

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510021881.6

[51] Int. Cl.

H05K 3/06 (2006.01)

H05K 3/26 (2006.01)

H05K 3/00 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 3 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 100471361C

[22] 申请日 2005.10.18

[21] 申请号 200510021881.6

[73] 专利权人 电子科技大学

地址 610054 四川省成都市建设北路二段
四号

共同专利权人 珠海元盛电子科技有限公司

[72] 发明人 何为 汪洋 王慧秀 袁正希
何波 刘美才 吴志强

[56] 参考文献

WO2004/086829A1 2004.10.7

JP63-5591A 1988.1.11

CN1505918A 2004.6.16

US6454868B1 2002.9.24

刚挠结合印刷电路板的制造工艺和应用。
何为等. 世界科技研究与发展, 第 27 卷第 3 期.
2005

审查员 刘深亮

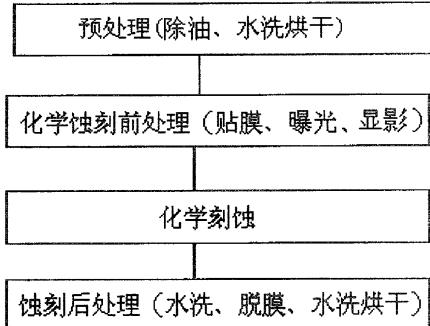
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称

一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口
的方法及其刻蚀液

[57] 摘要

一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口
的方法及其刻蚀液，属于材料技术领域，特别涉及
挠性印制电路板加工技术。本发明所述的开窗口的
方法包括预处理(除油、水洗烘干)、化学刻蚀前处
理(贴膜、曝光、显影)、化学刻蚀和刻蚀后处理
(水洗、脱膜、水洗烘干)等步骤。本发明所述的
刻蚀液为氢氧化钾、氢氧化钠的混合溶液，其中还
可以加入苯并三唑(BTA)及其衍生物的添加剂 1 或/
和巯基苯并噻唑(MBT)及其衍生物的添加剂 2 以
及微量的渗透剂。本发明所述的开窗口的方法经济、
简便、实用、快速和高效，且能满足精度要求；本
发明所述的刻蚀液，其原料经济、配制容易，且可
以方便地与其刻蚀过程相结合。



1、一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法，其特征是，它包括以下步骤：

步骤 1：预处理，步骤 1 主要是除去挠性印制电路板上的油脂污染和氧化层以及过多的水分，具体做法是先进行酸性除油，以除去板面上的油脂污染和氧化层；再水洗烘干；

步骤 2：化学刻蚀前处理，步骤 2 主要是对挠性印制电路板不需要开窗口的区域进行保护，具体做法是将经预处理后的挠性印制电路板双面各加一层耐强碱的保护胶，利用光刻工艺经曝光显影之后露出需要开窗口的区域；

步骤 3：化学刻蚀，步骤 3 主要是利用化学刻蚀液刻蚀掉挠性印制电路板需要开窗口区域的聚酰亚胺基材，从而开出所需的窗口；具体做法是，将经步骤 2 处理的挠性印制电路板浸入化学刻蚀液，在 100—120℃下反应刻蚀一定时间后取出；

步骤 4：刻蚀后处理，步骤 4 主要是除去经化学刻蚀步骤后挠性印制电路板带出的大量化学刻蚀液，避免污染下步工序；然后经脱膜处理，去掉挠性印制电路板上的保护胶；最后经水洗烘干得到开好窗口的挠性印制电路板。

2、根据权利要求 1 所述的一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法，其特征是，步骤 1 中，使用酸性除油方式除去挠性印制电路板板面上的油脂污染和氧化层，具体做法是将挠性印制电路板放入酸性除油液中 2~6 分钟后取出；水洗烘干的过程利用压辊除去板面的大部分水分然后再进入烘道进行烘干。

3、根据权利要求 2 所述的一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法，其特征是，所述酸性除油液为 OP 乳化剂和硫酸的混合溶液。

4、根据权利要求 1 所述的一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法，其特征是，步骤 2 中所述耐强碱的保护胶是杜邦的 FX940 或 FX9420 干膜；对于不同聚酰亚胺基材厚度的挠性印制电路板，贴膜时调整合适的贴膜压力和速度，避免压力不足或速度过快导致的贴膜不实，压力过大或速度过慢导致的板面卷曲；同时对于不同聚酰亚胺基材厚度的挠性印制电路板，考虑到蚀刻处理时间的长短，采用贴多层干膜的方式。

5、根据权利要求 4 所述的一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法，其特征是，步骤 4 处理时，采取水洗的方式洗去从蚀刻槽中带出的化学刻蚀液，确保不污染脱膜溶液；脱膜时，将经刻蚀、水洗处理后的挠性印制电路板放入脱膜溶液中轻轻振荡 1~3 分钟，具体时间视所贴干膜的层数而定；待干膜全部溶解之后，取出水洗烘干。

6、根据权利要求 5 所述的一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法，其特征是，所述脱膜溶液采取低浓度的强碱溶液。

7、根据权利要求 1 所述的一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法，其特征是，步骤 3 中所述化学刻蚀液的溶质包括：氢氧化钾、氢氧化钠和添加剂 1，溶剂为水，其配方为：每一升溶液含 530—630 克的氢氧化钾，含 30—45 克的氢氧化钠，含 25—45 毫克的添加剂 1；所述添加剂 1 为一种缓蚀剂，具体是苯并三唑及其衍生物 4—羟基苯并三唑、5—羟基苯并三唑、CBT—1、1—[(1'—咪唑)—甲基]苯并三唑或六次甲基四氨。

8、根据权利要求 1 所述的一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法，其特征是，步骤 3 中所述化学刻蚀液的溶质包括：氢氧化钾、氢氧化钠、添加剂 2，溶剂为水，其配方为：每一升溶液含 530—630 克的氢氧化钾，含 30—45 克的氢氧化钠，含 10—35 毫克的添加剂 2；所述添加剂 2 是一种缓蚀剂，具体是巯基苯并噻唑及其衍生物 2-乙硫基苯并噻唑、2-苄基硫代苯并噻唑或 2-辛烷基二硫代苯并噻唑。

9、根据权利要求 7 或 8 所述的一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法，其特征是，所述化学刻蚀液还含有渗透剂，具体含量是每一升溶液含 2—6 毫克的渗透剂；所述渗透剂是烷基酚聚氧乙烯磷酸酯钾盐、仲烷基磺酸钠、烷基磷酸酯或希利龙 FR-SD。

10、根据权利要求 7 所述的一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法，其特征是，所述化学刻蚀液还含有添加剂 2，具体含量是每一升溶液含 10—35 毫克的添加剂 2；所述添加剂 2 是一种缓蚀剂，具体是巯基苯并噻唑及其衍生物 2-乙硫基苯并噻唑、2-苄基硫代苯并噻唑或 2-辛烷基二硫代苯并噻唑。

11、根据权利要求 10 所述的一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法，其特征是，所述化学刻蚀液还含有渗透剂，具体含量是每一升溶液含 2—6 毫克的渗透剂；所述渗透剂是烷基酚聚氧乙烯磷酸酯钾盐、仲烷基磺酸钠、烷基磷酸酯或希利龙 FR-SD。

一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法及其刻蚀液

技术领域

一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法及其刻蚀液，属于材料技术领域，特别涉及挠性印制电路板加工技术。

背景技术

挠性印制电路板通常是一种以聚酰亚胺（PI）为基材的印制电路板，挠性印制电路板通常具有三层（单面板）或五层（双面板）结构，如图1、2所示，其中，1为PI基材层，2为铜箔层（电路层），3为丙烯酸类的粘接层；现在也有无丙烯酸类粘接层的挠性印制电路板，这种挠性印制电路板为两层（单面板）或三层（双面板）的结构。整个电路板的厚度约为零点几个毫米。通常，在做好具体电路的挠性印制电路板的电路层的上面还有一层PI包封层，以避免电气短路或电路层被划伤。挠性印制电路板最大的特点就是具有挠性，可以轻易地弯曲，特别适于多层刚性电路板之间的互连和许多数据接口电路用。目前，挠性印制电路板在手机、数码相机、摄像机、笔记本电脑、航空电子设备等许多电子设备当中已得到广泛应用。

挠性印制电路板生产中经常需要在特定的区域开出设计要求大小的窗口。如图1所示两款挠性FPC窗口板，在标示出的区域开出预定大小的窗口，在单层的基础上实现双面导通的功能，且由于镂空处没有PI，只有一层铜箔，没有PI，其耐高温性能跟PI无关，所以在焊接时具有好的耐高温性能。

现有的在挠性印制电路板特定的区域开窗口的方法主要有机械加工和化学蚀刻两大类。其中机械加工又有机械冲切、数控铣等；化学蚀刻有等离子蚀刻、激光烧蚀等。

● 机械冲切

机械冲切主要采用20吨的冲床，使用模具进行冲切。该项工艺的优点有：生产批量大，先期投入成本低，生产消耗成本低；缺点主要是：由于受冲模精度的限制，产品加工精度低，并且窗口尺寸越小，所需模具的成本就越高，生产就越困难。

● 数控铣

数控铣采用的设备是单轴或者多轴数控铣床，配合各种尺寸的硬质合金铣刀进行加工。其特点是：生产周期短，批量大，加工精度适中，先期投入成本高，生产消耗成本低。但是对于挠性印制板的生产，由于基材质地柔软，刚性不足，加工之后往往在窗口的边缘产生大量的毛刺，甚至是撕裂扭曲的情况。不适合现在对挠性板所提出的小型化，高密度的要求。

● 等离子蚀刻

等离子蚀刻采用专门的生产设备，针对不同的基材加入不同的反应气体进行生长。该项工艺生产批量小，先期投入和维护成本高，加工精度高。

● 激光烧蚀

激光烧蚀主要采用的是 CO₂红外激光或者是 UV 激光器等。该工艺几乎适合所有的有机绝缘基材。所加工出来的窗口精度高，但是生产批量小，投入和维护成本高。不适合一般的中小型挠性印制电路板企业。

对于发展中的挠性印制板企业，选择等离子蚀刻和激光烧蚀都不太理想，先期投入和维护费用太高，并且对操作工人的要求也高。而采用机械冲切，往往只能应用在一些对精度要求不高的单面或双面挠性电路板中，却无法完成对高附加值的小型、高密度的挠性电路板的生产上从而限制公司的生产与发展。

发明内容

针对现有的在挠性印制电路板特定的区域开窗口的各种方法的不足，本发明提供一种在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法及其刻蚀液，其开窗口的方发工艺简单、效率高、精度高，其刻蚀液配方简单、配制过程简单且可与其开窗口得具体工艺过程相结合。

一种在聚酰亚胺基材上开窗口的方法，包括以下步骤：

1、预处理。预处理步骤主要是除去挠性印制电路板上可能的油脂污染和氧化层以及过多的水分，具体做法是先进行酸性除油，以除去板面上可能的油脂污染和氧化层；再水洗烘干。

2、化学蚀刻前处理。化学蚀刻前处理步骤主要是对挠性印制电路板不需要开窗口的区域进行保护，具体做法是将经预处理后的挠性印制电路板双面加上一层耐强碱的保护膜/胶，利用光刻工艺经曝光显影之后露出需要开窗口得区域。

3、化学刻蚀。化学刻蚀步骤主要是利用化学刻蚀液刻蚀掉挠性印制电路板需要开窗口区域的 PI 基材，从而开出所需的窗口。具体做法是，将经步骤 2 处理的挠性印制电路板浸入化学蚀刻液，在 100—120℃下反应刻蚀一定时间后取出。

4、蚀刻后处理。蚀刻后处理步骤主要是除去经化学刻蚀步骤后挠性印制电路板带出的大量碱液，避免污染下步工序；然后经脱膜处理，去掉挠性印制电路板上其他的保护层；最后经水洗、烘干得到开好窗口的挠性印制电路板。

步骤 1 中，可以使用酸性除油方式除去挠性印制电路板板面上可能的油脂污染和氧化层，具体做法是将挠性印制电路板放入酸性除油液（OP 乳化剂+硫酸）中 2~6min 后取出；水洗烘干的过程可以利用压辊除去板面的大部分水分然后再进入烘道进行烘干。

对于步骤 2 中耐强碱的保护膜/胶，本发明选择使用的是杜邦的 FX940 或 FX9420 干膜，该型干膜能在一定时间内耐强碱；并且能够溶解在低浓度的氢氧化钠（NaOH）溶液中，便于步骤 4 中的脱膜处理。对于不同 PI 厚度的挠性印制电路板，贴膜时调整合适的贴膜压力和速度，避免压力不足或速度过快导致的贴膜不实，压力过大或速度过慢导致板面卷曲等。同时对于不同 PI 厚度的挠性印制电路板，考虑到蚀刻处理时间的长短，可以贴两层或多层干膜。曝光时，为了缩短处理时间，避免药水攻击引起的侧蚀和过蚀或高温引起的挠性印制电路板膨胀变形，最好采用双面曝光的方式，使得刻蚀液能够双面刻蚀 PI 基材。

在进行步骤 3 所述的化学刻蚀时，为了提高刻蚀效率，可将经步骤 1、2 后的多个需要开窗口的挠性印制电路板同时浸入化学蚀刻液，但应当确保各个挠性印制电路板之间不相粘连；反应刻蚀时间在 3~5 分钟之间，反应时，轻轻振荡挠性印制电路板。

步骤 4 蚀刻后处理时，采取水洗的方式洗去洗去从蚀刻槽中带出的碱液，确保不污染脱膜液；脱膜时，将经刻蚀、水洗处理后的挠性印制电路板放入脱膜溶液中轻轻振荡 1~3 分钟，具体时间视所贴干膜的层数而定；待干膜全部溶解之后，取出水洗烘干。脱膜溶液采取低浓度的强碱溶液，比如氢氧化钠溶液。

需要说明的是，本发明提供的是利用刻蚀液在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法，属于化学蚀刻方法；本发明所提供的刻蚀液主要针对的是挠性印制电路板的聚酰亚胺基材进行刻蚀，该刻蚀液对铜和丙烯酸类粘接层不起作用，如果挠性印制电路板含有丙烯酸类粘接层，或者需要开窗口的地方双面都覆盖了铜，那么需要前期工艺先除掉丙烯酸类粘接层和需要开窗口部位的铜，再利用本发明所述的刻蚀液对 PI 基材进行刻蚀，从而开出符合要求的窗口。

步骤 3 中所述的化学刻蚀液，溶质包括：氢氧化钾、氢氧化钠、添加剂 1 或/和添加剂 2 或/和渗透剂，溶剂为水，其配方为：每一升溶液含 530—630 克的氢氧化钾，含 30—45 克的氢氧化钠，含 25—45 毫克的添加剂 1 或/和含 10—35 毫克的添加剂 2 或/和含 2—6 毫克的渗透剂。

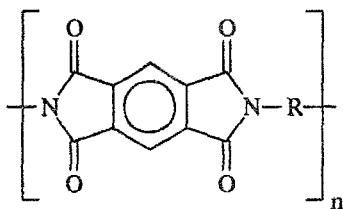
配方中的添加剂 1 为一种缓蚀剂，可以是苯并三唑（BTA）及其衍生物 4—羟基苯并三唑（4CBTA）、5—羟基苯并三唑（5CBTA）、CBT—1（4CBTA 和 5CBTA 的混合物）、1—[(1’—咪唑)—甲基]苯并三唑（IMBTA）、六次甲基四氨等；添加剂 2 也是一种缓蚀剂，可以是巯基苯并噻唑（MBT）及其衍生物 2-乙硫基苯并噻唑、2-苄基硫代苯并噻唑、2-辛烷基二硫代苯并噻唑等；渗透剂，可以是烷基酚聚氧乙烯磷酸酯钾盐、仲烷基磺酸钠（SAS）、烷基磷酸酯、希利龙 FR-SD 等。

蚀刻液的配制并无特别之处，但需要说明的是，碱溶于水是放热反应，当混合碱完全溶解之后溶液温度在 100 摄氏度左右，所以可以将刻蚀液的配制和步骤 3 所述的化学刻蚀结合起来，以充分利用将刻蚀液的配制过程中所产生的热量；另外，由于在热碱的条件下，裸露的铜箔极易被溶液中的溶解氧氧化成 Cu₂O，所以加入 BTA 和 MBT 复配缓蚀剂。

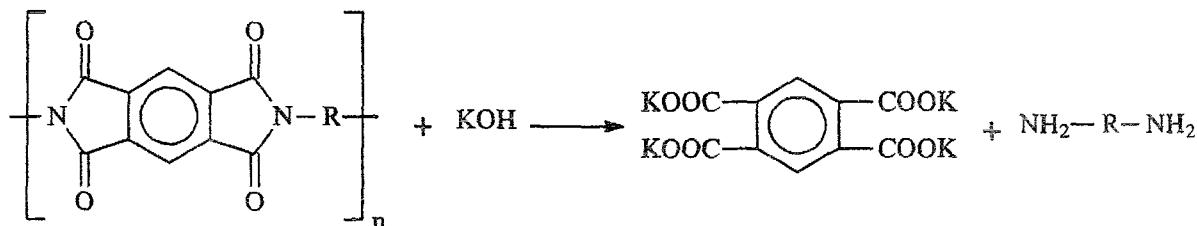
化学蚀刻液蚀刻反应机理

1、蚀刻液刻蚀聚酰亚胺基材机理

挠性印制电路板用绝缘材料的通式如下：



在浓热强碱 KOH 的作用下发生水解反应，其反应机理如下：

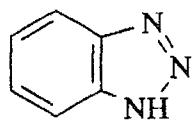


它在室温下，反应进行的很慢，而且是不可逆的。提高反应体系的温度能极大提高反应速度。

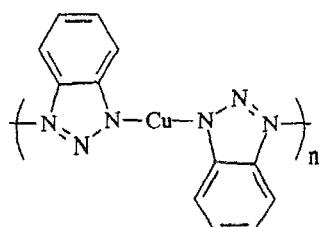
2、缓蚀剂机理

配方中的缓蚀剂的作用是在用刻蚀液对聚酰亚胺基材开窗口的蚀刻过程中，延缓对基材上金属铜薄的腐蚀。

BTA是一种有效的铜的缓蚀剂，其分子结构如下：



当BTA与铜和铜合金接触时，BTA在金属表面上产生化学吸附。BTA分子中N原子上的孤对电子以配位键与Cu相连，聚合链由间隔的Cu原子所连接，从而形成如下结构：



BTA在铜表面上生成的保护膜是多层膜，该膜是一种化学吸附的二维聚合物，具有线性结构，其组成为Cu / Cu₂O / Cu(I) BTA。

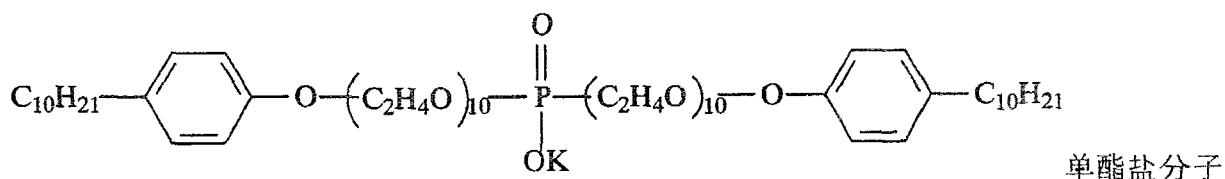
BTA是通过在铜表面的Cu形成络合物膜阻止铜的腐蚀，这种膜强度大，致密性好，具有优良的缓蚀性能，但是成膜速度慢，若不完整，会造成局部损失。而MBT是通过直接吸附在铜表面阻止铜的腐蚀，吸附速度快，一般不会造成局部损失。因此利用二者不同的成膜过程，当二者共存于一个体系中，能相互促进界面作用，形成多元保护膜而且产生优良的加和协同效应。

上述蚀刻液配方采用复配的缓蚀剂，缓蚀效果更好。

3、渗透剂机理

渗透剂是一类能使液体迅速而均匀地渗透到某种固体内部的表面活性剂。

烷基酚聚氧乙烯磷酸酯钾盐，是非、阴离子表面活性剂，具有特殊的结构，在亲油基和离子头之间插有亲水基的聚氧乙烯醚。因而具有不同于非离子和阴离子表面活性剂的特殊性。它是单、双酯混合物。其中双酯盐分子结构为：



结构为二钾盐。

该物质疏水部分为带苯环的长链直链烷基，相对而言在溶液中较易于形成胶束难于表面吸附。其在碱溶液中，碱对阴离子部分产生电性且对表面活性剂阴离子头上离子雾产生压缩作用，减少离子间的电子排斥，有助于表面上吸附而紧密排列，使溶液表面张力降低，渗透力增加。从而达到加速蚀刻反应的目的，缩短反应时间，减少铜箔的膨胀变形。

另外从原料性能、来源等考虑，单一结构的表面活性剂不兼具良好的渗透、净洗、乳化、分散性及耐高温、耐碱、耐氧化等性能。利用磷酸酯的耐碱、耐热性能和仲烷基磺酸钠优异的渗透性。选择烷基磺酸钠和仲烷基磷酸酯为原料。通过调整其组分和类型达到上述的效果。

本发明的优点：

1. 本发明所述的在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法经济、简便、实用、快速和高效，且能满足精度要求。
2. 本发明所述的用于刻蚀挠性印制电路板中聚酰亚胺基材的刻蚀液，其原料经济、配制容易，且可以方便地与其刻蚀过程相结合。

附图说明

图 1：单面挠性印制电路板制结构示意图，其中，1 为 PI 基材层，2 为铜箔层（电路层），3 为丙烯酸类的粘接层。

图 2：双面挠性印制电路板制结构示意图，其中，1 为 PI 基材层，2 为铜箔层（电路层），3 为丙烯酸类的粘接层。

图 3：预处理后的需开窗口的挠性印制电路板结构示意图，其中，1 为 PI 基材层，2 为铜箔层（电路层）。

图 4：贴膜后、曝光前的需开窗口的挠性印制电路板结构示意图，其中，1 为 PI 基材层，2 为铜箔层（电路层），4 为保护膜。

图 5：显影后的需开窗口的挠性印制电路板结构示意图，其中，1 为 PI 基材层，2 为铜箔层（电路层），4 为保护膜。

图 6：刻蚀后的挠性印制电路板结构示意图，其中，1 为 PI 基材层，2 为铜箔层（电路层），4 为保护膜。

图 7：开好窗口的挠性印制电路板结构示意图，其中，1 为 PI 基材层，2 为铜箔层（电路层）。

图 8：本发明所述的在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法的工艺流程图。

具体实施方式

具体实施方式一

配制刻蚀液

称取 106Kg 的 KOH 和 6KgNaOH 加纯水至 200L，搅拌使其溶解。由于碱溶于水是放热反应，当混合碱完全溶解之后溶液温度在 100 摄氏度左右，适当加热并稳定温度到 110℃。

加入添加剂1，如苯并三唑（BTA）5kg和添加剂2，如巯基苯并噻唑（MBT）2kg，搅拌使之完全溶解。然后加入渗透剂，如烷基酚聚氧乙烯磷酸酯钾盐800mg。

刻蚀液配制好后，按照本发明所述的在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法加工流程操作对 4342w/A 型 FPC 板进行加工，其中，步骤 3 中刻蚀时间控制在 3 分 30 秒左右，最终所刻窗口整齐，无侧蚀、渗蚀情况，精度达到设计要求。

具体实施方式二

称取 106Kg 的 KOH 和 7.5KgNaOH 加纯水至 200L，搅拌使其溶解。由于碱溶于水是放热反应，当混合碱完全溶解之后溶液温度在 100 摄氏度左右，适当加热并稳定温度到 110℃。

加入添加剂1，如苯并三唑（BTA）7kg，搅拌使之完全溶解。然后加入渗透剂，如烷基酚聚氧乙烯磷酸酯钾盐800mg。

刻蚀液配制好后，按照本发明所述的在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法加工流程操作对 4342w/A 型 FPC 板进行加工，其中，步骤 3 中刻蚀时间控制在 3 分钟左右，最终所刻窗口整齐，无侧蚀、渗蚀情况，精度达到设计要求。

具体实施方式三

称取 116Kg 的 KOH 和 7.5KgNaOH 加纯水至 200L，搅拌使其溶解。由于碱溶于水是放热反应，当混合碱完全溶解之后溶液温度在 100 摄氏度左右，适当加热并稳定温度到 110℃。

加入添加剂1，如苯并三唑（BTA）5kg和添加剂2，如巯基苯并噻唑（MBT）4.5kg，搅拌使之完全溶解。

刻蚀液配制好后，按照本发明所述的在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法加工流程操作对 4342w/A 型 FPC 板进行加工，其中，步骤 3 中刻蚀时间控制在 3 分 10 秒左右，最终所刻窗口整齐，但是存在少许侧蚀、渗蚀情况，精度达到设计要求。

具体实施方式四

称取 126Kg 的 KOH 和 7.5KgNaOH 加纯水至 200L，搅拌使其溶解。由于碱溶于水是放热反应，当混合碱完全溶解之后溶液温度在 100 摄氏度左右，适当加热并稳定温度到 110℃。

加入添加剂2，如巯基苯并噻唑（MBT）4.5kg，搅拌使之完全溶解。然后加入渗透剂，如烷基酚聚氧乙烯磷酸酯钾盐800mg。

刻蚀液配制好后，按照本发明所述的在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开窗口的方法加工流程操作对 4342w/A 型 FPC 板进行加工，其中，步骤 3 中刻蚀时间控制在 2 分 50 秒左右，最终所刻窗口整齐，无侧蚀、渗蚀情况，精度达到设计要求。

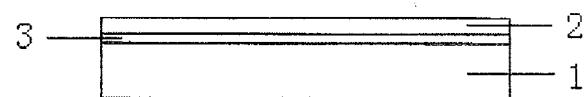


图 1

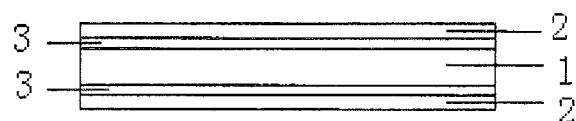


图 2

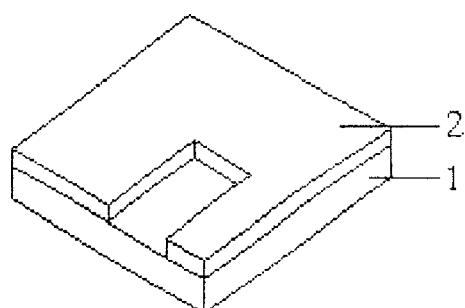


图 3

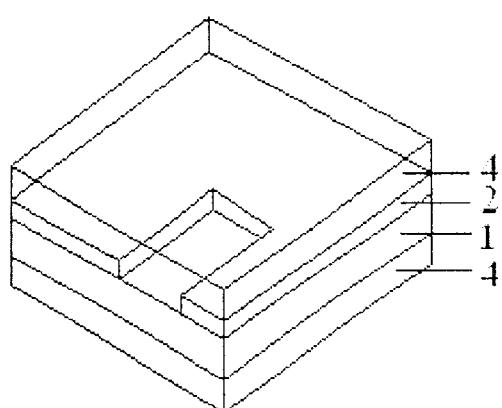


图 4

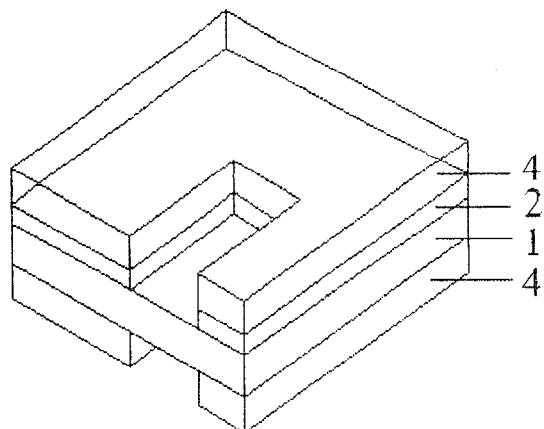


图 5

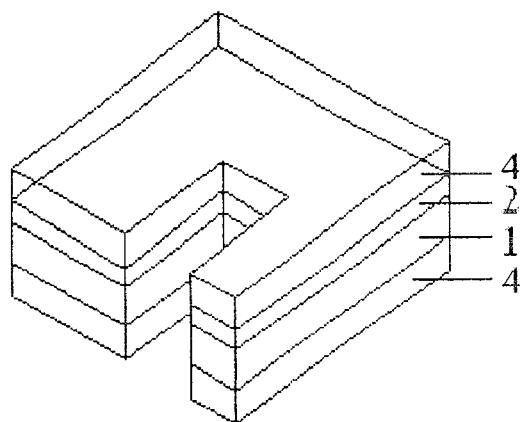


图 6

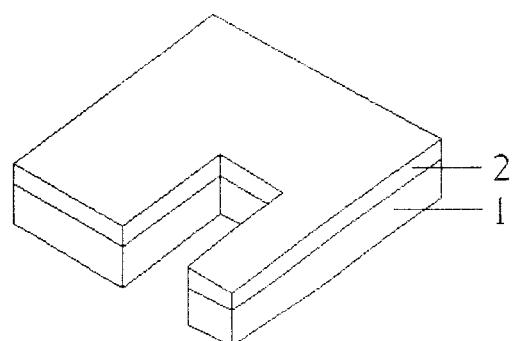


图 7

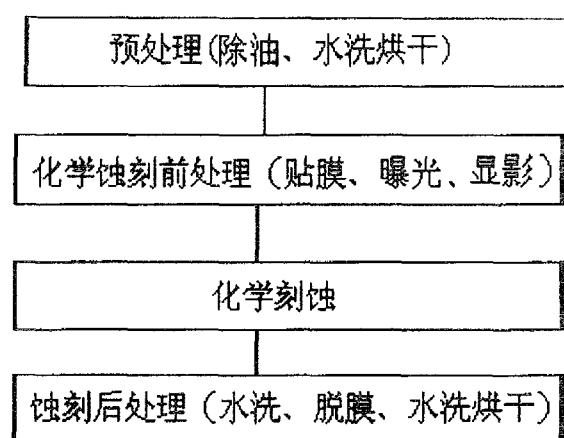


图 8