



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101432460 B

(45) 授权公告日 2013. 07. 31

(21) 申请号 200780015406. 5

(22) 申请日 2007. 04. 19

(30) 优先权数据

11/413, 425 2006. 04. 28 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 10. 28

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/066923 2007. 04. 19

(87) PCT申请的公布数据

W02007/127657 EN 2007. 11. 08

(73) 专利权人 GTAT 公司

地址 美国新罕布什尔州

(72) 发明人 Y·万 S·R·帕塔萨拉蒂

C·沙尔捷 A·塞尔维尼

C·P·哈塔克

(74) 专利代理机构 北京润平知识产权代理有限

公司 11283

代理人 周建秋 王凤桐

(51) Int. Cl.

C23C 16/00(2006. 01)

C23C 16/46(2006. 01)

(56) 对比文件

US 3293950 A, 1966. 12. 27, 第 2 栏第 25 行至第 3 栏第 22 行, 图 3.

US 4062714 A, 1997. 12. 13, 第 2 栏第 54 行至第 3 栏第 14 行, 图 1-3.

审查员 张莉

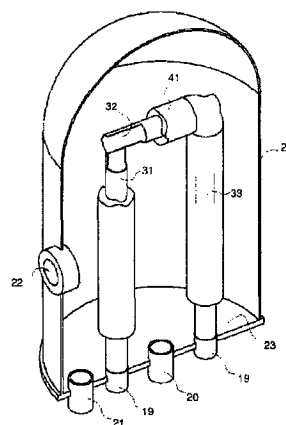
权利要求书3页 说明书7页 附图7页

(54) 发明名称

在化学气相沉积反应器中提高的多晶硅沉积

(57) 摘要

通过化学气相沉积 (CVD) 生产大量多晶硅的方法和过程, 其中, 普遍用于西门子型反应器中的传统的硅“细棒”被具有相似的电性能但表面积更大的异形硅丝所代替, 例如硅管、硅带或其它形状的横截面。含有硅的气体, 例如氯硅烷或硅烷, 在丝的热表面上裂解并形成硅沉积物。无需改变反应器的尺寸, 也无需增加丝的数量和长度, 这些丝的更大的起始表面积即可确保更高的生产率。现有的反应器只需调整或替换丝的支架来使用新丝。所述硅丝由硅熔融物通过边缘限定薄膜供料生长 (EFG) 方法生长。这也使得所述硅丝的掺杂以及对新型反应器的电源的简化成为可能。



1. 一种用于大量生产多晶硅的化学气相沉积反应器,所述化学气相沉积反应器包括:  
底座系统,所述底座系统配置有丝支架;  
外壳,所述外壳能够连接到所述底座系统从而形成沉积室;  
至少一根硅丝,所述硅丝在所述沉积室内置于所述丝支架上;  
电流源,所述电流源通过所述底座系统内的电穿通密封件能够联结到所述硅丝的两端,用来加热所述硅丝;

位于所述底座系统上的进气口,所述进气口能够联结到含有硅的气体源上;以及

位于所述底座系统上的出气口,气体能够通过所述出气口从所述沉积室排出;所述硅丝的形状使得起始的硅丝的用于硅沉积的表面积大于具有相似电性能的实心细棒的用于硅沉积的表面积,所述硅丝允许用与加热实心细棒的电源相同的电源来加热,所述硅丝具有外径至少为 20 毫米并且管壁的厚度与外径的比例不高于 1/4 的管状横截面。

2. 根据权利要求 1 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述硅丝与所述实心细棒具有相同总长度,所述硅丝具有管状的横截面,管状硅丝的厚度和外径满足下面的关系:

$$4(d_0 - \delta) \delta \geq d_0 d_{s1im} \quad (1)$$

其中,

$d_0$  是管状硅丝的外径,

$\delta$  是管状硅丝的厚度,并且

$d_{s1im}$  是实心细棒的直径。

3. 根据权利要求 1 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述硅丝的横截面外围尺寸大于 60 毫米且对电流流动的阻抗范围为室温下的 106 欧姆·厘米到 1200°C 下的 0.01 欧姆·厘米。

4. 根据权利要求 1 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述硅丝的起始直径为 20-100 毫米,所述硅丝的壁的厚度为 1-6 毫米。

5. 根据权利要求 1 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述硅丝为管状的,所述硅丝的起始直径为 40-80 毫米,所述硅丝的壁的厚度为 1.75-6 毫米。

6. 根据权利要求 1 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述硅丝为管状的,并且具有约 50 毫米的起始直径和约 2 毫米的起始壁厚。

7. 根据权利要求 1 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述硅丝包括具有矩形横截面的扁平桥接部分。

8. 根据权利要求 1 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述硅丝包括实心的、具有圆形横截面的桥接部分。

9. 根据权利要求 1 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述丝支架含有石墨。

10. 根据权利要求 1 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述硅丝掺杂有周期表的 3 族和 5 族之一中的至少一种元素。

11. 根据权利要求 10 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述元素包括硼。

12. 根据权利要求 10 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述元素包括磷。

13. 根据权利要求 1 或 2 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述硅丝为管状的,所述硅丝的起始直径至少为 20 毫米并且管壁的厚度与外径的比例不高于 1/4。

14. 根据权利要求 13 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述硅丝掺杂有周期表的 3 族

和 5 族之一中的至少一种元素。

15. 根据权利要求 14 所述的化学气相沉积反应器,其中,所述元素包括硼。

16. 一种在化学气相沉积反应器内使用大表面积的丝来生产多晶硅的方法,该方法包括:

在熔硅池内将硅加热至熔融态;

将处于所述熔融态的所述硅用模具通过边缘限定薄膜供料生长方法生长成硅结构,所述硅结构的横截面使得起始的硅丝的用于硅沉积的表面积大于具有相似电性能的实心细棒的用于硅沉积的表面积,所述硅丝允许用与加热实心细棒的电源相同的电源来加热;

将所述硅结构的至少一个部分作为丝置于所述化学气相沉积反应器内的两个电极之间;

用电流加热所述硅丝;以及

在所述反应器内,用含有硅的气体进行化学气相沉积操作,所述硅丝具有外径至少为 20 毫米并且管壁的厚度与外径的比例不高于 1/4 的管状横截面。

17. 根据权利要求 16 所述的方法,其中,所述硅丝为具有与所述实心细棒相同总长度的管状细丝,所述管状细丝具有管状横截面,管状硅丝的厚度和外径满足下面的关系:

$$4(d_0 - \delta)\delta \geq d_0 d_{s1im} \quad (1)$$

其中,

$d_0$  是管状硅丝的外径,

$\delta$  是管状硅丝的厚度,并且

$d_{s1im}$  是实心细棒的直径。

18. 根据权利要求 16 所述的方法,其中,所述硅结构的横截面外围尺寸大于 60 毫米且对电流流动的阻抗范围为室温下的  $10^6$  欧姆·厘米到 1200°C 下的 0.01 欧姆·厘米。

19. 根据权利要求 16 所述的方法,其中,所述至少一个部分包括组装为 U 形丝的所述硅结构的三个所述部分。

20. 根据权利要求 16 所述的方法,其中,所述模具包括多腔模具。

21. 根据权利要求 16 所述的方法,其中,所述方法包括:

将所述硅结构用周期表的 3 族和 5 族之一中的至少一种元素进行掺杂。

22. 根据权利要求 16 所述的方法,其中,所述模具含有石墨。

23. 根据权利要求 16 所述的方法,其中,所述模具含有石英。

24. 一种生产多晶硅的方法,该方法包括:

使用含有硅的气体以及化学气相沉积反应器;

将硅丝置于所述化学气相沉积反应器内,所述硅丝的横截面使得起始的硅丝的用于硅沉积的表面积大于具有相似电性能的实心细棒的用于硅沉积的表面积,所述硅丝允许用与加热实心细棒的电源相同的电源来加热;以及

进行化学气相沉积操作,其中,用电流加热所述管状硅丝并且硅在该管状硅丝上沉积,所述硅丝具有外径至少为 20 毫米并且管壁的厚度与外径的比例不高于 1/4 的管状横截面。

25. 根据权利要求 24 所述的方法,其中,所述硅丝为具有与所述实心细棒相同总长度的管状细丝,所述管状细丝具有管状横截面,管状硅丝的厚度和外径满足下面的关系:

$$4(d_0 - \delta)\delta \geq d_0 d_{s1im} \quad (1)$$

其中,

$d_0$  是管状硅丝的外径,

$\delta$  是管状硅丝的厚度, 并且

$d_{s1im}$  是实心细棒的直径。

26. 根据权利要求 24 所述的方法, 其中, 所述硅丝的横截面外围尺寸大于 60 毫米且对电流流动的阻抗范围为室温下的  $10^6$  欧姆·厘米到 1200°C 下的 0.01 欧姆·厘米。

27. 根据权利要求 24 或 26 所述的方法, 其中, 所述硅丝的横截面为管状, 且外径为 40-60 毫米, 壁的厚度为 1.75-6 毫米。

## 在化学气相沉积反应器中提高的多晶硅沉积

[0001] 相关申请

[0002] 本申请要求于 2006 年 4 月 28 日提出申请的美国专利申请 No. 11/413, 425 的优先权, 其全部公开的内容被结合于此作为参考。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及硅的化学气相沉积, 更具体的说, 本发明涉及异形硅丝 (shaped silicon filaments) 在相同的普通设计的化学气相沉积 (CVD) 反应器中的使用, 所述的异形硅丝具有比传统的固体细棒更大的用于沉积的起始表面积。

### 背景技术

[0004] 光伏工业 (photovoltaic) 中多晶硅 (polysilicon) 的使用正在迅猛的发展, 这种需求在 2005 年已经与用于微电子工业的多晶硅基本持平。与微电子工业 7% 到 10% 的增长速率相比, 光伏工业的预期增长速率将期望在 15% 到 30% 之间 (近年的增长为 30% 到 45%), 这将使用于光伏工业的多晶硅的需求更大。然而, 硅片的成本占 PV (光伏) 组件成本的大约 25% 到 33%, 在微电子工业中硅片的成本低于硅半导体器件成本的 5%。因此, 对于光伏工业来说, 降低多晶硅对成本的贡献势在必行。PV 工业已经开始研究使用具有小瑕疵和轻微污染的多晶硅, 以此作为控制成本的一种方法。

[0005] 最为广泛使用的生产多晶硅的常规方法之一是通过在化学气相沉积 (CVD) 反应器中沉积多晶硅, 并被称为西门子方法 (Siemens method)。参考图 1 的现有技术, CVD 反应器包括底座 23、沉积室壁或石英钟罩 17。在底座 23 上结合有进气口 20 和出气口 21 (可以在相同的位置) 以及电穿通密封件 19 (electrical feedthroughs)。观察口 22 提供对内部的可视观察或提供对温度的测量。

[0006] 用 CVD 进行现有技术的多晶硅的制备中, 高纯硅细棒结构或高纯硅丝通过将横棒 2 横向放置于两根长的、相间隔的、竖直的棒 1 和 3 上来组装成发夹的形式。为了在电穿通密封件 19 之间提供电流通路, 将上述结构安装并连接起来。在 CVD 工艺中, 多晶硅沉积物均匀地积聚在细棒上; 为了显示细棒结构, 在此示出为除去了部分的沉积物 41。不同的使用者使用不同的方法来连接横向的棒与竖直的棒。一种方法需要每一根竖直的棒的顶部有槽或键槽。在横向的棒的端部形成小的埋头孔或适配件 (conforming fitment), 以便其可以被压下固定到槽中, 来桥接两根竖直的棒。

[0007] 由于这些棒是用高纯硅制备的, 上述细棒相应的电阻极高。因此, 在该方法的起动阶段中, 用电流加热这种硅“丝”极其困难。

[0008] 有时用更导电并且更容易用电流加热的金属棒代替上述细棒。这种方法被称为罗杰斯黑兹方法 (Rogers Heitz method)。然而, 将金属引入化学气相沉积方法中会带来金属污染。这种多晶硅生产中的污染在半导体 / 微电子工业中是不可接受的。然而, 对于光伏工业来说, 用来制造太阳能电池的晶片通常与周期表中的 3 族元素, 例如硼 (B), 或 5 族元素, 例如磷 (P) 进行掺杂, 以使其更导电。

[0009] 纯净的硅的电阻率是温度的强函数 (strong function), 对于细棒来说, 其电阻率的范围从室温下的  $10^6$  欧姆·厘米到  $1200^{\circ}\text{C}$  下的 0.01 欧姆·厘米。但是, 掺杂的硅则表现出不同的行为。依赖于例如硼的掺杂剂的浓度, 电阻率将随温度升高到一个特定的点, 然后, 变成与本征硅细棒相同。室温下, 以  $10^{18}$  原子 / 立方厘米掺杂硼的硅细棒大约为 0.05 欧姆·厘米。当多晶硅用于光伏应用时, 允许一定杂质, 特别是掺杂剂离子的存在。

[0010] 用来开展西门子型方法的典型现有技术的反应器包括一系列复杂的子系统。为了降低其电阻率或对电流的阻抗, 使用外部加热器将高纯细棒丝的温度提高到  $400^{\circ}\text{C}$  (摄氏温度) 左右。有时, 卤素加热 (halogen heating) 或等离子体放电加热是外部加热所应用的形式。一般来说, 丝的电加热需要多抽头电源。该电源可以为早期加热提供非常高的电压和低电流; 而当更高的温度已经降低了棒的电阻率的后期, 在相对较低的电压下提供非常高的电流。

[0011] 需要用高压开关设备在功率电平带之间进行转换。在高压下通过丝输送低电流的第一过程一直持续到丝的温度达到约  $800^{\circ}\text{C}$ 。在该温度下, 高纯硅棒的电阻急剧下降, 并且高电压源转换为能够提供高电流的低电压源。但是, 由于在  $800^{\circ}\text{C}$  左右, 被硅细棒牵引的电流具有失控的性质, 因此, 进行高压向低压电源的转换需要极其小心和谨慎。

[0012] 在 CVD 工艺中, 硅沉积在丝的热表面上, 并且由此得到的硅棒的直径变得越来越大。在供气、反应器压力、生长的棒的表面温度 (例如, 以三氯氢硅作为裂解气 (decomposition gas) 时, 通常为  $1100^{\circ}\text{C}$ ) 的恒定工艺条件下, 直径增长的速率 (或沉积速率, 以微米每分钟计) 或多或少都是恒定的。通常, 硅细棒的起始尺寸约为 7 毫米, 具有圆形或方形的横截面。金属丝细棒的尺寸更小。因此, 当硅棒的直径小时, 以千克每小时计的生产率在起始阶段很低。

[0013] 在一类传统的 CVD 反应器中, 通过三氯氢硅 ( $\text{SiHCl}_3$ ) 与氢气 ( $\text{H}_2$ ) 的反应, 高纯硅沉积到直径一般为 7 毫米的实心细棒上。在一般的反应器中, 会组装一系列细棒, 这种布置基于棒之间的辐射热传递、向外壁的热损失以及硅在这些细棒上的沉积速率。较快的沉积速率将导致多晶硅产品中的瑕疵, 这些瑕疵在微电子工业中是不能被接受的; 但是, 光伏工业已经开始研究这些小瑕疵的处理。

[0014] 已经做出了努力来改良目前的 CVD 反应器以达到简化细棒的数量或提高沉积速率的目的, 但是上述努力并没有得到广泛的接受, 这是因为新型反应器极大地背离了传统反应器的设计, 而且翻新或替换现有的 CVD 反应器并在商品化之前优化其它参数的成本极高而且耗时。

## 发明内容

[0015] 本发明的目的之一是提高传统 CVD 反应器的产量, 本发明是通过结合硅形态来代替传统的实心细棒, 例如硅管、硅带或具有相似电性能的其他大表面积 of 丝形态, 以便提高用于硅沉积的起始表面积。例如, 使用直径为 50 毫米的管状硅丝代替传统的细棒, 产量能够提高 30-40%, 而不会使产品的质量打折扣, 也不用对反应器做出显著改变。使用替代的丝对反应器设计的所需的改变如此小以至于能以非常适中的成本对现有的 CVD 反应器进行快速翻新。这能更容易地结合到具有相同的基本设计的新型反应器内, 具有进一步降低成本的优势。

[0016] 本发明的另一个目的是通过利用具有较大表面积的硅丝形态来提高产量,这对现有的为作为丝的硅细棒所设计的西门子反应器做的改变最小。通过选择合适横截面积的新丝,用来启动丝加热的高压将与用于细棒丝的高压相同。因此,可以使用相同的电源,所述的电源是反应器系统中的昂贵的构件。这就使用本发明的丝对现有的反应器进行翻新具有吸引力。

[0017] 本发明的又一个目的是提供指导来选择管状硅丝的适合的起始直径,所述的管状硅丝的起始直径依赖于操作的停工期。将操作停工期定义为关闭用于沉积循环的电源(沉积结束)到下一个运转中开始通过含有硅的气体之间的时间。停工期包括反应器的冷却、反应气体的净化、产品的转移、反应器的清洁、丝的安装、反应器的净化、丝的预热(如果需要)以及将丝加热到沉积温度。生产中的停工期一般为6-12小时。

[0018] 本发明的再一个目的提供生长硅形态的经济有效的方法,由于大表面积的丝具有合适的沉积和电性能,因而所述的硅形态十分有用。通过使用已经完整的建立起来的EFG(Edge-defined, film fed growth,边缘限定薄膜供料生长)方法以及合适的模具,可以使不同尺寸和横截面形态的硅丝原料快速地连续生长。

[0019] 本发明的另一个目的是公开用来生长所述硅形态的高产量方法,该方法通过从同一个熔融物贮存器中使用具有所需的横截面形状、尺寸和壁厚的多个模具或多腔模具同时生长多个长度的丝原料。

[0020] 本发明的另一个目的是公开用来生长高度掺杂的异形丝,例如所公开的管状丝的方法。所述丝可以掺杂p-型或n-型。如先前所记载的,掺杂丝的使用可以省去用外部热源预热起始丝的需要,并且降低通过电流直接通过该丝来启动对丝的加热的所需要的电压。对于CVD反应器来说,这种掺杂的丝使得电源和控制电路的简化以及降低子系统的成本成为可能。这种掺杂的丝还缩短了加热丝所需的时间。

[0021] 当使用掺杂的硅丝构建新型的西门子型反应器时,本发明就特别有益。这可以大大简化电源,无需高压(对于启动阶段来说为数千伏),并且可以显著降低构成反应器设备主要开销的电源的成本。

[0022] 总的说来,本发明的制备和调整具有与传统细棒相似的电性能的相对大表面积的丝,以使所述的丝适应于为细棒所设计的并使用细棒的反应器,通过使用实质上相似的反应器设计,但在特定高成本的构件上具有重大的成本节约,这对更新现有的反应器的成本以及新型反应器的投资成本两方面的成本降低都有贡献;并且还对提高产率和降低每单元的成本有贡献。

#### 附图说明

[0023] 图1所示为已有技术的化学气相沉积(CVD)反应器的剖开透视图,该反应器使用细棒丝作为通过在反应器内进行西门子方法其上已经沉积了多晶硅的包覆层或层的目标。

[0024] 图2所示为化学气相沉积反应器的剖开透视图,在该反应器内,薄壁多晶硅结构代替了图1中的细棒,该薄壁多晶硅结构实质上的起始暴露表面积更大,通过该反应器内进行西门子方法,在所述薄壁多晶硅结构上已经沉积了多晶硅的包覆层或层。

[0025] 图3A、3B、3C和3D所示为不同横截面的硅丝的例子,上述硅丝适于图2的反应器

中使用。

[0026] 图 4A 所示为估算多晶硅生产的图表,通过假设不同的停工期,以年产量作为硅管丝外径的函数。

[0027] 图 4B 所示为管丝的横截面说明,该图表明起始时具有 2 毫米的壁的厚度,以及结束时通过沉积已经长到 120 毫米的直径。

[0028] 图 5 所示为对于本发明的管状丝来说,选择合适的用毫米计的管的壁的厚度和用毫米计的起始管直径。

[0029] 图 6 所示为用来生长硅形态作为用于图 2 的反应器的丝的方法和装置的简化的截面视图。

### 具体实施方式

[0030] 本发明容许在形式和实践中的多种变化。因此,本发明的附图和接下来的实施方式的描述将视为对实质的阐述,而非局限于此。

[0031] 根据本发明一种实施方式,异形硅丝被用来代替制备多晶硅的化学气相沉积反应器中的传统的细棒。参考图 2,本发明的一种实施方式利用硅管丝部分 31、32、33 中的一个或另一个在进行了相应调整的 CVD 反应器内作为起始丝形态,来代替在类似的传统 CVD 反应器内的图 1 的硅细棒 1、2 和 3。其它的横截面形态的丝部分在本发明的范围之内,其中,所述的形态产生比实心铁心细棒大得多的可用来沉积的表面积。所述丝部分可以是横截面形态的混合,例如连接了管状或星形的垂直部分的扁平丝或带状丝的桥接部分,只要它们的沉积和电性能一致即可。

[0032] 通过选择上述硅丝部分的合适的壁的厚度和横截面积,通过设计电阻特性能够近似于细棒丝的电特性。这样就允许用为加热图 1 的反应器的硅细棒而设计和使用的电源来加热图 2 的反应器的大表面积的丝。

[0033] 以管状硅丝作为例子,当在传统的西门子反应器中时,假设电源的电流回路中的丝的总长度相同,需要电能来加热丝,因而在启动阶段需要的最高电压,基于能量平衡,通过新丝的横截面积和周长或表面积即可确定。本领域的技术人员可以理解用来设计替代的大表面积的丝的外形,例如管状丝以具有与实心棒丝相似的电性能所需的数学。就管状丝而言,为了利用与用来启动并加热细棒丝相同的电源,管状硅丝的厚度和外径(OD)必须满足下面的关系:

$$[0034] \quad 4(d_0 - \delta) \delta \geq d_0 d_{s1im} \quad (1)$$

[0035] 其中,

[0036]  $d_0$  是管状丝的外径,

[0037]  $\delta$  是管的厚度,并且

[0038]  $d_{s1im}$  是传统细棒的直径。

[0039] 因此,依赖于起始的管状硅丝的直径,参照图 4B 的硅管 31 的 W,壁的厚度  $\delta$  应该大于如图 5 所示的特定值。例如,如果起始硅管的外径为 50 毫米,这样的管状丝的合适的厚度约为 1.8 毫米,或者为了使用与直径为 7 毫米的细棒丝所用的相同的电源,管状丝的厚度可以更大一些。

[0040] 虽然描述了壁的厚度约为 2 毫米的直径为 50 毫米的管状丝,但是,大一些和小一

些的直径以及大一些和小一些的壁厚也在本发明的范围之内。例如,如图 6 所示,根据本发明的丝,优选的壁的厚度的范围是从约 1 毫米到 6 毫米,或者更优选为从约 1.75-3.5 毫米。管状丝的直径的优选范围为约 10 毫米及以上,具体地受到管的成本和反应器尺寸的限制。

[0041] 为了在另外适于使用传统的细棒的反应中使用具有与传统的细棒丝相似的电性能的大面积的异形硅丝,仅电极双头螺栓 (electrode studs) 需要改进或替代,所述双头螺栓通常含有石墨,以提供适合于用所需的电接触来支撑新丝的配制。在一种实施方式中,硅丝部分,例如已经说明的部分 31、32、33,在它们的交叉点处进行机械连接,以横向的桥接部分 32 置于各个竖直部分 31、33 顶部的槽或键槽内,从而形成倒 U 形的发夹。另外一种连接异形硅体来形成倒 U 形的方法是使用由硅或纯石墨制成的构件使不同的部分互相连接。在本发明的丝的垂直部分和桥接部分之间形成适当的机械和电连接的其它方法在本发明的范围之内。将这种倒 U 形丝结构安装到电极双头螺栓上并进行连接,从而在成对的电穿通密封件 19 之间形成电流通路。在 CVD 操作过程中,现有的电源以传统的方式来加热丝;多晶硅沉积物 41 均匀地积聚在硅丝所暴露的表面上。为了显示硅丝结构,这里所示的沉积层被部分除去。

[0042] 硅丝的形态在贯穿其整个长度上可以是均匀或不均匀的横截面和形态,并且可以包括但不限于硅管、硅带或具有其它横截面的拉长的硅体,例如图 3A-3D 中所示的外形或不同的横截面。主要的原则是比起具有相似电性能的实心细棒,起始的硅丝具有大得多的用于硅沉积的表面积。相对较短的桥接部分可以是与细棒相似的实心棒,只要相对较长的竖直部分具有已描述的所需的更大的几何表面积,并且总的丝电阻正确即可。

[0043] 再次参考图 3A-3D,在此分别说明了硅管、硅带、具有十字或 X 形横截面的硅元件以及具有星形横截面的硅元件。这些仅用来说明,可以使用的大表面积的横截面并不限于此。

[0044] 再次参考图 4A、4B 和图 5,起始的管状丝的最佳尺寸,特别是外径和壁的厚度,通过多个因素来确定,上述因素包括管尺寸的实用性、丝的成本、丝加热的均匀性、需要的沉积速率(以毫米/小时计)、操作停工期,当然还有多晶硅产品的市场价值。一般来说,起始丝直径越大,丝的成本就越高,并且越难以均匀加热丝。生长速率越低或停工期越短,较大直径的起始管丝就可以提供更多的好处。需要着重指出的是如图 4A 所示,依赖于生长速率和停工期,对于起始硅管丝来说存在最佳的外径。

[0045] 对使用传统的 CVD 反应器的结果与使用本发明获得的生产水平的结果进行比较是有用的,其中,所述传统的 CVD 反应器具有 18 个 U 形细棒,以及三氯氢硅和氢气的混合物的平均沉积速率为 13.6 微米每分钟。图 4A 所示为当使用根据本发明的丝代替传统 CVD 反应器中的现有技术的实心细棒时,每年的硅产量(公吨每年)作为根据本发明的起始丝,在此情况下为硅管,的外径(OD)的函数的图表。图 4A 还说明了用小时计的生长时间和循环之间需要的停工时间对总产量的影响。曲线 a、b、c、d 和 e 代表的是 CVD 循环之间停工期分别为 24、12、8、6 和理论的 0 小时停工期的操作的产量曲线。参考图 4B,该图表明具有管状形态的示例性硅丝 31,其起始壁厚为 2 毫米、起始的 OD 为 50 毫米,在一个完整的 CVD 循环之后,该硅丝已经生成到结束时最终直径  $D_f$  为 120 毫米的硅沉积物 41。

[0046] 图 4A 中所阐述的数据类型可以表示,对于传统的直径为 7 毫米的实心细棒来说,当操作循环之间的停工期被限定为 6 小时时,生长时间超过 70 小时,并且反应器的产量低

于 231 公吨每年。用本发明的 50 毫米 OD 的管丝代替该实心细棒时,生长时间或 CVD 时间预期为约 45 小时。使用同样的 6 小时停工期的曲线 d 来计算,每年可以生产 304 公吨的多晶硅。可以看到,在通常约 6 小时的停工期下,使用根据本发明的 50 毫米 OD 的管状起始丝可以获得高出约 30% 的产量。

[0047] 在传统的 CVD 反应器中,较高的生长速率会导致气体截留在沉积的硅中,这将给通过用于微电子应用的直拉 (Czochralski) 工艺来生长晶体的后续步骤带来问题。如果丝的起始表面积为如本发明所教导的较大,可以以较高的沉积速率开始并提高,而没有气体截留。对于光伏应用来说,多晶硅生产之后,后续步骤通常是多晶块通过加热交换器法 (HEM) 或定向凝固法 (DSS) 的生长,对于上述方法来说,硅中少量气体的截留并不成为问题,甚至可以加快沉积速率。较快的多晶硅沉积速率和较高的总产量可以显著降低生产的成本,这对于光伏工业来说十分重要。

[0048] 对于微电子应用来说,生产的多晶硅的纯度必须很高,低于 1 份 / $10^9$  的总金属杂质。相反,用于太阳能电池的硅片的要求则宽松得多,低于 1 份 / $10^6$  的总金属杂质,即杂质可以多三个数量级。事实上,大部分用于太阳能电池应用的硅在制作太阳能电池之前特意地掺杂有硼 (B),达到约 0.5 份 / $10^6$  个原子。因此,用于光伏应用的多晶硅生产可以利用本发明的丝,这种丝类似地掺杂有硼或其它合适的掺杂剂;并且,在多晶硅沉积的初始阶段,生成物的低电阻率可以辅助丝的直接电阻加热。这样可以省去了对一系列复杂的子系统和两个电源的需要,其中一个电源可以提供很高的电压和低电流,而另一个电源加上所连结的切换电路可以在相对较低的电压下维持很高的电流。两个电源和相关联的切换电路可以用具有电流源和温度控制的简单系统来代替。设计中的这一改变将为相似设计的新型反应器以及必要时对现有的反应器进行的翻新带来更低资金的设备成本。对于可以接受产物的纯度等级的应用来说,这个改变化以及操作的类型避免了麻烦和耗时的启动程序,缩短了停工期并提高了产量。

[0049] 通过用根据本发明的大表面积的几何形态和相似电阻性能来替代实心细棒,本发明并不限于使用了涉及三氯氢硅的反应的多晶硅的沉积的 CVD 反应器,也可以用于涉及硅烷、二氯甲硅烷或其它衍生物或气体的组合在内的反应。

[0050] 虽然,管状的丝优于其它各种大表面积的丝,但是,本发明并不限于管状丝的形态。参考图 5,在此说明了用来制备图 3 的硅丝形态 31、32、33 和根据本发明的其它具有合适横截面的大表面积形态。该方法通常被称为 EFG (边缘限定薄膜供料生长) 方法。本发明这方面的一种实施方式包括熔体池 54,所述的熔体池 54 包含在石墨坩埚或石英坩埚 53 中。熔融物用电阻加热器或感应加热器 55 进行加热,用硅进料器 56 连续加入硅固体或硅液体 57 进行补充。从成型模具 52 结晶的硅的形态 51 是本发明使用得到丝部分的原料。成型模具材料可以是石墨或石英。本装置和方法的其它变化在本发明的范围之内。

[0051] 根据本发明的另一方面,制备图 3A-3D 的和本发明的其它硅丝形态包括使用 EFG 系统,该系统具有用共同的熔体池 54 进料的多个成型模具 52,其中,模具的几何横截面可以相同也可以不同。丝的壁厚的公差通常可以保持在轴向目标厚度的 10% 以内。由于管的较薄的部位的温度稍微高于较厚的部位的温度,而较高的温度将使该区域的硅的生长更快,因此,这种管厚上的差异在 CVD 沉积工艺中将被平衡。在使用传统的细棒丝的 CVD 工艺中也可以观察到这种自补偿现象。

[0052] 本发明的一个例子是用来大量生产多晶硅的 CVD 反应器,该反应器包括底座系统和外壳,所述的底座系统例如可以是一块板或成对的相对的板,所述的板装配有丝支架,所述的外壳可以连接到底座系统上以便形成一个沉积室。沉积室内至少有一条硅丝置于所述丝支架上,并且电流源通过底座系统上的电穿通密封件可以连接到丝的两端来加热丝。底座系统上至少有一个可以连接到含有硅的气体源上的进气口,以及在底座系统上的出气口,气体可以通过该出气口从室内排除。

[0053] 所述丝具有管状的横截面,该管状横截面的丝的外径至少为 20 毫米并且壁厚与直径的比例不高于 1/4。起始直径可以是其它的尺寸或大于 20 毫米,例如,该直径可以在 20-100 毫米的范围之内,并且壁厚可以是相应的范围内变化。作为替换地,管状丝的起始外径范围为 40-80 毫米,且壁厚范围为 1.75-6 毫米。一种管状的实施方式可以为具有约 50 毫米的起始直径和约 2 毫米的起始壁厚。所述丝可以与选自周期表的 3 族和 5 族之一的至少一种元素进行掺杂,通过掺杂,丝在室温下的阻抗可以降低到低于  $10^3$  欧姆·厘米的数量级。

[0054] 本发明的另一个例子是在用于生产多晶硅的 CVD 反应器中制备和使用大表面积的丝的方法,该方法包括在熔硅池中将硅加热到成为熔融态,然后用模具通过 EFG 方法使处于熔融态的硅生长,硅结构包括横截面外围尺寸大于 60 毫米且对电流流动的阻抗范围为室温下的  $10^6$  欧姆·厘米到  $1200^{\circ}\text{C}$  下的 0.01 欧姆·厘米的横截面;然后在 CVD 反应器内,将所述硅结构的至少一个部分放置在 CVD 反应器内的两个电极之间,从而该部分能够用作丝。然后,用电流加热丝并用含有硅的气体实施 CVD 工艺,这样丝上就可以得到硅的沉积物。模具可以是多腔模具。硅结构也可以进行掺杂,这样可以将室温下的阻抗降低到低于  $10^3$  欧姆·厘米的数量级。

[0055] 本发明的又一例子是生产多晶硅的方法,该方法包括使用含有硅的气体和 CVD 反应器,在 CVD 反应器内放置管状硅丝,所述丝的外径的范围为 40-60 毫米,壁厚范围为 1.75-6 毫米,并且用含有硅的气体实施 CVD 工艺,其中,用电流加热管状硅丝,这样该硅丝就可以接收到生长的硅沉积体,直到所述 CVD 工艺结束。

[0056] 从说明书、附图和随附的权利要求书,本发明的其它各种实施例和实施方式对本领域的技术人员将是显而易见的。

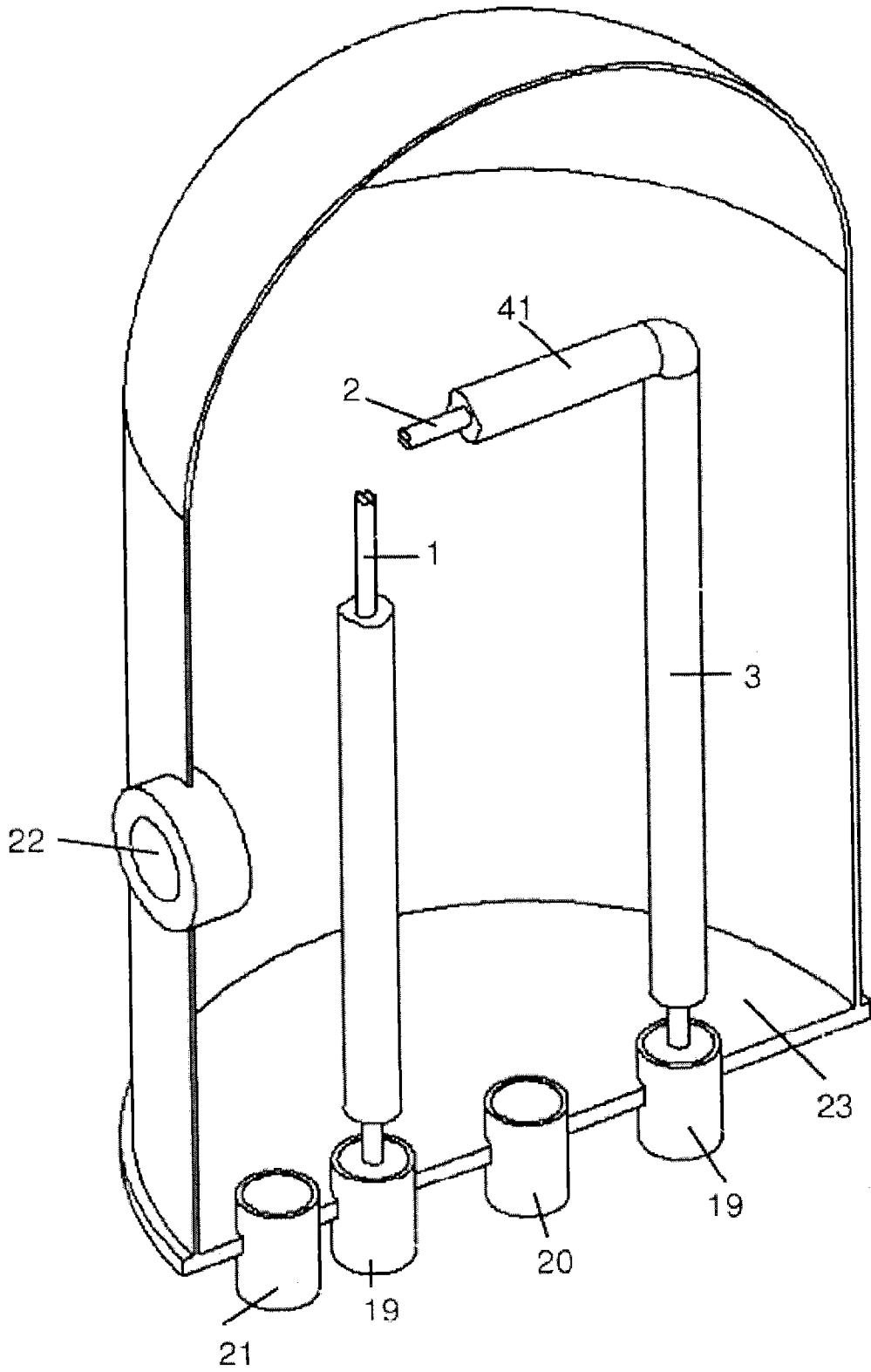


图 1

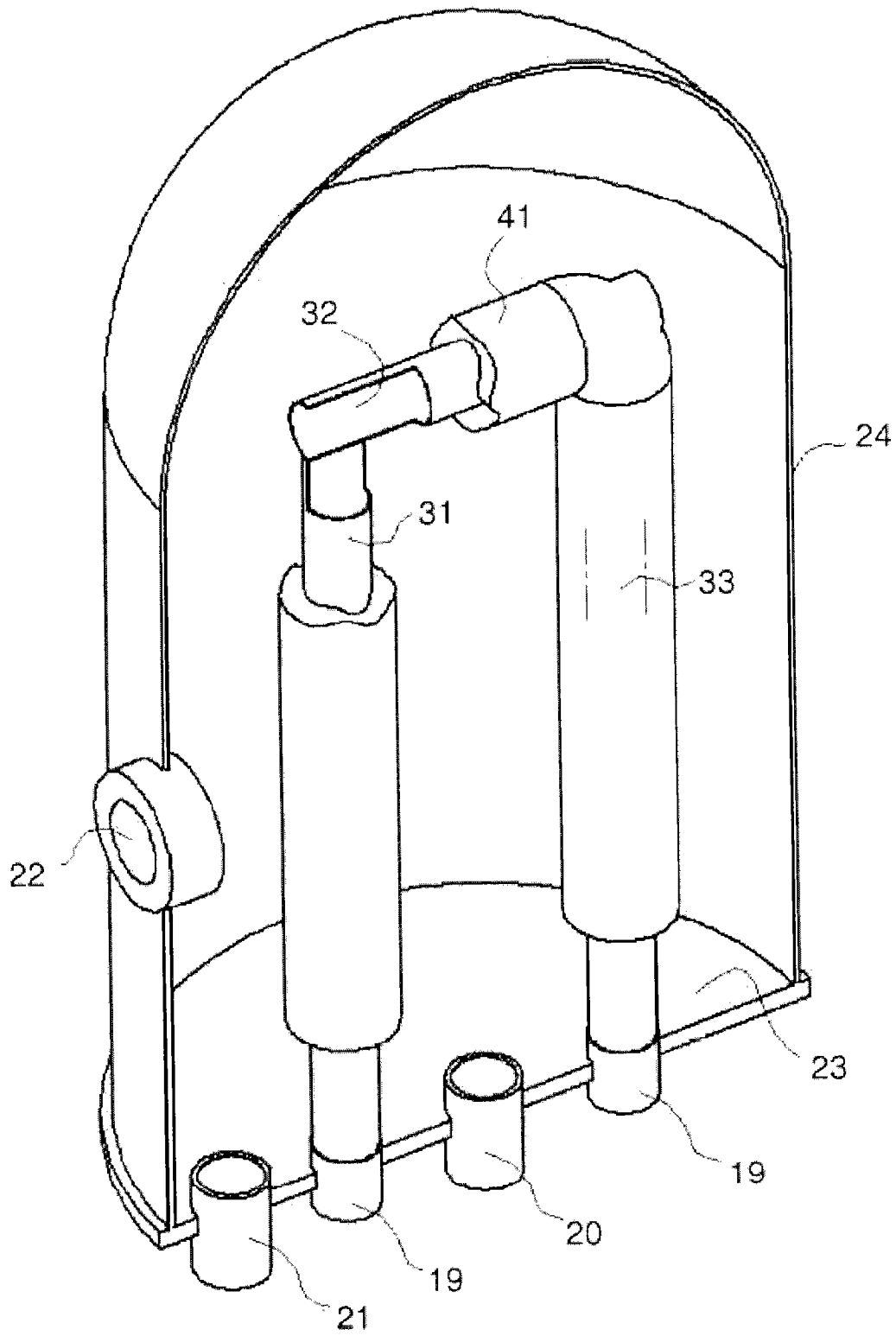


图 2

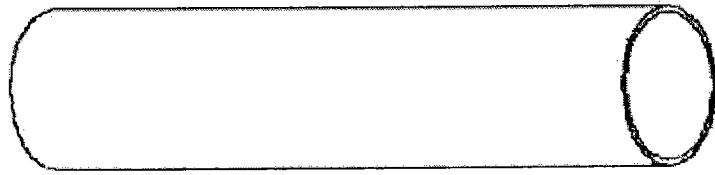


图 3A

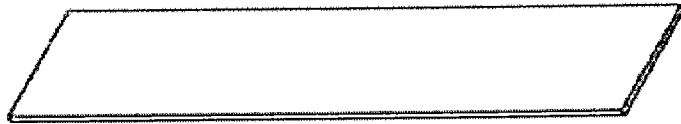


图 3B

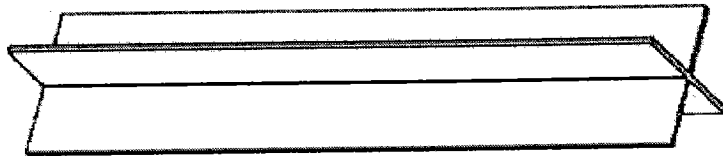


图 3C

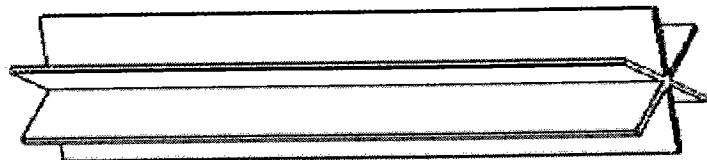


图 3D

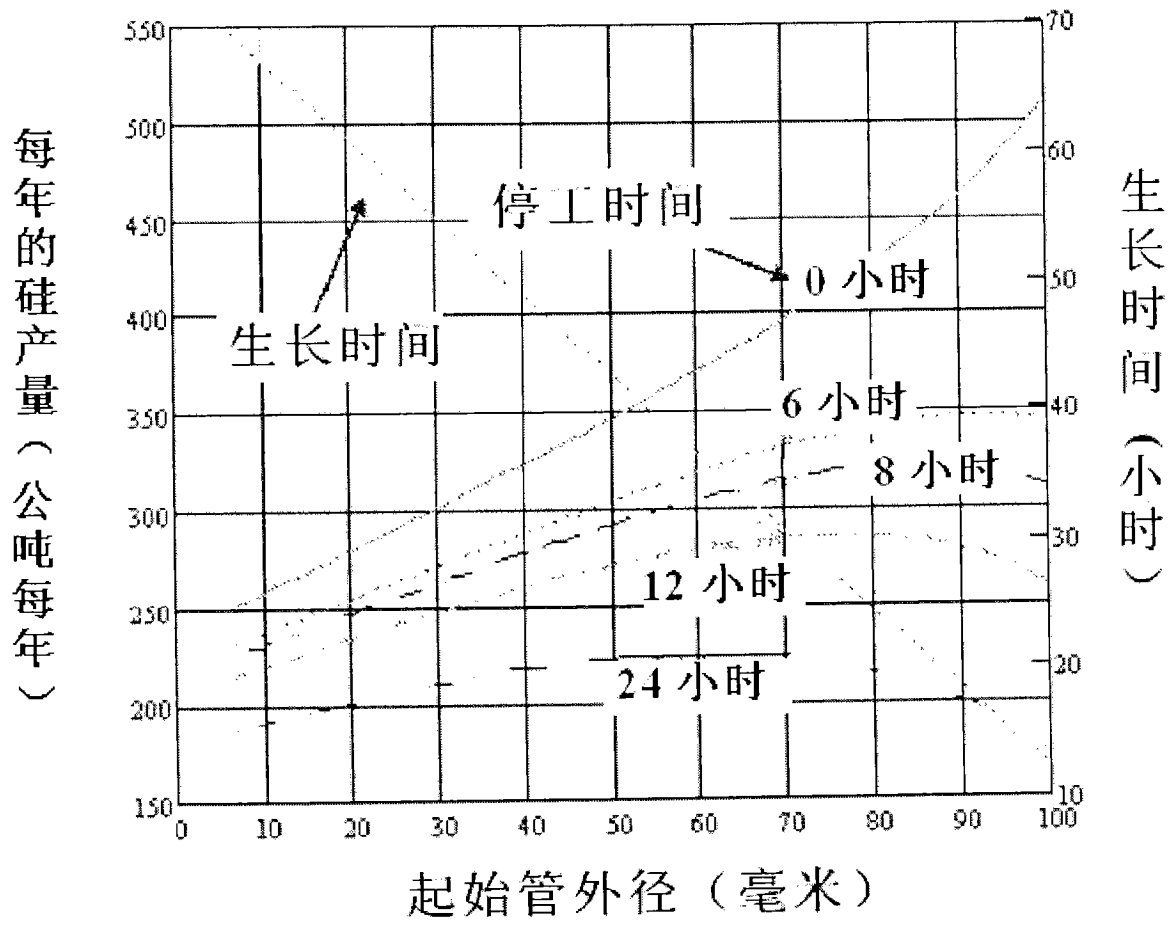


图 4A

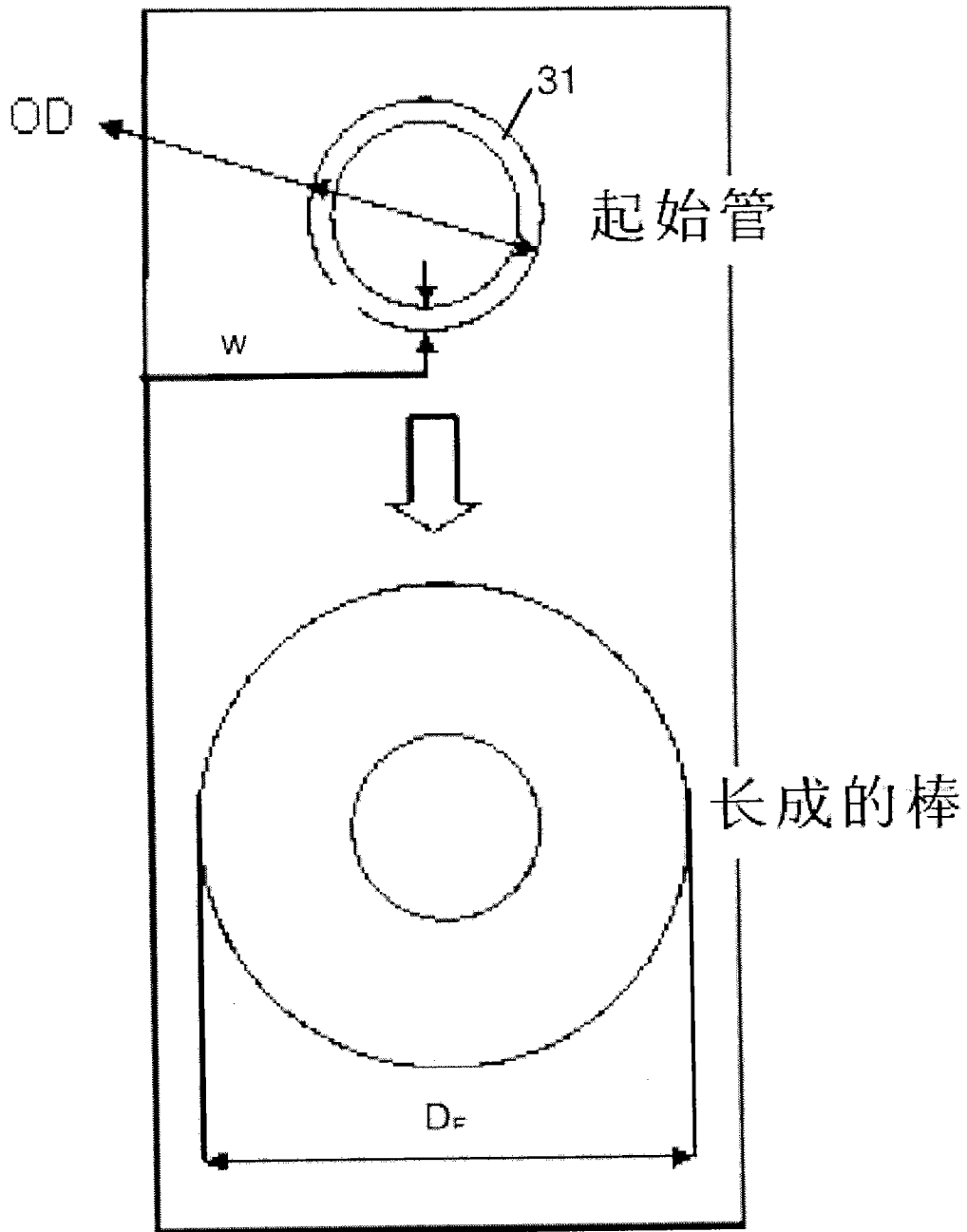


图 4B

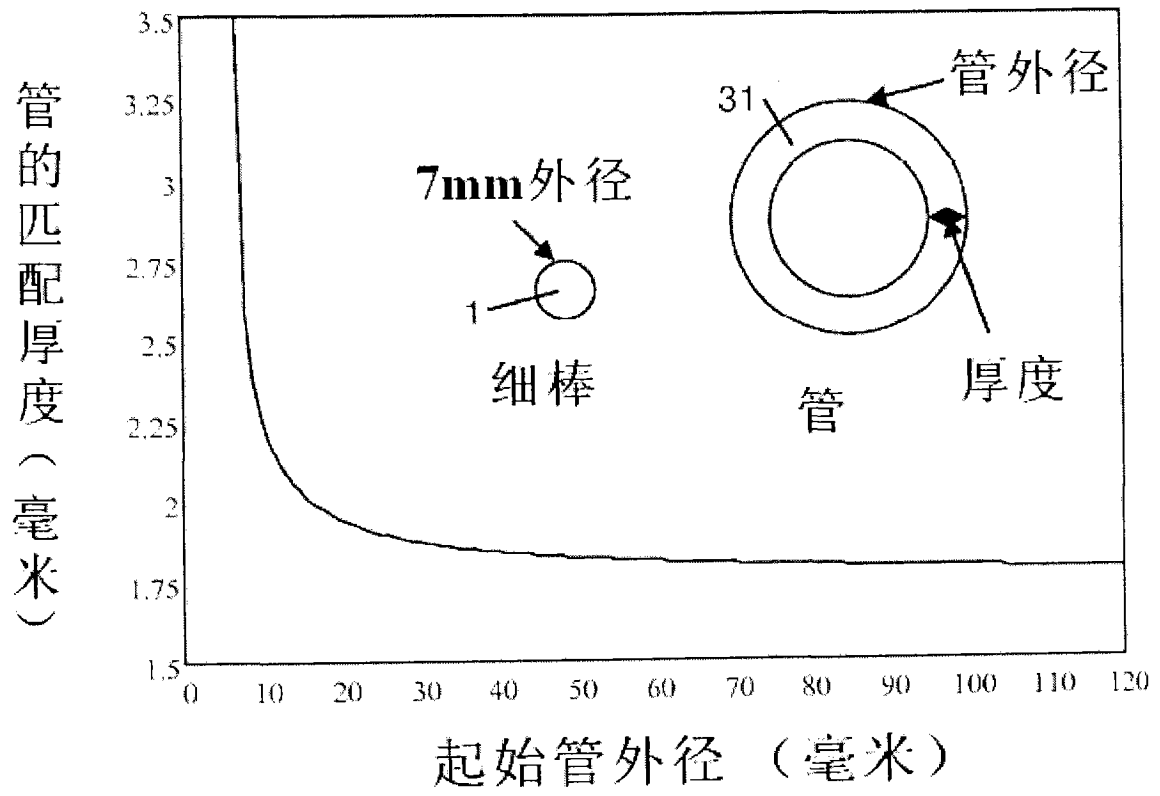


图 5

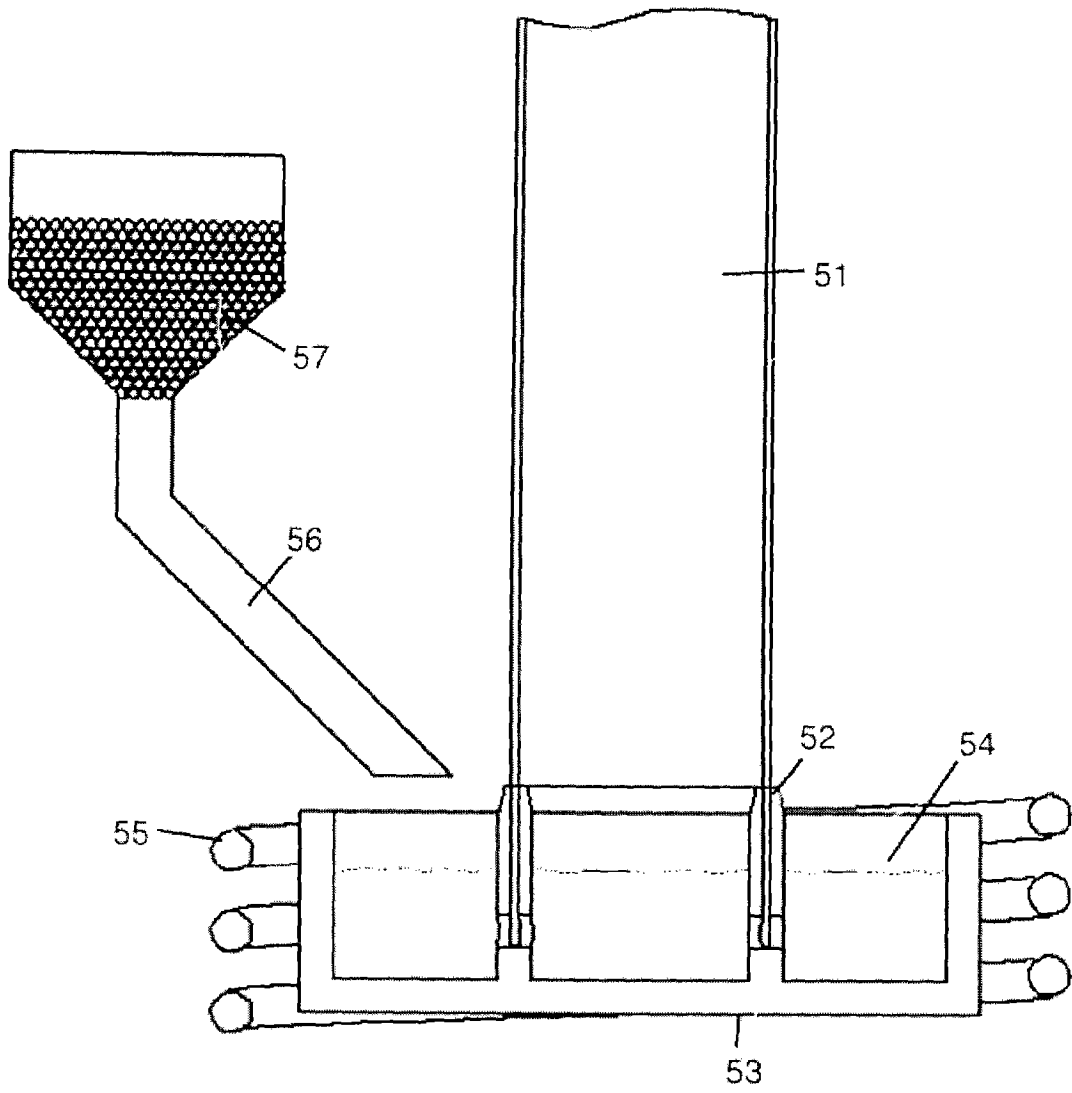


图 6