



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103247395 B

(45)授权公告日 2016.08.24

(21)申请号 201310148286.3

(22)申请日 2013.04.25

(73)专利权人 西北核技术研究所

地址 710024 陕西省西安市69信箱

(72)发明人 柯昌凤 刘文元 陈昌华 宋玮

汤俊平 段荔 薛西民

(74)专利代理机构 西安智邦专利商标代理有限公司

公司 61211

代理人 王少文

(51) Int. Cl.

H01B 17/04(2006.01)

H01B 17/50(2006.01)

(56)对比文件

CN 1841572 A, 2006.10.04, 说明书第2页第2段第1-2行, 第4段第3-4行, 第4页第12段, 第5页

第1段第2行, 图5.

CN 1841572 A, 2006.10.04, 说明书第2页第2段第1-2行, 第4段第3-4行, 第4页第12段, 第5页第1段第2行, 图5.

US 5742471 A, 1998.04.21, 全文.

任成燕等. 高梯度绝缘子的实验研究与性能分析.《强激光与粒子束》.2012, 第24卷(第3期), 第563-566页.

审查员 焦思佳

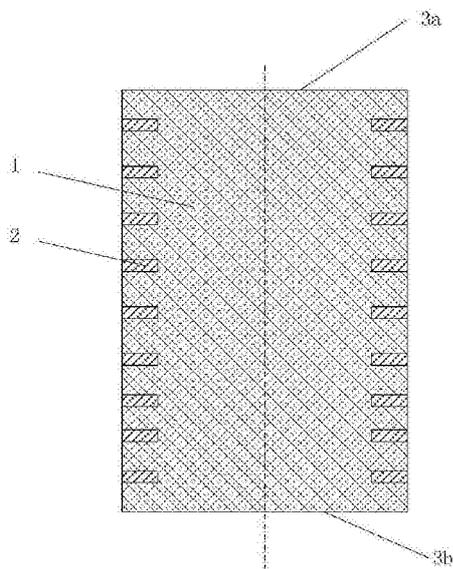
权利要求书1页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种多层高梯度绝缘子及其制备方法

(57)摘要

本发明公开了一种用于高压脉冲功率源的多层高梯度绝缘子及其制备方法。其中一种多层高梯度绝缘子,其特征是在绝缘材料制成的绝缘子本体中规律地嵌入薄片导电层,绝缘子除侧面表层一定深度内由绝缘材料层和导电材料层构成,内部由单一的绝缘材料构成。本发明通过在绝缘体侧面嵌入导电层阵列,抑制了绝缘子表面的二次电子发射特性及表面电荷累积,改善了绝缘体的真空沿面闪络特性,提高了绝缘体的表面击穿电压,克服了绝缘材料层与导电材料层力学、热学性能不匹配的问题,并显著降低了多层高梯度绝缘子制备的工艺难度和成本。



1.一种多层高梯度绝缘子的方法,多层高梯度绝缘子包括由绝缘材料制成的绝缘子本体(1),所述的绝缘子本体(1)包括侧面和上下两个支撑面(3a、3b),所述的绝缘子本体(1)内嵌入了多层薄片导电层(2),所述导电层(2)与支撑面(3a、3b)平行,导电层(2)的外侧和/或内侧与绝缘子本体(1)的侧面平齐,所述导电层(2)的面积小于绝缘子支撑面(3a、3b)面积的1/2,其特征在于:包括以下步骤:

[1]根据所加工绝缘子的形状,加工绝缘材料片;

[2]以导电浆料为导电材料,采用丝网印刷工艺,在绝缘材料片一面印刷环状导电材料层,加热固化形成环状导电材料层;

[3]将印刷有环状导电材料层的绝缘材料片逐层堆叠后放入相应的模具中;

[4]将模具及步骤[2]中处理后的绝缘材料片放入加热装置中,在加热同时在模具上施加压力,将模具中多层材料加热固化成型;

[5]将成型的多层高梯度绝缘子侧面打磨或切削加工,除去表面层缺陷。

一种多层高梯度绝缘子及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于高压绝缘技术领域,具体涉及一种具有优良真空绝缘性能的多层高梯度绝缘子及其制备工艺。

背景技术

[0002] 绝缘子是一种用于电气绝缘和机械固定的部件,它的作用是将不同电位的导体在机械上相互连接,在电气上相互绝缘。随着科学技术的发展,绝缘子的沿面闪络现象成为真空电气设备中面临的一个突出问题,沿面闪络使绝缘子的耐压能力远低于其体击穿电压,并大大低于相同距离的真空间隙。随着高功率脉冲技术在国民经济和国防建设中作用的日益凸显,许多大型尖端设备,如高功率微波源、强流粒子束加速器、高强度X射线源、高功率脉冲激光器等,这些真空高压装置向更高功率、大容量、小型化的方向发展,这对真空绝缘器件沿面闪络强度提出了更高的要求,因此具有良好真空绝缘闪络特性的绝缘体研究具有重要的意义。

[0003] 真空绝缘沿面闪络现象的发生,严重制约着高压真空设备的耐压能力,影响设备正常运行,甚至造成巨大的损失。据报道,美国斯坦福大学线性加速中心的速调管、日本高能物理国家实验室中的加速器及美国能源部的加速器都曾发生过由于真空绝缘子沿面闪络现象引起的绝缘失效,使大型尖端设备受到破坏,造成了巨大的经济损失。国内外研究者通过多种方法提高绝缘体的沿面闪络特性,如机械抛光、电火花处理、激光刻蚀、表面掺杂、制备涂层或薄膜等多种方法,多种方法有一定的效果,但均存在提高幅度不大、可靠性不高或表面层寿命短等缺陷。

[0004] 20世纪90年代,美国Tetra公司的J.M.Elizondo等人基于真空沿面闪络的小间隙效应,从控制绝缘材料表面电荷和抑制二次电子崩角度出发,研发了高梯度绝缘体,它由小厚度的导电材料层与绝缘材料层交替堆叠而成。该绝缘结构相对传统形式具有更加优良的体击穿和沿面闪络特性,沿面闪络电压提高显著,是常规绝缘体的1.5到4倍,最高实验结果高达300kV/cm。美国Lawrence Livermore国家实验室在20世纪90年代后期改进制作工艺,使微堆层绝缘理论和工艺取得了显著的进展。但公开报道的多层高梯度绝缘子制备方法是采用形状相同(除厚度外)的绝缘材料层及导电层交替堆叠再加热烧结固化而成,这种结构设计及成型工艺面临一个重要问题就是:绝缘材料层(一般为陶瓷或聚合物)与导电层(一般为金属)在力学及热学性能上不匹配,烧结固化后,材料间的结合力较差,但在实际使用条件下,绝缘子除了起到隔离高低电压的作用外,还需起到力学支撑件的作用,需要有一定的力学性能和可靠性;另外,大型真空高压装置中,绝缘子尺寸大,采用原有的多层高梯度绝缘子技术,为了实现绝缘材料层和导电材料层的有效结合,需要在较高的温度和压力下成型,在这种条件下,绝缘材料层或导电材料层易发生较大的变形,易导致多层高梯度绝缘子出现结构缺陷,要想制备出实用的多层绝缘子,对工艺条件提出了很苛刻的要求,多层高梯度绝缘子制作难度大,成本高。

发明内容

[0005] 本发明设计了一种在绝缘工作面表层具有绝缘材料/导电层交替叠层结构的高梯度绝缘子及其制备方法,既利用了一般多层高梯度绝缘子沿面闪络电压高的优点,又克服了原有多层高梯度绝缘子力学性能差、成型工艺难度大、成本高的缺陷。

[0006] 为了达到上述目的,本发明提供的技术方案是:

[0007] 一种多层高梯度绝缘子,包括绝缘材料制成绝缘子本体,所述的绝缘子本体1包括侧面和上下两个支撑面,特殊之处是,所述的绝缘子本体内嵌入了多层薄片导电层,所述导电层与支撑面平行,导电层的外侧和/或内侧与绝缘子本体的侧面平齐,所述导电层的面积小于绝缘子支撑面面积的1/2。

[0008] 上述的绝缘材料为氧化铝陶瓷、环氧树脂、聚四氟乙烯、聚酰亚胺或聚苯乙烯;上述的导电层为不锈钢、铜、铝或导电胶。

[0009] 上述导电层(2)的层数大于3;上述导电层的厚度与导电层间距离的比值小于1/3。

[0010] 上述导电层(2)的层数优选10~100;上述导电层的厚度与导电层间距离的比值优选1/100~1/10。

[0011] 上述导电层的厚度为0.01~0.5mm,相邻导电层的间距为0.1~2mm。

[0012] 上述的绝缘子结构为圆柱形或圆环形或圆台形。

[0013] 第一种制备多层高梯度绝缘子的方法,包括以下步骤:

[0014] [1]根据所加工绝缘子的形状,加工绝缘材料片及环状导电材料片;

[0015] [2]将绝缘材料片及环状导电材料片逐一交替叠层,放入相应的模具中;

[0016] [3]将模具及绝缘材料片、环状导电材料片放入加热装置中,在加热同时在模具上施加压力,将模具中多层材料加热固化成型;

[0017] [4]将成型的多层高梯度绝缘子侧面打磨或切削加工,除去表面层缺陷。

[0018] 第二种制备多层高梯度绝缘子的方法,包括以下步骤:

[0019] [1]根据所加工绝缘子的形状,加工绝缘材料片;

[0020] [2]以导电浆料为导电材料,采用丝网印刷工艺,在绝缘材料片一面印刷环状导电材料层,加热固化形成环状导电材料层;

[0021] [3]将印刷有环状导电材料层的绝缘材料片逐层堆叠后放入相应的模具中;

[0022] [4]将模具及步骤[2]中处理后的绝缘材料片放入加热装置中,在加热同时在模具上施加压力,将模具中多层材料加热固化成型;

[0023] [5]将成型的多层高梯度绝缘子侧面打磨或切削加工,除去表面层缺陷。

[0024] 第三种制备多层高梯度绝缘子的方法,包括以下步骤:

[0025] [1]根据所加工绝缘子的形状,加工绝缘材料片;

[0026] [2]采用真空蒸镀工艺,在绝缘材料片一面蒸镀环状金属薄膜;

[0027] [3]将蒸镀处理后的绝缘材料片逐层堆叠后放入相应的模具中;

[0028] [4]将模具及蒸镀处理后的绝缘材料片放入加热装置中,在加热同时在模具上施加压力,将模具中多层材料加热固化成型;

[0029] [5]将成型的多层高梯度绝缘子侧面打磨或切削加工,除去表面层缺陷。

[0030] 本发明具有的有益效果如下:

[0031] 1、本发明的多层绝缘子,除侧面表层一定深度内由绝缘材料层和导电材料层构成外,内部由单一的绝缘材料构成,使绝缘子的整体力学性能与单一块体绝缘子本体一致,得到的绝缘子沿面闪络电压高,力学性能好;

[0032] 2、通过在绝缘体侧面嵌入导电层阵列,抑制了绝缘子表面的二次电子发射特性及表面电荷累积,改善了绝缘体的真空沿面闪络特性,提高了绝缘体的表面击穿电压,该绝缘子的沿面闪络电压为普通绝缘子的1.5~3倍;

[0033] 3、本发明中的多层高梯度绝缘子采用环形导电层的设计方法,与原有多层高梯度绝缘子相比,克服了绝缘材料层与导电材料层力学、热学性能不匹配的问题,大大提高了绝缘子的力学性能和实际应用条件下的可靠性;

[0034] 4、本发明采用的新型的结构设计和成型方法,显著降低了多层高梯度绝缘子制备的工艺难度和成本。

附图说明

[0035] 图1为本发明中圆柱形多层高梯度绝缘子的截面示意图;

[0036] 图2为本发明中圆环形多层高梯度绝缘子的截面示意图;

[0037] 图3为本发明中用方法1)制备柱状多层绝缘子的流程及结构示意图;

[0038] 图4为本发明中用方法2)制备柱状多层绝缘子的流程及结构示意图;

[0039] 图5为本发明中用方法3)制备环状多层绝缘子的流程及结构示意图。

具体实施方式

[0040] 如图1所示的圆柱形多层高梯度绝缘子,包括绝缘材料制成绝缘子本体1,绝缘子本体1包括上下两个支撑面3a、3b和侧面,绝缘子本体1内嵌入了多层薄片导电层2,导电层2为环形薄片,导电层2与支撑面3a、3b平行,导电层2的外侧与绝缘子本体的侧面平齐,也就是说,导电层的外侧与圆柱体圆柱面平齐,这种嵌入式结构,抑制了绝缘子表面的二次电子发射特性及表面电荷累积,改善了绝缘体的真空沿面闪络特性,提高了绝缘体的表面击穿电压;同时导电层2的面积小于绝缘子支撑面3a、3b面积的1/2,这样可保证绝缘子的芯部均由单一的绝缘材料构成,基本保证了器件的整体力学性能。

[0041] 如图2所示的圆环形多层高梯度绝缘子,与图1的结构类似,区别在于,同一个导电层2由内环和外环组成,内环的内侧与圆环形绝缘子本体的内孔平齐,外环的外侧与圆环形绝缘子本体的外沿平齐,可保证绝缘子的真空沿面闪络特性,芯部均由单一的绝缘材料构成,保证了器件的整体力学性能。

[0042] 上述多层高梯度绝缘子中绝缘材料为氧化铝陶瓷、环氧树脂、聚四氟乙烯、聚酰亚胺或聚苯乙烯;导电层为不锈钢、铜、铝或导电胶。其中导电层的层数一般大于3,优选10~100;其中导电层的厚度为0.01~0.5mm,相邻导电层的间距为0.1~2mm。通常导电层的厚度与导电层间距离的比值小于1/3,优选的比值为1/100~1/10。

[0043] 下面结合附图3、4、5说明本发明中多层高梯度绝缘子的几种制备方法:

[0044] 方法1):(a)根据绝缘子应用条件下所需的形状,加工绝缘材料片及导电材料环;b)将绝缘材料片及导电材料环逐一交替叠层,放入相应模具中;c)将上述模具及材料放入适当的加热装置中,加热的同时在模具上施加一定的压力,将模具中多层材料加热固化成

型;(d)将成型的多层高梯度绝缘子侧面进行适当的打磨或切削加工,除去表面层缺陷。

[0045] 方法2):(a)根据绝缘子应用条件下所需的形状,加工绝缘材料片;(b)以导电浆料为导电材料,采用丝网印刷工艺,在绝缘材料片一面印刷环状导电浆料层,加热固化;(c)将印刷有环状导电层材料的绝缘材料片逐层堆叠后放入相应模具中;(d)将上述模具及材料放入适当的加热装置中,加热的同时在模具上施加一定的压力,将模具中多层材料加热固化成型;(e)将成型的多层高梯度绝缘子侧面进行适当的打磨或切削加工,除去表面层缺陷。

[0046] 方法3):其它步骤与方法2)相同,其中步骤(b)改为:采用真空蒸镀工艺,在绝缘材料片一面蒸镀环状金属薄膜。

[0047] 实施例1:

[0048] 1)以1mm厚聚苯乙烯(PS)片材为绝缘材料,以0.02mm厚不锈钢箔为导电材料,将PS片切割成 $\Phi 40.0\text{mm}$ 的圆片,将不锈钢箔切割成外直径40.0mm、宽1.0mm的圆环;2)将上述PS圆片及不锈钢环逐一交替叠层,PS共10层,不锈钢环共9层,放入内孔径40.1mm模具中;3)将上述模具及材料放入的热压装置中,加热到180℃并保温2h使PS材料充分熔化,在模具上施加1MPa的压力,将模具中多层材料加热固化成型;4)将成型的绝缘子侧面打磨加工,除去表面层缺陷,即得到总厚度约10mm的多层高梯度绝缘子,流程见图3。

[0049] 实施例2:

[0050] 1)以0.2mm厚聚酰亚胺(PI)片材为绝缘材料,以0.01mm厚不锈钢箔为导电材料,将PI片切割成 $\Phi 40.0\text{mm}$ 的圆片,将不锈钢箔切割成外直径40.0mm、宽1.0mm的圆环;2)将上述PI圆片及不锈钢环逐一交替叠层,PI共50层,不锈钢环共49层,放入内孔径40.1mm模具中;3)将上述模具及材料放入的热压装置中,加热到430℃并保温2h使PI材料充分软化,在模具上施加30MPa的压力,将模具中多层材料加热固化成型;4)将成型的绝缘子侧面打磨加工,除去表面层缺陷,即得到总厚度约10mm的多层高梯度绝缘子。流程见图3。

[0051] 实施例3:

[0052] 1)以1mm厚聚苯乙烯(PS)片材为绝缘材料,将PS片切割成 $\Phi 40.0\text{mm}$ 的圆片;2)以低温固化银浆为导电材料,采用丝网印刷法在PS圆片上印刷外直径40.0mm、宽1.0mm、厚0.01mm的圆环,并在100℃下烘干;3)将上述印刷有导电环的PS圆片逐层堆叠,共10层,放入内孔径40.1mm模具中;4)将上述模具及材料放入的热压装置中,加热到180℃并保温2h使PS材料充分熔化,在模具上施加1MPa的压力,将模具中多层材料加热固化成型;5)将成型的绝缘子侧面打磨加工,除去表面层缺陷,即得到约10mm厚的多层高梯度绝缘子。流程见图4。

[0053] 实施例4:

[0054] 成型方法及步骤除第2)步外与实施例3相同,第2)步改为:以银为导电材料,采用真空蒸镀法在PS圆片上蒸镀外直径40.0mm、宽1.0mm、厚0.005mm的圆环。流程见图4。

[0055] 实施例5:

[0056] 1)以1mm厚聚苯醚(PPO)片材为绝缘材料,将PPO片切割成内直径60.0mm,外直径100.0mm的圆环片;2)以低温固化银浆为导电材料,采用丝网印刷法在PPO片上一次印刷外直径100.0mm、宽2.0mm、厚0.01mm的圆环及内直径60.0mm、宽2.0mm、厚0.01mm的圆环各一个,并在100℃下烘干;3)将上述印刷有导电胶的PPO片逐层堆叠,共10层,放入成型尺寸为内径 $\Phi 59.9$ 、外径100.1的开瓣组合模具中;4)将上述模具及材料放入的热压装置中,加热到

280℃并保温2h使PPO材料充分软化,在模具上施加1MPa的压力,将模具中多层材料加热固化成内径 $\Phi 59.9$ 、外径100.1的环状绝缘子;5)将成型的环状绝缘子内、外侧面采用水切割方法各切除1mm宽,即得到约10mm厚环状的多层高梯度绝缘子。流程见图5。

[0057] 将上述实施例中所成型的多个绝缘子在微秒级脉冲高压(脉冲半高宽0.5微米,最高电压350KV)下进行真空闪络测试,实验结果见表1。

[0058] 表1实施例1-5绝缘子与其它绝缘子性能对比

[0059]

| 绝缘子类型 | 材料:尺寸 (mm) | 绝缘子结构参数 (mm) | 绝缘层数 | 表面击穿阈值 (kV/cm) | 工艺要求 | 力学性能 |
|---------------|--|------------------------------|--------|----------------|------|-------|
| 普通绝缘子 1 | 聚苯乙烯 (PS) | $\Phi 40.0 \times 10$ | 1 | 90~100 | 低 | 优良 |
| 普通绝缘子 2 | 聚酰亚胺 (PI) | $\Phi 40.0 \times 10$ | 1 | 100~120 | 低 | |
| 普通绝缘子 3 | 聚苯醚 (PPO) | $\Phi 40.0 \times 10$ | 1 | 90~110 | 低 | |
| 文献报道的多层高梯度绝缘子 | 聚合物或陶瓷; 不锈钢 | 厚 10 | 10~100 | 150~300 | 高 | 差、易分层 |
| 实施例 1 | PS: $\Phi 40.0 \times 1$; 不锈钢: $\Phi 40.0$, 宽 1、厚 0.02 环 | $\Phi 40.0 \times 10$ | 10 | 155~170 | 较低 | 优良 |
| 实施例 2 | PI: $\Phi 40.0 \times 0.2$; 不锈钢: $\Phi 40.0$, 宽 1、厚 0.01 环 | $\Phi 40.0 \times 10$ | 50 | 200~240 | 较低 | |
| 实施例 3 | PS: $\Phi 40.0 \times 1$; 银胶: $\Phi 40.0$, 宽 1、厚 0.01 环 | $\Phi 40.0 \times 10$ | 10 | 145~160 | 较低 | |
| 实施例 4 | PS: $\Phi 40.0 \times 1$; 银胶: $\Phi 40.0$, 宽 1、厚 0.005 环 | $\Phi 40.0 \times 10$ | 10 | 150~160 | 较低 | |
| 实施例 5 | PPO: 内直径 60.0、外直径 100.0 圆环; 银; 外直径 100.0、宽 2.0、厚 0.01 圆环及内直径 | 内直径 60.0, 外直径 100.0 圆环, 高 10 | 10 | 155~165 | 较低 | |

[0060]

| | | | | | | |
|--|-----------------------------|--|--|--|--|--|
| | 60.0、宽 2.0mm、厚 0.01mm 圆环 | | | | | |
|--|-----------------------------|--|--|--|--|--|

[0061] 需要说明的是,本发明中的新型结构多层高梯度绝缘子技术,包括其结构和成型方法并不局限于简单的柱状绝缘子的制备,其它复杂形状如圆台形、环形绝缘子均可采用该技术制备多层高梯度绝缘子。如本身就是环状的绝缘子,每一个导电层采用宽度很小的内外两个导电环组成,成型后绝缘子内侧和外侧面表层由交替堆叠的绝缘材料和导电材料组成,而内部均由绝缘材料组成。

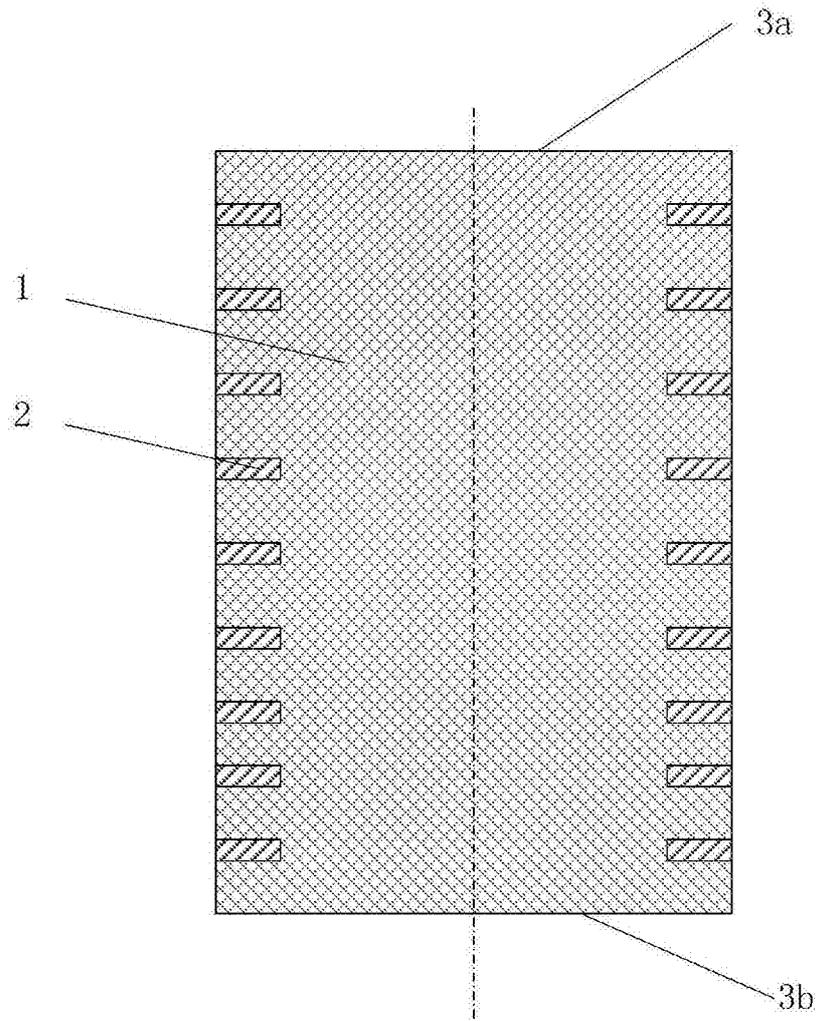


图1

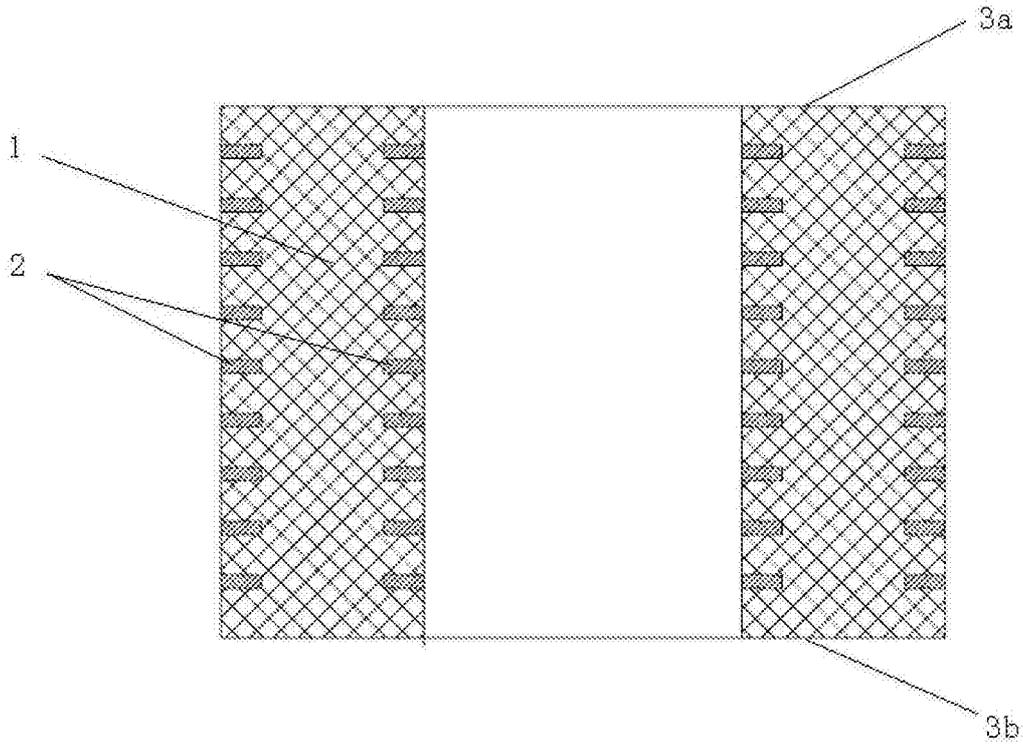


图2

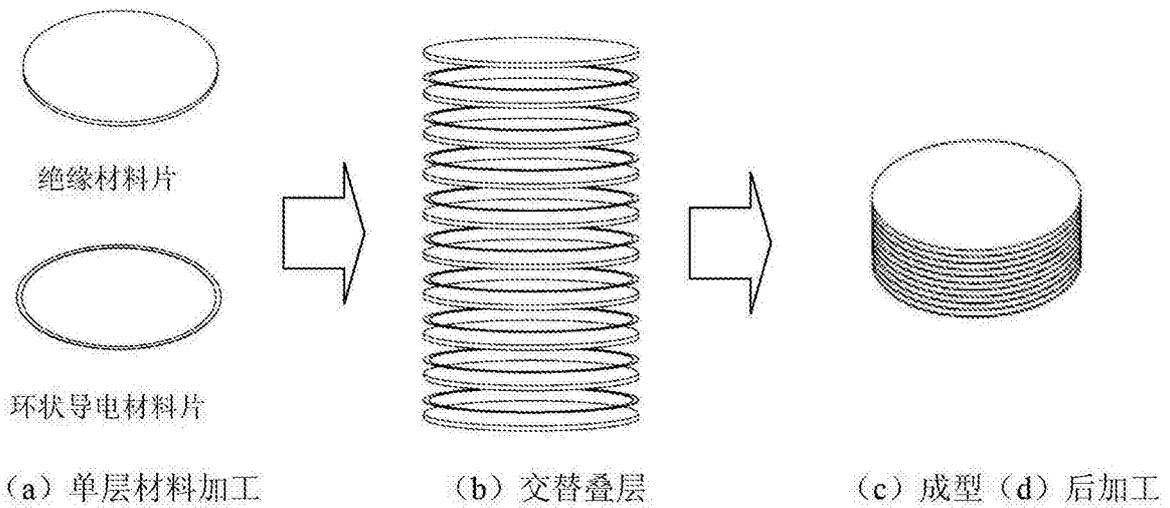


图3

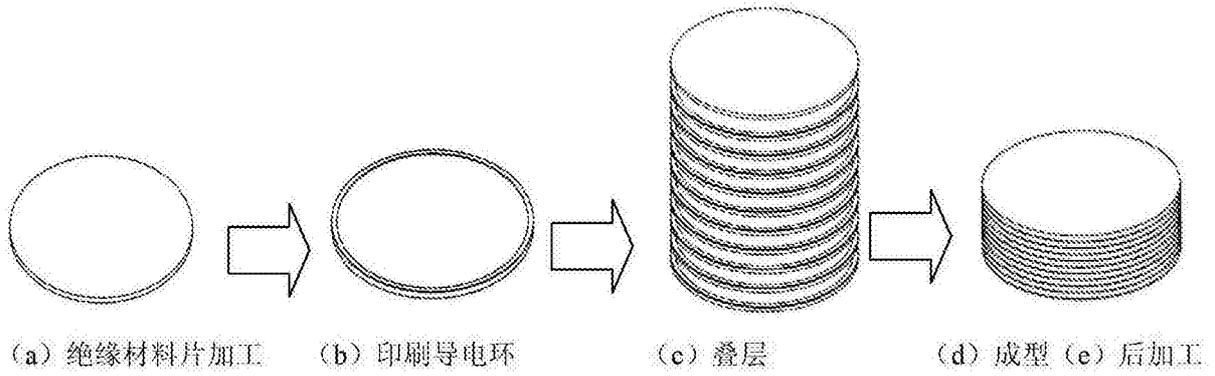


图4

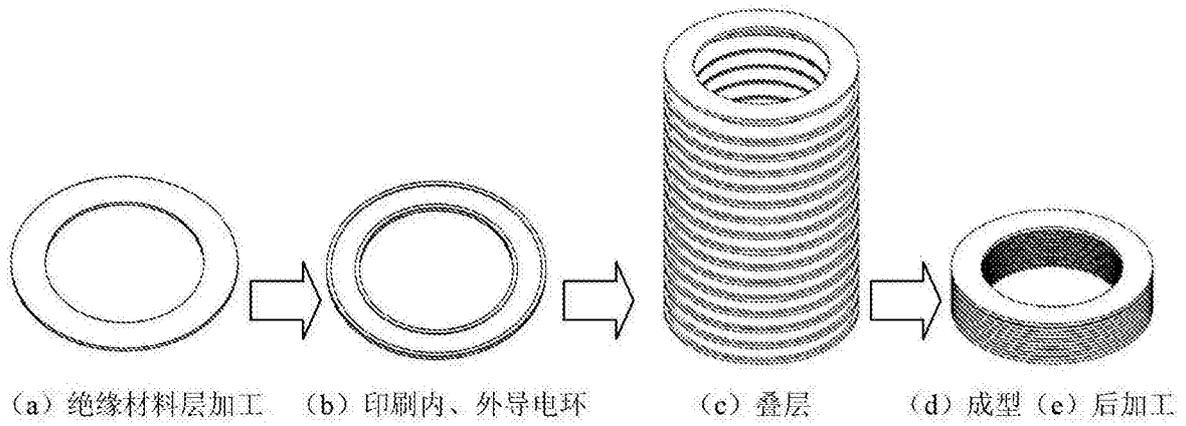


图5