

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01L 9/00

G01L 19/04

G01L 19/06



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03821965.4

[43] 公开日 2005 年 10 月 12 日

[11] 公开号 CN 1682102A

[22] 申请日 2003.9.9 [21] 申请号 03821965.4

[30] 优先权

[32] 2002.9.16 [33] DE [31] 10243079.9

[86] 国际申请 PCT/EP2003/010009 2003.9.9

[87] 国际公布 WO2004/031716 德 2004.4.15

[85] 进入国家阶段日期 2005.3.16

[71] 申请人 恩德莱斯和豪瑟尔两合公司

地址 德国毛尔堡

[72] 发明人 武尔费特·德鲁斯 伊戈·格季曼

弗兰克·赫格纳

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任
公司

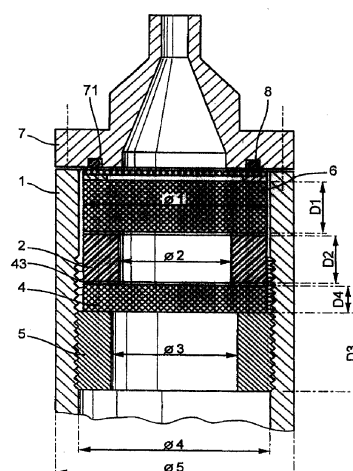
代理人 钟 强 谷惠敏

权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 3 页

[54] 发明名称 电容式压力传感器

[57] 摘要

为了将具有基本为圆柱形的基体以及与基体端面相连的测量薄膜的压力传感器的量程误差最小化，其中压力测量单元被轴向夹持在弹性密封环和支持环之间，弹性密封环位于压力测量单元的薄膜侧端面上，并且支持环支撑压力测量单元的后面，这样确定支持环的尺寸与密封环和压力测量单元的尺寸的匹配关系，使得由于压力测量单元的轴向夹持引起的薄膜侧端面的轴向变形充分小，从而由轴向夹持力减小至少 10% 而引起的压力传感器的量程误差不大于约 0.02%。另外，在支持环和夹持环之间设置刚性分离元件，其将量程的温度滞后最小化。支持环和分离元件的几何尺寸是利用 FEM 而迭代确定的。



1. 压力传感器，包括：

压力测量单元，其具有基本为圆柱形的基体和连接至该基体端面的测量薄膜，基体具有第一直径和第一厚度，测量薄膜具有第二直径和第二厚度；

弹性密封环，其具有第三直径和第三厚度；

支持环，其具有第四外径、第四内径和第四厚度，其中支持环与压力测量单元远离测量薄膜的端面牢固地连接；

夹持环，其具有第一接合装置；和

外壳，用于容纳压力测量单元，其中外壳具有用于密封环的轴向承载表面以及与第一接合装置接合的第二接合装置；

其中压力测量单元利用夹持环而轴向夹持在弹性密封环和支持环之间，弹性密封环设置在外壳的轴向承载表面和压力测量单元的薄膜侧端面之间，

其特征在于，

刚性分离元件设置在夹持环和支持环之间，并且

确定支持环和分离元件的尺寸与密封环和压力测量单元的尺寸这样匹配，使得由压力测量单元的轴向夹持引起的薄膜侧端面的轴向形变足够小，使得基于轴向夹持力减少至少 10% 引起的压力传感器的量程误差不大于约 0.02%，并且量程的温度滞后不大于约 0.03%。

2. 如权利要求 1 所述的压力传感器，其中选择支持环的内径使得在夹持力减少至少 20% 的情况中，量程误差不大于约 0.02%。

3. 如权利要求 1 所述的压力传感器，其中选择支持环的内径使得在夹持力减少至少 10% 或至少 20% 的情况中，量程误差不大于约 0.01%。

4. 如权利要求 1~3 之一所述的压力传感器，其中量程的温度滞

后不大于 0.02% 并且特别优选地不大于 0.01%。

5. 如权利要求 1~4 之一所述的压力传感器，其中基体和测量薄膜由同样的材料制成，特别是陶瓷材料。

5

6. 如权利要求 1~5 之一所述的压力传感器，其中支持环和/或分离元件由与基体相同的材料制成。

7. 如权利要求 1~6 之一所述的压力传感器，其中支持环至少具有基体的厚度。

10

8. 如权利要求 1~7 之一所述的压力传感器，其中分离元件包括分离板。

9. 如权利要求 8 所述的压力传感器，其中分离板具有与支持环的外径相等的直径。

15

10. 如权利要求 8 或 9 所述的压力传感器，其中分离板被不固定地连接至支持环。

20

11. 如权利要求 1~7 之一所述的压力传感器，其中分离元件包括分离环。

12. 如权利要求 11 所述的压力传感器，其中分离环具有与支持环大约相同的直径。

25

13. 如权利要求 11 或 12 所述的压力传感器，其中在支持环和分离环之间提供用于最小化摩擦的装置。

30

14. 如权利要求 1~9 之一所述的压力传感器，其中支持环和分

离环之间的静摩擦系数小于 0.2。

15. 用于迭代优化用于以上任一权利要求所述的压力传感器的支持环和分离元件的尺寸的方法，包括以下步骤：

- 5 (i) 确定支持环和分离元件的几何结构；
- (ii) 计算在第一轴向夹持力下压力传感器的第一量程改变；
- (iii) 计算在第二轴向夹持力下压力传感器的第二量程改变；
- (iv) 通过比较第一量程改变和第二量程改变，确定量程误差；
- (v) 评价量程误差；
- 10 (vi) 如果需要，在量程误差足够小的条件下，确定量程的温度滞后并评价量程的温度滞后；
- (vii) 改变支持环和需要时的分离元件的几何结构，并重复步骤 (ii) ~ (vii)，直至对于足够小的量程误差和足够小的量程温度滞后，找到合适的几何结构。

15

电容式压力传感器

5 本发明涉及一种电容式压力传感器，特别的涉及一种电容式陶瓷压力传感器。

10 这种压力传感器经常用于过程测量技术中，用于测量液体、气体或蒸汽形式的过程介质的压力。基本上，这种压力传感器包括由基体和弹性薄膜，特别是陶瓷基体和陶瓷薄膜制成的压力测量单元。基体具有浅穴，其被称为薄膜床并且由薄膜张紧。在测量操作期间，薄膜承载压力介质的压力，并且电容或电阻确定的弹性薄膜的形变是压力的量度。这种压力测量单元例如在德国公开文本 DE 39 01 492 中得到了公开。

15

 在测量操作期间，压力测量单元通常轴向夹持在介质侧的弹性密封和支持环之间，弹性密封上位于传感器的薄膜侧端面上，支持环轴向支持基体远离薄膜的端面，诸如德国公开文本 DE 42 13 857 中所示。

20

 至于在给定压力下依赖于有效薄膜刚性的薄膜形变，必须在标定之后，将薄膜刚性在压力传感器的测量范围上保持得尽可能恒定。于是，特别重要的是，尽可能少的轴向力作用在压力测量单元上，因为轴向向内作用的力可以减少薄膜刚性并且轴向向外作用的可以增加薄膜刚性。

25

30

 在类似的未决德国专利申请 10229703.7 中，受让人公开了在密封环和支持环之间轴向夹持压力测量单元在轴向上影响基体后表面的弹性弯曲。如果支持环的几何形状没有合适地与压力测量单元的几何形状相配，弯曲导致在薄膜侧端面区域中基体的轴向形变。这里，支持环的内径被证明是特别关键的变量。如果支持环的承载表面太大，

即，内径过小，则由这种直径的密封环引入压力测量单元或其基体的轴向夹持力在压力测量单元中引起弯曲力矩，这导致测量薄膜的轴向向外的形变。以类似的方式，当支持环的承载面过小，即，支持环的内径过大时，面向密封环的端面被轴向向内弹性形变。

5

如果所述的端面轴向形变可以被保持恒定，那么其是可以被接受的。然而，由于轴向形变是轴向夹持力的函数并且因而特别地依赖于引入轴向夹持力的弹性密封环的老化，所以这并不实际。作为例子，当具有新安装的密封环的压力传感器被加热至 80°C 时，轴向夹持力可以不可逆地从 500 N 减至大约 400 N。

10

因而，从使用的观点看，轴向形变的改变只可以通过一种设计而防止，在这种设计中，即使在最大轴向夹持力的情况下，也不会发生可观的轴向形变。

15

因而，申请号为 10229703.7 的德国专利申请的解决方案对于预定尺寸和材料特性的压力测量单元，使用了确定支持环的内径的方法，其中压力测量单元在测量薄膜的连接区域的轴向形变在很大程度上得以消除，使得由于改变轴向夹持力而引起的薄膜刚性改变被减小至可接受的残差。

20

根据 10229703.7 的压力传感器包括；压力测量单元，其具有基本为圆柱形的基体，基体具有第一直径和第一厚度；焊接在基体端面上的测量薄膜，其具有第二直径和第二厚度。其中，压力测量单元被轴向夹持在弹性密封环和支持环之间，弹性密封环具有第三直径和第三厚度并且位于压力测量单元的薄膜侧端面上，支持环具有第四外径、第四内径和第四厚度，支持环位于压力测量单元远离测量薄膜的后面；其中，进一步，支持环的尺寸匹配密封环和压力测量单元的尺寸，使得由压力测量单元的轴向夹持引起的薄膜侧端面的轴向形变很小，使得由轴向夹持力减少至少 10% 引起的压力传感器的量程误差

25

30

不大于量程的约 0.02%。

5 这里，量程误差是指在减少轴向夹持力的情况中，最大压力处的测量值和无压力负载时的测量值之间得到的差与在完全轴向夹持力时的相应差之间的偏差。

10 完全轴向夹持力是指例如用于具有新密封环的轴向夹持力，使得在密封环的老化之后，仍可以安全的保持技术要求的压力。轴向夹持力可以例如在 350 N~550 N 之间，对于特定的情况选择的夹持力依赖于压力传感器的密封环类型和额定压力，即，规格说明。

15 最近的实验调查已经显示了变型，其中支持环被牢固地连接至基体或者与其一体构成，这些变型对于量程误差更易于管理。即，在不同类型的测量单元之间，量程误差为某些较小的值并且几乎不改变。

然而，这些变型关于量程的温度滞后的结果并不令人满意，即，由于滞后导致的量程误差过大。

20 正如现在理解的，温度滞后是在热膨胀系数不同的元件之间的界面处的不足松弛的结果。在这一点，特别关键的是，在螺纹环和用于夹持支持环的夹持环之间的界面。

25 因此，本发明的目的是提供一种压力传感器，其中基于轴向夹持力的改变的量程误差和温度滞后都被减少。

根据本发明，该目的通过独立权利要求 1 所述的压力传感器以及独立权利要求 15 所述的方法而实现。

本发明的压力传感器包括：

30 压力测量单元，其具有基本为圆柱形的基体和一测量薄膜，基体

具有第一直径和第一厚度，测量薄膜具有第二直径和第二厚度且连接至基体的端面；

弹性密封环，其具有第三直径和第三厚度；

5 支持环，其具有第四外径、第四内径和第四厚度，并且支持环与压力测量单元远离测量薄膜的端面牢固地连接；

夹持环，其具有第一接合装置；和

外壳，用于容纳压力测量单元，其中外壳具有用于密封环的轴向承载表面，以及具有与第一接合装置接合的第二接合装置；

10 其中压力测量单元利用夹持环而轴向夹持在弹性密封环和支持环之间，弹性密封环设置在外壳的轴向承载表面和压力测量单元的薄膜侧端面之间，

其中，进一步，

刚性分离元件设置在夹持环和支持环之间，并且

15 支持环和（如果需要的）分离元件的尺寸与密封环和压力测量单元的尺寸这样匹配，使得由压力测量单元的轴向夹持引起的薄膜侧端面的轴向形变足够小，使得基于轴向夹持力减少至少 10% 引起的压力传感器的量程误差不大于约 0.02%，并且量程的温度滞后不大于约 0.03%。

20 温度滞后可以例如通过比较测量而在温度循环之前或之后确定，在一个温度循环中，传感器被从室温加温至 150°C，然后冷却至 -40°C，最终加温回到室温。同样，可以在加温至最大温度之前，首先冷却至最小温度。

25 优选地，支持环和（如果需要的）分离元件的尺寸被这样优化，使得在夹持力减少至少 20% 的情况下，量程误差不大于约 0.02%。更为优选地，支持环和（如果需要的）分离元件的尺寸被这样优化，使得在夹持力减少至少 10% 或甚至至少 20% 的情况下，量程误差不大于约 0.01%。

30

另外，支持环和（如果需要的）分离元件的尺寸可以被这样优化，使得量程的温度滞后不大于 0.02% 并且特别优选地不大于 0.01%。

5 优选地，基体和测量薄膜由同样的材料制成，当前优选是陶瓷材料，特别是刚玉。测量薄膜优选地具有与基体相同的直径。特别在陶瓷压力传感器的情况中，测量薄膜可以利用活性铜焊或玻璃固定至基体的端面。在另一优选实施例中，粘合剂包括烧结刚玉。

10 在当前的优选实施例中，支持环具有与基体相同的材料。这是具有优点的，因为支持环具有与基体相同的热膨胀系数。支持环应当优选地由至少与基体材料的刚性相同的材料制成。支持环的外径不应小于并且优选地应等于基体的直径。在当前的优选实施例中，支持环与基体永久相连。这可以通过焊接实现，优选地利用活性铜焊，或者通过胶粘实现。最终，支持环和基体可以被一体制成。支持环优选地至少具有基体的厚度。

分离元件是刚性的，使得分离元件的材料具有与支持环的材料相适应的机械特性。优选地分离元件具有与支持环相同的材料。

20 分离元件特别用于将由于夹持环、外壳和支持环的不同热膨胀系数而引起的支持环的形变最小化。

当前，两种分离元件的变型是优选的：

25 在第一变型的情况中，分离元件包括分离环，其优选地具有与支持环相同的内径和外径。更为优选地，分离环具有与支持环相同的厚度。分离环平面地支持在支持环上。可选地，提供了用于将分离环和支持环之间的摩擦最小化的装置。为了这个目的，可以使用塑料层或箔，例如特氟隆；硬的光滑材料层，例如 DLC (Diamond Like Carbon)；或润滑剂，诸如二硫化钼。

在第二变型的情况中，分离元件包括硬化板。硬化板可以松弛地
在支持环上、与支持环固定连接、或者与支持环一体制成。关于减少
温度滞后，当前认为硬化板与支持环的连接没有影响。优选地，硬
化板具有与支持环的外径相同的直径。特别地，硬化板的厚度是在优
化本发明的传感器中可以改变的参数。

夹持环优选地包括螺纹环，第一接合装置通过螺纹环侧表面上的
螺纹而实现。第二接合装置相应地是在圆柱外壳部分中的内螺纹，螺
纹环接合进该圆柱外壳部分，以经由分离元件和支持环将轴向夹持力
施加于压力测量单元。

现在根据附图中显示的实施例，详细解释本发明，附图中：

图 1 是本发明的压力传感器的截面图；

图 2a~c 是本发明的压力传感器的分离元件的不同变型的示意性
视图；和

图 3a~c 是关于在轴向夹持下压力测量单元的形变的 FEM 数据。

图 1 中所示的压力传感器包括由基体和刚玉测量薄膜构成的压力
测量单元 6。测量薄膜 6 利用活性铜焊固定在基体的前端面上。外径
等于基体的直径 $\varnothing_1$ 的刚玉支持环利用活性铜焊固定在基体的后端面
上。压力测量单元 6 和支持环 2 设置在不锈钢的外壳中。外壳具有圆
柱形的测量单元腔 1 和过程连接法兰 7。法兰 7 设置在测量单元腔 1
的端面侧的开口处。过程连接法兰 7 从测量单元腔 1 的圆柱壁径向向
内延伸，并且从而形成轴向承载表面，在其中形成了用于接收弹性密
封环 8 的环形槽 71。压力测量单元 6 利用其薄膜侧端面轴向压向密封
环 8。

夹持力是通过密封环 8 的压力及其弹性特性而确定的。在组装压
力传感器时通过螺纹环 5 的位置而设置密封环的压缩，螺纹环 5 从后
面经由分离元件，这里是分离板 4，作用在支持环 2 上。密封环 8 的

弹性特性由于密封环在压缩时的老化或回火而改变。在所述的实施例的情况中，开始的夹持力为 500 N。在密封环的回火之后，夹持力减小至 400 N，这个回火例如是以蒸汽对传感器的清洗循环。

5 在图 2a~c 中以详细视图显示了夹持元件的例子。

在图 2a 中，分离环 41 作为分离元件而安装，其具有与支持环 2 相等的尺寸。特氟隆层设置在分离环 41 和支持环 2 之间。通过插入支持环 2，量程的温度滞后从 0.15% 减小至约 0.01%。

10

图 2b 和 2c 显示了一种变型，其中分离元件被实现为刚性分离板。在图 2b 中，分离板 42 和支持环 2 一体地形成。在图 2c 中，分离板 4 仅松弛地支持在支持环上。关于减少量程误差和量程误差的滞后，分离板与支持环的连接 43 的类型不起作用，即，通过与支持环一体地构成的分离板，通过松弛地支持的分离板，或通过例如利用铜焊与支持环固定连接的分离盘，都可以显著减少滞后。

15

使用支持环厚度十分之一的分离板厚度，量程的温度滞后从 0.15 % 减小至 0.03 %，然而，通过与支持环相同厚度的分离板，量程的温度滞后减小至 0.01 %。同时，在轴向夹持力改变 20 % 的情况中，量程误差为 0.02 %。

20

现在对于实施例解释支持环的最优内径 $\varnothing_2$ 的确定。预定尺寸是：基体直径 $\varnothing_1=32.4$ mm，基体厚度 $D1=5$ mm，薄膜厚度为 160 μ m，活性铜焊层厚度为 55 μ m。

25

利用 FEM，首先确定在轴向夹持力 500 N 和 400 N 的情况中，对于不同内径的支持环的压力测量单元的形变，并且在加载额定压力（对于使用的压力测量单元为 170 mbar）的情况由此得到的量程也类似地以 FEM 计算。通过比较 500 N 夹持力和 400 N 夹持力处的量程，

30

找到量程误差。为了减小计算时间，首先假设支持环为无限刚性的。即，这里先不考虑支持环和分离板的形变。

图 3a~c 显示了对于具有不同内径 $\varnothing_2$ 的支持环，压力测量单元的形变的矢量表示，形变是由于对于在基体和测量薄膜之间的接合位置的内边缘周围的部分的轴向夹持而产生的。

在图 3a 中，内径为 27.8 mm。这个内径过大。所示的在夹持力 500 N 处的矢量场显示了径向向内的位移，其减小了薄膜刚性。在这种环境中的量程变得更大。相对于未被夹持的单元，量程改变约+0.8%。在夹持力为 400 N 的情况中，量程减小约+0.64%。结果，量程误差为-0.16%。

在图 3b 中，内径为 10.0 mm。这个内径过小。所示的在夹持力 500 N 处的矢量场显示了径向向外的位移，其增加薄膜刚性。在这种环境中的量程变得更小。相对于未被夹持的单元，量程改变约-0.1%。在夹持力为 400 N 的情况中，量程减小约-0.08%。结果，量程误差为+0.02%。

在图 3c 中，内径为 23.2 mm。这个内径正好。所示的在夹持力 500 N 处的矢量场显示了在薄膜接合位置的区域中几乎没有任何可能改变薄膜刚性的径向位移。与未被夹持的单元相比，量程改变约-0.01%。在夹持力为 400 N 的情况中，量程减小约-0.008%。于是，量程误差为+0.002%。

结果，对于给定的压力测量单元的尺寸，找到支持环的内径，其在很大程度上消除了由于轴向夹持力而引起的压力测量单元的轴向形变。在将其付诸实践时，支持环优选地具有不小于压力测量单元厚度的厚度，以保持有关充分刚性的轴向支持的假设仍然成立。

于是使用 FEM，将先前确定的支持环数据作为起始点，以确定

对于 500 N 和 400 N 的轴向夹持力，压力传感器的所有元件的形变。其中，对于分离板和支持环，采用与压力测量单元的基体和薄膜相同的弹性模数，即，刚玉的弹性模数。对于外壳指定 VA 钢，对于夹持环指定黄铜。在承载额定压力的情况下，同样利用 FEM 计算形变造成的量程。正如以前那样，通过比较 500 N 夹持力和 400 N 夹持力处的量程，确定量程误差。确定小于 0.02% 的量程误差。

FEM 类似地用于确定在温度循环（室温→-40°C→150°C→室温）期间元件的形变，以确定量程的温度滞后。通过改变分离板的厚度，可以确定使得量程的温度滞后低于期望的极限值 0.03% 的几何结构。通过在可接受的值处使用支持环几何结构和强度的变型而进一步迭代，可以期望得到进一步的改进。

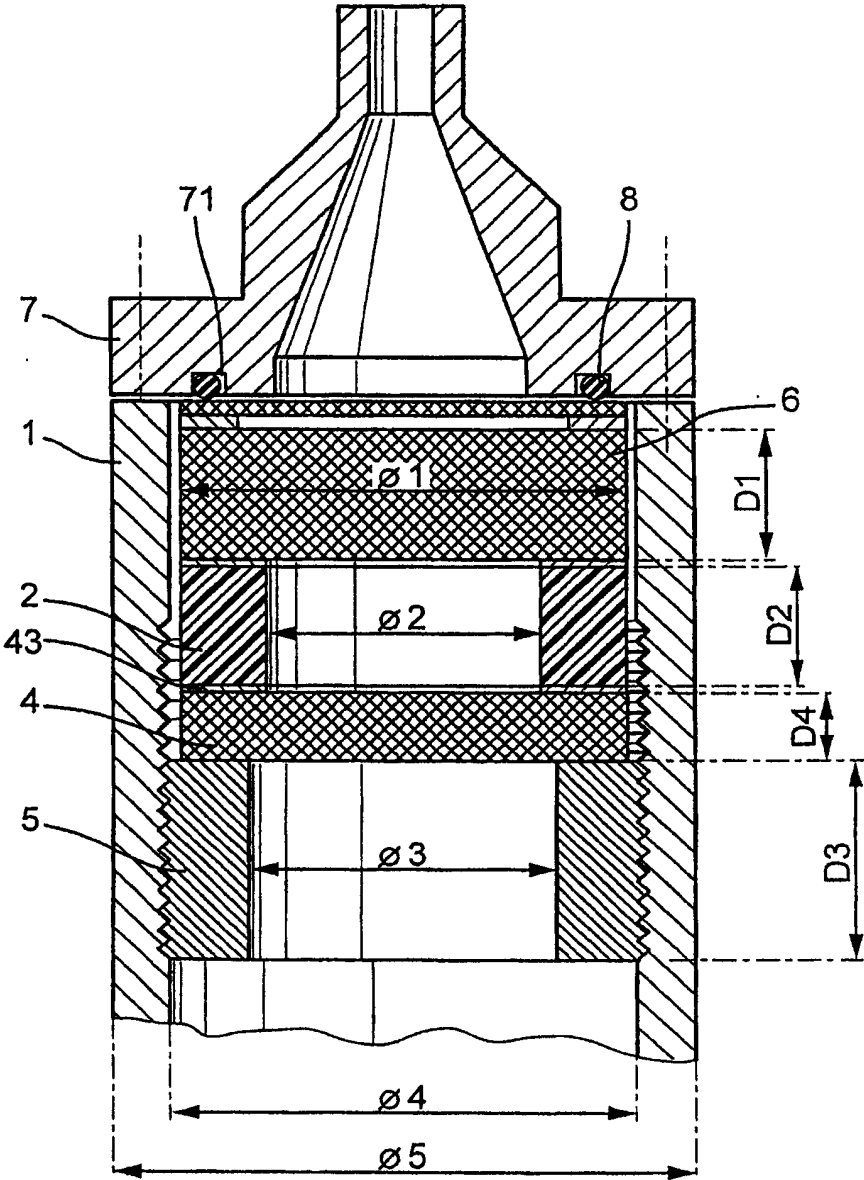
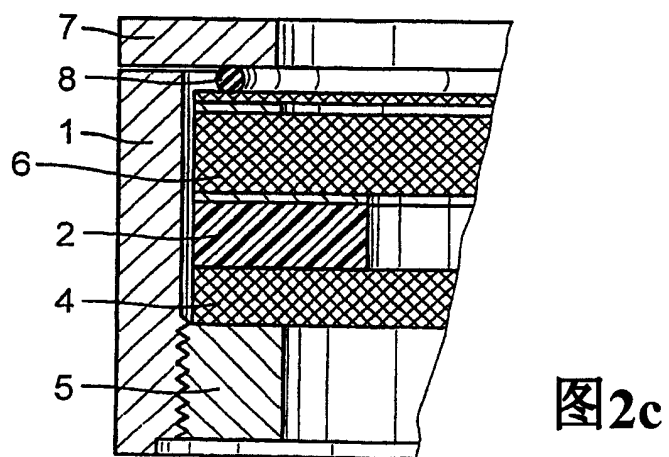
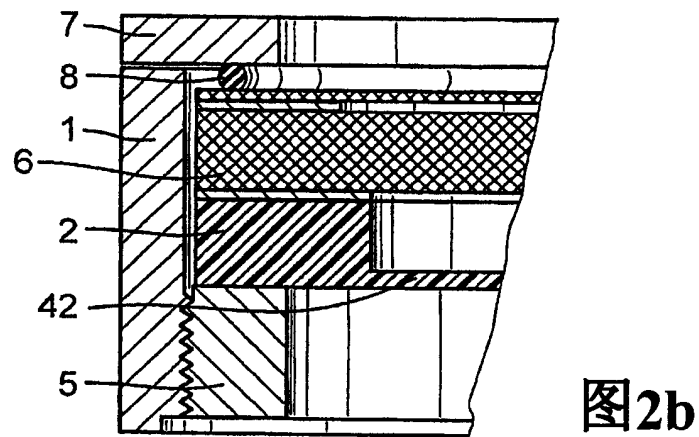
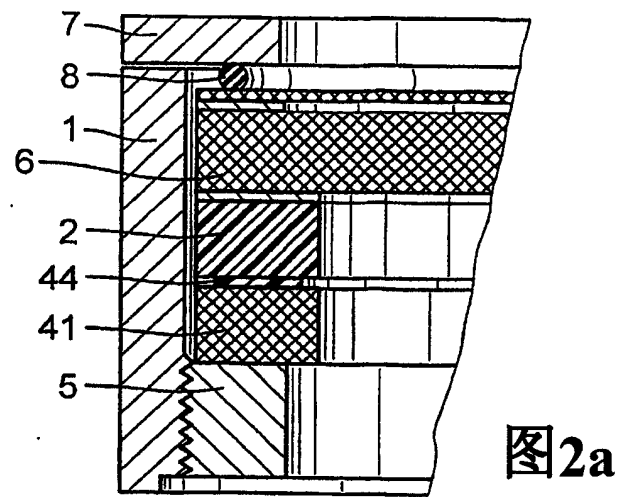


图1



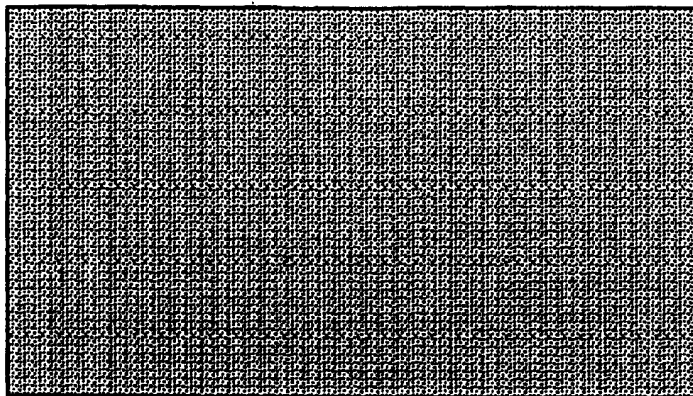


图3a

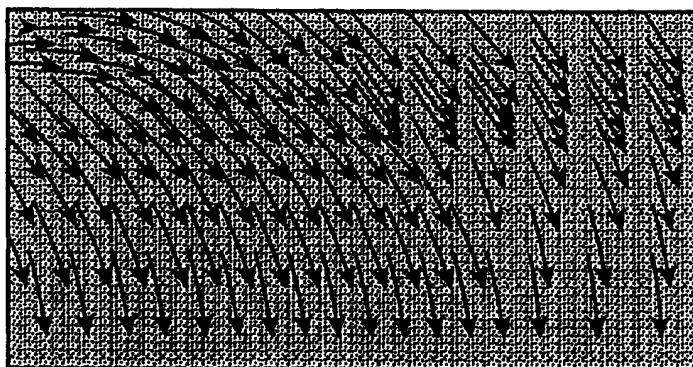


图3b

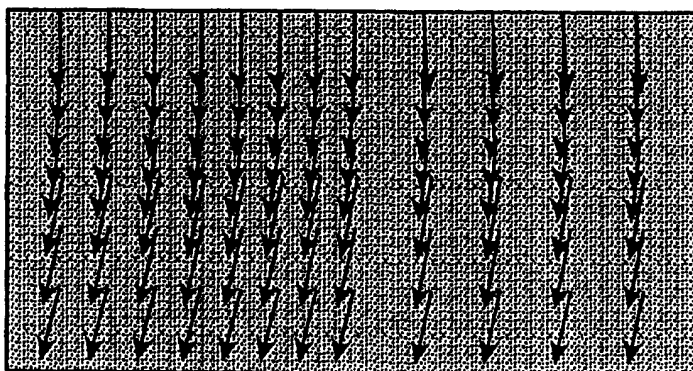


图3c