



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110183572 A

(43)申请公布日 2019.08.30

(21)申请号 201910490083.X

B01D 1/00(2006.01)

(22)申请日 2019.06.06

B01J 13/00(2006.01)

(71)申请人 浙江理工大学

C02F 1/14(2006.01)

地址 310000 浙江省杭州市江干区杭州经  
济开发区白杨街道

C02F 103/08(2006.01)

(72)发明人 刘爱萍 许为中 吴化平 邢赞  
施文梁 左嘉劲 张铖文(74)专利代理机构 杭州敦和专利代理事务所  
(普通合伙) 33296

代理人 姜术丹

(51)Int.Cl.

C08F 220/56(2006.01)

C08F 222/38(2006.01)

C08F 2/48(2006.01)

C08J 9/28(2006.01)

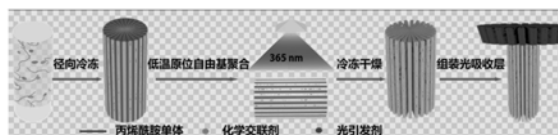
权利要求书2页 说明书9页 附图6页

## (54)发明名称

一种气凝胶、制备方法及其用作太阳能蒸发  
器的应用

## (57)摘要

一种气凝胶、制备方法及其用作太阳能蒸发器的应用,所述气凝胶由水供给层和光吸收层构成,其中,所述水供给层的制备过程主要包括:配置溶液,径向冷冻,低温紫外辐射交联,冷冻干燥和预处理。所述光吸收层的制备过程主要包括:配置溶液,无序冷冻,低温紫外辐射交联,冷冻干燥,将气凝胶完全浸没于配置好的碳纳米管分散液,冷冻干燥。此外,在使用气凝胶用作太阳能蒸发器时,处于下层的所述水供给层为处于上层的所述光吸收层提供水,处于上层的所述光吸收层吸收太阳能转化为热能蒸发水份,使得水从水供给层传输到光吸收层。



1. 一种气凝胶的制备方法,其特征在于:所述气凝胶由水供给层和光吸收层构成,所述水供给层的制备原料包括聚合反应单体、化学交联剂和光引发剂,所述水供给层由以下步骤制备:

步骤(1)、在分散介质中加入所述制备原料,在避光条件下搅拌均匀直至所述制备原料完全溶解,得到透明的丙烯酰胺前驱液,其中,所述分散介质为水,所述聚合反应单体为丙烯酰胺,所述化学交联剂为亚甲基双丙烯酰胺,所述光引发剂为偶氮二异丁脒盐酸盐;

步骤(2)、将所述步骤(1)得到透明的丙烯酰胺前驱液注入具有径向温度梯度的高长径比的径向冷冻装置进行径向冷冻形成冰晶,冰晶沿温度梯度方向生长,且冰晶生长过程会将溶液中的溶质挤出得到未交联的溶质孔壁,待所述透明的丙烯酰胺前驱液完全冰冻后,得到径向冰晶结构的冷冻样,并将冷冻样脱模并置于低温环境;

步骤(3)、将所述步骤(2)得到的冷冻样进行低温紫外辐射交联,待冷冻样交联完全后,将径向结构保留下来;

步骤(4)、将所述步骤(3)交联完全的冷冻样进行冷冻干燥,从而获得未处理的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶,所述未处理的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶再通过预溶胀和再次冷冻干燥的预处理方法降低吸湿溶胀,从而得到高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶,即得到所述水供给层。

2. 根据权利要求1所述的一种气凝胶的制备方法,其特征在于:所述冷冻装置为通过铜管垂直浸入低温乙醇浴,其中,所述低温乙醇浴温度在0℃至-120℃范围内可控。

3. 根据权利要求1或2所述的一种气凝胶的制备方法,其特征在于:所述光吸收层的制备原料包括聚合反应单体、化学交联剂和光引发剂,所述光吸收层由以下步骤制备:

步骤(1)、在分散介质中加入原料,在避光条件下搅拌直至完全溶解,得到透明的丙烯酰胺前驱液;其中,所述原料包括聚合反应单体、化学交联剂和光引发剂,所述聚合反应单体为丙烯酰胺,所述化学交联剂为亚甲基双丙烯酰胺,所述光引发剂为偶氮二异丁脒盐酸盐;

步骤(2)、将所述步骤(1)得到透明的丙烯酰胺前驱液注入方形塑料培养皿内,置于-90℃冷阱,进行无序冷冻,待透明的丙烯酰胺前驱液完全冰冻后,得到无序冰晶结构的冷冻样,并将冷冻样脱模并置于低温环境;

步骤(3)、将所述步骤(2)中置于低温环境的冷冻样进行低温紫外辐射交联,待冷冻样交联完全后,将无序分级多孔结构保留下来;

步骤(4)、将所述步骤(3)交联完全的冷冻样进行冷冻干燥,从而获得无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶;

步骤(5)、配置分散均匀的碳纳米管溶液,并在碳纳米管溶液添加表面活性剂,其中碳纳米管的浓度为3mg/ml,表面活性剂的浓度为碳纳米管的两倍,然后通过超声的方法使碳纳米管溶液与表面活性剂分散均匀;

步骤(6)将所述步骤(4)得到的无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶浸没于分散良好的碳纳米管溶液,然后取出,去离子水冲洗三次,去除残留碳纳米管,再冷冻干燥,从而得到无序分级多孔结构的大面积聚丙烯酰胺-碳纳米管气凝胶,即制得所述光吸收层。

4. 根据权利要求3所述的一种气凝胶的制备方法,其特征在于:所述低温紫外辐射交联包括紫外灯光照和低温环境,其中,紫外灯紫外波长为365nm,循环交替的方式进行紫外光

照,以避免还未交联完全就融化冷冻样,所述紫外灯紫外光照时间为6小时以确保交联完全。

5.一种气凝胶,其特征在于:所述气凝胶由水供给层和光吸收层构成,其中,所述水供给层包括用作运输水的高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶,所述光吸收层包括用作蒸发水的无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺-碳纳米管复合气凝胶。

6.根据权利要求5所述的一种气凝胶,其特征在于:所述高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶具有毫米级别的径向发散通道、微米级别的褶皱和孔壁处形成的微孔以及纳米级别的分子网络的分级多孔结构,其中,所述毫米级别的径向发散通道的分级多孔结构、所述微米级别的褶皱和孔壁处形成的微孔的分级多孔结构以及纳米级别的分子网络的分级多孔结构组成了毛细通道。

7.一种气凝胶用作太阳能蒸发器的应用,采用权利要求5或6所述的气凝胶,其特征在于:所述气凝胶由处于下层的水供给层和处于上层的光吸收层构成,工作时,处于下层的所述水供给层为处于上层的所述光吸收层提供水,处于上层的光吸收层吸收太阳能转化为热能蒸发水份,使得水从水供给层传输到光吸收层。

8.根据权利要求7所述的一种气凝胶用作太阳能蒸发器的应用,其特征在于:所述太阳能蒸发器应用于运输海水、运输地下水以及仿树枝结构的运输分支水。

9.根据权利要求7所述的一种气凝胶用作太阳能蒸发器的应用,其特征在于:所述太阳能蒸发器用于水的蒸发提纯。

10.根据权利要求7所述的一种气凝胶用作太阳能蒸发器的应用,其特征在于:所述太阳能蒸发器应用于海水淡化或污水处理。

## 一种气凝胶、制备方法及其用作太阳能蒸发器的应用

### 技术领域

[0001] 本发明属于流体控制、太阳能海水淡化和污水处理领域,尤其涉及一种气凝胶、制备方法及其用作太阳能蒸发器的应用。

### 背景技术

[0002] 水既是生命的物质基础又是重要的战略资源,由于全球范围的气候变暖、环境污染、人口增长、工业化和城市化进程加快等原因造成的水资源问题已经成为国际社会共同关注的焦点问题。因水资源而引起的冲突和战争,已在亚洲、非洲和中东等水资源短缺的地区愈演愈烈。我国是水资源紧缺的国家,人均水资源占有量只有2100立方米,仅为世界人均水平的28%。据联合国估计,约占世界人口总数40%的80个国家和地区约15亿人口淡水不足,其中26个国家约3亿人极度缺水。更可怕的是,预计到2025年,世界上将会有30亿人面临缺水,40个国家和地区淡水严重不足。与此同时,地球的储水量是很丰富的,共有14.5亿立方千米之多。人类真正能够利用的淡水资源是江河湖泊和地下水中的一部分,约占地球总水量的0.26%。

[0003] 海水淡化和污水处理是目前最重要、最有效的解决淡水资源短缺问题的途径之一。目前常规的海水淡化主要有多级蒸馏、多级闪蒸、压汽蒸馏、反渗透膜法、电渗析法、离子交换法和冷冻法等,这些方法都会带来大量化石燃料的消耗,加重能源危机,同时也会带来更加严重的环境污染。常规的污水处理主要有重力分离法、离心分离法、筛滤截留法、膜分离技术、生物氧化塘法、厌氧生物处理法,生物接触氧化法,这些方法有的会带来额外的化石能源消耗,有的处理得到水质有限。

[0004] 太阳能是一种可再生的清洁能源,取之不竭,用之不尽,因此利用太阳能,通过光-热转化,进行太阳能驱动的水蒸发,是实现海水淡化、污水处理,从而得到清洁水的有效途径之一。科研人员在这方面做了大量的尝试,也取得了不错的成果,目前常用的光-热转化材料主要包括如:贵金属纳米颗粒、半导体材料、碳基纳米材料等。但是如何实现增强光吸收、局域聚热、水供应和蒸汽逸散等方面的设计优化仍是一个难题,现在有的太阳能驱动水蒸发产生清洁水的速率、利用太阳能的效率仍十分有限,这些方面严重制约了太阳能蒸发器的的发展。

[0005] 因此,基于针对下层水供给层的径向分级多孔结构聚丙烯酰胺气凝胶的长程定向运输水性能以及上层光吸收层的聚丙烯酰胺-碳纳米管复合气凝胶的优异的光热转化性能,提出了一种制备简单、成本低廉、绿色环保、无能耗,供给水速率快,蒸发速率高、能量效率大的基于运输水和大面积蒸发水的太阳能蒸发器。

### 发明内容

[0006] 针对现有技术存在的问题,本发明提供一种气凝胶、制备方法及其用作太阳能蒸发器的应用。

[0007] 本发明的目的一方面是通过以下技术方案实现的:

[0008] 一种气凝胶的制备方法,所述气凝胶由水供给层和光吸收层构成,所述水供给层的制备原料包括聚合反应单体、化学交联剂和光引发剂,所述水供给层由以下步骤制备:

[0009] 步骤(1),在分散介质中加入所述制备原料,在避光条件下搅拌均匀直至所述制备原料完全溶解,得到透明的丙烯酰胺前驱液,其中,所述分散介质为水,所述聚合反应单体为丙烯酰胺,所述化学交联剂为亚甲基双丙烯酰胺,所述光引发剂为偶氮二异丁腈盐酸盐;

[0010] 步骤(2),将所述步骤(1)得到透明的丙烯酰胺前驱液注入具有径向温度梯度的高长径比的径向冷冻装置进行径向冷冻形成冰晶,冰晶沿温度梯度方向生长,且冰晶生长过程会将溶液中的溶质挤出得到未交联的溶质孔壁,待所述透明的丙烯酰胺前驱液完全冰冻后,得到径向冰晶结构的冷冻样,并将冷冻样脱模并置于低温环境;

[0011] 步骤(3),将所述步骤(2)得到的冷冻样进行低温紫外辐射交联,待冷冻样交联完全后,将径向结构保留下来;

[0012] 步骤(4),将所述步骤(3)交联完全的冷冻样进行冷冻干燥,从而获得未处理的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶,所述未处理的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶再通过预溶胀和再次冷冻干燥的预处理方法降低吸湿溶胀,从而得到高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶,即得到所述水供给层。

[0013] 进一步地,所述冷冻装置为通过铜管垂直浸入低温乙醇浴,其中,所述低温乙醇浴温度在0℃至-120℃范围内可控。

[0014] 进一步地,所述光吸收层的制备原料包括聚合反应单体、化学交联剂和光引发剂,所述光吸收层由以下步骤制备:

[0015] 步骤(1)、在分散介质中加入原料,在避光条件下搅拌直至完全溶解,得到透明的丙烯酰胺前驱液;其中,所述原料包括聚合反应单体、化学交联剂和光引发剂,所述聚合反应单体为丙烯酰胺,所述化学交联剂为亚甲基双丙烯酰胺,所述光引发剂为偶氮二异丁腈盐酸盐;

[0016] 步骤(2)、将所述步骤(1)得到透明的丙烯酰胺前驱液注入方形塑料培养皿内,置于-90℃冷阱,进行无序冷冻,待透明的丙烯酰胺前驱液完全冰冻后,得到无序冰晶结构的冷冻样,并将冷冻样脱模并置于低温环境;

[0017] 步骤(3)、将所述步骤(2)中置于低温环境的冷冻样进行低温紫外辐射交联,待冷冻样交联完全后,将无序分级多孔结构保留下来;

[0018] 步骤(4)、将所述步骤(3)交联完全的冷冻样进行冷冻干燥,从而获得无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶;

[0019] 步骤(5)、配置分散均匀的碳纳米管溶液,并在碳纳米管溶液添加表面活性剂,其中碳纳米管的浓度为3mg/ml,表面活性剂的浓度为碳纳米管的两倍,然后通过超声的方法使碳纳米管溶液与表面活性剂分散均匀;

[0020] 步骤(6)将所述步骤(4)得到的无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶浸没于分散良好的碳纳米管溶液,然后取出,去离子水冲洗三次,去除残留碳纳米管,再冷冻干燥,从而得到无序分级多孔结构的大面积聚丙烯酰胺-碳纳米管气凝胶,即制得所述光吸收层。

[0021] 进一步地,所述低温紫外辐射交联包括紫外灯光照和低温环境,其中,紫外灯紫外

波长 为365nm,循环交替的方式进行紫外光照,以避免还未交联完全就融化冷冻样,所述紫外灯 紫外光照时间为6小时以确保交联完全。

[0022] 本发明的目的又一方面是通过以下技术方案实现的:

[0023] 一种气凝胶,所述气凝胶由水供给层和光吸收层构成,其中,所述水供给层包括用作运 输水的高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶,所述光吸收层包括用作蒸发水的 无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺-碳纳米管复合气凝胶。

[0024] 优选地,所述高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶具有毫米级别的径向发 散通道、微米级别的褶皱和孔壁处形成的微孔以及纳米级别的分子网络的分级多孔结构,其 中,所述毫米级别的径向发散通道的分级多孔结构、所述微米级别的褶皱和孔壁处形成的微 孔的分级多孔结构以及纳米级别的分子网络的分级多孔结构组成了毛细通道。

[0025] 本发明的目的又一方面是通过以下技术方案实现的:

[0026] 一种气凝胶用作太阳能蒸发器的应用,采用上述所述的气凝胶,所述气凝胶由处于下层 的水供给层和处于上层的光吸收层构成,工作时,处于下层的所述水供给层为处于上层的所 述光吸收层提供水,处于上层的光吸收层吸收太阳能转化为热能蒸发水份,使得水从水 供给层传输到光吸收层。

[0027] 进一步地,所述太阳能蒸发器用于运输海水、运输地下水以及仿树枝结构的运输分支水。

[0028] 进一步地,所述太阳能蒸发器用于水的蒸发提纯。

[0029] 进一步地,所述太阳能蒸发器用于海水淡化或污水处理。

[0030] 本发明的有益效果如下:

[0031] 1.该气凝胶具有双层结构,上层为光吸收层,光吸收层包括用作蒸发水的无序分 级多孔 结构的聚丙烯酰胺-碳纳米管复合气凝胶,所述无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺- 碳纳米管复 合气凝胶具有优异的光热转化性能,高比表面积提供了大的蒸发面,同时该设计具有良好的 热管理性能,将热量集中于表面,用于蒸发水而非加热水,更大效率的利用了太阳能;下层 为水供给层,所述水供给层包括用作运输水的高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气 凝胶,高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶具有毫米级别的径向发散通道、微 米级别的褶皱和孔壁处形成的微孔以及纳米级别的分子网络的径向分级多孔结构,这些异常 丰富的毛细通道为水的运输提供了足够的毛细驱动力,同时也为光吸收层提供源源不断的水, 从而实现长时间的太阳能驱动蒸发清洁水。这种独特设计的气凝胶,具有制备简单、成本低 廉、绿色环保、无能耗,供给水速率快,蒸发速率高、能量效率大等优点。

## 附图说明

[0032] 图1为本发明的气凝胶的结构示意图。

[0033] 图2为本发明的气凝胶的制备流程示意图。

[0034] 图3为本发明的气凝胶的扫描电镜图。

[0035] 图4为本发明高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶的结构示意图。

[0036] 图5为本发明高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶在不同时间段

(0/1/60/300s)的运输水光学照片图。

[0037] 图6为本发明气凝胶的水供给层的上升高度-速率-时间定量关系图。

[0038] 图7为本发明气凝胶在不同水介质情况下的运输水性能图。

[0039] 图8为本发明气凝胶在不同水介质情况下的上升高度-速率-时间定量关系图。

[0040] 图9为本发明气凝胶的光吸收层的化学性能测试图。

[0041] 图10为本发明气凝胶的光吸收层在湿环境下的温度变化图。

[0042] 图11为本发明气凝胶的光吸收层在干环境下的温度变化图。

[0043] 图12为本发明气凝胶的光吸收层在湿环境下的温度-时间定量关系图。

[0044] 图13为本发明气凝胶的光吸收层在干环境下的温度-时间定量关系图。

[0045] 图14为本发明的气凝胶在蒸发水过程中的蒸汽产生、蒸汽维持和蒸汽消逝过程图。

[0046] 图15为本发明的气凝胶在封闭容器中的蒸发冷凝过程图。

[0047] 图16为本发明的气凝胶获得的清洁水的水质图。

## 具体实施方式

[0048] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0049] 实施例1

[0050] 一种制备水供给层的方法

[0051] 步骤(1)、在分散介质中加入制备原料,在避光条件下搅拌均匀直至制备原料完全溶解,得到透明的丙烯酸胺前驱液;其中,所述分散介质为水,所述制备原料包括聚合反应单体、化学交联剂和光引发剂,所述聚合反应单体为丙烯酸胺,所述化学交联剂为亚甲基双丙烯酸胺,所述光引发剂为偶氮二异丁脒盐酸盐;具体地,配制浓度为100mg/ml的丙烯酸胺溶液(AAm/H<sub>2</sub>O),其中MBAA的浓度为9.72mg/ml,V-50的浓度为12.5mg/ml,避光搅拌1h得到透明前驱液;

[0052] 步骤(2)、创造一个具有径向温度梯度的径向冷冻装置,冷冻装置包括铜管、塑料泡沫以及低温乙醇浴,将一铜管(长15cm,内径0.8cm,外径1cm)一端用塑料泡沫堵塞(隔热作用),铜管垂直浸入-90℃的乙醇浴中,从而塑料泡沫固定,这样就得到铜管低温(铜导热快,温度与低温乙醇浴相同)、铜管内高温(空气导热慢,温度与环境温度相同)的四周向中间温度逐渐升高的温度梯度。取步骤(1)中的前驱液8ml注入-90℃的径向冷冻装置内径向冷冻形成冰晶,冰晶在铜管内壁成核,并沿温度梯度方向(四周向中心)生长,且冰晶生长过程会将溶液中的溶质挤出得到未交联的溶质孔壁,待冰晶长至铜管圆心处,溶液完全冻住,从而获得径向冰晶结构的冷冻样,小心脱模并转移至低温冷阱中,其中低温冷阱温度为-90℃;

[0053] 步骤(3)、将上述冷冻样进行低温紫外辐射交,待冷冻样交联完全后,将径向结构保留下来,其中,低温紫外辐射交联包括紫外灯光照和低温环境,具体地,将上述冷冻样置于低温环境下通过紫外波长为365nm的紫外灯(250W)下进行光照,光照距约15cm,采用开

20min、关20min的方法循环交替光照,以避免还未交联完全就融化冷冻样,总光照时间为6小时以 确保完全交联,从而得到交联完全的冷冻样;此外,采用低温辐射交联的方法,可以让冷冻 样中的单体、化学交联剂、光引发剂充分反应,从而得到聚丙烯酰胺的高分子网络;

[0054] 步骤(4)、将上述交联完全的冷冻样置于冷冻干燥机进行冷冻干燥,具体地,所述冷冻 干燥温度为 $-90^{\circ}\text{C}$ ,真空度小于1Pa,干燥时间大于48h,从而得到未处理的径向多孔结构聚 丙烯酰胺气凝胶。将上述未处理的径向多孔结构聚丙烯酰胺气凝胶进行预处理以降 低吸湿溶 胀,通过水中浸泡预溶胀、再次冷冻干燥的方法进行预处理,得到径向多孔结构的聚 丙烯酰 胺气凝胶,即得到水供给层。如图2所示,径向冷冻过程冰晶生长将单体、交联 剂和光引发 剂挤出得到多孔褶皱孔壁,然后低温辐射交联促进孔壁内的单体、交联剂和光 引发剂发生原 位自由基聚合反应,待其聚合完全后,冷冻干燥除去冰晶从而留下径向多孔 结构。如图3所 示,该气凝胶具有多个层次的微结构:毫米级别的径向发散通道、微米级别 的褶皱和孔壁处 形成微孔、纳米级别的分子网络,这些微结构组成了异常丰富的毛细通 道,水在毛细通道提 供的毛细力作用下,实现了优异的反重力的长程定向运输水目的。进 一步地,该径向多孔结 构的聚丙烯酰胺气凝胶的长程定向运输水性能如图3、图5以及图6 所示,前1s内上升高度 为1.10cm,前1min内上升高度为5.44cm,第5min的上升高度达到了 9.90cm。

[0055] 实施例2

[0056] 一种光吸收层的制备方法

[0057] 步骤(1)、在分散介质中加入制备原料,在避光条件下搅拌均匀直至制备原料完全 溶解, 得到透明的丙烯酰胺前驱液;其中,所述分散介质为水,所述原料包括聚合反应单 体、化学 交联剂和光引发剂,所述聚合反应单体为丙烯酰胺,所述化学交联剂为亚甲基双 丙烯酰胺, 所述光引发剂为偶氮二异丁脒盐酸盐;具体地,配制浓度为100mg/ml的丙烯酰 胺溶液 (AAm/H<sub>2</sub>O),其中MBAA的浓度为9.72mg/ml,V-50的浓度为12.5mg/ml,避光搅拌1h得 到 透明前驱液;

[0058] 步骤(2)、将前驱液注入方形(边长10cm,高1cm)或圆形(直径7cm,高1cm)培养皿 模具,置于 $-90^{\circ}\text{C}$ 冷阱进行无序冷冻,待溶液完全冻住,从而获得中间体,即,获得无序冰晶 结构的冷冻样;

[0059] 步骤(3)、将上述冷冻样置于低温环境下通过紫外波长为365nm的紫外灯(250W)下 进 行光照,光照距约15cm,采用开20min、关20min的方法循环交替光照,以避免还未交联完 全就融化冷冻样,总光照时间为6小时以确保完全交联,从而得到交联完全的冷冻样;此外, 采用低温辐射交联的方法,可以让冷冻样中的单体、化学交联剂、光引发剂充分反应,从而 得到聚丙烯酰胺的高分子网络;

[0060] 步骤(4)、将上述交联完全的冷冻样置于冷冻干燥机进行冷冻干燥,具体地,所述 冷冻 干燥温度为 $-90^{\circ}\text{C}$ ,真空度小于1Pa,干燥时间大于48h,从而得到未处理的无序分级多 孔结 构聚丙烯酰胺气凝胶。将上述未处理的无序分级多孔结构聚丙烯酰胺气凝胶进行预 处理以降 低吸湿溶胀,通过水中浸泡预溶胀、再次冷冻干燥的方法进行预处理,得到已处 理的无序分 级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶;

[0061] 步骤(5)、配置分散均匀的碳纳米管溶液,并在碳纳米管溶液添加表面活性剂,其 中碳 纳米管的浓度为3mg/ml,表面活性剂(十二烷基硫酸钠,SDS)的浓度为碳纳米管的两



倍,然后通过超声的方法使碳纳米管溶液与表面活性剂分散均匀;

[0062] 步骤(6)、将上述制备的无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶浸入分散均匀的碳纳米管溶液,待无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶吸收完全后,去离子水反复冲洗除去未吸附的碳纳米管,冷冻干燥,从而得到聚丙烯酰胺-碳纳米管复合气凝胶,即得到光吸收层。如图9所示,通过X射线衍射分析测试、傅里叶红外光谱测试、拉曼光谱测试,可以确定制备的复合气凝胶存在碳纳米管。如图11和13所示,在1个太阳标准光照下(1kw/m<sup>2</sup>)下,干的复合气凝胶表面温度迅速上升,10min时表面温度由室温上升至接近80℃,光照1h后,表面温度更是高达85℃,未负载碳纳米管的PAAm气凝胶作为对照组,在同样条件下,10min表面温度仅30℃,光照1h表面温度也仅33℃,表明引入碳纳米管大大提高了气凝胶的光热转换效率。

[0063] 实施例3

[0064] 一种气凝胶

[0065] 如图1所示,一种气凝胶,所述气凝胶由水供给层和光吸收层构成,其中,所述水供给层包括用作运输水的高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶,所述光吸收层包括用作蒸发水的无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺-碳纳米管复合气凝胶。

[0066] 进一步地,水供给层为高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶,具有毫米级别的径向发散通道、微米级别的褶皱和孔壁处形成的微孔以及纳米级别的分子网络的分级多孔结构,其中,所述毫米级别的径向发散通道的分级多孔结构、所述微米级别的褶皱和孔壁处形成的微孔的分级多孔结构以及纳米级别的分子网络的分级多孔结构组成了毛细通道。光吸收层为无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺-碳纳米管复合气凝胶,具有优异的吸光度和光热转换效率,从而进行太阳能蒸发水时,处于下层的水供给层内具有异常丰富的毛细通道为水的传输提供动力,进而为处于上层光吸收层的聚丙烯酰胺-碳纳米管复合气凝胶提供源源不断的水,使得处于上层的光吸收层的能够吸收太阳光,并转化为热能,实现水的蒸发提纯。

[0067] 实施例4

[0068] 一种气凝胶的水供给层制备方法及其用作太阳能蒸发器应用于运输海水、运输地下水以及仿树枝结构的运输分支水

[0069] 步骤(1)、在分散介质中加入制备原料,在避光条件下搅拌均匀直至制备原料完全溶解,得到透明的丙烯酸前驱液;其中,所述分散介质为水,所述原料包括聚合反应单体、化学交联剂和光引发剂,所述聚合反应单体为丙烯酸,所述化学交联剂为亚甲基双丙烯酸,所述光引发剂为偶氮二异丁腈盐酸盐;具体地,配制浓度为100mg/ml的丙烯酸溶液(AAm/H<sub>2</sub>O),其中MBAA的浓度为9.72mg/ml,V-50的浓度为12.5mg/ml,避光搅拌1h得到透明前驱液;

[0070] 步骤(2)、创造一个具有径向温度梯度的径向冷冻装置,冷冻装置包括铜管、塑料泡沫以及低温乙醇浴,将一铜管(长15cm,内径0.8cm,外径1cm)一端用塑料泡沫堵塞(隔热作用),垂直浸入-90℃的乙醇浴中预冷30分钟以确保铜管温度与低温乙醇浴温度一样,从而塑料泡沫固定,这样就得到铜管低温(铜导热快,温度与低温乙醇浴相同)、铜管内高温(空气导热慢,温度与环境温度相同)的四周向中间温度逐渐升高的温度梯度。取步骤(1)中的前驱液8ml注入-90℃的径向冷冻装置内径向冷冻形成冰晶,冰晶在铜管内壁成核,并

沿温度 梯度方向(四周向中心)生长,且冰晶生长过程会将溶液中的溶质挤出得到未交联的溶质孔 壁,待冰晶长至铜管圆心处,溶液完全冻住,从而获得径向冰晶结构的冷冻样,小心脱模并 转移至低温冷阱中,其中低温冷阱温度为 $-90^{\circ}\text{C}$ ;

[0071] 步骤(3)、将上述冷冻样进行低温紫外辐射交,待冷冻样交联完全后,将径向结构保留 下来,其中,低温紫外辐射交联包括紫外灯光照和低温环境,具体地,将上述冷冻样置于低 温环境下通过紫外波长为365nm的紫外灯(250W)下进行光照,光照距约15cm,采用开 20min、关20min的方法循环交替光照,以避免还未交联完全就融化冷冻样,总光照时间为6 小时以 确保完全交联,从而得到交联完全的冷冻样;此外,采用低温辐射交联的方法,可以让冷冻 样中的单体、化学交联剂、光引发剂充分反应,从而得到聚丙烯酰胺的高分子网络;

[0072] 步骤(4)、将上述交联完全的冷冻样置于冷冻干燥机进行冷冻干燥,具体地,所述 冷冻 干燥温度为 $-90^{\circ}\text{C}$ ,真空度小于1Pa,干燥时间大于48h,从而得到未处理的径向多孔结 构聚 丙烯酰胺气凝胶。将上述未处理的径向多孔结构聚丙烯酰胺气凝胶进行预处理以降 低吸湿溶 胀,通过水中浸泡预溶胀、再次冷冻干燥的方法进行预处理,得到径向多孔结构的 聚丙烯酰 胺气凝胶,即得到水供给层;

[0073] 步骤(5)、将上述制备完成的水供给层作为太阳能蒸发器进行以下水环境下的运 输水性 能测试;

[0074] a) 运输海水(东海水);太阳能蒸发器主要的应用之一就是海水淡化,因此是否可 以运 输海水对于太阳能蒸发器来讲至关重要。如图7(a)和8(a)所示,海水在短时间内 (7min)就 实现了反重力运输超过10cm,运输水性能相较于淡水有一定程度微弱的下降,前 1s内上升 高度为1.08cm,前1min内上升高度为4.37cm,第7min的上升高度达到了10.12cm;

[0075] b) 运输地下水,利用沙土水来模拟一种缺水环境-地下水;地下淡水资源丰富,但 是目 前开采途径是泵抽取,需要大量额外的能量损耗,我们设计的太阳能蒸发器能直接无 额外能 量损耗的将地下水(或者说少水环境下)反重力运输,如图7(b)和8(b)所示,可实现 运输地 下水,前1s内上升高度为1.49cm,前1min内上升高度为5.56cm,第7min的上升高度 达到 了11.42cm,其运输水性能相较于淡水没有明显下降。

[0076] c) 仿树枝结构的运输分支水,自然界中存在的植物大部分都存在分支结构,如树 枝,这 样的分叉结构提供了足够的空间用于树叶甚至果实的生长,因此运输分支水对于植 物来说意 义重大,同时生产实际中很多运输水的情况也不一定都是垂直向上的,还存在需 要倾斜运 输的需求,因此实现仿树枝结构的运输分支水也是十分重要的。利用热熔胶和钓 鱼线固定得到 分叉结构的材料,如图7(c)和8(c)所示,我们设计的分叉结构可以实现有效 的仿树枝结构的 运输分支水,短时间内,水不仅沿着主干反重力运输,同时还可以向左或 向右沿着分叉的材 料运输,此外,前1s内上升高度为0.78cm,前1min内上升高度为5.65cm, 第7min的上升 高度达到了11.01cm,运输水性能没有明显下降。

[0077] 实施例5

[0078] 一种制备气凝胶及用作太阳能蒸发器用于水的蒸发提纯

[0079] 步骤(1)、制备气凝胶的水供给层-高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气 凝胶;

[0080] 步骤(2)、制备气凝胶的光吸收层-低长径比的无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺- 碳纳米 管复合气凝胶;

[0081] 步骤(3)、将多根用作水供给层的气凝胶插入塑料泡沫,垂直插入且利用泡沫的弹性固定,塑料泡沫的尺寸为边长10cm,高度1cm,用作水供给层的气凝胶数量范围为5-25根,长度范围为2cm-8cm;

[0082] 步骤(4)、在所述水供给层上方水平放置一块用作光吸收层的聚丙烯酰胺-碳纳米管复合气凝胶(边长为10cm,高度为1cm),然后用模拟太阳光仪器产生的光斑直径约8cm对聚丙烯酰胺气凝胶照射,故进行光热转换效率测试的光吸收层的尺寸为直径7cm,高度1cm;

[0083] 步骤(5)、将所述气凝胶放置于烧杯内,烧杯内有一定体积的去离子水,利用水的浮力固定,在一个标准太阳光强下进行测试。光吸收层吸收光并转化为热量,用于蒸发水,双层结构,可以将光吸收层产生的热量尽可能多的限制于蒸发面,做到更高效率的蒸发水;同时水通过水供给层传输给光吸收层,不同数量、不同距离的水供给层可以提供可控的水管理,在源源不断的为光吸收层提供水的基础上,控制水的含量,实现不改变总热量的前提下,通过水管理而提高蒸发效率。如图10和12所示,水通过水供给层传输至光吸收层后,温度迅速上升,光照10min时,表面温度由室温上升至41℃,其后更是稳定于43℃,而未负载碳纳米管的聚丙烯酰胺气凝胶温度稳定于约32℃,水的温度则温度在30℃附近。当水供给层的数量为9,距离为5cm时,经过短时间的光照(约5min)就开始产生明显的蒸汽,如图14所示,显示了一个标准的蒸汽的产生-维持-消逝过程。

[0084] 实施例6

[0085] 一种制备气凝胶及用作太阳能蒸发器应用于海水淡化或污水处理

[0086] 步骤(1)、制备气凝胶的水供给层-高长径比的径向分级多孔结构的聚丙烯酰胺气凝胶;

[0087] 步骤(2)、制备气凝胶的光吸收层-低长径比的无序分级多孔结构的聚丙烯酰胺-碳纳米管复合气凝胶;

[0088] 步骤(3)、将多根用作水供给层的气凝胶插入塑料泡沫,垂直插入且利用泡沫的弹性固定,塑料泡沫的尺寸为边长10cm,高度1cm,用作水供给层的气凝胶数量为9根,长度为5cm;

[0089] 步骤(4)、在所述装置上方水平放置一块用作光吸收层的聚丙烯酰胺-碳纳米管复合气凝胶(边长为10cm,高度为1cm);

[0090] 步骤(5)、将所述气凝胶放置于烧杯内,烧杯内有一定体积的海水、甲基橙染料水、罗丹明B染料水、亚甲基蓝染料水,利用水的浮力固定,将整套装置置于密闭的玻璃容器内,利用水蒸发形成的水蒸气预冷液化的原理进行水的提纯和收集,在一个标准太阳光强下进行测试。如图10所示,水供给层提供源源不断的水,光吸收层进行光热转换用作蒸发水,水蒸气遇到冷的玻璃容器内壁液化形成小水滴,随着时间的增加,小水滴逐渐增大并形成小水珠,当重量增加到一定程度后,水珠沿容器内壁流下,这样就可以进行有效的收集水。经过蒸发-冷凝过程后,取出蒸发清洁水进行相应的测试,如图16(a),海水在经过蒸发-冷凝后,四种典型的离子( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ )都呈现约3-4个指数的下降,且最终浓度在可饮用水范围内,说明该气凝胶能用作海水淡化,如图16(b)-(d)所示,甲基橙染料水、罗丹明B染料水以及亚甲基蓝染料水在经过蒸发-冷凝后,通过分析吸收光谱,其染料特有的吸收峰都消失不见,说明该气凝胶能用作污水(也即染料水)处理。

[0091] 上述实施例只为说明本发明的技术构思及特点,其目的在于让熟悉此项技术的人士能够了解本发明的内容并据以实施,并不能以此限制本发明的保护范围。凡根据本发明精神实质所作的等效变化或修饰,都应涵盖在本发明的保护范围之内。



图1

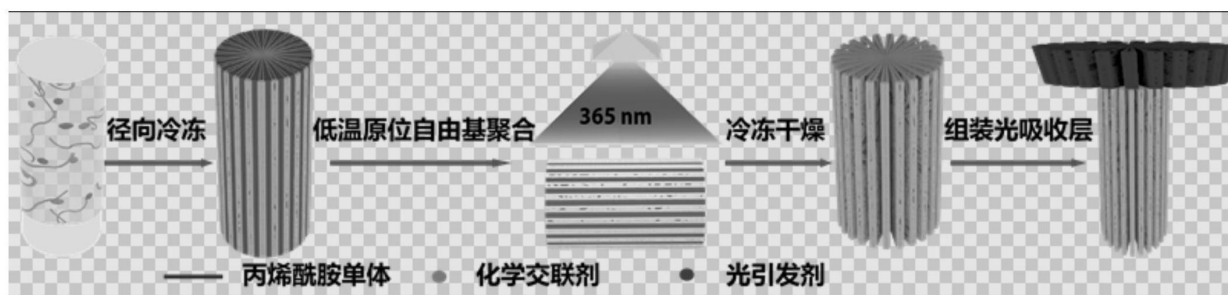


图2

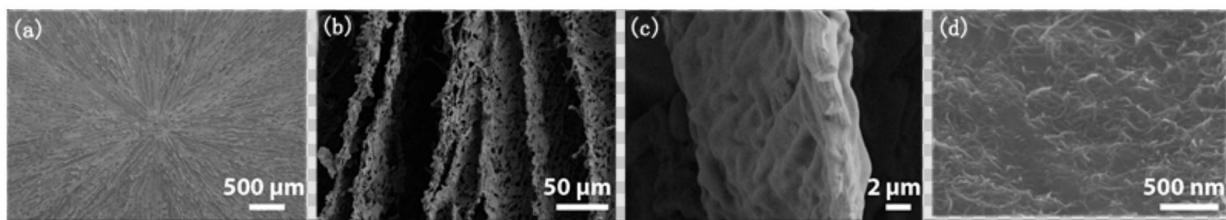


图3



图4

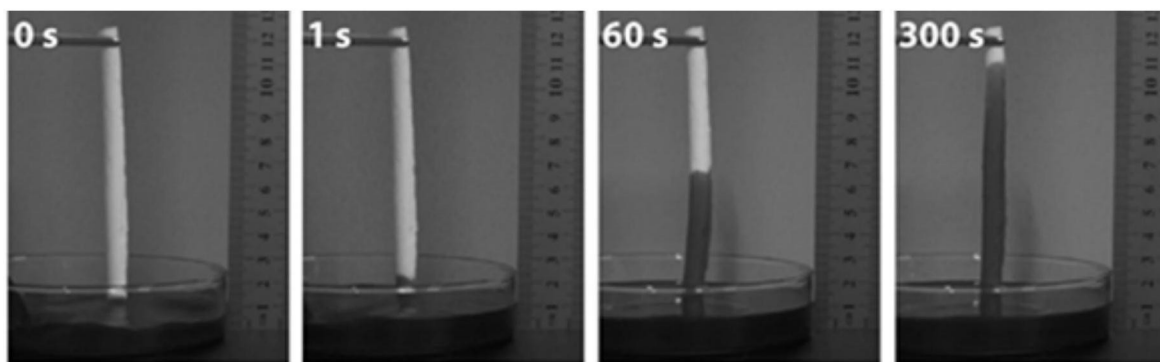


图5

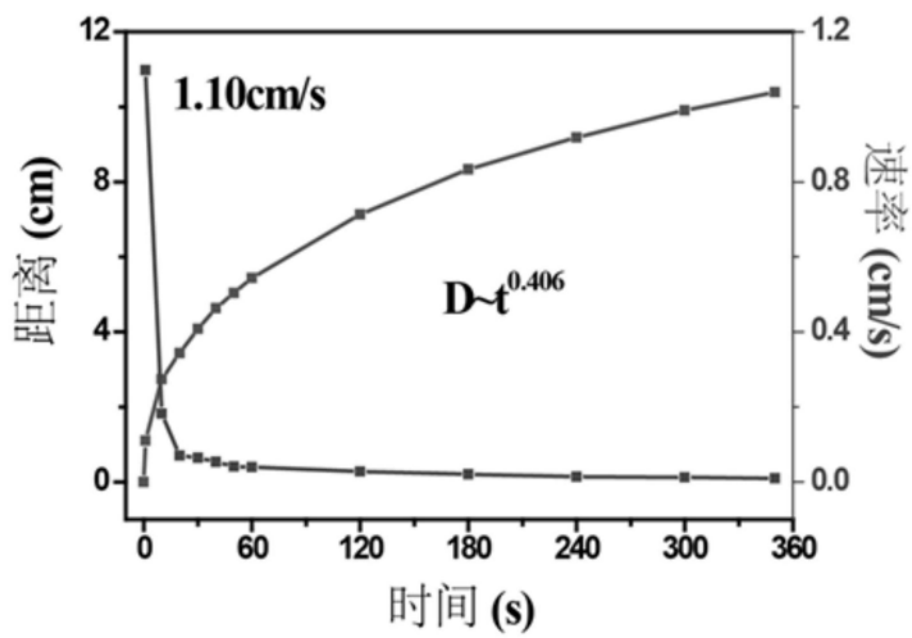


图6

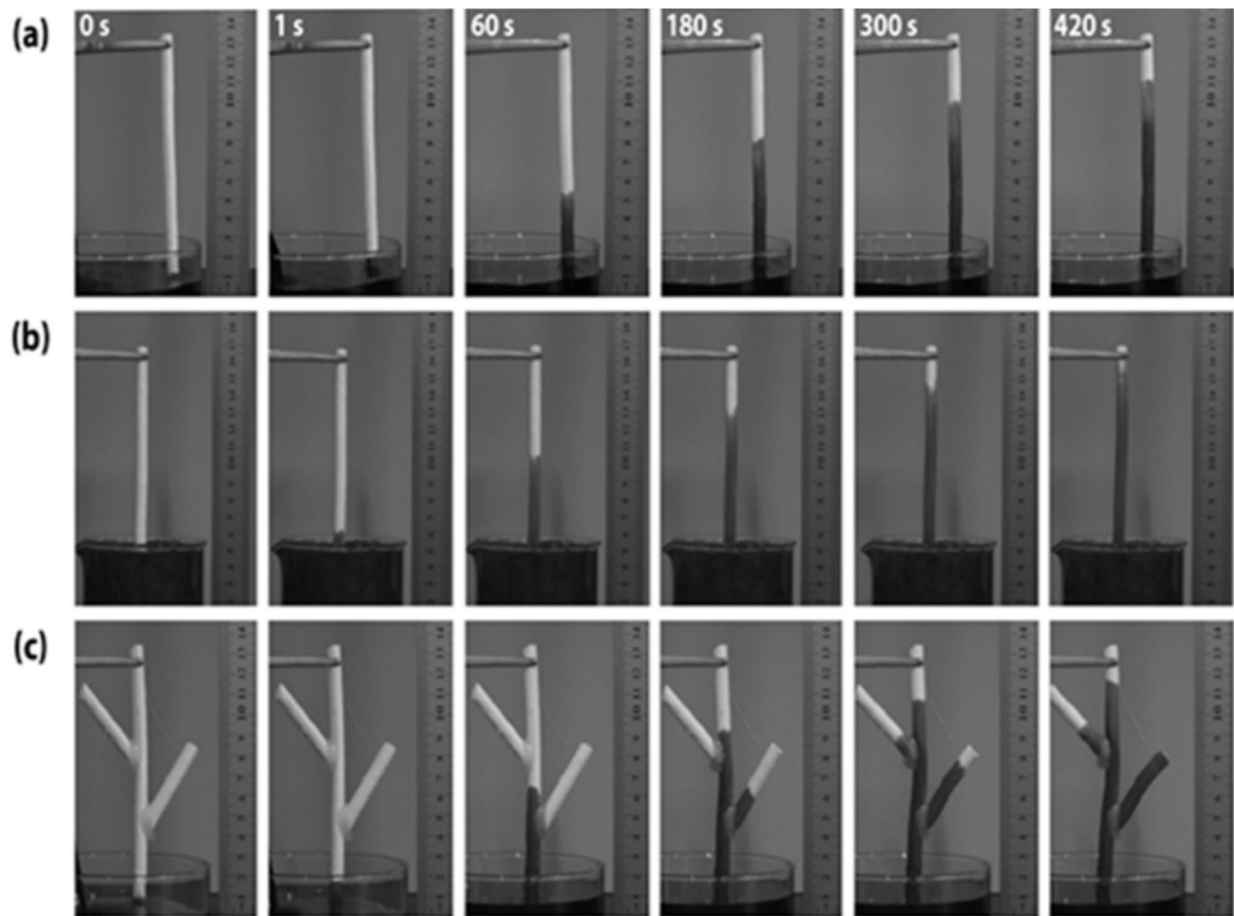


图7

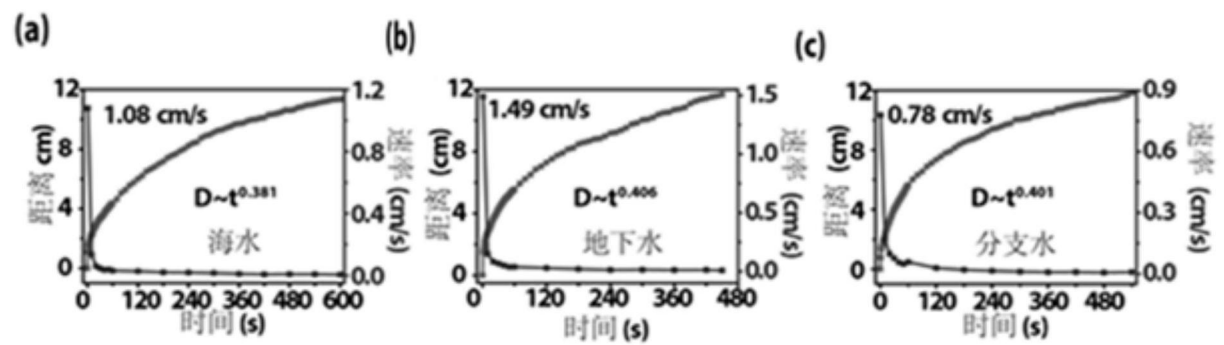


图8

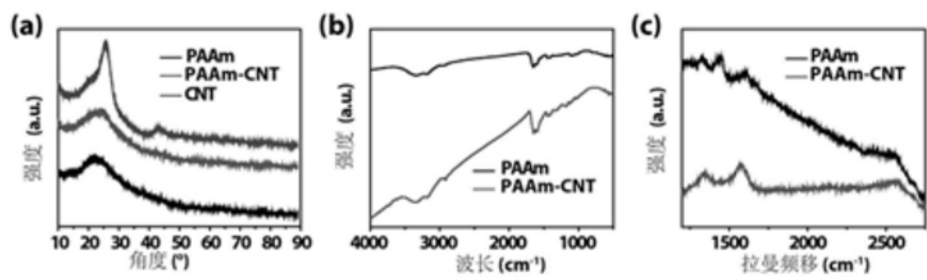


图9

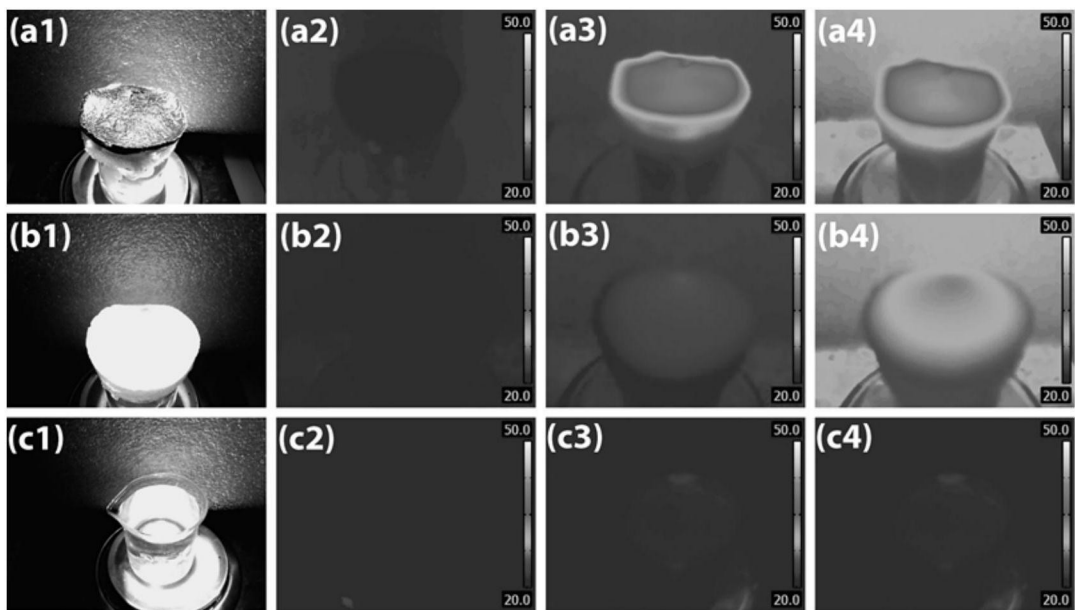


图10

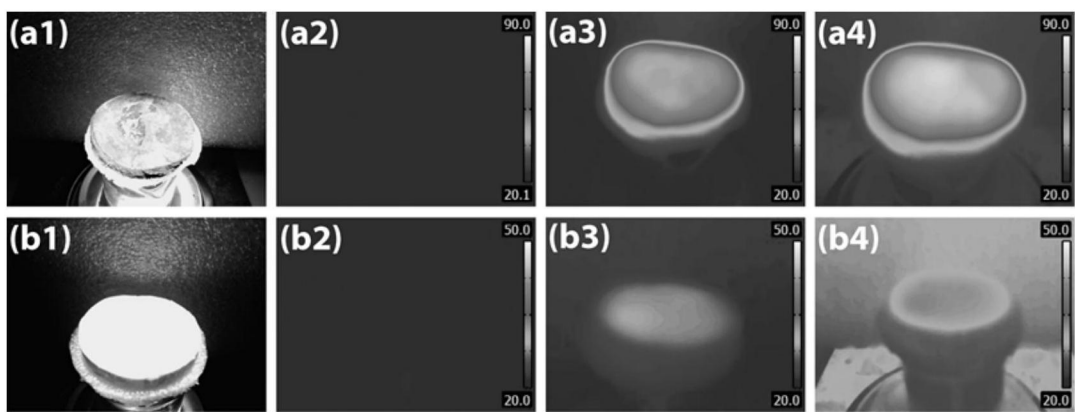


图11



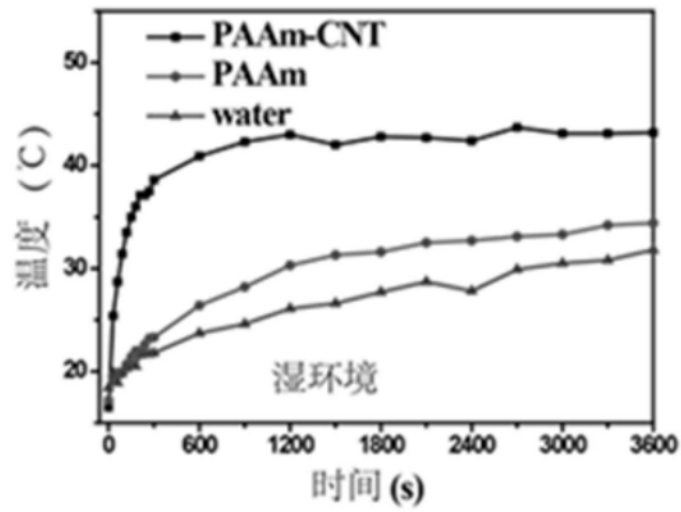


图12

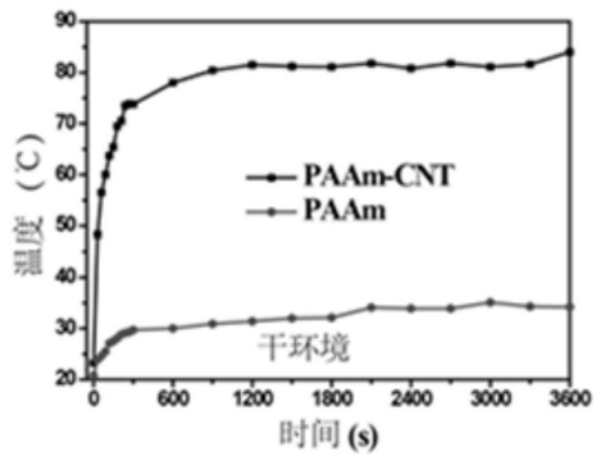


图13

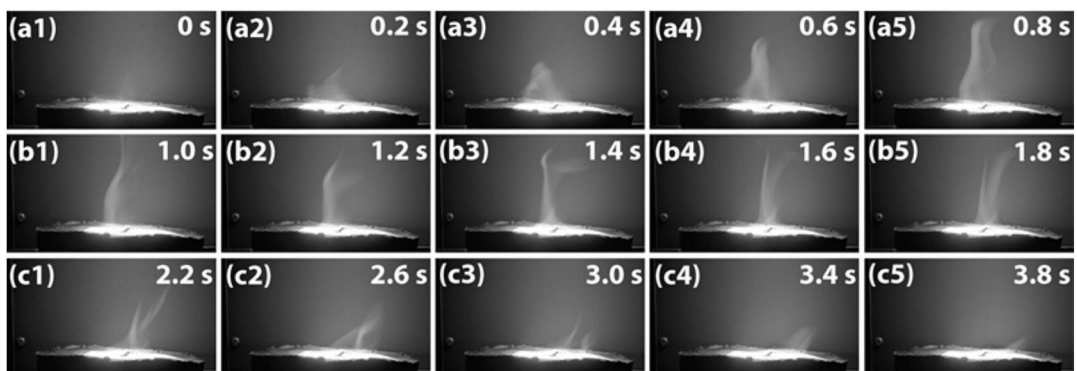


图14

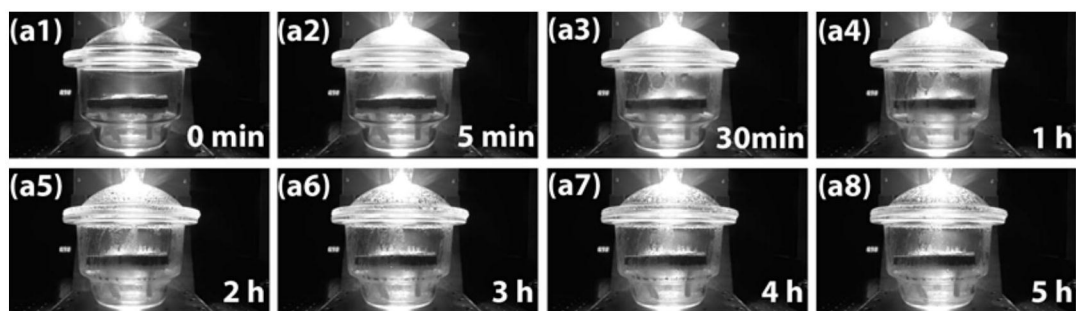


图15

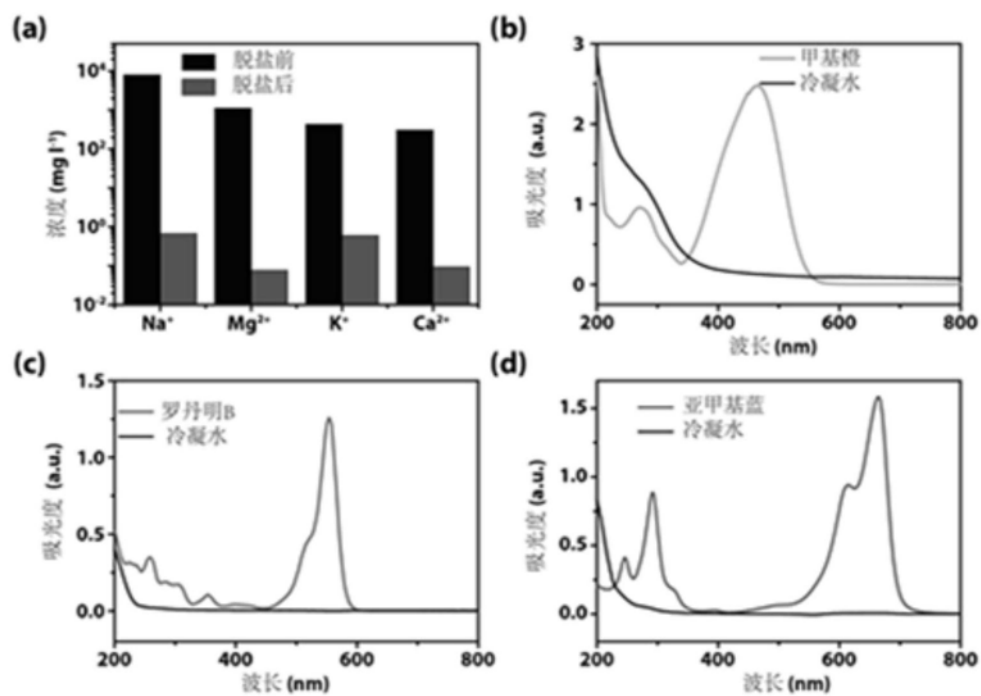


图16