(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102812524 B
(45)授权公告日 2015.05.27

(21)申请号 201180014961.2

(22)申请日 2011.03.24

(30)优先权数据
2010-070068 2010.03.25 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2012.09.20

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2011/057205 2011.03.24

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2011/118717 JA 2011.09.29

(73)专利权人 古河电气工业株式会社
地址 日本东京都

(72)发明人 武藤大介 大矢真 小久保阳介 田中彰

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
代理人 丁香兰 张志楠

(51)Int.Cl.
H01B 7/02(2006.01)
H01B 13/14(2006.01)

(56)对比文件
JP 平5-53044 U,1993.07.13, 第[0011]-[0025]段.
JP 平5-53044 U,1993.07.13, 第[0011]-[0025]段.
JP 2008-21585 A,2008.01.31, 第[0053]段, 附图1.
CN 1910224 A,2007.02.07, 全文.
JP 2008-19379 A,2008.01.31, 第[0048]-[0061]段, 附图1.
CN 101364456 A,2009.02.11, 全文.
US 4473665 A,1984.09.25, 全文.
JP 昭61-148703 A,1986.07.07, 全文.
JP 2007-242589 A,2007.09.20, 全文.

审查员 韩伟

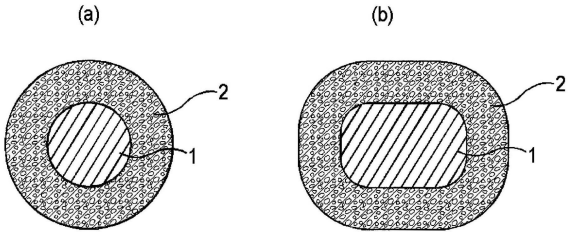
权利要求书2页 说明书12页 附图1页

(54)发明名称

发泡电线及其制造方法

(57)摘要

本发明的目的在于提供绝缘破坏电压良好的发泡电线及其制造方法。本发明的发泡电线中,发泡绝缘层2由具有耐热性的热塑性树脂形成、且平均气泡径为5μm以下。发泡绝缘层2的有效相对介电常数可以为2.5以下,发泡绝缘层2优选由聚苯硫醚、聚萘二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚醚醚酮和热塑性聚酰亚胺的任意一种形成,更优选由结晶性热塑性树脂形成。进一步地,可以在相对于发泡绝缘层2为外侧处具有未发泡的外侧皮层、或在相对于发泡绝缘层2为内侧处具有未发泡的内侧皮层、或者可具有这两者。



CN 102812524 B

1. 一种发泡电线，其为具有导体与发泡绝缘层的发泡电线，其中，上述发泡绝缘层由热塑性树脂形成，该热塑性树脂为熔点为 150℃以上的 1 种或 2 种以上的结晶性热塑性树脂、玻璃化转变点为 150℃以上的 1 种或 2 种以上的非晶性热塑性树脂或者所述 1 种或 2 种以上的结晶性热塑性树脂与所述 1 种或 2 种以上的非晶性热塑性树脂；且该发泡绝缘层的平均气泡径为 5μm 以下，

其中，所述发泡绝缘层由聚苯硫醚、聚萘二甲酸乙二醇酯、聚醚醚酮和热塑性聚酰亚胺的任意一种形成。

2. 如权利要求 1 所述的发泡电线，其中，所述发泡绝缘层的有效相对介电常数为 2.5 以下。

3. 如权利要求 1 所述的发泡电线，其中，所述热塑性树脂的相对介电常数为 4.0 以下。

4. 如权利要求 1 所述的发泡电线，其中，所述发泡绝缘层的厚度为 30μm～200μm。

5. 如权利要求 1 所述的发泡电线，其中，所述发泡绝缘层的平均气泡径为 0.1μm～5μm。

6. 如权利要求 1～5 的任一项所述的发泡电线，其中，在所述发泡绝缘层的外侧具有未发泡的外侧皮层，该外侧皮层的厚度相对于外侧皮层的厚度与所述发泡绝缘层的厚度的合计为 20％以下。

7. 如权利要求 1～5 的任一项所述的发泡电线，其中，在所述发泡绝缘层的内侧具有未发泡的内侧皮层，该内侧皮层的厚度相对于内侧皮层的厚度与所述发泡绝缘层的厚度的合计为 20％以下。

8. 如权利要求 1～5 的任一项所述的发泡电线，其中，在所述发泡绝缘层的外侧具有未发泡的外侧皮层，并且在所述发泡绝缘层的内侧具有未发泡的内侧皮层，该内侧皮层的厚度与该外侧皮层的厚度的合计相对于内侧皮层的厚度、外侧皮层的厚度与所述发泡绝缘层的厚度的合计为 20％以下。

9. 一种发泡电线的制造方法，该制造方法具有如下工序：通过使包覆于导体的绝缘层以 5μm 以下的平均气泡径发泡，由此得到发泡绝缘层，

该制造方法的特征在于，

所述发泡绝缘层是由热塑性树脂形成，该热塑性树脂为熔点为 150℃以上的 1 种或 2 种以上的结晶性热塑性树脂、玻璃化转变点为 150℃以上的 1 种或 2 种以上的非晶性热塑性树脂或者所述 1 种或 2 种以上的结晶性热塑性树脂与所述 1 种或 2 种以上的非晶性热塑性树脂，

其中，所述发泡绝缘层由聚苯硫醚、聚萘二甲酸乙二醇酯、聚醚醚酮和热塑性聚酰亚胺的任意一种形成。

10. 如权利要求 9 所述的发泡电线的制造方法，其中，所述发泡绝缘层的厚度为 30μm～200μm。

11. 如权利要求 9 所述的发泡电线的制造方法，其中，所述发泡绝缘层的平均气泡径为 0.1μm～5μm。

12. 如权利要求 9～11 的任一项所述的发泡电线的制造方法，其中，在所述发泡绝缘层的外侧设置未发泡的外侧皮层，并且在所述发泡绝缘层的内侧设置未发泡的内侧皮层，该内侧皮层的厚度与该外侧皮层的厚度的合计相对于内侧皮层的厚度、外侧皮层的厚度与所

述发泡绝缘层的厚度的合计为20％以下。

发泡电线及其制造方法

【技术领域】

[0001] 本发明涉及发泡电线及其制造方法。

【背景技术】

[0002] 逆变器（インバータ）作为有效的可变速控制装置已被安装于多种电气设备中。但是，其以数 kHz ～数十 kHz 进行切换，它们的每一次脉冲会产生冲击电压（サージ電圧）。这样的逆变器浪涌（インバータサージ）为如下现象：在传送体系内的阻抗不连续点、例如进行连接的配线的起始端或终止端等处产生反射，其结果最大施加逆变器输出功率电压的 2 倍的电压。特别是，由 IGBT 等高速开关装置所产生的输出功率脉冲的电压敏捷度（電圧俊度）高，从而即使连接电缆短，冲击电压也高，此外该连接电缆所产生的电压衰减也较小，其结果，产生逆变器输出功率电压的近 2 倍的电压。

[0003] 在逆变器关联设备、例如高速开关装置、变频马达（インバータモーター）、变压器等电气设备线圈中，作为磁导线主要使用漆包线即绝缘线。因而，如上所述，逆变器关联设备由于要施加逆变器输出功率电压的近 2 倍的电压，因而绝缘线要求起因于变频浪涌的局部放电劣化为最小限。

[0004] 一般来说，局部放电劣化为电气绝缘材料的局部放电所产生的荷电颗粒的碰撞所致的分子链断裂劣化、溅射劣化、局部温度上升所致的热熔融或热分解劣化、或放电产生的臭氧所致的化学劣化等复杂起因的现象。对于因实际的局部放电而劣化的电气绝缘材料发现了厚度的减少。

[0005] 为了得到不会产生局部放电的绝缘线也即局部放电的起始电压高的绝缘线，以防止这样的局部放电所致的绝缘线的劣化，可考虑有使绝缘线绝缘层的厚度增厚、或在绝缘层中使用相对介电常数低的树脂的方法。

[0006] 但是，若增厚绝缘层，则绝缘线变粗，其结果导致电气设备的大型化。该情况与近年来马达或变压器所代表的电气设备的小型化要求相悖。例如，具体地说，即使是说“根据在定子槽中放入多少根电线来确定马达等旋转机的性能”也并非言过其实，其结果，导体截面积相对于定子槽截面积的比例（占积率）在近年来变得非常高。从而，若绝缘层的厚度增厚，则占积率降低，因而不优选。

[0007] 另一方面，对于绝缘层的相对介电常数来说，作为绝缘层材料通常使用的树脂大部分的相对介电常数为 3 ～ 4 之间，如此并没有相对介电常数特别低的材料。另外，在实际中，在考虑到绝缘层所要求的其它特性（耐热性、耐溶剂性、可挠性等）的情况下，不一定能够选择相对介电常数低的材料。

[0008] 作为减小绝缘层的实质相对介电常数的手段，可考虑使绝缘层发泡，一直以来，将具有导体与发泡绝缘层的发泡电线作为通信电线广泛使用。以往熟知的例如有使聚乙烯等烯烃系树脂或氟树脂进行发泡而得到的发泡电线，作为这样的发泡电线，例如在专利文献 1、2 中记载了经发泡的聚乙烯绝缘电线，在专利文献 3、4 中记载了经发泡的氟树脂绝缘电线，在专利文献 5 中记载了这两者，在专利文献 6 中记载了经发泡的聚烯烃绝缘电线。

[0009] 但是，这些现有的发泡电线中，发泡倍数越增大，则绝缘破坏电压越降低。

[0010] 【现有技术文献】

[0011] 【专利文献】

[0012] 专利文献 1：日本专利第 2835472 号公报

[0013] 专利文献 2：日本专利第 3299552 号公报

[0014] 专利文献 3：日本专利第 3276665 号公报

[0015] 专利文献 4：日本专利第 3245209 号公报

[0016] 专利文献 5：日本专利第 3457543 号公报

[0017] 专利文献 6：日本专利第 3267228 号公报

【发明内容】

[0018] 【发明所要解决的课题】

[0019] 本发明是为了解决上述课题而作出的，其课题在于提供一种发泡电线及其制造方法，该发泡电线即使增大发泡倍数，绝缘破坏电压也优异，发泡化所致的低介电常数特性使耐局部放电性也优异。

[0020] 【解决课题的手段】

[0021] 本发明的发泡电线具有导体与发泡绝缘层，其中，上述发泡绝缘层由作为结晶性热塑性树脂或非晶性热塑性树脂的热塑性树脂形成，该结晶性热塑性树脂的熔点或非晶性热塑性树脂的玻璃化转变点为 150℃以上；且上述发泡绝缘层的平均气泡径为 5μm 以下。

[0022] 此处，所谓“结晶性”指的是高分子为有规则排列的状态。另外，“非晶性”指的是高分子例如为线球状或缠结这样的无定形状态。

[0023] 【发明的效果】

[0024] 根据本发明的发泡电线，即使增大发泡倍数，绝缘破坏电压也优异，发泡化所致的低介电常数特性使耐局部放电性也优异。

[0025] 具体地说，利用下述本发明的发泡电线，得到了不会降低绝缘破坏电压的效果，本发明发泡电线中，发泡绝缘层由作为结晶性热塑性树脂或非晶性热塑性树脂的热塑性树脂形成，该结晶性热塑性树脂的熔点或非晶性热塑性树脂的玻璃化转变点为 150℃以上；且上述发泡绝缘层的平均气泡径为 5μm 以下。上述结晶性热塑性树脂的熔点或非晶性热塑性树脂的玻璃化转变点的上限值没有特别限制，但通常为400℃以下。上述发泡绝缘层的平均气泡径的下限值没有特别限制，但通常为 0.01μm 以上。

[0026] 进一步地，通过利用有效相对介电常数为2.5以下、更优选为2.0以下的发泡绝缘层，或者通过使用相对介电常数为 4.0 以下、更优选为 3.5 以下的热塑性树脂，可得到局部放电起始电压的提高效果较大这样的效果，发泡绝缘层由结晶性热塑性树脂形成的本发明的发泡电线可得到耐溶剂性和耐化学药品性良好这样的效果。上述发泡绝缘层的有效相对介电常数的下限值没有特别限制，但通常为 1.1 以上。上述热塑性树脂的相对介电常数的下限值没有特别限制，但通常为 2.0 以上。

[0027] 另外，通过在上述发泡绝缘层的外侧具有未发泡的外侧皮层、或在上述发泡绝缘层的内侧具有未发泡的内侧皮层、或者具有这两者，从而得到了可良好地保持耐磨耗性和拉伸强度等机械特性这样的效果。皮层可在发泡工序中生成。内侧皮层可通过在气体饱和

前进行发泡来形成。这种情况下，也可在发泡绝缘层的厚度方向使气泡数呈梯度。另外，也可通过多层挤出包覆等方法来设置。这种情况下，可通过在内侧包覆不易发泡的树脂来形成内侧皮层。

[0028] 利用本发明的发泡电线的制造方法可制造这些发泡电线。

[0029] 可适宜参照所付的附图，由下述记载更为明确本发明的上述和其它特征及优点。

【附图说明】

[0030] 图 1 中，图 1(a) 为示出本发明的发泡电线的一个实施方式的截面图，图 1(b) 为示出本发明的发泡电线的其它实施方式的截面图。

[0031] 图 2 中，图 2(a) 为示出本发明发泡电线的另一实施方式的截面图，图 2(b) 为示出本发明发泡电线的另一实施方式的截面图，图 2(c) 为示出本发明的发泡电线的另一实施方式的截面图。

[0032] 图 3 为示出实施例 1 ～ 8 和比较例 1 ～ 6 中的绝缘破坏电压相对于发泡电线的气泡径的图表。

【具体实施方式】

[0033] 下面参照附图对本发明发泡电线的实施方式进行说明。

[0034] 图 1(a) 中示出截面图的本发明发泡电线的一实施方式具有导体 1 与包覆导体 1 的发泡绝缘层 2 ；图 1(b) 中示出截面图的本发明发泡电线的其它实施方式的导体的截面为矩形。图 2(a) 中示出截面图的本发明的发泡电线的另一实施方式在发泡绝缘层 2 的外侧具有外侧皮层 4 ；在图 2(b) 中所示的本发明发泡电线的另一实施方式在发泡绝缘层 2 的内侧具有内侧皮层 3 ；图 2(c) 中示出截面图的本发明发泡电线的另一实施方式在发泡绝缘层 2 的外侧具有外侧皮层 4，且在发泡绝缘层 2 的内侧具有内侧皮层 3。

[0035] 导体 1 例如由铜、铜合金、铝、铝合金或它们的组合等来制作。导体 1 的截面形状并无限定，可适用圆形、矩形（扁平）等。

[0036] 发泡绝缘层 2 中，平均气泡径为 5μm 以下、优选为 1μm 以下。若超过 5μm，则绝缘破坏电压降低 ；通过设为 5μm 以下，则可良好地维持绝缘破坏电压。进一步地，通过设为 1μm 以下，可更为确实地保持绝缘破坏电压。平均气泡径的下限并无限制，但实际上为 1nm 以上，为优选的。发泡树脂层 2 的厚度并无限制，但实际上为 30μm ～ 200μm，为优选的。

[0037] 另外，发泡绝缘层 2 优选为具有耐热性的热塑性树脂，例如可以使用聚苯硫醚 (PPS)、聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)、聚萘二甲酸乙二醇酯 (PEN)、聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT)、聚醚醚酮 (PEEK)、聚碳酸酯 (PC)、聚醚砜 (PES)、聚醚酰亚胺 (PEI)、热塑性聚酰亚胺 (PI) 等。本说明书中的“具有耐热性”是指结晶性热塑性树脂的熔点或非晶性热塑性树脂的玻璃化转变点为 150℃以上。此处，熔点指的是利用差示扫描量热计 (Differential Scanning Calorimetry ：DSC) 测定的值。另外，玻璃化转变点指的是利用差示扫描量热计 (DSC) 测定的值。进一步地，更优选结晶性热塑性树脂。例如为聚苯硫醚 (PPS)、聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)、聚萘二甲酸乙二醇酯 (PEN)、聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT)、聚醚醚酮 (PEEK) 等。

[0038] 通过使用结晶性热塑性树脂，得到了耐溶剂性、耐化学药品性优异的发泡电线。进

一步地，通过使用结晶性热塑性树脂，可使皮层变薄，使所得到的发泡电线的低介电特性良好。本说明书中，皮层是指未发泡的层。

[0039] 另外，优选使用相对介电常数为 4.0 以下的热塑性树脂，该相对介电常数更优选为 3.5 以下。

[0040] 其理由在于，在所得到的发泡电线中，为了得到局部放电起始电压的提高效果，发泡绝缘层的实效相对介电常数优选为 2.5 以下、进一步优选为 2.0 以下，这些发泡绝缘层通过使用上述相对介电常数的热塑性树脂而易于得到。

[0041] 相对介电常数可使用市售的测定器进行测定。关于测定温度和测定频率，可根据需要进行变更，但在本说明书中，只要没有特别记载，以测定温度为 25℃、测定频率为 50Hz 进行测定。

[0042] 另外，所使用的热塑性树脂可以单独使用一种、也可以 2 种以上混合使用。

[0043] 本发明中，在不会对特性造成影响的范围内，也可在获得发泡绝缘层的原料中掺合结晶成核剂、结晶化促进剂、气泡化成核剂、抗氧化剂、抗静电剂、紫外线防止剂、光稳定剂、荧光增白剂、颜料、染料、增容剂、润滑剂、增强剂、阻燃剂、交联剂、交联助剂、增塑剂、增稠剂、减粘剂和弹性体等各种添加剂。并且可在所得到的发泡电线中层积含有这些添加剂的树脂形成的层，也可涂布含有这些添加剂的涂料。

[0044] 另外，优选在发泡绝缘层的外侧处具有未发泡的外侧皮层、或在发泡绝缘层的内侧具有未发泡的内侧皮层、或者具有这两者。其中，在该情况下，为了不妨碍使相对介电常数降低的效果，相对于内侧皮层的厚度、外侧皮层的厚度与发泡绝缘层的厚度的合计，内侧皮层的厚度与外侧皮层的厚度的合计优选为 20% 以下、更优选为 10% 以下。上述内侧皮层的厚度与外侧皮层的厚度的合计相对于内侧皮层的厚度与外侧皮层的厚度以及发泡绝缘层的厚度的合计的比例的下限值没有特别限制，但通常为 1% 以上。通过具有内侧皮层或外侧皮层，表面的平滑性良好，因而绝缘性良好。进一步地，可保持耐磨耗性和拉伸强度等机械强度。

[0045] 发泡倍数优选为 1.2 倍以上、更优选为 1.4 倍以上。因而易于实现为得到局部放电起始电压的提高效果所必要的相对介电常数。发泡倍数的上限没有限制，但通常优选为 5.0 倍以下。

[0046] 对于发泡倍数，通过水中置换法来测定为了发泡而包覆的树脂的密度（ρf）和发泡前的密度（ρs），由（ρs/ρf）计算出发泡倍数。

[0047] 对于本发明的发泡电线，使热塑性树脂发泡的方法没有特别限定，可以在挤出成型时混入发泡剂、可通过填充氮气或二氧化碳等的发泡挤出进行包覆、或者可以在挤出成型为电线后通过填充气体来使其发泡。

[0048] 对于在挤出成型为电线后通过填充气体来使其发泡的方法进行更具体的说明。本方法包括下述工序：使用挤出模头将树脂挤出包覆在导体的外周后，通过保持在加压惰性气体气氛中而使其含有惰性气体的工序；以及通过在常压下进行加热来发泡的工序。

[0049] 这种情况下，若考虑大量生产性，则优选例如如下进行制造。即，成型为电线后，与间隔件（セパレータ）交错地进行重叠，卷绕在卷线轴上形成辊，将所得到的辊保持在加压惰性气体气氛中从而使之含有惰性气体，进一步在常压下加热至包覆材料的原料——热塑性树脂的软化温度以上，由此使其发泡。此时所使用的间隔件没有特别限定，可以使用透过

气体的无纺布。由于尺寸为配合卷线轴的宽度，因而可根据需要适当进行调整。

[0050] 另外，也可在使电线中含有惰性气体后，设于输送机中，在卷取机之间、在常压下使其通过加热至热塑性树脂的软化温度以上的热风炉中，从而进行连续发泡。

[0051] 作为惰性气体，可以举出氦气、氮气、二氧化碳或氩气等。直至发泡呈饱和状态为止的惰性气体渗透时间和惰性气体渗透量根据进行发泡的热塑性树脂的种类、惰性气体的种类、渗透压力和发泡绝缘层的厚度的不同而不同。作为惰性气体，若考虑气体向热塑性树脂的渗透性——速度和溶解度，则更优选二氧化碳。

[0052] 【实施例】

[0053] 下面基于实施例更详细地说明本发明，但本发明并不限定于此。

[0054] 本发明人进行了对于利用 PEN 树脂以平均气泡径为 0.1μm～5μm 的情况下（实施例 1～8)、气泡径为 7μm～31μm 的情况下（比较例 1～6)、未发泡的情况下（比较例 7～8) 的绝缘破坏电压、有效相对介电常数和局部放电起始电压 (PDIV：Partial DischargeInception Voltage) 进行比较的实验。

[0055] [实施例 1]

[0056] 在直径 1mm 的铜线的外侧以厚度 100μm 形成由 PEN 树脂构成的挤出包覆层，装入到压力容器中，在二氧化碳气氛下在 -25℃于 1.7MPa 进行 168 小时的加压处理，由此使二氧化碳渗透直至饱和为止。接下来，从压力容器中取出，投入到设定于 100℃的热风循环式发泡炉 1 分钟以使之发泡，得到在图 2(a) 中示出了截面图的实施例 1 的发泡电线。对于所得到的实施例 1 的发泡电线，通过后述方法进行测定。结果示于表 1-1 中。

[0057] [实施例 2]

[0058] 在二氧化碳气氛下在 0℃于 3.6MPa 进行 240 小时加压处理；投入到设定于 120℃的热风循环式发泡炉中；除此以外，与实施例 1 同样地得到在图 2(a) 中示出了截面图的实施例 2 的发泡电线。对于所得到的实施例 2 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-1 中。

[0059] [实施例 3]

[0060] 在二氧化碳气氛下在 -30℃于 1.3MPa 进行 456 小时加压处理；投入到设定于 120℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟；除此以外，与实施例 1 同样地得到在图 2(a) 中示出了截面图的实施例 3 的发泡电线。对所得到的实施例 3 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-1 中。

[0061] [实施例 4]

[0062] 在二氧化碳气氛下在 0℃于 3.6MPa 进行 240 小时加压处理；投入到设定于 100℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟；除此以外，与实施例 1 同样地得到在图 2(a) 中示出了截面图的实施例 4 的发泡电线。对所得到的实施例 4 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-1 中。

[0063] [实施例 5]

[0064] 在二氧化碳气氛下在 0℃于 3.6MPa 进行 96 小时加压处理；投入到设定于 120℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟；除此以外，与实施例 1 同样地得到在图 2(a) 中示出了截面图的实施例 5 的发泡电线。对所得到的实施例 5 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-1 中。

[0065] [实施例 6]

[0066] 在二氧化碳气氛下在 0℃于 3.6MPa 进行 96 小时加压处理；投入到设定于 140℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟；除此以外，与实施例 1 同样地得到在图 2(a) 中示出了截面图的实施例 6 的发泡电线。对所得到的实施例 6 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-1 中。

[0067] [实施例 7]

[0068] 在二氧化碳气氛下在 0℃于 3.6MPa 进行 96 小时加压处理；投入到设定于 140℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟；除此以外，与实施例 1 同样地得到在图 2(a) 中示出了截面图的实施例 7 的发泡电线。对所得到的实施例 7 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-1 中。

[0069] [实施例 8]

[0070] 在二氧化碳气氛下在 17℃于 4.7MPa 进行 16 小时加压处理；投入到设定于 90℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟；除此以外，与实施例 1 同样地得到在图 2(a) 中示出了截面图的实施例 8 的发泡电线。对所得到的实施例 8 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-1 中。

[0071] [比较例 1]

[0072] 在二氧化碳气氛下在 17℃于 5.0MPa 进行 16 小时加压处理；投入到设定于 100℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟；除此以外，与实施例 1 同样地得到比较例 1 的发泡电线。对所得到的比较例 1 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-2 中。

[0073] [比较例 2]

[0074] 在二氧化碳气氛下在 17℃于 4.7MPa 进行 16 小时加压处理；投入到设定于 120℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟；除此以外，与实施例 1 同样地得到比较例 2 的发泡电线。对所得到的比较例 2 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-2 中。

[0075] [比较例 3]

[0076] 在二氧化碳气氛下在 17℃于 5.0MPa 进行 24 小时加压处理；投入到设定于 140℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟；除此以外，与实施例 1 同样地得到比较例 3 的发泡电线。对所得到的比较例 3 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-2 中。

[0077] [比较例 4]

[0078] 在二氧化碳气氛下在 17℃于 4.8MPa 进行 3 小时加压处理；投入到设定于 140℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟；除此以外，与实施例 1 同样地得到比较例 4 的发泡电线。对所得到的比较例 4 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-2 中。

[0079] [比较例 5]

[0080] 在二氧化碳气氛下在 50℃于 4.9MPa 进行 7 小时加压处理；投入到设定于 140℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟；除此以外，与实施例 1 同样地得到比较例 5 的发泡电线。对所得到的比较例 5 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-2 中。

[0081] [比较例 6]

[0082] 在二氧化碳气氛下在 50℃于 4.9MPa 进行 3 小时加压处理；投入到设定于 140℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟；除此以外，与实施例 1 同样地得到比较例 6 的发泡电线。对所得到的比较例 6 的发泡电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-2 中。

[0083] [比较例 7]

[0084] 在直径 1mm 的铜线的外侧以厚度 100μm 形成由 PEN 树脂构成的挤出包覆层，得到比较例 7 的电线。对所得到的比较例 7 的电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-2 中。

[0085] [比较例 8]

[0086] 在直径 1mm 的铜线的外侧以厚度 0.14μm 形成由 PEN 树脂构成的挤出包覆层，得到比较例 8 的电线。对所得到的比较例 8 的电线进行与实施例 1 相同的测定。结果示于表 1-2 中。

[0087] [实施例 9]

[0088] 在直径 1mm 的铜线的外侧以厚度 30μm 形成由 PPS 树脂构成的挤出包覆层，装入到压力容器中，在二氧化碳气氛下在 -32℃于 1.2MPa 进行 24 小时加压，由此使二氧化碳渗透直至饱和为止。接下来，从压力容器中取出，投入到设定于 200℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟以使其发泡，得到在图 2(c) 中示出了截面图的实施例 9 的发泡电线。需要说明的是，所使用的 PPS 树脂中含有适度的弹性体成分及添加剂。对于所得到的实施例 9 的发泡电线，按后述方法进行测定。结果列于表 2。

[0089] [实施例 10]

[0090] 在直径 0.4mm 的铜线的外侧以厚度 40μm 形成由 PPS 树脂构成的挤出包覆层，装入到压力容器中，在二氧化碳气氛下在 -32℃于 1.2MPa 进行 55 小时加压，由此使二氧化碳渗透直至饱和为止。接下来，从压力容器中取出，投入到设定于 200℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟以使其发泡，之后包覆表 1-1 中所示厚度的外侧皮层，得到在图 2(c) 中示出了截面图的实施例 10 的发泡电线。需要说明的是，所使用的 PPS 树脂中含有适度的弹性体成分及添加剂。对于所得到的实施例 10 的发泡电线，按后述方法进行测定。结果列于表 2。

[0091] [实施例 11]

[0092] 在直径 0.4mm 的铜线的外侧以厚度 40μm 形成由 PPS 树脂构成的挤出包覆层，装入到压力容器中，在二氧化碳气氛下在 17℃于 4.9MPa 进行 55 小时加压，由此使二氧化碳渗透直至饱和为止。接下来，从压力容器中取出，投入到设定于 120℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟以使其发泡，得到在图 2(c) 中示出了截面图的实施例 11 的发泡电线。需要说明的是，所用的 PPS 树脂中含有适度的弹性体成分及添加剂。对于所得到的实施例 11 的发泡电线，按后述方法进行测定。结果列于表 2。

[0093] [比较例 9]

[0094] 在直径 1mm 的铜线的外侧以厚度 40μm 形成由 PPS 树脂构成的挤出包覆层，装入到压力容器中，在二氧化碳气氛下在 35℃于 5.4MPa 进行 24 小时加压，由此使二氧化碳渗透直至饱和为止。接下来，从压力容器中取出，投入到设定于 220℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟以使其发泡，得到比较例 9 的发泡电线。需要说明的是，所用的 PPS 树脂中含有适度的弹性体成分及添加剂。对于所得到的比较例 9 的发泡电线，按后述方法进行测定。结果列于表 2。

[0095] [比较例 10]

[0096] 在直径 1mm 的铜线的外侧以厚度 30μm 形成由 PPS 树脂构成的挤出包覆层，得到比较例 10 的电线。需要说明的是，所用的 PPS 树脂中含有适度的弹性体成分及添加剂。对

所得到的比较例 10 的电线进行与实施例 1 相同的测定。结果列于表 2。

[0097] [比较例 11]

[0098] 在直径 0.4mm 的铜线的外侧以厚度 40μm 形成由 PPS 树脂构成的挤出包覆层，得到比较例 11 的电线。需要说明的是，所用的 PPS 树脂中含有适度的弹性体成分及添加剂。所得到的比较例 11 的电线进行与实施例 1 相同的测定。结果列于表 2。

[0099] [实施例 12]

[0100] 在直径 0.5mm 的铜线的外侧以厚度 32μm 形成由 PET 树脂构成的挤出包覆层，装入到压力容器中，在二氧化碳气氛下在 -30℃于 1.7MPa 进行 42 小时加压，由此使二氧化碳渗透直至饱和为止。接下来，从压力容器中取出，投入到设定于 200℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟以使其发泡，得到在图 2(a) 中示出了截面图的实施例 12 的发泡电线。需要说明的是，所用的 PET 树脂中含有适度的弹性体成分。对于所得到的实施例 12 的发泡电线，按后述方法进行测定。结果列于表 3。

[0101] [比较例 12]

[0102] 在直径 0.5mm 的铜线的外侧以厚度 32μm 形成由 PET 树脂构成的挤出包覆层，装入到压力容器中，在二氧化碳气氛下在 17℃于 5.0MPa 进行 42 小时加压，由此使二氧化碳渗透直至饱和为止。接下来，从压力容器中取出，投入到设定于 200℃的热风循环式发泡炉中 1 分钟以使其发泡，得到比较例 12 的发泡电线。需要说明的是，所用的 PET 树脂中含有适度的弹性体成分。对于所得到的比较例 12 的发泡电线，按后述方法进行测定。结果列于表 3。

[0103] [比较例 13]

[0104] 在直径 0.5mm 的铜线的外侧以厚度 32μm 形成由 PET 树脂构成的挤出包覆层，得到比较例 13 的电线。需要说明的是，所用的 PET 树脂中含有适度的弹性体。对于所得到的比较例 13 的电线进行与实施例 1 相同的测定。结果列于表 3。

[0105] 评价方法如下。

[0106] [发泡绝缘层的厚度和平均气泡径]

[0107] 发泡绝缘层的厚度和平均气泡径通过利用扫描电子显微镜 (SEM) 观察发泡电线的截面来求出。对平均气泡径进行更具体的说明。从利用 SEM 进行观察的截面中任意选取 20 个气泡，对 20 个气泡的直径进行测定，求出它们的平均值。

[0108] [发泡倍数]

[0109] 对于发泡倍数，通过水中置换法来测定发泡电线的密度 (ρf) 和发泡前的密度 (ρs)，由 (ρs/ρf) 计算出发泡倍数。

[0110] [有效相对介电常数]

[0111] 对于有效相对介电常数，测定发泡电线的静电容量，计算出由静电容量与发泡绝缘层的厚度得到的相对介电常数。静电容量的测定中使用 LCR HiTESTER(日置电机株式会社制造、型号 3532-50)。

[0112] [绝缘破坏电压]

[0113] 有以下示出的铝箔法和双绞线（ツイストペア）法，选择铝箔法。

[0114] （铝箔法）

[0115] 切出适当长度的电线，在中央附近卷缠 10mm 宽的铝箔，在铝箔与导体间施加 50Hz

的正弦波交流电压，一边连续升压一边测定发生绝缘破坏的电压（有效值）。测定温度为常温。

[0116] （双绞线法）

[0117] 将 2 根电线捻合，在各导体间施加 50Hz 的正弦波交流电压，一边连续升压一边测定发生绝缘破坏的电压（有效值）。测定温度为常温。

[0118] ［局部放电起始电压］

[0119] 将 2 根电线捻合成扭转状（ツイスト状），制作试验片，向各导体间施加 50Hz 的正弦波交流电压，一边连续升压一边测定放电电荷量为 10pC 时的电压（有效值）。测定温度为常温。局部放电起始电压的测定中使用局部放电试验机（菊水电子工业制造、KPD2050）。

[0120] ［熔点、玻璃化转变点］

[0121] 熔点利用差示扫描量热计（Differential Scanning Calorimetry：DSC）进行测定。玻璃化转变点利用 DSC 进行测定。

[0122] 将实施例 1 ～ 12 和比较例 1 ～ 13 中得到的发泡电线的评价结果列于表 1-1、表 1-2、表 3 中。图 3 中将实施例 1 ～ 8 和比较例 1 ～ 6 中的相对于发泡电线气泡径的绝缘破坏电压以图表示出。实施例 1 ～ 8 的结果以○表示，比较例 1 ～ 6 的结果以△表示。

[0123] 【表 1-1】

[0124]

	实施例 1	实施例 2	实施例 3	实施例 4	实施例 5	实施例 6	实施例 7	实施例 8
绝缘层材质	PEN	PEN	PEN	PEN	PEN	PEN	PEN	PEN
熔点[℃]	265	265	265	265	265	265	265	265
玻璃化转变点[℃]	155	155	155	155	155	155	155	155
热塑性树脂的相对介电常数	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
平均气泡径[μm]	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6	1	2	5
发泡倍数	2.1	2.6	3.0	2.0	3.2	2.8	2.8	1.4
发泡绝缘层的厚度[μm]	145	143	142	145	151	150	145	132
外侧皮层的厚度[μm]	6	4	5	5	2	3	3	9
内侧皮层的厚度[μm]	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下
内外皮层的厚度的合计/内外皮层与发泡绝缘层的厚度的合计[%]	4.0～4.6	2.7～3.4	3.4～4.1	3.3～4.0	1.3～1.9	2.0～2.6	2.0～2.7	6.4～7.0
绝缘破坏电压[kV]	17.0	19.2	18.9	17.3	18.1	16.3	15.8	17.1
发泡绝缘层的有效相对介电常数	1.9	1.7	1.6	1.9	1.6	1.7	1.7	2.4
局部放电起始电压[V]	1650	1700	1750	1650	1800	1750	1700	1450

[0125] 【表 1-2】

[0126]

	比较例 1	比较例 2	比较例 3	比较例 4	比较例 5	比较例 6	比较例 7	比较例 8
绝缘层材质	PEN	PEN	PEN	PEN	PEN	PEN	PEN	PEN
熔点[℃]	265	265	265	265	265	265	265	265
玻璃化转变点[℃]	155	155	155	155	155	155	155	155
热塑性树脂的相对介电常数	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
平均气泡径[μm]	7	7	7	11	25	31	-	-
发泡倍数	1.7	2.1	2.8	2.5	1.9	1.8	1.0(未发泡)	1.0(未发泡)
发泡绝缘层的厚度[μm]	139	140	146	143	133	133	100	0.14
外侧皮层的厚度[μm]	9	5	5	3	8	6	-	-
内侧皮层的厚度[μm]	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	-	-
内外皮层的厚度的合计/内外皮层与发泡绝缘层的厚度的合计[%]	6.1～6.7	3.4～4.1	3.3～3.9	2.1～2.7	5.7～6.3	4.3～5.0	-	-
绝缘破坏电压[kV]	12.8	12.0	12.2	10.5	9.5	9.0	17.4	21.4
发泡绝缘层的有效相对介电常数	2.3	1.9	1.8	1.8	2.1	2.2	3.0	3.0
局部放电起始电压[V]	1700	1600	1700	1650	1500	1450	1100	1300

[0127] 如由表 1-1、表 1-2 所知，实施例 1 ～ 8 中可良好地维持绝缘破坏电压、且确认到了发泡所致的有效相对介电常数的降低以及 PDIV 的提高。另一方面，在比较例 1 ～ 6 中，尽管确认到了有效相对介电常数的降低以及 PDIV 的提高，但其绝缘破坏电压降低。比较例 1 ～ 6 中，将相对于未发泡的比较例 7、8 中测定的绝缘破坏电压降低 80% 的情况视为降低。

[0128] 【表 2】

[0129]

	实施例 9	实施例 10	实施例 11	比较例 9	比较例 10	比较例 11
绝缘层材质	PPS	PPS	PPS	PPS	PPS	PPS
熔点[℃]	280	280	280	280	280	280
玻璃化转变点[℃]	90	90	90	90	90	90
热塑性树脂的相对介电常数	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
导体径[mm]	1	0.4	0.4	1	1	0.4
平均气泡径[μm]	1	3	2	8	-	-
发泡倍数	1.5	-	-	1.4	1.0(未发泡)	1.0(未发泡)
发泡绝缘层的厚度[μm]	40	35	36	40	30	40
外侧皮层的厚度[μm]	4	5	5	3	-	-
内侧皮层的厚度[μm]	1 以下	1 以下	1 以下	1 以下	-	-
内外皮层的厚度的合计/内外皮层与发泡绝缘层的厚度的合计[%]	9.1～11.1	12.5～14.6	12.2～14.3	7.0～9.1	-	-
绝缘破坏电压[kV]	5	4.8	5.4	2.8	4.8	5
发泡绝缘层的有效相对介电常数	2.4	2.5	2.5	2.3	3.2	3.2
局部放电起始电压[V]	720	-	-	720	590	-

[0130] 如由表 2 所示可知，实施例 9 ～ 11 中可良好地维持绝缘破坏电压、且确认到了发泡所致的有效相对介电常数的降低以及 PDIV 的提高。另一方面，在比较例 9 中，尽管确认到了有效相对介电常数的降低以及 PDIV 的提高，但绝缘破坏电压降低。比较例 9 中，将相对于未发泡的比较例 10、11 中测定的绝缘破坏电压低于 80% 的情况视为降低。

[0131] 【表 3】

[0132]

	实施例 12	比较例 12	比较例 13
绝缘层材质	PET	PET	PET
熔点[℃]	260	260	260
玻璃化转变点[℃]	70	70	70
热塑性树脂的相对介电常数	3.2	3.2	3.2
导体径[mm]	0.5	0.5	0.5
平均气泡径[μm]	2	10	-
发泡倍数	1.6	-	1.0(未发泡)
发泡绝缘层的厚度[μm]	39	43	32
外侧皮层的厚度[μm]	4	12	-
内侧皮层的厚度[μm]	1 以下	1 以下	-
内外皮层的厚度的合计/内外皮层与发泡绝缘层的厚度的合计[%]	9.3～11.4	21.8～23.2	-
绝缘破坏电压[kV]	12.8	8.5	11.6
发泡绝缘层的有效相对介电常数	2.2	-	3.2
局部放电起始电压[V]	940	-	700

[0133] 如由表 3 所示可知，实施例 12 中可良好地维持绝缘破坏电压、且确认到了发泡所致的有效相对介电常数的降低以及 PDIV 的提高。与此相对，在比较例 12 中，绝缘破坏电压降低。比较例 12 中，将相对于未发泡的比较例 13 中测定的绝缘破坏电压低于 80% 的情况视为降低。

[0134] 本发明的发泡电线具有在图 1(a) ～ 1(b) 和图 2(a) ～ 2(c) 示出了截面图那样的截面。

[0135] 实施例 1 ～ 8、12 中无内侧皮层 3，为在图 2(a) 中示出了截面图的截面。另外，在实施例 9 ～ 11 中，由于设有内侧皮层 3 和外侧皮层 4，因而为在图 2(c) 中示出了截面图的截面。

[0136] 相对于此，本发明的发泡电线也可适用于如图 1(a) 中截面图所示那样的无内侧皮层 3 和外侧皮层 4 的情况，也可适用于如图 1(b) 中截面图所示那样的矩形导体 1 中。

[0137] 【工业实用性】

[0138] 本发明可利用在以汽车为代表的各种电气・电子设备等需要耐电压性、耐热性的领域中。

[0139] 本发明并不限定于上述实施方式中，在本发明技术事项的范围内可进行各种变更。尽管已经结合本发明实施方式对本发明进行了说明，但只要申请人并未进行特别指定，则并不将本发明限定于所说明的任何细节中，申请人认为，只要不违反所附权利要求所示的发明精神与范围，则应宽泛地进行解释。

[0140] 本申请以 2010 年 3 月 25 日在日本提出专利申请的日本特愿 2010-070068 为基础，主张其优先权，以参照的方式将其内容作为本说明书记载的一部分并入到本文中。

[0141] 【符号说明】

[0142] 1 导体

[0143] 2 发泡绝缘层

[0144] 3 内侧皮层

[0145] 4 外侧皮层

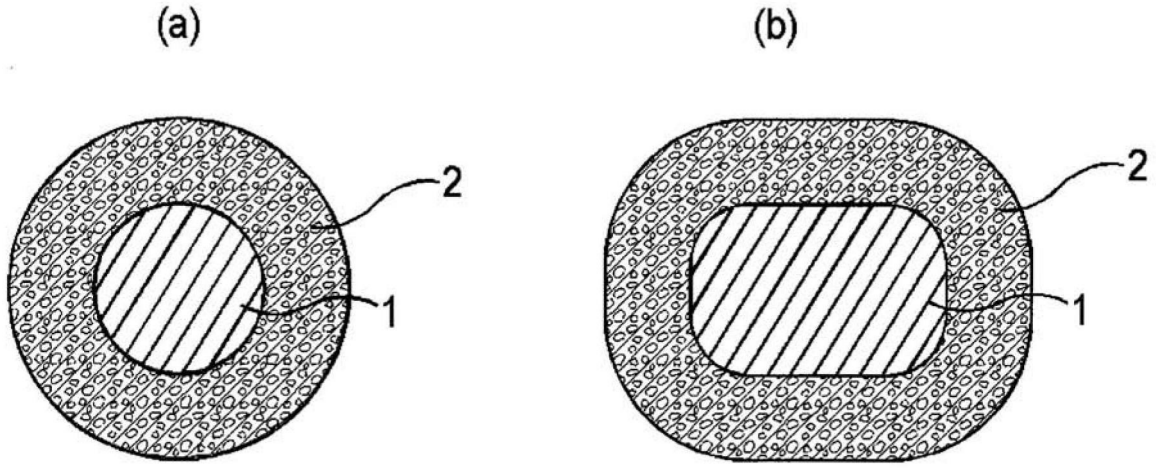

(a)
(b)
2
1
2
1

图 1

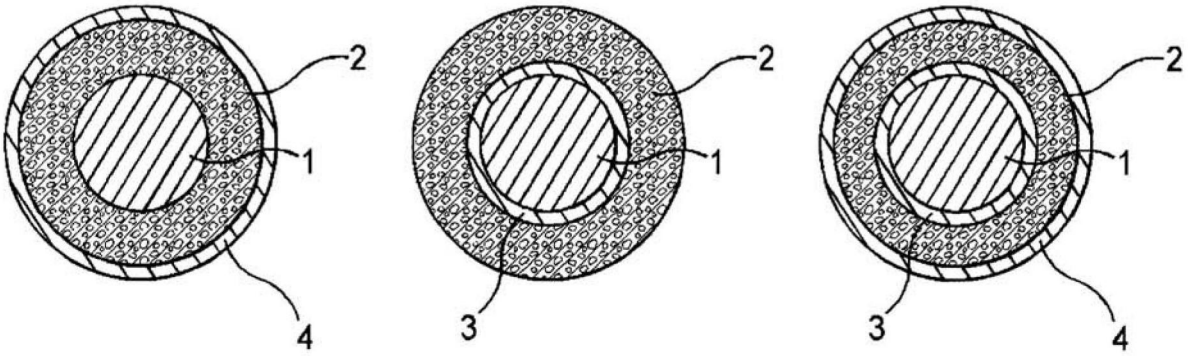

2
1
4
2
1
3
2
1
3
4

图 2

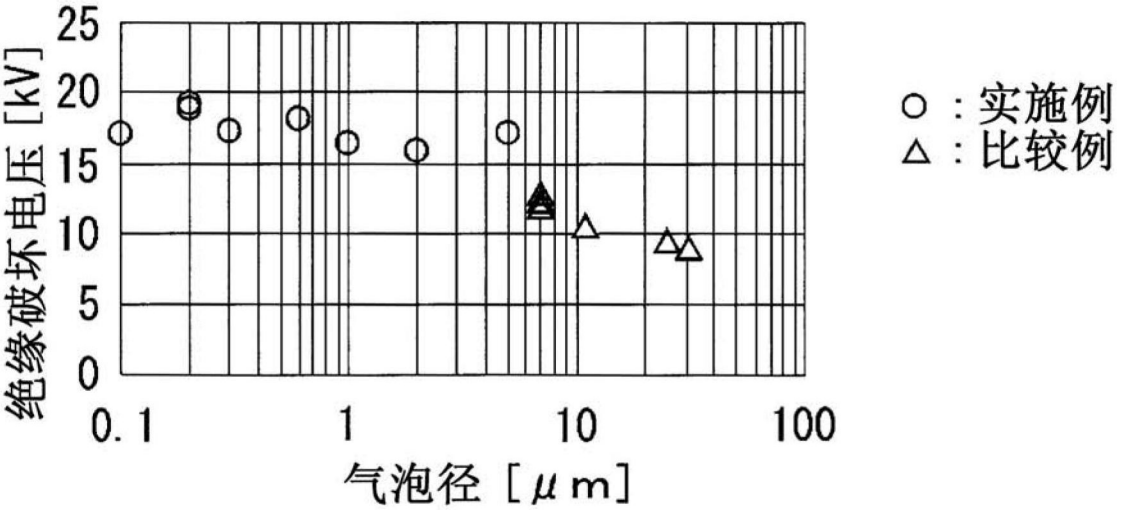

25
20
15
10
5
0
绝缘破坏电压 [kV]
0.1
1
10
100
气泡径 [μm]
○ : 实施例
△ : 比较例

图 3