



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101935226 B

(45) 授权公告日 2012. 09. 26

(21) 申请号 201010266686. 0

Engineering A》. 2008, 第 498 卷 321-326 页.

(22) 申请日 2010. 08. 31

审查员 赵伟

(73) 专利权人 中国航空工业集团公司北京航空材料研究院

地址 100095 北京 81 信箱

(72) 发明人 熊华平 陈波 程耀永 李晓红 毛唯

(74) 专利代理机构 中国航空专利中心 11008

代理人 李建英

(51) Int. Cl.

C04B 37/02(2006. 01)

(56) 对比文件

US 4111572 A, 1978. 09. 05, 说明书第 1 栏第 33-55 行、图 1-2.

H. B. Liu et al. Vacuum brazing of SiO<sub>2</sub> glass ceramic and Ti-6Al-4V alloy using AgCuTi filler foil. 《Materials Science and

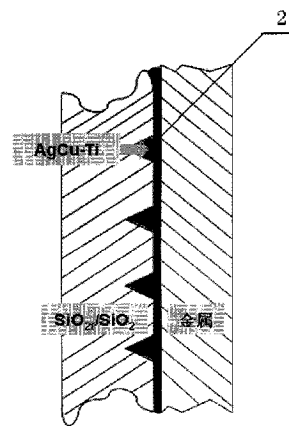
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 5 页

(54) 发明名称

一种用于 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷与金属材料钎焊的工艺方法

(57) 摘要

本发明是一种用于 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷与金属材料钎焊的工艺方法, 其特征在于, 选取 AgCu-Ti 活性钎料进行对 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷的连接, 具体工艺步骤是, 先通过机械加工方法在 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷的待焊表面开沟槽。使用 AgCu-Ti 活性钎料置于 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷待焊表面的沟槽处, 而且在被焊的 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷与被焊的金属材料之间的待焊界面上添加 AgCu-Ti 钎料, 再通过真空钎焊加热方式, 实现 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷与金属材料的有效连接。



1. 一种用于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料钎焊的工艺方法,其特征在于,①在待焊材料表面开沟槽

在  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷的待焊表面开沟槽,每个沟槽彼此平行的分布在待焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷材料表面,或相互垂直呈网格状分布在待焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷材料表面,沟槽的表面宽度为 0.2mm ~ 1.5mm,沟槽的深度为 0.6mm ~ 5.0mm,沟槽与沟槽之间的间隔为 1.0mm ~ 5.5mm ;②填充焊料并真空钎焊

填充焊料并真空钎焊的方式为如下之一 :

(1)将 AgCu-Ti 活性钎料置于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷待焊表面的沟槽内,再在被焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与被焊的金属材料的待焊界面上放置 AgCu-Ti 钎料 ;通过真空钎焊加热方式,将填充了 AgCu-Ti 活性钎料的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料真空加热至 820oC ~ 910oC,真空度不低于  $3 \times 10^{-2}\text{Pa}$ ,保温 5 ~ 40 分钟后,随炉冷却至室温,实现  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料的连接 ;

(2)将 AgCu-Ti 活性钎料置于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷待焊表面的沟槽内,通过真空钎焊加热方式,将填充了 AgCu-Ti 活性钎料的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料真空加热至 820oC ~ 910oC,真空度不低于  $3 \times 10^{-2}\text{Pa}$ ,保温 5 ~ 40 分钟后,随炉冷却至室温,再在经上述处理过的被焊  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与被焊金属材料的界面上,添加 AgCu-Ti 钎料,再真空加热至 820oC ~ 910oC 的钎焊温度,真空度不低于  $3 \times 10^{-2}\text{Pa}$ ,保温 5 ~ 40 分钟后再随炉冷却至室温,完成  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属的连接。

2. 根据权利要求 1 所述的一种用于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料钎焊的工艺方法,其特征在于,所述在  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷的待焊表面开沟槽,沟槽形状为“V”形或“U”形或“T”形或矩形。

3. 根据权利要求 1 所述的一种用于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料钎焊的工艺方法,其特征在于,所述的被焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与被焊的金属材料的待焊界面为平面或曲面。

## 一种用于 $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$ 复合陶瓷与金属材料钎焊的工艺方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于焊接技术领域,涉及一种用于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合材料与金属材料钎焊的工艺方法。

### 背景技术

[0002] 石英纤维增强石英复合陶瓷 ( $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$ ) 是一种很有应用前途的高温结构陶瓷基复合材料。但由于一些工程应用场合性能组合使用的特殊要求,需要将它与金属材料组成复合结构来应用。

[0003]  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷的连接一般适合钎焊或扩散焊方法,但直接进行  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属的连接是非常困难的,因为  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属两种被焊材料热膨胀系数差异非常大(前者约  $0.3 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ,后者一般约  $5.5 \sim 15 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ,即相差十几倍甚至几十倍),这样导致在高温钎焊或扩散焊连接之后的冷却过程中,在接头形成巨大的残余热应力,会直接导致接头从连接界面剥离而开裂,实际上就无法完成  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料的连接,因此在本领域需要采用合适的方法缓解钎焊或扩散焊连接后在连接接头形成的巨大残余热应力。关于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料的连接,目前缺乏有效缓解接头焊后残余热应力的工艺方法。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种能够有效地缓解钎焊或扩散焊连接后在连接接头形成的巨大残余热应力的一种用于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料钎焊的工艺方法。本发明的技术解决方案是,①在待焊材料表面开沟槽

[0005] 在  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷的待焊表面开沟槽,沟槽的表面宽度为  $0.2\text{mm} \sim 1.5\text{mm}$ ,沟槽的深度为  $0.6\text{mm} \sim 5.0\text{mm}$ ,沟槽与沟槽之间的间隔为  $1.0\text{mm} \sim 5.5\text{mm}$ ;②填充焊料并真空钎焊

[0006] 填充焊料并真空钎焊的方式为如下之一:

[0007] (1) 将 AgCu-Ti 活性钎料置于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷待焊表面的沟槽内,再在被焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与被焊的金属材料的待焊界面上放置 AgCu-Ti 钎料;通过真空钎焊加热方式,将填充了 AgCu-Ti 活性钎料的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料真空加热至  $820^\circ\text{C} \sim 910^\circ\text{C}$ ,真空度不低于  $3 \times 10^{-2} \text{Pa}$ ,保温  $5 \sim 40$  分钟后,随炉冷却至室温,实现  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料的连接;

[0008] (2) 将 AgCu-Ti 活性钎料置于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷待焊表面的沟槽内,通过真空钎焊加热方式,将填充了 AgCu-Ti 活性钎料的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料加热至  $820^\circ\text{C} \sim 910^\circ\text{C}$ ,保温  $5 \sim 40$  分钟后,随炉冷却至室温,再在经上述处理过的被焊  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与被焊金属材料的界面上,添加 AgCu-Ti 钎料,再真空加热至  $820^\circ\text{C} \sim 910^\circ\text{C}$  的钎焊温度,真空度不低于  $3 \times 10^{-2} \text{Pa}$ ,保温  $5 \sim 40$  分钟后再随炉冷却至室温,完成  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属的连接。

[0009] 所述在  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷的待焊表面开沟槽,沟槽形状为“V”形或“U”形或“T”形或矩形,每个沟槽彼此平行地分布在待焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷材料表面,或相互垂直呈网格状分布在待焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷材料表面。

[0010] 所述的被焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与被焊的金属材料之间的待焊界面为平面或曲面。

[0011] 本发明具有的优点和有益效果是:本发明所述用于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料钎焊的工艺方法,通过在被焊  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷表面预加工出沟槽并使用 AgCu-Ti 活性钎料加热润湿填满沟槽,通过这样的工艺使  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷的被焊表层形成宏观上由 AgCu-Ti 金属焊料和  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷交替混合的新的复合材料层,即在被焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与被焊金属材料之间构造了复合材料中间过渡层,这样的复合材料中间过渡层其热膨胀系数介于被焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷和被焊的金属材料之间,使得在连接区域内热膨胀系数从小到大逐渐过渡,从而大大减小了  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷直接与金属材料钎焊连接后形成的接头焊后残余热应力,从根本上能够避免  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷直接与金属材料连接后发生的开裂现象。本发明还适合于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与热膨胀系数与其相比更高的陶瓷材料(如  $\text{Al}_2\text{O}_3$  陶瓷,  $\text{SiN}_4\text{N}_3$  陶瓷, SiC 陶瓷, Sialon 陶瓷等)之间的连接。

#### 附图说明

[0012] 图 1~图 5 为待焊接材料表面所开沟槽的不同形状的示意图,其中,图 1~图 5 中的 a 均为待焊  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷材料表面开槽形状, b 均为填充了 AgCu-Ti 活性钎料的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料的示意图。

#### 具体实施方式

[0013] 选取 AgCu-Ti 活性钎料进行对  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷的连接,具体工艺步骤是,先在  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷的待焊表面开沟槽,沟槽的表面宽度和深度分别为 0.2mm~1.5mm 和 0.6mm~5.0mm,沟槽与沟槽之间的间隔为 1.0mm~5.5mm。使用 AgCu-Ti 活性钎料置于  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷待焊表面的沟槽处,而且在被焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与被焊的金属材料之间的待焊界面上添加 AgCu-Ti 钎料,再通过真空钎焊加热方式,加热至  $820^\circ\text{C}\sim 910^\circ\text{C}$  的钎焊温度,真空度不低于  $3\times 10^{-2}\text{Pa}$ ,保温 5~40 分钟后使 AgCu-Ti 钎料润湿流动并填满沟槽,同时实现  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料之间界面的连接,再随炉冷却至室温,最终实现  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料的有效连接。

[0014] 使用上述发明进行  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料钎焊的工艺方法具体是:

[0015] 选取 AgCu-Ti 活性钎料进行对  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷的连接,并通过制造复合材料过渡层的工艺方法来缓解接头焊后残余热应力。具体工艺步骤如下:

[0016] 1) 通过机械加工方法在  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷的被焊表面开若干沟槽,每个沟槽的表面宽度和深度分别为 0.2mm~1.5mm 和 0.6mm~5.0mm,沟槽与沟槽之间的间隔为 1.0mm~5.5mm。沟槽的形状可以是近似“V”形槽,或者近似“U”形槽、或者近似“T”形槽,或者直形槽等等。沟槽的分布可以是彼此平行的若干沟槽,也可以在相互垂直的两个方向上开沟槽使这些沟槽呈网格状分布。

[0017] 2) 在  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷待焊表面的沟槽处以及在被焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷

与被焊金属材料之间的待焊界面（平面或曲面）上都预置 AgCu-Ti 活性钎料（Ti 含量在 1.4wt.% ~ 6.0wt.% 之间），装配后连同夹具一起放入真空加热炉中，加热至 820℃ ~ 910℃ 的钎焊温度，真空度不低于  $3 \times 10^{-2}$  Pa，保温 5 ~ 40 分钟后再随炉冷却至室温，即完成 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷与金属的连接。

[0018] 本发明进行 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷与金属材料钎焊的工艺方法还可以是下述工艺步骤：

[0019] 1) 通过机械加工方法在 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷的被焊表面开若干沟槽，每个沟槽的表面宽度和深度分别为 0.2mm ~ 1.5mm 和 0.6mm ~ 5.0mm，沟槽与沟槽之间的间隔为 1.0mm ~ 5.5mm。沟槽的形状可以是近似“V”形槽，或者近似“U”形槽、或者近似“T”形槽，或者直形槽等等。沟槽的分布可以是彼此平行的若干沟槽，也可以在相互垂直的两个方向上开沟槽使这些沟槽呈网格状分布。

[0020] 2) 在进行 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷与金属材料连接之前，先使用 AgCu-Ti（Ti 含量在 1.4wt.% ~ 6.0wt.% 之间）活性钎料置于 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷待焊表面的沟槽处，通过真空加热至 820℃ ~ 910℃，真空度不低于  $3 \times 10^{-2}$  Pa，保温 5 ~ 40 分钟，使 AgCu-Ti 钎料润湿，充分流动并填满沟槽。

[0021] 3) 在经上述处理过的被焊 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷与被焊金属材料的界面（平面或曲面）上，添加 AgCu-Ti 钎料（Ti 含量在 1.4wt.% ~ 6.0wt.% 之间），装配后连同夹具一起放入真空加热炉中，加热至 820℃ ~ 910℃ 的钎焊温度，真空度不低于  $3 \times 10^{-2}$  Pa，保温 5 ~ 40 分钟后再随炉冷却至室温，即完成 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷与金属的连接。

[0022] 以下将结合实施例对本发明技术方案作进一步地详述：

[0023] 附图 1-5（每个附图的图（a）是焊前表面加工示意图，每个附图的图（b）是焊后示意图）分别对应实施例 1-5。

[0024] 实施例 1-4

[0025] 分别在焊前通过机械加工方法在 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷的被焊表面（平面）开沟槽，沟槽彼此平行分布，沟槽的形状依次对应为近似“V”形槽（附图 1）、近似“U”形槽（附图 2）、近似“T”形槽（附图 3）、近似直形槽（附图 4）。每个沟槽的表面宽度和深度分别为 0.3mm ~ 1.2mm 和 1.0mm ~ 3.5mm，沟槽与沟槽之间的间隔为 1.0mm ~ 4.5mm。

[0026] 接着，在 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷待焊表面的沟槽处以及在被焊的 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷与被焊金属材料（4J36 合金，TZM 合金，金属 W，W 合金，金属 Nb，Nb 合金，钛合金 TC4，18-8 不锈钢，GH783 合金，6H3044 合金，GH4169 合金）之间的待焊界面（平面）上都预置 AgCu-Ti 活性钎料（Ti 含量在 1.4wt.% ~ 6.0wt.% 之间），装配后连同夹具一起放入真空加热炉中，加热至 850℃ ~ 910℃ 的钎焊温度，保温 10 ~ 30 分钟后再随炉冷却至室温，即实现了 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷与金属材料的连接。

[0027] 实施例 5

[0028] 在焊前通过机械加工方法在 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷的被焊表面（环形面）开沟槽，沟槽彼此平行分布，沟槽的形状为近似直形槽（附图 5）。每个沟槽的表面宽度和深度分别为 0.3mm ~ 1.2mm 和 1.0mm ~ 3.5mm，沟槽与沟槽之间的间隔为 1.0mm ~ 4.5mm。

[0029] 接着，在 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷待焊表面的沟槽处以及在被焊的 SiO<sub>2f</sub>/SiO<sub>2</sub> 复合陶瓷与被焊金属材料（4J36 合金，TZM 合金，金属 W，W 合金，金属 Nb，Nb 合金，钛合金 TC4，

18-8 不锈钢, GH783 合金, GH3044 合金, GH4169 合金) 之间的待焊界面(环形面)上都预置 AgCu-Ti 活性钎料(Ti 含量在 1.4wt. %~6.0wt. %之间), 装配后连同夹具一起放入真空加热炉中, 加热至 850℃~910℃的钎焊温度, 保温 10~30 分钟后再随炉冷却至室温, 即实现了  $\text{SiO}_2/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属的连接。

[0030] 实施例 6

[0031] 分别在焊前通过机械加工方法在  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷的被焊表面(平面)在彼此垂直的两个方向上开沟槽, 两个方向的沟槽彼此平行分布, 每个沟槽的形状为近似“U”形槽。每个沟槽的表面宽度和深度分别为 0.3mm~1.2mm 和 1.0mm~3.5mm, 沟槽与沟槽之间的间隔为 1.0mm~4.5mm。在彼此垂直的两个方向上开沟槽, 所有这些沟槽宏观上呈网格状分布。接着, 在  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷待焊表面的沟槽处以及在被焊的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与被焊金属材料(4J36 合金, TZM 合金, 金属 W, W 合金, 金属 Nb, Nb 合金, 钛合金 TC4, 18-8 不锈钢, GH783 合金, GH3044 合金, GH4169 合金)之间的待焊界面(平面)上都预置 AgCu-Ti 活性钎料(Ti 含量在 1.4wt. %~6.0wt. %之间), 装配后连同夹具一起放入真空加热炉中, 加热至 850℃~910℃的钎焊温度, 保温 10~30 分钟后再随炉冷却至室温, 即实现了  $\text{SiO}_2/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料的连接。

[0032] 上述 6 个实施例获得的  $\text{SiO}_{2f}/\text{SiO}_2$  复合陶瓷与金属材料钎焊接头实物经实际功能考核与试验, 接头都可以承受高达 400℃的高温作用, 而且, 连接接头经历从 -20℃到 300℃的温度冲击连接接头完好, 加热到 300℃后遇水不破裂。

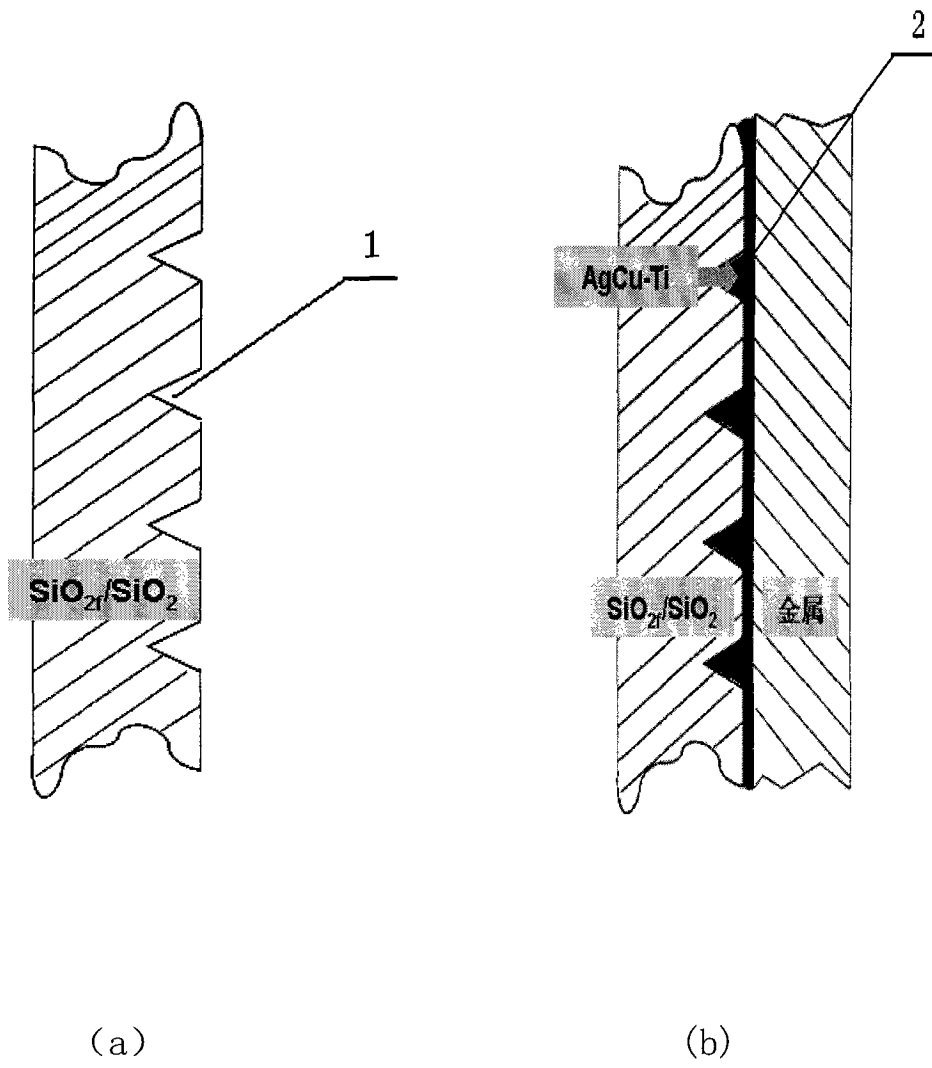


图 1

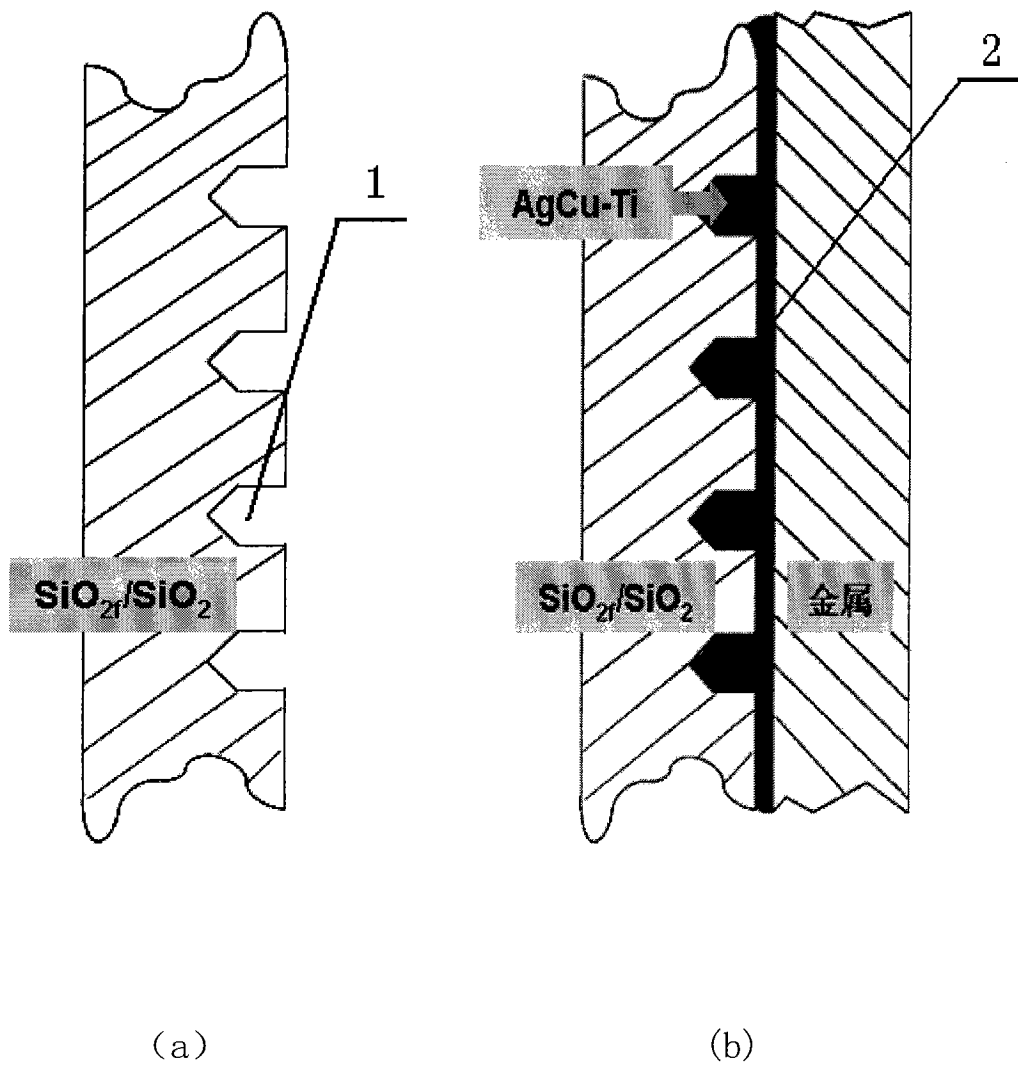


图 2



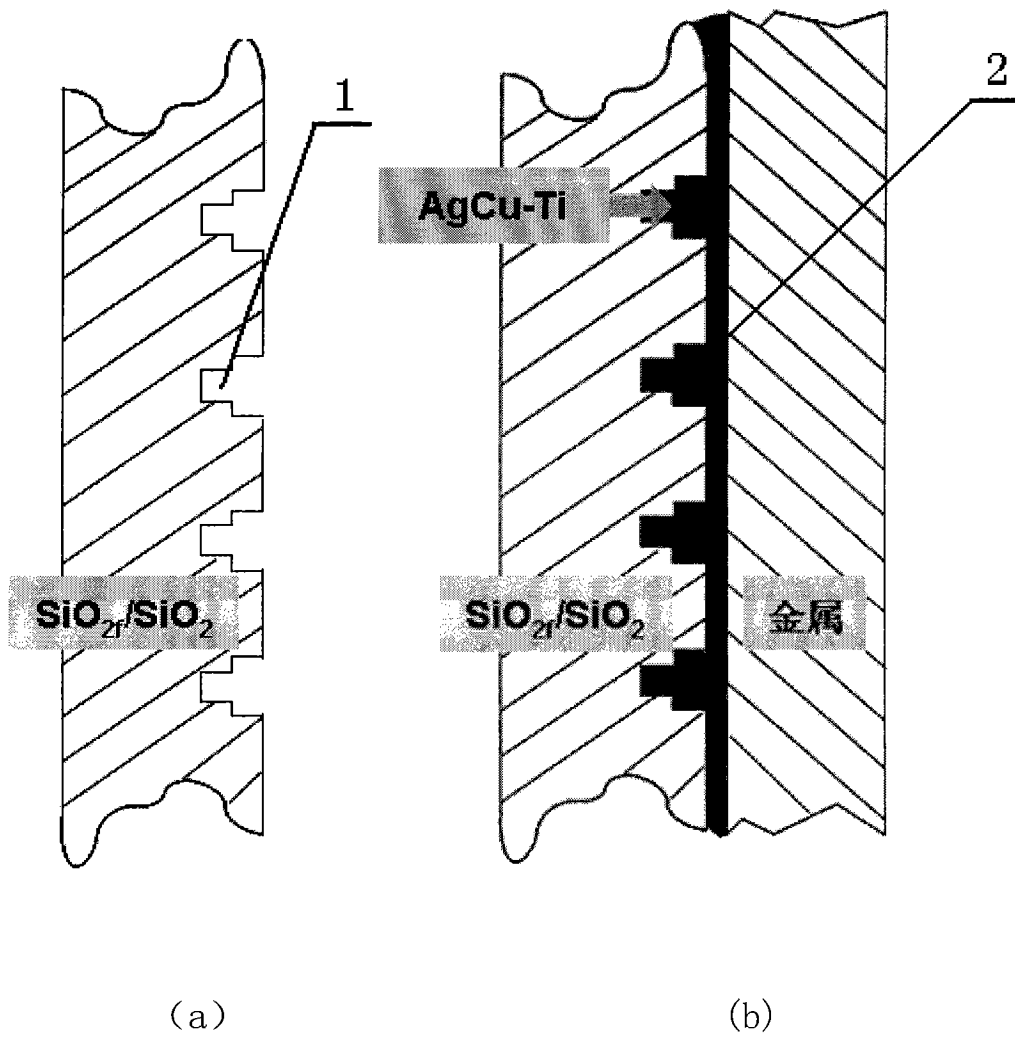


图 3

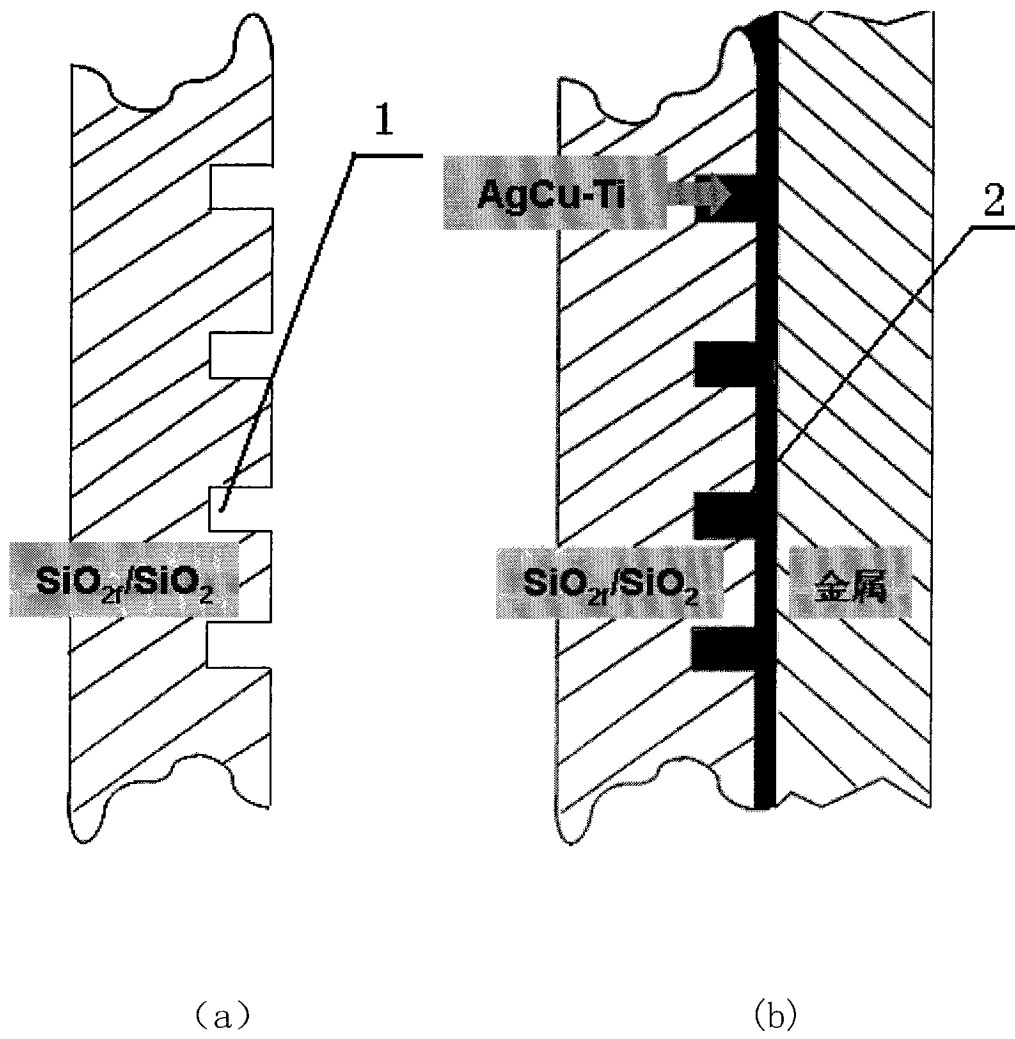


图 4

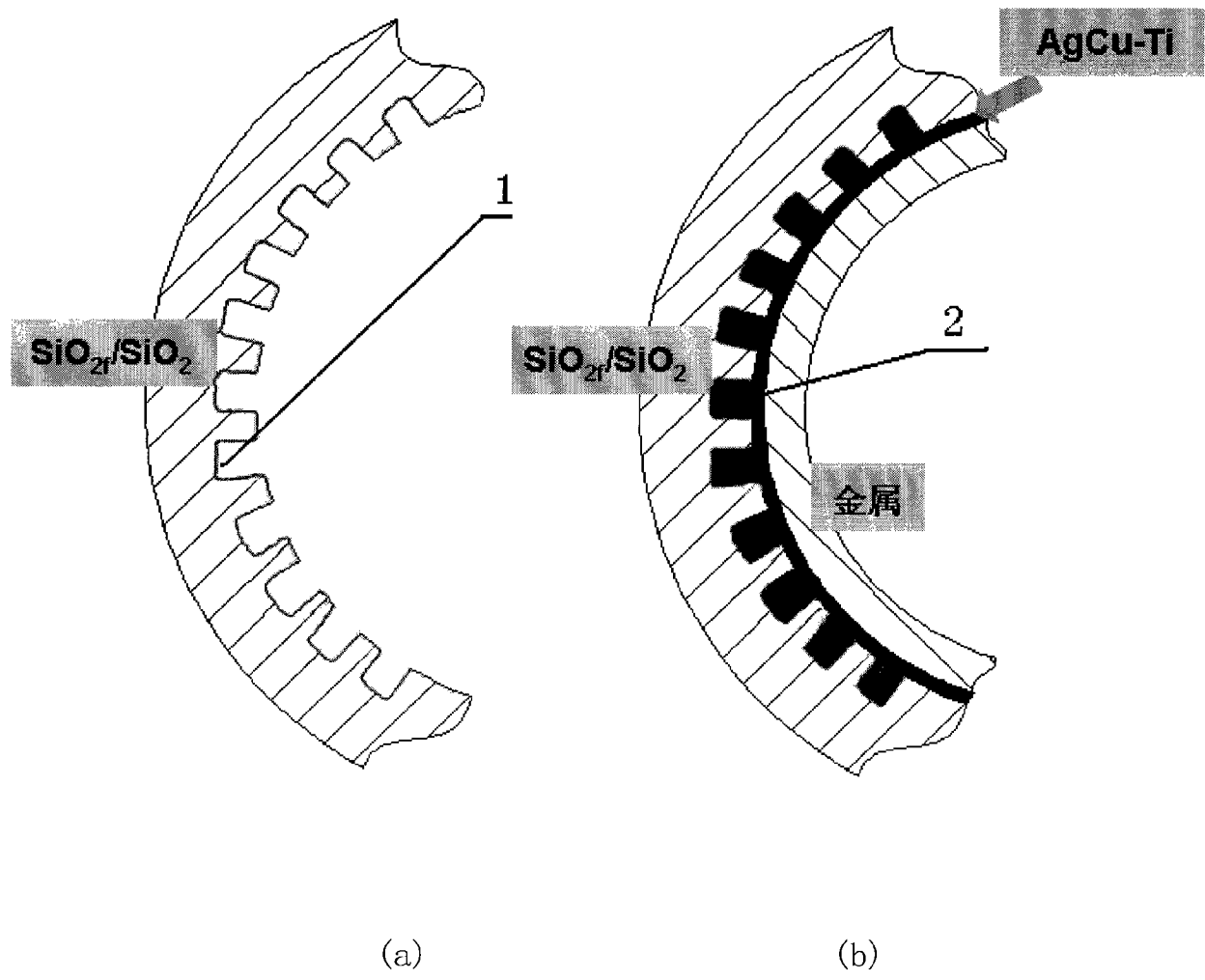


图 5