

# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00128414.2

[43] 公开日 2001 年 6 月 27 日

[11] 公开号 CN 1301130A

[22] 申请日 2000.9.29 [21] 申请号 00128414.2

[30] 优先权

[32] 1999.9.29 [33] US [31] 09/408,170

[71] 申请人 美国耶茨箔片股份有限公司

地址 美国新泽西州

[72] 发明人 C·B·耶茨 G·加斯基尔

C·T·程 A·沙阿

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

代理人 朱黎明

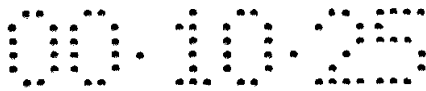
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图页数 3 页

[54] 发明名称 具有改良的粘结强度和耐底切性的铜箔的粘结处理

[57] 摘要

本发明涉及一种处理的电沉积铜箔,其具有粘合一增强铜层,优选多层,其电沉积在基铜箔的粘合面上;还具有电沉积在粘合一增强层上的铜和砷共沉积层,和电沉积在铜/砷层上的锌或锌合金层。本发明还涉及一种制造这种箔和敷铜箔叠片的方法,其中这种箔被粘接到聚合物衬底上。

ISSN 1008-4274

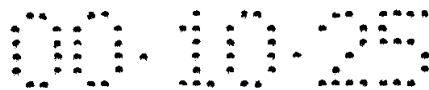


## 权 利 要 求 书

- 1.一种用于制造印刷电路板的处理的铜箔，其包括：
  - (a) 电沉积铜基箔，其具有在其表面上沉积粘结处理层的粘合面，处理层包
  - 5 括：
  - (b) 在该粘合面上电沉积的铜-铜粘接增强的处理层；
  - (c) 在粘合增强处理层上电沉积的铜-砷层；和
  - (d)在铜-砷层上电沉积的锌或锌合金的阻挡层。
- 2.权利要求1的铜箔，其中铜-砷层是由大约95%到大约99.5%的铜和大约0.5%
- 10 到大约5%的砷组成（按重量计算）。
- 3.权利要求2的铜箔，其中该铜-砷层是由大约98%的铜和大约2%的砷（按重量计算）组成的铜-砷合金组成。
- 4.一种敷铜箔叠片，包括聚合物衬底和权利要求1的铜箔，其中该衬底通过粘
- 15 结处理粘接到铜箔的粘合面上。
- 5.权利要求4的层压材料，其中至少一部分阻挡层是通过固-固扩散形成的铜-
- 20 锌-砷合金。
- 6.权利要求1的铜箔，其中该铜基箔具有一个有光泽的面和一个粗糙面，而该粘
- 25 合一增强处理层被电沉积在基箔的粗糙面上。
- 7.权利要求1的铜箔，其中该铜基箔具有一个光泽面和一个粗糙表面，而该粘
- 30 合一增强处理层电沉积在基箔的光泽面上。
- 8.权利要求1的铜箔，其中该粘合增强处理层包括在箔粘合面上沉积的树枝状
- 的铜层和在树枝状层上沉积的包封铜层。
- 9.权利要求1的铜箔，其中该粘合-增强处理层是多层电沉积铜层。
- 10.一种在铜基箔粘合面上进行电沉积处理的方法，该方法包括：(a) 在该基
- 25 箔的粘合面上电沉积-粘合-增强铜处理层；
- (b) 在能有效沉积铜-砷合金层的电沉积条件下在粘合-增强处理层上共同
- 电沉积来自于由含有铜离子和砷离子的电解质中的铜和砷；和
- (c)在铜-砷层上电沉积锌或锌合金从而在其上沉积锌或锌合金阻挡层。
- 11.权利要求10的方法，其中电解质包括含有铜离子、砷离子和氯离子的硫酸
- 30 含水溶液。

12.权利要求10的方法，其中电沉积条件包括使用电解质水溶液，每升该溶液含有大约4 - 8克的铜；大约百万分之200到300的砷；大约35到大约45克的 $H_2SO_4$ ；和大约百万分之5到20的氯离子；和其中使用每平方分米大约4到8安培的电流密度，和大约3到8秒钟的电镀时间。

- 5      13.权利要求10的方法，其中铜基箔是具有光泽面和粗糙面的电沉积铜箔，而粘合一增强铜层被电沉积在粗糙表面上。



## 说 明 书

### 具有改良的粘结强度和 耐底切性的铜箔的粘结处理

5

本发明涉及用于制造印刷电路板的铜箔，特别涉及粘合边粘接到聚合物衬底的电沉积铜箔，其中粘合边具有铜粘合增强处理层、沉积在粘合增强层上的铜-砷层、和沉积在铜-砷层上的含锌层。本发明还涉及用这种箔制成的覆铜薄层压板，和涉及生产这种箔的方法。

10

一般，使粘合边，通常是“未加工”电沉积铜箔表面粗糙的一边经过四个连续的电沉积步骤来完成粘结处理。第一步包括沉积一种微树枝状的铜层，这在很大的程度上增强了表面粗糙一边的有效的表面面积，因此增强了该箔的粘合能力。接着经电沉积对该铜层包封或镀金，其作用是用机械方法加强树枝状层，因此致使它不受在印刷电路板（PCB）制造时层压阶段中液态树脂的侧面出现剪切

15

力的影响。该处理的包封步骤是非常重要的，因为它消除了该箔“处理迁移”的趋向，并和最后“层压板”、生锈进而减小敷铜叠片介电性质的可能。构成该树枝状沉积物的每单位表面面积的树枝状凸出物的形状、高度、机械强度和数目是有助于使该箔达到足够粘结强度的因素，在完成所有的处理阶段后，该箔被粘接到聚合物物衬底上。第二处理阶段的作用是用机械方法增强易碎的树枝状层，即通过用致密的和结实金属铜薄层覆镀它，其将树枝体晶固定到基箔结构上。这种树枝体封装的复合结构应该具有较高的粘结强度和没有处理迁移的特性。保证正确的处理参数是相对有限的。如果包封或镀金沉积物的数量太低，该箔将产生处理迁移，另一方面，如果镀金层太厚，可能会部分损失剥离强度。在头两个步骤的处理中，该层是由以微小的、球状的微凸起形式的纯铜组成。

25

一般在铜进行粘结处理时的电沉积之后接着沉积一层非常薄的锌或锌合金，即所谓的阻挡层。它的目的是防止铜-环氧树脂直接接触，这是为什么该锌-合金层（在层压过程中变为 $\alpha$ 黄铜）被称为阻挡层的原因。如果仅由铜组成的粘结处理层用环氧树脂进行层压，在高层压温度下它势必与树脂的氨基起反应。接着，它在箔-树脂接触面处产生水分，会产生“生白点（measling）”和可能脱层的有害

30

影响。在铜处理时镀覆的阻挡层彻底防止了这些有害影响。上述所有三个阶段的

处理，受电沉积方法的影响，改变了该箔表面粗糙面的几何形状和表面形态，也保证了表层区所要求的机械强度。

电沉积处理之后，通常接着进行电化学防锈处理，以改变其表面化学性。通过这些步骤，使粘合表面变为化学稳定。这些操作除去了不牢固的表面膜，其可以极大地减小固体粒子的附着，而且这些操作可以用稳定的厚度可控的薄膜代替表面膜，其使处理的表面具有“耐久性”性质。该薄膜用作后来粘合的里衬（undercoat）。相同的防锈步骤也保护了该箔对面有光泽的一面以防止其空气氧化。

在二十世纪七十年代初期发明了当代的粘结处理技术，而今天较多的箔厂家正使用相同的技术。在中间的年代中已经发生的变化基本上与阻挡层的组成有关，为了适应用于制造印制电路板的新型聚合物电介质衬底的出现引起的技术要求。例如，最近引入印制电路工业中的聚酰亚胺衬底比环氧预浸渍需要更高的层压温度。所以，箔厂家不得不修改整个处理过程的一部分，以便获得该箔阻挡层的组成和性能，其决定了要应用聚酰亚胺。简单地说，与应用环氧的处理相比，聚酰亚胺类处理的阻挡层不得不经得起更高的层压和后烘焙温度。在金属-聚合物接触面处高温可以使金属表面氧化，伴随着粘合力的部分损失。设计完善的阻挡层与在下面的所有铜处理一起具有自保护以防热氧化和结合力的损失。

在粘结处理技术方面的其他变化正继续发生。例如，一些主要的箔厂家建造了它们的具有许多单独电镀槽的新处理器，以便连续涂覆两次树枝状沉积物，和紧接着的包封沉积物。因此，常常选定一个四槽处理器，并配套应用微粗糙处理层，该处理层包括树枝状层，和紧接着的封装层，重复这些多复合层两次。这些实践的目的在于能以更大的速度运转，因为现在建造处理器的初始投资费用是很高的。相反，槽的数目较多，同时处理器以较传统的速度运行，使所谓在较高的玻璃较高温度下“难以粘合到”聚合物衬底上的沉积物允许有更大的沉积处理量，以保证合格的剥落强度。这些衬底常常是包括多官能环氧树脂类、BT树脂、聚酰亚胺等的混合物，通常需要增加的粘结处理量以保证足够的剥落强度。应该记住除粘合增强的显微结构以外，每表面面积铜箔处理量也是一个重要因素。

据估计箔生产商通常在每平方米铜箔上电沉积大约5克树枝状的沉积物，和几乎相同数量的包封沉积物，而大多数阻挡层通常是每平方米大约为1克。在该箔的粗糙面上沉积的处理量取决于由法拉第定律确定的电流密度和电镀时间。不能过

分地增加电流密度以适应较高的处理器速度，因为铜箔必须在接触辊和电镀电解质之间传导电流。

过度的电流将引起该箔过热而导致起皱、外观不好等缺点。因而电镀时间不能变得太短，以适应高的处理器速度，因为必须沉积的粘结处理量是一重要因素。

5 结果，虽然处理器速度在主要的箔生产商之中变化，但是他们不超过大约100英尺/分钟。因为用大约50,000安培电流运转的转筒式阴极机以大约10英尺/分钟的速度生产大约60英寸宽，1盎司箔，这是1/2盎司箔速度的两倍，紧接着一个现代化的处理器可以处理5到8个转筒机的输出产物，这取决于标准箔的混合、降下时间等等。除处理机工程运转的程度，和在较少的程度上而言的。处理方法本身外粘结  
10 处理方法特有的原则和进行方式几乎保持相同，因为它在本发明之内。

用于制造电沉积铜箔的技术是众所周知的，如对箔进行电沉积粘结处理的技术。例如，美国专利3,857,681（Yates等人）“铜箔处理及其生产的产品”是一个极好的粘结处理技术的技术诀窍。这些专利公开了连续的、多层粘结处理技术，其包括连续的树枝状的粉状沉积物、包封的沉积物和阻挡层。根据Yates等人的专利和今天主要的箔生产商的实际应用，该阻挡层由均匀地分布在所有铜粘接处理  
15 层微剖面上的锌合金薄层组成。可以“照现在的样子”镀覆或者通过金属的加热扩散形成这些锌-合金层，即阻挡层。一些箔生产商电沉积黄铜阻挡层。其它厂商电沉积锌。在这种情况下，交给层压工厂的箔已经具有均匀的灰色的粘合面。因为该层压过程包括在制造印制电路板指定的覆铜薄层压板的过程中加热锌阻挡层  
20 合金，同时通过快热扩散固态金属的方法处理放在下面的所有黄铜粘接处理层。结果，在所有的铜表面之上形成了黄色的一层物质，即化学稳定的 $\alpha$ 黄铜。因此，Yates的专利公开了通过黄铜的直接电镀法，或者黄铜的扩散法形成该锌合金层。近年来，主要的箔生产商已经引入较少的辅助合金元素以改善与制造聚酰亚胺层压材料时要求的后烘焙高温和高温有关的阻挡层性能。金属如镍、钴、锡等等可  
25 以与锌共同沉积来实现这些目的。

在印制电路板制造中，粘结处理方法的阻挡层不熟练的应用可以产生欠切（under-cutting）或“红环（red-ring）”的效果。当从层压材料表面上剥离的导线显示出与未化学浸蚀的黄铜的黄色完全不同的粉红色边缘（outside margins）时，可以容易地认出红环咬边组成。不正常地的黄铜合金通常有毛病，并且所产生的  
30 有害作用可能是严重的。蚀刻溶液可以进入箔-环氧界面，即蔓延到导线的下面，

从黄铜层中浸出锌，并有效地减小了实际上将轨迹线粘结到聚合物衬底上的箔处理面的有效宽度。一个实例：如果迹线是千分之5英寸宽有每一面蚀刻溶液进入千分之一英寸时，那么将失去2/3潜在的有效粘合力。加有盐酸的氯化铜蚀刻剂是促使“红环”咬边的侵蚀性最强的助催化剂。经测验0.1毫米铜导线（或千分之4英寸导线）通常具有比1厘米宽（或1英寸的1/250）敷金属箔条的剥离强度的1/100还低的剥离强度。之所以这样，是因为在制造印制电路板时，用来除去铜箔暴露部分的蚀刻溶液进入了导线下面，导致“底切”和部分脱粘。粘接的箔-聚合物界面的实际宽度变得比光阻图象确定的宽度窄，且部分地减小了剥离强度。可以消除这些明显不良的现象。红环咬边是一种经“脱锌”处理金属被在制造印刷电路板中使用的矿物酸和蚀刻溶液锈蚀的典型现象。顾名思义，锌从该合金中丢失，剩下的作为残渣，或通过再沉淀过程成为具有较小机械强度的多孔铜物质。

砷是一种被加到黄铜中的金属，例如含有15 wt %以上锌的黄铜，其在防止脱锌方面最有效，而且通常是将砷加入到冶金黄铜中，即金属熔炼生产的黄铜。

然而，除了使用氰化物电解质外，锌/砷合金共沉积在实际中不是已知的或预知的，氰化物电解质昂贵并且处理复杂，而且涉及废水处理和符合环保法的苛刻的问题。

本发明的主要目的是提供一种处理后的铜箔，当其粘接到聚合物的衬底上时，具有与衬底相连的改良的粘结强度，和优良的抗底切性，底切是由为在箔构成的铜敷层压物上形成电路而进行蚀刻所用的酸所致。

本发明的另一个目的是提供由上述箔制成的敷铜箔叠片，其在该箔和衬底之间具有持久高强的粘结性。

本发明的再一个目的是提供在电解铜箔粘合面上进行电沉积处理的方法，该处理提供了改良的粘结强度和耐底切性。

从本发明的下列描述和实践中可以明显地看出本发明的其他目的和优点。

通过处理在制造印刷电路板中使用的铜箔可以达到本发明的目的，其包括电沉积铜基箔和在其粘合面上沉积的粘结处理层，该处理层包括在粘合面上电沉积的黄铜粘结-增强处理层；在粘接-增强处理层上电沉积的铜-砷层；和在铜-砷层上电沉积的锌或锌合金的阻挡层。

在铜基箔粘合面上电沉积处理层的方法可以生产上述处理的铜箔，该方法包括在基箔的粘合面上电沉积一种粘合一增强铜处理层；在粘合一增强处理层上共

电沉积来自含有铜离子电解质的铜和砷，电沉积的条件要使其上有效地沉积一层铜砷合金层；在铜砷层上电沉积锌或锌合金以在其沉积一层锌或锌合金阻挡层。

从下列描述中并结合附图将更完全地了解本发明，其中：

图1是在箔粗糙面上电沉积粘合一增强铜处理层的传统电沉积铜箔的侧视

5 图；

图2是与本发明一致的处理后的铜箔侧视图；

图3是在加热以前与本发明一致的敷铜箔板的部分侧视图；

图4是在受热以后与本发明一致的敷铜箔板的部分侧视图；

图5是传统粘结处理表面的缩影照片（5000x）；和

10 图6是与本发明一致的粘结处理表面的缩影照片（5000x）。

参考图1和2，用众所周知的方法在转鼓阴极上生产电沉积铜基箔10，且它具有光泽的面12、或转筒面，和由微观峰谷形成的柔和磨光粗糙面14（面向电解质的那面）。粘合一增强铜处理层16电沉积在该箔的粘合面上（当形成用于制造印制电路板的敷铜箔板时粘接到聚合物衬底的那面），其可以是表面粗糙面或者是有光泽的面，但是优选是表面粗糙面。处理层16优选是由多层电沉积层形成，例如树枝状的铜层，紧接着镀金（或包封）铜层。处理层16的目的是当形成敷铜箔板时增强该箔与聚合物衬底的粘结强度。可以通过任何适用技术例如美国专利号3,857,681（Yates等人）公开的技术沉积铜粘接一增强处理层16，在这里引入作为参考。

20 根据本发明，在处理层16上电沉积一种如下所述的微晶铜-砷层18。

如图3所示，用一种众所周知的方法，优选上述美国专利号3,857,681公开的方法在微晶层18上电沉积一种锌或锌合金阻挡层20。

根据本发明通过下列方法将砷引入到阻挡层（最初由锌或锌合金组成）中：

- 1.在沉积阻挡层以前电沉积铜/砷微晶沉积物
- 25 2.沉积含锌阻挡层
- 3.在铜箔层压到聚合物衬底上时通过三种金属相互扩散形成铜/砷/锌三元合金（含砷的黄铜）。

这些“粘合”（层压）操作是在层压工厂中进行，且包括加热和冷却循环。

在“预浸处理”的薄片（例如用环氧树脂渗浸的玻璃织物）上敷设铜箔片。将两种材料放置在具有热压板的液压机下，并在高压下压制在一起。在高温下，通过

加压树脂液化并强制进入微不均匀度的箔表面。接着二次循环，冷却这两种材料同时保持加压。在不规则的箔表面上树脂凝固紧紧地将两种材料粘合在一起，使他们很难拉开。层压温度取决于聚合物衬底的类型，但是一般为350-450°F左右。实施加热几个小时。

5 由于快速加热致使铜、锌和砷原子相互扩散，结果这些金属形成三元合金、含砷的黄铜，在印刷电路板制造中其具有脱锌性和耐铜轨迹（导线）线耐底切性。在扩散中，据估计大约加热形成的黄铜层三分之一成为铜—砷层，而三分之二成为含锌层。如图4所示，在层压以后，通过固—固扩散形成砷基阻挡层20'，而一部分微晶沉积物18可以留在粘结处理层16上，但通过扩散已改变了它的组成。

10 已经发现当微晶层粘接到聚合物衬底上时，其也能显著提高铜箔剥落强度（粘合强度）。

如所附的电子显微照相即图5和示意图例如图1所示的那样，单独的处理颗粒16的基本形状是球形，其平均直径大约为2微米（当按照现有技术：美国专利3,857,681、4,572,768或5,207,889进行处理时）。

15 然而，在如图2和6所示的本发明的粘结处理中，例如，树枝状层和包封层结合形成的球体另外由微晶层18的针状物（或晶须）所覆盖。这些针状物平均直径为0.2微米，高度为0.6微米。另外这增大了有效粘合的表面积，增加了粘结处理的粗糙度（真实的表面积与表观面积或投影面积的比例）。因此，达到较高的粘结强度。

20 下列实施例更进一步举例说明本发明和证明它的优点。

#### 实施例

用处理机处理1盎司（35微米厚）电沉积粗铜箔薄片，以便提供具有粘结处理层的粗箔的粗糙表面。

25 用与美国专利3,857,681“铜箔处理及其生产的产品（Copper Foil Treatment and Products Produced Therefrom）”（Yates等人发明的）中公开的处理参数一致处理参数生产处理的箔，其被指定为箔1号，其具有树枝状的铜层/镀金层和在粗糙面上电沉积的锌阻挡层。

30 将另一份同样的粗箔薄片经过完全相同的处理，只是在镀金层电镀槽之后有一额外的电镀台用于在以通常的方式涂覆阻挡层以前电沉积本发明的铜砷微晶层。使用下列表1中所示的最优选的条件涂覆该微晶层。

后面处理的箔被指定为箔2号。

表1

用于电沉积铜/砷微晶层的工艺参数和电解质

| 参数                                   | 最优选的                   | 优选的范围   |
|--------------------------------------|------------------------|---|
| CuSO <sub>4</sub> 形式Cu               | 5g/l                   | 4-8g/l  |
| H <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub> 形式As | 250 ppm                | 200-300 ppm                                   |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>       | 40 g/l                 | 35-45 g/l                                     |
| 氯化物                                  | 8 ppm                  | 5-20 ppm                                      |
| 温度                                   | 室温                     | 15- 30℃                                       |
| 电流密度                                 | 6 A/dm <sup>2</sup>    | 4-8 A/dm <sup>2</sup>                         |
| 时间                                   | 5秒                     | 3-8秒  |
| 沉积物上的Cu                              | 0.59 g/m <sup>2</sup>  | 0.3 g/m <sup>2</sup> - 1.0 g/m <sup>2</sup>   |
| 沉积物上的As                              | 0.013 g/m <sup>2</sup> | 0.005 g/m <sup>2</sup> -0.05 g/m <sup>2</sup> |

在被层压到FR-4环氧聚合物的衬底（玻璃纤维和环氧树脂预浸物为由美国电气制造协会- NEMA指定的FR-4）上以后，对箔1号和2号进行剥落强度（粘结强度）和耐底切性的试验。

如下测量粘结强度：按照传统的方式将箔粘接到由环氧树脂浸渍的玻璃纤维载体上。在使用“B”档的环氧树脂，并且其在500磅/英寸压力和330—340°F下与箔处理表面接触而固化。层压材料的最终厚度大约为一英寸的1/16以上，其中箔总计为大约为0.0015英寸厚。然后将这样制成的层压材料切断成1/2英寸宽的条，并按照下列方式进行粘结强度试验：将铜沿着垂直于层压材料的方向以2英寸/分的速度从玻璃纤维布载体上剥落下来。在测力计上读取从该载体上剥落铜所要求的力，并以磅为单位来测量。将此读数两倍获得每英寸宽度的层压材料的剥离强度。每英寸宽度的层压材料10磅的粘结强度被认为是完全可接受的。12磅/每英寸或更多的粘结强度被认为是杰出的。

试验耐底切性：用1毫米宽耐酸带子捆扎所得到的层压材料的箔，然后在氯化铜中蚀刻层压箔片产生两条粘接的铜线，每个1毫米宽。用经测量的力从该预浸处理物中将一个铜线拉出。在室温下使剩余的另一铜线经受1:1盐酸浴达1小时，然后从预浸处理物中拉出。测量力的不同以提供箔耐底切性如何的指示。下列表2中给出了箔1号和2号的测量结果。

表2

|     | 底切           |              |                    |             |
|-----|--------------|--------------|--------------------|-------------|
|     | 粘结强度<br>磅/英寸 | 粘结强度<br>磅/英寸 | HCl处理后粘结强度<br>磅/英寸 | 粘结强度<br>损失% |
| 箔1号 | 10.6         | 0.41         | 0.35               | 13          |
| 箔2号 | 12.2         | 0.48         | 0.48               | 0           |

有两个由本发明铜-砷微晶沉积层带来的重要好处，按本发明处理步骤的顺序，微晶层紧接着镀金层，并在锌阻挡层之前形成。

1.微晶层，镀覆在树枝状层和包封层复合材料的球状微凸起物之上，其增加了有效粘合到聚合物衬底上的总表面积，因此增加了该处理层的粘结强度。

2.该微晶层由铜-砷合金（例如大约98%铜，2%砷）组成。通过在层压时加热诱导该层砷组份参加铜和锌原子的相互扩散，其结果形成含有砷的黄铜阻挡层。此阻挡层不受在制造印刷电路板中使用的蚀刻溶液引起底切的影响。

用于沉积微晶层的电解质和方法的主要特征是：

- \*非常低的铜浓度
- \*低温
- \*高电流密度
- \*没有剧烈搅拌
- \*存在氯离子

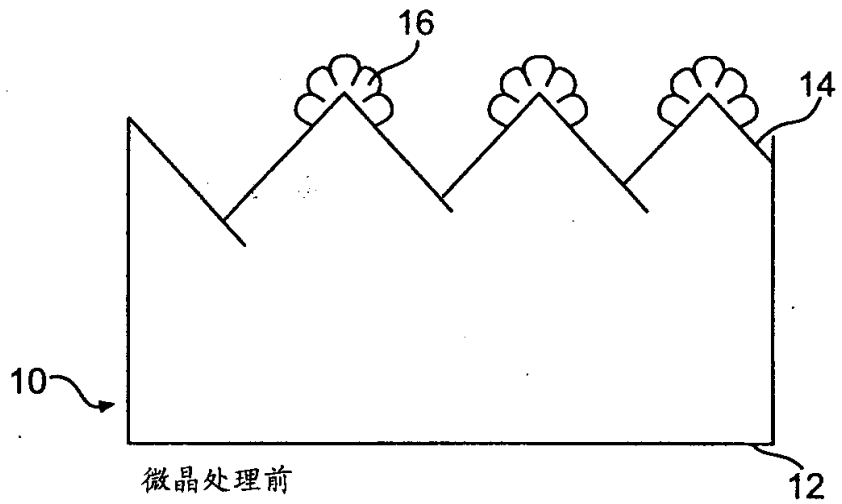
所有的这些因素导致阴极高度极化和质量传递较差，其增强了所谓的场-定向隔离类型的多晶电沉淀物的形成，该多晶电沉淀物由针状物、晶须和斜方晶形成，其有助于改进该处理的粘结强度。

因此，当使用上述原则实施本方法以沉积具有上述结构的铜-砷层时，我们已经发现使用表1所示优选范围的工艺参数和电解质组成能够沉积特别满意的铜-砷层。

通过引入相当低浓度的原砷酸 $H_3AsO_4$ 形式的砷电解质来完成砷的共同沉积。我们发现在微晶沉积层中仅仅有2%的砷就足以达到不受底切的影响；然而，可以发现所希望用的用量例如大约为0.5—5重量%砷。

因为铜和砷的标准电极电位彼此接近，所以两者发生共沉积，但两者比氢贵的多。

说明书附图



现有技术  
图 1

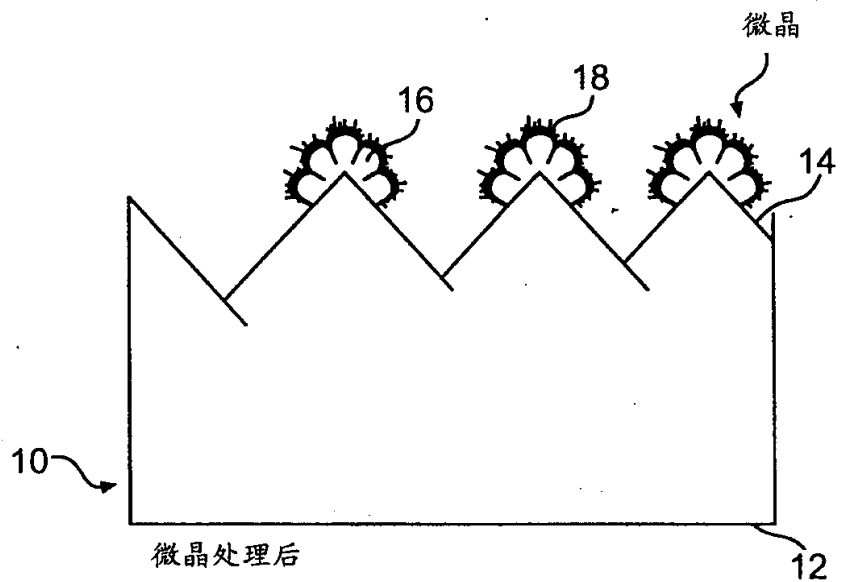


图 2

与聚合物基接触的界面（底切的位置）

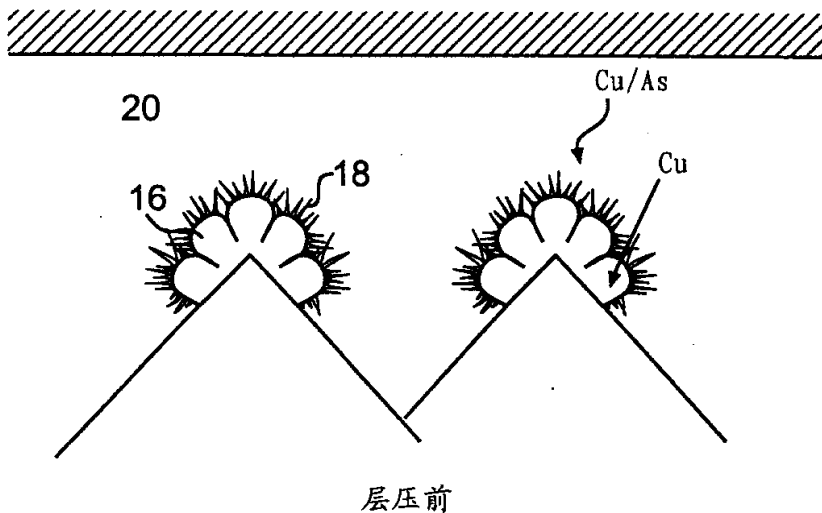


图 3

与聚合物基接触的界面（底切的位置）

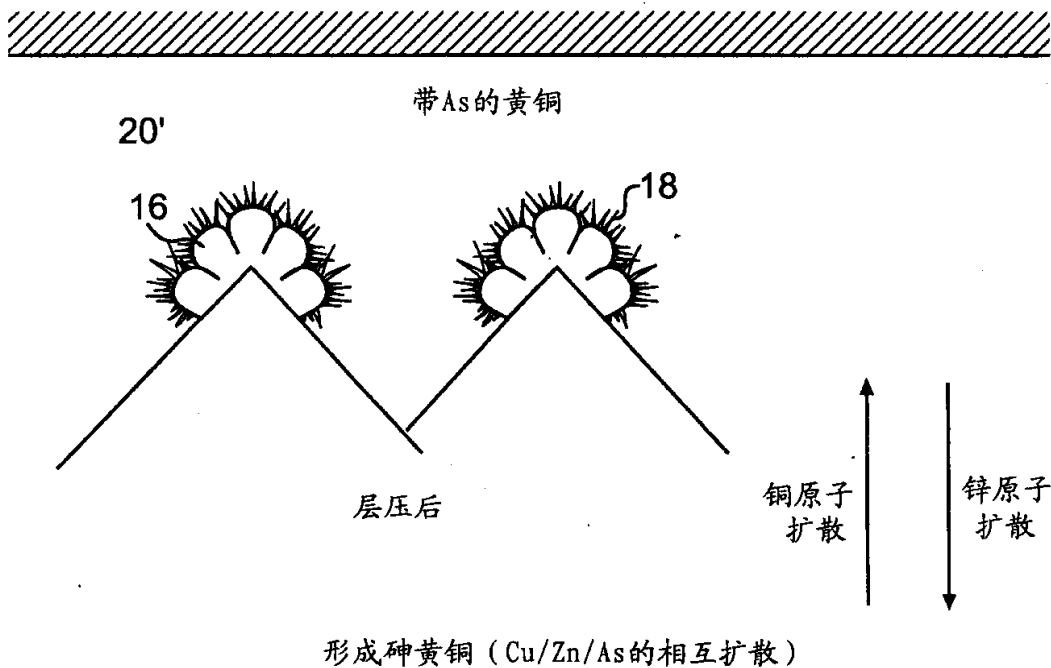
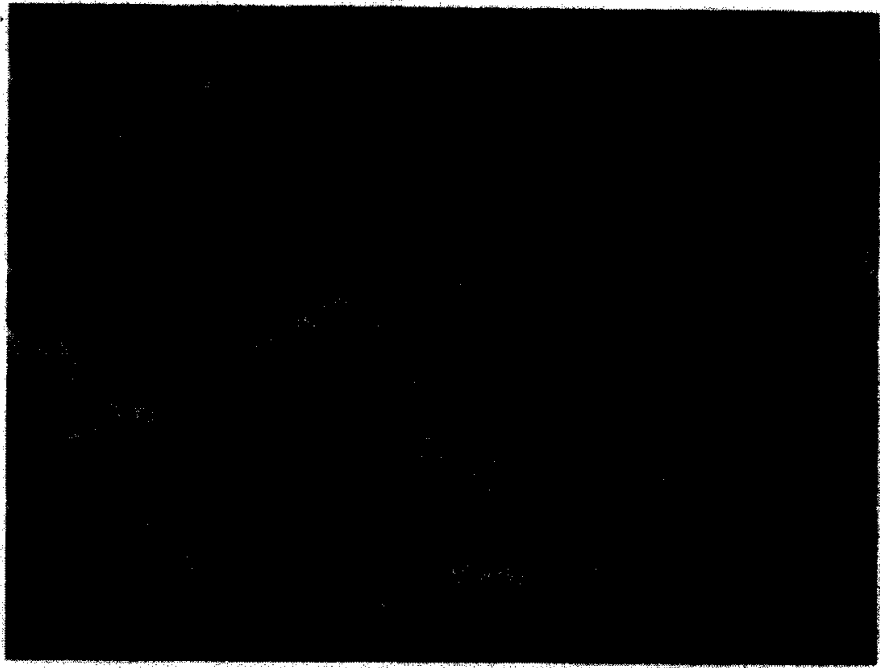


图 4



现有技术  
图 5

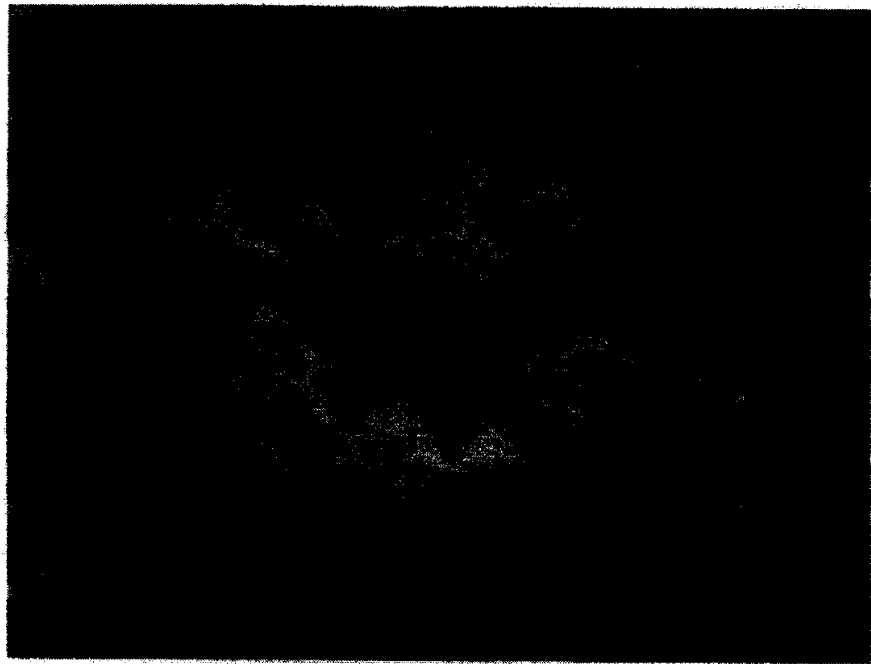


图 6