



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97104954.8

[45] 授权公告日 2003 年 8 月 27 日

[11] 授权公告号 CN 1119920C

[22] 申请日 1997.3.31 [21] 申请号 97104954.8

[30] 优先权

[32] 1996. 3. 29 [33] JP [31] 103860/1996

[71] 专利权人 日本特殊陶业株式会社

地址 日本名古屋市

[72] 发明人 小西雅弘

[56] 参考文献

US4634837A 1987.01.06 H05B3/12

US4814581A 1989.03.21 F23Q7/22

US5304778A 1994.04.19 H05B3/00

审查员 张朝伟

[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

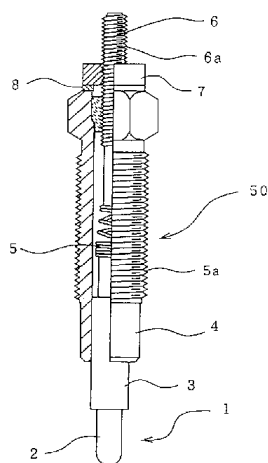
代理人 张祖昌

权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 8 页

[54] 发明名称 陶瓷加热器

[57] 摘要

本发明涉及陶瓷加热器，其中由导电陶瓷材料形成的一电阻加热件嵌在陶瓷体中。导电陶瓷材料具有导电陶瓷相弥散在陶瓷基体相中的结构，并含有 30wt% 至 80wt% 范围内的导电陶瓷相。当在导电陶瓷材料截面上画一个具有一定半径的虚圆时，如果在虚圆中导电陶瓷相颗粒的面积比不小于 60%，由虚圆包围的区域则被定义为导电陶瓷相颗粒分布不匀部分，所述分布不匀部分的最大直径被设定为不大于 5 μ m。



1.一种陶瓷加热器, 包括:

一个陶瓷体; 以及

一个嵌在所述陶瓷体中的含有导电陶瓷材料的电阻加热件, 所述导电陶瓷材料含有陶瓷基体相和弥散在所述陶瓷基体相中的 30wt% 至 80wt% 范围内的导电陶瓷相颗粒;

其中, 如果一个区域包括至少 60% 的导电陶瓷相颗粒, 则该区域被称为分布不均部分, 该分布不均部分的最大允许的尺寸是直径最大为 5 μ m 的圆所包围的区域, 从而使所述加热件内的热感应应力低于没有这种限制的加热件。

2.根据权利要求 1 所述的陶瓷加热器, 其特征在于: 所述导电陶瓷相包括从由 W、Ta、Nb、Ti、Mo、Zr、Hf、V 和 Cr 的硅化物; W、Ta、Nb、Ti、Mo、Zr、Hf、V 和 Cr 的碳化物; W、Ta、Nb、Ti、Mo、Zr、Hf、V 和 Cr 的硼化物和 W、Ta、Nb、Ti、Mo、Zr、Hf、V 和 Cr 的氮化物构成的一组中选择的至少一种。

3.根据权利要求 2 所述的陶瓷加热器, 其特征在于: 所述导电陶瓷相包括从由 WC、Mo₅Si₃ 和 MoSi₂ 构成的一组中选择的至少一种。

4.根据权利要求 1 所述的陶瓷加热器, 其特征在于: 所述陶瓷体包括从由 Si₃N₄ 和 AlN 构成的一组中选择的一种。

5. 根据权利要求 1 所述的陶瓷加热器, 其特征在于: 所述陶瓷基体相包括从由 Si₃N₄ 和 AlN 构成的一组中选择的一种。

6. 根据权利要求 1 所述的陶瓷加热器, 其特征在于: 所述导电陶瓷材料含有 50wt% 至 70wt% 范围内的所述导电陶瓷相。

7. 根据权利要求 1 所述的陶瓷加热器, 其特征在于: 所述电阻加热件含有 0.8wt% 至 10.5wt% 范围内的助烧结剂。

8. 根据权利要求 1 所述的陶瓷加热器, 其特征在于: 所述陶瓷体含有 4wt% 至 15wt% 范围内的助烧结剂。

陶瓷加热器

技术领域

本发明涉及陶瓷加热器，例如，用在陶瓷热线点火塞等中的陶瓷加热器。

背景技术

在现有技术中有一种公知的陶瓷加热器可用作陶瓷热线点火塞中的陶瓷加热器，其中，含有作为主要成分的 WC 的陶瓷电阻加热件嵌在含有作为主要成分的 Si_3N_4 或类似物质的绝缘陶瓷体中。

在上述陶瓷加热器中，由于构成陶瓷体的 Si_3N_4 的热膨胀系数小于作为电阻加热件的主要成分的 WC 的热膨胀系数，因而在重复加热和冷却循环时在电阻加热件中可能出现以热膨胀系数差为基础的应力集中，使电阻加热件的耐用度出现问题。

本发明的目的在于提供一种陶瓷加热器，即使重复加热和冷却循环也不会发生电阻加热件耐用度问题。

按照本发明，提供一种陶瓷加热器，包括：一个陶瓷体；以及一个嵌在所述陶瓷体中的含有导电陶瓷材料的电阻加热件，所述导电陶瓷材料含有陶瓷基体相和弥散在所述陶瓷基体相中的 30wt% 至 80wt% 范围内的导电陶瓷相颗粒；其中，如果一个区域包括至少 60% 的导电陶瓷相颗粒，则该区域被称为分布不均部分，该分布不均部分的最大允许的尺寸是直径最大为 $5\mu\text{m}$ 的圆所包围的区域，从而使所述加热件内的热感应应力低于没有这种限制的加热件。

按照本发明可以提供一种陶瓷加热件，其中，即使在重复加热和冷却循环的情形中也几乎不会发生电阻加热件耐用度问题。

附图说明

图 1 是使用按照本发明的陶瓷加热器的热线点火塞的前局部剖视图；

图 2 是陶瓷加热器的前剖视图；

图 3A 和 3B 用于说明生产陶瓷加热器的方法；

图 4A 和 4B 用于说明从图 3A 和 3B 继续的方法;

图 5A 和 5B 用于说明从图 4A 和 4B 继续的方法;

图 6A 至 6D 是表示在按照本发明的生产陶瓷加热器的方法中复合模制件和烧结体的截面形状变化的典型视图;

图 7 是表示按照本发明的陶瓷加热器的变型实例的剖视图;

图 8A 和 8B 是表示在实例 3 的陶瓷加热器中电阻加热件的截面结构的扫描式电子显微照片;

图 9A 和 9B 是表示对照例的陶瓷加热器中电阻加热件的截面结构的扫描式电子显微照片。

具体实施方式

下面参阅附图详细描述本发明。

本发明涉及陶瓷加热器, 其中, 一个由导电陶瓷材料构成的电阻加热件嵌在陶瓷体中, 为了解决现有技术中的问题, 本发明具有下述特征, 即, 导电陶瓷材料的结构中, 导电陶瓷相的颗粒弥散在基体陶瓷相中, 所含的导电陶瓷相在 30wt% 至 80wt% 范围内。另外, 当在导电陶瓷材料的截面中画出一个具有一定半径的虚圆时, 如果在虚圆中导电陶瓷相颗粒的面积百分比不小于 60%, 那么, 由虚圆包围的区域就定义为导电陶瓷相颗粒分布不匀部分, 这种分布不匀部分的最大直径设定为不大于 $5\mu\text{m}$ 。

本发明人已经发现, 当反复对加热器进行加热和冷却循环时电阻加热件的耐用度可通过下述方式显著改善, 即, 在导电陶瓷材料构成的电阻加热件中, 导电陶瓷相颗粒的上述分布不匀部分的最大直径设定得不大于 $5\mu\text{m}$ 。

因此, 通过改变导电陶瓷相的含量可以容易地调节加热件的电阻率。这里, 在选择用作导电材料的材料时要考虑到热膨胀系数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)、电阻率 ($\mu\Omega\text{cm}$)、温度电阻系数 ((在 1000°C 时的电阻)/(室温时的电阻)) 和熔点 ($^{\circ}\text{C}$)。考虑到热膨胀系数差, 导电材料的热膨胀系数最好在陶瓷体的热膨胀系数加 $10(\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$ 的范围内, 选择陶瓷体时要考虑到烧结程度, 耐热/震动性、抗弯强度等。考虑到温度增加特性, 电阻率最好小于 10^3 。考虑到自控功能, 耐热系数在 1 至 20 之内。考虑到实际应用中的最

高温，熔点不低于 1500 °C。因此，导电陶瓷相主要由至少从 W、Ta、Nb、Ti、Mo、Zr、Hf、V 和 Cr 的硅化物；W、Ta、Nb、Ti、Mo、Zr、Hf、V 和 Cr 的碳化物；W、Ta、Nb、Ti、Mo、Zr、Hf、V 和 Cr 的硼化物；W、Ta、Nb、Ti、Mo、Zr、Hf、V 和 Cr 的氮化物构成的一组选择的化合物构成的。表 1 表示这些化合物的实例。

具体来说，由于 WC 或 Mo_5Si_3 和陶瓷体间的热膨胀系数差较小，因而 WC 或 Mo_5Si_3 制成的电阻加热件具有良好的耐用度。另外，具有高于 2000 °C 的极高熔点。虽然 Mo_5Si_3 的电阻温度系数稍大，但是通过调节材料含量可使普通温度电阻不高。因此，由于在接近普通温度的范围内的供应电流大，因而可以改善温度增加特性。因此，WC、 Mo_5Si_3 和 MoSi_2 最好用作电阻加热件的材料。如果含量小于 30wt %，则加热件的电阻率太高，不能得到充分的加热。

考虑到烧结程度、电阻调节、耐热/震动性能等因素，陶瓷基体相最好主要由 Si_3N_4 或 AlN 构成。

另一方面，根据上述原因陶瓷体最好主要由 Si_3N_4 或 AlN 构成。

据信上述陶瓷加热器中电阻加热件耐用度改善的原因在于，在导电陶瓷材料中，导电陶瓷相的热膨胀系数一般不同于基体陶瓷相的热膨胀系数，因此，在导电陶瓷相颗粒分布不匀部分和导电陶瓷相颗粒的体积比低于上述分布不匀部分的周围部分（下文简称为“周围部分”）之间引起平均热膨胀系数差，因此，在分布不匀部分和周围部分之间的边界产生以热膨胀系数差为基础的应力。这种应力倾向于随分布不匀部分的尺寸的增加而增加。当这种应力增加到预定值或更高时，就易于发生以应力为基础的电加热件的破坏。但是，据信将分布不匀部分的尺寸设定得不大于 5 μm 时，可使应力值小得足以防止上述破坏。

这里，WC 型颗粒的分布不匀部分的尺寸是在 WC 颗粒的粒度和被聚集的 WC 型颗粒的数目为基础限定的。虽然从改善电阻加热件耐用度的角度出发，分布不匀部分的尺寸在不大于 5 μm 的范围

内最好尽可能地小，但是，如果分布不均部分的尺寸设定得太小，那么，所引起的问题在于，由于 WC 型颗粒的平均粒度必须设定得相当小，因而 WC 原料粉末的制备成本就要增加。因此，分布不均部分的尺寸的下限最好在可以避免上述问题的范围内选择。

另一方面，如果导电陶瓷材料的 WC 含量大于 80wt %，那么，由于陶瓷材料的烧结性能下降，就得不到良好的电阻加热件。相反，如果 WC 含量低于 30wt %，那么，由于材料的电阻率太大，电阻加热件的导电加热特性就会变得不足。因此，WC 含量应调节在 30wt % 至 80wt % 的范围内，最好在 50wt % 至 70wt % 的范围内。

顺便应提到，将预定量的助烧结剂混入上述原料粉末中并烧结混合原料可以制成电阻加热件。在这种情形中，可以使用稀土或碱土金属氧化物如 Y_2O_3 、 Er_2O_3 、 Yb_2O_3 等作为助烧结剂。加入的助烧结剂的比例最好调节在 0.8wt % 至 10.5wt % 的范围内。如果被加入的助烧结剂的比例小于 0.8wt %，烧结就会不充分，因而得不到良好的电阻加热件。相反，如果被加入的助烧结剂的比例大于 10.5wt %，则电阻加热件的耐热性就会受损。

下面结合附图描述本发明的具体实施例。

图 1 表示使用按照本发明的陶瓷加热器的热线点火塞及其内部结构。在图 1 中，热线点火塞 50 具有设在其一端侧的陶瓷加热器 1、一个用于覆盖陶瓷加热器 1 的外表面使陶瓷加热器 1 的一个前端部 2 伸出的金属外圆筒 3、一个用于进一步从外侧覆盖外圆筒 3 的圆筒形金属壳体 4 等。陶瓷加热器 1 和外圆筒 3 通过钎焊连接，外圆筒 3 和金属壳体 4 也通过钎焊连接。

连接件 5 两端都由金属线构成，形状象螺旋弹簧，其中一端从外侧装配在陶瓷加热器 1 的后端，而其另一端装配在金属轴 6 的一个相应端部上，金属轴 6 插在金属壳体 4 中。金属轴 6 的另一端伸至金属壳体 4 之外，一螺母 7 旋在金属轴 6 的外圆周面上形成的螺纹部分上，从而向金属壳体 4 拧紧螺母 7 可将金属轴 6 相对于金属壳体 4 固定。另外，一绝缘套 8 装配在螺母 7 和金属壳体 4 之间。

另外，在金属壳体 4 的外圆周面上形成一个螺纹部分 5a，用于将热线点火塞 50 固定在发动机组（未画出）上。

如图 2 所示，陶瓷加热器 1 具有一个 U 形电阻加热件 10，其包括从其底端部分延伸并在其前端部分将其方向改为向着其另一底端部分的方向改变部分 10a，以及两个从方向改变部分 10a 的各自的底端部分在同一方向延伸的直线部分 10b。直线的即杆状电极部分 11 的一端和直线的即杆状电极部分 12 的一端分别嵌在两直线部分的端部中。电阻加热件 10 和电极部分 11 和 12 整体嵌在具有圆形截面的杆状陶瓷体 13 中。电阻加热件 10 布置得使方向改变部分 10a 位于陶瓷体 13 的端侧中。

向含有作为主要成分的 Si_3N_4 的陶瓷粉末中加入/混合 4wt % 至 15wt % 范围的，最好为 6wt % 至 12wt % 范围的稀土或碱土金属氧化物如 Y_2O_3 、 Er_2O_3 、 Yb_2O_3 等的助烧结剂，并烧结这样得到的混合物粉末，从而制成陶瓷体 13。

另外，向含有作为主要成分的 WC 粉末和作为主要成分的含有 Si_3N_4 的粉末中加入/混合 0.8wt % 至 10.5wt % 与陶瓷体 13 中所使用的相同的助烧结剂，并烧结这样得到的混合物粉末，从而制成电阻加热件 10。电阻加热件 10 的 WC 含量调节在 30wt % 至 80wt % 范围内，最好在 50wt % 至 70wt % 范围内。另外，烧结物成分是通过使 WC 型颗粒弥散在 Si_3N_4 型基体（基体陶瓷相）中的方式得到的。顺便应提到，当使用主要含有 MoSi_2 的粉末时，由于助烧结剂的影响，一部分 MoSi_2 可变成 Mo_5Si_3 。在这种情形中，要考虑到 Mo_5Si_3 的一部分 Si 成分与助烧结剂中含有的氧结合而沉积为 SiO_2 。因此，在加入 MoSi_2 的情形中， MoSi_2 和 Mo_5Si_3 往往共存。顺便应到，甚至在使用 Mo_5Si_3 的情况下，三种材料的含量也最好与使用 MoSi_2 的情况相同。在烧结物结构中以一定半径画出的虚圆中 WC 型颗粒面积的百分比不小于 60 % 的情形中，由虚圆包围的区域定义为 WC 型颗粒分布不匀部分，该分布不匀部分的最大直径调节得不大于 $5\text{ }\mu\text{m}$ 。另一方面，每个电极部分 11 和 12 是由高熔点金属材料如钨、钨铼合金等构成的。

在图2中,在陶瓷体13的表面上并在包括电极12的露出部分12a的区域中,通过预定的方法如电镀、气相成膜等方法形成金属的镍等的薄层(未画出)。通过金属薄层,陶瓷体13和外圆筒3借助钎焊相互接合,而且电极12通过接合部分电气连接于外圆筒3。另外,在包括电极部分11的露出部分的区域内形成金属薄膜。连接件5钎焊在该薄膜上。在上述结构中,使电流从电源(未画出)通过金属轴6(图1)、连接件5和电极部分11在电阻加热件10中流动并通过电极部分12、外圆筒3、金属壳体4(图1)和发电机组(未画出)接地。

下面描述生产陶瓷加热器1的方法。首先,如图3A所示,将电极材料30布置在具有相应于电阻加热件10的U形模腔32的模具31中,使电极材料30的端部插入模腔32的端中。在这种状态中,将含有导电陶瓷粉末、含作为主要成分的 Si_3N_4 的粉末、助烧结剂粉末和粘合剂的复合物33注射形成一个整体模制件34,在模制件中,电极材料30与导电陶瓷粉末模制部分相结合,如图3B所示。顺便应提到,导电陶瓷粉末模制部分34形成得具有基本呈圆形的横截面。

上述复合物33例如是按照下述方式制备的。首先混合WC原料、 Si_3N_4 原料和助烧结剂。将混合物与溶剂和磨碎介质如陶瓷球或类似物一起放入磨碎设备(如旋转式球磨机、高能碾磨机如磨盘式磨粉机、振动磨碎机等)中混合并磨至预定的粒度。这里,在旋转式球磨机的情形中碾磨条件如转速、碾磨时间、溶剂和碾磨介质的量等的调节应使烧结物中WC型颗粒的分布不均部分的尺寸不大于 $5\mu\text{m}$ 。例如,在碾磨前的混合原料中, Si_3N_4 原料粉末的粒度在 0.3 至 $2.0\mu\text{m}$ 范围内,平均粒度为 $0.8\mu\text{m}$,WC原料粉末的粒度在 0.5 至 $14\mu\text{m}$ 的范围内,平均粒度为 $1.8\mu\text{m}$ 的情形中,碾磨条件最好调节成,在碾磨后,不管WC原料粉末的含量如何,要使混合物的粒度在 0.1 至 $1.5\mu\text{m}$ 的范围内,平均粒度为 $0.7\mu\text{m}$ 。顺便应提到,粒度分布和平均粒度可使用激光分析法测定。

当碾磨完成时,使碾磨介质与原料浆分离,使浆中的溶剂蒸发,

从而得到导电陶瓷粉末。由蜡或树脂构成的粘合剂揉合在导电陶瓷粉末中，揉合的混合物进一步形成一定粒度的小球以便得到注射成形的复合物。

另一方面，将预定量的粘合剂加入陶瓷粉末中以形成陶瓷体13，然后将混合物加压模制成分别作为上、下部分的拼合压片36，37，如图4A所示。每个拼合压片36，37具有一个在模对准面39a上形成的凹部38，其形状相应于上述整体模制件35。然后将整体模制件35放入凹部38，将拼合压片36，37在模对准面39a对准。然后，如图5A所示，将处于这种状态的拼合压片36，37和整体模制件35放在模具61的模腔61a中并使用冲头62，63压紧/加压以形成一个复合模制件39，其中，拼合压片和整体模制件35如图5B和6A所示相互结合。这里，压紧方向要选择得基本垂直于拼合压片36，37的模对准面39a。

为了除去粘合剂成分等，这样制成的复合模制件39首先在预定的温度（如大约800℃）下焙烧，从而形成图6B所示的焙烧件39'。然后，如图5B所示，将焙烧件39'放入由石墨或类似物形成的热压模65，66的模腔65a，66a中。当在炉64中在两模65，66之间加压时，焙烧件39'在预定的温度（如大约1800℃）下烧结以形成如图6c所示的烧结体70。此时，如图4B所示的导电陶瓷粉末模制部分34和拼合压片36，37分别用于构成电阻加热件10和陶瓷体13。另外，电极材料30分别构成电极部分11和12。

这里，当焙烧件39'沿压片36，37的模对准面39a加压时形成如图6B所示的烧结体70。然后，如图6c所示，导电陶瓷粉末模制部分34的每个直线部分34b的圆形截面被变形，在上述加压方向上受到挤压以形成具有椭圆截面的陶瓷加热件10的直线部分10b。然后，如图6D所示，烧结体70的外圆周面经过抛光或类似处理，使陶瓷体的截面形成圆形，从而制成陶瓷加热器1。

顺便应提到，如图7所示，加热件可以在陶瓷粉末体的模制件上使用导电陶瓷粉末的浆进行花纹印刷，并可以烧结经花纹印刷的加热件，从而形成电阻加热件10。

另外，按照本发明的陶瓷加热器不仅可以用于热线点火塞，而且也可用于燃烧器的点火器或氧传感器等的加热件。

实例

使用上述方法制造分别具有图 2 所示形状的各个陶瓷加热器 1。顺便应提到，在电阻加热件 10 中所含的 WC 成分的含量被调节在 30wt % 至 80wt % 的范围内（实例 1 - 4）。另外，热压烧结在 1750 °C 和 300kgf/cm² 下进行 30 分钟。每种配方的陶瓷加热器生产两件。这两件中，一个陶瓷加热器被切削，其电阻加热件部分的截面被抛光。然后使用扫描电子显微镜（下文简称为“SEM”）观察抛光表面上 WC 型颗粒的团聚状况，WC 型颗粒所占面积比（即体积比）为 60 % 或更高在本发明中称为分布不匀部分。在实例 1 至 4 的任一陶瓷加热器中，分布不匀部分最大尺寸不大于 5 μm。另一方面，WC 成分不大于 30wt % 的一个试件和 WC 成分大于 80wt % 的一个试件（对照例 1 和 2）用来进行对比。顺便应提到，对照例的陶瓷加热器经调整，其 WC 型颗粒的分布不匀部分的最大尺寸大于 5 μm，具体来说，在 8 至 10 μm 的范围内。

使用下述方法检查陶瓷加热器的导电耐用度。一个循环定义为下述步骤，在该步骤中，向每个陶瓷加热器加一预定电压以便在陶瓷加热器中形成电流，在温度均衡在 1400 °C 之后导电状态保持 5 分钟，然后停止导电，且这种状态保持 1 分钟。对每个陶瓷加热器重复上述步骤 10,000 个循环。与第一次循环中的导电情形相比，如观察到加热温度下降不小于 150 °C 的情况则被判断为劣，而未观察到上述下降的情况则被判断为好。检查结果示于表 2 中。

也就是说，每一实例的陶瓷加热器表现了良好的导电耐用度，而对照例 1 的陶瓷加热器表现出不充分的导电耐用度。据信，由于对照例 1 的陶瓷加热器中 WC 含量太大，不能充分烧结，因而不仅电阻加热件的强度不够，而且 WC 颗粒的分布不匀部分的尺寸大，使得较大的应力在分布不匀部分和周围部分之间热膨胀系数差的基础上产生，从而引起电阻加热件的损坏/断裂。相反，在对照例 2 的陶瓷加热器中，WC 含量小，电阻太高，不能得到充分的加热。

图 8A 和 8B 表示实例 3 的陶瓷加热器的电阻加热件部分的 SEM 结构照片, 在这种结构中, 最白的部分被认为是相应于 WC 型颗粒的部分, 最黑的部分被认为是相应于 Si_3N_4 基体的部分。WC 型颗粒弥散得较为均匀, 因而未观察到尺寸大于 $5\ \mu\text{m}$ 的分布不匀部分。另一方面, 图 9A 和 9B 表示对照例 1 的陶瓷加热器的电阻加热件部分的 SEM 结构照片。从图 9 可以看出, 形成了尺寸相当大 (大约 $10\ \mu\text{m}$) 的 WC 型颗粒分布不匀部分。

表 1

	材料特性值 (文献值)			
	热膨胀系数	电阻率($\mu\Omega$ cm)	温度电阻系数 ($R(1000^\circ\text{C})/R(25^\circ\text{C})$)	熔点($^\circ\text{C}$)
WC	4.9	19.2	1.495	2800
TaN	3.6	128	1.03	3360
TaC	6.29	42.1	2.07	3877
TiN	9.35	25.0	3.48	2900
MoSi ₂	8.3	21.6	7.48	2030
Mo ₅ Si ₃	4.3	45.9	1.66	2100
WSi ₂	8.21	12.5	3.91	2150
ZrB ₂	4.5	16.6	--	3040
LaCrO ₃	9.7	10 ⁶	--	2490
NbN	10.8	78.0	10.1	2050
Mo ₂ C	6.15	71.0	--	2500
Si ₃ N ₄	3.2	--	--	--

(来源:《高熔点化合物物理性质手册》Nisso Tsuushin sha 出版)

表 2

	电阻加热件成分(wt %)			WC 颗粒的粒度	导电条件下的耐用度
	WC	Si ₃ N ₄	Y ₂ O ₃		
实例 1	80	18	2	3 μm 或更小	OK
实例 2	75	22.5	2.5	3 μm 或更小	OK
实例 3	60	39.6	0.4	3 μm 或更小	OK
实例 4	30	63	7.0	3 μm 或更小	OK
对照例 1	85	13.5	1.5	6 μm	NG
对照例 2	25	67.5	7.5	5 μm	由于电阻大发热不足

图 1

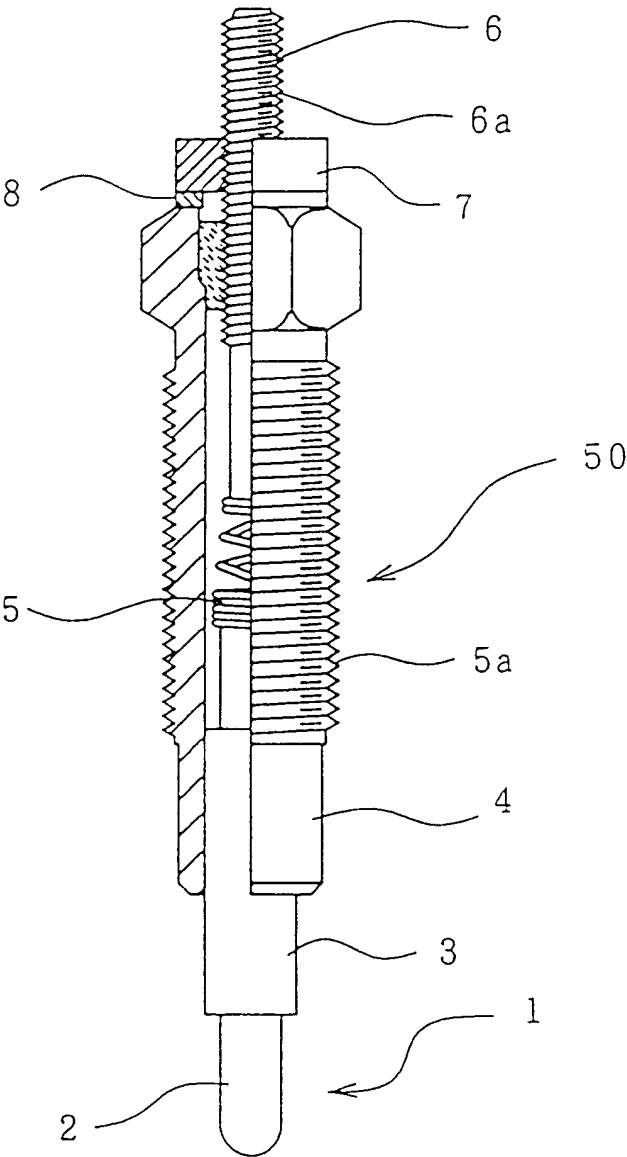


图 2

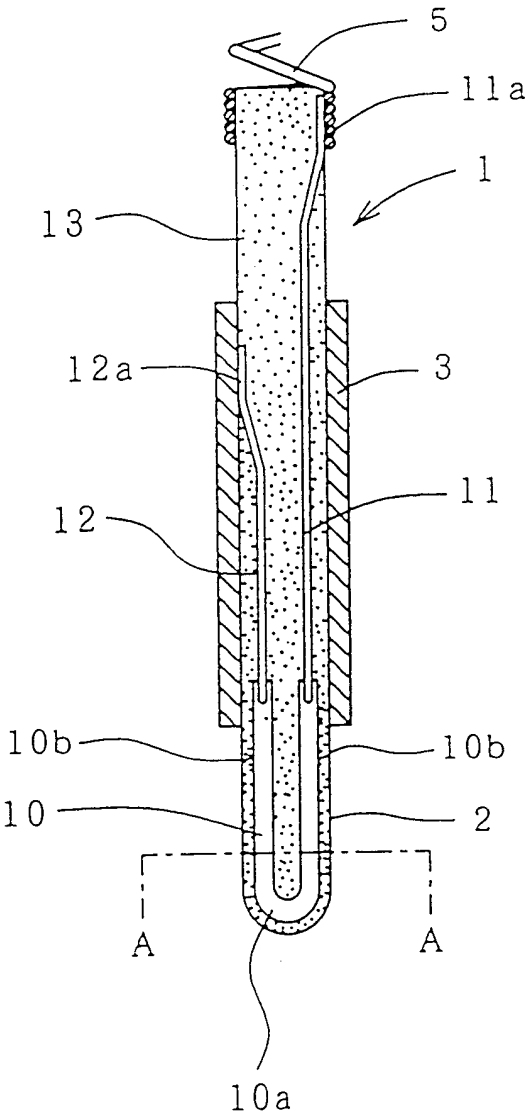


图 3A

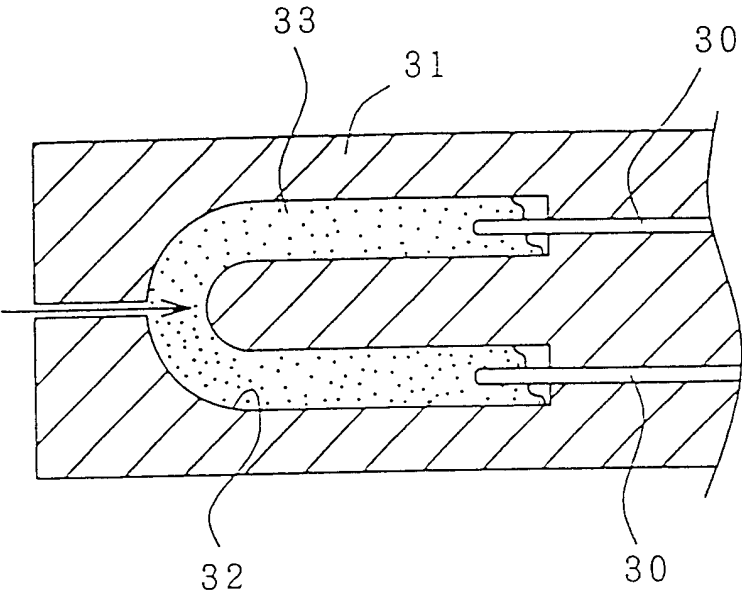


图 3B

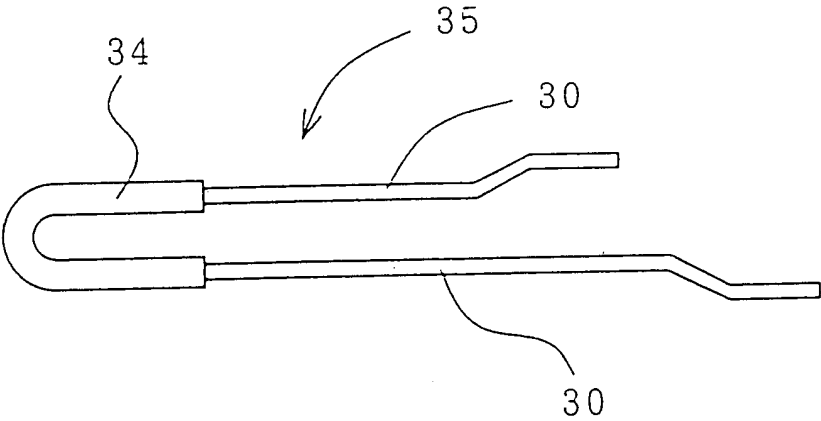


图 4A

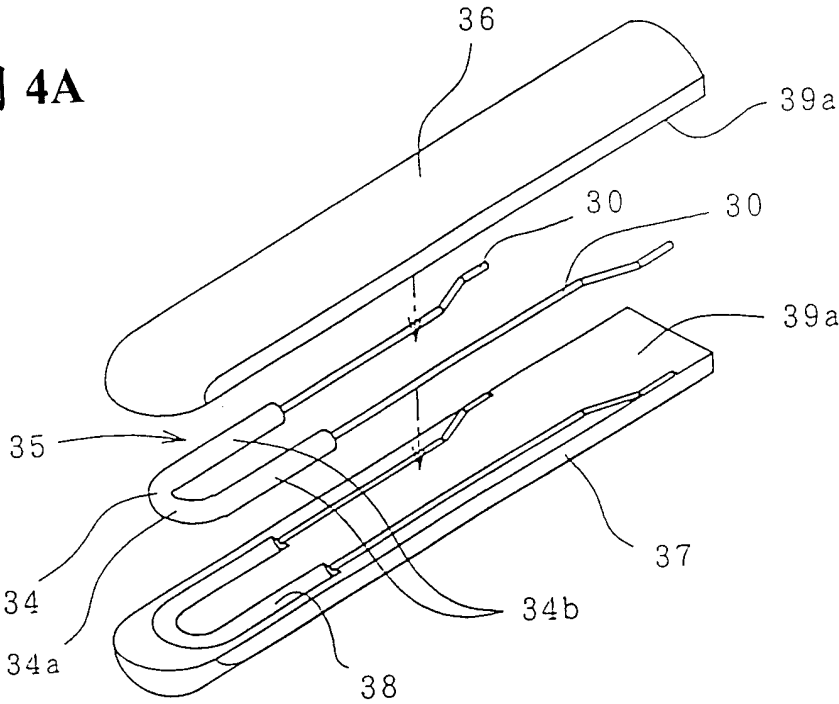


图 4B

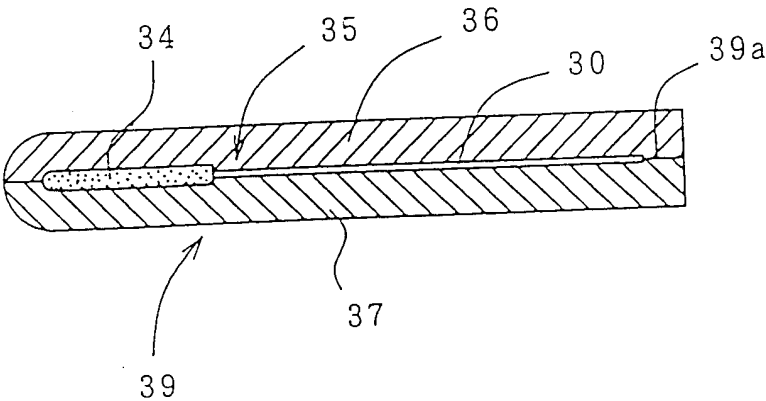


图 5A

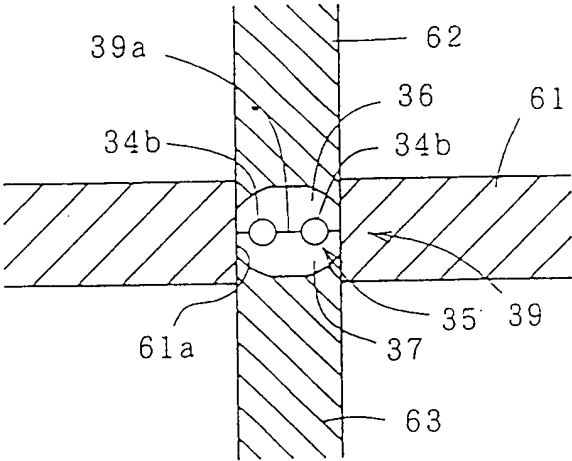


图 5B

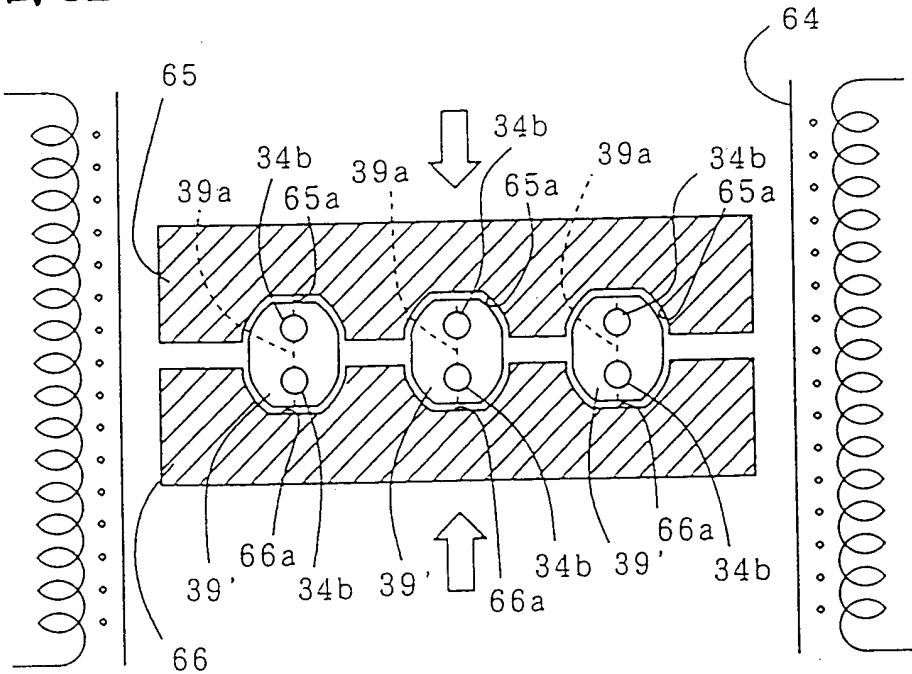


图 6A

图 6B

图 6C

图 6D

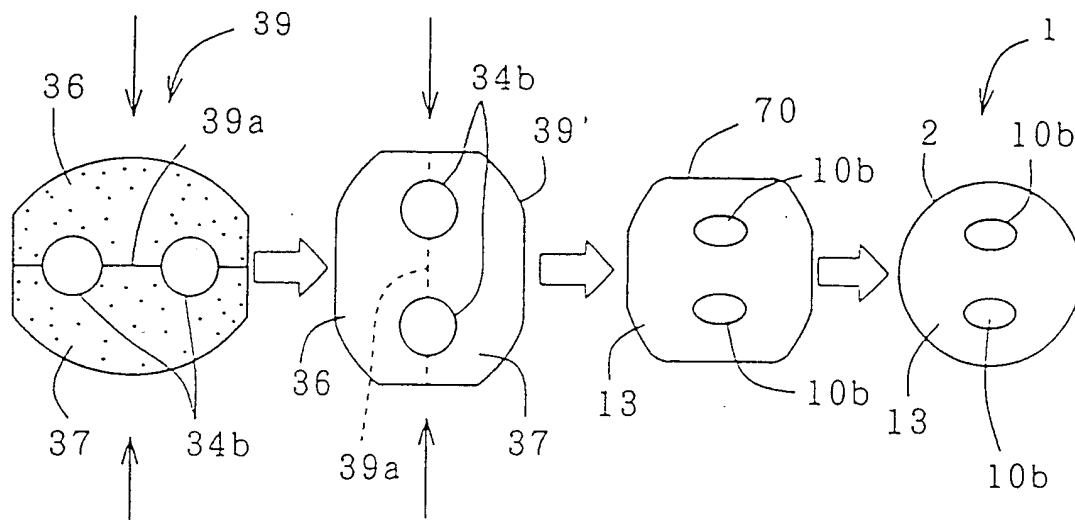


图 7

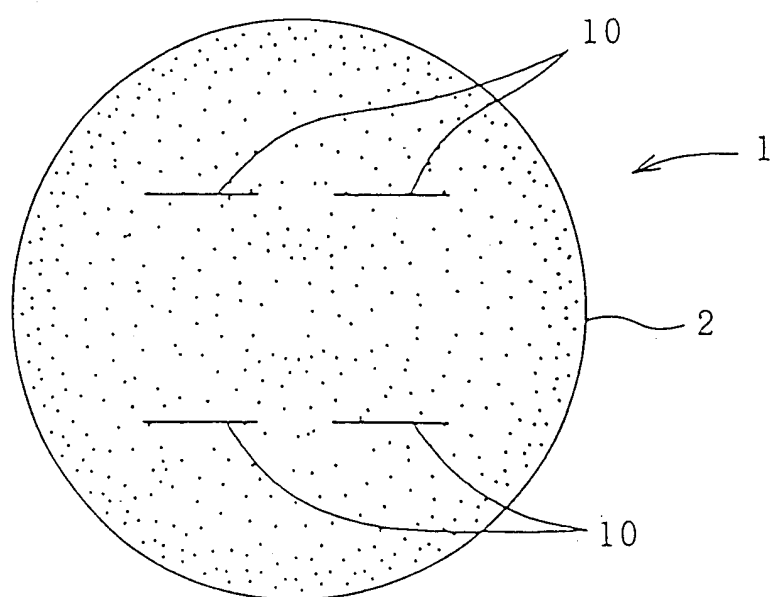


图 8A

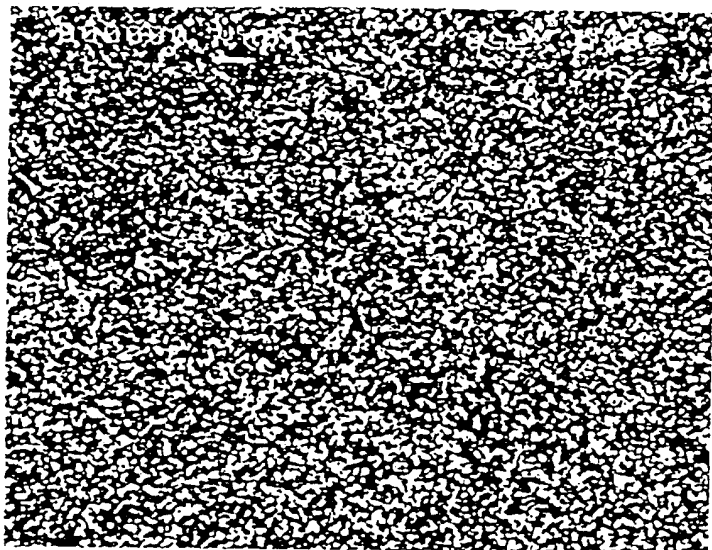


图 8B

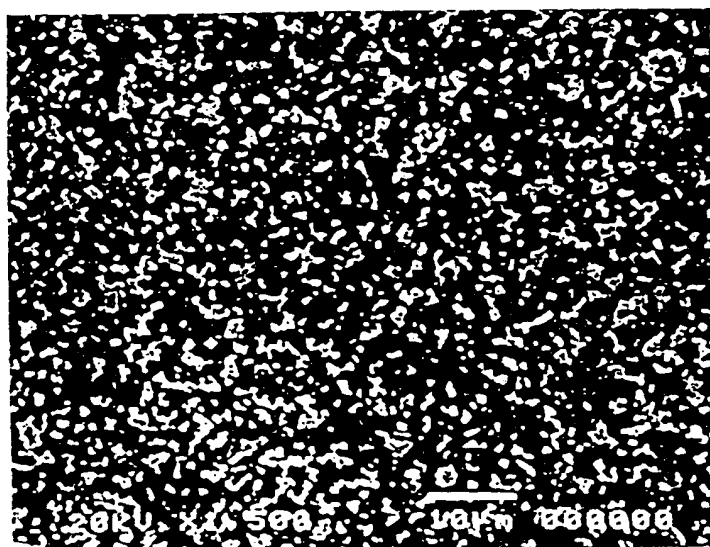


图 9A

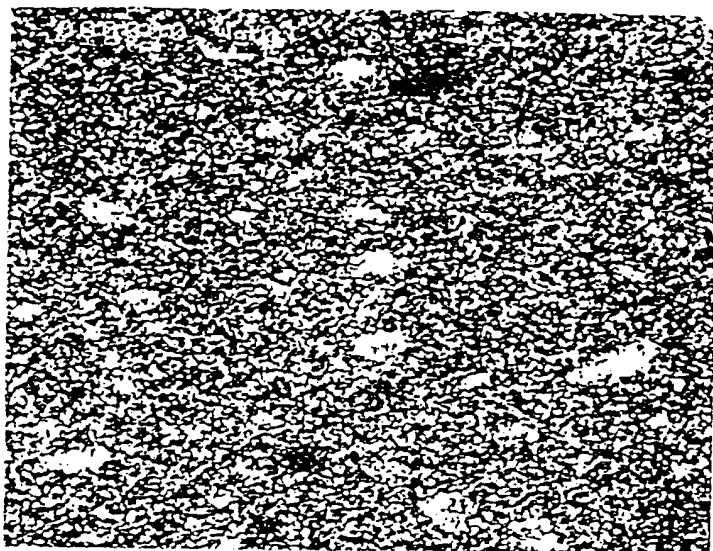


图 9B

