

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

C30B 15/10

C03C 3/06 C03B 5/02

C01B 33/113



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410032342.8

[43] 公开日 2004年10月27日

[11] 公开号 CN 1540041A

[22] 申请日 2004.4.2

[21] 申请号 200410032342.8

[30] 优先权

[32] 2003.4.2 [33] JP [31] 98770/2003

[71] 申请人 日本超精石英株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 岸弘史 福井正德 辻义行

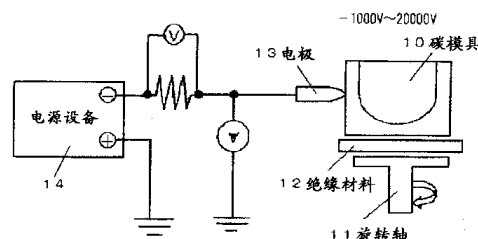
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 廖玲玲

权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 2 页

[54] 发明名称 经电解精炼的高纯度石英坩埚及其制造方法和控制方法

[57] 摘要

本发明提供了一种内部杂质浓度较低的高纯度石英坩埚及其制造方法。通过高纯度石英玻璃坩埚的制造方法制造出这样一种坩埚：从内侧表面开始 1mm 深度以内所含的 Na 和 Li 每一种的含量至少小于 0.05ppm，其中，在通过电弧等离子体加热位于中空的旋转模具内表面上的原料石英粉来制造石英坩埚时，通过在模具和电弧极之间施加电压、以便将熔融石英玻璃层内含有的杂质金属迁移到外侧，来提高熔融石英粉层的纯度。该方法包括：在电弧熔解过程中将电弧极的电位保持在 ±500V 范围内，向与地绝缘的模具施加 -1000V 到 -20000V 的电压，向外侧的未熔石英粉层施加高压。



ISSN 1008-4274

1. 一种高纯度石英玻璃坩锅的制造方法，其中，在通过电弧等离子体加热位于中空旋转模具内部的原料石英粉来制造石英玻璃坩锅时，通过在模具与电弧极之间施加电压，让熔融的石英玻璃层所含的杂质金属迁移到外围侧，由此来提高熔融石英玻璃层的纯度，该方法包括：

实施电弧熔解，直至所形成的玻璃层的厚度超过 5mm，未熔融的石英粉层厚度小于 2mm，

在电弧熔解过程中保持电弧极电位在 $\pm 500V$ 范围内，以及向与地绝缘的模具施加 $-1000V$ 到 $-20000V$ 的电压。

2. 依照权利要求 1 所述的制造方法，

其中，未熔融的石英玻璃层与所形成的玻璃层的电阻小于 50000Ω 。

3. 依照权利要求 1 所述的制造方法，

其中，所述电压施加过程中流过的电量超过 $13C/m^2$ 。

4. 依照权利要求 1 所述的制造方法，该方法包括：

在将石英玻璃坩锅加热到超过 $1900^{\circ}C$ 的同时，向熔融的石英玻璃施加电压，以减少从坩锅内表面开始小于 1mm 深度的杂质。

5. 依照权利要求 1 所述的制造方法，

其中，施加所述电压的时间要小于整个电弧熔解时间的 70%，所述施加时间区介于电弧熔融的中间阶段和后期阶段之间。

6. 依照权利要求 1 所述的制造方法，该方法包括：

通过用石英玻璃基本上覆盖模具面向电弧极的上端，或者从模具的上端沿模具的内圆周设置高度超过 50mm 的石英环，

由此在电弧极与模具之间实现绝缘。

7. 根据权利要求 1 所述的制造方法，该方法包括：

在模具内表面上聚积所含杂质 Na、K、Li 和 Fe 的浓度超过 0.1ppm 的天然石英粉，然后将高纯度的合成石英粉聚积到天然石英粉上。

8. 根据权利要求 1 制造的用于拉制单晶硅的石英玻璃坩锅，

其中，从内侧表面开始 1mm 深度以内所含的 Na 和 Li 每一种的含量至少分别小于 0.05ppm。

9. 根据权利要求 1 的石英玻璃坩锅，

其中，从内表面开始 1mm 深度以内所含的 Na、Li、K 和 Fe 每一种的含量分别小于 0.05ppm，所述深度以内所含的 Cu 小于 0.01ppm。

10. 依照权利要求 7 制得的用于拉制单晶硅的石英玻璃坩锅，

5 其中，在坩锅的外侧使用天然石英粉，在坩锅内侧使用高纯度合成石英粉，从内侧表面开始 1mm 深度以内所含的 Na 和 Li 每一种的含量至少分别小于 0.05ppm。

11. 一种单晶硅的拉制方法，

其中，在拉制单晶硅时使用依照权利要求 1 的石英玻璃坩锅。

12. 根据权利要求 11 的方法拉制的单晶硅。

10 13. 根据权利要求 1 的制造方法，该方法包括：

在模具的内表面上聚积高纯度石英粉层，以及在用电弧等离子体加热所述层时，供应高纯度的合成石英粉，并将其熔融体淀积到所述层上。

14. 根据权利要求 13 所述的制造方法，

15 其中，未熔融的石英粉层与形成的玻璃层的电阻小于 50000Ω。

15. 根据权利要求 13 所述的制造方法，其中，在所述电压施加过程中流过的电量超过 13C/m²。

16. 根据权利要求 13 所述的制造方法，该方法包括：

20 在将石英玻璃坩锅加热到 1900℃ 以上的同时，向熔融的石英玻璃施加电压，以减少从坩锅内表面开始小于 1mm 深度内的杂质。

17. 根据权利要求 13 所述的制造方法，其中，

施加所述电压的时间小于整个电弧熔解时间的 70%，所述施加时间区介于电弧熔解的中间阶段和后期阶段之间。

18. 根据权利要求 13 所述的制造方法，该方法包括：

25 通过用石英玻璃基本上覆盖模具面向电弧极的上端，或者从模具的上端沿模具的内圆周设置高度超过 50mm 的石英环，由此在电弧极与模具之间实现绝缘。

19. 根据权利要求 13 所述的方法制造的石英玻璃坩锅，其中，从内表面开始 1mm 深度以内所含的 Na、Li、K 和 Fe 每一种的含量分别小于 0.05ppm，该深度以内所含的 Cu 小于 0.01ppm。

20. 根据权利要求 13 所述的方法制造的用于拉制单晶硅的石英玻璃坩锅，其中，在坩锅的外侧使用天然石英粉，在坩锅内侧使用高纯

度合成石英粉，从内表面开始 1mm 深度以内所含的 Na 和 Li 每一种的含量至少分别小于 0.05ppm。

经电解精炼的高纯度石英坩锅及其制造方法和控制方法

技术领域

- 5 本发明涉及一种内部具有高纯度的石英玻璃坩锅及其制造方法，其中所述石英玻璃坩锅用于由熔融硅拉制用于半导体等的单晶硅。另外，本发明还涉及使用了所述石英玻璃坩锅的控制方法。

背景技术

- 10 天然石英都含有少量的碱金属。在将含所述碱金属的石英玻璃用作半导体工业等的热处理物质时，这种物质容易变形或反玻璃化。此外，在将石英玻璃坩锅用于拉制单晶硅的情况下，存在以下问题：单晶硅的质量受坩锅内所含的诸如碱金属之类杂质的影响。

- 就解决这类问题的手段而言，人们已经提出了这样一种石英坩锅，其中在坩锅内部形成高纯度的合成石英玻璃层，在坩锅外部形成强度比较高的天然石英。但是，由于拉制时坩锅的温度和使用时间因拉制单晶的扩大而处于严苛条件，于是出现了新问题，即，位于坩锅外侧的天然石英玻璃层所含的碱金属等扩散到内侧的合成石英玻璃层中，被溶解到硅熔化物中，从而给单晶硅的质量带来不良影响。另一方面，在整个坩锅是由高纯度的合成石英玻璃制成时，虽然解决了有关杂质扩散的问题，但在该条件下，由于合成石英玻璃的粘度比天然石英的粘度低得多，因此全部由合成石英玻璃制成的坩锅容易发生形变或者弯折，所以所述坩锅不能长时间使用。

- 此外，为了获得高性能的石英玻璃坩锅，溶解玻璃的温度倾向于变得很高。当温度变得很高时，粘度降低，于是容易排出气泡，石英玻璃的OH基浓度也降低。结果，由于SiO₂的蒸发，引起杂质在坩锅内表面上聚集的问题，并且正如上面所述的，在电弧熔融过程中，碱金属之类的杂质从坩锅外侧的天然层扩散到坩锅内侧的高纯度合成层中。在实施HF蚀刻以去除坩锅内表面所含的这些杂质时，要花很多时间，另外，由于HF冲洗要很长时间，就会在表面上形成不均匀处，这就是通常所说的HF裂纹，于是从反面讲，单晶产率就会降低。

在这种情形下，就制造的石英坩锅或制造石英坩锅而言，人们已

经提出了这样一种方法：通过施加电压，让碱金属等迁移到坩锅外侧，以降低这些金属在坩锅内侧的浓度（日本专利公开 No. H07-84328）。但是，由于在制造坩锅时的电弧放电过程中会产生等离子体气氛，当为电极充上正电时，电极周围就会产生剧烈放电。另外，由于诸如电弧等离子体与模具之间的绝缘不充分之类的原因，很难充分实施电解精炼。顺便提及，在石英粉填充到模具中、被加热溶解形成坩锅的情况下，由于模具上端与坩锅上端在同一高度，因此很难在这种结构下实现电弧等离子体与模具间的电绝缘。

此外，以下方法和装置也是公知的。即，方法包括：加热熔融石英玻璃，向所述加热的石英玻璃施加 10 到 50KV 的直流电压，去除碱金属或 Cu（日本专利公开 No. H07-014822）。方法包括：粉碎天然石英晶体，对它进行精炼，实施电弧熔融以形成坩锅，向所述坩锅施加高压电（日本专利公开 No. H07-080716）。装置包括：向石英玻璃形成体施加电压，并去除杂质（日本专利公开 No. H06-104577）。但是，所述例子中的所有方法都是针对已作好的坩锅，因此它们不是电弧溶解过程中的电解精炼。

另外，所述的传统方法中并未描述向坩锅与正或负电极之间施加电压的方法。但是，在让坩锅形成体与正或负电极接触、然后施加电压的方法中，由于下述原因很难实施电解。

(A) 在将金属板用作接触电极时，引起杂质污染，从而降低了单晶硅的质量和有位错比。

(B) 在将碳之类的粉末用作接触电极时，碳粉在高于 1100℃ 的条件下与石英玻璃反应，其表面变得不规则，于是单晶硅的有位错比降低。

(C) 在向石英玻璃形成体施加电压的传统方法中，要在不会引起坩锅形变的温度、即低于 1400℃ 的温度下施加电压，在将石英粉用作负电极、坩锅的石英粉层为 5 到 30mm 时，所加电压几乎倾向于石英粉层，于是除不掉坩锅内侧的碱金属等。此时，为了进行经济的电解，必需施加至少 30000V 的电压，在技术上很难在该高温下对这么高的电压进行绝缘。

发明内容

本发明解决了上述传统电解精炼过程中的问题。此外，就制造石英坩锅而言，本发明涉及降低坩锅内侧的杂质浓度的制造方法，以及它的石英坩锅。

依照本发明，提出了以下高纯度石英坩锅的制造方法。

5 [1]一种高纯度石英玻璃坩锅的制造方法，其中，在通过电弧等离子体加热位于中空旋转模具内表面上的石英原料粉来制造石英坩锅时，通过在模具与电弧极之间施加电压，让熔融石英玻璃层所含的杂质金属迁移到坩锅外侧，由此来提高熔融石英玻璃层的纯度，该方法包括：

10 实施电弧熔解，直至所形成的玻璃层厚度超过5mm，未熔融的石英层厚度变得小于2mm，

在电弧熔融过程中保持电弧极电位在 $\pm 500V$ 范围内，以及向与地绝缘的模具施加 $-1000V$ 到 $-20000V$ 的电压。

[2]依照上面[1]所述的制造方法，

15 其中未熔融石英玻璃层和形成的玻璃层的电阻小于 50000Ω 。

[3]依照上面[1]或[2]所述的制造方法，

其中在所述电压施加过程中的流过的电量超过 $13C/m^2$ 。

[4]依照上面[1]、[2]或[3]所述的制造方法，该方法包括：

20 在将石英坩锅加热到超过 $1900^\circ C$ 的同时，向熔融的石英玻璃施加电压，以减少坩锅内表面1mm的杂质。

[5]依照上面[1]到[4]中任一项所述的制造方法，

其中施加所述电压的时间要小于电弧熔融时间的70%，施加时间区在电弧熔解的中间阶段和后期阶段之间。

[6]依照上面[1]到[5]中任一项所述的制造方法，该方法包括：

25 通过用石英玻璃基本上覆盖模具面向电弧极的上端，或者从模具上端沿模具的内圆周设置高度超过50mm的石英环，由此在电弧极与模具之间实现绝缘。

[7]根据上面[1]到[6]中任一项所述的制造方法，该方法包括：

30 在电弧熔解累积到模具内表面上的石英原料粉和/或向模具内表面供应所述粉的同时，施加所述电压。

此外，本发明还涉及下面的高纯度石英坩锅，以及利用所述石英坩锅的控制方法。

[8]利用上面[1]到[7]中的任意一种方法制得的用于拉制单晶硅的石英玻璃坩锅,

其中,从内表面开始1mm深度范围内所含的Na和Li每一种的含量至少分别小于0.05ppm.

5 [9]利用上面[1]到[7]中的任意一种方法制得的用于拉制单晶硅的石英玻璃坩锅,

其中,在坩锅的外侧使用天然石英粉,在坩锅内侧使用高纯度合成石英粉,从内表面开始1mm深度范围内所含的Na和Li每一种的含量至少分别小于0.05ppm.

10 [10]依照上面[8]或[9]所述的石英玻璃坩锅,

其中,从内表面开始1mm深度范围内所含的Na、Li、K和Fe每一种的含量分别小于0.05ppm,Cu小于0.01ppm.

[11]一种单晶硅的拉制方法,

15 其中,在拉制单晶硅时使用依照权利要求1到权利要求10中任一项所述的石英玻璃坩锅.

附图的简要说明

图1表示实施本发明的装置结构的原理图。

图2表示坩锅的绝缘方法的原理图。

20 图3表示坩锅的绝缘方法的原理图。

符号说明:10:模具;11:旋转台;12:绝缘材料;13:电极;
14:电源;20、21:石英玻璃物质。

具体实施方式

25 本发明的制造方法是高纯度石英玻璃坩锅的制造方法,其中在通过等离子电弧加热中空旋转模具内表面的原料石英粉来制造石英坩锅的同时,通过在模具与电弧极之间施加电压、以便让熔融石英玻璃层中所含的杂质金属迁移到坩锅外侧,由此来提高熔融石英玻璃层的纯度,该方法包括:实施电弧熔融,直至所形成的玻璃层的厚度变得超过5mm,未熔融的石英粉层的厚度变得小于2mm,在电弧熔解的过程中
30 保持电弧极电位在 $\pm 500V$ 范围内,向与地绝缘的模具施加 $-1000V$ 到 $-20000V$ 的电压。

就本发明的方法而言，向碳制成的模具施加负电（-）。如果让电极带正电（+），由于它向周围放电，就很难实施电解。此外，电弧极电位保持在 $\pm 500\text{V}$ 范围内，向与地绝缘的模具施加 -1000 到 -20000V 的电解电压。如果电弧极电位超过 $\pm 500\text{V}$ ，电弧极与模具之间的电位差变得很小，杂质的迁移就会变得很慢。另外，如果电压太高，也很难绝缘模具等，因此优选的是所述电压低于 20000V 。

在制造坩锅时，优选的是，实施电弧熔解直至所形成的玻璃层的厚度变得超过 5mm ，而未熔融的石英粉层厚度变得低于 2mm ，优选低于 1mm ，在电弧熔解过程中施加电解电压。如果未熔融的石英粉层厚度超过 2mm ，对坩锅内表面部分中的杂质的精炼效果就会不足。另外，如果所形成的玻璃层厚度低于 5mm ，作为产品也是不够的。

在本发明的制造方法中，优选让未熔融的石英粉层与形成的玻璃层的电阻小于 50000Ω 。此外，适当的是，所述电压施加过程中流过的电量超过 $13\text{C}/\text{m}^2$ ，优选的是超过 $15\text{C}/\text{m}^2$ 。如果所述电阻超过 50000Ω ，就很难经济地移走存在于玻璃的网状结构中的诸如碱金属或铜之类的杂质。如果所述电阻小于 50000Ω ，而且流过的电量超过 $13\text{C}/\text{m}^2$ 、优选超过 $15\text{C}/\text{m}^2$ ，迁移到坩锅外侧的杂质量就会超过因石英蒸发而聚集在内表面 1mm 范围内的杂质量，于是在该范围内就可能实现高纯度。

优选的是，在加热到超过 1900°C 的同时向熔融石英玻璃施加所述电压。如果熔融温度低于 1900°C ，对坩锅内表面部分的精炼效果就会不足。此外，优选的是，施加所述电压的时间要超过电弧熔解时间的 70% ，施加时间区要在电弧熔融的中间阶段和后期阶段之间。一般而言，坩锅的制造工艺包括以下每个过程：（1）成形，（2）排出气泡，以及（3）平滑表面。但是，在该工艺的早期阶段进行电解时，玻璃粘度太高，因此很难在排出气泡后让坩锅表面平滑。

图1中示出了使用本发明的电解精炼制造方法的装置例子。就图1所示的装置而言，模具10置于旋转台11上，绝缘材料12夹在模具10和旋转台11之间。用于向模具10施加电压的电极13与模具10接触，电极13接地，并与电源14相连。

为了让用于加热并熔解原料石英粉的电弧极（图1未示出）与模具10充分绝缘，优选的是，如图2所示，模具面向电弧极的上端基本上被石英玻璃20所覆盖，或者如图3所示，从所述模具10的上端开

始沿模具 10 的内圆周安装高度超过 50mm 的石英玻璃环 21。

本发明的制造方法不仅能用于模具内侧累积的原料石英粉被电弧溶解的情况，也可用于向模具内侧供应要熔融的原料石英粉的情况。此外，所述制造方法还可用于将天然石英粉（所含杂质 Na、K、Li 和 Fe 的含量超过 0.1ppm）用于坩锅外侧的情况，以及将高纯度合成石英粉用于坩锅内侧的情况。

拉制单晶硅时，坩锅表面上因 Si 与 SiO₂ 反应而形成的棕色环在拉制过程中剥离，从而降低了无位错比，因此理想的是此处尽可能少地出现棕色环。棕色环的密度取决于玻璃表面上的杂质浓度。但是，就本发明的石英玻璃坩锅而言，由于坩锅表面层的纯度因上述电解精炼而变得很高，杂质变得很低，所以几乎不会产生棕色环，由此能获得很高的无位错比。

[发明的有效性]

依照本发明的所述制造方法，可以获得这样一种石英玻璃坩锅，其中从内表面开始 1mm 深度区域内所含的 Na 和 Li 每一种的含量都低于 0.05ppm，优选低于 0.01ppm。此外，就例子所示的石英玻璃坩锅而言，除了 Na 和 Li 以外，K 和 Fe 每一种的含量都降低到低于 0.05ppm，而 Cu 的浓度降低到低于 0.01ppm。该坩锅适合用作拉制单晶硅的石英玻璃坩锅。

20 例子

下面，利用例子和比较例来解释本发明。

例 1 和 2

利用表 1 所示的天然原料石英粉制成石英玻璃坩锅，在表 2 至表 5 的条件下施加电压。将结果示于表 2 到表 5 中（例 1）。

25 利用表 6 所示的天然原料石英粉制成石英玻璃坩锅，在表 7 至表 10 的条件下施加电压。将结果示于表 6 到表 10 中（例 2）。

[表 1]

ppm	Na	Li	K	Cu	Fe
原料粉	0.23	0.25	0.22	0.15	0.22

[表 2]

	未熔融的 石英粉厚 度 (mm)	熔融 温度 (°C)	电阻 (Ω)	电量 (C/m ²)	从内表面开始小于 1mm 的区域					无位 错比 (%)
					Na	Li	K	Cu	Fe	
例 1A	0.5	2200	50000	15	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.02	85
例 2A	2	2200	50000	15	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	0.03	84
比较 例 1A	3	2200	50000	15	0.33	0.27	0.27	0.21	0.24	52
比较 例 2A	5	2200	50000	15	0.33	0.31	0.36	0.26	0.35	47

(注：) 电阻是未熔的石英粉层与形成的玻璃层的电阻之和。

[表 3]

	未熔融的 石英粉厚 度 (mm)	熔融 温度 (°C)	电阻 (Ω)	电量 (C/m ²)	从内表面开始小于 1mm 的区域					无位 错比 (%)
					Na	Li	K	Cu	Fe	
例 1B	2	2200	50000	15	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	0.03	85
比较 例 1B	2	2200	70000	15	0.33	0.31	0.3	0.24	0.31	43
比较 例 2B	2	2200	100000	15	0.3	0.38	0.38	0.28	0.38	45

5 (注：) 电阻是未熔的石英粉层与形成的玻璃层的电阻之和。

[表 4]

	未熔融 的石英 粉厚度 (mm)	熔融 温度 (°C)	电阻 (Ω)	电量 (C/m ²)	从内表面开始小于1mm的区域					无位 错比 (%)
					Na	Li	K	Cu	Fe	
例 1C	2	1900	50000	15	0.01	0.01	0.02	<0.01	0.02	84
比较例 1C	2	1850	50000	15	0.01	0.01	0.24	0.18	0.24	50
比较例 2C	2	1800	50000	15	0.28	0.34	0.29	0.22	0.26	29

(注：)电阻是未熔的石英粉层与形成的玻璃层的电阻之和。

[表 5]

	未熔融 的石英 粉厚度 (mm)	熔融 温度 (°C)	电阻 (Ω)	电量 (C/m ²)	从内表面开始小于1mm的区域					无位 错比 (%)
					Na	Li	K	Cu	Fe	
例 1B	2	2200	50000	15	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.03	91
比较例 1B	2	2200	50000	10	0.25	0.31	0.31	0.25	0.3	33
比较例 2B	2	2200	50000	5	0.27	0.31	0.29	0.26	0.3	33

5 (注：)电阻是未熔的石英粉层与形成的玻璃层的电阻之和。

[表 6]

	Na	Li	K	Cu	Fe
天然	0.23	0.25	0.22	0.15	0.22
合成	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

[表 7]

	未熔融的 石英粉厚 度 (mm)	熔融 温度 (°C)	电阻 (Ω)	电量 (C/m ²)	从内表面开始小于 1mm 的区域					无位 错比 (%)
					Na	Li	K	Cu	Fe	
例 1E	0.5	2200	50000	15	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	92
例 2E	2	2200	50000	15	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	93
比较 例 1E	3	2200	50000	15	0.07	0.1	0.7	0.06	0.06	43
比较 例 2E	5	2200	50000	15	0.99	0.12	0.9	0.07	0.08	38

(注：) 电阻是未熔的石英粉层与形成的玻璃层的电阻之和。

[表 8]

	未熔融的 石英粉厚 度 (mm)	熔融 温度 (°C)	电阻 (Ω)	电量 (C/m ²)	从内表面开始小于 1mm 的区域					无位 错比 (%)
					Na	Li	K	Cu	Fe	
例 1F	2	2200	50000	15	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	93
比较 例 1F	2	2200	70000	15	0.06	0.09	0.06	0.06	0.07	49
比较 例 2F	2	2200	100000	15	0.1	0.14	0.08	0.08	0.09	45

5 (注：) 电阻是未熔的石英粉层与形成的玻璃层的电阻之和。

[表 9]

	未熔融的 石英粉厚 度 (mm)	熔融 温度 (°C)	电阻 (Ω)	电量 (C/m ²)	从内表面开始小于 1mm 的区域					无位 错比 (%)
					Na	Li	K	Cu	Fe	
例 1G	2	1900	50000	15	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	91
比较 例 1G	2	1850	50000	15	0.07	0.09	0.08	0.06	0.06	39
比较 例 2G	2	1800	50000	15	0.16	0.18	0.12	0.09	0.09	29

(注：) 电阻是未熔的石英粉层与形成的玻璃层的电阻之和。

[表 10]

	未熔融的 石英粉厚 度 (mm)	熔融 温度 (°C)	电阻 (Ω)	电量 (C/m ²)	从内表面开始小于 1mm 的区域					无位 错比 (%)
					Na	Li	K	Cu	Fe	
例 1H	2	2200	50000	15	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	91
比较 例 1H	2	2200	50000	10	0.06	0.08	0.06	0.05	0.06	31
比较 例 2H	2	2200	50000	5	0.08	0.09	0.07	0.06	0.07	29

5 (注：) 电阻是未熔的石英粉层与形成的玻璃层的电阻之和。

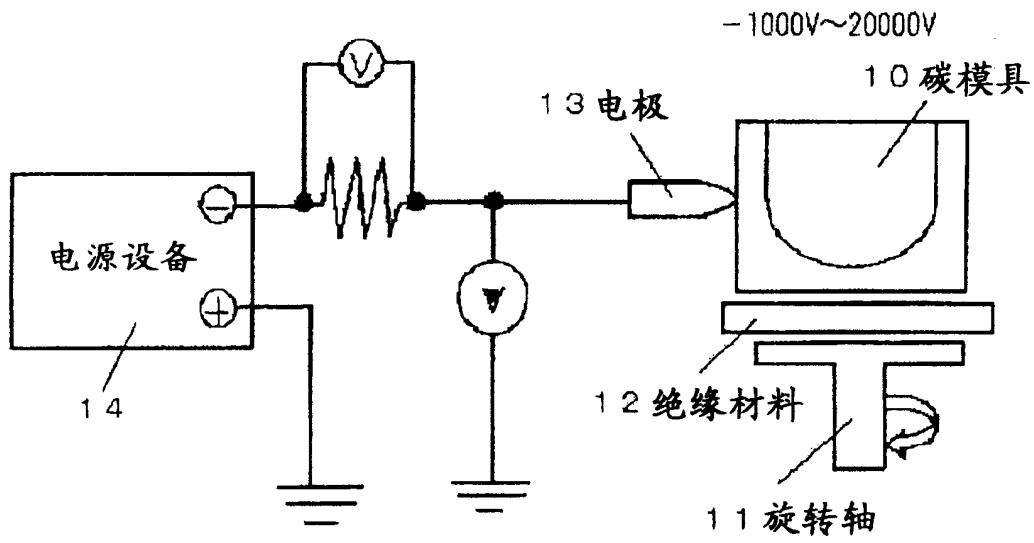


图 1

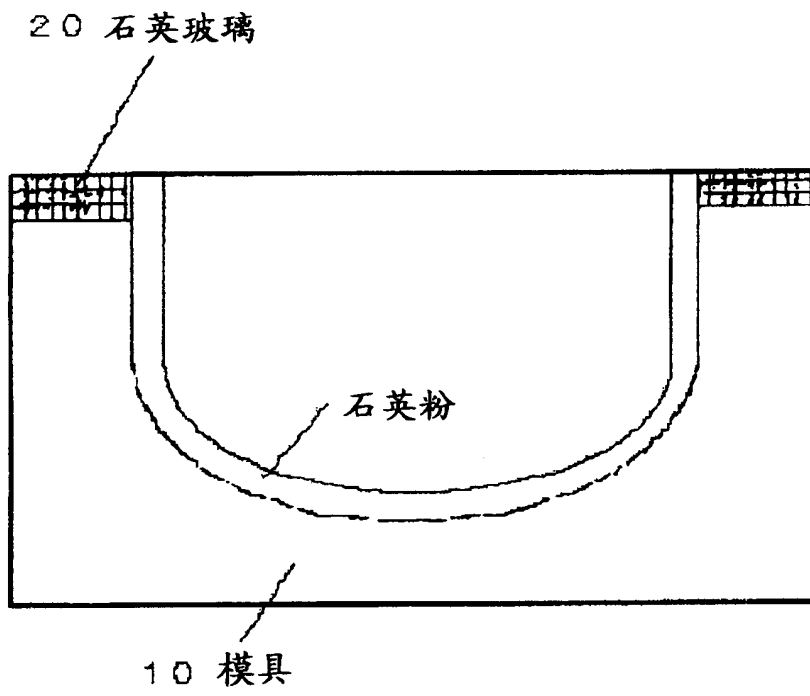


图 2

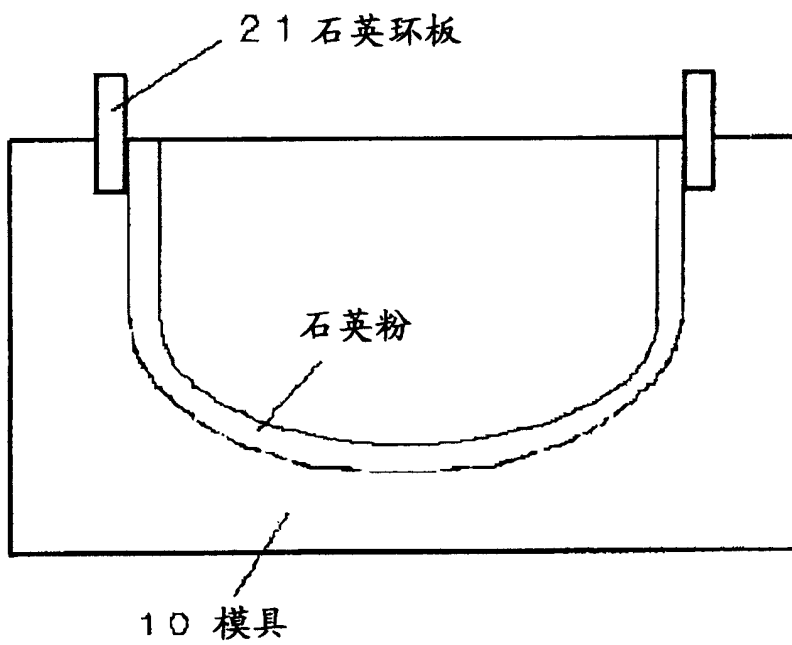


图 3