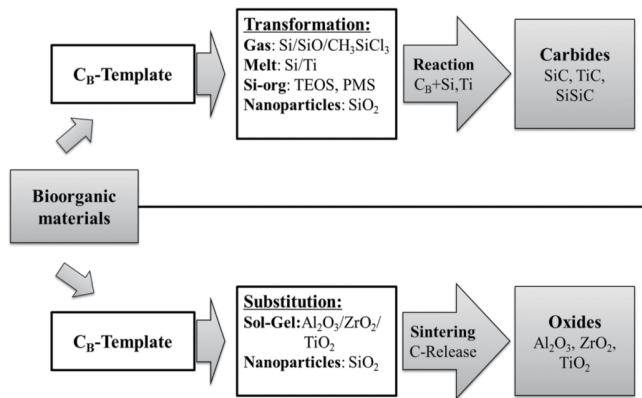


图3 以木材为模板制备生物结构陶瓷材料的合成路线

Fig. 3 Synthetic route of biomorphic ceramic derived from wood-template

2.1 熔融液相渗入反应法

熔融液相渗入反应法是制备木材结构陶瓷较为传统的方法,主要是利用天然木材或热解的碳模板的多孔性,将熔融状态下的金属或金属合金、硅渗入模板中得到复合相陶瓷。20世纪90年代, Greil等^[10]将液态硅渗透到热解后的碳模板中,在1600℃下保温4 h,使得Si与碳骨架反应,最后形成具有木材结构的 β -SiC陶瓷。Zollfrank等^[17]以榉木、松木为生物模板材料,并将其在N₂氛围下高温热解成碳模板,在真空条件下将熔融状态的Si渗入碳模板中,最后在1550℃的温度

下反应1 h得到SiSiC生物形态的多孔陶瓷。王天驰等^[18,19]将熔融状态下的铝合金压渗入多孔碳模板中制得多孔Al/C复合材料,将浸渍有甲基有机硅树脂的碳模板高温烧结得到SiC+C陶瓷,然后在高温高压条件下将熔融状态下的铝合金渗透到SiC+C陶瓷中得到(SiC+C)/Al复合陶瓷。这些复合材料较普通碳材料磨损率降低,且(SiC+C)/Al复合陶瓷具有优异的耐磨性。

2.2 化学气相渗入反应法

气相渗入反应法制备步骤是先将木材高温碳化得到多孔碳模板,然后将金属或者硅粉末与碳模板一起放入反应炉中,根据不同的金属调节加热温度,金属气化后渗入模板孔结构中反应得到碳化物相生物结构陶瓷。钱军民等^[20]将气态的硅渗透到碳化榉木的管状孔道系统,在氩气氛围下高温反应0.5~8 h得到 β -SiC陶瓷材料。与浸渍熔融硅液体相比,浸渍硅蒸汽所得到的木材结构陶瓷没有单质硅的残留。Vogli等^[21]在真空条件下向碳化木材模板中渗透Si蒸汽,高温下反应分别得到SiC多孔陶瓷。Ghanem等^[22]以纸质材料为原料,先将其高温热解转换成碳模板,在高温条件下往碳模板中渗入TiCl₄、CH₄、H₂等气体反应得到TiC陶瓷,最后TiC陶瓷在有氧环境下高温烧结得到TiC/TiO₂或TiO₂陶瓷。Ghanem等^[23]用化学气相渗入反应法制备出Si₃N₄陶瓷,在反应温度为1410℃时得到 α -Si₃N₄陶瓷,当温度高于1410℃时,得到 β -Si₃N₄或 β -Si₃N₄/SiC复合相陶瓷。

2.3 溶胶凝胶渗透反应法

溶胶凝胶渗透反应法主要用来制备多孔结构氧化物陶瓷。制备过程:1)氧化物溶胶的制备、浸渍和凝胶;2)经过溶胶渗透过的木材模板或者碳模板在有氧环境下高温煅烧得到多孔氧化物陶瓷。Mizutani等^[24]将异丙醇钛(TTIP)在真空条件浸渍到木材中,TTIP经水解后在木材管壁上生成TiO₂溶胶,凝胶后高温烧结,得到木材结构的TiO₂陶瓷。Daud等^[25]将SiO₂溶胶渗透到木材模板中,并将其烧结得到具有木材纤维骨架结构的SiO₂模板,将SiO₂模板与环氧树脂复合,得到环氧树脂-SiO₂复合材料。Cao等^[26-28]制备了金属氧化物的前驱体溶胶,利用真空浸渍将前驱体溶胶渗透到木材模板或原木热解后的碳模板中,高温下烧结生成多孔金属氧化物(Al₂O₃、TiO₂、ZrO₂)陶瓷材料。Song等^[29]以蝴蝶翅膀为生物模板,向模板中渗透含Sn的溶胶,最后在有氧炉高温烧结得到分级多孔的SnO₂材料,这种生物形态的SnO₂对乙醇、甲醛具有较好的气敏响应性。

2.4 水热浸渍反应法

水热浸渍反应法:生物模板材料在金属的盐溶液中浸渍达到所需配比,进行高温烧结得到多孔陶瓷材料。刘兆婷等^[30-32]常压下将抽提处理过的木材反复浸泡于金属盐溶液中,最后在高温环境下进行烧结得到分级多孔的氧化物(Fe₂O₃、ZnO、Mn₂O₃)材料。Matovic等^[33]选取榉木为模板材料,并将生物模板浸泡在硝酸铈、硝酸铈组成的混合溶液中,最后在大气环境下高温煅烧得到铈参杂的氧化铈多孔陶瓷。

赵琳等^[34]用氯化铝溶液浸渍棉花纤维,将浸渍过的棉花纤维在高温有氧环境烧结得到了纤维状的氧化铝陶瓷。

3 木材结构陶瓷的应用

木材结构的多孔材料不仅拥有传统陶瓷材料耐高温、耐磨损和耐腐蚀等特点^[35-37],还在光、电、磁等方面表现出优异的性能,被广泛应用于分离提纯、催化剂载体、光电器件及传感器研制等诸多功能性领域^[38-41]。

用于分离提纯:木材结构的陶瓷材料具有较高的孔隙率、分级的孔径结构、耐高温等特点,可以实现高温环境下气固相介质的分离。

用于催化剂载体:木材结构的陶瓷材料具有较高的比表面积,多尺度管孔结构(微孔、介孔、大孔)等特点。既有催化反应所需要的场所条件,又能为反应产物传输提供通道。兼有多种孔径的陶瓷材料已经成为催化剂载体材料开发的新需求。

用于光电器件:电磁波辐射已经成为损害人类健康的一个潜在威胁,性能优良的电磁屏蔽材料成为研发的重点。木材结构的陶瓷可以抑制电波的穿透,并通过其自身多孔结构的散射和吸收作用使内部具有很低的电磁波反射率。材料的多孔结构由于其引发的量子限域效应、表面效应等,也能大幅度改善其光学性能,故利用遗传自木材的分级多孔结构,再与光学材料的材质耦合,可期望获得具有优异光学性能的新材料。

用于传感器件:多孔结构的陶瓷置于某些气体或液体介质中,介质中一些成分被多孔陶瓷吸附、凝聚或者反应,从而改变多孔陶瓷本身的电阻率。利用这一特性,可以检测介质中相应的气体或者液体,即气敏或湿敏元件。Peng等^[42]以棉纤维为模板材料制备出了生物形态的ZnSnO₃中空纤维,这种材料对乙醇气体表现出较高的响应性,可以用于高性能乙醇传感器的制备。

此外,多孔陶瓷本身的耐磨性、耐高温使得它广泛应用于特种功能材料领域。

4 趋势展望

仿生构筑木材结构的陶瓷材料兴起于20世纪90年代,作为近年来的研究热点之一,一直备受关注。经过20多年的探索研究,已经取得了阶段性的成就,然而仍有许多问题亟待解决。

1) 生物质材料在碳化的过程中,水分迁移和纤维素等细胞壁组分的热解引起各向异性收缩,最终导致材料开裂和翘曲。

2) 对于模板法制备生物结构陶瓷的机理研究不足,许多工艺数据依赖于经验值,同时生物模板的组成结构较复杂,也给详尽的理论研究造成了困难。

3) 生物模板的精美结构给予研究者设计的灵感,然而其自身的缺陷也造成了仿生合成陶瓷性能上的不足。模板材

料个体的差异性,如内部组织不均一性,芯、边材结构的差异性等都导致所制备的陶瓷材料制品质量一致性差。

4) 利用生物模板所制备的陶瓷材料品种较为单一,经过20多年的发展,主要的成果为碳化物陶瓷,如SiC、氧化物陶瓷TiO₂等,研究范围有待拓展。实验条件的苛刻及对设备的高要求,产率低,周期长等条件的限制,导致生物结构多孔陶瓷的制备只是停留在实验室合成阶段。

5) 对于氧化物多孔陶瓷的制备,在烧结过程中移除了模板原有的纤维素骨架,导致最后的多孔陶瓷机械稳定性差。

上述生物结构陶瓷研究进展中存在的问题,正是以后研究的方向。

对于各向异性收缩引起的材料的开裂和翘曲,其解决方法是加入能与纤维素羟基发生交联作用的偶联剂以强化细胞壁,并控制好工艺参数,如程序升温过程中温度的掌控。

对于木材结构陶瓷制备机理的研究不足将是制约其发展的重要因素,纤维素、木质素、半纤维素是细胞壁的主要成分构成,木材热解的过程中受这3类物质的热解因素的影响,研究起来比较困难,可先对木材单一组分进行研究,然后在此基础上进行综合研究。

面对生物结构陶瓷品种单一的问题,应将研究重点由原来的单组份陶瓷拓展到多组分复合陶瓷材料^[43],由原来的常规陶瓷拓展到稀有元素组成的生物结构陶瓷上。同时可将模板的选取从原来的木材拓展到其他生物质材料上,竹材、甘蔗渣、丝瓜、棉花等具有特殊结构的生物质材料将会给生物结构陶瓷带来不同的功能特点。

选材是制备生物结构陶瓷的第一步也是最重要的一步,应该选取生物质材料构造大体相似的部位作为模板材料。

对于氧化物多孔陶瓷结构稳定性差的问题,我们可以进行多次渗透,使得浸渍物尽可能多地存在于管壁及纤维束之间,同时控制好程序升温及降温参数。

电磁屏蔽、传感性能、耐磨性是生物结构陶瓷主要的性能探索,然而其优越的性能不只是局限于这几方面,我们应该积极探索多孔结构和特殊功能物质复合的陶瓷材料所带来的新的性能与应用。

5 结论

自然界的生物经过数亿年的演变,实现了结构和功能的精细与完美,木材更是具有精细分级多孔结构及优异的性能,为仿生材料提供了生物模板。对中国而言,木材资源相对匮乏,充分利用木材资源即实现木材高性能化和功能化、开发新材料、提高木材附加值成为木材领域学者研究的永恒方向。

用木材为模板制备生物结构陶瓷,是结构陶瓷材料设计的一种新思路。与传统多孔陶瓷相比,可实现复杂形状的原位成形。生物结构的陶瓷材料,具有良好的力学、光、电、磁等方面的独特性能。生物结构陶瓷还是一种环境友好型陶瓷材料,将废旧木质材料制成陶瓷,实现资源的再次利用,不

仅减少了环境污染,副产物木醋酸还广泛应用于农、林业(土壤改良)和医药卫生业(杀菌),具有显著的经济效益和社会效益。这种木材结构陶瓷研究兴起于20世纪90年代,经过20多年的研究发展,在制备工艺及性能表征方面取得了一定的成就。

过去的木材结构陶瓷只是单一的玻璃碳和无定形碳的复合物,现在应该努力向各种新型结构、功能材料发展,如多组分复合型陶瓷。通过研究和利用植物的生长结构,进而采用不同的有机或无机浸渍物,同时结合不同的工艺措施,进行新型结构、功能和结构功能一体化陶瓷材料的优化设计。木材结构陶瓷接下来的工作将更加注重制备机理的研究,拓展其性能的开发研究及应用。

参考文献(References)

- [1] Tong J, Ren L Q, Chen B C. Chemical constitution and abrasive wear behaviour of pangolin scales[J]. *Journal of Materials Science Letters*, 1995, 14(20): 1468-1470.
- [2] Tong J, Lü T, Ma Y, et al. Two-body abrasive wear of the surfaces of pangolin scales[J]. *Journal of Bionic Engineering*, 2007, 4(2): 77-84.
- [3] Kamat S, Su X, Ballarini R, et al. Structural basis for the fracture toughness of the shell of the conch *Strombus gigas*[J]. *Nature*, 2000, 405(6790): 1036-1040.
- [4] Barthlott W, Neinhuis C. Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces[J]. *Planta*, 1997, 202(1): 1-8.
- [5] Neinhuis C, Barthlott W. Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces[J]. *Annals of Botany*, 1997, 79(6): 667-677.
- [6] Liao G L, Zuo H B, Cao Y B, et al. Optical properties of the micro/nano structures of Morpho butterfly wing scales[J]. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 2010, 53(1): 175-181.
- [7] Kolle M, Salgard-Cunha P M, Scherer M R J, et al. Mimicking the colourful wing scale structure of the *Papilio blumei* butterfly[J]. *Nature Nanotechnology*, 2010, 5(7): 511-515.
- [8] 王女, 赵勇, 江雷. 受生物启发的多尺度微/纳米结构材料[J]. *高等学校化学学报*, 2011, 32(3): 421-428.
Wang Nü, Zhao Yong, Jiang Lei. Bioinspired hierarchical micro/nanostructure materials[J]. *Chemical Journal of Chinese Universities*, 2011, 32(3): 421-428.
- [9] 李坚, 孙庆丰. 大自然给予的启发——木材仿生科学刍议[J]. *中国工程科学*, 2014, 16(4): 4-12.
Li Jian, Sun Qingfeng. Inspirations from nature: Preliminary discussion of wood bionics[J]. *Engineering Sciences*, 2014, 16(4): 4-12.
- [10] Greil P, Lifka T, Kaindl A. Biomorphous cellular silicon carbide ceramics from wood: I. Processing and microstructure[J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 1998, 18(14): 1961-1973.
- [11] Greil P, Lifka T, Kaindl A. Biomorphous cellular silicon carbide ceramics from wood: II. Mechanical properties[J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 1998, 18(14): 1975-1983.
- [12] 刘兆婷. 木材结构分级多孔氧化物制备, 表征及其功能特性研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
Liu Zhaoting. Synthesis, characterization and properties of hierarchical porous oxides derived from wood templates[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2008.
- [13] Zhu H, Jia Z, Chen Y, et al. Tin anode for sodium-ion batteries using natural wood fiber as a mechanical buffer and electrolyte reservoir[J]. *Nano Letters*, 2013, 13(7): 3093-3100.
- [14] Sieber H, Hoffmann C, Kaindl A, et al. Biomorphous cellular ceramics[J]. *Advanced Engineering Materials*, 2000, 2(3): 105-109.
- [15] Vogli E, Mukerji J, Hoffman C, et al. Conversion of oak to cellular silicon carbide ceramic by gas-phase reaction with silicon monoxide[J]. *Journal of the American Ceramic Society*, 2001, 84(6): 1236-1240.
- [16] Sieber H. Biomimetic synthesis of ceramics and ceramic composites[J]. *Materials Science and Engineering: A*, 2005, 412(1): 43-47.
- [17] Zollfrank C, Sieber H. Microstructure and phase morphology of wood derived biomorphous SiSiC-ceramics[J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 2004, 24(2): 495-506.
- [18] Wang T C, Fan T X, Zhang D, et al. Fabrication and the wear behaviors of the carbon/aluminum composites based on wood templates[J]. *Carbon*, 2006, 44(5): 900-906.
- [19] Wang T C, Fan T X, Zhang D, et al. The fabrication and wear properties of C/Al and (C+SiC)/Al composites based on wood template[J]. *Materials Letters*, 2006, 60(21): 2695-2699.
- [20] Qian J M, Jin Z H, Wang X W. Porous SiC ceramics fabricated by reactive infiltration of gaseous silicon into charcoal[J]. *Ceramics International*, 2004, 30(6): 947-951.
- [21] Vogli E, Sieber H, Greil P. Biomorphous SiC-ceramic prepared by Si-vapor phase infiltration of wood[J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 2002, 22(14): 2663-2668.
- [22] Ghanem H, Kormann M, Gerhard H, et al. Processing of biomorphous porous TiO₂ ceramics by chemical vapor infiltration and reaction (CVI-R) technique[J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 2007, 27(12): 3433-3438.
- [23] Ghanem H, Popovska N, Gerhard H. Processing of biomorphous Si₃N₄ ceramics by CVI-R technique with SiCl₄/H₂/N₂ system[J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 2007, 27(4): 2119-2125.
- [24] Mizutani M, Takase H, Adachi N, et al. Porous ceramics prepared by mimicking silicified wood[J]. *Science and Technology of Advanced Materials*, 2005, 6(1): 76-83.
- [25] Daud N, Shanks R. Epoxy-silica composites replicating wood cell structure[J]. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2014, 62: 11-15.
- [26] Cao J, Rambo C R, Sieber H. Preparation of porous Al₂O₃-ceramics by biotemplating of wood[J]. *Journal of porous Materials*, 2004, 11(3): 163-172.
- [27] Cao J, Rusina O, Sieber H. Processing of porous TiO₂-ceramics from biological preforms[J]. *Ceramics International*, 2004, 30(7): 1971-1974.
- [28] Rambo C R, Cao J, Sieber H. Preparation and properties of highly porous, biomorphous YSZ ceramics[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2004, 87(2): 345-352.
- [29] Song F, Su H, Han J, et al. Controllable synthesis and gas response of biomorphous SnO₂ with architecture hierarchy of butterfly wings[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2010, 145(1): 39-45.
- [30] Liu Z, Fan T, Zhang W, et al. The synthesis of hierarchical porous iron oxide with wood templates[J]. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2005, 85(1): 82-88.
- [31] Liu Z, Fan T, Zhang D, et al. Hierarchically porous ZnO with high sensitivity and selectivity to H₂S derived from biotemplates[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2009, 136(2): 499-509.
- [32] Li X, Fan T, Liu Z, et al. Synthesis and hierarchical pore structure of biomorphous manganese oxide derived from woods[J]. *Journal of the Eu-*

- European Ceramic Society, 2006, 26(16): 3657–3664.
- [33] Matovic B, Nikolic D, Labus N, et al. Preparation and properties of porous, biomorphic, ceria ceramics for immobilization of Sr isotopes[J]. *Ceramics International*, 2013, 39(8): 9645–9649.
- [34] 赵琳, 孙炳合, 范同祥, 等. 模板法制备遗传态 Al_2O_3 陶瓷的研究[J]. *功能材料*, 2005, 7: 16.
Zhao Lin, Sun Binghe, Zhang Di, et al. Morph-genetic Al_2O_3 ceramic derived from bio-template[J]. *Journal of Functional Materials*, 2005, 7: 16.
- [35] Gordic M, Bucevac D, Ruzic J, et al. Biomimetic synthesis and properties of cellular SiC[J]. *Ceramics International*, 2014, 40(2): 3699–3705.
- [36] Vera M C, Ramirez-Rico J, Martinez-Fernandez J, et al. Sliding wear resistance of biomorphic SiC ceramics[J]. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2015, 49: 327–333.
- [37] Ghanem H, Gerhard H, Popovska N. Paper derived SiC– Si_3N_4 ceramics for high temperature applications[J]. *Ceramics International*, 2009, 35(3): 1021–1026.
- [38] Greil P. Biomorphous ceramics from lignocellulosics[J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 2001, 21(2): 105–118.
- [39] Li X Y, Sun M H, Rooke J C, et al. Synthesis and applications of hierarchically porous catalysts[J]. *Chinese Journal of Catalysis*, 2013, 34(1): 22–47.
- [40] Orlova T S, Popov V V, Cancapa J Q, et al. Electrical properties of biomorphic SiC ceramics and SiC/Si composites fabricated from medium density fiberboard[J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 2011, 31(7): 1317–1323.
- [41] Dong Q, Su H, Xu J, et al. Influence of hierarchical nanostructures on the gas sensing properties of SnO_2 biomorphic films[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2007, 123(1): 420–428.
- [42] Song P, Wang Q, Yang Z. Biomorphic synthesis of ZnSnO_3 hollow fibers for gas sensing application[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2011, 156(2): 983–989.
- [43] Li J, Yu S, Ge M, et al. Fabrication and characterization of biomorphic cellular C/SiC–ZrC composite ceramics from wood[J]. *Ceramics International*, 2015, 41(6): 7853–7859.

Research development of biomorphic ceramic derived from wood templates

ZHOU Ming, WANG Chengyu

Key Laboratory of Bio-Based Materials Science and Technology, Ministry of Education; Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract It is a novel bionic technology for the design of advanced materials to prepare the biomorphic ceramic materials from the bio-templates. Because of their special functions in light, electric, magnetic and mechanical performances, the biological ceramic materials have a great potential applications in the field of various new areas. In this paper, the preparation methods, the characteristics and the applications of these biomorphic ceramic materials are reviewed. The prospect of the development of the biomorphic ceramic materials is commented.

Keywords wood; bionic; bio-template; ceramic; hierarchical porous

(责任编辑 王媛媛)