



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102884279 A

(43) 申请公布日 2013.01.16

(21) 申请号 201180018322.3

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011.04.07

E21B 43/24 (2006.01)

(30) 优先权数据

61/322,664 2010.04.09 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012.10.09

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/031570 2011.04.07

(87) PCT申请的公布数据

W02011/127275 EN 2011.10.13

(71) 申请人 国际壳牌研究有限公司

地址 荷兰海牙

(72) 发明人 E·E·德圣里米 V·朱利亚尼

C·K·哈里斯

(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 王会卿

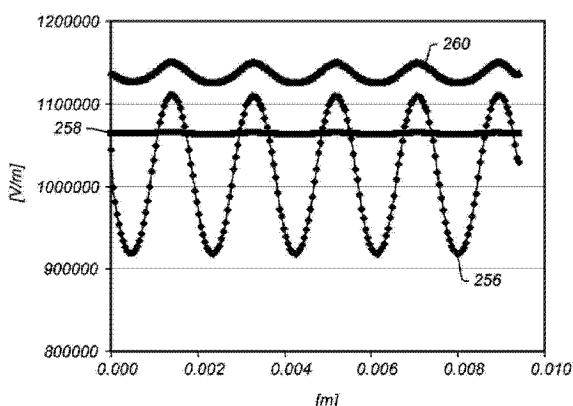
权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 6 页

(54) 发明名称

具有半导体层的绝缘导体加热器

(57) 摘要

一种用于加热地下地层的加热器包括电导体、至少部分地包围电导体的半导体层、至少部分地包围电导体的绝缘层、至少部分地包围绝缘层的导电外鞘。所述加热器可位于地下地层中的开口内。



1. 一种构造成用于加热地下地层的加热器,包括:
电导体;
至少部分地包围电导体的半导体层;
至少部分地包围电导体的绝缘层;以及
至少部分地包围绝缘层的导电外鞘。
2. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述半导体层位于绝缘层内。
3. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述半导体层至少部分地被所述绝缘层包围。
4. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述绝缘层至少部分地包围所述半导体层。
5. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述半导体层构造成用于在使用期间减小电导体中的电场。
6. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述半导体层构造成用于在使用期间减小绝缘层上的电应力。
7. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述绝缘层包括氧化镁。
8. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述半导体层具有比绝缘层更高的介电常数。
9. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述半导体层包括具有变化介电常数的多个半导体层。
10. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述半导体层具有随离电导体的中心轴线的径向距离而变化的介电常数。
11. 根据权利要求 1 所述的加热器,进一步包括位于绝缘层的与所述半导体层相对的侧上的附加半导体层。
12. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述加热器构造成提供电阻热输出以加热地下地层的至少一部分。
13. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述加热器位于地下地层中的含烃层中的开口内。
14. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述加热器位于地下地层中的含烃层内,并且所述加热器构造成用于提供电阻热输出以加热地下地层的至少一部分,从而使含烃层中的烃活动化。
15. 根据权利要求 1 所述的加热器,其中所述加热器位于地下地层中的含烃层内,并且所述加热器构造成用于提供电阻热输出以加热地下地层的至少一部分,从而使含烃层中的烃热解。
16. 一种用于加热地下地层的方法,包括:
从至少部分地位于地层的含烃层中的开口内的加热器向所述含烃层的至少一部分提供热,所述开口从地层的表面延伸穿过地层的上覆岩层部分并进入地层的含烃层,所述加热器包括:
电导体;
至少部分地包围电导体的半导体层;
至少部分地包围电导体的绝缘层;以及
至少部分地包围绝缘层的导电外鞘;
容许热传递至地层以使得地层中的至少一些烃活动化;以及

从所述地层生产至少某些活动化烃。

17. 根据权利要求 16 所述的方法, 其中所述半导体层位于绝缘层内。
18. 根据权利要求 16 所述的方法, 其中所述半导体层至少部分地被所述绝缘层包围。
19. 根据权利要求 16 所述的方法, 其中所述绝缘层至少部分地包围半导体层。
20. 根据权利要求 16 所述的方法, 其中所述半导体层具有比绝缘层更高的介电常数。
21. 根据权利要求 16 所述的方法, 其中所述半导体层具有随离电导体的中心轴线的径向距离而变化的介电常数。
22. 一种构造成用于加热地下地层的加热器, 包括 :
电导体 ;
半导体层 ;
绝缘层 ; 以及
导电外鞘。

具有半导体层的绝缘导体加热器

技术领域

[0001] 本发明涉及用于加热地下地层的系统和方法。更特别地，本发明涉及用于加热地下含烃地层的系统和方法。

背景技术

[0002] 从地下地层获得的烃通常用于能源、原料和消费品。由于对可用烃源用尽的关注和对生产的烃的整体质量下降的关注，已经引起对更高效地开采、处理和 / 或利用可用烃源的工艺进行开发。就地工艺可用于从之前不可进入和 / 或使用可用方法提取太昂贵的地下地层分离出烃材料。可能需要改变地下地层中烃材料的化学和 / 或物理性能来使烃材料更易于从地下地层分离出，和 / 或提高烃材料的价值。化学和物理变化可包括地层中烃材料的产生可分离出的流体的就地反应、组分变化、溶解度变化、密度变化、相变和 / 或粘度变化。

[0003] 加热器可放置在井筒中，用于在就地工艺中加热地层。存在很多不同类型的可用于加热地层的加热器。利用井下加热器的就地工艺的示例示出在授予 Ljungstrom 的美国专利 No. 2, 634, 961；授予 Ljungstrom 的美国专利 No. 2, 732, 195；授予 Ljungstrom 的美国专利 2, 780, 450；授予 Ljungstrom 的美国专利 2, 789, 805；授予 Ljungstrom 的美国专利 2, 923, 535；授予 Van Merus 等人的 4, 886, 118；和授予 Wellington 等人的美国专利 6, 688, 387 中。

[0004] 用于地下应用中例如在一些应用中加热含烃地层的矿物绝缘(MI) 电缆(绝缘导体)较长，可具有更大的外径，并且可在比 MI 电缆行业中通常的电压和温度更高的电压和温度下操作。在长度长的绝缘导体的制造和 / 或装配过程中存在很多潜在的问题。

[0005] 例如，存在潜在的由于用于绝缘导体中的电绝缘体随时间过去发生劣化而造成的电和 / 或机械问题。还存在在绝缘导体加热器的装配过程中需要克服的与电绝缘体相关的潜在问题。例如芯鼓起或其他机械缺陷等问题可能在绝缘导体加热器装配过程中发生。发生这样的情况可能在加热器使用过程中导致电问题，并且可能使得加热器不能用于其预期目的。

[0006] 另外，在绝缘导体装配和 / 或安装到地下的过程中，可能存在绝缘导体上的增大应力的问题。例如，在用于运输和安装绝缘导体的卷轴上缠绕和展开绝缘导体可在绝缘导体上或绝缘导体中的其他部件上产生机械应力。因而，需要更可靠的系统和方法来在绝缘导体的制造、装配和 / 或安装过程中降低或消除潜在的问题。

发明内容

[0007] 本文所述的实施例总体涉及用于处理地下地层的系统、方法和加热器。本文所述的实施例还总体涉及其中具有新颖部件的加热器。这样的加热器可通过使用本文所述的系统和方法获得。

[0008] 在一些实施例中，本发明提供一种或多种系统、方法和 / 或加热器。在一些实施例

中,所述系统、方法和 / 或加热器用于处理地下地层。

[0009] 在一些实施例中,构造成用于加热地下地层的加热器包括:电导体;至少部分地包围电导体的半导体层;至少部分地包围电导体的绝缘层;以及至少部分地包围绝缘层的导电外鞘。

[0010] 在一些实施例中,用于加热地下地层的方法包括:从至少部分地位于地层的含烃层中的开口内的加热器向所述含烃层的至少一部分提供热,所述开口从地层的表面延伸穿过地层的上覆岩层部分并进入地层的所述含烃层,其中所述加热器包括电导体、至少部分地包围电导体的半导体层、至少部分地包围电导体的绝缘层、以及至少部分地包围绝缘层的导电外鞘;容许热传递至地层以使得地层中的至少一些烃活动化;以及从所述地层生产至少某些活动化烃。

[0011] 在另外的实施例中,来自特定实施例的特征可与来自其他实施例的特征组合。例如,来自一个实施例的特征可与来自其他实施例的任何一个实施例的特征组合。

[0012] 在另外的实施例中,处理地下地层使用本文所述的方法、系统、电源或加热器中的任何一个进行。

[0013] 在另外的实施例中,其他特征可添加到本文所述的特定实施例。

附图说明

[0014] 通过参照下面结合附图进行的对根据本发明目前优选的但是示例性的实施例的详细描述,将更全面地理解本发明的方法和设备的特征和优点。

[0015] 图 1 显示了用于处理含烃地层的就地热处理系统的一部分的实施例的示意性视图。

[0016] 图 2 图示了绝缘导体热源的一个实施例。

[0017] 图 3 图示了绝缘导体热源的一个实施例。

[0018] 图 4 图示了绝缘导体热源的一个实施例。

[0019] 图 5A 和 5B 图示了用于绝缘导体加热器中的限温加热器部件的一个实施例的剖视图。

[0020] 图 6 图示了具有与芯相邻并且包围芯的半导体层的绝缘导体的一个实施例。

[0021] 图 7 图示了具有位于电绝缘体内部并且包围芯的半导体层的绝缘导体的一个实施例。

[0022] 图 8 图示了根据沿着加热器的长度的位置而变的电场法向分量。

[0023] 图 9 图示了电场强度相对于离芯的距离的情况。

[0024] 图 10 图示了最大无屏障(无半导体层)电场强度的百分比和标准化半导体层厚度相对于电绝缘体与半导体层的介电常数比的情况。

[0025] 图 11 图示了对于若干介电常数比,电场强度相对于离芯的标准化距离的情况。

[0026] 虽然本发明容许有各种修改形式和替代形式,但是在附图中以示例方式显示了其特定实施例,并且这里将对它们进行详细描述。附图可不按比例绘制。应可理解,附图和关于其的详细描述不旨在将本发明限制到所公开的特定形式,而是相反,本发明将覆盖全部落入由所附权利要求限定的本发明的精神和范围内的修改形式、等同形式和替代形式。

具体实施方式

[0027] 下面的描述总体涉及用于处理地层中的烃的系统和方法。这样的地层可进行处理来产生烃产物、氢和其他产物。

[0028] “交流电流(AC)”指随时间变化的电流，其基本上以正弦方式改变方向。AC在铁磁性导体中产生集肤效应电流。

[0029] 在降低热输出加热系统、设备和方法的范围内，术语“自动”或“自动地”指此类系统、设备和方法按照特定的方式发挥作用而不使用外部控制(例如外部控制器，如具有温度传感器和反馈环的控制器、PID控制器或者预测控制器)。

[0030] “联接”意思是一个或多个物体或部件之间的直接连接或间接连接(例如，一个或多个中介连接)。术语“直接连接的”意思是物体和部件之间的直接连接，以使物体或部件彼此直接连接，从而使物体或部件以单点(“point of use”)方式操作。

[0031] “居里温度”是指在该温度以上铁磁性材料失去其全部铁磁性能的温度。除了在居里温度以上失去全部其铁磁性能外，铁磁性材料还在增大的电流经过铁磁性材料时开始失去其铁磁性能。

[0032] “地层”包括一个或多个含烃层、一个或多个非烃层、上覆岩层和/或下伏岩层。“烃层”指地层中的含烃的层。烃层可包含非烃材料和烃材料。“上覆岩层”和/或“下伏岩层”包含一种或多种不同类型的不可渗透材料。例如，上覆岩层和/或下伏岩层可包括岩石、页岩、泥岩或湿/致密碳酸盐。在就地热处理工艺的一些实施例中，上覆岩层和/或下伏岩层可包括在就地热处理工艺过程中相对不可渗透并且不受温度影响的一个含烃层或多个含烃层，所述就地热处理工艺导致上覆岩层和/或下伏岩层的多个含烃层的显著的特性变化。例如，下伏岩层可包含页岩或泥岩，但是下伏岩层在就地热处理工艺过程中不允许被加热到热解温度。在一些情况下，上覆岩层和/或下伏岩层可具有一定的渗透性。

[0033] “地层流体”指存在于地层中的流体，并且可包括热解流体、合成气、活动化烃和水(蒸汽)。地层流体可包括烃流体以及非烃流体。术语“活动化流体”指含烃地层中的由于对地层的热处理而能够流动的流体。“生产的流体”指从地层分离出的流体。

[0034] “热通量”为每单位时间每单位面积的能量流量(例如瓦/平方米)。

[0035] “热源”为用于基本上通过传导和/或辐射热传递向地层的至少一部分提供热的任何系统。例如，热源可包括导电材料和/或电加热器，例如布置在电路中的导体和/或细长构件、绝缘导体等。热源可还包括通过在地层外部或地层中燃烧燃料产生热的系统。所述系统可以是表面燃烧器、井下气体燃烧器、无焰分布型燃烧室和自然分布型燃烧室。在一些实施例中，提供到一个或多个热源的热或在一个或多个热源中产生的热可由其他能量源提供。其他能量源可直接加热地层，或所述能量可施加到直接或间接加热地层的传递介质。应可理解，将热施加到地层的一个或多个热源可使用不同的能源。因而，例如，对于指定的地层，一些热源可从导电材料、电阻加热器供热，一些热源可通过燃烧提供热，一些热源可从一种或多种其他能源(例如，化学反应、太阳能、风能、生物质或其他可再生能源)提供热。化学反应可包括放热反应(例如氧化反应)。热源也可包括导电材料和/或加热器，其向靠近和/或围绕加热位置例如加热器井的区域提供热。

[0036] “加热器”为用于在井中或井筒区域附近产生热的任何系统或热源。加热器可以是，但不限于，电加热器、燃烧器、与地层中的材料或从地层生产的材料反应的燃烧室，和/

或其组合。

[0037] “烃”通常限定为主要由碳和氢原子形成的分子。烃也可包含其他元素,例如但不限于卤素、金属元素、氮、氧和 / 或硫。烃可以是,但不限于油母岩、沥青、焦沥青、石油、天然矿物蜡和石沥青。烃可位于地球中的矿物岩石中或与矿物基质相邻。基质可包括但不限于沉积岩、砂、沉积石英岩、碳酸盐、硅藻土和其他多孔介质。“烃流体”为包括烃的流体。烃流体可包括、夹带非烃流体,或被夹带在非烃流体中,所述非烃流体例如为氢、氮、一氧化碳、二氧化碳、硫化氢、水和氨。

[0038] “就地转化工艺”指从热源加热含烃地层,来将地层的至少一部分的温度升高至高于热解温度,以在地层中生成热解流体的工艺。

[0039] “就地热处理工艺”指使用热源加热含烃地层,来将地层的至少一部分的温度升高至高于形成活动化流体、导致含烃材料减粘裂化和 / 或热解,从而在地层中产生活动化流体、减粘裂化流体和 / 或热解流体的温度。

[0040] “绝缘导体”指能够导电并且整体或部分由电绝缘材料覆盖的任何细长材料。

[0041] “调制直流电流(DC)”指能够在铁磁性导体中产生集肤效应电流的任何基本上非正弦时变电流。

[0042] “氮化物”指氮和周期表中的一种或多种其他元素的化合物。氮化物包括但不限于氮化硅、氮化硼或氮化铝。

[0043] “穿孔”包括管道、管、导管或其他流动通道的壁中的允许流入或流出管道、管、导管或其他流动通道的开口、槽、孔或洞。

[0044] 铁磁性材料的“相变温度”指在材料发生相变(例如从铁素体到奥氏体)期间的温度或温度范围,该相变使得铁磁性材料的磁导率降低。这种磁导率的降低类似于由于在居里温度下铁磁性材料的磁跃迁而导致的磁导率降低。

[0045] “热解”是化学键由于热的施加而断开。例如,热解可包括只通过加热将化合物转变为一种或多种其他物质。热可传递到地层的一部分来造成热解。

[0046] “热解流体”或“热解产物”指基本上在烃热解过程中生成的流体。通过热解反应生成的流体可与地层中的其他流体混合。混合物将被认为是热解流体或热解产物。如本文所用,“热解区”指地层的发生反应来形成热解流体的体积(例如,相对可渗透的地层,如沥青砂地层)。

[0047] “热的叠加”指从两个或更多个热源向地层的选定部分提供热,以使得至少在热源之间的一个位置处的地层温度受这些热源影响。

[0048] “限温加热器”通常是指在规定温度以上控制热输出(例如,减少热输出)而无需使用外部控制的加热器,所述外部控制比如为温度控制器、功率调节器、整流器或其它装置。限温加热器可以是 AC (交流电流)或调制(例如“斩波”)DC (直流电流)供电的电阻加热器。

[0049] 层的“厚度”指层的截面的厚度,其中,所述截面垂直于所述层的表面。

[0050] “时变电流”指在铁磁性导体中产生集肤效应电流并且大小随时间变化的电流。时变电流既包括交变电流(AC)又包括调制直流电流(DC)。

[0051] 其中电流直接施加至加热器的限温加热器的“调节比”是对于给定电流,居里温度以下的最大 AC 或调制 DC 电阻与居里温度以上的最小电阻的比值。感应加热器的调节比是对于施加至加热器的给定电流,居里温度以下的最大热输出与居里温度以上的最小热输出

的比值。

[0052] “u 形井筒”是指从地层中的第一开口延伸穿过地层的至少一部分并且通过地层中的第二开口穿出的井筒。在本文中,井筒可以仅大体上呈“v”形或“u”形,对于视为“u”形的井筒,“u”形的“腿”应该理解成不需要彼此平行或垂直于“u”的“底”。

[0053] 术语“井筒”指地层中通过钻井或将管道插入地层中形成的洞。井筒可具有基本上圆形的横截面,或其他横截面形状。如本文所用,术语“井”和“开口”,当涉及地层中的开口时,可与术语“井筒”互换使用。

[0054] 地层可以多种方式处理来产生很多不同的产品。在就地热处理工艺过程中,不同的步骤或工艺可用于处理地层。在一些实施例中,地层的一个或多个部分通过溶液采矿来从所述部分分离出可溶矿物。溶液开采矿物可在就地热处理工艺之前、过程中和 / 或之后进行。在一些实施例中,正在进行溶液采矿的一个或多个部分的平均温度可保持低于约 120°C。

[0055] 在一些实施例中,地层的一个或多个部分被加热来从所述部分分离出水,和 / 或从所述部分分离出甲烷和其他挥发性烃。在一些实施例中,在水和挥发性烃分离出过程中,平均温度可从环境温度升高到低于约 220°C 的温度。

[0056] 在一些实施例中,地层的一个或多个部分被加热到允许地层中的烃运动和 / 或减粘裂化的温度。在一些实施例中,地层的一个或多个部分的平均温度升高到所述部分中的烃的活动化温度(例如,升高到在从 100°C 到 250°C,从 120°C 到 240°C,或从 150°C 到 230°C 的温度范围)。

[0057] 在一些实施例中,一个或多个部分被加热到允许地层中进行热解反应的温度。在一些实施例中,地层的一个或多个部分的平均温度可升高到所述部分中的烃热解的温度(例如从 230°C 到 900°C,从 240°C 到 400°C 或从 250°C 到 350°C 的温度范围)。

[0058] 使用多个热源加热含烃地层可能围绕热源形成热梯度,所述热源在期望加热速率下将地层中的烃升高到期望温度。通过为得到期望产物的活动化温度范围和 / 或热解温度范围的温度升高速率可影响从含烃地层生产的地层流体的质量和数量。将地层温度缓慢升高通过活动化温度范围和 / 或热解温度范围,可允许从地层生产高质量高 API 比重的烃。缓慢升高地层温度通过活动化温度范围和 / 或热解温度范围可允许分离出存在于地层中的大量烃作为烃产物。

[0059] 在一些就地热处理实施例中,将地层的一部分加热到期望温度,而不是将温度缓慢升高通过一个温度范围。在一些实施例中,期望温度为 300°C,325°C 或 350°C。可选择其他温度作为期望温度。

[0060] 来自热源的热的叠加允许期望温度在地层中相对快速并且高效地建立。可调节从热源到地层的能量输入,以将地层中的温度基本上保持在期望温度。

[0061] 可通过生产井从地层生产活动化和 / 或热解产物。在一些实施例中,将一个或多个部分的平均温度升高到活动化温度,并且将烃从生产井生产。由于活动化降低到低于选定值,因此可将一个或多个部分的平均温度在生产之后升高到热解温度。在一些实施例中,可将一个或多个部分的平均温度升高到热解温度而在达到热解温度之前没有进行太多生产。可通过生产井生产包括热解产物的地层流体。

[0062] 在一些实施例中,在活动化和 / 或热解之后,可将一个或多个部分的平均温度升

高到足够允许进行合成气生产的温度。在一些实施例中,可将烃升高到足够允许进行合成气生产的温度,但是在达到足够允许进行合成气生产的温度之前没有进行太多生产。例如,合成气可在约 400°C 到约 1200°C, 约 500°C 到约 1100°C, 或约 550°C 到约 1000°C 的温度范围内生成。产生合成气的流体(例如蒸汽和 / 或水)可引入到所述部分中来产生合成气。合成气可从生产井生产。

[0063] 溶液采矿、分离出挥发性烃和水、使烃活动化、热解烃、产生合成气和 / 或其他工艺可在就地热处理工艺过程中进行。在一些实施例中,一些工艺可在就地热处理工艺之后进行。这样的步骤可包括但不限于,从处理过的部分回收热、在之前处理过的部分中存储流体(例如水和 / 或烃) 和 / 或在之前处理过的部分中隔离二氧化碳。

[0064] 图 1 图示了用于处理含烃地层的就地热处理系统的一部分的实施例的示意图。该就地热处理系统可包括阻隔井 200。阻隔井用于围绕处理区域形成阻隔屏障。阻隔屏障抑制流体流入和 / 或流出处理区。阻隔井包括但不限于脱水井、真空井、捕集井、喷射井、灌浆井、冷冻井或其组合。在一些实施例中,阻隔井 200 为脱水井。脱水井可去除液体水和 / 或抑制液体水进入待加热的地层部分或到达正在加热的地层。在图 1 中所示的实施例中,阻隔井 200 显示为仅沿热源 202 的一侧延伸,但是阻隔井通常环绕用于或待用于加热地层热处理区的全部热源 202。

[0065] 热源 202 放置在地层的至少一部分中。热源 202 可包括加热器,例如绝缘导体、管内导体加热器、表面燃烧器、无焰分布型燃烧室和 / 或自然分布型燃烧室。热源 202 可还包括其他类型的加热器。热源 202 向地层的至少一部分提供热,以加热地层中的烃。能量可通过供给线路 204 提供到热源 202。供给线路 204 可根据用于加热地层的一个热源或多个热源的类型以不同方式构造。用于热源的供给线路 204 可传送用于电加热器的电力,可输送用于燃烧器的燃料,或输送在地层中循环的换热流体。在一些实施例中,用于就地热处理工艺的电力可由一个核电站或多个核电站提供。核电的使用可使得减少或消除从就地热处理工艺排放二氧化碳。

[0066] 当加热地层时,到地层中的热输入可造成地层膨胀和岩土力学移动。热源可在脱水步骤之前、与脱水步骤同时或在脱水过程中打开。计算机模拟可为地层对加热的响应建模。计算机模拟可用来开发用于启动地层中热源的方式和时序,以使地层的岩土力学移动不会不利地影响热源、生产井和地层中的其他设备的功能。

[0067] 加热地层可造成地层的渗透性和 / 或空隙率的提高。渗透性和 / 或空隙率的提高可能由于地层中的物质因蒸发和分离出水、分离出烃和 / 或形成裂纹而减少造成。由于地层的提高的渗透性和空隙率,流体可更容易地在地层的被加热部分中流动。由于提高的渗透性和空隙率,地层的被加热部分中的流体可穿过地层移动相当大的距离。所述相当大的距离可超过 1000m,取决于多种因素,例如地层的渗透性、流体的性能、地层的温度、使流体移动的压力梯度。流体在地层中移动相当大距离的能力使生产井 206 能够在地层中相对远地间隔开。

[0068] 生产井 206 用于从地层分离出地层流体。在一些实施例中,生产井 206 包括热源。生产井中的热源可在生产井处或附近加热地层的一个或多个部分。在一些就地热处理工艺实施例中,每米生产井的从生产井提供到地层的热量小于每米热源的从加热地层的热源施加到地层的热量。从生产井施加到地层的热可通过蒸发和分离出与生产井相邻的液相流

体,和 / 或通过形成宏观和 / 或微观裂纹来提高与生产井相邻的地层渗透性,来提高与生产井相邻的地层渗透性。

[0069] 不止一个热源可设置在生产井中。当来自相邻多个热源的热叠加将地层充分加热,从而抵消通过使用生产井加热地层提供的益处时,生产井下部中的热源可关闭。在一些实施例中,在生产井下部中的热源停止之后,生产井的上部中的热源可保持打开。生产井上部中的热源可抑制地层流体的冷凝和回流。

[0070] 在一些实施例中,生产井 206 中的热源允许地层流体以蒸汽相从地层分离出。在生产井处或穿过生产井提供加热可:(1)当生产流体靠近上覆岩层在生产井中移动时,抑制这样的生产流体的冷凝和 / 或回流,(2)提高到地层中的热输入,(3)与没有热源的生产井相比较,提高生产井的生产率,(4)抑制生产井中高碳数化合物(C6 烃和更高碳数的烃)的冷凝,和 / 或(5)提高生产井处或附近的地层渗透性。

[0071] 地层中的地下压力可对应于地层中产生的流体压力。当地层的被加热部分中的温度升高时,被加热部分中的压力可由于就地流体的热膨胀、增多的流体产生和水的蒸发而增大。控制流体从地层分离出的速率可容许控制地层中的压力。地层中的压力可在多个不同位置处确定,例如生产井附近或生产井处、热源附近或热源处或监测井处。

[0072] 在一些含烃地层中,从地层生产烃受到抑制,直到地层中的烃的至少一些已经被活动化和 / 或热解。当地层流体具有选定质量时,地层流体可从地层生产。在一些实施例中,选定质量包括至少约 20°,30° 或 40° 的 API 比重。抑制生产直到至少一些烃被活动化和 / 或热解,可提高重烃到轻烃的转化。抑制初始生产可尽量减少从地层生产重烃。大量重烃的生产可能需要昂贵的设备,和 / 或缩短生产设备的使用寿命。

[0073] 在一些含烃地层中,地层中的烃可在已经在地层的被加热部分中产生大的渗透性之前,被加热到活动化和 / 或热解温度。最初缺乏渗透性可抑制产生的流体输送到生产井 206。在初始加热过程中,在靠近热源处,地层中的流体压力可增大。增大的流体压力可通过一个或多个热源 202 释放、监测、改变和 / 或控制。例如,选定的热源 202 或单独的减压井可包括减压阀,其允许将一些流体从地层分离出。

[0074] 在一些实施例中,可允许由于活动化流体、热解流体或地层中产生的其他流体的膨胀产生的压力提高,但是地层中不能存在通到生产井 206 的通路或任何其他压力降。流体压力可允许向静岩压力增大。当流体接近静岩压力时,可在含烃地层中形成裂纹。例如,裂纹可在地层的被加热部分中从热源 202 向生产井形成。被加热部分中裂纹的产生可释放所述部分中的一些压力。地层中的压力可能必须保持在选定压力以下,以抑制不期望的产物、上覆岩层或下伏岩层的断裂和 / 或地层中烃的结焦。

[0075] 在到达活动化和 / 或热解温度并且能够从地层生产之后,地层中的压力可改变,从而改变和 / 或控制生产的地层流体的组分,控制地层中可冷凝流体与不可冷凝流体相比的百分比,和 / 或控制正在生产的地层流体的 API 比重。例如,减小压力可导致更大的可冷凝流体组分的生产。可冷凝流体组分可包含更大百分比的烯烃。

[0076] 在一些就地热处理工艺实施例中,地层中的压力可保持足够高,以促进具有大于 20° 的 API 比重的地层流体生产。在地层中保持增大的压力可抑制就地热处理过程中地层沉降。保持增大的压力可减少或消除在表面处压缩地层流体来在收集管中将流体输送到处理设备的需要。

[0077] 在地层的被加热部分中保持增大的压力可令人惊奇地允许生产大量具有提高的质量和相对低分子量的烃。压力可保持为使得生产的地层流体具有最小量的高于选定碳数的化合物。选定碳数可最大为 25, 最大为 20, 最大为 12, 或最大为 8。一些高碳数化合物可夹带在地层中的蒸气中, 并且可随蒸气从地层分离出。在地层中保持增大的压力可抑制高碳数化合物和 / 或多环烃化合物夹带在蒸气中。高碳数化合物和 / 或多环烃化合物可以液相保留在地层中非常长时间。该非常长时间可为化合物热解提供充足时间, 以形成较低碳数化合物。

[0078] 相对低分子量的烃的产生被认为部分由于含烃地层的一部分中的氢的自动产生和反应。例如, 保持增大的压力可迫使热解过程中产生的氢进入地层中的液相。将所述部分加热到热解温度范围内的温度可将地层中的烃热解来产生液相热解流体。产生的液相热解流体组分可包括双键和 / 或基。液相中的氢 (H_2) 可减少产生的热解流体中的双键, 由此降低来自产生的热解流体的长链化合物的聚合或形成的可能性。另外, H_2 还可中和产生的热解流体中的基。液相中的 H_2 可抑制产生的热解流体彼此反应和 / 或与地层中的其他化合物反应。

[0079] 从生产井 206 生产的地层流体可通过收集管 208 传输到处理设备 210。地层流体也可从热源 202 生产。例如, 流体可从热源 202 生产来控制与所述热源相邻的地层中的压力。从热源 202 生产的流体可通过导管或管路输送到收集管 208, 或生产流体可通过导管或管路直接输送到处理设备 210。处理设备 210 可包括分离装置、反应装置、提升装置、燃料电池、涡轮机、存储容器和 / 或用于处理生产地层流体的其他系统和装置。所述处理设备可形成来自地层生产的烃的至少一部分的输送燃料。在一些实施例中, 输送燃料可以是喷射燃料, 例如 JP-8。

[0080] 绝缘导体可用作加热器或热源的电加热器元件。绝缘导体可包括由电绝缘体围绕的内部电导体(芯), 和外部电导体(护套)。电绝缘体可包括矿物绝缘材料(例如氧化镁)或其他电绝缘材料。

[0081] 在一些实施例中, 绝缘导体放置在含烃地层中的开口中。一些实施例中, 绝缘导体放置在含烃地层中的裸眼开口中。将绝缘导体放置在含烃地层中的裸眼开口内可使热通过辐射以及传导从绝缘导体传递到地层。使用裸眼开口可便于绝缘导体从井取回, 如果需要的话。

[0082] 在一些实施例中, 绝缘导体放置在地层中的套管中, 可固牢在地层中, 或可使用砂、碎石或其他填料装填入开口中。绝缘导体可支撑在设置在开口中的支撑构件上。支撑构件可以是电缆、杆或管道(例如导管)。支撑构件可由金属、陶瓷、无机材料或其组合制成。由于在使用过程中支撑构件的部分可暴露于地层流体和加热, 因此支撑构件可耐化学物质和 / 或耐热。

[0083] 系绳、点焊和 / 或其他类型的连接器可用于将绝缘导体在沿绝缘导体长度的不同位置处联接到支撑构件。支撑构件可在地层上表面处附接到井口。在一些实施例中, 绝缘导体具有足够的结构强度, 从而不需要支撑构件。绝缘导体可在很多情况下具有至少一些柔性, 以在发生温度变化时防止热膨胀损坏。

[0084] 在一些实施例中, 绝缘导体在没有支撑构件和 / 或扶正器的情况下放置在井筒中。没有支撑构件和 / 或扶正器的绝缘导体可具有抑制绝缘导体在使用过程中故障的耐热

和耐蚀、蠕变强度、长度、厚度(直径)和冶金性能的适当组合。

[0085] 图 2 图示了绝缘导体 252 的一个实施例的端部的立体视图。绝缘导体 252 可具有任何期望的横截面形状,例如但是不限于圆形(图 2 中所示)、三角形、椭圆形、矩形、六边形或不规则形状。在一些实施例中,绝缘导体 252 包括芯 218、电绝缘体 214 和护套 216。芯 218 可在电流通过所述芯时电阻加热。交流电流或时变电流和 / 或直流电流可用于向芯 218 提供功率,以使芯电阻加热。

[0086] 在一些实施例中,电绝缘体 214 抑制向护套 216 的电流泄漏和电弧放电。电绝缘体 214 可将芯 218 中产生的热量热传导到护套 216。护套 216 可向地层辐射或传导热。在一些实施例中,绝缘导体 252 长度为 1000 米或更长。较长或较短的绝缘导体也可用于满足特定应用的需要。绝缘导体 252 的芯 218、电绝缘体 214 和护套 216 的尺寸可选择成使绝缘导体具有足够的强度来甚至在上限工作温度下仍能够自支撑。这样的绝缘导体可从井口或设置在上覆岩层和含烃地层之间的界面附近的支架悬挂,而无需与绝缘导体一起延伸到含烃地层中的支撑构件。

[0087] 绝缘导体 252 可设计用于在高可达约 1650 瓦 / 米或更高的功率水平下操作。在一些实施例中,当加热地层时,绝缘导体 252 在约 300 瓦 / 米和约 1150 瓦 / 米之间的功率水平下操作。绝缘导体 252 可设计成使通常操作温度下的最大电压水平不使电绝缘体 214 产生显著的热和 / 或电击穿。绝缘导体 252 可设计成使护套 216 不超过将导致护套材料耐蚀性能显著降低的温度。在一些实施例中,绝缘导体 252 可设计成达到在约 650°C 和约 900°C 之间的范围内的温度。可形成具有其他操作范围的绝缘导体来满足特定操作要求。

[0088] 图 2 图示了具有单个芯 218 的绝缘导体 252。在一些实施例中,绝缘导体 252 具有两个或更多个芯 218。例如,单个绝缘导体可具有三个芯。芯 218 可由金属或其他导电材料制成。用于形成芯 218 的金属可包括但不限于镍铬合金、铜、镍、碳钢、不锈钢及其组合。在一些实施例中,芯 218 选择成具有一定直径和在操作温度下的电阻率以使得其由欧姆定律得到的电阻使其在电学方面和结构方面稳定,从而实现选择的每米功耗、加热器长度和 / 或芯材料允许的最大电压。

[0089] 在一些实施例中,芯 218 沿绝缘导体 252 的长度由不同的材料制成。例如,芯 218 的第一部分可由电阻比所述芯的第二部分低得多的材料制成。第一部分可与不需要加热到与第二地层一样高温度的地层相邻放置,所述第二地层与第二部分相邻。芯 218 的各个部分的电阻率可通过具有可变直径和 / 或通过具有由不同材料制成的多个芯部分来调节。

[0090] 电绝缘体 214 可由多种材料制成。通常使用的粉末可包括但不限于, MgO, Al₂O₃, 氧化锆, BeO, 尖晶石的不同的化学变体, 及其组合。MgO 可提供良好的热传导性和电绝缘性能。期望的电绝缘性能包括低漏电流和高介电强度。低漏电流降低热击穿的可能性, 高介电强度降低跨过绝缘体电弧放电的可能性。如果漏电流造成绝缘体的温度渐进升高, 则可能发生热击穿, 还导致跨过绝缘体电弧放电。

[0091] 护套 216 可以是外金属层或导电层。护套 216 可与热地层流体处于接触。护套 216 可由在高温度下具有高耐腐蚀性的材料制成。可用于护套 216 的期望操作温度范围的合金包括但不限于 304 不锈钢、310 不锈钢、Incoloy® 800 和 Inconel® 600 (Inco Alloys International, Huntington, West Virginia, U. S. A.)。护套 216 的厚度可能必须在热和腐蚀性环境中足够使用持续三到十年。护套 216 的厚度可通常在约 1mm 和约 3.5mm 之间变

化。例如,1.3mm 厚的 310 不锈钢外层可用作护套 216,以提供持续超过 3 年的对地层被加热区中的硫蚀的良好的化学耐性。较大或较小的护套厚度可用于满足特定的应用要求。

[0092] 一个或多个绝缘导体可放置在地层中的开口中,以形成一个热源或多个热源。电流可传送通过开口中的每一个绝缘导体来加热地层。替代地,电流可传送通过开口中的选定绝缘导体。不使用的导体可用作备用加热器。绝缘导体可以任何便利方式电联接到电源。绝缘导体的每一端可联接到穿过井口的引入电缆。这样的结构通常具有设置在热源底部附近的 180° 弯折(“急转弯”弯折)或拐弯部分。包括 180° 弯折或拐弯部分的绝缘导体可不需要底部端子,但是 180° 弯折或拐弯部分可能是加热器中的电和 / 或结构弱点。绝缘导体可串联、并联或以串并联混合方式电联接在一起。在热源的一些实施例中,电流可传送到绝缘导体的导体中,并且可通过在热源底部处将芯 218 连接到护套 216(图 2 中所示)而通过绝缘导体的护套返回。

[0093] 在一些实施例中,三个绝缘导体 252 以 3 相 Y 形结构电联接到电源。图 3 图示了地下地层中的开口内以 Y 形结构联接的三个绝缘导体的实施例。图 4 图示了可从地层中的开口 238 取出的三个绝缘导体 252 的实施例。Y 形结构中的三个绝缘导体不需要底部连接。替代地,Y 形结构的全部三个绝缘导体可在开口的底部附近连接在一起。所述连接可直接在绝缘导体的加热部分的端部处或在冷引线(较小电阻部分)的端部处形成,其中所述冷引线在绝缘导体的底部处联接到加热部分。底部连接可使用绝缘体填充或密封的罐或使用环氧树脂填充的罐制得。该绝缘体可以是与用作电绝缘材料的绝缘体相同的组分。

[0094] 图 3 和 4 中图示的三个绝缘导体 252 可使用扶正器 222 连接到支撑构件 220。替代地,绝缘导体 252 可使用金属带直接捆绑到支撑构件 220。扶正器 222 可使绝缘导体 252 在支撑构件 220 上保持在位和 / 或抑制绝缘导体 252 在支撑构件 220 上的移动。扶正器 222 可由金属、陶瓷或其组合制成。金属可以是不锈钢或能够耐受腐蚀和高温环境的任何其他类型的金属。在一些实施例中,扶正器 222 为以小于约 6m 的距离焊接到支撑构件的弯曲金属条带。用于扶正器 222 中的陶瓷可以是,但不限于 Al₂O₃, MgO 或其他电绝缘体。扶正器 222 可在支撑构件 220 上保持绝缘导体 252 的位置,以使绝缘导体的移动在绝缘导体的操作温度下受到抑制。绝缘导体 252 也可有些柔性,以承受加热过程中支撑构件 220 的膨胀。

[0095] 支撑构件 220、绝缘导体 252 和扶正器 222 可放置在烃层 240 中的开口 238 中。绝缘导体 252 可使用冷引线 226 联接到底部导体接合部 224。底部导体接合部 224 可将每一个绝缘导体 252 彼此电联接。底部导体接合部 224 可包括导电但是在开口 238 中出现的温度下不熔化的材料。冷引线 226 可以是具有比绝缘导体 252 更低电阻的绝缘导体。

[0096] 引入导体 228 可联接到井口 242,以向绝缘导体 252 提供电力。引入导体 228 可由相对低电阻的导体制成,以使相对很少的热由于电流经过引入导体而产生。在一些实施例中,引入导体为橡胶或聚合物绝缘的绞合铜线。在一些实施例中,引入导体为具有铜芯的矿物绝缘导体。引入导体 228 可通过设置在上覆岩层 246 和表面 250 之间的密封凸缘在表面 250 处联接到井口 242。密封凸缘可抑制流体从开口 238 漏出到表面 250。

[0097] 在一些实施例中,引入导体 228 使用过渡导体 230 联接到绝缘导体 252。过渡导体 230 可为绝缘导体 252 的较小电阻部分。过渡导体 230 可称为绝缘导体 252 的“冷引线”。过渡导体 230 可设计成每单位长度消耗绝缘导体 252 的主加热部分每单位长度中消耗功率的约十分之一到约五分之一的功率。过渡导体 230 可通常在约 1.5m 和约 15m 之间,但是可

使用更短或更长的长度来适应特定应用要求。在一个实施例中，过渡导体 230 的导体为铜。过渡导体 230 的电绝缘体可以是与主加热部分中所用的相同类型的电绝缘体。过渡导体 230 的护套可由耐蚀材料制成。

[0098] 在一些实施例中，过渡导体 230 通过接合接头或其他联接接头而联接到引入导体 228。接合接头也可用于将过渡导体 230 联接到绝缘导体 252。接合接头可必须耐受接近目标区操作温度的温度(例如等于目标区操作温度的一半的温度)，取决于开口中导体的数目和接合接头是否交错。接合接头中的电绝缘材料的密度应在很多情况下足够高以耐受所需温度和操作电压。

[0099] 在一些实施例中，如图 3 中所示，填料 248 设置在上覆岩层套管 244 和开口 238 之间。在一些实施例中，增强材料 232 可将上覆岩层套管 244 固定到上覆岩层 246。填料 248 可抑制流体从开口 238 流动到表面 250。增强材料 232 可包括例如与用于提高高温性能的硅砂粉混合的 G 级或 H 级波特兰水泥、炉渣或硅砂粉和 / 或其混合物。在一些实施例中，增强材料 232 径向延伸约 5cm 到约 25cm 的宽度。

[0100] 如图 3 和 4 中所示，支撑构件 220 和引入导体 228 可在地层的表面 250 处联接到井口 242。表面导体 234 可围绕增强材料 232 并联接至井口 242。表面导体的实施例可延伸到地层中的开口内约 3m 到约 515m 的深度。替代地，表面导体可延伸到地层中约 9m 的深度。电流可从电源提供到绝缘导体 252，从而由于绝缘导体的电阻而产生热。从三个绝缘导体 252 产生的热可在开口 238 中传递来加热烃层 240 的至少一部分。

[0101] 由绝缘导体 252 产生的热可加热含烃地层的至少一部分。在一些实施例中，基本上通过产生的热向地层的辐射来将热传递到地层。由于开口中存在的气体，因此一些热可通过热的传导或对流传递。开口可以是裸眼开口，如图 3 和 4 中所示。裸眼开口消除了与将加热器热固牢到地层相关的成本，与套管相关的成本，和 / 或将加热器封装在孔中的成本。另外，通过辐射进行的热传递通常比通过传导更高效，因此加热器可在裸眼井筒中在较低的温度下操作。热源初始操作过程中的传导性热传递可通过在开口中添加气体增强。气体可保持在高可达约 27 巴绝对压力的压力下。气体可包括但不限于二氧化碳和 / 或氦。裸眼井筒中的绝缘导体加热器可有利地自由膨胀或收缩，以适应热膨胀和收缩。绝缘导体加热器可有利地可从裸眼井筒取出或再布署。

[0102] 在一些实施例中，绝缘导体加热器组件使用卷绕组件安装或取出。不止一个卷绕组件可用于同时安装绝缘导体和支撑构件。替代地，支撑构件可使用盘管装置安装。加热器可被展开，并且在支架插入井中时连接到支架。电加热器和支撑构件可从卷绕组件展开。衬垫可沿支撑构件的长度联接到支撑构件和加热器。其他卷绕组件可用于其他电加热器元件。

[0103] 限温加热器可呈在某些温度下为加热器提供自动限温性能的构造和 / 或可包括在某些温度下为加热器提供自动限温性能的材料。在一些实施例中，铁磁性材料用于限温加热器中。铁磁性材料在材料的居里温度和 / 或相变温度范围或附近可自我限制温度，以便当时变电流施加于材料时提供减少的热量。在一些实施例中，铁磁性材料在选定温度下自我限制限温加热器的温度，该选定温度近似为居里温度和 / 或在相变温度范围中。在一些实施例中，选定温度在相变温度范围和 / 或居里温度的大约 35°C 内，大约 25°C 内，大约 20°C 内，或者大约 10°C 内。在一些实施例中，铁磁性材料与其它材料(例如高传导性材料、高

强度材料、耐腐蚀材料或其组合)联接以便提供各种电和 / 或机械性能。限温加热器的一些部件可具有比限温加热器的其它部件低的电阻(通过不同几何形状和 / 或通过使用不同铁磁性和 / 或非铁磁性材料所引起)。使得限温加热器的部件具有各种材料和 / 或尺寸,就容许得到来自加热器的每个部件的期望热输出。

[0104] 限温加热器可比其它加热器更可靠。限温加热器可较不易于由于地层中的热点而损坏或失效。在一些实施例中,限温加热器容许基本上均匀加热地层。在一些实施例中,限温加热器能够通过沿着加热器的整个长度在更高的平均热输出下操作而更有效地加热地层。限温加热器沿着加热器的整个长度在更高的平均热输出下操作,这是因为如果沿着加热器的任一点的温度超过或即将超过加热器的最高操作温度,送往加热器的功率不必被降低到整个加热器的程度,而典型的恒定瓦特数加热器就是这样。来自限温加热器的接近加热器的居里温度和 / 或相变温度范围的部分的热输出自动地降低,而不需要对施加至加热器的时变电流进行受控制的调节。由于限温加热器的部分的电性能(例如电阻)的变化,热输出自动地降低。因此,在加热过程的更大部分期间,通过限温加热器供应更多功率。

[0105] 在一些实施例中,当限温加热器通过时变电流供能时,包括限温加热器的系统首先提供第一热输出,然后在接近加热器的电阻部分的相变温度范围和 / 或居里温度时,在加热器的电阻部分的相变温度范围和 / 或居里温度,或者在加热器的电阻部分的相变温度范围和 / 或居里温度以上,提供降低的(第二热输出)热输出。第一热输出为在一定温度下的热输出,在该温度以下,限温加热器开始自我限制。在一些实施例中,第一热输出为在限温加热器中的铁磁性材料的居里温度和 / 或相变温度范围以下大约 50°C 的温度,以下大约 75°C 的温度,以下大约 100°C 的温度或以下大约 125°C 的温度的热输出。

[0106] 限温加热器可通过在井口供应的时变电流(交流电流或调制直流电流)供能。井口可包括电源及用于向限温加热器供给功率的其它部件(例如调制部件、变压器和 / 或电容器)。限温加热器可为用于加热地层的一部分的许多加热器之一。

[0107] 在一些实施例中,较薄的导电层用来在高达铁磁性导体的居里温度和 / 或相变温度范围或其附近的温度的温度下提供限温加热器的电阻热输出的大部分。此类限温加热器可用作绝缘导体加热器中的加热构件。绝缘导体加热器的加热构件可位于外鞘内部,在外鞘与加热构件之间具有绝缘层。

[0108] 图 5A 和 5B 示出了具有作为加热构件的限温加热器的绝缘导体加热器的一个实施例的剖视图。绝缘导体 252 包括芯 218、铁磁性导体 236、内部导体 212、电绝缘体 214 和护套 216。芯 218 为铜芯。铁磁性导体 236 例如为铁或铁合金。

[0109] 内部导体 212 为非铁磁性材料构成的较薄的导电层,比铁磁性导体 236 具有更高的导电性。在一些实施例中,内部导体 212 为铜。内部导体 212 可为铜合金。铜合金通常比钝铜具有更平的电阻相对于温度曲线。更平的电阻相对于温度曲线可提供根据高达居里温度和 / 或相变温度范围的温度改变的热输出的较小变化。在一些实施例中,内部导体 212 为具有按重量计算 6% 的镍的铜(例如 CuNi₆ 或 LOHMTM)。在一些实施例中,内部导体 212 为 CuNi₁₀Fe₁Mn 合金。在铁磁性导体 236 的居里温度和 / 或相变温度范围以下,铁磁性导体的磁性性能约束通往内部导体 212 的电流流动的大部分。因此,在居里温度和 / 或相变温度范围以下,内部导体 212 提供绝缘导体 252 的电阻热输出的大部分。

[0110] 在一些实施例中,连同芯 218 和铁磁性导体 236,内部导体 212 尺寸使得内部导体

提供期望的热输出量和期望的调节比。例如，内部导体 212 可具有低于芯 218 的横截面积大约 2 或 3 倍的横截面积。通常，如果内部导体为铜或铜合金，内部导体 212 必须具有较小的横截面积，以便提供期望的热输出。在一个具有铜内部导体 212 的实施例中，芯 218 具有 0.66cm 的直径，铁磁性导体 236 具有 0.91cm 的外径，内部导体 212 具有 1.03cm 的外径，电绝缘体 214 具有 1.53cm 的外径，而护套 216 具有 1.79cm 的外径。在一个具有 CuNi6 内部导体 212 的实施例中，芯 218 具有 0.66cm 的直径，铁磁性导体 236 具有 0.91cm 的外径，内部导体 212 具有 1.12cm 的外径，电绝缘体 214 具有 1.63cm 的外径，而护套 216 具有 1.88cm 的外径。与并不在居里温度和 / 或相变温度范围以下使用薄内部导体来提供大部分热输出的绝缘导体相比，此类绝缘导体通常较小并且制造成本更低。

[0111] 电绝缘体 214 可为氧化镁、氧化铝、二氧化硅、氧化铍、氮化硼、氮化硅或其组合。在一些实施例中，电绝缘体 214 为氧化镁的压实粉末。在一些实施例中，电绝缘体 214 包括氮化硅的珠粒。

[0112] 在一些实施例中，小的材料层置于电绝缘体 214 与内部导体 212 之间以便防止铜在较高温度下迁移至电绝缘体中。例如，小的镍层（例如大约 0.5mm 的镍）可置于电绝缘体 214 与内部导体 212 之间。

[0113] 护套 216 由耐腐蚀材料制成，例如但并不限于 347 不锈钢、347H 不锈钢、446 不锈钢或 825 不锈钢。在一些实施例中，在铁磁性导体 236 的居里温度和 / 或相变温度范围或以上，护套 216 为绝缘导体 252 提供一些机械强度。在一些实施例中，护套 216 不用来传导电流。

[0114] 在一些实施例中，半导体层置于绝缘导体加热器的芯的外侧。半导体层可至少部分地包围芯。半导体层可定位成与芯相邻（介于芯与绝缘层（电绝缘体）之间）或者半导体层可位于绝缘层中。将绝缘导体加热器中的半导体层置于芯外侧可减轻加热器中的电场波动和 / 或减小加热器中的电场强度。因此，更高电压可施加于具有半导体层的绝缘导体加热器，其在芯与外鞘之间产生与利用施加于不带半导体层的绝缘导体加热器的较低电压所获得的最大电场强度相同的最大电场强度。替代地，当两个加热器被通电至相同的电压时，具有半导体层的绝缘导体加热器产生较低的最大电场强度。

[0115] 图 6 示出了具有与芯 218 相邻并且包围芯 218（在芯的表面上）的半导体层 254 的绝缘导体 252 的一个实施例。绝缘导体 252 可为提供电阻热输出的绝缘导体加热器。电绝缘体 214 和护套（外鞘）216 包围半导体层 254 和芯 218。图 7 示出了具有位于电绝缘体 214 内并且包围芯 218 的半导体层 254 的绝缘导体 252 的一个实施例。半导体层 254 可为例如 BaTiO₃ 或其它适当的半导体材料，例如但并不限于 Ba_xSr_{1-x}TiO₃、CaCu₃(TiO₃)₄ 或 La₂Ba₂CaZn₂Ti₃O₄。在一些实施例中，芯 218 为铜或铜合金（例如铜 - 镍合金），电绝缘体 214 为氧化镁，并且护套 216 为不锈钢。

[0116] 半导体层 254 减小了芯 218 外侧的电场强度。另外，具有包围芯 218 的半导体层 254 可减小或减轻由于芯的表面中的缺陷或不规则引起的电场波动。减小电场强度和 / 或减轻电场波动可减小作用于电绝缘体 214 上的应力，减小电绝缘体的可能击穿并增加加热器的使用寿命。

[0117] 在一些实施例中，半导体层 254 具有比电绝缘体 214 更高的介电常数。在一些实施例中，通过优化半导体层的介电常数和半导体层的厚度而尽量减小在芯周围的电场强度。

半导体层 254 和 / 或电绝缘体 214 的介电常数可为分级的(随离芯 218 的中心轴线的径向距离而改变)以便优化作用于电场上的效应。在一些实施例中,使用多个层来提供期望的分级,其中每个层具有不同的介电常数(或者半导体层或者电绝缘体层)。

[0118] 对于长的竖直限温加热器(例如至少 300m、至少 500m 或至少 1km 长度的加热器),在选择限温加热器所用的材料时,悬挂应力变得很重要。在没有正确选择材料的情况下,支撑构件可能不会具有足够的机械强度(例如蠕变断裂强度)来在加热器的操作温度下支撑限温加热器的重量。

[0119] 在一些实施例中,改变用于支撑构件的材料来增加在限温加热器的操作温度下的最大容许悬挂应力,并因此增加限温加热器的最高操作温度。改变支撑构件的材料影响在居里温度和 / 或相变温度范围以下限温加热器的热输出,因为改变材料就改变了支撑构件的电阻相对于温度曲线。在一些实施例中,支撑构件沿着加热器的长度由多于一种材料制成,以使得限温加热器尽可能多地保持期望操作性能(例如,在居里温度和 / 或相变温度范围以下的电阻相对于温度曲线),同时提供足够的机械性能来支撑加热器。在一些实施例中,在加热器的多个部分之间使用过渡部分,来提供补偿加热器的多个部分之间的温度差异的强度。在一些实施例中,限温加热器的一个或多个部分具有变化的外径和 / 或材料以便为加热器提供期望性能。

[0120] 实例

[0121] 以下描述非限制性的几个实例。

[0122] 绝缘导体中的半导体层的实例

[0123] 使用**COMSOL**[®]模拟来评估例如图 6 和 7 中所示的在绝缘导体加热器中使用半导体层的电场效应。在第一次模拟中,为具有不规则镍铜合金芯表面(波浪状芯表面)的绝缘导体加热器计算电场分量,其中芯表面被 BaTiO₃ 半导体层包围, BaTiO₃ 半导体层或者位于芯的表面上(如图 6 中所示)或者位于氧化镁电绝缘体中(如图 7 中所示)。还为没有半导体层的基本情况计算电场分量。

[0124] 图 8 图示了根据沿着加热器的长度的位置 (m) 而变的电场法向分量 (V/m)。曲线 256 示出了基本情况的电场。曲线 258 示出了位于表面上的半导体层的电场。曲线 260 示出了位于电绝缘体中的半导体层的电场。图 8 中所示,具有位于芯的表面上的半导体层对于减轻由于芯的不规则(波浪状)表面引起的电场波动(电场法向分量的最小变化)最佳。

[0125] 在第二次模拟中,为具有带缺陷(芯表面中的缺口)的镍铜合金芯表面的绝缘导体加热器计算电场强度,其中芯表面被 BaTiO₃ 半导体层包围, BaTiO₃ 半导体层或者位于芯的表面上(如图 6 中所示)或者位于氧化镁电绝缘体中(如图 7 中所示)。还为没有半导体层的基本情况计算电场强度。

[0126] 图 9 示出了电场强度 (V/m) 相对于离芯的距离 (m) 的情况。曲线 262 示出了基本情况的电场强度。曲线 264 示出了位于表面上的半导体层的电场强度。曲线 266 示出了位于电绝缘体中的半导体层的电场强度。如图 9 中所示,在具有位于表面上的半导体层的芯附近减小了电场强度(曲线 264)。

[0127] 使用分析计算来评估如图 6 中所示的用于绝缘导体加热器的半导体层的电性能和有效性。图 10 示出了最大无屏障(无半导体层)电场强度(左轴线)的百分比和标准化半导体层厚度(右轴线)相对于电绝缘体与半导体层的介电常数比((电绝缘体的介电常数) /

(半导体层的介电常数))的情况。如图 10 中所示,对于选定介电常数比(如竖直箭头所示),对应有使最大电场最小化的半导体层厚度。

[0128] 图 11 示出了对于为电绝缘体厚度三分之一的半导体层的若干介电常数比,电场强度(V/英寸)相对于离芯的标准化距离的情况。曲线 268 示出了介电常数比为 0.1 的电场强度。曲线 270 示出了介电常数比为 0.5 的电场强度。曲线 272 示出了介电常数比为 0.676 的电场强度。曲线 274 示出了介电常数比为 0.8 的电场强度。曲线 276 示出了不带半导体层的绝缘导体加热器(介电强度比为 1)的电场强度。如图 11 中所示,利用介电常数比为 0.676 获得芯与护套(外鞘)之间的最低的最大电场强度(曲线 272)。

[0129] 应可理解,本发明不限于所述的特定系统,所述系统当然可改变。还应理解,本文所用的术语仅出于描述特定实施例的目的,不旨在进行限制。当在本说明书中使用时,单数形式的“一”、“一个”和“该”包括复数个所涉及物,除非所述内容另外明确指出。因而,例如,提到“一个芯”包括两个或更多个芯的组合,提到“一种材料”包括多种材料的混合物。

[0130] 借助于本说明书,本发明的各个方面其他修改形式和替代实施例对于本领域中技术人员将显而易见。因此,本说明将仅视为是示例性的,并且用于教导本领域技术人员实现本发明的一般方式。应可理解,本文所示和所述的本发明的形式应视为目前优选的实施例。本文示出和描述的元件和材料可替换,部件和工艺可颠倒,本发明的一些特征可独立使用,这对于已获益于对本发明的说明后的本领域技术人员是显而易见的。可对所述元件进行改变而不偏离下面权利要求书中所述的本发明的精神和范围。

[0131] 应当理解,在以下所述权利要求书的每一个特征可与其它权利要求的特征组合或分开。例如,两个或更多个从属权利要求的特征可组合在一起以形成多项从属权利要求。

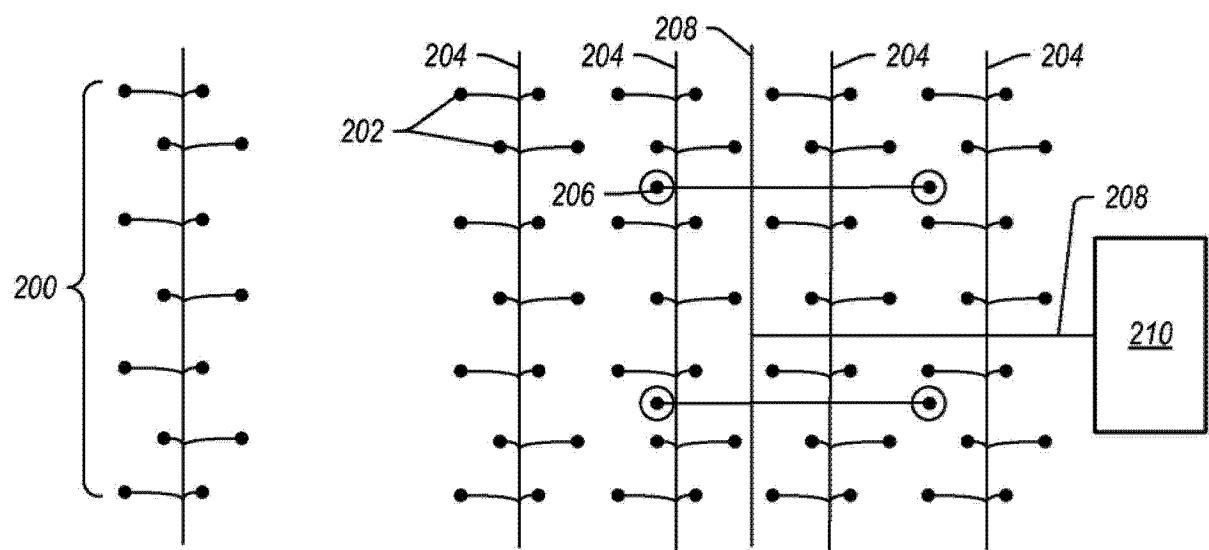


图 1

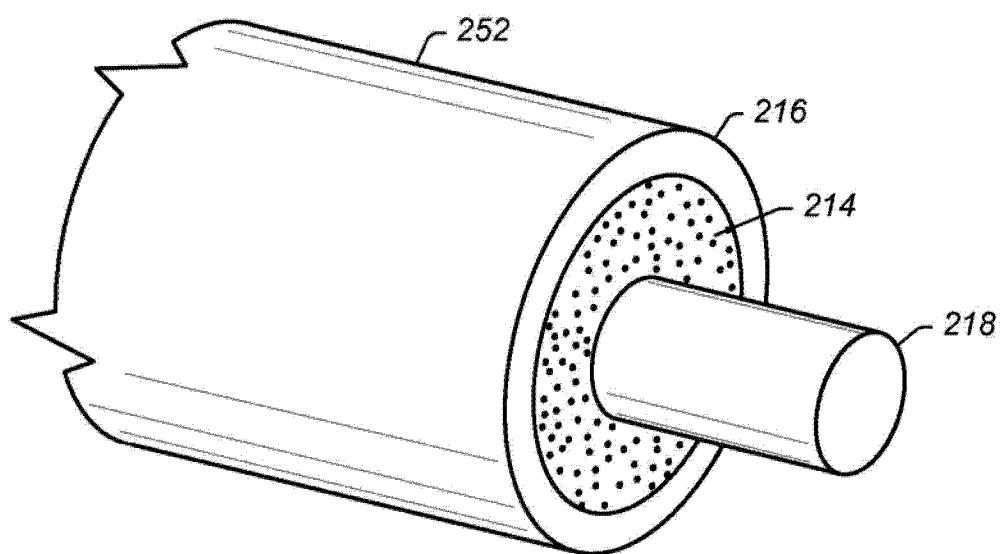


图 2

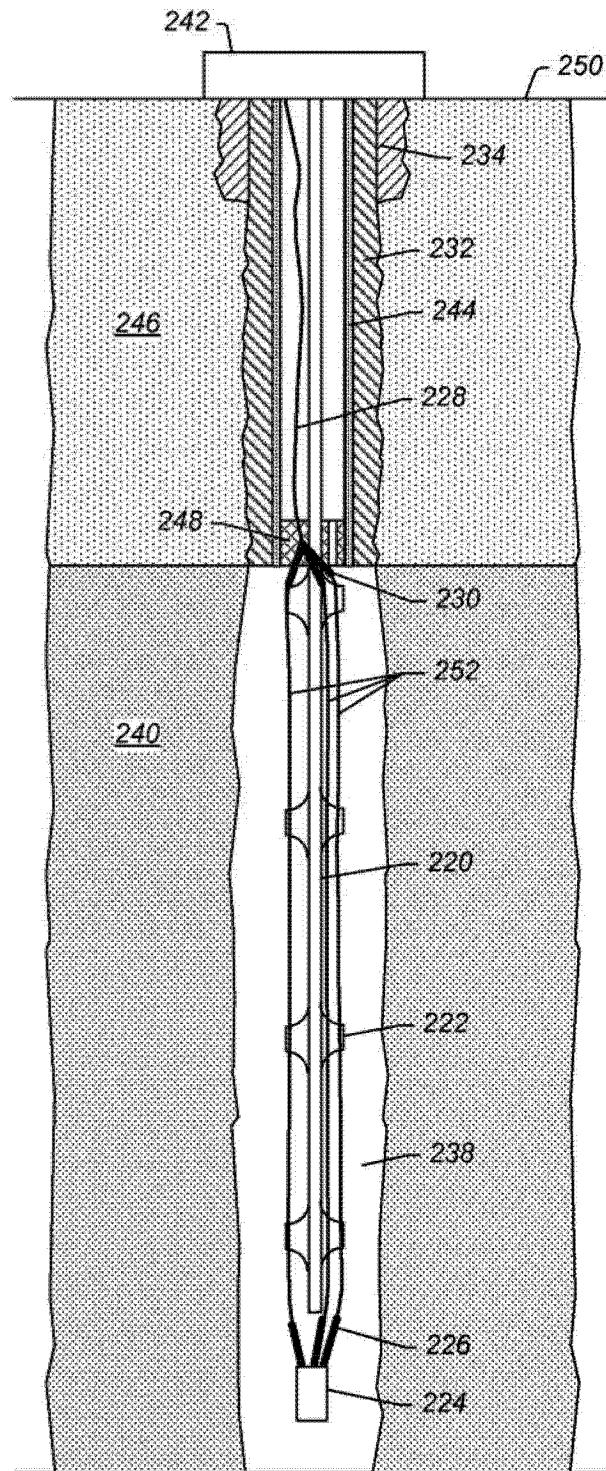


图 3

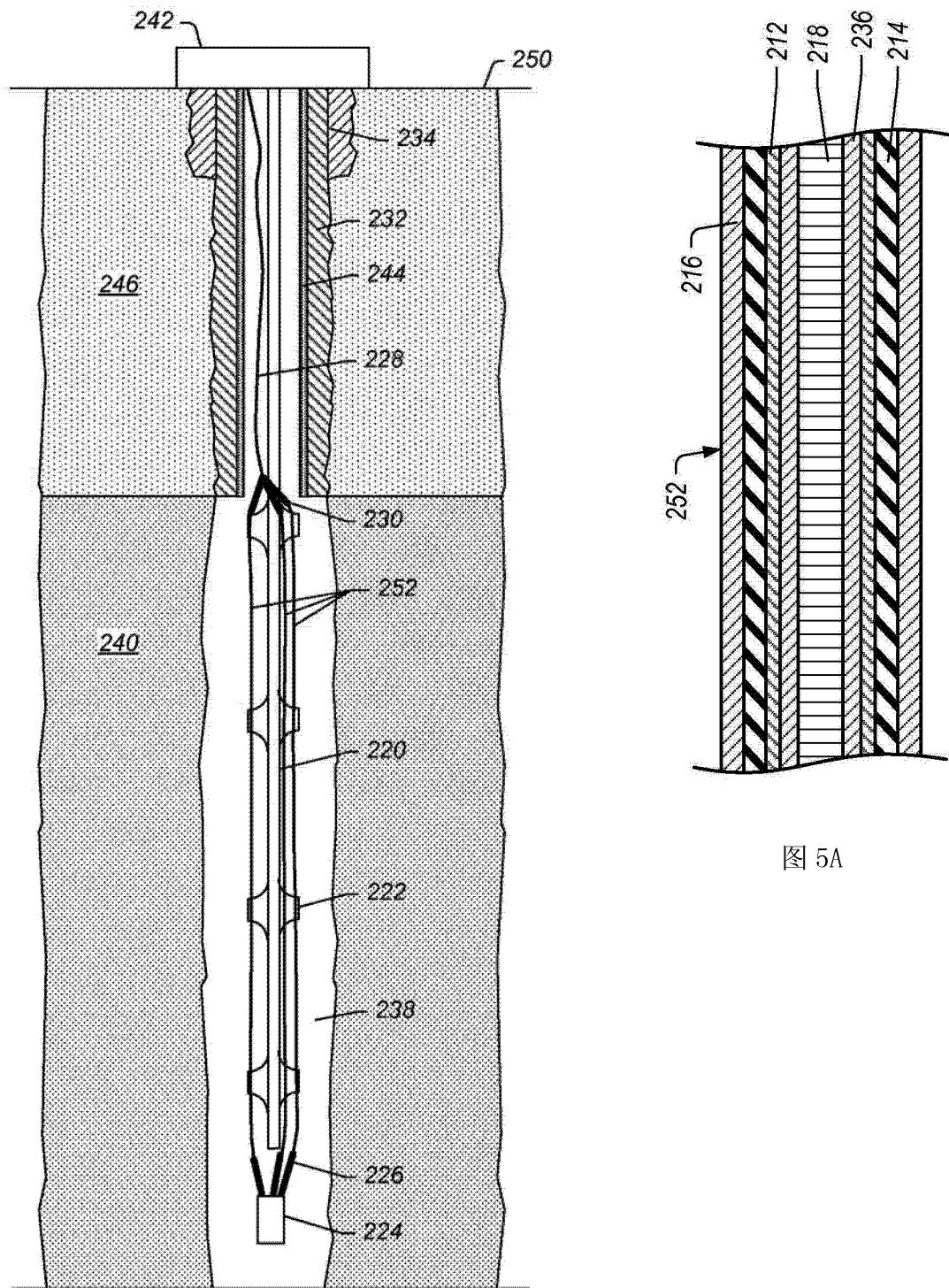


图 4

图 5A

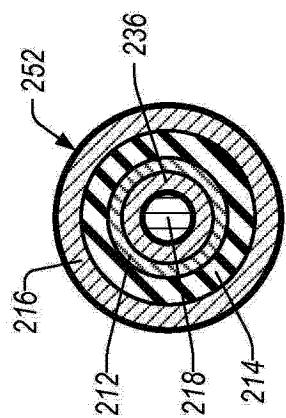


图 5B

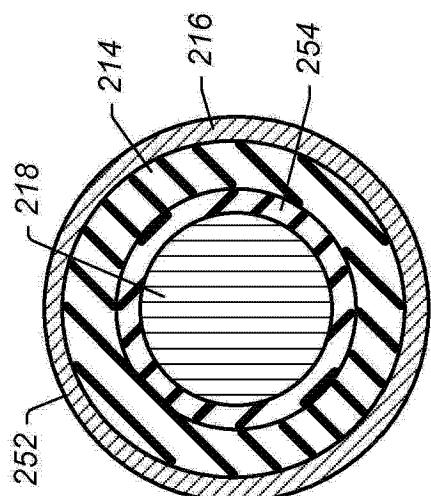


图 6

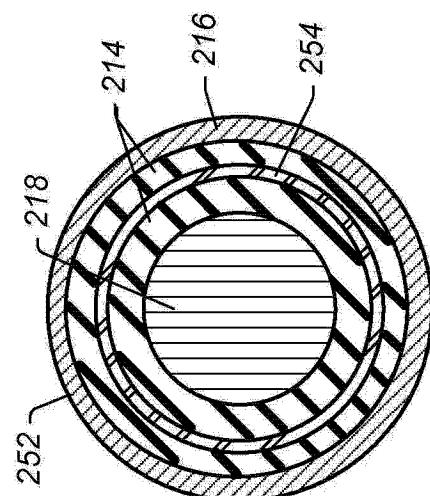


图 7

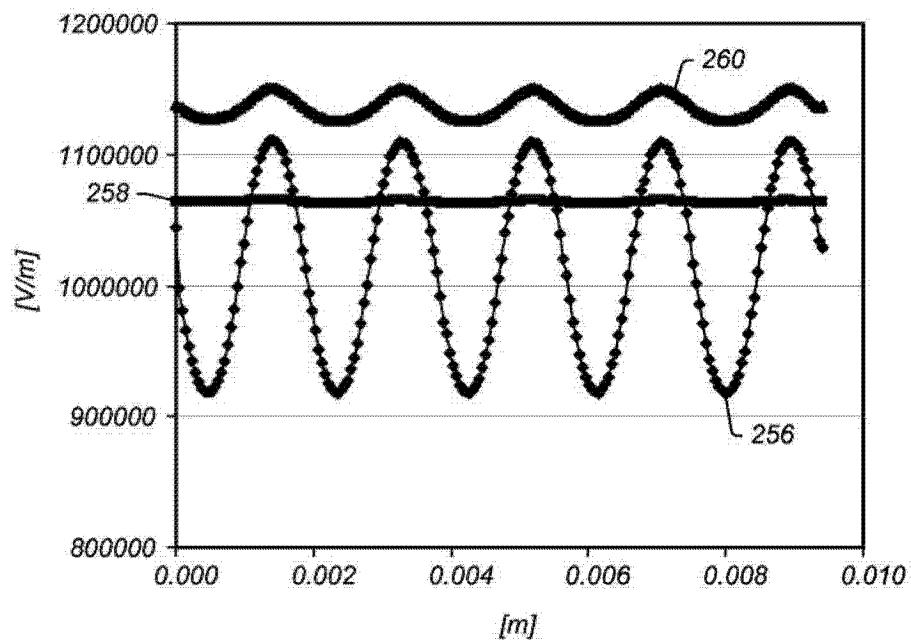


图 8

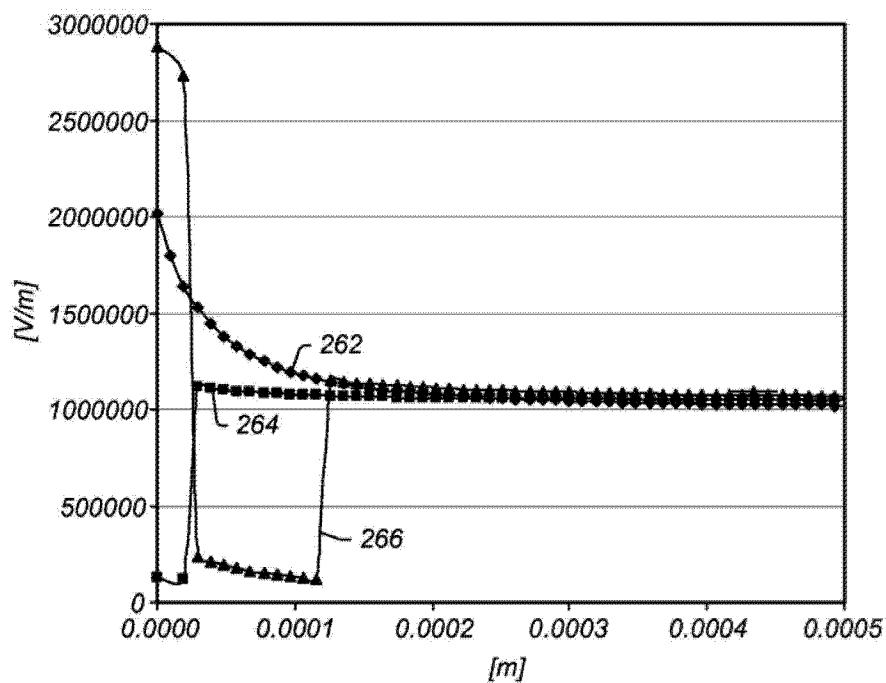


图 9

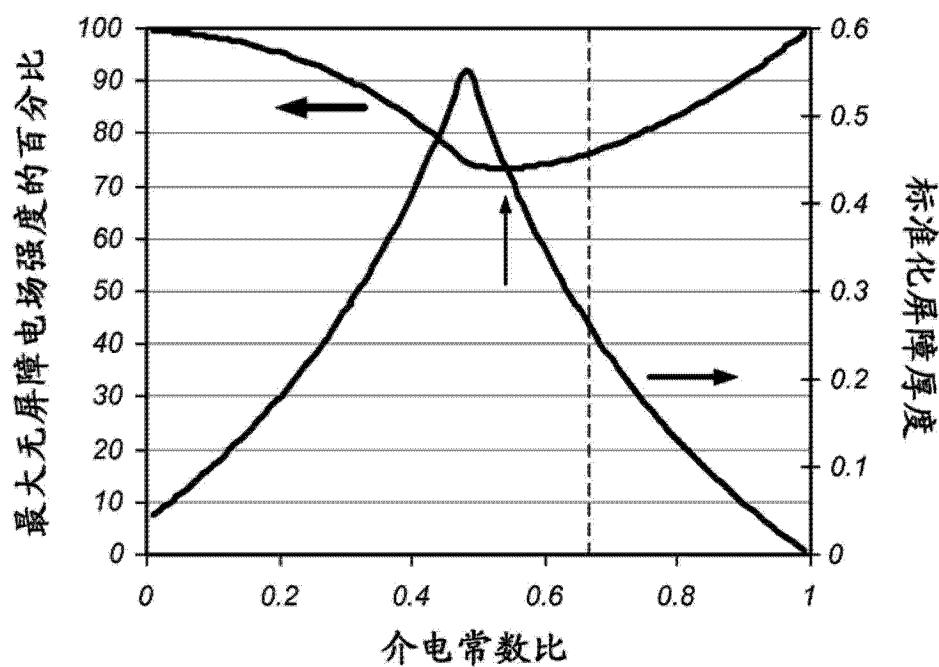


图 10

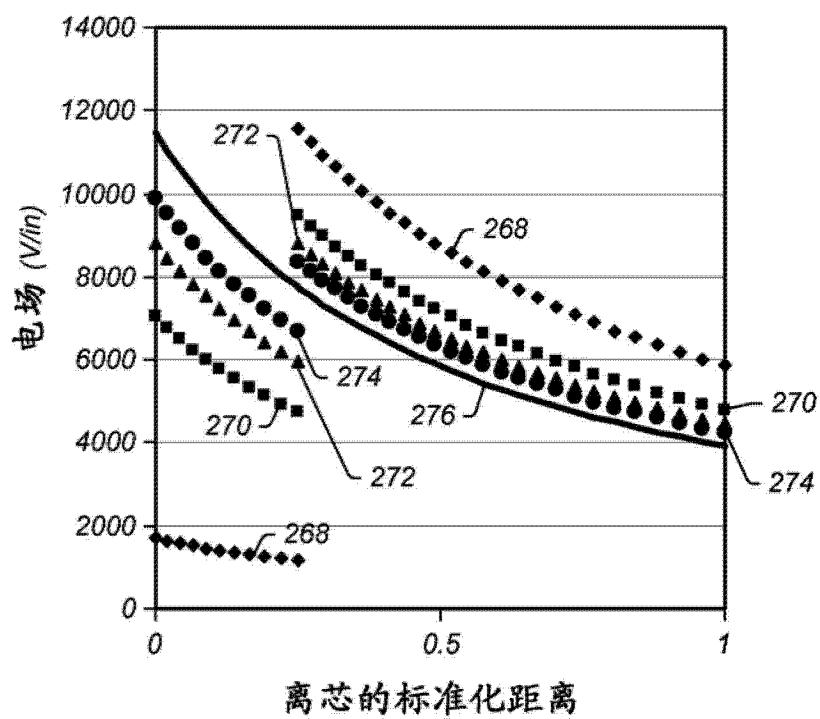


图 11