

## (12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 201963668 U

(45) 授权公告日 2011. 09. 07

(21) 申请号 201020252352. 3

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

(22) 申请日 2010. 04. 06

(30) 优先权数据

61/166, 664 2009. 04. 03 US

61/166, 618 2009. 04. 03 US

(73) 专利权人 美铝公司

地址 美国宾夕法尼亚州

(72) 发明人 L·黑洛克 H·穆拉兹莫格鲁 L·曾

(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 11038

代理人 李帆

(51) Int. Cl.

F16B 13/06 (2006. 01)

F16J 15/02 (2006. 01)

C10M 125/02 (2006. 01)

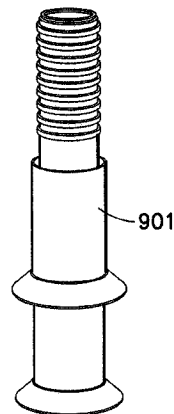
权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 22 页

(54) 实用新型名称

具有适配套筒的紧固件

(57) 摘要

本实用新型提供了一种具有适配套筒和销钉零件的套筒过盈紧固件,其中该适配套筒由至少一种具有硬度 X 的第一材料组成,其中该销钉零件由至少一种具有硬度 Y 的第二材料组成,其中 X 充分小于 Y,使得在安装位置,适配套筒的所述至少一种第一材料的至少一部分贴合于复合构件的孔的内表面的轮廓从而在复合构件的孔的内表面和该适配套筒之间的界面处产生连续电接触。本实用新型的套筒过盈紧固件在宏观和微观水平上均提供了良好的空隙填充及该套筒与构件的紧密接触。此外该过盈紧固件具有降低的跨界面电压降,其进而降低了由密封剂引起的绝缘效应,从而将套筒与复合板材之间发生电弧放电的可能性最小化或者消除。



1. 一种适于安装在复合构件的孔中的套筒过盈紧固件,其特征在于,该套筒过盈紧固件包括:

a.) 适配套筒,其具有在一端处的头部以及管状部分,其中该管状部分具有内径和外径,其中该管状部分的外径小于复合构件的孔的内径,且其中适配套筒由具有硬度 X 的第一材料组成;

b.) 销钉零件,其中该销钉零件至少具有在一端处的销钉头、在销钉头的相对端处的锁紧部分、以及两者之间的杆部分,其中位于销钉头下方的杆部分具有的直径大于适配套筒管状部分的内径,且其中销钉零件由具有硬度 Y 的第二材料组成;

c.) 其中 X 充分小于 Y,使得在安装位置,适配套筒的第一材料的至少一部分贴合于孔的内表面的轮廓从而在构件的孔的内表面和该适配套筒之间的界面处产生连续电接触;和

d.) 其中,在受到来自销钉零件的杆部分的压力时,该适配套筒适于在孔的内表面上径向膨胀从而在套筒的外径和复合构件的孔之间形成过盈配合从而提供安装位置。

2. 如权利要求 1 中所述的套筒过盈紧固件,其中 X 以洛氏硬度 B 标度计小于 100HRB。

3. 如权利要求 1 中所述的套筒过盈紧固件,其中当紧固件处于安装位置时孔的内表面具有密封剂。

4. 如权利要求 1 中所述的套筒过盈紧固件,其中为了便于销钉零件移动穿过适配套筒,该紧固件还含有润滑剂。

5. 如权利要求 4 中所述的套筒过盈紧固件,其中该润滑剂为导电固体膜材料。

6. 一种适于安装在复合构件的孔中的套筒过盈紧固件,其特征在于,该套筒过盈紧固件包括:

a.) 适配套筒,其具有在一端处的头部以及管状部分,其中该管状部分包含内基层和外涂层,其中该管状部分具有内径和外径,其中该管状部分的外径小于复合构件的孔的内径,其中该内基层由具有硬度 X 的第一材料组成;且其中该外涂层由具有硬度 Y 的第二材料组成;

b.) 销钉零件,其中该销钉零件至少具有在一端处的销钉头、在销钉头的相对端处的锁紧部分、以及两者之间的杆部分,其中位于销钉头下方的杆部分具有的直径大于适配套筒管状部分的内径,且其中销钉零件由具有硬度 Z 的第三材料组成;

c.) 其中 X 充分小于 Y 且其中 Z 等于或高于 X,使得在安装位置,该管状部分的外涂层的至少一部分贴合于孔的内表面的轮廓从而在复合构件的孔的内表面和适配套筒之间的界面处产生连续电接触;和

d.) 其中,在受到来自销钉零件的杆部分的压力时,该适配套筒适于在孔的内表面上径向膨胀从而在套筒的外径和复合构件的孔之间形成过盈配合从而提供安装位置。

7. 如权利要求 6 中所述的套筒过盈紧固件,其中所述外层是固定的固体涂层。

8. 如权利要求 7 中所述的套筒过盈紧固件,其中该固定的固体涂层由金属材料构成。

9. 如权利要求 8 中所述的套筒过盈紧固件,其中该金属材料为银、铝、金或镍。

10. 如权利要求 6 中所述的套筒过盈紧固件,其中 X 以洛氏硬度 B 标度计小于 100HRB。

11. 如权利要求 6 中所述的套筒过盈紧固件,其中当紧固件处于安装位置时孔的内表面具有密封剂。

12. 如权利要求 6 中所述的套筒过盈紧固件,其中为了便于销钉零件移动穿过适配套

筒,该紧固件还含有润滑剂。

13. 如权利要求 12 中所述的套筒过盈紧固件,其中该润滑剂为导电固体膜材料。

## 具有适配套筒的紧固件

### 技术领域

[0001] 本发明涉及过盈 (interference) 紧固件。

### 背景技术

[0002] 在某些申请中,过盈紧固件与其所放置在内的构件紧密接触。在一些申请中,需要在紧固件与构件之间存在最少数量的和 / 或小尺寸的空间或空隙,或者完全不存在空间与空隙。

[0003] 例如,在个体飞机上使用了大量的过盈紧固件和附带套筒。在飞机遭受雷击的情形中,如果紧固件 / 套筒未与该紧固件 / 套筒所插入的构件中孔的侧壁紧密接触,则由闪电引起的瞬间热能使紧固件 / 套筒与侧壁之间的空隙中的空气电离并产生以火花形式爆发的电弧等离子体。这对于飞机是非常危险的情况,特别是在火花发生在油箱附近的情况下。

[0004] 特别对于由复合材料例如碳纤维增强塑料制成的飞机结构部件,这些空隙可能会在复合材料中钻出紧固件孔的过程中产生。个体碳纤维以不规则的角度断裂并在紧固件 / 套筒与孔之间形成微空隙。由于切削工具随时间磨损,构件中的表面碎屑有所增多,其导致未切纤维或树脂量的增加以及分层,这也称为机加工致微纹理。

[0005] 当雷电击中复合构件的表面时,在通常用于连接构件的各种元件的金属紧固件周围电流密度趋于增大。这些电流通过避接到紧固件并通过该紧固件流向构件中的一些点可产生有害的点火源,其倾向于电弧放电。为了避免这种情况,该电流必须通过与紧固件孔垂直的碳纤维加以消散。如上所述,如果该紧固件未与孔的侧壁紧密接触,则瞬间热能使空隙中的空气电离并产生以火花形式爆发的电弧等离子体。

[0006] 另外,导电涂层用于很多应用例如电荷消散和射频干扰 (EMI/RFI) 屏蔽。直流导电性的值取决于具体应用。介电基材例如玻璃纤维构件与其它材料摩擦接触所积累的电荷能够产生很高的静电电压,该静电电压可能造成危险的放电火花。有效释放该电荷并防止火花所要求的表面电阻率通常相当低,为  $10^6-10^9 \Omega / \text{cm}^2$ 。

### 实用新型内容

[0007] 本实用新型所要解决的技术问题是提供一种套筒过盈紧固件,其能够降低跨界面的电压降以及由密封剂引起的介电效应,并因此将套筒与复合板材之间发生电弧的可能性最小化或者消除。

[0008] 在一些实施方案中,适于安装在复合构件的孔中的套筒过盈紧固件包括:a.) 适配套筒 (conformable sleeve),其具有在一端处的头部以及管状部分,其中该管状部分具有内径和外径,其中该管状部分的外径小于复合构件的孔的内径,且其中适配套筒由具有硬度 X 的第一材料组成;b.) 销钉零件,其中该销钉零件至少具有在一端处的销钉头、在销钉头的相对端处的锁紧部分、以及两者之间的杆部分,其中位于销钉头下方的杆部分具有的直径大于适配套筒的管状部分的内径,且其中销钉零件由具有硬度 Y 的第二材料组成;c.) 其中 X 充分小于 Y,使得在安装位置,适配套筒的第一材料的至少一部分贴合于孔的内

表面的轮廓从而在复合构件的孔的内表面和该适配套筒之间的界面处形成连续电接触；和 d.) 其中，在受到来自销钉零件的杆部分的压力时，该适配套筒适于在孔的内表面上径向膨胀以便在套筒的外径和复合构件的孔之间形成过盈配合从而提供安装位置。

[0009] 在一些实施方案中，适合于安装在复合构件的孔中的套筒过盈紧固件包括：a.) 适配套筒，其具有在一端处的头部以及管状部分，其中该管状部分包含内基层和外涂层，其中该管状部分具有内径和外径，其中该管状部分的外径小于复合构件的孔的内径，其中该内基层由具有硬度 X 的第一材料组成，且其中该外涂层由具有硬度 Y 的第二材料组成；b.) 销钉零件，其中该销钉零件至少具有在一端处的销钉头、在销钉头的相对端处的锁紧部分、以及两者之间的杆部分，其中位于销钉头下方的杆部分具有的直径大于适配套筒的管状部分的内径，且其中销钉零件由具有硬度 Z 的第三材料组成；c.) 其中 X 充分小于 Y 且其中 Z 等于或高于 X，使得在安装位置，该管状部分的外涂层的至少一部分贴合于孔的内表面的轮廓从而在复合构件的孔的内表面和该适配套筒之间的界面上产生连续电接触；和 d.) 其中，在受到来自销钉零件的杆部分的压力时，该适配套筒适于在孔的内表面上径向膨胀以便在套筒的外径和复合构件的孔之间形成过盈配合从而提供安装位置。

[0010] 在本发明的套筒过盈紧固件的一些实施方案中，该适配套筒的外层是固定的固体涂层。

[0011] 在本发明的套筒过盈紧固件的一些实施方案中，该固定的固体涂层由金属材料构成。

[0012] 在本发明的套筒过盈紧固件的一些实施方案中，该金属材料是 Ag、Al、Au 或 Ni。

[0013] 在另一个实施方案中，本发明的套筒过盈紧固件具有以洛氏硬度 B 标度计小于 100HRB 的硬度 X。

[0014] 在本发明的套筒过盈紧固件的另一个实施方案中，当该紧固件处于安装位置时孔的内表面具有密封剂。

[0015] 在本发明的套筒过盈紧固件的另一个实施方案中，在安装位置，适配套筒的至少一种第一材料擦去带入该孔的内表面的过量密封剂。

[0016] 在本发明的套筒过盈紧固件的一些实施方案中，在安装位置，对该适配套筒进行充分设计以避免界面处的火花。

[0017] 在本发明的套筒过盈紧固件的一些实施方案中，为了便于销钉零件移动穿过适配套筒，该紧固件在如下的至少一种上具有润滑剂：i) 管状部分的内表面，和 ii) 销钉零件杆部分。

[0018] 在本发明的套筒过盈紧固件的一些实施方案中，润滑剂为导电固体膜材料。

[0019] 在本发明的套筒过盈紧固件的一些其它实施方案中，对该润滑剂进行充分设计以实现 i) 溶解异质颗粒；ii) 传递异质颗粒；和 iii) 分散热量中的至少一种。

[0020] 本实用新型的套筒过盈紧固件在宏观和微观水平上均提供了良好的空隙填充及该套筒与构件的紧密接触。此外该套筒过盈紧固件具有降低的跨界面电压降，其进而降低了由密封剂引起的绝缘效应，从而将套筒与复合板材之间发生电弧放电的可能性最小化或者消除。

[0021] 附图说明

[0022] 图 1 显示了常规紧固件的套筒与复合构件之间的接触。

- [0023] 图 2 显示了图 1 所示的侧壁的放大图。
- [0024] 图 3 显示了常规紧固件的套筒与复合构件之间的接触。
- [0025] 图 4 显示了图 3 所示侧壁的放大图。
- [0026] 图 5 显示了复合构件中的典型孔的放大图。
- [0027] 图 6 显示了按照本发明制备的安装紧固件的套筒的实施方案的局部放大图。
- [0028] 图 7 显示了按照本发明制备的安装紧固件的套筒的实施方案的局部放大图。
- [0029] 图 8 显示了按照本发明制备的安装紧固件的套筒的实施方案的局部放大图。
- [0030] 图 9 显示了本发明的一个实施方案,该实施方案包括电镀有可变形、永久固定的金涂层的套筒 901。
- [0031] 图 10 显示了本发明的一个实施方案,该实施方案包括电镀有可变形、永久固定的银涂层的套筒 1001。
- [0032] 图 11 显示了本发明的一个实施方案,该实施方案包括电镀有可变形、永久固定的镍涂层的套筒 1101。
- [0033] 图 12 显示了本发明的一个实施方案,该实施方案包括具有通过使用离子气相沉积而成层的可变形、永久固定的铝涂层的套筒 1201。
- [0034] 图 13 显示了本发明的一个实施方案,该实施方案包括喷涂有可变形、永久固定的有机涂层的套筒 1301,所述有机涂层由碳纳米管制成。
- [0035] 图 14A 至 14D 显示了未使用本发明的典型火花事件之前和之后的实例。
- [0036] 图 15A 和 15B 显示了当使用本发明的一个实施方案时的典型火花事件之前和之后的实例,其中的显微照片和 EDS 能谱表明在板材的槽处没有残留材料沉积。
- [0037] 图 16 显示了按照本发明制备的安装紧固件的套筒的实施方案的局部放大图。
- [0038] 图 17A 和 17B 分别显示了未使用本发明时的火花事件之前和之后的实例;图 17C 和 17D 分别显示了使用本发明实施方案时的火花事件之前和之后的实例。
- [0039] 图 18 显示了典型火花事件后的孔表面的实例。
- [0040] 图 19 显示了当使用本发明的一个实施方案时在典型火花事件后的孔表面的实例。
- [0041] 图 20A 至 20E 显示了当使用本发明实施方案时火花事件的实例。
- [0042] 图 21 显示了未使用本发明时在雷击测试后的常规紧固件套筒的放大图。
- [0043] 图 22 显示了安装的常规紧固件的局部放大图。
- [0044] 图 23-26 显示了关于本发明一些实施方案的坐标图。
- [0045] 图 27A 至 27D 显示了本发明一些实施方案的放大图。
- [0046] 图 28A 至 28C 显示了本发明一些其它实施方案的放大图。
- [0047] 图 29 显示了关于本发明一些实施方案的坐标图。
- [0048] 结合附图,将从下面的描述清楚那些已经公开的益处和改进,以及本发明的其它目标和优势。所述附图构成本说明书的一部分且包含本发明的说明性实施方案并说明其各种目的和特征。

### 具体实施方式

- [0049] 本申请要求 2009 年 4 月 3 日提交、题为“CONFORMING SLEEVES FOR FASTENERS”

的美国临时申请 61/166,664 和 2009 年 4 月 3 日提交、题为“CONDUCTIVE SOLID FILM MATERIAL”的美国临时申请 61/166,618 的权益,在此出于所有目的通过引用将它们整体并入本文。

[0050] 本文对本发明的详细实施方案进行了公开;然而应理解,所公开的实施方案对于本发明仅仅是说明性的,本发明可以按不同的形式实施。另外,所给出的与本发明多种实施方案相联系的每一实施例意欲为说明性而非限定性的。此外,这些附图不一定是按比例,为了显示特定部件的细节可能对一些特征进行了放大。另外,在附图中显示的任何量度、规范等意欲为说明性而非限定性的。因此,本文公开的特定结构和功能性细节不应被理解为是限定性的,而仅仅是用于教导本领域技术人员以各种方式实施本发明的代表性基础。

[0051] 本发明的一个实施方案是带套筒的紧固件,其包含芯部销钉和适配套筒。对该套筒进行设计以贴合到材料(例如复合材料)中所钻出的紧固件孔中所固有的机加工致微纹理。这允许该套筒在紧固件安装期间擦去过量的夹带密封剂,同时使该套筒与构件紧密接触。

[0052] 该适配套筒可以通过不同的方式获得,一些方式更适合于特定的构件。

[0053] 在一些实施方案中,适于安装在复合构件的孔中的套筒过盈紧固件包括:a.) 适配套筒,其具有在一端处的头部以及管状部分,其中该管状部分具有内径和外径,其中该管状部分的外径小于复合构件的孔的内径,且其中适配套筒由至少一种具有硬度 X 的第一材料组成;b.) 销钉零件,其中该销钉零件至少具有在一端处的销钉头、在销钉头的相对端处的锁紧部分、以及两者之间的杆部分,其中位于销钉头下方的杆部分具有的直径大于适配套筒管状部分的内径,且其中销钉零件由至少一种具有硬度 Y 的第二材料组成;c.) 其中 X 充分小于 Y,使得在安装位置,适配套筒的至少一种第一材料的至少一部分贴合于孔的内表面的轮廓从而在复合构件的孔的内表面和该适配套筒之间的界面上产生连续电接触;和 d.) 其中,在受到来自销钉零件的杆部分的压力时,该适配套筒适于在孔的内表面上径向膨胀以便在套筒的外径和复合构件的孔之间形成过盈配合从而提供安装位置。

[0054] 在一个实施方案中,适配套筒材料的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 B 标度计约为或小于 100HRB(或者以洛氏硬度 C 标度计 25HRC)。在一个实施方案中,适配套筒材料的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 B 标度计约为或小于 90HRB(或者以洛氏硬度 C 标度计 9HRC)。在一个实施方案中,适配套筒材料的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 B 标度计约为 35-100HRB 的值。在一个实施方案中,适配套筒材料的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 B 标度计约为或小于 80HRB(或者以洛氏硬度 C 标度计 0HRC)。在一个实施方案中,适配套筒材料的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 B 标度计约为或小于 70HRB。在一个实施方案中,适配套筒材料的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 B 标度计约为 35-80HRB 的值。在一个实施方案中,适配套筒材料的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 B 标度计约为 50-100HRB 的值。在一个实施方案中,适配套筒材料的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 B 标度计约为 60-100HRB。

[0055] 在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标度计约为或大于 30HRC。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标度计约为或大于 40HRC。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标度计约为 25-60HRC。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标度计约为或大于 50HRC。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标

度计约为或小于 70HRC。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标度计约为 40-70HRC。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标度计约为 30-50HRC。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标度计约为或小于 25HRC(或以洛氏硬度 B 标度计 100HRB)但仍显著大于适配套筒材料的组成所具有的硬度 X,以保持该销钉在安装过程中迫使该套筒膨胀并与孔形成过盈配合的能力。

[0056] 在一些实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标度计为 RC35 或更大且该适配套筒材料的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 C 标度计为 25HRC 或更小。

[0057] 在一些实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标度计可比该适配套筒的组成具有的硬度 X 高约 5HRC(或者以洛氏硬度 B 标度计 5HRB)。在一些实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标度计可比该适配套筒材料的组成具有的硬度 X 高约 10HRC(或者以洛氏硬度 B 标度计 10HRB)。在一些实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标度计可比该适配套筒材料的组成具有的硬度 X 高约 20HRC(或者以洛氏硬度 B 标度计 20HRB)。在一些实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 C 标度计可比该适配套筒材料的组成具有的硬度 X 高约 1-40HRC 或者以洛氏硬度 B 标度计高约 1-40HRB。

[0058] 在一个实施方案中,当套筒贴合到该构件的孔的轮廓时,该适配套筒的材料变形以填充套筒与构件之间的空隙。在实施方案中,该适配套筒是由各种镍合金或具有相似物理特性的材料制成。在实施方案中,该适配套筒是由 A286 不锈钢合金制成,其以洛氏硬度 B 标度计具有 85HRB 的硬度。在一个实施方案中,该适配套筒的组成具有约为或大于 20% IACS(国际退火铜标准)的导电性。在一个实施方案中,该适配套筒的组成具有约为或大于 30% IACS(国际退火铜标准)的导电性。在一个实施方案中,该适配套筒的组成具有约为或大于 50% IACS(国际退火铜标准)的导电性。在一个实施方案中,该适配套筒的组成具有约为或大于 70% IACS(国际退火铜标准)的导电性。在一个实施方案中,该适配套筒的组成具有约为或大于 90% IACS(国际退火铜标准)的导电性。在一个实施方案中,该适配套筒的组成具有约为或大于 100% IACS(国际退火铜标准)的导电性。

[0059] 在一个实施方案中,使具有大于适配套筒内径的直径的芯部销钉移动穿过该适配套筒致使该套筒变形并且该套筒的外径贴合到在对复合材料钻孔期间产生的小空隙中。在一个实施方案中,该销钉可由 Ti-6Al-4V 合金或具有相似物理特性的材料制成。

[0060] 在包括于安装之前将密封剂施加到孔的内表面的应用中,当适配套筒变形进入空隙中时,其取代了夹带的密封剂。因此,在紧固件安装期间该适配套筒擦去过量的夹带密封剂,同时使该套筒与该复合构件形成了紧密电接触。出于对本发明进行说明的目的,术语“密封剂”意指粘性材料,其硬度值充分低于该套筒材料的值 X 使得在紧固件安装期间该适配套筒材料能够从该孔表面的空隙中取代密封剂。在一些实施方案中,该密封剂由非金属组合物组成。

[0061] 在一个实施方案中,适合于安装在复合构件的孔中的套筒过盈紧固件包括:a.) 适配套筒,其具有在一端处的头部以及管状部分,其中该管状部分包含内基层和外涂层,其中该管状部分具有内径和外径,其中该管状部分的外径小于复合构件的孔内径,其中该内基层由至少一种具有硬度 X 的第一材料组成;且其中该外涂覆层由至少一种具有硬度 Y 的

第二材料组成 ;b.) 销钉零件,其中该销钉零件至少具有在一端处的销钉头、在销钉头的相对端处的锁紧部分、以及两者之间的杆部分,其中位于销钉头下方的杆部分具有大于适配套筒管状部分内径的直径,且其中销钉零件由至少一种具有硬度 Z 的第三材料组成 ;c.) 其中 X 充分小于 Y 且其中 Z 等于或高于 X,使得在安装位置,该管状部分的外涂层的至少一部分贴合于孔的内表面轮廓从而在复合构件的孔的内表面和该适配套筒之间的界面上产生连续电接触 ;和 d.) 其中,在受到来自销钉零件的杆部分的压力时,该适配套筒适于在孔的内表面上径向膨胀以便在套筒的外径和复合构件的孔之间形成过盈配合从而提供安装位置。

[0062] 涂层是通常旨在改进基础材料(通常称为基材)的表面性能而对物体所施加的覆盖物。这样的表面性能可特别包括:外观、粘附性、润湿性、抗腐蚀性、耐磨性和刮擦性。涂层可以按液体、气体或者固体形式施加。在本发明的实施方案中,在将适配紧固件安装到例如由复合材料制成的工件的孔中时,外涂覆层保持充分地贴附在该套筒的内基层上。

[0063] 在该实施方案中,该内基层具备高的硬度性能和低的展性或者延展性。在实施方案中,该内基层可由不锈钢或具有相似硬度性能的材料制成。在另一个实施方案中,该外涂覆层具有低的硬度性能和高的展性或者延展性。

[0064] 在一个实施方案中,该套筒的内基层的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 C 标度计约为或大于 25HRC。在一个实施方案中,该套筒的内基层的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 C 标度计约为或大于 30HRC。在一个实施方案中,该套筒内基层的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 C 标度计约为 25-50HRC 的值。在一个实施方案中,该套筒内基层的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 C 标度计约为或大于 40HRC。在一个实施方案中,该套筒内基层的组成具有硬度 X, X 以洛氏硬度 C 标度计约为或小于 60HRC。

[0065] 在一个实施方案中,该套筒的外涂覆层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为或小于 100HRB(或以洛氏硬度 C 标度计约 25HRC)。在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为或小于 90HRB。在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为 35-100HRB。在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为或小于 80HRB。在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为或小于 70HRB。在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为 35-80HRB。在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为 50-100HRB。在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为 60-100HRB。

[0066] 在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Z, Z 以洛氏硬度 C 标度计约为或大于 25HRC。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Z, Z 以洛氏硬度 C 标度计约为或大于 40HRC。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Z, Z 以洛氏硬度 C 标度计约为 23-80HRC。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Z, Z 以洛氏硬度 C 标度计约为或大于 50HRC。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Z, Z 以洛氏硬度 C 标度计约为或小于 70HRC。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Z, Z 以洛氏硬度 C 标度计约为 40-70HRC 的值。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Z, Z 以洛氏硬度 C 标度计约为 30-70HRC 的值。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Z, Z 以洛

氏硬度 C 标度计约为 25-60HRC 的值。在一个实施方案中,该销钉材料的组成具有硬度 Z,Z 以洛氏硬度 C 标度计约为或小于 25HRC(或以洛氏硬度 B 标度计约 100HRB),但仍等同于或充分大于该套筒内基层的组成的硬度 X,从而保持该销钉在安装期间具有迫使该套筒膨胀并与孔形成过盈配合的能力。

[0067] 在一些实施方案中,销钉材料的组成的硬度 Z 和 / 或该内基层的组成的硬度 X 以洛氏硬度 C 标度计比该外涂覆层的组成的硬度 Y 高约 5HRC(或者以洛氏硬度 B 标度计 5HRB)。在一些实施方案中,销钉材料的组成的硬度 Z 和 / 或该内基层的组成的硬度 X 以洛氏硬度 C 标度计比该外涂覆层的组成的硬度 Y 高约 10HRC(或者以洛氏硬度 B 标度计 10HRB)。在一些实施方案中,销钉材料的组成的硬度 Z 和 / 或该内基层的组成的硬度 X 以洛氏硬度 C 标度计比该外涂覆层的组成的硬度 Y 高约 20HRC(或者以洛氏硬度 B 标度计 20HRB)。在一些实施方案中,销钉材料的组成的硬度 Z 和 / 或该内基层的组成的硬度 X 以洛氏硬度 C 标度计比该外涂覆层的组成的硬度 Y 高约 1-40HRC(或者以洛氏硬度 B 标度计 1-40HRB)。

[0068] 在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有约为或高于 20% IACS(国际退火铜标准)的导电性。在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有约为或高于 30% IACS(国际退火铜标准)的导电性。在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有约为或高于 50% IACS(国际退火铜标准)的导电性。在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有约为或高于 70% IACS(国际退火铜标准)的导电性。在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有约为或高于 90% IACS(国际退火铜标准)的导电性。在一个实施方案中,该套筒外涂覆层的组成具有约为或高于 100% IACS(国际退火铜标准)的导电性。

[0069] 在一些实施方案中,该外涂覆层的厚度约为 3 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 至 25 微米 ( $\mu\text{m}$ )。在一些实施方案中,该外涂覆层的厚度约为 5 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 至 20 微米 ( $\mu\text{m}$ )。在一些实施方案中,该外涂覆层的厚度约为 3 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 至 15 微米 ( $\mu\text{m}$ )。在一些实施方案中,该外涂覆层的厚度约为 10 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 至 25 微米 ( $\mu\text{m}$ )。在一些实施方案中,该外涂覆层的厚度约为 10 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 至 20 微米 ( $\mu\text{m}$ )。在一些实施方案中,该外涂覆层的厚度约为 3 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 至 10 微米 ( $\mu\text{m}$ )。

[0070] 例如,在一些实施方案中,该外涂覆层可由选自相对软(也就是高展性或延展性)、导电的金属材料中的(一种或多种)材料构成,已知这些金属材料与复合构件电(galvanically)兼容。这些材料包括但不限于金、银、镍、铜和锡。其它材料是各种合金,包括金、银、镍、铜及锡的合金。在实施方案中,可将各种金属性可变形涂层形成在基体材料上,例如通过电镀、离子气相沉积或采用任何其它相当的技术,所述技术允许在将该适配套筒放置于工件中例如钻出的孔中期间使可变形的涂层保持充分地贴附在基础材料上。

[0071] 在其它实施方案中,本发明的可变形涂层的组成可由有机材料和导电填料的组合构成。例如,该有机材料包括一系列聚合物例如环氧树脂,且该导电填料包括金属粉末或不导电材料,例如碳纳米管。在实施方案中,可将各种有机基可变形涂层通过例如喷涂或其它相当的技术形成在基体材料上,所述技术允许在将适配套筒放置于工件中例如钻出的孔中时使可变形有机基涂层保持充分地贴附在基体材料上。

[0072] 在一些实施方案中,该有机基变形涂层的组成可具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为或小于 100HRB(或以洛氏硬度 C 标度计约 25HRC)。在一个实施方案中,套筒的有机

基变形涂层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为或小于 90HRB 的。在一个实施方案中, 该套筒的有机基变形涂层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为 35-100HRB。在一个实施方案中, 该套筒的有机基变形涂层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为或小于 80HRB。在一个实施方案中, 该套筒的有机基变形涂层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为或小于 70HRB。在一个实施方案中, 该套筒的有机基变形涂层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为 35-80HRB 的值。在一个实施方案中, 该套筒的有机基变形涂层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为 50-100HRB 的值。在一个实施方案中, 该套筒的有机基变形涂层的组成具有硬度 Y, Y 以洛氏硬度 B 标度计约为 60-100HRB。

[0073] 在一些实施方案中, 该有机基变形涂层的组成在 10 伏下可具有约小于  $10^3$  欧姆-米 (例如按照 ASTM D257 测量) 的体积电阻率 (欧姆-米)。在一些实施方案中, 该有机基变形涂层的组成在 10 伏下可具有约小于  $10^3$  欧姆-米的体积电阻率 (欧姆-米)。在一些实施方案中, 该有机基变形涂层的组成在 10 伏下可具有约小于 10 欧姆-米的体积电阻率 (欧姆-米)。在一些实施方案中, 该有机基变形涂层的组成在 10 伏下可具有约小于  $10^{-3}$  欧姆-米的体积电阻率 (欧姆-米)。在一些实施方案中, 该有机基变形涂层的组成在 10 伏下可具有约为  $1 \times 10^{-8}$  到  $4 \times 10^{-5}$  欧姆-米的体积电阻率 (欧姆-米)。

[0074] 在包括于安装紧固件前将密封剂施加到孔的内表面的应用中, 当在该适配套筒的可变形外涂层进入到该孔的内表面中的空隙时, 其取代了夹带的密封剂。因此, 在紧固件安装期间该适配套筒的可变形涂层擦去过量的夹带密封剂, 同时在套筒和复合构件之间形成了紧密电接触。

[0075] 通过前述的方式, 产生了降低的跨界面电压降, 这进而降低了由密封剂引起的介电效应。这就将套筒与复合板材之间发生电弧的可能性最小化或者消除。在一个实施方案中, 任何电弧均未造成火花。

[0076] 该适配套筒的实施方案在宏观和微观水平上均提供了良好的间隙填充及该套筒与构件之间的紧密接触。

[0077] 该适配套筒的实施方案允许从紧固件向飞机板材的电流传输更有效。

[0078] 该适配套筒的实施方案对于孔的品质和微观间隙较不敏感。

[0079] 该适配套筒的实施方案降低了套筒与板材间夹带的密封剂的量。

[0080] 图 1 和图 3 是常规紧固件的套筒与复合构件间的接触部的照片。箭头指向接纳该紧固件的槽的侧壁, 所述侧壁具有许多在为紧固件钻孔期间产生的不均匀粗糙空隙。

[0081] 图 2 和图 4 分别是图 1 和图 3 中槽侧壁的状态的显微水平照片。圆圈标明了在套筒与槽的侧壁之间存在的空隙。

[0082] 图 5 是以不规则角度断裂并在套筒与碳纤维增强构件之间形成微观空隙的单个碳纤维的显微水平照片。这些空隙留存过量密封剂, 这妨碍了该套筒与构件间的紧密接触。

[0083] 图 6 是显示按照本发明制备的套筒的实施方案与接纳紧固件的槽的侧壁间的适配性的宏观水平照片。该照片显示出要填充侧壁可具有的缺陷的套筒材料。

[0084] 图 7 和图 8 是按照本发明制备的套筒的实施方案的变形的显微水平照片。该照片显示了当套筒变形从而填充微观的机加工致空隙时, 套筒与个体碳纤维之间的紧密接触。

[0085] 图 9 是本发明一个实施方案的照片, 该实施方案包括电镀有可变形、永久 固定的金涂层的套筒。

[0086] 图 10 是本发明一个实施方案的照片,该实施方案包括电镀有可变形、永久固定的银涂层的套筒。

[0087] 图 11 是本发明的一个实施方案的照片,该实施方案包括电镀有可变形、永久固定的镍涂层的套筒。

[0088] 图 12 是本发明的一个实施方案的照片,该实施方案包括具有通过使用离子气相沉积而成层的可变形、永久固定的铝涂层的套筒。

[0089] 图 13 是本发明的一个实施方案的照片,该实施方案包括喷涂有可变形、永久固定的有机涂层的套筒,所述有机涂层由碳纳米管制成。

[0090] 图 14A 至 14D 显示了火花产物积聚的测试结果及其对接纳常规紧固件的槽侧壁影响的照片。图 14A 显示了粗糙、断裂的槽侧壁。图 14B 和 14D 显示了槽侧壁与常规套筒之间火花产物的积聚。

[0091] 图 15A 和 15B 是显示出在接纳根据本发明制备的套筒的槽的侧壁上无火花产物积聚的测试结果的图片。带有箭头的图 15A 显示具有平整、光滑边界的侧壁,这是由于使紧固件具有待安装到槽中的适配套筒以及来自该套筒基体材料或来自该套筒的可变形涂层的材料进入该侧壁可原本具有的任何空隙。

[0092] 图 16 是显示在具有适配套筒的紧固件的实施方案与槽的侧壁之间的适配性的微观水平照片。该照片显示出该套筒材料或该套筒的可变形涂层如何与单个碳纤维贴合,从而填充因单个碳纤维断裂产生的空隙。

[0093] 图 17A 至 17D 是测试结果的图片,它显示出在常规紧固件的套筒与具有按照本发明制备的适配套筒的紧固件的实施方案之间的侧壁状况的对比。图 17A 和图 17B 显示了采用常规紧固件时的状况。图 17C 和图 17D 显示了当采用按照本发明制备的紧固件实施方案时的状况(槽侧壁中的空隙得到填充)。

[0094] 图 18 是在雷击测试之后所得的微观水平照片,其显示了在采用规则、常规 A286 套筒时的槽侧壁。该照片显示该套筒未与槽的复合构件的微纹理相贴合。该测试还显示了对应于残余密封剂位置的高电弧密度和强烈电弧放电。

[0095] 与图 18 相对照,图 19 是在雷击测试后所得的微观水平照片,其显示了在采用本发明的适配套筒时的槽侧壁。该照片显示,采用该适配套筒时,具有低电弧密度、较低强度的电活性和更多的纤维套筒接触。

[0096] 表 1 显示了采用常规紧固件与本发明的适配套筒实施方案进行的直联雷击测试的结果。采用碳纤维复合材料制成的板材(0.25"厚)进行这些测试,并使用 RXL 型缩紧螺栓的紧固件(RXL4BC-vC08-08 销钉、套环和套筒)。每个板材上使用十八(18)个紧固件。每个板材上的四(4)个分离的紧固件受到了雷击。对一些测试进行设计以再造最坏情形的安装条件,例如最小啮合(grip)安装和最大孔尺寸,也就是最小过盈或接触。基于在样品套环侧上未检测到光源按合格/失效准则对测试进行评价。测试结果显示适配套筒(A286 或 300 系列)将套筒/构件界面的火花最小化,且该适配套筒更能容许机加工致纹理。

[0097] 表 1

[0098]

测试编号	2# 紧固件	7# 紧固件	12# 紧固件	17# 紧固件
板材 G 厚套筒	火花	火花	火花	火花
板材 H 窗口套环+过量密封剂	火花	火花	火花	火花
板材 I 适配套筒	无火花	无火花	无火花	无火花
板材 J 套筒内径上的导电涂层	火花	火花	火花	火花
板材 K 适配套筒+导电涂层+Brazil 套环	无火花	火花	无火花	无火花
板材 L 适配 300 套筒+导电涂层+ Brazil 套环	无火花	无火花	无火花	无火花

[0099] 图 20A 至 20E 显示了在表 1 中的板材 I 上进行的直联雷击测试的照片,其对应于具有本发明的适配套筒的紧固件。白点代表参照光而非实际的火花。其中测试条件及结果如下表 2 所示。

[0100] 表 2

[0101]

测试#	紧固件 #	孔	火花
RXL 测试 I	2	最大值 (0.270)	无
RXL 测试 I	7	最大值 (0.270)	无
RXL 测试 I	12	最大值 (0.270")	无
RXL 测试 I	17	最大值 (0.270")	无

[0102] 在一个实施方案中,为了便于芯部销钉移动穿过适配套筒,可使用润滑剂。润滑剂是引入到两个移动表面之间以减少它们间的摩擦、改进效率和减少磨损的物质(通常为液体);润滑剂还可具有溶化或转移异质颗粒和分散热量的功能。

[0103] 在另一个实施方案中,该润滑剂可为导电固体膜材料/涂层。在一些实施方案中,基于导电固体膜材料的润滑剂减少或消除了销钉与套筒之间的内部电弧放电。

[0104] 本发明提供了包含碳纳米管 (“CNT”) 的导电固体膜材料 (“CSF”) (“CSF-CNT 材料”)。CSF 材料的实施方案典型具有如下主要成分: < 30-40% 浓度的甲基乙基酮, < 5-10% 浓度的酚醛树脂以及 < 30-40% 浓度的乙醇。

[0105] 在一个实施方案中, 该 CSF 材料可表现出类似流体的行为。在一个实施方案中, 该 CSF 可具有低的粘度。在一些实施方案中, 该 CSF 材料可用作润滑剂, 润滑剂是引入到两个移动表面之间以减少它们之间的摩擦、改进效率和减少磨损的物质 (经常为液体); 润滑剂还可具有溶化或转移异质颗粒和分散热量的功能。

[0106] 在一些其它实施方案中, 该 CSF 材料可用作涂层, 涂层是通常旨在改进基础材料 (通常称为基材) 的表面性能而对物体所施加的覆盖物。这样的表面性能可特别包括: 外观、粘附性、润湿性、抗腐蚀性、耐磨性和刮擦性。可以按液体、气体或者固体形式施加涂层。

[0107] 在一些实施方案中, 优选的 CSF 材料具有低的摩擦系数, 即为显著小于 1 的摩擦系数。在一些实施方案中, 可商购的紧固件涂层, 例如 IncoTec Corp 公司的 8G 铝涂层, Teclube 涂层, 或者任何铝颜料涂层, 可用作该 CSF 材料。

[0108] CNT 是具有约 3-200nm 的纳米直径的碳化合物, 其长径比可高达 28,000,000 : 1。CNT 的长度可高达约 1.0mm。CNT 在沿着管的方向可表现出非常好的热传导性, 但是在管轴的横向表现出良好的绝热性 (insulation)。CNT 表现出的抗拉强度可为钢的约 50 倍。某些 CNT 可具有与金属材料或者半导体材料相当的电导率, 这取决于 CNT 的结构。典型地, CNT 可具有 1.3 到 2g/cm<sup>3</sup> 的密度。CNT 可是单壁结构或者多壁结构。CNT 可具有少量的杂质, 例如金属和 / 或无定形碳。CNT 典型非常耐氧化, 且甚至能够耐受在强酸中的长时间浸没。另外, 通常认为 CNT 不是剧毒性的、对环境有害, 或者是由贵重的前体或者来源有限的前体制成。

[0109] 在一些实施方案中, 利用可商购的 CNT 来制备 CSF-CNT 材料, 如来自 Cheap Tubes 公司的 CNT (IGMWNT 90 重量% 和 IGMWNT 90 重量% COOH), 也可使用来自其它供应商如 Nanocyl 的 CNT。

[0110] 在一些实施方案中, 通过喷射或者使用任何其它类似的技术将该 CSF-CNT 材料施用于制品的表面。在一些实施方案中, 当制品保持在有利于 CNT (和 CSF-CNT 材料的特定组合物的其它成分) 的生长、和 / 或附着、和 / 或沉积到制品表面的环境中时 (例如, CNT 的有效溶液), CSF-CNT 材料被沉积到制品的表面上。

[0111] 在 CSF-CNT 材料的实施方案中, CNT 可分散在添加有少量表面活性 - 润湿剂的溶剂中, 该试剂用来降低液体的表面张力, 使得更容易分散并且降低两种液体间的界面张力。

[0112] 在一个实施方案中, CSF-CNT 材料含有直径为约 3-30nm 的 CNT。

[0113] 在一个实施方案中, CSF-CNT 材料中的充足量 CNT 可使 CSF-CNT 材料具有高的导电性而不会显著增加 CSF-CNT 材料的刚度。

[0114] 在实施方案中, 添加 CNT 会显著减少或者消除使用高导电性金属来实现与 CSF-CNT 材料相同的性能的需要, 并且其刚度与基础 CSF 材料的刚度性能相比并不显著提高。

[0115] 具有浓度为约 1% 的 CNT 的 CSF-CNT 材料的实施方案经历电阻率从 > 10<sup>12</sup> Ω / 平方到 ~ 10<sup>5</sup> Ω / 平方的下降。具有浓度大于 1% 的一些 CNT 的 CSF-CNT 材料的实施方案经历电阻率到约 500 Ω / 平方的进一步降低。使用 CSF-CNT 材料作为航空紧固件涂层的实施方案

提供了,例如,具有期望的高电导率性能且含有最少量或者不合金颗粒的紧固件。此外,在一些 CSF-CNT 实施方案中,CNT 的尺寸和低载量有对采用 CSF-CNT 材料实现的涂层的表面品质是有益的。

[0116] 在一些实施方案中,CSF-CNT 材料可典型含有浓度占润滑剂组合物总重量的 0.05%到 30%的 CNT。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料可典型含有浓度占润滑剂组合物总重量的 0.1%到 10%的 CNT。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料可典型含有浓度占润滑剂组合物总重量的 1%到 10%的 CNT。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料可典型含有浓度占润滑剂组合物总重量的 3%到 15%的 CNT。

[0117] 在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有约小于  $10^3\text{ohm}\cdot\text{m}$  的体积电阻率(例如,依照 ASTM D257 测得)。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有约小于  $10^2\text{ohm}\cdot\text{m}$  的体积电阻率。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有约小于  $10\text{ohm}\cdot\text{m}$  的体积电阻率。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有约小于  $10^{-3}\text{ohm}\cdot\text{m}$  的体积电阻率。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有  $1\times 10^{-8}\text{ohm}\cdot\text{m}$  至  $4\times 10^{-5}\text{ohm}\cdot\text{m}$  的体积电阻率。

[0118] 在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有约小于  $0.12\mu$  的摩擦系数(例如,在 Falex 测试机上测得)。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有约小于  $0.10\mu$  的摩擦系数(例如,在 Falex 测试机上测得)。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有约小于  $0.2\mu$  的摩擦系数(例如,在 Falex 测试机上测得)。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有约小于  $0.3\mu$  的摩擦系数(例如在 Falex 测试机上测得)。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有约小于  $0.5\mu$  的摩擦系数(例如,在 Falex 测试机上测得)。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有约小于  $0.8\mu$  的摩擦系数(例如,在 Falex 测试机上测得)。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有约  $0.04\mu$  至  $0.5\mu$  的摩擦系数(例如,在 Falex 测试机上测得)。在一些实施方案中,CSF-CNT 材料的组合物可具有约  $0.04\mu$  至  $1\mu$  的摩擦系数(例如,在 Falex 测试机上测得)。

[0119] 在实施方案中,CSF-CNT 材料的期望性能还可包括简便性 - 少数目的组分以及无需特殊的操作工序。

[0120] 下表 3 对基于可商购的 Teclube 涂层的 CSF-CNT 材料的实施方案的一些性能与 Teclube 涂层本身的性能进行了比较。表 3 示出了 CSF-CNT 材料的一个实施方案,其含有 0.02% CNT 并且与基础 Teclube 涂层相比具有显著更低的体积电阻率。表 3 显示,与不含 CNT 的 Teclube 涂层相比,添加 CNT 不会显著影响流动性,也就是含有 CNT 的 Teclube 涂层的厚度。

[0121] 表 3

[0122]

涂层	厚度	喷射方式	体积电阻率@10V (ohm-m)
Teclube	0.0006 英寸	普通	$2.02 \times 10E12$
含有 0.02% CNT 的 Teclube	0.0005 英寸	普通	<10E3 (低于设备极限)

[0123] 这种 CSF-CNT 材料可用于多种用途。在一个实施方案中,该 CSF-CNT 材料用于涂覆航空紧固件。该 CSF-CNT 材料的一个实施方案具有充分高的导电性,其足以提供至少部分保护使得不受雷击。典型需要高的导电性(特别是在金属紧固件附近)用以传导大电流,例如在雷电击中飞机复合结构时所经历的大电流。该 CSF-CNT 材料的一个实施方案提供了具有如下性质的紧固件:高的导热性、较低的重量和强的抗氧化性。在实施方案中因为 CNT 典型地具有约  $2.0\text{g}/\text{cm}^3$  的密度——这仅为典型金属颗粒或薄片密度(通常大于  $8\text{g}/\text{cm}^3$ ) 的约四分之一——使用该 CSF-CNT 材料有助于减小航空紧固件涂层的重量和飞机的总重量。而且,相比于常规的金属基导电涂层中的金属浓度,使用该 CSF-CNT 材料的实施方案作为航空紧固件的涂层能在低浓度 CNT 下显著提高物理性能,包括导电性和导热性、缩减质量、韧性和耐久性。

[0124] 在一些实施方案中,该 CSF-CNT 材料被施用于套筒的外表面,该套筒暴露于容纳紧固件的槽的壁。在一些实施方案中,该 CSF-CNT 材料被同时施用于套筒的内表面和外表面。在一些实施方案中,该 CSF-CNT 材料被同时施用于销钉的表面和套筒的内表面。在一些实施方案中,该 CSF-CNT 材料被施用于销钉的表面。在一些实施方案中,该 CSF-CNT 材料被施用于套筒和销钉的所有表面。将该 CSF-CNT 材料施用于套筒的内壁或者销钉的外表面,或者同时施用于这些表面,这降低了销钉引入套筒期间销钉所经受的阻力。在一些实施方案中,在销钉的表面和套筒的内表面之间具有该 CSF-CNT 涂层能提供对雷击的至少部分防护。

[0125] 在一些实施方案中,当 CSF-CNT 层的厚度在约 3 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 到 25 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 之间时,获得了具有 CSF-CNT 材料层所提供的益处。在一些实施方案中,当 CSF-CNT 层的厚度在约 5 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 到 20 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 之间时,获得了具有 CSF-CNT 材料层所提供的益处。在一些实施方案中,当 CSF-CNT 层的厚度在约 3 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 到 15 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 之间时,获得了具有 CSF-CNT 材料层所提供的益处。在一些实施方案中,当 CSF-CNT 层的厚度在约 10 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 到 25 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 之间时,获得了具有 CSF-CNT 材料层所提供的益处。在一些实施方案中,当 CSF-CNT 层的厚度在约 10 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 到 20 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 之间时,获得了具有 CSF-CNT 材料层所提供的益处。在一些实施方案中,当 CSF-CNT 层的厚度在约 3 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 到 10 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 之间时,获得了具有 CSF-CNT 材料层所提供的益处。

[0126] 图 21 是不含 CSF-CNT 涂层的常规紧固件套筒在雷击测试后的宏观水平照片,显示了套筒的被严重破坏的表面。

[0127] 图 22 是显示常规紧固件的套筒与容纳该紧固件的槽的壁之间的间隙内的孔洞的宏观水平照片。在实施方案中,CSF-CNT 涂层可基本上填充该孔洞,阻止或者降低闪电致电火花发生的几率。

[0128] 图 23 是显示在 CSF-CNT 的一些实施方案中增加 CNT 的浓度(总重量的百分比)是

如何影响这些实施方案作为涂层的表面电阻率的坐标图。涂层被施用在玻璃纤维基底上。

[0129] 图 24 是显示在 CSF-CNT 材料的实施方案中增加 CNT 浓度（总重量的百分比）是如何影响该实施方案的体积电阻率的坐标图。该坐标图显示，对于该特定的实施方案而言，增加 0.050% 的 CNT 引起体积电阻率的期望下降。涂层被施用在金属基底上。

[0130] 图 25 是显示在 CSF-CNT 材料的实施方案（样品 1）中增加 CNT 浓度是如何影响该实施方案的摩擦系数的坐标图。该坐标图显示，增加这个特定 CSF-CNT 涂层中的 CNT 浓度导致摩擦系数缓慢且逐步地增加。使用 FaIex 测试机以 200 磅的载荷进行摩擦系数的测量。

[0131] 图 26 是显示在 CSF-CNT 材料的另一个实施方案中 CNT 的高浓度（总重量的百分比）是如何影响该实施方案的摩擦系数的坐标图。该坐标图显示在这个特定的 CSF-CNT 涂层中增加 CNT 的浓度导致摩擦系数一致增长。使用 FaIex 测试机以 500 磅的载荷进行摩擦系数的测量。

[0132] 图 27A 至 27D 是具有不同浓度（总重量的百分比）CNT 的 CSF-CNT 涂层的实施方案的物理一致性的宏观水平照片。图 27A 示出了不含 CNT 的 CSF 涂层的物理一致性。图 27B 示出了其中含有 0.05% CNT 的 CSF-CNT 涂层的物理一致性。图 27C 示出了其中含有 0.5% CNT 的 CSF-CNT 涂层的物理一致性。图 27D 示出了其中含有 1% CNT 的 CSF-CNT 涂层的物理一致性。

[0133] 图 28A 至 28C 是具有不同浓度（总重量的百分比）CNT 的 CSF-CNT 涂层的实施方案的物理一致性的宏观水平照片。图 28A（在较低的放大倍率下拍摄）显示出其中含有 10% CNT 的 CSF-CNT 涂层的物理一致性。图 28B（以较高的分辨率拍摄）显示出其中含有 10% CNT 的 CSF-CNT 涂层的物理一致性。图 28C 显示了其中含有 5% CNT 的 CSF-CNT 涂层的物理一致性。

[0134] 图 29 是显示含有不同浓度（总重量的百分比）CNT 的 CSF-CNT 材料的实施方案中对表面导电性（顶到底，粉色线）和摩擦系数（底到顶，蓝色线）的影响的坐标图。在一些实施方案中，在约 0.05% 到约 3.0% 之间的 CNT 浓度提供了表面导电性的期望增加且不会引起该实施方案摩擦系数的显著增加。

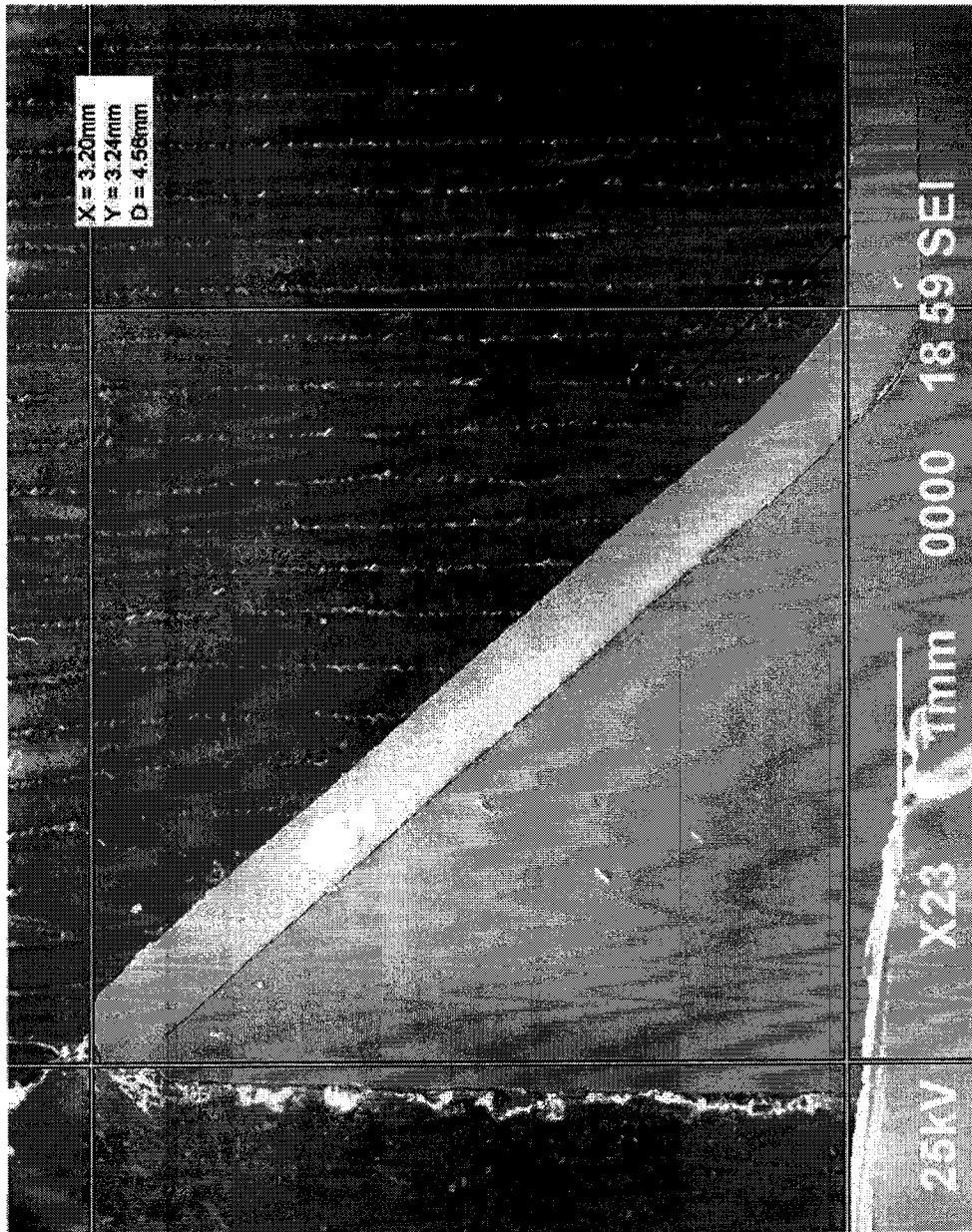


图 1

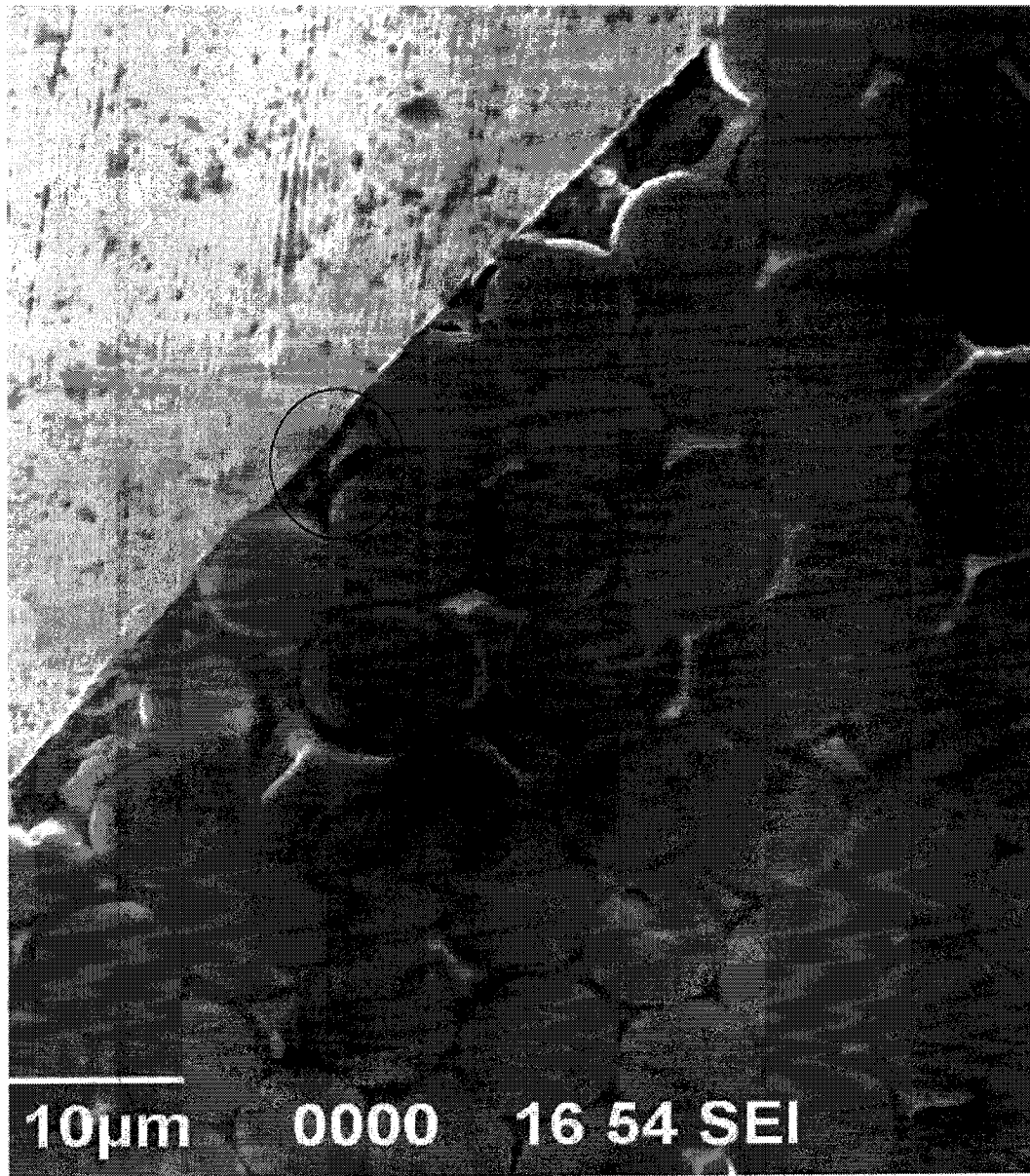


图 2

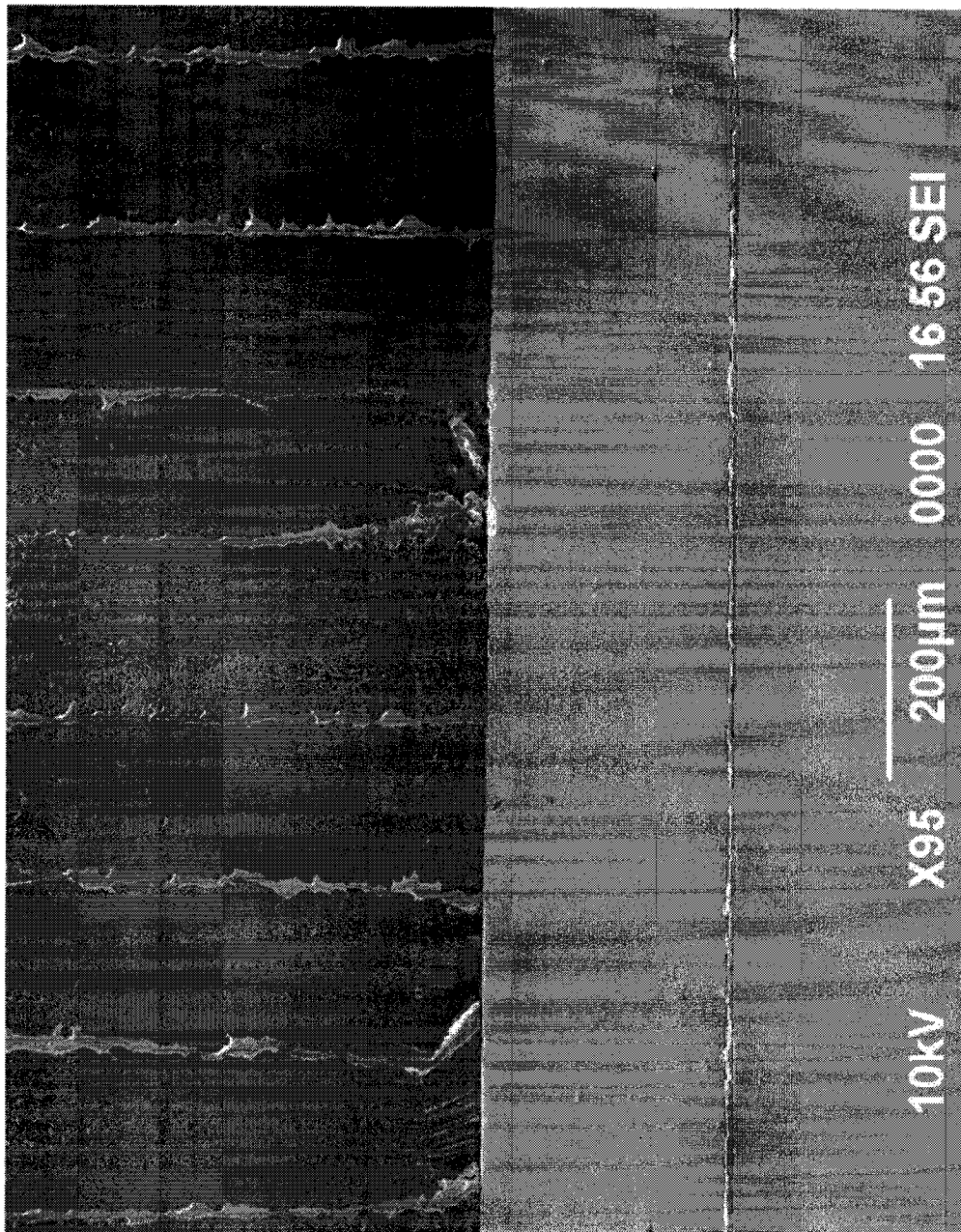


图 3

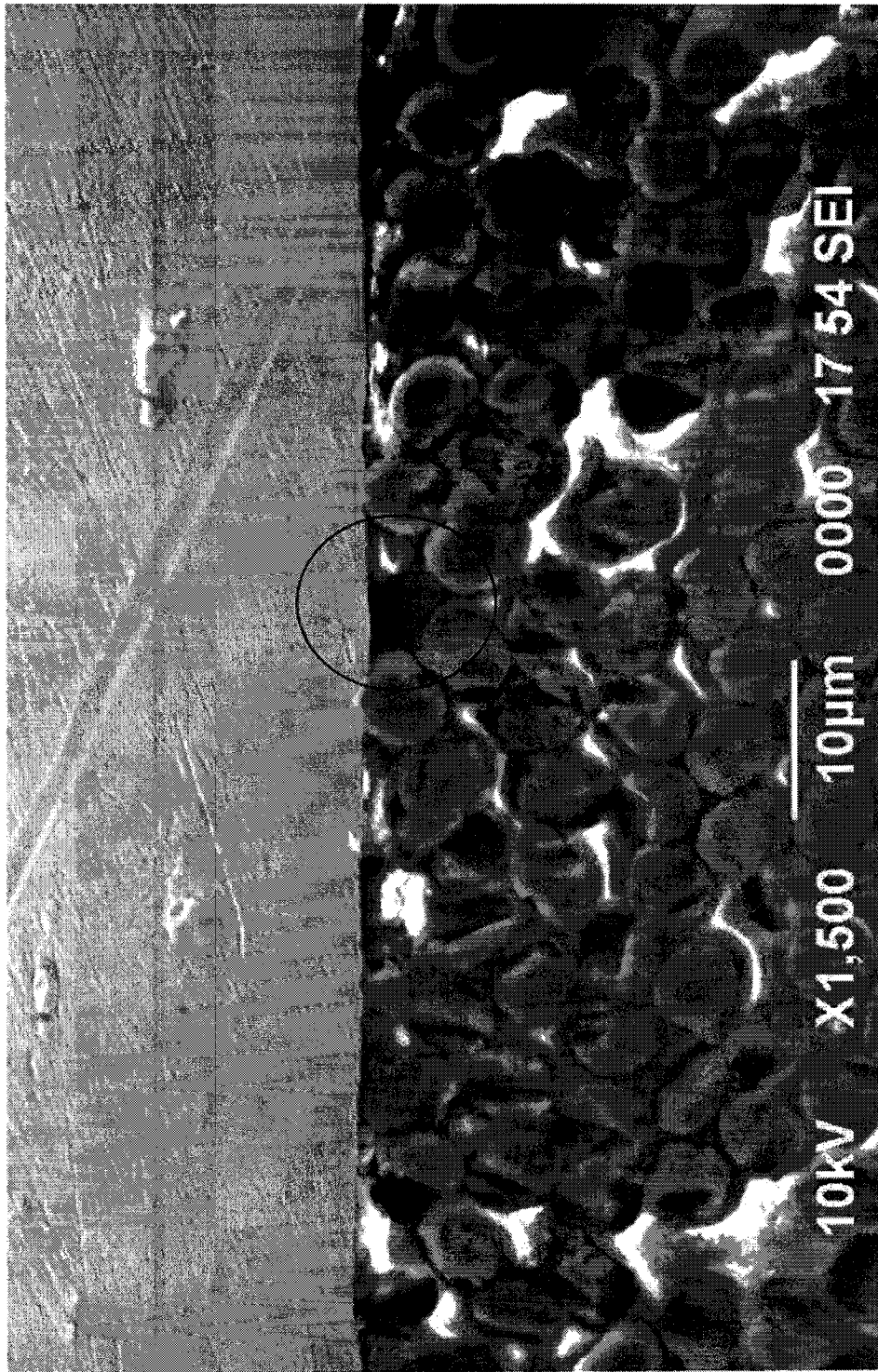


图 4

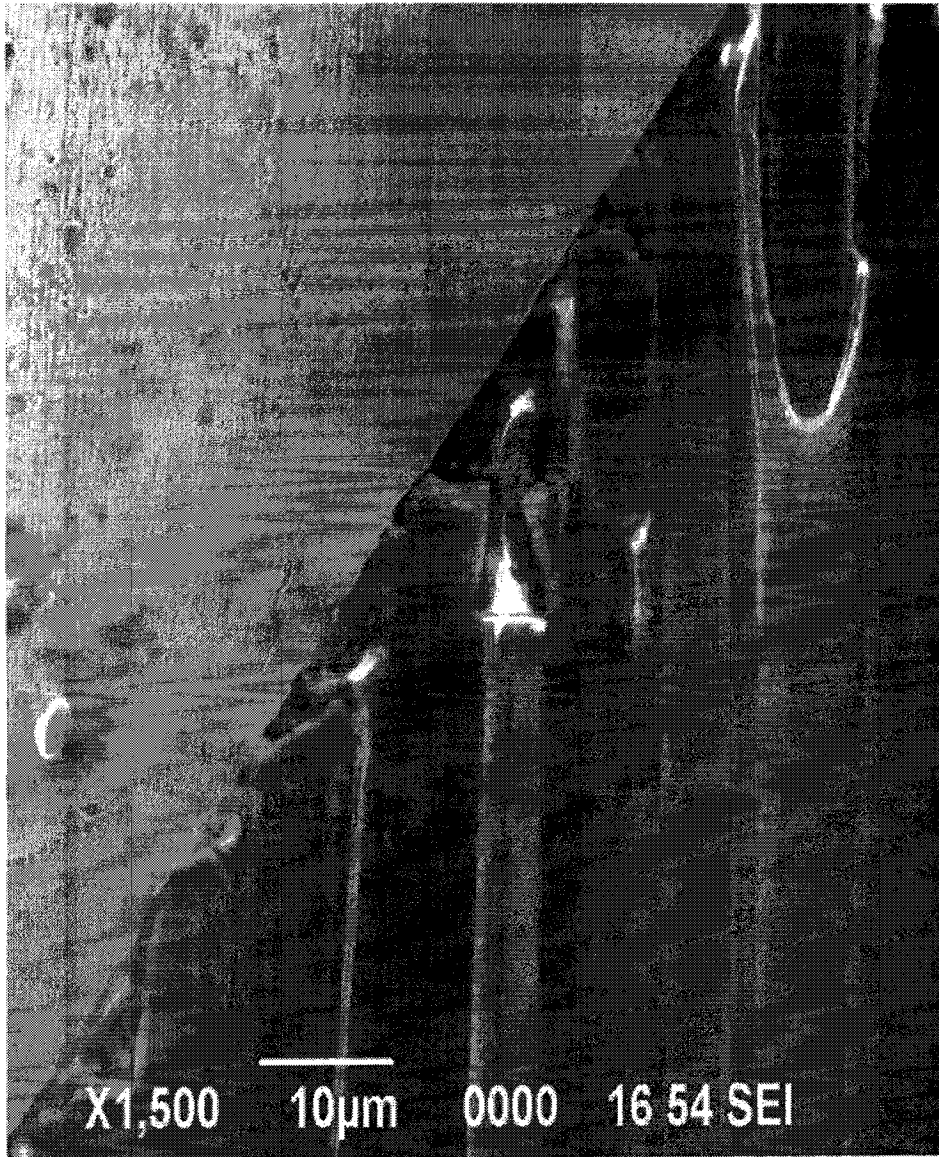


图 5

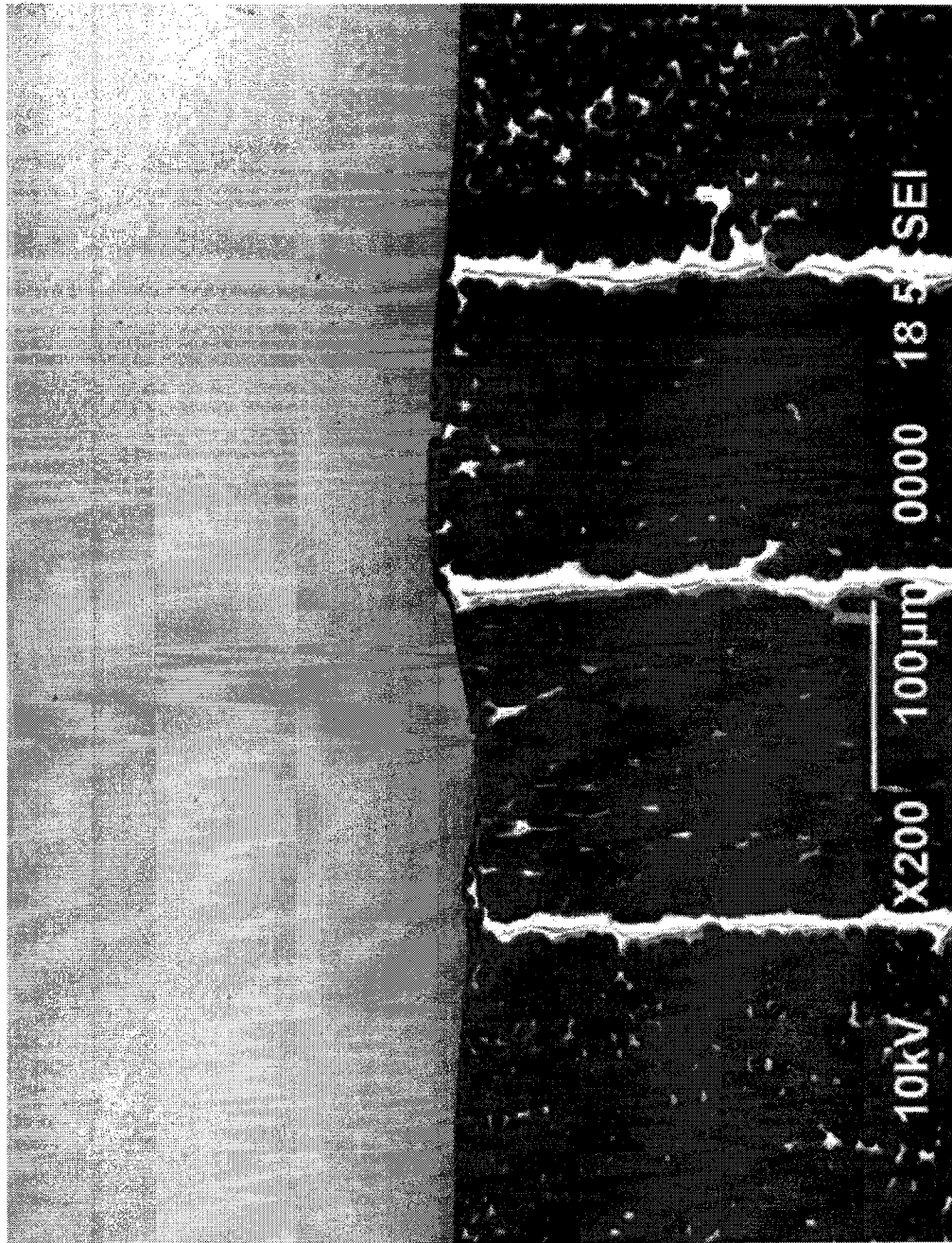


图 6

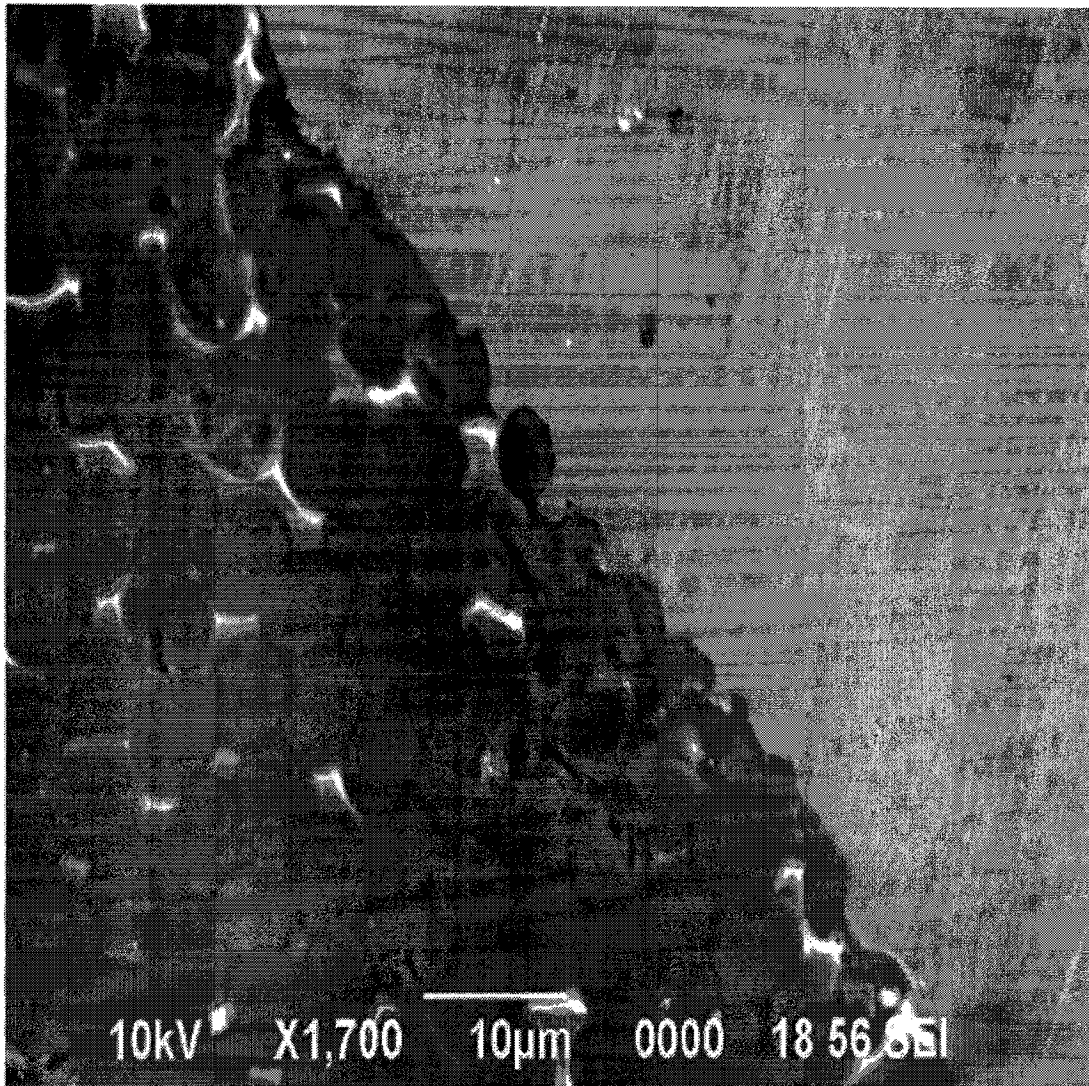


图 7

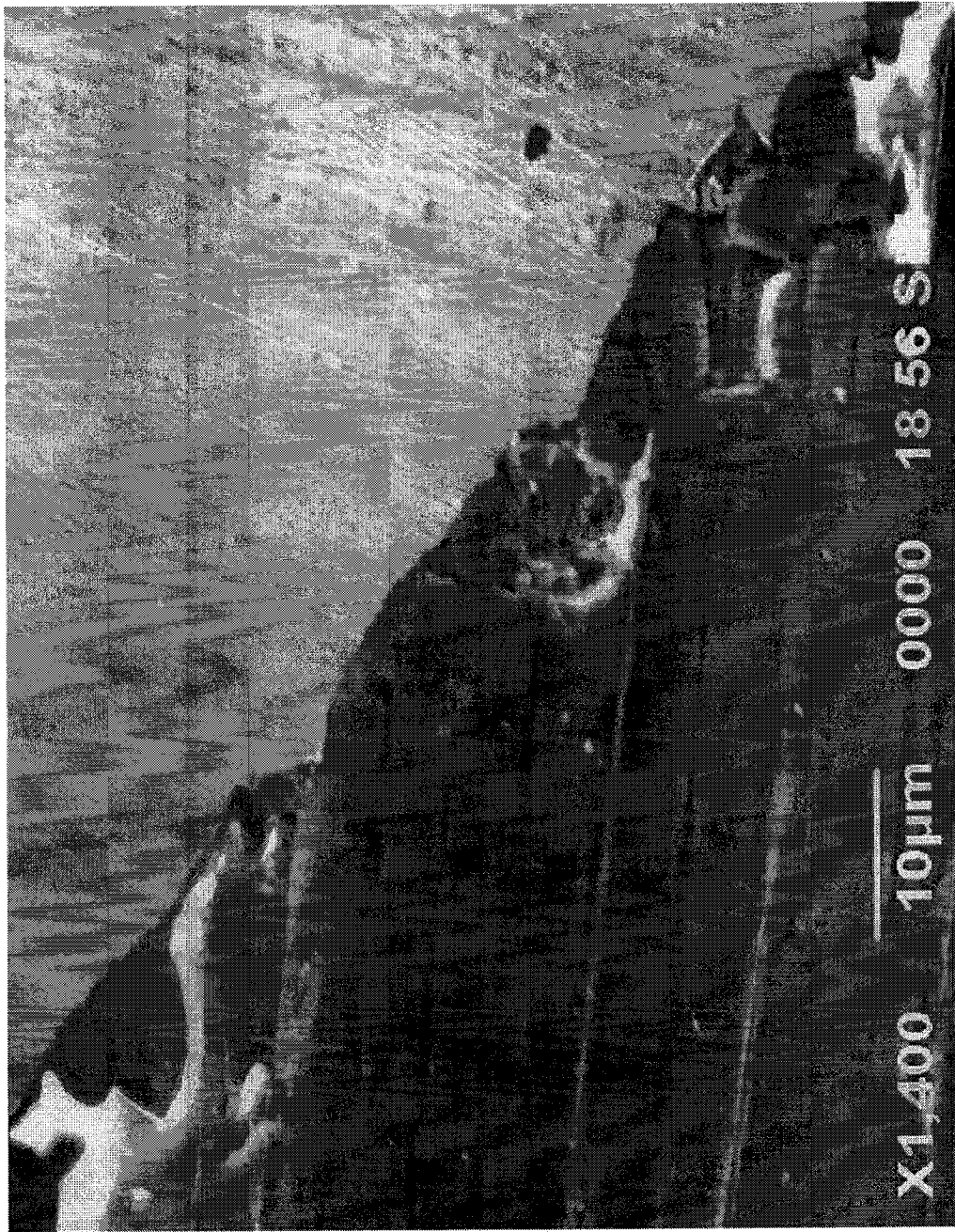


图 8

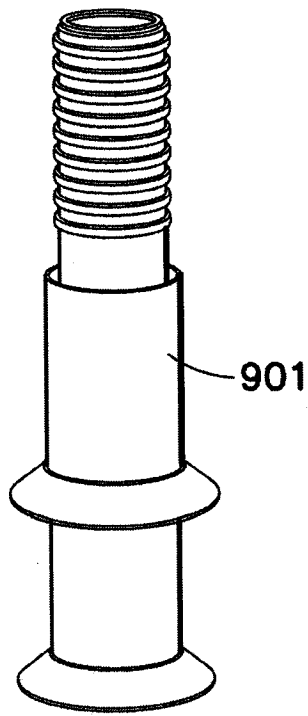


图 9

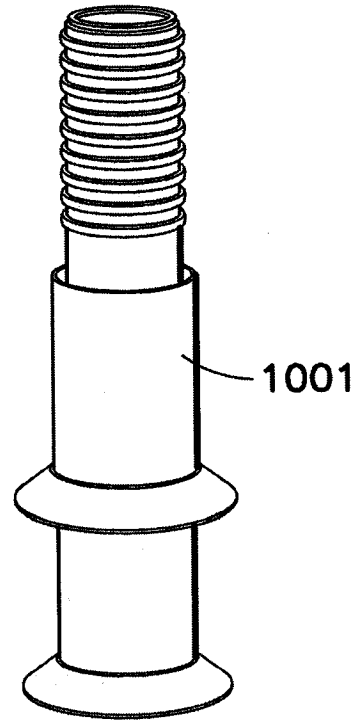


图 10

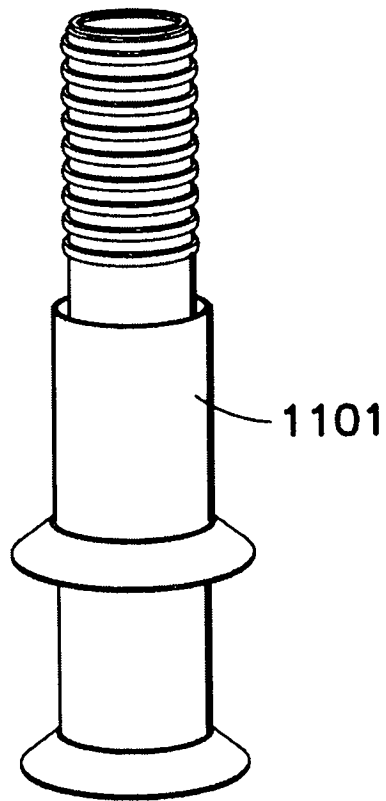


图 11

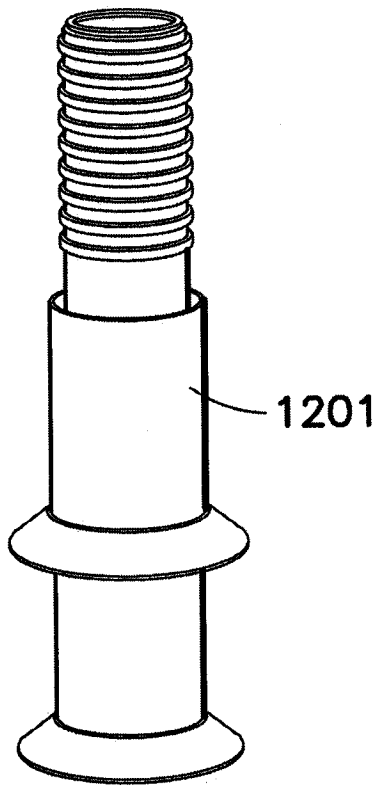


图 12

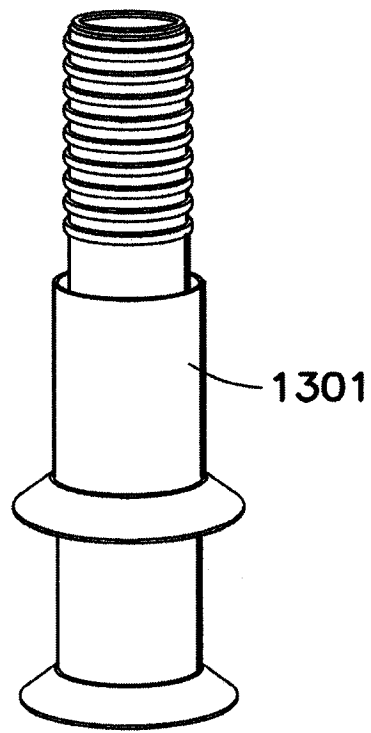


图 13

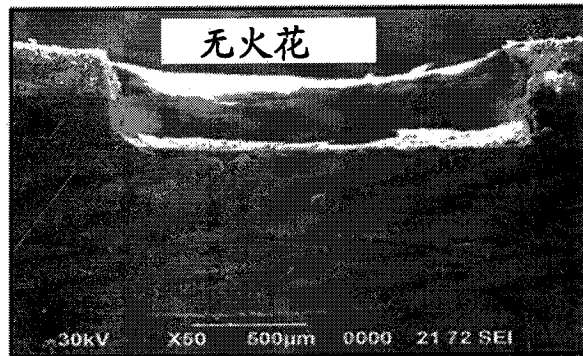


图 14A

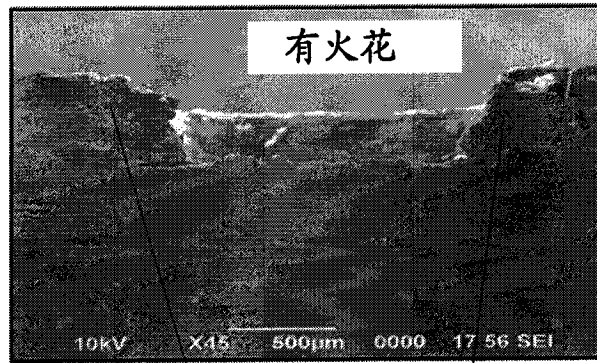


图 14B

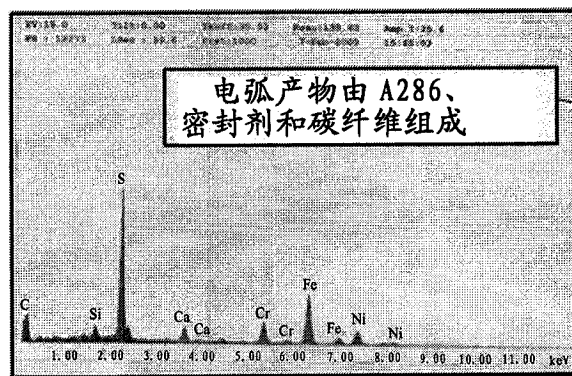


图 14C

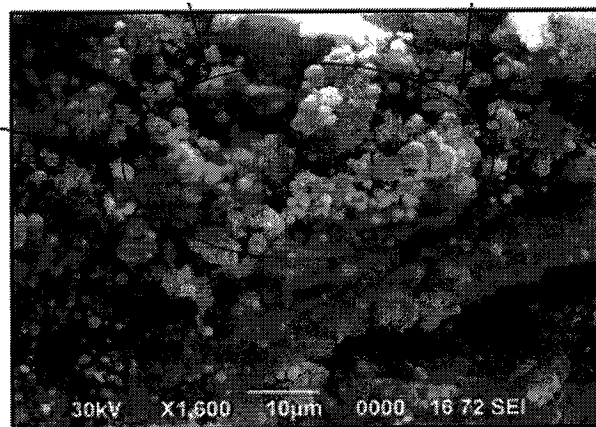


图 14D

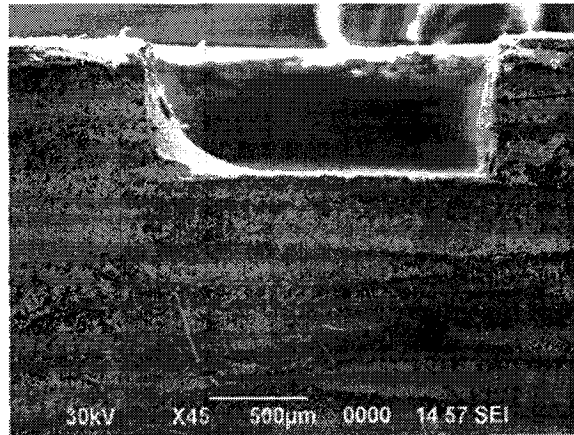


图 15A

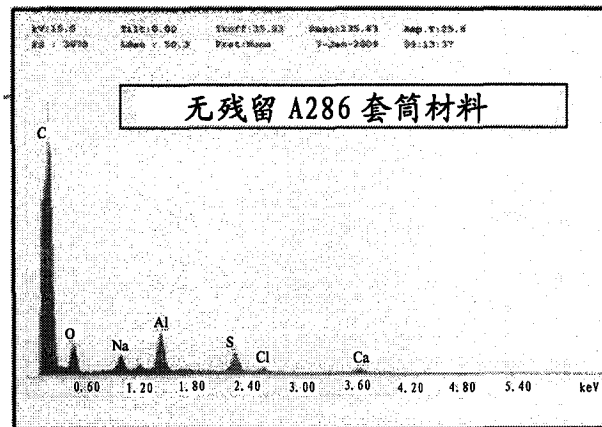


图 15B



图 16

图 17A

常规套筒

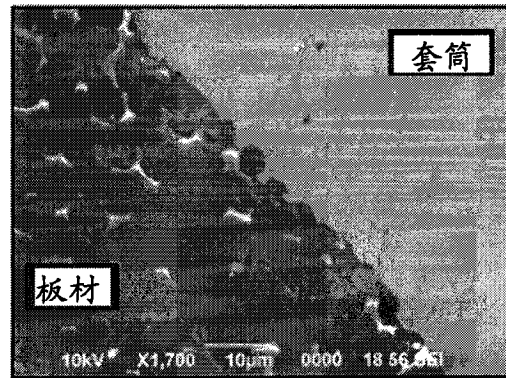
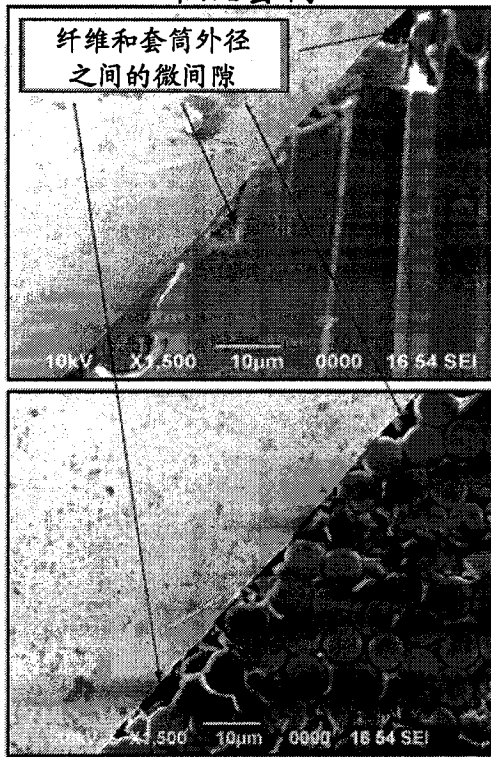


图 17C

图 17B

适配套筒

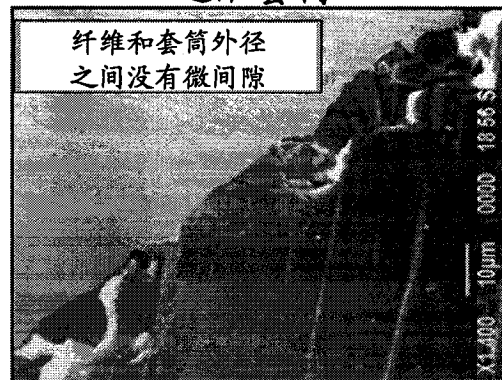


图 17D

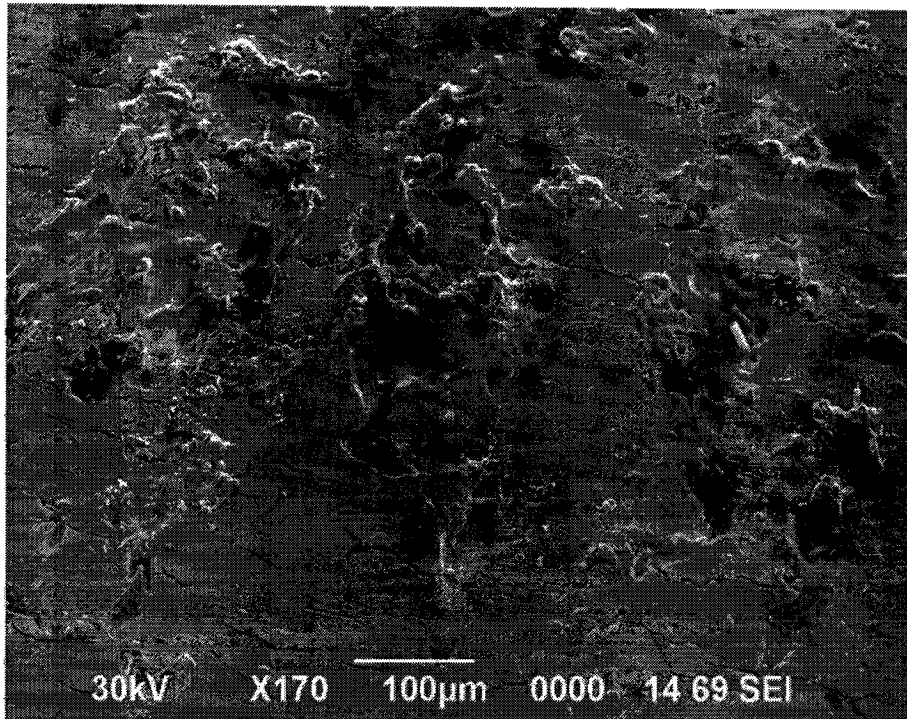


图 18

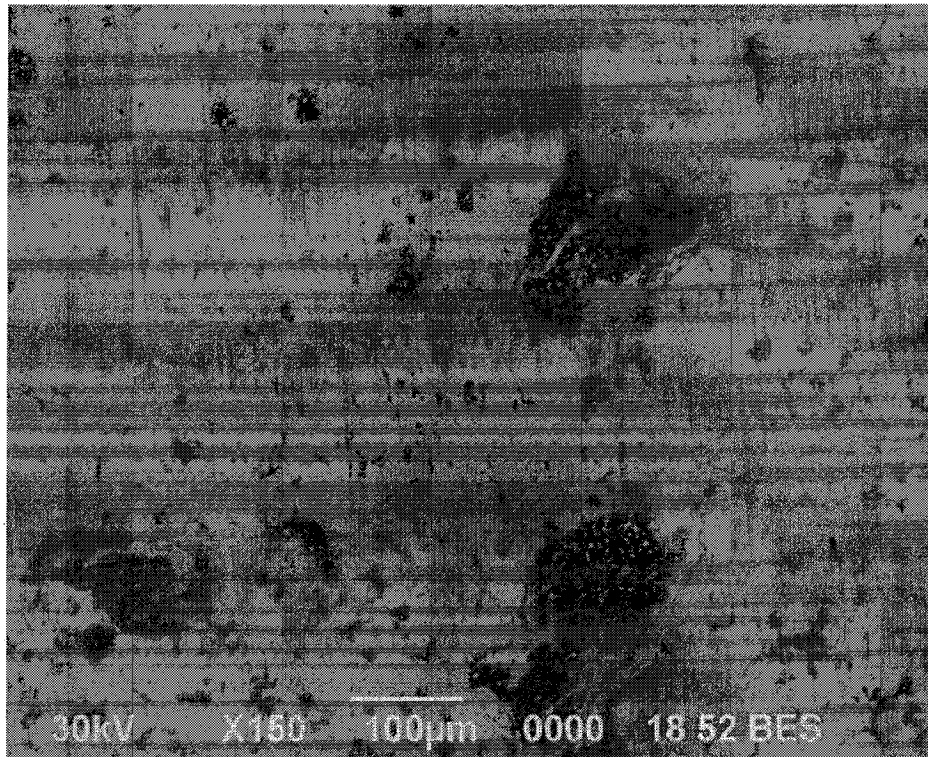
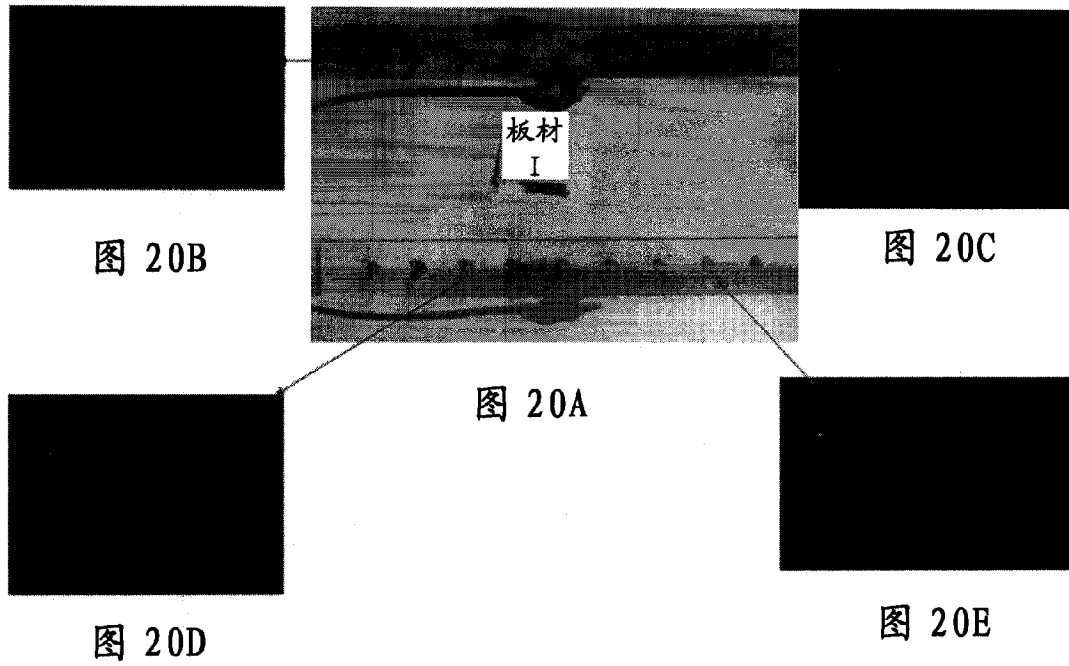


图 19



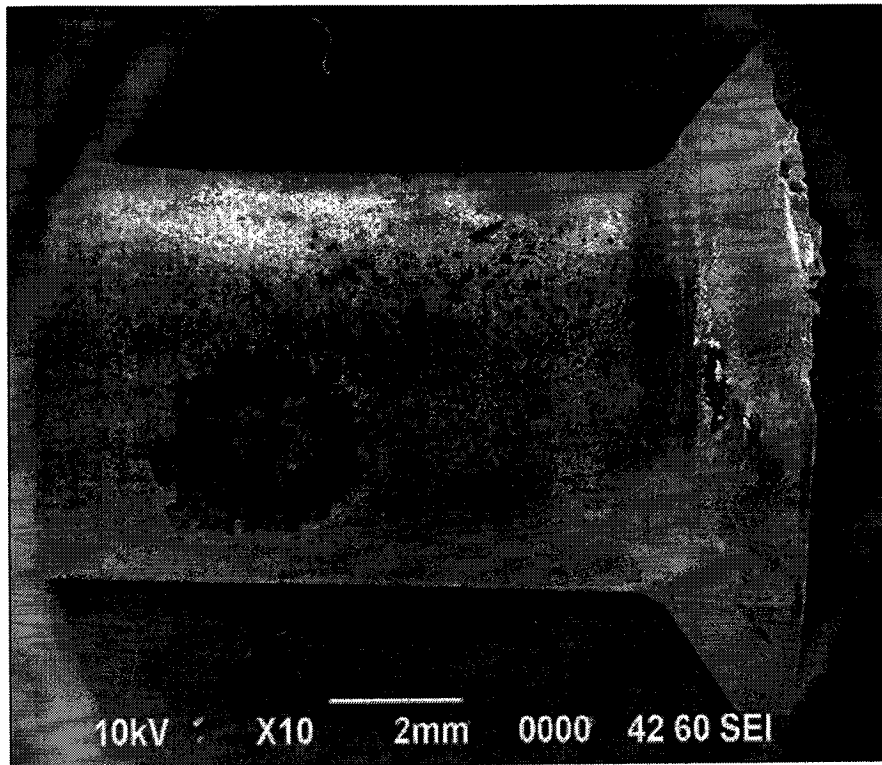


图 21

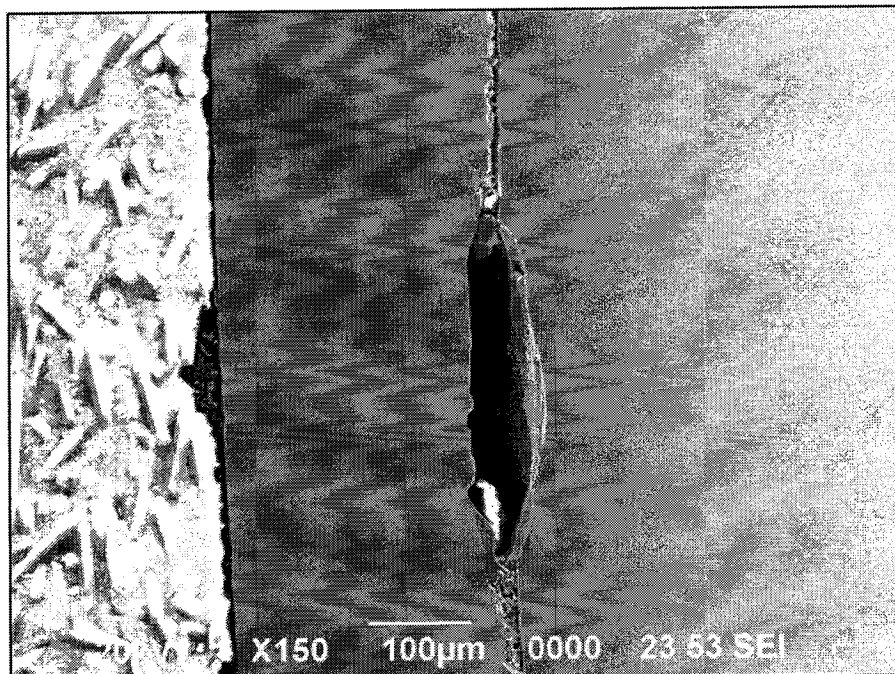


图 22

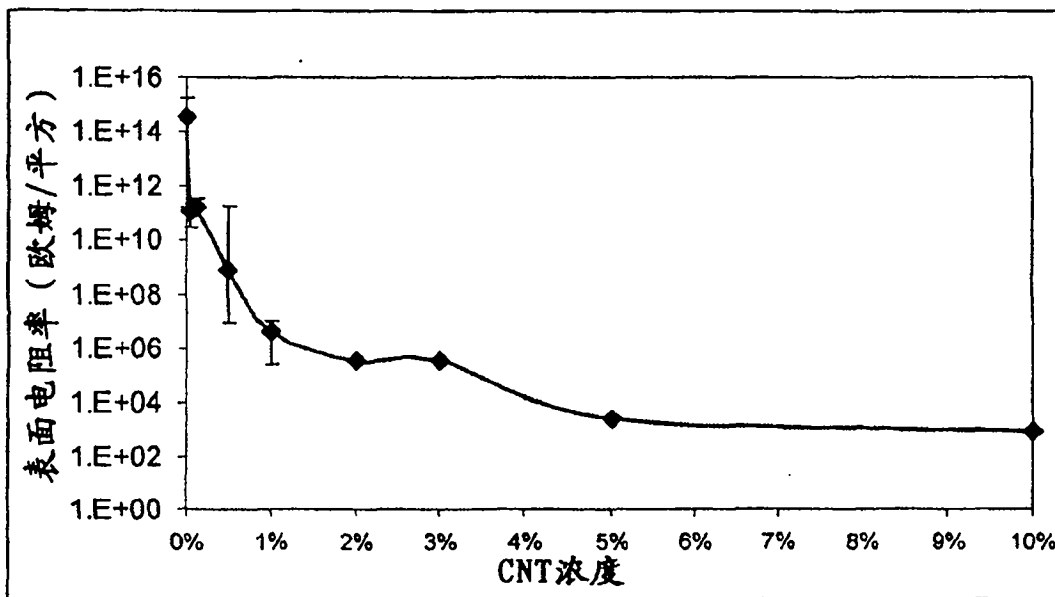


图 23

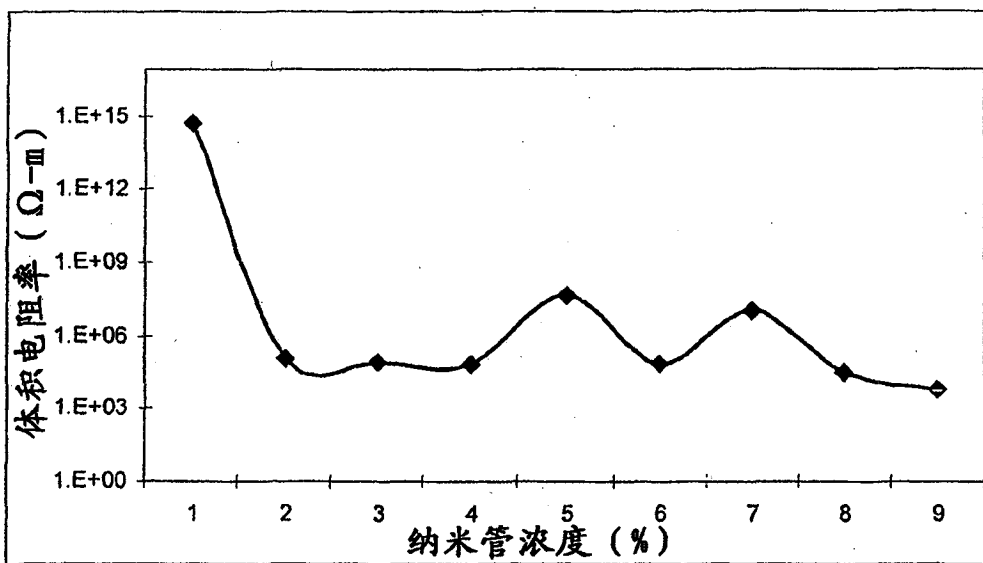


图 24

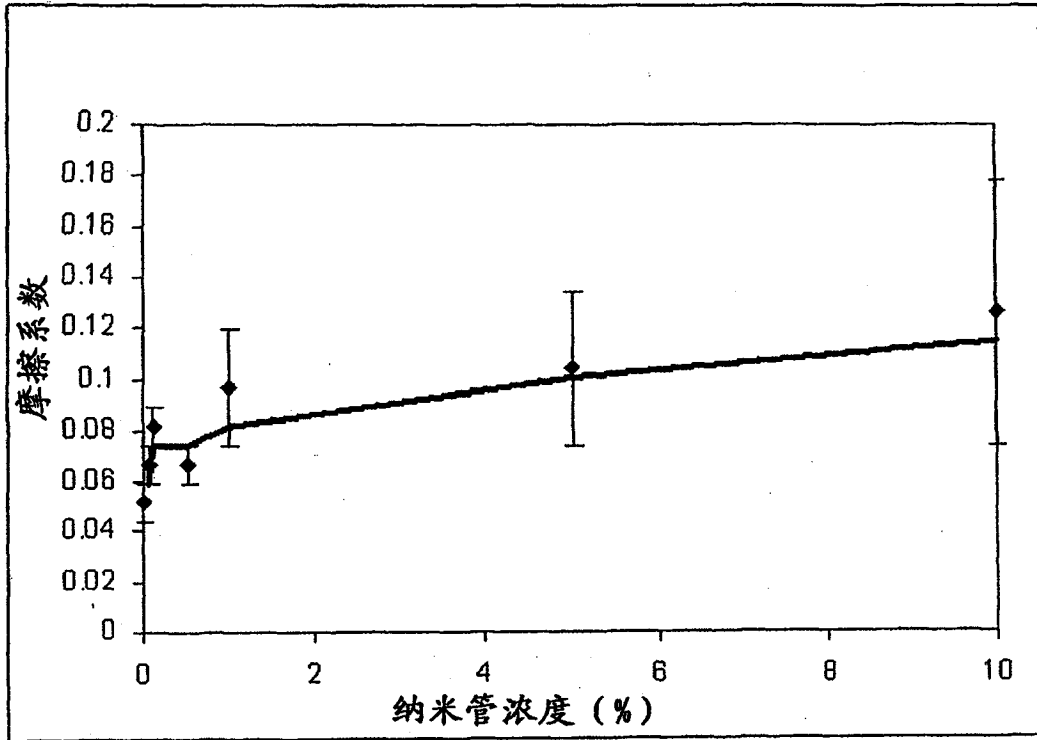


图 25

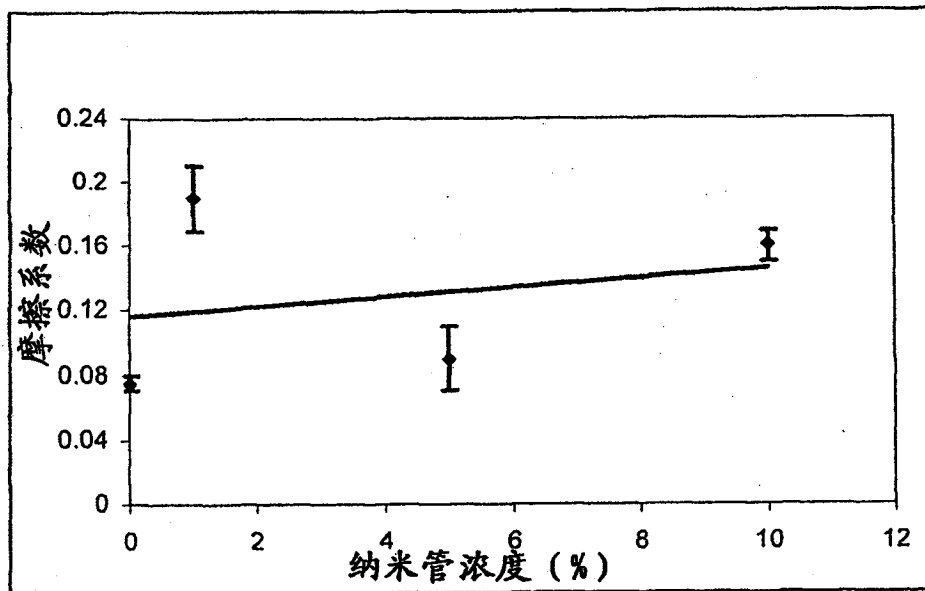


图 26

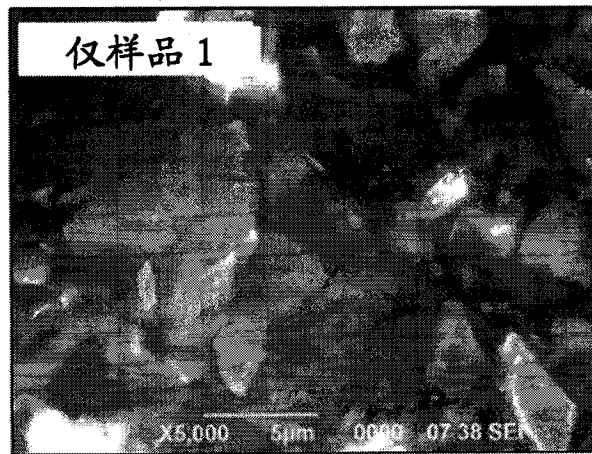


图 27A

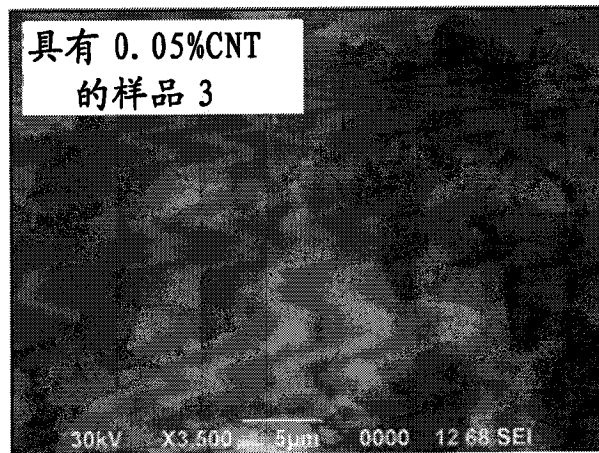


图 27B

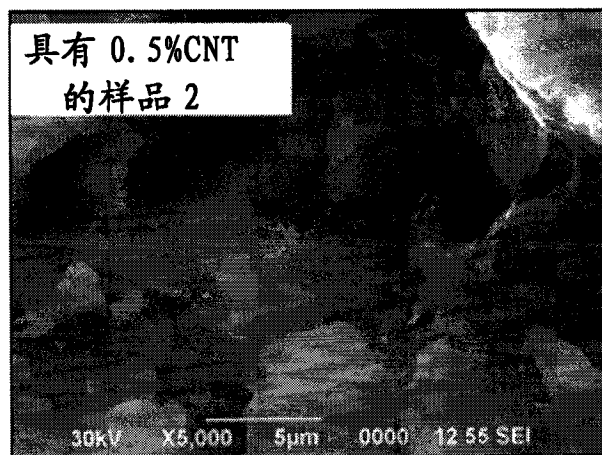


图 27C

具有 1%CNT 的  
样品 4

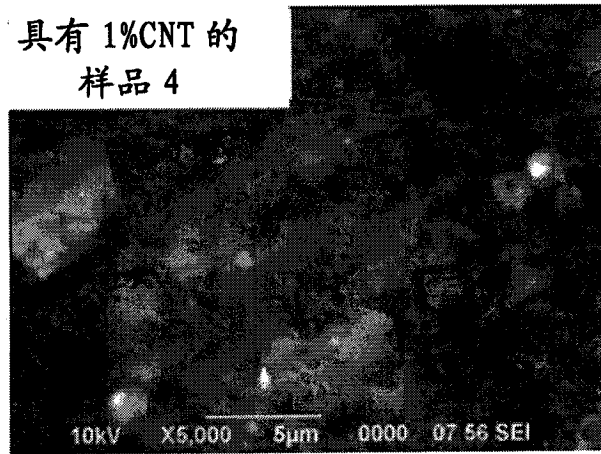


图 27D

10% 纳米管

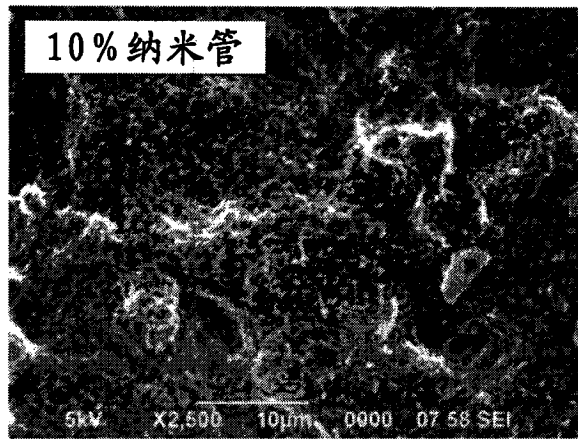


图 28A

10% 纳米管

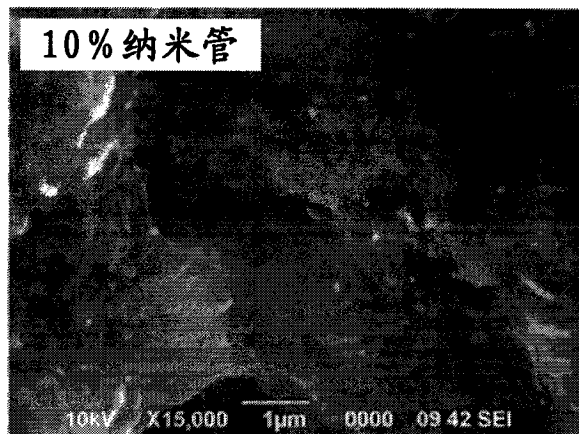


图 28B

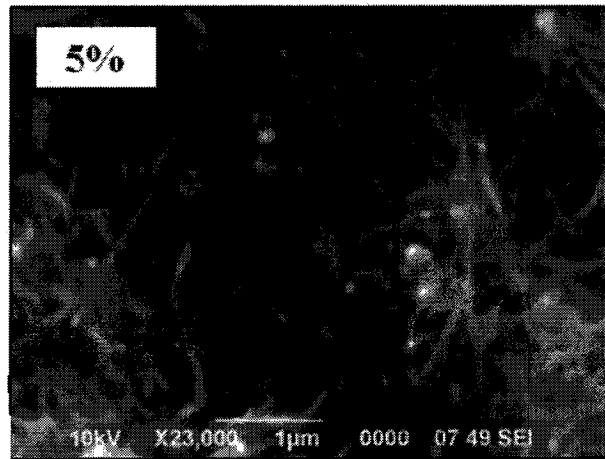


图 28C

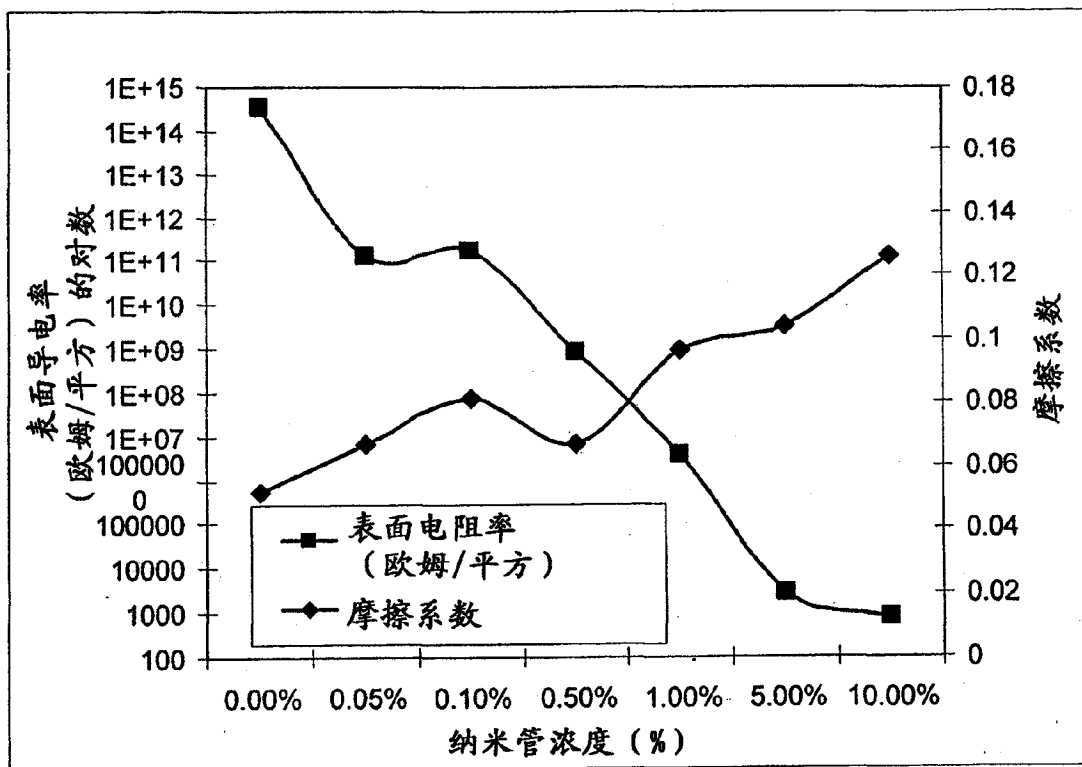


图 29