



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110950894 A

(43)申请公布日 2020.04.03

(21)申请号 201911230935.8

(22)申请日 2019.12.05

(71)申请人 山西大学

地址 030006 山西省太原市坞城路92号

(72)发明人 王皓萍 张慧 冯丽恒

(74)专利代理机构 太原申立德知识产权代理事

务所(特殊普通合伙) 14115

代理人 郭海燕

(51)Int.Cl.

C07D 519/00(2006.01)

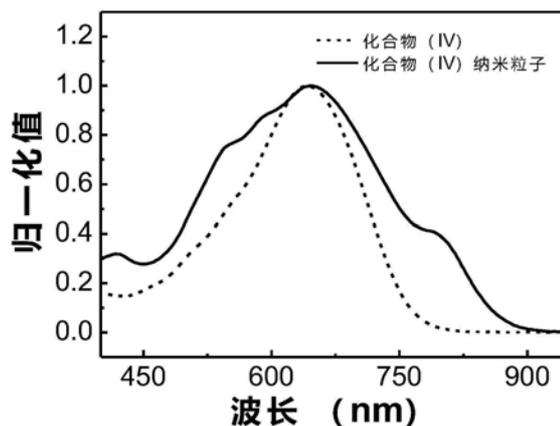
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种D-A-D型有机光热小分子材料及制备方法

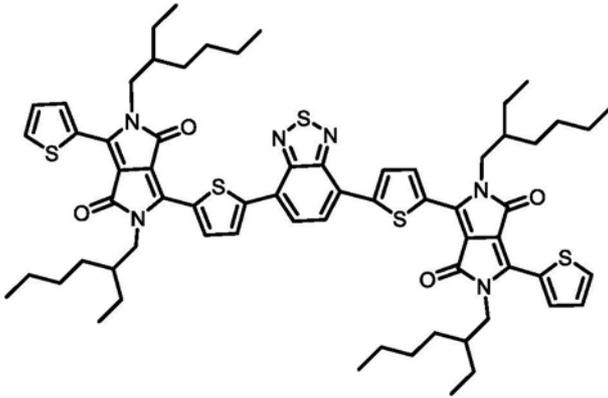
(57)摘要

本发明提供了一种D-A-D型有机光热小分子材料及制备方法,含有吸电子基团2,1,3-苯并噻二唑和给电子基团3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮。将溴代异辛烷取代的3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮用N-溴代丁二酰亚胺取代一个噻吩环上的H后,通过Suzuki反应与2,1,3-苯并噻二唑-4,7-双(硼酸频哪醇酯)反应,得到目标产物。给电子基团侧链上烷基链的引入提高了有机光热材料在有机溶剂中的溶解性,克服了有机聚合物溶解性差的问题,同时具有良好的光稳定性。



1. 一种D-A-D型有机光热小分子材料,其特征在于,含有吸电子基团2,1,3-苯并噻二唑和给电子基团3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮。

2. 一种D-A-D型有机光热小分子材料,其特征在于,所述D-A-D型有机光热小分子材料的结构式为:



3. 一种D-A-D型有机光热小分子材料的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 2-氰基噻吩在叔戊醇和叔戊醇钠的混合溶液中与丁二酸二异丙酯回流反应后,冷却,加入甲醇溶解叔戊醇和叔戊醇钠,冷却至室温,旋干溶剂,依次用水、甲醇、二氯甲烷洗涤抽滤制得3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮;

(2) 在乙腈中,加入碱、溴代异辛烷和步骤(1)所制得的3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮,经过回流反应,反应之后,旋干乙腈溶剂,用水和二氯甲烷萃取,将有机相旋干,再用体积比为1:1的二氯甲烷和石油醚混合物进行柱层析制得2,5-双(2-乙基己基)-3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮;

(3) 将步骤(2)所制得的2,5-双(2-乙基己基)-3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮溶于氯仿,将含有N-溴代丁二酰亚胺的氯仿溶液逐滴滴加于2,5-双(2-乙基己基)-3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮和氯仿的混合液中,室温反应后,旋干溶剂,用二氯甲烷萃取,再用体积比为1:1的二氯甲烷和石油醚混合物进行柱层析得到3-(5-溴噻吩-2-基)-2,5-双(2-乙基己基)-6-(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮;

(4) 将步骤(3)所得的3-(5-溴噻吩-2-基)-2,5-双(2-乙基己基)-6-(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮、碱、2,1,3-苯并噻二唑-4,7-双加入1,4-二氧六环中溶解,然后加入耐压瓶中,抽真空充氮气5min后,再加入催化剂,经过反应,用二氯甲烷萃取,再用二氯甲烷进行柱层析制备最后产物6,6'-(苯并[c][1,2,5]噻二唑-4,7-二基)双(2,5-双(2-乙基己基)-3-(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮)。

4. 根据权利要求3一种D-A-D型有机光热小分子材料的制备方法,其特征在于,所述步骤(1)中的回流反应的温度为90~95℃,回流反应的时间为12~14h,冷却至60℃。

5. 根据权利要求3一种D-A-D型有机光热小分子材料的制备方法,其特征在于,所述步骤(2)中的碱为碳酸铯或碳酸钾,回流反应的温度为90~95℃,回流反应的时间为15~18h。

6. 根据权利要求3一种D-A-D型有机光热小分子材料的制备方法,其特征在于,所述步骤(3)中含有N-溴代丁二酰亚胺的氯仿溶液为N-溴代丁二酰亚胺与氯仿混合配成0.11mol/

L的溶液;2,5-双(2-乙基己基)-3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮和N-溴代丁二酰亚胺的投料摩尔比为1:1.2,室温反应的时间为3h。

7.根据权利要求3一种D-A-D型有机光热小分子材料的制备方法,其特征在于,所述步骤(4)中的碱为碳酸铯或碳酸钾,催化剂为[1,1-双(二苯基膦)二茂铁]二氯化钨二氯甲烷络合物,反应的温度为90~95℃,反应时间为18~20h。

一种D-A-D型有机光热小分子材料及制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及有机光热材料,具体涉及一种D-A-D型有机光热小分子材料及制备方法。

背景技术

[0002] 光作为一种清洁、友好的能源,在生物、医疗、能源等领域应用广泛。由于光的可控性的特点,很多人利用光来产生一些物理或化学性质达到预期的效果,如利用光产生活性氧或者热来治疗细菌感染和癌症。近几十年来,有机光热材料的研究越来越受关注。有机光热材料主要是修饰后的有机共轭聚合物纳米颗粒。其本身存在的一个问题是能将光转换为热的有机共轭聚合物通常具有很大的刚性结构,在溶剂中溶解性差,相应的纳米颗粒的浓度低、分散性和稳定性差使其在生物、能源等领域的使用受到限制。利用D-A-D (Donor-Accept-Donor)的设计原理将柔性的烷基链修饰的给体 (Donor) 与受体 (Accept) 结合,制备成既具有大的刚性结构,又具有一定溶解性的分子结构明确的有机光热小分子。该化合物制备成纳米颗粒后,在808nm的激光照射下具有良好的产热能力和光稳定性。因此,从分子结构上利用D-A-D型设计原理,设计具有良好溶解性的光热小分子,将其制备成纳米颗粒,应用于水溶液体系是本发明的宗旨。

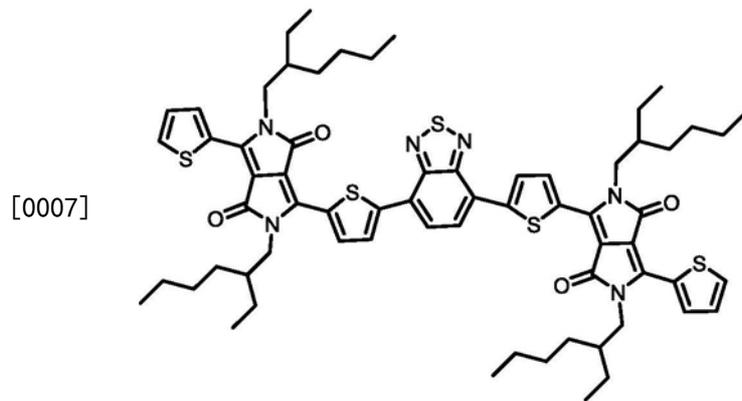
发明内容

[0003] 本发明提供了一种D-A-D型光热材料及其纳米粒子的制备和光学性质,含有吸电子基团2,1,3-苯并噻二唑和给电子基团3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮。所制备的纳米粒子分散性好,在808nm的激光照射下具有良好的光热转换能力;所采用的制备方法操作简单、反应条件温和。

[0004] 为了达到上述目的,本发明采用了下列技术方案:

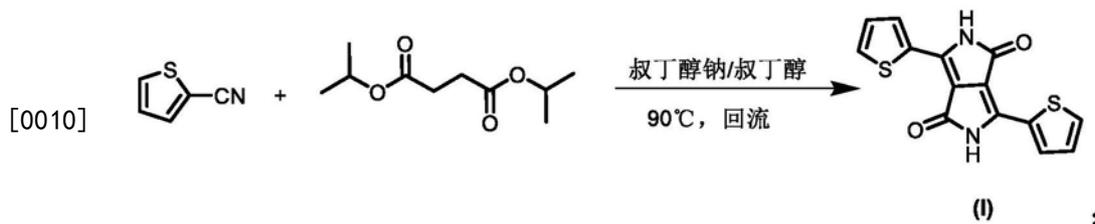
[0005] 一种D-A-D型有机光热小分子材料,含有吸电子基团2,1,3-苯并噻二唑和给电子基团3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮。

[0006] 一种D-A-D型有机光热小分子材料的结构式为:

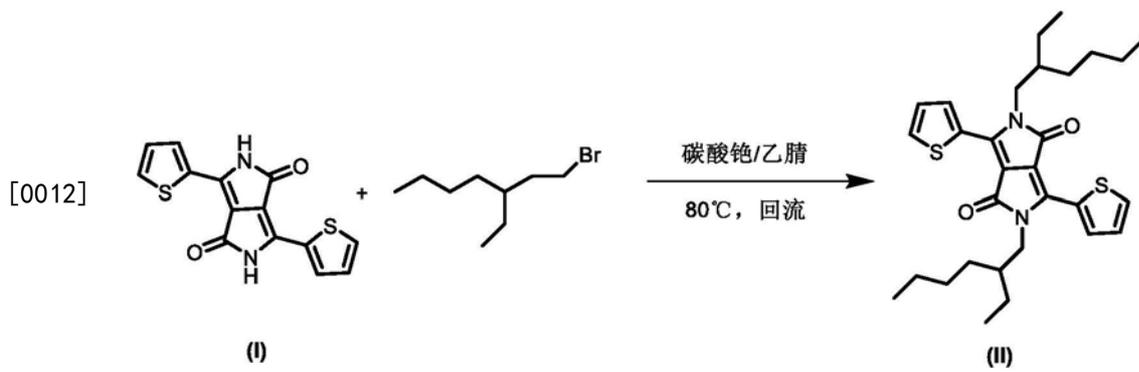


[0008] 一种D-A-D型有机光热小分子材料的制备方法,包括以下步骤:

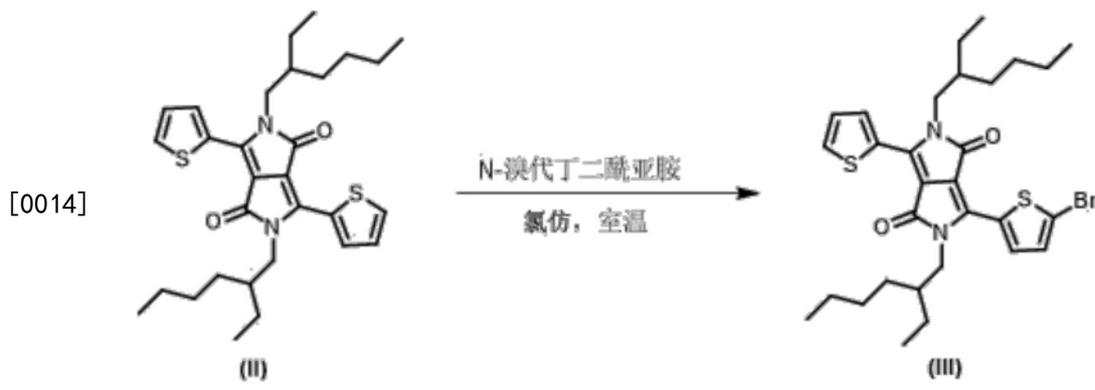
[0009] (1) 2-氰基噻吩在叔戊醇和叔戊醇钠的混合溶液中与丁二酸二异丙酯回流反应后,冷却,加入甲醇溶解叔戊醇和叔戊醇钠,冷却至室温,旋干溶剂,依次用水、甲醇、二氯甲烷洗涤抽滤制得化合物(I) 3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮:



[0011] (2) 在乙腈中,加入碱、溴代异辛烷和步骤(1)所制得的化合物(I) 3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮,经过回流反应,反应之后,旋干乙腈溶剂,用水和二氯甲烷萃取,将有机相旋干,再用体积比为1:1的二氯甲烷和石油醚混合物进行柱层析制得化合物(II) 2,5-双(2-乙基己基)-3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮:

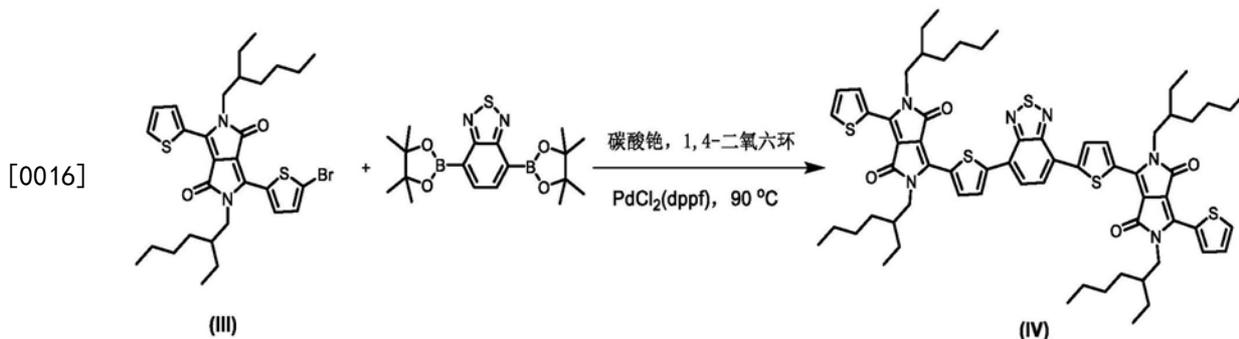


[0013] (3) 将步骤(2)所制得的化合物(II) 2,5-双(2-乙基己基)-3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮溶于氯仿,将含有N-溴代丁二酰亚胺的氯仿溶液逐滴滴加于化合物(II) 2,5-双(2-乙基己基)-3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮和氯仿的混合液中,室温反应后,旋干溶剂,用二氯甲烷萃取,再用体积比为1:1的二氯甲烷和石油醚混合物进行柱层析得化合物(III) 3-(5-溴噻吩-2-基)-2,5-双(2-乙基己基)-6-(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮:



[0015] (4) 将步骤(3)所得的化合物(III) 3-(5-溴噻吩-2-基)-2,5-双(2-乙基己基)-6-(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮、碱、2,1,3-苯并噻二唑-4,7-双加入1,4-二氧六环中溶解,然后加入耐压瓶中,抽真空充氮气5min后,再加入催化剂,经过反应,

用二氯甲烷萃取,再用二氯甲烷进行柱层析制备,得到化合物(IV) 6,6'-(苯并[c][1,2,5]噻二唑-4,7-二基双(噻吩-5,2-二基))双(2,5-双(2-乙基己基)-3-(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮)。



[0017] 进一步,所述一种D-A-D型有机光热小分子材料的制备方法,步骤(1)中的回流反应的温度为90~95℃,回流反应的时间为12~14h,冷却至60℃。

[0018] 进一步,所述一种D-A-D型有机光热小分子材料的制备方法,步骤(2)中的碱为碳酸铯或碳酸钾,回流反应的温度为90~95℃,回流反应的时间为15~18h。

[0019] 再进一步,所述一种D-A-D型有机光热小分子材料的制备方法,步骤(3)中含有N-溴代丁二酰亚胺的氯仿溶液为N-溴代丁二酰亚胺与氯仿混合配成0.11mol/L的溶液;化合物(II) 2,5-双(2-乙基己基)-3,6-二(噻吩-2-基)-2,5-二氢吡咯并[3,4-c]吡咯-1,4-二酮和N-溴代丁二酰亚胺的投料摩尔比为1:1.2,室温反应的时间为3h。

[0020] 更进一步,所述一种D-A-D型有机光热小分子材料的制备方法,步骤(4)中的碱为碳酸铯或碳酸钾,催化剂为[1,1-双(二苯基膦)二茂铁]二氯化钯二氯甲烷络合物,反应的温度为90~95℃,反应的时间为18~20h。

[0021] 一种D-A-D型有机光热小分子材料其纳米粒子的制备所用的有机溶剂为四氢呋喃。

[0022] 一种D-A-D型有机光热小分子材料的光学性质,其特征在于,吸收位于红光波段,发射位于近红外一区。

[0023] 一种D-A-D型有机光热小分子材料其纳米粒子的光学性质,其特征在于,在近红外一区有吸收,在近红外光照射下具有较好的光热转换能力和良好的光稳定性。

[0024] 与现有技术相比本发明的优点和效果:本发明采用得到的有机光热材料结构简单明确,溶解性好,相比有机共轭聚合物光热材料溶解性差的问题具有很好的优势。同时,得到的小分子光热材料可以制成纳米颗粒分散在水溶液中,具有较好的光热转换性能,在生物领域具有潜在的应用价值。

附图说明

[0025] 图1为化合物(IV)和其纳米粒子的紫外吸收光谱;

[0026] 图2为化合物(IV)和其纳米粒子的荧光发射光谱;

[0027] 图3为化合物(IV)纳米粒子的粒径分布图;

[0028] 图4为化合物(IV)纳米粒子的光热性能图;

[0029] 图5为化合物(IV)纳米粒子的光稳定性图。

具体实施方式

[0030] 实施例1

[0031] 1) 在250mL的三口圆底烧瓶中先加入叔戊醇钠(3.00g, 27.2mmol), 叔戊醇20mL, 搅拌均匀之后, 再加入2-氰基噻吩(2.67g, 24.5mmol), 最后再加入丁二酸二异丙酯(1.66g, 8.2mmol), 90℃回流反应, 反应12h后, 冷却至60℃, 加入30mL甲醇, 冷却至室温, 旋干溶剂, 依次用水、少量的甲醇、二氯甲烷洗涤抽滤, 得到纯的化合物(I) 2.14g, 产率87.0%。¹H NMR (DMSO, 600MHz) δ : 8.27 (s, 2H), 8.03 (d, 2H), 7.35 (s, 2H), 3.35 (s, 2H);

[0032] 2) 在250mL的三口圆底烧瓶中加入化合物(I) (1.00g, 3.33mmol), 溴代异辛烷(5.14g, 26.7mmol), 碳酸铯(6.43g, 19.7mmol), 再加入50mL乙腈, 90℃回流反应, 反应15h, 反应之后, 将乙腈旋干, 用大量的水和二氯甲烷萃取, 将有机相旋干, 再用体积比为1:1的二氯甲烷和石油醚混合物过柱, 收集纯产物点, 得到0.55g化合物(II), 产率31.5%。¹H NMR (CDCl₃, 600MHz) δ : 8.90 (m, 2H), 7.63 (m, 2H), 7.28 (m, 2H), 4.03 (m, 4H), 1.85 (m, 2H), 1.23-1.42 (br, 16H), 0.84-1.01 (br, 12H);

[0033] 3) 在250mL的单口圆底烧瓶中, 加入化合物(II) (1.00g, 1.91mmol), 再加入70mL的氯仿, 然后用恒压滴液漏斗一滴一滴加入用20mL氯仿溶解的N-溴代丁二酰亚胺(0.40g, 2.25mmol), 室温下反应3h, 停止反应, 将溶剂旋干, 用二氯甲烷萃取, 再用体积比为1:1的二氯甲烷和石油醚混合物过柱, 收集纯的化合物(III) 0.50g, 产率43.4%。¹H NMR (CDCl₃, 600MHz) δ : 8.93 (m, 1H), 8.65 (d, 1H), 7.67 (m, 1H), 7.30 (d, 1H), 7.25 (d, 1H), 4.03 (m, 4H), 1.85 (m, 2H), 1.26-1.49 (br, 16H), 0.86-0.95 (br, 12H);

[0034] 4) 在15mL的耐压瓶中加入化合物(III) (0.21g, 0.35mmol), 2,1,3-苯并噻二唑-4,7-双(硼酸频哪醇酯) (0.054g, 0.14mmol), 碳酸铯(0.28g, 0.86mmol), 抽真空充氮气5min后, 再加入[1,1-双(二苯基膦)二茂铁]二氯化钡二氯甲烷络合物(0.022g, 0.027mmol), 充氮气5min后, 拧住瓶盖, 90℃反应, 反应18h后, 用二氯甲烷萃取, 再用二氯甲烷过柱, 收集纯的化合物(IV) 0.082g, 产率49.6%; ¹H NMR (CDCl₃, 600MHz) δ : 9.10 (d, 2H), 8.95 (d, 2H), 8.11 (d, 2H), 7.95 (s, 2H), 7.58 (d, 2H), 7.24 (t, 2H), 3.97-4.16 (m, 8H), 1.99-1.87 (m, 4H), 1.42-1.25 (br, 32H), 0.76-0.87 (br, 24H)。MALDI-TOF-MS (m/z): 1080.2[M⁺]

[0035] 实施例2

[0036] 1) 在250mL的三口圆底烧瓶中先加入叔戊醇钠(0.59g, 5.4mmol), 叔戊醇5mL, 搅拌均匀之后, 再加入2-氰基噻吩(0.53g, 4.9mmol), 最后再加入丁二酸二异丙酯(0.32g, 1.6mmol), 90℃回流反应, 反应12h后, 冷却至60℃, 加入20mL甲醇, 冷却至室温, 旋干溶剂, 依次用水、少量的甲醇、二氯甲烷洗涤抽滤, 得到纯的化合物(I) 0.35g, 产率72.8%。¹H NMR (DMSO, 600MHz) δ : 8.27 (s, 1H), 8.03 (d, 1H), 7.35 (s, 2H), 3.35 (s, 2H);

[0037] 2) 同实施例1;

[0038] 3) 在250mL的单口圆底烧瓶中, 加入化合物(II) (1.00g, 1.91mmol), 再加入70mL的氯仿, 然后用恒压滴液漏斗一滴一滴加入用20mL氯仿溶解的N-溴代丁二酰亚胺(0.53g, 2.98mmol), 室温下反应3h, 停止反应, 将溶剂旋干, 用二氯甲烷萃取, 再用体积比为1:1的二氯甲烷和石油醚混合物过柱, 收集纯的化合物(III) 0.35g, 产率30.4%。¹H NMR (CDCl₃, 600MHz) δ : 8.93 (m, 1H), 8.65 (d, 1H), 7.67 (m, 1H), 7.30 (d, 1H), 7.25 (d, 1H), 4.03 (m, 4H), 1.85 (m, 2H), 1.26-1.49 (br, 16H), 0.86-0.95 (br, 12H);

[0039] 4) 在15mL的耐压瓶中加入化合物(III) (0.21g, 0.35mmol), 2,1,3-苯并噻二唑-4,7-双(硼酸频哪醇酯) (0.054g, 0.14mmol), 碳酸铯(0.28g, 0.86mmol), [1,1-双(二苯基膦)二茂铁]二氯化钡二氯甲烷络合物(0.023g, 0.028mmol), 充氮气5min后, 拧住瓶盖, 90℃反应, 反应18h后, 用二氯甲烷萃取, 再用二氯甲烷过柱, 收集纯的化合物(IV) 0.062g, 产率37.5%; $^1\text{H NMR}$ (CDCl_3 , 600MHz) δ : 9.10 (d, 2H), 8.95 (d, 2H), 8.11 (d, 2H), 7.95 (s, 2H), 7.58 (d, 2H), 7.24 (t, 2H), 3.97-4.16 (m, 8H), 1.99-1.87 (m, 4H), 1.42-1.25 (br, 32H), 0.76-0.87 (br, 24H)。MALDI-TOF-MS (m/z): 1080.2 [M^+]。

[0040] 实施例3

[0041] 1) 同实施例1;

[0042] 2) 在250mL的三口圆底烧瓶中加入化合物(I) (1.00g, 3.33mmol), 溴代异辛烷(5.14g, 26.6mmol), 碳酸钾(2.72g, 19.7mmol), 再加入50mL乙腈, 90℃回流反应, 反应15h, 反应之后, 将乙腈旋干, 用大量的水和二氯甲烷萃取, 将有机相旋干, 再用体积比为1:1的二氯甲烷和石油醚混合物过柱, 收集纯产物点, 得到0.55g化合物(II), 产率31.5%。 $^1\text{H NMR}$ (CDCl_3 , 600MHz) δ : 8.90 (m, 2H), 7.63 (m, 2H), 7.28 (m, 2H), 4.03 (m, 4H), 1.85 (m, 2H), 1.23-1.42 (br, 16H), 0.84-1.01 (br, 12H);

[0043] 3) 在250mL的单口圆底烧瓶中, 加入化合物(II) (1.00g, 1.91mmol), 再加入70mL的氯仿, 然后加入溶于20mL氯仿的N-溴代丁二酰亚胺(0.40g, 2.25mmol), 室温下反应3h, 停止反应, 将溶剂旋干, 用二氯甲烷萃取, 再用体积比为1:1的二氯甲烷和石油醚混合物过柱, 收集纯化合物(III) 0.30g, 产率26.0%; $^1\text{H NMR}$ (CDCl_3 , 600MHz) δ : 8.93 (m, 1H), 8.65 (d, 1H), 7.67 (m, 1H), 7.30 (d, 1H), 7.25 (d, 1H), 4.03 (m, 4H), 1.85 (m, 2H), 1.26-1.49 (br, 16H), 0.86-0.95 (br, 12H);

[0044] 4) 同实施例1。

[0045] 实施例4

[0046] 1) 同实施例1;

[0047] 2) 同实施例1;

[0048] 3) 同实施例1;

[0049] 4) 在15mL的耐压瓶中加入化合物(III) (0.21g, 0.34mmol), 2,1,3-苯并噻二唑-4,7-双(硼酸频哪醇酯) (0.054g, 0.14mmol), 碳酸钾(0.12g, 0.86mmol), 抽真空充氮气5min后, 再加入[1,1-双(二苯基膦)二茂铁]二氯化钡二氯甲烷络合(0.23g, 0.028mmol), 充氮气5min后, 拧住瓶盖, 90℃反应, 反应18h后, 用二氯甲烷萃取, 再用二氯甲烷过柱, 收集纯的化合物(IV) 0.035g, 产率21.2%; $^1\text{H NMR}$ (CDCl_3 , 600MHz) δ : 9.10 (d, 2H), 8.95 (d, 2H), 8.11 (d, 2H), 7.95 (s, 2H), 7.58 (d, 2H), 7.24 (t, 2H), 3.97-4.16 (m, 8H), 1.99-1.87 (m, 4H), 1.42-1.25 (br, 32H), 0.76-0.87 (br, 24H)。MALDI-TOF-MS (m/z): 1080.2 [M^+]。

[0050] 实施例5

[0051] 配置2mg/mL聚苯乙烯马来酸酐共聚物(PSMA)的四氢呋喃溶液和0.25mg/mL的化合物(IV)四氢呋喃溶液, 取60 μL 2mg/mL的PSMA四氢呋喃溶液和800 μL 0.25mg/mL的化合物(IV)四氢呋喃溶液混合均匀后, 超声加入10mL水中, 氮气氛围下挥发四氢呋喃, 得到化合物(IV)的纳米粒子。

[0052] 实施例6

[0053] 配制20 μ g/mL的化合物(IV)四氢呋喃溶液10mL。准确移取2.0mL加入比色皿中,然后在HITACHI UH5300紫外吸收仪上测定,测试在室温和外界大气压下进行,吸收峰为645nm。同样,取2mL制成的化合物(IV)纳米粒子加入比色皿中测量其吸收光谱,吸收峰为645nm和790nm测试归一化结果见图1。

[0054] 实施例7

[0055] 移取2mL 20 μ g/mL化合物(IV)的四氢呋喃溶液于比色皿中,然后在HITACHI F-4600荧光仪上测定,激发狭缝宽度为10nm,发射狭缝宽度为20nm。激发波长为640nm,在700nm~800nm之间有较宽的发射,测试在室温和外界大气压下进行。同样,取2mL制成的化合物(IV)纳米粒子加入比色皿中测量其发射光谱,几乎没有发射峰。测试结果见图2。

[0056] 实施例8

[0057] 移取2mL 20 μ g/mL化合物(IV)的纳米粒子到一次性比色皿中,在马尔文粒度仪上测粒径分布,纳米粒子的平均粒径在146nm,测量结果见图3。

[0058] 实施例9

[0059] 移取100 μ L 20 μ g/mL化合物(IV)的纳米粒子到500 μ L的离心管中,在808nm激光照射下,用FLUKE-Ti480红外热成像仪记录八分钟内的温度变化曲线,对照组选用100 μ L超纯水,同样记录在808nm的激光照射下八分钟的温度变化曲线,测量结果见图4。

[0060] 实施例10

[0061] 移取100 μ L 20 μ g/mL化合物(IV)的纳米粒子到500 μ L的离心管中,在808nm激光照射8min后,撤去光源,降到室温后,继续用808nm激光照射,如此循环五次,用FLUKE-Ti480红外热成像仪记录温度变化曲线,化合物(IV)纳米粒子具有良好的热稳定性,测量结果见图5。

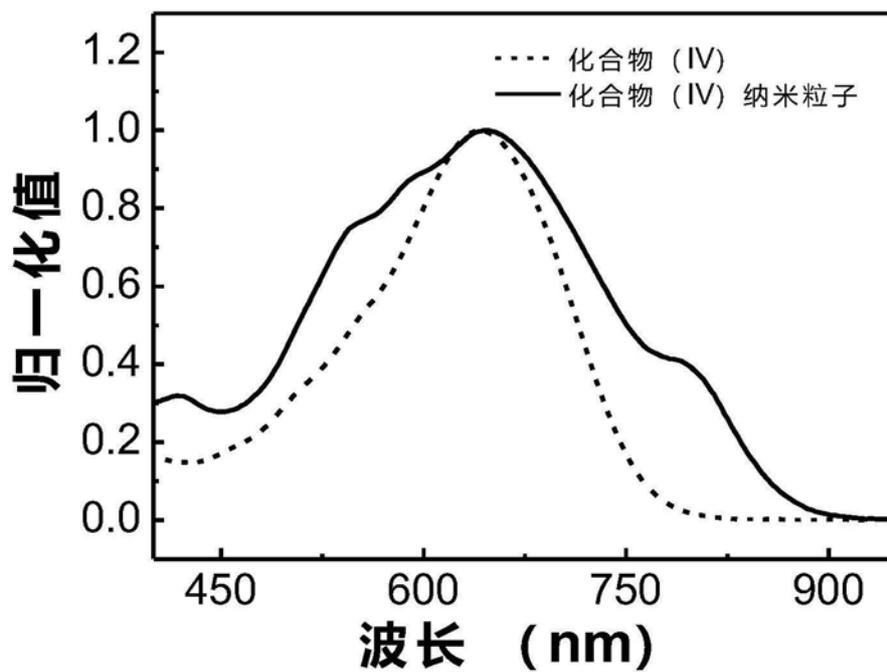


图1

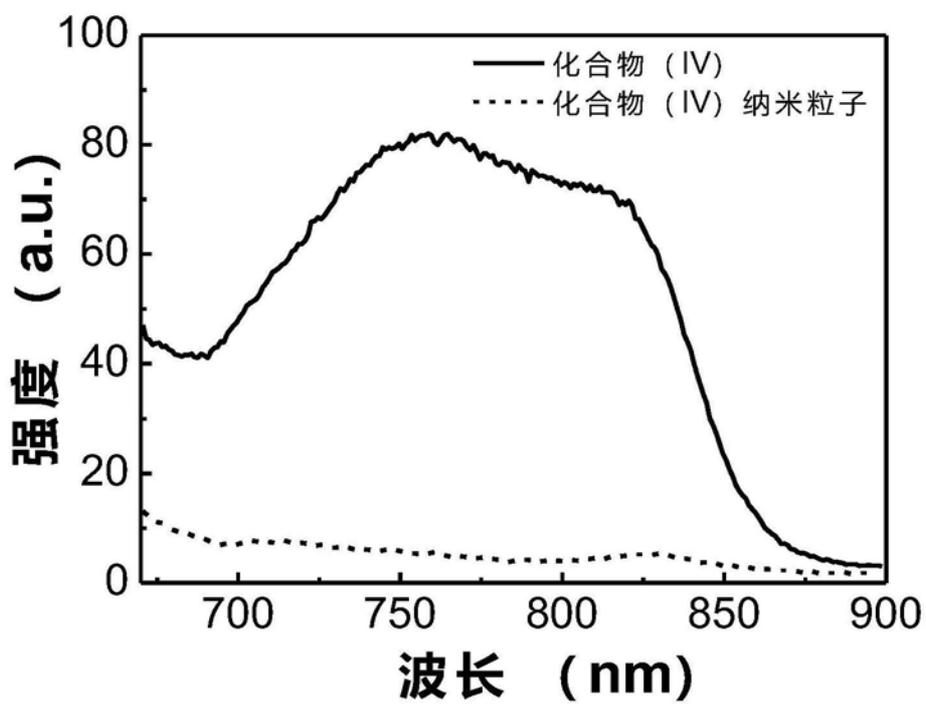


图2

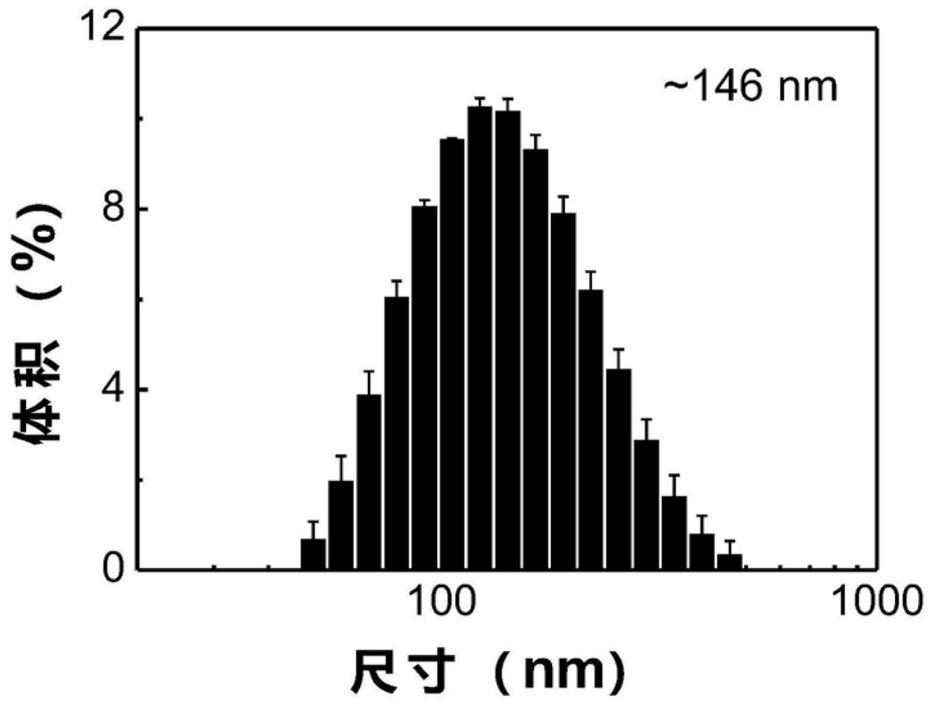


图3

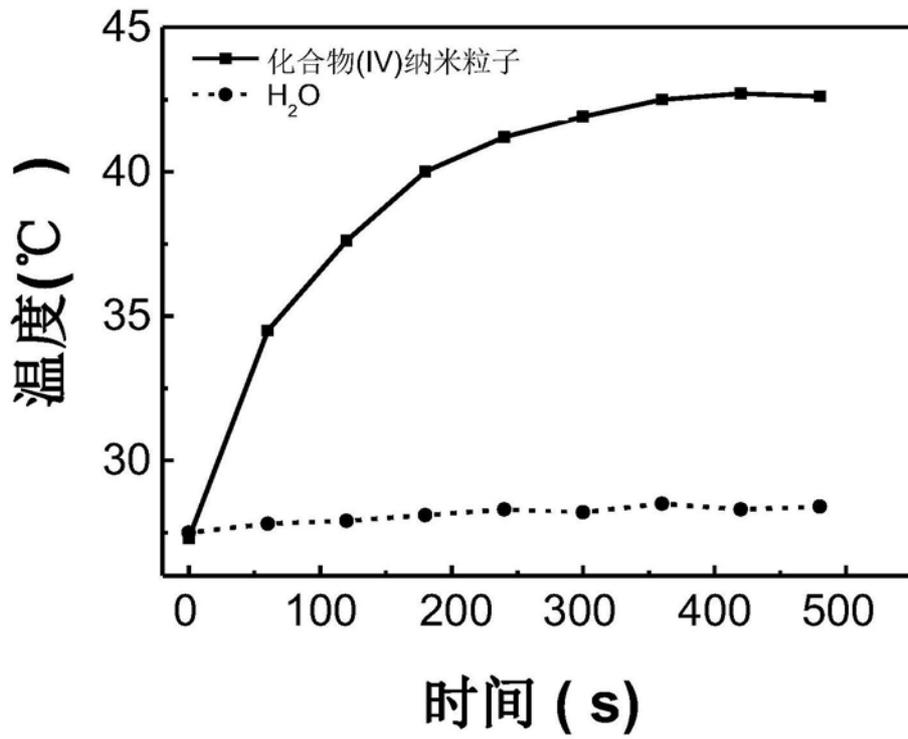


图4

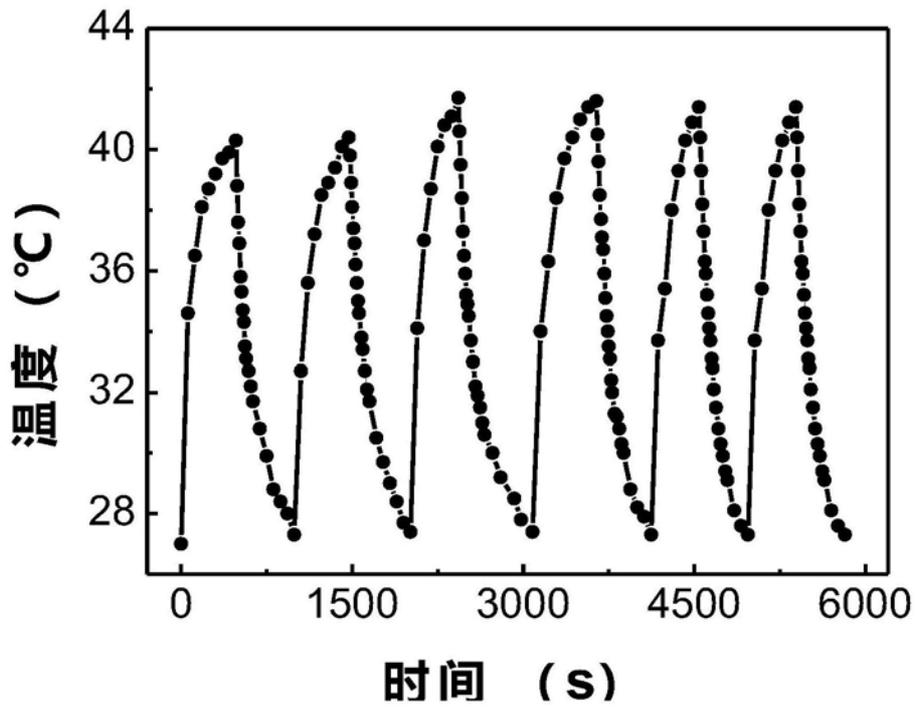


图5