

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 00817099.1

[51] Int. Cl.

C01B 31/04 (2006.01)
C04B 35/626 (2006.01)
H01B 1/24 (2006.01)
C09C 1/46 (2006.01)
C08K 3/04 (2006.01)
H01M 4/02 (2006.01)

[45] 授权公告日 2006 年 4 月 12 日

[11] 授权公告号 CN 1250450C

[51] Int. Cl. (续)

H01M 8/02 (2006.01)

C04B 35/52 (2006.01)

[22] 申请日 2000.9.22 [21] 申请号 00817099.1

[30] 优先权

[32] 1999.11.26 [33] CH [31] 2165/99

[86] 国际申请 PCT/CH2000/000514 2000.9.22

[87] 国际公布 WO2001/038220 德 2001.5.31

[85] 进入国家阶段日期 2002.6.13

[71] 专利权人 蒂米卡尔股份公司

地址 瑞士博迪奥

[72] 发明人 M·斯帕尔 D·卡塔尼奥

K·斯特莱布

审查员 赵建华

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 刘明海

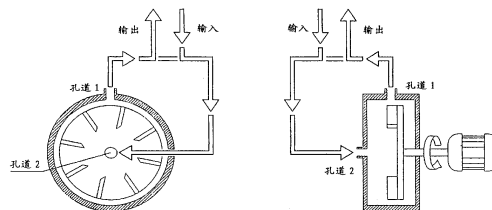
权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 1 页

[54] 发明名称

提高了堆积密度的石墨粉生产方法

[57] 摘要

本发明涉及一种提高任意颗粒大小分布的合成和/或天然石墨粉，优选高纯石墨的斯柯特密度的方法，是通过将石墨粉进行自生表面处理。本发明的粉末特别用于生产分散体，具有提高的石墨/粘合剂比和提高的导电导热性的涂层，在金属基体上的气密和液密涂层，热固性或热塑性石墨聚合物复合材料或非铁金属烧结材料。



1. 提高具有任何粒子大小分布的石墨粉的斯柯特密度的方法,其中石墨粉是颗粒中石墨含量高的合成和/或天然石墨碳,其特征在于将石墨粉进行自生表面处理,其中使各个颗粒在一测定速度下互相撞击以改变它们的表面结构而不出现实质上的研磨效应,和其中所述自生表面处理一直进行到初始粉末的斯柯特密度和/或夯实密度提高了至少 10%- 100%。

2. 权利要求 1 所述的方法,其特征在于石墨粉的二甲苯密度在 1.80 - 2.27 克·厘米⁻³ 范围,并以 $c/2$ 值为 0.3354 - 0.3360nm 和 L_c 值大于 40nm 为其晶体结构特征。

3. 权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于石墨粉的粒子大小可达 150 μ m。

4. 权利要求 3 的方法,其特征在于石墨粉的粒子大小为 1 - 50 μ m。

5. 权利要求 1 - 4 任一项所述的方法,其特征在于自生表面处理一直进行到初始粉末的斯柯特密度和/或夯实密度提高了至少 20% - 80%。

6. 权利要求 5 所述的方法,其特征在于自生表面处理的进行是借助于载气将粒子大小 <100 μ m 的石墨粉颗粒在一惰性载气中流化或分散于惰性载气中。

7. 权利要求 5 所述的方法,其特征在于自生表面处理的进行是用旋转的机械工具将粒子大小小于 300 μ m 的石墨粉颗粒分散。

8. 权利要求 7 所述的方法,其特征在于自生表面处理的进行是使用涡轮。

9. 使用权利要求 1 - 8 任一项的方法生产的石墨粉用于制备在液体介质中的固体含量提高了的分散体系的用途。

10. 使用权利要求 1 - 8 任一项的方法生产的石墨粉作为水基或溶剂基分散体系的颜料的用途。

11. 用含权利要求 1 - 8 任一项的石墨碳和一种聚合粘合剂的混合

物在水基或溶剂基介质中的分散体系的用途，用于施于金属箔和金属板，或者生产石墨/粘合剂比以及导电导热性能提高了的涂层。

12. 权利要求 11 的用途，用于生产金属基体上的气密和液密涂层。

13. 按权利要求 11 涂覆的金属基体作为锂离子电池的负电极的用途。

14. 使用按权利要求 1-8 任一项的方法生产的石墨粉的用途，用于生产热塑性或热固性石墨/聚合物复合材料，复合材料可以选择性地进一步压制成高导电性气密石墨板。

15. 权利要求 14 的用途，用于在聚合物电解液燃料电池技术中用作双极板。

16. 使用按权利要求 1-8 任一项生产的石墨粉的用途，用于生产非铁金属烧结材料。

17. 按权利要求 9-16 任一项生产的制品。

提高了堆积密度的石墨粉生产方法

本发明涉及提高了堆积密度的石墨粉生产方法。本发明特别涉及任何粉状石墨材料的自生表面处理,其堆积密度和夯实密度显著提高,粉末颗粒之间的相互的物理-机械作用使其它的重要材料性质得以有利地改进。

石墨材料(特别是那些石墨含量高的材料)是已知的,并以多种方式在工业中应用。高纯度石墨碳的二甲苯密度(也称单晶密度或真实密度)在 $1.80 - 2.27 \text{ 克} \cdot \text{厘米}^{-3} (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ 范围,并具有以 $c/2$ 值为 $0.3354 - 0.3360 \text{ 纳米} (\text{nm})$ 和 L_c 值大于 $40\text{nm} (>40\text{nm})$ 为特征的晶体结构。这些材料得自天然源,再经富集和纯化,或是以合成方法在高温过程中由无定形碳产品生产,继而在研磨工艺中制成不同平均粒子大小的粉状材料。粉末的给定粒子大小在通常情况下常常是特定粒子大小分布的平均值。为特殊目的使用的粒子大小分布特别决定于石墨材料的组成和其性质以及意欲的用途。

颗粒的形状常常是小片状。二甲苯密度和 L_c 值愈高,颗粒的各向异性愈显著。这种材料的斯柯特密度(也指堆积密度),例如粒子大小小于 $100 \text{ 微米} (\text{粒子大小} < 100\mu\text{m}, \text{用激光衍射分析法测定})$ 的颗粒通常低于 $0.25 \text{ 克} \cdot \text{厘米}^{-3}$,粒子大小愈小,斯柯特密度愈低。用研磨法粉碎的颗粒一般是使斯柯特密度降低。用最佳化的粒子大小分布,斯柯特密度可有某种程度的提高。例如粒子大小低于 100 微米 的材料,将其粗、细部分最佳化得到的斯柯特密度最大可达 $0.3 \text{ 克} \cdot \text{厘米}^{-3}$ 。

夯实密度、压缩性和对聚合粘合材料和诸如油、有机溶剂和水体系等液体的吸收能力是同等重要的石墨粉性能。这些性能是和石墨粉的组成、特别是其粒子大小分布密切相关的。

现已惊异地发现,当石墨粉经受自生表面处理,在自生表面处理中,颗粒以适合的速度互相撞击一段充分长的时间后,具有任何粒子

大小分布的石墨粉的斯柯特密度值是极大地提高了。撞击和其相互的物理-机械作用使石墨颗粒的结构或表面发生了改变，其结果是大大地提高了斯柯特密度，也相当程度地改变了上述的其它性质。

在电子显微镜下观察，原有的经研磨的小片状石墨颗粒，形状不规则并有锐利的边角。不规则的颗粒轮廓是用本发明的处理方法打磨的，锐利的边角是用本发明的处理方法打圆的。如将能量剂量合适地最佳化，用其它机械处理方法的研磨效果（导致堆积密度明显下降）被极大地降低了或是最小化了。虽然颗粒摩擦产生灰尘，加之有最小的研磨效果，导致粒子大小和斯柯特密度（堆积密度）的些微降低，但由于本发明的处理方法所致的斯柯特密度强烈的总提高和其它性能的改变非常大，是远超过其它情况的粒子大小效应。在颗粒轮廓中观察到的变化至少可以部分解释本发明，但本发明不限于这种解释。

本发明限定于权利要求书。本发明特别涉及提高任何粒子大小分布的石墨粉的斯柯特密度的方法，其特征在于石墨粉进行了自生表面处理。

自生表面处理方法在于让单个粉末颗粒的表面在测定的速度下互相撞击，通过单个颗粒间的相互物理-机械作用，它们的表面结构发生了改变，但单个颗粒实质上保持不被破坏，即不出现实质上的研磨效应。根据本发明，此单个颗粒轮廓或表面结构的变化使斯柯特密度提高。自生表面处理的进行以及单个颗粒之间的相互作用，直到达到了所要求的斯柯特密度。测定速度之意是，调节给予单个颗粒的速度或能量使颗粒在撞击或碰撞时不被碎裂，因而在实际上避免了研磨作用。这种调节是方法最佳化的问题，不会给本技术领域的技术熟练者带来困难。

用本发明的自生表面处理法以任何粒子大小分布的石墨粉的最佳化研磨作用得到的斯柯特密度，在各种情况下可提高至少约 10% - 约 100%，优选约 20% - 80%。因此达到了石墨材料至今未达到的斯柯特密度 $0.45 \text{ 克} \cdot \text{厘米}^{-3}$ 或更高。

用本发明的方法以任何粒子大小分布的石墨粉的最佳化研磨作用得

到的夯实密度，在各种情况下也可提高至少约 10% - 100%，优选约 20% - 80%。因此达到了石墨粉至今未达到的夯实密度 0.90 克·厘米⁻³。

因此，在本发明的一个实施方案中，自生表面处理一直进行到初始粉末的斯柯特密度和/或夯实密度提高了至少约 10% - 约 100%，优选约 20% - 80%。

如果粒子大小小于 100 μm，最好是将石墨粉颗粒在一惰性载气中流化或分散于惰性载气中并借助于载气加速颗粒，如下所述，以进行本发明的自生表面处理。例如在一个实施方案中，自生表面处理的进行是借助于载气将粒子大小小于 100 μm (<100 μm) 的石墨粉颗粒在一惰性载气中流化或分散于惰性载气中。处理强度决定于碳的类型和颗粒的质量、它们的速度和每次处理时材料的用量即分散在气体中的流化颗粒的浓度。所用石墨碳越软、颗粒质量越高、它们的速度越高和用量越高，则处理愈强。粒子大小小于 300 μm 的颗粒，其分散和加速最好是用旋转的机械工具进行。在一个实施方案中，自生表面处理的进行是用旋转的机械工具将粒子大小小于 300 μm 的石墨粉颗粒分散，优选使用涡轮。例如在本发明的方法中是用一涡轮或直接用一旋转盘。

但是，出现的研磨作用也随提高的处理强度而同时提高。因此要达到材料的最大堆积密度要有一最大的强度，此强度得自颗粒速度、颗粒质量和用量的最佳化参数。没有观察到由于小颗粒粘结而形成的附聚物（也能导致斯柯特密度的持续提高）。在所进行的任何实验中，没有出现处理过的颗粒大于所用的未处理颗粒的情况。扫描电子显微镜分析处理过的材料也显示没有发生附聚作用。

本发明的处理方法不仅能提高斯柯特密度，也能改进石墨粉的可压缩性能，并减少它们对聚合粘合材料和诸如油、有机溶剂和水体系之类的液体的吸收能力。另一方面，使用机械性表面处理，石墨碳颗粒的结晶性仍保持不受影响。与未处理颗粒相比，其结构参数和二甲苯密度也保持不变。

用本发明的方法也能提高以任何粒子大小分布的石墨粉的最佳化研磨作用得到的冲压密度至少约 0.5% - 10%，优选约 1% - 8%。

如果按本发明处理的石墨粉是用于在 2.5 吨/厘米^2 下生产压模制件，与未处理材料相比，可以得到的冲压密度是明显较高的。

另外，按本发明的方法处理的粉末呈现约 10% - 50% 范围、特别是平均约 20% - 45% 的明显降低的吸油和吸粘合剂能力，也能得到超过 50% 的值。此效果是用本发明的方法处理得到的，因为处理时颗粒的孔隙率（多孔结构）没有受到影响，可用氮吸收性能和二甲苯密度几乎没有改变这些事实得到证明。

所说的吸收性能明显降低也是按本发明方法处理的石墨粉在液体介质中的分散体系明显的较低黏度产生的结果，所以按本发明方法处理的石墨粉可以制备相应提高固体含量的分散体系。使用按本发明方法处理的石墨粉，碳的液体分散体系中的固体含量可以提高 5% 以上至超过 30%。因此，本发明还提供了使用根据本发明的方法生产的石墨粉用于制备在液体介质中的固体含量提高了的分散体系的用途。

适合于在本发明中使用的石墨粉，特别是颗粒中石墨含量高的石墨粉，并特别是所谓的高纯石墨，最好是其二甲苯密度的范围在 $1.80 - 2.27 \text{ 克} \cdot \text{厘米}^{-3}$ 和以 $c/2$ 值为 $0.3354 - 0.3360 \text{ nm}$ 和 L_c 值大于 40 nm ($>40 \text{ nm}$) 为特征的晶体结构。石墨粉可得自天然源，或是以合成方法由无定形碳产品制备，并可有任何平均粒子大小和粒子大小分布。优选的粉状石墨材料是平均粒子大小达 $150 \mu\text{m}$ ，优选 $1 \mu\text{m} - 50 \mu\text{m}$ ，的粉末石墨，特别是高纯粉末石墨。这样的石墨是已知的。

本发明的方法最好是这样实施：将欲处理的石墨粉粒子分散于一气体中并流化。可以使用已知的任何流化技术，其中颗粒在流化状态中互相冲击，并因之改变了它们的表面轮廓和表面结构，正如在流化床中的情况。但是，在进行本发明方法时，最好是给被流化的颗粒提供较高的速度，以使被流化的颗粒以较高的能量得到加速。最好是使流化的颗粒在气体环境中连续地浓缩和再稀释。旋转中的颗粒之间产生的碰撞和它们之间的摩擦使颗粒产生表面磨损。调节转移至颗粒上的能量以使碰撞及磨损实质上不引起颗粒的碎裂。

本发明的方法可以有最佳的效果，例如图 1 中所示的装置。此装

置具体地是由一圆盘组成，圆盘有齐平安装在轮毂上的径向撞针，所说的圆盘置于一与外界封闭的圆筒形处理室中（有涡轮效应的涡轮）。调整圆筒形处理室的尺寸使其靠近圆盘并在其内壁和旋转盘之间留有一些空间。圆盘用轴通过处理室壁与一置于处理室外的马达相连接，此马达可使圆盘旋转。圆筒形处理室有一个径向孔道（孔洞）。处理室的圆筒形夹套中另有一垂直于圆盘和圆盘轴心的孔道。这两个孔道由置于处理室外的管道相连。因此一个在处理室外的并连接于处理室壁的管道将处理室的周边与处理室的中心连接起来。含流化颗粒的气体（流体）被旋转盘离心加速，通过此外设处理管道进行循环。流化颗粒由离心力的作用通过处理室周边的管道流出，并通过管道的另一端流入处理室的中心，在此处再被加速。材料颗粒被旋转盘的撞针加速并被高速马达产生的离心力驱向周边方向。按此在气体中分散和加速的颗粒沿圆筒形夹套的内部在机器中循环。到达循环管入口处的颗粒进入循环管，然后回到机器的中心区域处理室。这样颗粒在环绕的气体介质中产生连续的浓缩和稀释。一部分处理过的颗粒可以从附管中连续喂入或排放。此方法也可以批量法生产。

按本发明方法处理的石墨粉可以用作水基或溶剂基分散体系的颜料，由此可以达到比未处理的石墨粉高的固体含量。按本发明处理的材料液体分散体系的黏度在有相同固体含量时明显较低。同时，当本发明的分散体系施于基体和干燥时，得到了孔隙率值明显较低的涂层，因为液相的含量明显较低。高固体含量还有这样的含义：即需要较小的粘合剂/碳比以稳定基体上已干的碳涂层。聚合粘合剂的含量低可以使碳层的导电和导热性得到明显的提高。因此，本发明提供了使用根据本发明的方法生产的石墨粉作为水基或溶剂基分散体系的颜料的用途。

含有按本发明方法处理的合成和/或天然石墨碳和一在水基或溶剂基介质中的聚合粘合剂的混合物的分散体系可以施于金属箔，并在干后可以得到石墨/粘合剂比提高了的稳定涂层（厚度为 10 - 5000 μm ），并因此也提高了其导电和导热性。干膜的孔隙率通常小于

50%，明显低于常规石墨形成的膜的孔隙率。因此，这种分散体系也可以很好地用作金属基体上的气密和液密涂层，这种涂层可以用作金属箔或金属板的导电防腐膜。从而，本发明提供了用含本发明的石墨碳和一种聚合粘合剂的混合物在水基或溶剂基介质中的分散体系的用途，用于施于金属箔和金属板，或者生产石墨/粘合剂比以及导电导热性能提高了的涂层，特别是生产金属基体上的气密和液密涂层。

用本发明方法处理的石墨形成的干涂层可以用压延机加压而石墨膜不会从金属箔脱层。在未处理的石墨中经常观察到从金属箔上的脱层。用本发明方法处理的石墨粉生产的压延石墨膜能提供孔隙率低于30%的涂层而不会改变所用石墨粉的质地或颗粒结构。这种以孔隙率低于30%并用较低的粘合剂/碳比稳定为特征的金属箔上的薄膜涂层可用于锂离子电池作为负极，电荷密度在550Ah/l以上。这种电极的载流容量明显高于常规石墨粉制造的电极。因此，这样的负电极能很好地用于高功率密度的锂离子电池。因此，本发明的一个方面是按上述涂覆的金属基体作为锂离子电池的负电极的用途。

按本发明方法处理的合成或天然石墨的高填充密度与相对低的聚合粘合剂吸收容量相结合，在石墨/聚合物复合材料的生产中是有用的，这种复合材料能压制成高导电性的气密石墨板。这种石墨板能很好地用作聚合物电介质燃料电池技术中的双极板。

聚合物与按本发明方法处理的合成或天然石墨或石墨碳的混合物形成了有高比例碳填充度和低加工黏度的热塑性或热固性复合材料。热塑性聚合物/石墨复合材料(石墨是按本发明方法处理的)具有较高的(因而是改进了的)各向同性、机械、热和电性能，并且比未经处理的石墨碳的复合材料有更好的各向同性的性能。从而，本发明的另一个方面是使用按本发明的方法生产的石墨粉的用途，用于生产热塑性或热固性石墨/聚合物复合材料，复合材料可以选择性地进一步压制成高导电性气密石墨板，优选在聚合物电解液燃料电池技术中用作双极板。

用按本发明方法处理的合成或天然石墨碳或含这种碳的材料生产

的金属非铁烧结材料具有改进的各向同性、机械和摩擦学性能。因此，本发明的主题还有使用按本发明的方法生产的石墨粉的用途，用于生产非铁金属烧结材料。

按照上述的说明描述生产的制品也包括在本发明范围内。

下面的实施例将对本发明进行说明。

实施例1-5表明了各种石墨在本发明的自生表面处理前后的材料性能。实验是在上面所述的装置中进行的。所用旋转盘的周边为0.75m，旋转速度为4800 rpm。

实例1-5是在表1中给定的条件下进行的。

表 1

实施例	石墨类型	用量	处理时间	旋转盘速度
1	TIMREX® KS-石墨	150 克	5 分钟	4800 rpm
2	TIMREX® SLX-石墨	150 克	5 分钟	4200 rpm
3	TIMREX® SLM-石墨	150 克	5 分钟	4800 rpm
4	TIMREX® SFG-石墨	200 克	5 分钟	4800 rpm
5	TIMREX® NP-石墨	200 克	7 分钟	4800 rpm
6	TIMREX® KS-575 TT	200 克	5 分钟	4800 rpm

TIMREX[®]KS-石墨 = TIMCAL 公司的 TIMREX[®]KS 5 - 25

TIMREX[®] SLX-石墨 = TIMCAL 公司的 TIMREX[®]SLX 50

TIMREX[®]SLM-石墨 = TIMCAL 公司的 TIMREX[®]SLM 44

TIMREX[®]SFG-石墨 = TIMCAL 公司的 TIMREX[®]SFG 44

TIMREX[®]NP-石墨 = TIMCAL 公司的 TIMREX[®]NP 44

实施例 1-5 显示按本发明方法处理的粉末的斯柯特密度和夯实密度有明显的提高。处理过的粉末没有任何附聚物。所得到的粒子大小分布的变化说明有小的研磨效应。但是 d 值的稍微降低主要是由颗粒摩擦产生的灰尘引起的。处理颗粒的孔结构不被表面处理所影响。据估计, 处理产生的灰尘和粒子大小分布的稍微提高是 L_v 值和二甲苯密度有降低的主要原因。压缩的处理材料的弹性恢复是急剧下降的。在 2.5 吨/厘米² 压力下由处理材料生产的模制品的压制密度急剧提高。按本发明方法处理的颗粒的吸油和吸粘合剂量明显地降低, 虽然 BET 值有所提高。处理的碳颗粒在液体介质中的分散体系明显地呈现比未处理碳颗粒的分散体系低的黏度。使用本发明的碳颗粒, 液体碳分散体系中的固体含量可提高 5% 以上。按本发明方法处理的碳的电阻有所增加。从扫描电子显微镜图可以清楚地看到用本发明方法处理粉末产生的颗粒表面轮廓的改变。

实验部分

材料粒子大小分布的测定是用 MALVERN 主分级仪进行激光衍射分析。结构参数是从基于 $\text{CuK}_{\alpha 1}$ 线的 X-射线衍射试验得到的。c 方向($c/2$)的晶胞常数是从(002)或(004)衍射反射的相对位置测定的。结晶方向 c 的颗粒的最大单晶高度、 L_v 和得到的理想堆积石墨面数得自(002)或(004)衍射反射, 根据 Sherrer 和 Jones 的模型(P. Sherrer, Göttinger

Nachrichten 2 1918) P.98; F.W. Jones, Proc. Roy. Soc. (London) 166A (1938) P. 16)。二甲苯密度的测定是按 DIN 51-901。

斯柯特密度测定是基于 ASTM B 329。夯实密度的测定是根据 AKK-19。比表面积的测定是用 Brunauer, Emmett 和 Teller 法,使用粉流学 ASAP 2010。测定材料的弹性恢复时,将材料置于 0.5 吨/厘米²的压力下。恢复值是从模制品加压并去压的高度得到的,以 % 计算。电阻的测定按 DIN 51911,用 2.5 吨/厘米²的压力下制得的模制品,此模制品也可测定压制密度。吸油量的测定基于 DIN ISO 787,使用 0.5 克初重材料和 1.5 克油,将混合物置于 Sigma 6-10 离心机离心 90 分钟,旋转速度 1500rpm。

实施例 1

TIMREX® KS 合成石墨 未处理	TIMREX® KS 合成石墨 处理后
颗粒大小 $d_{10}=7.0$ 微米 (micron, μ) $d_{50}=15.2$ 微米 $d_{90}=30.2$ 微米	颗粒大小 $d_{10}=5.9$ 微米 (micron, μ) $d_{50}=13.5$ 微米 $d_{90}=27.4$ 微米
$L_c(002)/L_c(004)$ 120nm/68nm	$L_c(002)/L_c(004)$ 101nm/64nm
$c/2(002)/c/2(004)$ 0.3355nm/0.3355nm	$c/2(002)/c/2(004)$ 0.3355nm/0.3355nm
二甲苯密度 2.254 克·厘米 ⁻³	二甲苯密度 2.248 克·厘米 ⁻³
斯柯特密度 0.23 克·厘米 ⁻³	斯柯特密度 0.30 克·厘米 ⁻³
夯实密度 0.539 克·厘米 ⁻³	夯实密度 0.674 克·厘米 ⁻³
BET 比表面积 8.6 m ² · g ⁻¹	BET 比表面积 9.3 m ² · g ⁻¹
弹性恢复 17 %	弹性恢复 12.3 %
电阻 1.911 毫欧姆·厘米	电阻 2.085 毫欧姆·厘米
吸油量 113.5% ±1.3%	吸油量 64.3% ±0.2%
压制密度 (2.5 吨/厘米 ²) 1.863 克·厘米 ⁻³	压制密度 (2.5 吨/厘米 ²) 1.957 克·厘米 ⁻³

实施例 2

TIMREX® SLX 合成石墨 未处理	TIMREX® SLX 合成石墨 处理后
颗粒大小 $d_{10}=11.6$ 微米 $d_{50}=27.3$ 微米 $d_{90}=52.5$ 微米	颗粒大小 $d_{10}=7.4$ 微米 $d_{50}=20.4$ 微米 $d_{90}=40.8$ 微米
$L_c(002) / L_c(004)$ >500nm/232nm	$L_c(002) / L_c(004)$ 368nm/158nm
$c/2(002) / c/2(004)$ 0.3354nm/0.3354nm	$c/2(002) / c/2(004)$ 0.3354nm/0.3354nm
二甲苯密度 2.261 克·厘米 ⁻³	二甲苯密度 2.258 克·厘米 ⁻³
斯柯特密度 0.30 克·厘米 ⁻³	斯柯特密度 0.38 克·厘米 ⁻³
夯实密度 0.641 克·厘米 ⁻³	夯实密度 0.778 克·厘米 ⁻³
BET 比表面积 4.0 m ² · g ⁻¹	BET 比表面积 5.9 m ² · g ⁻¹
弹性恢复 7.7 %	弹性恢复 4.6 %
电阻 0.986 毫欧姆·厘米	电阻 1.166 毫欧姆·厘米
吸油量 94.7% ±1.9%	吸油量 73.3% ±1.9%
压制密度 (2.5 吨/厘米 ²) 2.036 克·厘米 ⁻³	压制密度 (2.5 吨/厘米 ²) 2.051 克·厘米 ⁻³

实施例 3

TIMREX® SLM 合成石墨 未处理	TIMREX® SLM 合成石墨 处理后
颗粒大小 $d_{10}=7.3$ 微米 $d_{50}=23.2$ 微米 $d_{90}=49.4$ 微米	颗粒大小 $d_{10}=4.3$ 微米 $d_{50}=13.9$ 微米 $d_{90}=35.0$ 微米
$L_c(002)/L_c(004)$ 241nm/139nm	$L_c(002)/L_c(004)$ 196nm/116nm
$c/2(002)/c/2(004)$ 0.3354nm/0.3354nm	$c/2(002)/c/2(004)$ 0.3354nm/0.3354nm
二甲苯密度 2.254 克·厘米 ⁻³	二甲苯密度 2.252 克·厘米 ⁻³
斯柯特密度 0.19 克·厘米 ⁻³	斯柯特密度 0.34 克·厘米 ⁻³
夯实密度 0.408 克·厘米 ⁻³	夯实密度 0.738 克·厘米 ⁻³
BET 比表面积 4.9 m ² · g ⁻¹	BET 比表面积 7.7 m ² · g ⁻¹
弹性恢复 14.0 %	弹性恢复 8.6 %
电阻 1.278 毫欧姆·厘米	电阻 1.741 毫欧姆·厘米
吸油量 109.5%±2.7%	吸油量 75.0%±5.3%
压制密度 (2.5 吨/厘米 ²) 1.930 克·厘米 ⁻³	压制密度 (2.5 吨/厘米 ²) 2.036 克·厘米 ⁻³

实施例 4

TIMREX® SFG 合成石墨 未处理	TIMREX® SFG 合成石墨 处理后
颗粒大小 $d_{10}=7.5$ 微米 $d_{50}=24.1$ 微米 $d_{90}=49.2$ 微米	颗粒大小 $d_{10}=4.4$ 微米 $d_{50}=15.0$ 微米 $d_{90}=35.5$ 微米
$L_c(002) / L_c(004)$ 320nm/138nm	$L_c(002) / L_c(004)$ 283nm/199nm
$c/2(002) / c/2(004)$ 0.3354nm/0.3354nm	$c/2(002) / c/2(004)$ 0.3354nm/0.3354nm
二甲苯密度 2.262 克·厘米 ⁻³	二甲苯密度 2.258 克·厘米 ⁻³
斯柯特密度 0.20 克·厘米 ⁻³	斯柯特密度 0.36 克·厘米 ⁻³
夯实密度 0.420 克·厘米 ⁻³	夯实密度 0.766 克·厘米 ⁻³
BET 比表面积 5.9 m ² · g ⁻¹	BET 比表面积 7.4 m ² · g ⁻¹
弹性恢复 9.2 %	弹性恢复 5.6 %
电阻 0.925 毫欧姆·厘米	电阻 0.986 毫欧姆·厘米
吸油量 110.2% ±6.4%	吸油量 81.8% ±6.9%
压制密度 (2.5 吨/厘米 ²) 2.005 克·厘米 ⁻³	压制密度 (2.5 吨/厘米 ²) 2.036 克·厘米 ⁻³

实施例 5

TIMREX® NP 纯化后的天然石墨 未处理	TIMREX® NP 纯化后的天然石墨 处理后
颗粒大小 $d_{10}=6.6$ 微米 $d_{50}=23.0$ 微米 $d_{90}=49.5$ 微米	颗粒大小 $d_{10}=3.7$ 微米 $d_{50}=13.8$ 微米 $d_{90}=36.9$ 微米
$L_c(002) / L_c(004)$ 364nm/166nm	$L_c(002) / L_c(004)$ 255nm/103nm
$c/2(002) / c/2(004)$ 0.3354nm/0.3354nm	$c/2(002) / c/2(004)$ 0.3354nm/0.3354nm
二甲苯密度 2.263 克·厘米⁻³	二甲苯密度 2.258 克·厘米⁻³
斯柯特密度 0.24 克·厘米⁻³	斯柯特密度 0.42 克·厘米⁻³
夯实密度 0.495 克·厘米⁻³	夯实密度 0.862 克·厘米⁻³
BET 比表面积 5.0 m² · g⁻¹	BET 比表面积 7.9 m² · g⁻¹
弹性恢复 4.9 %	弹性恢复 3.8 %
电阻 0.910 毫欧姆·厘米	电阻 1.359 毫欧姆·厘米
吸油量 107.2% ±3.6%	吸油量 58.9% ±0.6%
压制密度 (2.5 吨/厘米²) 2.066 克·厘米⁻³	压制密度 (2.5 吨/厘米²) 2.064 克·厘米⁻³

实施例 6

TIMREX® KS 纯化后的天然石墨 未处理	TIMREX® KS 纯化后的天然石墨 处理后
颗粒大小 $d_{10}=8.3$ 微米 $d_{50}=38.4$ 微米 $d_{90}=68.4$ 微米	颗粒大小 $d_{10}=3.1$ 微米 $d_{50}=38.4$ 微米 $d_{90}=68.4$ 微米
$L_c(002)/L_c(004)$ 142nm/62nm	$L_c(002)/L_c(004)$, 105nm/52nm
$c/2(002)/c/2(004)$ 0.3355nm/0.3355nm	$c/2(002)/c/2(004)$ 0.3356nm/0.3356nm
二甲苯密度 2.227 克·厘米 ⁻³	二甲苯密度 2.225 克·厘米 ⁻³
斯柯特密度 0.44 克·厘米 ⁻³	斯柯特密度 0.46 克·厘米 ⁻³
夯实密度 0.84 克·厘米 ⁻³	夯实密度 0.902 克·厘米 ⁻³
BET 比表面积 4.1 m ² · g ⁻¹	BET 比表面积 8.0 m ² · g ⁻¹
弹性恢复 25 %	弹性恢复 14.68 %
电阻 2.109 毫欧姆·厘米	电阻 2.311 毫欧姆·厘米
吸油量 97.2% ±1.6%	吸油量 54.7% ±0.8%
压制密度 (2.5 吨/厘米 ²) 1.912 克·厘米 ⁻³	压制密度 (2.5 吨/厘米 ²) 1.972 克·厘米 ⁻³

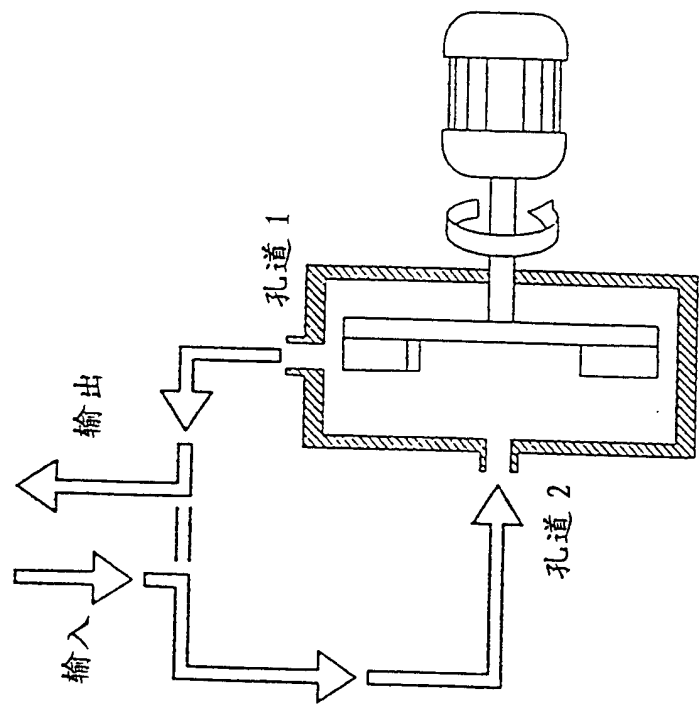


图 1

