



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108467059 B

(45)授权公告日 2020.03.27

(21)申请号 201810579570.9

B01J 13/00(2006.01)

(22)申请日 2018.06.07

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108467059 A

CN 1613823 A, 2005.05.11, 权利要求1.
CN 101190845 A, 2008.06.04, 全文.
CN 102173796 A, 2011.09.07, 全文.
US 8241708 B2, 2012.08.14, 全文.

(43)申请公布日 2018.08.31

Stefan Geis et al..Electrical properties of PZT aerogels.《Journal of the European Ceramic Society》.2002,第22卷第1155-1161页.

(73)专利权人 电子科技大学
地址 611731 四川省成都市高新区(西区)
西源大道2006号

Peer Loebmann et al..Monolithic crystalline lead zirconate titanate aerogels.《Journal of Non-Crystalline Solids》.1998,第225卷第130-134页.

(72)发明人 廖家轩 吴孟强 徐自强 王武
巩峰 冯婷婷 黄雄芳 录凯

(74)专利代理机构 电子科技大学专利中心
51203

代理人 吴姗姗

审查员 吴晗

(51)Int.Cl.

C01G 25/00(2006.01)

权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法

(57)摘要

一种锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法,属于功能材料技术领域。本发明提供了一种简单、易操作、成本低的锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法,使用的锆源和钛源分别是正丙醇锆和钛酸四丁酯,成本低,且不需要乙酰丙酮作螯合剂;得到的溶胶无需在150℃减压蒸馏条件下反应4h,只需在常温常压条件下即可得到,耗时约为30min;该方法得到的PZT气凝胶透明度更高,比表面积更大,最大比表面积大于500m²/g。

仪器型号: JW-BK100C	测试原理: 静态容量法
送样单位:	样品名称:
吸附气体: N2	样品编号: 1#
吸附温度: 77 K	样品质量: 0.1215(g)
操作人员:	预处理条件:
开始时间: 2018-05-25 18:58:18	结束时间: 2018-05-26 19:53:31
表面积	
单点BET (P/P ₀ =0.2)比表面积:	557.977 (m ² /g)
多点BET比表面积:	594.959 (m ² /g)
Langmuir比表面积:	905.095 (m ² /g)
T图法微孔内表面积:	28.135 (m ² /g)
T图法外比表面积:	566.824 (m ² /g)
BHJ吸附累积介孔和大孔内表面积(孔径2.00~300.00(nm)):	646.676 (m ² /g)
BHJ脱附累积介孔和大孔内表面积(孔径2.00~300.00(nm)):	736.280 (m ² /g)
孔体积	
吸附总孔体积:	2.545 (cm ³ /g)
BHJ吸附累积介孔和大孔总孔体积(孔径2.00~300.00(nm)):	2.606 (cm ³ /g)
BHJ脱附累积介孔和大孔总孔体积(孔径2.00~300.00(nm)):	2.669 (cm ³ /g)
T-图法微孔(<2nm)总孔体积:	0.005 (cm ³ /g)
DR法微孔(<2nm)总孔体积:	0.180 (cm ³ /g)
孔径	
吸附平均孔径:	17.112 (nm)
BHJ法介孔和大孔吸附平均孔径:	16.121 (nm)
最可几孔径:	64.123 (nm)
BHJ法介孔和大孔脱附平均孔径:	14.498 (nm)
最可几孔径:	18.667 (nm)
微孔分析(圆柱形孔SF法;孔径< 2 nm)	
微孔总孔体积:	0.2065 (cm ³ /g)
最可几孔径:	1.1638 (nm)
中值孔径:	1.2373 (nm)

1. 一种锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法,包括以下步骤:

步骤1、PZT溶胶的制备:

将三水合醋酸铅加入乙二醇甲醚中,搅拌使其充分溶解,得到混合液A;在混合液A中加入正丙醇锆,混合均匀后,再加入钛酸四丁酯,得到铅锆钛三元前驱液;在得到的铅锆钛三元前驱液中加入去离子水,搅拌,直至形成均一、透明、稳定的PZT溶胶;其中,三水合醋酸铅:正丙醇锆:钛酸四丁酯:去离子水:乙二醇甲醚的摩尔比为 $(1.05\sim 1.2):(0\sim 1):(0\sim 1):(50\sim 200):(30\sim 100)$,且 $n_{\text{三水合醋酸铅}}:(n_{\text{正丙醇锆}}+n_{\text{钛酸四丁酯}})=(1.05\sim 1.2):1$;

步骤2、PZT凝胶的制备:

将步骤1得到的PZT溶胶在常温常压下密封静置1h以上,形成均一、稳定、透明的PZT湿凝胶;然后将得到的PZT湿凝胶老化后,依次在无水乙醇、正硅酸乙酯乙醇溶液和无水乙醇中清洗,得到PZT凝胶;

步骤3、PZT气凝胶的制备:

将步骤2得到的PZT凝胶置于超临界干燥釜内,以二氧化碳或者乙醇作为干燥介质,进行超临界干燥,得到所述PZT气凝胶;以二氧化碳为干燥介质时,超临界干燥的压力为7.38MPa以上,温度为 31.2°C 以上;以乙醇为干燥介质时,超临界干燥的压力为6.38MPa以上,温度为 243.1°C 以上。

2. 根据权利要求1所述的锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法,其特征在于,步骤1所述PZT溶胶的制备过程为:(1)配制三水合醋酸铅的乙二醇甲醚溶液,得到铅的前驱液;配制钛酸四丁酯的乙二醇甲醚溶液,得到钛的前驱液;配制正丙醇锆的乙二醇甲醚溶液,得到锆的前驱液;(2)将锆的前驱液与铅的前驱液混合,搅拌形成铅锆二元前驱液,再将钛的前驱液加入铅锆二元前驱液中,搅拌混合均匀,得到铅锆钛三元前驱液;(3)在得到的铅锆钛三元前驱液中加入去离子水,搅拌,直至形成均一、透明、稳定的PZT溶胶;其中,三水合醋酸铅:正丙醇锆:钛酸四丁酯:去离子水:乙二醇甲醚的摩尔比为 $(1.05\sim 1.2):(0\sim 1):(0\sim 1):(50\sim 200):(30\sim 100)$,且 $n_{\text{三水合醋酸铅}}:(n_{\text{正丙醇锆}}+n_{\text{钛酸四丁酯}})=(1.05\sim 1.2):1$ 。

3. 根据权利要求1所述的锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法,其特征在于,步骤1中在得到的铅锆钛三元前驱液中加入去离子水时,加入速率小于1滴/秒。

4. 根据权利要求1所述的锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法,其特征在于,步骤2中所述依次在无水乙醇、正硅酸乙酯乙醇溶液和无水乙醇中清洗的过程具体为:首先,将老化后的湿凝胶在无水乙醇中浸泡24h,无水乙醇的量需没过湿凝胶 $2\text{cm}\sim 3\text{cm}$,重复3~5次;然后,将上步处理后的湿凝胶在体积分数为15%~25%的正硅酸乙酯乙醇溶液中浸泡24h,该溶液的量需没过湿凝胶 $2\text{cm}\sim 3\text{cm}$,重复3~5次;最后,将上步处理后的湿凝胶在无水乙醇中浸泡24h,无水乙醇的量需没过湿凝胶 $2\text{cm}\sim 3\text{cm}$,重复3~5次,得到PZT湿凝胶。

一种锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于功能材料技术领域,具体涉及一种锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法。

背景技术

[0002] 锆钛酸铅(PZT)因具有压电性能优良、机电耦合系数高、介电损耗低等优点,在煤气灶打火机、汽车发动机火花塞、汽车倒车雷达用压电式超声波发射器、深海探测用水声换能器等领域具有广泛的应用前景。目前,锆钛酸铅的应用大多是陶瓷,但是,PZT陶瓷的密度较大,而多孔陶瓷由于其密度相对固定而难以调节,越来越难以满足现代生活对压电材料的需要,特别是水声换能器的需求。PZT压电气凝胶密度极低且可调,成为了压电陶瓷和多孔陶瓷的最佳替代材料,例如,通过孔隙率或密度的调节,实现自身声阻抗与不同水深领域的声阻抗的匹配,成为应用于水声换能器的最佳压电材料。

[0003] 但是,PZT气凝胶的制备难度远远大于其块材和多孔陶瓷,因为金属醇盐遇水后会发生快速水解反应而生成沉淀,导致PZT溶胶、凝胶的制备极为困难。制备PZT气凝胶需要将铅、锆、钛三种金属盐混合使其发生水解缩聚反应生成具有三维网络骨架结构的透明凝胶,该过程存在三种金属盐的水解缩聚反应,要想协调控制该水解缩聚反应使其生成透明凝胶极其困难,有关PZT压电气凝胶的制备方法至今鲜见报道,依然停留在上世纪90年代刚制备出的水平。Peer Löbmann 团队于上世纪90年代首先制备出PZT气凝胶(Journal of Non-Crystalline Solids,1995,186:59-63,Journal of Non-Crystalline Solids,1998,225:130-134),以醋酸铅三水合物、异丙醇锆和异丙醇钛分别作为铅源、锆源和钛源,采用乙酰丙酮作为螯合剂,在150℃条件下使用减压蒸馏装置通过溶胶-凝胶法得到PZT湿凝胶,再在50℃下老化14天后,用二氧化碳超临界干燥制得比表面积为323m²/g的PZT气凝胶。但是,上述方法中,异丙醇钛和异丙醇锆的价格昂贵,成本高;而且铅、锆和钛的混合前驱体需在150℃减压蒸馏条件下反应4h才能得到,操作复杂,耗时长,难度大。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于针对背景技术存在的缺陷,提出一种简单、易操作、成本低的锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案如下:

[0006] 一种锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤1、PZT溶胶的制备:

[0008] 将三水合醋酸铅加入乙二醇甲醚中,搅拌使其充分溶解,得到混合液A;在混合液A中加入正丙醇锆,搅拌混合均匀后,再加入钛酸四丁酯,搅拌混合均匀,得到铅锆钛三元前驱液;在得到的铅锆钛三元前驱液中加入去离子水,搅拌,直至形成均一、透明、稳定的PZT溶胶;其中,三水合醋酸铅:正丙醇锆:钛酸四丁酯:去离子水:乙二醇甲醚的摩尔比为(1.05~1.2):(0~1):(0~1):(50~200):(30~100),且摩尔比 $n_{\text{三水合醋酸铅}}:(n_{\text{正丙醇锆}}+n_{\text{钛酸四丁酯}})=(1.05\sim 1.2):1$;

[0009] 步骤2、PZT凝胶的制备：

[0010] 将步骤1得到的PZT溶胶在常温常压下密封静置1h以上，形成均一、稳定、透明的PZT湿凝胶；然后将得到的PZT湿凝胶老化后，依次在无水乙醇、正硅酸乙酯乙醇溶液和无水乙醇中清洗，得到PZT凝胶；

[0011] 步骤3、PZT气凝胶的制备：

[0012] 将步骤2得到的PZT凝胶置于超临界干燥釜内，以二氧化碳或者乙醇作为干燥介质，进行超临界干燥，得到所述PZT气凝胶；以二氧化碳为干燥介质时，超临界干燥的压力为7.38MPa以上，温度为31.2℃以上；以乙醇为干燥介质时，超临界干燥的压力为6.38MPa以上，温度为243.1℃以上。

[0013] 进一步地，步骤1所述PZT溶胶的制备过程还可以为：(1) 配制三水合醋酸铅的乙二醇甲醚溶液，得到铅的前驱液；配制钛酸四丁酯的乙二醇甲醚溶液，得到钛的前驱液；配制正丙醇锆的乙二醇甲醚溶液，得到锆的前驱液；(2) 将锆的前驱液与铅的前驱液混合，搅拌形成铅锆二元前驱液，再将钛的前驱液加入铅锆二元前驱液中，搅拌混合均匀，得到铅锆钛三元前驱液；(3) 在得到的铅锆钛三元前驱液中加入去离子水，搅拌，直至形成均一、透明、稳定的PZT溶胶(用红色激光笔进行丁达尔效应实验直到获得清晰光通路为止)；其中，三水合醋酸铅：正丙醇锆：钛酸四丁酯：去离子水：乙二醇甲醚的摩尔比为(1.05~1.2)：(0~1)：(0~1)：(50~200)：(30~100)，且摩尔比 $n_{\text{三水合醋酸铅}} : (n_{\text{正丙醇锆}} + n_{\text{钛酸四丁酯}}) = (1.05 \sim 1.2) : 1$ 。

[0014] 进一步地，步骤1中，为了加快三水合醋酸铅在乙二醇甲醚中的溶解，采用玛瑙研钵将其磨细后加入乙二醇甲醚中。同时，为了弥补PZT气凝胶在后续烧结晶化过程中氧化铅的挥发，在配比中铅的含量要多出5%~20%。

[0015] 进一步地，步骤1中在得到的铅锆钛三元前驱液中加入去离子水时，加入速率需小于1滴/秒，以防止加水过快，水解缩聚反应过于猛烈而产生沉淀。

[0016] 进一步地，步骤2中所述老化的时间根据体积的不同而不同：当湿凝胶的体积为40mL以下时，老化的时间为12h~48h；当湿凝胶的体积大于40mL时，老化的时间为18h~72h。

[0017] 进一步地，步骤2中所述依次在无水乙醇、正硅酸乙酯乙醇溶液和无水乙醇中清洗的过程具体为：首先，将老化后的湿凝胶在无水乙醇中浸泡24h，无水乙醇的量需没过湿凝胶2cm~3cm，重复3~5次；然后，将上步处理后的湿凝胶在体积分数为15%~25%的正硅酸乙酯乙醇溶液中浸泡24h，该溶液的量需没过湿凝胶2cm~3cm，重复3~5次；最后，将上步处理后的湿凝胶在无水乙醇中浸泡24h，无水乙醇的量需没过湿凝胶2cm~3cm，重复3~5次，得到PZT湿凝胶。

[0018] 进一步地，步骤3所述PZT气凝胶的制备过程中，以二氧化碳为干燥介质时，超临界干燥的压力为7.38MPa以上，温度为31.2℃以上，干燥时间为4~9h。在达到临界温度后，向超临界干燥釜中加入二氧化碳气体的速率不高于0.1MPa/min，以防止加入速率过快将凝胶吹碎。同样，干燥结束之后，将釜内二氧化碳气体排出的速率也不高于0.1MPa/min，防止将干燥好的气凝胶吹碎。

[0019] 进一步地，步骤3所述PZT气凝胶的制备过程中，以乙醇为干燥介质时，超临界干燥的压力为6.38MPa以上，温度为243.1℃以上，干燥时间为4~10h。在达到临界状态后，干燥4~10h后以1MPa/min的速率排出乙醇；再以1MPa/min的速率向釜内通入氮气，置换残留的乙

醇。

[0020] 进一步地,步骤3中以二氧化碳为干燥介质时,超临界干燥的压力为7.38~8MPa,温度为31.2~34℃;以乙醇为干燥介质时,超临界干燥的压力为6.38~7MPa,温度为243.1~245℃。

[0021] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:

[0022] 本发明提供了一种简单、易操作、成本低的锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法,使用的锆源和钛源分别是正丙醇锆和钛酸四丁酯,成本低,且不需要乙酰丙酮作螯合剂;得到的溶胶无需在150℃减压蒸馏条件下反应4h,只需在常温常压条件下即可得到,耗时约为30min;该方法得到的PZT气凝胶透明度更高,比表面积更大,最大比表面积大于500m²/g。

附图说明

[0023] 图1为实施例1得到的PZT气凝胶的比表面积测试结果;

[0024] 图2为实施例1得到的PZT气凝胶的XRD测试结果。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图和实施例,详述本发明的技术方案。

[0026] 一种锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法,包括以下步骤:

[0027] 步骤1、PZT溶胶的制备:

[0028] 将三水合醋酸铅加入乙二醇甲醚中,搅拌使其充分溶解,得到混合液A;在混合液A中加入正丙醇锆,搅拌混合均匀后,再加入钛酸四丁酯,搅拌混合均匀,得到铅锆钛三元前驱液;在得到的铅锆钛三元前驱液中加入去离子水,搅拌,采用红色激光笔进行丁达尔效应实验直到获得清晰光通路为止,表明形成均一、透明、稳定的PZT溶胶;其中,三水合醋酸铅:正丙醇锆:钛酸四丁酯:去离子水:乙二醇甲醚的摩尔比为(1.05~1.2):(0~1):(0~1):(50~200):(30~100),且摩尔比 $n_{\text{三水合醋酸铅}}:(n_{\text{正丙醇锆}}+n_{\text{钛酸四丁酯}})=(1.05~1.2):1$;

[0029] 步骤2、PZT凝胶的制备:

[0030] 将步骤1得到的PZT溶胶在常温常压下密封静置1h以上,直到烧杯倾斜后溶胶表面不动,采用红色激光笔进行丁达尔效应实验直到获得清晰光通路为止,表明已形成均一、稳定、透明的PZT湿凝胶;然后将得到的PZT湿凝胶在常温常压下老化后,在无水乙醇中浸泡数次以置换凝胶骨架里的水分,再在正硅酸乙酯乙醇溶液中浸泡数次以去除湿凝胶表面残余的羟基,最后在水乙醇中浸泡数次清洗湿凝胶,得到PZT凝胶;

[0031] 步骤3、PZT气凝胶的制备:

[0032] 将步骤2得到的PZT凝胶置于超临界干燥釜内,密封好釜盖后,以二氧化碳或者乙醇作为干燥介质,进行超临界干燥,得到块状半透明的PZT气凝胶;以二氧化碳为干燥介质时,超临界干燥的压力为7.38MPa以上,温度为31.2℃以上;以乙醇为干燥介质时,超临界干燥的压力为6.38MPa以上,温度为243.1℃以上。

[0033] 进一步地,步骤1所述PZT溶胶的制备过程还可以为:(1)配制三水合醋酸铅的乙二醇甲醚溶液,得到铅的前驱液;配制钛酸四丁酯的乙二醇甲醚溶液,得到钛的前驱液;配制正丙醇锆的乙二醇甲醚溶液,得到锆的前驱液;(2)将锆的前驱液与铅的前驱液混合,搅拌形成铅锆二元前驱液,再将钛的前驱液加入铅锆二元前驱液中,搅拌混合均匀,得到铅锆钛

三元前驱液；(3) 在得到的铅锆钛三元前驱液中加入去离子水，搅拌，直至形成均一、透明、稳定的PZT溶胶(用红色激光笔进行丁达尔效应实验直到获得清晰光通路为止)；其中，三水合醋酸铅：正丙醇锆：钛酸四丁酯：去离子水：乙二醇甲醚的摩尔比为(1.05~1.2)：(0~1)：(0~1)：(50~200)：(30~100)，且摩尔比 $n_{\text{三水合醋酸铅}} : (n_{\text{正丙醇锆}} + n_{\text{钛酸四丁酯}}) = (1.05 \sim 1.2) : 1$ 。

[0034] 实施例1

[0035] 一种锆钛酸铅压电气凝胶的制备方法，其中，Pb:Zr:Ti=1.1:0.8:0.2，具体包括以下步骤：

[0036] 步骤1、PZT溶胶的制备：

[0037] 1.1称取4.1726g三水合醋酸铅溶解于20mL乙二醇甲醚溶液中，得到铅的前驱液；量取0.78mL钛酸四丁酯加入10mL乙二醇甲醚溶液中，得到钛的前驱液；量取8.3mL正丙醇锆加入10mL乙二醇甲醚溶液中，得到锆的前驱液；

[0038] 1.2将配制的锆的前驱液与铅的前驱液混合，充分搅拌形成铅锆二元前驱液，再将钛的前驱液加入铅锆二元前驱液中，搅拌混合均匀，得到铅锆钛三元前驱液；

[0039] 1.3在得到的铅锆钛三元前驱液中加入10mL去离子水(加入速率小于1滴/秒)，充分搅拌，用红色激光笔进行丁达尔效应实验直到获得清晰光通路为止，表明已形成均一、透明、稳定的PZT溶胶；

[0040] 其中，三水合醋酸铅：正丙醇锆：钛酸四丁酯：去离子水：乙二醇甲醚的摩尔比为1.1:0.8:0.2:55.56:50.7；

[0041] 步骤2、PZT凝胶的制备：

[0042] 将步骤1得到的PZT溶胶在常温常压下密封静置1h以上，直到烧杯倾斜后溶胶表面不动，采用红色激光笔进行丁达尔效应实验直到获得清晰光通路为止，表明已形成均一、稳定、透明的PZT湿凝胶；然后将得到的PZT湿凝胶在常温常压下老化24h后，在无水乙醇中浸泡5次以置换凝胶骨架里的水分，再在体积分数为25%的正硅酸乙酯乙醇溶液中浸泡5次以去除湿凝胶表面残余的羟基，最后在水乙醇中浸泡5次清洗湿凝胶，得到PZT凝胶；

[0043] 步骤3、PZT气凝胶的制备：

[0044] 将步骤2得到的PZT凝胶置于超临界干燥釜内，密封好釜盖后，以二氧化碳作为干燥介质，进行超临界干燥，超临界干燥的压力为7.58MPa，温度为32.2℃，最终得到块状半透明的PZT气凝胶。

[0045] 采用型号为JW-BK132F的比表面分析仪对实施例1制得的气凝胶进行测试，得到图1的测试结果，表明实施例1制得的气凝胶比表面积范围为395~594m²/g，最可几孔径在16~80nm。采用型号DX-2700BH的X射线衍射仪对实施例1制得的气凝胶的晶相进行测试，得到图2的XRD测试结果，表明实施例1制得的气凝胶骨架主要由微晶组成，强度很好。

[0046] 实施例2

[0047] 本实施例与实施例1相比，区别在于：制备的PZT气凝胶中Pb:Zr:Ti=1.1:0.5:0.5；步骤1中三水合醋酸铅：正丙醇锆：钛酸四丁酯：去离子水：乙二醇甲醚的摩尔比为1.1:0.5:0.5:55.56:50.7，量取的钛酸四丁酯为1.8mL，正丙醇锆为5.2mL；其余步骤与实施例1相同。

[0048] 实施例3

[0049] 本实施例与实施例1相比，区别在于：制备的PZT气凝胶中Pb:Zr:Ti=1.1:0.4:

0.6;步骤1中量取的钛酸四丁酯为2.1mL,正丙醇锆为4.2mL;其余步骤与实施例1相同。

[0050] 实施例4

[0051] 本实施例与实施例1相比,区别在于:制备的PZT气凝胶中Pb:Zr:Ti=1.1:0.7:0.3;步骤1中三水合醋酸铅:正丙醇锆:钛酸四丁酯:去离子水:乙二醇甲醚的摩尔比为1.1:0.7:0.3:111.1:76.1;步骤1制备PZT溶胶的具体过程为:

[0052] 1.1称取4.1726g三水合醋酸铅溶解于40mL乙二醇甲醚溶液中,得到铅的前驱液;量取1.1mL钛酸四丁酯加入10mL乙二醇甲醚溶液中,得到钛的前驱液;量取7.3mL正丙醇锆加入10mL乙二醇甲醚溶液中,得到锆的前驱液;

[0053] 1.2将配制的锆的前驱液与铅的前驱液混合,充分搅拌形成铅锆二元前驱液,再将钛的前驱液加入铅锆二元前驱液中,搅拌混合均匀,得到铅锆钛三元前驱液;

[0054] 1.3在得到的铅锆钛三元前驱液中加入20mL去离子水(加入速率小于1滴/秒),充分搅拌,用红色激光笔进行丁达尔效应实验直到获得清晰光通路为止,表明已形成均一、透明、稳定的PZT溶胶;

[0055] 其中,三水合醋酸铅:正丙醇锆:钛酸四丁酯:去离子水:乙二醇甲醚的摩尔比为1.1:0.7:0.3:111.1:76.1。

仪器型号: JW-BK100C	测试原理: 静态容量法
送样单位:	样品名称:
吸附气体: N ₂	样品编号: 1#
吸附温度: 77 K	样品质量: 0.1215 (g)
操作人员:	预处理条件:
开始时间: 2018-05-25 18:58:18	结束时间: 2018-05-26 19:53:31

表面积		
单点BET (P/P ₀ =0.2) 比表面积:	557.977	(m ² /g)
多点BET比表面积:	594.959	(m ² /g)
Langmuir比表面积:	905.095	(m ² /g)
T图法微孔内表面积:	28.135	(m ² /g)
T图法外比表面积:	566.824	(m ² /g)
BJH吸附累积介孔和大孔内表面积 (孔径2.00~300.00 (nm)):	646.676	(m ² /g)
BJH脱附累积介孔和大孔内表面积 (孔径2.00~300.00 (nm)):	736.280	(m ² /g)

孔体积		
吸附总孔体积:	2.545	(cm ³ /g)
BJH吸附累积介孔和大孔总孔体积 (孔径2.00~300.00 (nm)):	2.606	(cm ³ /g)
BJH脱附累积介孔和大孔总孔体积 (孔径2.00~300.00 (nm)):	2.669	(cm ³ /g)
T-图法微孔 (<2nm) 总体积:	0.005	(cm ³ /g)
DR法微孔 (<2nm) 总体积:	0.180	(cm ³ /g)

孔径		
吸附平均孔径:	17.112	(nm)
BJH 法介孔和大孔吸附平均孔径:	16.121	(nm)
最可几孔径:	64.123	(nm)
BJH 法介孔和大孔脱附平均孔径:	14.498	(nm)
最可几孔径:	18.667	(nm)

微孔分析 (圆柱形孔SF法: 孔径 < 2 nm)		
微孔总孔体积:	0.2065	(cm ³ /g)
最可几孔径:	1.1638	(nm)
中值孔径:	1.2373	(nm)

图1

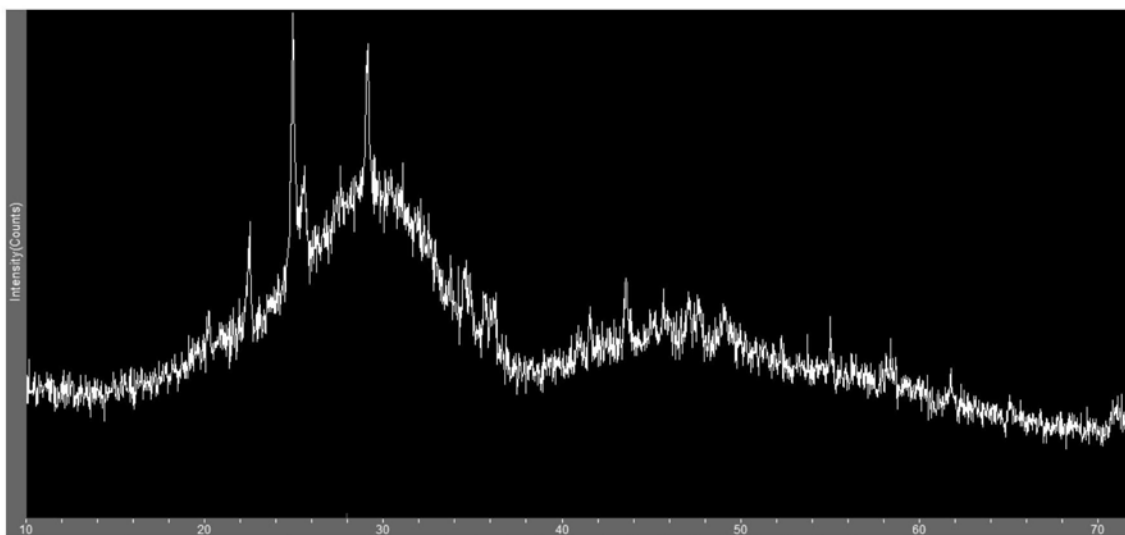


图2