[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
H01B 1/04
C01B 31/02

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01810126.7

[43] 公开日 2003 年 7 月 16 日

[11] 公开号 CN 1430785A

[22] 申请日 2001.3.30 [21] 申请号 01810126.7
[30] 优先权
[32] 2000. 3.30 [33] SE [31] 0001123 - 9
[86] 国际申请 PCT/SE01/00696 2001.3.30
[87] 国际公布 WO01/75902 英 2001.10.11
[85] 进入国家阶段日期 2002.11.25
[71] 申请人 ABB 股份有限公司
地址 瑞典韦斯特罗斯
[72] 发明人 O·约尔特斯塔姆 P·伊斯贝里
S·舍德霍姆 H·科尔斯克

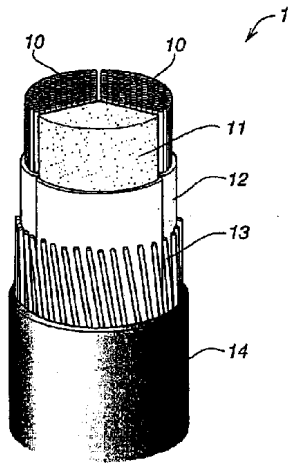
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 黄力行

权利要求书 4 页 说明书 11 页 附图 2 页

[54] 发明名称 一种电力电缆

[57] 摘要

本发明公开了一种电力电缆，其含有至少一根导线，所述导线包括在基体上基本均匀分布的各个纳米结构。



ISSN1008-4274

1.一种电力电缆（1、2、3、4），含有一根或多根由绝缘材料（12、22、32、44、48）包围的导线（10、11、20、21、30、42），其中至少一根导线（11、21、30、42）具有纳米结构，其特征在于，含有纳米结构的所述导线包括所述纳米结构分布其上的基体。

2. 根据权利要求 1 所述的电力电缆，其特征在于，所述基体包括至少下列一种材料，聚合物、陶瓷、金属、非金属、流体、凝胶、含碳材料，如石墨、无定形碳或球壳状碳分子；以及有机或无机材料，或所述材料的组合物。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的电力电缆，其特征在于，所述纳米结构基本均匀地分布在所述基体上。

4. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述纳米结构包括两层的和很小外径的多层纳米管。

5. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，含有各个纳米管的所述纳米结构至少 1μm 长。

6. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述基体含有小于 98 %体积的纳米结构。

7. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述基体含有小于 95 %体积的纳米结构。

8. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述基体含有小于 90 %体积的纳米结构。

9. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述基体含有小于 80 %体积的纳米结构。

10. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述基体含有小于 70 %体积的纳米结构。

11. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述基体含有小于 50 %体积的纳米结构。

12 根据权利要求 4 所述的电力电缆，其特征在于，所述纳米结构嵌在基体中。

13. 根据权利要求 12 所述的电力电缆，其特征在于，纳米结构间的物质是一种能够减少各个纳米材料之间相互作用的物质。

14. 根据权利要求 12 或 13 所述的电力电缆，其特征在于，所述物质包括电荷载体的接受体或供体。

15. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述纳米结构包括单层纳米管、多层纳米管，或单层与多层组合体。

16. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述纳米管可是金属性的，和半导体特性的，或是这两者的组合。

17. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述纳米管是 n , n 型或 n , m 型，或是这两者的组合。

18. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述纳米结构的内部空腔充满了碳原子或其他元素的原子。

19. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述纳米结构掺杂了碱金属或卤族元素。

20. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述含有基体中各纳米结构的导线是挤压出来的，因此各纳米结构的大多数定向于所述导线长度方向。

21. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，含有基体中各纳米结构的所述导线（42，46）形成了同心层。

22. 根据权利要求 21 所述的电力电缆，其特征在于，所述同心层围绕容腔（41），所述容腔包含至少下列一种材料，绝缘材料、基体材料、加强体、单/多模光纤（40）。

23. 根据权利要求 22 所述的电力电缆，其特征在于，所述加强体包括钢、凯夫拉尔纤维或纳米结构。

24. 根据权利要求 22 所述的电力电缆，其特征在于，设置所述单/多模光纤以便传输光信号或监控电缆。

25. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述纳米结构包括纳米管、纳米绳状体或纳米纤维经编织、编辫或扭绞而成的层状或鞘状结构。

26. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述半导体层（31、33、43、45、47、49）围绕所述导线。

27. 根据权利要求 26 所述的电力电缆，其特征在于，所述半导体层含有纳米结构。

28. 根据上面权利要求中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述绝缘层（12、22、32、44、48）包括至少下列一种材料，热塑性塑料、聚丁基乙烯、聚甲基戊烯、含氟聚合物、云母、聚氯乙烯、交联材料、橡胶材料。

29. 根据权利要求 26 到 28 中任一项所述的电力电缆，其特征在于，所述电缆包括至少一个半导体层，所述半导体层具有与绝缘层相同的材料，并容纳导体材料。

30. 根据权利要求 29 所述的电力电缆，其特征在于，所述导体材料是碳黑、金属，或含有纳米结构。

31. 一种生产含有至少一根导线的电力电缆的方法，所述至少一根导线包括纳米结构并被绝缘材料包围，其特征在于，所述方法包括步骤：纳米结构嵌入基体中，使所述材料形成导线，用绝缘材料围绕所述导线。

32. 根据权利要求 31 所述的方法，其特征在于，半导体层设置在所述绝缘材料的各个侧面上。

33. 根据权利要求 32 所述的方法，其特征在于，所述至少一根导线、半导体层、绝缘材料、基体材料和外表面层通过挤压形成电缆。

34. 根据权利要求 32 所述的方法，其特征在于，所述半导体层、绝缘材料、基体材料和外表面层缠绕在所述至少一根导线上。

35. 根据权利要求 31 到 34 中任一项所述的方法，其特征在于，

所述电缆的所有部分包括相同的基体材料，并一起进行挤压。

36. 根据权利要求 31 到 35 中任一项所述的方法，其特征在于，所述电缆经过固化。

37. 根据权利要求 31 到 36 中任一项所述的方法，其特征在于，所述电缆设置成可使流过电缆的电流受到至少下列一种作用的控制，机械的、电的、磁的或电磁的、扩散的或温度的作用。

38. 使用权利要求 1 到 30 中任一项所述的电力电缆来提供电力。

39. 使用权利要求 1 到 30 中任一项所述的电力电缆进行直流传输。

40. 使用权利要求 1 到 30 中任一项所述的电力电缆进行交流传输。

41. 使用权利要求 1 到 30 中任一项所述的电力电缆于高频系统。

42. 使用权利要求 1 到 30 中任一项所述的电力电缆向机器提供电力。

43. 使用权利要求 1 到 30 中任一项所述的电力电缆于通讯领域进行信号传输。

一种电力电缆

技术领域

本发明涉及一种电力电缆。更具体地讲，本发明涉及一种新的电力电缆导线材料的替代物、含有新导电材料的电力电缆的设计、所述电力电缆中电流的控制、和生产所述电力电缆的方法。

背景技术

目前，大部分电力电缆使用铜和铝作为导线材料。电领域使用的铜是通过电解生产的，其纯度至少为99.9%。铜具有非常好的导电性、容易连接并具有很高的拉伸强度。使用铜的问题是原材料的获得受到限制，铜还被列为有毒的金属。用作导体材料的铝的纯度为99.7%，是通过电解铝矾土来生产。与铜比较，铝的技术缺点在于导电性较差、低温蠕变和易于氧化。但这些缺点被其商业优势所抵消，铝的优势在于低而稳定的价格和很高的可用性。上面提到的铝的缺点也使铝不适合于面积不超过25平方毫米的小导体。另一个缺点是在生产铝的过程中要消耗大量的能量。因此，存在着充分的理由来寻找导体的替代材料。

1985年，发现了碳的第三个同素异构体。具有六边形和五边形的 sp^2-杂化碳构成的中空球/管状分子在激光气化石墨实验的产物中得到确认。该发现刊登在Koto H W, Heath J.R, O'Brien S.C, Curl R.F和Smalley R.E等人在“自然”杂志1985年卷318的162页上发表的文章“C_{60}: 球壳状碳分子（C_{60}: buckminsterfullerene）”中。这种分子由至少32个碳原子构成。这种结构最普通和稳定的形式是由60个碳原子构成的球状分子。这些中空的球状/管状分子称作球壳状碳分子。由60个碳原子构成的球状分子 C_{60} 被称作碳60。在碳60的分子中，各个碳原子与其他三个碳原子结合，结合键主要是在 sp^2 和 sp^3。

球壳状碳分子可具有直径为 0.7 到 1.5nm 和长度至少为 20μm 的开口管的形式，和在两端各有包含 6 个五边形的半球状端帽的封闭管的形式。这种球壳状碳分子还称作碳纳米管。碳纳米管可以高度对称的结构存在，即 'Z 字形' 和 '扶手椅' 结构。这些名字出自于沿其长度方向切开后绕碳纳米管的周边看到的图案，即 Z 字形图案和看起来像座椅和放在扶手椅上的手臂的图案。实际上大部分的碳纳米管没有这些高度对称的结构，而是具有绕碳纳米管轴线的螺旋形式的六角形结构。碳纳米管的命名系统在 Saito R, Fujita M, Dresselhaus G 和 Dresselhaus M.S 等人刊登在 "应用物理通讯（Appl. Phys. lett.）" 1992 年卷 60 的 2204-2206 页上的文章 "手征性的字形碳管的电子结构（Electronic Structure of Chiral Graphene Tubules）" 中给以了介绍。

碳纳米管的螺旋结构和直径可以用连接石墨片上的两个结晶等效点的向量 C 来表示，即：

$$C = na_1 + ma_2 \equiv (n, m)$$

n 和 m 是整数，其中 n≤m，a_1, a_2 是石墨结构的单位向量。当石墨片以向量的两个端点，即两个结晶等效点，重叠的方式卷起时，可形成圆柱。Z 字型管时 m = 0，扶手椅型管时 n = m。全部碳纳米管可以用两个数字（n, m）来表示。

取决于直径和螺旋性，碳纳米管可以具有金属性或半导体性，如 White C.T, Robertson D.H, och Mintmire J.W 等人在 "物理评论（Phys. Rev.）"1993 年卷 B47 的 5485-5488 页所介绍的，以及如日本化学学会在东京举行的学术会议的论文集 "第二次碳 60 讨论会论文摘要" 中 Endo M, Fujiwara H, Fukunga E 等人文章所介绍的。要具有金属性，

$$2n + m = 3q$$

其中 q 是整数，所有的 n, n 碳纳米管和三分之一的 n, m 碳纳米管具有金属性，其中 n 不等于 m。

根据理论模型，碳纳米管属于一维弹道（ballistic）导体，其阻抗不取决于电子碰撞之间的平均自由程。这些一维弹道导体的阻抗因此独立于其长度，支持这个论点的证据可以从许多实验中得到。

碳纳米管具有非常好的机械性能，比如高拉伸强度和很高柔度。在管的长度方向上的导电损失很小，并且具有低密度。纳米管有益于环保，并耐热和耐冷。存在着小的球壳状碳分子结构容纳于较大的球壳状碳分子结构中的多层球壳状碳分子。这些球状或管状的球壳状碳分子结构称作多层球壳状碳分子。所有前面谈到的球壳状碳分子结构都是光线照射含有碳的目标物自然产生的。

为了合成球壳状碳分子，要将气化的碳在惰性气体气氛下冷却和凝结。碳源必须要保持加热直到碳被蒸发，一种加热方式是利用两个碳电极之间电弧的能量，其中的电极用作碳源。一个或两个电极上的碳在电弧附近被消蚀掉然后气化。这个过程一定要在惰性气氛下进行，以便产生纯的碳纳米管。碳蒸气进行冷却使球壳状碳分子在蒸气中生长。这是利用载体气体将碳蒸气传送到收集板来实现的，在收集板，球壳状碳分子在石墨灰中凝结。此方法在 Smalley 等人的名为“制取球壳状碳分子的电弧工艺”的美国专利 5,227,038 中和 Ebbesen 等人刊登在“材料科学年度回顾（Annual Review of Materials Science）”1994 年卷 24 的 235 页的文章“碳纳米管”中给出了介绍。

电弧方法生产球形和管形球壳状碳分子的混合物。大部分生产的碳纳米管是多层的纳米管，其具有至少两个同心层。一层的纳米管优选应用于电的领域，由于其比多层的纳米管具有较少的缺陷，只有千分之一的单层纳米管会有缺陷，因此是比直径相同的多层碳纳米管更好的导体。更具体地讲，因为其具有金属导电性，优选采用扶手椅型或 $2n + m = 3q$ 的 n , m 型的单层纳米管。

已经知道在电弧法中使用碳和 VI 、VII 族过渡金属的混合物，如镍、钼、钴、铁或铂，可使单层碳纳米管的产量增加。过渡金属

和碳同时气化，金属可用作催化剂，如 Lijima 等人在“自然”杂志 1993 年卷 363 的 603 页上的文章“直径为 1nm 的单层碳纳米管（Single-shell Carbon Nanotubes of 1nm Diameter ）”中和 Lambert 等人在“化学物理通讯”杂志 1994 年卷 226 的 364 页上的文章“隔离单层碳纳米管的改进方法（Improving Conditions Toward Isolating Single-shell Carbon Nanotubes ）”中所报告的。碳纳米管的内部空腔可以充满碳和其他元素及化合物的原子/分子，这在 Chai 等人在“物理化学杂志”1991 年卷 95 的 7564 页上的文章“内部充满金属的球壳状碳分子（Fullerenes with metal inside ）”已有报告。还有，碳纳米管可以掺杂钾或溴，显示出可减低碳纳米管阻抗[见 Dekker S 在“当代物理（Physics Today）”1999 年五月号 22 页上的文章“用作分子量化线的碳纳米管（Carbon nanotubes as molecular quantum wires）”]。

另一种碳纳米管的生产方法是高温分解，比如国际申请 WO 99/25652 中介绍的在氧化铝模板中进行乙炔催化高温分解。氧化铝模板通过在适当酸槽中对 99.99%纯度的铝基板进行阳极氧化来生产。氧化铝模板含有均匀的平行孔，金属催化剂可通过电化学方式沉淀其中。碳纳米管通过孔中的碳氢化合物或一氧化碳气体的高温分解生成。在氧化铝和空气界面上的碳纳米管至少有一个开口端。所形成的碳纳米管的外径对应于模板中孔的直径。

生产单层碳纳米管的一种方法是利用一束或多束激光使含有一个或多个过渡金属的碳源在炉中约 1200^{0}C 的温度下气化。激光气化法要优于电弧法的地方在于能够更好地进行工艺控制。该工艺可以连续地进行，可以有较高的单层碳纳米管产量。碳纳米管构成大约 80%的沉积材料。此外，碳纳米管更纯并具有更好的质量（见 Guo T, Nikolaev P, Thess A, Colbert D. T, Smalley R.E 等人在“化学物理通讯(Chem.Phys. Lett.)”1995 年卷 243 的 49 页上的文章）。

单层碳纳米管在凝结时有形成含有 10 到 1000 个平行单层碳纳米管组团的倾向。这些所谓的绳状体的直径为 5 到 20nm。碳纳米管

绳状体显示出两维的三角形几何形状。认为范德瓦耳斯引力可以使碳纳米管聚合在一起。绳状体主要具有金属性。10,10 型管通常是绳状体的主要部分。

在国际申请 WO98/39250 中，Smalley 等人提出一种生产连续的长度至少为 1mm 的金属性碳纳米管纤维的方法，碳纳米管含有超过 10^6 个长度在 50 到 500nm 之间的单层碳纳米管。连续的纤维是通过复杂的工艺生产的，纤维从基底上有序且精细布置的纯单层碳纳米管开始生长。一旦带有碳纳米管的基底制备好后，通过氧化将碳纳米管顶端的端帽去除，然后使碳纳米管与金属催化剂接触。如通过激光气化石墨生产出的气态碳可在加热到 1100 到 1300^{0}C 时与开口端反应。进行金属化的碳纳米管连续生产的装置要设计成可保证碳纳米管的开口端总是位于其能够生长的区域。

中压到高压电力电缆（1KV 或更高）包括一个或多根导线，导线通常被内半导体层、一绝缘层、和围绕所述绝缘层的外半导体层所包围。在高压应用场合必须使用较厚的绝缘层，这样将增加电缆的直径。

各个碳纳米管潜在地可以具有非常高的电流密度（超过 1x10^6 安培/平方厘米），这意味着碳纳米管构成的导线可以做的非常小。可以通过改变碳纳米管的直径、同心层的数目和螺旋性来优化碳纳米管的电性能以适合于所要求的电性能。Wang 和 de Heer 等人在 1999 年三月举行的“物理能量展望学术会议（Symposium on Energy Landscapes in Physics）”(WC 35.02 会议) 报告了通过碳纳米管（可达 5μm 长）进行传导的电子在室温下不会产生热量。目前的超导体须冷却到非常低的温度才能得到类似于各碳纳米管得到的电流密度。

电场强度定义为单个电荷所受到的力。电场强度可通过场力线来确定。场力线越密集，电场强度越大。如果中压和高压电缆中的铜和铝导线如 Smalley 等人建议的那样用碳纳米管纤维来代替，将产

生许多问题。导线较小的半径将使导线附近产生非常高的电场，可能会高过传统的绝缘材料所能承受的程度。导线的小尺寸将使导线界面附近的绝缘材料产生非常高的热应变，这将使材料熔化和/或很快地毁坏。

发明内容

本发明的目的是提供一种电力电缆，其含有一个或多个导线，具有很低的传导损耗并能够有很高的电流密度。本发明的另一个目的是提供一种电力电缆，其可以减少或消除可导致高电场强度下局部放电的电缆绝缘系统中的空穴和孔洞。本发明的又一个目的是减少或消除由于绝缘层和半导体层不同材料的膨胀系数带来的问题。还有的一个目的是控制所述电力电缆中的电流。

本发明这些目的的实现是通过一种包括至少一根导线的电力电缆，该导线包括分布在基体上的纳米结构，术语纳米结构包括所有直径在 0.1 到 100nm 范围内的结构。纳米结构包括开口和封闭结构、单层和多层碳纳米管、球壳状碳分子、纳米球、纳米带、纳米绳状体、和纳米纤维，以及碳纳米管、纳米绳状体或纳米纤维经编织、编成辫或扭绞而成的层状或鞘状结构。

导线最好具有高机械强度、低传导损耗、低密度、高耐热和耐冷性能并能够有益于环境和容易循环利用。碳基的材料满足这些要求。解决在本发明的背景技术中提到的关于围绕小纳米结构的绝缘材料损坏问题的一种方式是设计一种具有在基体上基本均匀分布的纳米结构的导线。如果纳米结构互相接触，在基体中的比例可达到大约 98%体积。如果纳米结构分布在金属基体上，基体中纳米结构的比例将小于 98%体积。

应当知道，基体是一种材料，其中分布着各个纳米结构。基体，可以是聚合物、陶瓷、金属、非金属、凝胶、流体、有机或无机材料。基体还可以包括金属薄层，比如金薄层，薄层部分或全部覆盖

纳米结构，使相邻的纳米结构之间有金属性接触。金属基体降低了接触电阻并提高了各个纳米结构之间的传导性，这将使导线具有低传导损耗。含碳材料，如石墨、不定形碳和其他球壳状碳分子，也可以用作基体材料。使用含碳材料不会负面影响导线的传导性，将使生产导线的工艺简单和成本更合理，这是因为不需要对生产碳纳米结构时沉积的粉末作进一步的处理。

可具有金属性、半导体性质的碳纳米管可以是 n , n 或 n , m 型，可以是单层、多层，还可以掺杂碱金属如钾，或掺杂卤族元素如溴，以便减少纳米结构的阻抗，碳纳米管可以在内空腔含有碳或其他元素的原子。所用的碳纳米管可以是一个或上面提到的两个或更多的变化的组合。各个碳纳米管的长度最好是在至少 1μm 的等级以利用碳纳米管的弹道传导性。

纳米结构基本上均匀地分布在基体上。纳米结构可以嵌入，即离子、原子、分子进入或结合到包括碳纳米管、纳米绳状体或纳米纤维的纳米结构之间。纳米结构材料与金属一起提供各个单层碳纳米管之间的金属性接触，或与其他物质形成可降低纳米结构之间互相作用的空隙。元素周期表的 II 族碱金属作为中间物质有很好的作用。这些碱金属具有价电子，即在原子外层中的单个电子。价电子由于原子的电离能很低故很容易贡献出去，这样就形成正离子并成为电荷载体。还有其他的可以接受电荷载体的中间物质，和可以减少各个纳米结构之间相互作用的中间物质。

通过设计包括在基体上基本均匀分布的各纳米结构的导线，有效电流密度将下降，电场分布到更大的区域，这将减轻电场在导线附近的集中程度。极大地增加纳米结构和周围材料之间的界面。

如果导线受到挤压，由于通过喷嘴流型，大部分的纳米结构沿导线的长度定向。导线还可以通过压缩和基体材料一起的纳米结构的方式来生产，还可以通过在高压下一起熔化基体材料和纳米材料或通过铸造来生产。类似地生产超导导线的方法也可以应用，即纳

米结构以粉末的形式与基体材料混合，将混合物压成金属管、进行热处理、再将所述材料拉成和/或滚压成线材。

另一种可以解决绝缘材料损坏问题和避免导线周围高电场的方法是使用中空的导线，即一根或多根导线设置成一个或多个同心层。这样可以增加导线的外径，这将减少电场的集中度以及增加电场区域。在中空导线束中间的空间可填充绝缘或基体材料，热量通过这些材料传导；或设置可提高电缆的拉伸强度的包括钢、凯夫拉尔纤维或含有碳纳米结构材料的加强体，和/或单/多模光纤。加强体还可以与实心的，即非中空的导体相结合。这些生产碳纳米结构基导体的方法要求相对较少的纳米结构体积，以便得到所希望的电流密度。

在本发明的又一个优选实施例中，使用的多层纳米结构的直径很小，要小于 5nm，并且最好只有两层。这些纳米结构的外层用作内部导电层的保护层。

电缆的绝缘材料可包括热塑性塑料，如低/高密度的聚乙烯、低/高密度的聚丙烯、聚丁基乙烯、聚甲基戊烯；含氟聚合物，如聚四氟乙烯™；聚氯乙烯，交联材料，如交联聚乙烯；橡胶材料，如乙烯丙烯橡胶或硅橡胶。半导体层由与绝缘材料相同的但含有导电材料的材料组成，如碳黑，金属或纳米结构，如具有金属性质或半导体性质的碳纳米管。绝缘系统的各层互相接触。在本发明的一个优选实施例中，各层通过挤压径向相邻层而结合到一起。尽量减少绝缘系统中形成孔穴或孔洞的危险是重要的，否则将导致绝缘材料在高电场强度下出现局部放电。

如果上面提到的绝缘材料之一用作基体材料，整个电缆就可以用相同的基体材料制成。例如，聚乙烯可用作绝缘层，通过加入碳黑这类导电材料形成半导体层，并用作基体材料。这样就消除了不同材料之间要实现良好粘结的问题，并减少了由于不同材料在存在温差的情况下进行膨胀所带来的问题，并简化了电缆生产工艺。电缆内所有的层，如绝缘层、半导体层和外表面层围绕导线一起挤压。

为了生产根据本发明的电缆，导线甚至整个电缆在一个挤出工艺中进行挤压。电力电缆各部分的径向相邻层受到挤压或缠绕，然后电缆最好进行固化得到改进的弹性、强度和稳定性。

本发明其它的优点是电缆中的电流可以通过多种方式进行控制。一种控制电流的方式是对电缆施加压力来使导线中纳米结构之间或基体材料和纳米结构之间的接触性/导电性得到改善/降低。另一个可能是利用磁场来影响纳米结构或基体材料的阻抗，还可以利用基体材料的磁阻效应（magneto-rerstrictive effect）来影响纳米结构或基体材料的阻抗。另一个可能是利用基体材料的压电效应。另外，电磁波，比如微波或光，可以用来改变导线材料的导电性。另外的可能是通过扩散，利用纳米结构的氢吸收，这将影响其导电性。还有的可能性是改变导体的温度。

附图说明

通过参考下面附图并结合优选实施例的详细介绍可对本发明有更多的了解。其中，

图 1 是根据本发明的第一实施例的具有三根导线的电力电缆的三维视图；

图 2 是根据本发明的第二实施例的具有四根导线的电力电缆的三维视图；

图 3 是根据本发明的第三实施例的具有一根导线的电力电缆的三维视图；

图 4 是具有中空导线和位于中心的光纤的同轴电力电缆的三维视图。

具体实施方式

本发明涉及所有类型的提供电力的电力电缆，如用于直流或交流传输的、向机器提供电力的、以及通讯领域内传输信号的电缆。

本发明尤其是涉及用于高频系统的电力电缆，如高于 1KHz，更适合于高于 10KHz 的。将对本发明的一些优选实施例进行介绍。

根据本发明的第一实施例的电力电缆 1 在图 1 中显示。其包括两根铜或铝的导线 10，含有纳米结构如碳纳米管的第三根导线 11，绝缘层 12，由金属丝制成的同轴屏蔽物 13，和表面层 14。可以用编成辫的屏蔽物、金属箔、金属带或含有纳米结构的材料来代替金属丝制成的同轴屏蔽物 13。

图 2 显示了电力电缆 2，其包括四根导线，其中一根导线 21 含有纳米结构，其他导线 20 由铜或铝制成。如图所示，导线不具有相同的尺寸。导线 20、21 中的一个是接地的。导线被绝缘层 22 和外表面层 23 所包围。

如果半导体层设置在绝缘材料周围，电缆绝缘材料的电载荷减少。半导体层可形成等电位表面，电场相对均匀地分布在整个绝缘材料上。通过这种方式，由于电场局部集中而绝缘材料损坏的危险将得到减少。电缆的外半导体层可以保持处于可控的电位，例如大地电位。半导体层设置在绝缘材料的两侧。

图 3 显示了包括一根含有纳米结构的电缆 30 的电力电缆 3。其中纳米结构被内半导体层 31、绝缘层 32、可接地的外表面层 33 和金属丝制成的屏蔽物 34 所包围。电缆包括可含有碳纳米管的内和外半导体层 31、33。

多根各自具有其自身绝缘系统的同轴导线可结合成电力电缆，其包括绝缘和半导体材料，如图 4 所示。图 4 显示了电缆 4，其包括中空的含有纳米结构的导线 42，纳米结构导线被第一半导体层 43、绝缘层 44、第二半导体层 45，含有纳米结构的同轴导线 46、第三半导体层 47、绝缘层 48、第四半导体层 49 和外表面层 50 所包围。电缆的中心孔 41 可用绝缘材料、含有纳米结构的材料、加强体或单/多模光纤 40 来填充。光纤不容易受到电或磁干扰的影响，这使得光纤可结合到电力电缆中。光纤用于传输光信号和/或监控电缆。含有纳

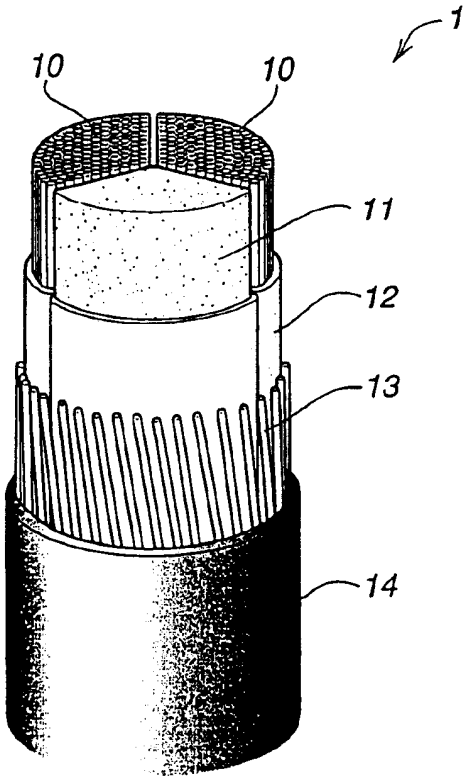
米结构的同轴导线46可以用铜或铝线、金属箔或金属带代替。

导线 10、11、20、21、30、42 可以具有与示例中所示不同的截面，可以有不止一个导线具有纳米结构。这些含有纳米结构的导线11、21、30、42、46具有在基体上基本均匀分布的各个纳米结构。

在本发明的优选实施例中，电力电缆如图 3 所示进行设计，其中导线30含有交联聚乙烯基体的98%体积的至少 1μm 长的单层碳纳米管。半导体层 31 和 33 含有交联聚乙烯基体上分布的碳黑颗粒。绝缘层 32 包括交联聚乙烯。屏蔽物 34 是铜线，而外表面层 35 是交联聚乙烯。

除了在本文中示例性示出的方法外，也可以使用生产根据本发明的电力电缆的另外方法。电缆的绝缘系统和半导体层可以缠绕在导线上。绝缘系统的一个示例是应用于传统的纤维素基电缆的绝缘系统，其中纤维素基材料或合成纸缠绕在导线的周围。绝缘系统的其他示例可包括含有实心多孔的、纤维性的或叠层结构的绝缘系统，绝缘系统并可浸渍电绝缘物质，如可充填绝缘系统中的孔或孔穴的矿物油。

图 1



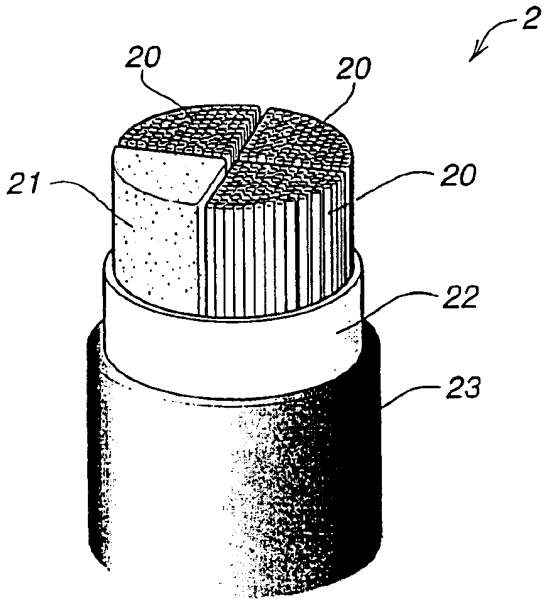
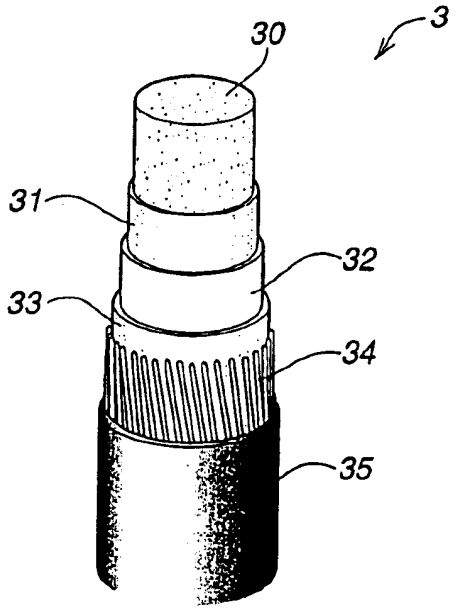


图 2

图 3



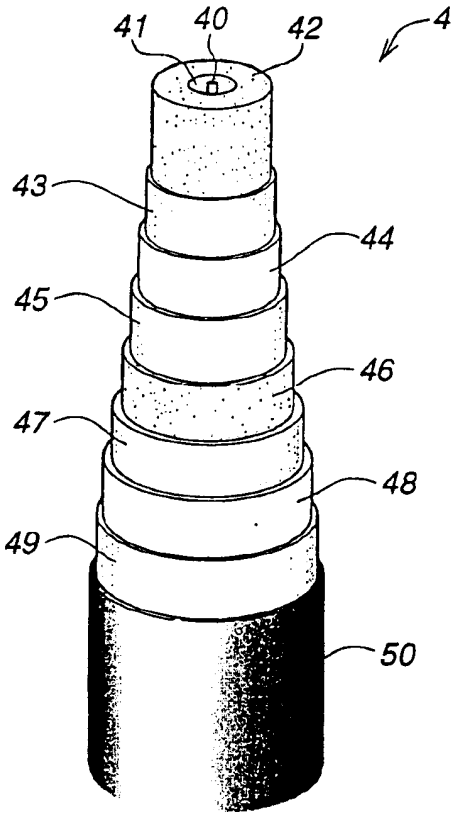


图 4