



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103048677 B

(45)授权公告日 2018.08.24

(21)申请号 201210462087.5

(22)申请日 2012.09.07

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103048677 A

(43)申请公布日 2013.04.17

(30)优先权数据
13/228478 2011.09.09 US

(73)专利权人 通用电气公司
地址 美国纽约州

(72)发明人 J·M·鲁斯迪格 J·B·詹斯马

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001
代理人 林毅斌 林森

(51)Int.Cl.

G01T 3/00(2006.01)

B05D 1/06(2006.01)

(56)对比文件

CN 102967875 A,2013.03.13,
US 2010/0258736 A1,2010.10.14,
US 2010/0258736 A1,2010.10.14,
US 7233007 B2,2007.06.19,
US 2011/0116589 A1,2011.05.19,
US 2010/0078570 A1,2010.04.01,

审查员 李丽琴

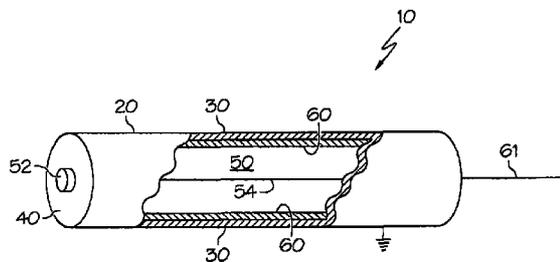
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

用于中子检测器的含硼涂层

(57)摘要

一种中子检测器,其包括界定了内部体积的外壳。所述中子检测器包括至少壁部分,所述壁部分起阴极作用。在一个实例中,所述壁部分具有微特征。所述中子检测器包括位于所述内部体积内并起阳极作用的中心结构。所述中子检测器包括在所述壁部分上的硼涂层。在一个实例中,所述硼涂层通过静电喷涂工艺施加。在一个实例中,所述硼涂层符合所述壁部分上的微特征。在一个实例中,所述壁部分具有2-5微米的厚度。所述中子检测器具有电连接器,其可操作地连接至所述中心结构,以用于传输所述中心结构采集的信号。本发明还提供了用于沉积所述硼涂层的相关方法。



1. 一种中子检测器,其包括:
界定了内部体积的外壳;
至少壁部分,所述壁部分起阴极作用;
位于所述内部体积内并起阳极作用的中心结构;
在所述壁部分上的硼涂层,其中所述硼涂层通过静电喷涂工艺施加含硼粉末,所述含硼粉末中超过75%的粒子的直径小于1微米,超过95%的粒子的直径小于3微米,且基本上所有粒子的粒径小于15微米,所述硼涂层的厚度为2-5微米;和
电连接器,其可操作地连接至所述中心结构,以用于传输所述中心结构采集的信号。
2. 如权利要求1所述的中子检测器,其中所述壁部分具有微特征,并且所述硼涂层符合所述壁部分上的所述微特征。
3. 如权利要求2所述的中子检测器,其中所述壁部分是所述外壳的一部分。
4. 如权利要求2所述的中子检测器,其中所述硼涂层的厚度为3-4微米。
5. 如权利要求2所述的中子检测器,其中所述硼涂层包括97wt%的最低总硼含量和相对于总硼含量为98wt%的 ^{10}B 同位素最低比例。
6. 如权利要求2所述的中子检测器,其中所述硼涂层包括与硼共混的一定量的可溶性残余物,该量为少于 7.00×10^{-4} 克可溶性残余物每克硼。
7. 如权利要求2所述的中子检测器,其中所述内部体积中包括至少一种气体。
8. 如权利要求2所述的中子检测器,其中所述壁部分是圆柱体。
9. 如权利要求2所述的中子检测器,其进一步包括粘合剂,以提高所述硼涂层对所述壁的粘附。
10. 一种中子检测器,其包括:
界定内部体积的外壳;
至少壁部分,所述壁部分起阴极作用并具有微特征;
位于所述内部体积内并起阳极作用的中心结构;
在所述壁部分上的硼涂层,所述硼涂层符合所述壁部分上的微特征并具有2-5微米的厚度,其中形成所述硼涂层的含硼粉末中超过75%的粒子的直径小于1微米,超过95%的粒子的直径小于3微米,且基本上所有粒子的粒径小于15微米;和
电连接器,其可操作地连接至所述中心结构,以用于传输所述中心结构采集的信号。
11. 如权利要求10所述的中子检测器,其中所述壁部分是所述外壳的一部分。
12. 如权利要求10所述的中子检测器,其中所述硼涂层的厚度是3-4微米。
13. 如权利要求10所述的中子检测器,其中所述硼涂层包括97wt%的最低总硼含量和相对于总硼含量为98wt%的 ^{10}B 同位素最低比例。
14. 一种在中子检测器的表面上沉积硼涂层的方法,其包括:
提供所述中子检测器的导电表面;和
用含硼粉末静电喷涂所述中子检测器的所述导电表面,在所述中子检测器的所述导电表面上形成硼涂层,所述含硼粉末中超过75%的粒子的直径小于1微米,超过95%的粒子的直径小于3微米,且基本上所有粒子的粒径小于15微米,所述硼涂层的厚度为2-5微米。
15. 如权利要求14所述的方法,其中提供所述中子检测器的导电表面的步骤包括提供所述导电表面以使所述导电表面上具有微特征,并且所述用含硼粉末静电喷涂所述中子检

测器的所述导电表面的步骤使得在所述导电表面上形成符合位于所述导电表面上的所述微特征的硼涂层。

16. 如权利要求15所述的方法,其进一步包括向所述导电表面施加粘合剂。

17. 如权利要求15所述的方法,其中所述硼涂层的厚度为3-4微米。

18. 如权利要求15所述的方法,其中所述含硼粉末包括97wt%的最低总硼含量和相对于总硼含量为98wt%的¹⁰B同位素最低比例。

用于中子检测器的含硼涂层

技术领域

[0001] 本发明涉及用于中子检测器的硼涂层,特别地,涉及用于中子检测器的硼涂层的静电喷涂应用。

背景技术

[0002] 管状中子检测器可以包括硼涂层,以使其与通过的中子相互反应并向封闭体积(enclosed volume)释放带电粒子以生成电信号。中子检测器的最佳性能可取决于几个因素,包括:在所述中子检测器长度上的较薄且均匀的硼涂层,极低痕量的其他元素和化合物,以及在总的硼涂层含量中特殊硼同位素的比例。

[0003] 之前已知的在中子检测器的表面上沉积硼的方法可以在所述中子检测器的长度上形成不规则厚度的硼涂层。由于所述检测器表面的微特征周围的毛细管作用,这些上述方法可造成硼涂层具有不希望的空隙。其他已知的方法包括使用粘合剂将硼粘附至所述中子检测器,这会引入能干扰中子检测的杂质。此外,某些之前已知的在中子检测器的表面上沉积硼的方法比较昂贵。因此,需要一种优化的硼施加工艺,在中子检测器长度上形成较薄且均匀的硼涂层,该硼涂层具有极低痕量的其他元素和化合物。

发明内容

[0004] 以下概述呈现简化的概述,以提供对本文所讨论的系统 and/或方法的某些方面的基本理解。该概述并不是对本文所讨论的系统 and/或方法的宽泛综述。其不是旨在确定关键的/决定性的要素,或者旨在划定这类系统和/或方法的范围。其唯一的目的是以一种简化的形式提出一些概念,作为在稍后部分给出的更加详细的描述的铺垫。

[0005] 一方面,本发明提供一种中子检测器,其包括界定内部体积的外壳。所述中子检测器包括至少壁部分(at least a wall portion),所述壁部分起阴极作用。在一个实例中,所述壁部分具有微特征。所述中子检测器包括位于所述内部体积内并起阳极作用的中心结构。所述中子检测器包括在所述壁部分上的硼涂层,其中所述硼涂层通过静电喷涂工艺施加。在一个实例中,所述硼涂层符合(conform)所述壁部分上的微特征。所述中子检测器包括电连接器,其可操作地连接至所述中心结构,以传输所述中心结构采集的信号。

[0006] 另一方面,本发明提供一种中子检测器,其包括界定内部体积的外壳。所述中子检测器包括至少壁部分,所述壁部分起阴极作用并具有微特征。所述中子检测器包括位于所述内部体积内并起阳极作用的中心结构。所述中子检测器包括在所述壁部分上的硼涂层。所述硼涂层符合所述壁部分上的微特征并具有2-5微米的厚度。所述中子检测器包括电连接器,其可操作地连接至所述中心结构,以传输所述中心结构采集的信号。

[0007] 再一方面,本发明提供在中子检测器的表面上沉积硼涂层的方法。所述方法包括提供所述中子检测器的导电表面。在一个实例中,所述壁部分具有微特征。所述方法包括用含硼粉末静电喷涂所述中子检测器的所述导电表面,以在所述中子检测器的所述导电表面上形成硼涂层。在一个实例中,所述硼涂层符合位于所述中子检测器的所述导电表面上的

微特征。

附图说明

[0008] 通过阅读以下描述并参考所附的附图,本发明相关领域技术人员将明白本发明的上述及其它方面。在附图中,

[0009] 图1是根据本发明的一个方面的示例性中子检测器的示意图,所述中子检测器具有硼涂层;

[0010] 图2是根据本发明的一个方面的硼沉积过程中图1中的所述示例性中子检测器的一部分的截面图;

[0011] 图3是根据本发明的一个方面的硼沉积过程中图1中的所述示例性中子检测器的一部分的截面图,其包含粘合剂;和

[0012] 图4是根据本发明的一个方面的在中子检测器的表面上沉积硼涂层的示例性方法的流程图。

具体实施方式

[0013] 在附图中描述和说明了结合本发明的一个或多个方面的示例性实施方案。这些举例说明的实例并非旨在对本发明的限制。例如,本发明的一个或多个方面可以在其他实施方案甚至其他类型的设备中使用。而且,在此使用的某些术语仅仅是为了方便,而不能视为对本发明的限制。进一步地,附图中相同的附图标记用于指明相同的元件。

[0014] 图1中大致示出了示例性中子检测器10的示意图。必须理解的是,图1示出了具有可能结构/配置/等等的一个实例,而本发明的范围内也预期包括其他的实例。在一个具体实例中,所述中子检测器10用于检测通过的中子,例如通过观察在由中子诱发的核反应中释放的带电粒子。中子检测器10可以用于多种应用中,例如用于废核燃料的辐射监测或用于国土安全应用。

[0015] 所述中子检测器10可包括外壳20。所述外壳20可以具有环形截面,形成圆柱形的外壳20,当然也可以预期其他的截面形状。所述外壳20可包括界定内部体积50的壁30和两个端40,所述内部体积50中可含有气体。所述壁30只是壁部分30的一个实例。必须理解的是,所述壁部分可以是壁的全部或部分,或任何其他结构,该结构具有电连接至所述外壳20的壁表面。

[0016] 在电路中,所述外壳20可起阴极作用。绝缘体52可位于所述外壳20的所述两个端40上,以固定中心结构54到合适位置,并防止带电粒子在所述中心结构54和所述外壳20之间经由直接接触而通过。所述中心结构54可大致位于所述外壳20的中心轴线附近。所述中心结构54可具有与电线类似的比例,并能在电路中起阳极作用。硼涂层60覆盖所述壁30的内表面。所述中子检测器10还包括安装在所述绝缘体52之一上的电连接器61,用于传输所述中心结构54采集的信号。

[0017] 参考图2,所述硼涂层60通过静电喷涂应用,也即电涂,施加至所述壁30的所述内表面。必须理解的是,图2和3中示出的组成所述硼涂层60的粒子只是用于说明目的,而并非表示实际的粒子大小或标度尺寸,因此不应用于相对确定尺寸(例如,粒径可能被夸大了)。另外,所述粒子的形状只是含硼粉末粒子的球形表示。所述含硼粉末粒子可以包括不规则

的形状和分布(profile)。静电喷涂应用包括在载体流体中流化硼或含硼粉末62的小粒子。载体流体的实例包括压缩气体如空气,氮气,氩气以及本领域已知的其他气体。将流化粒子穿过雾化器并静电充电。所述静电充电可以通过从高压电极电晕放电或本领域已知的任何其他使粒子带电的方法而摩擦生电地发生。所述静电喷涂操作可包括使用本领域已知的标准的静电喷枪66。所述流化粒子被喷涂至导电表面,所述导电表面可以是所述中子检测器10的所述外壳20的所述壁30的内表面。所述静电喷枪66可以移动通过所述内部体积50,抵达所述导电表面的整个区域。所述导电表面的实例包括但不限于金属,具有金属化沉积层的非金属,和加热的玻璃。在静电喷涂过程期间,所述导电表面电接地,由此在所述导电表面和所述含硼粉末62的静电充电的流化粒子之间提供电吸引力(或吸附力)。

[0018] 在静电喷涂施加所述含硼粉末62的所述流化粒子时,静电镜像力(electrostatic image force)将所述流化粒子附着至所述导体表面上,并且每当带电体靠近导体时都会出现静电镜像力。在平衡时,导体中可没有电场。因此,电荷移动至它的表面以屏蔽任何外部电荷的场在外。在导体外面,这种表面电荷的效果与当移开所述导体并用所述外部带电体的一个相等且相对的镜像替换所述导体时产生的效果相同。所述带电流化粒子与导体中它们的“镜像”之间的吸引力使流化粒子的涂层保持在合适位置。所述静电镜像力是紧接着所述流化粒子的静电沉积之后的主要粘附力。一般这些力会在较短时帧内消失,有时持续几分钟至几小时。

[0019] 在所述静电镜像力消失之后,有三种粘附力具有足够量值和程度,从而将静电沉积的流化粒子最终附着至所述导电表面上。这些力是静电接触有势力,范德华力,和毛细作用力。静电接触有势力将所述流化粒子导向并附着至所述导电表面,并且在静电镜像力消失之后,这些静电力依然是主要的粘附力。所述流化粒子上电荷的信号使得来自该附着机构的库仑力建设性地增加至由使所述流化粒子带电的摩擦和电晕充电方法二者产生的力。所述静电接触有势力只施加至相互接触的不同材料。因此,它有助于涂层粘附至所述导电表面,而不能有助于所述流化粒子彼此之间的内聚力。当静电喷涂设备不再产生电场时或当所述导电表面被移走以用于随后的处理时,所述静电接触有势力消失。

[0020] 范德华力同样有助于将所述流化粒子附着至所述导体表面。在物体间紧密接触的任何系统中,范德华力可以存在。尽管这些力的量值在某种程度上取决于所选择的流化粒子(例如,含硼化合物),但是一般地,只要所述粒子足够小,并且所述硼涂层60如此形成,以在粒子之间提供大量密切的接触,则该量值通常足够高,从而将所述流化粒子适当附着至所述导体表面。对于密切接触的流化粒子来说,范德华力可以非常大,但是这种力只在实际接触区域内有效。

[0021] 毛细作用力同样有助于将所述流化粒子附着至所述导体表面。在两个流化粒子之间或流化粒子与所述导电表面之间的接触区域中液体的存在能大大影响粘附力。毛细作用力的量级可比所描述的其他粘附力更大。因此,有时使用通入蒸汽操作,以便暂时改善静电沉积涂层的粘附。当水分蒸发后,所述毛细作用力消失。尽管如此,通常会由于在存在毛细作用力时接触区域内的局部小粒子重排或增加,产生有益的残留粘附增加。

[0022] 参考图3,如果所述的粘附力未在所述流化粒子和所述导电表面之间提供所需粘附,则可在此过程中加入粉末或液体形式的添加剂或粘合剂70。这些粘合剂70一般是可以热固化的聚合物,或在溶剂蒸发后会固化的溶剂化聚合物。但是,添加剂或粘合剂70并不是

必须存在的。

[0023] 四种参数已被确定会显著影响所述硼或含硼粉末的静电喷涂沉积: 粒径, 粒子导电率, 湿度和喷涂设备的高压设置。粒径对所述硼涂层60的形成有强烈的影响。单个粒子上的饱和电荷随着所述粒子半径的平方 (r^2) 变化。因为涂层每单位厚度的粒子数随着粒子半径的立方的倒数 ($1/r^3$) 变化, 所述涂层上的电荷与粒子半径的倒数 ($1/r$) 成比例。因此, 粒径越小, 则电荷越高并且静电粘附越好。

[0024] 由于与粒子末端速度 (terminal velocity) 有关, 粒径同样会影响所述硼或含硼粉末的所得静电喷涂沉积。所述流化粒子的末端速度与粒子半径直接成比例。尺寸越小, 粒子相对于所述静电喷涂雾化器的载体流体的速度则越低, 因此沉积速率也越低。另外, 如果所述流化粒子可变形, 那么较低的粒子速度将引起其与导电表面碰撞后的弹性变形较少, 产生在某种程度上弱于可能的范德华吸附力。

[0025] 粒径会进一步影响所述硼涂层60的厚度尺度。撞击所述导电表面的第一流化粒子通过它们的镜像力吸引至所述导电表面, 所述镜像力等于粒子电荷的平方除以粒子半径的平方的四倍 ($q^2/4r^2$)。在大多数情况下, 沉积的粒子会慢慢地失去其电荷, 并且接下来的每一层都会增加表面电势。最终, 在某一极限硼涂层60厚度, 所述导电表面上将不再发生沉积。任何试图超过该临界厚度的努力都会使表面电势超过所述层的介电强度, 由此导致局部放电, 并且大部分电荷将泄漏至所述导电表面。由于没有足够的粘附力以将粒子保持在位于涂层表面上, 任何试图向所述导电表面电喷涂额外的含硼粉末62的努力都将导致那些额外的流化粒子从涂层掉落。所述极限涂层厚度取决于粒径, 较小的粒径通常导致极限涂层厚度变小。在一个实例中, 所述限制性的涂层厚度可以是约25微米。

[0026] 粒子导电率是能显著影响所述硼或含硼粉末的所得静电喷涂沉积的另一因素。对于呈现的导电率大于约 10^{-8} 西门子厘米⁻¹ (Scm^{-1}) 的流化粒子来说, 摩擦电充电极小, 而晕电荷快速流失至所述导电表面, 降低粉末与所述导电表面之间的粘附。对于呈现的导电率更高的流化粒子来说, 可从导电表面获得电荷, 而该粉末则会趋向于将自身从所述导体表面排斥。对于呈现的导电率低于约 10^{-12} 至 10^{-14} Scm^{-1} 的粉末来说, 由于在沉积期间不能通过收集表面 (collecting surface) 来中和电荷, 沉积的效率会受到影响。低导电率的流化粒子趋向于在所述外部粉末层和所述导电表面之间产生电压梯度, 可超过空气的火花击穿电压, 并导致出现被称作为“反电晕坑洞 (back-corona cratering)”或“电压孔”的情形。局部击穿会产生相反荷电的离子, 这会中和所述粉末的电荷并在沉积的粉末中形成坑洞。在静电喷涂沉积应用中, 流化粒子导电率是粉末沉积效率中的重要因素。调节静电沉积环境的温度或湿度可以有益地改变粉末导电率。一般的调节剂可包括但不限于水蒸气, 三乙胺, H_2SO_4 , SO_2 , NaCl 和 NaOH 。

[0027] 静电沉积环境的湿度是能显著影响所述硼或含硼粉末的所得静电喷涂沉积的又一因素。存在可施加于所述静电喷涂设备和所述导电表面之间的最大电压。如果超出该最大电压, 将会出现空气的火花击穿。一般地, 在恒温下, 在较高湿度水平下施加的最大电压可增大。因此, 湿度越高, 能用于静电沉积应用的可用的充电和驱动电压也越高。但是, 如果湿度过高以至于湿气实际上在所述静电喷涂设备上凝结, 那么将出现其他漏压路径。此外, 如果粉末呈现的导电率高, 高湿度会对粉末充电过程产生负面影响。湿度同样在上述的毛细作用力中起到了重要的作用。

[0028] 静电喷涂设备的高压设置是能显著影响所述硼或含硼粉末的所得静电喷涂沉积的又一因素。粒子的最大电荷与所述静电喷涂设备的高压设置有直接的关系。如此,所述静电喷涂设备的电压量值的增加会导致所述粉末涂层厚度增加,这是因为粉末粒子的电荷量值增加并且在所述静电喷涂设备的电极上形成了更密集的粉末粒子云。所得粉末涂层厚度的增加,通过允许更快的静电喷涂设备线速度和更少的施加次数以获得期望的硼涂层60厚度,得到所述导电表面的更有效的硼粉末涂层。

[0029] 静电喷涂含硼粉末62以在中子检测器10的内表面上形成硼涂层60,能提供均匀地符合所述导电表面的表面特征的额外好处。在所述导电表面的面上可能出现诸如突起和凹陷的微特征,这些微特征可能通过一般的硼涂层施加而不充分地覆盖。例如,一种硼涂层施加方法包括将所述导电表面浸入硼或硼化合物的水基分散体中。水分子的毛细作用会阻碍所述硼或硼化合物均匀地覆盖所述导电表面的微特征。某些对中子检测器的硼涂层施加可包括将硼涂层以浆料施加至圆柱体的内部。在接下来的干燥操作中,因为在完全干燥之前浆料会流动,因此重力可影响所述硼涂层的厚度。静电喷涂施加所述含硼粉末62能消除由重力对含硼粉末浆料的不良效果。例如,可以将圆柱形的中子检测器部件悬挂起来,使得圆柱体的轴线处于垂直方向,从而干燥涂敷内径的浆料。然后,重力会自然而然地将浆料往下拉并使其穿过所述圆柱体,从而在所述圆柱体的长度上形成不均匀的硼涂层和可变内径。在该干燥方法后,所述硼涂层的可变内径通常在圆柱体的顶部比较薄而在圆柱体的底部比较厚。在圆柱体较长时,这可能是非常严重的问题。备选地,静电喷涂施加将所述含硼粉末62的静电吸引力直接提供至所述导电表面的面的所有区域,包括任何出现的诸如局部突起和凹陷的微特征。这使得在所述圆柱体的内径上形成了更好的、首尾相连的涂层一致性。

[0030] 必须理解的是,所述含硼粉末62可以包括纯硼、硼化合物或包含硼的混合物。所述含硼粉末62也可以包括特定比例的天然存在的硼同位素。例如,总的硼含量最低可以是约97wt%,而相对于总的硼含量,同位素¹⁰B的比例最低可以是约98wt%。硼有两种天然存在的同位素,¹⁰B和¹¹B,其通常以约20%的¹⁰B和约80%的¹¹B的比例存在。在普通环境下,当与自由中子相互作用时,这两种同位素的反应截然不同。理想地,进入所述中子检测器10的中子被¹⁰B吸收,然后¹⁰B释放能引起粒子相互作用的级联的带电粒子,随后所述带电粒子与所述中子检测器10的中心结构54阳极部分相互作用(最好参考图1)。通常的中子检测器依靠这些释放的带电粒子以及其它所产生的粒子相互作用的级联,形成表示检测到的中子或中子团的信号。但是,同位素¹¹B简单地吸收中子而不释放其他带电粒子,这使得在中子检测应用中¹¹B无效。这两种天然存在的硼同位素在中子吸收行为上的差别意味着同位素¹⁰B占总硼含量的比例大致上等于所述中子检测器10的效率。例如,如果硼涂层60包含92%的¹⁰B和8%的¹¹B,那么所述中子检测器10在所述涂敷区域上就是92%有效(不考虑涂层中的少量杂质)。因此,希望在所述含硼粉末62中形成的¹⁰B同位素占总硼含量的比例是实际上能得到的最高比例。

[0031] 在一个实例中,所述含硼粉末62可以包括将硼原料喷射研磨至特定粒径而形成的晶态硼粒子。例如,超过约75%的粒子的直径小于约1微米,超过约95%的粒子的直径小于约3微米,并且基本上所有粒子的粒径小于约15微米。中子检测器10的最佳性能部分取决于施加至所述外壳20的所述中子检测器壁30的较薄的硼涂层60。理想地,进入所述中子检测器10的中子被硼吸收,然后硼释放能在所述内部体积50内引起粒子相互作用的级联的其他

带电粒子,随后所述带电粒子与所述中子检测器10的阳极部分相互作用。但是,如果施加的硼粉末比较厚,硼将会简单地吸收中子而不会释放其他带电粒子,并且变得“自陷(self-trapping)”,这使得中子检测器10无效。因此,期望获得一种粒径为直径约1微米的最佳硼粉末,以在所述中子检测器10的表面上形成较薄的涂层。对于用静电喷枪66的静电喷涂应用以及在其他沉积含硼粉末62以用于中子检测的方法中,使用大小为约1微米的硼粒子尤其有效。在中子检测器10中,期望的硼涂层60的厚度可为2-5微米厚,或者,3-4微米厚。

[0032] 由于静电粘附力每次在导电表面上沉积一层粉末,静电喷涂应用特别适合于向导电表面施加均匀且薄的涂层。例如,不会出现带电硼粒子施加不均匀的情况,这是因为由静电喷涂操作产生的粘附力会将粉末粒子导向对硼粒子施加最大吸引力的所述导电表面上的区域。这些对硼粒子施加最大吸引力的区域指的是那些没有硼粒子层覆盖所述导电表面的区域。另外的硼粒子将不会被吸引至或粘附至已经被硼粒子层覆盖的区域,而必定会首先导向没有硼粒子的区域。只有在整个所述导电表面的表面都被硼粒子覆盖以后,第二层硼才会被附着至先前沉积的硼粒子上。含硼粉末62的静电喷涂施加能在喷涂设备每次通过(pass)时沉积有效于中子检测的单个硼粒子层,当然,也可以预期喷涂设备的多次通过。

[0033] 在所述静电喷涂施加完成以后,所述导电表面和硼涂层60可以经历后续处理,以进一步将所述硼涂层60附着至所述导电表面,但是,这并不是必需的步骤。在一个实例中,所述导电表面和所述硼涂层60可以经过升温以便硼化所述导电表面,其中硼分子迁移至所述导电表面内。但是,在很多情况下,不经进一步处理,所述粘附力将充分使所述硼涂层60附着至所述壁30的内表面。在静电喷涂之后,也可以进行其他操作,包括进行湿气处理以除去所述硼涂层60和所述导电表面上任何不需要的静电电荷。

[0034] 在用于中子检测应用的含硼粉末62的一个实例中,与所述含硼粉末共混(comingle)的可溶性残余物为少于 7.00×10^{-4} 克可溶性残余物每克硼。可溶性残余物的一个实例是有机污染物。必须理解的是,术语“有机”是一个宽泛的分类。在一个部分中,所述分类包括含有碳成分的材料。所述有机污染物可以在喷射研磨过程中从诸如空气压缩机油、喷射式粉碎机内部使用的聚合内衬材料的粒子以及用于将聚合内衬材料附着至喷射式粉碎机内壁的粘附材料的来源引入所述硼粉末。含硼粉末62的静电喷涂并不一定需要粘合剂70以将所述粉末附着至所述导电表面。因此,与一些之前已知的硼施加方法(例如在油中的硼粉末与基于橡胶粘合剂的分散体)相比,含硼粉末62的静电喷涂施加可以减少成品硼涂层60中的可溶性残余物的量。

[0035] 中子检测器10的最佳性能部分地取决于施加至所述中子检测器10的表面的所述硼粉末中的可溶性残余物的最低水平。例如有机污染物的可溶性残余物能够排气(outgas),这会将有机化合物引入所述中子检测器10的内部体积50中。在制造过程中,所述内部体积50中填充有特殊配方的气体以使所述中子检测器10有效操作。排气形成的所述有机化合物会污染该特殊配方的气体,并且会降低所述中子检测器10的有效操作。因此,特别期望一种含硼粉末62以用于中子检测应用,其中相对于每克硼含有小于 7.00×10^{-4} 克可溶性残余物。

[0036] 在将硼涂层60施加至所述中子检测器壁30的过程中,含硼粉末的所述静电喷涂施加同样可不需要粘合剂70。静电喷涂操作可依靠压缩气体和电磁力将所述含硼粉末62推向导电表面并使该粉末附着至所述导电表面。电磁附着力可以用作将所述硼涂层60保持在所

述导电表面上所需的唯一的力。

[0037] 所述硼涂层60中与硼共混的化学元素和化合物会对中子检测器10的效率带来不良影响。从硼涂层施加过程中除去粘合剂70材料帮助限制所述硼涂层60中会降低所述中子检测器10效率的材料的量。伽马辐射能迫使除硼以外的材料向所述中子检测器10的内部体积50中排放带电粒子。继而,这些带电粒子能吸引至所述中子检测器10的中心结构54阳极上,由此产生假阳性中子检测信号。硼不受伽马辐射影响,并且不会由于与伽马辐射之间的相互作用而排放带电粒子并产生假阳性中子检测信号。因此,除去所述粘合剂70能得到更有效率的中子检测器10。此外,除去所述粘合剂70也帮助限制能与所述含硼粉末62共混的可溶性残余物的量。如前所述,所述中子检测器10的最佳性能部分地取决于施加至所述中子检测器10的导电表面上的所述含硼粉末62中可溶性残余物的最低水平。

[0038] 在有助于确保中子检测器10灵敏度一致的同时,含硼粉末62的静电喷涂同样能降低中子检测器10的制造成本。例如,含硼粉末62的静电喷涂可以在环境温度和环境下进行,因此消除了对所述硼涂层的施加保持特殊环境的成本。含硼粉末62的静电喷涂也可以在少量或没有覆盖气体的情况下进行,消除了特殊环境的成本。由于在制造过程中消除了这些变量,也有助于在中子检测器10灵敏度水平中确保可重复、可再现的结果。与其他诸如真空沉积之类的含硼粉末施加技术的方法相比,硼涂层60的静电喷涂施加能降低中子检测器10的生产成本。

[0039] 通过将接近于会在最终产品的所述导电表面上保留的含硼粉末62实际量的量的含硼粉末62施加至所述导电表面上,含硼粉末62的静电喷涂还能减少在所述中子检测器10的生产过程中的废料量。相较而言,使用含硼粉末62的浆料并随后排出额外材料的方法有更多量的废料产品。

[0040] 与浆料施加相比,含硼粉末62的静电喷涂的另一个优点是降低了在施加之前与所述硼材料的存储有关的成本和努力。使用静电喷涂含硼粉末62的中子检测器10的制造操作包括存储干的硼粉末。或者,之前已知的硼的浆料施加包括存储含硼液体。这些液体会在存储和制造过程中带来某些担心,例如所存储液体合适粘度的保持,霉菌生长,真菌生长,在额外施加至中子检测器10圆柱体时排出的液体的回收,所述液体的过滤,以及所述液体中凝聚体的最小化。含硼粉末62的存储和静电喷涂则不存在任何上述担心。

[0041] 此外,与基于浆料的施加相比,含硼粉末62的静电喷涂降低对硼分子氧化的担心。硼浆料中存在的水带来水分子离解的可能性,使得游离氧和硼分子结合。当氧化的硼分子包含在中子检测器10的硼涂层60中时,已经知道会降低所述中子检测器10的效率。

[0042] 图4大致描述了在中子检测器的导电表面上沉积硼涂层60的示例性方法。所述方法可以与图1所示的示例性中子检测器以及图2和3所示的流化粒子的施加相关地进行。所述方法包括提供所述中子检测器的导电表面的步骤110。所述导电表面可以由金属、具有金属化沉积层的非金属或经加热以改善导电率的玻璃制成。所述导电表面可以是圆柱体的内表面,当然,也可以预期其他具有内表面的几何形状。

[0043] 所述方法还包括将含硼粉末静电喷涂所述中子检测器的所述导电表面的步骤120。在静电喷涂过程中,所述导电表面电接地,由此在所述导电表面和所述含硼粉末的静电带电流化粒子之间提供电粘附力。所述粘附力将所述流化粒子结合至所述导电表面。获得的硼涂层60具有均匀施加至所述中子检测器的所述导电表面上的最佳厚度。此外,所述

硼涂层60符合位于所述中子检测器的所述导电表面上的任何存在的微特征。

[0044] 在所述方法的一个实例中,可以在静电喷涂所述含硼粉末的流化粒子的同时将粘合剂施加至所述导电表面。当静电粘附力强度不足以将硼涂层保持在所述导电表面上的合适位置时,这个额外的步骤是必不可少的。在所述方法的另一个实例中,所述硼涂层的均匀厚度为2至5微米。在所述方法的再一个实例中,所述硼涂层的均匀厚度为3至4微米。

[0045] 在所述方法的另一个实例中,所述含硼粉末包括约97wt%的最低总硼含量和相对于总硼含量为约98wt%的¹⁰B同位素最低比例。在所述方法的再一个实例中,所述含硼粉末包括与硼共混的一定量的可溶性残余物,该量为少于 7.00×10^{-4} 克可溶性残余物每克硼。

[0046] 已经参考上述示例性实施方案描述了本发明。通过阅读并理解说明书的内容,能够想到其它修改和变更。结合本发明的一个或多个方面的示例性实施方案旨在包括所有这样的修改和变更,只要这些修改和变更落在所附权利要求书的范围之内。

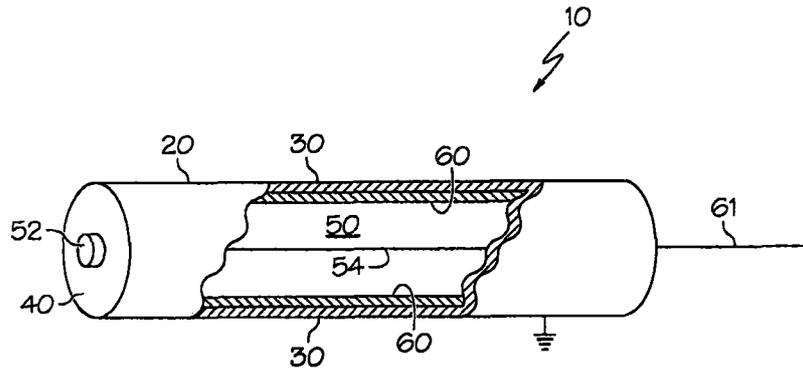


图1

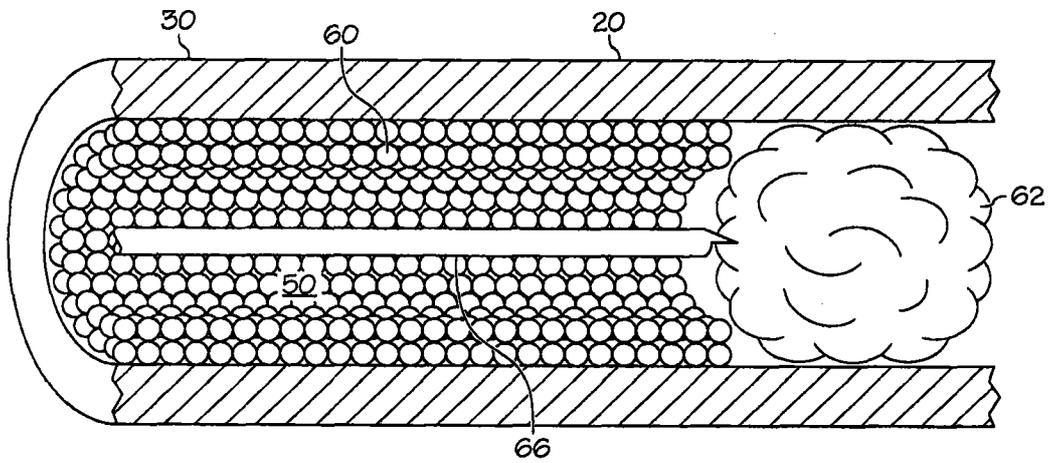


图2

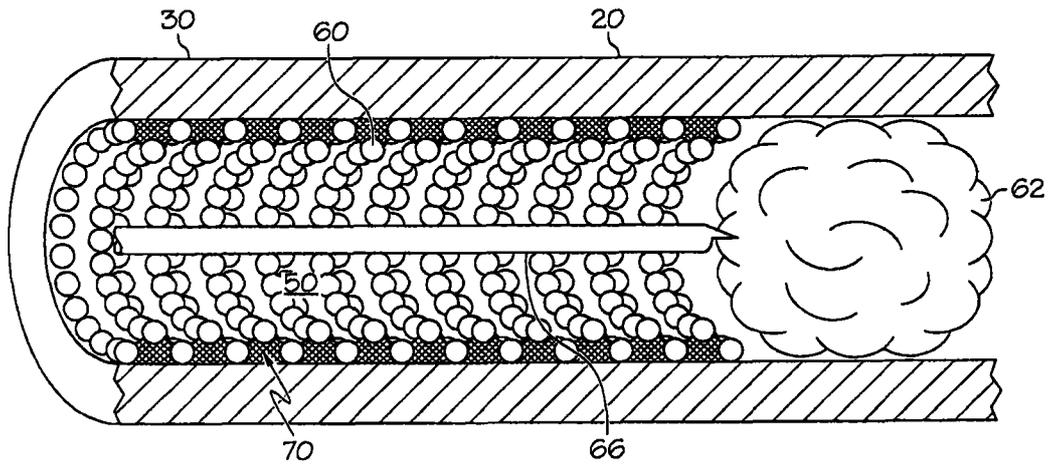


图3

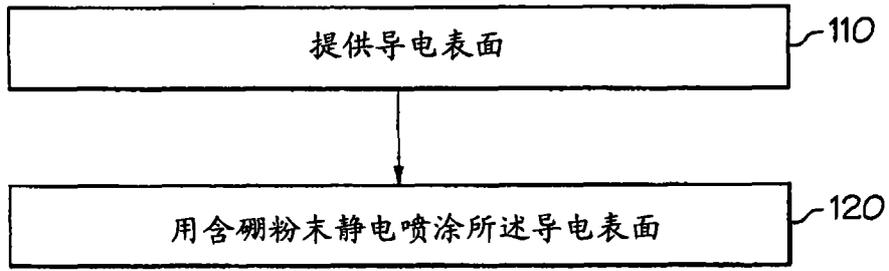


图4