

文章编号: 1006-9941(2018)12-1038-06

DNA 自组装制备 CuO/Al 纳米复合含能材料

吴喜娜¹, 咸漠², 陈夫山³, 晋苗苗²

(1. 青岛科技大学化学与分子工程学院, 山东 青岛 266042; 2. 中国科学院青岛生物能源与过程研究所, 中国科学院生物基材料重点实验室, 山东 青岛 266101; 3. 青岛科技大学山东省生物化学重点实验室, 山东 青岛 260042)

摘要: 为了制备结构均匀且热性能优异的纳米复合含能材料, 采用脱氧核糖核酸(DNA)自组合法在室温和水相中制备了 CuO/Al 纳米复合含能材料。采用红外光谱(FT-IR)、动态光散射(DLS)、透射电镜(TEM)、扫描电镜(SEM)以及差示扫描量热仪(DSC)表征了纳米复合含能材料的结构及热反应性能。结果表明, 通过 DNA 自组合法成功制备了一种微观结构更均匀的 CuO/Al 纳米复合含能材料; DNA 自组装样品与同配比物理共混样品相比具有更高的反应热, 且当 $\varphi=1.6$ 时, 自组装样品反应热达到 $1520 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$, 比同配比物理共混样品 ($999 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$) 提高 52.15%。

关键词: 脱氧核糖核酸(DNA)链; 自组装; CuO/Al 纳米复合含能材料; 热性能

中图分类号: TJ55; TB33

文献标志码: A

DOI: 10.11943/CJEM2018227

1 引言

纳米复合含能材料与传统大尺寸含能材料相比, 在很大程度上提高了反应速度和化学反应的完整性, 具有更高的能量以及更高的燃烧速率, 且点火延迟时间更短, 因此在炸药、推进剂、烟火剂中具有广泛的应用^[1]。目前纳米复合含能材料的传统制备方法主要有: 超声混合法、球磨法、静电纺丝法、溶胶-凝胶法等^[2], 得到的纳米复合含能材料较传统大尺寸含能材料性能有大幅提升, 但仍存在以下问题: 如纳米粒子在混合过程中不可避免的团聚对纳米复合含能材料中的扩散过程产生相反的影响^[3], 微观组分分布不均匀, 微观结构难以控制, 使其能量释放效率高的优点不能充分发挥, 应用受到限制。

自组合法能够有效控制组分粒子之间的分散, 使复合材料的热性能得到显著提升^[4], 因此自组合法成为人们研究的重点。如 Malchi^[5] 分别用 ω -功能化烷酸和

ω -功能化硫醇修饰 Al 和 CuO 纳米颗粒, 制备纳米复合含能材料, 使两种纳米反应物紧密接触, 增加反应热。Zhang^[6] 首先通过化学法制备了带有阴阳离子基团的聚叠氮缩水甘油醚基(GAP)含能聚电解质, 然后利用静电组装的方法制备了 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}$ 纳米复合含能材料, 当含能聚电解质含量为 10% 时, 增压速率达到 $410.36 \text{ MPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

脱氧核糖核酸(DNA)是一种天然生物大分子, DNA 本身优越的特性使它在构建纳米结构方面发挥极大作用。DNA 链碱基互补配对的原则可以预测和控制链段之间的结合, 控制纳米材料的结构, 并且 DNA 链碱基互补配对是自发进行的, 能够与各种纳米材料包括其他的生物材料以及金属纳米颗粒一起组装成多功能纳米结构^[7-9]。目前, 已有多篇文献报导用 DNA 链诱导组装纳米贵金属(Au、Ag), Wang^[10] 用不同 DNA 链选择性修饰金纳米棒(AuNR), 当互补 DNA 与表面修饰的 DNA 杂交时, 可以以非交联方式形成并排(SBS)和端对端(ETE)高度有序的结构。Tang^[11] 通过 DNA 链碱基互补配对的原则制备了高度稳定的金纳米核壳卫星结构, 并且通过改变两种纳米颗粒的摩尔比可以得到不同的纳米结构。Carole 课题组^[12-13] 第一次把 DNA 链碱基互补配对、互补配对自发性应用到纳米复合含能材料的制备中, 开辟了一种制备纳米复合含能材料的新方法, 文献中样品热性能得到提升, 但组装后材料混合不均匀, 并且文中缺乏对热性能的系统考察。针对上述问题, 本研究以 Al 纳米颗粒为燃料, CuO 纳米颗

收稿日期: 2018-08-20; 修回日期: 2018-11-26

网络出版日期: 2018-12-04

基金项目: 国防科技创新特区项目; 泰山学者工程专项经费(ts201712076)

作者简介: 吴喜娜(1993-), 女, 硕士研究生, 主要从事含能材料研究。e-mail: 1710839585@qq.com

通信联系人: 陈夫山(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事造纸湿部化学, 生物质化工研究。e-mail: chen-fushan@263.com

晋苗苗(1987-), 女, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事含能材料研究。e-mail: jinmm@qibebt.ac.cn

引用本文: 吴喜娜, 咸漠, 陈夫山, 等. DNA 自组装制备 CuO/Al 纳米复合含能材料[J]. 含能材料, 2018, 26(12):1038-1043.

WU Xi-na, XIAN Mo, CHEN Fu-shan, et al. Preparation of CuO/Al Nanocomposite Energetic Materials by DNA Self-assembly[J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2018, 26(12):1038-1043.

粒为氧化剂,加入微量的DNA分子,通过DNA链碱基互补配对原则制备了CuO/Al纳米复合含能材料,并综合分析表征了CuO/Al纳米复合含能材料的结构和热性能。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

纳米氧化铜(CuO):平均粒径100 nm,类球形,上海攀田粉体材料有限公司;纳米铝(Al):平均粒径100 nm,球形,河南焦作伴侣纳米材料工程有限公司;磷酸盐缓冲溶液(PBS):浓度0.1 M, pH=7.0,北京索莱宝科技有限公司;表面活性剂(Tween-20):阿拉丁;亲和素(Avidin):生工生物工程(上海)股份有限公司,用0.1 M PBS配成 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 亲和素溶液;生物素修饰的DNA链(biotin-DNA):研究所用DNA链a和b为互补配对DNA链,互补杂交效率高,并且自杂交率和错配率低,熔点为 $57.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$,上海桑尼生物科技股份有限公司;氯化

镁(MgCl_2),分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

超声波细胞粉碎机:宁波新芝生物科技股份有限公司,工作功率为100 W,超声工作时间2 s,间隔时间1 s; JW-2019HR型高速冷冻离心机:安徽嘉文仪器装备有限公司; Nicolet 6700型红外光谱仪,美国 Thermo Fisher公司,红外光谱测试之前,离心洗涤3次去除未修饰生物分子,防止残留生物分子影响测试结果; Nano-ZS型纳米激光粒度分析仪, Malvern公司; H-7650型透射电子显微镜,日本日立公司,样品经乙醇分散后滴于铜网,干燥测试; S-4800型场发射扫描电镜,日本日立公司; FD-1C-50型冷冻干燥机,北京博医康实验仪器有限公司; STA449F5 jupiter型同步热重-差示扫描量热仪,美国耐驰公司,温度范围 $25 \sim 900 \text{ }^{\circ}\text{C}$,升温速率 $10 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$, N_2 氛围, $20 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2.2 实验过程

纳米复合含能材料制备流程图如图1所示。

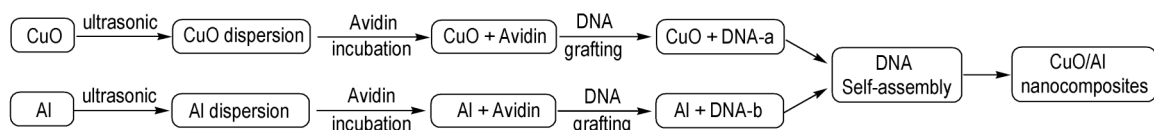


图1 CuO/Al纳米复合含能材料制备流程图

Fig.1 Flow chart for preparation of CuO/Al nanocomposite energetic materials

首先,分别精确称取CuO纳米颗粒和Al纳米颗粒于2 mL磷酸盐缓冲溶液中,利用超声波细胞粉碎机分别超声处理12 min和10 min成均匀分散体系,分散浓度及摩尔配比见表1;其次,分别向各分散体系中加入 $140 \mu\text{L}$ 亲和素(浓度 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$),分散均匀后修饰24 h,并离心洗涤3次去除未修饰亲和素,得到亲和素修饰纳米颗粒体系;再次,向亲和素修饰CuO体系中加入DNA-a链,亲和素修饰Al体系中加入DNA-b链(DNA浓度 $1 \times 10^{-2} \text{ mM}$,体积 $180 \mu\text{L}$)混匀后进行DNA接枝反应,2 h后离心洗涤3次,得到DNA接枝

体系;最后将两体系混合,并加入 20 mM MgCl_2 盐溶液促进组装,组装2 h后离心洗涤3次,冷冻干燥后得到不同配比CuO/Al纳米复合含能材料。

物理共混样品制备:CuO、Al纳米分散体系制备过程同组装体系,将分散均匀的两体系混合后超声分散均匀,并离心洗涤3次,冷冻干燥后得到不同配比CuO/Al物理共混样品。

3 结果与讨论

3.1 红外光谱测试

为了验证是否实现了纳米颗粒表面生物分子的修饰,对Al、CuO、生物分子及不同修饰阶段的纳米颗粒进行红外谱图表征,如图2所示。亲和素(Avidin)是一类蛋白质,由氨基酸构成,含有大量不饱和双键,由图2亲和素红外光谱可知,其重要特征峰有 3400 cm^{-1} 附近N—H伸缩振动峰, 2900 cm^{-1} 附近饱和C—H伸缩振动峰, 1600 cm^{-1} 附近C=C双键、C=O吸收峰,以及 669 cm^{-1} 苯环面外弯曲振动峰。亲和素修饰CuO、Al纳米颗粒红外光谱中,均在 1600 cm^{-1} 、 669 cm^{-1} 处出现亲和素特征峰,说明纳米颗粒表面成功修饰亲和素。

表1 CuO/Al纳米复合含能材料的组成

Table 1 Composition of CuO/Al nanocomposites energetic materials

sample	$C_{\text{Al}} / \text{mM}$	$C_{\text{CuO}} / \text{mM}$	$M_{\text{Al}} : M_{\text{CuO}}$	φ
1	29.65	44.48	0.67:1.00	1.0
2	29.65	37.06	0.80:1.00	1.2
3	29.65	31.77	0.93:1.00	1.4
4	29.65	27.80	1.07:1.00	1.6
5	29.65	24.71	1.20:1.00	1.8

Note: C_{Al} is the molar concentration of Al, C_{CuO} is the molar concentration of CuO, $M_{\text{Al}} : M_{\text{CuO}}$ is the molar ratio of Al to CuO, φ is the equivalence ratio.

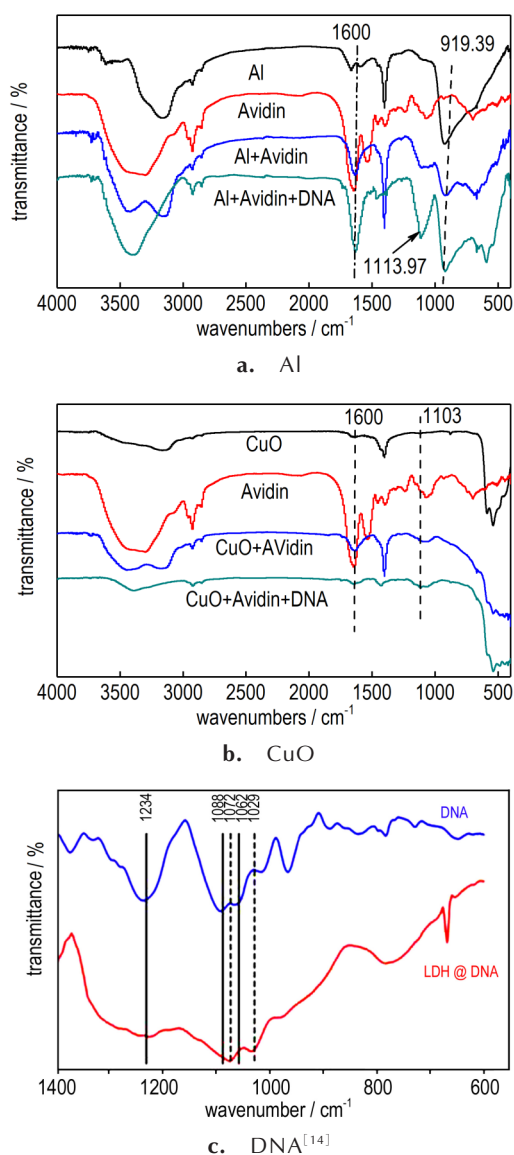


图2 Al、CuO、生物分子及不同修饰阶段纳米颗粒的FT-IR谱
Fig.2 FT-IR spectra of Al, CuO, biomolecules and nanoparticles at the different steps of the process

由图2c可知,DNA链重要特征峰有 $1000\sim 800\text{ cm}^{-1}$ 附近五碳糖吸收峰, 1100 cm^{-1} 附近DNA磷酸二酯键对称伸缩振动峰^[14]。DNA接枝CuO、Al纳米颗粒红外光谱中,在 1100 cm^{-1} 附近出现DNA特征峰,而且发生红移,说明纳米颗粒表面成功接枝DNA。

3.2 粒径分析

为了进一步证明通过DNA实现了纳米复合含能材料的组装,利用纳米激光粒度仪测定DNA自组装样品和物理共混样品粒径随着时间的变化曲线,如图3所示。测试了CuO、Al纳米颗粒不同修饰阶段的zeta电位,结果见表2。

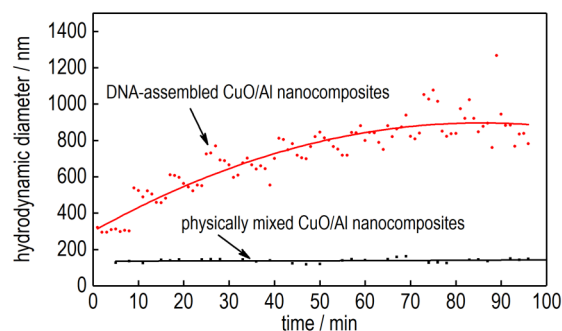


图3 物理共混CuO/Al样品、DNA自组装CuO/Al样品粒径随着时间的变化曲线

Fig.3 Change curves of the particle size of physically mixed CuO/Al samples and DNA self-assembled CuO/Al samples with time

表2 CuO、Al纳米颗粒不同修饰阶段的zeta电位

Table 2 Zeta potentials of the CuO and Al nanoparticles at the different steps of the process

materials	zeta-potential	deviation
CuO	-47.3	± 2
CuO+avidin	-18.5	± 1
CuO+avidin+DNA	-39.3	± 1.5
Al	-46.7	± 2
Al+avidin	-23.1	± 1.4
Al+avidin+DNA	-39.2	± 1.8

由图3可知,与物理共混样品相比,DNA自组装样品平均粒径先随时间延长逐渐增大,后趋于平稳,这是由于DNA碱基互补配对导致CuO与Al组装聚集,粒径逐渐增大,组装稳定后粒径不再增大;物理共混样品平均粒径随时间延长基本不变。由表2可知,亲和素修饰CuO、Al纳米颗粒后,分散体系zeta电位绝对值减小,这是由于亲和素在分散体系中等电点为($pI=10\sim 10.5$)^[15],是一种稳定的碱性蛋白,容易吸附到CuO、Al纳米颗粒表面导致电荷绝对值减小;DNA接枝CuO、Al纳米颗粒后,分散体系zeta电位绝对值增大,这是由于DNA水解后磷酸基团带负电荷,DNA接枝到纳米颗粒表面后导致电荷绝对值增大。

3.3 微观结构表征

研究表明,铝热反应是扩散控制反应,即铝热还原反应速率受金属铝通过氧化剂的扩散传质控制^[16],因此铝热剂的微观形貌对其反应特性有重要影响。为了表征纳米复合含能材料的微观结构,通过透射电镜(TEM)和扫描电镜(SEM)对物理共混样品和DNA自组装样品进行表征分析,图4为原料和两种样品的TEM和SEM图。

由图4a和图4b可知,Al纳米颗粒平均粒径约为100 nm,为规则球形,CuO纳米颗粒平均粒径约为

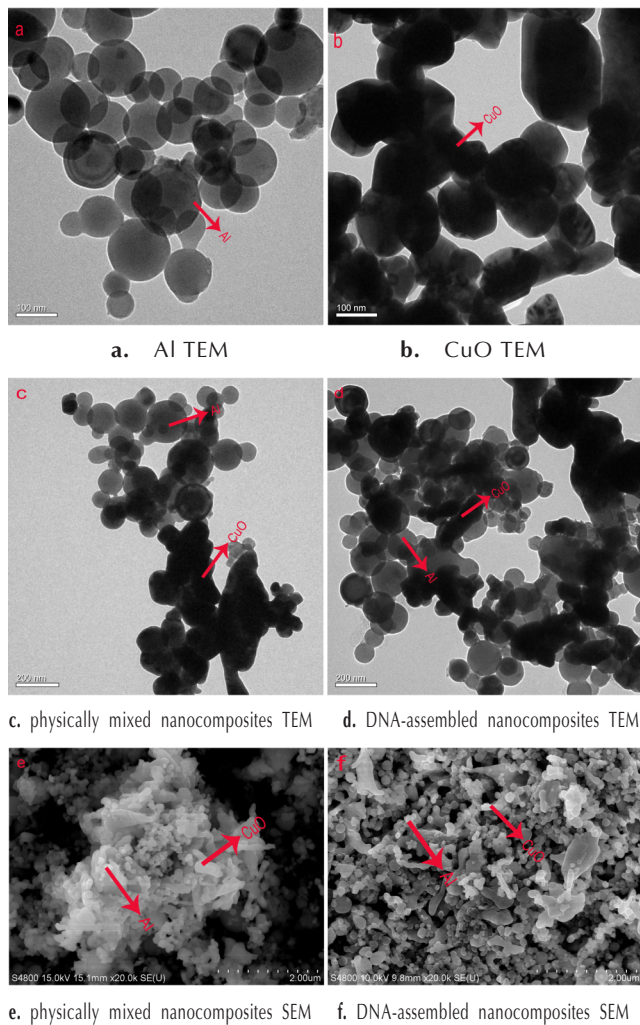


图4 Al和CuO纳米颗粒、物理共混CuO/Al和DNA自组装CuO/Al样品的TEM和SEM图($M_{Al}:M_{CuO}=0.80:1.00$)

Fig. 4 TEM and SEM images of Al and CuO nanoparticles, physically mixed CuO/Al samples and DNA self-assembled CuO/Al samples

100 nm,为不规则类球形;物理共混样品(图4c和图4e)中多数CuO、Al成聚集团聚现象,只有少部分CuO与Al紧密接触,CuO、Al分布不均匀;DNA自组装样品(图4d和图4f)中CuO、Al分布较均匀,CuO纳米颗粒周围包覆Al纳米颗粒,两种纳米颗粒紧密接触,未出现纳米颗粒明显聚集团聚现象,这是由于DNA在体系中起到一定的诱导组装作用,诱导CuO、Al纳米颗粒均匀组装导致的。

为了进一步表征DNA组装样品中CuO、Al纳米颗粒分布的均匀性,对物理共混样品和DNA自组装样品进行能谱测试,结果分别如图5和图6所示。从图5中可以看出,物理共混样品中出现明显不规则聚集现象,CuO和Al纳米颗粒分布不均匀;从图6中可以看出

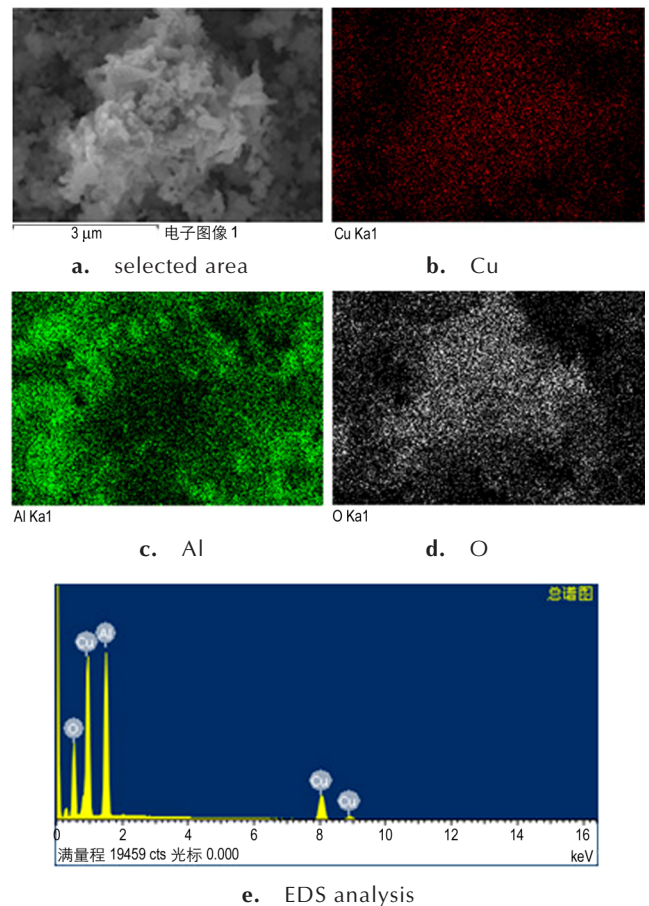


图5 物理共混CuO/Al样品选定区域的元素面分布图和能谱图($M_{Al}:M_{CuO}=0.80:1.00$)

Fig. 5 Element surface distribution and energy spectra of in selected areas of physically mixed CuO/Al samples

DNA组装样品中CuO、Al两种纳米颗粒分布较均匀,而且元素面分布图中含有DNA特征元素P元素,说明DNA存在于组装体系中,进一步验证了DNA诱导两组分均匀组装,得到结构均匀的CuO/Al纳米复合含能材料。

3.4 热性能分析

为表征样品的热性能,利用差示扫描量热仪测试DNA自组装样品及其同配比物理共混样品的热反应特性,DSC结果如图7所示,对其放热峰进行积分得出样品的反应热,结果见表3。

由图7和表3可知,DNA自组装样品DSC放热峰温约为580~600℃,低于Al的熔融温度(660℃),表明反应过程主要是由纳米Al与CuO发生的铝热反应引起的,属于固-固相扩散反应^[17],这是由于DNA自组装样品中纳米CuO、Al分布均匀,两组分紧密接触,热反应速率及效率明显提升导致的;物理共混样品主要放热峰温为700~710℃,高于Al的熔融温度,表明反应

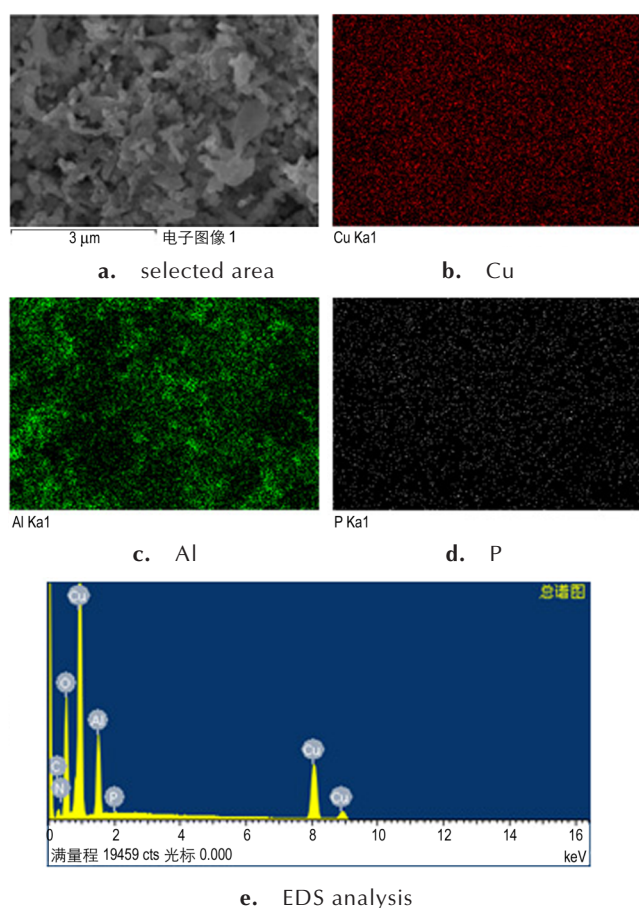
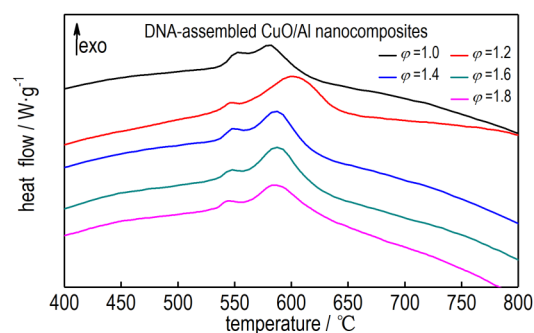


图6 DNA自组装CuO/Al样品选定区域的元素面分布图和能谱图($M_{Al}:M_{CuO}=0.80:1.00$)

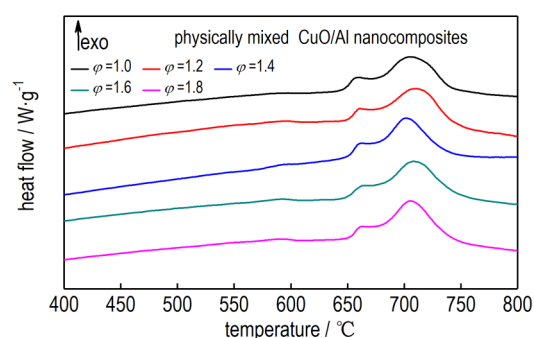
Fig.6 Element surface distribution and energy spectra of in selected areas of DNA self-assembled CuO/Al sample

过程主要是由熔化后的Al与CuO发生反应引起的,属于液-固相扩散反应^[17],这是由于物理共混样品中,纳米CuO、Al颗粒各自团聚严重,两组分接触面积较小,在Al熔融后,液态Al与CuO充分反应导致的。DNA自组装样品的放热峰温比物理共混样品提前115~125℃,进一步验证了DNA可以诱导CuO、Al两组分均匀分布,提高纳米复合含能材料的热反应速率及效率。

由表3可以看出,DNA自组装样品反应热较相同配比的物理共混样品高,这是由于DNA自组装样品中两组分分布均匀,接触面积较大,反应充分所致;当 $\varphi=1.6$ 时,DNA自组装样品和物理共混样品反应热均达到最大值,较物理共混样品反应热提高了52.15%,由于纳米Al表面存在部分 Al_2O_3 ,且铝热反应过程中,Al纳米颗粒表面包覆一层Cu膜,Cu膜的存在使Al纳米颗粒反应相对较少, Al_2O_3 和Cu膜的存在共同导致了 $\varphi=1.6$ 时,即Al过剩时样品反应热出现最大值^[18]。



a. DNA-assembled CuO/Al Nanocomposites



b. physically mixed CuO/Al nanocomposites

图7 DNA自组装CuO/Al样品和物理共混CuO/Al样品的DSC曲线

Fig.7 DSC curves of DNA self-assembled CuO/Al samples and physically mixed CuO/Al samples

表3 DNA自组装CuO/Al样品与物理共混CuO/Al样品反应热

Table 3 The reaction heat of DNA self-assembled CuO/Al samples and physically mixed CuO/Al samples

φ	DNA-assembled CuO/Al nanocomposites		physically mixed CuO/Al nanocomposites	
	$T/^\circ\text{C}$	$\Delta H/\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$	$T/^\circ\text{C}$	$\Delta H/\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$
1.0	580.2	1019	705.8	939
1.2	600.7	1228	709.4	945
1.4	586.2	1346	702.1	958
1.6	587.1	1520	708.2	999
1.8	585.2	1106	705.0	969

Note: φ is equivalence ratio, T is the major peak temperature, ΔH is the exothermic enthalpy.

4 结论

(1)采用DNA自组装法制备了结构均匀有序的纳米复合含能材料,热性能分析表明,相同 φ 值时,DNA组装样品较物理共混样品具有更高的反应热。

(2)DNA自组装样品的DSC放热峰温较物理共混样品的放热峰温提前115~125℃,DNA自组装样品热反应过程主要为固-固相扩散反应,放热峰温在Al熔融温度之前;物理共混样品热反应过程主要为液-固

相扩散反应,放热峰温在Al熔融温度之后。

(3)当 $\varphi=1.6$ 时,DNA组装样品反应热达到 $1520\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$,较物理共混样品反应热提高了52.15%。通过优化条件有望得到结构可控和性能优异的纳米复合含能材料,可在高能炸药及推进剂中进行应用,具有较高的应用潜力。

参考文献:

- [1] Zhou X, Wang Y, Cheng Z, et al. Facile preparation and energetic characteristics of core-shell Al/CuO metastable intermolecular composite thin film on a silicon substrate[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2017, 328: 585-590.
- [2] Tao Y, Zhang J L, Yang Y Y, et al. Metastable intermolecular composites of Al and CuO nanoparticles assembled with graphene quantum dots[J]. *RSC Advances*, 2017, 7(3): 1718-1723.
- [3] Sharma M, Sharma V. Effect of carbon nanotube addition on the thermite reaction in the Al/CuO energetic nanocomposite[J]. *Philosophical Magazine*, 2017, 97(22): 1921-1938.
- [4] Wang H Y, Jian G Q, Egan G C, et al. Assembly and reactive properties of Al/CuO based nanothermite microparticles[J]. *Combustion and Flame*, 2014, 161(8): 2203-2208.
- [5] Malchi J Y, Foley T J, Yetter R A. Electrostatically self-assembled nanocomposite reactive microspheres[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2009, 1(11): 2420-2423.
- [6] Zhang T, Ma Z, Li G, et al. A new strategy for the fabrication of high performance reactive microspheres via energetic poly-electrolyte assembly[J]. *RSC Advances*, 2017, 7(2): 904-913.
- [7] Sun W, Lu Y, Mao J, et al. Multidimensional sensor for pattern recognition of proteins based on DNA-gold nanoparticles conjugates[J]. *Analytical Chemistry*, 2015, 87(6): 3354-3359.
- [8] Chou L Y T, Song F, Chan W C W. Engineering the structure and properties of DNA-nanoparticle superstructures using polyvalent counterions[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2016, 138(13): 4565-4572.
- [9] Yang N, You T T, Liang X, et al. An ultrasensitive near-infrared satellite SERS sensor: DNA self-assembled gold nanorod/nanospheres structure[J]. *RSC Advances*, 2017, 7(15): 9321-9327.
- [10] Wang G, Akiyama Y, Kanayama N, et al. Directed assembly of gold nanorods by terminal-base pairing of surface-grafted DNA[J]. *Small*, 2017, 13(44): 1702137.
- [11] Tang L, Yu G, Tan L, et al. Highly stabilized core-satellite gold nanoassemblies in vivo: DNA-directed self-assembly, PEG modification and cell imaging[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 8553.
- [12] Severac F, Alphonse P, Estève A, et al. High-energy Al/CuO nanocomposites obtained by DNA-directed assembly[J]. *Advanced Functional Materials*, 2012, 22(2): 323-329.
- [13] Calais T, Bourrier D, Bancaud A, et al. DNA grafting and arrangement on oxide surfaces for self-assembly of Al and CuO nanoparticles[J]. *Langmuir*, 2017, 33(43): 12193-12203.
- [14] Andrea K A, Wang L, Carrier A J, et al. Adsorption of oligo-DNA on magnesium aluminum-layered double-hydroxide nanoparticle surfaces: mechanistic implication in gene delivery[J]. *Langmuir*, 2017, 33(16): 3926-3933.
- [15] Kuramitz H, Sugawara K, Tanaka S. Electrochemical sensing of avidin-biotin interaction using redox markers[J]. *Electroanalysis: an International Journal Devoted to Fundamental and Practical Aspects of Electroanalysis*, 2000, 12(16): 1299-1303.
- [16] 郑保辉,王平胜,罗观,等. 超级铝热剂反应特性研究[J]. 含能材料, 2015, 23(10): 1004-1009.
ZHENG Bao-hui, WANG Ping-sheng, LUO Guan, et al. Reaction properties of super thermites[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2015, 23(10): 1004-1009.
- [17] 王毅,李凤生,姜炜,等. Al/Fe₂O₃纳米复合铝热剂的制备及其反应特性研究[J]火工品, 2008(4): 11-14.
WANG Yi, LI Feng-sheng, JIANG Wei, et al. Synthesis of Al/Fe₂O₃ nano-composite and research on its thermite reaction[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2008(4): 11-14.
- [18] Lee K, Kim D, Shim J, et al. Formation of Cu layer on Al nanoparticles during thermite reaction in Al/CuO nanoparticle composites: Investigation of off-stoichiometry ratio of Al and CuO nanoparticles for maximum pressure change[J]. *Combustion and Flame*, 2015, 162(10): 3823-3828.

Preparation of CuO/Al Nanocomposite Energetic Materials by DNA Self-assembly

WU Xi-na¹, XIAN Mo², CHEN Fu-shan³, JIN Miao-miao²

(1. College of Chemistry and Molecular Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China; 2. CAS Key Laboratory of Bio-based Materials, Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266101, China; 3. Shandong Provincial Key Laboratory of Biochemical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: To prepare nanocomposite energetic materials with homogeneous structure and excellent thermal properties, CuO/Al nanocomposite energetic materials were prepared by deoxyribonucleic acid (DNA) self-assembly method at room temperature and in water phase. The structures and thermal reaction properties of the nanocomposite energetic materials were characterized by Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy, dynamic light scattering (DLS), transmission electron microscope (TEM), scanning electron microscope (SEM) and differential scanning calorimeter (DSC). Results show that CuO/Al nanocomposite energetic materials with more homogeneous structure are successfully prepared by DNA self-assembly. The reaction heat of DNA self-assembled CuO/Al nanocomposites is higher than that of physically mixed samples with the same proportion and at $\varphi=1.6$, the reaction heat of DNA self-assembled CuO/Al nanocomposites reaches $1520\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, which is 52.15% higher than that of the physically mixed samples ($999\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$).

Key words: deoxyribonucleic acid(DNA)strands;self-assembly;CuO/Al nanocomposite energetic material;thermal property

CLC number: TJ55; TB33

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2018227