

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02818657.5

H01B 1/22 (2006.01)
C08K 9/04 (2006.01)
C08K 3/08 (2006.01)
C08L 21/00 (2006.01)

[45] 授权公告日 2006年9月20日

[11] 授权公告号 CN 1276437C

[22] 申请日 2002.9.23 [21] 申请号 02818657.5

[30] 优先权

[32] 2001.9.24 [33] FI [31] 20011872

[86] 国际申请 PCT/FI2002/000757 2002.9.23

[87] 国际公布 WO2003/028039 英 2003.4.3

[85] 进入国家阶段日期 2004.3.24

[71] 专利权人 普里米克斯有限公司

地址 芬兰拉贾马基

[72] 发明人 M·阿尔博斯 M·卡图南

T·韦尔克曼

审查员 俞文良

[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

代理人 刘明海

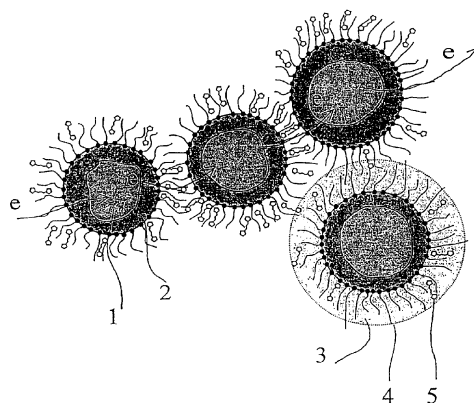
权利要求书 1 页 说明书 12 页 附图 5 页

[54] 发明名称

导电热塑性弹性体复合材料

[57] 摘要

本发明公开了一种包括弹性体基体和作为导电填料的涂覆有金属的粒子的导电热塑性弹性体复合材料。导电粒子至少部分地涂覆有自组装单分子层。涂层可以选择性地包括固定在自组装分子之间的分子导线。本发明热塑性弹性体的电阻率低并且不会由于压缩作用而显著增加。



1.一种导电热塑性弹性体复合材料，其包括弹性体基体和作为导电填料的含金属的粒子，其特征在于，导电粒子至少部分地涂覆有自组装单分子层，该单分子层的分子具有结构通式(1)：



其中 X 是能够与金属表面形成稳定配合物的中性端基。

2.如权利要求 1 中所要求保护的导电热塑性弹性体复合材料，其特征在于，X 是硫醇(SH)、4-吡啶或膦。

3.如权利要求 1 或 2 中所要求保护的导电热塑性弹性体复合材料，其特征在于，结构通式(1)中的 n 是 9-19。

4.如权利要求 1 或 2 中所要求保护的导电热塑性弹性体复合材料，其特征在于，在自组装单分子层中布置电中性分子导线，该分子导线的长度为 7-21Å。

5.如权利要求 4 中所要求保护的导电热塑性弹性体复合材料，其特征在于，该分子导线是四联噻吩(QT)或二苯基己三烯(DPHT)分子。

6.如权利要求 1 或 2 中所要求保护的导电热塑性弹性体复合材料，其特征在于，在自组装单分子层中布置导电聚合物。

7.如权利要求 6 中所要求保护的导电热塑性弹性体复合材料，其特征在于，导电聚合物是聚苯胺(PANI)、聚吡咯和/或聚噻吩。

8.如权利要求 1 或 2 中所要求保护的导电热塑性弹性体复合材料，其特征在于，弹性体基体包括至少两个聚合物相，其中至少一个相是连续相。

9.如权利要求 1 或 2 中所要求保护的导电热塑性弹性体复合材料，其特征在于，它包括苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯共聚物(SEBS)。

导电热塑性弹性体复合材料

技术领域

本发明涉及导电热塑性弹性体复合材料，该复合材料包括弹性体基体和作为导电填料的含金属的粒子。

背景技术

关于聚合物和聚合物混合物的电性能，它们通常是电介质。然而，在一些应用中聚合物材料优选具有一定的导电性。这样的应用包括抗静电包装，用于易燃物质的容器和管道工程，静电涂漆的加工型材，和自身已知的许多其它应用。此外，电子器件的数目不断增加一方面导致的是必须保护它们的电子设备免受由其它电子器件引起的电磁干扰，另一方面必须降低由它们对外界引起的电子干扰。换言之，这些器件必须是 EMI 屏蔽的。经常通过在用作基体材料的基本不导电的聚合物中混合金属或含金属的粒子、木炭、石墨或其组合而实现导电性。

术语弹性体是指从大分子形成的材料并且该材料的特征为具有伸长性并在释放张力之后快速恢复到原始形状。导电弹性体复合材料是已知的，其中基体材料例如为热固性材料、硅氧烷聚合物。必须将这样的基体材料交联以实现弹性性能，并且一般情况下使得能够加工该产品。交联需要大量能量和时间以及特殊的交联工具，使得产品的生产速度慢和生产成本高。导电热塑性弹性体复合材料也是已知技术。与热塑性材料相比，这些材料可以快速和便宜地加工，但电阻率值通常比采用热塑性材料高。

为使弹性体复合材料为导电性，其中混合的导电粒子必须彼此接触或它们之间的距离必须足够小以允许有效的隧道电流在它们之间通过。此外，必须从这些粒子产生引导通过基体材料的链(G. R. Ruschau 等人, J. Appl. Phys. 72, (1992)953-959)。导电粒子的体积分数必须足够大以满足所述条件。然而，增加体积分数劣化了(尤其)弹性体复合

材料的机械性能、可加工性能和表面质量。此外，材料的价格经常显著增加。因此，不能无限制地增加体积分数以增加导电性。

已知通过以各种方式处理粒子的表面而改进导电填料的导电性。一个备选方案是采用导电聚合物直接涂覆粒子。例如已经使用一种其中将十二烷基硫酸钠(SDS)首先涂覆到镍粒子表面上的方法，而采用聚吡咯涂覆镍粒子(Genetti W. B.等人, J. Mater. Sci. 33(1998), 3085-3093)。SDS 是一种表面活性物质，在镍粒子周围形成双层。然后使吡咯在双层内部进行聚合。该处理显著改进了粒子填充的聚乙烯的比电导率。

然而，已知的导电热塑性弹性体复合材料存在严重的问题是：当受到压缩力时，复合材料的电阻率极大地上升。例如，当压缩比是约10%时，与未压缩材料相比，电阻率升至100倍或更大。这自然是材料特性的本质改变。根据现有理论，电阻率应当由于压缩的作用而降低(G. R. Ruschau 等人, J. Appl. Phys. 72, (1992)953-959)。经常在实际应用中，对从所述材料制备的产品，如密封件，进行一定的压缩，并因此该问题是特别常见和有害的。

发明内容

本发明的目的是提供一种导电的热塑性弹性体复合材料，该复合材料具有更好的导电性特性和由压缩对导电性特性的非常低的影响。

本发明的热塑性弹性体复合材料的特征在于，导电粒子至少部分地涂覆有自组装单分子层，该单分子层的分子相应于结构通式1：



其中 X 是能够与金属表面形成稳定配合物的中性端基。

本发明的主要想法在于，导电粒子至少部分地被分子层覆盖，该分子层包括长链分子，形成自组装单分子层并用作钝化层。此外，优选实施方案的想法在于，在通式1中，X是能够与金属表面形成稳定配合物的中性端基，如硫醇、4-吡啶或膦。第二优选实施方案的想法

是，在通式 1 中， n 为 9-19 的数值。第三优选实施方案的想法是，在该长链分子之间附着电中性分子导线。第四优选实施方案的想法是，将导电聚合物分子，如聚苯胺、聚吡咯或聚噻吩附着到自组装单分子层。

本发明的优点在于，弹性体的电导率比先前更好。电导率也基本上不由于压缩的作用而改变。此外，可以采用一般用于塑料工业中的机械加工工具和方法，如注塑、挤出或热成形，以许多方式加工弹性体复合材料。尽管有优良的电导率，但本发明弹性体复合材料的熔体粘度低，允许它用于具有复杂形状的高质量产品的制造。

附图说明

将根据附图详细描述本发明，其中

图 1 图解说明本发明热塑性弹性体复合材料的导电粒子，

图 2 图解说明如下试样的电阻率：从本发明导电弹性体复合材料制成的试样和从现有技术弹性体复合材料制成的试样，该电阻率作为试样压缩比的函数，

图 3 图解说明如下试样的电阻率：从本发明导电弹性体复合材料制成的第二试样和从现有技术弹性体复合材料制成的试样，该电阻率作为试样压缩比的函数，

图 4 图解说明如下试样的电阻率：从本发明导电弹性体复合材料制成的第三试样和从现有技术弹性体复合材料制成的试样，该电阻率作为试样压缩比的函数，和

图 5 图解说明如下试样的电阻率：从本发明导电弹性体复合材料制成的第四试样和从现有技术弹性体复合材料制成的试样，该电阻率作为试样压缩比的函数。

发明详述

图 1 图解说明了本发明热塑性弹性体复合材料的导电粒子。本发明的导电热塑性弹性体复合材料包含导电粒子。由于银粒子的高电阻

率、薄氧化物层和金属柔软度，它们已显示出非常适合导电聚合物复合材料(G. R. Ruschau 等人, J. Appl. Phys., 第 72 卷, 992, 953-959)。由于银的高价格，通常使用从更便宜的材料制备的载体粒子。载体粒子 1 可以是玻璃、聚合物或某种比银更便宜的金属。在载体粒子 1 的上面，涂覆合适厚度的银层 2。然而，允许指出的是导电金属可以不是银，如铁、铜、镍、铬、金、铂、钯等。

进一步用薄的导电性有机分子层 3 涂覆这些粒子以显著降低粒子的接触电阻和产生一定程度的粒间引力。根据用于本发明的这些分子的长度，涂层的厚度为约 12-25Å，则在粒子之间最小的可能的接触距离是约 10-35 Å，即 1-2 个分子层厚度。分子层至少部分由长链分子 4 组成，它在金属表面上形成自组装单分子层。此层用作钝化层。在本文的上下文中，钝化是指保护表面不受离子电荷和电化学过程如腐蚀的影响，并且是指通过粒间范德华引力的活化，表面电势的显著降低。降低表面电势和介电常数也增强了从一个粒子到另一个粒子的电子的隧道效应。本发明的自组装分子具有式 1 的一般结构，其中链中碳原子的数目至少为 10 和至多为 20(n=9-19)，且其中 X 是能够在金属表面上形成配合物的中性端基。



自组装分子例如从如下文章中是已知的：A. Ulman, Chem. Rev. 96 (1996)1533-554 和 C. D. Bain 等人, J Am Chem Soc 111(1989) 321-335。适用于非常多的金属，如 Au、Ag、Pd 和 Pt，和 Cu 和 Fe 的自组装分子包括烷基硫醇和二烷基二硫化物(-S-S-)。4-吡啶、膦等也可以在金属表面上组装(P. M. Allen 等人, J. Electroanal. Chem. 178(1984), 69-86)。采用银粒子时，一般使用长链烷基硫醇，如十二烷基硫醇(DDM)或十八烷基硫醇(ODM)。

粒子的涂层也可包含长链芳族化合物，即分子导线 5，该芳族化合物能够固着在钝化层中的分子之间并基于它们自身的电导性将电子从一个粒子转移到另一个粒子。在图 1 中，箭头 e 表示电子从一个粒

子向另一个粒子的转移。具有给定的预定长度的导电芳族分子通常称为“分子导线”(T. S. Arrhenius 等人, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 83 (1986)5355-, J. M. Tour, Chem. Rev. 96(1996)537-553)。分子导线在自组装单分子层中的固着可以显著增加层的电导率(W. M. Albers, 芬兰专利 095574 7.08.1995)。必要的是,分子导线是中性的,即它们不带有离子电荷,由此在粒子之间不产生静电排斥力。分子导线略微短于自组装分子:在以下描述的实施例中,使用长度为 7-14 Å 的分子导线。略微更长的分子导线,最长至约 21 Å (芬兰专利 95574)也是可适用的。

将在以下实施例中详细描述本发明,其中使用的材料和试剂及它们的缩写是:DDM=十二烷基硫醇(Aldrich 5,799-8, >98.5%),ODM=十八烷基硫醇(Aldrich, O-185-8, 98%),BTZ=苯并三唑(Aldrich 19,044-6, 97%),BPD=4,4'-联吡啶(Fluka, 14455, 99%),DPE=1,2-二(4-吡啶基)乙烯(Fluka, 43640, >98%),QT=四联噻吩(quaterthiophene)(合成描述参见:W. M. Albers 芬兰专利 095574 7.08.1995),DPHT=1,6-二苯基-1,3,5-己三烯(Fluka 43050, >99%)和 PANI=聚苯胺(Panipol Oy, Panipol-T, 4.6%的甲苯溶液)。

使用的溶剂是:乙醇(Aa 和 Ba 质量, Primalco, 芬兰),甲苯(纳米级, Malinckrodt 8092),丙酮(工业质量, Tamro, 芬兰),氯仿(HPLC 质量, Baker 9174 或 Malinckrodt 4443)。在所有的实施例中,使用的基体弹性体是苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯共聚物(SEBS)配混物。镀银纤维为 SF82TF8 类型和球 S 3000 S3N, 制造商 Potters Industries Inc。聚硅氧烷参考试样是典型的硅氧烷弹性体,它的导电填料由银涂覆的玻璃球组成。

具体实施方式

实施例 1

通过在填料粒子表面上的自组装研究分子导线的直接涂覆。作为分子导线,测试 BPD 和 DPE(Sagara 等人, Langmuir 6, 254-262)对弹性体试样的电阻率值的影响。制备本发明的导电弹性体,并测量从

它们制成的试样的电阻率值。由于已知 BTZ 会强烈吸附到银表面上(S. Kapoor, Langmuir 14(1998)1021-1025, N. Shibata & S. Suzuki, J. Pat. 3158230, 1991), 也研究了 BTZ 的影响。

涂覆填料粒子

根据表 I 在 250ml 有机溶剂中稀释不同的化合物组合。将溶液加入到 60 克银涂覆的玻璃纤维粒子中。将获得的淤浆在室温下混合至少 1 小时, 然后在布氏漏斗中过滤该淤浆。用溶剂将粒子仔细清洗三次, 然后将粒子在真空下在 80℃ 的温度下干燥。在制备弹性体复合材料之前, 在脱水器 (exicator) 中贮存粒子。

表 I

| 试样编号 | 化合物及其数量/250ml 溶剂和 60g 填料 | 溶剂(吸附相/洗涤相) |
|------|--------------------------|-------------|
| 1a | 1.5g BPD | 乙醇/乙醇 |
| 1b | 1.5g BPD+0.5g BTZ | 乙醇/乙醇 |
| 2a | 1g DPE | 乙醇/乙醇 |
| 2b | 1g DPE+0.5g BTZ | 乙醇/乙醇 |

弹性体的制备

在 230℃ 温度下, 在 70min^{-1} 的转速下, 将粒子在 Brabender 混合机中混合入 SEBS 配混物中。当复合材料的混合转矩恒定时, 停止混合。这发生在约 4 分钟的混合之后。导电填料在弹性体复合材料中的含量是 44 体积%。

弹性体复合材料的电阻率的测量

通过在模腔中在 230℃ 的温度下, 在两个热模板之间压缩该复合材料, 然后在压缩下冷却所获得的预成型品, 而从以上述方式制备的弹性体复合材料制备试样。预成型品的尺寸是 3×6cm 和它的厚度是 2mm。从预成型品切割出实际的试样, 它的尺寸是 1×1cm。通过使用 HP-4338B 测量设备测量试样的电阻率。使用的测量信号是在 1kHz 频率下的 11mV 交流电。

在测量期间, 在两个矩形的金涂覆的电极之间布置试样。使用转矩扳手逐步增加试样的压缩比, 作用在试样上的压缩力是 0、5、10、

15、20、25、30 或 35cNm。在每次增加压缩力之后测量试样的厚度。在下一次增加压缩力之前立即测量试样的电阻率。在电极之间压缩试样的同时，通过采用单独的短路导线将电路短路，而确定该测量的零级电阻。将短路断开，然后读出电阻值。

结果

图 2 显示作为试样的压缩比的函数的试样的电阻率值。压缩比%表示在压缩下试样的厚度相对于不在压缩下试样的厚度的变化。该图也显示从现有技术弹性体复合材料制成的两个参考试样的电阻率值，如上所述测试该电阻率值。第一参考试样“V1，未改性”由热塑性 SEBS 配混物制成，它的导电填料是银涂覆的玻璃纤维粒子，该粒子不根据本发明而加以处理。第二参考试样，“V2，商业试样”为硅氧烷弹性体。如图 2 所示，当压缩比增加时，代表已知热塑性技术的 V1 的电阻率显著增加。当压缩比是 5-6%或更大时，这一点特别是这样的情况。反而，从热固性材料制成的 V2 的电阻率，并不由于压缩的作用而变化很多，并且在整个压缩比范围内它的电阻率是所有测量试样中最低的。

图 2 说明，BPD 自组装到银粒子表面上轻微损害了弹性体的电阻率值，而 DPE 作为压缩比函数地提高了弹性体的电阻率值。BTZ 的影响与 BPD 的关联极轻微而与 DPE 的关联不显著。因此，极短的自组装芳族化合物，即极短的分子导线并不改进电导率特性，但较长——至少 7 Å 长——的分子导线作用明显更好。

实施例 2

在实施例 2 中，研究十八烷基硫醇 ODM 和不同的芳族化合物对制成的弹性体试样的电阻率值的影响。如实施例 1 中所述涂覆纤维填料粒子。如实施例 1 中所述制备弹性体并测量弹性体复合材料的电阻率。在表 II 中给出了使用的化合物和它们的数量。

表 II

| 试样编号 | 化合物及其数量/250ml 溶剂和 60g 填料 | 溶剂(吸附相/洗涤相) |
|------------------|-------------------------------|-------------|
| 3a | 1g ODM | 甲苯/甲苯 |
| 3b | 1g ODM+0.24g QT) ¹ | 甲苯/丙酮 |
| 4a | 1g ODM | 氯仿/氯仿 |
| 4b | 1g ODM+0.5g BTZ | 氯仿/氯仿 |
| 4c | 1g ODM+0.24g QT) ² | 氯仿/氯仿 |
| 4d | 1g ODM+0.24g DPHT | 氯仿/氯仿 |
| 5a) ⁰ | 1g ODM+0.24g DPHT | 氯仿/氯仿 |

)¹: QT 不完全溶解,)²: 必须过滤溶液,)⁰: 银涂覆的球

结果

图 3 显示根据实施例 2 的弹性体复合材料的电阻率。填充有仅用 ODM 涂覆的银纤维粒子的弹性体复合材料(试样 3a 和 4a)的电阻率明显地低于参考试样 V1 的电阻率。该差异在非常低的压缩比下是很明显的并且特别当压缩比超过 5-6% 时还增加。对于复合材料 3a, 即溶于甲苯中的 ODM, 获得用 ODM 涂覆的复合材料的最好电阻率值。例如, 与 V1 的电阻率值相比, 在 9% 压缩比下, 3a 的电阻率下降到约 14%, 而在 12% 压缩比下, 下降到约 10%。

复合材料 3b、4b 和 4c, 即键合有 QT 或 BTZ 的 ODM, 得到显著低于参考试样 V1 的电阻率值, 特别是在超过 5-6% 的压缩比下。此外, 它们的电阻率在整个测量的压缩范围内保持相当恒定。然而, 采用复合材料 4d 和 5a, 即用 ODM 和键合到其上的 DPHT 涂覆的导电粒子获得最好的结果。尽管复合材料 4d 的电阻率仍然相对于参考试样 V2 为约双倍, 但它的电阻率在 4-10% 的压缩比范围内保持基本恒定。在小于 4% 的压缩比范围内, 电阻率首先下降-如参考试样 V2 和其它试样的电阻率那样。这可能是由于在电极和弹性体之间的接触电阻下降。当使用银涂覆的球(整个弹性体复合材料的 50 体积%)代替银涂覆的纤维时(试样 5a), 通过压缩的作用, 电阻率行为显著改变。首先, 电阻率一般显著低于商业参考试样 V2 的电阻率, 并且在甚至非常高

的压缩比下，电阻值仍保持为低值。

实施例 3

实施例 3 研究十八烷基硫醇 ODM，十二烷基硫醇 DDM 和 1,6-二苯基-1,3,5-己三烯 DPHT 对弹性体电阻率的影响。在这些测试中，使用涂覆的球(整个弹性体复合材料的 50 体积%)代替银涂覆的纤维，并且作为溶剂使用甲苯，它具有比氯仿更好的工作安全性。表 III 列出了所使用的化合物。如实施例 1 和 2 中所述涂覆填料粒子，但物质的数量相对于填料的数量减半。以与实施例 1 和 2 中相同的方式制备弹性体和测量弹性体复合材料的电阻率。

表 III

| 试样编号 | 化合物及其数量/125ml 溶剂和 60g 填料 | 溶剂 |
|------|--------------------------|----|
| 6a | 0.5g ODM | 甲苯 |
| 6b | 0.5g ODM+0.12g DPHT | 甲苯 |
| 7a | 0.5g DDM | 甲苯 |
| 7b | 0.5g DDM+0.12g DPHT | 甲苯 |

结果

图 4 显示作为压缩比的函数的不同弹性体复合材料的电阻率值。试样 5a(表 II)给出比商业参考试样 V2 明显更低的电阻率，而改变溶剂和将自组装化合物的数量减半得到几乎等于参考试样 V2 的电阻率值。在此情况下，DPHT 的影响仅是非常轻微的，而 DDM 得到与 ODM 几乎相同的结果。

实施例 4

在实施例 4 中，研究 ODM 和聚苯胺 PANI 对弹性体的电阻率值的影响。根据表 IV 制备不同的填料试样。如实施例 3 中所述涂覆填料粒子，制备导电弹性体和测量弹性体复合材料的电阻率。聚苯胺的制备例如描述于文章 Y. Cao 等人, Synth. Met. 55-57(1993) 3514-3519。

表 IV

| 编号 | 化合物及其数量 | 溶剂 |
|-----|------------------------|----|
| 6c1 | 0.5g ODM+0.12g PANI | 甲苯 |
| 6c2 | 0.12g PANI | 甲苯 |
| 6c3 | 0.5g ODM+0.12g PANI)* | 甲苯 |
| 6c4 | 0.5g ODM+0.12g PANI)** | 甲苯 |

)*将粒子首先与 ODM 混合 $1\frac{1}{2}$ 小时, 然后加入 PANI 并继续混合 3 小时。

)**将粒子首先与 ODM 混合 $1\frac{1}{2}$ 小时, 然后加入 PANI 并继续混合 $1\frac{1}{2}$ 小时。

结果

图 5 显示根据表 IV 制备的弹性体复合材料的电阻率曲线。与参考试样 V3 相比, 聚苯胺 PANI (试样 6c2) 在球形粒子表面上的沉淀在一定程度上降低了电阻率, 但压缩比的影响显著。单独的 ODM (试样 6a, 表 III) 的影响明显更大并提供了几乎等于参考试样 V2 的电阻率, 它的电阻率仅轻微受增加的压缩比的影响。当 PANI 和 ODM 同时沉淀在银球表面上时 (试样 6c1), 电阻率下降到轻微低于商业参考试样 V2。通过首先用 ODM 涂覆银球并在 $1\frac{1}{2}$ 小时以后加入 PANI, 获得相当相似的结果。

结论

根据简单模型, 导电复合材料的电阻(R_c)由五个因子组成(G. R. Ruschau 等人, J. Appl. Phys. 72, (1992)953-959):

1. 外部电极和复合材料之间的电阻(R_e),
2. 填料粒子的电阻率(R_i),
3. 填料粒子间的接触电阻(R_p),
4. 导电链中粒子的(平均)数目(M),
5. 导电链的数目(N)

在此情况下, 其中基体自身不是导电性的复合材料的电阻, 可以由如下方程式给出:

$$(2) \quad R_c = 2R_e + \frac{(M-1)R_p + MR_i}{N}$$

可以通过选择基体和填料来影响填料粒子的电阻率。可以通过改变填料粒子表面的特性而影响接触电阻(和链接)。第一重要的现象是接触电阻。当在填料粒子之间的物质是电介质时,实际上根据隧道电阻确定接触电阻。当粒子彼此间比约 8nm 更近时,电子的隧道效应有效。此外,通过粒间物质的特性而影响隧道效应,该特性包括势垒,其根据物质的厚度和介电常数确定。用自组装单分子层涂覆银粒子使得可以以至少三种方式降低此电阻:(1)氧化物层可以用具有更好电导率的硫化物层代替,和(2)该层(烷基链)显著降低势垒,它也增强了即使在较长距离内电子的隧道效应,和(3)长烷基链降低表面电势和表面电阻,由此所述粒子通过弱范德华引力而在基体聚合物内部产生链。

专利申请 JP-298683/1989 描述了硫醇、苯并三唑和石蜡在降低银表面的接触电阻,防止腐蚀,和保持低表面滑动阻力中的结合效果。相反地,在涂覆用于弹性体复合材料的银粒子时,至少苯并三唑和硫醇在降低接触电阻方面的结合效果不是非常显著:硫醇自身在降低接触电阻到合适水平方面和在使压缩力的影响最小化方面是足够有效的。相反,当在自组装工艺期间加入中性分子导线时,接触电阻显著下降。

尽管 ODM 的有效机理迄今为止特别在理论水平上还不清楚,但在经验测试中已经发现其能显著降低弹性体复合材料的电阻率,特别是在受到压缩力的试样中。压缩力对由所有粒子形成的链,即方程式中的数值 M 和 N 及导电链中粒子之间的平均距离都有一定程度的作用。测量表明,当粒间接触电阻仅通过非导电烷基硫醇的作用而降低时,压缩力不再非常强烈地起作用。这可能意味着,当导电粒子之间的距离增加时,通过涂层的作用,电子的隧道效应也改进。

低聚物分子导线和导电聚合物可以键合到 ODM 上并进一步降低粒子的电阻率。在此情况下,可以更多地根据分子导线的电阻率而不是隧道效应过程,确定接触电阻。这也导致压缩曲线更平坦。

实施例和相关说明书仅用于举例说明本发明的想法。本发明的详细情况可以在权利要求书的范围内变化。因此，本发明自然不限于在所附实施例中描述的复合材料。导电填料中粒子的基本形状可以例如是球形、正方形、薄片、纤维或自身已知的任何其它粒子形状。填料也可以包括两种或多种不同的粒子形状。填料粒子可以完全是导电材料或它可以由用导电材料涂覆的粒子组成。导电填料可以是银以外的另一种金属，如铁、铜、镍、铬、金、铂或钯。也可以应用两种或多种导电填料的复合材料。弹性体复合材料中导电填料的含量可以自然地自身已知的极限内变化。

弹性体基体可以不仅由一个，而且可以由两个或多个聚合物材料相组成，其中至少一个相是连续相，即基体可以具有 IPN 结构(互穿聚合物网络)。这样的结构例如描述于 US 专利 5,844,037; 国际专利申请 WO 9941304; EP 专利申请 0 272 541; EP 专利申请 0 718 350 和 EP 专利申请 0 581 541。在 IPN 基体中，将导电填料与连续的聚合物材料相混合。

图1

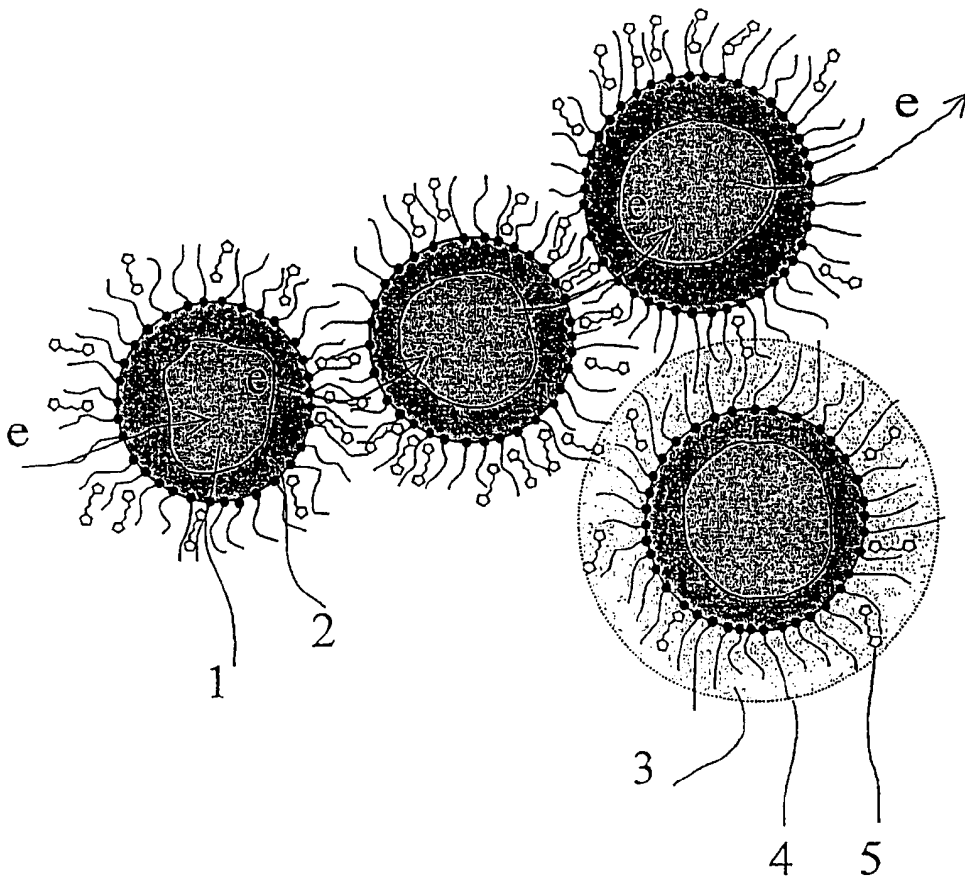


图 3

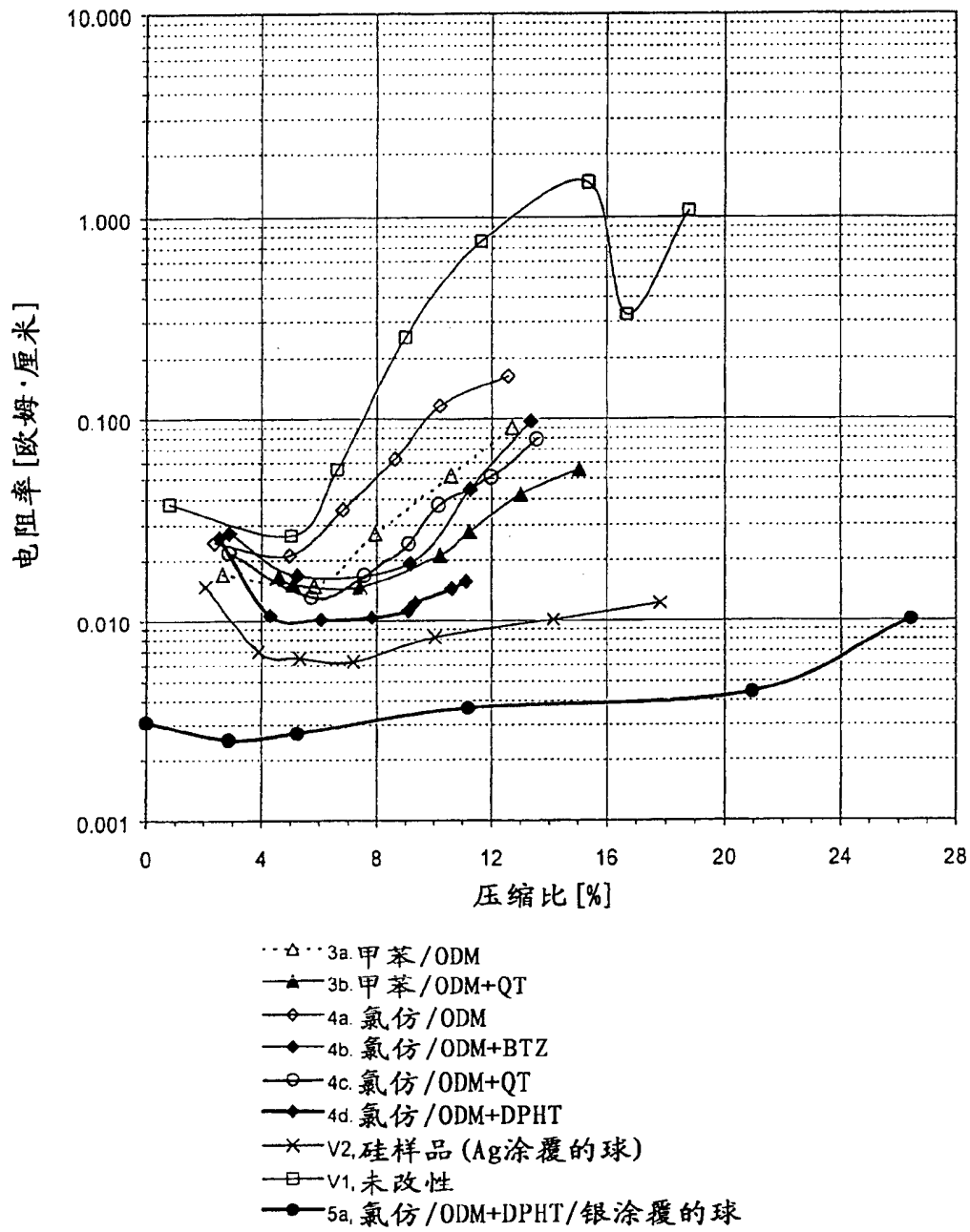


图 4

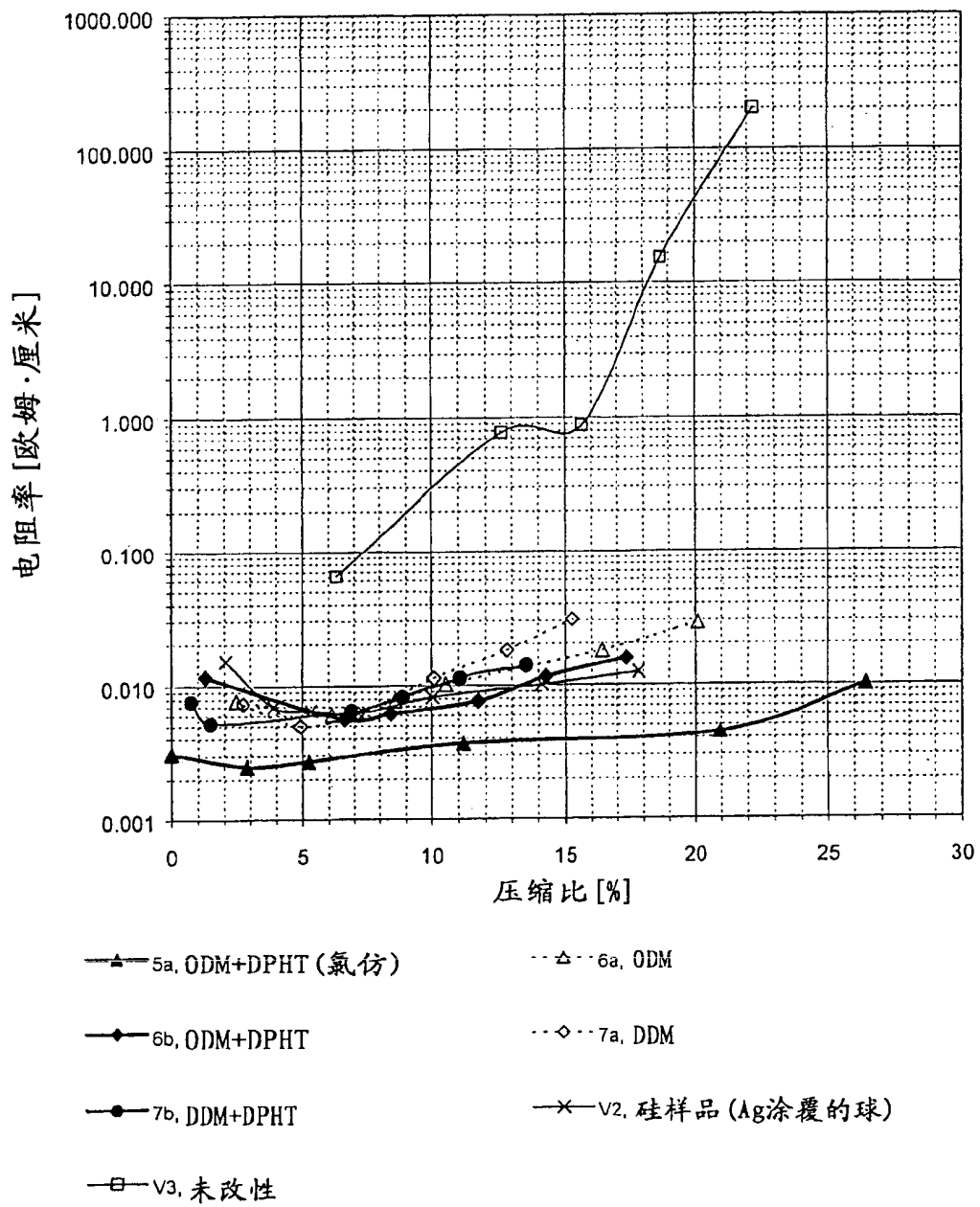


图5

