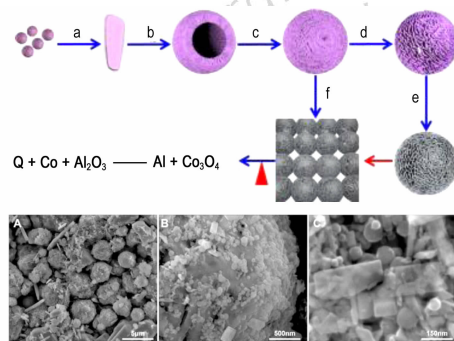


纳米亚稳态分子间复合含能材料的最新研究动态

1. 中国工程物理研究院化工材料研究所设计和制备了三维层状 $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{Al}$ 基纳米含能材料。制备方法可分成如下步骤: a 为纳米粒子组装成的纳米片层; b 和 c 分别为纳米片层组装成三维空心微球; d 为三维多孔空心微球热处理; e 为 Al 沉积在三维多孔中空 Co_3O_4 上, 形成 $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{Al}$ 基纳米亚稳态分子间复合含能材料; f 表示在 Si 衬底上生长纳米 $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{Al}$ 阵列含能材料。所得 $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{Al}$ 材料的起始分解温度低 ($423\text{ }^\circ\text{C}$), 放热量大 ($3118\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$)。此外, 可在硅衬底上生长 $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{Al}$ 阵列, 该方法为制备高反应活性的三维有序纳米含能材料阵列提供了有益参考, 望在微机电器件中得到应用。

源自: Wang J, Zheng B, Qiao Z, et al. Construct 3D porous hollow Co_3O_4 micro-sphere: A potential oxidizer of nano-energetic materials with superior reactivity[J]. *Applied Surface Science*, 2018, 442: 767-772.

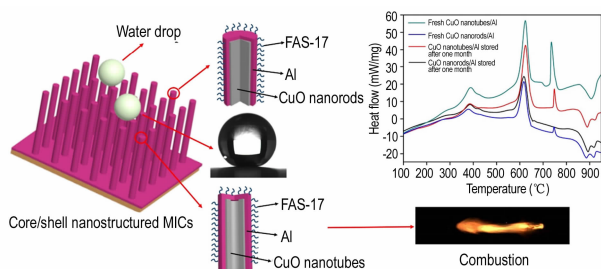


2. 美国密苏里大学用超声分散法制备了厚度约 $3\sim 4\text{ }\mu\text{m}$ 的二维 MoO_3 , 然后与直径为 80 nm 的 Al 纳米颗粒复配出具有高界面接触的纳米亚稳态复合含能材料。Al 纳米球形颗粒和 MoO_3 片状材料的簇紧密自组装排列, 且在微米尺度内长程有序。燃烧试验表明, 其峰值压力高达 (42.05 ± 1.86) MPa, 增压速率达 (3.49 ± 0.31) $\text{MPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。其中, Al 和 MoO_3 间放热反应发生在 Al 熔化之前, 由于他们之间存在较高的界面接触面积, 燃速达 (1730 ± 98.1) $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 是迄今为止所报道的 Al/ MoO_3 复合含能材料的最高值。

源自: Zakiyyan N, Wang A, Thiruvengadathan R, et al. Combustion of aluminum nanoparticles and exfoliated 2D molybdenum trioxide composites[J]. *Combustion and Flame*, 2018, 187: 1-10.

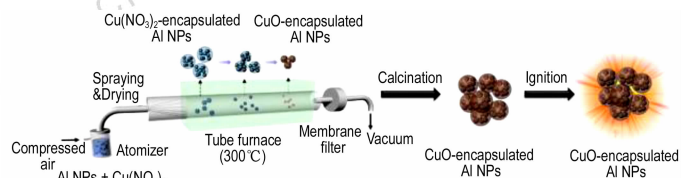
3. 南京理工大学超细粉体中心以 CuO 纳米棒或 CuO 纳米管为核心, 以 Al 为壳, 结合溶液化学法、磁控溅射法和表面处理法, 在 Cu 箔上沉积了两种超疏水 CuO/Al 核壳结构纳米热障材料。由于空心管结构的高比表面积, 两种纳米热固性材料都表现出优异的热性能。该材料的稳态燃烧火焰传播速度约为 $100\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。表面活性剂官能化的 CuO/Al 纳米颗粒具有长期储存稳定性, 暴露在空气中一个月后的能量保持率高达 88%, 有利于提高亚稳态复合含能材料对潮湿环境的抵抗力。

源自: Ke X, Zhou X, Gao H, et al. Surface functionalized core/shell structured CuO/Al nanothermite with long-term storage stability and steady combustion performance[J]. *Materials and Design*, 2018, 140: 179-187.



4. 釜山大学采用简单喷雾热解和后续煅烧工艺, 制备了以 Al 为燃料、CuO 为氧化剂的纳米亚稳态复合含能材料。首先将纳米 Al 和 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 作为 CuO 前体, 在乙醇中溶解, 然后在气相中热解。在随后的煅烧过程中, 通过热分解将 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 及其中间基体覆盖 Al 纳米完全转化为 CuO 基体, 从而制备了 CuO 包覆的纳米 Al。CuO 包覆 Al 纳米材料的点火延迟时间和总燃烧时间也比 Al/CuO 复合 NPs 短得多。

源自: Ahn J Y, Kim S H. Encapsulation of aluminum nanoparticles within copper oxide matrix for enhancing their reactive properties[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2017, 325: 249-256.



5. 复旦大学利用溶剂/非溶剂合成方法将纳米氧化剂 KClO_4 包覆 Al/CuO 纳米复合粒子, 得到核-壳型纳米亚稳态复合含能材料 $\text{KClO}_4@\text{Al}/\text{CuO}$ 。Al/CuO 复合材料通过机械球磨过程均匀混合, CuO 可作为金属氧化物催化剂。此类纳米能量复合材料对火焰敏感度比传统同类材料配方高很多, 且燃速比传统纳米 Al/CuO 增加了 3 倍。

源自: Yang F, Kang X, Luo J, et al. Preparation of core-shell structure $\text{KClO}_4@\text{Al}/\text{CuO}$ Nanoenergetic material and enhancement of thermal behavior[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 3730.

(西北工业大学航天学院 推进剂新功能材料课题组 严启龙 编译)

