



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104995731 A

(43) 申请公布日 2015. 10. 21

(21) 申请号 201480009406. 4

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2014. 03. 25

H01L 23/373(2006. 01)

(30) 优先权数据

B23K 35/26(2006. 01)

2013-070823 2013. 03. 29 JP

G22C 13/00(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 08. 19

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2014/058238 2014. 03. 25

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/157178 JA 2014. 10. 02

(71) 申请人 三菱综合材料株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 大桥东洋 长友义幸

(74) 专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司

11018

代理人 康泉 王珍仙

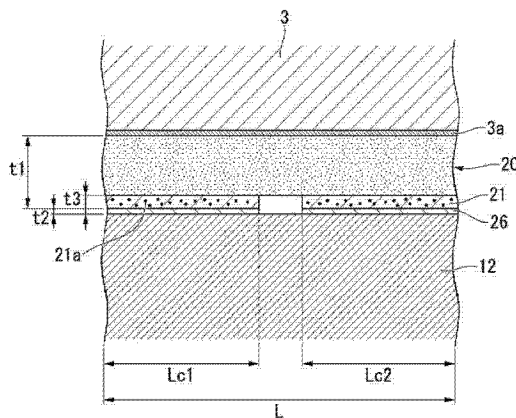
权利要求书1页 说明书15页 附图9页

(54) 发明名称

功率模块

(57) 摘要

本发明提供一种功率模块,其具备:在绝缘层的一面配设电路层(12)的功率模块用基板;及接合在所述电路层(12)上的半导体元件(3),其中,在所述电路层(12)中的与所述半导体元件(3)之间的接合面,设有由铜或铜合金构成的铜层,在所述电路层(12)和所述半导体元件(3)之间,设有用焊接材料形成的焊接层(20),在所述焊接层(20)中的与所述电路层(12)之间的界面形成有合金层(21),该合金层(21)含有Sn作为主要成分,且含有0.5质量%以上且10质量%以下的Ni、及30质量%以上且40质量%以下的Cu,所述界面中的所述合金层(21)的覆盖率为85%以上。



1. 一种功率模块,其具备:在绝缘层的一面配设有电路层的功率模块用基板;及接合在所述电路层上的半导体元件,所述功率模块的特征在于,

在所述电路层中的与所述半导体元件之间的接合面,设有由铜或铜合金构成的铜层,

在所述电路层和所述半导体元件之间,设有用焊接材料形成的焊接层,

在所述焊接层中的与所述电路层之间的界面形成有合金层,该合金层含有 Sn 作为主要成分,且含有 0.5 质量%以上且 10 质量%以下的 Ni 及 30 质量%以上且 40 质量%以下的 Cu,

所述界面中的所述合金层的覆盖率为 85%以上。

2. 根据权利要求 1 所述的功率模块,其中,

在功率循环测试中,在施加 10 万次以通电时间为 5 秒、温度差为 80℃作为条件的功率循环荷载时的热阻上升率小于 10%。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的功率模块,其中,

所述合金层的厚度在 2 μm 以上且 20 μm 以下的范围内。

4. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的功率模块,其中,

所述合金层具有由 $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 构成的金属间化合物。

功率模块

技术领域

[0001] 本发明涉及一种利用焊接材料接合了设置有由铜或铜合金构成的铜层的电路层和半导体元件的功率模块。

[0002] 本申请对 2013 年 3 月 29 日于日本申请的专利申请 2013-070823 号主张优先权，将其内容援用于本说明书中。

背景技术

[0003] 例如专利文献 1、2 所示，所述功率模块具备：在绝缘基板的一面接合了成为电路层的金属板而成的功率模块用基板；及搭载于电路层上的功率元件（半导体元件）。

[0004] 并且，为了释放来自功率元件（半导体元件）的热量，有时在功率模块用基板的另一面侧配设散热板或冷却器等散热器。在该情况下，为了缓解绝缘基板与散热板或冷却器等散热器之间的热膨胀系数所引起热应力，功率模块用基板中构成为在绝缘基板的另一面接合成为金属层的金属板，且使该金属层与所述散热板或冷却器等散热器接合。

[0005] 在所述功率模块中，电路层和功率元件（半导体元件）通过焊接材料来接合。

[0006] 在此，当电路层由铝或铝合金构成时，例如专利文献 3 所公开的那样，需要在电路层的表面通过电镀等方法形成 Ni 电镀膜，并在该 Ni 电镀膜上配设焊接材料来接合半导体元件。

[0007] 另外，当电路层由铜或铜合金构成时，也需要在电路层的表面形成 Ni 电镀膜，并在该 Ni 电镀膜上配设焊接材料来接合半导体元件。

[0008] 专利文献 1：日本专利公开 2002 - 076551 号公报

[0009] 专利文献 2：日本专利公开 2008 - 227336 号公报

[0010] 专利文献 3：日本专利公开 2004 - 172378 号公报

[0011] 但是，对专利文献 3 中记载的在由铝或铝合金构成的电路层的表面形成 Ni 电镀膜并焊接接合半导体元件的功率模块施加功率循环荷载时，焊料可能会出现龟裂，会导致热阻上升。

[0012] 另外，对在由铜或铜合金构成的电路层的表面焊接接合半导体元件的功率模块也施加功率循环荷载时，焊料也可能出现龟裂，也会导致热阻上升。

[0013] 近年来，为了控制风力发电或电动汽车及电动车辆等，需要在所述功率模块等中搭载更大功率控制用功率元件，因此，与以往相比，需要进一步提高相对于功率循环的可靠性。

发明内容

[0014] 本发明鉴于上述情况完成，其目的在于提供一种即使施加有功率循环荷载也能够抑制焊接层发生破坏且可靠性较高的功率模块。

[0015] 本发明人们深入研究的结果确认，对在由铜或铜合金构成的电路层的表面焊接接合半导体元件的功率模块施加功率循环荷载时，如果在电路层和焊接层之间的界面产生龟

裂,则该龟裂会延伸到焊接层内部,焊接层在早期就会被破坏。并且明确了,在焊接层和电路层之间的界面中的含有 Ni、Cu 的合金层的形成区域,上述龟裂的发生得到了抑制。

[0016] 本发明鉴于上述见解而完成,本发明的一方式的功率模块具备:在绝缘层的一面配设有电路层的功率模块用基板;及接合在所述电路层上的半导体元件,其中,在所述电路层中的与所述半导体元件之间的接合面,设有由铜或铜合金构成的铜层,在所述电路层和所述半导体元件之间,设有用焊接材料形成的焊接层,在所述焊接层中的与所述电路层之间的界面形成有合金层,该合金层含有 Sn 作为主要成分,且含有 0.5 质量%以上且 10 质量%以下的 Ni 及 30 质量%以上且 40 质量%以下的 Cu,所述界面中的所述合金层的覆盖率为 85%以上。

[0017] 根据上述结构的功率模块,在与半导体元件之间的接合面设有铜层的所述电路层和所述半导体元件之间形成的焊接层中的与所述电路层(铜层)之间的界面上,形成有合金层,该合金层含有 Sn 作为主要成分,且含有 0.5 质量%以上且 10 质量%以下的 Ni、及 30 质量%以上且 40 质量%以下的 Cu,所述界面中的所述合金层的覆盖率为 85%以上,因此,能够抑制电路层(铜层)和焊接层之间的界面中产生龟裂,能够获得可靠性较高的功率模块。即,由于焊接层和电路层(铜层)之间的界面的 85%以上被所述合金层覆盖,因此能够充分抑制使焊接层破坏的龟裂的产生。另外,为了可靠地实现上述作用效果,所述界面中的所述合金层的覆盖率优选为 90%以上,最优选为 100%。

[0018] 在此,当合金层中的 Ni 含量低于 0.5 质量%时,合金层的热稳定性变差,有可能成为焊接层破坏的起始点。另一方面,当合金层中的 Ni 含量超过 10 质量%时,会生成 Ni_3Sn_4 等热稳定性较差的金属间化合物,有可能成为焊接层破坏的起始点。

[0019] 另外,当合金层中的 Cu 含量低于 30 质量%时,合金层的形成不够充分,导致热稳定性变差,有可能成为焊接层破坏的起始点。另一方面,当合金层中的 Cu 含量超过 40 质量%时,合金层本身有可能成为焊接层破坏的起始点。

[0020] 根据以上情况,将合金层中的 Ni 的含量设为 0.5 质量%以上且 10 质量%以下,将 Cu 的含量设为 30 质量%以上且 40 质量%以下。

[0021] 另外,在功率循环测试中,优选在施加 10 万次以通电时间为 5 秒、温度差为 80°C 作为条件的功率循环荷载时的热阻上升率小于 10%。

[0022] 在这种情况下,即使反复施加功率循环荷载,也不会出现焊接层早期就被破坏的现象,能够实现提高相对于功率循环的可靠性。另外,所述功率循环测试的条件为焊接层承受最大荷载的条件,因此,如果以该条件施加 10 万次功率循环荷载时的热阻上升率低于 10%,则在通常使用中能够获得充分的可靠性。

[0023] 而且,所述合金层的厚度优选在 2 μm 以上且 20 μm 以下的范围内。

[0024] 在这种情况下,由于被覆盖的部位中所述合金层的厚度为 2 μm 以上,因此焊接层和电路层(铜层)之间的界面得到充分的加强,从而能够可靠地抑制界面中产生龟裂的现象。另一方面,由于所述合金层的厚度为 20 μm 以下,因此能够抑制合金层中产生裂纹的现象。所以,能够可靠地抑制焊接层的破坏,能够得到可靠性优异的功率模块。

[0025] 并且,所述合金层优选具有由 $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 构成的金属间化合物。

[0026] 在这种情况下,由于具有由 $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 构成的金属间化合物,因此能够充分强化焊接层和电路层(铜层)之间的界面,从而能够可靠地抑制界面中产生龟裂的现象,并且能

够可靠地抑制施加功率循环荷载时焊接层被破坏。

[0027] 根据本发明能够提供一种即使施加有功率循环荷载也能够抑制焊接层早期被破坏的现象且可靠性较高的功率模块。

附图说明

[0028] 图 1 是本发明的第一实施方式的功率模块的示意说明图。

[0029] 图 2 是图 1 中的电路层和半导体元件之间的接合部分的放大说明图。

[0030] 图 3 是表示图 1 的功率模块的制造方法的流程图。

[0031] 图 4 是图 3 所示的功率模块的制造方法中的半导体元件接合工序的说明图。

[0032] 图 5 是本发明的第二实施方式的功率模块的示意说明图。

[0033] 图 6 是图 5 中的铜层和铝层之间的接合界面的放大说明图。

[0034] 图 7 是 Cu 和 Al 的二元状态图。

[0035] 图 8 是图 5 中的电路层（铜层）和半导体元件之间的接合部分的放大说明图。

[0036] 图 9 是表示图 5 的功率模块的制造方法的流程图。

[0037] 图 10 是功率模块中的焊接层的 SEM 观察结果以及 EPMA 元素映射结果。

具体实施方式

[0038] 下面,参照附图对本发明的实施方式的功率模块进行说明。

[0039] (第一实施方式)

[0040] 图 1 中示出本发明的第一实施方式的功率模块 1。该功率模块 1 具备:在绝缘基板(绝缘层)11 的一面配设有电路层 12 的功率模块用基板 10;及搭载于电路层 12 上(在图 1 中为上面)的半导体元件 3。另外,在本实施方式的功率模块 1 中,在绝缘基板 11 的另一面侧(在图 1 中为下面)接合有散热器 41。

[0041] 功率模块用基板 10 具备:构成绝缘层的绝缘基板 11;配设在该绝缘基板 11 的一面(图 1 中为上面)的电路层 12;及配设在该绝缘基板 11 的另一面(图 1 中的下面)的金属层 13。

[0042] 绝缘基板 11 用于防止电路层 12 和金属层 13 之间的电连接,例如由 AlN(氮化铝)、 Si_3N_4 (氮化硅)、 Al_2O_3 (氧化铝)等绝缘性较高的陶瓷构成,在本实施方式中,由绝缘性较高的 AlN(氮化铝)构成。并且,绝缘基板 11 的厚度设在例如 0.2mm 以上且 1.5mm 以下的范围内,在本实施方式中设为 0.635mm。

[0043] 通过在绝缘基板 11 的一面上接合具有导电性的金属板,从而形成电路层 12。在本实施方式中,通过将由无氧铜的轧制板构成的铜板接合在绝缘基板 11,从而形成电路层 12。

[0044] 在本实施方式中,整个电路层 12 相当于设置在与半导体元件 3 之间的接合面的由铜或铜合金构成的铜层。在此,电路层 12 的厚度(铜板的厚度)优选设定在 0.1mm 以上且 1.0mm 以下的范围内。

[0045] 金属层 13 通过在绝缘基板 11 的另一面上接合金属板而形成。在本实施方式中,金属层 13 通过将由纯度为 99.99 质量%以上的铝(所谓的 4N 铝)的轧制板构成的铝板接合在绝缘基板 11 上而形成。在此,金属层 13(铝板)的厚度优选设在 0.6mm 以上且 3.0mm

以下的范围内。

[0046] 散热器 41 用于冷却上述功率模块用基板 10, 且具备: 与功率模块用基板 10 接合的顶板部 42; 及供冷却介质(例如冷却水)流通的通道 43。该散热器 41(顶板部 42) 优选由导热性良好的材料构成, 在本实施方式中, 由 A6063(铝合金) 构成。

[0047] 半导体元件 3 由 Si 等半导体材料构成, 如图 2 所示, 在半导体元件 3 与电路层 12 之间的接合面形成有由 Ni、Au 等构成的表面处理膜 3a。

[0048] 并且, 在本实施方式的功率模块 1 中, 电路层 12 和半导体元件 3 被焊接接合, 从而在电路层 12 和半导体元件 3 之间形成有焊接层 20。另外, 在本实施方式中, 焊接层 20 的厚度 t_1 设在 $50\ \mu\text{m}$ 以上且 $200\ \mu\text{m}$ 以下的范围内。

[0049] 如图 4 所示, 该焊接层 20 由 Sn-Cu-Ni 系的焊接材料 30 形成, 在本实施方式中使用 Sn-0.1 ~ 4 质量% Cu-0.01 ~ 1 质量% Ni 的焊接材料 30。

[0050] 在此, 如图 2 所示, 在电路层 12 的表面形成有金属间化合物层 26, 在该金属间化合物层 26 之上层叠配置有焊接层 20。在此, 金属间化合物层 26 是 Cu 和 Sn 的金属间化合物 (Cu_3Sn)。并且, 金属间化合物层 26 的厚度 t_2 设为 $0.8\ \mu\text{m}$ 以下。

[0051] 并且, 在焊接层 20 中的与电路层 12 之间的界面形成有合金层 21, 该合金层 21 由如下组分构成: 含有 Sn 作为主要成分, 并且含有 0.5 质量% 以上且 10 质量% 以下的 Ni、30 质量% 以上且 40 质量% 以下的 Cu。该合金层 21 的厚度 t_3 设在 $2\ \mu\text{m}$ 以上且 $20\ \mu\text{m}$ 以下的范围内。

[0052] 另外, 在本实施方式中, 合金层 21 具有由 $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 构成的金属间化合物 21a。

[0053] 并且, 在本实施方式的功率模块 1 中, 电路层 12 和焊接层 20 之间的界面中的合金层 21 覆盖率设为 85% 以上。另外, 在本实施方式中, 如图 2 所示, 在未形成合金层 21 的区域中, 也未形成金属间化合物层 26。

[0054] 在此, 如图 2 所示, 在观察电路层 12 及焊接层 20 的截面时, 界面中的合金层 21 的覆盖率为所观察到的被合金层 21 覆盖的界面长度 $L_c (= L_{c1} + L_{c2})$ 与整个界面的长度 L 之比 L_c/L 。

[0055] 而且, 本实施方式的功率模块 1 构成为: 在功率循环测试中, 在施加 10 万次以通电时间为 5 秒、温度差为 80°C 作为条件的功率循环荷载时的热阻上升率小于 10%。

[0056] 具体而言, 将 IGBT 元件作为半导体元件 3 锡焊于电路层 12, 并且焊接由铝合金构成的连接配线。而且, 将 IGBT 元件的通电调整为, 每隔 10 秒重复通电 (ON) 时的元件表面温度成为 140°C 、断电 (OFF) 时的元件表面温度成为 60°C 的一个循环, 在重复 10 万次该功率循环之后的热阻上升率小于 10%。

[0057] 下面, 参照图 3 及图 4 对本实施方式的功率模块的制造方法进行说明。

[0058] 首先, 将成为电路层 12 的铜板和绝缘基板 11 进行接合(电路层形成工序 S01)。其中, 例如可以通过所谓的活性金属钎焊法来实施绝缘基板 11 和成为电路层 12 的铜板的接合。在本实施方式中, 使用由 Ag-27.4 质量% Cu-2.0 质量% Ti 构成的活性钎料。

[0059] 通过在绝缘基板 11 的一面上经由活性钎料层叠成为电路层 12 的铜板, 对绝缘基板 11、铜板沿层叠方向以例如 $1\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上且 $35\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以下 ($9.8 \times 10^4\text{Pa}$ 以上且 $343 \times 10^4\text{Pa}$ 以下) 的范围进行加压, 并以该状态装入加热炉内进行加热, 使成为电路层 12 的铜板和绝缘基板 11 接合。其中, 加热温度设为例如 850°C , 加热时间设为例如 10 分钟。

[0060] 接着,在绝缘基板 11 的另一面侧接合成为金属层 13 的铝板(金属层形成工序 S02)。经由钎料层叠绝缘基板 11 和铝板,并通过钎焊来接合绝缘基板 11 和铝板。此时,作为钎料,例如可以使用厚度为 20 ~ 110 μm 的 Al-Si 系钎料箔,钎焊温度优选设为例如 600 ~ 620 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0061] 由此制造功率模块用基板 10。

[0062] 然后,在金属层 13 的另一面侧接合散热器 41(散热器接合工序 S03)。经由钎料层叠金属层 13 和散热器 41 的顶板部 42,并通过钎焊来接合金属层 13 和散热器 41。

[0063] 此时,作为钎料,例如可以使用厚度为 20 ~ 110 μm 的 Al-Si 系钎料箔,钎焊温度优选设为例如 590 $^{\circ}\text{C}$ ~ 610 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0064] 接着,在电路层 12 上接合半导体元件 3(半导体元件接合工序 S04)。如图 3 所示,该半导体元件接合工序 S04 具有:电路层表面清洗工序 S41;Ni 电镀膜形成工序 S42;层叠工序 S43;焊接接合工序 S44。

[0065] 在电路层表面清洗工序 S41 中,首先,对电路层 12 的表面进行碱洗。碱洗中的清洗液可以使用例如 5 质量%的氢氧化钠水溶液等。然后,用纯净水水洗,之后进行酸洗。酸洗中的清洗液可以使用过氧化氢水溶液和硫酸的混合液等。之后,用纯净水水洗。

[0066] 接着,如图 4 所示,在电路层 12 的表面形成厚度约为 0.2 μm 的薄的 Ni 电镀膜 31(Ni 电镀膜形成工序 S42)。

[0067] 然后,在该 Ni 电镀膜 31 上,经由 Sn-0.1 ~ 4 质量% Cu-0.01 ~ 1 质量% Ni 的焊接材料 30 层叠半导体元件 3(层叠工序 S43)。

[0068] 以层叠有半导体元件 3 的状态装入还原炉内,使电路层 12 和半导体元件 3 焊接接合(焊接接合工序 S44)。此时,还原炉内被设为例如氢 1 ~ 10 体积%的还原气氛,并且加热温度设为例如 280 ~ 330 $^{\circ}\text{C}$,保持时间设为例如 0.5 ~ 2 分钟。并且,冷却至室温的冷却速度设为例如平均 2 ~ 3 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的范围内。

[0069] 由此,在电路层 12 和半导体元件 3 之间形成焊接层 20,从而制造出本实施方式的功率模块 1。

[0070] 此时,形成在电路层 12 的表面的 Ni 电镀膜 31 中的 Ni 向焊接材料 30 侧扩散,导致 Ni 电镀膜 31 消失。

[0071] 并且,电路层 12 的 Cu 向焊接材料 30 侧扩散,从而在焊接层 20 中的与电路层 12 之间的界面形成合金层 21。此外,合金层 21 由如下组分构成:含有 Sn 作为主要成分,并且含有 0.5 质量%以上且 10 质量%以下的 Ni、及 30 质量%以上且 40 质量%以下的 Cu。

[0072] 并且,在电路层 12 和焊接层 20 之间的界面中的合金层 21 的覆盖率为 85%以上。

[0073] 在上述结构的本实施方式的功率模块 1 中,在焊接层 20 中的与电路层 12 之间的界面形成有合金层 21,该合金层 21 含有 Sn 作为主要成分,并且含有 0.5 质量%以上且 10 质量%以下的 Ni、及 30 质量%以上且 40 质量%以下的 Cu,而且该界面中的合金层 21 的覆盖率为 85%以上,因此,能够抑制在电路层 12 和焊接层 20 之间的界面上产生龟裂,从而能够获得可靠性高的功率模块 1。

[0074] 另外,由于合金层 21 含有 0.5 质量%以上且 10 质量%以下范围内的 Ni,因此合金层 21 由热稳定的金属间化合物构成,能够可靠地抑制焊接层 20 被破坏。

[0075] 而且,由于合金层 21 含有 30 质量%以上且 40 质量%以下范围内的 Cu,因此能够使界面中的合金层 21 的覆盖率成为 85%以上,并且能够抑制合金层 21 本身成为破坏的起始点。

[0076] 另外,本实施方式的功率模块 1 构成为,在以 5 秒的通电时间、80℃的温度差作为条件进行功率循环测试的情况下,热阻上升率超过 10%时的循环次数为 10 万次以上,因此,即使是在施加功率循环荷载的期间,也能够实现可靠性的提高,而不会破坏焊接层 20。

[0077] 而且,在本实施方式的功率模块 1 中,由于覆盖部位的合金层 21 的厚度在 2 μm 以上且 20 μm 以下的范围内,因此,焊接层 20 和电路层 12 之间的界面充分被强化,从而能够可靠地抑制在界面产生龟裂,并且能够抑制在合金层 21 的内部产生的裂纹。由此,能够可靠地抑制焊接层 20 的破坏,从而能够获得可靠性优异的功率模块 1。

[0078] 此外,在本实施方式的功率模块 1 中,合金层 21 具有由 (Cu,Ni)₆Sn₅ 构成的金属间化合物 21a,在该合金层 21 和电路层 12 之间形成有由 Cu₃Sn 构成的金属间化合物层 26,因此,能够充分强化焊接层 20 和电路层 12 之间的界面。因此,能够可靠地抑制在界面产生龟裂,能够可靠地抑制施加功率循环荷载时焊接层 20 被破坏。

[0079] 此外,在本实施方式中,在电路层 12 的表面形成有厚度为 0.2 μm 以下的薄的 Ni 电镀膜 31,因此,在焊接接合了半导体元件 3 时,Ni 电镀膜 31 不会残留,且不会抑制电路层 12 的 Cu 向焊接材料 30 侧扩散。因此,能够在焊接层 20 中的与电路层 12 之间的界面上形成合金层 21,能够可靠地使焊接层 20 和电路层 12 之间的界面上的合金层 21 的覆盖率成为 85%以上。

[0080] (第二实施方式)

[0081] 接着,参照附图对本发明的第二实施方式的功率模块进行说明。另外,对与第一实施方式相同的部件标注相同的符号并省略其详细说明。

[0082] 在图 5 中,示出了本发明的第二实施方式的功率模块 101。该功率模块 101 具备:在绝缘基板(绝缘层)11 的一面形成有电路层 112 的功率模块用基板 110;及搭载于电路层 112(在图 5 中为上面)上的半导体元件 3。

[0083] 功率模块用基板 110 具备:构成绝缘层的绝缘基板 11;配设在该绝缘基板 11 的一面(在图 5 中为上面)的电路层 112;及配设在绝缘基板 11 的另一面(在图 5 中为下面)的金属层 13。

[0084] 如图 5 所示,电路层 112 具备:形成在绝缘基板 11 的一面的铝层 112A;及层叠在该铝层 112A 的一面侧的铜层 112B。

[0085] 其中,在本实施方式中,通过将纯度为 99.99 质量%以上的铝的轧制板接合而形成铝层 112A。另外,通过将由无氧铜的轧制板构成的铜板固相扩散接合在铝层 112A 的一面侧而形成铜层 112B。

[0086] 该电路层 112 的一面(在图 5 中为上面)构成使半导体元件 3 接合的接合面。其中,优选将电路层 112 的厚度设为例如 0.25mm 以上且 6.0mm 以下的范围内。另外,优选将铝层 112A(铝板)的厚度设为例如 0.2mm 以上且 3mm 以下的范围内,优选将铜层 112B 的厚度设为例如 50 μm 以上且 3.0mm 以下的范围内。

[0087] 在此,如图 6 所示,在铝层 112A 和铜层 112B 之间的界面形成有扩散层 115。

[0088] 扩散层 115 通过铝层 112A 的 Al 的原子和铜层 112B 的 Cu 原子相互扩散而形成。

在该扩散层 115 中,具有如下浓度梯度,即随着从铝层 112A 朝向铜层 112B,铝原子的浓度逐渐降低,且铜原子的浓度逐渐变高。

[0089] 如图 6 所示,该扩散层 115 由金属间化合物构成,该金属间化合物由 Al 和 Cu 构成,在本实施方式中为多个金属间化合物沿接合界面层叠的结构。其中,该扩散层 115 的厚度设在 $1\ \mu\text{m}$ 以上且 $80\ \mu\text{m}$ 以下的范围内,优选设在 $5\ \mu\text{m}$ 以上且 $80\ \mu\text{m}$ 以下的范围内。

[0090] 如图 6 所示,本实施方式构成为,从铝层 112A 侧朝向铜层 112B 侧且沿着铝层 112A 和铜层 112B 之间的接合界面,依次层叠有 θ 相 116、 η_2 相 117,并且还层叠有 ζ_2 相 118a、 δ 相 118b 及 γ_2 相 118c 中的至少一种相(参照图 7 的状态图)。

[0091] 并且,在本实施方式中,沿着铜层 112B 和扩散层 115 之间的界面,氧化物 119 层状分散在由 ζ_2 相 118a、 δ 相 118b 或 γ_2 相 118c 中的至少一种相构成的层的内部。另外,该氧化物 119 为氧化铝 (Al_2O_3) 等铝氧化物。

[0092] 并且,在本实施方式的功率模块 101 中,电路层 112(铜层 112B) 和半导体元件 3 被焊接接合,在电路层 112(铜层 112B) 和半导体元件 3 之间形成有焊接层 20。另外,在本实施方式中,焊接层 20 的厚度 t_1 设在 $50\ \mu\text{m}$ 以上且 $200\ \mu\text{m}$ 以下的范围内。

[0093] 与第一实施方式相同,该焊接层 20 由 Sn-Cu-Ni 系的焊接材料形成,在本实施方式中使用 Sn-0.1 ~ 4 质量% Cu-0.01 ~ 1 质量% Ni 的焊接材料。

[0094] 在此,如图 8 所示,在电路层 112(铜层 112B) 的表面形成有金属间化合物层 26,在该金属间化合物层 26 上层叠配置有焊接层 20。该金属间化合物层 26 为 Cu 和 Sn 的金属间化合物 (Cu_3Sn)。另外,金属间化合物层 26 的厚度 t_2 设为 $0.8\ \mu\text{m}$ 以下。

[0095] 在焊接层 20 中的与电路层 112(铜层 112B) 之间的界面形成有合金层 21,该合金层由如下组分构成:含有 Sn 作为主要成分,并且含有 0.5 质量% 以上且 10 质量% 以下的 Ni、及 30 质量% 以上且 40 质量% 以下的 Cu,该合金层 21 的厚度 t_3 设在 $2\ \mu\text{m}$ 以上且 $20\ \mu\text{m}$ 以下的范围内。

[0096] 其中,在本实施方式中,合金层 21 具有由 $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 构成的金属间化合物 21a。

[0097] 而且,在本实施方式的功率模块 101 中,电路层 112(铜层 112B) 和焊接层 20 之间的界面中的合金层 21 的覆盖率设为 85% 以上。另外,在本实施方式中,如图 8 所示,在未形成合金层 21 的区域也没有形成金属间化合物层 26。

[0098] 在此,如图 8 所示,在观察电路层 112(铜层 112B) 及焊接层 20 的截面时,界面中的合金层 21 的覆盖率为所观察到的被合金层 21 覆盖的界面长度 $L_c (= L_{c1} + L_{c2})$ 与整个界面的长度 L 之比 L_c/L 。

[0099] 而且,本实施方式的功率模块 101 构成为:在功率循环测试中,在施加 10 万次以通电时间为 5 秒、温度差为 80°C 作为条件的功率循环荷载时的热阻上升率小于 10%。

[0100] 下面,利用图 9 的流程图,对本实施方式的功率模块 101 的制造方法进行说明。

[0101] 首先,将铝板接合于绝缘基板 11 的一面及另一面,形成铝层 112A 和金属层 13(铝层及金属层形成工序 S101)。

[0102] 经由钎料将绝缘基板 11 和铝板进行层叠,并且通过钎焊来接合绝缘基板 11 和铝板。此时,作为钎料可以使用例如厚度为 $20 \sim 110\ \mu\text{m}$ 的 Al-Si 系钎料箔,钎焊温度优选为 $600 \sim 620^\circ\text{C}$ 。

[0103] 接着,将铜板接合在铝层 112A 的一面上而形成铜层 112B(铜层形成工序 S102)。

[0104] 将铜板上层叠在铝层 112A 上,并对其层叠方向加压(例如,以 $3 \sim 35\text{kgf/cm}^2$ 的压力范围加压),并以该状态装入真空加热炉中进行加热,从而使铝层 112A 和铜板固相扩散接合。在此,在铜层形成工序 S102 中,加热温度设为例如 400°C 以上且 548°C 以下,加热时间设为例如 15 分钟以上且 270 分钟以下。另外,在对铝层 112A 和铜板进行固相扩散接合时,优选将加热温度设为从比 Al 和 Cu 的共晶温度 (548.8°C) 低 5°C 的温度至低于共晶温度的温度范围。

[0105] 通过该铜层形成工序 S102,在绝缘基板 11 的一面形成由铝层 112A 和铜层 112B 构成的电路层 112。

[0106] 接着,在电路层 112(铜层 112B) 上接合半导体元件 3(半导体元件接合工序 S104)。如图 9 所示,半导体元件接合工序 S104 具有:电路层表面清洗工序 S141;Ni 电镀膜形成工序 S142;层叠工序 S143;及焊接接合工序 S144。

[0107] 在电路层表面清洗工序 S141 中,首先,对电路层 112(铜层 112B) 的表面进行碱洗。碱洗的清洗液可以使用例如 5 质量%的氢氧化钠水溶液等。然后,用纯净水水洗后,进行酸洗。酸洗的清洗液可以使用过氧化氢水溶液和硫酸的混合液等。之后,用纯净水水洗。

[0108] 接着,在电路层 112(铜层 112B) 的表面形成厚度约为 $0.2\ \mu\text{m}$ 的薄的 Ni 电镀膜(Ni 电镀膜形成工序 S142)。

[0109] 然后,在该 Ni 电镀膜上,经由 Sn-0.1 ~ 4 质量% Cu-0.01 ~ 1 质量% Ni 的焊接材料层叠半导体元件 3(层叠工序 S143)。

[0110] 以层叠有半导体元件 3 的状态装入还原炉内,使电路层 112(铜层 112B) 和半导体元件 3 焊接接合(焊接接合工序 S144)。此时,还原炉内被设为例如氢 1 ~ 10 体积%的还原气氛,并且加热温度设为例如 $280 \sim 330^\circ\text{C}$,保持时间设为例如 0.5 ~ 2 分钟。并且,冷却至室温的冷却速度设为例如平均 $2 \sim 3^\circ\text{C/s}$ 的范围内。

[0111] 由此,在电路层 112(铜层 112B) 和半导体元件 3 之间形成焊接层 20,从而制造出本实施方式的功率模块 101。

[0112] 此时,形成在电路层 112(铜层 112B) 的表面的 Ni 电镀膜中的 Ni 向焊接材料侧扩散,导致 Ni 电镀膜消失。

[0113] 并且,电路层 112(铜层 112B) 的 Cu 向焊接材料侧扩散,从而在焊接层 20 中的与电路层 112(铜层 112B) 之间的界面形成合金层 21。此外,合金层 21 由如下组分构成:含有 Sn 作为主要成分,并且含有 0.5 质量%以上且 10 质量%以下的 Ni、及 30 质量%以上且 40 质量%以下的 Cu。

[0114] 并且,电路层 112(铜层 112B) 与焊接层 20 之间的界面中的合金层 21 的覆盖率为 85%以上。

[0115] 在上述结构的本实施方式的功率模块 101 中,能够发挥与第一实施方式相同的作用效果。

[0116] 并且,在本实施方式中,由于电路层 112 具有铜层 112B,因而能够使从半导体元件 3 中产生的热量在铜层 112B 向面方向扩散,能够有效地向功率模块用基板 110 侧传递热量。

[0117] 并且,由于在绝缘基板 11 的一面形成有变形阻力较小的铝层 112A,因此能够由该铝层 112A 吸收施加热循环荷载时产生的热应力,能够抑制绝缘基板 11 的破裂。

[0118] 并且,由于在电路层 112 的一面侧形成有变形阻力较大的由铜或铜合金构成的铜

层 112B,因此在施加功率循环荷载时,能够抑制电路层 112 变形,从而能够获得针对功率循环的较高可靠性。

[0119] 而且,在本实施方式中,铝层 112A 和铜层 112B 固相扩散接合,且该固相扩散接合时的温度设为 400℃ 以上,因此,能够促进 Al 原子和 Cu 原子的扩散,能够在短时间内充分地固相扩散。此外,由于固相扩散接合时的温度设为 548℃ 以下,因而不会产生 Al 和 Cu 的液相,能够抑制在铝层 112A 和铜层 112B 之间的接合界面产生鼓包,或厚度发生改变。

[0120] 另外,若将上述固相扩散接合的加热温度设为从比 Al 和 Cu 的共晶温度(548.8℃)低 5℃ 的温度至低于共晶温度的范围,则能够抑制 Al 和 Cu 的化合物产生必要以上的量,并且能够确保固相扩散接合时的扩散速度,能够在较短的时间内进行固相扩散接合。

[0121] 以上,对本发明的实施方式进行了说明,但本发明并不限于此,可以在不脱离本发明的技术思想的范围内进行适当地变更。

[0122] 例如,在本实施方式中,对金属层由纯度为 99.99 质量% 以上的 4N 铝构成的情况进行了说明,但并不限于此,可以由其它的铝或铝合金构成,也可以由铜或铜合金构成。

[0123] 另外,在本实施方式中,举例说明了成为电路层的金属板为无氧铜的轧制板的情况,但并不限于此,可以由其它的铜或铜合金构成。并且,只要是电路层中的与半导体元件之间的接合面由铜或铜合金构成即可。

[0124] 而且,对作为绝缘层使用由 AlN 构成的绝缘基板的情况进行了说明,但并不限于此,也可以使用由 Al₂O₃、Si₃N₄ 等构成的绝缘基板。

[0125] 此外,对通过活性金属钎焊法接合绝缘基板和成为电路层的铜板的情况进行了说明,但并不限于此,也可以通过 DBC 法,铸造法等进行接合。

[0126] 并且,对通过钎焊来接合绝缘基板和成为金属层的铝板的情况进行了说明,但并不限于此,也可以使用瞬间液相连接法(Transient Liquid Phase Bonding),金属膏法(金属ペースト法),铸造法等。

[0127] 而且,焊接材料的组分并不限于本实施方式,只要焊接接合后形成的合金层组分为含有 Sn 作为主要成分,并且含有 0.5 质量% 以上且 10 质量% 以下的 Ni、及 30 质量% 以上且 40 质量% 以下的 Cu 即可。

[0128] 此外,对配设图 1 所示的散热器的情况进行了说明,但并不限于此,可以不配设散热器,也可以配设与图 1 所示的散热器不同的散热器(例如,散热板、带有散热片的散热板等)。

[0129] 而且,在第二实施方式中,对将铜板固相扩散接合于铝层的一面上,从而在电路层的接合面形成铜层的情况进行了说明,但并不限于此,铜层的形成方法不会受到限制。

[0130] 例如,可以通过电镀法在铝层的一面形成铜层。另外,在形成厚度为 5 μm 至 50 μm 左右的铜层时,优选使用电镀法。而在形成厚度为 50 μm 至 3mm 左右的铜层时,优选使用固相扩散接合。

[0131] 实施例 1

[0132] 以下,参照表 1,对为了确认本发明的效果而进行的确认试验的结果进行说明。

[0133] 准备了上述实施方式中所记载的功率模块。绝缘基板由 AlN 构成,且使用 27mm×17mm,厚度为 0.6mm 的绝缘基板。另外,电路层由无氧铜构成,且使用 25mm×15mm,

厚度为 0.3mm 的电路层。金属层由 4N 铝构成,且使用 25mm×15mm,厚度为 0.6mm 的金属层。半导体元件是 IGBT 元件,使用 13mm×10mm,厚度为 0.25mm 的元件。作为散热器,使用 40.0mm×40.0mm,厚度为 2.5mm 的铝板 (A6063)。

[0134] 在此,在本发明例 1 至 7 和比较例 2 至 5 中,以如下方法对电路层的表面进行清洗。首先,对电路层的表面进行碱洗。另外,作为碱洗液使用了 5 质量%的氢氧化钠水溶液。用纯净水水洗之后,对电路层的表面进行酸洗。另外,作为酸洗液使用了将 35 质量%的过氧化氢水溶液、98 质量%的硫酸、作为蚀刻液稳定剂的上村工业株式会社制“アディティブ MGE-9”以 5:3:3 的体积比混合而成的清洗液。之后,用纯净水水洗。

[0135] 另外,在比较例 1 中,未对电路层进行清洗。

[0136] 并且,在本发明例 7 中,在电路层的表面形成 Ni 电镀膜,并且利用焊接材料接合了半导体元件。此时,通过如表 1 所示改变焊接材料的组分,调整焊接接合之后的合金层的组分、合金层的厚度等,从而制造本发明例 1 至 7 和比较例 1 至 5 的各种功率模块。在本发明例 1 至 6 和比较例 1 至 5 中,在电路层的表面并未设置 Ni 电镀膜。

[0137] 另外,焊接接合条件如下:锡焊温度、锡焊保持时间设为表 1 中记载的条件,气氛为氢 3 体积%的还原气氛,冷却至室温的平均冷却速度为 2.5°C/s。

[0138] (覆盖率)

[0139] 在通过上述方法得到的功率模块中,测定了焊接层中的与电路层之间的界面上形成的合金层的覆盖率。用扫描电子显微镜 (FEI 制造 QUANTA FEG450) 观察半导体元件和电路层的截面,计算出了所观察到的被合金层覆盖的界面长度 L_c 与整个界面长度 L 之比 (L_c/L)。在本实施例中,以 150 μm ×100 μm 的视场,进行了视场数为 10 视场的截面观察,并且每进行一次观察,计算出所观察到的被合金层覆盖的界面长度 L_c 与整个界面长度 L 之比 (L_c/L)。并且,将以各视场计算出的上述比率 (L_c/L) 的平均值设为合金层的覆盖率。

[0140] 另外,如图 10 所示,在上述截面观察中,进行 Ni、Cu 的元素映射,并将这些元素重复存在的部分作为合金层。

[0141] (合金层的组分)

[0142] 并且,通过 EPMA 分析,对在焊接层中的与电路层之间的界面上形成的合金层进行了成分分析。在本实施例中,通过使用 EPMA 分析仪 (JEOL Ltd. 制 JXA-8530F),以 15kV 的加速电压、1 μm 以下的光斑直径、250 倍的倍率对合金层的平均组分进行了分析。

[0143] (合金层的厚度)

[0144] 并且,测定了焊接层中的与电路层之间的界面上形成的合金层的厚度。使用上述 EPMA 装置获得 EPMA 映射,测定在与电路层之间的界面上连续形成的具有由 $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 构成的金属间化合物的合金层的面积,并且用映射宽度的大小除该面积来求出厚度。另外,在与电路层之间的界面上形成的合金层中,不包括从与电路层之间的界面向厚度方向非连续形成的区域而测定了合金层的面积。此外,由 Cu_3Sn 构成的金属间化合物层与合金层相比极薄,因此,将从电路层表面的厚度作为合金层的厚度而进行了测定。

[0145] (功率循环测试)

[0146] 将 IGBT 元件的通电调整为,每隔 10 秒重复通电 (ON) 时的元件表面温度为 140°C、断电 (OFF) 时的元件表面温度为 60°C 的一个循环,并重复 10 万次该功率循环。然后,评价了热阻相比初始状态的上升率。另外,在本发明例 1 至 7 中,热阻上升率均小于 10%。

[0147] （功率循环寿命）

[0148] 将 IGBT 元件的通电调整为,每隔 10 秒重复通电 (ON) 时的元件表面温度为 140℃、断电 (OFF) 时的元件表面温度为 60℃的一个循环,并重复该功率循环。然后,评价了热阻相比初始状态的上升率成为 10%以上时的循环次数(功率循环寿命)。

[0149] （热阻测定）

[0150] 作为热阻,利用热阻测试仪 (TESEC Corporation 制 4324-KT) 测定了瞬态热阻。将施加功率设为 100W,施加时间设为 100ms,测定了功率施加前后的门极-发射极之前的电压差,从而求出了热阻。在上述功率循环测试中,每 1 万次循环实施了测定。

[0151]

[表 1]

	焊接材料组分 (质量%)			电路层 表面的 清洗	焊接接合条件		Ni 电镀 厚度 (μm)	合金层组分 (质量%)			覆盖率 (%)	合金层 厚度 (μm)	功率 循环 寿命 [*]	
	Ni	Cu	Sn 及不 可避免 的杂质		温度 ($^{\circ}\text{C}$)	时间 (分钟)		Ni	Cu	Sn 及不 可避免 的杂质				
本 发 明 例	1	0.04	2.0	剩余	有	300	1.5	0	0.6	37.0	剩余	90	9	120000
	2	0.26	0.4	剩余	有	300	0.5	0	9.8	31.2	剩余	95	3	110000
	3	0.18	0.4	剩余	有	280	0.5	0	6.6	30.7	剩余	87	3	130000
	4	0.10	3.6	剩余	有	300	1.5	0	0.9	38.5	剩余	93	15	140000
	5	0.18	0.2	剩余	有	320	1	0	9.5	30.3	剩余	90	1.5	110000
	6	0.10	4.7	剩余	有	300	13	0	0.6	38.2	剩余	96	22	110000
	7	0.03	0.7	剩余	有	300	1	0.2	2.3	36.7	剩余	93	4	170000
比 较 例	1	0.04	2.0	剩余	无	300	1.5	0	0.6	37.0	剩余	75	9	70000
	2	0.00	1.0	剩余	有	300	1	0	0.0	39.0	剩余	87	5	70000
	3	0.50	0.7	剩余	有	300	0.5	0	15.0	35.0	剩余	95	4	80000
	4	0.18	0.2	剩余	有	280	0.1	0	9.0	24.0	剩余	86	0.5	80000
	5	0.09	5.7	剩余	有	350	5	0	0.7	50.0	剩余	95	24	80000

* 功率循环寿命: 热阻上升 10%时的循环次数

[0152] 在未对电路层的表面进行清洗的比较例 1 中,合金层的覆盖率小于 85%,功率循环寿命较短为 70000 次。其原因可推测为如下:在焊接层和电路层之间的界面中产生龟裂,

以该龟裂为起始点在早期产生了焊料破坏而导致的。

[0153] 并且,在Ni的含量偏离本发明范围的比较例2和3中,功率循环寿命较短为70000次和80000次。其原因可推测为,合金层的热稳定性变差。

[0154] 并且,在Cu的含量为小于30质量%的比较例4中,功率循环寿命较短为80000次。其原因可推测为如下:由于合金层中的Cu不足,因而合金层的热稳定性变差,导致产生龟裂。

[0155] 并且,在Cu的含量大于40质量%的比较例5中,功率循环寿命较短为80000次。其原因可推测为,合金层变厚,从而产生龟裂。

[0156] 与此相反,在本发明例1至7中,合金层的组分在本发明的范围内,且合金层的覆盖率为85%以上,功率循环寿命为110000次以上。其原因可推测为如下:电路层与焊接层之间的界面上的龟裂因合金层而被抑制,因此抑制了以该龟裂为起始点的焊接层的破坏。

[0157] 如上所述,根据本发明例可确认,能够得到功率循环特性优异的功率模块。

[0158] 实施例2

[0159] 接着,准备了第二实施方式中所述的由铝层和铜层构成电路层的功率模块。

[0160] 绝缘基板由AlN构成,且使用27mm×17mm,厚度为0.6mm的绝缘基板。金属层由4N铝构成,且使用25mm×15mm,厚度为0.6mm的金属层。半导体元件是IGBT元件,且使用13mm×10mm,厚度为0.25mm的元件。作为散热器,使用40.0mm×40.0mm,厚度为2.5mm的铝板(A6063)。

[0161] 电路层中的铝层由4N铝构成,且使用25mm×15mm,厚度为0.6mm铝层。并且,如表2所示,铜层通过电镀、固相扩散接合而形成。

[0162] 关于电镀,在对铝层的表面实施锌酸盐处理之后,通过电镀形成如表2所示厚度的铜层。

[0163] 关于固相扩散接合,准备如表2所示厚度的铜板,并以第二实施方式中例示的条件,将铜板固相扩散接合在铝层的表面上。

[0164] 接着,利用与实施例1相同的方法对电路层(铜层)的表面进行清洗。

[0165] 然后,在电路层(铜层)的表面焊接接合IGBT元件。焊接接合条件如下:锡焊温度,锡焊保持时间设为表2中记载的条件,气氛为氢3体积%的还原气氛,冷却至室温的平均冷却速度为2.5°C/s。焊接材料采用如下组分:0.08质量%的Ni、1.0质量%的Cu、其余为Sn及不可避免的杂质。

[0166] 由此,制作出本发明例11至16的各种功率模块。

[0167] 并且,以与实施例1相同的方法,评价了合金层的组分、覆盖率、合金层的厚度、功率循环寿命。评价结果如表2所示。

[0168]

[表 2]

	焊接材料组分 (质量%)			铜层 厚度 (mm)	铜层的 形成 方法	锡焊 温度 (°C)	锡焊 保持时间 (分钟)	合金层组分 (质量%)			覆盖率 (%)	合金层 厚度 (μm)	功率 循环 寿命*
	Ni	Cu	Sn 及不 可避免 的杂质					Ni	Cu	Sn 及不 可避免 的杂质			
11	0.08	1.0	剩余	0.005	电镀	300	1	1.9	36.3	剩余	90	4	120000
12	0.08	1.0	剩余	0.01	电镀	300	1	2.1	36.9	剩余	92	3	130000
13	0.08	1.0	剩余	0.03	电镀	300	1	1.9	36.5	剩余	94	4	160000
14	0.08	1.0	剩余	0.05	固相扩散	300	1	2.0	36.4	剩余	93	4	150000
15	0.08	1.0	剩余	0.3	固相扩散	300	1	1.9	36.7	剩余	94	5	180000
16	0.08	1.0	剩余	3	固相扩散	300	1	1.9	36.8	剩余	93	6	110000

* 功率循环寿命: 热阻上升 10%时的循环次数

[0169] 如表 2 所示,在本发明例 11 至 16 中,功率循环寿命均达到 110000 次以上,确认到焊接层的破坏被抑制。即使是在铝层上形成各种厚度的铜层而构成电路层,与实施例 1 相

同地,也确认到能够提高功率循环特性。

[0170] 此外,若铜层的厚度为 $5\ \mu\text{m}$ 以上,则铜层中的 Cu 不会全部扩散到焊料侧,确认到残留有铜层。另外,若铜层的厚度为 3mm 以下,则确认到功率循环寿命成为 10 万次以上。

[0171] 产业上的可利用性

[0172] 根据本发明,能够提供一种即使施加功率循环荷载也能够抑制焊接层的早期破坏且可靠性高的功率模块。因此,本发明能够在工业上应用。

[0173] 符号说明

[0174] 1-功率模块,3-半导体元件,10-功率模块用基板,11-绝缘基板(绝缘层),12-电路层,13-金属层,20-焊接层,21-合金层,21a-金属间化合物,26-金属间化合物层,30-焊接材料,31-Ni 电镀膜,101-功率模块,112-电路层,112A-铝层,112B-铜层。

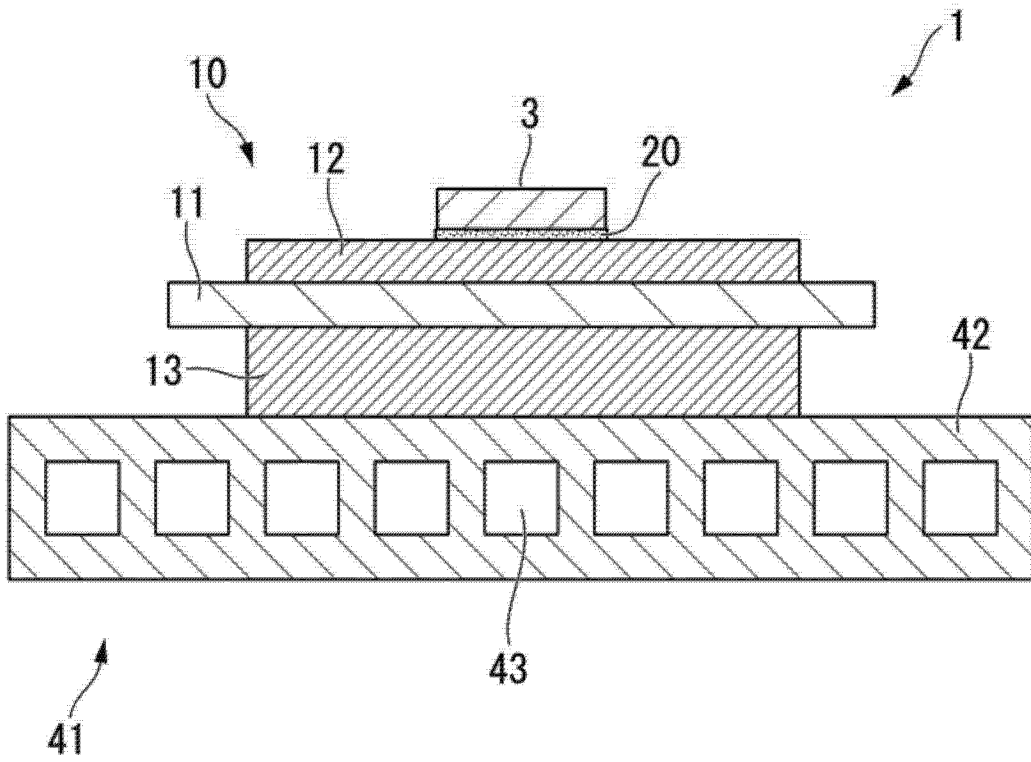


图 1

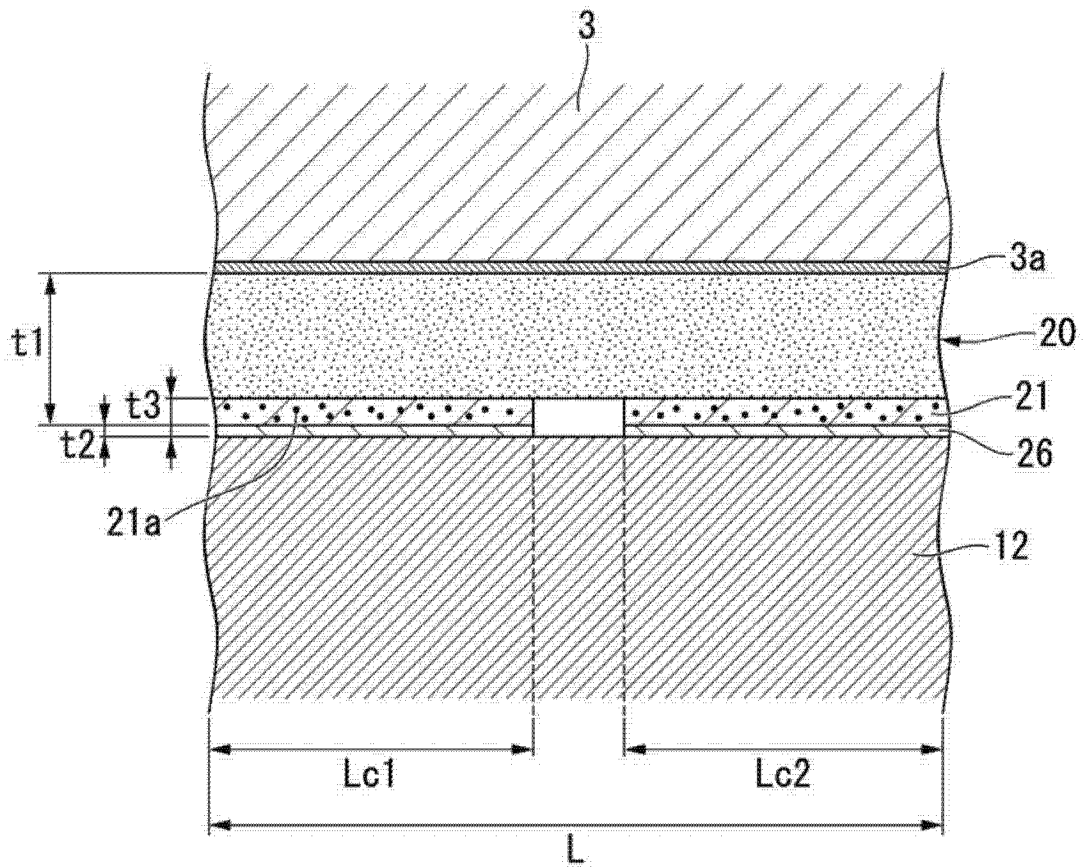


图 2

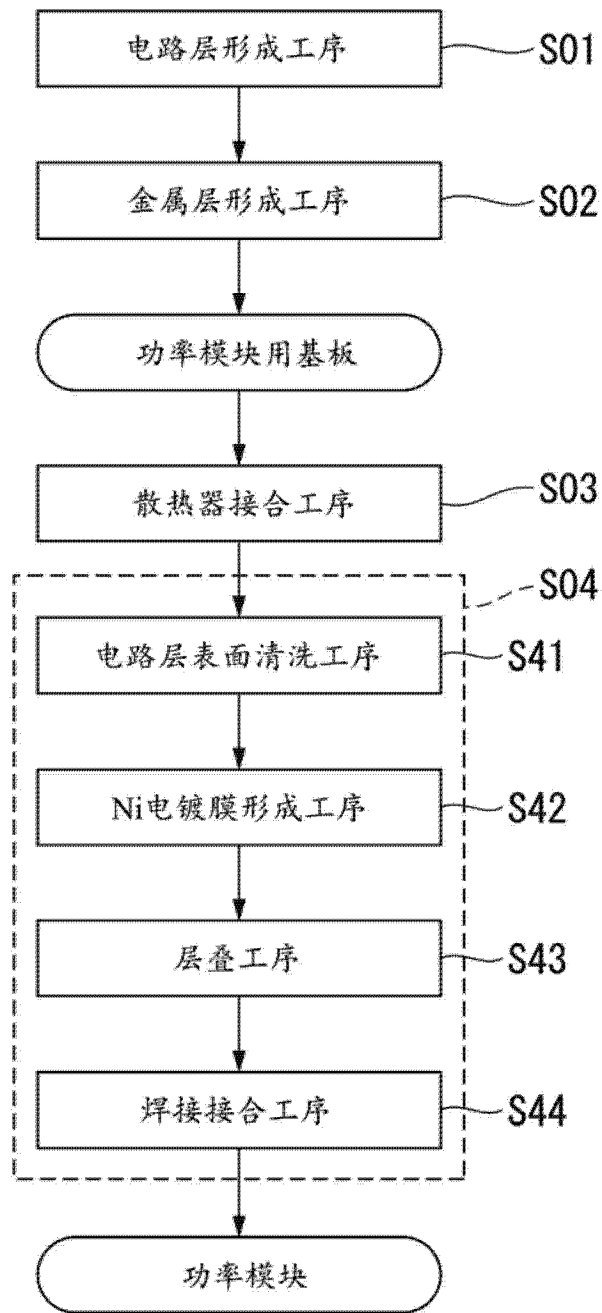


图 3

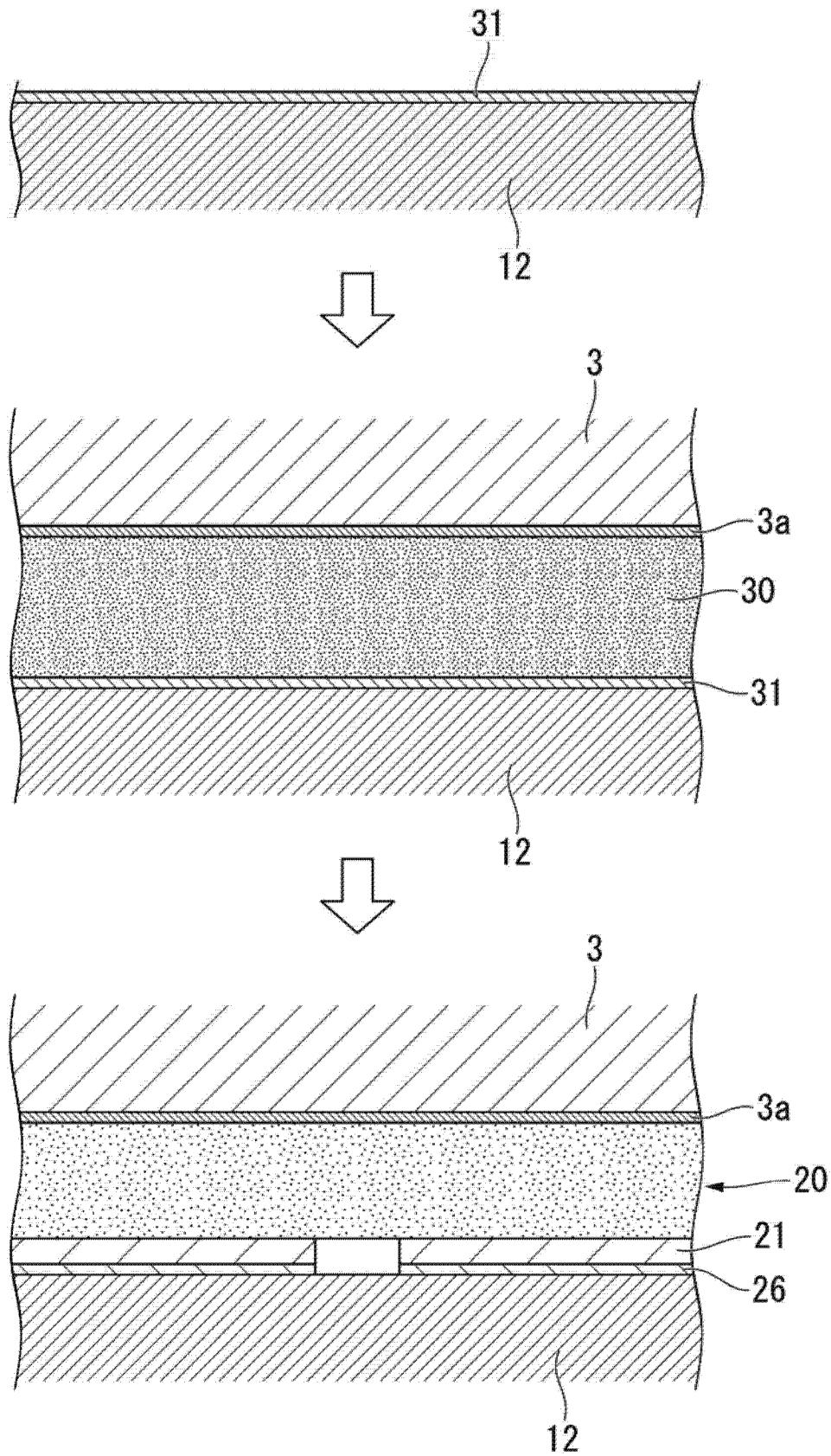


图 4

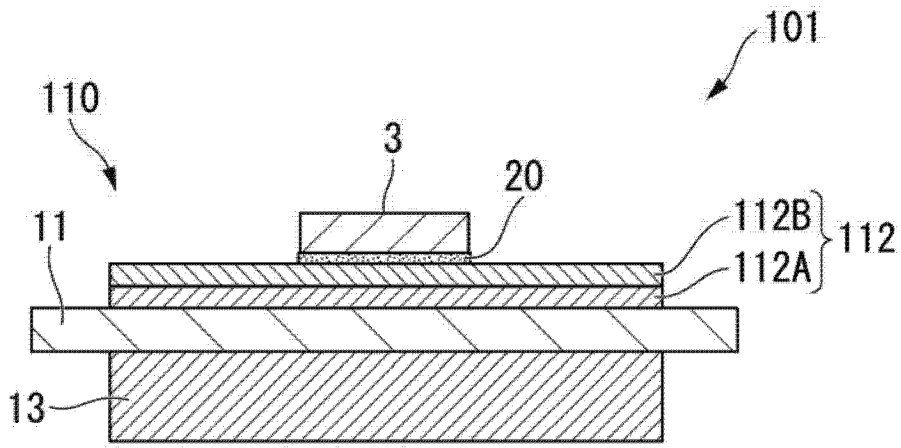


图 5

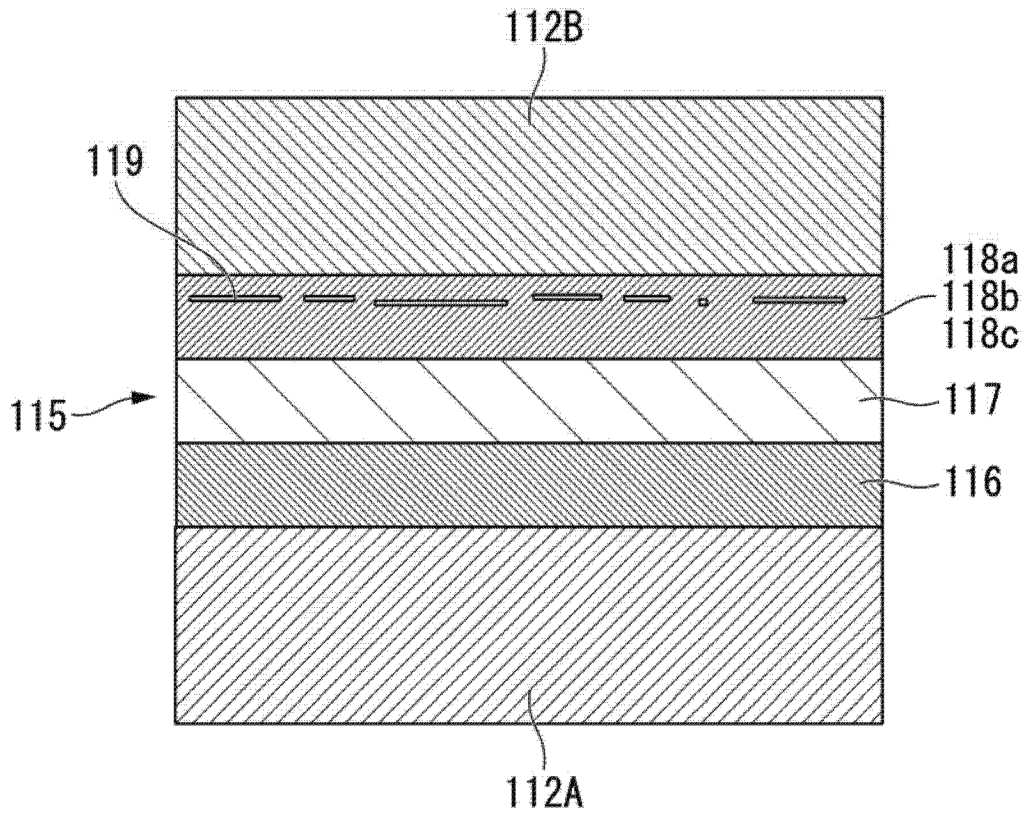


图 6

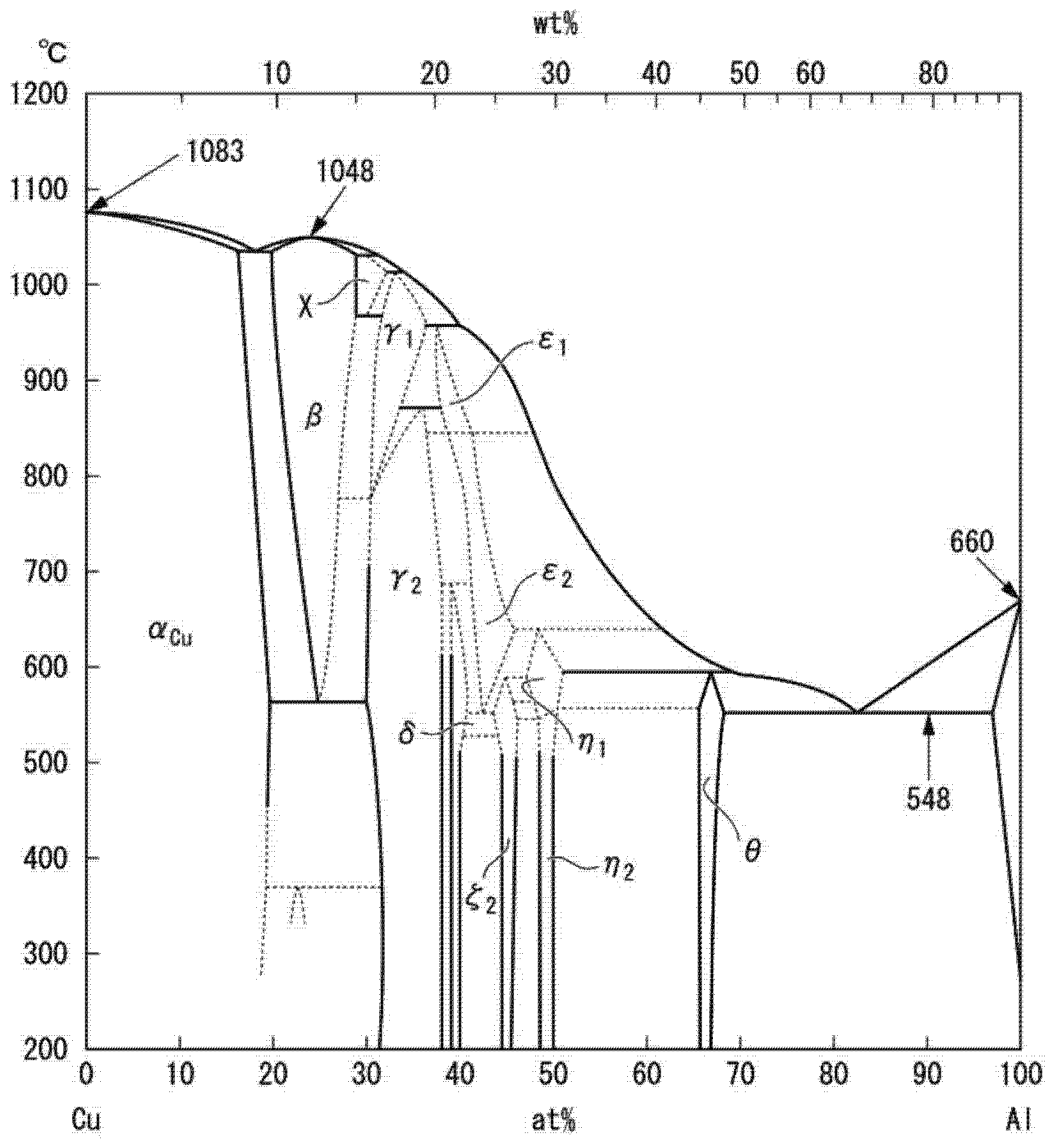


图 7

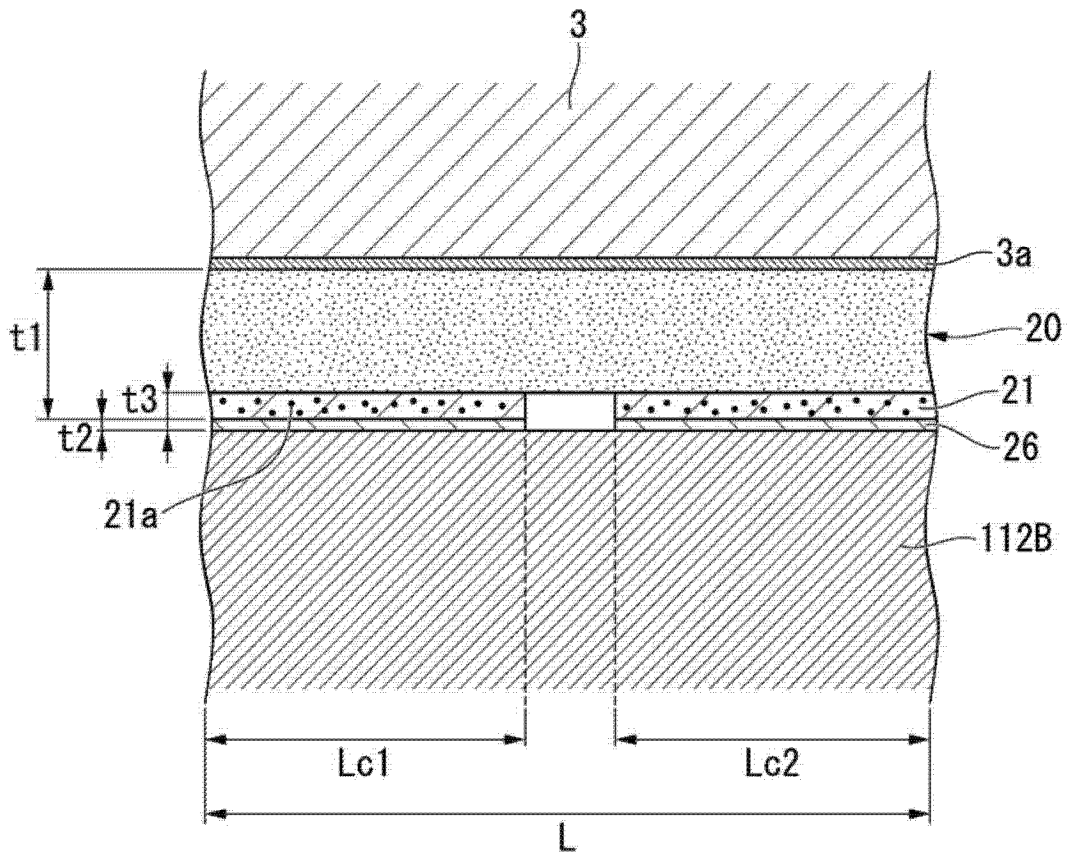


图 8

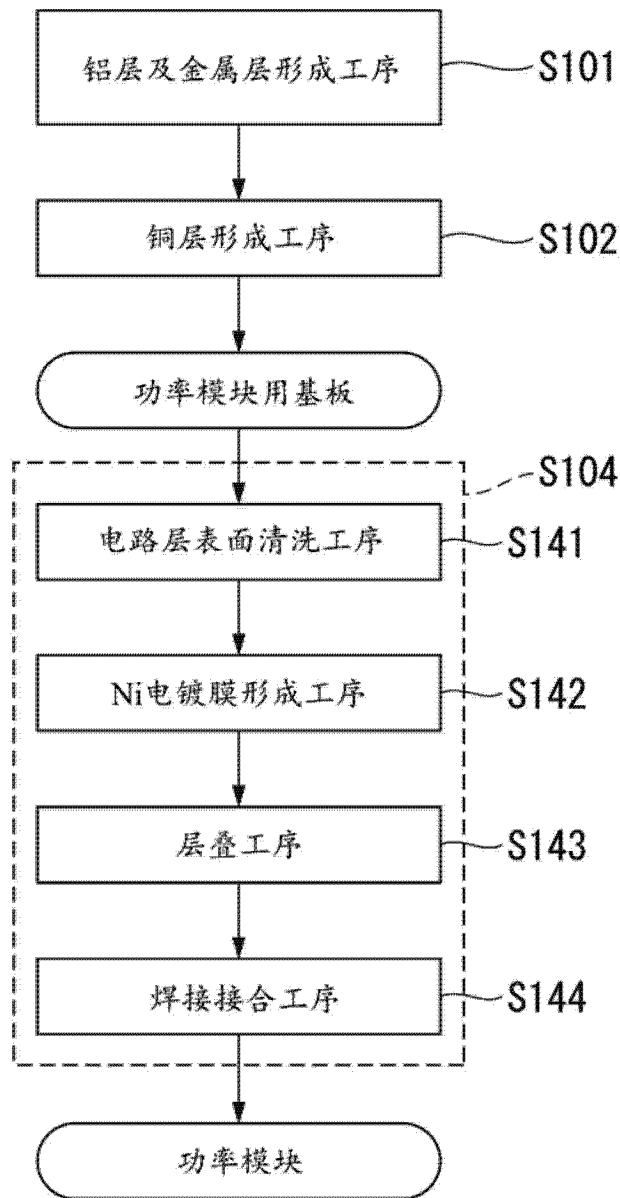


图 9

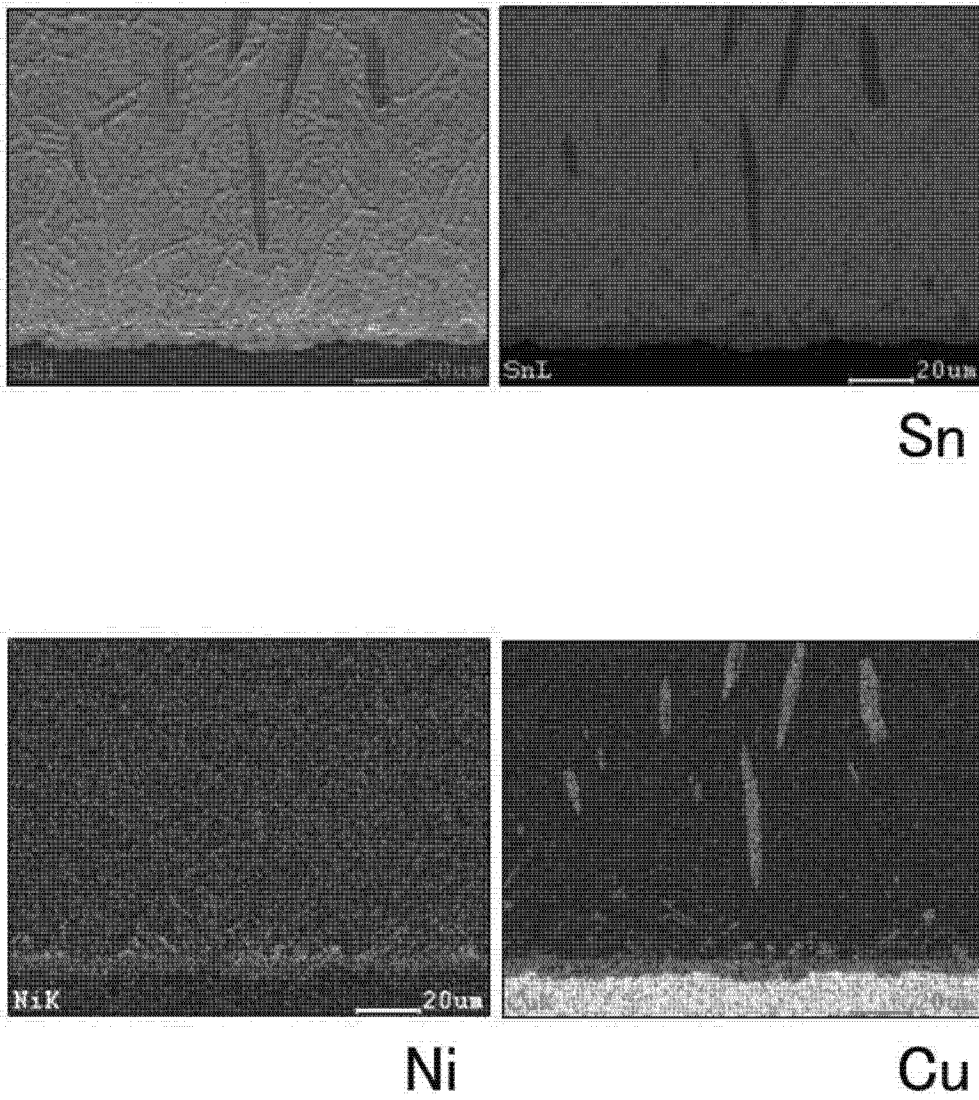


图 10