



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113939605 B

(45) 授权公告日 2023.03.21

(21) 申请号 202080040371.6

形技术总合开发机构

(22) 申请日 2020.06.04

(72) 发明人 杉谷雄史 京极秀树

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113939605 A

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

(43) 申请公布日 2022.01.14

专利代理师 李博

(30) 优先权数据
2019-110429 2019.06.13 JP

(51) Int.Cl.

G22C 9/00 (2006.01)

B22F 7/02 (2006.01)

B22F 3/02 (2006.01)

B22F 3/105 (2006.01)

B22F 3/03 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.11.30

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2020/022203 2020.06.04

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/250811 JA 2020.12.17

(56) 对比文件

CN 106457668 A, 2017.02.22

US 2018369909 A1, 2018.12.27

(73) 专利权人 福田金属箔粉工业株式会社
地址 日本京都府
专利权人 技术研究组合次世代 3D 积层造

审查员 夏冰

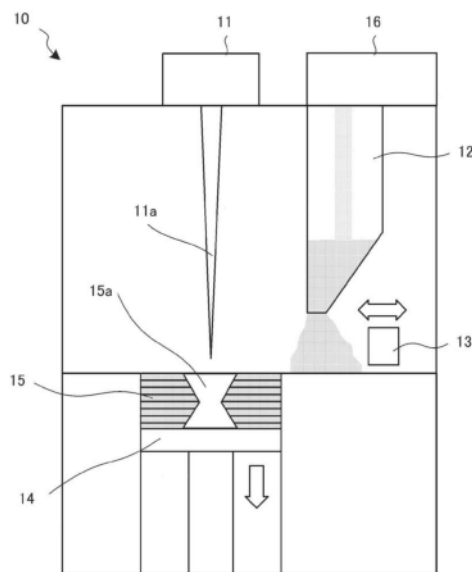
权利要求书1页 说明书25页 附图16页

(54) 发明名称

层压成形用铜粉末、层压成形体、层压成形体的制造方法及层压成形装置

(57) 摘要

本发明的目的是提供一种层压成形用铜粉末,由所述铜粉末能够成形出具有例如80% IACS以上的高电导率的铜的层压成形制品。本发明是其中将0.01重量%以上且0.20重量%以下的纳米氧化物与铜粉末混合的层压成形用铜粉末。还提供了一种使用根据本发明的层压成形用铜粉末的层压成形体。还提供了一种使用根据本发明的层压成形用铜粉末制造层压成形体的方法;以及一种层压成形装置。



1. 一种用于层压成形电导率不小于80%IACS的铜物体的铜粉末,其中在所述铜粉末中,混合纯铜粉末与0.01重量%以上且0.20重量%以下的纳米氧化物,
所述铜粉末的粉末电阻值为 $(7.50E+5) \Omega$ 以上且 $(2.50E+7) \Omega$ 以下,并且
所述纳米氧化物是 SiO_2 ,并且所述纯铜粉末的平均粒径为 $5 \mu\text{m}$ 以上且 $15 \mu\text{m}$ 以下。
2. 根据权利要求1所述的铜粉末,其中所述纯铜粉末的平均粒径为 $8 \mu\text{m}$ 以上且 $15 \mu\text{m}$ 以下,并且将0.01重量%以上且0.10重量%以下的所述纳米氧化物与所述纯铜粉末混合。
3. 一种用于层压成形电导率不小于80%IACS的铜物体的铜粉末,其中在所述铜粉末中,混合纯铜粉末与0.01重量%以上且0.20重量%以下的纳米氧化物,
所述铜粉末的粉末电阻值为 $(7.50E+5) \Omega$ 以上且 $(2.50E+7) \Omega$ 以下,并且
所述纳米氧化物是 Al_2O_3 、 TiO_2 和 Y_2O_3 中的一种,并且所述纯铜粉末的平均粒径为 $5 \mu\text{m}$ 以上且 $10 \mu\text{m}$ 以下。
4. 根据权利要求1至3中任一项所述的铜粉末,其中所述纳米氧化物的一次平均粒径为 10nm 以上且 100nm 以下。
5. 根据权利要求1至3中任一项所述的铜粉末,其中所述纯铜粉末的体电导率不小于100%IACS。
6. 根据权利要求1或2所述的铜粉末,其中按照JIS Z2502测量的所述铜粉末的流率为15秒/50克以上且120秒/50克以下。
7. 一种层压成形体,所述层压成形体是使用根据权利要求1或3所述的铜粉末层压成形的,其中所述层压成形体含有0.01重量%以上且0.20重量%以下的纳米氧化物,并且所述层压成形体的电导率不小于80%IACS。
8. 根据权利要求7所述的层压成形体,其中所述层压成形体的相对密度不小于99%。
9. 一种使用根据权利要求1或3所述的铜粉末制造层压成形体的方法,所述方法包括:
通过逐层铺展所述铜粉末来形成粉末床;和
通过用激光束照射在至少一层中铺展的所述铜粉末,同时扫描所述激光束,使得激光功率不超过 1kW ,并且能量密度为 $500 \text{J}/\text{mm}^3$ 以上且 $1,500 \text{J}/\text{mm}^3$ 以下,来成形出至少一层的层压成形体。
10. 一种层压成形装置,所述层压成形装置包括:
判定部,所述判定部判定纯铜粉末的平均粒径为 $5 \mu\text{m}$ 以上且 $15 \mu\text{m}$ 以下,并且含有所述纯铜粉末和纳米氧化物的铜粉末的粉末电阻值为 $(7.50E+5) \Omega$ 以上且 $(2.50E+7) \Omega$ 以下;和
层压成形单元,如果通过所述判定部判定所述平均粒径和所述粉末电阻值都落入平均粒径和粉末电阻值的所述范围内,则所述层压成形单元使用所述铜粉末成形出层压成形铜物体。

层压成形用铜粉末、层压成形体、层压成形体的制造方法及层压成形装置

[0001] 本申请基于2019年6月13日提交的日本专利申请号2019-110429,并且要求其优先权,所述申请的公开内容通过引用以其整体结合于此。

技术领域

[0002] 本发明涉及使用铜粉末的层压成形。

背景技术

[0003] 在上述技术领域中,由于铜的高电导率使熔化所需的能量高或使光束的表面反射强,因此在目前情况下难以稳定地进行层压成形。专利文献1公开了一种通过在为镍合金的 Inconel[®] 718的表面上形成低于100ppm的量的纳米-二氧化硅(SiO₂)的层作为处理剂,来改善在增材制造技术(3D打印技术)中的金属粉末的流率(流动性,flow rate)或扩散特性的技术。专利文献2公开了一种使用由Al、Co、Cr、Fe、Ni等的合金制成并且平均直径为10μm以上且200μm以下的金属粉末与球形度高于该金属粉末的球形度、平均直径为该金属粉末平均直径的1/10以下且体积分数为该金属粉末体积分数的0.001%以上且1%以下的陶瓷、二氧化硅或氧化铝粉末的混合物作为层压成形用粉末,来改善流率的技术。

[0004] 引用列表

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本专利公开号2016-041850

[0007] 专利文献2:日本专利号6303016

[0008] 非专利文献

[0009] 非专利文献1:Tadashi Mizoguchi,“材料科学的基础,固态物理学(Fundamentals of Materials Science,Solid State Physics)”,P.126-128,1989年4月,由Shokabo出版。

发明内容

[0010] 技术问题

[0011] 然而,上述文献中描述的技术是旨在改善层压成形用铜粉末的流率的技术,并且没有考虑其电导率。因此,根据这些公开的技术,不可能提供成形出可用作铜的层压成形体且具有高电导率(例如80%IACS以上)的层压成形体所需的层压成形用铜粉末。

[0012] 本发明使得能够提供一种解决上述问题的技术。

[0013] 解决问题的方案

[0014] 本发明的一个示例性方面提供了一种层压成形用铜粉末,其中混合纯铜粉末和0.01重量%以上且0.20重量%以下的纳米氧化物。

[0015] 本发明的另一个示例性方面提供了一种层压成形体,所述层压成形体是使用根据权利要求1至8中任一项所述的层压成形用铜粉末层压成形的,其中该层压成形体含有0.01重量%以上且0.20重量%以下的纳米氧化物,并且该层压成形体的电导率不小于80%

IACS。

[0016] 本发明的又一个示例性方面提供了一种使用根据权利要求1至8中任一项所述的层压成形用铜粉末制造层压成形体的方法,所述方法包括:

[0017] 通过逐层铺展层压成形用铜粉末来形成粉末床;和

[0018] 通过用激光束照射在至少一层中铺展的层压成形用铜粉末,同时扫描该激光束,使得激光功率不超过1kW,并且能量密度为 $500\text{J}/\text{mm}^3$ 以上且 $1,500\text{J}/\text{mm}^3$ 以下,来成形出至少一层的层压成形体。

[0019] 本发明的又一个示例性方面提供了一种层压成形装置,所述层压成形装置包括:

[0020] 判定部(determiner),该判定部判定纯铜粉末的平均粒径为 $5\mu\text{m}$ 以上且 $15\mu\text{m}$ 以下,并且含有该纯铜粉末的层压成形用铜粉末的粉末电阻值为 $(7.50\text{E}+5)\ \Omega$ 以上且 $(2.50\text{E}+7)\ \Omega$ 以下;和

[0021] 层压成形单元,如果通过判定部确定所述平均粒径和所述粉末电阻值都落入平均粒径和粉末电阻值的所述范围内,则该层压成形单元使用所述层压成形用铜粉末成形出层压成形体。

[0022] 发明的有利效果

[0023] 根据本发明,可以提供一种能够成形出具有高电导率的铜的层压成形体的层压成形用铜粉末。

附图说明

[0024] 图1是示出了根据本发明的示例性实施方案的一种层压成形装置的构造的一个实例的图;

[0025] 图2是用于说明根据本发明的示例性实施方案的纯铜粉末和纳米氧化物的混合状态的图;

[0026] 图3A是示出了根据本发明的示例性实施方案的纯铜粉末和纳米氧化物的粉末混合物的粉末电阻值变化的图;

[0027] 图3B是示出了一种测量根据本发明的示例性实施方案的纯铜粉末和纳米氧化物的粉末混合物的粉末电阻值的方法的图;

[0028] 图3C是示出了一种测量根据本发明的示例性实施方案的纯铜粉末和纳米氧化物的粉末混合物的粉末电阻值的程序的图;

[0029] 图4是示出了根据本发明的示例性实施方案的纯铜粉末和纳米氧化物的粉末混合物的电导率以及在制造层压成形体时的能量密度的图;

[0030] 图5是示出了在由根据本发明的示例性实施方案的纯铜粉末和纳米氧化物的粉末混合物制造层压成形体的情况下的能量密度和纯铜的层压成形体的电导率的图;

[0031] 图6A是示出了在本发明的示例性实施方案中被配置为测量剪切应力的一种剪切应力测量器的构造的图;

[0032] 图6B是示出了一种在本发明的示例性实施方案中基于由剪切应力测量器测量的剪切应力来获得粘附力的方法的图;

[0033] 图7是示出了使用根据本发明的示例性实施方案的粉末在层压成形装置中形成粉末床的状态的图;

[0034] 图8A是示出了在本发明的示例性实施方案中使用的平均粒径为28.6 μm 的纯铜粉末的扫描电子显微镜 (SEM) 图像的图;

[0035] 图8B是示出了在本发明的示例性实施方案中使用的平均粒径为19.9 μm 的纯铜粉末的扫描电子显微镜 (SEM) 图像的图;

[0036] 图8C是示出了在本发明的示例性实施方案中使用的平均粒径为13.5 μm 的纯铜粉末的扫描电子显微镜 (SEM) 图像的图;

[0037] 图8D是示出了在本发明的示例性实施方案中使用的平均粒径为9.6 μm 的纯铜粉末的扫描电子显微镜 (SEM) 图像的图;

[0038] 图8E是示出了在本发明的示例性实施方案中使用的平均粒径为3.1 μm 的纯铜粉末的扫描电子显微镜 (SEM) 图像的图;

[0039] 图9A是示出了在本发明的示例性实施方案中使用的纳米氧化物的特性的图;

[0040] 图9B是示出了在本发明的示例性实施方案中使用的纳米氧化物的扫描电子显微镜 (SEM) 图像的图;

[0041] 图10A是示出了由本发明的示例性实施方案中的平均粒径为9.6 μm 的纯铜粉末和0.10重量%的纳米氧化物的粉末混合物制造的纯铜的层压成形体表面的扫描电子显微镜 (SEM) 图像的图;

[0042] 图10B是示出了由本发明的示例性实施方案中的平均粒径为13.5 μm 的纯铜粉末和0.01重量%的纳米氧化物的粉末混合物制造的纯铜的层压成形体表面的扫描电子显微镜 (SEM) 图像的图;

[0043] 图10C是示出了由本发明的比较例中的平均粒径为19.9 μm 的纯铜粉末和0.10重量%的纳米氧化物的粉末混合物制造的纯铜的层压成形体表面的扫描电子显微镜 (SEM) 图像的图;以及

[0044] 图10D是示出了由本发明的示例性实施方案中的平均粒径为28.6 μm 的纯铜粉末制造的纯铜的层压成形体表面的扫描电子显微镜 (SEM) 图像的图。

具体实施方式

[0045] 现在将参照附图详细描述本发明的示例性实施方案。需要说明的是,除非另有特别说明,否则在这些示例性实施方案中阐述的部件的相对布置、数值表达式和数值不限制本发明的范围。

[0046] 《使用根据本示例性实施方案的纯铜粉末层压成形的层压成形体的应用用途》

[0047] 在本示例性实施方案中使用的纯铜粉末用作用于层压成形物体的材料。如果能够制作使用纯铜粉末的层压成形体,则在电路连接器、散热器、热交换器等领域中的精细成形成为可能。

[0048] 在这样的应用用途中,使用纯铜粉末的层压成形体优选具有足够的密度(通过阿基米德(Archimedes)法的测量密度为98.5%以上)。如果测量密度小于98.5%,则会出现诸如漏水的问题。为了利用铜的电导率或热导率,纯铜产品优选具有足够的电导率(80% IACS以上)。要说明的是,使用纯铜粉末的层压成形体不限于上述实例,并且可以用作电路部件或电磁波屏蔽部件。

[0049] 《层压成形用铜粉末》

[0050] 通常,在金属层压成形中,使用光纤激光器作为激光束层压成形中的热源,并且将金属粉末熔化并凝固,从而形成任意的形状。在这种情况下,虽然可以使用具有低电导率的材料获得高密度的成形体,但是通常不能使用具有高电导率的材料获得高密度的成形体。铜是具有高电导率和热导率的元素,并且预期使用激光束层压成形能够生产具有复杂形状的导电部件或导热部件。然而,不能使用纯铜粉末生产高密度的成形体。这是因为如果使用纯铜粉末,则由于高电导率,热能在激光照射中扩散,并且在激光照射中激光束被反射,因此不能获得熔化纯铜粉末所需的热能。

[0051] 因此,例如,当使用含锡(Sn)的铜合金粉末或含磷(P)的铜合金粉末来降低电导率时,可以制造具有足够密度(通过阿基米德法的测量密度为98.5%以上)的层压成形体。然而,在含锡(Sn)的铜合金粉末或含磷(P)的铜合金粉末中,层压成形体的电导率至多为50% IACS,并且层压成形体的电导率不能为80% IACS以上。

[0052] 本示例性实施方案提供了一种层压成形用铜粉末,其电导率低于纯铜粉末的电导率,并且能够通过现有装置以约 $1,000\text{J}/\text{mm}^3$ 的能量密度熔化并获得具有高密度和高电导率的纯铜层压成形体。

[0053] 下面将概述作为根据本示例性实施方案的层压成形用铜粉末的条件。

[0054] (层压成形用铜粉末的条件)

[0055] (1) 层压成形用铜粉末的电导率低于纯铜粉末的电导率。例如,粉末电阻值优选为纯铜粉末的两倍以上。当满足这个条件时,可以通过阻止热量的扩散来保持高温,并且有利于层压成形用铜粉末的熔化。例如,含有铜粉末的层压成形用铜粉末的粉末电阻值在 $(7.50\text{E}+5)\ \Omega$ 以上且 $(2.50\text{E}+7)\ \Omega$ 以下的范围内。

[0056] (2) 层压成形用铜粉末中含有的纯铜粉末的颗粒体积减小(使粒径变小)。当满足这个条件时,使一个颗粒熔化所需的能量的量减少,并且有利于层压成形用铜粉末的熔化。

[0057] (3) 可以由层压成形用铜粉末形成粉末床。例如,层压成形用铜粉末的流率(JIS Z2502/FR:流率)在15秒/50克以上且120秒/50克以下的范围内,并且优选为60秒/50克以下。备选地,层压成形用铜粉末的粘附力(FT4测量)为0.450kPa以下。当满足这个条件时,层压成形用铜粉末可以用作用于通过粉末床法进行层压成形的金属粉末。

[0058] (4) 层压成形用铜粉末中的纯铜粉末的含量为预定量以上。例如,层压成形用铜粉末的表观密度(JIS Z2504)在 $4.0\text{g}/\text{cm}^3$ 以上且 $5.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以下的范围内。当铜粉末的表观密度设定在此范围内时,在粉末床中将单位体积的铜量保持在预定量,并且层压成形体可以具有纯铜的特性。

[0059] 《纯铜层压成形体的制造》

[0060] 图1是示出了根据本示例性实施方案的层压成形装置10的示意性构造的一个实例的图。层压成形装置10的层压成形单元包括电子束或光纤激光器11a的发射机构11、作为粉末罐的料斗12、被配置为通过将粉末逐层铺展至预定厚度来形成粉末床的刮刀13以及反复下降预定厚度以进行层压的工作台14。通过刮刀13和工作台14的配合,产生具有预定厚度的均匀粉末层压层15。基于通过3D-CAD数据获得的切片数据用光纤激光器11a照射每个层以熔化金属粉末(在本示例性实施方案中为铜粉末),从而制造层压成形体15a。此外,层压成形用粉末判定部16判定层压成形用粉末是否能够在层压成形装置10中进行层压成形。要说明的是,在本示例性实施方案中,判定了铜粉末的平均粒径在 $5\mu\text{m}$ 至 $15\mu\text{m}$ 的范围内,且含

有该铜粉末的层压成形用铜粉末的粉末电阻值在 $(7.50E+5) \Omega$ 以上且 $(2.50E+7) \Omega$ 以下的范围内。如果各判定结果在所述范围内,则可以通过层压成形装置10中可能的能量密度产生相对密度为99%以上并且电导率为80% IACS以上的纯铜层压成形体。

[0061] 要说明的是,所使用的能量密度 E (J/mm^3) 通过 $E=P/(v \times s \times t)$ 进行调整,其中 t : 粉末床的厚度, P : 激光功率, v : 激光的扫描速度, s : 激光扫描间距。

[0062] 下面将概述作为根据本示例性实施方案的纯铜层压成形体的条件。

[0063] (作为纯铜层压成形体的条件)

[0064] (5) 使用纯铜粉末的层压成形体具有足够的密度。例如,通过阿基米德法的测量密度为98.5%以上。当满足这个条件时,可以获得根据纯铜的层压成形体的强度。

[0065] (6) 使用纯铜粉末的层压成形体作为纯铜产品具有足够的电导率。例如,电导率为80% IACS以上。当满足这个条件时,层压成形体可以作为具有纯铜的特性的层压成形体使用。

[0066] 《根据本示例性实施方案的层压成形用铜粉末》

[0067] 本示例性实施方案提供以下粉末作为层压成形用铜粉末,所述层压成形用铜粉末满足上述条件,可以通过具有1kW以下的激光功率和约 $1,000 J/mm^3$ 的能量密度的现有装置熔化,并且可以形成粉末床,所述粉末是在层压成形后具有作为纯铜层压成形体的所需强度并且具有足够电导率的层压成形用铜粉末。

[0068] (1) 将0.01重量%至0.20重量% (100ppm至2,000ppm) 的纳米氧化物与纯铜粉末混合。如果纳米氧化物的混合物小于0.01重量%,则电导率高,并且通过现有装置不能提供熔化所需的能量的量。特别地,如果纯铜粉末的平均粒径为 $10 \mu m$ 以下,并且纳米氧化物的混合物小于0.01重量%,则粉末床的形成失败。另一方面,如果纳米氧化物的混合物为0.20重量%以上,则不能获得具有高密度和高传导率的纯铜成形体。要说明的是,纳米氧化物的混合物更优选在0.01重量%至0.10重量% (100ppm至1,000ppm) 的范围内。

[0069] 作为纳米氧化物,适宜地使用形状为球形或接近于真球并且一次平均粒径在10nm至100nm范围内且更特别地为50nm以下的纳米氧化物。如下表1中所示,除了纳米二氧化硅 (SiO_2) 之外,纳米氧化物的实例还包括纳米氧化铜 (CuO)、纳米氧化铝 (Al_2O_3)、纳米二氧化钛 (TiO_2) 和纳米氧化钇 (Y_2O_3) 等。

[0070]

[表 1]

纳米氧化物	物理值			标准值	
	体密度 (g/ml)	真密度 (g/ml, 20°C)	颗粒形状	比表面积 SSA(m ² /g)	平均粒径 (D _{BET})
Al ₂ O ₃	0.23	3.6	真球形	35.0-75.0	22.2-47.7
CuO	0.21	6.3	球形	10.0-35.0	27.2-95.3
SiO ₂	0.05	2.2	真球形	33.7-152.0	18.8-83.6
TiO ₂	0.26	3.95	真球形	15.0-77.0	19.7-101.0
Y ₂ O ₃	0.17	4.84	球形	14.0-60.0	20.6-88.5

引用自“金属氧化物纳米颗粒”(KANTO CHEMICAL)的产品清单

[0071] (2) 纯铜粉末的平均粒径在5 μm 至15 μm 的范围内。即,在本示例性实施方案中,纯铜的金属颗粒中的一个的体积减小,从而减少熔化一个颗粒所需的能量。为了使得能量密度为约1,000J/mm³的现有装置能够进行熔化,例如,使用平均粒径为20 μm 以下的纯铜粉末。

[0072] 要说明的是,如果纯铜粉末的平均粒径小于 $5\mu\text{m}$,则即使混合了纳米氧化物,也不能获得足够的流率,并且用于实施层压成形的粉末床的形成失败。此外,如果使颗粒过小,则粉末床中存在的金属的量减少(对应于表观密度的降低)。因此,由于粉末床的形成失败而不能进行成形。因此,不可能获得具有高密度和高传导率的纯铜成形体。另一方面,如果纯铜粉末的平均粒径为 $15\mu\text{m}$ 以上,则即使可以形成粉末床,也不能获得具有高密度和高传导率的纯铜成形体。要说明的是,更优选的是纯铜粉末的平均粒径在 $8\mu\text{m}$ 至 $15\mu\text{m}$ 的范围内。

[0073] (层压成形用铜粉末的示意图)

[0074] 图2是用于说明根据本示例性实施方案的层压成形用铜粉末中的纯铜粉末和纳米氧化物的混合状态的示意图。需要说明的是,在图2中,纯铜粉末和纳米氧化物的尺寸与实际不同,并且纳米氧化物太小而无法在图2中显示。

[0075] 纯铜粉末21具有高电导率和高热导率,因为纯铜颗粒20直接接触。如箭头22所示的,用激光束照射的部分的热量经由相邻的纯铜颗粒20进行热传导和扩散。因此,能量密度为约 $1,000\text{J}/\text{mm}^3$ 的现有装置不能积聚热量并熔化粉末,直到用激光束照射的部分超过熔点。

[0076] 另一方面,在根据本示例性实施方案的层压成形用铜粉末25中,纳米氧化物26夹在纯铜颗粒20之间,并且如箭头27所示,激光束的热量在各纯铜颗粒20中积聚。因此,能量密度为约 $1,000\text{J}/\text{mm}^3$ 的现有装置可以积聚热量并熔化粉末,直到用激光束照射的部分超过熔点。

[0077] 要说明的是,在根据本示例性实施方案的纯铜粉末的层压成形用铜粉末中,电导率的降低与热导率的降低成比例,这在非专利文献1等中被称为Wiedemann-Franz定律。

[0078] 《根据本示例性实施方案的层压成形用铜粉末的特性的测量》

[0079] 对制备的层压成形用铜粉末测量以下特性。

[0080] (表面的图像拍摄)

[0081] 使用SEM(扫描电子显微镜)来拍摄所制造的层压成形用铜粉末的表面。

[0082] (50%粒径的测量)

[0083] 对于层压成形用铜粉末,通过激光衍射法(Microtrac MT3300:可从MicrotracBEL获得)测量50%粒径(μm)。

[0084] (粘附力的测量)

[0085] 图6A是示出了一种在示例性实施方案中被配置为测量剪切应力的剪切应力测量器60的构造的图。剪切应力测量器60通过旋转单元法测量剪切应力,将具有附接至下部的叶片的旋转单元61放置在外单元62内,并用待测量的粉末填充外部单元62的上部。在从旋转单元61向外单元62施加预定的垂直应力的同时,由旋转单元61的旋转扭矩测量剪切应力。

[0086] 图6B是示出了一种在本示例性实施方案中基于通过剪切应力测量器60测量的剪切应力获得粘附力的方法的图。如图6B所示,通过绘制在每个垂直应力下发生剪切时通过剪切应力测量器60测量的剪切应力而获得的线将被称为破坏包络线(failure envelope)。当施加大于破坏包络线的剪切应力时,在粉末层中发生滑动。在破坏包络线(例如,65)上,获得当垂直应力为0(零)时的剪切应力作为颗粒之间的粘附力。

[0087] (表观密度的测量)

[0088] 对于层压成形用铜粉末,基于JIS Z2504来测量表观密度(g/cm^3)。

[0089] (流率的测量)

[0090] 对于层压成形用铜粉末,基于JIS Z2502来测量流率($\text{s}/50\text{g}$)。

[0091] (粉末的电导率=1/电阻率的测量)

[0092] 图3B是示出了一种测量根据本示例性实施方案的纯铜粉末和纳米氧化物的粉末混合物的粉末电阻值的方法的图。粉末电阻测量装置39包括经由具有接触端子的电缆36和37连接到电阻测量装置35的两个端子的两个测量端子铜板32、包括用于储存测量目标粉末31的孔的绝缘体33、以及被配置为将两个测量端子铜板32连接到测量目标粉末31的上下两个压制绝缘体34。

[0093] 绝缘体33和34优选地由具有弹性的橡胶等制成。在本示例性实施方案中,用于储存测量目标粉末31的孔具有0.3mm的厚度(对应于绝缘体33的厚度)和17mm的直径。然而,本发明不限于此。可以用测量目标粉末31紧密填充并且可以与两个测量端子铜板32充分电连接的任何孔都满足需求。

[0094] 电导率 = $(1/\text{电阻率}) = (1/\text{测得的粉末电阻}) \times (\text{孔的厚度}/\text{孔的截面积})$

[0095] 图3C是示出了一种测量根据本示例性实施方案的纯铜粉末和纳米氧化物的粉末混合物的粉末电阻值的方法的图。要说明的是,与图3B中相同的附图标记在图3C中表示相同的组成元件,并且将省略对其的重复描述。

[0096] (测试形成粉末床的可能性)

[0097] 图7是示出了用在本示例性实施方案中的层压成形装置10对层压成形用铜粉末进行刮板挤压(squeegeeing)来测试形成粉末床的可能性的一个实例的图。图7示出了能够粉末形成状态71和不能形成状态72。

[0098] 《根据本示例性实施方案的纯铜层压成形体的测量》

[0099] 对于由层压成形用铜粉末制造的纯铜层压成形体,测量了以下特性。

[0100] (电导率的测量)

[0101] 使用涡流型电导率计来测量纯铜层压成形体的电导率(% IACS)。

[0102] (密度的测量)

[0103] 基于通过将空隙面积除以截面SEM图像的面积而得到的比率来测量纯铜层压成形体的密度(%)。

[0104] (表面的拍摄)

[0105] 使用扫描电子显微镜(SEM),拍摄所制造的纯铜层压成形体的表面。

[0106] 《根据本示例性实施方案的层压成形用铜粉末的评价结果》

[0107] 下面将描述显示根据本示例性实施方案的层压成形用铜粉末可用于纯铜层压成形体的成形的评价结果。

[0108] (粉末床形成的可能性)

[0109] 根据由层压成形装置10对层压成形用铜粉末的刮板挤压,如果层压成形用铜粉末的平均粒径超过 $20\mu\text{m}$,则即使没有添加和混合纳米氧化物,也可以形成足够的粉末床。然而,如果该平均粒径为 $20\mu\text{m}$ 以下,则在没有添加和混合纳米氧化物的情况下不能形成足够的粉末床。此外,如果该平均粒径为 $5\mu\text{m}$ 以下,则即使添加和混合了纳米氧化物,也不能形成粉末床。

[0110] (由添加纳米氧化物引起的粉末电阻值的变化)

[0111] 图3A是示出了根据本示例性实施方案的纯铜粉末和添加量的纳米氧化物的粉末混合物的粉末电阻值30的变化的图。粉末电阻值通过图3B和3C所示的粉末电阻测量装置39测量。

[0112] 如图3A所示,当添加并混合了纳米氧化物时,在平均粒径为20 μm 以下的纯铜粉末中,粉末电阻值30增加了大于10倍的值。

[0113] (熔化纯铜粉末所需的热能)

[0114] 图4是示出了用于熔化根据本示例性实施方案的纯铜粉末所需的热能的图。图4的上段41示出了当使用各铜粉末时成形体的密度为99%以上的能量密度。图4的下段42示出了将由含锡(Sn)的铜合金粉末或含磷(P)的铜合金粉末预测的纯铜粉末所需的能量密度与用于根据本示例性实施方案的层压成形用铜粉末的能量密度进行比较的图。

[0115] 参照图4,黑色三角形绘制了含锡(Sn)的铜合金粉末或含磷(P)的铜合金粉末的电导率与通过用激光照射将粉末熔化成形的成形体的相对密度达到99%以上所需的热能之间的关系。连接黑色三角形的线43示出了电导率和通过激光照射进行熔化所需的热能之间的对应关系。当使本示例性实施方案中使用的纯铜粉末的电导率(102.0% IACS)对应于线43时,如白色菱形所示,预测热能44为5,000J/mm³以上。

[0116] 然而,根据本示例性实施方案的层压成形用铜粉末,如黑色菱形45所示,在其中通过能量密度为约1,000J/mm³的现有装置可以进行熔化的范围内,可以提供一种能够获得具有高密度和高传导率的纯铜成形体的层压成形用铜粉末。

[0117] (能量密度和层压成形体的电导率)

[0118] 图5是示出了在由根据本示例性实施方案的纯铜粉末和纳米氧化物的粉末混合物制造层压成形体的情况下的能量密度和所制造的纯铜的层压成形体电导率的图。

[0119] 图5的上段51示出了对于在本示例性实施方案中产生的铜层压成形体,在其中平均粒径为28.6 μm 并且不添加和混合纳米氧化物的比较例211和212、其中平均粒径为19.9 μm 并且添加和混合了纳米氧化物的比较例311至313、其中平均粒径为13.3 μm 并且添加和混合了纳米氧化物的实施例411至413以及其中平均粒径为9.6 μm 并且添加和混合了纳米氧化物的实施例531至534中的能量密度和成形体的电导率。

[0120] 图5的下段52示出了根据上段51中的值绘制在横坐标(能量密度)/纵坐标(电导率)上的图。从图5的下段52可以看出,在比较例中,在1,000J/mm³的能量密度附近的成形中,电导率仅为80% IACS以下(见54)。然而,在实施例例中,在1,000J/mm³的能量密度附近的成形中,可以获得具有80% IACS以上的电导率的纯铜层压成形体(见53)。

[0121] (合适的层压成形用铜粉末的组成)

[0122] 在本示例性实施方案中,在纯铜粉末中加入纳米氧化物,从而提供如下的纯铜粉末,所述纯铜粉末满足层压成形用铜粉末的条件,并且在通过层压成形装置进行层压成形之后的其层压成形体作为纯铜产品具有足够的密度和足够高的电导率。

[0123] 在根据本示例性实施方案的层压成形用铜粉末中,将0.01重量%至0.20重量%(100ppm至2,000ppm)的纳米氧化物混合在铜粉末中。铜粉末的平均粒径在5 μm 至15 μm 的范围内。优选地,铜粉末的平均粒径在8 μm 至15 μm 的范围内,并且混合0.01重量%至0.10重量%(100ppm至1,000ppm)的纳米氧化物。这里,纳米氧化物含有SiO₂,并且纳米氧化物的一

次平均粒径在10nm至100nm的范围内。

[0124] 层压成形用铜粉末的粉末电阻值为铜粉末的粉末电阻值的10倍至100倍,并且在 $(7.50E+5) \Omega$ 至 $(2.50E+7) \Omega$ 的范围内。另外,铜粉末的体电导率为100%JACS以上。此外,根据JIS Z2502测量的层压成形用铜粉末的流率为15秒/50克至120秒/50克。

[0125] 《本示例性实施方案的效果》

[0126] 根据本示例性实施方案,可以提供添加有纳米氧化物的层压成形用铜粉末,并获得具有高密度和高电导率的纯铜层压成形体。

[0127] 也就是说,通过将粒度设置在5至15 μm 的范围内,可以获得使得能够用光纤激光器熔化一个颗粒的体积量,通过混合纳米氧化物提高了该粉末的流率,并且通过将作为粉末床中金属量的指标的表观密度设置为4.0至5.5 g/cm^3 ,可以在粉末床中获得每单位体积的预定铜量。

[0128] 另外,当混合纳米氧化物时,可以获得阻碍颗粒之间的连接、减少颗粒之间的接触以及增大粉末的电阻值的效果,并且由于纯铜的高电导率而难以熔化的纯铜可以更容易被熔化。

[0129] 这使得可以形成这样的层压成形体,其中在使用 σ 检验的涡流ET测量方法中,在由激光功率、扫描速度、扫描间距和粉末层压层厚度计算的能量密度为1333至533 J/mm^3 的条件下成形的成形体的电导率为80%IACS以上。

[0130] 实施例

[0131] 下面将描述符合本示例性实施方案的条件的层压成形用铜粉末和不符合本示例性实施方案的条件的层压成形用铜粉末的实施例。

[0132] 《层压成形用铜粉末的制造》

[0133] (纯铜粉末的选择及特性测量)

[0134] 例如,采用使用气体如氦气、氩气或氮气或者高压水的雾化方法来生产纯铜粉末。此实施例中使用的纯铜粉末是按照平均粒径从通过在雾化方法中调整流体的压力和流量并且控制粉化而产生的纯铜粉末选择的。

[0135] 对于不含纳米氧化物的纯铜粉末,进行了《层压成形用铜粉末的特性的测量》中所示的各个特性测量。结果示于下表2中。

[0136]

[表 2]

纯铜粉末	粉末特性							粉末床 形成
	平均粒径 (μm)	纳米氧化物		FT4 测量	JIS Z 2504 表观密度	JIS Z2502 流率	粉末电 阻	
		添加量 (重量%)	粘附力 (kPa)	AD (g/cm^3)	FR (秒/50 克)	(Ω)		
纯铜粉末 100	28.2	0.00	0.183	5.26	12.0	2.31E+03	○	
纯铜粉末 200	28.6	0.00	0.716	5.13	无	1.24E+06	○	
纯铜粉末 300	19.9	0.00	0.311	4.58	无	2.22E+03	×	
纯铜粉末 400	13.5	0.00	0.326	4.12	无	2.56E+04	×	
纯铜粉末 500	9.6	0.00	0.349	4.23	无	1.83E+05	×	
纯铜粉末 600	3.1	0.00	1.168	2.72	无	不可测	×	

[0137] 另外,通过扫描电子显微镜 (SEM) (SEM \times 500) 来拍摄纯铜粉末200至600的制造铜粉末。图8A至8E示出了纯铜粉末200至600的SEM图像。

[0138] 根据表2中所示的结果明显的,如果不含有纳米氧化物,则在平均粒径为20 μm 以下

的纯铜粉末300至600中,不能通过层压成形装置10形成粉末床。另一方面,在平均粒径为20 μm 以上的纯铜粉末100和200中,可以通过层压成形装置10形成粉末床。然而,如从之后所述的表3和表4可看出的,即使通过层压成形装置10形成了层压成形体,其电导率为约60% IACS,不可能获得电导率超过80% IACS的纯铜成形体。

[0139] (纳米氧化物的添加和混合以及特性测量)

[0140] 接下来,将纳米氧化物添加到平均粒径为20 μm 以下且不能通过层压成形装置10形成粉末床的纯铜粉末300至600中并与其混合。

[0141] 作为混合的纳米氧化物,使用AEROSIL[®] RX 300(可从NIPPON AEROSIL获得)。图9A示出了AEROSIL[®] RX 300的产品信息。在图9A中,上段91示出了产品信息,并且下段92示出了将“比表面积”转换成粒径的关系图。在AEROSIL[®] RX 300中,由于比表面积为180至220 m^2/g ,所以粒径为约10nm。另外,图9B示出了AEROSIL[®] RX 300的SEM图像(SEM \times 1000)。

[0142] AEROSIL[®] RX 300与纯铜粉末300至600的混合使用OM dizer OMD-3(可从Nara Machinery获得)以1,500rpm的转速进行3分钟。

[0143] 对于通过在纯铜粉末中以0.01重量%至0.15重量%添加并混合纳米氧化物获得的层压成形用铜粉末,进行了在《层压成形用铜粉末的特性测量》中所示的各特性测量。结果示于下表3中。

[0144]

[表 3]

纯铜粉末	添加了纳米氧化物的粉末	粉末特性							粉末床形成			
		平均粒径 (μm)	纳米氧化物		FT4 测量		JIS Z 2504 表观密度			JIS Z2502 流率		粉末电阻 (Ω)
			添加量 (重量%)	粘附力 (kPa)	粘附力 (kPa)	粘附力 (kPa)	AD (g/cm^3)	AD (g/cm^3)		FR (秒/50 克)	FR (秒/50 克)	
纯铜粉末 300	粉末例 310	19.9	0.01	0.239	0.223	0.239	5.29	5.18	18.8	18.8	3.45E+04	○
	粉末例 320	19.9	0.05	0.223	0.262	0.223	5.18	5.18	21.5	21.5	2.07E+05	○
	粉末例 330	19.9	0.10	0.262	0.240	0.262	4.95	4.95	34.4	34.4	1.63E+06	○
	粉末例 340	19.9	0.15	0.240	0.245	0.240	4.97	4.97	34.9	34.9	1.03E+07	○
纯铜粉末 400	粉末例 410	13.5	0.01	0.245	0.371	0.245	5.05	5.05	57.3	57.3	7.59E+05	○
	粉末例 420	13.5	0.05	0.371	0.262	0.371	5.05	5.05	58.7	58.7	1.38E+06	○
	粉末例 430	13.5	0.10	0.262	0.240	0.262	4.89	4.89	73.0	73.0	5.06E+06	○
	粉末例 440	13.5	0.15	0.240	0.229	0.240	4.85	4.85	62.1	62.1	不可测	○
纯铜粉末 500	粉末例 510	9.6	0.01	0.229	0.289	0.229	4.60	4.60	无	无	不可测	×
	粉末例 520	9.6	0.05	0.289	0.231	0.289	4.65	4.65	无	无	不可测	×
	粉末例 530	9.6	0.10	0.231	0.242	0.231	4.43	4.43	101.0	101.0	2.33E+07	○
	粉末例 540	9.6	0.15	0.242	0.969	0.242	4.28	4.28	68.0	68.0	不可测	○
纯铜粉末 600	粉末例 610	3.1	0.01	0.969	0.649	0.969	2.72	2.72	无	无	不可测	×
	粉末例 620	3.1	0.05	0.649	0.722	0.649	2.72	2.72	无	无	不可测	×
	粉末例 630	3.1	0.10	0.722	0.875	0.722	2.77	2.77	无	无	不可测	×
	粉末例 640	3.1	0.15	0.875	不可测	0.875	2.78	2.78	无	无	不可测	×

[0145] 在表3中,首先,与其中未添加和混合纳米氧化物的层压成形用铜粉末的粉末电阻(见表2)相比,其中添加并混合了纳米氧化物的层压成形用铜粉末的粉末电阻(见表3)增加

大于10倍的值。另外,在平均粒径分别为19.9 μm 和13.5 μm 的纯铜粉末300和400中,在以0.01重量%至0.15重量%添加纳米氧化物的所有情况下都可以形成粉末床。此外,在平均粒径为9.6 μm 的纯铜粉末500中,当以0.10重量%至0.15重量%添加纳米氧化物时,可以形成粉末床。然而,在平均粒径为3.1 μm 的纯铜粉末600中,当以0.01重量%至0.15重量%添加纳米氧化物时,不能形成粉末床。

[0146] (层压成形装置中的成形处理以及特性测量)

[0147] 选择表2和表3中的能够形成粉末床的层压成形用铜粉末,并且通过层压成形装置10产生纯铜层压成形体。纯铜层压成形体是在改变能量密度的同时产生的。能量密度与例如激光功率、扫描速度、扫描间距和粉末层相关。

[0148] 对于通过层压成形装置10产生的纯铜层压成形体,进行了在《纯铜层压成形体的特性测量》中所示的各特性测量。结果示于下表4中。

[0149]

[表 4]

纯铜粉末	添加了纳米氧化物的粉末	成形例	成形条件和成形体特性					
			激光功率 (W)	扫描速度 (mm/s)	扫描间距 (mm)	粉末层 (mm)	能量密度 (J/mm ³)	成形体电导率 (%IACS)
纯铜粉末 200	粉末例 210 (添加量 0.00 重量%)	比较例 211	1000	300	0.05	0.05	1333.3	64.7
		比较例 212	1000	400	0.05	0.05	1000.0	66.1
		比较例 213	1000	300	0.10	0.05	666.7	42.4
纯铜粉末 300	粉末例 310 (添加量 0.01 重量%)	比较例 311	800	300	0.05	0.05	1066.7	63.2
		比较例 312	1000	400	0.05	0.05	1000.0	68.5
		比较例 313	800	300	0.05	0.10	533.3	67.5
纯铜粉末 400	粉末例 410 (添加量 0.01 重量%)	比较例 411	800	300	0.05	0.05	1066.7	86.1
		比较例 412	1000	400	0.05	0.05	1000.0	86.7
		比较例 413	800	300	0.05	0.10	533.3	87.4
纯铜粉末 500	粉末例 530 (添加量 0.10 重量%)	比较例 531	800	200	0.08	0.05	1066.7	101.9
		比较例 532	800	300	0.08	0.05	711.1	98.4
		比较例 533	800	200	0.15	0.05	533.3	99.7
		比较例 534	800	300	0.15	0.05	355.6	94.1

[0150] 在表4中,在由实施例411至413和531至534所示的各个纯铜层压成形体中,成形体的电导率达到80% IACS以上,其为示例性实施方案的目标。此外,如图4的表41中所示,成形

体的相对密度也超过99%。

[0151] 图10A至10D示出了通过拍摄根据实施例和比较例的层压成形体的表面而获得的(SEM)图像($\times 50$)。图10A示出了通过拍摄实施例531(其中在平均粒径为 $9.6\mu\text{m}$ 的纯铜颗粒中添加并混合0.10重量%的纳米氧化物的实施例)的纯铜层压成形体的表面而获得的SEM图像($\times 50$)。图10B示出了通过拍摄实施例412(其中在平均粒径为 $13.5\mu\text{m}$ 的纯铜颗粒中添加并混合0.01重量%的纳米氧化物的实施例)的纯铜层压成形体的表面而获得的SEM图像($\times 50$)。图10C示出了通过拍摄比较例312(其中在平均粒径为 $19.9\mu\text{m}$ 的纯铜颗粒中添加并混合0.01重量%的纳米氧化物的实施例)的纯铜层压成形体的表面而获得的SEM图像($\times 50$)。图10D示出了通过拍摄比较例212(平均粒径为 $28.6\mu\text{m}$ 的纯铜颗粒)的纯铜层压成形体的表面而获得的SEM图像($\times 50$)。

[0152] 在图10A和10B中,由于层压成形体的表面致密且几乎没有不均匀性,因此相对密度和电导率高。在图10C和10D中,由于层压成形体的表面具有空隙和不均匀性,因此认为相对密度和电导率不高。

[0153] 也就是说,当粒径根据表面状态变小时,通过激光的熔化是稳定的,并且可以获得平滑的成形表面。如果粒径变大,则通过激光的熔化是不稳定的,并且由于熔融铜球状化的球形化而获得不均匀的成形表面。如可以看出的,由于这种不均匀性,在成形体中形成了孔,并且成形密度降低。

[0154] 也就是说,使用实施例的层压成形用粉末产生的各个纯铜层压成形体均实现了“99%以上的相对密度”和“80%IACS以上的电导率”(其是作为纯铜层压成形体的条件),并且满足作为纯铜层压成形体的条件。

[0155] 要说明的是,以下表5和表6示出了全部实施例。

[0156]

[表 5]

纯铜粉末	成形例	粉末特性						成形条件和成形体特性						
		平均粒径 (μm)	纳米氧化物 添加量 (重量%)	FT4 测量 粘附力 (kPa)	JIS Z2504 Z2504 表观密度 AD (g/cm^3)	JIS Z2502 Z2502 流率 FR (s/50g)	粉末电阻 (Ω)	粉末床形成	激光功率 (W)	扫描速度 (mm/s)	扫描间距 (mm)	粉末层 (mm)	能量密度 (J/mm^3)	成形体电 导率 (%IACS)
纯铜粉末 100	没有 了纳 米氧 化物 的粉 末 添加	28.2	0.00	0.183	5.26	12.0	2.31E+03	○						
		28.6	0.00	0.716	5.13	无	1.24E+06	○	1000	300	0.05	0.05	1333.3	64.7
									1000	400	0.05	0.05	1000.0	66.1
纯铜粉末 200	比较例 211 比较例 212 比较例 213								1000	300	0.10	0.05	666.7	42.4
纯铜粉末 300	没有 粉末 添加	19.9	0.00	0.311	4.58	无	2.22E+03	×		不可成形				
		19.9	0.01	0.239	5.29	18.8	3.45E+04	○	800	300	0.05	0.05	1066.7	63.2
									1000	400	0.05	0.05	1000.0	68.5
纯铜粉末 310 比较例 311 比较例 312 比较例 313								800	300	0.05	0.10	533.3	67.5	
纯铜粉末 320 比较例 321								1000	400	0.05	0.05	1000.0	67.4	

[0157]

纯铜粉末 400	粉末例 330	比较例 331	19.9	0.10	0.262	4.95	34.4	1.63E+06	○	1000	400	0.05	0.05	1000.0	67.8	
	粉末例 340	比较例 341	19.9	0.15	0.240	4.97	34.9	1.03E+07	○	1000	400	0.05	0.05	1000.0	68.8	
	没有添加		13.5	0.00	0.326	4.12	无	2.56E+04	×	不可成形						
	粉末例 410	实施例 411		13.5	0.01	0.245	5.05	57.3	7.59E+05	○	800	300	0.05	0.05	1066.7	86.1
		实施例 412									1000	400	0.05	0.05	1000.0	86.7
		实施例 413									800	300	0.05	0.10	533.3	87.4
	粉末例 420	实施例 421	13.5	0.05	0.371	5.05	58.7	1.38E+06	○	1000	400	0.05	0.05	1000.0	86.7	
	粉末例 430	实施例 431	13.5	0.10	0.262	4.89	73.0	5.06E+07	○	1000	400	0.05	0.05	1000.0	87.1	
	粉末例 440	实施例 441	13.5	0.15	0.240	4.85	62.1	不可测	○	1000	400	0.05	0.05	1000.0	87.6	

[0158]

[表 6]

纯铜粉末	添加了纳米氧化物的粉末	成形例	粉末特性						成形条件和成形体特性							
			平均粒径 (μm)	纳米氧化物 添加量 (重量%)	FT4 测量 粘附力 (kPa)	JIS Z2504 表观密度		JIS Z2502 流率 FR	粉末电阻 (Ω)	粉末床形成	激光功率 (W)	扫描速度 (mm/s)	扫描间距 (mm)	粉末层 (mm)	能量密度 (J/mm ³)	成形体电 导率 (%IACS)
						AD	AD									
500	没有添加		9.6	0.00	0.349	4.23	无	1.83E+03	×	800	200	0.08	0.05			
	粉末例 510		9.6	0.10	0.229	4.32	无	4.86E+06	×							
	粉末例 520		9.6	0.05	0.289	4.35	无	9.81E+06	×							
	粉末例 530	实施例 531	9.6	0.10	0.231	4.43	101.0	2.33E+07	○	800	200	0.08	0.05	1066.7	101.9	
	实施例 532	300									98.4					
	实施例 534	200														533.3
	实施例 534	300														
	粉末例 540	实施例 541	9.6	0.15	0.242	4.28	68.0	不可测	○	800		300	0.08	0.05	711.1	99.2

[0159]

纯铜粉末 600	没有添加粉末例 610	3.1	0.00	1.168	2.72	无	不可测	×	不可成形
	粉末例 620	3.1	0.01	0.969	2.72	无	不可测	×	不可成形
	粉末例 630	3.1	0.05	0.649	2.72	无	不可测	×	不可成形
	粉末例 640	3.1	0.10	0.722	2.77	无	不可测	×	不可成形
		3.1	0.15	0.875	2.78	无	不可测	×	不可成形

[0160] (与含锡(Sn)的铜合金粉末或含磷(P)的铜合金粉末的比较)

[0161] 作为比较例710至730、810和820,使用含锡(Sn)的铜合金粉末或含磷(P)的铜合金

粉末通过层压成形装置10来产生铜层压成形体。测量了铜合金粉末的特性(体电导率、平均粒径等)以及层压成形的特性(在层压成形期间的能量密度、层压成形体的相对密度)。测量结果示于上述图4的表41中。

[0162] 将这些与使用其中添加并混合了根据本实施例的纳米氧化物的粉末通过层压成形装置10产生的纯铜层压成形体的特性进行比较。如上文参照图4所述的,根据其中添加并混合了根据本实施例的纳米氧化物的粉末,可以通过能量密度为约 $1,000\text{J}/\text{mm}^3$ 的现有装置产生相对密度为99%以上的层压成形体,并且如可以从体电导率推定的,可以提供电导率为80% IACS以上的纯铜层压成形体。

[0163] 《其中添加并混合了除 SiO_2 以外的纳米氧化物的铜粉末材料》

[0164] 下面的表7示出了对其中添加并混合了除 SiO_2 以外的纳米氧化物的表1中所示的铜粉末材料进行《层压成形用铜粉末的特性测量》中所示的各个特性测量的结果。

[0165]

[表 7]

平均粒径 (μm)	纳米氧化物		FT4 测量 粘附力 (kPa)	JIS Z 2504 表观密度		JIS Z2502 流率 (秒/50 克) FR	粉末电阻 (Ω)
	氧化物名称	添加量 (重量%)		AD (g/cm^3)			
19.9	氧化铜	0.01		4.35		无	3.57E+03
19.9	氧化铜	0.05		4.89		无	4.40E+03
19.9	氧化铜	0.10		5.09		34.2	6.42E+03
19.9	氧化铜	0.15		5.11		30.5	7.66E+03
19.9	氧化铝	0.01		4.42		无	1.09E+04
19.9	氧化铝	0.05		4.73		无	1.21E+04
19.9	氧化铝	0.10		4.96		48.3	2.02E+04
19.9	氧化铝	0.15		5.02		46.3	3.35E+04
19.9	氧化钇	0.01		4.46		无	3.55E+04
19.9	氧化钇	0.05		4.87		无	6.22E+03
19.9	氧化钇	0.10		4.98		38.6	1.42E+04
19.9	氧化钇	0.15		4.89		31.6	2.21E+05
19.9	氧化钛	0.01		4.33		无	1.02E+04
19.9	氧化钛	0.05		4.48		无	1.24E+04
19.9	氧化钛	0.10		4.46		无	1.38E+04
19.9	氧化钛	0.15		4.79		51.6	2.75E+04
13.5	氧化铜	0.01		4.13		无	4.05E+04
13.5	氧化铜	0.05		4.21		无	1.02E+05
13.5	氧化铜	0.10		4.63		无	2.50E+05
13.5	氧化铜	0.15		4.79		79.6	3.76E+05
13.5	氧化铝	0.01		4.01		无	3.89E+04

粉末特性

[0166]

13.5	氧化铝	0.05		4.11	无	8.45E+04
13.5	氧化铝	0.10		4.31	无	3.29E+05
13.5	氧化铝	0.15		4.77	69.4	4.08E+05
13.5	氧化钇	0.01		4.06	无	6.02E+04
13.5	氧化钇	0.05		4.16	无	2.22E+05
13.5	氧化钇	0.10		4.43	无	2.67E+05
13.5	氧化钇	0.15		4.64	84.3	2.90E+05
13.5	氧化钛	0.01		4.04	无	4.04E+04
13.5	氧化钛	0.05		1.11	无	7.19E+04
13.5	氧化钛	0.10		4.40	无	2.53E+05
13.5	氧化钛	0.15		4.66	95.3	不可测
9.6	氧化铜	0.01		4.03	无	2.02E+06
9.6	氧化铜	0.05		4.11	无	2.26E+06
9.6	氧化铜	0.10		4.28	无	2.60E+06
9.6	氧化铜	0.15		4.39	无	3.29E+06
9.6	氧化铝	0.01		4.06	无	3.32E+06
9.6	氧化铝	0.05		4.16	无	1.24E+07
9.6	氧化铝	0.10		4.28	无	1.46E+07
9.6	氧化铝	0.15		4.39	无	不可测
9.6	氧化钇	0.01		4.08	无	1.61E+06
9.6	氧化钇	0.05		4.14	无	4.30E+05
9.6	氧化钇	0.10		4.24	无	7.71E+05
9.6	氧化钇	0.15		4.40	无	1.12E+06
9.6	氧化钛	0.01		4.08	无	2.69E+05
9.6	氧化钛	0.05		4.12	无	1.63E+07
9.6	氧化钛	0.10		4.20	无	2.44E+07
9.6	氧化钛	0.15		4.34	无	不可测

[0167] 如根据其中添加并混合了SiO₂的铜粉末材料的测试结果(其在表5和表6示出)明显的,例如,如果流率不妨碍粉末床的形成,并且粉末电阻为(1.00E+4) Ω以上,则可以产生电导率为60% IACS以上的铜层压成形体。还可以看出,如果粉末电阻在(7.50E+5) Ω至

($2.50E+7$) Ω 的范围内,则可以获得80% IACS以上的电导率。当与其中添加并混合了 SiO_2 的铜粉末材料的测试结果相比时,可以从表7中所示的粉末特性的结果知道以下几点。

[0168] 在平均粒径为 $19.9\mu\text{m}$ 的纯铜粉末中,其中添加并混合了氧化铜或氧化钼的粉末材料有时具有小于($1.00E+4$) Ω 的粉末电阻,并且不能预期实现足够的电导率。然而,其中添加并混合了氧化铝或氧化钛的粉末材料具有($1.00E+4$) Ω 以上的粉末电阻,并且可以产生电导率为60% IACS以上的铜层压成形体,这是明显的。

[0169] 此外,与在粉末材料中添加和混合的纳米氧化物无关,平均粒径为 $13.5\mu\text{m}$ 的纯铜粉末具有($1.00E+4$) Ω 以上的粉末电阻,并且可以产生电导率为60% IACS以上的铜层压成形体,这是明显的。

[0170] 此外,在平均粒径为 $9.6\mu\text{m}$ 的纯铜粉末中,预期多种其中添加并混合了纳米氧化物的粉末材料具有在($7.50E+5$) Ω 至($2.50E+7$) Ω 范围内的粉末电阻,并且能够实现80% IACS以上的电导率。

[0171] 如上所述,甚至对于通过在平均粒径为 $13.5\mu\text{m}$ 或 $9.6\mu\text{m}$ 的纯铜粉末中添加并混合除 SiO_2 以外的纳米氧化物所获得的粉末材料,也可以预期铜层压成形体能够实现作为纯铜产品电导率的80% IACS以上的电导率,如在 SiO_2 的情形中一样。

[0172] [实施例的效果]

[0173] 根据本实施例,在通过在平均粒径为 $13.5\mu\text{m}$ 或 $9.6\mu\text{m}$ 的纯铜粉末中添加并混合纳米氧化物而获得的层压成形用粉末的情况下,能够形成粉末床并含有纯铜粉末的层压成形用铜粉末的粉末电阻值在($7.50E+5$) Ω 至($2.50E+7$) Ω 的范围内。此外,通过在现有装置的能量密度下进行熔化,可以产生相对密度为99%以上的铜层压成形体,并且该铜层压成形体的电导率可以达到80% IACS以上(其是纯铜产品的电导率)。

[0174] 另一方面,在平均粒径为 $28.6\mu\text{m}$ 的纯铜粉末或者锡(Sn)的铜合金或磷(P)的铜合金的层压成形用粉末的情况下,通过在现有装置的能量密度下进行熔化,可以产生相对密度为99%以上的铜层压成形体,但是该铜层压成形体的电导率不能为80% IACS以上(其是纯铜产品的电导率)。

[0175] 此外,在通过在平均粒径为 $19.9\mu\text{m}$ 的纯铜粉末中添加并混合纳米氧化物而获得的层压成形用粉末的情况下,通过在现有装置的能量密度下进行熔化,可以产生相对密度为99%以上的铜层压成形体,但是该铜层压成形体的电导率不能为80% IACS以上(其是纯铜产品的电导率)。

[0176] 此外,在通过在平均粒径为 $3.1\mu\text{m}$ 的纯铜粉末中添加并混合纳米氧化物而获得的层压成形用粉末的情况下,根本不能形成粉末床。

[0177] [其他示例性实施方案]

[0178] 在示例性实施方案和实施例中,使用纳米-二氧化硅(SiO_2)作为要添加和混合的纳米氧化物。然而,通过由平均粒径为 $20\mu\text{m}$ 的纯铜粉末降低粉末电阻可以在现有装置的能量密度下熔化,并且还可以改善流率并通过现有装置形成粉末床的纳米氧化物满足需求。此外,使得通过层压成形装置产生的纯铜层压成形体能够具有99%以上的密度并且使得电导率能够为80% IACS以上的纳米氧化物满足需求。对纳米氧化物的形状或粒径也进行了适当选择。

[0179] 虽然已经参照其示例性实施方案具体地示出和描述了本发明,但是本发明不限于

这些示例性实施方案。本领域普通技术人员将理解,在不脱离由权利要求所限定的本发明的精神和范围的情况下,可以在其中进行形式和细节方面的各种改变。包括在各个示例性实施方案中包括的单独特征的任何组合的系统或装置可以被包括到本发明的范围内。

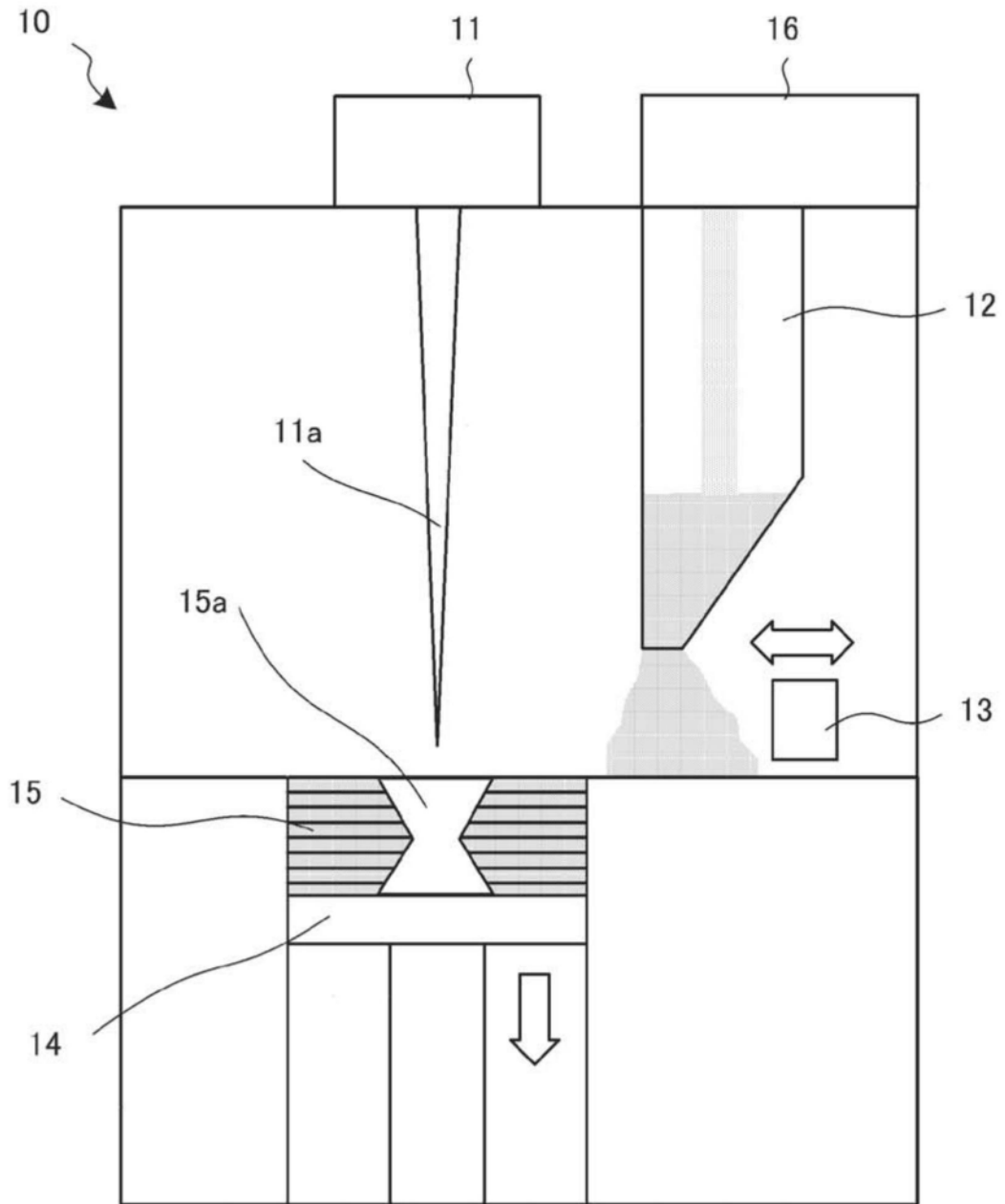


图1

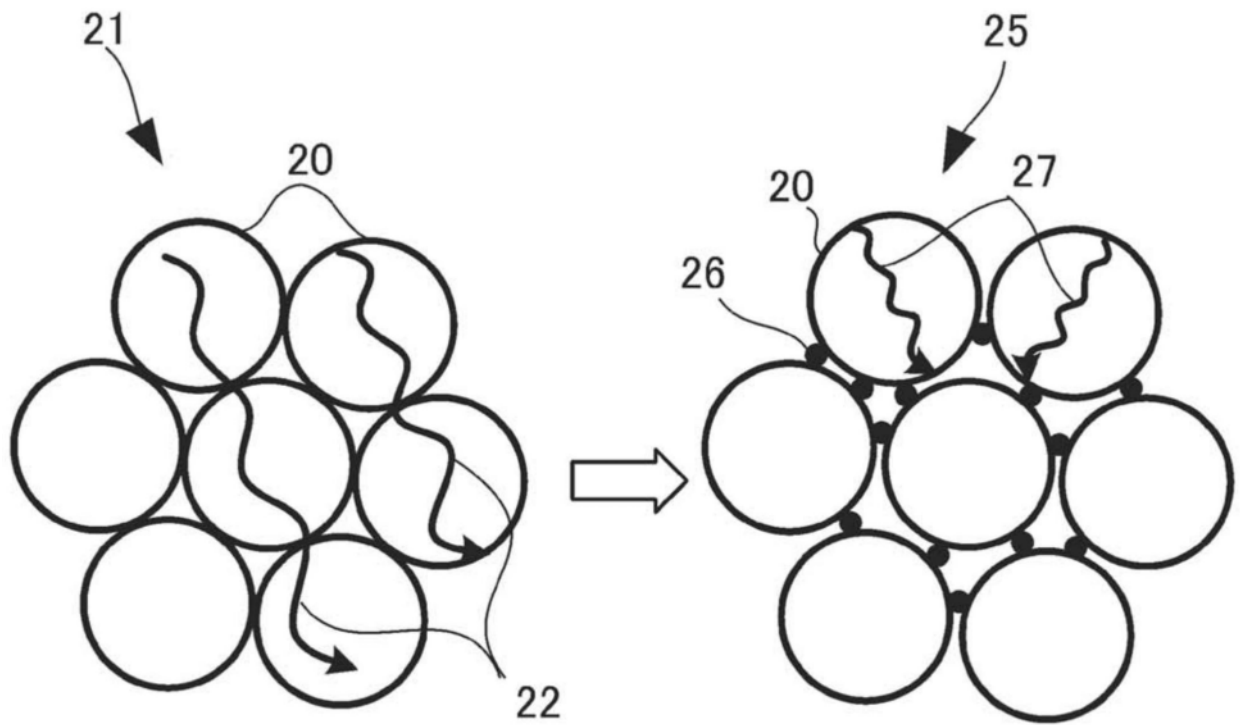


图2

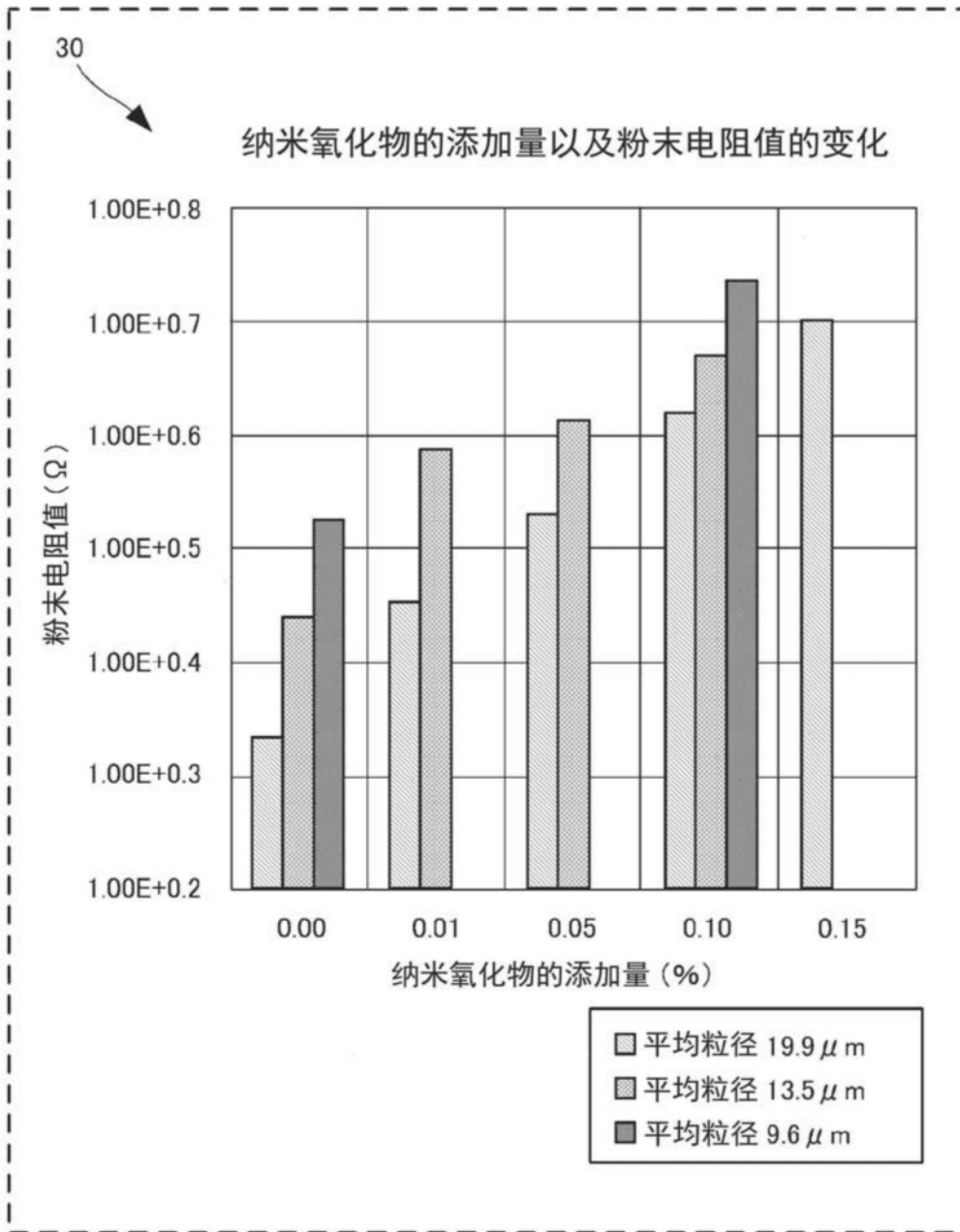


图3A

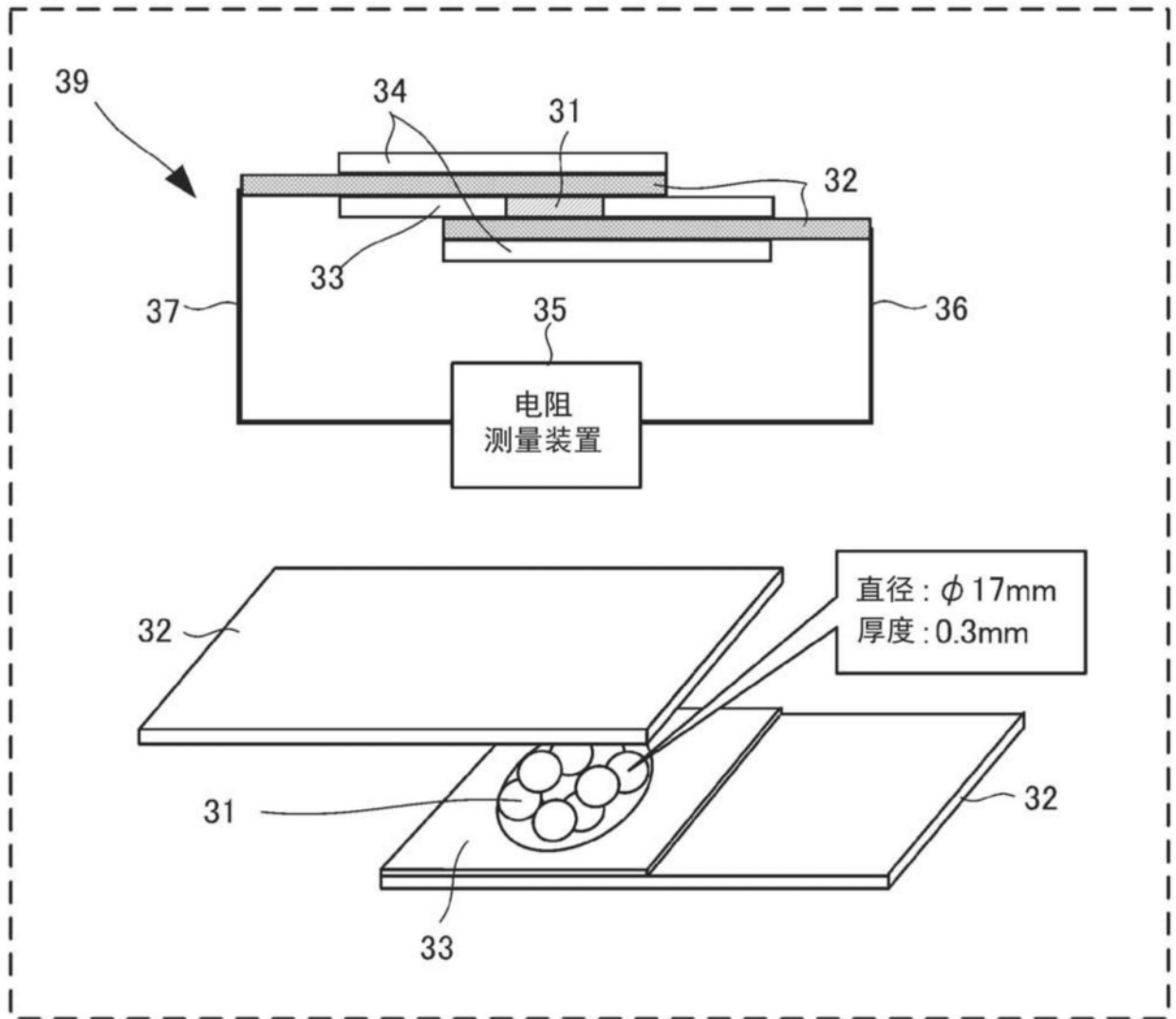


图3B

39

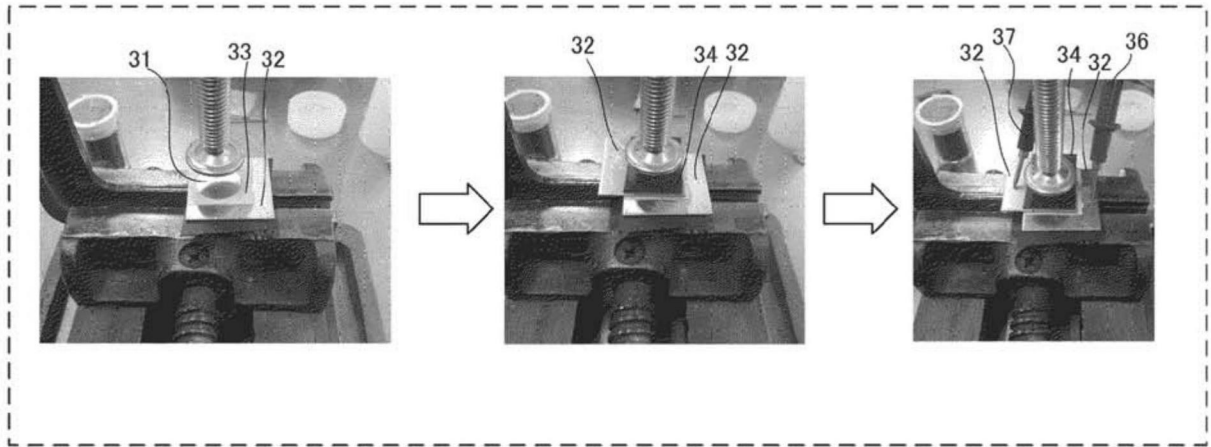


图3C

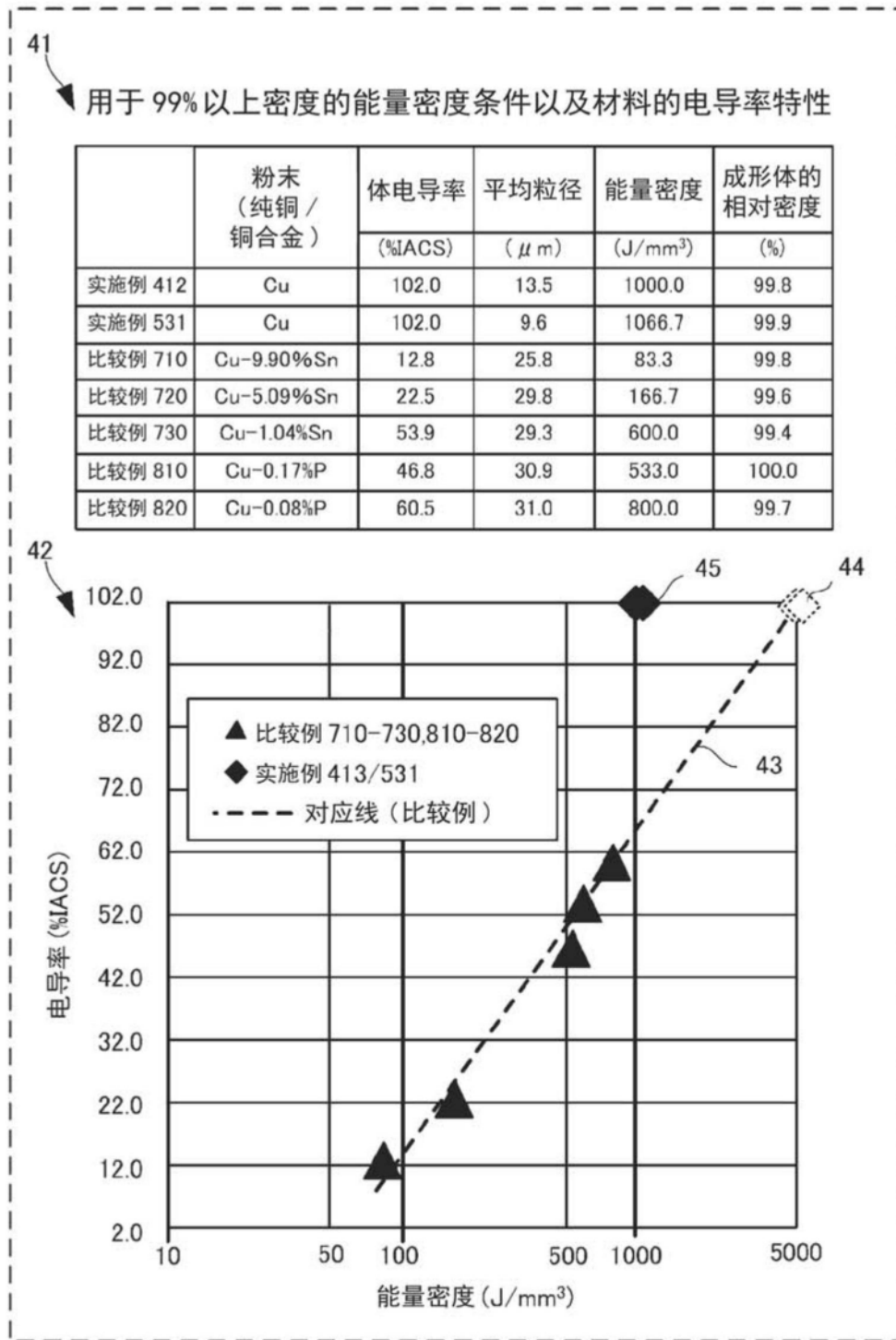


图4

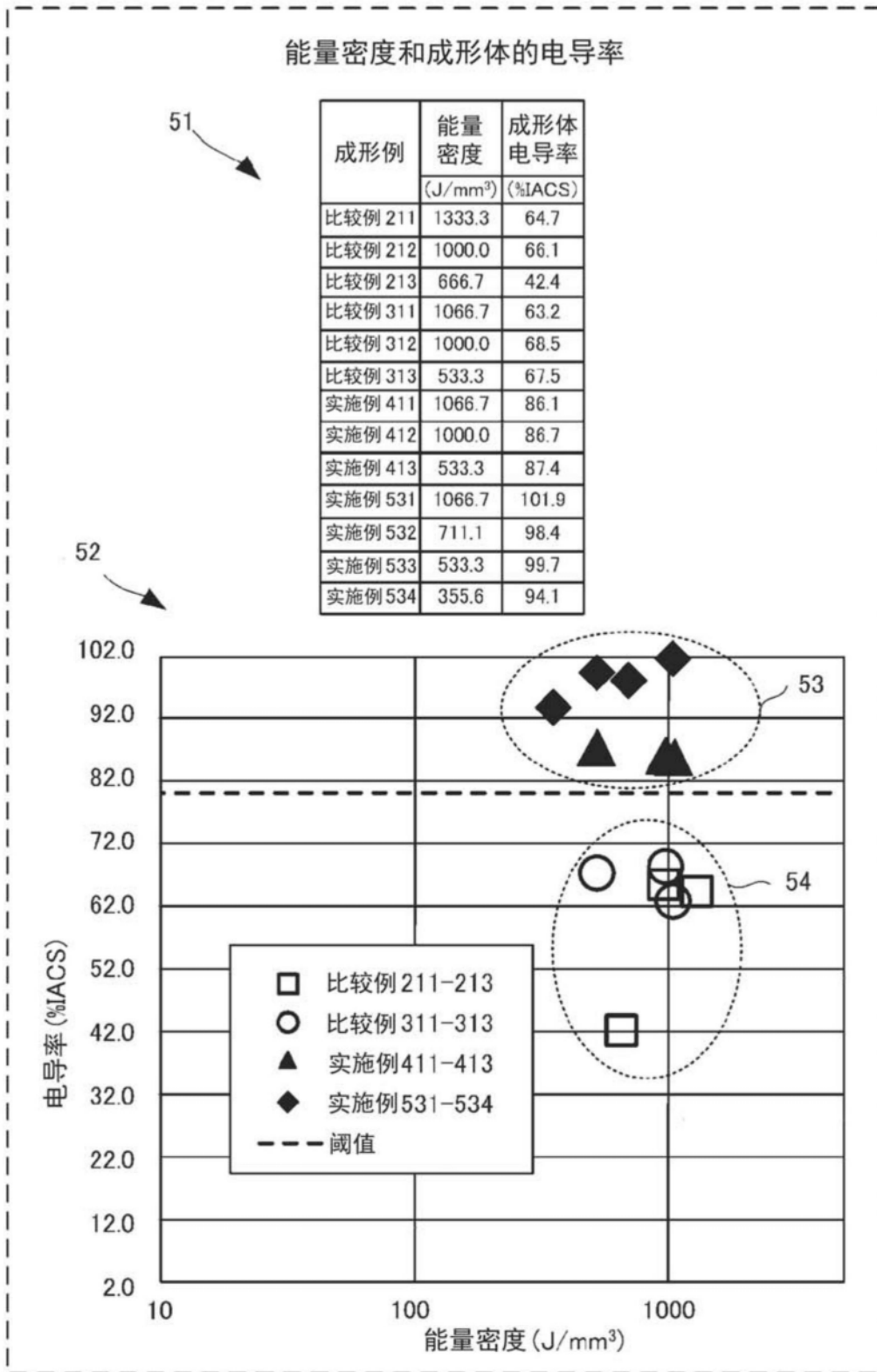


图5

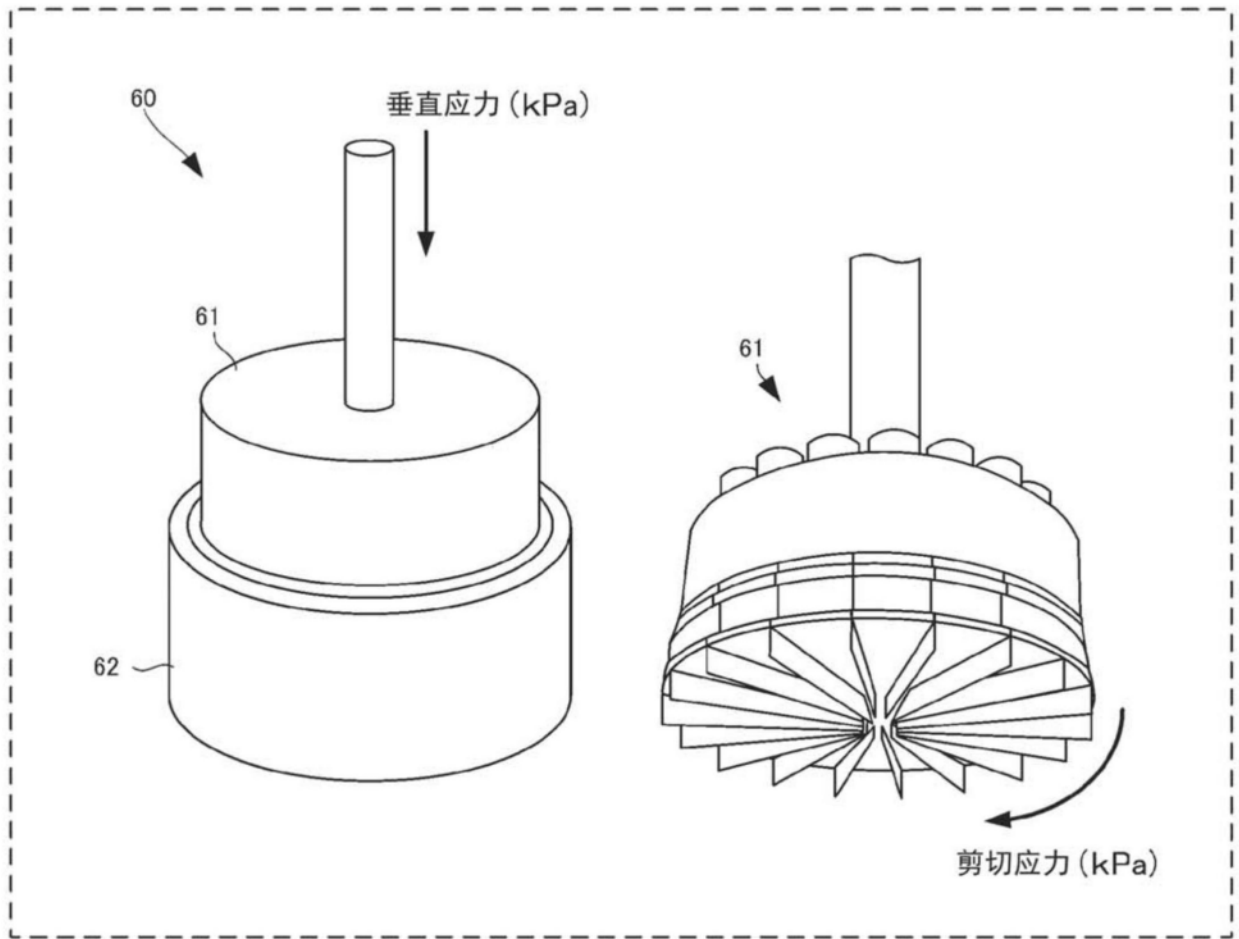


图6A

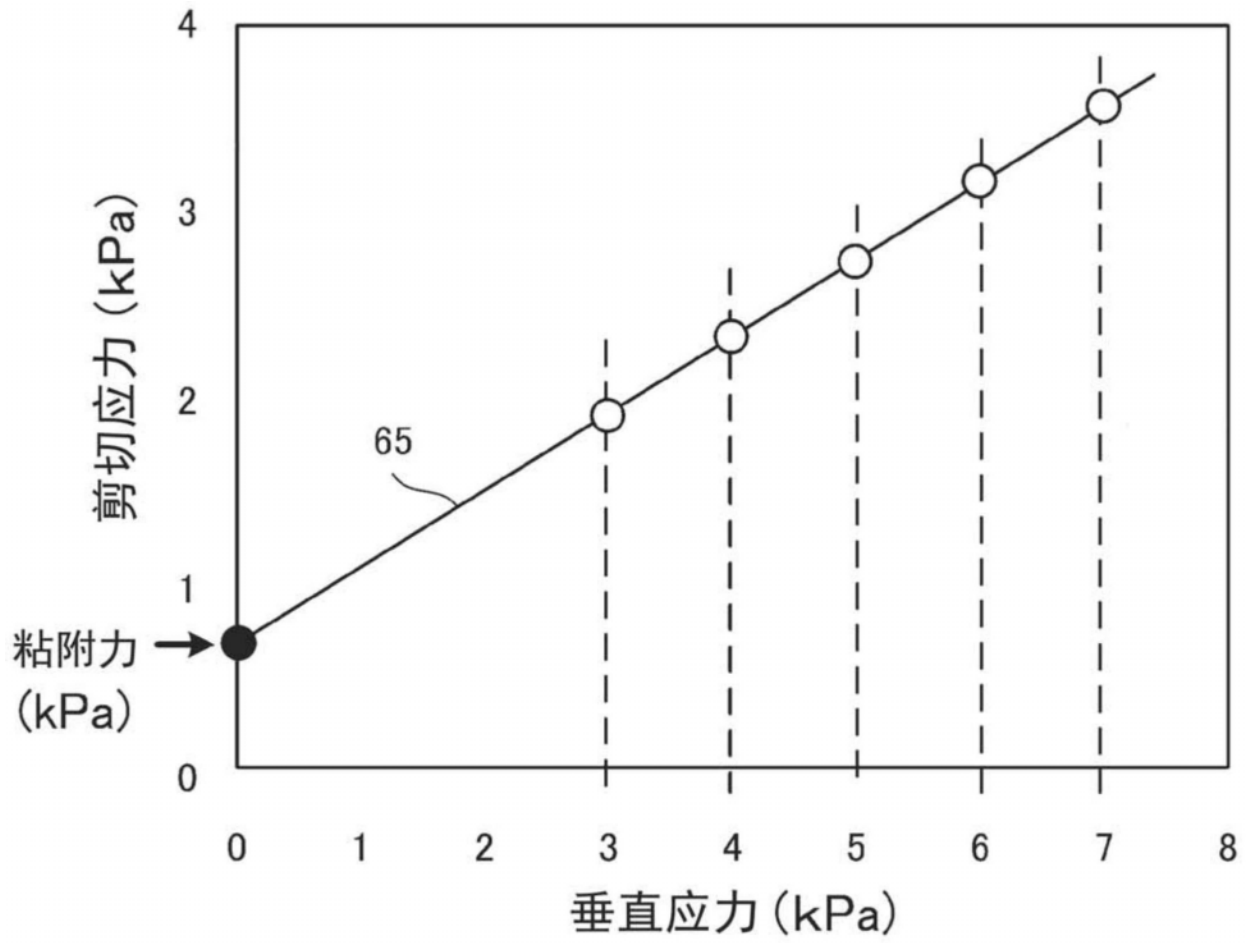


图6B

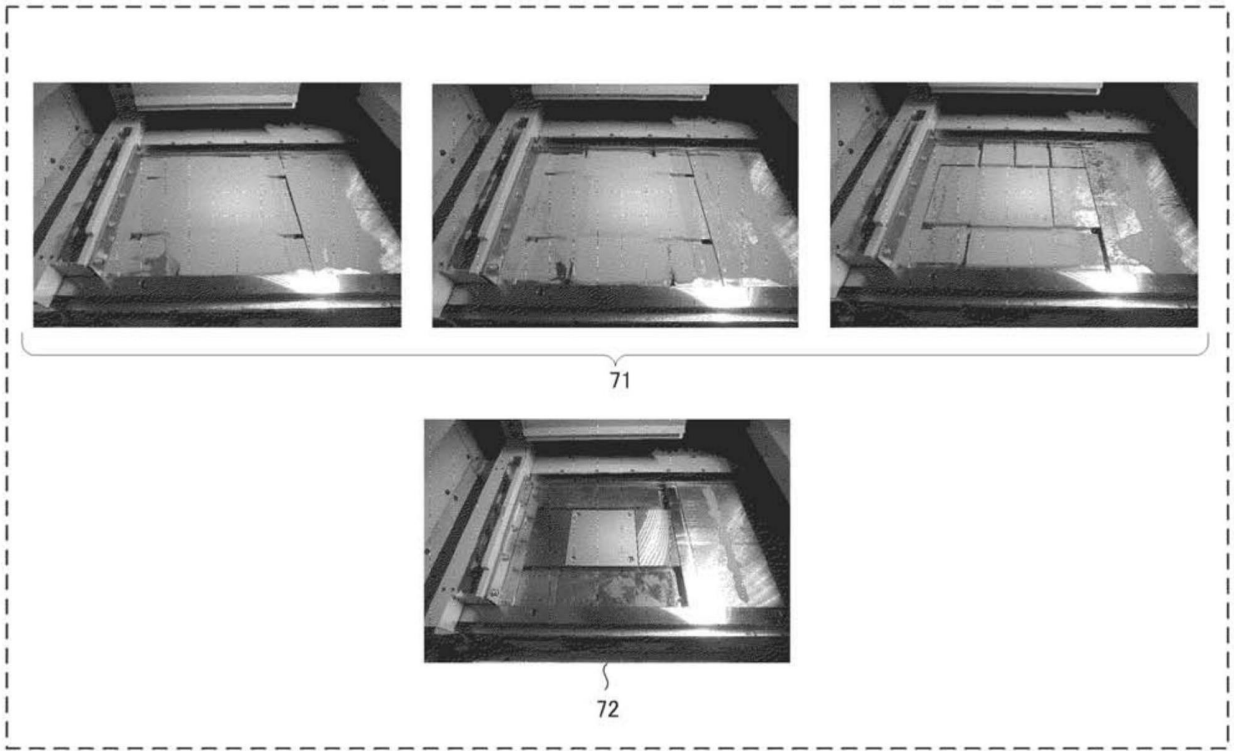


图7

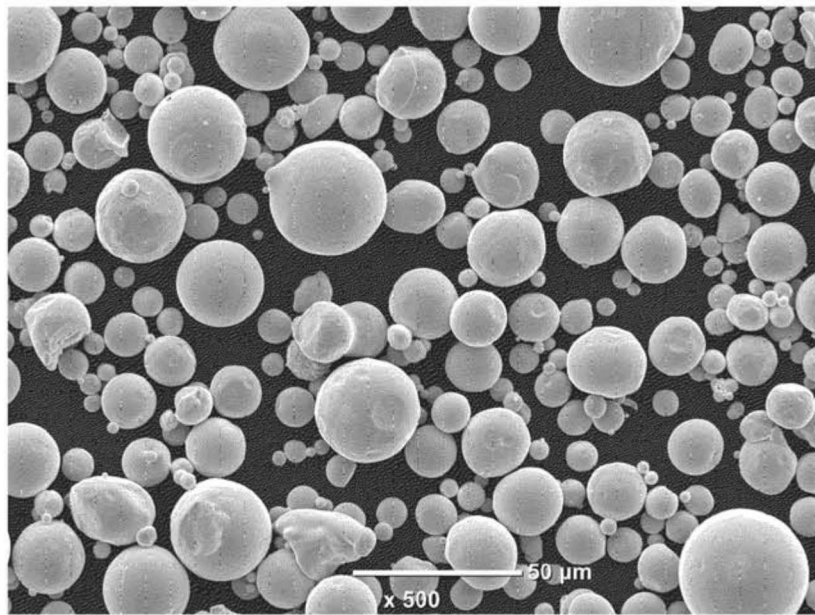


图8A

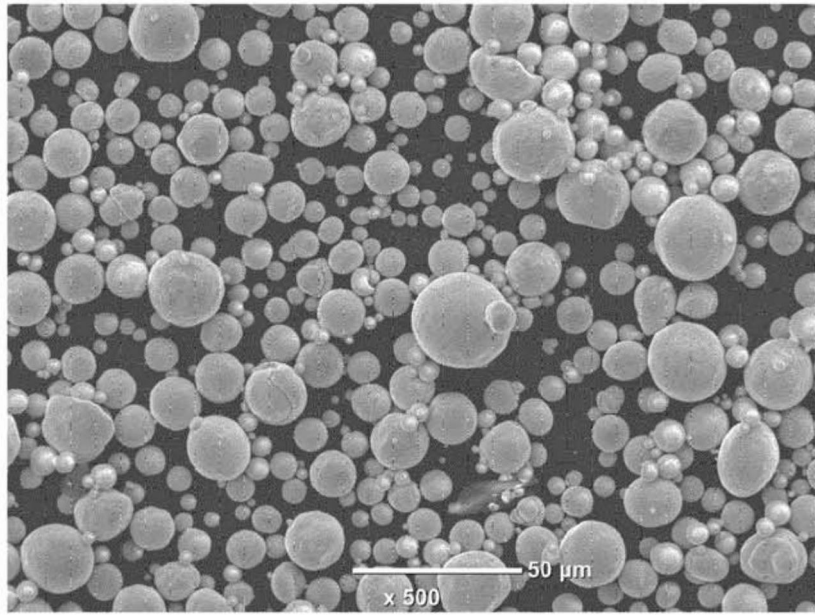


图8B

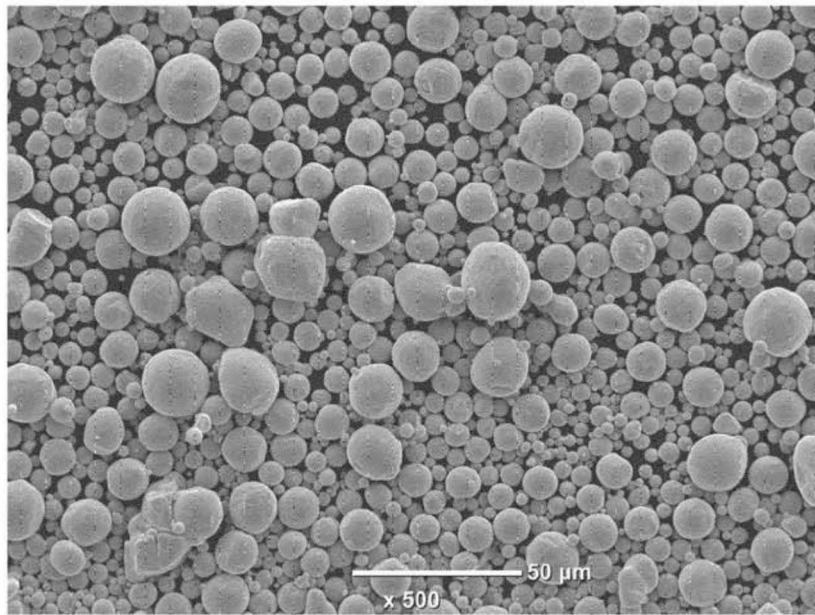


图8C

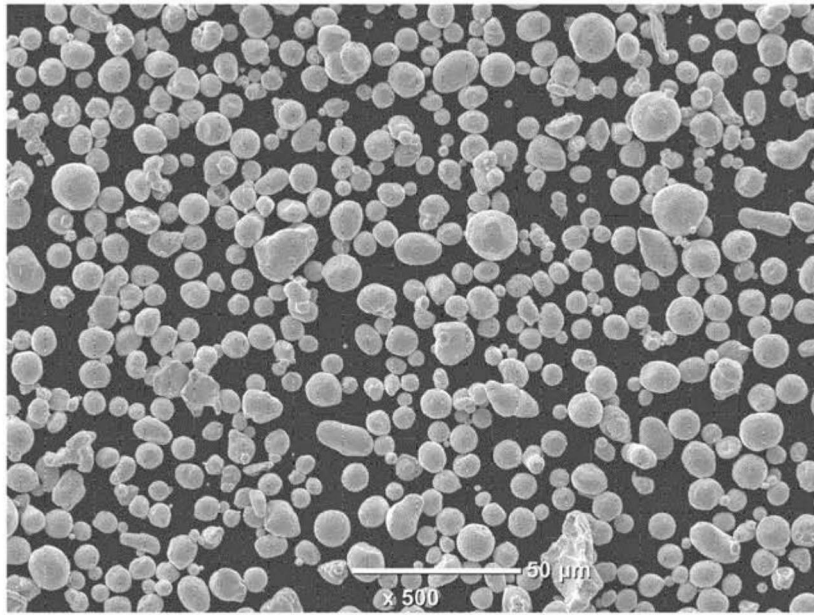


图8D

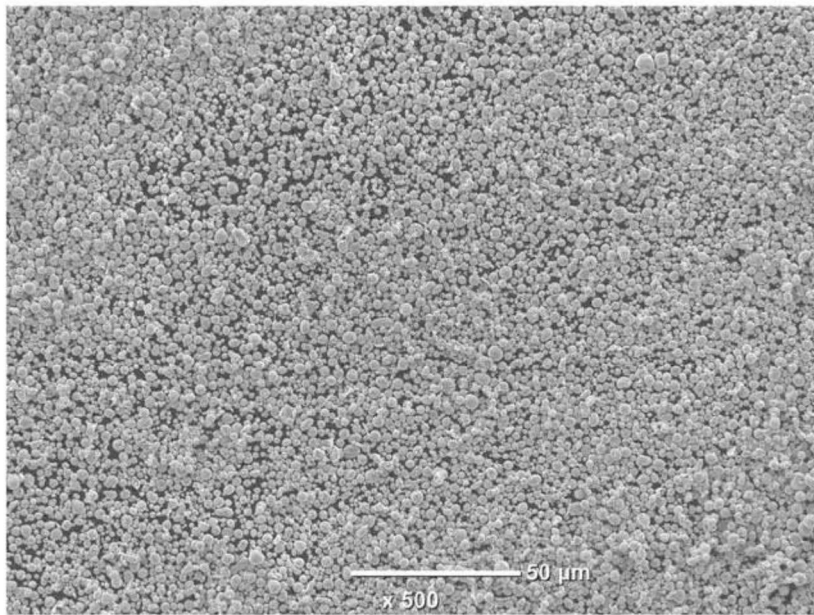


图8E

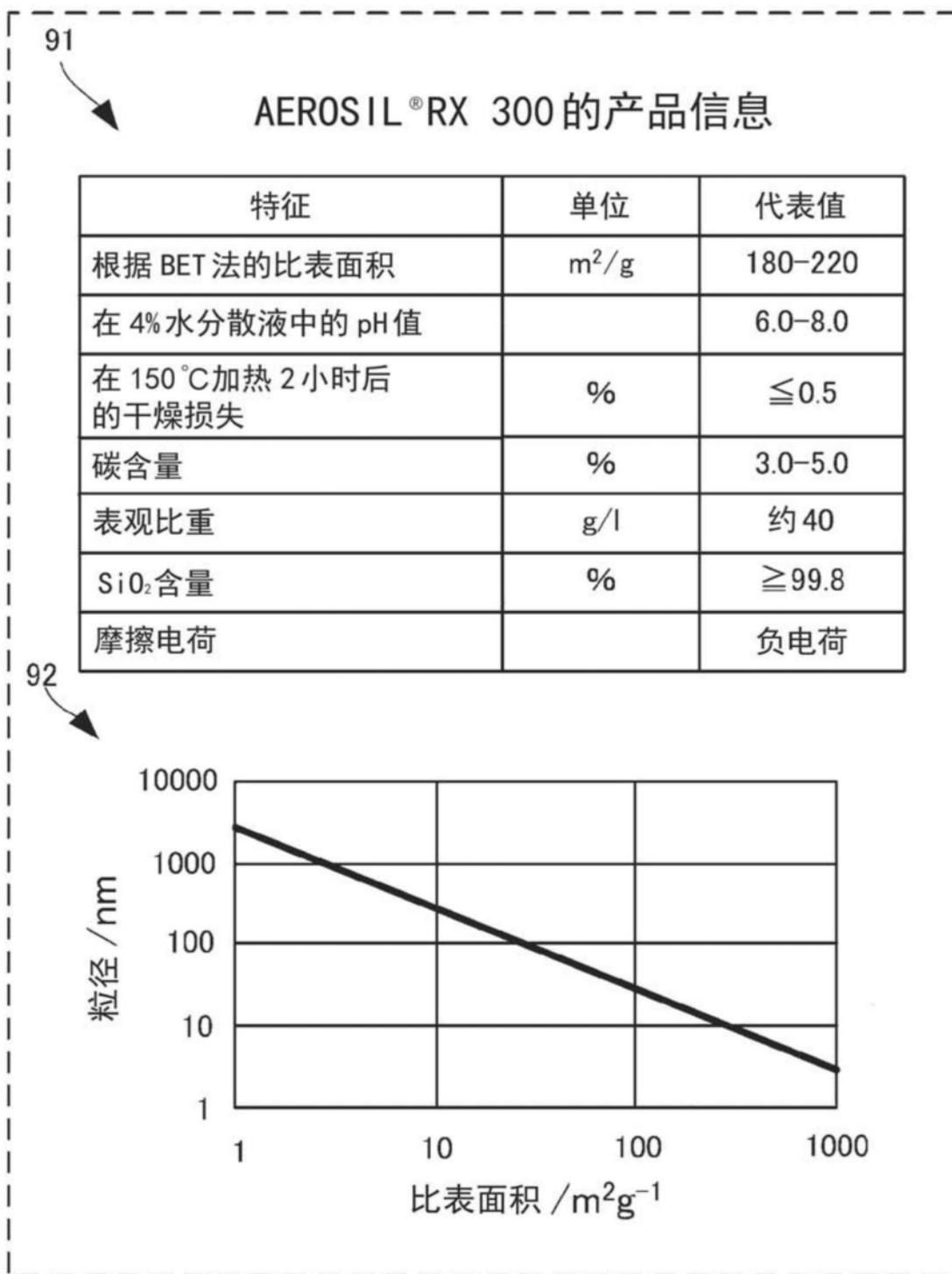


图9A

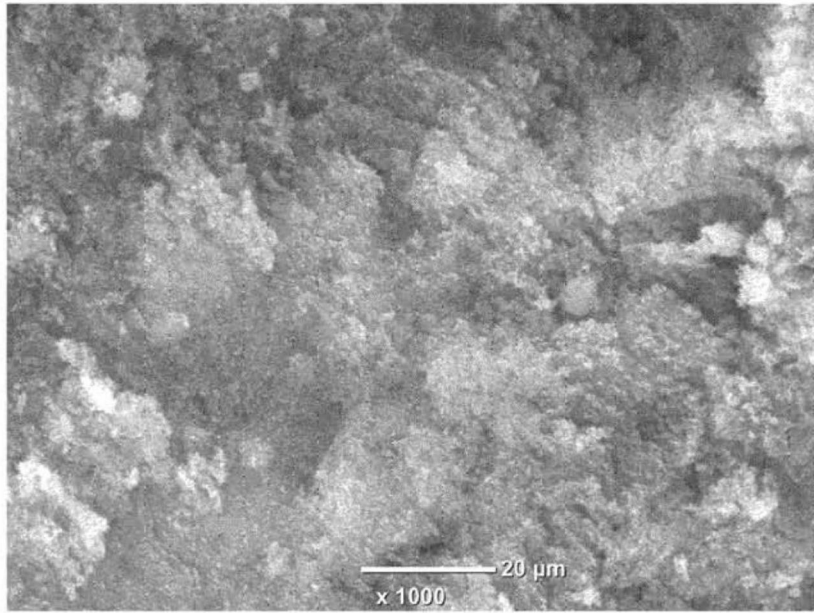


图9B

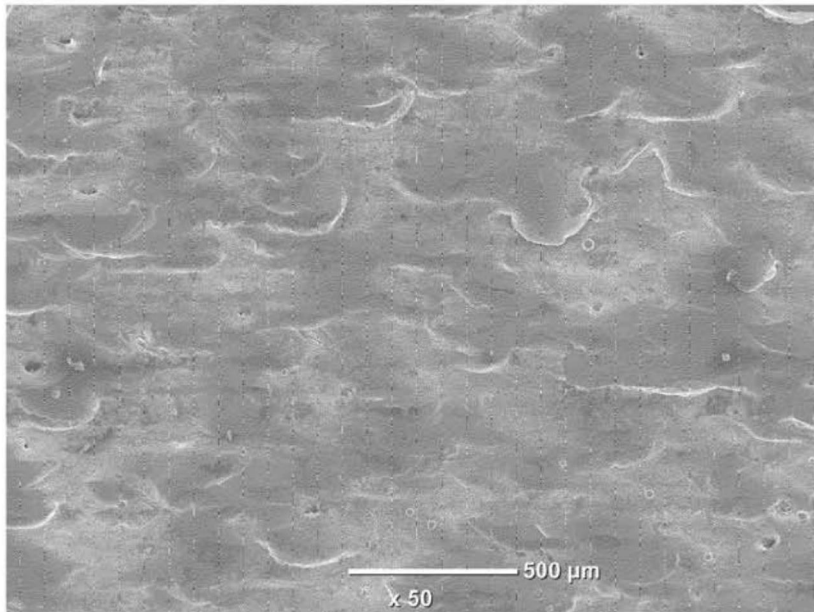


图10A

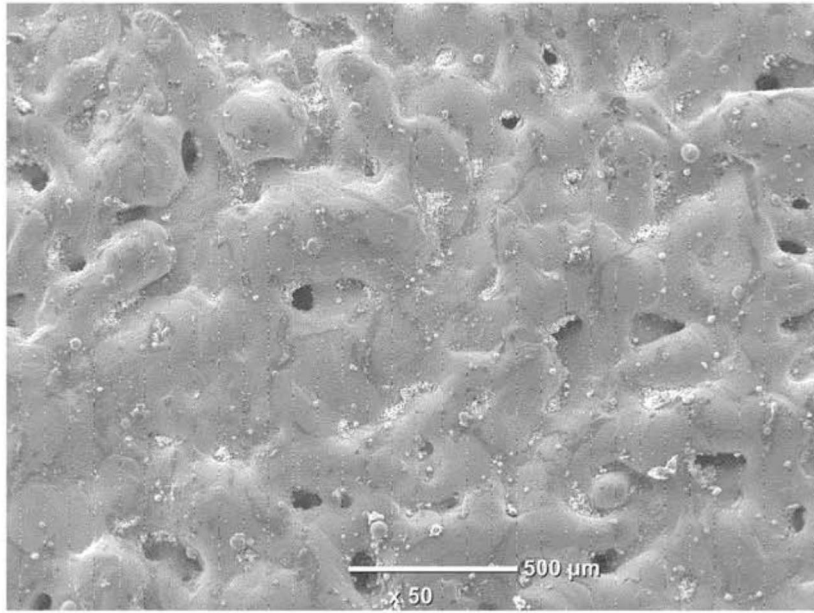


图10B

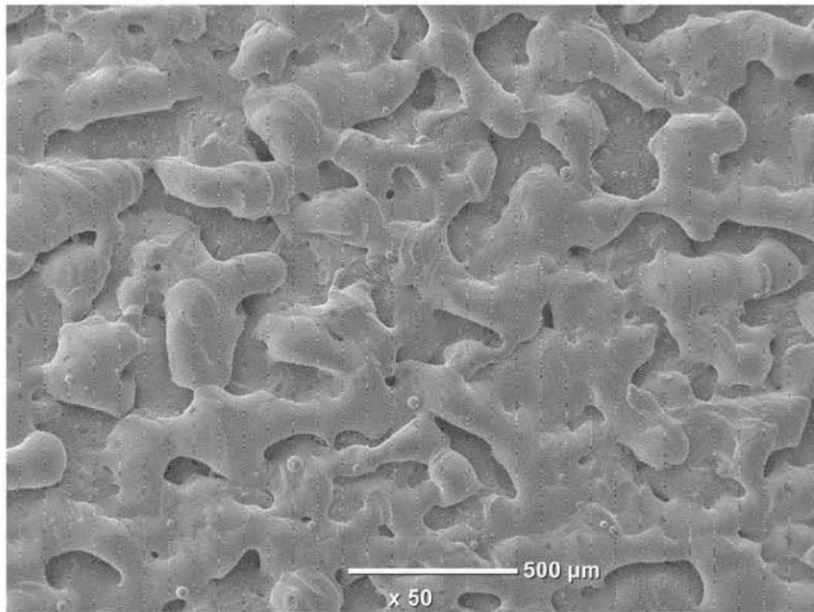


图10C

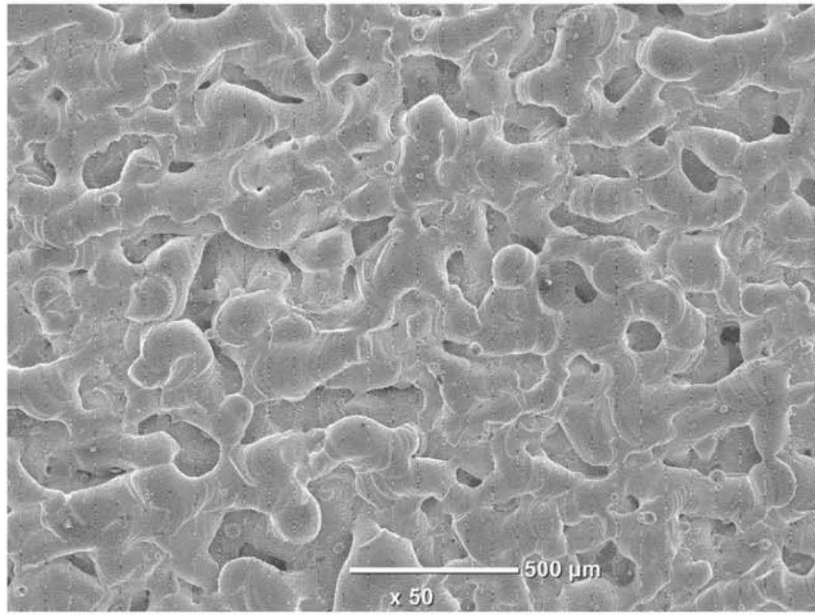


图10D