

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

C25D 5/10

C25D 3/32 C25D 3/60

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01112376.1

[43] 公开日 2001 年 10 月 24 日

[11] 公开号 CN 1318655A

[22] 申请日 2001.2.28 [21] 申请号 01112376.1
[30] 优先权
[32] 2000.2.28 [33] JP [31] 52533/2000
[71] 申请人 古河电气工业株式会社
地址 日本东京都
共同申请人 三洋电机株式会社
[72] 发明人 龟山工次郎

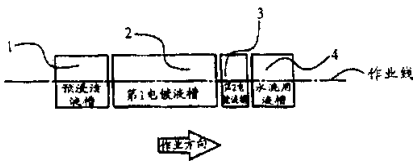
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 叶恺东

权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图页数 4 页

[54] 发明名称 电镀方法

[57] 摘要

由于环境保护的要求,需要无铅的软钎料电镀。为了适应这种需求,提供了简便的无铅的软钎料电镀方法。将导电部件 21 依次浸渍在第 1 电镀液和第 2 电镀液中,施加不同金属材料的 2 层电镀膜 22 和 23,所述的第 1 电镀液和第 2 电镀液,除了金属材料及溶解这些金属材料的酸性溶剂以外,形成相同的液构成。由此实现不需要水洗用液槽而且容易进行电镀液的浓度管理的电镀方法。



ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1.一种电镀方法，将导电部件依次浸渍在第 1 电镀液、第 2 电镀液中，在上述导电部件的全部或者几乎全部表面上重叠形成由第 1 金属材料构成的第 1 电镀膜和由上述第 1 金属材料与第 2 金属材料的合金构成的第 2 电镀膜，其特征
5 在于，上述的第 1 电镀液和上述的第 2 电镀液，除了上述第 1 和第 2 金属材料及溶解这些金属材料的溶剂以外，实质上是相同的液构成。

2.权利要求 1 所述的电镀方法，其特征在于，构成上述第 1 电镀液的上述第 1 金属材料是 Sn，构成上述第 2 电镀液的上述第 1 金属材料是 Sn，上述第
10 2 金属材料是选自 Bi、Ag 和 Cu 中的至少一种。

3.权利要求 1 或 2 所述的电镀方法，其特征在于，上述第 1 电镀液和上述第 2 电镀液除了上述第 1 和第 2 金属材料及溶解这些金属材料的溶剂以外，由有机酸、溶剂、添加剂和纯水构成。

4. 权利要求 3 所述的电镀方法，其特征在于，在构成上述第 1 电镀液和
15 上述第 2 电镀液的上述有机酸中，包括甲磺酸或者丙醇磺酸，在上述溶剂中，包括异丙醇。

5.权利要求 1~4 中的任一项所述的电镀方法，其特征在于，在上述第 2 电镀液中，对使用 Bi、Ag 和 Cu 中的上述第 2 金属材料进行浓度管理。

6.权利要求 1~5 中的任一项所述的电镀方法，其特征在于，将上述导电
20 部件浸渍在上述第 1 电镀液中，形成上述第 1 电镀膜，然后，不用将该导电部件浸渍在其他的水溶液中，而将其浸渍在上述第 2 电镀液中，施加上述第 2 电镀膜。

7.权利要求 1~6 中的任一项所述的电镀方法，其特征在于，设利用上述第 1 电镀液施加在上述导电部件上的电镀膜厚为 t_1 ，设利用上述第 2 电镀液施加
25 加在上述导电部件上的电镀膜厚为 t_2 时， t_1 和 t_2 满足 $t_1 > t_2$ 的关系，而且设上述导电部件在上述第 1 电镀液内移动的距离为 D_1 ，设上述导电部件在上述第 2 电镀液内移动的距离为 D_2 时， D_1 和 D_2 满足 $D_1 > D_2$ 的关系。

说明书

电镀方法

5 本发明是关于电镀方法，特别是关于无铅的电镀而且连续地形成软钎焊性能良好的金属材料电镀膜的电镀方法。

用 Sn 单体或者 Sn 合金的电镀层被覆 Cu 单体、Cu 合金或者 Fe—Ni 合金之类的导电部件表面而形成的引线材，是高性能导体，具有 Cu 单体、Cu 合金所具备的优良导电性和机械强度，而且还具有 Sn 单体或者 Sn 合金所具备的耐
10 蚀性和良好的软钎焊性，大量用于各种端子、接头、引线等电气·电子机器领域或电力电缆领域等。

另外，在电路基板上搭载半导体芯片时，在半导体芯片的外引线部进行使用 Sn 合金的热浸镀或电镀，由此提高该外引线部的软钎焊性。这样的 Sn 合金的代表例，例如是软钎料（Sn—Pb 合金），因为软钎焊性、耐蚀性等良好，所以
15 作为接头或引线框架等电气·电子工业用部件的工业用电镀被广泛利用。

但是，在软钎料中使用的 Pb 对人体造成恶劣的影响，因而已经指出有害性，在世界上产生限制 Pb 的使用的提议。例如，废弃在室外的电子装置类等，如果暴露于酸性雨中，Pb 就从该装置内部使用的软钎料（Sn—Pb 合金）或在
20 电子部件的表面施加的软钎料镀层中溶解出来，造成地下水或江河污染。为了防止环境污染，最好是使用不含 Pb 的 Sn 合金。为此正在开发代替以往的 Sn—Pb 电镀液的不含 Pb 的新电镀液。目前已开发出不含 Pb 的以 Sn 为主成分的电镀液，例如 Sn—Bi 系、Sn—Ag 系、Sn—Cu 系的电镀液，并正在逐步替代原有的电镀液。

图 3 是表示引线材的基本构成的断面图。例如，导电部件 21 由 Cu、以 Cu
25 为主成分的 Cu 系合金或者以 Fe—Ni 为主成分的 Fe—Ni 系合金构成。而且，在这些导电部件 21 的表面上镀敷了不同金属材料的 2 层电镀膜。例如，依次地形成 Sn 的第 1 电镀膜 22 和 Sn—Bi 的第 2 电镀膜 23。在此，已经知道，设第 1 电镀膜 22 的厚度为 t_1 、设第 2 电镀膜 23 的厚度为 t_2 时，如果 t_1 设定成约 $3\sim 15\mu\text{m}$ ， t_2 设定成约 $1\sim 5\mu\text{m}$ ， t_2/t_1 设定成约 $0.1\sim 0.5$ ，无论在成本方面，软
30 钎焊性和耐热性方面，还是软钎料的焊接强度或与铝线等的焊接部的焊接强度

方面都有良好的特性，得到作为引线材的性能提高，因此是合适的。

图 4 是自动电镀装置全体的平面布置图。首先，在碱性电解洗净液槽 31 中，去除导电部件 21 的表面上妨碍软钎料电镀被膜的附着性或软钎焊性的油脂等有机性的污染杂质。接着，在水洗用液槽 32 中洗净后，在化学腐蚀液槽 33 中进行化学腐蚀处理（基本上利用氧化—还原反应的处理），使由于晶界或夹杂物等的存在而成为不均匀表面的导电部件 21 的表面均匀化。

接着，在水洗用液槽 34 中洗净后，在酸活性化液槽 35 中去除在水洗用液槽 34 中附着的氧化膜。随后，在水洗用液槽 36 中洗净后，在软钎料电镀装置 37 中施行电镀。软钎料电镀液是强酸性的，因此电镀后的表面成为酸性。这样的表面随时间的经过，被膜变色，软钎焊性劣化。为此，在水洗用液槽 38、中和处理槽 39 中，中和残留在电镀层表面的酸，去除吸附的有机物。此后，在水洗用液槽 40、热水洗用液槽 41 中进行洗净，在干燥装置 42 中干燥已电镀的导电部件。

图 5 是在以往的电镀装置 37 中施行电镀的部分的详细平面布置图。在该电镀方法中，导电部件 21 浸渍在预浸渍槽 371 中，去除表面的氢氧化物膜，浸渍在第 1 电镀液槽 372 的电镀液中，施加第 1 电镀膜 22 后，将导电部件 21 浸渍在设置在第 1 电镀液槽 372 的电镀液和第 2 电镀液槽 374 的电镀液之间的水洗用液槽 373 的纯水中，除去第 1 电镀液，接着将导电部件 21 浸渍在第 2 电镀液槽 374 的电镀液中，施加第 2 电镀膜 23。最后在水洗用液槽 375 中洗净电镀面。

在上述的电镀方法中，施加第 1 电镀膜 22 的第 1 电镀液槽 372 的电镀液和施加第 2 电镀膜的第 2 电镀液槽 374 的电镀液，除了构成各自的电镀液的金属材料及溶解这些金属材料的酸性溶剂之外，就不是相同的液构成。例如，在第 1 电镀膜 22 由 Sn 单体构成，第 2 电镀膜 23 由 Sn—Bi 合金构成时，在第 1 电镀液槽 372 和第 2 电镀液槽 374 的电镀液的构成中，关于有机酸、溶剂和纯水，使用是相同液构成的材料。但是，关于添加剂，前者一般使用软钎料电镀液用的添加剂，后者一般使用 Sn—Bi 电镀液用的添加剂。

另外，第 1 电镀液槽 372 和第 2 电镀液槽 374 往往使用相同形状的电镀液槽。

这样的电镀方法在特开平 10—229152 号公报中已有说明。

首先，施加上述的第 1 电镀膜 22 的第 1 电镀液槽 372 的电镀液和施加第 2 电镀膜 23 的第 2 电镀液槽 374 的电镀液，如果除了构成各自的电镀液的金属材料及溶解这些金属材料的酸性溶剂之外，就不是相同的液构成。因此，第 1 电镀液槽 372 的电镀液附着在导电部件 21 上，在第 1 电镀液槽 372 的电镀液
5 和第 2 电镀液槽 374 的电镀液之间设置水洗用液槽 373，以使第 1 电镀液槽 372 的电镀液不会直接带进第 2 电镀液槽 374 的电镀液内。而且必须使用该水洗用液槽 373 的纯水，去除第 1 电镀液槽 372 的电镀液。因此，以往的电镀方法使用水洗用液槽 373 是必不可少的，这就存在需要多余的工序的问题。

另外，在施加第 2 电镀膜 23 的第 2 电镀液槽 374 的电镀液中，已施加第
10 1 电镀膜 22 的导电部件 21 在水洗用液槽 373 中洗净后，浸渍在第 2 电镀液槽 374 的电镀液中。此时，水洗用液槽 373 的纯水混入第 2 电镀液槽 374 的电镀液内，因而第 2 电镀液槽 374 的电镀液被稀释。因此，需要对第 2 电镀液槽 374 的电镀液的构成和浓度进行控制，导致工艺过程的管理复杂化。

进而，在第 1 电镀液槽 372 的电镀液和第 2 电镀液槽 374 的电镀液内包
15 含的金属材料，除了电镀在导电部件 21 上以外，还在阳极上置换析出。但是，构成第 2 电镀液的 Bi、Ag 和 Cu 在阳极上显著地置换析出，因而补充上述金属的量也大幅度地变多。另一方面，金属材料（特别 Bi、Ag 和 Cu）十分昂贵，因而导致生产成本增大。

本发明是鉴于上述的以往问题而完成的，目的在于，在导电部件的表面上
20 施加不同的金属材料或者是相同的金属材料，但金属材料的组成比不同的 2 层电镀膜的第 1 电镀膜和第 2 电镀膜的电镀方法中，提供能够缩短作业过程、能够简化浓度控制的电镀方法。

为了达到上述的目的，在本发明中，如果除了包含在第 1 电镀液和第 2 电镀液中的金属材料构成及溶解该金属材料的酸性溶剂以外，电镀液的构成基本
25 上是相同的。具体地说，除了在第 1 电镀液和第 2 电镀液中包含的金属材料及溶解该金属材料的酸性溶剂以外的有机酸、溶剂、添加剂和纯水基本上是相同的液构成。

图 1 是说明在本发明的电镀方法中使用的软钎料电镀装置的图。

图 2 是说明在本发明的电镀方法中使用的第 1 电镀液槽和第 2 电镀液槽的
30 图。

图 3 是说明本发明和以往的施加了 2 层电镀的导电部件的图。

图 4 是说明本发明和以往的自动电镀装置全体的平面布置图。

图 5 是说明以往的软钎料电镀装置部分的平面布置图。

图 1 是表示用于实施是本发明电镀方法的自动电镀装置中的电镀部分平面布置图，相当于图 4 表示的全体电镀装置的软钎料电镀装置 37。

在图 1 中，自动电镀装置由预浸渍液槽 1、第 1 电镀液槽 2、第 2 电镀液槽 3 和水洗用液槽 4 构成。在预浸渍液槽 1 中去除在前面的水洗用液槽 36（参照图 4）中洗净时附着在导电部件 21（参照图 3）上的氧化膜，使导电部件 21 的表面处于活性状态。在第 1 电镀液槽 2 中，在导电部件 21 上施加第 1 电镀膜 22，然后在第 2 电镀液槽 3 中在导电部件 21 上施加第 2 电镀膜 23。在此，关于电镀膜厚，按照以往，设第 1 电镀膜 22 的厚度为 t_1 ，设上述第 2 电镀膜 23 的厚度为 t_2 时， t_1 成为约 $3\sim 15\mu\text{m}$ 、 t_2 成为约 $1\sim 5\mu\text{m}$ 、 t_2/t_1 成为约 $0.1\sim 0.5$ 地施行电镀。引线材的结构和图 3 相同，因此符号相同。

在本发明中，使除了第 1 电镀液槽 2 的电镀液和第 2 电镀液槽 3 的电镀液中包含的第 1 和第 2 金属材料及溶解这些金属材料的酸性溶剂以外的溶液形成相同的液构成。由此，具有以下特征，即，在第 1 电镀液槽 2 的电镀液中浸渍导电部件 21，施加第 1 电镀膜 22 后，可以接着浸渍在第 2 电镀液槽 3 的电镀液中，施加第 2 电镀膜 23。

即，作为第 1 电镀液槽 2 的电镀液的构成，以 Sn 作为全部或者几乎全部的第 1 金属材料，除了该金属材料及溶解该金属材料的酸性溶剂的溶液，以有机酸、溶剂、添加剂和纯水构成。例如，有机酸包括甲磺酸或者丙醇磺酸（プロパノールスルホン酸），溶剂包括异丙醇。而且，作为第 2 电镀液槽 3 的电镀液的构成，以选自 Bi、Ag 和 Cu 中的至少一种的第 2 金属材料及包括是第 1 金属材料的 Sn 的金属材料作为金属材料，除了这些金属材料及溶解这些金属材料的酸性溶剂的溶液，以有机酸、溶剂和纯水构成。例如，和第 1 电镀液槽 2 相同，有机酸包括甲磺酸或者丙醇磺酸，溶剂包括异丙醇。

因此，在该电镀方法中，在导电部件 21 上附着第 1 电镀液槽 2 的电镀液，带进第 2 电镀液槽 3 的电镀液内，即使混入 2 种电镀液，除了第 1 和第 2 金属材料及溶解这些金属材料的酸性溶剂以外，由于形成相同的液构成，所以第 2 电镀液槽 3 的电镀液的构成也不会打乱。

一般当构成电镀液时，金属材料溶解于酸性溶剂中而使用。但是，该酸性溶剂与电镀液的量相比，是极少量的，因此无论含有多少，对该电镀液的构成都不产生任何影响。

因此，在第 1 电镀液槽 2 的电镀液中浸渍导电部件 21，施加第 1 电镀膜 22 后，可以连续地将导电部件 21 浸渍在第 2 电镀液槽 3 的电镀液中，施加第 2 电镀膜 23。因此，能够省略以往的施加第 1 电镀膜 22 后利用水洗用液槽的洗净，达到作业过程和作业时间的缩短。

接着，关于第 2 电镀液槽 3 的电镀液，如上所述，在该电镀作业过程中，导电部件 21 上附着了第 1 电镀液槽 2 的电镀液，混入第 2 电镀液槽 3 的电镀液中。此时，在第 2 电镀液槽 3 的电镀液中，带进了附着在导电部件 21 上的是第 1 金属材料的 Sn。但是，不带进使用 Bi、Ag 和 Cu 中的第 2 金属材料。并且，使用 Bi、Ag 和 Cu 中的第 2 金属材料在导电部件 21 上作为与 Sn 的合金析出，除此以外，在阳极上置换析出。另外，除此之外，使用这些 Bi、Ag 和 Cu 中的第 2 金属材料附着在导电部件 21 上而带走，因而与第 1 金属材料 Sn 相比，特别显著地减少。

另一方面，一般在电镀中，通过电流密度、电镀时间和电镀液浓度控制电镀膜的厚度和电镀膜组成，因此通过使电流密度、电镀时间和电镀液浓度保持一定，来实行电镀膜厚和电镀膜组成的管理。借此，对析出在电镀膜上的金属材料量或者电镀液浓度进行管理，在看到由析出而引起金属材料减少的情况下，可以进行补充。如上所述，第 1 电镀液槽 2 和第 2 电镀液槽 3 的电镀液的金属材料也存在由于在阳极上置换析出以及被导电部件 21 带走而引起的减少。但是，第 1 电镀液槽 2 和第 2 电镀液槽 3 的阳极以纯度例如 99.9% 以上的 Sn 形成，因而电镀液的第 1 金属材料 Sn，除了主要通过阳极的溶解进行补充以外，通过定期的分析，根据需要进行溶液补充。

例如，进行 Sn 为 100（重量%）的电镀液的浓度管理时，作为各种的液浓度，电镀液的浓度保持在 Sn^{2+} 浓度为 30~60（g/L）、游离酸浓度为 120~160（g/L）、添加剂浓度为 20~50（ml/L）之间地进行 Sn 的管理。但是，如上所述，在第 1 电镀液槽 2 的管理中，Sn 存在阳极溶解，因此不需要像第 2 电镀液槽 3 的管理那样频繁。

在第 2 电镀液槽 3 的电镀液中，如上所述，第 1 金属材料 Sn，通过阳极

的溶解得到补充，因此，主要控制与 Sn 相比显著减少的选自 Bi、Ag 和 Cu 中的第 2 金属材料的浓度。

例如，在进行 Sn: Bi=97（重量%）: 3（重量%）的电镀液的浓度管理时，作为各自的液浓度，电镀液的浓度保持在 Sn^{2+} 浓度为 50~60（g/L）、 Bi^{3+} 浓度为 3.0~4.2（g/L）、游离酸浓度为 120~160（g/L）、添加剂浓度为 20~40（ml/L）之间地进行 Bi 的管理。

如上所述，利用生产线作业产生的作业速度的一定化，而且能够使第 1 电镀液槽 2 和第 2 电镀液槽 3 中的电流密度保持一定，因此第 2 电镀液槽 3 的第 2 金属材料 Bi、Ag 和 Cu 的浓度管理也变得容易。也就是说，在第 2 电镀液槽 3 中，通过定期地补充 Bi、Ag 和 Cu 等第 2 金属材料，可以简单地进行浓度管理。其结果，能够使第 2 电镀液槽 3 的电镀液的金属材料浓度保持一定，能够使第 2 电镀膜 23 的膜厚和镀膜组成均匀。

也就是说，在该电镀方法中，通过将第 1 电镀液槽 2 和第 2 电镀液槽 3 中的电流密度设定在最佳电流密度，能够抑制金属析出粒径的均匀化和 2 层的膜厚比率的波动。由此，在利用生产线作业产生的作业速度一定化而且在一定电流密度下的电镀方法中，在电镀膜厚 t_1 、 t_2 满足 $t_1 > t_2$ 时，设导电部件 21 在第 1 电镀液内移动的距离为 D_1 ，设导电部件 21 在第 2 电镀液内移动的距离为 D_2 时， D_1 、 D_2 明显地成立 $D_1 > D_2$ 的关系。

图 2 表示第 1 电镀液槽 2 和第 2 电镀液槽 3 的关系。如上所述，电镀膜厚 t_1 、 t_2 满足 $t_1 > t_2$ 时，设第 1 电镀液槽的作业方向的长度为 Z_1 ，第 2 电镀液槽的作业方向的长度为 Z_2 时，如果是相同的断面积（ $X_1 \times Y_1 = X_2 \times Y_2$ ），则 Z_1 、 Z_2 成立 $Z_1 > Z_2$ 的关系。因此，正如图 2 所清楚地表明，设第 1 电镀液的液量为 V_1 （ $=X_1 \times Y_1 \times Z_1$ ）、设第 2 电镀液的液量为 V_2 （ $=X_2 \times Y_2 \times Z_2$ ）时， V_1 和 V_2 明显地成立 $V_1 > V_2$ 的关系。

也就是说，在第 2 电镀液槽 3 的电镀液的液量中，能够使第 2 电镀液槽 3 的电镀液的液量大幅度地减少。即在第 2 电镀液槽 3 的电镀液内，价格高于第 1 金属材料 Sn 的 Bi、Ag 和 Cu 等第 2 金属材料的使用量也能够大幅度地减少，因而能够降低成本。

下面叙述本发明的其他实施方式。

在本发明中，第 1 电镀液槽 2 的电镀液和第 2 电镀液槽 3 的电镀液，虽然

各自的金属材料的组成比不同，但液构成是相同的。因此，具有以下的特征，即，将导电部件 21 浸渍在第 1 电镀液槽 2 的电镀液中，施加第 1 电镀膜 22 后，可以连续地浸渍在第 2 电镀液槽 3 的电镀液中，施加第 2 电镀膜 23 。而且，实施方式与上述的方法相同。

- 5 例如，在本发明中有 Sn—Bi 液。在此，在第 1 电镀液槽 2 的电镀液中，含有百分之几的 Bi。由此，显著地抑制第 1 电镀膜 22 表面的晶须（针状结晶）。另外，作为该电镀液的浓度管理方法，与上述的方法相同地进行 Bi 的管理。

 即，在第 1 电镀液槽 2 的电镀液中，除了在第 2 电镀液槽 3 的电镀液中使用的 Sn 以外的金属材料，含有百分之几的选自 Bi、Ag 和 Cu 中的至少一种金属材料。由此，能够显著地抑制第 1 电镀膜 22 表面的晶须（针状结晶）。10

 如在以上的说明中所表明，本发明的电镀方法可以达到以下的效果。

 第一，第 1 电镀液和第 2 电镀液的构成，除了构成各自的电镀液的第 1 和第 2 金属材料及溶解这些金属材料的酸性溶剂以外，实质上是相同的液构成。因此，即使第 1 电镀液混入到第 2 电镀液内，液构成也不发生混乱，在导电部件上能够连续地施加不同的金属材料或者是同一金属材料但金属材料的组成比15 不同的 2 层电镀膜。结果，可以省略在第 1 电镀膜和第 2 电镀膜之间进行的、利用水洗用液槽的洗净，达到作业过程和作业时间的缩短。

 第二，在第 1 电镀液和第 2 电镀液内含有的第 1 和第 2 金属材料的管理中，首先，第 1 电镀液和第 2 电镀液的构成，除了构成各自的电镀液的第 1 和第 220 金属材料及溶解这些金属材料的酸性溶剂以外，是相同的液构成。各自电镀液的第 1 金属材料 Sn，可以主要通过阳极的溶解来调整浓度。因此，在第 2 电镀液中可以定期地进行使用 Bi、Ag 和 Cu 中的第 2 金属材料的浓度管理，电镀液的浓度管理变得容易。

 第三，使用自动电镀装置而产生的作业速度的一定化，电流密度的一定化25 以及使除了第 1 电镀液和第 2 电镀液的第 1 和第 2 金属材料及溶解这些金属材料的酸性溶剂的溶液形成相同的液构成。因此，第 2 电镀膜的厚度比第 1 电镀膜大幅度地薄，因而能够使导电部件浸渍在第 2 电镀液中的时间变短。其结果，能够大幅度地减少第 2 电镀液槽的液量。由此，在第 2 电镀液中使用的第 2 金属材料 Bi、Ag 和 Cu 的使用量也能够大幅度地减少，其结果，能够实现成本30 降低。

第四，在第 1 电镀液槽的电镀液中，除了在第 2 电镀液槽的电镀液中使用的第 1 金属材料 Sn 以外，含有百分之几的选自 Bi、Ag 和 Cu 中的至少一种第 2 金属材料。由此，能够显著地抑制第 1 电镀膜表面的晶须（针状结晶）。

第五，在使用以上的电镀方法的引线 and 半导体器件中，因为所使用的电镀液不含铅，所以对人体或环境不造成恶劣影响。此外，，使除了第 1 电镀液和第 2 电镀液的金属材料及溶解这些金属材料的酸性溶剂以外的溶液形成相同的液构成，或者使第 1 电镀液和第 2 电镀液的金属材料组成比不同但金属材料相同，从而实现电镀品质的提高。

说明书附图

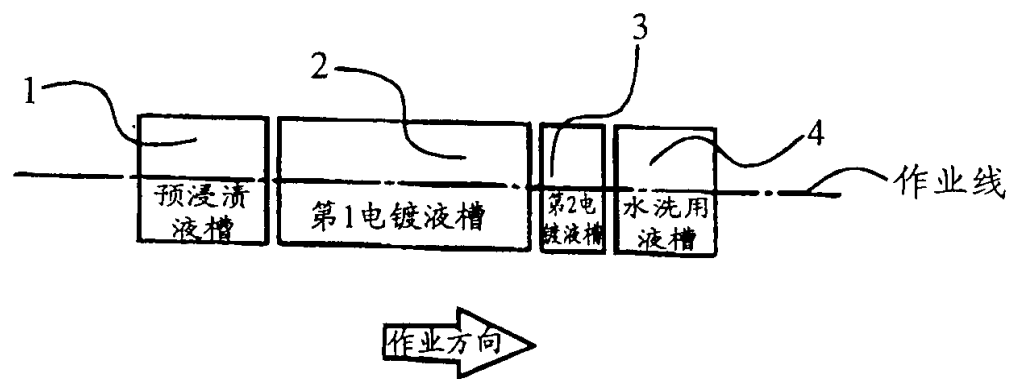


图 1

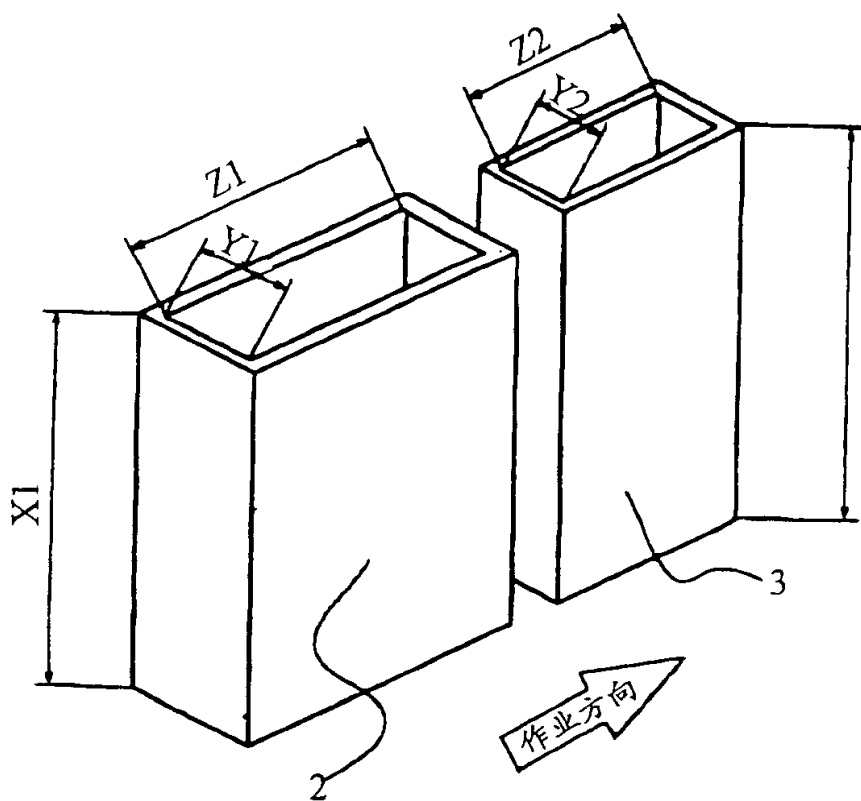


图 2



图 3

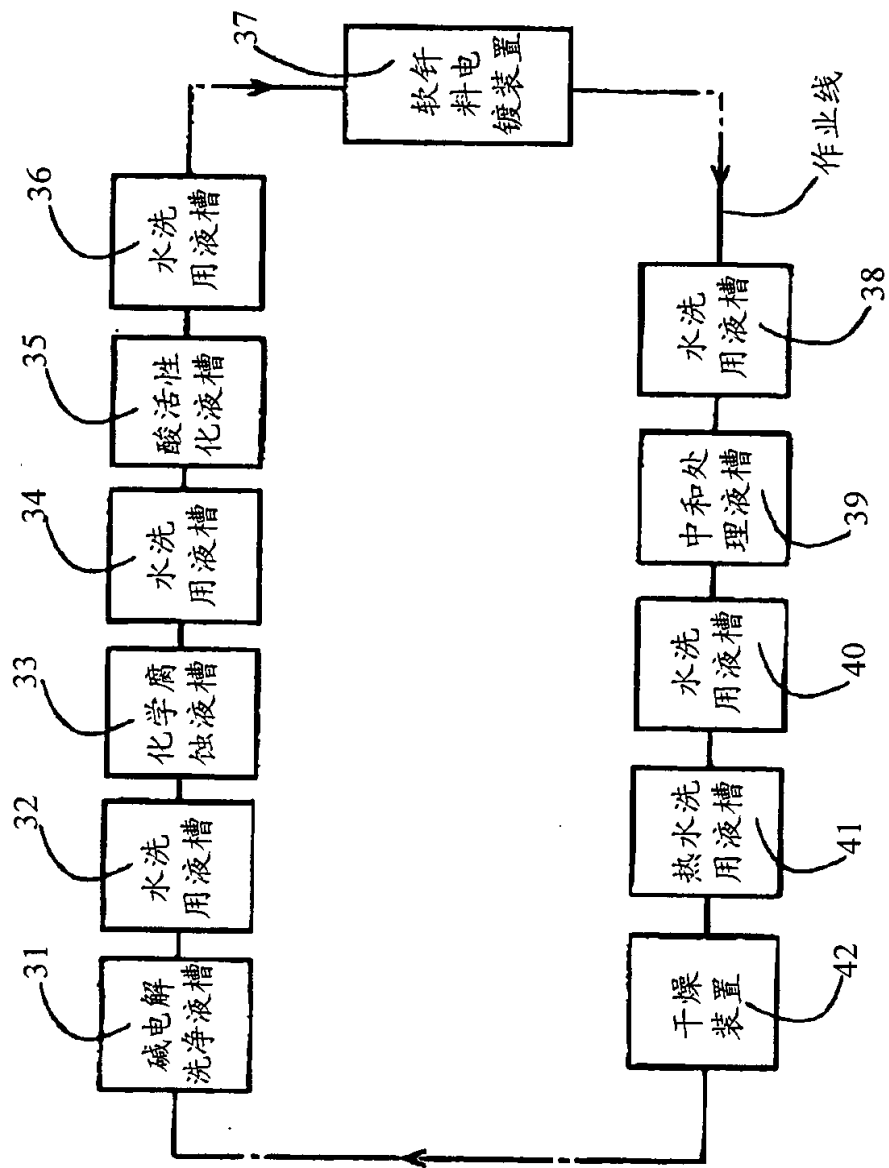


图 4

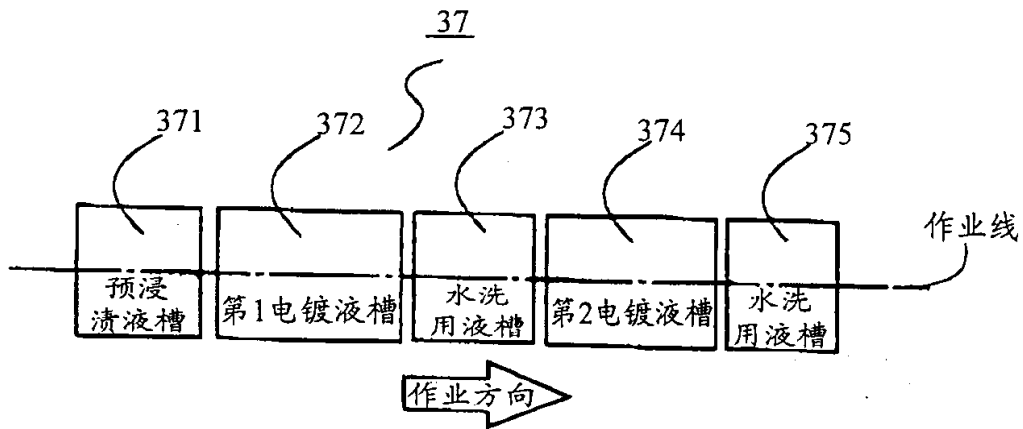


图 5