

挠性PI基材上镂空板用开窗口工艺研究

何 为¹, 王守绪¹, 胡 可², 何 波², 汪 洋¹

(1. 电子科技大学微电子与固体电子学院 成都 610054; 2. 珠海元盛电子科技股份有限公司技术中心 广东 珠海 519060)

【摘要】介绍了一种在挠性聚酰亚胺基材上开窗口的新工艺。采用化学蚀刻法, 蚀刻液由氢氧化钾、氢氧化钠和添加剂组成, 于一定的工艺条件下在挠性印制电路板聚酰亚胺基材上开出所需大小、形状的窗口。结合镂空板工艺实例, 详细介绍了工艺过程, 并讨论了取得的效果与蚀刻机理。该方法克服了传统的开窗口工艺具有的先期投入和维护成本高、精度不够的缺点, 可以完成高附加值的小型、高密度的挠性电路板的生产。

关键词 化学蚀刻; 挠性印制电路; 镂空板; 聚酰亚胺

中图分类号 TN6

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2009.05.036

Research on Process of Crosshatching for Hollowing Board on PI Flexible Substrate

HE Wei¹, WANG Shou-xu¹, HU Ke², HE Bo², and WANG Yang¹

(1. School of Microelectronics and Solid-State Electronics, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054;

2. Zhuhai Topsun Electric Technology Co., LTD. Zhuhai Guangdong 519060)

Abstract A new crosshatching technology on polyimide flexible substrate is described using chemical etching method. The etching solution is composed of Potassium hydroxide, Sodium hydroxide, and additives. The window of demanding is crosshatched in certain conditions on polyimide flexible substrate. The technology process and mechanism of etching are also discussed in detail with examples of hollowing board process. The demerits of the pre-investment and maintenance costs too high or precision too low to traditional crosshatching process are conquered. The new crosshatching technology on polyimide flexible substrate can be applied in the small and high-density FPCB products that have high added value.

Key words chemical etching; flexible printed circuit; hollowing board; polyamide

在电子设备轻、薄、多功能化发展趋势的促进下, 印制电路板正向薄膜化、精细化、高密度互联和元件搭载的方向发展^[1-3]。挠性印制电路板(flex print circuit board, FPCB)具有可自由弯曲、折叠等特性, 被广泛应用于手机、数码相机、摄像机、笔记本电脑、航空电子设备等电子设备中。挠性印制电路板的这些特性来源于其基材——柔性高分子聚合物薄膜, 其中聚酰亚胺(polyimide, PI)是挠性印制电路板中使用最多的品种。PI具有优异的耐热温度, 可在260℃下长期使用(短时间可以承受550℃); 并具有良好的力学性能和优良的耐油性、耐溶剂性及耐辐射性。

FPCB开窗口是将线路板上设计窗口处的PI基材去除, 使Cu导线裸露出来, 实现增强FPCB功能或性能的目的。开窗口技术是镂空FPCB制作的基本技术^[4-5], 由于窗口处没有PI、线路暴露, 可在单层的

基础上实现双面导通的功能, 与表面贴装技术(surface mounted technology, SMT)结合, 使印制板在焊接时具有良好的耐高温性能, 并使多层FPCB具有更佳的散热性能。因此, 挠性印制电路板开窗口技术在新型电子设备开发中具有重要的地位。

目前, FPCB开窗口的方法较多, 按照工作原理可以分为机械加工和蚀刻加工两类^[6]。在机械加工技术中, 机械冲切和数控铣的应用最广。机械冲切法使用的工具是冲床, 该技术具有生产批量大、先期投入成本低、生产消耗成本低等优点, 但具有产品加工精度受冲模精度限制的缺点。窗口尺寸越小, 所需模具的成本就越高, 生产就越困难。数控铣法采用的设备是单轴或者多轴数控铣床, 该技术的特点是生产周期短、批量大、加工精度适中、生产消耗成本低等, 但其先期投入成本较高。另外, 由于挠性印制板的基材——高分子聚合物薄膜的质地柔

收稿日期: 2009-05-10

基金项目: 广东省粤港重大技术攻关项目(2007A090604005)

作者简介: 何 为(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电化学、新型电子线路制造材料与技术等方面的研究。

软、刚性不足,加工之后往往在窗口的边缘产生大量的毛刺,甚至出现撕裂扭曲的情况。因此,该技术不适合现代电子设备对挠性印制电路板提出的小型化、高密度的要求。

蚀刻加工技术常见的有等离子蚀刻、激光烧蚀和化学蚀刻。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窗口制作。该技术工艺生产批量小,先期投入和维护成本较高,加工精度较高。激光烧蚀主要采用CO₂红外激光或者是UV激光器等产生的激光束,将窗口处的高分子聚合物烧蚀去除。该技术几乎适合所有的有机绝缘薄膜基材,所加工出来的窗口精度较高,但是生产批量较小,投入和维护成本较高,不适合一般的中小型挠性印制电路板企业。化学蚀刻具有成本低、操作容易的优势,但存在铜线路的腐蚀问题需要解决。本文介绍了一种借鉴化学蚀刻与金属防腐等原理开发的、在挠性聚酰亚胺基材上开窗口的新工艺;将该工艺应用于实际生产中取得了理想的效果。

1 PI基材开窗口工艺研究

1.1 蚀刻液配制

1) 实验材料如下: KOH(A.R)、NaOH(A.R)、表面活性剂、去离子水、聚酰亚胺无胶铜箔、杜邦的FX940或FX9420干膜等。

2) 蚀刻液配方及蚀刻工艺条件:按照表1^[7]设计的物质计量比配制不同PI蚀刻液,具体过程如下:

(1) 称取106 g KOH和6.0 g NaOH固体,将其放入250 cm³的聚四氟乙烯材质烧杯中,加入200 cm³去离子水,搅拌使KOH和NaOH固体溶解。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℃左右。

(2) 加入缓蚀剂1(苯并三唑, BTA)0.005~0.008 g,并搅拌溶解;缓蚀剂2(巯基苯并噻唑, MBT) 0.002~0.007 g、渗透剂(仲烷基磺酸钠, SAS),充分搅拌,让添加剂溶解,即可获得实验所需要的PI蚀刻液。

由于在热碱的条件下,裸露的铜箔极易被溶液中的溶解氧化成Cu₂O,所以加入的BTA和MBT是作为复配缓蚀剂使用。

在配方中,缓蚀剂1除苯并三唑外,还可以使用苯并三唑的衍生物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。

缓蚀剂2除巯基苯并噻唑外,还可以使用其衍生物2-乙巯基苯并噻唑、2-苄基硫代苯并噻唑、2-辛烷基二硫代苯并噻唑等。

渗透剂除仲烷基磺酸钠(SAS)外,还可以使用烷基酚聚氧乙烯磷酸酯钾盐、烷基磷酸酯、希利龙(FR-SD)等。

表1 蚀刻液配方及工艺条件

蚀刻液成分及工艺条件	配方1	配方2	配方3	配方4
KOH/g·dm ⁻³	530~630	530~630	530~630	530~630
NaOH/g·dm ⁻³	30~45	30~45	30~45	35~45
缓蚀剂1/mg·dm ⁻³	25~45	25~40	—	25~40
缓蚀剂2/mg·dm ⁻³	10~35	—	10~35	10~35
渗透剂/mg·dm ⁻³	2~6	2~6	2~6	—
温度/℃	110~120	110~120	110~120	110~120
时间/min	3~5	3~5	3~5	3~5

1.2 PI蚀刻工艺研究

(1) 蚀刻前处理:

截取10 cm×10 cm的无胶PI基材铜箔样件,将其放入在含有洗涤剂(OP乳化剂+硫酸)的水中用超声波清洗10 min;然后用无水乙醇洗涤,在空气中晾干后放入烘箱中110℃烘干2 h。

将烘干的无胶PI基材铜箔用传统化学蚀刻方法除去开窗口部分的铜箔,即可获得实验用无胶PI基材铜箔样件。

(2) PI蚀刻过程:

将经过前处理的样件双面贴上杜邦公司的FX940或FX9420干膜,然后进行曝光显影除去窗口部分的干膜,并置于样品挂篮中,上下固定确保板面之间不粘连、不打卷。

将装有样品的挂篮置入已经加热到设计温度(即120℃)的蚀刻液中进行PI蚀刻,轻轻振荡3~5 min,具体时间视所用的具体材料而定。待窗口位置PI溶解之后,取出用水清洗干净。

(3) 蚀刻样件后处理

待窗口部分PI被蚀刻完之后,将样品取出,先用自来水清洗,再用去离子水洗涤,除去样品表面的蚀刻液。然后将清洗干净的样件放入FX940干膜或FX9420干膜的脱膜液中反应,除去干膜,再用自来水和去离子水清洗干净,放置晾干即可。

脱膜液配制如下:称取8 g NaOH固体,将其放入2 500 cm³的烧杯中,先加入100 cm³去离子水溶解,再加入去离子水将NaOH溶液稀释到2 000 cm³液位刻度,搅拌均匀即可。

PI化学蚀刻法挠性印制电路开窗口工艺过程如图1所示。

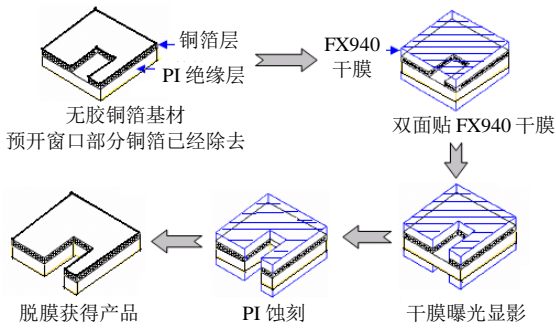
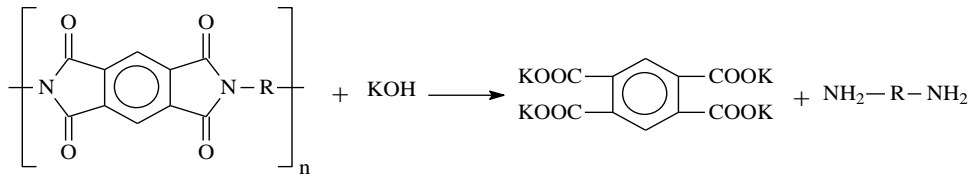


图1 PI蚀刻法挠性印制电路开窗口工艺过程



实验获得的挠性印制电路板窗口板照片如图2所示。图2a为使用配方1蚀刻的样品图,处理时间为3 min 30 s; 图2b为使用配方2蚀刻的样品图,蚀刻时间为3 min; 图2c为使用配方3蚀刻的样品图,蚀刻时间为3 min 10 s; 图2d为使用配方4蚀刻的样品图,蚀刻时间为4 min。

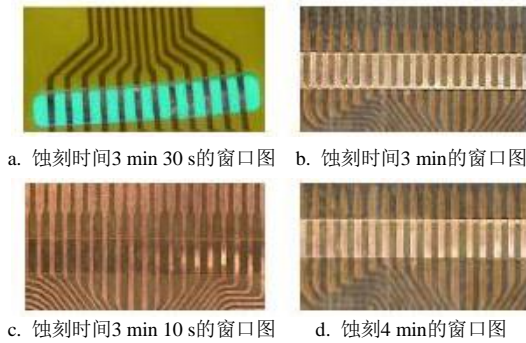


图2 实验蚀刻样品照片图

比较不同配方的蚀刻结果可以看出,用配方1获得的窗口蚀刻窗口整齐,无侧蚀、渗蚀等。而用药剂配方2和配方3获得的窗口虽然蚀刻整齐,但是存在少许侧蚀,说明在蚀刻液中添加不同类型的表面活性剂作为铜线路缓蚀剂是必要的,可以降低蚀刻液对Cu线路的影响。与配方1、2、3相比,配方4未加入渗透剂,在试验中可发现其蚀刻速度变慢,蚀刻的窗口不如配方1整齐,且存在侧蚀,说明渗透剂的加入对于改善蚀刻质量是有利的。

在蚀刻液中加入的缓蚀剂BTA可以在铜线通过

2 实验结果与讨论

2.1 PI蚀刻液的作用机理与蚀刻条件

挠性印制电路板中使用的聚酰亚胺是一类在分子主链中含有亚胺基团的杂环聚合物,是由有机芳香二酸酐和有机芳香二胺,经过熔融缩聚法或溶液缩聚法生成聚酰胺酸,再经过热或化学酰亚胺化得到的聚合物材料^[8]。由于该类聚合物稳定的结构,因此具有优良的电绝缘性能与热稳定性。在PI结构中具有可以降解的酰胺键,所以能够被碱类化学品侵蚀,出现结构破坏而被降解为可溶性化合物^[9-10]。聚酰亚胺在浓热强碱KOH的作用下发生水解反应,其反应机理为^[11]:

化学吸附表面上生成的保护膜,该膜强度大、致密性好、具有优良的缓蚀性能,能够阻止铜的腐蚀;但是成膜速度较慢,当薄膜未完全形成时会造成局部损失^[12]。而MBT可以通过直接吸附在铜表面阻止铜的腐蚀,吸附速度较快,但膜的强度与致密性都较差。因此,利用两者不同的成膜过程,使两者共存于一个体系中,产生相互作用可以促进多元保护膜的生成,通过优良的协同效应,获得优良的缓蚀效果,这也是配方1对PI的蚀刻效果明显好于配方2和3的原因。

2.2 开发工艺与传统工艺的比较

如图3所示为传统FPCB开窗口技术的传统制造工艺流程与本文采用的工艺流程对照图,两种工艺流程的步骤数基本相同。从工业实际中可见,对于化学蚀刻PI开窗口技术工艺来说,对最终的产品质量有较大影响的工艺步骤是底包冲孔和贴压底包,而研究开发的工艺过程中避免了这两个工艺步骤,提高了工艺的可靠性。

另外,传统工艺流程的连续性差,人为介入的因素较多,造成产品合格率很难得以提高。而本文开发的工艺流程利用光刻技术、化学蚀刻技术,取代了原工艺流程中几个需要人为干预的步骤,降低了人为因素对产品质量的影响。该工艺流程在珠海元盛科技股份有限公司的实际应用情况表明,产品的合格率明显提高,加工成本获得降低。

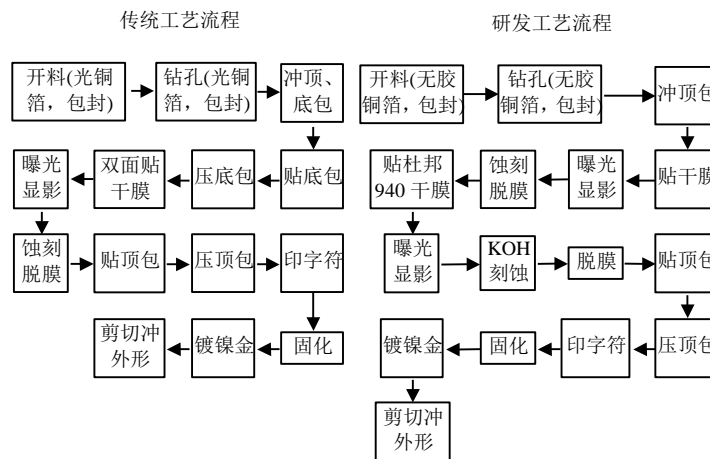


图3 两种工艺流程比较

3 结论

利用KOH为蚀刻剂配制的PI蚀刻液，可以用于FPCB镂空板的开窗口技术中，该蚀刻液具有组分简单、毒性低、废液处理容易的特点。通过在蚀刻液中添加缓蚀剂、渗透剂，可以实现蚀刻液对Cu质线路腐蚀的有效控制。采用苯并三唑、巯基苯并噻唑、仲烷基磺酸钠等三类表面活性剂组成的复合抗蚀剂，其性能明显优于单独使用某一类表面活性剂或某两类表面活性剂的组合。应用实验配制的PI蚀刻液，在120℃的温度下、蚀刻3 min，可以使蚀刻液对Cu质线路的侧蚀范围控制在0.01 mm以内，完全达到生产实际对产品质量控制的要求。

以本文研究获得的PI蚀刻液为基础开发的镂板用开窗口工艺，具有工艺前期投入小、维护费用低、工艺过程简单且连续性强等特点，对于中小挠性印制板生产企业是一个理想的选择。

实验研究开发的FPCB开窗口工艺适用于大批量生产，生产周期短，可实现无缝、不间断生产。对不规则、复杂图形窗口实现单次一步成形，其加工成本不随图形的大小、窗口复杂程度的增加而增加。使用该技术加工窗口的精度主要由对位曝光工序控制，而目前曝光机所能达到的曝光精度完全能够满足FPCB镂空板生产的需求。

参考文献

[1] 何波, 崔浩, 何为, 等. COF(chip on film)30 μm/30 μm精细线路的研制[J]. 印制电路信息, 2008, (3): 29-33.
HE Bo, CUI Hao, HE Wei, et al. Production of fine lines(30 μm/30 μm) applied in COF[J]. Printed Circuit Information, 2008, (3): 29-33.

[2] 赵丽, 何为, 崔浩, 等. 利用嵌入电容提高电性能和减少基板尺寸[J]. 印制电路信息, 2007, (11): 36-40.
ZHAO Li, HE Wei, CUI Hao, et al. Using embedded capacitance to improve electrical performance and reduce board size[J]. Printed Circuit Information, 2007, (11): 36-40.

[3] HE W, HU K, HE B, et al. Non linear regression analysis of technological parameters of the plasma besmears process for rigid-flex PCB [J]. Journal of Applied Surface Finishing, 2007, 2(3): 115-161.

[4] 汪洋. 刚挠结合板的孔金属化研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2006.
WANG Yang. Researched of the hole metallization of rigid-flex PCBs[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2006.

[5] 陈裕韬. 镂空金属基混合多层微波板制造工艺探讨[J]. 印制电路信息, 2005, (12): 46-48.
CHEN Yu-tao. The manufacture process discussion on engraved metal blend material MW multilayer PCB[J]. Printed Circuit Information, 2005, (12): 46-48.

[6] 胡旭兰. 一种PCB型数控四轴钻铣床[J]. 组合机床与自动加工技术, 2005, (2): 97-99.
HU Xun-lan. A kind of PCB NC four-coordinate drilling-milling machine[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2005, (2): 97-99.

[7] 何为, 汪洋, 王慧秀, 等. 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蚀刻液[P]. 中国发明专利, ZL200510021881.6, 2009.
HE Wei, WANG YANG, WANG Hui-xiu, et al. A fenestration method on polyimide substrate of flex print circuit board and its solution of etching[P]. Inventive Patent of China, ZL200510021881.6, 2009.

[8] 汪称意, 李光, 江建明, 等. 聚酰亚胺研究新进展[J]. 化学进展, 2009, 21(1): 174-182.
WANG Chen-yi, LI Guang, JIANG Jian-ming, et al. The latest research progress of polyimide[J]. Progress in Chemistry, 2009, 21(1): 174-182.

[9] 汤嘉陵, 王惟, 顾宜. 水系蚀刻聚酰亚胺[J]. 四川大

学学报(工程科学版), 2005, 37(2): 43-47.

TANG Jia-ling, WANG Wei, GU Yi. Etchings of polyimide prepared by means of an average acrylic acid dry film photoresist[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2005, 37(2): 43-47.

[10] MASATOSHI S, KONOSUKE I, HIDEO T, et al. Via hole formation in polyimide film by plasma etching using a roll etcher system[J]. Shinku/Journal of the Vacuum Society of Japan, 2002, 45(3): 165-168.

[11] BERGSTRESSER T, SALLO J. Copper on polyimide substrates[J]. Printed Circuit Fabrication, 2001, 24(4): 44,46-48.

[12] SATORU I, RYOUSUKE N, NORIYUKI Y, et al. Etching mechanism of polyimide film with nitrogen trifluoride/oxygen gas plasma[J]. Shinku/Journal of the Vacuum Society of Japan, 2000, 43(4): 518-523.



何 为, 教授, 电子科技大学博士生导师。1990年9月至1992年9月由国家公派到意大利佛罗伦萨大学化学系做访问学者, 2000年8月至2001年11月在佛罗伦萨大学化学系做客座教授。出版教材三部, 参加翻译专著一部。获得国家授权发明专利6项。在国内外刊物发表研究论文120余篇。成为四川省精品课程主

持人。获得省部级科技进步奖4项, 四川省教学成果一等奖1项, 国家教学成果二等奖1项。现任电子科技大学电子薄膜与集成器件国家重点实验室珠海分实验室主任, 微电子与固体电子学院应用化学系系主任; 广东省教育部产学研结合示范基地——挠性印制电路产业化基地负责人。主要研究方向为印制电路技术与工艺、全印制电子技术、应用电化学。

编 辑 黄 莘