

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580044575.2

[51] Int. Cl.

H01L 21/768 (2006.01)

H01L 23/538 (2006.01)

H05K 3/38 (2006.01)

H05K 3/28 (2006.01)

[43] 公开日 2007年12月12日

[11] 公开号 CN 101088156A

[22] 申请日 2005.11.17

[21] 申请号 200580044575.2

[30] 优先权

[32] 2004.12.22 [33] US [31] 11/021,135

[86] 国际申请 PCT/US2005/041827 2005.11.17

[87] 国际公布 WO2006/068741 英 2006.6.29

[85] 进入国家阶段日期 2007.6.22

[71] 申请人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

[72] 发明人 莫塞斯·M·大卫

凯瑟琳·B·莎伊

巴德理·维尔拉哈万 山崎英男

詹姆斯·R·舍克

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任
公司

代理人 黄启行 穆德骏

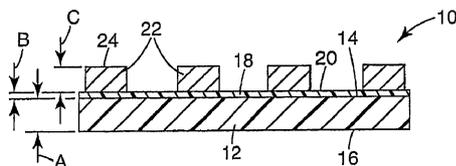
权利要求书 3 页 说明书 34 页 附图 3 页

[54] 发明名称

柔性电子电路制品及其制造方法

[57] 摘要

本发明包括电子电路制品(10), 其具有基板(12)、设置在基板上的等离子体淀积层(18), 其中等离子体淀积层包括至少约 10.0 原子百分比的硅, 以及设置在等离子体淀积层上方的已构图导电层(22)。



1. 一种电子电路制品，包括：
基板；
设置在基板上的等离子体淀积层，其中等离子体淀积层包括至少约 10.0 原子百分比的硅；以及
设置在等离子体淀积层上方的已构图导电层。
2. 根据权利要求 1 的电子电路制品，其中等离子体淀积层包括至少约 20.0 原子百分比的硅。
3. 根据权利要求 1 的电子电路制品，其中根据等离子体淀积层的总重量，等离子体淀积层还包括至少约 15.0 原子百分比的氧。
4. 根据权利要求 3 的电子电路制品，其中等离子体淀积层还包括至少 25.0 原子百分比的氧。
5. 根据权利要求 1 的电子电路制品，其中等离子体淀积层具有从约 0.5 纳米到约 10.0 纳米范围内的厚度。
6. 根据权利要求 5 的电子电路制品，其中该厚度低到约 1.0 纳米且高到约 5.0 纳米。
7. 根据权利要求 1 的电子电路制品，其中等离子体淀积层来自于气体，该气体包括至少约 50.0 原子百分比的有机硅化合物。
8. 根据权利要求 7 的电子电路制品，其中有机硅化合物包括四甲基硅烷。
9. 根据权利要求 7 的电子电路制品，其中该气体还包括氧气、氩

气、氮气、氨气和氢气中的一种或多种。

10. 根据权利要求 1 的电子电路制品，还包括设置在等离子体淀积层和已构图导电层之间的金属化连接层。

11. 一种电子电路制品，包括：

聚酰亚胺基板；

设置在聚酰亚胺基板上的等离子体淀积层，其中等离子体淀积层来自于气体，该气体包括至少约 50.0 原子百分比的有机硅化合物；以及

设置在等离子体淀积层上方的已构图导电层。

12. 根据权利要求 11 的电子电路制品，其中有机硅化合物包括四甲基硅烷。

13. 根据权利要求 11 的电子电路制品，其中该气体还包括氧气、氩气、氮气、氨气和氢气中的一种或多种。

14. 根据权利要求 11 的电子电路制品，其中等离子体淀积层具有从约 0.5 纳米到约 10.0 纳米范围内的厚度。

15. 根据权利要求 11 的电子电路制品，其中该厚度低到约 1.0 纳米且高到约 5.0 纳米。

16. 一种形成电子电路制品的方法，该方法包括：

通过等离子体淀积在基板上形成含硅层；

在含硅层上方淀积导电材料层；以及

构图导电材料层。

17. 根据权利要求 16 的方法，其中形成含硅层包括离子化含有有

机硅化合物的气体。

18. 根据权利要求 17 的方法, 其中有机硅化合物包括四甲基硅烷。

19. 根据权利要求 17 的方法, 其中根据气体的总原子, 有机硅化合物包括至少约 50.0 原子百分比的气体。

20. 根据权利要求 17 的方法, 其中该气体还包括氧气、氩气、氮气、氨气和氢气中的一种或多种。

21. 根据权利要求 16 的方法, 其中构图导电材料层包括通过光刻蚀刻导电材料层。

22. 根据权利要求 16 的方法, 还包括在含硅层上淀积金属化连接层。

23. 根据权利要求 16 的方法, 还包括将基板曝露到等离子体中有效的曝露时间, 以便提供具有从约 0.5 纳米到约 10.0 纳米范围内厚度的含硅层。

24. 根据权利要求 23 的方法, 还包括将基板曝露到等离子体中有效的曝露时间, 以便提供具有从约 1.0 纳米到约 5.0 纳米范围内厚度的含硅层。

柔性电子电路制品及其制造方法

技术领域

本发明通常涉及柔性电子电路（FEC）制品和制造 FEC 制品的方法。更具体地，本发明涉及包括等离子体淀积的含硅层的 FEC 制品。

背景技术

FEC 制品用于各种商业应用中，例如喷墨盒的电路、集成电路封装的互连、硬盘驱动电路和用于液晶显示器的驱动器互连。为了在这些应用中充分起作用，FEC 制品通常需要细的间距（即，窄的宽度）和良好的层间粘附性。良好的层间粘附性需要防止层间分层，特别是当 FEC 制品超时暴露于高温时。

用于形成 FEC 制品的常规技术通常包括在柔性基板上淀积导电材料层，并构图所淀积的层以产生电路轨迹。这种淀积技术的例子包括基于粘合剂的层压、模铸和溅射。但是，存在对加热时和加热后显示出细间距、良好层间粘附性和良好稳定性的 FEC 制品的需要。

发明内容

本发明的至少一个方面在于提出一种电子电路制品，其包括基板、淀积在基板上的等离子体淀积层和淀积在等离子体淀积层上方的已被构图的导电层。等离子体淀积层可以包括至少约 10.0 原子百分比。本发明的至少一个方面还包括提出一种电子电路制品，其包括聚酰亚胺基板、淀积在聚酰亚胺基板上的等离子体淀积层和淀积在等离子体淀积层上方的已被构图的导电层。等离子体淀积层可以来源于包括至少约 50.0 原子百分比的有机硅化合物的气体。

本发明的至少一个方面还在于提出一种形成电子电路制品的方

法。该方法可以包括在基板上等离子体淀积含硅层，在含硅层上方淀积导电材料层，以及构图导电材料层。

除非另作明确说明，以下定义应用于此：

“上方”，在此用于指已构图导电层淀积在等离子体淀积层上方，意味着与基板相对的等离子体淀积层的主表面的任何位置。此定义包括已构图导电层淀积在等离子体淀积层上，也包括淀积已构图导电层以使一层或多个层位于已构图导电层和等离子体淀积层之间。

“等离子体”意味着包含反应种的物质的部分离子化气体或液体状态以及其他激发态的原子和分子，包含反应种的物质包括电子、离子、中性分子、自由基。在形成等离子体的种从各种激发态释放到较低态或基态时，通常从等离子体发射可见光和其他辐射。等离子体通常在反应室中出现为彩色云。

“负偏压”意味着物体（例如，电极）相对于物体附近的一些其他物质（例如，等离子体）具有负的电子电位。

“负的自偏压”对于电极和等离子体来说，是指由电源的施加对产生等离子体的电极产生的负偏压。

附图说明

- 图 1 是本发明的柔性电子电路制品第一实施例的截面图。
- 图 2 是本发明的柔性电子电路制品第二实施例的截面图。
- 图 3 是本发明的柔性电子电路制品第三实施例的截面图。
- 图 4 是本发明的柔性电子电路制品第四实施例的截面图。
- 图 5 是本发明的柔性电子电路制品第五实施例的截面图。
- 图 6 是本发明的柔性电子电路制品第六实施例的截面图。
- 图 7 是本发明的柔性电子电路制品第七实施例的截面图。
- 图 8 是本发明的柔性电子电路制品第八实施例的截面图。

图 9 是用于制造本发明柔性电子电路制品的系统的示意性侧视图。

图 10 是用于制造本发明电子电路制品的可选系统的示意图。

虽然上述附图列出了本发明的几个实施例，但其他实施例也是要考虑的，在此作为提示。在所有情况中，本公开以代表且不限的方式介绍本发明。应当理解本领域技术人员可以设计许多其他改变和实施例，它们落入本发明原理的范围和精神中。附图不是按比例画出的。相同的参考数字在所有附图中用于表示相同部分。

具体实施方式

柔性电子电路制品的描述

本发明的一个方面在图 1 中以 FEC 制品 10 部分示出，其为通过气态有机硅化合物的等离子体淀积和电路化形成的多层制品。如示，FEC 制品 10 包括具有顶表面 14 和底表面 16 的基板 12。气态有机硅的硅化合物是淀积在基板 12 顶表面 14 上的等离子体，以形成具有顶表面 20 的含硅层 18。然后在含硅层 18 的顶表面 20 上形成和构图（即，电路化）导电轨迹层 22 以限定电子电路。在一个实施例中，含硅层 18 包括至少约 10.0 原子百分比的硅。这在基板 12 和导电轨迹层 22 之间提供了良好的层间粘附性。FEC 制品 10 还显示出良好的环境稳定性并适合于细间距应用。

基板 12 是柔性聚合膜，其理想地由热阻性且电绝缘的材料形成。用于基板 12 的合适材料的例子包括聚酰亚胺、改性聚酰亚胺（例如，聚酯酰亚胺、聚酰亚胺酯、聚硅氧烷酰亚胺和聚酰胺）、有机玻璃、聚脂、聚碳酸酯、聚四氟乙烯、聚亚苯基硫化物、聚仲班酸脂（polyparabanates）、聚脂、聚醚砜、聚乙烯萘烷、聚醚醚酮及其组合物。用于基板 12 特别合适的材料的例子包括聚酰亚胺，其显示出良好的物理强度且耐热耐化学药品。基板 12 可以通过常规技术挤压以获得顶表面 14 和底表面 16 之间的层厚 A。用于基板 12 的合适层厚 A 的例

子在约 12 微米到约 130 微米（约 0.5 密耳到约 5 密耳）范围内。然而，在需要单独需求时层厚 A 可以改变。

含硅层 18 可以是在不连续工艺或连续工艺中淀积在基板 12 上的等离子体。理想地使用连续工艺以提高制造效率。通常，等离子体淀积包括将基板 12 的膜在减小的压力（相对于大气压）下移动通过填充有一种或多种气态有机硅化合物的室。电源提供到与基板 12 的底表面 16 相邻设置或接触的电极（未示出）。这产生电场，其由气态有机硅化合物形成富硅等离子体。然后来自等离子体的离子化分子向电极聚集并碰撞到基板 12 的顶表面 14 上。通过这种碰撞的效果，离子化分子与基板 12 反应并共价键合于此。这产生了基板 12 上的含硅层 18。等离子体淀积的一个好处是淀积含硅层 18 所需的温度相对低（例如，约 10°C）。由于已知可选淀积技术（例如，化学气相淀积）所需的高温使适于基板 12 的诸如聚酰亚胺的许多材料退化，因此低温是有利的。

等离子体淀积的范围可以取决于各种工艺因素，例如气态有机硅化合物的成分（多个）、其他气体的存在、基板 12 对等离子体的曝露时间、提供到电极的电源电平、气体流率和室压。这些因素相应地有助于确定含硅层 18 的层厚 B。如图 1 所示，层厚 B 从基板 12 的顶表面 14 延伸到含硅层 18 的顶表面 20。含硅层 18 的合适层厚 B 的例子在约 0.5 纳米到约 10.0 纳米范围内。含硅层 18 的尤其合适的层厚 B 的例子在约 1.0 纳米到约 5.0 纳米范围内。层厚 B 的这些范围有助于提供基板 12 和导电轨迹层 22 之间良好的粘附性。

除包含约 10.0% 的硅以外，如上所述，含硅层 18 还可以包括至少约 15.0% 原子百分比的氧。用于含硅层 18 特别合适的成分包括下面的一种或多种：至少约 20.0 原子百分比的硅，至少约 25.0 原子百分比的氧和少于约 50.0 原子百分比的碳。

导电轨迹层 22 通过淀积导电材料和构图所淀积的导电材料形成

在含硅层 18 的表面 20 上。导电材料的淀积可以通过常规淀积技术进行，例如溅射、气相淀积、真空淀积、无电电镀和电镀。合适的导电材料的例子包括导电金属，例如锡、金、银、铜、铬及其组合物。构图可以通过常规光刻技术进行，以形成在含硅层 18 的顶表面 20 和导电轨迹层 22 的顶表面 24 之间具有层厚 C 的导电轨迹层 22。合适的层厚 C 的例子在约 12 微米到约 130 微米（约 0.5 密耳到约 5 密耳）范围内。然后，在需要单独需求时层厚 C 可以改变。

因此，在制造后，本发明的 FEC 制品 10 是包括淀积在电绝缘基板（即基板 12 和含硅层 18 的组合）上的电子电路（即导电轨迹层 22）的柔性电路。FEC 制品 10 的基板 12 和导电轨迹层 22 之间显示出良好的层间粘附性，显示出良好的稳定性，并且适合用于细间距应用。已知适于导电轨迹层 22 的一些材料（例如，铜）使适于基板 12 的聚烯烃退化，例如聚酰亚胺。这样，含硅层 18 防止了导电轨迹层 22 的材料与基板 12 互相影响。

图 2 是示出本发明的可选 FEC 制品的截面图，表示为 FEC 制品 26，其与如上所述的 FEC 制品 10 类似。然而，FEC 制品 26 额外包括设置在导电轨迹层 22 上的镀层 28，以保护导电轨迹层 22 不受环境条件（例如，腐蚀）的影响。FEC 制品 26 可以以与 FEC 制品 10 相同的方式形成。但是，在淀积并构图导电轨迹层 22 之后，另外的导电材料（未示出）可以通过常规淀积技术（例如，无电电镀和电镀）淀积在含硅层 18 的顶表面 20 和导电轨迹层 22 的顶表面 24 和侧面上。然后通过常规光刻技术构图另外的导电材料以形成在导电轨迹层 22 的电表面 24 和镀层 28 的顶表面 30 之间具有层厚 D 的镀层 28。合适的层厚 D 的例子在约 2 微米到约 25 微米（约 0.1 密耳到约 1 密耳）范围内。然而，在需要单独需求时层厚 D 可以改变。

用于镀层 28 的合适材料包括与用于导电轨迹层 22 的相同材料。因此，多个淀积和构图步骤可以用于制造用于本发明 FEC 制品的多个

导电轨迹层（例如导电轨迹层 22 和 28）。淀积和构图步骤的范围在需要单独需求时可以改变。

图 3 是示出本发明另一可选 FEC 制品的截面图，表示为 FEC 制品 32，其与图 1 中的上述 FEC 制品 10 类似。但是，FEC 制品 32 额外包括设置在含硅层 18 和导电轨迹层 22 之间的连接层（tie layer）34。连接层 34 提供了额外的粘附性，用于减小基板 12 和导电轨迹层 22 之间潜在的层间分层。连接层 34 在导电轨迹层 22 来自于对聚合基板通常显示出较低层间粘附性的材料（例如，铜）时特别合适。

FEC 制品 32 的基板 12 和含硅层 18 以与上述用于 FEC 制品 10 相同的方式形成。但是，在含硅层 18 等离子体淀积之后，可以通过常规淀积技术在含硅层 18 的表面 20 上淀积用于连接层 34 的材料，常规淀积技术例如有溅射、气相淀积和真空淀积。用于连接层 34 的合适材料的例子包括金属和金属合金，例如铬、镍、镍-铬以及其氧化物、其合金和其组合物。

在淀积用于连接层 34 的材料之后，使用上述用于 FEC 制品 10 的技术在连接层 34 上淀积用于导电轨迹层 22 的材料。然后通过常规光刻技术构图材料（导电轨迹层 22 和连接层 34 的）的组合层，以形成导电轨迹层 22 和连接层 34，如图 3 所示。如示，连接层 34 在含硅层 18 的顶表面 20 和连接层 34 的顶表面 36 之间具有层厚 E。合适的层厚 E 的例子在约 2 微米到约 25 微米（约 0.1 密耳到约 1 密耳）的范围内。但是，在需要单独需求时层厚 E 还可以改变。

图 4 是示出本发明另一可选 FEC 制品的截面图，表示为 FEC 制品 38。FEC 制品 38 将 FEC 制品 26 的一些特征与 FEC 制品 32 的一些特征组合在一起，FEC 制品 26 和 32 相对于图 2 和 3 在上面描述了。如图 4 所示，FEC 制品 38 包括设置在导电轨迹层 22 上的镀层 28 和设置在含硅层 18 和导电轨迹层 22 之间的连接层 34。FEC 制品 38 通过可以

以与上述用于图 3 的 FEC 制品 32 相同的方法形成。但是，在淀积并构图用于导电轨迹层 22 和连接层 34 的材料之后，可以淀积并构图用于镀层 28 的材料，如以上对图 2 的用于 FEC 制品 26 的描述。FEC 制品 38 提供了连接层 34 与使用多个导电轨迹层（即，导电轨迹层 22 和 28）的组合优点。

图 5-8 是示出本发明的其他可选 FEC 制品的截面图（表示为 FEC 制品 10'、26'、32' 和 38'），其与图 1-4 所公开的那些（分别为 FEC 制品 10、26、32 和 38）相似。但是，在 FEC 制品 10'、26'、32' 和 38' 中，将含硅层 18 与导电轨迹层 22 和/或连接层 34 一起构图。这将基板 12 的顶表面 14 曝露于空气，并在本发明的 FEC 制品中提供了增大的柔性。增大的柔性相应地增大了本发明的 FEC 制品用于各种不同工业应用中的多功能性。

如上所述，本发明的 FEC 制品在加热时和加热后显示出良好的层间粘附性和良好的稳定性。本发明的 FEC 制品的合适特征的例子包括至少约 1.6 千克/厘米 (kg/cm)（约 3.0 磅/英寸）的初始抗剥强度、曝露于 250°C 的温度下一小时后至少约 1.1kg/cm（约 2.0 磅/英寸）的抗剥强度、曝露于 150°C 的温度下 200 小时后至少约 1.1kg/cm（约 2.0 磅/英寸）的抗剥强度和至少 10^{12} 欧姆/100 毫米² 的绝缘阻抗。本发明的 FEC 制品特别合适的特征示例包括至少约 2.1 千克/厘米 (kg/cm)（约 4.0 磅/英寸）的初始抗剥强度、曝露于 250°C 的温度下一小时后至少约 1.6kg/cm（约 3.0 磅/英寸）的抗剥强度、曝露于 150°C 的温度下 200 小时后至少约 1.6kg/cm（约 3.0 磅/英寸）的抗剥强度和至少 10^{13} 欧姆/100 毫米² 的绝缘阻抗。本发明 FEC 制品的抗剥强度是指基板 12 和导电轨迹层 22 之间的抗剥强度。此外，本发明的 FEC 制品能够经受足够程度的环境曝露，其增大了本发明 FEC 制品的多功能性。

等离子体淀积工艺的描述

图 9 是示出系统 40 的示意性侧面图，其是在连续工艺中在基板

12 上等离子体淀积含硅层 18 的合适系统。如前所述，本发明的 FEC 制品（例如，FEC 制品 10、26、32、38、10'、26'、32' 和 38'）通过等离子体淀积来制造。在这点上，虽然系统 40 可以是能够提供受控环境的任何设备，但系统 40 包括限定室 44 的壁 42。例如，室 44 理想地能够抽气，在抽气后引入气体的容积，由气态有机硅化合物产生等离子体，离子积聚并支持膜的淀积。由于铝显示出低的溅射产量，因此铝是用于壁 42 的优选材料，其相应地减少了来自壁 42 的污染。但是，用于壁 42 的合适材料的其他例子包括石墨、铜、玻璃、不锈钢及其组合。

在室 44 中，系统 40 可以包括鼓形（drum）电极 46、多个卷绕机制 48、源线轴 50 和接收线轴 52。具有这些部件的合适系统在 David 等的美国专利 No.5888594（“594' 专利”）和 5948166（“'166' 专利”）以及 Yang 等的美国专利 No.6071597（“'597' 专利”）中公开了。如 '594' 专利、'166' 专利和 '597' 专利中所公开的，基板 12 可以从源线轴 50 作为膜送入到鼓形电极 46，鼓形电极 46 处发生等离子体淀积。然后将得到的膜（包括基板 12 和含硅层 18）缠绕在接收线轴 52 上。卷绕机制 48 引导膜的线路并对膜提供张力。

除 '594' 专利、'166' 专利和 '597' 专利中公开的部件外，系统 40 还可以包括干燥单元 54 以去除来自基板 12 的湿气。干燥单元 54 可以是适于干燥基板 12 的任何系统。在等离子体淀积之前，基板 12 可以经过干燥单元 54 以减少基板 12 中的湿气浓度。基板 12 中的额外湿气会降低等离子体淀积的有效率。干燥单元 54 的例子包括将红外辐射（表示为射线 54a）向膜引导的红外灯。

如上所述，用于鼓形电极 46 的合适系统在 '594 专利、'166 专利和 '597 专利中公开了。在操作期间，且在等离子体淀积之前，系统 40 可以被抽气，以便从室 44 去除空气，例如通过连接到室 44 的真空泵（未示出）。在将空气从室 44 清除之后，然后将气态有机硅化

合物以所需流速引入到室 44 中。所需流速可以取决于几个因素，例如室 44 的尺寸和基板 12 将接收淀积离子的表面积的尺寸。为了完成等离子体淀积，这种流速理想地足以建立合适的压力，其通常在约 1.0×10^{-6} 托到约 1.0 托范围内。

用于等离子体淀积的气态有机硅化合物包括在室 44 的减小压力下成气体状态的任何有机硅化合物。合适的有机硅化合物的例子包括三甲基硅烷、三乙硅烷、三甲基硅氧烷、四甲基硅烷、四乙基硅烷、四甲基硅氧烷、四乙基硅氧烷、六甲基环丙硅氧烷、四甲基环丁硅氧烷、四乙基环丁硅氧烷、八甲基环丁硅氧烷、六甲基二硅氧烷、双三甲基二甲硅烷基甲烷及其组合物。特别合适的有机硅化合物的例子包括四甲基硅烷。此外，气体可以包括硅烷。

除气态有机硅化合物之外，还可以将一种或多种气态非有机化合物引入到室 44 中以辅助等离子体淀积。合适的气态非有机化合物的例子包括氧气、氩气、氢气、氮气、氦气、氨气及其组合。气态非有机化合物的流速可以根据气态非有机化合物与气态有机硅化合物的期望比值而改变。但是，气态非有机化合物和气态有机硅化合物的总流速理想地足以建立完成等离子体淀积的合适压力（例如，从约 1.0×10^{-6} 托到约 1.0 托）。

气态非有机化合物与气态有机硅化合物的合适体积流量比的例子在约 0: 1（即，没有气态非有机化合物）到约 10: 1 范围内。气态有机硅化合物和气态非有机化合物可以作为单一的预混合气体引入到室 44，或者交替引入，作为分离的气体在室 44 内彼此混合。例如，气态有机硅化合物可以以约 80 标准立方厘米每分钟（sccm）的气体流速引入到室 44 中，且气态非有机化合物可以以约 320sccm 的气体流速引入到室 44 中（即，约 4: 1 的体积流量比）。

如 '594 专利、'166 专利和 '597 专利中所述，鼓形电极 46 可

以是由任何导电材料构成的具有环形表面 56 的圆柱电极。用于环形表面 56 的合适材料的例子包括铝、铜、钢、不锈钢、银、铬、其合金以及其组合物。由于铝的易于制造、低的溅射产量和低成本，因此用于环形表面 56 的特别合适的材料例子包括铝。环形表面 56 可以使电场从鼓形电极 46 呈放射状地向外穿透。鼓形电极 46 也可以包括防止电场穿透的非导电的绝缘区域。由此，等离子体淀积限制在鼓形电极 46 的环形表面 56。电学非导电区域可以使用任何合适的电绝缘材料形成，例如聚合物（例如，聚四氟乙烯）。环形表面 56 的合适宽度（在垂直于图 9 的视图平行的平面的方向上）通常应当至少等于要被覆盖的膜的宽度（例如，约 16.5 厘米）。

鼓形电极 46 还优选地包括温度控制系统 58，用于对鼓形电极 46 提供温度控制流体。温度控制系统 58 可以按需求加热或冷却鼓形电极 46，以便鼓形电极 46 具有支持等离子体淀积的适当温度。在优选实施例中，温度控制系统 58 是使用冷却流体的冷却系统。合适的冷却流体的例子包括水、乙二醇、含氯氟烃、氢氟代醚、液化气体（例如，液态氮）及其组合。

优选地，温度控制系统 58 在整个等离子体淀积工艺期间泵出冷却流体（未示出）通过鼓形电极 46，以选择性地控制鼓形电极 46 的温度。用于鼓形电极 46 的合适温度在约 5°C 到约 20°C 范围内。由于基板 12 直接接触鼓形电极 46，因此从等离子体到基板 12 的热传输通过此冷却方法来控制，并由此可以对温度敏感膜进行等离子体淀积。

鼓形电极 46 还包括电连接到鼓形电极 46 的电源 60。电源 60 可以提供在系统 40 上或者可选地可以提供在分立系统上，并电连接到鼓形电极 46。在任一种情况下，电源 60 可以是任何发电机或能够对鼓形电极 46 提供足够功率的传输系统。

合适的电源 60 的例子包括用于提供 RF 功率的射频（RF）电源。

RF 功率显示出高至在鼓形电极 46 的适当配置方案形成负偏压的频率，而不是高至在得到的等离子体中产生驻波。驻波通常降低等离子体淀积的效率。RF 功率可升级用于高的涂层产量（例如，宽的膜和快的线速度）。当使用 RF 功率时，鼓形电极 46 上的负偏压是负的自偏压（即，不需要单独的电源用于引起鼓形电极 46 上的负偏压）。

作为 RF 电源，电源 60 可以以约 0.01 到约 50MHz 范围内的频率激励鼓形电极 46，优选为 13.56MHz 或其任意整数倍（例如，1、2 或 3）。此 RF 功率，当提供到鼓形电极 46 时，在室 44 内从气态有机硅化合物产生富硅等离子体。电源 60 的合适 RF 例子包括 RF 发生器，例如通过网络连接到鼓形电极 46 的 13.56MHz 的振荡器，该网络用于将电源的阻抗与传输线（通常为 50 欧姆电阻）的阻抗匹配，并由此通过同轴传输线有效地传输 RF 功率。

对鼓形电极 46 应用 RF 功率时，形成离子覆层（sheath），其使鼓形电极 46 相对于等离子体变成负的自偏压。离子覆层是必要的，以便获得并支持离子轰击，进而，离子层是必要的以便在基板 12 上制造致密的含硅层 18。此负的自偏压通常在 500 到 1400 伏的范围内，并使气态有机硅化合物离子化，且形成其中具有离子的富硅等离子体。一旦等离子体已经产生，负的 DC 偏置电压就通过来自电源 60 的 RF 功率连续激励鼓形电极 46 而产生在鼓形电极 46 上。该负偏压使富硅等离子体内的离子向鼓形电极 46 的非绝缘部分加速（即，环形表面 56）。富硅等离子体的产生还增大了室 44 的压力。例如，室 44 内约 5.0×10^{-6} 托的预等离子体压力在等离子体产生期间可以增大到约 5-10 毫托。

在本发明的 FEC 制品形成期间，干燥后，将基板 12 送入鼓形电极 46 的环形表面 56 周围，以使基板 12 的底表面 16 接触环形表面 56。因此，等离子体的离子轰击接触鼓形电极 46 的基板 12 的顶表面 14。这使离子化的含硅化合物与顶表面 14 共价键合，并随后使含硅层 18 淀积在基板 12 上以形成膜 63。

然后将得到的膜 62 向上缠绕在接收线轴 52 上，以便随后淀积并构图导电轨迹层 22、镀层 28 和/或连接层 34。可选地，用于导电轨迹层 22、镀层 28 和/或连接层 34 的材料可以在连续工艺中在得到的膜 62 离开鼓形电极 46 时淀积。由于系统 40 的连续工艺使材料在等离子体的离子稳定之前淀积在含硅层 18 的顶表面 20 上，因此系统 40 的连续工艺是有利的。这增大了淀积到含硅层 18 的材料的粘附性，其相应地增大了最终的 FEC 制品的层间粘附性。

图 10 是平面电极 64 的侧面示意图，其是鼓形电极 46 的可选电极装置，并且可以替代系统 40 中的鼓形电极 46。用于平面电极 64 的合适系统的例子在 David 等的美国专利 No.6696157 中公开了。如图 10 所示，平面电极 64 包括背板 66 和绝缘层 68，其与导电板 70 电绝缘。平面电极 64 中还包括管道 72 用于从温度控制系统 58 提供冷却流体并从电源 60 提供功率到平面电极 64。温度控制系统 58 和电源 60 分别在上述图 9 中描述了，其中温度控制系统 58 控制平面电极 64 的温度且电源 60 将功率提供到导电板 70。

在本发明的 FEC 制品形成期间，在干燥单元 54 干燥之后，将基板 12 送入跨过平面电极 64 的导电板 70，基板 12 的底表面 16 以间隔距离 F 设置在导电板 70 上方。基板 12 和导电板 70 之间合适的间隔距离 F 的例子在约 2.5 毫米到约 13 毫米范围内。与鼓形电极 46 的环形表面 56 接触基板 12 的底表面 16 相反，间隔距离 F 提供了基板 12 和导电板 70 之间的非接触设置。由于平面性质和非接触设置，平面电极 64 对通过连续工艺形成本发明的 FEC 制品是有效的。可选地，在基板 12 送入经过平面电极 64 时，基板 12 的底表面 16 可以接触导电板 70。

如上所述，当对导电板 70 应用 RF 功率时，形成离子覆层，其使导电板 70 相对于室 44 中的等离子体变成负的自偏压。如上所述，需要离子覆层来获得并支持离子轰击，进而，需要其在基板 12 上制造致

密的含硅层 18。此偏压通常也在 500 到 1400 伏范围内，并使气态有机硅化合物变得离子化，结果在此通过离子形成富硅等离子体。一旦等离子体已经产生，负的 DC 偏置电压便通过来自电源 60 的 RF 功率连续激励导电板 70 而产生在导电板 70 上。该偏置使富硅等离子体内的离子向导电板 70 加速。因此，离子轰击设置在导电板 70 上方的基板 12 的顶表面 14。这使含硅化合物与顶表面 14 共价键合，并随后在基板 12 上淀积含硅层 18。

如同鼓形电极 46 一样，然后将从平面电极 62 得到的膜 62 缠绕到接收线轴 52（图 10 中未示出）上，以便随后淀积并构图导电轨迹层 22、镀层 28 和/或连接层 34。可选地，导电轨迹层 22、镀层 28 和/或连接层 34 可以在连续工艺中得到的膜 62 离开平面电极 64 时淀积。由于平面电极 64 的平面特性和非接触特性，这点尤其有用。

用于系统 40 的另一合适结构可以在相同的室 44 内包括鼓形电极 46 和平面电极 64。这使鼓形电极 46 和平面电极 64 每个都使用相同的卷绕机制 48、源线轴 50 和接收线轴 52，并由此降低了设备成本。在使用中，鼓形电极 46 或平面电极 64 的任一个可以用于等离子体淀积，同时两个中的另一个电极保持不使用状态。此外，用于淀积导电轨迹层 22、镀层 28 和/或连接层 34 的装置还可以设置在室 44 内，以便可以在连续工艺中淀积本发明 FEC 制品的层。

总的来说，通过鼓形电极 46 和平面电极 64 产生等离子体并加速离子是非常简单的。仅使用一个电极而不是源电极和目标电极。被激励的电极既产生等离子体又变成负的自偏压，由此将等离子体内的离子向被激励的电极加速以便轰击基板 12。此 DC 偏置电压还用于使所淀积的涂层密实，其提高了含硅层 18 的性能。

导电层淀积工艺和电路化工艺的描述

在含硅层 18 等离子体淀积在基板 12 上之后，可以将其他材料淀

积在得到的膜 62 上并构图形成导电轨迹层 22、镀层 28 和/或连接层 34。这提供了本发明 FEC 制品的导电部分，其用作电子电路。如上所述，导电轨迹层 22、镀层 28 和/或连接层 34 的每一个可以使用一系列淀积和光刻技术来淀积并构图，例如溅射、电解镀、抗蚀剂曝光、抗蚀剂显影和蚀刻。这种技术的顺序可以根据所需的具体应用来改变。合适的技术例子公开在 '597 专利中。

对于包括连接层 34 的本发明的 FEC 制品（例如，FEC 制品 32、38、32' 和 38'）来说，将用于连接层 34 的材料淀积在含硅层 18 的顶表面 20 上。如上所述，这可以在含硅层 18 中的离子稳定之前在连续工艺中进行，其增大了连接层 34 到含硅层 18 的粘附性。又如上所述，连接层 34 可以通过常规淀积技术来淀积，例如溅射、气相淀积和真空淀积。例如，在一个实施例中，连接层 34 的材料可以通过设置为 700 瓦的直流（DC）磁控管功率，磁控溅射到含硅层 18 的顶表面 20 上。该溅射可以在包含氩气的室中，在低于约 5.0×10^{-6} 托的预溅射压力下进行（溅射工艺通常增大室内的压力）。如上所述，该室可以是室 40，其使连续工艺制造本发明的 FEC 制品或者其一部分。可选地，用于溅射连接层 34 的室可以与室 40 分离。

在淀积连接层 34 之后，将用于导电轨迹层 22 的材料淀积在连接层 34 的表面 36 上。如上所述，连接层 34 可以通过常规淀积技术来淀积，例如溅射、气相淀积、真空淀积和电解镀。例如，在一个实施例中，用于导电轨迹层 22 的材料可以在两步工艺中淀积，该两步工艺包括淀积籽层而后电解镀。籽层通常是与用于导电轨迹层 22 体相同的材料。用于导电轨迹层 22 的材料的籽层可以通过设置为约 2000 瓦的 DC 磁控管功率磁控溅射到连接层 34 的顶表面 36 上。该溅射可以在包含氩气的室中在低于约 5.0×10^{-6} 托的预溅射压力下进行（溅射工艺通常增大室内的压力）。

如上所述，用于溅射籽层的室可以是室 40，其使连续工艺制造本

发明的 FEC 制品或者其一部分。用于溅射籽层的室还可以是与用于溅射连接层 34 的室相同的室。这使用于连接层 34 的材料和导电轨迹层 22 的籽层在连续工艺中依次淀积（但与等离子体淀积分离）。可选地，用于溅射籽层的室可与室 40 分离并与用于溅射连接层 34 的室分离。

在导电轨迹层 22 的籽层淀积之后，可以将得到的膜曝露于一系列槽以准备用于电解镀的籽层。例如，得到的膜最初可以放置在溶液中，该溶液包括 75%（体积比）去离子（DI）水和 25%（体积比）含水合成物，该含水合成物包括 15% 重量比的硫酸和 15% 的钠盐，该溶液由 Learonal Inc., Freeport, NY 商业经营，注册商标为 RONACLEAN PC-960M。此溶液从籽层的曝露表面去除氧化物和有机残留物。然后将得到的膜放置在 1% 重量比的过硫酸钠溶液中，该溶液由 Learonal Inc. 经营，注册商标 RONAETCH。最后，将得到的膜放置在 10% 的硫酸（ H_2SO_4 ）溶液中。然后将得到的膜准备用于籽层顶部上导电轨迹层 22 其余部分的电解镀。

用于导电轨迹层 22 其余部分的材料可以使用常规电解镀技术来电镀。例如，在一个实施例中，通过将得到的膜放置在溶液中，将用于导电轨迹层 22 的铜材料电镀到籽层上，该溶液包括约 18% 的 H_2SO_4 和约 23% 的 $H_2SO_4 \cdot 5H_2O$ 。将电流（例如，约 200amps/米²）施加到溶液以电镀籽层。电流可以通过任何常规电源来施加，例如注册商标 DYNATRONIX Model PMC 104/PR-20-60 Programmable Power Supply 的可买到的电源，其由 Dynatronix, Inc., Amery, WI 经营。一旦完成电解镀，就将连接层 34 和导电轨迹层 22 准备用于构图。

连接层 34 和导电轨迹层 22 的构图可以通过不同光刻技术的任何一种来进行。在一个实施例中，光致抗蚀剂层叠在基板 12 的底表面 16 和导电轨迹层 22 的顶表面 24 上，该光致抗蚀剂可以是含水或基于溶剂的，并且可以是负光致抗蚀剂或正光致抗蚀剂。光致抗蚀剂使用具有热辊的标准层叠技术来涂敷。光致抗蚀剂的合适厚度在约 35 到约 50

微米范围内。然后将光致抗蚀剂两面通过掩模或光工具曝露于紫外线等。这使光致抗蚀剂未被掩模覆盖的部分交联。由于基板 12 的底表面 16 未被构图，因此涂敷到底表面 16 的光致抗蚀剂完全曝光。然后通过适当溶剂将光致抗蚀剂的未曝光部分显影。在含水抗蚀剂的情况下，可以施加稀释的含水溶液（例如，包括约 0.5% 至约 1.5% 重量比的碳酸钠或碳酸钾的溶液），直到在导电轨迹层 22 的顶表面 24 上获得期望的图形。

在形成光致抗蚀剂之后，然后通过蚀刻剂溶液喷射该膜，其蚀刻导电轨迹层 22 未被交联的光致抗蚀剂覆盖的部分。用于蚀刻导电轨迹层 22 的合适的蚀刻剂溶液例子包括含有约 10.0% 重量比的 H_2SO_4 和约 2.0% 至约 3.0% 重量比的 H_2O_2 的溶液。该蚀刻曝露了连接层 32 顶表面 34 的某些区域（即，导电轨迹层 22 被构图）。根据所使用的光刻技术，此时可以去除光致抗蚀剂或保留用于随后的蚀刻。

在将导电轨迹层 22 构图之后，然后通过将得到的膜放置在第二蚀刻剂溶液中来蚀刻连接层 34，其蚀刻连接层 34 未被交联光致抗蚀剂覆盖的部分。用于蚀刻轨迹层 34 的合适的蚀刻剂溶液例子包括含有约 4.0% 重量比的 KOH 和约 2.5% 重量比的 $KMnO_4$ 的溶液。然后将得到的膜放置在第三溶液中用于蚀刻后中和，该第三溶液包括约 10.0% 重量比的 H_2SO_4 。当蚀刻完成时，然后将光致抗蚀剂从导电轨迹层 22 的顶表面 24 和基板 12 的底表面 16 剥离。其他步骤还可以包括在此工艺中，例如在蚀刻步骤之前和/或之后用去离子水冲洗膜、干燥膜以及其他常规的膜清洗步骤。然后将得到的膜成分立的 FEC 制品（例如，FEC 制品 32、38、32' 和 38'），以便用于各种工业应用。

对于还包括设置在导电轨迹层 22 上的导电轨迹电路 28 的本发明 FEC 制品（例如，FEC 制品 26、38、26' 和 38'）来说，可以与上述用于导电轨迹层 22 相同的方法淀积并构图用于导电轨迹电路 28 的材料。用于导电轨迹电路 28 的材料可以在构图导电轨迹层 22 之前或

之后淀积。在一个实施例中，在导电迹电路 22 构图之前淀积用于导电迹电路 28 的材料。在这种情况下，可以在导电迹电路 28 的顶表面 30 上形成光致抗蚀剂并使其交联，而不是在导电迹电路 22 的顶表面 24 上。然后将导电迹电路 28 与导电迹电路 22 一起构图，如上所述。

在另一实施例中，在形成导电迹电路 28 之前构图导电迹电路 22 和连接层 34。这制造了 FEC 制品 26、38、26' 和 38'，如图 2、4、6 和 8 所示。在这种情况下，在构图导电迹电路 22 和连接层 34 之后，可以淀积用于导电迹电路 28 的材料籽层，然后电解镀。可选地，如果导电迹电路 22 和导电迹电路 28 的材料在导电迹电路 22 和导电迹电路 28 之间提供了足够层间粘附性，则可以不需要籽层。

在淀积之后，然后以与上述用于导电迹电路 22 相同的方法构图导电迹电路 28。此外，可以在导电迹电路 28 的顶表面 30 上形成第二光致抗蚀剂并使其交联。然后可以蚀刻得到的膜，以限定电路迹，然后剥离光致抗蚀剂，如上所述。

本发明的 FEC 制品还可以包括除导电迹电路 22 和导电迹电路 28 之外的其他导电迹电路。其他导电迹电路可以以与上述用于导电迹电路 22 和导电迹电路 28 相同的方法来淀积并构图。

对于不包括连接层 34 的本发明 FEC 制品（例如，FEC 制品 10、26、10' 和 26'）来说，导电迹层 22 可以淀积在含硅层 18 的顶表面 20 上，并以与上述相同的方法构图。对于包括已构图的含硅层 18' 的本发明 FEC 制品（例如，FEC 制品 10'、26'、32' 和 38'）来说，含硅层 18' 可以与连接层 34 和/或导电迹层 22 一起蚀刻，通过与上述相同的构图步骤。

在等离子体淀积并电路化之后，本发明的 FEC 制品在一侧上具有

了导电电路，在相反侧上具有聚合物基板的表面。FEC 制品可以通过各种常规方法连接到印刷电路板或其他装置，例如焊料球、回流焊、热压键合、导线键合、内部引线键合，等等。因此，本发明的 FEC 制品可用在电子封装中，例如球栅阵列、芯片级封装、单金属层和多金属层封装等。可以设计这种电路和封装，以用于任何电子装置中，包括但不限于记录装置、印刷装置、单或多媒体装置、投影仪、照相机、计算机、数据存储装置，等等。

性能分析和表征程序

各种分析技术可用于制造并表征本发明的 FEC 制品。在此采用一些技术。这些技术的阐释如下。

鼓形电极制造方法

本发明的 FEC 制品通过使用鼓形电极的等离子体淀积来制造，并通过后面的工序随后进行电路化。将聚酰亚胺基板膜提供在源线轴上，其中基板膜显示出 50.8 微米的膜层厚度和 15.2 厘米的截面膜宽。首先将基板膜通过 Variac 自耦变压器、Model 033-3504 送到 IR 灯，Variac 自耦变压器、Model 033-3504 由 Staco Energy Products, Dayton, OH 经营（60% 功率设置）。IR 灯包含在具有保持在 1.0×10^{-6} 托压力的室中，以便从基板膜去除湿气。将基板膜以 0.61 米/分钟的线速度送入。

接着，将基板膜送到鼓形电极的环形表面周围，用于等离子体淀积。鼓形电极具有 50.8 厘米（20.0 英寸）的直径，且环形表面具有 16.5 厘米（6.5 英尺）的宽度。鼓形电极还包括在 O_2 辉光放电装置中，该 O_2 辉光放电装置包括棒状阴极和具有切除部分的管状阳极。在等离子体淀积之前，清除室内的空气，且然后将气体（气体的成分在示例之间改变）以流速泵入室中，以提供保持在 5.0×10^{-6} 托的预等离子体压力。还从温度控制系统将保持在 10°C 的循环水通过鼓形电极泵入。然后鼓形电极提供 2000 瓦的 RF 功率以便在气体中产生等离子体。这将室压增大到约 4-7 毫托。然后将基板膜以 4.6 米/分钟的线速度送到鼓形

电极的环形表面，该线速度产生三秒的等离子体曝露时间。测量该曝露时间作为基板膜的给定部分接触鼓形电极并曝露于等离子体的总时间。来自等离子体的离子淀积在基板膜的顶表面上以形成含硅层。然后将得到的膜缠绕在接收线轴上。

通过将膜（包括基板和含硅层）以 4.6 米/分钟的线速度送入穿过室，将 NiCr 连接层淀积在含硅层上。在溅射之前，清除室内的空气然后以 400sccm 的流速填充氩气以提供 5.0×10^{-6} 托的预溅射压力。使用设置为 700 瓦的 DC 磁控管功率通过磁控溅射 NiCr 材料将连接层淀积在含硅层上。该溅射工艺将室中的压力增大到 7.0 毫托。

接着，通过将膜（包括基板、含硅层和 NiCr 连接层）以 4.6 米/分钟的线速度送入穿过室，将铜（Cu）籽层淀积到连接层上。在溅射之前，清除室内的空气然后以 400sccm 的流速填充氩气以提供 5.0×10^{-6} 托的预溅射压力。使用设置为 2000 瓦的 DC 磁控管功率通过磁控溅射铜材料将铜籽层淀积在 NiCr 层上。该溅射工艺将室中的压力增大到 7.0 毫托。

在淀积籽层之后，将膜在溶液中以 25°C 放置 2 分钟，其中溶液包括 75%（体积比）去离子（DI）水和 25%（体积比）含水合成物，该含水合成物包括 15% 重量比的硫酸和 15% 的钠盐，该溶液由 Learonal Inc., Freeport, NY 商业经营，注册商标为 RONACLEAN PC-960M。然后用 DI 水喷射该膜 2 分钟。然后将膜浸入到 RONAETCH 铜浴槽中，其由 1.0% 重量比的过硫酸钠溶液构成，可从 Learonal Inc. 商业获得。然后再次用 DI 水喷射该膜 2 分钟。最后，将薄片浸入 10% 重量比的 H_2SO_4 浴槽中 15 秒。在一系列浴槽之后，将该膜为电解镀做好准备。

通过将膜（包括基板、含硅层、NiCr 连接层和 Cu 籽层）放置在 22 加仑的浴槽中进行电解镀。浴槽包括用空气搅动的溶液，还包括具有铜-磷矿块（nugget）的篮（basket）。溶液包括 18% 重量比的 H_2SO_4 、

23%重量比的 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、2%重量比的载体/抛光剂，以上成分从 Rohm and Haas Electronic Material Co., Marlborough, MA 作为 Copper Gleam CLX Additive 购得，还包括 2%重量比的 PPR 载体，其可从 Rohm and Haas Electronic Material Co. 购得。浴槽通过来自 DYNATRONIX Model PMC 104/PR-20-60 Programmable Power Supply 的密度为 200amps/米² (20 amps/英尺²) 的电流充电，该电源由 Dynatronix Inc. 经营。将膜以 24.1-25.4 厘米 (9.5-10 英寸) 的电镀距离置于浴槽中 43 分钟。在移出浴槽时，该膜为用于电路化 (即，构图) 做好准备。

平面电极制造方法

本发明的 FEC 制品通过使用平面电极的等离子体淀积来制造，并通过后面的工序随后进行电路化。将聚酰亚胺基板膜提供在源线轴上，其中基板膜显示出 50.8 微米的膜层厚度和 15.2 厘米的截面膜宽。首先将基板膜通过 Variac 自耦变压器、Model 033-3504 送到 IR 灯，Variac 自耦变压器、Model 033-3504 由 Staco Energy Products, Dayton, OH 经营 (60% 功率设置)。IR 灯包含在具有保持在 1.0×10^{-6} 托压力的室中，以便从基板膜去除湿气。将基板膜以 0.61 米/分钟的线速度送入。

接着，将基板膜以 0.64 厘米 (0.25 英寸) 的间隔距离跨过平面电极送入，用于等离子体淀积。平面电极安装在 Leybold 产品喷镀金属器中，其由 Leybold Vacuum Products Inc., Export, PA 经营。平面电极包括导电表面，该导电表面具有 26.7 厘米 (10.5 英寸) 的长度 (在基板膜移动的方向上) 和 38.1 厘米 (15.0 英寸) 的宽度。在等离子体淀积之前，清除室内的空气，且然后将气体 (气体的成分在示例之间改变) 以流速泵入室中，以提供保持 5.0×10^{-6} 托的预等离子体压力。还从温度控制系统将保持 10°C 的循环水通过平面电极泵入。然后平面电极提供 2000 瓦的 RF 功率以便在气体中产生等离子体。这将室压增大到 7.0 毫托。然后将基板膜以 4.6 米/分钟的线速度跨过平面电极送入，该线速度产生三秒的等离子体暴露时间。测量该暴露时间作为基板膜的给定部分接触鼓形电极并暴露于等离子体的总时间。来自等离子体

的离子淀积在基板膜的顶表面上以形成含硅层。

在等离子体淀积之后，在相同的室中，将膜（包括基板和含硅层）送入经过用于在连续工艺中淀积 NiCr 连接层的溅射装置。使用设置为 700 瓦的 DC 磁控管功率通过磁控溅射 NiCr 材料将连接层淀积在含硅层上。然后在相同的室中，将膜（包括基板、含硅层和 NiCr 连接层）送入经过用于在连续工艺中在连接层上淀积 Cu 籽层的第二溅射装置。使用设置为 2000 瓦的 DC 磁控管功率通过磁控溅射铜材料将铜籽层淀积在 NiCr 层上。在淀积 Cu 籽层之后，将膜缠绕在接收线轴上用于电解镀。

在电解镀之前，将膜在溶液中以 25°C 下放置 2 分钟，其中溶液包括 75%（体积比）去离子（DI）水和 25%（体积比）含水合成物，该含水合成物包括 15% 重量比的硫酸和 15% 的钠盐，该溶液由 Learonal Inc., Freeport, NY 商业经营，注册商标为 RONACLEAN PC-960M。然后用 DI 水喷射该膜 2 分钟。然后将膜浸入到 RONAETCH 铜浴槽中，其由 1.0% 重量比的过硫酸钠溶液构成。然后再次用 DI 水喷射该膜 2 分钟。最后，将薄片浸入 10% 重量比的 H₂SO₄ 浴槽中 15 秒。在一系列浴槽之后，该膜为电解镀做好准备。

通过将膜（包括基板、含硅层、NiCr 连接层和 Cu 籽层）放置在 22 加仑的浴槽中进行电解镀。浴槽包括用空气搅动的溶液，还包括具有铜-磷矿块（nugget）的篮（basket）。溶液包括 18% 重量比的 H₂SO₄、23% 重量比的 CuSO₄*5H₂O、2% 重量比的载体/抛光剂，以上成分从 Rohm and Haas Electronic Material Co., Marlborough, MA 作为 Copper Gleam CLX Additive 购得，还包括 2% 重量比得 PPR 载体，其可从 Rohm and Haas Electronic Material Co. 购得。浴槽通过来自 DYNATRONIX Model PMC 104/PR-20-60 Programmable Power Supply 的密度为 200amps/米²（20 amps/英尺²）的电流充电，该电源由 Dynatronix Inc. 经营。将膜以 24.1-25.4 厘米（9.5-10 英寸）的电镀距离置于浴槽中 43

分钟。在移出浴槽时，该膜为电路化（即，构图）做好准备。

电路化方法

将按照鼓形电极制造方法和平面电极制造方法制造的膜按照以下工序构图以形成电路。使用从 Western Magnum, EL Segundo, CA 买到的注册商标 XRL-120A 的热辊层叠器在导电层的表面和基板的底表面上形成光致抗蚀剂。将膜以 45.7 厘米/分钟（1.5 英尺/分钟）的线速度送入经过层叠器。层叠温度为 127°C（260° F），且层叠压力为 414 千帕（60 磅/英寸²）。光致抗蚀剂包括聚乙烯衬垫、聚（甲基丙烯酸酯）光致抗蚀剂层和聚乙烯覆盖层，且从 MacDermid, Inc., Waterbury, CT 买到，注册商标为 Aqua-Mer SF320 Dry Film Photoresist。在层叠之前，将聚乙烯衬垫和聚乙烯覆盖层从光致抗蚀剂层去除。

接着，通过 15 毫瓦/厘米² 的 UV 辐射穿过掩模 15 秒使形成在导电层上的光致抗蚀剂交联。通过 15 秒的 15 毫瓦/厘米² 的 UV 辐射整片曝光使形成在基板上的光致抗蚀剂交联。UV 辐射通过装配有 500 瓦短弧汞灯的注册商标为 JBA 的紫外线曝光系统来提供，该系统由 JBA Associates, San Jose, CA 经营。使用注册商标为 ASI model TT-24 的喷射显影器来显影光致抗蚀剂，其由 Eidschun Engineering, Inc., Clearwater, FL 经营。显影速度为 27.4 厘米/分钟（0.9 英尺/分钟），显影温度为 29.4°C（85° F），显影浴槽包括 0.85% 重量比的 K₂CO₃，喷射压力为 172 千帕（25 磅/英寸²）。

接着，使用保持在 43°C（110° F）的蚀刻浴槽通过 model TT-24 喷射显影器、通过 172 千帕（25 磅/英寸²）的喷射压力和 9.1 厘米/分钟（0.3 英尺/分钟）的速度来蚀刻 Cu 层。浴槽包括 10.0% 重量比的 H₂SO₄ 和 2.0%-3.0% 重量比的 H₂O₂。在蚀刻之后，通过保持在 25°C 的溶液将光致抗蚀剂去除。溶液包括 50% 的 DI 水和 50% 的注册商标为 Resist Stripper S-8044i，其由 Toryon Technologies, Itasca, IL 经营。

接着，将 FEC 制品从膜上单独切下并使用万用表检查缺陷。然后将 FEC 制品单独放置在 NiCr 蚀刻溶液中两分钟以蚀刻 NiCr 连接层。通过将 4.0 克的 KOH 和 2.5 克的 KMnO_4 溶解在 100 毫升水中，并加热到 57°C (137°F) 来制备 NiCr 蚀刻溶液。在从 NiCr 蚀刻溶液移出之后，使用 DI 水漂洗 FEC 制品并放置在 10.0% 重量比的 H_2SO_4 中一分钟以便中和 NiCr 蚀刻溶液。再次用 DI 水漂洗 FEC 制品一分钟并用氮气吹干。

初始剥离强度测试

在制造 FEC 制品之后，按照以下工序定量地测量 FEC 制品的剥离强度（即，层间粘合强度）。使用由 3M Company, St.Paul, MN 经营的 SCOTCH Permanent Double Stick Tape 将 FEC 制品的样品放置在玻璃载片上。样品的三个轮廓（trace）被部分剥离 2-4 毫米以开始剥离。将具有样品的玻璃载片安装在 INSTRON Test Equipment, Model 5567 上，其由 Instron Corporation, Canton, MA 经营。将一个夹子连接到 10 克的负载单元和样品的轮廓之一。定位样品以使剥离角度为 90 ± 10 度。然后以 1.27 厘米/分钟（0.5 英寸/分钟）的十字头速度（crosshead speed）测量导电轨迹层对基板的剥离强度。当负载重量基本变成常数时记录剥离强度。对初始剥离的两个其余轮廓重复测试。此处的制表结果是三个测试操作的平均。

250°C、1 小时剥离强度测试

在制造并将 FEC 制品放置在 250°C 的炉子中一小时以上之后，按照如上所述的初始剥离强度测试定量地测量 FEC 制品的剥离强度。这测试 FEC 制品在高温曝光之后的稳定性。

150°C、200 小时剥离强度测试

在制造并将 FEC 制品放置在 150°C 的炉子中 200 小时之后，按照如上所述的初始剥离强度测试定量地测量 FEC 制品的剥离强度。这测试 FEC 制品在相当长时间曝露于热环境之后的稳定性。

焊料回流剥离强度测试

如上所述，在制造并将 FEC 制品放置在具有氮气环境的焊料回流炉中之后，按照如上所述的初始剥离强度测试定量地测量 FEC 制品的剥离强度。焊料回流是将电子部件连接到印刷电路板的广泛公认的方法。这样，本发明的 FEC 制品理想地显示出在焊料回流条件下良好的稳定性。

绝缘电阻测试

通过以下工序定量地测量 FEC 制品的绝缘电阻。每个 FEC 制品的 50×50 平方毫米样品具有两毫米的厚度。将 100 伏的 DC 电压在 25°C 和大气压下引入轮廓（trace）上。通过皮可安培计测量最终的电流。由电压和最终电流来计算表面电阻。通过将表面电阻除以 FEC 制品方块中的轮廓数量与长宽比的乘积来计算片电阻（欧姆/方块）。

本发明的 FEC 制品理想地在等离子体淀积之后保持良好的绝缘电阻。低的绝缘电阻由于轮廓之间的漏电流而不利于 FEC 制品的性能，特别在细间距应用中。

示例

在以下仅意在说明的示例中更加具体地描述本发明，但在本发明范围内的许多改变和修改对本领域技术人员来说是显而易见的。除非另有明确说明，以下示例中提到的所有部分、百分比和比值都基于原子百分比，并且示例中使用的反应剂由下面描述的化学药品供应商获得或购买，或者可以通过常规技术合成。

以下成分缩写用在以下示例中：

“聚酰亚胺”：可从 E.I.DuPont de Nemours Co., Wilmington, DE 以商品名 KAPTON E 得到的聚酰亚胺膜。

“TMS”：可从 Sigma-Aldrich Chemical Company, Saint Louis, Mo

购得的 NMR-级四甲基硅烷 ($\text{Si}(\text{CH}_3)_4$)。

“Argon”：可从 Sigma-Aldrich Chemical Company 购得的超高纯度的氩。

“Oxygen”：可从 Sigma-Aldrich Chemical Company 购得的超高纯度的氧。

“Nitrogen”：可从 Sigma-Aldrich Chemical Company 购得的超高纯度的氮。

示例 1-15 和比较例 A-C

示例 1-15 是本发明的 FEC 制品，其按照如上所述的鼓形电极方法和电路化方法制备，只是等离子体淀积的 RF 功率和曝露时间按表 1 所示而改变。表 1 提供了在制造示例 1-15 的 FEC 制品的等离子体淀积期间的气体流速、RF 功率和曝露时间。

表 1

示例	TMS 流速 (sccm)	Argon 流速 (sccm)	Oxygen 流速 (sccm)	Nitrogen 流速 (sccm)	曝露时间 (秒)	RF 功率 (瓦)
示例 1	180	170	0	0	4	1000
示例 2	180	170	0	0	10	2000
示例 3	180	170	0	0	4	1000
示例 4	180	170	0	0	10	2000
示例 5	180	0	200	0	4	2000
示例 6	180	0	200	0	8	2000
示例 7	180	100	100	0	4	2000
示例 8	180	100	100	0	8	2000
示例 9	180	0	0	0	4	2000
示例 10	180	0	0	0	8	2000
示例 11	180	170	0	0	4	1000
示例 12	180	170	0	0	10	2000
示例 13	180	170	0	0	18	2000
示例 14	180	0	200	0	4	2000
示例 15	180	0	0	170	20	2000

比较例 A 按照如上所述的鼓形电极制造方法和电路化方法制备，只是以下方面不同。Oxygen 辉光放电装置在邻近鼓形电极的环形表面

安装，其对室以 500sccm 的流速提供 oxygen（不存在 TMS）。鼓形电极提供有 3000 伏和 26 毫安的电流。这产生了五毫托的操作压力。将聚酰亚胺基板膜以 61 厘米/分钟（2 英尺/分钟）的速度送到鼓形电极周围。

按照初始剥离强度测试、250°C 1 小时剥离强度测试和 150°C 200 小时剥离强度测试来测试示例 1-15 和比较例 A 的 FEC 制品。表 2 提供了示例 1-4 和比较例 A 的 FEC 制品的剥离强度结果，表 3 提供了示例 5-10 和比较例 A 的 FEC 制品的剥离强度结果，表 4 提供了示例 11-15 和比较例 A 的 FEC 制品的剥离强度结果。

表 2

示例	剥离强度 (初始) (克/cm)	剥离强度 (初始) (lbs./in.)	剥离强度 (250°C, 1 小时) (克/cm)	剥离强度 (250°C, 1 小时) (lbs./in.)	剥离强度 (150°C, 200 小时) (克/cm)	剥离强度 (150°C, 200 小时) (lbs./in.)
示例 1	575	3.22	505	2.83	548	3.07
示例 2	757	4.24	454	2.54	589	3.30
示例 3	766	4.29	755	4.23	655	3.67
示例 4	821	4.6	788	4.41	804	4.50
比较例 A	779	4.36	234	1.31	246	1.38

表 3

示例	剥离强度 (初始) (克/cm)	剥离强度 (初始) (lbs./in.)	剥离强度 (250°C, 1 小时) (克/cm)	剥离强度 (250°C, 1 小时) (lbs./in.)	剥离强度 (150°C, 200 小时) (克/cm)	剥离强度 (150°C, 200 小时) (lbs./in.)
示例 5	714	4.00	429	2.40	477	2.67
示例 6	663	3.71	279	1.56	418	2.34
示例 7	596	3.34	411	2.30	445	2.49
示例 8	943	5.28	554	3.10	518	2.90
示例 9	771	4.32	486	2.72	430	2.41
示例 10	7.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
比较例 A	779	4.36	234	1.31	214	1.20

表 4

示例	剥离强度 (初始) (克/cm)	剥离强度 (初始) (lbs./in.)	剥离强度 (250°C, 1 小时) (克/cm)	剥离强度 (250°C, 1 小时) (lbs./in.)	剥离强度 (150°C, 200 小时) (克/cm)	剥离强度 (150°C, 200 小时) (lbs./in.)
示例 11	477	2.67	545	3.05	579	3.24
示例 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
示例 13	525	2.94	448	2.51	677	3.79
示例 14	520	2.91	321	1.80	509	2.85
示例 15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
比较例 A	779	4.36	234	1.31	214	1.20

表 2-4 中的数据说明本发明的 FEC 制品中等离子体淀积的含硅层的优点。一般，示例 1-15 的 FEC 制品在暴露于加热环境之后显示出良好的初始层间粘附性和良好的稳定性。比较起来，比较例 A 的 FEC 制品在暴露于加热条件下显示出显著降低的稳定性。这样，本发明的 FEC 制品适合于用在各种应用中，其中 FEC 制品可以经受相当长时间的加热。

表 3 和 4 中的数据还说明当含硅层太厚时，本发明 FEC 制品的层间粘附性降低。这通过示例 10 和 15 的 FEC 制品表现出来。示例 10 的 FEC 制品通过 180sccm 流速的 TMS（不存在其他气体）和 8 秒的暴露时间来制造。类似地，示例 15 的 FEC 制品通过 180sccm 流速的 TMS、170sccm 流速的 nitrogen 和 20 秒的暴露时间来制造。如上所述，等离子体淀积的范围可以依赖于各种工艺因素，例如气体的成分和暴露时间。如果气体包括大浓度的 TMS 且暴露时间足够，则较大量的离子将淀积在基板上，增大了含硅层的厚度。示例 10 和 15 的 FEC 制品表明相对厚的含硅层会降低 FEC 制品的层间粘附性。

示例 16-23 和比较例 B-M

示例 16-23 是按照如上所述的平面电极制造方法和电路化方法制备的本发明 FEC 制品，只是等离子体淀积的压力、线速度、RF 功率、DC 偏压和 amps 如表 5 所示而改变。室中填充了 178sccm 的气体流速

的 TMS 和 181sccm 气体流速的 oxygen。表 5 提供了制造示例 16—23 的 FEC 制品的等离子体淀积期间所用的压力、IR 加热温度、线速度、RF 功率、DC 偏压和 amps。

表 5

示例	压力 (毫托)	IR 加热 (摄氏度)	线速度 (米/分钟)	RF 功率 (瓦)	DC 偏压 (伏)	Amps (秒)
示例 16	7.1	225	3.0	1000	1180	4.9
示例 17	7.1	225	3.0	500	788	4.9
示例 18	8.2	225	3.0	1000	1160	4.9
示例 19	8.0	350	6.1	1000	1144	8.5
示例 20	6.8	350	6.1	1000	1148	8.5
示例 21	8.0	350	6.1	1500	1454	8.5
示例 22	8.0	350	6.1	1000	1142	8.5
示例 23	11.0	350	6.1	1000	1165	8.5

比较例 D-O 是按照如上所述的平面电极制造方法和电路化方法制备的 FEC 制品，只是气体仅包括 argon（没有 TMS），且等离子体电极的压力、线速度、RF 功率、DC 偏压和 amps 如表 6 所示而改变。表 6 提供了制造比较例 B-M 的 FEC 制品的等离子体淀积期间所用的 argon 流速、压力、IR 加热温度、线速度、RF 功率、DC 偏压和 amps。

表 6

比较例	Argon 流速 (sccm)	压力 (毫托)	IR 加热 (摄氏度)	线速度 (米/分钟)	RF 功率 (瓦)	DC 偏压 (伏)	Amps (秒)
比较例 B	350	3.4	175	1.5	1000	1258	2.8
比较例 C	645	13.0	175	1.5	1000	1232	2.8
比较例 D	840	23.0	175	1.5	1000	1214	2.8
比较例 E	770	23.0	225	3.0	1000	1219	4.2
比较例 F	595	13.0	225	3.0	1000	1242	4.2
比较例 G	595	11.5	225	3.0	500	868	4.2
比较例 H	595	12.2	225	3.0	1500	1526	4.2
比较例 I	820	23.0	225	4.6	1000	1222	4.2
比较例 J	740	23.0	300	4.6	1000	1254	5.2
比较例 K	740	22.6	300	4.6	1500	1520	5.2
比较例 L	580	13.0	300	4.6	1000	1300	5.2
比较例 M	325	3.0	300	4.6	1000	1354	5.2

按照初始剥离强度测试、250°C 1 小时剥离强度测试和 150°C 200

小时剥离强度测试来测试示例 16-23 和比较例 B-M 的 FEC 制品。表 7 提供了示例 16-23 和比较例 B-M 的 FEC 制品的剥离强度结果。

表 7

示例	剥离强度 (初始) (克/厘米)	剥离强度 (初始) (lbs./in.)	剥离保持力百分比 (焊料流)	剥离保持力百分比 (250℃、1 小时)
示例 16	793	4.44	70%	82%
示例 17	895	5.01	75%	74%
示例 18	784	4.39	71%	84%
示例 19	1048	5.87	70%	73%
示例 20	1096	6.14	72%	74%
示例 21	1093	6.12	72%	80%
示例 22	1105	6.19	72%	72%
示例 23	1107	6.20	74%	76%
比较例 B	1482	8.30	2%	57%
比较例 C	1480	8.29	5%	51%
比较例 D	1532	8.58	8%	50%
比较例 E	1473	8.25	35%	16%
比较例 F	1429	8.00	34%	16%
比较例 G	1223	6.85	59%	4%
比较例 H	1514	8.48	22%	46%
比较例 I	1423	7.97	37%	19%
比较例 J	1427	7.43	49%	3%
比较例 K	1461	8.18	28%	18%
比较例 L	1270	7.11	45%	8%
比较例 M	1305	7.31	32%	9%

表 7 中提供的数据还说明示例 16-23 的 FEC 制品在曝露于加热条件和焊料回流之后显示出良好的初始层间粘附性和良好的稳定性的组合。比较起来, 比较例 B-M 的 FEC 制品在曝露于加热条件和焊料回流炉之后显示出显著降低的稳定性。这样, 本发明的 FEC 制品适于用在各种应用中, 其中 FEC 制品可以经受加热。而且, 本发明的 FEC 制品还在焊料回流期间显示出良好的稳定性, 使本发明的 FEC 制品保障了电路板等, 而没有明显不利影响。

示例 24-44

示例 24-44 是按照如上所述的平面电极制造方法和电路化方法制

备的本发明 FEC 制品，只是压力、曝露时间和 RF 功率如表 8 所示而改变。室中还填充了气体体积流速比改变的 TMS/oxygen。制造并测试示例 24-44 的 FEC 制品，以便确定工艺变量的改变对层间粘附性和稳定性有何影响。表提供了制造示例 24-44 的 FEC 制品的等离子体淀积期间所用的气体体积流速比 TMS/oxygen、压力、曝露时间和 RF 功率。

表 8

示例	TMS/Oxygen 体积流速比	压力 (毫托)	曝露时间 (秒)	RF 功率 (瓦)
示例 24	1.75	7	1.5	500
示例 25	0.25	7	4.8	1500
示例 26	1.75	7	1.5	1500
示例 27	0.25	25	4.8	500
示例 28	1.75	7	4.8	500
示例 29	2.50	16	3.1	1000
示例 30	1.00	16	6.4	1000
示例 31	1.00	34	3.1	1000
示例 32	0.25	25	1.5	500
示例 33	1.75	25	1.5	500
示例 34	1.75	25	1.5	1500
示例 35	0.25	7	1.5	1500
示例 36	0.25	25	4.8	1500
示例 37	1.00	16	3.1	1000
示例 38	1.00	16	3.1	2000
示例 39	1.75	25	4.8	500
示例 40	1.75	7	4.8	1500
示例 41	0.25	7	4.8	500
示例 42	1.75	25	4.8	1500
示例 43	0.25	25	1.5	1500
示例 44	0.25	7	1.5	500

按照初始剥离强度测试、250℃ 1 小时剥离强度测试和 150℃ 200 小时剥离强度测试来测试示例 24-44 的 FEC 制品。表 9 提供了示例 24-44 的 FEC 制品的剥离强度结果。

表 9

示例	剥离强度 (初始) (克/厘米)	剥离强度 (初始) (lbs./in.)	剥离强度 (250°C, 1 小时) (克/厘米)	剥离强度 (250°C, 1 小时) (lbs./in.)	剥离强度 (150°C, 200 小时) (克/厘米)	剥离强度 (150°C, 200 小时) (lbs./in.)
示例 24	636	3.56	531	2.97	453	2.53
示例 25	659	3.69	531	2.98	517	2.90
示例 26	154	0.86	201	1.13	275	1.54
示例 27	847	4.75	458	2.57	279	1.56
示例 28	375	2.10	539	3.02	386	2.16
示例 29	192	1.07	471	2.64	328	1.84
示例 30	163	0.91	244	1.37	313	1.76
示例 31	676	3.78	324	1.81	551	3.09
示例 32	829	4.64	96	0.54	112	0.63
示例 33	577	3.23	165	0.92	429	2.40
示例 34	766	4.29	376	2.11	529	2.96
示例 35	985	5.51	524	2.93	437	2.45
示例 36	562	3.15	345	1.93	192	1.08
示例 37	632	3.54	324	1.81	553	3.01
示例 38	110	0.61	645	3.61	516	2.89
示例 39	679	3.80	371	2.08	545	3.05
示例 40	335	1.88	236	1.32	251	1.41
示例 41	724	4.05	547	3.06	532	2.98
示例 42	246	1.38	253	1.42	292	1.64
示例 43	955	5.35	193	1.08	192	1.08
示例 44	593	3.32	246	1.38	233	1.31

表 9 中提供的数据说明工艺变量的几个组合在曝露于加热条件之后提供了良好的初始层间粘附性和良好的稳定性的组合（例如，示例 24、25、31、34、35、37、39 和 41 的 FEC 制品）。这证明用于获得在曝露于加热条件后提供良好层间粘附性和良好稳定性的工艺窗口相对较宽。

示例 45-56

示例 45-56 是按照如上所述的平面电极制造方法（但没有电路化方法）制备的 FEC 制品，只是压力和 RF 功率如表 10 所示而改变，且对每个 FEC 制品的曝露时间是 30 秒。制造并测试示例 45-56 的 FEC 制品以便有助于考察存在于含硅层中的氧、碳和硅的实际浓度。30 秒的曝露时间用于获得可以被分析的足够厚的层。表 10 提供了制造示例

45-56 的 FEC 制品的等离子体淀积期间所用的 TMS 和 oxygen 的气体流速、压力和 RF 功率。表 11 提供了示例 45-56 的 FEC 制品的含硅层中氧、碳和硅的浓度，其使用化学分析电子光谱（ESCA）分析。

表 10

示例	TMS 流速 (sccm)	Oxygen 流速 (sccm)	TMS/Oxygen 体积 流速比	压力 (毫托)	RF 功率 (瓦)
示例 45	255	145	1.75	7	500
示例 46	80	320	0.25	7	1500
示例 47	255	145	1.75	7	1500
示例 48	50	200	0.25	25	500
示例 49	198	80	2.50	16	1000
示例 50	100	100	1.00	16	1000
示例 51	200	200	1.00	34	1000
示例 52	255	145	1.75	25	500
示例 53	255	145	1.75	25	1500
示例 54	50	200	0.25	25	1500
示例 55	100	100	1.00	16	2000
示例 56	80	320	0.25	7	500

表 11

示例	氧原子百分比	碳原子百分比	硅原子百分比	氧与硅之比
示例 45	32	42	26	1.23
示例 46	41	34	24	1.71
示例 47	35	39	26	1.35
示例 48	43	29	28	1.54
示例 49	31	42	26	1.19
示例 50	37	38	25	1.48
示例 51	40	33	27	1.48
示例 52	33	44	23	1.43
示例 53	34	45	21	1.62
示例 54	48	28	22	2.18
示例 55	36	46	19	1.89
示例 56	42	33	25	1.68

表 11 中的数据说明了工艺变量对示例 45-56 的 FEC 制品含硅层中的氧、碳和硅浓度的影响。特别是，数据说明本发明的 FEC 制品的含硅层中的氧/TMS 比值可以通过增大 RF 功率、通过增大室压和/或减小 TMS/oxygen 的体积流速比来增大。

示例 57-59 以及比较例 N 和 O

示例 57-59 是按照如上所述的平面电极制造方法和电路化方法制备的 FEC 制品。示例 57 的 FEC 制品通过 180sccm 流速的 TMS 和 170sccm 流速的 argon 制造。示例 58 的 FEC 制品通过 180sccm 流速的 TMS 和 170sccm 流速的 oxygen 制造。示例 59 的 FEC 制品通过 80sccm 流速的 TMS 和 320sccm 流速的 oxygen 制造。

比较例 N 的 FEC 制品是不进行等离子体淀积或电路化的聚酰亚胺基板，并提供了用于比较如何通过等离子体淀积影响绝缘电阻的基线。比较例 O 的 FEC 制品是按照如上所述的平面电极制造方法和电路化方法制备的 FEC 制品，只是 argon 的流速为 170sccm（没有 TMS）。

按照绝缘电阻测试来测试示例 57 和 58 以及比较例 N 和 O 的 FEC 制品。表 12 提供了示例 57 和 58 以及比较例 N 和 O 的 FEC 制品的绝缘电阻结果。

表 12

示例	片电阻（欧姆/方块）
示例 57	5.00×10^{12}
示例 57	4.55×10^{12} *
示例 58	2.50×10^{15}
比较例 N	2.50×10^{16}
比较例 O	1.00×10^{11}

(*)在 85°C 和 85% 湿度下测量的片电阻。

表 12 中的数据说明等离子体淀积，含硅层对绝缘电阻的益处。如上所述，比较例 N 的聚酰亚胺基板提供了绝缘电阻基线。如表 12 所示，示例 57 和 58 的 FEC 制品比较例 O 保持了较大水平的绝缘电阻。相信 argon 等离子体处理，而没有 TMS，可以使比较例 O 的聚酰亚胺基板的表面石墨化。

此外，表 12 中的数据表明使用 TMS 和 oxygen 的示例 58 的 FEC 制品相对于比较例 N 的聚酰亚胺基板基本不会损失任何绝缘电阻。因此，除显示出良好的层间粘附性和稳定性之外，本发明的 FEC 制品还显示出良好的绝缘电阻。这降低了轮廓之间存在漏电流的机会。

示例 59 的 FEC 制品分成五个分离的方块（示例 59a-59e），将其保存在设置为 85℃温度和 85%湿度的炉子中。10 天后在保存在炉中的状态下，按照绝缘电阻测试来测试几次 FEC 制品。表 13 提供了示例 59a-59e 的 FEC 制品的片电阻结果（欧姆/方块）。

表 13

示例	2 天	3 天	6 天	8 天	9 天	10 天
示例 59a	7.67×10^{13}	1.68×10^{14}	3.45×10^{14}	4.06×10^{14}	3.63×10^{14}	3.63×10^{14}
示例 59b	1.68×10^{14}	1.92×10^{14}	2.23×10^{14}	3.29×10^{14}	3.00×10^{14}	3.63×10^{14}
示例 59c	2.76×10^{15}	3.83×10^{15}	4.93×10^{15}	6.27×10^{15}	4.936×10^{15}	1.15×10^{15}
示例 59d	1.64×10^{14}	2.65×10^{14}	4.93×10^{14}	6.90×10^{14}	6.90×10^{14}	7.67×10^{14}
示例 59e	1.86×10^{14}	3.00×10^{14}	3.29×10^{14}	3.83×10^{14}	4.60×10^{14}	4.60×10^{14}

表 13 的数据说明通过 TMS 和 oxygen 等离子体淀积的本发明的 FEC 制品的片电阻即使在高湿高温条件下超过 10 天都是良好的。本示例还说明本发明的 FEC 制品的效用，其显示出良好的剥离强度、稳定性以及绝缘电阻，即使在相当长时间后。

虽然已经参考优选实施例描述了本发明，但本领域技术人员将认识到在不脱离本发明精神和范围的情况下可以在形式和细节上进行改变。

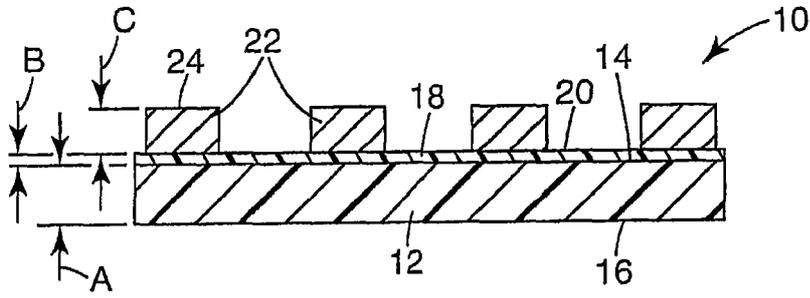


图1

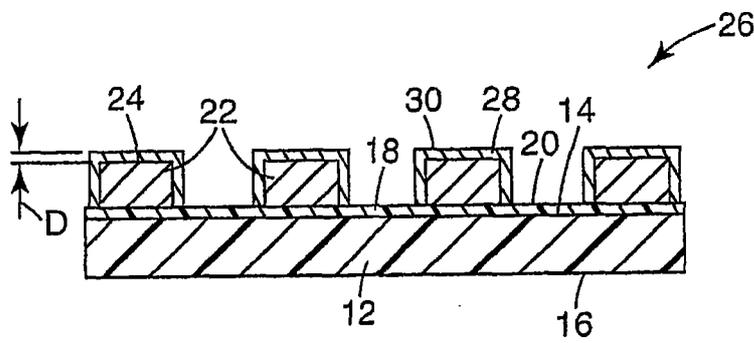


图2

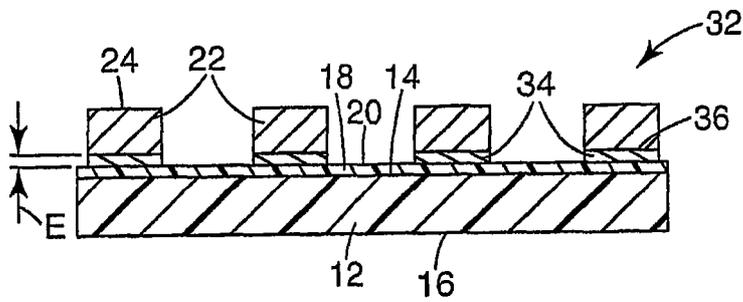


图3

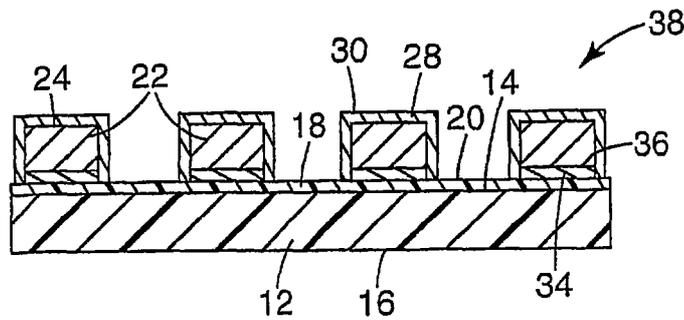


图4

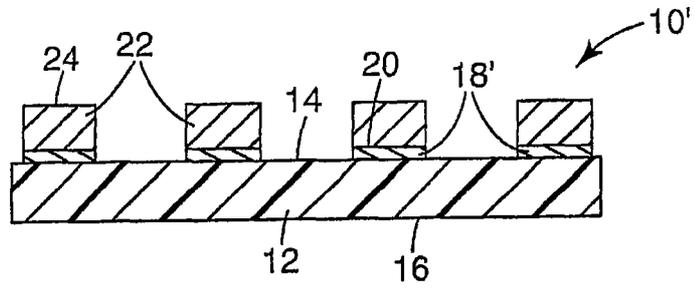


图5

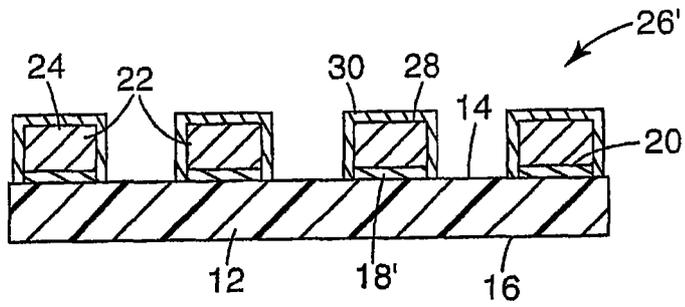


图6

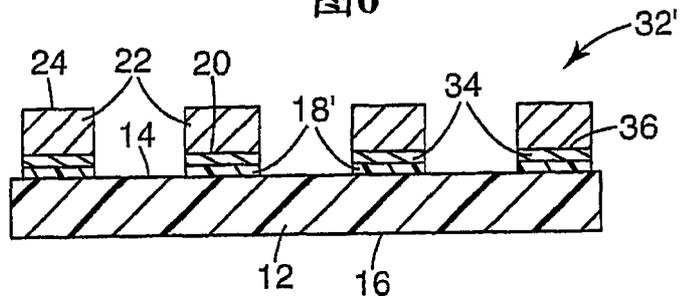


图7

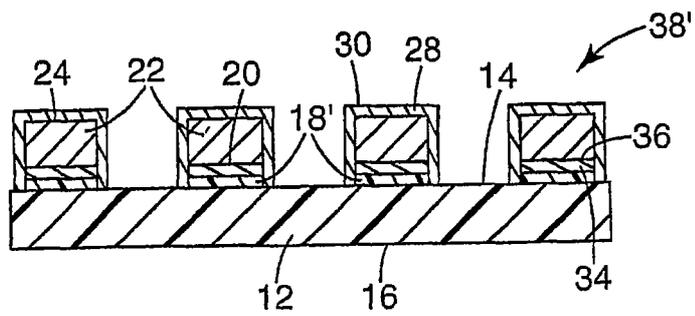


图8

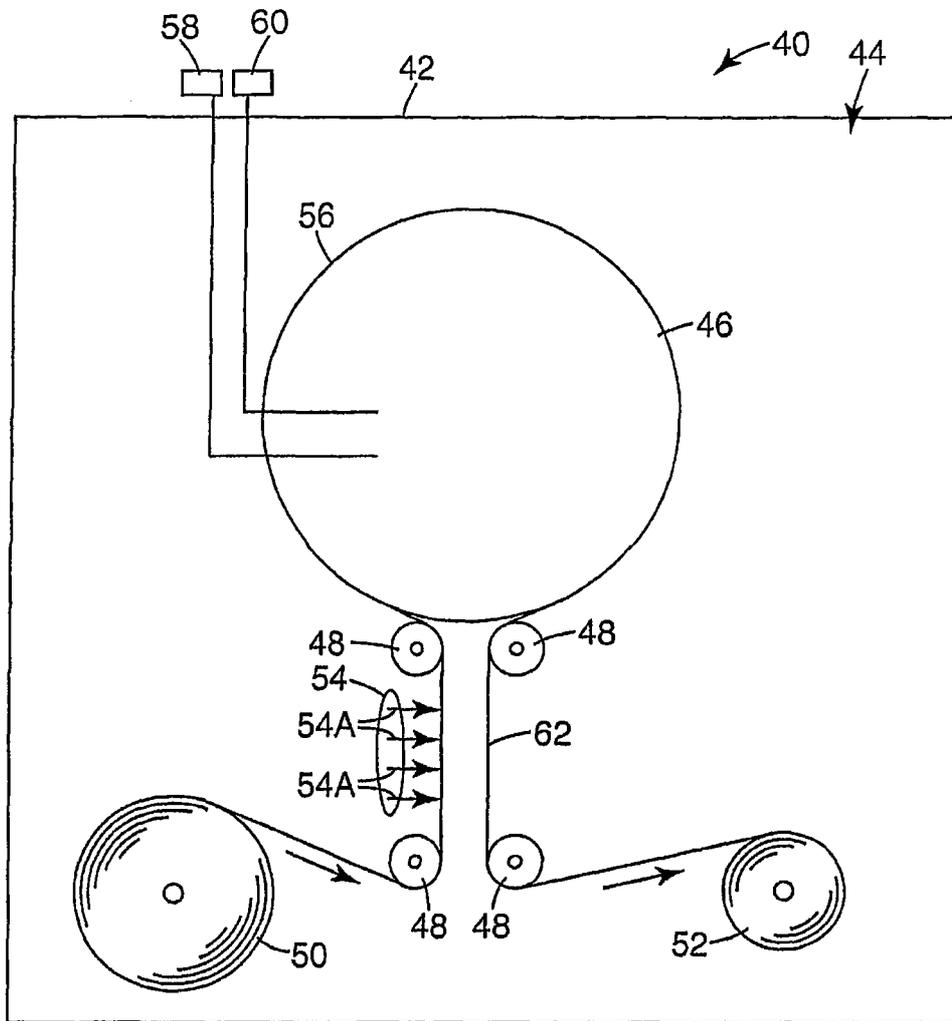


图9

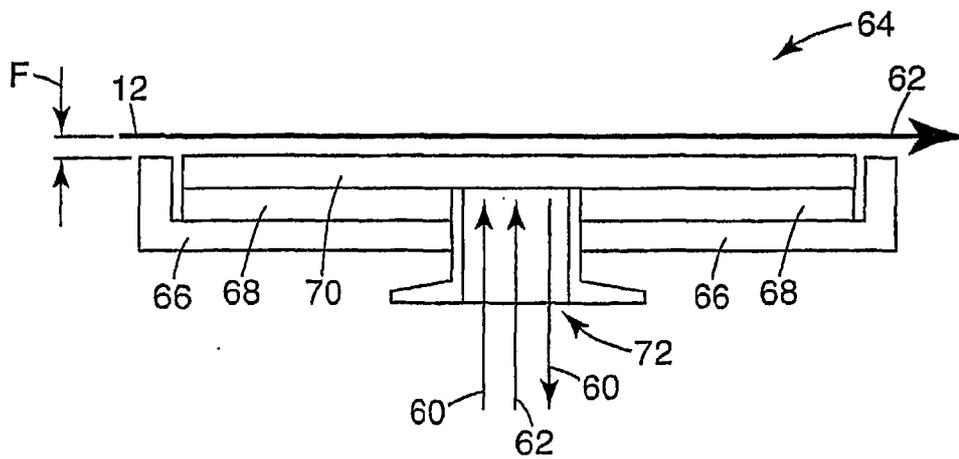


图10