

(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 119285696 A

(43) 申请公布日 2025.01.10

(21) 申请号 202411396479.5

B82Y 5/00 (2011.01)

(22) 申请日 2024.10.09

(71) 申请人 华东理工大学

地址 200237 上海市徐汇区梅陇路130号

(72) 发明人 靳海宝 丁明宇 蒋钱宇 武鹏超
林绍梁

(74) 专利代理机构 上海凯玛顿知识产权代理事
务所(普通合伙) 31359

专利代理师 李培成

(51) Int.Cl.

C07K 7/06 (2006.01)

C07K 1/04 (2006.01)

C07K 1/06 (2006.01)

C07K 1/107 (2006.01)

B82Y 40/00 (2011.01)

权利要求书3页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,包括以下步骤:步骤一:溶胀,将Rink树脂放置在固相萃取柱中,加入4-甲基哌啶/DMF混合溶液并在室温下震荡使树脂溶胀,脱去Fmoc基团保护,得到产物A;步骤二:冲洗,在产物A中加入DMF,反复震荡摇晃、抽滤,随后重复使用DMF冲洗数次,得到产物B;步骤三:一次酰胺化。通过该二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,合成了序列和链长精确可控的两亲性星形类肽共聚物,得到了大小均一的一维有机纳米管,并且通过简单地将二氧化碳响应基团组胺结构引入类肽体系中,赋予了一维有机纳米管独特的二氧化碳响应特性;制备过程具有简单易行,重复性好,稳定性高等特点。

CN 119285696 A

1. 一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一:溶胀,将Rink酰胺树脂放置在固相萃取柱中,加入4-甲基哌啶/DMF混合溶液并在室温下震荡使树脂溶胀,脱去Fomc基团保护,得到产物A;

步骤二:冲洗,在产物A中加入DMF,反复震荡摇晃、抽滤,随后重复使用DMF冲洗数次,得到产物B;

步骤三:一次酰胺化,在产物B中加入溴乙酸溶液和N,N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液,在室温条件下震荡进行酰胺化反应,随后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物C;

步骤四:4-对溴苄胺取代,在产物C中加入4-对溴苄胺溶液,在室温条件下震荡进行置换反应,反应完成后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物D;

步骤五:依次重复一次酰胺化和4-对溴苄胺取代过程六次,共接入六个4-对溴苄胺单元的产物E;

步骤六:二次酰胺化,按照步骤三的操作对产物E进行酰胺化,得到产物F;

步骤七:乙二胺取代,在产物F中加入乙二胺溶液,在室温条件下震荡进行置换反应,反应完成后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物G;

步骤八:三次酰胺化,按照步骤三的操作对产物G进行酰胺化,得到产物H;

步骤九:2-甲氧基乙胺取代,在产物H中加入2-甲氧基乙胺溶液,在室温条件下震荡进行置换反应,反应完成后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物I;

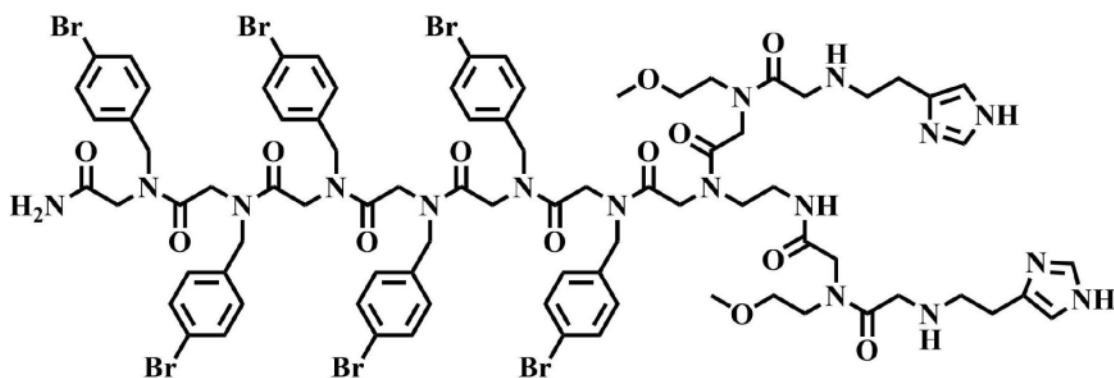
步骤十:四次酰胺化,在产物I中加入氯乙酸溶液和N,N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液,在室温条件下震荡进行酰胺化反应,随后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物J;

步骤十一:组胺取代,在产物J中加入组胺溶液,在40℃下震荡进行置换反应,反应完成后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物K;

步骤十二:类肽切割,向产物K中添加纯水和三氟乙酸(TFA)将树脂裂解得到最终粗产物,将最终粗产物过滤后并在氮气气流下蒸发,随后,将粗产物溶解在1mL乙腈中,再用无水乙醚进行沉淀离心得到类肽产物,然后,将类肽产物溶解在纯水和四氢呋喃的混合物中,并冷冻干燥,得到纯化后的类肽高纯样品用纯水/THF作为溶剂配置成类肽溶液;

步骤十三:自组装,将纯化后的类肽高纯样品用纯水/四氢呋喃作为溶剂配置成类肽溶液置于恒温条件下,待四氢呋喃缓慢挥发,溶液变浑浊,即类肽发生自组装,形成一维有机纳米管结构,即二氧化碳响应型一维有机纳米管。

2. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,其特征在于:步骤十二中的类肽产物为含有4-对溴苄胺疏水性侧基和2-甲氧基乙胺和组胺亲水性侧基的两亲性星形类肽分子,其分子结构式如下:



3. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,其特征在于:步骤一中,Rink酰胺树脂的加入量为100mg,加入4-甲基哌啶/DMF的混合溶液的体积为3mL,震荡时间为40min,其中4-甲基哌啶/DMF中,4-甲基哌啶和DMF的体积比为1:3。

4. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,其特征在于:步骤三中,溴乙酸的用量为1.5mL,N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液的加入量为0.4mL,其中,溴乙酸溶液的浓度为0.6mol/L,N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液中N-N'-二异丙基二亚胺溶液和DMF溶液体积比为1:1,加入溴乙酸溶液和N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液后的震荡时间为10min。

5. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,其特征在于:步骤四中,4-对溴苄胺溶液的用量为1.5mL,浓度为0.6mol/L,加入4-对溴苄胺溶液后的震荡时间为15min。

6. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,其特征在于:步骤七中,乙二醇溶液的用量为1.5mL,浓度为0.6mol/L,加入乙二醇溶液后的震荡时间为2h,反应温度为40℃。

7. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,其特征在于:步骤八中,溴乙酸的用量为1.5mL,N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液的加入量为0.8mL,其中,溴乙酸溶液的浓度为1.2mol/L,N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液中N-N'-二异丙基二亚胺溶液和DMF溶液体积比为1:1,加入溴乙酸溶液和N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液后的震荡时间为15min。

8. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,其特征在于:步骤九中,2-甲氧基乙醇溶液的用量为1.5mL,浓度为1.2mol/L,加入2-甲氧基乙醇溶液后的震荡时间为20min。

9. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,其特征在于:步骤十中,氯乙酸的用量为1.5mL,N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液的加入量为0.8mL,其中,氯乙酸溶液的浓度为1.2mol/L,N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液中N-N'-二异丙基二亚胺溶液和DMF溶液体积比为1:1,加入氯乙酸溶液和N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液后的震荡时间为20min;步骤十一中,组胺溶液的用量为1.5mL,浓度为1.2mol/L,加入组胺溶液后的震荡时间为1d。

10. 根据权利要求1所述的一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,其特征在于:步骤十二中,向产物K中添加的纯水和三氟乙酸的体积比为5:95,搅拌的时间为20min,温度为40℃,类肽产物的存放温度为0℃,步骤十二中,将类肽产物溶解在纯水和四氢呋喃的混

合物中的纯水和四氢呋喃的体积比为1:1,类肽溶液的浓度为2 μ mol/L,蒸发温度为4 $^{\circ}$ C。

一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及有机管状纳米材料制备技术领域,具体为一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法。

背景技术

[0002] 有机管状材料是一种新型的有机纳米材料,由于其独特的物理和化学性质在气体吸附、荧光材料、分子探针等领域具有潜在的应用前景,因此引起了人们的广泛关注。

[0003] 类肽是由重复的N-取代甘氨酸单体单元组成的肽和蛋白质的非天然模拟物,其中侧链共价连接到分子主链上的氮原子而不是 α -碳原子,同时主链上缺少氢键,这些独特的结构为它提供了独特的物理化学性质。作为一种新型的仿生材料,类肽在合成方法和性能研究等方面取得了迅速发展。然而有关于响应型类肽分子的合成报道较少,尤其是由刺激响应型类肽分子进一步组装成的一维有机纳米管材料更是鲜有报道。

[0004] 二氧化碳具有环保、无毒、价低等优点,是一种具有独特优势的新型触发因素,使得二氧化碳响应型高分子材料受到了广泛的关注。组胺是含有两个氮的平面五元杂环化合物,作为一种二氧化碳敏感型基团,能够通过五元环中仲胺和叔胺的质子化与去质子化来高效的实现CO₂气体分子的捕获和释放,具有广阔的发展前景。

[0005] 由序列精确可控的分子(如DNA、蛋白质、多肽等分子)组装而成的有机纳米材料具有大的比表面积、可调谐的结构、独特的分子结构和可调节的官能团等优良特征。但是其分子序列和结构的复杂性,使用常规的物理和化学手段通常难以合成,并且难以精准预测分子间的相互作用和组装结构,这严重限制了有机超薄纳米材料的可控合成和发展前景。

[0006] 为此,针对上述问题,现设计一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法以更好的满足实际使用需求。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,以解决上述背景技术中提出的问题。

[0008] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,包括以下步骤:

[0009] 步骤一:溶胀,将Rink酰胺树脂放置在固相萃取柱中,加入4-甲基哌啶/DMF混合溶液并在室温下震荡使树脂溶胀,脱去Fomc基团保护,得到产物A;

[0010] 步骤二:冲洗,在产物A中加入DMF,反复震荡摇晃、抽滤,随后重复使用DMF冲洗数次,得到产物B;

[0011] 步骤三:一次酰胺化,在产物B中加入溴乙酸溶液和N,N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液,在室温条件下震荡进行酰胺化反应,随后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物C;

[0012] 步骤四:4-对溴苄胺取代,在产物C中加入4-对溴苄胺溶液,在室温条件下震荡进

行置换反应,反应完成后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物D;

[0013] 步骤五:依次重复一次酰胺化和4-对溴苄胺取代过程六次,共接入六个4-对溴苄胺单元的产物E;

[0014] 步骤六:二次酰胺化,按照步骤三的操作对产物E进行酰胺化,得到产物F;

[0015] 步骤七:乙二胺取代,在产物F中加入乙二胺溶液,在室温条件下震荡进行置换反应,反应完成后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物G;

[0016] 步骤八:三次酰胺化,按照步骤三的操作对产物G进行酰胺化,得到产物H;

[0017] 步骤九:2-甲氧基乙胺取代,在产物H中加入2-甲氧基乙胺溶液,在室温条件下震荡进行置换反应,反应完成后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物I;

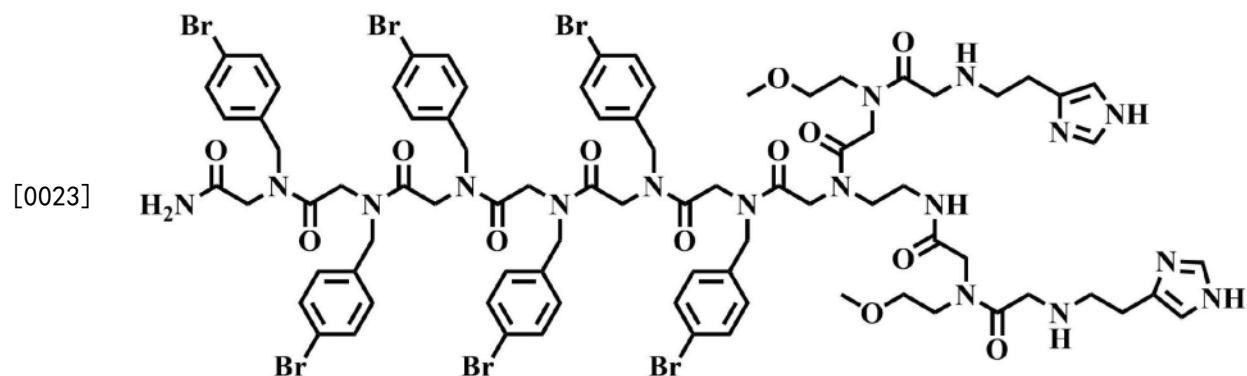
[0018] 步骤十:四次酰胺化,在产物I中加入氯乙酸溶液和N,N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液,在室温条件下震荡进行酰胺化反应,随后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物J;

[0019] 步骤十一:组胺取代,在产物J中加入组胺溶液,在40℃下震荡进行置换反应,反应完成后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物K;

[0020] 步骤十二:类肽切割,向产物K中添加纯水和三氟乙酸(TFA)将树脂裂解得到最终粗产物,将最终粗产物过滤后并在氮气气流下蒸发,随后,将粗产物溶解在1mL乙腈中,再用无水乙醚进行沉淀离心得到类肽产物,然后,将类肽产物溶解在纯水和四氢呋喃的混合物中,并冷冻干燥,得到纯化后的类肽高纯样品用纯水/THF作为溶剂配置成类肽溶液;

[0021] 步骤十三:自组装,将纯化后的类肽高纯样品用纯水/四氢呋喃作为溶剂配置成类肽溶液置于恒温条件下,待四氢呋喃缓慢挥发,溶液变浑浊,即类肽发生自组装,形成一维有机纳米管结构,即二氧化碳响应型一维有机纳米管。

[0022] 作为上述技术方案的优选,步骤十二中的类肽产物为含有4-对溴苄胺疏水性侧基和2-甲氧基乙胺和组胺亲水性侧基的两亲性星形类肽分子,其分子结构式如下:



[0024] 作为上述技术方案的优选,步骤一中,Rink酰胺树脂的加入量为100mg,加入4-甲基哌啶/DMF的混合溶液的体积为3mL,震荡时间为40min,其中4-甲基哌啶/DMF中,4-甲基哌啶和DMF的体积比为1:3。

[0025] 作为上述技术方案的优选,步骤三中,溴乙酸的用量为1.5mL,N,N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液的加入量为0.4mL,其中,溴乙酸溶液的浓度为0.6mol/L,N,N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液中N,N'-二异丙基二亚胺溶液和DMF溶液体积比为1:1,加入溴乙酸溶液和N,N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液后的震荡时间为10min。

[0026] 作为上述技术方案的优选,步骤四中,4-对溴苄胺溶液的用量为1.5mL,浓度为0.6mol/L,加入4-对溴苄胺溶液后的震荡时间为15min。

[0027] 作为上述技术方案的优选,步骤七中,乙二胺溶液的用量为1.5mL,浓度为0.6mol/L,加入乙二胺溶液后的震荡时间为2h。

[0028] 作为上述技术方案的优选,步骤八中,溴乙酸的用量为1.5mL,N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液的加入量为0.8mL,其中,溴乙酸溶液的浓度为1.2mol/L,N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液中N-N'-二异丙基二亚胺溶液和DMF溶液体积比为1:1,加入溴乙酸溶液和N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液后的震荡时间为15min。

[0029] 作为上述技术方案的优选,步骤九中,2-甲氧基乙胺溶液的用量为1.5mL,浓度为1.2mol/L,加入2-甲氧基乙胺溶液后的震荡时间为20min。

[0030] 作为上述技术方案的优选,步骤十中,氯乙酸的用量为1.5mL,N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液的加入量为0.8mL,其中,氯乙酸溶液的浓度为1.2mol/L,N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液中N-N'-二异丙基二亚胺溶液和DMF溶液体积比为1:1,加入氯乙酸溶液和N-N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液后的震荡时间为20min。

[0031] 作为上述技术方案的优选,步骤十一中,组胺溶液的用量为1.5mL,浓度为1.2mol/L,加入组胺溶液后的震荡时间为1d。

[0032] 作为上述技术方案的优选,步骤十二中,向产物K中添加的纯水和三氟乙酸的体积比为5:95,搅拌的时间为20min,温度为40℃,类肽产物的存放温度为0℃。

[0033] 作为上述技术方案的优选,步骤十二中,将类肽产物溶解在纯水和四氢呋喃的混合物中的纯水和四氢呋喃的体积比为1:1,类肽溶液的浓度为2μmol/L,蒸发温度为4℃。

[0034] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:该二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,其采用固相合成技术,以类肽作为主链结构,利用4-对溴苄胺作为疏水性侧基,利用2-甲氧基乙二胺和组胺作为亲水侧基,合成了两亲性的星形类肽分子;

[0035] 再通过溶液自组装法,在四氢呋喃和纯水的混合溶液中,利用疏水基4-对溴苄胺的良好结晶性能作为驱动力,2-甲氧基乙二胺和组胺作为亲水基团,得到具有二氧化碳响应性的一维有机纳米管材料,本发明设计合成了序列和链长精确可控的两亲性星形类肽共聚物,得到了大小均一的一维有机纳米管,并且通过简单地将二氧化碳响应基团组胺结构引入类肽体系中,赋予了一维有机纳米管独特的二氧化碳响应特性;

[0036] 制备过程具有简单易行,重复性好,稳定性高等特点;且本发明制备的一维有机纳米管材料在气体吸附、生物医药、分子检测等方面的应用前景广阔。

附图说明

[0037] 图1是本发明实施例二中组装体的TEM图;

[0038] 图2是本发明实施例二中组装体的AFM图;

[0039] 图3是本发明实施例二中组装体发生CO₂响应后的TEM图;

[0040] 图4是本发明实施例二中组装体溶液的pH值变化图;

[0041] 图5是本发明实施例二中组装体溶液的Zeta电位曲线图;

[0042] 图6是本发明实施例二中组装体溶液的Zeta电位变化图。

具体实施方式

[0043] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0044] 实施例一

[0045] 本发明提供一种技术方案:一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,包括以下步骤:

[0046] 步骤一:溶胀,将Rink酰胺树脂放置在固相萃取柱中,加入4-甲基哌啶/DMF混合溶液并在室温下震荡使树脂溶胀,脱去Fomc基团保护,得到产物A;

[0047] 步骤二:冲洗,在产物A中加入DMF,反复震荡摇晃、抽滤,随后重复使用DMF冲洗数次,得到产物B;

[0048] 步骤三:一次酰胺化,在产物B中加入溴乙酸溶液和N,N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液,在室温条件下震荡进行酰胺化反应,随后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物C;

[0049] 步骤四:4-对溴苄胺取代,在产物C中加入4-对溴苄胺溶液,在室温条件下震荡进行置换反应,反应完成后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物D;

[0050] 步骤五:依次重复一次酰胺化和4-对溴苄胺取代过程六次,共接入六个4-对溴苄胺单元的产物E;

[0051] 步骤六:二次酰胺化,按照步骤三的操作对产物E进行酰胺化,得到产物F;

[0052] 步骤七:乙二胺取代,在产物F中加入乙二胺溶液,在室温条件下震荡进行置换反应,反应完成后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物G;

[0053] 步骤八:三次酰胺化,按照步骤三的操作对产物G进行酰胺化,得到产物H;

[0054] 步骤九:2-甲氧基乙胺取代,在产物H中加入2-甲氧基乙胺溶液,在室温条件下震荡进行置换反应,反应完成后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物I;

[0055] 步骤十:四次酰胺化,在产物I中加入氯乙酸溶液和N,N'-二异丙基二亚胺(DIC)/DMF混合溶液,在室温条件下震荡进行酰胺化反应,随后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物J;

[0056] 步骤十一:组胺取代,在产物J中加入组胺溶液,在40°C下震荡进行置换反应,反应完成后,加入DMF溶液,反复震荡摇晃、抽滤,重复冲洗数次,得到产物K;

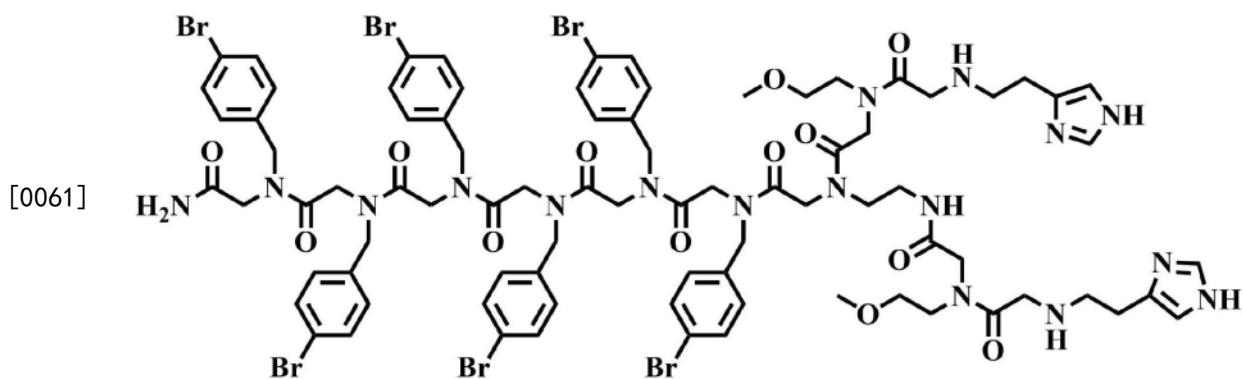
[0057] 步骤十二:类肽切割,向产物K中添加纯水和三氟乙酸(TFA)将树脂裂解得到最终粗产物,将最终粗产物过滤后并在氮气气流下蒸发,随后,将粗产物溶解在1mL乙腈中,再用无水乙醚进行沉淀离心得到类肽产物,然后,将类肽产物溶解在纯水和四氢呋喃的混合物中,并冷冻干燥,得到纯化后的类肽高纯样品用纯水/THF作为溶剂配置成类肽溶液;

[0058] 步骤十三:自组装,将纯化后的类肽高纯样品用纯水/四氢呋喃作为溶剂配置成类肽溶液置于恒温条件下,待四氢呋喃缓慢挥发,溶液变浑浊,即类肽发生自组装,形成一维有机纳米管结构,即二氧化碳响应型一维有机纳米管。

[0059] 本实施例提供了一种二氧化碳响应型有机纳米管的制备方法,其采用固相合成技

术,以类肽作为主链结构,利用4-对溴苄胺作为疏水性侧基,利用2-甲氧基乙二醇和组胺作为亲水侧基,合成了两亲性的星形类肽分子;再通过溶液自组装法,在四氢呋喃和纯水的混合溶液中,利用疏水基4-对溴苄胺的良好结晶性能作为驱动力,2-甲氧基乙二醇和组胺作为亲水基团,得到具有二氧化碳响应性的一维有机纳米管材料,本发明设计合成了序列和链长精确可控的两亲性星形类肽共聚物,得到了大小均一的一维有机纳米管,并且通过简单地将二氧化碳响应基团组胺结构引入类肽体系中,赋予了一维有机纳米管独特的二氧化碳响应特性;制备过程具有简单易行,重复性好,稳定性高等特点;且本发明制备的一维有机纳米管材料在气体吸附、生物医药、分子检测等方面的应用前景广阔。

[0060] 在本实施例的进一步可实施方式中,步骤十二中的类肽产物为含有4-对溴苄胺疏水性侧基和2-甲氧基乙二醇和组胺亲水性侧基的两亲性星形类肽分子,其分子结构式如下:



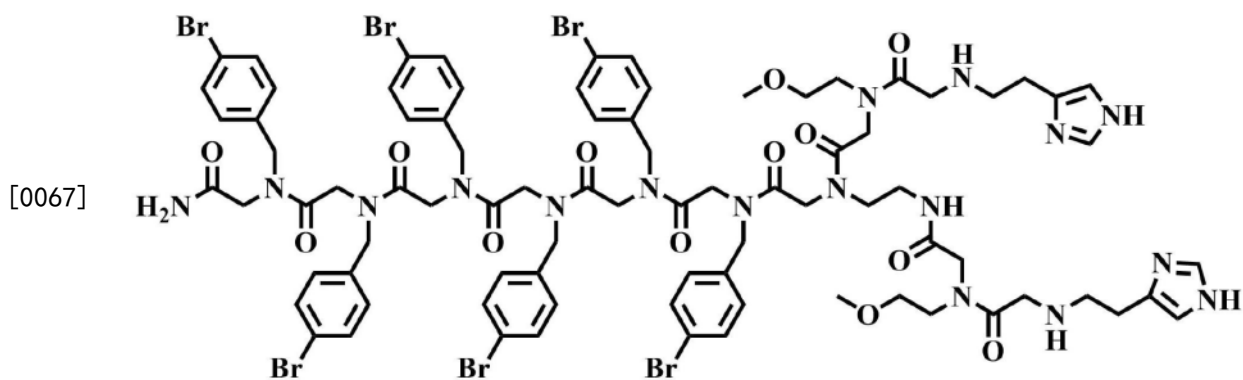
[0062] 本实施例中的类肽分子为序列精确可控的两亲性星形类肽共聚物,利用疏水基4-对溴苄胺的良好结晶性能作为驱动力,2-甲氧基乙二醇和组胺作为亲水基团以及在溶液中产生的氢键引力作用,使类肽分子在四氢呋喃和纯水的混合溶液中自组装形成一维有机纳米管状材料。

[0063] 实施例二

[0064] 在实施例一的基础上,本实施例提出一种光响应的有机超薄纳米带的制备方法,包括以下步骤:

[0065] (1) 类肽分子的合成:

[0066] 具体参见实施例一中组胺基二氧化碳响应的有机纳米管的制备方法部分,其分子结构如下所示。



[0068] (2) 二氧化碳响应型有机纳米管组装体的制备:

[0069] 将步骤十二纯化后的类肽高纯样品用纯水/四氢呋喃作为溶剂配制成类肽溶液,然后于4℃恒温条件下,待四氢呋喃缓慢挥发,得到一维有机纳米管结构,其具体形貌如说

说明书附图图1-2所示,由图可以看出,得到的组装体呈现出一维的纳米管结构,且尺寸均一。

[0070] (3) 二氧化碳响应型有机纳米管组装体的制备:

[0071] 将步骤十三制备的组装体溶液稀释至 $0.5\mu\text{mol/mL}$,使用高纯 CO_2 钢瓶向组装体溶液中通入 CO_2 气体20min,流速为 20mL/min ,纳米管形貌发生变化,其具体形貌如说明书附图图3所示,由图可以看出,一维纳米管组装体的管壁变薄,管径增大,结构稳定。随后使用高纯 N_2 钢瓶向组装体溶液中通入 N_2 气体20min以去除溶液中 CO_2 气体,流速为 20mL/min 。重复该过程三次,并测量通入气体后组装体溶液的pH值和Zeta电位变化。其具体pH值和Zeta电位变化如说明书图4-6所示,由图可以看出,组装体溶液在通入 CO_2 气体后,pH值由8.2降低至4.1,Zeta电位由18mV上升至38mV;在通入 N_2 后,pH值和Zeta电位又回复到初始值。该过程在三个循环内是稳定的。

[0072] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0073] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

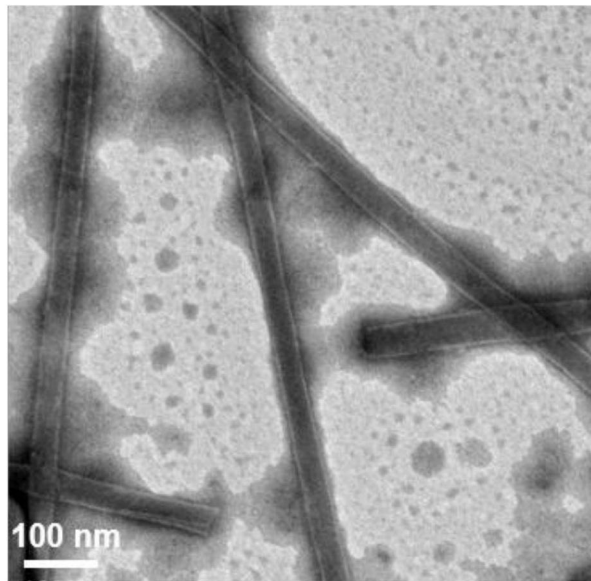


图1

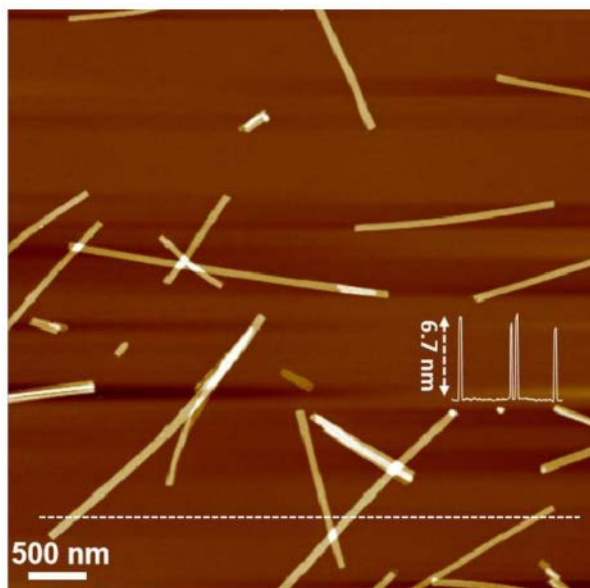


图2

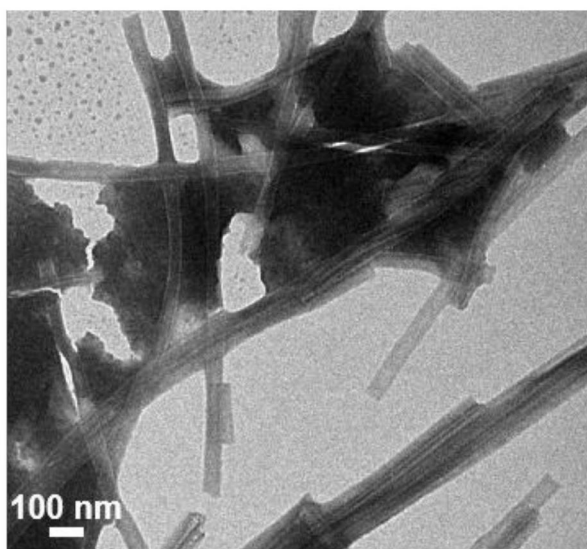


图3

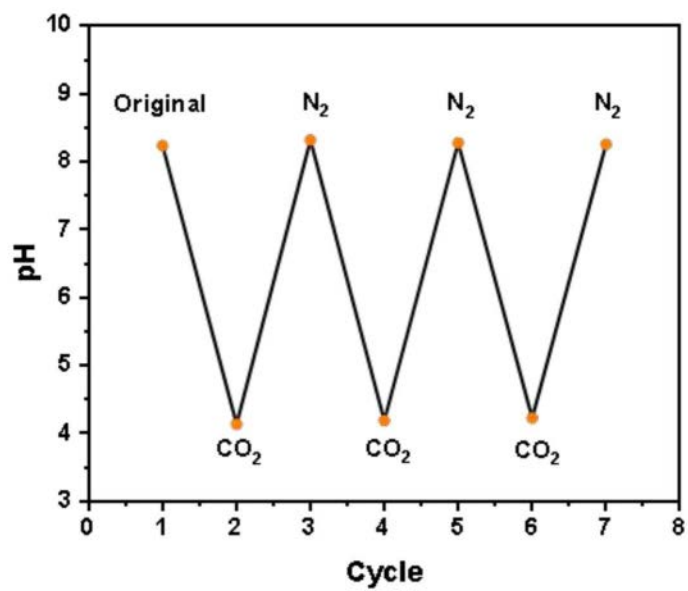


图4

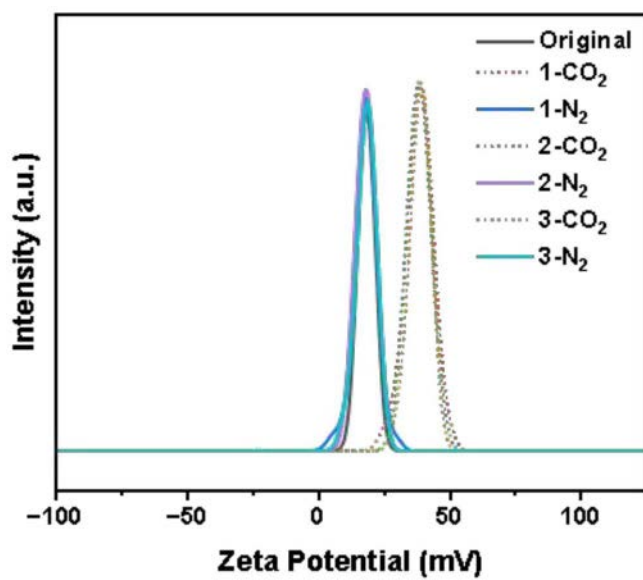


图5

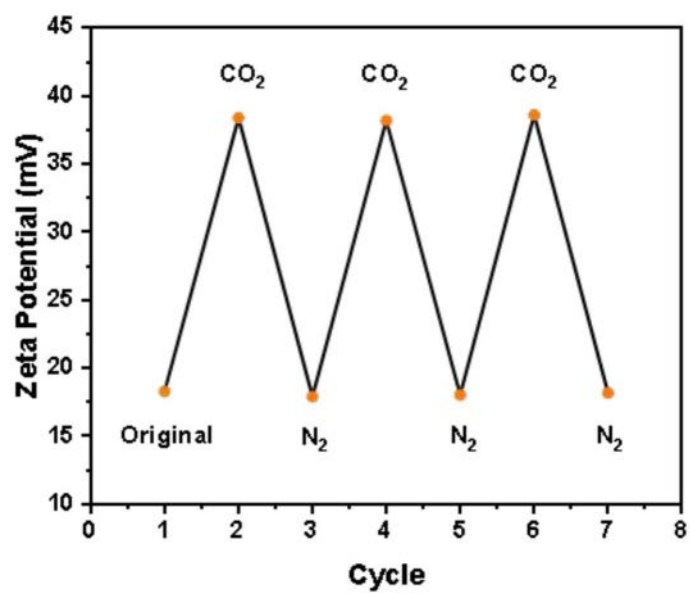


图6